

Geologia dell'Ambiente

Supplemento al n. 1/2020
ISSN 1591-5352

Periodico trimestrale della SIGEA
Società Italiana di Geologia Ambientale



ATTI DEL SEMINARIO NAZIONALE

ANALISI E ATTIVITÀ DI MITIGAZIONE DEI PROCESSI GEO-IDROLOGICI IN ITALIA



ROMA
29 NOVEMBRE 2019



A CURA DI

ANTONELLO FIORE & LUCIANO MASCIOTTO



Professione Geologo



Sismografo Geode

Il sismografo Geometrics è sempre il riferimento più alto per la sismica professionale. Imbattuto per capacità di affrontare microzonazione, riflessione, rifrazione, downhole...

Foto: Progeo-Forli



Trillium e Centaur

I sensori broadband e gli acquisitori sismici Nanometrics sono i più famosi e performanti al mondo. Solo per chi vuole dati di altissima qualità e affidabilità.



Atom Sismografo wireless

Il nuovo sismografo Geometrics ultra compatto, passivo, wireless, per Vs a profondità di oltre 1 km, senza più cavi sismici.



CODEVINTEC

Tecnologie per le Scienze della Terra

tel. +39 02 4830.2175 | info@codevintec.it | www.codevintec.it

Società Italiana di Geologia Ambientale

Associazione di protezione ambientale a carattere nazionale riconosciuta dal Ministero dell'ambiente, della tutela del territorio e del mare con D.M. 24/5/2007 e con successivo D.M. 11/10/2017

PRESIDENTE
Antonello Fiore

CONSIGLIO DIRETTIVO NAZIONALE
Lorenzo Cadrobbi, Franco D'Anastasio (*Segretario*),
Daria Duranti (*Tesoriere*), Ilaria Falconi,
Antonello Fiore (*Presidente*), Sara Frumento,
Fabio Garbin, Enrico Gennari, Giuseppe Gisotti
(*Presidente onorario*), Gioacchino Lena,
Luciano Masciocco, Michele Orifici (*Vicepresidente*),
Vincent Ottaviani (*Vicepresidente*),
Paola Pino d'Astore, Livia Soliani

Geologia dell'Ambiente
Periodico trimestrale della SIGEA

Supplemento al N. 1/2020
Anno XXVIII • gennaio-marzo 2020

Iscritto al Registro Nazionale della Stampa n. 06352
Autorizzazione del Tribunale di Roma n. 229
del 31 maggio 1994

DIRETTORE RESPONSABILE
Giuseppe Gisotti

VICE DIRETTORE RESPONSABILE
Eugenio Di Loreto

COMITATO SCIENTIFICO
Mario Bentivenga, Aldino Bondesan, Giovanni Bruno,
Francesco Cancellieri, Maria Di Nezza, Massimiliano
Fazzini, Giuseppe Gisotti, Giancarlo Guado,
Gioacchino Lena, Endro Martini, Luciano Masciocco,
Davide Mastroianni, Mario Parise, Giacomo Prosser,
Giuseppe Spilotro, Vito Uricchio, Luca Valensise

COMITATO DI REDAZIONE
Fatima Alagna, Giorgio Boccalaro, Giorgio Cardinali,
Valeria De Gennaro, Eugenio Di Loreto, Sara
Frumento, Fabio Garbin, Michele Orifici, Vincent
Ottaviani, Laura Pala, Maurizio Scardella

REDAZIONE
Sigea c/o Fidaf - Via Livenza, 6 00198 Roma
tel. 06 5943344
info@sigeweb.it

**PROCEDURA PER L'ACCETTAZIONE
DEGLI ARTICOLI**

I lavori sottomessi alla rivista dell'Associazione,
dopo che sia stata verificata la loro pertinenza
con i temi di interesse della Rivista, saranno
sottoposti ad un giudizio di uno o più referees

UFFICIO GRAFICO
Pino Zarbo (Fralerighe Book Farm)
www.fralerighe.it

PUBBLICITÀ
Sigea

STAMPA
Industria grafica Sagraf Srl, Capurso (BA)

La quota di iscrizione alla SIGEA per il 2020
è di € 30 e da diritto a ricevere la rivista
"Geologia dell'Ambiente".

Per ulteriori informazioni consulta il sito web
all'indirizzo www.sigeweb.it

Sommario

Prefazione
ROBERTO MORASSUT 7

Presentazione
ANTONELLO FIORE, LUCIANO MASCIOCOCCO 8

RELAZIONI DI APERTURA

RUGGIERO QUARTO
Commissione Territorio, Ambiente, Beni Culturali
del Senato della Repubblica 13

CLAUDIO CAMPOBASSO
ISPRA 15

ERASMO D'ANGELIS
Segretario Generale Autorità di Bacino Distrettuale
dell'Appennino Centrale 16

GABRIELE SCARASCIA MUGNOZZA
Sapienza Università di Roma 20

EGIDIO COMODO
Presidente Fondazione Inarcassa 22

LORENZO BENEDETTO
Consiglio Nazionale dei Geologi 23

CORRADO VIGO
Ordine Nazionale dei Dottori Agronomi
e dei Dottori Forestali 26

CARLA CAPPIELLO
Presidente Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma 27

SESSIONE 1

ANALISI E MODELLAZIONE DEI PROCESSI GEO-IDROLOGICI: FRANE, ALLUVIONI E SPROFONDAMENTI

Moderazione: PAOLA PINO D'ASTORE (Sigea)

Considerazioni introduttive sulle attività di mitigazione
dei processi geologici e idrologici
EUGENIO DI LORETO 31

La memoria storica quale valido strumento per una corretta
pianificazione territoriale
FABIO LUINO, FABRIZIO TERENCE GIZZI,
WALTER PALMIERI, SABINA PORFIDO, LAURA TURCONI 33

La franosità dell'area abruzzese: casi di studio
MONIA CALISTA, CRISTIANO CARABELLA,
GIANLUCA ESPOSITO, VANIA MANCINELLI,
VALERIA MENNA, GIORGIO PAGLIA, TOMMASO PIACENTINI,
MARCELLO BUCCOLINI, NICOLA SCIARRA, ENRICO MICCADEI 45

In copertina: Pomarico (MT). Ph. Gianni Palumbo.

| | |
|---|----|
| Modellazione idraulica mediante HEC-RAS - GIS in provincia di Bergamo FILIPPO MASSIMILIANO GAGLIANO | 51 |
| Eventi alluvionali nell'ambiente carsico pugliese PIETRO GENTILE, CLAUDIO IAIA, ISABELLA SERENA LISO MARIO PARISE | 56 |
| Il catasto frane della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia come strumento di prevenzione e mitigazione del rischio FABRIZIO KRANITZ | 64 |
| Meccanismi dell'instabilità costiera e processi erosivi lungo le coste rocciose pugliesi ROSA PAGLIARULO, VERONICA ZUMPARO | 69 |
| Modellazione di crolli da costoni rocciosi in una area di interesse storico-culturale ed implicazioni sulla fruizione GIOVANNA PAPPALARDO | 74 |
| Alcune considerazioni sul primo aggiornamento delle mappe previsto dalla Direttiva Alluvioni 2007/60/CE. Il caso di studio del fiume Tagliamento ANTONIO RUSCONI | 83 |
| I sinkholes naturali e antropici nella regione Puglia CARMELA VENNARI, MARIO PARISE, PIERNICOLA LOLLINO | 89 |

SESSIONE 2

EVOLUZIONE DEI PROCESSI E SISTEMI DI MONITORAGGIO

Moderazione: CHIARA D'AMBROGI (ISPRA)

| | |
|---|-----|
| Noè e il dissesto idrogeologico NICOLA CASAGLI | 95 |
| L'applicazione di analisi morfometriche speditive sulle colate rapide della Val Lapisina (Treviso) LUCIANO ARZILIERO, MAURO BETTELLA, MARCO CAVALLI, VERONICA TORNIELLI | 97 |
| Pericolosità idrologica della Città di Ceva (CN) MAURO BONASERA, ANNA MARIA FERRERO, GIANDOMENICO FUBELLI, LUCIANO MASCIOTTO, ADRIANO NOCERA, ELEONORA VIVIANI | 105 |
| Studio geo-idrologico del bacino del Torrente Talloria (CN) ANNALISA BOVE, LUCIANO MASCIOTTO | 113 |
| L'erosione costiera: i processi morfogenetici e morfoevolutivi della linea di costa da Ostia a Fregene ILARIA FALCONI | 122 |
| Analisi del meccanismo di riattivazione di uno scorrimento profondo in argille: il caso della frana di Montescaglioso PIERNICOLA LOLLINO, NUNZIO LUCIANO FAZIO, MICHELE PERROTTI, PIERPAOLO LIMONI, CARMELA VENNARI, MARIO PARISE | 131 |

- Le frane connesse agli incendi boschivi: stato dell'arte e sviluppi futuri della ricerca anche alla luce dei cambiamenti climatici
GIUSEPPE MANDRONE, MARIO PARISE, DAMIANO VACHA,
GIOVANNA CAPARELLI, CLAUDIA MEISINA, DARIO PEDUTO,
VERONICA TOFANI 137
- Le fonti archivistiche per un repertorio degli eventi franosi in territorio di Pomarico (Matera) dal XIX secolo ai nostri giorni. La storia degli eventi come prodromo alla programmazione e prevenzione del rischio geo-idrologico
GIANNI PALUMBO 144
- Tecnologie di rilievo da remoto per la valutazione dello stato di attività di una frana complessa
GIOVANNA PAPPALARDO, SIMONE MINEO,
DIEGO DI MARTIRE 150
- LAND-deFeND 1.1 un geodatabase di eventi geo-idrologici per attività di Protezione Civile nella Regione Puglia
CARMELA VENNARI, DOMENICO CASARANO,
IVAN MARCHESINI, PAOLA SALVATI, MARIO PARISE,
PIERNICOLA LOLLINO 156

SESSIONE 3

INTERFERENZA DEI PROCESSI GEO-MORFOLOGICI CON STRUTTURE E INFRASTRUTTURE

Moderazione: ANGELO CORAZZA (Dipartimento PC)

- Frane e alluvioni in Italia:
pericolosità e indicatori di rischio
ALESSANDRO TRIGILA, CARLA IADANZA 163
- Impact of inter-rows management in sloping vineyards on soils and grapevine roots in an area susceptible to shallow landslides: Oltrepò Apennines (Lombardy, Italy)
MASSIMILIANO BORDONI, ALBERTO VERCESI,
MICHAEL MAERKER, CLAUDIA MEISINA 166
- Interferenza dei fenomeni franosi con le infrastrutture viarie: un approccio metodologico per la gestione del rischio da frana
FRANCESCO CASTELLI, VALENTINA LENTINI,
GIOSUÈ DISTEFANO 171
- Analisi dei danni da frana in un'area campione del Sub-Appennino Dauno (Italia meridionale)
DECARO K., CARDINALI M., PISANO L.,
ZUMPANO V., PARISE M. 177
- Analisi di una sequenza di eventi alluvionali post-incendio nell'area del Monte Salto, Montoro (Avellino)
GIUSEPPE ESPOSITO, ROCCO MASI,
GIOVANNI NANNI, FILIBERTO RUSSO,
STEFANO ALFANO, GAETANO GIANNATIEMPO 184

| | |
|--|-----|
| Mappatura di un'area potenzialmente interessata da colata detritica sul conoide del Vaio del Rì - Frazione Peri - Comune di Dolcè (VR) | |
| ALESSANDRO RANERI, DANIELE ROSSI, FABIO GIURIATO | 190 |
| Analisi spazio temporale della franosità nel Sub-Appennino Dauno. L'esempio di Motta Montecorvino (FG) | |
| VERONICA ZUMPARO, FRANCESCA ARDIZZONE, ALESSIA BASSO, FRANCESCO BUCCI, MAURO CARDINALI, FEDERICA FIORUCCI, MARIO PARISE, LUCA PISANO, PAOLA REICHENBACH, MICHELE SANTANGELO, JANUSZ WASOWSKI, PIERNICOLA LOLLINO | 196 |

SESSIONE 4

INTERVENTI STRUTTURALI E NON STRUTTURALI PER LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO

Moderazione: FRANCESCA BOZZANO (Sapienza Università di Roma)

| | |
|--|-----|
| Il sistema di allertamento nazionale per la riduzione del rischio meteo-idrologico (in un contesto di Cambiamento Climatico) | |
| CARLO CACCIAMANI | 203 |
| Analisi e attività di mitigazione dei processi di erosione accelerata nell'alveo del Torrente Tiepido in Provincia di Modena | |
| ALESSANDRO ANNOVI | 207 |
| Interventi non strutturali nella filiera per la gestione del rischio: la percezione sociale e la comunicazione del rischio geo-idrologico secondo gli esperti nel caso studio di Maierato (Calabria meridionale, Italia) | |
| LOREDANA ANTRONICO, FRANCESCO DE PASCALE, ROBERTO COSCARELLI, GIOVANNI GULLÀ | 213 |
| Misure non strutturali contro i disastri naturali | |
| GIORGIO CESARI | 218 |
| I Contratti di Fiume nella mitigazione dei processi geo-idrologici. Gestione del rischio, miglioramento della governance e sviluppo locale. Case study: risultati e potenzialità nelle Marche | |
| ENRICO GENNARI, ENDRO MARTINI, STEFANIA TIBALDI, GIULIANA PORRÀ, ANITA STAGNOZZI, SILVIA STAGNOZZI | 223 |
| Il Compendio di Ingegneria Naturalistica della Regione Lazio: analisi, casistica ed elementi di progettazione | |
| GIULIANO SAULI, PAOLO CORNELINI | 230 |
| Comune di Pomarico (MT) - Movimento franoso del 29 gennaio 2019. Le attività dei vigili del fuoco | |
| SALVATORE TAFARO | 236 |
| Analisi di stabilità di un costone roccioso e progettazione esecutiva degli interventi per la messa in sicurezza di una struttura privata sita nel territorio di Modica (RG) | |
| MICHELE ZOCCO | 244 |

COMITATO SCIENTIFICO

Valerio Agnesi (Università degli Studi di Palermo – Presidente AIGeo)
Roberto Ajassa (Università degli Studi di Torino)
Marco Amanti (ISPRA)
Loredana Antronico (CNR – IRPI)
Stefano Aversa (Università degli Studi di Napoli Parthenope)
Mario Bentivenga (Università degli Studi della Basilicata - Sigea)
Gianna Betta (Città Metropolitana di Torino)
Francesca Bozzano (Sapienza Università di Roma)
Marcello Buccolini (Università degli Studi “Gabriele d’Annunzio” Chieti – Pescara)
Domenico Calcaterra (Università degli Studi di Napoli “Federico II” – Presidente AIGA)
Claudio Campobasso (ISPRA)
Domenico Capolongo (Università degli Studi di Bari “Aldo Moro”)
Nicola Casagli (Università di Firenze)
Corrado Cencetti (Università degli Studi di Perugia)
Giorgio Cesari (Sigea)
Egidio Comodo (Fondazione INARCASSA)
Angelo Corazza (Dipartimento Protezione Civile)
Chiara D’Ambrogio (ISPRA)
Domenico De Luca (Università degli Studi di Torino)
Maurizio Del Monte (Sapienza Università di Roma)
Eugenio Di Loreto (Sigea)
Francesco Faccini (Università degli Studi di Genova - Sigea)
Riccardo Fanti (Università degli Studi di Firenze)
Antonello Fiore (Sigea)
Giandomenico Fubelli (Università degli Studi di Torino)
Giuseppe Gisotti (Sigea)
Fabrizio Kranitz (Regione Friuli Venezia Giulia)
Luca Lanteri (Arpa Piemonte)
Vincenzo Latagliata (Città Metropolitana di Torino)
Piernicola Lollino (CNR – IRPI)
Fabio Luino (CNR – IRPI)
Giuseppe Mandrone (Università degli Studi di Torino)
Fausto Marincioni (Università Politecnica delle Marche)
Endro Martini (Alta Scuola – Sigea)
Luciano Masciocco (Università Degli Studi di Torino – Sigea)
Enrico Miccadei (Università degli Studi “Gabriele d’Annunzio” Chieti – Pescara)
Michele Orifici (Sigea)
Vincent Ottaviani (Sigea)
Guido Paliaga (CNR – IRPI - Sigea)
Giovanna Pappalardo (Università degli Studi di Catania)
Mario Parise (Università degli Studi di Bari “Aldo Moro”)
Luigi Perotti (Università degli Studi di Torino)
Paola Pino d’Astore (Sigea)
Sara Ratto (Regione Val d’Aosta)
Daniela Ruberti (Università degli Studi della Campania)
Gabriele Scarascia Mugnozza (Sapienza Università di Roma)
Nicola Sciarra (Università degli Studi “Gabriele d’Annunzio” Chieti – Pescara)
Giuseppe Spilotro (Sigea - Cnr Irea - Ba)
Laura Turconi (CNR – IRPI)
Gaetano Vinci (Fondazione INARCASSA)
Sergio Vinciguerra (Università degli Studi di Torino)



Via Ingegneria ha superato i trenta anni di attività. Fondata nel 1988 è cresciuta con la realizzazione di progetti infrastrutture in Italia e all'estero.

Via Ingegneria sviluppa i progetti in ogni loro fase, dal concept fino al progetto esecutivo e alla direzione dei lavori con particolare attenzione alle problematiche di inserimento nel contesto geologico e geomorfologico e paesaggistico.

Con questa mission abbiamo progettato, reso cantierabili e completato decine di grandi opere che sono oggi parte della rete infrastrutturale del nostro paese.

Partendo dalla progettazione di ferrovie, strade e gallerie la nostra storia è continuata con l'acquisizione di specializzazioni in altri campi, fino agli ultimi progetti di opere strategiche.



Prefazione

Sono lieto di presentare gli Atti del seminario dal titolo “Analisi e attività di mitigazione dei processi geo-idrologici in Italia”, tenuto a Roma nello scorso mese di novembre e sono grato alla Società Italiana di Geologia Ambientale di avermelo proposto.

Il tema trattato ha sempre avuto per me, che per anni sono stato Assessore all'Urbanistica del Comune di Roma, un grande interesse e ancora di più negli ultimi mesi, da quando sono diventato Sottosegretario al Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare e il Ministro ha ritenuto di delegarmi a seguire le politiche in materia di dissesto idrogeologico e consumo del suolo.

Siamo un Paese fragile. Una fragilità figlia della Natura ma anche di uno sviluppo distorto.

L'edizione 2018 del Rapporto ISPRA sul riporta che in Italia 7.275 comuni (91% del totale) sono a rischio per frane e/o alluvioni; in particolare 1,28 milioni di abitanti sono a rischio frane e oltre 6 milioni di abitanti a rischio alluvioni.

L'Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia realizzato dall'ISPRA e dalle Regioni e Province Autonome, lo strumento che fornisce un quadro dettagliato sulla distribuzione dei fenomeni franosi sul territorio italiano, ha censito ad oggi 620.808 fenomeni franosi che interessano un'area di circa 23.700 km, pari al 7,9% del territorio nazionale.

E nel Paese che ha il maggior numero di siti patrimonio dell'umanità riconosciuti dall'UNESCO, se facciamo riferimento ai Beni Culturali registrati dal MiBACT nella banca dati VIR, abbiamo il 18,6% di essi a rischio frane e molti di più a rischio alluvioni: il 6,8% del totale dei Beni Culturali censiti sono in aree a pericolosità idraulica elevata, il 15,3% in aree a pericolosità idraulica media e il 19,4% nello scenario di pericolosità bassa.

Sono numeri che parlano da soli e che dimostrano la scarsa considerazione che abbiamo avuto negli anni per il nostro territorio.

D'altra parte Engels ce l'aveva già indicato nel 1876 nella in cui scriveva: “Non aduliamoci troppo per la nostra vittoria sulla natura; la natura si vendica di ogni nostra vittoria.”

E questa riflessione credo ci debba guidare da qui in poi perché ora è davvero necessario invertire la rotta.

Per prima cosa abbiamo bisogno di riconoscere il valore della professionalità, di dare il giusto riconoscimento al parere dei tecnici, come purtroppo la pandemia Covid – su altri ambiti – ci ha ricordato negli ultimi mesi.

Per mitigare e prevenire i processi di dissesto idrogeologico in Italia bisogna ripartire dalle conoscenze e dalle competenze di esperti che sappiano leggere i messaggi che la Terra ci manda e li interpretino, garantendo il necessario equilibrio tra Uomo e Natura.

A seguire dobbiamo semplificare, con provvedimenti normativi, le procedure per il finanziamento degli interventi che attualmente prevedono una articolata fase istruttoria e di interlocuzione con le singole Regioni. Abbiamo avviato il percorso per una modifica dei criteri, al fine di snellire il processo di programmazione delle opere da realizzare e di equilibrare la prioritizzazione degli interventi sulla base dell'effettiva urgenza necessaria a contrastare un fenomeno di dissesto.

Roberto Morassut
Sottosegretario di Stato per il Ministero dell'ambiente
e della tutela del territorio e del mare

Presentazione

Il *Rapporto ISPRA sul dissesto idrogeologico in Italia* (ed. 2018) evidenzia come nel nostro Paese il numero di comuni interessati da pericolosità per frana elevata e molto elevata e per rischio idraulico alto e medio sono ben il 91,1%, cioè 7.275 su 7.983, e la superficie delle aree pericolose è pari a oltre 300.000 kmq, cioè supera il 16% di tutto il territorio italiano.

Per comprendere la portata degli effetti del dissesto geo-idrologico (termine più idoneo per indicare frane e alluvioni), ai dati dell'ISPRA se ne devono associare altri più drammatici.

Il *Rapporto Periodico sul Rischio posto alla Popolazione italiana da Frane e Inondazioni* (ed. gennaio 2019), pubblicato dall'Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica (IRPI) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), evidenzia come nel periodo 2000-2018 in Italia ci sono stati 417 morti, 21 dispersi, 679 feriti e ben 159.184 evacuati e senza tetto.

Dobbiamo partire da questi dati per capire quanto fragile sia il nostro territorio dal punto di vista geologico e quanto siamo stati egoisti nell'occupare suolo destinato al naturale evolversi dei fenomeni naturali, pensando di avere la pretesa di poterli arginare con opere strutturali.

È recente la Deliberazione della Sezione centrale di controllo sulla gestione delle Amministrazioni dello Stato della Corte dei Conti che evidenzia come lo "Scarso utilizzo delle risorse stanziare per il Fondo progettazione contro il dissesto idrogeologico e inefficacia delle misure sinora adottate, di natura prevalentemente emergenziale e non strutturale". Nella relazione sul *Fondo per la progettazione degli interventi contro il dissesto idrogeologico (2016-2018)* approvata dalla Sezione centrale di controllo sulla gestione delle Amministrazioni dello Stato della Corte dei Conti con deliberazione n. 17/2019/G del 31 ottobre scorso, si rileva che delle risorse effettivamente erogate alle Regioni, a partire dal 2017, solo il 19,9% del totale complessivo (100 milioni di euro) in dotazione al Fondo progettazione è stato utilizzato. Sono numerose le criticità a livello nazionale e a livello locale rilevate: l'inadeguatezza delle procedure e la debolezza delle strutture attuative; l'assenza di adeguati controlli e monitoraggi; la mancata interoperabilità informativa tra Stato e Regioni; la necessità di revisione dei progetti approvati e/o delle procedure di gara ancora non espletate; la frammentazione e disomogeneità delle fonti dei dati sul dissesto.

Per affrontare con lungimiranza la mitigazione del dissesto idrogeologico nel nostro territorio riteniamo che prioritariamente si debba procedere con la *pianificazione territoriale di settore* e con il *rispetto assoluto delle regole che essa detta*, oltre che con interventi strutturali su zone già colpite dai dissesti.

Una corretta pianificazione territoriale comporterebbe infatti una drastica diminuzione del rischio geo-idrologico: infatti, mentre non è possibile in Italia evitare di costruire in zone pericolose dal punto di vista sismico (in questo caso siamo costretti a mitigare il rischio sismico intervenendo sulla vulnerabilità degli edifici), nessuno ci obbliga a costruire in zone pericolose dal punto di vista geomorfologico.

La pianificazione territoriale dovrebbe essere effettuata *a scala di bacino idrografico* (è previsto ma *di fatto ancora non lo è*), in modo da identificare con *criteri univoci* e su un'area delimitata da confini fisici (e non amministrativi) le zone a diversa pericolosità geomorfologica e quindi a diversa utilizzazione urbanistica. Gran parte degli edifici purtroppo sono stati costruiti in zone pericolose o in tempi anteriori alle norme urbanistiche o successivamente, in modo illegale, ma poi condonati.

Per mitigare il rischio geo-idrologico cui sono sottoposti, è giusto abbassare la vulnerabilità di tali edifici costruendo delle opere di difesa (quali ad esempio argini fluviali o valli paramassi) ma è dissenato permettere, a seguito della realizzazione delle opere, "*la realizzazione di nuove edificazioni, ampliamenti o completamenti*" (come è previsto dalla legge).

Per quanto riguarda gli interventi strutturali si vuole evidenziare che gli stessi per svolgere un ruolo efficace si devono basare su una buona progettazione

che determina una buona realizzazione, utilità e durabilità delle opere. Al fine di consentire la fruizione in tempi realistici dei finanziamenti per opere strutturali, concessi per progetti “cantierabili”, dovrà essere potenziato e reso efficace, il finanziamento per la predisposizione dei progetti definitivi ed esecutivi, anche con piani pluriennali.

Per quanto riguarda la *manutenzione le opere infrastrutturali strategiche* e quelle di mitigazione dei rischi geo-idrologici, è necessario approntare un programma di verifiche e di interventi, finalizzati al ripristino, al miglioramento, ovvero all’adeguamento delle stesse, su base pluriennale, tenendo conto di una priorità stabilita in funzione del grado di rischio.

Per la manutenzione del territorio collinare e montano, interessato da fenomeni di dissesto, occorre un piano – programma di gestione delle aree agricole e boscate, per coniugare attività economiche di tipo silvopastorale, agricolo e turistico ricettivo, alla manutenzione dei territori abbandonati dall’uomo, a causa dell’urbanesimo e del cambiamento del modello di società, prospettando un auspicato ripopolamento di tali luoghi.

Infine si ritiene necessario predisporre e standardizzare il *piano di monitoraggio decennale delle opere strategiche* a vari livelli in tutto il paese, con riguardo non solo alle strutture ma ai contesti geologici, sismici e geomorfologici che possano interferire con le stesse. Obiettivi dei monitoraggi sono l’adeguamento costante del quadro conoscitivo e degli strumenti di pianificazione e dei programmi di realizzazione delle opere strutturali, puntuali e lineari. Il monitoraggio strumentale in tempo reale dovrà consentire, inoltre, l’attivazione delle procedure di emergenza dei piani di protezione civile, in particolare, laddove la rapidità dei fenomeni sia tale da non consentire la previsione degli stessi.

Il presente volume di 256 pagine, disponibile liberamente online, è introdotto da 9 relazioni dei rappresentanti degli enti e istituzioni nazionali più coinvolti nel dibattito sul dissesto geo-idrologico ed è costituito da 34 articoli, organizzati nelle stesse quattro sessioni in cui è stato strutturato il seminario:

- Sessione 1 - Analisi e modellazione dei processi geo-idrologici: frane, alluvioni e sprofondamenti
- Sessione 2 - Evoluzione dei processi e sistemi di monitoraggio
- Sessione 3 - Interferenza dei processi geo-morfologici con strutture e infrastrutture
- Sessione 4 - Interventi strutturali e non strutturali per la mitigazione del rischio.

I 34 articoli sono arricchiti da 351 figure (diagrammi, cartografie, foto, etc.) e da 80 tabelle, che testimoniano il notevole lavoro di documentazione e di elaborazione tecnico-scientifica sugli aspetti trattati.

Alla realizzazione del volume, oltre ai 126 autori di memorie e relazioni, hanno contribuito i 51 esperti, tra docenti, ricercatori e professionisti, che hanno composto il Comitato Scientifico per la revisione dei lavori.

Siamo grati a tutti coloro che hanno reso possibile lo svolgimento del seminario nonché la realizzazione del presente volume sui problemi di un territorio geomorfologicamente fragile come quello del nostro Paese.

Ringraziamo il Sottosegretario del Ministero dell’Ambiente della Tutela del Territorio e del Mare, Roberto Morassut, per aver curato la prefazione.

Grazie ancora a tutti i protagonisti di questo volume e buona lettura.

Antonello Fiore
Presidente Sigea

Luciano Masciocco
Coordinatore area tematica Sigea “Dissesto idrogeologico”

Scuola di Alta Specializzazione e Centro Studi per la Manutenzione e Conservazione dei Centri Storici in Territori Instabili

Alta Scuola è un'Associazione Culturale e Scientifica no profit istituita nel 1999 dalla Regione Umbria e dai Comuni di Orvieto e Todi su iniziativa dell'Osservatorio per il Controllo e la Manutenzione Permanente della Rupe di Orvieto e del Colle di Todi.

MISSION

Alta Scuola svolge attività scientifiche, culturali, didattiche e di ricerca, fornisce assistenza specialistica e consulenza nel settore della governance del territorio e della mitigazione dei rischi naturali, della prevenzione, preparazione e protezione dagli eventi calamitosi, del rischio sismico ed idrogeologico e delle situazioni di dissesto delle aree instabili del territorio e delle opere insistenti o previste su tali aree, con specifica attenzione al consolidamento, alla manutenzione ed alla conservazione dei Centri Storici in Territori Instabili e dei Beni Culturali.

ATTIVITÀ

Le attività dell'Associazione sono esercitate sia direttamente che tramite specifici accordi di partenariato e sono finalizzate a:

- fornire agli associati e ad altri soggetti pubblici consulenze e servizi tecnici specialistici nei settori di competenza dell'Alta Scuola;
- organizzare corsi di formazione destinati ai tecnici e funzionari della Pubblica Amministrazione, ai liberi professionisti ed a tecnici delle imprese, con funzioni anche di aggiornamento ed educazione permanente;
- svolgere studi superiori a carattere internazionale e di elevato profilo scientifico, destinati ai ricercatori ed agli studiosi delle discipline geologiche, geotecniche, idrologiche ed idrauliche, agrarie e forestali, architettoniche, urbanistiche e paesaggistiche, sismiche ed a quelle connesse con la conservazione del patrimonio artistico e monumentale.

MULTIDISCIPLINARIETÀ

Alta Scuola favorisce la cooperazione tra le Amministrazioni ed un approccio interdisciplinare tesi alla realizzazione di nuovi strumenti e modalità di governance del territorio e della tutela dell'ambiente. Cura lo sviluppo, la diffusione e l'applicazione di metodi concettuali e di tecnologie e tecniche d'intervento relativamente alla soluzione dei problemi di stabilità del territorio ed alla salvaguardia e conservazione del patrimonio culturale. Stabilisce a tal fine relazioni con istituzioni nazionali o internazionali, e favorisce la creazione di rapporti di collaborazione scientifica e tecnica con studiosi e ricercatori qualificati dei vari paesi del mondo. Partecipa ad iniziative volte allo sviluppo di tecnologie e tecniche di intervento nei settori di competenza, in collaborazione con Enti Pubblici e Privati, Organizzazioni Finanziarie, Industriali e Commerciali, Soggetti Istituzionali e Sociali, acquisendo anche gli eventuali brevetti derivanti da tali attività. Ha infine la facoltà di curare la pubblicazione e la commercializzazione di trattati e riviste, di conferire encomi, riconoscimenti e premi a carattere periodico od eccezionale e di svolgere ogni altra attività utile al raggiungimento dei fini istituzionali.

Sede Operativa in Orvieto, Via delle Conce n.5

Sede Didattica in Todi, Palazzo Comunale

segreteria@altascuola.org



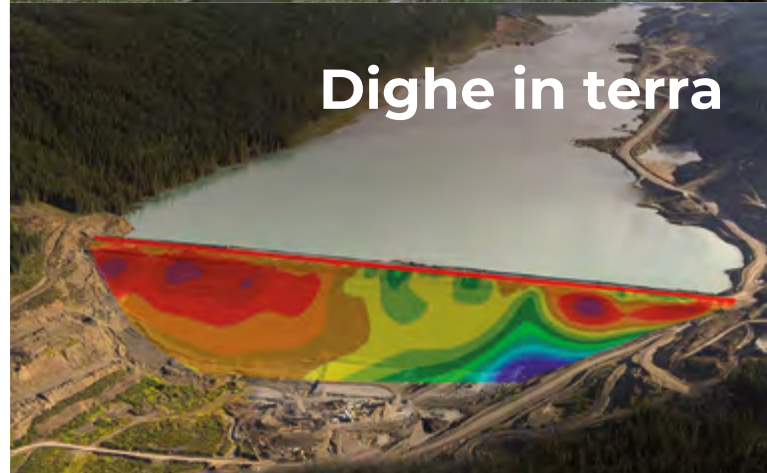
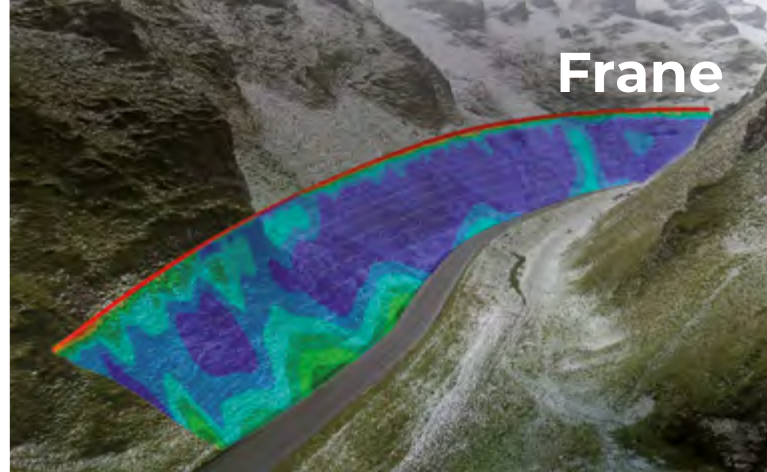
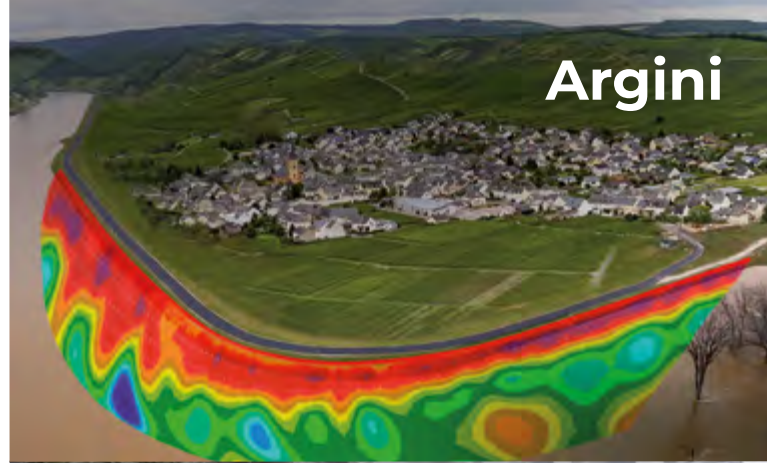
**RELAZIONI
DI APERTURA**

SIGEA



Environmental
Monitoring Solutions

G.eo
Re.sistivimeter for
T.ime lapse
A.nalysis



G.Re.T.A.

MONITORAGGIO GEOELETTRICO
PERMANENTE

www.lsi-lastem.com

Ringrazio innanzitutto tutti coloro che hanno contribuito all'organizzazione di questo evento che rappresenta sicuramente un'occasione di confronto e di formazione. Mi auguro che questa giornata riuscirà a fornire una conoscenza più approfondita e chiara su una materia complessa come quella del dissesto idrogeologico.

Per comprenderne la complessità e capire quanto ci riguarda, voglio partire da un dato molto significativo¹: 9 comuni su 10 sono a rischio per frane e/o alluvioni (91% del totale). Questo dato mi permette di fare due considerazioni: da un lato, rende palese l'attenzione e la manutenzione costante di cui il nostro territorio ha bisogno; dall'altro però, ci fa capire quanto negli ultimi anni tale materia sia stata affrontata non senza numerose difficoltà. Il 31 ottobre infatti, la Corte dei Conti ha pubblicato i risultati della relazione² sul "Fondo per la progettazione degli interventi contro il dissesto idrogeologico (2016-2018)", che ha evidenziato diverse criticità sul funzionamento e la gestione del fondo nonché sulle misure adottate:

- *scarso utilizzo delle risorse del Fondo* (solo il 19,9% dei 100 milioni di euro in dotazione al Fondo);
- *inadeguatezza delle procedure e debolezza delle strutture attuative;*
- *assenza di adeguati controlli e monitoraggi;*
- *mancata interoperabilità informativa tra Stato e Regioni;*
- necessità di revisione dei progetti approvati e/o delle procedure di gara ancora non espletate;
- frammentazione e disomogeneità delle fonti dei dati sul dissesto;
- difficoltà delle amministrazioni nazionali e locali di incardinare l'attività di tutela e prevenzione nelle funzioni ordinarie e il conseguente ricorso ripetuto alle gestioni commissariali.

I dati oggi dimostrano che il Paese è interessato, in misura sempre maggiore, da fenomeni diffusi di dissesto idrogeologico che si sono amplificati sia per gli effetti dei cambiamenti climatici che per l'aumento del consumo del suolo. Questo fa sì che le misure abbiano nella stragrande maggioranza dei casi un carattere d'emergenza piuttosto che di prevenzione. Il 20 febbraio, con decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri, si è approvato il "Piano nazionale per la mitigazione del rischio idrogeologico, il ripristino e la tutela della risorsa ambientale", anche detto *ProteggItalia*, strutturato in cinque ambiti d'intervento:

1. misure di *emergenza*, con 3,124 miliardi per le 16 regioni (e provincie autonome) per le quali è stato dichiarato lo stato d'emergenza (2,6mld legge di bilancio / 524mln DL fiscale);
2. misure di *prevenzione*, con 6,6 miliardi per gli interventi strutturali richiesti dai commissari straordinari per il dissesto (che saranno gli stessi Presidenti di Regione);
3. misure di *manutenzione*, con 2,4 miliardi per gli interventi finalizzati a:
 - ✓ difesa idrogeologica delle aree montane, agricole e forestali;
 - ✓ salvaguardia di infrastrutture legate all'agricoltura;
 - ✓ gestione forestale sostenibile;
 - ✓ recupero dei terreni abbandonati e di difesa dei boschi;
4. misure di *rafforzamento*
 - ✓ della *governance*, tramite l'istituzione di una segreteria tecnica (presso il MATTM) di supporto e monitoraggio; tutto ciò comporterà una velocizzazione delle procedure e un'ottimizzazione delle risorse;
 - ✓ dell'*organizzazione*, tramite il supporto amministrativo agli Enti locali per la progettazione degli interventi e per l'incentivazione alla spesa dei fondi europei destinati al dissesto idrogeologico

1 http://www.isprambiente.gov.it/files2018/publicazioni/rapporti/rapporto-dissesto-idrogeologico/Rapporto_Dissesto_Idrogeologico_ISPRA_287_2018_Web.pdf

2 <https://www.corteconti.it/Download?id=1588e2fb-c42f-48a2-93cd-ef9dc49ddcfa>

5. misure di *semplificazione*, tramite l'approvazione del DDL "Cantiere Ambiente" che confermerà gli aggiustamenti normativi del ProteggItalia e ne aggiungerà di nuovi;

E proprio sul Cantiere Ambiente vorrei spendere qualche parola, visto che ne sarò il relatore. Questo DDL è un provvedimento volto a realizzare una nuova politica di prevenzione del rischio in cui diventi sempre più strategico il ruolo della programmazione (e dei Commissari straordinari delegati) e in cui siano ben definite le competenze di tutti i diversi attori in campo.

Occorre sapere in modo inequivocabile chi fa cosa, poiché sia una ripartizione poco chiara delle competenze sia una regolamentazione eccessiva della materia hanno paralizzato i nostri cantieri.

La proposta mira inoltre a delineare un sistema semplificato in cui individuare i programmi d'intervento prioritari da perseguire per la mitigazione del dissesto e quelli da pianificare per la prevenzione e manutenzione. Interventi rapidi e mirati.

A tal fine si introducono:

- i *Commissari straordinari delegati* (ovvero i Presidenti di Regione), a cui saranno attribuiti più poteri per consentire una maggiore tempestività nel predisporre i Programmi d'azione triennali e per coordinare la realizzazione degli interventi previsti;
- i *Nuclei operativi di Supporto* (NOS), squadre di tecnici ed esperti che affiancheranno i commissari in ogni regione e li supporteranno nelle attività da porre in essere;
- la *Segreteria Tecnica* per le azioni di contrasto al dissesto geologico (già regolamentata nel ProteggItalia), un team di sette consulenti esperti presso la *Direzione generale per la Salvaguardia del Territorio e delle Acque* (STA) nel MATTM, che avrà un fondamentale ruolo di coordinamento e raccordo nei confronti di tutta la rete dei soggetti coinvolti nei programmi, nonché di controllo rispetto agli interventi in corso di attuazione e ai risultati raggiunti.
- i *Green Manager* (istituiti da ciascuna Amministrazione e scelti tra il personale dirigente in servizio), ovvero i referenti dell'implementazione ambientale, la cui funzione consiste nel monitoraggio dell'attuazione del Programma di interventi.

Siamo sicuri che queste innovazioni permetteranno di intervenire in tempi ragionevoli per la salvaguardia del territorio e lo svolgimento di tutte le attività progettuali che, non essendo più soggette a continui rallentamenti burocratici, ci consentiranno di riaprire i nostri cantieri. Come ha più volte ribadito anche il ministro dell'Ambiente Sergio Costa, i fondi ci sono ma ora bisogna spenderli.

Oltre a quanto detto, siamo consapevoli che per mitigare il dissesto idrogeologico è comunque indispensabile disporre di un quadro conoscitivo puntuale e aggiornato della pericolosità e del rischio alluvionale o di frana di tutte le zone a rischio del nostro paese. Ecco perché voglio rilanciare il progetto Carg, che prevede la realizzazione di una banca dati da cui ricavare carte geologiche e geotematiche la cui utilità sarebbe indiscussa.

I dati cartografati costituiscono una tappa fondamentale per la conoscenza del territorio e dalla loro elaborazione scaturirebbero una corretta pianificazione e gestione del territorio, in particolar modo per quanto riguarda la prevenzione, la riduzione e la mitigazione del rischio idrogeologico.

Concludo con un augurio: l'azione politica non può prescindere dal prezioso contributo di tutti gli esperti del settore (geologi, ingegneri, architetti, agronomi e forestali) specialmente in un ambito così delicato.

Mi auspico, da docente prima ancora che da senatore, che si crei un solido rapporto di collaborazione tra enti e professionisti, perché solo nella condivisione di intenti e di azioni coerenti e comuni riusciremo a perseguire gli obiettivi in maniera incisiva ed efficace.

Ruggiero Quarto

Commissione Territorio, Ambiente, Beni Culturali del Senato della Repubblica

L'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, istituito con Legge 133/2008) ha tra i suoi numerosi compiti istituzionali quello di prevenire, mitigare e monitorare il rischio geo-idrologico che si manifesta su ampie parti del nostro Paese, ed ha individuato in un suo specifico Dipartimento (Dipartimento per il *Servizio Geologico d'Italia*) la struttura in grado di effettuare gli studi e le ricerche necessari a porre in essere gli strumenti operativi in grado di contrastare i fenomeni di degrado del territorio italiano.

I dati che emergono dalle attività svolte dal *Servizio Geologico d'Italia* in questo campo di intervento, in particolar modo mediante l'implementazione e la gestione del Progetto IFFI "Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia", mostrano ad oggi la presenza di oltre 620 mila fenomeni franosi che interessano un'area di più di 24 mila chilometri quadrati, pari ad oltre il 7,9 per cento del territorio nazionale e denotano pertanto una estrema fragilità geologica della superficie territoriale a cui si assommano le attività sismiche che acuiscono gli effetti del dissesto geo-idrologico nelle aree colpite.

Sulla base di questa realtà, che vede la popolazione italiana esposta a fenomeni franosi ed alluvionali ammontare ad oltre un milione di abitanti, l'ISPRA ha organizzato la gestione del "Repertorio nazionale degli interventi per la difesa del suolo" (ReNDiS), una specifica Banca Dati nata come sviluppo ed integrazione delle attività di monitoraggio sul territorio svolto dal *Servizio Geologico d'Italia* sui Piani ed i Programmi di interventi urgenti per la mitigazione del rischio idrogeologico finanziati dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.

Il principale obiettivo del Repertorio è la formazione di un quadro unitario, costantemente aggiornato, delle opere e delle risorse impegnate nel campo di difesa del suolo, condiviso tra tutte le Amministrazioni che operano nella pianificazione ed attuazione degli interventi, e si propone altresì come uno strumento conoscitivo utile a migliorare il coordinamento e, quindi l'ottimizzazione, della spesa nazionale per la difesa del suolo, nonché di favorire la trasparenza e l'accesso dei cittadini alle informazioni.

Per il contrasto al dissesto idrogeologico l'Istituto provvede inoltre alla costante realizzazione, informatizzazione, stampa e distribuzione delle carte geologiche e geotematiche ufficiali a varie scale del territorio nazionale e delle collane editoriali ad esse connesse, che sono pubblicate dal Dipartimento per il *Servizio Geologico d'Italia* in qualità di Organo Cartografico dello Stato ai sensi della legge n.68/1960, nell'ambito del progetto di Cartografia Geologica Nazionale (Progetto CARG).

In occasione pertanto del trentennale della promulgazione della Legge 183/89 sulla Difesa del Suolo, l'ISPRA ed il suo Dipartimento per il *Servizio Geologico d'Italia*, possono affermare di poter dare un contributo importante al Paese per la riduzione della sua vulnerabilità e per l'individuazione dei necessari interventi strutturali in grado di contenere gli effetti dei processi geo-morfologici naturali ed indotti sulla sua superficie, collaborando in sinergia con le altre Amministrazioni dello Stato sia Centrali che Locali e con altri Enti e Società di natura scientifica per raggiungere questo comune scopo.

Claudio Campobasso
ISPRA

L'attività di mitigazione dei rischi naturali, di prevenzione strutturale e non strutturale, è sempre mancata nel nostro Paese. Ma non è più rinviabile. L'Italia, infatti, è un incanto esagerato! Come sanno bene i geologi, la nostra penisola è la più giovane terra della nostra Terra, è l'ultima nata dalle acque del grande Oceano oggi scomparso, che i greci antichi chiamavano Tetide, appena 200 milioni di anni fa, adagiandosi come un lungo pontile tra le braccia del Mediterraneo. È una penisola di una bellezza incomparabile e infinita, da qualsiasi angolo visuale la guardiamo. E contiene quasi tutti gli habitat dell'intero Pianeta: alte montagne alpine, ghiacciai relitti, monti e colline, vallate, altopiani, pianure, torrenti, fiumi e specchi d'acqua di ogni dimensione, gole, paludi, delta fluviali, coste sabbiose e rocciose e quasi desertiche, grotte, dune, scogliere, lagune, golfi, baie, promontori, falesie, scogli, faraglioni, isole e arcipelaghi di isole.

Ma questo meraviglioso spettacolo naturale va preso con le molle. Tra tanta bellezza, infatti, si nasconde l'esposizione ad una vasta gamma di rischi naturali, ed è sempre stato straripante il rischio idrogeologico. Basta dare un occhio all'orografia e alla morfologia della penisola. È vasta 301.000 chilometri quadrati, e di questi, 106.000 sono montagne e 125.000 colline, la pianura si estende per soli 70.000 chilometri quadrati, nemmeno il 25%. Già questi numeri dicono tutto. Siamo un lungo Paese montuoso, per tre quarti con altitudine media di 337 metri sul livello del mare, e questo primo dato di rischio aumenta se combinato con la giovane natura geologica dei suoli e con il groviglio del sottosuolo. Le nostre montagne si sono, infatti, strutturate "appena" 24 milioni di anni fa, e i terreni sono in grandissima parte argillosi e sabbiosi e dunque abbastanza incoerenti e, come rifletteva Leonardo, sono sempre condizionati dal "moto" delle acque, dal lavoro di erosione di piogge, venti, gelo o siccità. Sono poi soggetti a mareggiate ed erosioni diversi tratti della nostra stupenda fascia costiera lunga 7.458 chilometri, comprese le isole principali, con un terzo di costa alta, un terzo sabbiosa e bassa, un terzo di scogli.

Su questa geofisica scorre tanta acqua. Siamo noi, infatti, il Paese più ricco d'acqua d'Europa e forse del mondo. Abbiamo in custodia la più ricca e complessa idrologia del continente europeo. Le rilevazioni dell'ultimo mezzo secolo calcolano ogni anno la bella media di 302 miliardi di metri cubi di pioggia, molto superiore a quasi tutti gli altri Paesi. Per questo, nessun altro europeo può vantare 7.494 corsi d'acqua, 347 laghi con 12.500 piccoli invasi regionali e 4000 specchi d'acqua alpini, 12.000 piccoli invasi regionali e 1.053 falde sotterranee serbatoi di acqua purissima e buonissima. Questo dato risponde al perché siamo tra i primi Paesi al mondo per perdite di vite umane e danni economici da dissesto idrogeologico, e perché nel solo ultimo secolo 1.319 importanti eventi di frana e 972 alluvioni hanno lasciato circa 10 mila morti con danni ed evacuazioni che hanno interessato, come rilevano i dati CNR quasi 5 mila località di 2.458 Comuni in tutte le 20 Regioni, lasciando nella desolazione intere comunità e distruggendo infrastrutture, aree produttive, testimonianze storiche.

I monitoraggi aggiornati delle Autorità di bacino distrettuale, il censimento delle Aree Vulnerate del CNR, l'Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia del Progetto IFFI di ISPRA, i dati di Regioni e Province Autonome, dimostrano che siamo il paese europeo maggiormente interessato da fenomeni franosi. Siamo sul podio europeo per colate di fango e roccia: sulle circa 750.000 frane censite sul continente, 620.808 interessano la penisola da nord a sud isole comprese, il 16.6% del territorio nazionale, e località di 7.275 comuni sul totale di 7904, in pratica quasi tutti. Risiedono in queste aree 1.281.970 abitanti, gli edifici sono 550.723, le strutture industriali 82.948 con 217.608 addetti. Impressiona anche il livello elevato raggiunto dall'"indice di franosità montano-collinare", molto aggravato dall'assenza di manutenzioni ordinarie e straordinarie e, in tanti casi, di opere di contenimento, e per l'eredità di cementificazioni senza scrupoli e in gran parte abusive o condonate.

Il Paese delle alluvioni è un'altra mappa con migliaia di aree in emergenza. Quelle a più elevato rischio complessivamente sono vaste 12.405 km², quelle a pericolosità media 25.398 km², e a pericolosità bassa 32.961 km². In quelle a più bassa rischiosità vivono 2.062.475 residenti, nelle zone a pericolosità media 6.183.364 abitanti, e 4,8 milioni vivono in aree allagabili con 1.351.578 edifici e 596.254 strutture industriali con 2.306.229 addetti e 31 mila i beni culturali. Del resto, se le parole hanno un senso, noi italiani abbiamo un mare di definizioni per dire semplicemente *frana* o *alluvione*. L'inondazione termologica del rischio va dall'arcaico *diluvio* a *piena*, *allagamento*, *inondazione*, *rotta*, *esondazione*, *straripamento*, *tracimazione*, *fiumana*, *trabocco*, *sormonto*, *valanga d'acqua*, *bomba d'acqua*... Un altro elenco di toponimi evoca idrografie particolari esposte sulla segnaletica stradale non più di aree disabitate ma con interi paesi, borghi, quartieri, agglomerati, lottizzazioni, zone industriali, artigianali, commerciali e turistiche: *fosso o fossa*, *pantano*, *bagni*, *settebagni*, *bagnoletto*, *bagnolo*, *marana*, *maranella*, *stagni o stagno*, *fontanelle*, *padule*, *palude*, *piscina*, *laghetto*, *fiumara*, *acquaviva*, *acquafresca*, *acque-dolci*, *acqua traversa*, *rio*, *rio fresco*, *rio secco*, *rio corto*, *fonte*, *canale*, *fossato*, *riva*, *isola*, *isolotto*, *foce*, *gora*, *naviglio*, *isola persa*, *morena*, *catino*, *pozza*, *pozzallo*, *acquapendente*.

Nei soli confini della Capitale troviamo le località *Infernetto*, *Punta Maledetta*, *Punta Malafede*, *via Affogalasio*, *Isola Sacra*, *via delle idrovore*.

Questa eredità linguistica avrebbe dovuto imporre tanta cautela, vincoli inviolabili, delocalizzazioni, difese strutturali, visto che ricordano rive di fiumi, antichi acquitrini, isole fluviali, primordiali paludi, morfologie da brivido, eventi alluvionali e di frana. Vanno poi aggiunti anche i tanti musei all'aperto delle alluvioni storiche che hanno lasciato segni sui muri di tante città e paesi.

Lo stesso racconto vale per la moltiplicazione della parola *frana*. Nel nostro vocabolario troviamo anche *crollo*, *fenomeno franoso*, *franamento*, *smottamento*, *scoscendimento*, *scivolamento*, *sprofondamento*, *sfaldamento*, *slittamento*, *colata*, *flusso*, *valanga*, *cedimento*, *caduta*, *tracollo*, *dissesto*, *rovina*, *slavina*, *frattura*, *distacco*, *colata*, *colamento*, *dilavamento*... E le forme del terreno offre definizioni uniche: *macereto*, *ghiaione*, *brecciaio*, *balza*, *calanco*, *forra*, *foiba*, *botro*, *borro*, *gravina*, *cava*, *roggia*, *ancnella*, *tombolo*, *cunetta*, *montarozzo*. Conoscete meglio di me il *Vajont* dell'ecatombe, il nome della località che in dialetto locale vuol dire "Va Giù", e il monte *Toc* che franò dentro la diga che vuol dire *monte marcio* o *monte in bilico*. La frana killer della Val di Stava colpì la località dal nome evocativo *Pian della Pozza*. Sulle colline d'Italia ci sono *Località la Frana*, come a Volterra, raggiungibili da *via della Frana*. Esempi del mosaico di terre franose con costoni e versanti in bilico occupati da folli urbanizzazioni che si cercano di puntellare con muri di sostegno, ancoraggi, tiranti d'acciaio, piastre metalliche, micropali, iniezioni di cemento e calcestruzzo, reti paramassi. Dal nostro più ampio fronte di frana del Tessino nel bellunese, alle miriadi di piccole frane nei pendii dalla Val d'Aosta alla Liguria, dall'Appennino Emiliano e Toscana ai rilievi d'Abruzzo, dal Lazio dove anche nell'area metropolitana della Roma dei sette colli segnaliamo 384 zone in frana ai versanti della Campania, della Calabria e della Sicilia, l'impatto anche sulle nostre infrastrutture viarie e di trasporto è notevole: su 7.000 chilometri di rete autostradale sono oltre 700 i punti critici franosi, e sui 16.700 km di rete ferroviaria sono circa 2.000, con un totale di 7.000 chilometri esposti a rischi idrogeologici. E sono a rischio anche 188.565 tesori culturali sparsi sul territorio, un numero stratosferico censito da Ispra.

E mai come oggi, niente riesce a rappresentare meglio del ciclo dell'acqua le emergenze del nostro tempo aggravate dagli effetti del cambiamento climatico in corso e che già impattano anche su alcune aree della penisola e tenderanno a diventare più acuti in assenza di interventi e opere per poter gestire sempre più lunghi periodi di siccità e deficit pluviometrici con l'altra faccia della medaglia che sono alluvioni sempre più a carattere "esplosivo", la salinizzazione con l'effetto cuneo salino che sta colpendo gli acquiferi costieri con penetrazione di acqua marina che inquina le falde dolci, la desertificazione con circa il 20% del territorio nazionale

a rischio inaridimento e in particolare nelle regioni meridionali con riduzione produttività agricola e perdita di biodiversità e l'aumento dei fattori di disturbo biotici con attacchi batterici, parassitari.

Che fare? Provare a diventare un paese normale nella lotta al dissesto idrogeologico. Per la prima volta lo Stato, con la struttura di missione "Italiasicura" dal 2014 a metà del 2018, ha predisposto un piano nazionale di 9.397 opere e interventi per una cifra complessiva di circa 29 miliardi di euro e una pianificazione ordinata e ordinaria con un piano finanziario a lunga scadenza. L'obiettivo era di concludere nell'arco di 15 anni tutte le opere previste, considerando anche che il 92% degli interventi pervenuti da Regioni, Autorità di bacino, Protezione Civile e enti locali erano solo titoli o studi di fattibilità a dimostrazione di un Paese malato che ha perso i concetti di piano, pianificazione, progettazione, programmazione e ha sempre inseguito le emergenze.

Le prime scelte vincenti sono state la nuova *governance* con la nomina dei 20 presidenti di Regione come Commissari straordinari per il contrasto al dissesto, la riduzione a 1 di ben 14 monitoraggi sui fondi stanziati dallo Stato, la semplificazione della burocrazia con la fine dei ricorsi e controricorsi che dai Tar ai Consigli di Stato bloccavano opere in corso e l'apertura dei cantieri grazie alla "norma Bisagno" dello Sblocca Italia che prevede cantieri no-stop fino al collaudo anche in caso di ricorsi in nome dell'utilità dell'opera pubblica. Nuove linee guida hanno vietato manomissioni fluviali come il tombamento dei fiumi, e mai come oggi deve continuare quell'opera colossale di prevenzione strutturale che vedeva impegnate tutte le strutture dello Stato per 365 giorni l'anno.

Non ci sono bacchette magiche, ma ci deve essere un metodo di lavoro con azioni integrate di prevenzione per una grande opera pubblica collettiva.

Dobbiamo ripartire da Quintino Sella che, se visse oggi, impazzirebbe per come è stata ridotta la geologia italiana, scenderebbe in piazza alla vista di tanti bravi geologi sottoutilizzati e costretti a cambiar mestiere o ad affollare le liste di disoccupazione anziché essere impegnati da "geologi condotti" in tutti i nostri Comuni nella redazione dei piani urbanistici, nell'aggiornamento delle mappe di rischio, nel controllo del territorio e quindi delle nostre vite. Era un grand'uomo Sella, ingegnere idraulico e per tre volte austero e potentissimo Ministro delle Finanze del Regno d'Italia. Se è vero che è passato alla storia per l'odiosa tassa sul macinato, è verissimo che fu tra i primi difensori dell'ambiente. In quell'ultimo scorcio dell'Ottocento fondò la Società geologica italiana e avviò la "grandiosa impresa" della redazione della cartografia geologica d'Italia, affidata a quel Servizio Geologico che dal 15 giugno 1873 divenne un gioiellino scientifico del tempo. Era convinto che la tutela e la conoscenza del suolo e del sottosuolo sarebbero stati *asset* sempre più centrali e strategici per lo sviluppo. Dopo di lui divenne invece strategico affossare le sue idee, al punto che la Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 è oggi ancora desolatamente ferma al 40%. Un secolo e mezzo dopo!

Il simbolo amaro della deriva è lo sfratto clamoroso della geologia nazionale dalla sua storica "casa" fatta edificare da Quintino Sella nel 1885. Dopo 110 anni, da 25 anni è evacuato e sbarrato il palazzo liberty di Largo Santa Susanna a Roma che ospitava il Regio Ufficio Geologico dell'Italia. Grida vendetta perché è un triste finale di una immensa memoria abbandonata nel sottoscala e lasciata nel degrado dopo aver ospitato uno dei più straordinari musei geologici del mondo con una vasta biblioteca pubblica con oltre 250.000 volumi, 150.000 reperti di roccia, marmi antichi, pietre preziose, minerali e fossili, alcuni risalenti ad oltre 570 milioni di anni fa, mappe e strumentazione tecnica e storica. Sella donò anche la sua ricchissima collezione di libri scientifici. Ma nel 1995 la frana della politica si abbatté sulla sede del Servizio Geologico che venne ufficialmente "temporaneamente chiuso" con le preziose collezioni inscatolate. Il solito palleggio di competenze ha bloccato ogni restauro e il Servizio Geologico è sparito. La sede fu messa addirittura all'asta, con passaggi di mano che la portarono nel portafoglio-

glio di società finanziarie e immobiliari in parte pubbliche e in parte private, con tentativi di trasformarla in supermercato o *store* di elettronica e telefonia, finché non scoprirono i vincoli archeologici e architettonici. Oggi ci sono lavori in corso, ma per farne una fantomatica sede del “Fondo per il venture capital” del Mise.

È veramente una brutta storia che non ha riscontri altrove. Ma è così difficile capire il significato enorme che avrebbe la restituzione all’Italia e al mondo di quell’edificio storico con il Museo Geologico d’Italia, mostrando le sue belle collezioni e aprendo la sua ricca biblioteca come fanno gli inglesi al Geological Museum di Londra o i francesi alla Galerie de Minéralogie et de Géologie di Parigi? Magari con l’esposizione permanente della Carta Geologica d’Italia completata?

Tutto in linea con una storia che vide, nell’anno delle alluvioni del secolo, il 1966, il nostro Servizio Geologico nazionale disporre di appena di 34 geologi, a metà anni Ottanta solo di 140 come a Cipro mentre in Gran Bretagna erano 900 e in Francia 1600, e nel 2009 iniziarono anche a sopprimere e accorpate i Dipartimenti universitari degli studiosi del suolo e del sottosuolo, falcidiandoli. Un capolavoro fantozziano.

Ecco da dove ripartire, evitando per sempre di compiere altri errori.

Erasmus D’Angelis

Segretario Generale Autorità di Bacino Distrettuale dell’Appennino Centrale

Il mese di novembre 2019 è stato contraddistinto da precipitazioni piovose particolarmente intense, soprattutto in Piemonte e in Liguria. Infatti, i dati delle ARPA delle due regioni, ancorché parziali poiché derivati solo da alcune stazioni rappresentative, indicano valori rispettivamente di 321,3 mm e 546,6 per il Piemonte e la Liguria, con volumi di pioggia superiori al 190% rispetto alla media climatica; sempre in Liguria, la precipitazione cumulata in 24 ore nel giorno 23 novembre 2019 ha raggiunto, in diverse stazioni, valori superiori ai 400 mm.

Nello stesso mese, numerosi movimenti giovanili hanno organizzato i cosiddetti “fridays for future” in tante piazze del mondo. Queste manifestazioni sono culminate nella partecipazione e nell’intervento di Greta Thunberg all’Assemblea Generale delle Nazioni Unite.

Quello dell’influenza antropica sul riscaldamento globale del nostro pianeta è un tema di grande complessità ed è dibattuto, sia scientificamente che politicamente, in maniera anche molto aspro. In questa sede non si vuole entrare nel merito della questione (al riguardo si menziona l’articolo di Nicola Scafetta pubblicato sul numero 1/2019 della rivista *Italian Journal of Engineering Geology and Environment*, edita dal Centro di Ricerca CERI della Sapienza). L’accresciuta sensibilità sociale verso il tema dell’inquinamento a livello globale delle matrici ambientali acqua, aria e suolo, nonché l’allarme ripetutamente lanciato da molti, specie tra più giovani, è certamente un elemento da accogliere con grande attenzione. Ormai le politiche nazionali e internazionali non possono più relegare a un livello di secondo piano i temi legati a un utilizzo sostenibile delle risorse ambientali, mettendo al centro dell’agenda governativa la loro salvaguardia, tutela e oculata gestione. A questo riguardo, grande interesse suscita l’agenda strategica presentata di recente dalla presidente della Commissione dell’Unione Europea, Ursula von der Layen, e che ha alla base il cosiddetto Green Deal.

Tuttavia, a fronte di questo grande e positivo fermento a livello sociale, che ha ed avrà sempre più in futuro importanti riflessi politici ed economici, non può e non deve essere sottaciuto un aspetto, a mio parere, fondamentale.

Ovvero che quello del “climate change”, delle sue conseguenze sulle nostre vite e sul nostro domani, possa costituire una sorta di “alibi”. Quest’alibi consiste nel voler invocare il cambiamento climatico come l’unica causa delle conseguenze disastrose indotte da eventi estremi negli ultimi anni. A volte si ha la sensazione che si voglia, inconsapevolmente o deliberatamente, trascurare una causa primaria nell’incremento dei danni e delle vittime da disastri dovuti a piogge e alluvioni. Ovvero l’aumento vertiginoso del fattore “esposizione al rischio” di vite e beni; un fenomeno che è aumentato in modo incontrollato nelle ultime decine di anni.

A questo incremento dell’esposizione si affianca quella che può definirsi “vulnerabilità culturale”, ovvero la consapevolezza e la sensibilità da parte di ampi strati della popolazione nei confronti dei cosiddetti disastri naturali.

Pertanto, riferendosi all’equazione generale del rischio ($R = H * E * V$), a fronte di un dato livello di pericolosità, sulla cui stazionarietà o meno gli scienziati hanno e avranno molto da studiare, approfondire e discutere, è innegabile che si è assistito ad un aumento enorme della esposizione: basti pensare alle edificazioni avvenute in aree di pertinenza fluviale.

In aggiunta, appare in aumento anche il fattore vulnerabilità, specie quella precedentemente definita “culturale”, a causa di un cortocircuito perverso: poiché la scienza oggi ha strumenti e conoscenze assai evoluti e in grado di garantire livelli di sicurezza maggiori che in passato, non si pongono in essere le minime azioni di protezione e autoprotezione in occasione di eventi meteorologici estremi.

Volendo fare un confronto un po’ azzardato ma efficace, pensiamo a quanto avviene al volante delle automobili: dotazioni sempre più sofisticate e sistemi di sicurezza attiva e passiva sempre più pervasivi spingono verso una guida meno attenta e scrupolosa, anche perché distratti dai tanti dispositivi che circondano il conducente, primo fra tutti lo smartphone come dimostrato da recenti indagini statistiche.

Ecco quindi che, a seguito di un'esposizione e di una vulnerabilità (anche culturale) sempre più elevate, il rischio aumenta anche a fronte di una stazionarietà della pericolosità.

A questo riguardo, facendo riferimento alle attività di prevenzione non strutturale quali le esercitazioni e le attività di formazione e divulgazione, si desidera riportare un'esperienza vissuta in occasione dell'esercitazione Flegrei EXE 2019, organizzata a ottobre dal Dipartimento della Protezione Civile, insieme con la Regione Campania e i Comuni della zona rossa dei Campi Flegrei. Ebbene, nonostante una meticolosa e capillare informazione promossa dal Dipartimento, insieme alle amministrazioni regionale e comunali, la partecipazione della gente è stata ridotta e comunque al di sotto della attese; uniche note positive derivano da due fattori: il primo è che molti partecipanti sono stati giovani genitori con figli, a testimonianza del fatto che la sensibilità verso i temi dei rischi geo-ambientali è maggiore in taluni settori della popolazione; il secondo è che contestualmente all'esercitazione EXE 2019 si sono svolte in molte piazze dei comuni coinvolti eventi di informazione e divulgazione quali "Io non rischio" e "Diamoci una scossa", che hanno comunque riscosso una buona partecipazione. Tutto ciò in un'area con un livello di rischio vulcanico tra i più elevati al mondo. La conclusione è che vi sono ancora molte cose da fare riguardo all'informazione e alla comunicazione relative al rischio da eventi naturali, per infondere nelle persone maggiore consapevolezza delle condizioni di rischio cui sono esposte.

Altro aspetto fondamentale che non va sottaciuto è quello delle risorse destinate alla prevenzione e mitigazione dei rischi geologici, soprattutto nel tempo differito, attraverso il finanziamento di studi e ricerche volti a un'adeguata comprensione dei fenomeni, a sua volta propedeutica a corrette valutazioni delle condizioni di pericolosità, base necessaria per una valida ed efficace progettazione delle azioni strutturali e non strutturali, secondo i criteri informativi del D.Lgs, 1/2018. Ebbene, ancora oggi, nonostante varie iniziative e risorse finanziarie allocate, peraltro certamente apprezzabili, non si può affermare che quello della mitigazione dei rischi geologici e della messa in sicurezza del territorio sia una delle priorità dei recenti governi.

A fronte di tutto questo, la comunità scientifica deve svolgere un ruolo primario nel prestare un'attenzione sempre maggiore alle tematiche dei rischi naturali e tecnologici, attraverso le attività di ricerca, mediante l'opera di formazione dei professionisti di domani, con adeguate azioni di divulgazione e comunicazione nei confronti dei vari strati della società e, non ultima in ordine di importanza, tramite la sensibilizzazione dei decisori politici e degli amministratori della cosa pubblica.

Gabriele Scarascia Mugnozza
Sapienza Università di Roma

Il Seminario svoltosi lo scorso novembre a Roma, di cui in questo volume presentiamo i contributi tecnico scientifici discussi, ha avuto luogo in un anno particolarmente operoso per la Fondazione Inarcassa. Infatti, tra le altre cose, nel corso del 2019, in collaborazione con la Sigea e gli Ordini degli Architetti e degli Ingegneri di diverse province italiane, abbiamo voluto celebrare i 500 anni della morte di Leonardo da Vinci avvenuta a Amboise (Francia) il 2 maggio del 1519.

Considerata l'importanza della ricorrenza e le caratteristiche interdisciplinari del grande osservatore, il cui ingegno è celebrato in tutto il mondo, abbiamo voluto coinvolgere nell'organizzazione di eventi con gli Ordini e la Sigea più città: Matera, Pistoia, Roma e Trento.

Leonardo da Vinci è stato il precursore di molte discipline tecnico scientifiche e con le sue osservazioni sulle formazioni e trasformazioni della terra ha dimostrato di essere uno dei più grandi pensatori del suo tempo, libero e spontaneo, forte del coraggio della sua mente.

Pensando ai temi affrontati nel Seminario dello scorso novembre cito volentieri questa sua descrizione *“L'acqua disfa li monti e riempie le valli e vorrebbe ridurre la Terra in perfetta sfericità, s'ella potesse”*. In questa considerazione di Leonardo da Vinci si legge la forte interazione tra la forza modellante delle acque, governate e controllate principalmente dalla forza di gravità, la loro azione costante di erosione, trasporto e accumulo, e la tendenza della terra a opporsi in base alle caratteristiche delle rocce e alle forme dei territori che essa attraversa. Nello stesso tempo questa considerazione ci fornisce quella consapevolezza che le opere che l'uomo realizza, dai luoghi del vivere alle grandi infrastrutture lineari, devono necessariamente tener conto degli equilibri preesistenti nell'ambiente fisico e biologico in cui vanno a collocarsi.

Così i temi del dissesto geo-idrologico devono essere necessariamente affrontati in una chiave interdisciplinare, che possa descrivere al meglio i fenomeni naturali, per arrivare a implementare modelli matematici utili a supportare scelte urbanistiche e di progettazione che da una parte evitino l'occupazione di spazi non idonei a ospitare infrastrutture e attività, e dall'altra permettano di realizzare i giusti interventi strutturali per la mitigazione degli effetti dei fenomeni naturali.

Così i XX contributi tecnico e scientifici presenti e raccolti nelle quattro sessioni in cui è stato strutturato il Seminario, contributi che hanno visto il coinvolgimento di CC studiosi e ricercatori di diversa estrazione, e provenienti da diverse accademie e enti di ricerca, ci offrono un'immagine di quello che in Italia è stato fatto e dovrà essere programmato nell'analisi e nella modellazione dei processi geo-idrologici quali frane, alluvioni e sprofondamenti. L'evoluzione dei fenomeni naturali, la definizione del loro modello matematico, il loro monitoraggio, specialmente se interferiscono o lambiscono le infrastrutture, sono alla base per una progettazione idonea, utile ed efficace degli interventi non strutturali e strutturali per la mitigazione del rischio geo-idrologico.

Il seminario organizzato a Roma con la Sigea ha coinvolto diverse professioni su temi che necessariamente necessitano di un approccio interculturale e interdisciplinare, e rappresenta un momento di confronto e soprattutto di crescita. Ritengo che il ruolo dei nostri istituti sia anche quello di sostenere e rafforzare eventi come questo, sulle orme di un grande innovatore e scienziato come Leonardo, che ha sempre osservato i fenomeni naturali “includendo” tutte le conoscenze a sua disposizione.

Egidio Comodo

Presidente Fondazione Inarcassa

Il *Rapporto ISPRA 2018* traccia una mappa del rischio del nostro paese che vede crescere le aree interessate rispetto all'anno precedente, circa il 91% dei comuni italiani è a rischio e quasi 7,5 milioni di persone vivono in territori a rischio molto elevato ed elevato per frane e alluvioni, in uno scenario di cambiamenti climatici in atto con eventi sempre più estremi e frequenti, che aggravano ulteriormente le condizioni di rischio.

In Italia sono state censite circa 620.000 frane che rappresentano più del 75 % di quelle censite in tutta Europa. Se consideriamo soltanto i livelli di Pericolosità da frana Molto elevata P4 ed Elevata P3, cioè è a rischio la vita umana, questi interessano il 12,5% del territorio nazionale.

Per il rischio alluvioni le aree a *Pericolosità Molto elevata ed elevata* hanno un'estensione di circa 25.000 Km² pari all'8,4% del territorio nazionale.

Ulteriori dati, estratti dal richiamato *Rapporto ISPRA 2018*, indicano:

1. *Rischio da frana*
 - quasi 1.900.000 edifici in aree R4 ed R3 per frana;
 - più di 400.000 tra industrie e servizi in aree R4 ed R3 per frana;
 - circa 38.000 beni culturali sempre in aree R4 ed R3 per frana.
2. *Rischio Alluvioni*
 - più di 1.800.000 edifici in aree R4 ed R3 per esondazione;
 - quasi 800.000 tra industrie e servizi in aree R4 ed R3 per esondazione;
 - circa 45.000 beni culturali sempre in aree R4 ed R3 per esondazione.

Negli ultimi anni gli "eventi alluvionali" si sono inoltre susseguiti con maggiore frequenza ed intensità, su un territorio fragile e molto vulnerabile, segnato da uno sviluppo caotico, determinando spesso ingenti danni e vittime.

Uno scenario così vasto e complesso impone dunque la messa in campo di soluzioni integrate, volte cioè non soltanto a realizzare interventi di tipo strutturale di messa in sicurezza, che anche se utili e necessari non consentono da soli la risoluzione di tutte le criticità presenti sul territorio.

Risulta utile pertanto anche l'adozione di interventi non strutturali, quali ad esempio: i presidi territoriali permanenti, costituiti da professionisti tecnici qualificati allo scopo di tutelare l'incolumità delle persone e salvaguardare il territorio, l'adozione di sistemi di monitoraggio e di allerta, ovvero la realizzazione di attività di manutenzione del territorio e di prevenzione del rischio.

Non a caso si parla ormai di *gestione del rischio* e non più di annullamento del rischio, perché sta maturando sempre più la consapevolezza che con il rischio bisogna convivere. Il rischio zero non esiste.

D'altronde non possiamo immaginare di realizzare opere per consolidare più di 600.000 frane ed eseguire arginature o altre tipologie di opere per evitare l'esondazione su 25.000 Km² di superficie soggette a pericolosità idraulica molto elevata ed elevata.

Dunque gli interventi strutturali anche se utili e necessari, da soli non possono risolvere il problema, occorre quindi attuare con urgenza una seria politica di prevenzione, finalizzata alla salvaguardia e gestione sostenibile del territorio ed alla tutela della vita dei cittadini.

Ai significativi passi in avanti in termini di conoscenza degli scenari di rischio idro-geologico dell'intero paese, compiuti attraverso i PAI e i PGRA, non sono seguite azioni concrete di prevenzione, mitigazione e gestione dei rischi individuati. Ogni Autorità di Bacino, nel proprio ambito, ha stabilito norme specifiche e regole per l'uso delle aree rischio, col risultato di produrre un quadro disomogeneo e frammentario, reso ancor più evidente dalla trasformazione in Distretti idrografici. È necessario quindi stabilire un sistema più omogeneo di trattamento normativo delle regole e delle procedure, delle competenze dei soggetti che possono e devono operare per la conoscenza, per la prevenzione e per la conduzione delle emergenze. Dunque occorre rendere più chiara ed integrata la filiera istituzionale delle competenze e responsabilità in materia di difesa del suolo, introducendo meccanismi più

stringenti volti a stabilire «chi fa che cosa», allo scopo di semplificare e rafforzare la governance.

Per attuare una strategia integrata di prevenzione e gestione del rischio idro-geologico, occorre mettere in campo un piano pluriennale che preveda la realizzazione non solo di interventi strutturali, ma anche una serie di *azioni e interventi non strutturali*, investendo adeguate risorse economiche anche per queste ultime, in modo da contribuire significativamente alla prevenzione delle conseguenze dei dissesti ed operare una corretta gestione del rischio idro-geologico nel nostro paese.

Le principali azioni e interventi non strutturali da porre in essere sono le seguenti:

- *Aggiornamento e approfondimento continuo dei Piani di Assetto Idrogeologico e di Gestione delle Alluvioni.* I PAI redatti dalle ex Autorità di Bacino rappresentano degli importanti strumenti di pianificazione di eccellenza sia a livello europeo, che mondiale. L'evoluzione continua e le dinamiche geomorfologiche del territorio, anche in relazione ai cambiamenti climatici, non ci consentono però pause su questo tema. Molti PAI vanno aggiornati perché risalgono agli inizi degli anni 2000. In diversi casi inoltre non hanno coperto tutto il territorio, ad esempio in CALABRIA, dove è stato studiato circa il 10% ed in altri casi sono stati realizzati con un grado di approfondimento diverso a seconda se si trattava di aree abitate o non abitate. Essendo gli stessi PAI un riferimento per la pianificazione territoriale, per la programmazione degli interventi strutturali e per la pianificazione di emergenza, aggiornarli è una necessità imprescindibile. Sono ormai più di 15 anni che non vengono stanziati fondi in tal senso. Occorrerebbe inoltre procedere alla redazione dei Piani di Gestione delle frane prevedendo anche in questo caso le necessarie risorse economiche.
- *Adeguamento della Pianificazione Urbanistica Comunale.* I Comuni dovrebbero impegnarsi di più nel recepire la Pianificazione di Bacino nei propri strumenti urbanistici. Questo consentirebbe finalmente di non continuare a costruire nelle aree pericolose e di attuare uno sviluppo territoriale compatibile e sostenibile con l'assetto territoriale.
- *Monitoraggio e presidio del territorio,* rappresenta un tema fondamentale. Il territorio va tenuto costantemente sotto controllo sia attraverso strumentazioni adeguate per coglierne le modifiche che possono essere premonitrici di dissesti incipienti, che tramite controllo, monitoraggio, rilevazione e presidio continuativo ed esperto del territorio operato da parte dei geologi, non soltanto in emergenza ma anche in «tempo di pace», per mobilitare le competenze tecniche e gli strumenti di sorveglianza, in modo da dare efficacia alle misure non strutturali di previsione, prevenzione, mitigazione e gestione del rischio idro-geologico, contenute nella Direttiva P.C.M. 27/02/2004. La prima esperienza in Italia è stata fatta a Sarno dove si è sperimentata l'attività nel corso dell'emergenza per le frane di colata rapida del 1998, che a giudizio di molti ha dato ottimi risultati. Ad esempio durante l'emergenza Cervinara del dicembre 1999, grazie alle attività di presidio territoriale, fu evitata l'evacuazione della popolazione nella zona di Sarno, nonostante il superamento delle soglie pluviometriche che erano state stabilite, perché nel corso delle attività di sorveglianza operata dai presidianti non furono rilevati segni di dissesti incipienti. Successivamente sempre in Campania venne strutturato un progetto finanziato con fondi europei allo scopo di attivare i presidi sull'intero territorio regionale, che vide però l'attuazione della sola fase di formazione dei presidianti, senza un seguito operativo. In altre regioni sono seguite ulteriori esperienze come ad esempio in Abruzzo, Emilia Romagna e Sicilia. Come Consiglio Nazionale dei Geologi abbiamo sostenuto nella passata legislatura una proposta di legge che attualmente giace in Parlamento la N. 1952 «Introduzione dell'articolo 62-bis del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, concernente l'istituzione degli uffici geologici territoriali di zona per la mitigazione del

dissesto idrogeologico e la prevenzione delle catastrofi naturali», che dispone l'istituzione del «geologo di zona», per attuare il presidio territoriale ed integrare le competenze tecniche degli Enti locali.

- *Redazione ed Attuazione dei Piani di Protezione Civile*, quale supporto operativo fondamentale per la gestione delle emergenze al fine di ridurre il danno, in caso di eventi, soprattutto in termini di salvaguardia della vita umana. Ormai quasi tutti i Comuni li hanno redatti ma pochi li applicano durante le emergenze, anche per mancanza di fondi dedicati. Non vengono fatte esercitazioni, i cittadini non vengono informati, per cui i piani spesso risultano del tutto inefficaci, sia per la gestione delle fasi di allertamento, che dell'emergenza.
- *Informazione alla cittadinanza* al fine di determinare popolazioni più resilienti. I cittadini devono essere messi a conoscenza dei possibili scenari di rischio che si possono verificare durante le emergenze e delle azioni e comportamenti che devono porre in essere per evitare di mettere a rischio la propria incolumità e quella degli altri. Molte delle vittime che si verificano durante gli eventi calamitosi sono dovuti a comportamenti sbagliati. Pensate ad esempio a quante persone rischiano o addirittura perdono la vita nei sottopassi allagati, o a quelli che attraversano i ponti in fase di piena, ecc. Su questo tema il CNG sta facendo molto. Ad esempio con la manifestazione "A scuola con il Geologo", che quest'anno è stata inclusa nella settimana della Protezione Civile, con la quale abbiamo spiegato a circa 120.000 studenti di 785 scuole di ogni ordine e grado sparse su tutto il territorio nazionale, di come sia importante conoscere i rischi geologici e soprattutto i corretti comportamenti da tenere in fase di emergenza. Questo grazie all'azione volontaria di centinaia di colleghi geologi.
- Occorrono infine maggiori investimenti anche nella *Manutenzione estensiva del territorio* e deve riguardare non solo fiumi e torrenti ma anche i terreni presenti sui versanti, che quando vengono abbandonati diventano concausa dei fenomeni di dissesto, come ad esempio sembra essere accaduto di recente per il viadotto distrutto sull'A6 Savona-Torino. Dunque si dovrebbero prevedere incentivi economici per i privati nella realizzazione di opere di manutenzione e di sistemazione che migliorerebbero le condizioni di stabilità e di assetto del territorio.

In conclusione formulo un appello ai politici presenti, affinché prendano coscienza che per ottenere risultati migliori di quelli attuali nella mitigazione e gestione del rischio idro-geologico, gli interventi strutturali anche se utili e necessari da soli non bastano. L'elevata complessità e diffusione delle problematiche legate al dissesto, richiedono dunque un approccio integrato comprensivo anche delle azioni e degli interventi non strutturali, prevedendo per essi adeguate risorse tecniche ed economiche.

Lorenzo Benedetto
Consiglio Nazionale dei Geologi

Innanzi tutto porto i saluti del Presidente del Conaf e di tutto il Consiglio dell'Ordine Nazionale dei Dottori Agronomi e Dottori Forestali.

Ringrazio la Sigeta per avere organizzato questo Seminario nazionale e saluto tutti gli intervenuti.

La situazione del dissesto idrogeologico nel nostro paese è diventata una delle priorità non solo del governo italiano, ma di tutti i cittadini italiani.

Le emergenze a cui assistiamo ogni giorno ci fanno capire che non sono più limitate a pochi territori, ma sono delle emergenze diffuse dalle Alpi alla Sicilia.

Abbiamo assistito negli anni scorsi a tantissime situazioni di grande pericolo, come per il caso della tempesta "Vaia", le alluvioni di Genova, o quelle in Sicilia, che hanno anche causato una serie di vittime.

E non sono solo, quindi, i danni alle "cose" quelle che ci preoccupano, che comunque hanno la loro importanza sociale e con un impatto economico negativo forte sul territorio, ma sono le vittime "sul campo" quelle che ci fanno pensare che qualcosa di sbagliato c'è.

E nonostante tutte le risorse messe in campo dai vari Governi, la situazione del dissesto idrogeologico e delle sue "cure" è rimasta tal quale, tranne qualche piccola area in cui sono stati eseguiti interventi risolutivi.

Ognuna delle "professioni tecniche" è chiamata, perciò, a dare un contributo, ognuna con le proprie competenze, che a volte sono completamente distinte e separate fra loro, altre volte sono sovrapposte, e altre volte ancora sono affiancate.

E l'attività che i Consigli Nazionali svolgono diviene sempre maggiore, anche in considerazione dei cambiamenti climatici, che ci restituiscono fenomeni meteorologici imprevedibili, ma di grande impatto sul territorio, come le piogge con eccessiva intensità oraria, o venti ciclonici.

La nostra professione si incasella pure nella salvaguardia del territorio, con lo studio e la pianificazione di quest'ultimo, tentando di inculcare sul "pubblico" la necessità di effettuare delle scelte ambientali, e sostenibili, che abbiano solo un impatto positivo sul territorio e su tutto ciò che ci circonda.

E la pianificazione passa per la afforestazione delle zone montane, dei territori colpiti da incendi, al fine di ridurre, e se possibile, eliminare quelle criticità scaturenti, spesso, dall'abbandono del territorio stesso da parte delle Pubbliche Amministrazioni.

Anche la gestione dei corsi d'acqua, la cui manutenzione da parte della Pubblica Amministrazione è diventata quasi un optional, è fra quelle priorità su cui tutti noi professionisti siamo chiamati a dare un contributo tecnico, con le competenze ormai cristallizzate.

Il Conaf segue la situazione del dissesto idrogeologico con grande preoccupazione, ma con grande interesse, così come segue con grande preoccupazione l'evoluzione del cambiamento climatico, che impongono scelte colturali e varietali fino a qualche anno fa impensabili per alcuni territori, e che impongono in molti territori una pianificazione dell'uso delle risorse idriche ancor più attenta che in passato.

Il Conaf ha già elaborato una nuova bozza di un Protocollo di Intesa con la Protezione Civile, alla quale va dato il merito di essere efficientissima e sempre pronta a gestire qualsiasi emergenza, adeguando il vecchio Protocollo di Intesa con le nuove norme, compreso l'antincendio, ma ha già definito pure una bozza di "linee guida sulle buone pratiche agricole e forestali per la prevenzione del dissesto idrogeologico", che possa essere diffuso su tutto il territorio italiano, al fine di ridurre gli effetti negativi, che fin qui abbiamo subito e che hanno causato vittime, vittime che nessun risarcimento potrà mai riportare in vita.

Corrado Vigo

Ordine Nazionale dei Dottori Agronomi e dei Dottori Forestali

Il mio ringraziamento e quello del Consiglio dell'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma per l'organizzazione di questo importantissimo seminario. In particolare, ringrazio il Presidente Fondazione Inarcassa, Egidio Comodo, ed il Presidente della Società Italiana di Geologia Ambientale (Sigea) Dott. Antonello Fiore e naturalmente tutti gli illustri relatori che si susseguiranno nel corso della giornata di lavori.

Parlare oggi di dissesto idrogeologico, alla luce di quanto negli ultimi giorni sta avvenendo ed è avvenuto in molti comuni italiani, come Venezia o Matera, è più che attuale. I dati Ispra 2018 del Rapporto sul dissesto idrogeologico in Italia, di certo, non sono stati rassicuranti. Circa il 91% dei comuni è esposto a un elevato rischio di dissesto. Il pericolo di frane e alluvioni è, quindi, alto nella maggior parte dei centri abitati italiani. Il che significa che circa 2,6 milioni di famiglie vivono in territori esposti al rischio di alluvioni.

Ma quali sono i motivi di questo rischio? Sono diversi, tra cui la troppa cementificazione del territorio, la densità di popolazione elevata, uno straripante consumo del suolo, l'abbandono delle campagne e dei terreni di montagna, la particolare morfologia del territorio italiano, i fenomeni meteo che diventano sempre più estremi a causa dei cambiamenti climatici.

Frane e alluvioni sono, infatti, i fenomeni che minacciano maggiormente questi centri. Ma tali fenomeni meteo estremi non spiegano tutto il rischio stesso. C'è, infatti, un discorso di elevata vulnerabilità legata al fatto che molti centri sono stati costruiti senza tenere in conto le dinamiche fluviali, le aree a rischio esondazione, oppure la presenza di versanti collinari e montuosi soggetti a instabilità.

Negli anni, si è costruito ovunque, pensando che le caratteristiche geologiche del territorio non contassero, una volta cementificato tutto. Le leggi in materia sono precise, e indicano in quali aree si può costruire e in quali no: ma l'abusivismo è ancora elevato in Italia e molte costruzioni risalgono agli anni precedenti alla loro approvazione. C'è poi un problema di abbandono delle campagne, la scarsa manutenzione degli alvei fluviali, eccetera.

L'Italia poi, non è un territorio "facile": la presenza di dislivelli molto importanti, aree collinari argillose dove le frane si attivano con facilità, zone montane che diradano rapidamente fino al mare, un reticolo fluviale molto diffuso, con fiumi che variano di portata in modo molto consistente nel corso dell'anno, sono solo alcuni fattori che rendono l'Italia un Paese fragile. A questo proposito sottolineo che una recente mappa con le frane presenti in Europa mostra come sia proprio l'Italia il Paese dove si concentra la maggioranza degli eventi franosi.

Come purtroppo facciamo notare da anni sono urgenti misure di prevenzione e mitigazione dei rischi idrogeologici. La normativa in materia risale al 1989 con un aggiornamento al 2006.

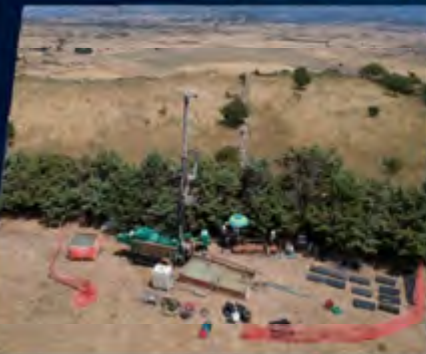
Il rinnovamento della normativa oggi non è, a mio avviso, solo responsabilità delle istituzioni preposte, ma anche dei soggetti competenti, come noi professionisti tecnici qui oggi riuniti. È necessario coniugare i nostri saperi, motivare l'azione in ambito legislativo-parlamentare, impegnarsi in prima persona per dare al nostro Paese un sistema moderno e funzionante di difesa del suolo. Un sistema che deve partire dai modelli di sviluppo e dagli strumenti d'intervento. Cementificazione, straripante uso e straripante abuso del territorio, urbanizzazione massiccia, abbandono della seppur minima azione programmatica devono stare al centro di una riflessione accurata, perché dissesto significa essenzialmente pericolo per le vite umane.

Carla Cappiello

Presidente Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma

TS TRIVELSONDA s.r.l.
Perforazioni ed esplorazioni del sottosuolo

www.trivelsonda.com





SESSIONE 1
ANALISI E MODELLAZIONE
DEI PROCESSI
GEO-IDROLOGICI:
FRANE, ALLUVIONI
E SPROFONDAMENTI

SI

SIGEO drilling

www.sigeodrilling.com

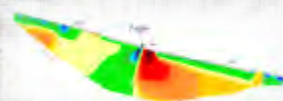
Soluzioni per la Geologia, l'Ingegneria e l'Ambiente

La SIGEO drilling, costituita nel 1990, offre assistenza nella ricerca di soluzioni alle problematiche geologiche, idrogeologiche, ambientali ed ingegneristiche mettendo a disposizione di committenti privati e pubblici la propria esperienza.

Le attività dell'azienda sono regolate da un sistema di qualità certificato secondo lo standard UNI EN ISO 9001:2015 e dispone delle certificazioni SOA OS 20B.



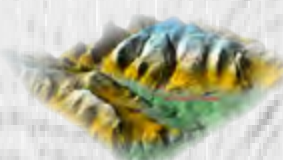
Geognostica e prove in situ e di laboratorio



Indagini geofisiche



Diagnostica strutturale



Valutazioni e controlli ambientali

Geo4Ds

www.geo4ds.it

La Geo4Ds è una startup costituita nel 2017 ed è specializzata nella progettazione e realizzazione di sistemi di monitoraggio ambientale e strutturale e di Early Warning per controlli automatici e da remoto in tempo reale.

Soluzioni per il monitoraggio e l'Early Warning

Innovazione tecnologica e soluzioni all'avanguardia per l'Ambiente, la Geologia, la Geotecnica, l'Ingegneria civile e i Beni Culturali.

ALCUNI NOSTRI PRODOTTI



SentrySmart una sentinella sismica intelligente per la tua casa.



SentrySystem, un sistema configurabile di sensori per il monitoraggio ambientale (frane, aree in dissesto e ad alta vulnerabilità) e strutturale (edifici, ponti, viadotti, dighe, ecc..) di ridotte dimensioni e altamente affidabile.

SIGEO drilling Srl

Via Umberto, 110 - 95015 Linguaglossa (CT)

Geo4Ds Srls

Via Regina Margherita, 49 - 95015 Linguaglossa (CT)

fanno parte del Consorzio GEINAM, una rete di aziende che operano nel campo della ricerca, dell'applicazione industriale e dello sviluppo tecnologico, e collaborano con diverse Università e Enti di Ricerca nazionali e internazionali.

Considerazioni introduttive sulle attività di mitigazione dei processi geologici e idrologici

Eugenio Di Loreto
SIGEA Lazio
E-mail: eugeol.dlr@gmail.com

Introductory considerations on geological and hydrological process mitigation activities

Parole chiave: processi geomorfologici e idrologici, mitigazione del rischio
Key words: geomorphological and hydrological processes, risk mitigation

Colgo l'occasione per complimentarmi con gli ideatori e gli organizzatori di questa apprezzabile iniziativa: la Fondazione INARCASSA e la SIGEA, che desidero ringraziare per avermi dato l'opportunità di presentare un contributo. Gli argomenti che saranno trattati in questo Seminario nazionale sono stati oggetto, in questo ultimo decennio di diversi convegni e iniziative alle quali ho partecipato, sia come relatore che come organizzatore. Tuttavia, non ci diciamo niente di nuovo, ma purtroppo, in questi ultimi 10 anni i fenomeni di dissesto idrogeologico sono aumentati sensibilmente in frequenza e d'intensità, con effetti spesso tragici e di drammatica attualità. Nel mio intervento introdurrò brevemente alcune considerazioni generali sulle tematiche che saranno affrontate, una sorta di antipasto agli interventi che verranno successivamente esposti nelle diverse relazioni orali. Nello specifico, voglio citare i dati, relativi alle frane che coinvolgono le infrastrutture di comunicazione, contenuti nel Rapporto sintesi sul Dissesto Idrogeologico in Italia (ISPRA, 2018). Sono stati individuati 6.180 punti di criticità per fenomeni franosi lungo la rete stradale principale (autostrade, strade statali, tangenziali e raccordi), di cui 720 lungo la rete autostradale. Lungo i 16.000 km di rete ferroviaria sono stati individuati 1.862 punti di criticità per frana. Limitatamente alla Regione Lazio, che qui rappresento, in qualità di Segretario della SIGEA Lazio, sottolineo che sono stati censiti, nel Progetto IFFI (APAT, 2007), 10548 movimenti franosi che hanno interessato ben 372 Comuni su 378, (circa il 98% del totale). Le frane che hanno provocato danni ingenti sono pari a 729. Di questi eventi franosi disastrosi, il 56% hanno interessato infrastrutture stradali (Fig. 1), mentre, il 32%

hanno provocato danni a nuclei abitati e strutture pubbliche: Cimiteri; Parcheggi; Campi sportivi (Fig. 2).

Gli ultimi avvenimenti di questo mese ci confermano drammaticamente che i processi geomorfologici interferiscono con le strutture e le infrastrutture

esistenti, impedendone in alcuni casi la loro funzionalità. Gli addetti ai lavori ma, anche alcune parti dell'opinione pubblica più attenta, sono convinti che "è urgente, necessario e indilazionabile" un Piano di messa in sicurezza del territorio dal dissesto Idrogeologico, per limi-



Figura 1. Frana sulla S.P. per San Vito Romano (RM)



Figura 2. Frana nel campo sportivo del Comune di Riano (RM)

Tabella 1. Elenco sommario di alcuni degli interventi non strutturali

| AMBITI DI AZIONE | INTERVENTI NON STRUTTURALI |
|---|--|
| APPOSIZIONE DI VINCOLI TERRITORIALI | Limitazioni all'uso del suolo (RDL n.3267 del 1923, Vincolo Idrogeologico); Interdizione all'edificazione in aree a rischio di frana e di inondazioni (D.P.C.M. 10 Novembre 2006 - Piani di Assetto Idrogeologico PAI); |
| FORMAZIONE | Pubblicazione di manuali su tecniche di ingegneria naturalistica per le sistemazioni idrauliche e per la stabilizzazione dei versanti; Organizzazione di Seminari e Cantieri scuola per la formazione del personale tecnico. |
| PIANIFICAZIONE | Piano di Protezione civile comunale; Piano di gestione del rischio di alluvioni (D.lgs. 49/2010, che recepisce la Direttiva comunitaria 2007/60); Piano di monitoraggio di situazioni a rischio; Piani di Azione per l'Energia Sostenibile e il Clima (PAESC); Contratti di Fiume; |
| COMUNICAZIONE, AFFIDABILE ED EFFICACE, ALLA POPOLAZIONE | Norme comportamentali in caso di alluvioni, del DPCN; Avvisi di allerta meteo inviati dai Sindaci; Campagne di informazione con gli studenti e la popolazione per conoscere i rischi del territorio. |

tare i danni e i disagi alla popolazione. Va superata pertanto, la logica della dichiarazione dello stato di emergenza e le ingenti spese da sostenere per riparare i danni nei territori e risarcire le popolazioni colpite. Tali somme, bensì devono essere utilizzate per la sistemazione dei già fragili, e la manutenzione delle opere esistenti. La Commissione De Marchi, cinquanta anni fa, propose un complesso di opere e interventi necessari per ridurre in modo significativo il dissesto idrogeologico, nell'arco di 30 anni con una spesa presunta di circa 9.000 miliardi di lire, corrispondenti a circa 70 miliardi di euro, rivalutati ad oggi. Negli anni seguenti tali ambiziosi programmi non trovarono attuazione, lasciando il Paese esposto ad un crescente rischio idrogeologico, determinato anche dall'incontrollata estensione del consumo di suolo. Quegli anni coincidevano con il boom edilizio, così invece furono operate in genere scelte urbanistiche scorrette, disattente alle conseguenze idrauliche e geologiche indotte dalle trasformazioni dell'uso del suolo.

Per quanto riguarda gli interventi strutturali e non strutturali da adottare per la mitigazione del rischio, derivante da fenomeni alluvionali e da fenomeni gravitativi di versante, espongo di seguito alcune considerazioni e raccomandazioni che ritengo utili e che saranno poi ampiamente trattate nelle presentazioni orali e nei contributi della sessione Poster. Nella fase di programmazione e di progettazione degli interventi strutturali, si dovranno seguire prioritariamente criteri di valutazione del rischio e della relativa gestione. L'attività conoscitiva comprenderà la valutazione del rischio *ante operam* nell'area di interesse,

definendo l'obiettivo di riduzione del danno potenziale perseguito attraverso l'intervento, facendo riferimento a ciascuna delle componenti del rischio: esposizione, vulnerabilità e pericolosità. Il progetto dovrà inoltre contenere la valutazione del rischio residuo per definirne i criteri di gestione. Nella esecuzione degli interventi strutturali, si dovranno definire procedure e tempi certi degli iter burocratici di approvazione, in modo da poter evitare un'eccessiva esposizione al rischio della popolazione e dei beni, a causa del notevole lasso di tempo intercorrente tra la fase di decisione degli interventi e la effettiva realizzazione degli stessi. Gli interventi strutturali dovranno essere progettati per evitare la riattivazione dei processi in aree già disestate e per limitarne la loro evoluzione. Si dovrà garantire nel tempo la loro efficienza e andrà innanzitutto eseguita una periodica manutenzione dei sistemi di drenaggio delle acque meteoriche, al fine di evitare una eccessiva infiltrazione delle stesse o il ruscellamento superficiale incontrollato.

Nella Tab. 1 è indicato un elenco sommario di alcuni degli interventi non strutturali, solitamente utilizzati, suddivisi per ambiti di azione. In particolare, voglio soffermarmi sul fondamentale ruolo della comunicazione, in tutti i suoi aspetti, che va messa in relazione sia nella necessaria diffusione delle conoscenze, sia nel momento delicatissimo e difficile di gestione dell'allerta e di comunicazione del rischio. Su questi temi è necessario che la *governance* tecnica e quella politica lavorino insieme per esprimere utili sinergie, a partire dalla formazione delle professioni fino al governo dei

fenomeni naturali, sviluppando concretamente il passaggio dalla cultura della emergenza a quella della prevenzione. In sintesi il messaggio corretto da trasmettere è *"non spaventarti, preparati"* cioè imparare a comportarsi e a difendersi. Anzitutto si tratta di comportamenti sociali: è necessaria una migliore coscienza civile da parte dei cittadini e dei politici e amministratori. Gli interventi strutturali di recupero certamente sono utili ma hanno bisogno di finanziamenti che hanno spesso costi elevati, (in questi ultimi anni sono stati previsti appositi fondi dalla Comunità Europea), ma servono anzitutto interventi non strutturali, che prevedano una corretta pianificazione territoriale e urbanistica.

Le scienze legate alla geologia e all'idraulica, devono interagire fra loro, e dialogare con quelle che affrontano i temi inerenti l'urbanistica, la meteorologia, la climatologia e l'economia, anche per comprendere davvero la sostenibilità dei costi di carattere economico e sociale dell'agire e del non agire. Una nuova cultura del territorio si sviluppa anche attraverso iniziative, come quella odierna, che rappresentano un'occasione di confronto per esaminare i diversi aspetti dello stesso problema con una interdipendenza, sia sul piano tecnico che su quello politico, al fine di impostare corrette azioni di mitigazione dei rischi idrogeologici.

BIBLIOGRAFIA

- APAT (2007), *Rapporto sulle frane in Italia. Il progetto IFFI - Metodologia risultati e rapporti regionali*. Rapporti 78/2007. pp. 445-461.
ISPRA (2018), *Dissesto Idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio*. Rapporti 287/2018.

La memoria storica quale valido strumento per una corretta pianificazione territoriale

Historical memory as an effective tool for a correct land-use planning

Parole chiave: ricerca storica, documenti antichi, pianificazione territoriale, mitigazione del rischio, Italia

Key words: historical research, past documents, land-use planning, risk mitigation, Italy

Fabio Luino
CNR IRPI, Torino
E-mail: fabio.luino@irpi.cnr.it

Fabrizio Terenzio Gizzi
CNR ISPC, Tito Scalo (PZ)
E-mail: fabrizioterenzio.gizzi@cnr.it

Walter Palmieri
CNR ISMED, Napoli
E-mail: palmieri@ismed.cnr.it

Sabina Porfido
CNR ISA - Avellino, associata INGV-Osservatorio Vesuviano - Napoli
E-mail: sabina.porfido@cnr.it

Laura Turconi
CNR IRPI, Torino
E-mail: laura.turconi@irpi.cnr.it

RIASSUNTO

L'articolo affronta il tema dell'utilizzo dei dati storici finalizzato ad una corretta pianificazione territoriale e quindi ad una mitigazione del rischio geologico-geomorfologico. In Italia molti centri abitati, più volte coinvolti in passato da processi endogeni ed esogeni, hanno continuato ad ampliarsi spesso nelle medesime aree nelle quali vi erano state vittime e gravi danni, senza tenere nella dovuta considerazione gli insegnamenti pregressi. Ciò è avvenuto soprattutto a causa della perdita di memoria storica, che ha favorito a sua volta la mancanza per decenni di una adeguata pianificazione territoriale, la carenza di vincoli, l'emanazione di dissennati condoni edilizi. Tali motivi hanno consentito ampliamenti urbanistici che sovente hanno provocato un'inevitabile proliferazione del rischio.

La presente nota illustra cinque casi di abitati nella Penisola interessati da problematiche diverse per i quali una oculata presa di coscienza del pericolo avrebbe fatto sì che non si trasformasse in rischio per la pubblica incolumità.

L'articolo vuole sottolineare in maniera forte come sarebbe necessario che venissero destinate sufficienti risorse affinché le Soprintendenze Archivistiche possano salvaguardare e valorizzare il grande patrimonio di dati storici che l'Italia ha la fortuna di possedere. Tali risorse dovrebbero consentire anche l'affidamento gestionale a tecnici qualificati che possano organizzare i fondi documentali nella maniera adeguata. Ciò si potrebbe anche tradurre in data-base funzionali facilmente interrogabili da tutti per lavoro, ricerca o pura curiosità.

INTRODUZIONE

Da decenni ormai, gli organi tecnici degli Enti pubblici preposti alla programmazione, alla gestione e alla difesa

del territorio, sostengono l'esigenza di ricercare ed attingere informazioni dalla documentazione storica di base (Govi & Turitto, 1994; Luino, 2002; Luino *et al.*, 2002; Tropeano & Turconi, 2004; Luino *et al.*, 2018; Roccati *et al.*, 2018). Questa, infatti, si è dimostrata indispensabile a fini conoscitivi per un più mirato svolgimento delle attività di previsione, prevenzione ed intervento. Tali azioni sono destinate alla salvaguardia dei beni collettivi e individuali, nonché dell'incolumità pubblica nell'evenienza di rischio connesso all'occorrenza di eventi naturali. Oltre alla consapevole necessità di tramandare la memoria scritta di tali notizie, in forma opportunamente elaborata, il concetto cardine che ha orientato in questi 50 anni le attività precipue di diversi Enti che si occupano di problematiche territoriali è la consapevolezza che i fenomeni esogeni ed endogeni siano suscettibili di ripetersi nello spazio (molto spesso negli stessi luoghi) e nel tempo (secondo intervalli di ricorrenza estremamente variabili), con modalità analoghe a quelle manifestate in passato. Sottolineare l'utilità dell'approccio storico, non implica certo sottovalutare l'importanza di altri tipi di ricerche, a carattere più spiccatamente metodologico o applicativo, nel vasto campo delle discipline concernenti la protezione dai rischi naturali, ma significa che il reperimento del dato storico dovrebbe essere considerato come un'indispensabile fase conoscitiva dei pericoli territoriali all'interno di un approccio metodologico che veda l'integrazione e il dialogo tra più discipline. Il reperimento e l'uso della memoria storica richiedono, tuttavia, oltre che competenze ed esperienze specifiche, un impegno di tempo non trascurabile non sempre ripagato da esiti fruttuosi. Emerge quindi evidente la necessità di

disporre di banche dati aggiornate che siano fruibili non solo all'intera comunità scientifica, ma anche alle istituzioni e al mondo delle professioni tecniche.

MATERIALI E METODI

Come già ribadito, l'esperienza accumulata in questi anni in diversi centri di ricerca nazionali ed internazionali ha dimostrato come l'uso delle informazioni pregresse possa in effetti fornire importanti conoscenze per la previsione e la prevenzione dei processi geomorfologici, soprattutto quelli esogeni (ad esempio instabilità di versante, attività torrentizia, fluviale e dei ghiacciai). L'esame e l'interpretazione delle fonti storiche sono funzionali ad ottenere informazioni descrittive e/o analitiche circa l'occorrenza di eventi naturali del passato. Da queste conoscenze sarà possibile poi risalire ad una parametrizzazione dell'evento oggetto di studio (ad esempio, per i terremoti la data, le coordinate e l'area epicentrale, l'intensità macrosismica, la magnitudo, ma anche ad una sua analisi in termini di evoluzione temporale del fenomeno, di valutazione dei tempi di ricorrenza, di effetti sull'ambiente, di studi epidemiologici sulla popolazione (morti e feriti), di danni riferibili al tessuto edilizio residenziale, monumentale e alle infrastrutture e di analisi della risposta messa in campo dalle istituzioni nel breve e nel medio-lungo periodo per la mitigazione del rischio e la ricostruzione delle aree colpite (Luino *et al.* 1993; Gizzi & Masini, 2006; Gizzi *et al.*, 2012).

La ricerca di notizie storiche implica una certa confidenza con fonti relative a secoli passati: si tratta, spesso, di documenti molto diversi dai rapporti tecnici cui sono abituati gli odierni tecnici del territorio. I criteri di catalogazione di queste fonti, inoltre, sono quasi esclusivamente pensati in funzione di doman-

de che sono molto differenti da quelle che può porsi un geologo alla ricerca, ad esempio, di eventi di dissesto idrogeologico. Tuttavia, nonostante le difficoltà iniziali, una volta acquisito un minimo di *know-how*, è senza dubbio possibile prendere confidenza con il metodo e anche con il “dove, come e che cosa” cercare.

Individuate le sedi ove possono essere custodite le notizie utili ai fini dello studio (archivi di Stato, archivi comunali, biblioteche, archivi privati, internet, ecc.) si procede alla consultazione delle diverse fonti d'informazione disponibili (manoscritti, relazioni tecniche inedite, pubblicazioni, giornali, ecc.) (Govi e Turitto, 1994; Tropeano *et al.*, 2006; Porfido *et al.*, 2009; Luino e Turconi, 2017).

Nel presente lavoro vengono analizzati cinque casi studio riguardanti fenomenologie differenti: tutte le località sono state frequentemente colpite in passato da eventi gravosi. Nonostante i processi si ripetessero a distanza di un certo lasso di tempo e fossero disponibili molti documenti, non è stata adottata una corretta pianificazione territoriale (Luino *et al.*, 2012).

LE ALLUVIONI DEL T. BELBO A CANELLI (PIEMONTE-ASTI)

Canelli (AT) è un centro abitato di circa 10.400 abitanti, sviluppato in gran parte sul pianeggiante fondovalle del T. Belbo, affluente di destra del Fiume Tanaro, ad una quota di 155 m s.l.m. Parte dell'abitato si estende su una zona collinare che giunge sino a 251 m.

Le prime notizie storiche sulle inondazioni del T. Belbo risalgono alla metà del XVI secolo (Tropeano e Terzano, 1987), e pur tralasciando i periodi nei quali le notizie sono incomplete, talora di difficile interpretazione e considerando esclusivamente il periodo dal 1800 ai giorni nostri, il concentrico risulta essere stato inondato almeno 17 volte, 9 delle quali in modo particolarmente grave. L'ultima disastrosa inondazione avvenne il 5 novembre 1994.

Come tutti i centri abitati, il vecchio nucleo si sviluppò nella zona morfologicamente più elevata, sufficientemente distante dall'alveo, soprattutto in sinistra Belbo. Il fondovalle ancora nel 1852 era ampio: la fascia di pertinenza fluviale risultava essere occupata esclusivamente da campi e pascoli (Corpo Reale di Stato Maggiore, 1852). Gli unici condizionamenti antropici erano il ponte stradale storico che collegava da secoli

le due sponde e la ferrovia Alessandria-Bra (inaugurata nel 1865), con il relativo rilevato e il ponte a monte del paese. Nel 1880 (*Fig. 1a*) sulla sponda destra l'abitazione più prossima al corso d'acqua distava circa 170 m, mentre sulla sponda sinistra la maggior parte delle case lungo la strada principale rimaneva a circa 120 m di distanza dall'alveo, a parte due edifici distanti 50-60 m dalla sponda. A fine maggio 1879 e il 30 marzo 1892 due violente piene con esondazione del Belbo provocarono seri danni alle case, alle piccole aziende ed officine più prossime al letto del torrente. Con il passare degli anni, i terreni sul fondovalle che fino ad allora erano rimasti liberi iniziarono ad essere occupati soprattutto da attività artigianali e case.

Negli ultimi anni del 1800 Caneli diventò la sede della rinomata ditta Gancia, conosciuta per gli spumanti e il vermouth. Il fondovalle del Belbo iniziò ad essere via via sempre più urbanizzato: così, se prima le inondazioni del T. Belbo coinvolgevano solamente i campi ubicati sul fondovalle, con il progredire dell'urbanizzazione iniziarono i primi veri problemi. Dal 1880 al 1933 (*Fig. 1b*) l'estensione dell'abitato passò da 0,14 km² a 0,22 km²: le aziende e le abitazioni iniziarono a comparire anche sulla sponda destra del Belbo. Nel maggio 1926 a seguito di una gravissima inondazione, oltre 100 abitazioni e molte officine furono allagate, alcune sino a 2,5-3 m d'altezza. Negli anni successivi proseguì la colonizzazione della fascia territoriale prossima all'alveo del T. Belbo ad un ritmo di circa 9 ettari all'anno.

Dopo un periodo particolarmente piovoso, il 4 e 12 settembre 1948, due gravissime alluvioni misero in ginocchio l'economia del centro abitato. Il 4 settembre il T. Belbo in piena superò gli argini e invase tutto il concentrico su entrambe le sponde con altezze superiori a due metri. Crollarono diverse case e vi fu una vittima. Anche in questo caso gravi furono i danni alle attività commerciali, industriali e all'allevamento. Danni enormi subirono altre infrastrutture di uso pubblico. Solamente 8 giorni dopo, il Belbo manifestò un'altra grande piena: le acque invasero nuovamente l'abitato e, pur raggiungendo un livello inferiore (70 cm in meno) irrupero con maggior violenza provocando danni superiori alla precedente alluvione. Furono allagati 70 ettari (IRES, 1969): 18 le case distrutte e 97 sinistrate. Danni stimati per in 1 miliardo e 300 milioni di lire (pari a 25 milioni di € attuali). Le acque del T. Belbo inondarono nuovamente il paese l'11

febbraio (La Stampa) e il 10 novembre 1951: in quest'ultima occasione le spese per il ripristino delle opere pubbliche e i danni ai privati furono stimate in 15,5 milioni di € attuali. Nonostante questi eventi molto gravosi, l'ampliamento urbano della cittadina non si fermò, anzi proseguì: le aree edificate passarono da 0,42 km² nel 1951 a 0,61 km² del 1966, con un incremento di 1,27 ettari all'anno. Il 2 novembre 1968 una piena del Belbo, solo parzialmente contenuta entro le opere di difesa in precedenza costruite, provocò gravissimi danni. Occupando un'ampia fascia del fondovalle, risultarono colpite 10 aziende industriali, 170 artigianali, 143 commerciali. I danni al patrimonio pubblico furono di almeno 380 milioni (Comune di Canelli, 1968), oltre 7 milioni di € attuali (IRES, 1969). Imponenti furono i lavori nel dopo-alluvione lungo il fondovalle: robuste scogliere, muri d'argine furono realizzati a monte e nel concentrico. Negli anni '70 e '80 del secolo scorso proseguì l'inesorabile occupazione delle ultime aree di pertinenza fluviale del T. Belbo ancora rimaste “vergini”. Dal 1966 (*Fig. 1c*) al 1991 l'area edificata passò da 0,61 km² a 1 km² con un incremento medio di 1,56 ettari annui, maggiore di quello del periodo 1951-1966. Su questa situazione urbanistica giunse la grande inondazione del 5 novembre 1994 (*Fig. 1d*). Le acque di piena del Belbo sfondarono all'entrata del paese il rilevato ferroviario, si riversarono violentemente in Canelli dove giunsero ondate improvvise di 3 m d'altezza. Su un fondovalle così fortemente urbanizzato, le altezze delle acque d'inondazione nell'abitato, pur non raggiungendo i massimi storici del maggio 1926 e settembre 1948, provocarono danni in proporzione decisamente superiori al passato.

Canelli è un esempio molto diffuso di centro abitato posto in prossimità di un corso d'acqua che si è espanso nei decenni sul fondovalle nonostante le inondazioni ricorrenti dessero segnali inequivocabilmente chiari su “dove non costruire”. Gli ingenti lavori di sistemazione fluviale che vengono realizzati solitamente nella fase post-alluvionale creano nel cittadino sempre un senso di falsa sicurezza estremamente pericoloso. A Canelli, ad esempio, dopo il 1994 è stata realizzata una cassa di espansione di 39 ettari a monte dell'abitato: essa dovrebbe mitigare, ma non certo eliminare totalmente i problemi legati alle future inondazioni.

Se l'alluvione del 1994 fosse accaduta in passato quanta area urbanizzata

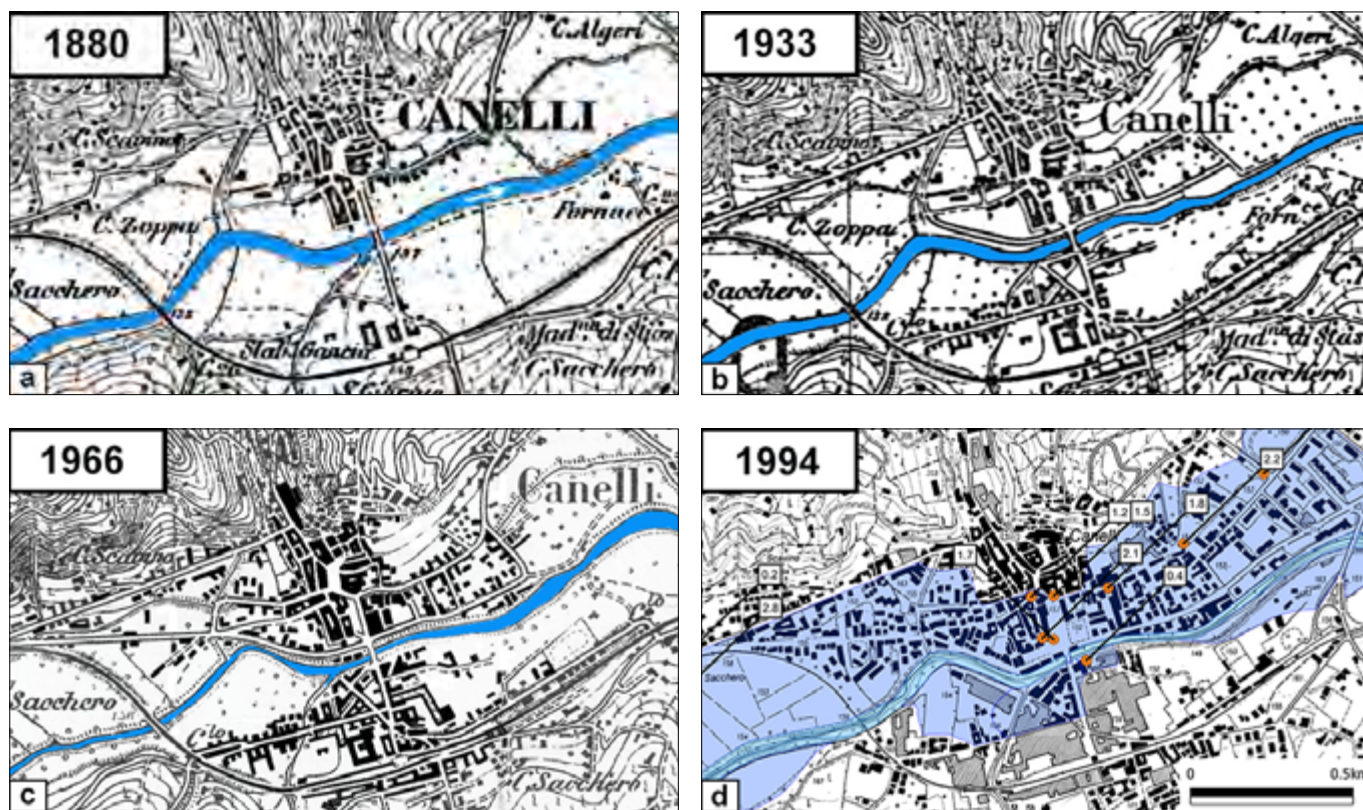


Figura 1. Ricostruzione storica dello sviluppo urbanistico di Canelli da carte storiche: a) nel 1880 (I.G.M.I., 1880), b) nel 1933 (I.G.M.I., 1933), c) 1966 (I.G.M.I., 1966), d) nel 1991 con sovrapposizione della zona inondata nel novembre 1994 e le relative altezze raggiunte dalle acque sul piano campagna (CTR, Regione Piemonte, 1991)

avrebbe coinvolto? Sovrapponendo l'area inondata sul fondovalle del Belbo nel 1994 sulle cartografie più antiche: si può notare come si sia passati da un valore di 0,03 km² ipoteticamente inondati nel 1880 (20,35% del totale urbanizzato), a 0,09 km² nel 1933 (40,35%), a 0,25 km² nel 1966 (40,86%), sino a 0,40 km² nel 1994 (39,86%) (Fig. 2).

L'acquisizione di spazi fluviali non supportata da adeguate indagini con-

scitive di base, porta inevitabilmente a subire gli effetti dell'attività del corso d'acqua, con conseguenze tanto più catastrofiche quanto più imprevedute. Se in condizioni ordinarie le opere di difesa possono garantire un buon livello di sicurezza, perché in grado di controllare i processi fluviali e limitarne gli effetti, è soprattutto in occasione di eventi estremi che la rapidità e la violenza di tali processi spesso vanificano gli interventi

posti in atto, cogliendo assolutamente impreparata la popolazione. Ne è un chiaro esempio quanto accaduto nel territorio di Canelli in occasione della catastrofica piena del novembre 1994.

Appaiono sovente inadeguate certe scelte di pianificazione territoriale, che non hanno preso nella dovuta considerazione la pericolosità dei luoghi, nonostante la ricca documentazione storica disponibile per tale valutazione.

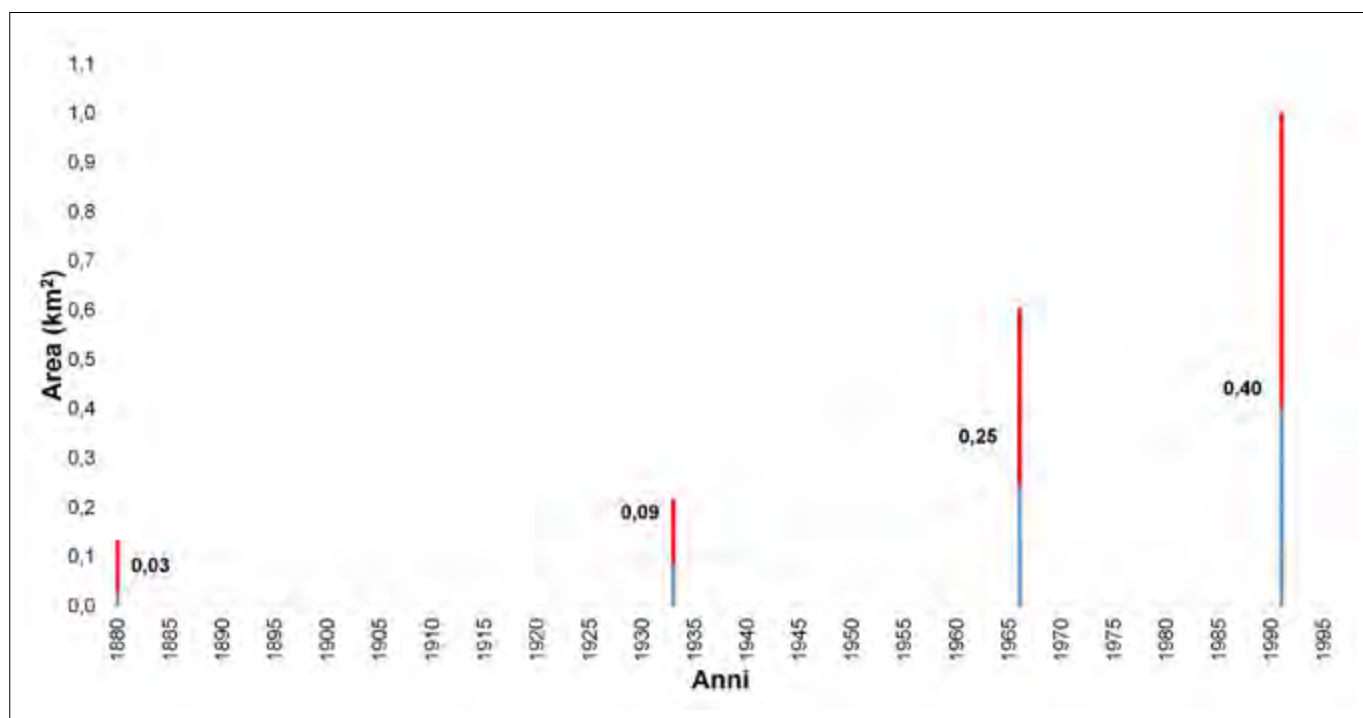


Figura 2. Incremento della superficie urbanizzata di Canelli (somma dei tratti blu e rosso), misurata sulle basi topografiche del 1880, 1933, 1966 e 1991: in blu l'area urbanizzata che sarebbe stata invasa in quegli anni da un'inondazione estesa come quella del novembre 1994

L'ABBANDONO FORZATO: IL CASO DI CRACO VECCHIA (BASILICATA- MATERA)

Il centro storico di Craco è situato nella parte sud-orientale della regione Basilicata ed è ubicato appena ad ovest del fronte sepolto della catena appenninica meridionale. Il paese vecchio è posto a circa 390 m s.l.m. e si estende su una dorsale orientata NW-SE, delimitata a SW dal torrente Bruscata e a NE dal torrente Salandrella, affluenti del torrente Cavone.

Nell'area sono presenti affioramenti di unità alloctone del Cretaceo-Oligocene che coprono tettonicamente i depositi clastici plio-pleistocenici dell'Avanfossa Bradanica. Lungo i versanti della dorsale le stesse unità alloctone sono in contatto con conglomerati, sabbie e argille di età Pliocenica, deformati dal continuo avanzamento verso NE della Catena.

Il versante nord-orientale della dorsale è interessato da numerose frane, alcune delle quali si sviluppano lungo l'intero pendio, fino a raggiungere il fondovalle. Anche il versante meridionale è contrassegnato da fenomeni di dissesto tra i quali la *frana del Centro storico* e la *frana del Convento*, responsabili di con-

tinui danni all'edificato e alle infrastrutture, con il conseguente trasferimento dell'abitato.

Per analizzare la cronologia delle riattivazioni delle due principali frane, i loro effetti sul territorio, gli edifici e le infrastrutture e valutare criticamente la conseguente risposta istituzionale, è stata effettuata l'analisi delle fonti bibliografiche a carattere tecnico-scientifico per poi procedere ad una revisione delle fonti documentarie già note e al reperimento e studio di ulteriori cospicui corpus informativi (Gizzi *et al.* 2019).

Oltre venti sono state le riattivazioni in un periodo di circa 115 anni. Nel medesimo periodo furono progettati e/o eseguiti circa lo stesso numero di interventi di consolidamento dell'abitato che, tuttavia, nella maggioranza furono il riflesso del riattivarsi dei movimenti di massa, mentre solo un numero limitato di opere di consolidamento fu progettato o realizzato in "tempo di pace".

La prima notizia riguardante la frana del Centro storico risale al 1870 quando un movimento di massa fu registrato nella parte meridionale dell'abitato. Le fonti riferiscono, tuttavia, che la frana era già attiva da tempo, probabilmente ben prima del diciannovesimo secolo. Nel 1886 un ulteriore movimento della frana nella

parte meridionale dell'abitato causò il crollo di 40-50 case, senza causare vittime. Le riattivazioni del movimento del Centro storico e della frana del Convento continuarono a ritmi differenziati sino alla fine degli anni Quaranta.

Dopo un periodo di apparente stabilità, sul corpo della frana del Centro storico e a valle della strada Statale 103 della Val D'Agri che cinge il vecchio abitato, fu edificato un campo di calcio che nel novembre 1959 fu distrutto a causa di una riattivazione del fenomeno franoso, innescato da un evento pluviometrico intenso. Nel dicembre 1963 entrambe le frane si riattivarono, portando di fatto all'avvio delle procedure tecniche e amministrative di trasferimento. La frana del Centro storico si riattivò nuovamente nel gennaio 1965, quando circa 150 case furono abbandonate, con il crollo parziale del muro di sostegno costruito per sostenere la SS103 (Fig. 3).

A causa delle conseguenze della frana del 1963 i tecnici del Servizio Geologico d'Italia suggerirono, attraverso sopralluoghi effettuati nel dicembre dello stesso anno, il trasferimento del sito. Furono consigliate due possibili aree, la prima prossima al centro storico (Sant'Angelo), ma di limitata estensione, la seconda delocalizzata, posta ad al-



Figura 3. Craco. Frana del 17 gennaio 1965. Muro a sostegno della SS103 crollato a seguito della riattivazione della frana (Fonte: Archivio Storico Dipartimento Protezione Civile, Ministero LL. PP., Divisione 29, Matera C., Colobraro-Craco, B. 4. Craco - Zona movimento franoso. Foto sciolte. Craco, 17 gennaio 1965)

cuni chilometri di distanza (Peschiera). In un primo momento l'amministrazione comunale approvò lo spostamento dell'abitato nel sito più distante e tale trasferimento fu reso formale attraverso l'emanazione del DPR n. 800 del 23 aprile 1965. L'identificazione, tuttavia, della(e) località di trasferimento cambiò negli anni seguenti. Ulteriori sopralluoghi da parte dei tecnici del Servizio Geologico furono eseguiti anche nel 1964, evidenziando l'opportunità o la necessità di considerare il trasferimento nell'area di Peschiera e valutando anche la località Sant'Angelo come possibile area di sviluppo di quella porzione dell'abitato che poteva non essere trasferita. Le opinioni tecniche espresse nel 1963 e soprattutto nel 1964 furono quindi (ri)considerate e rese "funzionali" ad avallare il malcontento diffuso tra la popolazione a causa degli svantaggi socio-economici che sarebbero derivati dal trasferimento nel solo sito di Peschiera. Il 31 gennaio 1967, l'Amministrazione comunale revocò quindi la decisione di alcuni anni prima, definendo così che il trasferimento si sarebbe dovuto realizzare nelle due località, come poi stabilì il DPR n. 1393 del 14 ottobre 1968.

Da questo quadro sintetico degli avvenimenti possono essere fatte due considerazioni. Le prime valutazioni riguardano la constatazione che i ripetuti movimenti di massa, con gli effetti che essi determinarono, non furono considerati dagli abitanti e dalle istituzioni come un "avvertimento", ma le aree colpite dagli eventi di riattivazione furono, in alcuni casi, oggetto di ricostruzione. Inoltre, l'espansione urbana di Craco verso le aree meridionali del rilievo continuò nel diciannovesimo-ventesimo secolo anche se la retroattività della frana del Centro storico avrebbe dovuto scongiurare questa scelta. L'evoluzione urbanistica del centro storico di Craco può essere distinta, infatti, in tre fasi principali: 1) il primo nucleo insediativo (XI-XIV secolo), sviluppatosi attorno alla Torre Normanna; 2) la fase di espansione, databile tra il XV e XVIII secolo; 3) la fase di espansione collocabile tra il XIX e XX secolo, periodo nel quale i fenomeni franosi (in particolare di quello del Centro storico), pur avendo mostrato ampiamente segni della loro attività, non scoraggiarono lo sviluppo urbano nelle aree a rischio.

Le seconde considerazioni si riferiscono alla circostanza che nella maggior parte dei casi i lavori di consolidamento furono progettati e realizzati solo dopo il verificarsi dell'evento franoso, eviden-

ziando così la mancanza di un'azione istituzionale risoluta, volta a predisporre un piano organico per tentare di mitigare il rischio idrogeologico in "tempo di pace". Inoltre, alcuni interventi infrastrutturali furono eseguiti con superficialità da parte di tecnici e/o maestranze, come la costruzione dei muri di sostegno alla fine del XIX secolo e la costruzione del campo sportivo sul corpo di frana del Centro storico la cui costruzione contribuì certamente alla riattivazione del movimento franoso alla fine degli anni Cinquanta. Mancò anche una stretta convergenza di azioni tra organi nazionali e locali (ad es. Servizio Geologico d'Italia, Corpo del Genio Civile e Amministrazione comunale) per concertare un piano organico per la mitigazione del rischio. Peraltro, alcune delle azioni preventive intraprese incontrarono la resistenza degli abitanti, riluttanti a seguire le ordinanze (es. chiusura delle cisterne), rendendo così parzialmente inutili gli sforzi tesi alla riduzione del rischio. Tutto ciò deve essere aggiunto alla mancanza di un'approfondita conoscenza delle caratteristiche dei movimenti di massa (in particolare la frana del Centro storico), come la profondità del piano di scorrimento.

Queste considerazioni possono farci ipotizzare che l'insediamento non acquisì resilienza nel tempo, ma la perse progressivamente, agevolando così la scelta verso il trasferimento. Per quanto riguarda quest'ultimo aspetto, la fase iniziale (metà degli anni '60) vide una divergenza tra requisiti morfologici e geologici del nuovo sito, privilegiati dall'Amministrazione comunale, e quelli socio-economici, rivendicati dagli abitanti. Pertanto, l'area iniziale selezionata per il trasferimento (Peschiera) fu considerata inadeguata da una parte dei cittadini. In seguito, il governo locale divenne portavoce delle esigenze della popolazione, sostenendo così il trasferimento del vecchio sito in due luoghi diversi, il primo lontano dal centro storico (Peschiera), il secondo prossimo ad esso (Sant'Angelo). Queste due scelte, certamente dettate da opportunità politica, furono guidate anche da un dualismo tra due diverse visioni socio-economiche. La prima puntava su un cambiamento della prospettiva economica degli abitanti di Craco, selezionando un luogo (Peschiera) più vicino ad una zona industriale in via di sviluppo (zone di Pisticci e della Val Basento), la seconda considerava la vocazione rurale degli abitanti che chiesero con forza un nuovo insediamento più vicino alla localizzazione

dei terreni di proprietà. Ovviamente, i cambiamenti nelle "visioni" determinarono ripercussioni sui tempi e sulla pianificazione del trasferimento.

Da un punto di vista metodologico, due sono le principali deduzioni che possono essere fatte. Queste riguardano sia la fase di prevenzione e gestione post-evento che la valorizzazione dei siti abbandonati. In primo luogo, i risultati di questo studio sottolineano il valore di approfondite indagini storiche per identificare la sequenza degli eventi occorsi, i loro effetti sull'ambiente costruito e le azioni messe in campo dalle istituzioni, in modo da mostrare le "debolezze" nella gestione della catena del rischio. L'analisi retrospettiva può essere utile per mettere in campo le possibili azioni da intraprendere per aumentare la resilienza dei piccoli insediamenti e per migliorare le decisioni da prendere in merito alle scelte sul "destino" degli abitati colpiti da importanti conseguenze a causa di pericoli naturali. Ad esempio, per quanto riguarda la gestione dei rischi, lo studio ha evidenziato l'esigenza di una stretta sinergia tra le istituzioni centrali e locali nonché la necessità di coinvolgere attivamente la popolazione rendendola consapevole dei rischi territoriali per mettere in campo strategie di adattamento.

Per quanto riguarda la gestione post-evento e l'eventuale trasferimento di abitati soggette a rischi, è indispensabile un'approfondita analisi socio-economica dei territori, nonché la necessità di considerare i vecchi centri come luoghi in cui l'identità delle comunità locali sono fortemente radicate. In secondo luogo, va posto l'accento anche sulla valorizzazione delle "ghost town". Studi approfonditi su questi luoghi, che guardino alla memoria storica degli eventi, consentono di accrescere la conoscenza dei paesi "fantasma", una fase imprescindibile per la loro valorizzazione. Craco, infatti, può essere considerato un vero e proprio laboratorio a cielo aperto attraverso il quale sensibilizzare la popolazione, in special modo le giovani generazioni, sul tema dei rischi naturali e geologici in particolare. Da questo punto di vista, potrebbe essere istituito un "Parco della Memoria" avente scopi educativi. L'istituzione di tale parco avrebbe anche il ruolo di monito sia per la popolazione che per le istituzioni sul possibile destino che potrebbero incontrare i borghi dell'Appennino, con particolare riguardo alla Basilicata, una regione caratterizzata da un elevato rischio idrogeologico e sismico.

LE COLATE DETRITICHE DI GRAGNANO (CAMPANIA-NAPOLI)

Il territorio di Gragnano, in provincia di Napoli, è circondato quasi interamente da rilievi carbonatici che formano le prime diramazioni dei Monti Lattari. Si tratta di un'area fortemente instabile a causa dei depositi piroclastici provenienti dalle millenarie eruzioni vesuviane. Le colate rapide di piroclastiti sciolte di cui si ha conoscenza sono in gran parte avvenute dal sovrastante Monte Pendolo, toponimo che, come è stato giustamente osservato, "è già tutto un programma per le sue oscillazioni, una volta verso Pimonte, un'altra ma più spesso, verso Gragnano" (Di Palma, 2004).

Il 21 gennaio 1841 una prima colata detritica dal Monte Pendolo – all'epoca conosciuto come Monte Suppezza – devastò i campi, danneggiò alcune case e uccise 3 persone. Nel corso della notte, dopo altre due frane senza vittime, un'ultima catastrofica colata si abbatte sul rione Trivioncello, distrugge le abitazioni e seppellisce 103 individui. Solo 6 di loro furono estratti vivi dalle macerie, e di questi ultimi, una fanciulla non riuscì a sopravvivere, portando il numero complessivo delle vittime a 101. Come spesso accade in occasione di grandi catastrofi, soprattutto per quelle molto remote, non vi è concordanza sulle cifre, e alcune fonti coeve parlano invece di 113 morti.

Nonostante le limitate conoscenze geologiche dell'epoca – i resoconti e le descrizioni dei numerosi episodi di dissesto idrogeologico erano affidati a figure diverse da quella del geologo –, qualche autore coevo mostra una indubbia consapevolezza circa le cause dell'evento. La sua dinamica è ad esempio lucidamente esposta dall'architetto Camillo Ranieri

(1841) che, nel descrivere le montagne sovrastanti Gragnano (Fig. 4) come "un masso di spato calcareo, misto con carbonato di calce", così continuava: "le eruzioni del Vesuvio gli han coperto di strati di lapillo alti pochi palmi sulle vette, e nelle falde oltre palmi 12. [...] Le dirotte piogge, specialmente nello scorso Gennaio, dopo di aver saturato le dette terre ed i lapilli, accumulatisi in gran quantità sul masso calcareo, non avendo potuto penetrare nelle viscere della montagna, han fatto perdere l'equilibrio alle materie tutte che la covrivano: queste han dovuto correr giù a precipizio, sì per la ripidezza del monte, come ancora per l'enorme peso proporzionato al loro volume, e vincendo tutti gli ostacoli han ridotto in minutissimi frantumi le case, le quali per altro erano assai poco ferme, e di non recente costruzione". Le riflessioni finali di Ranieri, appaiono improntate ad un deciso pessimismo circa la stabilità geologica di quei territori: "nuove piogge – scriveva in conclusione – potrebbero far reiterare i disastri". Gli eventi franosi che si verificarono nei decenni successivi avrebbero avvalorato la sua previsione. Un ammonimento frutto della cognizione della fragilità di quei versanti che però, evidentemente, come spesso accade con la perdita della memoria storica delle catastrofi passate, non fu in grado di generare una diffusa consapevolezza, una coscienza collettiva in grado di evitare, soprattutto nel secolo successivo, forme di antropizzazione del territorio con un elevato grado di rischiosità.

Va però per inciso ricordato – a riprova del carattere ancora pionieristico della scienza geologica nel Mezzogiorno preunitario – che non tutte le fonti concordavano nel classificare quell'evento come una colata piroclastica. In un articolo pubblicato nello stesso anno

da un altro architetto (Montella, 1841), si negava l'idea che "le terre d'esuberanti acque impregnate abbiano ceduto alla propria gravità" e si accreditava invece l'ipotesi che la causa fosse da ricercare in delle non meglio precisate "correnti elettriche, dalle viscere del monte sprigionatesi". La conclusione era ovviamente diametralmente opposta: "è inutile concepir timori di futuri disastri".

La dimensione catastrofica di quell'evento non poteva non lasciar traccia ed infatti, negli anni immediatamente successivi, vedono la luce altri resoconti a stampa: (De Maricourt 1842; Gigante 1845; De Luca e Mastriani, 1852; Mastriani 1855; Liguori 1863) e, all'inizio del secolo successivo, il disastro viene ricordato anche da Roberto Almagià (1910) nel suo celebre lavoro sulle frane in Italia. Memorie e scritti che, con ogni evidenza, non furono in grado di far sedimentare, nella percezione comune, la consapevolezza del livello di pericolosità di quel territorio.

Ad ulteriore conferma dell'elevato grado di rischio dell'area, c'è da segnalare che gran parte delle fonti sopra ricordate, dopo la descrizione della vicenda, delle cause, e degli interventi di soccorso immediati, riportano un episodio pregresso: la colata franosa del 20 gennaio del 1764, che distrusse il rione Bagnulo nello stesso comune, e causò la morte di 42 individui. Ulteriori eventi simili, sempre per quell'area, sono poi stati indicati, più di recente, da numerosi studiosi che, soprattutto dopo la frana devastatrice del maggio 1998 nella vicina Sarno – anch'essa dovuta, come è noto, alle coltri piroclastiche –, hanno avvertito la necessità di fornire, attraverso nuove ricerche, un quadro completo delle principali colate di piroclastico-detritiche verificatesi sulle dorsali della Campania nel corso dei



Figura 4. Le due frane di Gragnano del 1841: Mulino Grotto, a sinistra, e Trivioncello a destra (fonte Camillo Ranieri, 1842)

secoli (Celico e Guadagno, 1998; Migale e Milone, 1998; Mele e Del Prete, 1999; De Riso *et al.*, 2004). Per quanto riguarda le frane dal monte Pendolo, gli studi a nostra disposizione, oltre agli episodi sopra ricordati, registrano un evento già nel lontano ottobre del 1540, in località Congiaria. Passando a tempi recenti, ulteriori casi si ebbero il 20 agosto del 1935, quando ad essere colpita fu la parte orientale dell'abitato e in particolare la contrada Tavernarola, e il 17 febbraio 1963, con una colata che distrusse una casa colonica in località Treggiano e seppellì 4 persone.

Nonostante questa plurisecolare sequenza di eventi – in quella, come nelle aree contermini –, nonostante la palese esposizione al rischio, la stagione che si apre nel secondo dopoguerra, sotto la spinta di un deciso incremento demografico, è caratterizzata da una sorta di rimozione del problema: lo sviluppo urbanistico di Gragnano procede in forma disordinata, un'antropizzazione selvaggia con nuovi insediamenti che, quasi sempre, riservano poca attenzione agli asset-

ti geolitologici del territorio. Il caso più emblematico si verifica nel 1971 (*Fig. 5*): a monte dell'hotel La Selva, costruito alcuni anni prima sotto un'area a rischio, era stato effettuato uno scavo per la realizzazione di una abitazione (Vallario, 2004). Il 2 gennaio di quell'anno, dopo 2 giorni di pioggia torrenziale, una colata di fango di più di 7 mila metri cubi si stacca dal versante manomesso e travolge l'hotel e 4 villette. Il bilancio fu di 6 vittime, e la frana mancò di poco un corteo nuziale diretto all'hotel per il pranzo.

Né fu quello l'ultimo evento: benché con esiti meno catastrofici, ulteriori colate si ebbero ad esempio il 23 febbraio del 1987 su una strada statale e l'11 gennaio 1997, con la distruzione di un capannone adibito a stalla e la morte del bestiame.

CALITRI (CAMPANIA-AVELLINO): LA MEMORIA DEI DISSESTI INDOTTI DAI TERREMOTI

La storia a ritroso può partire dall'ultimo forte evento sismico che ha colpito

l'Italia Meridionale il 23 novembre del 1980 ($M_w=6,9$; $I_0=X$ MCS). Il sisma causò gravi danni in oltre 800 località, furono distrutte complessivamente 75.000 abitazioni e 275.000 furono gravemente danneggiate. Le vittime furono circa 3000, i feriti 10.000. Quindici comuni distribuiti nelle province di Avellino, Salerno e Potenza furono quasi totalmente distrutti con intensità $I \geq IX$ MCS/MSK: Castelnuovo di Conza, Conza della Campania, Lioni, Santomenna, Sant'Angelo dei Lombardi, Caposele, Calabritto, San Mango sul Calore, San Michele di Serino, Pescopagano, Guardia dei Lombardi, Lavianno, Sant'Andrea di Conza, Senerchia e Teora (Postpischl *et al.* 1985). Numerosi e devastanti furono anche gli effetti sull'ambiente naturale intesi come effetti primari, quali fenomeni di fagliazione superficiale o come effetti secondari, quali frane (ne sono state censite 200), fratture nel suolo, variazioni idrologiche e fenomeni di liquefazione (Porfido *et al.*, 2007; Serva *et al.*, 2007).

Calitri, un piccolo comune dell'entroterra irpino, di circa cinquemila abitanti, subì un livello di danneggiamento pari all'VIII MCS/MSK ed ESI-07 (Postpischl *et al.* 1985; Serva *et al.* 2007), con la morte di 6 persone. Oltre al danneggiamento dell'edificato, il paese fu interessato da molteplici e differenti effetti ambientali quali fenomeni di liquefazione, fratture del suolo e notevoli fenomeni gravitativi (Porfido *et al.*, 2002; 2007).

Tra questi ultimi risultò particolarmente devastante, l'esteso movimento franoso, lungo approssimativamente 850 m e profondo circa 100 m, classificato come "slump-earth flow", che mobilizzò 23 milioni di m³ di terreno con conseguenze distruttive per le abitazioni del centro storico, interessando soprattutto Via Matteotti, Via de Sanctis, Corso Tedesco (*Fig. 6*) (Del Prete e Trisorio Liuzzi, 1981; Samuelli-Ferretti e Siro, 1983; esiste sull'argomento una vasta bibliografia a cui si rimanda per i dettagli geologici).

Il paese, analogamente a quanto avvenuto con il sisma del 1980, era però già stato colpito nel passato da fenomeni gravitativi innescati dai terremoti, con differenti epicentri nell'Appennino meridionale, avvenuti nel 1694, 1805, 1851, 1910, 1930 (Porfido *et al.*, 1991; Parise e Wasowski, 1995; Porfido *et al.* 2017a, b) (*Fig. 7*).

Di fondamentale aiuto per la ricostruzione di tali dinamiche risulta essere la documentazione storica opportuna-



Figura 5. L'hotel La Selva parzialmente distrutto dalla colata di fango del 2 gennaio 1971 (fonte: Catenacci V., 1992)



Figura 6. Carta della microzonazione sismica di Calitri redatta da Samuelli-Ferretti e Siro (1983) nell'ambito del PFG-CNR immediatamente dopo il terremoto del 1980

mente scelta tra quella coeva agli eventi sismici esaminati. Come esempio, ne proponiamo alcuni stralci significativi, relativi a due forti terremoti: quello dell'8 settembre 1694 (con zona epicentrale tra la Campania e la Basilicata, $I_0 = X$ MCS) e quello del 26 luglio 1805 (con area epicentrale nel Molise, $I_0 = XI$ MCS).

A seguito del sisma del 1694 Calitri, ubicato nella zona epicentrale, rimase quasi completamente distrutto raggiungendo il X MCS, con la perdita di almeno 311 persone, come risulta dai registri parrocchiali dell'epoca (altre fonti riportano da 700 a 1200 vittime). Il sisma provocò anche l'insacco di un movimento franoso, che si sviluppò a partire dalla parte sommitale del paese, dove è ubicato il castello con "due aperture grandissime molto larghe, e profonde..." come risulta da una relazione anonima dell'epoca.

".. Agli 8 .. del caduto Settembre 1694 verso le ore 18 meno un quarto dell'Orologio Italiano, ... si fece sentire uno spaventoso Terremoto, havendo fatto scuotere la Terra per lo spazio d'un Credo..... La Terra di Calitri, è tutta diruta, con le Chiese, case, e Monasteri. Il Castello di detta Terra situato sopra un montetto molto grande à modo di Fortezza, con Ponti, quale s'apri da una parte, e precipitò sopra della Terra, che li stava di sotto, ... Nel sudetto Castello nelli due Cortili si sono fatte due aperture grandissime molto larghe, e profonde, che rendono gran stupore, calcolandosi esservi in questa Terra perite circa 700 persone (Anonimo, 1694).

La seconda descrizione è relativa al terremoto del 26 luglio 1805 che sconvolse soprattutto il Molise con livelli di danneggiamento notevoli anche in Campania. Calitri pur trovandosi nel



Figura 7. Calitri (AV): effetti del movimento franoso innescato dal sisma del 23 novembre 1980 nelle fotografie dell'epoca. Immagini del centro storico: a sinistra Via de Sanctis e a destra Via Torre (www.proloco.it)

far field, ad oltre 100 km dalla zona epicentrale fece registrare l'innescò di un ampio movimento franoso nel suo territorio, così come riportato dal fisico-naturalista Poli (1806).

Documentazioni di questo genere risultano di fondamentale importanza perché mettono in evidenza il danneggiamento del territorio circostante il centro abitato, zone che nel corso del tempo potrebbero costituire aree di espansione da tenere debitamente sotto controllo prima di essere utilizzate.

“..Nel tenimento di Calitri... andando verso Castiglione, un gran pezzo di terreno mirasi scambussolato, e come rivoltato sossopra; e nell'atto del tremuoto fu veduto uscirne delle fiamme... Gli alberi, che vi erano piantati, sprofondarono sotterra a segno che ora appena se ne veggono le cime; ed un rustico pagliajo n'è stato del tutto assorbito. La fenditura poi fattasi a un miglio di distanza dalla detta Terra, cominciando dal Vallone de' Monaci fino al luogo detto i Monti, estendendosi dall'Oriente all'Occidente per la lunghezza di un miglio, avendo l'ampiezza di cinque palmi. Anche quivi il terreno furiosamente sconvolto e subissato, ha in parte assorbito alberi di querce, e mandorli, ed ulivi, ed in parte gli ha coperti, e sotterrati in guisa, che non si possono più vedere...”.

La storia di Calitri (AV) non può prescindere dai pericoli naturali che nel corso dei secoli ne hanno segnato lo sviluppo socio-economico ed urbanistico: tra questi hanno giocato un ruolo considerevole non solo i dissesti geo-idrologici e i fenomeni sismici che hanno prodotto danneggiamenti non solo nell'ambito urbano, ma anche nell'ambiente naturale del ter-

ritorio circostante. La lettura del recente passato ci fa comprendere quanto questi fenomeni abbiano inciso sulla sua capacità di resilienza e quindi di attaccamento al territorio. L'auspicio è che la memoria storica rappresenti non solo la consapevolezza nella conoscenza del pregresso che ha interessato il territorio calitrano, ma sia elemento fondamentale per le scelte di pianificazione territoriale future.

I TRASPORTI IN MASSA DEL TORRENTE SUPITA (PIEMONTE-TORINO)

Sono centinaia le segnalazioni storiche di bacini alpini che manifestano processi di trasporto solido in massa causando vittime e danni (Tropeano e Turconi, 2004; Luino e Turconi, 2017). Spesso i fattori predisponenti sono l'acclività, le coperture detritiche, il substrato fratturato, la presenza di corpi instabili lungo sponde e versanti. Il caso esposto ne rappresenta uno tra i tanti (Turconi *et al.*, 2014), in cui gli elementi di rischio geo-morfologico e idraulico si fondono insieme.

Il bacino idrografico del Torrente Supita, tributario destro del T. Cenischia nella media Valle di Susa (Comune di Venaus, a circa 80 km a ovest di Torino) con una pendenza media del 62% e una superficie pari a 2,2 km², si sviluppa per circa 4,2 km con un'escursione altimetrica di oltre 1500 m, tra il punto di chiusura (720 m) e la cima più elevata della cresta spartiacque (2320 m) situata nell'estremità nord-occidentale dello spartiacque di testata.

Nel tratto terminale del bacino, accumuli di detrito con volumi anche rile-

vanti possono raggiungere rapidamente l'apice conoide per fenomeni parossistici di trasporto in massa (Arpa Piemonte, 2013; Tropeano e Turconi, 2003).

Il corso d'acqua in prossimità del nucleo abitato scorre canalizzato e intubato fino alla sezione di chiusura nel T. Cenischia. La parte distale dell'ampio conoide risulta sfumata con l'estesa piana alluvionale del T. Cenischia. In questa confluiscono altri tributari che ricorrentemente manifestano comportamenti simili a quelli esposti e a cui sono dedicate ricerche di dettaglio (Coviello *et al.*, 2015; Turconi e Tropeano, 2008). L'elevata antropizzazione nel settore distale e centrale del conoide del T. Supita oblitera le evidenze morfologiche della dinamica torrentizia, fatta eccezione della zona prossima all'apice. In tale areale si possono ancora riconoscere alcuni canali secondari e forme lobate allungate parallelamente alle sponde. Il sistema “difensivo” risulta vincolato alla conformazione del nucleo abitato, dove sono estremamente ridotti gli spazi destinati al corso d'acqua, che, alternativamente, ospita processi di trasporto in massa (colate detritiche) e valanghe (Arpa Piemonte, 2008).

L'analisi storica, anche grazie al patrimonio cartografico e iconografico reperito (Figg. 8-9-10), ha consentito di individuare numerosi eventi pregressi di colata detritica e di instabilità di versante che hanno interessato il territorio di Venaus.

Di seguito vengono elencate, in forma cronologica, le principali manifestazioni parossistiche per instabilità geoidrologica e morfologica documentate per il bacino del T. Supita.



Figura 8. Esempio di documenti storici consultati presso l'Archivio storico del Comune di Venaus, relativi al 1714 (A). Dettaglio del territorio di Venaus e del T. Supita, estratto dalla “Carte topographique et militaire du mont Cenis 1821” (https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a4/Carte_topographique_et_militaire_du_mont_Cenis_1821.jpg; accesso 25/01/2020)



Figura 9. A) Ripresa aerea del 1953 del settore terminale del T. Supita e del relativo conoide (Photographies aériennes de la France, Institut national de l'information géographique et forestière; <https://www.geoportail.gouv.fr/carte>, accesso 25 gennaio 2020). In B, immagine attuale (Google Earth, 2017). Dal confronto si evince la crescita delle aree edificate nel settore di conoide



Figura 10. Effetti della colata detritica del maggio 1977 (foto Archivio IRPI)(A); immagini dell'areale di invasione da parte dei detriti trasportati lungo il T. Supita il 29 maggio 2008. Vista aerea dell'accumulo in conoide (B)(in Luino e Turconi, 2017, foto G. Savio)

1728, 20-21 maggio – “Per li diluvi di piogge cadute sotto li venti et vent'uno cadente maggio sendosi talmente ingrossiti li Torrente Cinischia, Rivi di Supita, ... e altri hanno esportato gran quantità di terreno... com'altresi [si osserva] haver demolito quasi la più parte della strada et alcune case con perdita de mobili...” (Atti di Visita di corrosione per la Comunità di Venaus, in Tropeano et al., 1999).

1836, 25 maggio – Sgombramento della roccia caduta sulla strada del Moncenisio. Regione Supita (Archivio storico del Comune di Venaus).

1904, aprile – Trasporto in massa lungo il Rio Supita, con danni alla strada nazionale e del Moncenisio. Alluvionati terreni latitanti (L'indipendente, “Venaus, i danni del maltempo”, Susa, anno 18, numero 18, 24/4/1904; in Arpa Piemonte, 2013).

1957, 13-14 giugno – Alluvionamenti del T. Supita con intenso apporto solido in conoide, danni ad opere di attraversamento e di difesa (Tropeano et al., 1999).
1977, 19 maggio – “Il Supita, alimentato da tre frane, nella tarda sera... alluvionò parzialmente terreni in conoide e parte dell'abitato di Venaus anche per il sottodimensionamento del ponte che attraversa il rio” (Tropeano et al., 1999).

2000, 15 ottobre – Piena torrentizia del Rio Supita. In corrispondenza di un attraversamento i deflussi hanno sormontato una strada comunale. “Il fenomeno ha anche interessato un attraversamento sul rio” (Regione Piemonte, 2000).

2008, 29 maggio – “Verso le ore 7:00 del 29 maggio, manifestò un rilevante processo di trasporto in massa. Dopo aver ostruito totalmente il ponte della SS25 del Moncenisio, la miscela... [invase] numerosi edifici situati nel centro storico... il Rio Supita non [riuscì ad essere] contenuto dalla sovrastante piazza di deposito di recente costruita” (Luino e Turconi, 2017).

Agli episodi di colata detritica e piena torrentizia si sommano quelli legati all'attività valanghiva che storicamente risultano avvenire con elevata frequenza.

Le valanghe riportate nel Catalogo SIVA e nel webgis dell'ARPA Piemonte, cui si rimanda per gli effetti documentati sono 11, accadute tra il 1845 e il 2018. Il caso di valanga più rappresentativo fu certamente quello del 1845 descritto dal Casalis (1840): "Addì 15 di gennajo di quell'anno verso le dieci del mattino una smisurata massa di neve staccavasi dalla montagna di Venaus. e rovinosamente precipitava nella sottoposta valle del Cinischia tra i villaggi di Venaus e della Novalesa... A piè della sopradetta montagna di Venaus, a poca distanza dal luogo, ove pel solito rade un grossissimo ammasso di neve, da tempo immemorabile sta un edificio, in cui i fabbri bollono il ferro; ma in quell'anno la valanga essendo stata di una grandezza straordinaria ed enorme, giunse a superare di gran lunga l'altezza della fabbrica, e seppellendola la rovinò in gran parte per il suo peso. Nove persone si trovavano in quella rischiosa abitazione al momento dell'impensato compassionevole disastro..."; le vittime furono 6.

Le più recenti valanghe del 2008 e 2018, hanno ripetutamente ostacolato il transito lungo la principale viabilità di accesso al Moncenisio. Infatti, il 15 dicembre 2008 "una valanga di medie dimensioni distrusse un'estesa area di bosco, interrompendo un tratto della S.S. 25 del Moncenisio e arrestandosi nei canali di scorrimento a circa 200 m da alcune abitazioni sottostanti" (Bertea et al., 2010; Arpa Piemonte, 2013).

Nonostante la ricca serie di informazioni circa gli effetti più o meno dannosi a scapito degli edifici di Venaus, il piccolo centro risulta essere nei secoli resiliente, adottando strategie di mitigazione con notevole esborso di risorse.

Come già accaduto di recente (maggio 2008), un evento di colata detritica può mettere a rischio le abitazioni, i ponti e le strade situate lungo il canale attivo, nonostante gli onerosi interventi effettuati. Restano alcuni punti critici, legati essenzialmente all'alveo attivo in conoide, alla possibile riattivazione dei canali secondari ubicati in apice conoide, secondo gli scenari già in parte concretizzati con i casi pregressi, e alle opere di attraversamento che devono essere in grado di garantire il deflusso di miscele solido/liquide. A ciò si aggiunge il periodico depauperamento boschivo minacciato da valanghe ed estesi incendi (es. ottobre 2017).

La ricerca storica nel caso illustrato documenta che le manifestazioni pa-

rossistiche legate ai periodici processi descritti, di valanga e di colata detritica, comportino accumuli di materiale lapideo e vegetale in alveo, costantemente a disposizione di ulteriori flussi detritici e facilitino il trasporto in massa verso le zone abitate.

CONCLUSIONI

I dati storici costituiscono la base informativa fondamentale di numerosi database/cataloghi disponibili a scala nazionale come quelli dei terremoti, frane e alluvioni (ad esempio, il *Catalogo dei Forti Terremoti in Italia*, <http://storing.ingv.it/cfti/cfti5/>; progetto AVI, <http://avi.gndci.cnr.it/>; l'Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia, il progetto IFFI, <http://www.progettoiffi.isprambiente.it/cartanetiffi/progetto.asp>).

Scopo di queste basi di dati e, quindi, dell'esame delle fonti storiche è di consentire studi mirati ad una conoscenza e valutazione dei pericoli naturali, intesi come elementi costitutivi del territorio, per mettere a punto strategie di previsione e prevenzione sempre più efficaci. Non bisogna dimenticare, infatti, che queste informazioni, oltre a fornire dati essenziali ai tecnici del territorio, possono rivelarsi preziose anche per far aumentare la consapevolezza collettiva del pericolo al quale è soggetto il territorio su cui si vive.

Chiunque abbia avuto una certa confidenza con le fonti storiche relative a fenomeni catastrofici, non può non rimaner colpito dal fatto che, in qualunque periodo storico, vi è una tendenza della popolazione a cancellare la memoria di quegli eventi: frequente è, ad esempio nel caso di frane locali o colate detritiche torrentizie, il presentare l'evento come unico, irripetibile, "mai veduto". Invece, consultando gli stessi documenti, sovente si scopre che lo stesso fenomeno si era magari verificato appena qualche decennio prima. Se è vero, come è vero, che il processo di rimozione dei disastri appare come un percorso quasi inevitabile, che si presenta in qualunque epoca, è anche vero, d'altro canto, che incrementare la raccolta di dati storici su di essi, in unione ad una loro capillare diffusione anche al di fuori dei circuiti accademici, può contribuire a sensibilizzare l'opinione pubblica, a modificare la scarsa percezione del rischio che spesso si registra nelle popolazioni investite da questi problemi.

Qualsiasi politica di mitigazione del rischio avrà successo solo se incontrerà una disponibilità in loco; difficilmente, senza quella consapevolezza, si potranno evitare quei comportamenti antro-

pici che pregiudicano la sicurezza di chi vive in aree esposte al rischio. Se tutti conoscessero che cosa è avvenuto in passato, sarebbe più facile varare norme per impedire condotte inappropriate e, soprattutto, sarebbe più facile farle rispettare.

BIBLIOGRAFIA

- ALMAGIÀ R. (1910), Studi Geografici sopra le frane in Italia, *Il L'Appennino centrale e meridionale*, Società Geografica Italiana, Roma.
- ANONIMO (1694), *Vera, e distinta Relatione del Terremoto accaduto in Napoli, e parte del suo Regno il giorno 8 di Settembre 1694. Dove si dà raguaglio delli danni, che il medesimo ha cagionato in molte parti del medesimo Regno. Et in particolare nelle tre Provincie di Principato Citra, Ultra, e Basilicata. Con il numero de' morti, e feriti che nelle medesime sono restati sotto delle Pietre*, Napoli 1694.
- ARCHIVIO STORICO DEL COMUNE DI VENAUS (1836), *Relazione*.
- ARCHIVIO STORICO DIPARTIMENTO PROTEZIONE CIVILE (1965), Ministero LL. PP., Divisione 29, Matera C., Colobraro-Craco, B. 4. Craco - Zona movimento franoso. Foto sciolte. Craco, 17 gennaio 1965).
- ARPA PIEMONTE (2008), *Rapporto preliminare sull'evento alluvionale del 28-30 maggio 2008*, Torino, 39 pp.
- ARPA PIEMONTE - PROGETTO RISKINAT (2013), *Programma Operativo di cooperazione transfrontaliera tra Italia-Francia 2007-2013 ALCOTRA nel campo dei rischi idrogeologici*, Rapporto di sintesi.
- BERTEA A., CORDOLA M., DUTTO F., LONGO F., DOTTA A., CAFFO L., VANGELISTA Z., FONTAN D. (2010), *Il piano di protezione civile per emergenza valanghe del comune di Venaus*. Neve e Valanghe, 36.
- CASALIS G. (1840), *Il dizionario geografico storico-statistico-commerciale degli Stati di S. M. il Re di Sardegna*, Volume 6, Ed. Maspero Libraio e Cassone e Marzorati Tipografi, Torino, 1366 pp.
- CATENACCI V. (1992), *Il dissesto geologico e ambientale in Italia dal dopoguerra al 1990*, Vol. 47/1992, Ist. Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma, ISBN: 978-88-240-0286-8.
- CELICO P., GUADAGNO F.M. (1988), *L'instabilità delle coltri piroclastiche delle dorsali carbonatiche in Campania: attuali conoscenze*, Quaderni di Geologia Applicata, 5, 75-133.
- COMUNE DI CANELLI (1968), *Dichiarazione del Sindaco di Canelli*. Archivio Comunale di Canelli.
- CORPO REALE DI STATO MAGGIORE (1852), *Gran Carta degli Stati Sardi in Terraferma - F. LX Acqui*. Scala 1:50.000. Rilievi del 1852.
- COVIELLO V., ARATTANO M., TURCONI L. (2015), *Detecting torrential processes from a distance with a seismic monitoring network*, Natural Hazards 78 (3), 2055-2080.
- DE LUCA F., MASTRIANI R. (1852) *Dizionario Corografico-Universale dell'Italia*, vol. IV, parte I, Civelli, Milano, 155-156.
- DE MARICOURT L. (1842), *Un Éboulement a Gragnano*, in Id., Mes heures de paresse à Naples, Goujon et Milon, Paris, 199-206.

- DE RISO *et al.* (2004), *Fenomeni di instabilità dei Monti Lattari e dell'area flegrea (Campania): scenari di suscettibilità da frana in aree-campione*, Quaderni di Geologia applicata, 11, 1-26.
- DEL PRETE M., TRISORIO LIUZZI G. (1981), *Risultati dello studio preliminare della frana di Calitri (AV) mobilitata dal terremoto del 23/11/1980*, Geologia Applicata e Idrogeologia 16, 153-165.
- DI PALMA C. (2004) *Il dissesto idrogeologico dei monti Lattari: cause e possibili rimedi*, Convegno Fidapa di Gragnano, <http://www.centroculturalegragnano.it/monti-lattari/>
- GIGANTE A. (1845), *Un avvenimento funesto*, in Id., *Viaggio da Napoli a Castellammare*, Stamp. dell'Iride, Napoli, 149-152.
- GIZZI F.T., MASINI N. (2006), *Historical damage pattern and differential seismic effects in a town with ground cavities: A case study from Southern Italy*, Engineering Geology, 88, 41-58.
- GIZZI F.T., POTENZA M.R., ZOTTA C. (2012), *23 November 1980 Irpinia-Basilicata earthquake (Southern Italy): towards a full knowledge of the seismic effects*, Bulletin of Earthquake Engineering, 10(4), 1109-1131, DOI: 10.1007/s10518-012-9353-z.
- GIZZI F.T., BENTIVENGA M., LASAPONARA R., DANESE M., POTENZA M.R., SILEO M., MASINI N. (2019), *Natural Hazards, Human Factors, and "Ghost Towns": a Multi-Level Approach*, Geheritage. <https://doi.org/10.1007/s12371-019-00377-y>.
- GOVI M., TURITTO O. (1994), *Ricerche bibliografiche per un catalogo sulle inondazioni, piene torrentizie e frane in Valtellina e Valchiavenna*. Supplemento a GEAM, Quaderni di Studi e di Documentazione, Associazione Mineraria Subalpina, Torino, con floppy disk.
- <http://storing.ingv.it/cfti/cfti5/> *Catalogo dei Forti Terremoti in Italia*.
- I.G.M.I. (1880-1933-1966) *F. 69, II SO Canelli*. Scala 1:25.000. Rilievi del 1880, con ricognizioni parziali del 1897, con ricognizioni generali del 1923 e del 1966. Dal tipi dell'Archivio Topocartografico dell'Istituto Geografico Militare Italiano.
- IRES (1969) *Risposte a questionari concernenti i dissesti idrogeologici*, comune di Canelli.
- LA STAMPA, *Edizione del 12 febbraio 1951*.
- LIGUORI F.S. (1863), *Cenni storico critici della città di Gragnano*, Tip. Spinelli, Napoli.
- LUINO F., TURCONI L. (2017), *Eventi di piena e frana in Italia Settentrionale nel periodo 2005-2016*, Ed. SMS, Torino, 478 pp.
- LUINO F., RAMASCO M., SUSELLA G. (1993), *Atlante dei centri abitati instabili piemontesi*, 245 p., dicembre 1993, N. pubbl. GNDCI: 964, Torino.
- LUINO F., TURCONI L., PETREA C., NIGRELLI G. (2012), *Uncorrected land-use planning highlighted by flooding: the Alba case study (Piedmont, Italy)*. Nat. Hazards Earth Syst. Sci, 12, 2329-2346, doi:10.5194/nhess-12-2329-2012.
- LUINO F. (2002), *Flooding vulnerability of a town in the Tanaro basin: the case of Ceva (Piedmont - northwestern Italy)*. In: Thorndycraft V.R., Benito G., Barriendos M. & Llasat M.C. (Eds), Proc. of the PHE-FRA Workshop "Palaeofloods, Historical Data & Climatic Variability: Application in Flood Risk Assessment", Barcelona (Spain), 16-19 October 2002, 321-326.
- LUINO F., BELLONI A., PADOVAN N. IN COLLABORATION WITH BASSI M., BOSSUTO P. & FASSI P. (2002), *Historical and geomorphological analysis as a research tool for the identification of flood-prone zones and its role in the revision of town planning: the Oglio basin (Valcamonica - Northern Italy)*. 9th Congress of the IAEG, Durban (South Africa), 16-20 September 2002, 191-200.
- LUINO F., BELLONI A., TURCONI L., FACCINI F., MANTOVANI A., FASSI P., MARINCIONI F., CALDIROLI G. (2018), *An historical geomorphological approach to flood hazard management along the shores of an alpine lake (Northern Italy)*. Natural Hazard, 1-18. <https://doi.org/10.1007/s11069-018-3398-5>
- MASTRIANI F. (1855), *La frana*, in Id., *Il conte di Castelmoresco*, vol. I, Editori Tommaso Guerrero & C., Napoli, 5-16.
- MELE R., DEL PRETE S. (1999), *Lo studio della franosità storica per la valutazione della pericolosità da frane. Un esempio dell'area di Gragnano (Campania)*, Bollettino Società Geologica Italiana, 118, 91-111.
- MIGALE L.S., MILONE A. (1998), *Colate di fango in terreni piroclastici della Campania. Primi dati della ricerca storica*, Rassegna storica salernitana, 30, 235-271.
- MONTELLA N. (1841), *Sposizione del disastro avvenuto in Gragnano diretta ad allontanare il timore di ulteriori pericoli*, Tip. del Petrarca, Napoli.
- POLI G.S. (1806), *Memoria sul tremuoto de' 26 luglio del corrente anno 1805*, Orsini ed., Napoli, 1806, 223 pp.
- PORFIDO S., ESPOSITO E., LUONGO G., MARTURANO A. (1991), *Terremoti ed effetti superficiali: esempi nell'Appennino meridionale*, Studio Centri Abitati Instabili Portonovo di Ancona, 225-229.
- PORFIDO S., ESPOSITO E., ALAIA, F., MOLISSO, F., SACCHI, M. (2009), *The use of documentary sources for reconstructing flood chronologies on the Amalfi rocky coast (southern Italy)*. In: Geohazard in rocky coastal areas. GS,L, Publ.322,173-187. ISBS 978-1-86239-282-3.
- PORFIDO S., ESPOSITO E., GUERRIERI L., VITTORI E., TRANFAGLIA G., PECE R. (2007), *Seismically induced ground effects of the 1805, 1930 and 1980 earthquakes in the Southern Apennines, Italy*, Ital. J. Geosci. 126, 333-346.
- PORFIDO S., ALESSIO G., GAUDIOSI G., NAPPI R., SPIGA E. (2017a), *The resilience of some villages 36 years after the Irpinia-Basilicata (Southern Italy) 1980 earthquake*. Proc. 4th WLF2017 M. Mikoš *et al.* (eds.), Advancing Culture of Living with Landslides, DOI 10.1007/978-3-319-53483-1_15.
- PORFIDO S., ALESSIO G., GAUDIOSI G., NAPPI R., SPIGA E. (2017b), *Effetti ambientali indotti dai terremoti: il caso di studio di alcune località colpite dal sisma del 1980*, Conv. ASITA 2017- Salerno, 899-906.
- POSTPISCHL D., BRANNO A., ESPOSITO E., FERRARI G., MARTURANO A., PORFIDO S., RINALDIS V., STUCCHI M. (1985), *The Irpinia earthquake of November 23, 1980. Atlas of isoseismal maps of Italian earthquakes*, CNR-PFG N. 114, (2A), 152-157.
- PROGETTO AVI (1994), *Aree Vulnerate Italiane*, <http://avi.gndci.cnr.it/>.
- PROGETTO IFFI (2007-2017), *Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia*, <http://www.progettoiffi.isprambiente.it/carta-netiffi/progetto.asp>
- RANIERI C. (1841), *Sul funesto avvenimento della notte del 21 al 22 gennaio 1841 nel comune di Gragnano*, Boezio, Napoli.
- REGIONE PIEMONTE (1993-94), *Carta Tecnica Regionale: Sezione 193080 - Canelli*. Scala 1:10.000. Dai rilievi aerofotogrammetrici del 1991.
- REGIONE PIEMONTE (2000), *Rapporto sull'evento alluvionale del 13-16 ottobre 2000*, versione 1.1, Torino.
- SAMUELLI-FERRETTI A., SIRO L. (1983), *Comune di Calitri (AV)*, in: Indagini di microzonazione sismica CNR- PFG, Pubbl. n. 492.
- SERVA L., ESPOSITO E., GUERRIERI L., PORFIDO S., VITTORI E., COMERCI V. (2007), *Environmental Effects from some historical earthquakes in Southern Apennines (Italy) and macroseismic intensity assessment*. Contribution to INQUA EEE scale project. Quaternary International 173-174, 30-44.
- TROPEANO D., TERZANO P. (1987), *Eventi alluvionali nel bacino del Belbo: tipologia e frequenza dei dissesti in base a notizie storiche*. Bollettino della Associazione Mineraria Subalpina, XXIV, 3-4, 437-474.
- TROPEANO D., TURCONI L. (2003), *Geomorphic classification of alpine catchments for debris-flow hazard reduction*. Debris-Flow Hazards Mitigation: Mechanics, Prediction and Assessment; Davos, 10-12 settembre 2003, Rickenmann & Chen (Eds), Millpress Science Publishers, Rotterdam, 1221-1232, ISBN: 90-77017-78-X.
- TROPEANO D., TURCONI L. (2004), *Using historical documents in landslide, debris flow and stream flood prevention. Applications in Northern Italy*, Natural Hazards 31, 663-679, 2004 Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands.
- TROPEANO D., LUINO F., TURCONI L. (2006), *Eventi di piena e frana in Italia settentrionale nel periodo 2002-2004*, N. pubblicazione GNDCI: 2911, Ed. SMS, Torino.
- TROPEANO D., GOVI M., MORTARA G., TURITTO O., SORZANA P., NEGRINI G., ARATTANO M. (1999), *Eventi alluvionali e frane nell'Italia settentrionale. Periodo 1975-81*. CNR-IRPI, GNDCI, 240-243.
- TURCONI L., TROPEANO D. in co-operation with GABRIELE SAVIO (2008), *Debris flows in the Marderello catchment in Summer 2005 (Cenischia Valley, Western Italian Alps): a critical rainfall-process analysis*, Wildbach und Lawinenverbau, 72 (158), 42-61.
- TURCONI L., NIGRELLI G., CONTE R. (2014), *Historical datum as a basis for a new GIS application to support civil protection services in NW Italy*. Computers & Geosciences, Volume 66, 13-19, <http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2013.12.008>
- VALLARIO A. (2004), *Sarno: sei anni dalla catastrofe*, Guida, Napoli, 36-37.

La franosità dell'area abruzzese: casi di studio

Landslides in the Abruzzo area: case studies

Parole chiave: frane; terremoti; eventi meteorologici intensi; incendi; Appennino Centrale; fascia pedemontana; piana costiera
Key words: landslides; earthquakes; heavy meteorological events; wildfire; Central Apennines; piedmont hills; coastal area

Monia Calista
 Cristiano Carabella
 Gianluca Esposito
 Vania Mancinelli
 Valeria Menna
 Giorgio Paglia
 Tommaso Piacentini
 Marcello Buccolini
 Nicola Sciarra
 Enrico Miccadei*

Dipartimento di Ingegneria e Geologia (INGEO), Università degli Studi "G. d'Annunzio", Pescara

*E-mail: enrico.miccadei@unich.it

ABSTRACT

The Abruzzo Region is largely affected by landslide phenomena, widespread from the mountain to the coastal areas. It is located in the central eastern part of the Italian peninsula and it is framed in a complex geological and geomorphological context. In detail, the geomorphological evolution of the region began with the formation of the Apennine thrust belt, at least from the Miocene in the chain area and from the late Early Pleistocene in the piedmont area, and it is closely connected to the combination of endogenous (morphotectonics) and exogenous processes (slope, fluvial, karst and glacial processes). The region is characterized by active geomorphological processes, mostly due to the drainage network evolution and to slope gravity processes. Detailed geomorphological studies on landslides have been performed in the Abruzzo area since the beginning of 19th century. In this work we present the results of integrated investigations, carried out in the recent years in order to analyze different types of landslides according to their structural and geomorphological features. Four case studies outline the main different types of landslides affecting the chain, the piedmont and the coastal sector of the Abruzzo area, focusing on the main predisposing and/or triggering factors.

INTRODUZIONE

Come quasi tutte le regioni d'Italia, la Regione Abruzzo è caratterizzata da un'ampia diffusione dei fenomeni franosi dalle aree montane dell'Appennino centrale, alla fascia pedemontano-collinare fino ai versanti costieri. Tali fenomeni si differenziano per diffusione, caratteristiche e tipologia in relazione al contesto fisiografico e geomorfologico-strutturale. L'evoluzione geomorfologica è, infatti, legata a un complesso quadro geologico e strutturale sviluppatosi a partire dal Miocene superiore con la formazione della catena appenninica

fino a tutto il Quaternario con i processi di sollevamento regionale e tettonica estensionale (Fig. 1). L'intera regione è caratterizzata da processi geomorfologici attivi, principalmente dovuti all'evoluzione del reticolo idrografico e alla dinamica di versante. Studi geomorfologici dettagliati sulle frane sono stati condotti in Abruzzo sin dall'inizio del XIX secolo (a partire da Almagià, 1910) e si sono sviluppati per decenni fino alla redazione dei diversi inventari regionali (Progetto PAI - Regione Abruzzo, 2005; Progetto IFFI - Regione Abruzzo, 2007, Trigila *et al.*, 2018) ed alle più recenti analisi a carattere multidisciplinare.

In questo lavoro sono illustrati i risultati di indagini multidisciplinari svolte negli ultimi anni nell'area abruzzese, in diversi contesti geomorfologici e su diverse tipologie di fenomeni franosi. Quattro casi di studio delineano le principali tipologie di frane che interessano la catena, la fascia pedemontana e i versanti costieri, evidenziandone i principali fattori predisponenti e/o innescanti.

ASSETTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO REGIONALE

Il paesaggio abruzzese è diviso in tre principali domini morfostrutturali: la catena, la fascia pedemontana e la piana costiera. La catena è costituita da dorsali da *thrust* legate alla deformazione compressiva neogenica di successioni carbonatiche meso-cenozoiche, caratterizzate da spessori, litologie ed erodibilità diverse. Sovrascorrimenti a vergenza E e NE determinano la sovrapposizione di litotipi di natura calcarea su litotipi arenaceo-argillosi. La deformazione compressiva è stata seguita dalla tettonica trascorrente pliocenica e, successivamente, dalla tettonica estensionale pleistocenico-olocenica, sviluppata lungo sistemi di faglie con direzione da NW-SE a NNW-SSE e connessa al sollevamento regionale; questo ha contribuito a frammentare le unità morfostrutturali formando valli tettoniche e conche intermontane (D'Alessandro *et al.*, 2003; Parotto *et al.*, 2004; Patacca *et al.*, 2008;

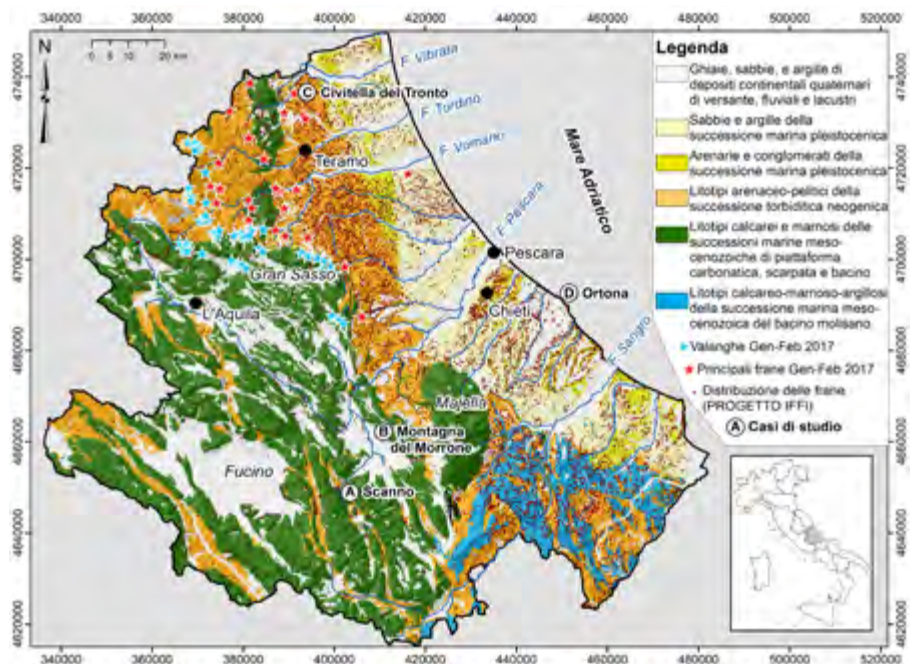


Figura 1. Schema litologico della Regione Abruzzo. Le lettere da A a D indicano l'ubicazione dei casi di studio. La distribuzione delle frane precedenti è derivata dal Progetto IFFI - Regione Abruzzo, 2007; la distribuzione di valanghe e delle principali frane di gennaio-febbraio 2017 è fornita dalla Protezione Civile Regione Abruzzo e da cronache locali e indagini sul campo

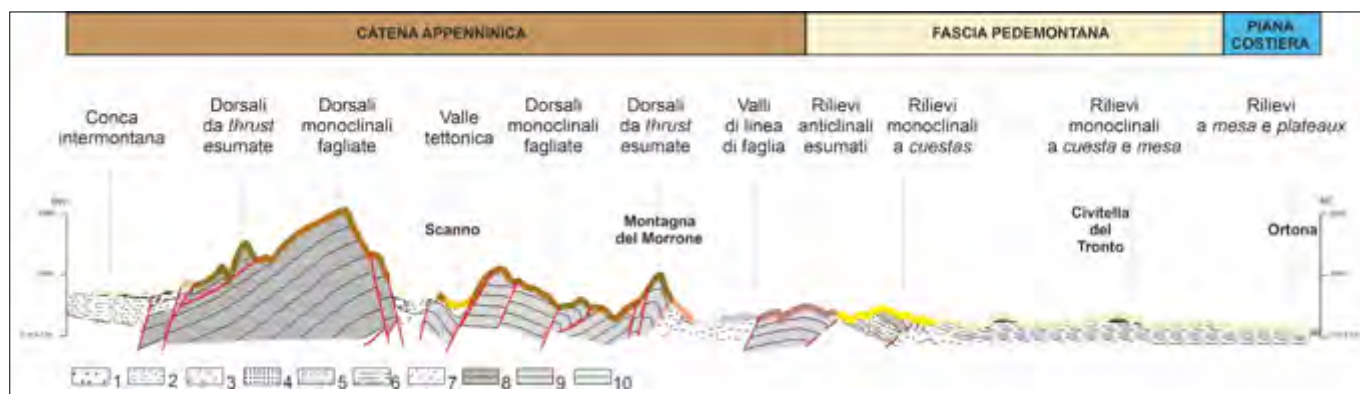


Figura 2. Profilo morfostrutturale e suddivisione fisiografica della Regione Abruzzo. Legenda. 1) Depositi alluvionali; 2) Depositi lacustri; 3) Depositi di versante; 4) Litotipi arenacei; 5) Litotipi conglomeratici; 6) Litotipi argillosi; 7) Litotipi argilloso-arenacei; 8) Litotipi calcarei e marnosi della successione marina di piattaforma carbonatica; 9) Litotipi calcarei e marnosi della successione marina di scarpata; 10) Litotipi calcareo-marnosi della successione marina di bacino

Calamita *et al.*, 2003; Miccadei *et al.*, 2017 e relativa bibliografia). La fascia pedemontana è caratterizzata da successioni torbiditiche mio-plioceniche di natura arenaceo-pelitica e pelitico-arenacea, disposte in strutture a pieghe e sovrascorse verso ENE; nell'area collinare-costiera successioni argilloso-sabbioso-conglomeratiche plio-pleistoceniche sono disposte in un'ampia monoclinale debolmente inclinata verso NE e caratterizzata da rilievi a *cuesta* e *mesa* (Bigi *et al.*, 2013; Miccadei *et al.*, 2017). La piana costiera è caratterizzata, anch'essa, da una sequenza argilloso-arenaceo-conglomeratica in assetto sub-orizzontale, interessata dal sollevamento regionale e da sistemi di faglie e fratture che hanno portato alla configurazione di un rilievo a *mesa* e *plateaux* (Miccadei *et al.*, 2019) (Fig. 2).

Dal punto di vista sismico, la Regione Abruzzo è coinvolta nell'intensa e recente sismicità dell'Italia centrale appenninica e da una più moderata sismicità dell'area pedemontana e costiera adriatica (Rovida *et al.*, 2016). Negli ultimi decenni, l'area è stata particolarmente colpita dal sisma dell'Aquila del 2009 (Mw 6,3) e dalla crisi sismica dell'Italia centrale del 2016-2017 (Mw max 6,5); quest'ultima costituita da una sequenza sismica forte e di lunga durata con oltre 65.800 scosse dal 24 agosto 2016 al 30 aprile 2017 (INGV, 2018 - ISIDE working group)

Dal punto di vista meteorologico generale, l'area abruzzese è caratterizzata da un clima di tipo mediterraneo con influenza marittima lungo le coste e nella zona collinare pedemontana ed un clima temperato nell'entroterra pedemontano e montano. La distribuzione delle precipitazioni varia da massimi annuali di 1500-2000 mm/anno sui rilievi principali fino a ~ 600 mm/anno lungo la costa. Occasionalmente si verificano eventi meteorici intensi, che condizio-

nano fortemente i fenomeni di dissesto, con precipitazioni > 100 mm/g (fino a oltre 250 mm/g e >30-40 mm/h anche a carattere nevoso) sia nell'area montana e pedemontana che lungo la costa (Di Lena *et al.*, 2012; Mariani and Parisi, 2014; Piacentini *et al.*, 2018).

CASI DI STUDIO

In questo lavoro vengono presentati i risultati di analisi condotte con un approccio multidisciplinare su quattro casi di studio di frane e movimenti gravitativi nell'area abruzzese. Le analisi si basano sulla combinazione di indagini topografiche (anche con rilievo fotografico da drone), cartografia geologica e geomorfologica di dettaglio, analisi geostrukturali, analisi fotogeologiche, supportate da analisi di stabilità e modellazioni numeriche 2D/3D. Tra gli studi effettuati sono presentati quattro casi rappresentativi dei diversi domini morfostrutturali: Area di catena A) frana di Scanno; B) evento della Montagna del Morrone; Area pedemontana C) frana di Ponzano di Civitella del Tronto; Area costiera D) frana di Ortona (Figg. 1 e 2).

A) LA FRANA DI SCANNO (AQ)

La frana di Scanno si è sviluppata tra le dorsali della Montagna Grande e del Monte Genzana, in una delle aree con maggiore quota media dell'intero Appennino Centrale. Essa è costituita da una grande valanga in roccia distaccatasi dal lato NE della valle principale e ha coinvolto litotipi calcarei e subordinatamente pelitico-arenacei. L'accumulo ha attraversato la valle risalendo parzialmente il versante SW formando, così, il lago di Scanno come lago di sbarramento per frana (Nicoletti *et al.* 1993; Bianchi-Fasani *et al.* 2011; Scarascia Mugnozza *et al.*, 2011; Della Seta *et al.* 2017; Francioni *et al.*, 2019). Sulla frana di Scanno è stata condotta un'indagine integrata in più fasi che comprende dettagliate indagini geologiche, geomeccaniche e geomorfologiche di terreno, analisi LiDAR e fotogrammetria digitale, e analisi numeriche cinematiche e di equilibrio limite. L'integrazione dei risultati con gli studi precedenti ha fornito nuovi contributi sulla definizione del modello geomeccanico/strutturale e una migliore comprensione dei fattori predisponenti e innescanti.

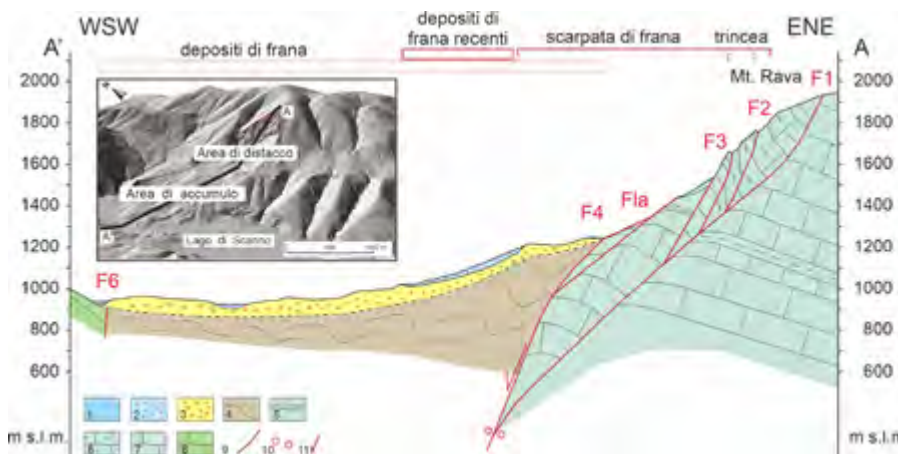


Figura 3. Sezione geologico-geomorfologica della frana di Scanno che mostra la connessione della scarpata di frana con la zona di faglia (Difesa-Monte Genzana), caratterizzata dall'intersezione di piani di faglia ad alto angolo (F1, F4) e piani di faglia a basso angolo (Fla). Nel riquadro è riportata la traccia della sezione. Legenda: 1) Depositi fluviali e di versante; 2) Depositi di frana recenti; 3) Depositi della frana di Scanno; 4) Rocce pelitico-arenacee; 5) Rocce argilloso-marnose; 6) Calcari marnosi; 7) Calcari e calcari marnosi; 8) Calcari; 9) Faglia; 10) Cinematica trascorrente; 11) Cinematica diretta

L'area di distacco e la scarpata della frana sono legate all'intersezione di due sistemi di faglie (Fig. 3), associati alla zona di faglia Difesa-Monte Genzana (Francioni *et al.*, 2019):

- un'ampia faglia a basso angolo a direzione circa NNW-SSE (immergente a SW di 40-50°) che rappresenta la parte bassa della scarpata principale;
- piani di faglia ad alto angolo e fratture (sistemi a direzione NW-SE e SW-NE) che rappresentano le superfici di *backscarp* e di rilascio laterale della frana.

La creazione di modelli 3D pre- e post-frana (sulla base di DEM con maglia di 1 m derivati da dati LIDAR) ha consentito la verifica della morfometria della frana, indicando una superficie di $2,7 \times 10^6$ m² e un volume stimato di 100×10^6 m³, leggermente superiore alle stime precedenti.

Le *back-analysis* all'equilibrio limite hanno mostrato un fattore di sicurezza compreso tra 1,2 e 2,0 in condizioni statiche. Considerando condizioni dinamiche (con valori di PGA pari a 0,250-0,275, Gruppo di Lavoro MPS, 2004), il fattore di sicurezza varia da condizioni di stabilità (1,1 nel caso di un basso coefficiente sismico e valori elevati dell'angolo di attrito) a una condizione

di instabilità (inferiore a 1 nel caso di un alto coefficiente sismico e bassi valori di angolo di attrito).

I risultati ottenuti suggeriscono un controllo morfostrutturale della frana, legato alla complessa zona di faglia, e un innesco sismoindotto coerente con l'attuale regime tettonico correlato alla tettonica estensionale attiva nell'area appenninica (possibili eventi di Mw 4,5-6,5 entro 10 Km dall'area di Scanno) e in accordo con i dati disponibili nella banca dati sismica italiana.

B) L'EVENTO DELLA MONTAGNA DEL MORRONE (AQ)

La Montagna del Morrone è una dorsale che borda a NE la conca intermontana di Sulmona, in una delle aree con maggiori dislivelli topografici ed energia del rilievo della catena appenninica. Il versante sud-occidentale è caratterizzato da successioni carbonatiche meso-cenozoiche in facies di margine e piattaforma carbonatica (settore centro-meridionale) e di scarpata-bacino (settore settentrionale). Le litologie del substrato sono coperte da una coltre di depositi continentali quaternari riferibili a depositi di paleo-frana, di versante e di conoide alluvionale. Dal punto di vista tettonico, gli strati sono generalmente a reggipoggio immergenti a NE e

il versante è interessato da due principali sistemi di faglie a direzione NW-SE, immergenti a SW. La geomorfologia dell'area è caratterizzata da un imponente versante di faglia, interessato da più generazioni di eventi franosi (con paleofrane anche di grandi dimensioni), falde di detrito e conoidi alluvionali (Miccadei *et al.*, 2004). Nell'estate 2017 il versante è stato interessato da un ampio incendio (2200 ha) nel settore centro-meridionale (Frate *et al.*, 2018). Lo studio si è incentrato sull'analisi delle modificazioni geomorfologiche del versante e sulla pericolosità da frana post-incendio, in relazione all'interazione di alcuni fattori predisponenti tra cui topografia, geologia, geomorfologia, copertura vegetale, precipitazioni (Carabella *et al.*, 2019). Lo studio è stato condotto integrando analisi morfometrica di orografia e idrografia, rilevamento geologico, geomorfologico e geomeccanico, analisi della variazione della vegetazione pre- e post-incendio. Sulla base dei dati raccolti, l'analisi della pericolosità da frana post-incendio è stata sviluppata seguendo un approccio euristico o *expert-based* elaborato tramite l'utilizzo dell'ambiente software GIS. Questo approccio ha portato all'identificazione di cinque parametri (pendenza, caratteristiche litologiche,

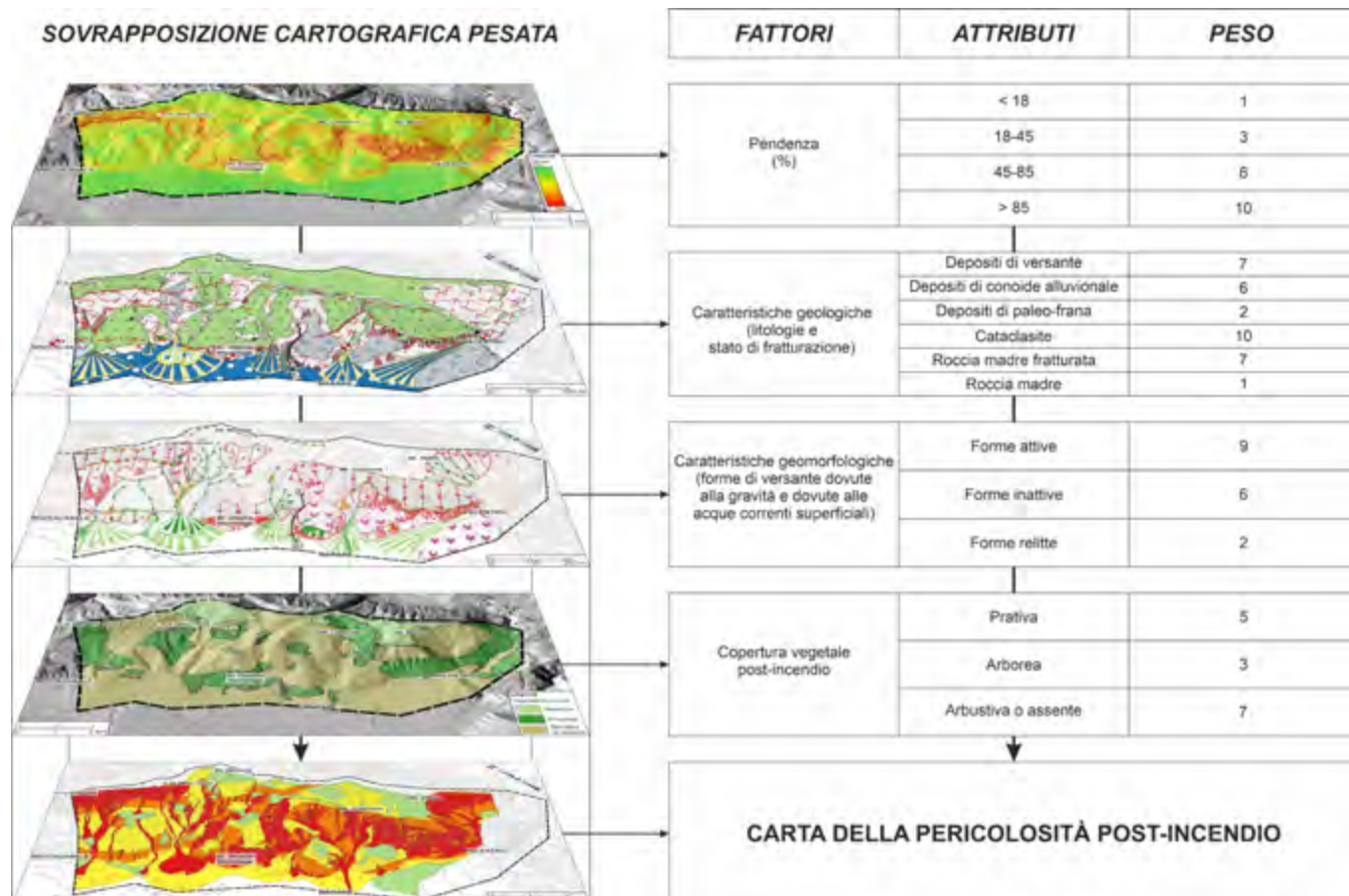


Figure 4. Metodo di overlay cartografico e matrice geomorfologica per la definizione della distribuzione spaziale della pericolosità da frana post incendio sul versante SW della Montagna del Morrone

fratturazione, elementi geomorfologici, copertura vegetale post-incendio), considerati come fattori di instabilità e rappresentati in carte tematiche. Ogni classe dei diversi parametri è stata valutata con un peso tra 1 e 10 in base alla predisposizione all'inscasso di fenomeni di dissesto (frane da crollo e *debris flows*). L'integrazione dei pesi dei parametri secondo una matrice geomorfologica complessiva ha definito quattro classi di pericolosità da frana (bassa, moderata, elevata e molto elevata) (Fig. 4). La valutazione è stata verificata anche attraverso fenomeni post-incendio in quanto il peggioramento delle condizioni geomorfologiche dell'area è stato confermato, nell'agosto 2018 dal verificarsi di un *debris-flow* innescato da un evento di pioggia intenso e di breve durata (~90 mm in circa 12 ore). Tutti i dati raccolti sono stati integrati nel software GIS attraverso un metodo di sovrapposizione cartografica e ponderata (Roslee *et al.*, 2017) al fine di rappresentare la distribuzione spaziale della pericolosità da frana per l'area di studio, che può essere utilizzata per scopi di protezione civile in ambienti boschivi montani.

C) LA FRANA DI PONZANO DI CIVITELLA DEL TRONTO (TE)

La frana di Ponzano si è sviluppata nel settore pedemontano-collinare abruzzese e si è verificata come riattivazione e ampliamento di un fenomeno preesistente.

Essa si è innescata a seguito di un periodo di intense precipitazioni (Di Lena *et al.*, 2017), anche a carattere nevoso, e dell'ultima fase della crisi sismica dell'Italia centrale (gennaio–febbraio 2017). Si tratta di una grande frana complessa (lunga 1,4 km, larga 0,6 km, per 56 ha di superficie) con molteplici movimenti legati a scorrimento traslazionale, con componenti rotazionali nella parte superiore ed evoluzione a colamento nella parte inferiore. Il movimento recente si è verificato bruscamente il 12 febbraio 2017 e si è evoluto lentamente nei giorni successivi.

L'assetto morfostrutturale consiste in un rilievo tipo *hog-back* orientato NNW-SSE impostato su litotipi arenacei (inclinati di 40–60° in direzione ENE) intervallati da litotipi argillosi con livelli arenacei coperti da spesse coltri colluviali e depositi di frana. La frana ha interessato l'intera copertura colluviale e la parte superiore del substrato argilloso per uno spessore fino oltre 70 m. Essa, inoltre, è caratterizzata da sistemi di scarpate, *push ridges*, fessure di tensione, trincee e occasionalmente vulcanelli di frango.

Al fine di definire il modello di deformazione verificatosi, i rilievi geologici e geomorfologici sono stati combinati con un'interpretazione fotogeologica pre- e post-frana (Fig. 5). Questa ha delineato la deformazione più elevata (fino a 15 m) in tre aree principali all'interno della frana (Calista *et al.*, 2019a): la prima situata

nella parte superiore vicino alla scarpata principale meridionale; la seconda nella parte centrale lungo il principale terrazzo di frana; la terza nella parte medio-bassa. I risultati delle analisi effettuate sono congruenti e in accordo con le precedenti rilevazioni GPS condotte dal Comune di Civitella del Tronto prima e dopo l'evento del 2017 (Solari *et al.*, 2018; Allasia *et al.*, 2018).

L'analisi documenta come l'assetto morfostrutturale abbia condizionato il meccanismo di rottura, controllando l'evoluzione del fenomeno franoso. Le gravose condizioni idrogeologiche hanno agito come fattori innescanti; mentre lo scuotimento sismico potrebbe aver contribuito al solo peggioramento delle condizioni litotecniche.

D) LE FRANE COSTIERE DI PUNTA FERRUCCIO (ORTONA, CH)

L'area costiera di Punta Ferruccio si inquadra nel contesto delle coste alte dell'Abruzzo meridionale caratterizzate da falesie e versanti costieri in arretramento, impostati sul margine di rilievi a *mesa* e *plateaux* in rocce tenere (argilloso-sabbioso-arenacee e conglomeratiche). Al fine di caratterizzare l'evoluzione geomorfologica di questo settore costiero, analisi di dati LIDAR, interpretazione di foto aeree, dettagliate indagini geologiche, geomorfologiche e strutturali sono state combinate con la modellazione numerica effettuata con il codice di calcolo FLAC3D (Itasca, 2012).

Il sito di Punta Ferruccio è caratterizzato da una falesia verticale e, a tratti, con profilo concavo-convesso con altezza >25 m impostata in litotipi conglomeratici con intercalazioni e lenti arenacee; alla base sono presenti livelli argilloso-arenacei poco consistenti. I litotipi conglomeratici sono caratterizzati da sistemi di fratture ad alto angolo con orientazione NW-SE, NNE-SSW e ENE-WSW e disposizione variabile rispetto alla falesia. Alla base della falesia, nei livelli argilloso-arenacei, sono presenti solchi di battente con profondità fino a 7 m e altezza fino a 4 m (Calista *et al.*, 2019b).

L'analisi di stabilità effettuata ha rivelato che la falesia raggiunge le condizioni di rottura in aree critiche individuate sia lungo le principali discontinuità con direzione parallela alla scogliera sia all'intersezione di due sistemi di fratture, che definiscono cunei al di sopra dei solchi di battente (Fig. 6a). Le sezioni bidimensionali (Fig. 6b, c) delineano un movimento di ribaltamento che coinvolge la

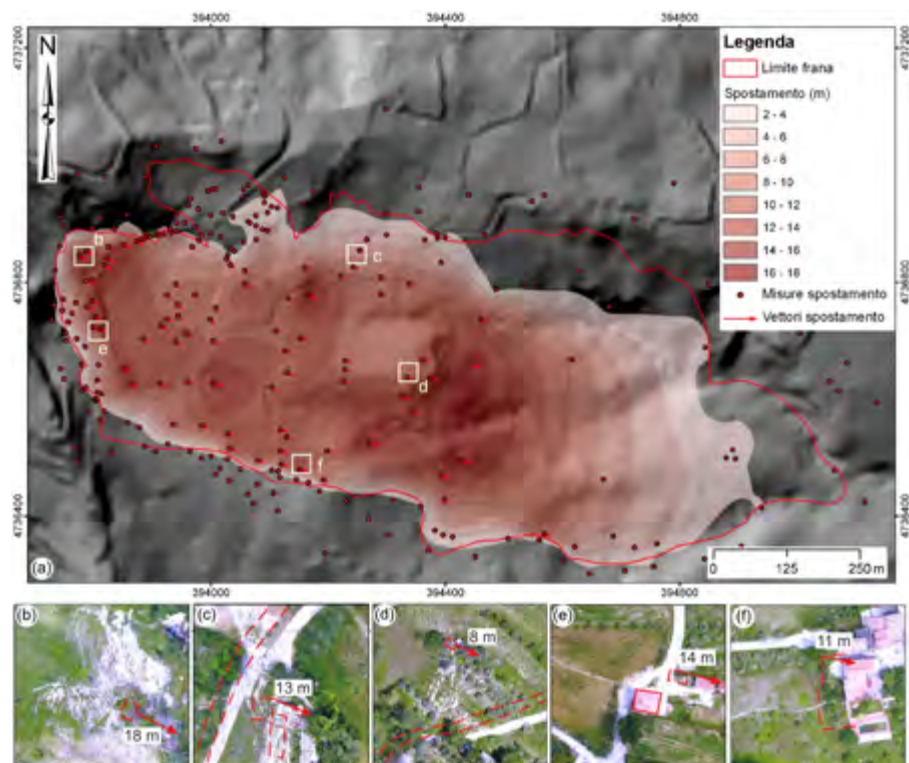


Figure 5. (a) Distribuzione della deformazione nella frana di Ponzano di Civitella del Tronto (febbraio–maggio 2017). I dettagli da (b) a (f) evidenziano i punti significativi di misurazione della deformazione osservati nell'area di frana; le immagini sono derivate da una ortofoto post-frana realizzata con volo drone (maggio 2017) e linee rosse a tratteggio indicano la posizione degli elementi pre-frana (ortofoto 2010–2015)

falesia nei cunei sopra i solchi di battente. Le fratture principali influenzano ampiamente la geometria di rottura e i meccanismi di frana: i vettori di spostamento hanno, infatti, origine dai giunti più esterni (Fig. 6b) o all'intersezione di due sistemi di fratture (Fig. 6c).

ne costiere; queste ultime sono indotte prevalentemente dall'erosione del moto ondoso alla base delle falesie e sono controllate dalla variabilità litologica e dall'assetto morfostrutturale delle principali discontinuità e fratture (Calista *et al.*, 2019b; Miccadei *et al.*, 2019).

scorrimento e complesse nell'area pedemontana; frane da ribaltamento e crollo lungo le falesie delle aree costiere (a cui si affiancano frane di scorrimento anche di grandi dimensioni). I risultati di tali analisi hanno consentito di individuare e definire anche i principali fattori

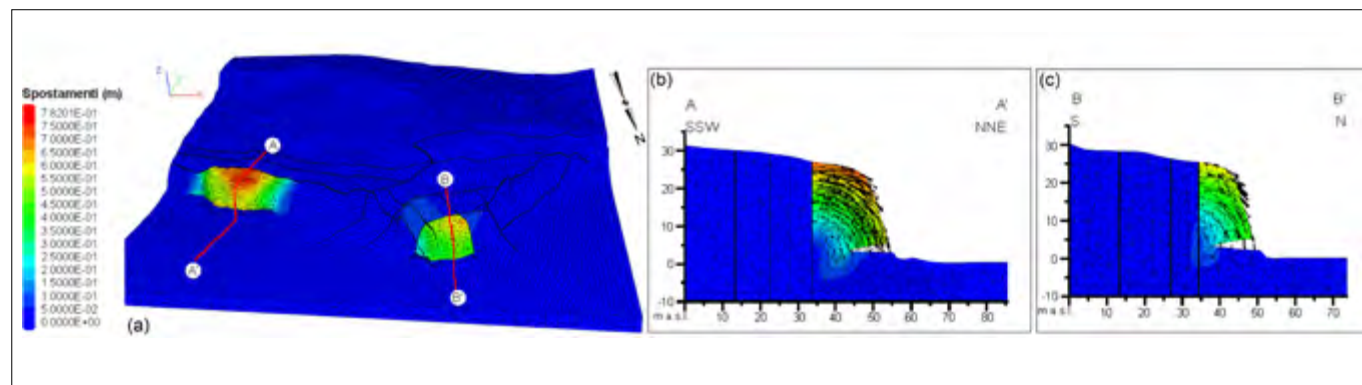


Figure 6. (a) Modello tridimensionale della falesia di Punta Ferruccio e sezioni (b, c) che indicano entità e vettori dello spostamento

I risultati ottenuti confermano quanto verificato nelle ripetute indagini geomorfologiche effettuate dal 2004 al 2017. In particolare, la scogliera di Punta Ferruccio (Fig. 7) è stata colpita da ripetute frane. L'evento del 2004-2005 evidenzia meccanismi di ribaltamento e crollo controllati da fratture e solchi di battente (L1 nella Fig. 7b,c). Nell'evento del 2014 un movimento di ribaltamento ha interessato un cuneo roccioso (L2 in Fig. 7c) che corrisponde ad una delle aree critiche definite nella modellazione.

In sintesi, le coste alte dell'Abruzzo meridionale sono interessate da tassi di arretramento da moderati a elevati (fino a 1 m/a) per lo più dovuti a fra-

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

A partire dalla ricca documentazione e dagli studi precedenti condotti sulla franosità della Regione Abruzzo, recenti indagini multidisciplinari hanno consentito di valutare dettagliatamente e sotto differenti aspetti le diverse tipologie di frane e le loro relazioni con l'assetto morfostrutturale dei settori di catena, pedemontani e costieri che caratterizzano la regione. Le principali tipologie analizzate e discusse in questo lavoro sono costituite da: grandi frane in roccia recenti o antiche e rapidi movimenti gravitativi (*debris flows* e frane da crollo) nell'area di catena; frane di

predisponenti e/o innescanti i fenomeni franosi. Nel dettaglio, i fattori predisponenti sono essenzialmente legati alla litologia e all'assetto morfostrutturale (legato a zone di faglia, sistemi di fratture e assetto giaciturale, ma anche a eventi quali incendi e variazioni delle coperture vegetali). I fattori di innesco sono, invece, per lo più riferibili a eventi meteorici intensi che caratterizzano il settore abruzzese (e in particolare quello pedemontano) con precipitazioni fino a oltre 250 mm/g e oltre 40 mm/h e talvolta con spesse coperture nevose (evento di gennaio 2017). La forte e intensa sismicità che ha interessato l'area abruzzese, in particolare negli ultimi

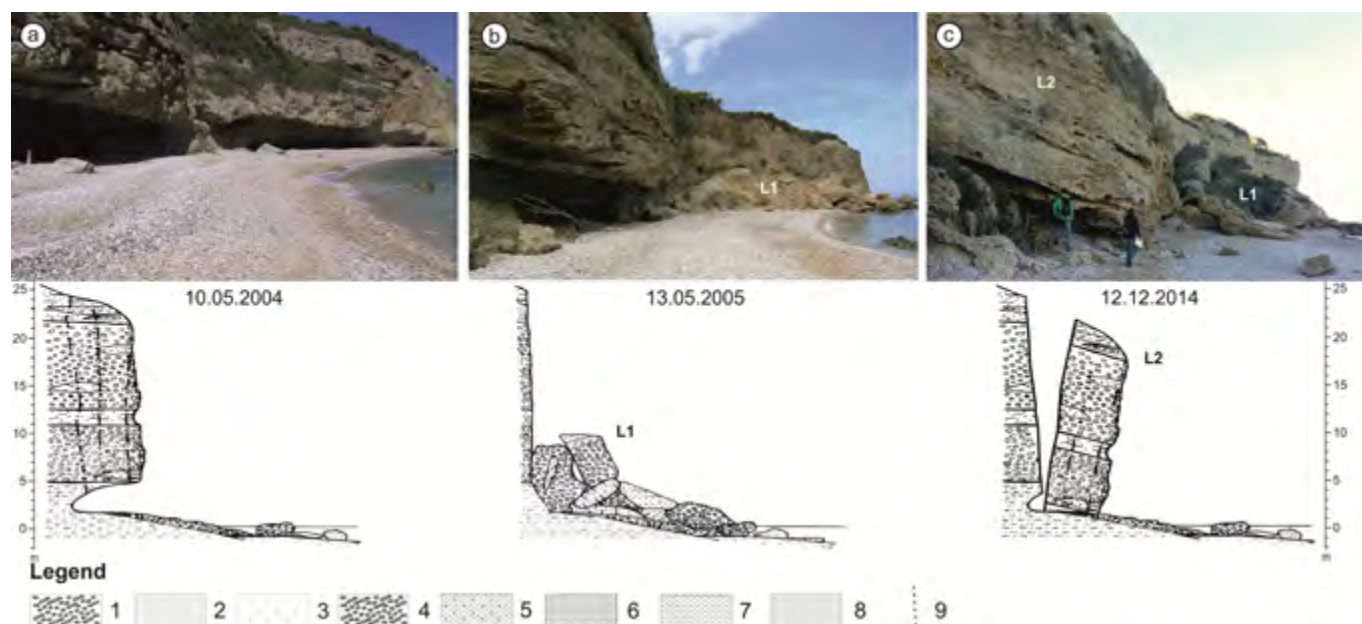


Figure 7. Falesia di Punta Ferruccio. Immagini fotografiche multitemporali e relative sezioni schematiche che evidenziano l'evoluzione della falesia per movimenti franosi successivi. (a) Nel 2004 si evidenzia la falesia orlata alla base da un ampio solco di battente; (b) nel 2005 si evidenzia un primo fenomeno franoso (per ribaltamento/crollo, L1) che ha interessato la falesia; (c) nel 2014 si evidenzia un secondo movimento franoso (per ribaltamento, L2) che ha smantellato gran parte del solco di battente controllato da sistemi di fratture paralleli al versante. Legenda: 1) Ghiaia; 2) Sabbia; 3) Depositi di frana; 4) Conglomerati; 5) Argilla con livelli arenacei; 6) Arenaria; 7) Argilla; 8) Sabbia argillosa; 9) Fratture principali

10 anni, sembra aver determinato, da un lato l'insacco di fenomeni singoli in occasione delle principali scosse sismiche, dall'altro potrebbe aver contribuito al peggioramento delle condizioni litotecniche delle rocce e delle discontinuità tettoniche o fratture.

Le analisi multidisciplinari di dettaglio hanno consentito di caratterizzare approfonditamente la franosità ampiamente diffusa in tutto il territorio abruzzese. In questo lavoro si presentano quattro casi di esempio, analizzati al fine di valutare le tipologie di frane in relazione a fattori predisponenti e cause innescanti. Nel complesso, tale valutazione consente di supportare analisi a larga scala per la corretta valutazione di pericolosità e rischio in chiave di protezione civile, fornendo un contributo importante ai fini della corretta gestione e pianificazione territoriale.

BIBLIOGRAFIA

- ALLASIA P., BALDO M., GIORDAN D., GODONE D., WRZESNIAK A., LOLLINO G. (2018), *Near Real Time Monitoring Systems and Periodic Surveys Using a Multi Sensors UAV: The Case of Ponzano Landslide*. In Proceedings of the IAEG/AEG Annual Meeting, San Francisco, CA, USA, 17–21 September 2018; Springer International Publishing: Cham, Switzerland, Vol. 1, pp. 303–310.
- ALMAGIÀ R. (1910), *Studi geografici sulle frane in Italia*. Mem. Soc. Geogr. It., 13.
- ARINGOLI D., CALISTA M., GENTILI B., PAMBIANCHI G., SCIARRA N. (2008), *Geomorphological features and 3D modeling of Montelparo mass movement (Central Italy)*. Eng. Geol., 99, 70–84.
- BIANCHI FASANI G., ESPOSITO C., PETITTA M., SCARASCIA MUGNOZZA G., BARBIERI M., CARDARELLI E., CERCATO M., DI FILIPPO, G. (2011), *The importance of geological models in understanding and predicting the life span of rockslide dams: the case of Scanno Lake, Central Italy*. Lect. Notes Earth Sci. 133, 323–345.
- BIGI S., CONTI A., CASERO P., RUGGIERO L., RECANATI R., LIPPARINI L. (2013), *Geological model of the central Periadriatic basin (Apennines, Italy)*. Marine and Petroleum Geology 42, 107–121.
- CALAMITA F., PALTRINIERI W., PELOROSSO M., SCISCIANI V., TAVARNELLI E. (2003), *Inherited Mesozoic architecture of the Adria continental palaeomargin in the Neogene Central Apennines orogenic system, Italy* Italian Journal of Geosciences (1 January 2003) 122 (2): 307–318.
- CALISTA M., MICCADEI E., PIACENTINI T., SCIARRA N. (2019a), *Morphostructural, meteorological and seismic factors controlling landslides in weak rocks: The case studies of Castelnuovo and Ponzano (North East Abruzzo, Central Italy)*. Geosciences, 9, 122.
- CALISTA M., MASCIOLI F., MENNA V., MICCADEI E., PIACENTINI T. (2019b), *Recent Geomorphological Evolution and 3D Numerical Modelling of Soft Clastic Rock Cliffs in the Mid-Western Adriatic Sea (Abruzzo, Italy)*. Geosciences, 9, 309.
- CARABELLA C., MICCADEI E., PAGLIA G., SCIARRA N. (2019), *Post-wildfire landslide hazard assessment: the case of the 2017 Montagna del Morrone fire (Central Apennines, Italy)*. Geosciences, 9(4), 175.
- D'ALESSANDRO L., MICCADEI M., PIACENTINI T. (2003), *Morphostructural elements of central-eastern Abruzzi: contribution to the study of the role of tectonics on the morphogenesis of the Apennine chain*. Quat. Int., 101–102C, pp. 115–124.
- DELLA SETA M., ESPOSITO C., MARMONI G.M., MARTIN, S., SCARASCIA MUGNOZZA G., TROIANI F. (2017), *Morpho-structural evolution of the valley-slope systems and related implications on slope-scale gravitational processes: New results from the Mt. Genzana case history (Central Apennines, Italy)*. Geomorphology 289, 60–77.
- DI LENA B., ANTENUCCI F., MARIANI, L. (2012), *Space and time evolution of the Abruzzo precipitation*. Ital. J. Agrometeorol. 2012, 1, 5–20.
- DI LENA B., GIULIANO D. (2017), *Report Meteorologico del Mese di Gennaio e Febbraio 2017 nella Regione Abruzzo*. Available online: <https://docplayer.it/54882937-Report-meteorologico-del-mese-di-gennaio-2017-nella-regione-abruzzo.html> (accessed on 7 March 2019).
- FRANCIONI M., CALAMITA F., COGGAN J., DE NARDIS A., EYRE M., MICCADEI E., PIACENTINI T., STEAD D., SCIARRA N. (2019), *A Multi-Disciplinary Approach to the Study of Large Rock Avalanches Combining Remote Sensing, GIS and Field Surveys: The Case of the Scanno Landslide, Italy*. Remote Sensing, 11, 1570.
- FRATE L., FABRIZIO M., CIASCHETTI G., SPERA M. (2018), *Analisi spaziale dell'incendio del Morrone nel Parco Nazionale della Majella mediante l'utilizzo di immagini satellitari*. Riv. Selvic. Ed. Ecol. For., 15, 59–64.
- GRUPPO DI LAVORO MPS (2004), *Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003*. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma.
- ITASCA (2012), *Fast Lagrangian Analysis of Continua in 3-Dimension (FLAC3D V 5.01)*. Itasca Consulting Group, Minnesota; 2012.
- MARIANI L., PARIS, S.G. (2014), *Extreme rainfalls in the Mediterranean area*. Adv. Nat. Technol. Hazards 2014, 39, 17–37.
- MICCADEI E., PARON P., PIACENTINI T. (2004), *The SW escarpment of Montagna del Morrone (Abruzzi, Central Italy): Geomorphology of a fault-generated mountain front*. Geogr. Fis. Din. Quat., 27, 55–87.
- MICCADEI E., PIACENTINI T., BUCCOLINI M. (2017), *Long-term geomorphological evolution in the Abruzzo area (Central Apennines, Italy): twenty years of research*. Geologica Carpathica, 68, 1, 19 – 28.
- MICCADEI E., MASCIOLI F., RICCI F., PIACENTINI T. (2019), *Geomorphology of soft clastic rock coasts in the mid-western Adriatic Sea (Abruzzo, Italy)*. Geomorphology, 324, 72–94.
- INGV (2018), *ISIDe Working Group (2018) Version 1.0*. Available online: <http://cnt.rm.ingv.it/> (accessed on 3 August 2018).
- NICOLETTI P., PARISE M., MICCADEI E. (1993), *The Scanno rock avalanche (Abruzzi, south-central Italy)*. Bollettino Società Geologica Italiana, 112: 523–535.
- PAROTTO M., CAVINATO G.P., MICCADEI E., TOZZI M. (2004), *Line CROP 11: Central Apennines*. Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia 62, 145–153.
- PATACCA E., SCANDONE P., DI LUZIO E., CAVINATO G.P., PAROTTO M. (2008), *Structural architecture of the central Apennines: Interpretation of the CROP 11 seismic profile from the Adriatic coast to the orographic divide*. Tectonics 27, TC3006.
- PIACENTINI T., GALLI A., MARSALA V., MICCADEI E. (2018), *Analysis of Soil Erosion Induced by Heavy Rainfall: A Case Study from the NE Abruzzo Hills Area in Central Italy*. Water, 10, 1314.
- REGIONE ABRUZZO (2005), *Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico dei Bacini di Rilievo Regionale Abruzzesi e del Bacino del Fiume Sangro*. (L.R. 18.05 1989 n.81 e L. 24.08.2001). Servizio Difesa del Suolo Regione Abruzzo.
- REGIONE ABRUZZO (2007), *PROGETTO IFFI - Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia*.
- ROSLEE R., MICKEY A.C., SIMON N., NORHISHAM M.N. (2017), *Landslide susceptibility analysis (LSA) using weighted overlay method (WOM) along the Genting Sempah to Bentong highway, Pahang*. Malaysia. J. Geosci. 1(2), 13–19.
- ROVIDA A., LOCATI M., CAMASSI R., LOLLIB., GASPERINI P. (2016), *CPTI15, the 2015 Version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes*; INGV: Bologna, Italy, 2016; doi:10.6092/INGV.IT-CPTI15.
- SCARASCIA MUGNOZZA G., BIANCHI FASANI G., ESPOSITO C., PETITTA M., BARBIERI M., CARDARELLI E., CERCATO M., DI FILIPPO G. (2011), *The importance of the geological model to understand and predict the life span of rockslide dams: the Scanno Lake case study, Central Italy*. Security of natural and artificial rockslide dams, NATO Advanced Research Workshop, Kluwer - Natural and Artificial Rockslide Dams pp. 323.
- SHEN H., KLAPPERICH H., ABBAS S.M., IBRAHIM A. (2012), *Slope stability analysis based on the integration of GIS and numerical simulation*. Autom. Constr. 2012, 26, 46–53.
- SOLARI L., RASPINI F., DEL SOLDATO M., BIANCHINI S., CIAMPALINI A., FERRIGNO F., TUCCI S., CASAGLI N. (2018), *Satellite radar data for back-analyzing a landslide event: The Ponzano (Central Italy) case study*. Landslide 2018, 15, 773–782.
- TRIGILA A., IADANZA C., BUSSETTINI M., LASTORIA B. (2018), *Dissesto idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio - Edizione 2018*. ISPRA, Rapporti 287/2018.

Modellazione idraulica mediante HEC-RAS - GIS in provincia di Bergamo

Filippo Massimiliano Gagliano
Docente di genio rurale - I.I.S. "M. Rigoni Stern", Bergamo
E-mail: fmgagliano@gmail.com

Hydraulic modeling with HEC-RAS - GIS in the province of Bergamo

Parole chiave: HEC-RAS, modellazione, rischio idraulico, sistema informativo geografico
Key words: HEC-RAS, modeling, flood risk, geographic information system

SOMMARIO

Le inondazioni sono diventate una piaga negli ultimi anni, sempre più frequenti e devastanti. L'urbanizzazione ha provocato la trasformazione dei suoli naturali in terreni impermeabilizzati per le aree residenziali, commerciali e industriali. Un tessuto densamente antropizzato ha influenzato in modo negativo il ciclo idrologico provocando generalmente l'aumento dei caudali punta, aumento dei volumi di deflusso, e di conseguenza un aumento delle inondazioni. Da uno studio del CNR (Consiglio di Ricerca Nazionale delle Ricerche) e dell'I.R.P.I. (Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica), dal 1801 al 1999, sono stati raccolti documenti e testimonianze di danni provocati da 60 piene: 20 (33,3%) hanno riguardato solo l'asta principale del F. Serio, 10 (16,7%) il F. Serio in concomitanza con i suoi affluenti e le restanti 30 (50%) si sono manifestate esclusivamente lungo gli affluenti. L'Italia non sfugge ai problemi di inondazione, la gestione delle inondazioni richiede fondamentalmente una migliore conoscenza del fenomeno (inondazione) e l'uso di metodi previsionali. Il contributo (l'articolo) è incentrato sulla modellazione idraulica del bacino del fiume Serio in provincia di Bergamo. Sono certamente di massima importanza gli effetti delle onde di piena per mitigare le conseguenze nei bacini urbani di piccola estensione per mitigare le conseguenze di esse, eppure attualmente c'è poca disponibilità di questo tipo di analisi idrauliche con un basso grado di incertezza che possano essere utilizzate nei modelli previsionali. Per raggiungere questo scopo, la distribuzione delle precipitazioni viene studiata e mappata utilizzando uno strumento GIS. Nel presente studio si è impiegato il software di modellazione idraulica HEC-GeoRAS, applicazione del modello bidimensionale basata su un'analisi di tipo idro-geomorfologico integrata in ambiente GIS. La stima del periodo di ritorno delle precipitazioni è calcolata utilizzando il software Hyfran. Vengono

calcolate le simulazioni di inondazioni per analizzare e mappare il rischio idraulico dei bacini idrografici. L'analisi dei risultati mostra una buona correlazione tra i parametri simulati e quelli misurati.

ABSTRACT

The floods have become a plague in recent years, ever more frequent and devastating. Urbanization has resulted in the transformation of natural soils into waterproofed soils for residential, commercial and industrial areas. Urbanization has resulted in the transformation of natural soils into waterproofed soils for residential, commercial and industrial areas. A densely anthropized tissue has negatively influenced the hydrological cycle, generally causing the increase of the caudal tip, an increase in the outflow volumes, and consequently an increase in the floods. From a study by the CNR (National Research Council for Research) and I.R.P.I. (Research Institute for Hydrogeological Protection), from 1801 to 1999, documents and testimonies of damage caused by 60 floods were collected: 20 (33.3%) concerned only the main F. Serio auction, 10 (16.7%) the F. Serio concomitantly with its tributaries and the remaining 30 (50%) manifested exclusively along the tributaries. Italy does not escape flood problems, flood management requires a better knowledge of the phenomenon (flooding) and the use of forecasting methods. The contribution (the article) focuses on the hydraulic modeling of the Serio river basin in the province of Bergamo. The effects of flood waves in small urban basins are certainly of utmost importance to mitigate the consequences of them, yet there is currently little availability of this type of hydraulic analysis with a low degree of uncertainty that can be used in forecasting models. In the present study the HEC-GeoRAS hydraulic modeling software was used, application of the two-dimensional model based on a hydro-geomorphological analysis integrated in GIS environment. To achieve this, the precipitation distribution is

studied and mapped using the GIS tool. Estimates of rainfall return periods is calculated using Hyfran software. Flood simulations are calculated to analyze and map the hydraulic risk of river basins. The analysis of the results shows a good correlation between the simulated and the measured parameters.

1. INTRODUZIONE

Le passate e recenti alluvioni che hanno colpito la Regione Lombardia hanno rivelato un allarmante stato di fragilità idraulica diffusa in tutto il territorio, insieme all'urgente necessità di adeguate opere di difesa idraulica. La modellazione matematica può essere uno strumento utile alla prevenzione nei confronti degli eventi.

La modellazione digitale del flusso di acque superficiali è un argomento di ricerca importante per la gestione del rischio di inondazione. I risultati delle simulazioni giocano un ruolo significativo nel processo decisionale nazionale sulla prevenzione e il controllo delle inondazioni. I modelli monodimensionali delle acque superficiali sono preferiti nel campo dell'ingegneria, soprattutto per le velocità del calcolo computazionale e per le immediate applicazioni. Anche i modelli 2D sono sviluppati e utilizzati.

Dal 1970, gli studi di ricerca in tutto il mondo, sono notevolmente perfezionati per la modellazione idraulica di propagazione delle piene. L'utilizzo diffuso di modelli nella mappatura del rischio di inondazione dimostrano una grande interesse per i modelli di simulazione delle acque superficiali e per la valutazione del rischio idraulico e per la previsione delle inondazioni in tempo reale. Combinando i modelli idrologici e fluviali, le applicazioni della modellazione della propagazione delle piene possono contribuire a formulare strategie utili alla mitigazione dei processi geo-idrologici.

Alcuni studi condotti in Italia con lo scopo di proteggere le aree soggette a piene usando metodi statistici, simulazioni, modelli idrologici non si interfacciano con

gli strumenti GIS. D'altra parte, l'innovazione di questo lavoro rispetto agli studi locali è la previsione di aree inondate per diversi periodi di ritorno e la mappatura delle zone a rischio. Questi modelli previsionali possono essere utili per gli enti e le amministrazioni pubbliche a diverse scale territoriali per prendere decisioni e intervenire efficacemente per proteggere le aree a rischio idraulico e ridurre i fenomeni di dissesto idro-geologico.

La modellazione delle inondazioni è notevolmente migliorata negli ultimi anni con l'avvento degli strumenti geomatici e in particolare dei sistemi di informazione geografica (GIS). In questo studio, infatti, la combinazione di HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center-River Analysis System), HEC-GeoRAS e GIS viene utilizzata per simulare i modelli di inondazione di piena; sono tutti software open source sviluppati dal US Army Corps of Engineers con interfaccia grafica per un uso interattivo per l'analisi idraulica, l'archiviazione e la gestione dei dati e la visualizzazione dei risultati. La specificità di questo lavoro è condividere i dati con le interfacce GIS, HEC-GEO-RAS e HEC-RAS (HEC, 2002; HEC, 2005; HEC, 2009; USACE, 2016).

La gestione delle inondazioni dovrebbe essere considerata un problema spaziale perché le intensità e le caratteristiche di inondazione variano a seconda della posizione geografica. L'obiettivo principale di questo studio è di stimare l'estensione delle inondazioni di pianura, corrispondenti ai deflussi del fiume Serio, al fine di creare piani di gestione per il rischio di inondazione. Gli obiettivi specifici di questo lavoro sono: la modellazione e la simulazione delle portate del fiume utilizzando HEC-RAS, la mappatura del rischio idraulico utilizzando HEC-GeoRAS, la stima delle piene con diversi tempi di ritorno.

2. AREA DI STUDIO

2.1 CARATTERISTICHE DELL'AREA DI STUDIO

Bergamo, secondo la classificazione dei climi di Köppen, gode di un clima tipicamente temperato delle medie latitudini, piovoso o generalmente umido in tutte le stagioni e con estati molto calde. La vicinanza ai monti le permette tuttavia di evitare i fenomeni di nebbia invernale persistente e di afa estiva che caratterizzano la vicina Milano. Le precipitazioni si concentrano nei periodi compresi tra marzo e maggio, con un leggero calo nei mesi estivi, e un riacutizzarsi nel periodo compreso tra ottobre e novembre inoltrato. L'inverno è carat-

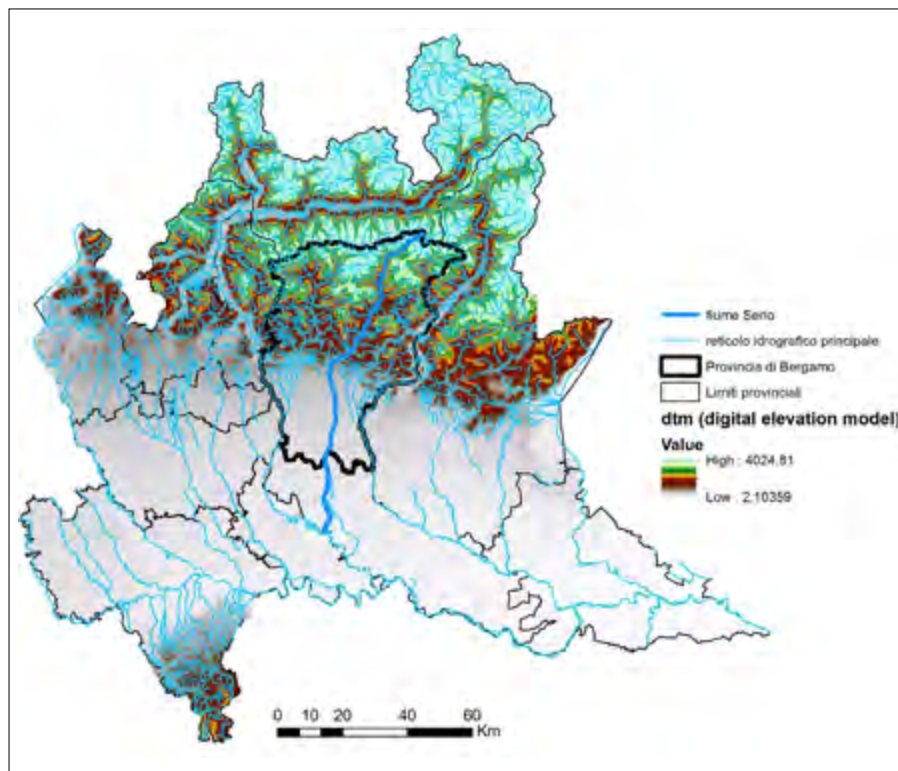


Figura 1. Area di studio

terizzato da una percentuale di piovosità molto bassa rispetto alla media italiana. In base alla media trentennale di riferimento 1961-1990, la temperatura media del mese più freddo, gennaio, si attesta a +1,5 °C; quella del mese più caldo, luglio, è di +22,4 °C. Le precipitazioni medie annue sono superiori ai 1.150 mm, mediamente distribuite in 97 giorni, e presentano un picco primaverile ed autunnale e minimo relativo invernale. Il territorio della Provincia di Bergamo è ricco di corsi d'acqua che lo percorrono mediamente da nord verso sud. Il sistema idrografico del territorio è composto da una fitta rete composta da bacini idrografici di piccole dimensioni che si concentrano prevalentemente nella parte più settentrionale del territorio e che convergono in un sistema idrografico principale composto da 5 fiumi maggiori, due dei quali, l'Adda e l'Oglio, definiscono porzioni del confine territoriale provinciale (Fig. 1).

In tale sistema si inseriscono due bacini lacustri di origine glaciale, il lago d'Issèo e quello di Endine, ed alcuni bacini artificiali normalmente concentrati nella porzione più settentrionale del territorio, dove le quote delle montagne rendono più conveniente la produzione di energia. Nella porzione pianeggiante della Provincia, l'interazione idrogeologica e l'intervento dell'uomo hanno creato una fitta rete di canali che utilizzano le acque dei fiumi principali per produrre energia e per portare la risorsa idrica alle colture agricole che qui, con maggiore facilità, si sono sviluppate. Essi, per le lo-

ro caratteristiche, presentano un regime idrologico di tipo torrentizio; in essi cioè le portate che si rilevano in alveo sono strettamente correlate con le piogge che le determinano, sia in termini temporali (l'aumento delle portate è immediatamente conseguente al verificarsi delle piogge), sia in termini quantitativi (ad una crescita delle precipitazioni corrisponde un aumento proporzionale delle portate in alveo). Tale correlazione tra piogge e portate, e la disponibilità di informazioni storiche relative quasi esclusivamente alle prime, ha determinato la scelta di focalizzare l'attenzione su questo parametro al fine di individuare le caratteristiche dei fenomeni considerati pericolosi per il territorio.

2.2 CARATTERISTICHE DEL FIUME SERIO

Il fiume Serio percorre con direzione grosso modo nord-sud la zona centrale della Bergamasca; esso lascia la provincia di Bergamo al suo confine sud in corrispondenza dell'abitato di Mozzanica ed entra in territorio Cremonese dove scorre fino alla confluenza con il fiume Adda che avviene in provincia di Cremona in località Bocca di Serio, vicino Crema. Le origini del Fiume Serio sono nella catena centrale delle Alpi Orobie, compresa fra il Pizzo del Diavolo di Tenda (2914 m s.l.m.) ed il Monte Gleno (2883 m s.l.m.) quota più elevata dell'intera catena orobica. Pure in tale tratto sono concentrate le modeste aree glaciali del versante sud delle Orobie. Il fiume Se-

Tabella 1. Dati idrologici del fiume Serio

| Dato | Valore |
|---|----------------------------|
| Lunghezza | 91.7 Km |
| Altitudine massima | 3050 m.s.m. Pizzo del Coca |
| Numero di Comuni | 40 |
| Stazione di misura delle portate | Ponte Cene |
| Portata massima (rilevata il 10 nov 1927) | 547 mc/s |
| Estensione del bacino sotteso | 455 kmq |
| Numero di sottobacini (fino al 6° ordine) | 47 |
| Numero di abitanti | 205.000 |
| Portata minima (rilevata il 2 feb 1947) | 1.44 mc/s |
| Periodo di misura | dal 1927 |

rio non ha grandi affluenti lungo il suo percorso ed i pochi esistenti, di qualche importanza, sono tutti concentrati nella parte più alta del bacino (Tab. 1). Ad Est, da monte verso valle, si trovano il torrente Goglio con foce a Gromo, il torrente Acquilina che confluisce nel Serio al ponte di Briolta, il torrente Riso con sbocco a Ponteriso ed il torrente Vertova con foce nell'omonimo abitato. Ad Ovest, sempre da monte verso valle,

no le falde idriche sotterranee; nel corso del tempo i deflussi superficiali del Serio sono stati sfruttati per anni come forza motrice e per usi irrigui, mentre dai primi decenni del 1900 è iniziato, soprattutto nella parte montana, ma anche in quella più vicina alla pianura, lo sfruttamento per usi idroelettrici (a caduta nel primo caso, ad acqua fluente nel secondo). In Fig. 2, l'idrogramma delle portate medie mensili del fiume serio.

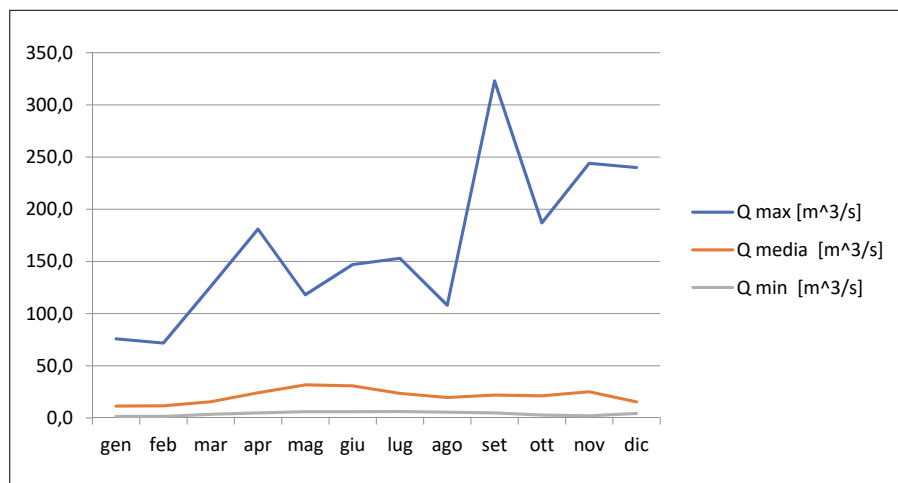


Figura 2. Portate medie mensili fiume Serio

si incontrano il torrente Ognà con confluenza ad Ognà, il torrente Romana con foce a Fiorano al Serio ed il Val Rossa con sbocco a Cene. Il profilo altimetrico del fiume Serio presenta l'andamento classico dei corsi d'acqua alpini, con un primo tronco a forti pendenze, dalle sorgenti fino all'incirca a Gromo, nel quale prevale l'attività erosiva; un tronco intermedio sempre in area montana, ma con pendenze più moderate. Il primo tratto nel quale prevale l'azione di sedimentazione interessa la zona dello sbocco della pianura, in corrispondenza dell'abitato di Seriate; le pendenze sono modeste, il letto più ampio e l'andamento diviene talora meandriforme (Fig. 3). Nella parte pianeggiante le acque del Serio riforniscono numerosi canali di derivazione e, grazie ad un sottosuolo prevalentemente ghiaioso e molto permeabile, alimenta-

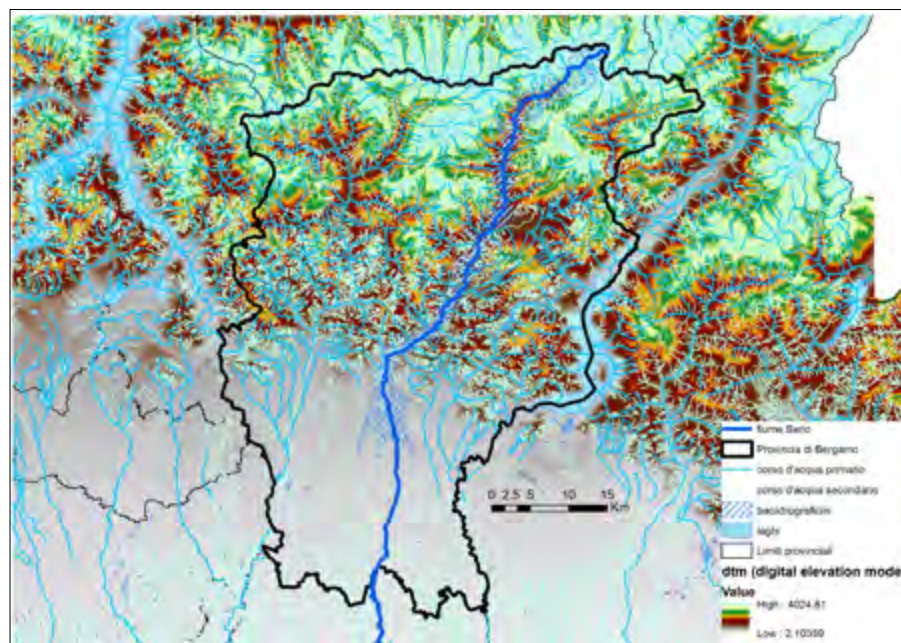


Figura 3. Rete idrografica del fiume Serio

Nel tratto compreso fra la sorgente ed Alzano Lombardo, presenta elevato apporto solido dai versanti in grado di causare anche ostruzioni dell'alveo e quindi esondazioni, caratterizzate da sovralluvionamento. Nel tratto compreso fra Alzano Lombardo e l'intersezione con l'autostrada A4 Milano - Venezia, sono esposte a pericolo di esondazione zone a densità urbana alta, nei territori dei seguenti comuni: Alzano Lombardo, Gorle, Scanzorosciate, Villa di Serio, Seriate. Tale pericolo dipende dalla carenza di opere di protezione spondale, perturbazioni del deflusso e rigurgiti dovuti ad attraversamenti e alla presenza di insediamenti urbani in area golena.

Per il nostro caso di studio abbiamo optato per la media valle di del fiume Serio. Presteremo particolare attenzione alla zona situata tra Ardesio e Cene. La lunghezza del tratto è di circa 21 km. A Cene il Serio può esondare a seguito del rigurgito creato a monte dal "ponte nuovo" che collega a nord l'abitato di Cene con la SS671; in questo caso le acque, che ricevono anche il contributo del Torrente Romana (Casnigo) e del rio Vertova, potrebbero interessare alcune zone depresse poste sia ad est che ad ovest invadendo alcune aree industriali e di terziario. A valle di questa sezione le acque potrebbero trovare una linea di scorrimento privilegiata extra alveo percorrendo la via principale di Cene fino a raggiungere le aree poste a più bassa quota in prossimità del fiume ed andando così ad impattare su di un territorio urbanizzato con residenze ed attività produttive. L'evento di piena può interessare pesantemente anche i manufatti di presa dei canali presenti in



Figura 4. Output RAS Mapper

alveo sollecitando i deflussi anche nei medesimi canali. Si può ritenere che anche le reti di distribuzione dei servizi essenziali vengano interessate con compromissione della funzionalità per aree anche abbastanza estese. Il trasporto solido operato dal fiume e l'erosione spondale, specie in sinistra idrografica, potrebbero determinare il cambiamento della morfologia di alcuni tratti di fiume.

3. METODOLOGIA

3.1 ANALISI STATISTICHE E TEMPO DI RITORNO

Viene utilizzato il software Hyfran (HYdrological FREquency ANALysis), software utilizzato per stimare le distribuzioni statistiche. HYFRAN include un numero di strumenti matematici potenti, flessibili e intuitivi che possono essere utilizzati per l'analisi statistica di eventi estremi. HYFRAN può essere utilizzato in qualsiasi studio che richieda il calcolo di una distribuzione statistica di una serie di dati indipendenti e identicamente distribuiti. Inoltre, include una serie di distribuzioni di probabilità: Gumbel, Generalized Extreme Value (GEV), Weibull, Normale, Log-normale, Pearson Tipo III e Log-Pearson Tipo III. In questo caso, viene utilizzato la stima dell'onda di piena in sezioni tramite il metodo dell'evento critico. I tempi di ritorno considerati: 2, 10, 25 e 50 anni. Il tempo di ritorno varia in relazione al fattore di sicurezza considerato.

3.2 MODELLO E SIMULAZIONE CON HEC-GEORAS E GIS

In questa fase avviene la preparazione e lo sviluppo di un modello in ambiente HEC-RAS, si importa la geometria del sistema in analisi tramite la combinazione del tracciato planimetrico e la definizione delle sezioni trasversali del corso d'acqua. La descrizione di questi elementi è basata sui dati topografici misurati tramite battitura di sezioni oppure attraverso procedure automatiche in ambiente GIS che ope-

rano su modelli digitali di elevazione del terreno. In questa fase non è richiesta la definizione della lunghezza del canale, che verrà calcolata dal software come somma delle distanze parziali tra le diverse sezioni, da introdurre in fase di editing delle sezioni stesse. Le sezioni trasversali sono inserite e numerate in modo crescente da valle verso monte. Esse vengono inserite tramite la schermata collegata al pulsante "Cross Section". Le coppie di coordinate, che identificano i vertici della spezzata che

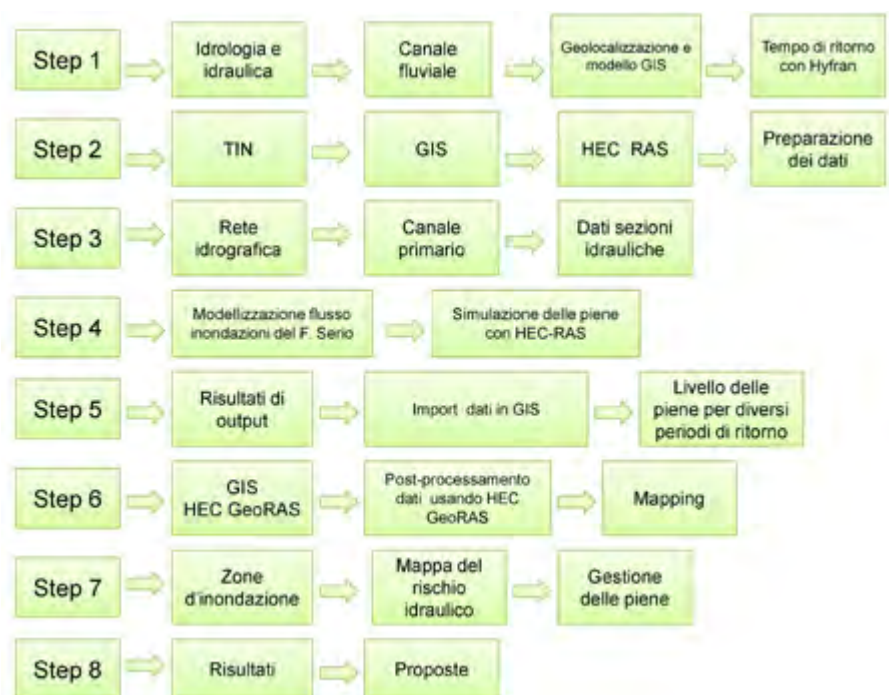


Figura 5. Diagramma di flusso che mostra la metodologia adottata

rappresenta il profilo della sezione nel piano che la contiene, sono inserite da sinistra verso destra (con le spalle rivolte come di consueto a monte). Nell'editor delle sezioni trasversali è necessario indicare la distanza tra la sezione corrente e quella posta immediatamente a valle. In questo modo il programma assegna una lunghezza a ciascun tratto d'alveo compreso tra due sezioni. Nel medesimo editor è necessario infine definire la scabrezza associata alle diverse porzioni della sezione nonché delimitare il canale principale rispetto alle golene.

La nuova versione di HEC-RAS 5.0, prevede di poter effettuare una simulazione combinata 1D-2D. Completato il processo di simulazione, i file di output relativi al modello monodimensionale possono essere elaborati nella stessa modalità della versione precedente, mentre gli output relativi alla simulazione bidimensionale possono essere analizzati solamente all'interno della sezione GeoRAS Mapper in GIS. Il componente RAS mapper permette infatti in una fase iniziale di poter caricare i files relativi alla geometria del modello monodimensionale e i files tiff connessi alla modellazione digitale del terreno (Fig. 4).

Caricati i dati di input e avviato il processo di simulazione, all'interno del RAS Mapper vengono riportati i risultati di output che possono essere manipolati nei vari step temporali che compongono l'intervallo della simulazione. La finestra di visualizzazione del RAS Mapper è composta da:

- **Geometries:** all'interno di questa sezione possono essere visualizzate tutte le componenti che caratterizzano la geometria del modello (Rivers, Cross Section, Storage Areas, 2D Flow Areas);
- **Results:** in questo elenco vengono raccolti tutti gli output delle simulazioni effettuate. Tali valori, quali Depth, Velocity e Water Surface Elevation possono essere visualizzati dall'utente sia nei loro valori massimi raggiunti sia attraverso un'animazione durante tutto il periodo della simulazione;
- **Map Layers:** in questa finestra è possibile inserire dei layers da files esterni (shapefiles) da inserire all'interno del Mapper in modo tale da ottenere una visualizzazione più diretta durante la fase di analisi dei dati di output;
- **Terrains:** in quest'ultima sezione è possibile inserire files relativi a terreni digitalizzati o creare i cosiddetti terreni "condizionati", cioè terreni digitalizzati del terreno a cui viene

sovrapposto il tubo di flusso del corpo idrico, anch'esso digitalizzato.

La metodologia applicata in questo studio è l'integrazione di Modelli GIS di simulazione di inondazione HEC-GEORAS e HEC-RAS (Fig. 5).

CONCLUSIONI

L'adozione di un modello idraulico combinato con lo strumento GIS, comporta tempi ridotti di implementazione e di simulazione, può essere un valido strumento per una preliminare delimitazione delle aree inondabili su larga scala con errori relativamente contenuti sui tiranti idrici massimi. Tale metodologia può essere adottata per effettuare delle analisi di larga scala per una preliminare identificazione di aree inondabili in modo da avere una ampia visione delle eventuali criticità idrauliche presenti sul territorio e, conseguentemente, pianificare degli studi più approfonditi sulla base dei risultati preliminari ottenuti. Questa tecnologia consente di modellare i processi idraulici in caso di inondazioni frequenti e poco frequenti. Le mappe di inondazione sono utili per una corretta pianificazione del territorio, possono essere utilizzate in fase di consultazione per la progettazione di grandi opere, sono utili modelli previsionali per le onde di piena. Lo studio dimostra che l'HEC-RAS è uno strumento importante per studiare e comprendere gli eventi inattivi. Le future applicazioni della nuova versione 5.0 di HEC-RAS potrebbero aiutare ad analizzare possibili strategie di gestione delle inondazioni.

BIBLIOGRAFIA

- AN, H., YU, S., LEE, G., KIM, Y. (2015), *Analysis of an open source quadtree grid shallow water flow solver for flood simulation*. Quat. Int. 384, 118-128. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2015.01.032>.
- BEN KHALFALLAH C., SAIDI S. (2018), *Spatiotemporal floodplain mapping and prediction using HEC-RAS-GIS tools: Case of the Mejerda river, Tunisia*.
- CHIHHAO, F., CHUN-HAN, K., WEI-SHEN, W. (2009), *An innovative modeling approach using Qual2k and HEC-RAS integration to assess the impact of tidal effect on River Water quality simulation*. J. Environ. Manag. 90, 1824e1832. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.11.011>.
- HEC (2002), HEC-GeoRAS e an Extension for Support of HEC-RAS Using ArcView, CPD-76, October 2002. Hydrologic Engineering Center, Institute for Water Resources, U.S. Corps of Engineers, Davis, CA.
- HEC (2005), HEC-GeoRAS e an Extension for Support of HEC-RAS Using ArcGIS (v8.3/ 9.1), CPD-83, September 2005. Hydrologic Engineering Center,

Institute for Water Resources, U.S. Corps of Engineers, Davis, CA.

HEC (2009), HEC-GeoRAS e an Extension for Support of HEC-RAS Using ArcGIS (v9.2/ 9.3), CPD-83, September 2009. Hydrologic Engineering Center, Institute for Water Resources, U.S. Corps of Engineers, Davis, CA.

HEC (2016), HEC-RAS River Analysis System, User's Manual, Version 5.0, CPD-68, February 2016. Hydrologic Engineering Center, Institute for Water Resources, U.S. Corps of Engineers, Davis, CA.

EUCHI, K. (2013), *Protection contre les inondations de la ville de Kasserine*. Institut National Agronomique de Tunisie, p. 195.

KIM, H., CHO, Y. (2011), *Numerical model for flood routing with a Cartesian cut-cell domain*. J. Hydraul. Res. 49 (2), 205-212.

KÖPPEN, W. (1918), *Classification of climates according to temperature, precipitation and seasonal cycle*, Petermanns Geogr. Mitt., 64, 193-203, 243-248

MANFREDA S., GIUZIO L., VITO I., SOLE A. (2011), *Guida Tecnica al Calcolo delle Portate al Colmo di Piena*.

MARRIOTT, S. (1992), *Textural analysis and modeling of a flood deposit - river Severn*. UK. Earth Surf. Process. Landf. 17 (7), 687-697.

MERZ, B., KREIBICH, H., SCHWARZA, R., THIEKEN, A. (2010), *Review article Assessment of economic flood damage*. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 10 (8), 1697-1724.

MIGNOT, E., PAQUIER, A., HAIDER, S. (2006), *Modeling floods in a dense urban area using 2D shallow water equations*. J. Hydrol. 327, 186-199.

MLAYAH, A., FERREIRA DA SILVA, E., ROCHA, F., BEN HAMZA, CH, CHAREF, A., NORONHA, F. (2009), *The Oued Mell_egue: mining activity, stream sediments and dispersion of base metals in natural environments, North-western Tunisia*. J. Geochem. Explor. 102, 27-36.

PAPPENBERGER, F., BEVEN, K., HORRIT, M., BLAZKOVA, S. (2005), *Uncertainty in the calibration of effective roughness parameters in HEC-RAS using inundation and downstream level observation*. J. Hydrol. 302, 46-69.

PIZZUTO, J.E. (1987), *Sediment diffusion during overbank flows*. Sedimentology 34 (2), 301-317.

SARHADI, A., SOLTANI, S., MODARRES, R. (2012), *Probabilistic flood inundation mapping of ungauged rivers: Linking GIS techniques and frequency analysis*. J. Hydrol. 458-459, 68-86.

SELMI, M. (2013), *Protection contre les inondations des Zones Nord et Est du Grand Tunis*. Institut National Agronomique De Tunisie, p. 90.

SYME, B. (2011), *Pros and cons of 1D and 2D modeling*. In: Floodplain Management Association Conference. Sheraton San Diego Hotel & Marina, San Diego, USA.

US ARMY CORPS OF ENGINEERING (USACE) (2002), *HEC-RAS. River Analysis System*. Hydraulic Reference Manual. Version 3.1.

US ARMY CORPS OF ENGINEERS, DAVIS CALIFORNIA (2016), *HEC-RAS. River Analysis System*. Hydraulic Reference Manual. Version 5.0.

Eventi alluvionali nell'ambiente carsico pugliese

Flood events in the Apulian karst

Parole chiave: carsismo, alluvioni, lame, danni, Puglia

Key words: karst, flood, temporary water course, damage, Apulia

Pietro Gentile

Claudio Iaia

Isabella Serena Liso

Mario Parise

Università degli Studi di Bari Aldo Moro,
Dipartimento Scienze della Terra
e Geoambientali

Autore riferimento: mario.parise@uniba.it

RIASSUNTO

Gli eventi alluvionali in ambiente carsico sono tra i più frequenti e dannosi pericoli geologici, in un contesto di per sé fragile e vulnerabile. Spesso essi risultano in elevati costi economici per la società, causando danni ad attività e infrastrutture antropiche. La regione Puglia, ove per gran parte del territorio affiorano rocce solubili, interessate da fenomeni carsici, presenta una lunga serie di eventi alluvionali, distribuiti in pratica sull'intero comprensorio regionale. Partendo dalla descrizione di alcune zone significative della regione, il presente articolo esamina i caratteri alluvionali di questi eventi, inserendoli nel locale contesto carsico, con l'obiettivo di contribuire all'approfondimento della conoscenza su tale tematiche e sulla interazione tra gli eventi di piena e l'ambiente urbanizzato. Nel dettaglio, si citeranno o esamineranno eventi avvenuti nel Promontorio del Gargano, nella città di Bisceglie, nel settore di Murge Basse compreso tra Putignano e Castellana-Grotte, nelle città di Ostuni e Ginosa e nella Penisola Salentina.

ABSTRACT

Floods in karst environment are among the most frequent and damaging geological hazards, due to hydraulic and hydrogeological peculiarities of the karst terrains. Since absence of water at the surface is one of the main features characterizing karst, the occurrence of floods in consequence of prolonged rainfall, or of concentrated and intense rainstorms, may often result in severe damage to human activities and infrastructures, threatening lives as well.

Apulia consists mainly of soluble rocks intensely affected by karst processes, and is therefore not an exception at this regard. Flash floods have repeatedly characterized the history of many Apulian towns, and the number of events with severe consequences on the society has increased in the last decades, due to expansion of the urbanized

areas. Through description of a series of events in different sectors of the region, this article presents a documented chronology of the events occurred, in the attempt to contribute in building a deeper knowledge about the areas inundated by floods, their triggering conditions, and the relationships with human activities. The Apulian sectors that will be mentioned or dealt with are: the Gargano Promontory, where in September 2014 severe rainstorms caused many types of geohazards, including floods, and claimed some casualties; the town of Bisceglie, north of Bari, where the system of temporary water courses work as the main water flow way during floods; the sector comprising Putignano and Castellana-Grotte, in the Low Murge, where an high number of swallow holes had been closed in recent decades; the coastal area downhill from Ostuni, where several tourist resorts are located; the town of Ginosa, where two different flood events in 2013 sadly resulted in 4 victims; and the Salento peninsula, where many urban centers are interested by floods and inundations, even in consequence of not significant rainfall events. The role of the geological and morphological features in karst will be examined, also as regards the transport of solid materials by the flowing water, that may significantly contribute to the registered damage.

INTRODUZIONE

L'ambiente carsico presenta peculiari caratteristiche geologiche, morfologiche e idrogeologiche che lo rendono estremamente fragile e delicato, probabilmente il più vulnerabile tra gli ambienti naturali della superficie terrestre (White, 1988; Ford & Williams, 2007). L'elevata vulnerabilità si riflette di frequente in situazioni di degrado e dissesto, che giungono a compromettere in maniera significativa gli ecosistemi carsici, a cominciare dalla loro manifestazione più nota, le cavità carsiche, e le risorse naturali in esse con-

tenute, in primis le acque sotterranee (White, 2002; Gunn, 2007; Parise & Gunn, 2007; Williams, 2008; Palmer, 2010; Gutierrez *et alii*, 2014). Le perdite che ne derivano sono estremamente gravi, data anche la notevole difficoltà nel ripristinare le iniziali condizioni, o nel bonificare i siti oggetto di degrado (Parise & Pascali, 2003). La distruzione parziale o totale di grotte, ed eventualmente degli eccezionali depositi paleontologici, antropologici e archeologici ivi presenti, il degrado nella qualità delle acque sotterranee, il pericolo di estinzione per vari organismi caratterizzanti gli ecosistemi carsici, e la perdita del paesaggio carsico rappresentano solo alcuni degli impatti negativi che generalmente si osservano nei territori carsici, sia in Italia che in altri paesi (Van Beynen & Townsend, 2005; North *et alii*, 2009; Gutierrez, 2010; Parise, 2010, 2015; De Waele *et alii*, 2011).

Risulta di primaria importanza evidenziare pertanto la connessione diretta esistente nel carso tra superficie e sottosuolo: in nessun altro ambiente naturale, qualunque azione di degrado e/o inquinamento eseguita in superficie si ripercuote con tutto il suo potenziale di contaminazione nell'ambiente sotterraneo, senza alcuna possibilità di auto-depurazione del sistema. Ciò determina serie conseguenze in termini di perdita nella qualità delle risorse naturali, e di degrado degli ecosistemi carsici, con situazioni spesso irreversibili. Danni ambientali risultano quindi estremamente frequenti, mentre il ripristino delle originarie condizioni naturali è estremamente complesso, oltre che economicamente oneroso.

Tra i vari pericoli naturali che potenzialmente interessano l'ambiente carsico l'occorrenza di eventi alluvionali, generalmente sotto forma di piene improvvise (*flash floods*) è certamente da annoverarsi tra i principali (White & White, 1984; Bonacci *et alii*, 2006; Jourde *et alii*, 2007; Gutierrez, 2010; Kovacic & Ravbar, 2010; Parise, 2015).

Tabella 1. Elenco cronologico delle principali alluvioni documentate nei contesti carsici pugliesi

| Data | Luogo | mm pioggia | Danni (e relative fonte) |
|-----------------|-------------------------------|------------|--|
| 23/02/1905 | Bari | | |
| 03/03/1905 | Bari | | |
| 03/09/1915 | Bari | | |
| 5-6/11/1926 | Bari | | 10 morti, 20 feriti (Alfieri, 1927) |
| 23/08/1929 | Putignano | | Allagamento SP 106, traffico interrotto 2 gg (Progetto AVI) |
| 28/08/1953 | Ostuni | | Agricoltura e manufatti |
| 1957 | Bari e provincia | | Danni alle campagne (Milillo & Trisorio Liuzzi, 1996) |
| 11/05/1961 | Bisceglie | 60 | |
| 5/10/1964 | Bisceglie | 65 | |
| 20/09/1966 | Bisceglie | 66 | |
| 04-05/11/1966 | Crispiano | | |
| 25/08/1972 | Bisceglie | 61 | |
| 15/10/1972 | Bisceglie | 83 | |
| 12/09/1975 | Castellana-Grotte | 58 | Progetto AVI |
| Nov. 1976 | Crispiano | | Allagamenti e crolli nella Gravina Miola |
| 03/09/1977 | Bisceglie | 89 | |
| 04/07/1989 | Castellana-Grotte | 49 | Progetto AVI |
| 5/07/1989 | Putignano | | Progetto AVI |
| 6/11/1993 | Bisceglie | 47 | |
| 16/08/1995 | Ostuni | 88 | Agricoltura e manufatti (Pilone) |
| 18-19/12/1995 | Francavilla Fontana, Manduria | | |
| 30/01/1996 | Crispiano, Massafra | 160 | |
| 11/02/1996 | Ginosa | 140 | Allagamenti e crolli al Rione Casale |
| 13/08/1996 | Bisceglie | 43 | |
| 26/07/2002 | Castellana-Grotte | | Strade inondate da fango e detriti |
| 30/08/2002 | Bisceglie | 50 | |
| 7-8/09/2002 | Ostuni | 98 | Manufatti (Villanova) |
| 2/12/2002 | Bisceglie | 89 | |
| 08/09/2003 | Provincia di Taranto | > 150 | 2 vittime, ingenti danni a abitazioni e sistemi di comunicazione |
| 28-29/09/2003 | Ostuni | | Agricoltura e manufatti (SS 379, Villanova, Pilone) |
| 3-4/06/2004 | Ostuni | | Agricoltura e manufatti (stazione) |
| 5/08/2004 | Bisceglie | 33 | |
| 07-14/11/2004 | Provincia di Taranto | | |
| 12/11/2004 | Ginosa | 244 | |
| 13/11/2004 | Maglie | | |
| 22-23/10/2005 | Bari | | 6 vittime, numerosi feriti. Ingenti danni alle vie di trasporto |
| 13/11/2005 | Bisceglie | 31 | |
| 10/06/2006 | Maglie | | |
| 10/08/2006 | Bisceglie | 72 | |
| 27/09/2006 | Ostuni | 127 | Agricoltura e manufatti (Rosa marina) |
| Sett. 2006 | Putignano | | |
| Nov. 2008 | Putignano | | |
| Dic. 2008 | Nardò | | Allagamento zone circostanti Vora Colucce |
| 25/01/2009 | Nardò | | Allagamento zone circostanti Vora Colucce |
| 4/08/2009 | Bisceglie | 54 | Allagamenti in più punti della città (ponte di Via Fondo Noce, pendio Misericordia) |
| Ott. 2009 | Putignano | | |
| 02/03/2011 | Ginosa | | Danni a abitazioni, opera e infrastrutture; stima 5 M euro |
| 31/07/2011 | Maglie | | |
| 1-2/11/2011 | Lecce | | 2 vittime |
| 4/09/2012 | Bisceglie | 37 | Allagamenti in più punti della città (ponte di Via Fondo Noce, via Piave, via Ruvo, via Porto, pendio Misericordia) |
| 14/09/2012 | Maglie | | |
| 27/08/2013 | Bisceglie | 41 | Viabilità bloccata per diverse ore. Tombini fognari saltati |
| 7-8/10/2013 | Ginosa | | danni alle infrastrutture e alla circolazione, 4 vittime |
| 30/11-1/12/2013 | Ginosa | | |
| 1/12/2013 | Bisceglie | 82 | Via Imbriani e via Stradelle: famiglie salvate dai VV.FF. da acqua e fango che minacciavano le loro abitazioni. Traffico interrotto in via Lama di Macina, via Oslo, lungo la strada complanare Lama di Macina e carrara Santa Croce |
| 9/08/2015 | Maglie | | |
| 20/09/2015 | Putignano | 60 | |
| 20/11/2015 | Putignano | | |
| 20/05/2016 | Putignano | 66,8 | |
| 10/09/2016 | Ostuni | 99,8 | Agricoltura e manufatti (SS 379, Villanova, Rosa Marina, stazione) |
| 21/09/2016 | Maglie | | |
| 20/05/2017 | Putignano | 13 | |

Dopo percorsi in genere brevi in ambiente carsico, l'acqua tende a infiltrarsi nel sottosuolo attraverso la rete di discontinuità dell'ammasso roccioso. La mancanza di corsi d'acqua superficiali per gran parte dell'anno fa sì che, nelle poche occasioni in cui la quantità di pioggia è tale da non essere immediatamente assorbita, si possano verificare situazioni problematiche, e danni conseguenti. Allorquando si registrano eventi di pioggia particolarmente intensi e/o prolungati, accade infatti che i punti di assorbimento disponibili non siano in grado di smaltire adeguatamente gli ingenti volumi idrici che vi confluiscono (Delle Rose & Parise, 2010). Si determinano pertanto allagamenti, con tempi di drenaggio da parte dei terreni che possono durare anche vari giorni (Margiotta *et alii*, 1979; Carrozzo *et alii*, 2003). Tra gli effetti derivanti, si registrano danni all'agricoltura e, laddove l'uomo ha utilizzato i settori topograficamente depressi per costruzioni civili o industriali, anche all'ambiente antropizzato (Bissanti, 1972; Orofino, 1990; CE.RI.CA., 1996; Parise, 2003, 2007). Di frequente, gli eventi alluvionali si accompagnano ad altri pericoli (*geohazards*), tra i quali i più tipici sono gli sprofondamenti (*sinkholes*) connessi a crolli della volta di cavità carsiche, o a assorbimento nei vuoti sotterranei di materiali sciolti o poco consolidati (Delle Rose *et alii*, 2004; Del Prete *et alii*, 2010; Gutierrez *et alii*, 2014; Martinotti *et alii*, 2017; Parise *et alii*, 2018). Nel corso dell'ultimo secolo, le diffuse impermeabilizzazioni del territorio, con strade asfaltate che hanno progressivamente sostituito sentieri sterrati e strade di campagna hanno non poco contribuito ad aumentare ulteriormente i danni.

ALLUVIONI NELL'AMBIENTE CARSIKO PUGLIESE

L'ambiente carsico pugliese, in tutti i suoi sub-settori carsici regionali, dal Gargano alle Murge al Salento, è stato storicamente interessato dall'occorrenza di eventi alluvionali di tipo rapido (*flash floods*), i cui effetti nell'ultimo secolo sono stati spesso aggravati da attività umane di trasformazione dell'originario paesaggio naturale. In particolare, la chiusura di inghiottitoi, punti di assorbimento dell'acqua nel sottosuolo e l'incremento crescente delle superfici asfaltate, soprattutto all'interno delle lame, resti del reticolo idrografico originario, di scarsa evidenza morfologica ma con importante ruolo idrologico, hanno de-



Figura 1 – Carta idro-geomorfologica del territorio di Bisceglie (Autorità di Bacino della Puglia, 2017). Il colore blu chiaro e il blu scuro indicano le aree a pericolosità idraulica crescente

terminato di frequente situazioni critiche o veri e propri allagamenti, anche in occasione di eventi meteorici non particolarmente significativi. Storicamente, le situazioni di Castellana-Grotte a cavallo tra XIX e XX secolo (CE.RI.CA., 1996; Parise, 2003), le alluvioni di Bari, con particolare riguardo a quella del 1926 (Baldassarre & Francescangeli, 1987), e le numerose alluvioni in Salento (Forte, 2018), sono certamente tra gli episodi più significativi. Tra i tragici eventi più recenti, si ricordano i casi di Bari del 2005 (Mossa, 2007; Cotecchia & Scuro, 2010), di Ginosa dell'ottobre e dicembre 2013 (Parisi, 2017), l'alluvione del Gargano nella prima settimana di settembre 2014 (Martinotti *et alii*, 2017), e quella del territorio ostunese nel 2016 (Giaccari, 2018).

Nel seguito, si esaminano alcune situazioni del territorio pugliese, al fine di evidenziarne la suscettibilità a questo tipo di fenomeni, e la necessità di ulteriori approfondimenti volti all'individuazione delle aree potenzialmente inondabili, con l'obiettivo ultimo di contribuire alla mitigazione dei relativi rischi. Come si evince dalla Tab. 1, i casi trattati sono solo alcuni esempi nella lunga serie di eventi che ha colpito il territorio pugliese.

BISCEGLIE

Il territorio di Bisceglie è stato selezionato come rappresentativo del nord barese per la approfondita documentazione storica rinvenuta sui passati eventi alluvionali, e l'elevata propensione del territorio a essere interessato da tali fenomeni (Figg. 1 e 2). Tra questi, l'evento più antico documentato è quello

del 1860, che ha comportato danni alle fondamenta del Ponte Lama (DE CEGLIA, 2016). Tra il 1961 ed il 2013 sono avvenuti almeno 17 eventi alluvionali, 9 dei quali dopo il 2000, con maggior frequenza rispetto a quanto accadeva nel secolo scorso (almeno un evento alluvionale ogni 3 anni). Per quanto riguarda la connessione ad eventi meteorici, sono solamente 4 quelli con cumulate di pioggia inferiori a 50 mm, di cui il valore minimo è 31 mm (Fig. 3).

Nel corso della prima settimana di Dicembre 2002, per la pioggia copiosa che cadde ininterrottamente, franò un tratto di strada in via corte Preziosa e si aprì una piccola voragine in via Guarini, con crolli di solai di immobili adibiti al deposito in strada Pastore e via La Notte. Mentre i bassi valori di pioggia del 22 e del 23 novembre non contribuirono in alcun modo a caratterizzare l'evento del 2 dicembre, le piogge del 30 novembre - 1 dicembre rientrano nella perturbazione, la quale fu protagonista per tutta la prima settimana di dicembre 2002. Il giorno 2 dicembre furono registrati ben 94 mm di pioggia.



Figura 2 – Allagamento della sede stradale in Via Ruvo a Bisceglie (4 settembre 2012, fonte: il meteo.it)

ARCO JONICO TARANTINO

Nell'arco Jonico tarantino il principale elemento morfologico del paesaggio è costituito dalle gravine, profonde valli erosive di origine carsica, a fondo generalmente piatto, tramite le quali si realizza il raccordo tra l'altopiano murciano e la piana costiera (Colamonico, 1953; Boenzi, 1954; Palagiano, 1965; Parenzan, 1976; Tropeano, 1992; Mastronuzzi & Sansò, 1993; Parise, 2007, 2008). Tali valli costituiscono la via preferenziale di scorrimento delle acque in occasione di eventi alluvionali. Data l'ubicazione, a breve distanza dallo sbocco delle gravine e parallelamente alla linea di costa, di numerose opere stradali e ferroviarie e di insediamenti civili e industriali, si determina un'inevitabile azione di sbarramento in occasione di piogge intense, con ristagno di acqua e formazione di allagamenti; le gravine diventano veri e propri fiumi in piena, con conseguenze disastrose per le zone poste allo sbocco delle valli. La SS 106 Jonica, la principale arteria di collegamento tra Puglia, Basilicata e Calabria, è ripetutamente rimasta chiusa in varie occasioni a causa del fango e dei detriti che si riversano sulla carreggiata.

Il carattere di saltuarietà del deflusso fa sì che ci sia scarsa attenzione nei riguardi del pericolo naturale derivante dalle alluvioni, e ciò, a sua volta, determina un'elevata vulnerabilità delle infrastrutture antropiche localizzate sulla piana costiera (Federico *et al.*, 1996). L'insufficiente capacità idraulica del reticolo idrografico naturale espone al rischio di alluvioni buona parte dei centri localizzati allo sbocco delle gravine; i rischi maggiori sono da individuare per i veicoli in transito lungo le importanti arterie stradali. Tra i danni derivanti dalle alluvioni nel Tarantino si registrano periodici e diffusi allagamenti delle campagne, dissesti lungo le sponde dei canali a causa dello straripamento dei

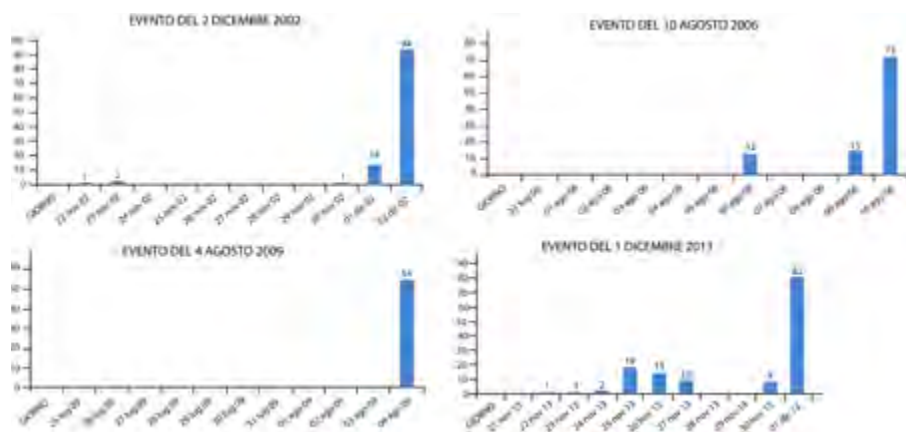


Figura 3. Istogrammi di piogge antecedenti per i principali eventi alluvionali a Bisceglie

Il giorno 10 agosto 2006 furono registrati 72 mm di pioggia; nei giorni precedenti, il 6 agosto, vi era stata una precipitazione pari a 12 mm, seguita da 2 giorni senza precipitazioni, e da altri 15 mm il giorno 9. A seguito dell'evento del 10 nell'anno 2006, il mese di agosto risulta il più piovoso per la stazione pluviometrica di Bisceglie, con un valore totale di pioggia pari a 115 mm. Il violento acquazzone provocò l'allagamento di numerosi negozi, garage e scantinati in corso Umberto, pendio Misericordia, via La Marina, via Giovanni Bovio e l'archivio dell'ufficio comunale dell'anagrafe in via M. Terlizzi (De Ceglia, 2016). Crollarono i muri di recinzione di alcune ville in viale La Testa, e si registrarono pesanti disagi sotto i ponti di Via Piave e di Fondo Noce, dove un'auto venne completamente "sepolta" dall'acqua, il cui livello superava il metro di altezza. Gravi problemi si registrarono in via Nazario Sauro, dove saltarono i tombini della fogna riversando liquami nel porto. Numerose strade divennero fiumi, rimanendo impraticabili per molte ore.

L'evento del 4 agosto 2009 non è stato preceduto da alcuna pioggia nei 10 giorni precedenti. Fu un evento che interruppe un lungo periodo di stabilità e caldo. A partire dalle 16:10 del pomeriggio, un violento nubifragio colpì

la città allagando locali, negozi a piano terra e sottovia ferroviari (De Ceglia, 2016). La situazione più grave fu registrata al sottovia di Fondo Noce, ove si generò un allagamento della profondità di circa 3 metri; situazioni gravi anche in via Ruvo, al porto e nel rione Misericordia. In un'ora precipitarono ben 51.6 mm di pioggia, ovvero quasi la totalità di pioggia cumulata per quel giorno (54 mm). Come riporta la statistica delle precipitazioni registrate dal 1928 al 2010 a Bisceglie, il 2009 è l'anno con il maggior numero di giorni di pioggia (97), ai quali corrisposero 718 mm di pioggia. Invece, l'anno con più pioggia caduta è il 1964 (83 giorni piovosi, totale di 774 mm di pioggia).

L'evento del 1 dicembre 2013 è da ricollegarsi ad una perturbazione che interessò il territorio di Bisceglie, con piogge antecedenti dal 25 al 27 novembre, pari, rispettivamente a 19, 15 e 10 mm; dopo due giorni di stasi, la pioggia riprese il 30 novembre (9 mm) e il 1 dicembre si registrarono 82 mm. Tale valore costituisce l'84% della pioggia totale caduta nel mese di dicembre (97.2 mm). Si registrarono vari allagamenti, difficile percorribilità veicolare nelle strade adiacenti alle lame (Fig. 3) e nell'alveo del fiumicello di acque reflue provenienti da Corato e, con interruzioni di traffico in varie strade (De Ceglia, 2016).



Figura 4. Esondazioni in Via Lama di Macina a Bisceglie (1 dicembre 2013, foto: A. Cariani, S. Ferrara)



Figura 5. Effetti dell'evento alluvionale dell'ottobre 2013 a Ginosa



a)



b)



c)



d)

Figura 6. Danni prodotti da eventi alluvionali nel territorio di Ostuni. a) erosione delle dune costiere in prossimità della spiaggia in località Pilonè (29 settembre 2003, fonte: Comune di Ostuni - Ufficio di Protezione Civile). b) S.S. 379 allagata vista dal cavalcavia di Villanova (10 settembre 2016; foto: F. Marzio). c, d) Allagamenti nella stazione ferroviaria di Ostuni (10 settembre 2016; fonti: Leccesette.it e OstuniNotizie.it)

corsi d'acqua, invasione della rete stradale con detrito e pietrisco, ostruzione di ponti e attraversamenti. I più significativi eventi di allagamento registrati nell'area jonica tarantina negli ultimi decenni sono quelli del 4-5 novembre 1966 nel centro abitato di Crispiano, gli eventi del 1995-96 (numerosi centri abitati, i maggiormente colpiti dei quali furono Francavilla Fontana e Manduria), l'evento di Ginosa dell'11 febbraio 1996, e, più di recente, le alluvioni di Ottobre e Dicembre 2013, e il crollo di Gennaio 2014, ancora a Ginosa (Parisi, 2017; Parisi *et alii*, 2019).

OSTUNI

Il territorio di Ostuni è stato più volte interessato da eventi alluvionali. I caratteri orografici dell'area, con il centro abitato che sorge su un promontorio a circa 5 Km dalla costa, e che si innalza ad una quota di circa 230 m s.l.m., fa sì che si individuino tre fasce principali storicamente inondate (Piccinni, 2005): intorno al centro abitato, nella fascia sottostante, coltivata a oliveti, ed a ridosso della linea di costa. In tutte si sono registrati fenomeni che vanno dall'allagamento dei campi al crollo di muretti interpoderali, cedimenti di sponde dei canali e dei terrapieni delle lame, inagibilità delle strutture viarie crollate sotto lo scorrere delle acque, invasione incontrollata di interi villaggi turistici da parte di fango e detriti, rottura e scomparsa di dune e spiagge (Fig. 6).

Per l'area prossima all'abitato le cause dei dissesti sono legate all'elevata pendenza ed al livello di impermeabilizzazione prodotto dalle strade, che, impedendo un'adeguata infiltrazione delle acque di pioggia nel sottosuolo, provocano un aumento del flusso idrico nei canali di scolo, che si rivelano inadeguati a smaltire volumi straordinari d'acqua. Da ciò derivano i frequenti crolli della cinta muraria di Ostuni, come avvenuto nel settembre 2016.

Lungo la fascia sottostante, meno acclive e di raccordo con la costa, le lame straripano per l'eccessiva portata d'acqua, e inondano la piana costiera. In prossimità della costa, infine, la situazione risulta ancor più grave a causa dell'intensa antropizzazione: i ponti, le strade e le strutture turistiche della costa funzionano spesso da strozzature e da ostacolo al deflusso delle acque, determinando ulteriori inondazioni, per la non adeguata manutenzione degli attraversamenti sotto ponti, fabbricati e strade.

Il 7 e 8 settembre 2002 si sono verificate piogge torrenziali che hanno pro-

vocato danni alle sedi stradali in diverse parti del territorio comunale, crolli di muri a secco, l'allagamento del piazzale della stazione ferroviaria di Ostuni e seri danni in località Villanova. Nella giornata del 7 settembre si sono riversati su Ostuni 98,4 mm di pioggia, di cui 69 mm sono caduti nell'arco di 12 ore. L'8 settembre, invece, ha visto la registrazione pluviometrica di 62,6 mm di pioggia nell'arco di 6 ore. In seguito all'evento dell'8 settembre 2002 si sono riscontrati danni in corrispondenza delle lame D'Antelmi, Mangiamuso e Libertini in località Villanova, ostruite da notevole quantità di materiale inerte, nelle zone di incontro con i villaggi del litorale. L'ostruzione della lama a monte del Villaggio Sorgente del Moro ha di-

viso in due il flusso d'acqua, proveniente dall'attraversamento sotto la S.S. 379: parte di esso è stata deviata verso SW, in direzione del villaggio, trovando ulteriore sbarramento nel muro di recinzione e abbattendolo; l'altra parte del flusso ha proseguito lungo il compluvio naturale, ma più a valle ha incontrato e divelto il muro di recinzione di Via Consolato Veneziano.

Durante l'alluvione del 27 settembre 2006 (126,8 mm di pioggia in 24 h, di cui 99,4 mm in 12 h e 40,6 mm nell'arco di 1 h) si sono verificati danni all'agricoltura e alle infrastrutture, a causa anche dello straripamento di alcune lame, provocato quasi sempre dall'ostruzione di sottopassaggi e ponti, principalmente causata dall'accumulo di vegetazione



Figura 7. Evento alluvionale del 27 settembre 2006 a Ostuni: esondazione del torrente all'altezza della piscina del Grand Hotel di Rosa Marina (foto: Consorzio di Rosa Marina)



Figura 8. Alluvione del 10 settembre 2016 a Ostuni: vista da elicottero dell'arrivo in mare di sedimenti lungo la costa ostunese. Foto: Vigili del Fuoco

e alberi, trasportati dal flusso delle acque. Tra le zone più colpite, la S.P. 20 Ostuni-Villanova, nel tratto compreso fra l'incrocio con la S.P. 19 e la zona industriale: in tale tratto, che si sviluppa in trincea e non risultava provvisto di adeguate opere idrauliche a protezione della stessa, si registrò lo straripamento delle acque con gravissimi disagi alla circolazione (Fig. 7).

Durante la giornata del 10 settembre 2016 sono caduti 99,8 mm di pioggia. Pioveva, quasi costantemente, con intervalli di schiarite, dal 6 settembre (28,2 mm/gg), con pioggia diminuita il giorno successivo (18,3 mm/gg), ma che poi ha ripreso a intensificarsi nelle giornate dell'8 (30,7 mm/gg) e del 9 settembre (45,3 mm/gg). Tali precipitazioni intense avevano già in parte saturato i terreni e le rocce, creando, fino al 9 settembre, alcuni allagamenti circoscritti di piccola rilevanza.

Il giorno 10 settembre si è registrata la caduta di 80 mm di pioggia nell'arco di 80 minuti a partire dalle ore 12.00. Sono stati segnalati allagamenti rilevanti in località (Fig. 6): Villanova (Fontanelle, Porticciolo di Villanova, S.S. 379), alla stazione ferroviaria di Ostuni, nel centro urbano, e a Rosa Marina. Tutto il territorio ne ha risentito con gravi danni all'agricoltura e alle infrastrutture anche in aree storicamente mai allagate. La grande quantità di sedimenti fini di colore bruno trasportati dalle lame ostunesi si riversò nel Mare Adriatico, risultando ben visibile in sospensione nell'acqua marina (Fig. 8).

Lungo Lama Mangiamuso una gran quantità di acqua oltrepassò gli argini, riversandosi nei terreni e sulle strade ad essa circostanti, e causando l'allagamento della S.S.379 e delle strade complanari, per un tratto di circa 400 metri nei

pressi dell'uscita "Ostuni-Villanova". Si registrarono inoltre crolli di muri lungo la strada Ostuni - Villanova, poche decine di metri più a valle della cinta muraria di Viale O. Quaranta, e una frana di una porzione di area terrazzata presente sotto la cinta muraria ostunese. Nel piazzale a monte della stazione ferroviaria vi fu un accumulo d'acqua che nel punto maggiormente depresso raggiunse il metro di altezza. Stessa situazione fu registrata sui binari della stazione ferroviaria, causando disagi alla circolazione dei treni. In corrispondenza della Via Traiana, in contrada Taverna, vi fu il crollo di parte del ponte. Infine, la piena della lama "Fiume di Rosa Marina" causò ingenti danni nella zona che dalla S.S. 379 porta al mare, in località Pontile di Rosa Marina, interessando la piscina di pertinenza di un albergo, costruita proprio in pieno alveo.

CONCLUSIONI

La fragilità dell'ambiente carsico impone necessariamente una particolare attenzione agli eventi geo-idrologici che possono determinare situazioni di rischio per la società. Tra queste, le *flash floods* rivestono certamente un ruolo principale. Risulta pertanto prioritario, da un lato, accrescere le conoscenze scientifiche su tali eventi e, dall'altra, promuovere politiche ed azioni volte alla creazione di una coscienza ambientale e della consapevolezza della vulnerabilità degli ambienti carsici, soprattutto mediante il diretto coinvolgimento delle popolazioni che su tali territori vivono ed operano. Ciò al fine di indirizzarsi verso una effettiva mitigazione dei rischi, che possa basarsi su conoscenza e capacità di resilienza delle comunità coinvolte. Con tale obiettivo primario, il mondo scientifico ha il dovere di fornire ap-

profondimenti in merito, a partire dalle analisi delle serie storiche di pioggia e della valutazione di reali cambiamenti di carattere climatico (Alpert *et alii* 2002; Brunetti *et alii*, 2004a, b; Boenzi *et alii*, 2007), sino alla realizzazione di modelli per l'analisi delle aree esondabili. Quest'ultimo aspetto non può non tenere conto degli aspetti geologici, e del fatto che le masse fluide in movimento non sono semplicemente costituite da acqua, ma da miscele di acqua e sedimenti, che poi viene trasferito sino al mare, impattando anche le comunità di biocenosi della fascia costiera.

BIBLIOGRAFIA

- ALFIERI S. (1927), *L'alluvione della zona barese nel novembre 1926*. Annali del Ministero dei Lavori Pubblici, Bari.
- ALPERT P., BEN-GAI T., BAHARAD A., BENJAMINI Y., YEKUTIELI D., COLACINO D., DIODATO L., RAMIS C., HOMAR V., ROMERO R., MICHAELIDIS S., MANES A. (2002), *The paradoxical increase of Mediterranean extreme daily rainfall in spite of decrease in total values*. Geophys. Res. Letters 29 (11), 31-1/31-4.
- AUTORITÀ DI BACINO DELLA PUGLIA (2017), *Piano di Bacino Stralcio Assetto Idrogeologico (PAI), Relazione di piano*.
- BALDASSARRE G., FRANCESCANGELI R. (1987), *Osservazioni e considerazioni sulla inondazione del 6 novembre 1926 in Bari e su un relativo deposito*, Mem. Soc. Geol. It., 37, 7-16.
- BISSANTI A.A. (1972), *L'alluvione del luglio 1972 a Manfredonia*. Mem. Ist. Geogr. Fac. Econ. Comm., Univ. Bari, 5, 73 pp.
- BOENZI S. (1954), *La Gravina di Matera e i suoi fenomeni di erosione*. Rass. Spel. It., 6,(3): 123-133.
- BOENZI F., CALDARA M.A., CAPOLONGO D., PENNETTA L., PICCARRETA M. (2007), *Analisi statistica degli eventi pluviometrici estremi in Puglia dal 1951 al 2003*. Geologi e Territorio, 3-4, 39-47.
- BONACCI O., LJUBENKOV I., ROJE-BONACCI T. (2006), *Karst flash floods: an example from*

- the Dinaric karst, Croatia. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 6, 195–203.
- BRUNETTI M., BUFFONI L., MANGIANTI F., MAUGERI M., NANNI T. (2004a), *Temperature, precipitation and extreme events during the last century in Italy*. *Global and Planetary Change* 40, 141–149.
- BRUNETTI M., MAUGERI M., MONTI T., NANNI T. (2004b), *Changes in daily precipitation frequency and distribution in Italy over the last 120 years*. *Journal of Geophysical Research- Atmosphere* 109, D05-D05102.
- CARROZZO M.T., DELLE ROSE M., DE MARCO M., FEDERICO A., FORTE F., MARGIOTTA S., NEGRI S., PENNETTA L., SIMEONE V. (2003), *Pericolosità ambientale di allagamento nel Salento leccese*. *Quaderni di Geologia Applicata*, 2 (1), 77–85.
- CE.RI.CA. (CENTRO RICERCHE CASTELLANESE) (1996), *Le inondazioni a Castellana*. *Amm. Comunale di Castellana-Grotte*, 79 pp.
- COLAMONICO C. (1953), *Lame e gravine in Puglia*. *Le Vie d'Italia*, 11: 704.
- COTECCHIA V., SCURO M. (2010), *Portrait of a Coastal Karst Aquifer: the City of Bari*. *Aqua Mundi*, 187–196.
- DE CEGLIA L. (2016), *Terremoti, calamità, epidemie e naufragi a Bisceglie e dintorni*. *Arti Grafiche Favia*, 9–54.
- DELLE ROSE M., PARISE M. (2010), *Water management in the karst of Apulia, southern Italy*. In: BONACCI O. (a cura di), *Proceedings International Interdisciplinary Scientific Conference "Sustainability of the karst environment. Dinaric karst and other karst regions"*, Plitvice Lakes (Croatia), 23–26 September 2009, IHP-UNESCO, Series on Groundwater no. 2, 33–40.
- DELLE ROSE M., FEDERICO A., PARISE M. (2004), *Sinkhole genesis and evolution in Apulia, and their interrelations with the anthropogenic environment*. *Nat. Hazards Earth System Sc.* 4, 747–755.
- DEL PRETE S., IOVINE G., PARISE M., SANTO A. (2010), *Origin and distribution of different types of sinkholes in the plain areas of Southern Italy*. *Geodinam. Acta*, 23, 113–127.
- DE WAELE J., GUTIÉRREZ F., PARISE M., PLAN L. (2011), *Geomorphology and natural hazards in karst areas: a review*. *Geomorphology* 134, 1–4.
- FEDERICO A., DE FILO F., GELATO G., SIMEONE V. (1996), *Vulnerabilità idrogeologica della fascia costiera ad ovest di Taranto. Nota preliminare*. *Geologia Applicata e idrogeol.*, 31, 289–295.
- FORD D.C., WILLIAMS P.W. (2007), *Karst geomorphology and hydrology*. 2nd ed., John Wiley & Sons, Chichester, U.K.
- FORTE F. (2018), *Le alluvioni e le avversità del tempo atmosferico nel Salento leccese*. Allegato alla rivista *Geologi e Territorio* 1/2018.
- GIACCARI E. (2018), *Gli eventi estremi, effetti al suolo della precipitazione di forte intensità e breve durata del 10 settembre 2016 in Ostuni (Br)*. *Geologia dell'Ambiente* 2 (2018), 26–33.
- GUNN J. (2007), *Contributory area definition for groundwater source protection and hazard mitigation in carbonate aquifers*. In: PARISE M., GUNN J. (a cura di), *Natural and Anthropogenic Hazards in Karst Areas: Recognition, Analysis, and Mitigation*. Geological Society, London 279, 97–109.
- GUTIÉRREZ F. (2010), *Hazards associated with karst*. In: ALCÁNTARA I., GOUDIE A. (a cura di) *Geomorphological Hazards and Disaster Prevention*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, 161–175.
- GUTIERREZ F., PARISE M., DE WAELE J., JOURDE H. (2014), *A review on natural and human-induced geohazards and impacts in karst*. *Earth-Science Reviews* 138, 61–88.
- JOURDE H., ROESCH A., GUINOT V., BAILLY-COMTE V. (2007), *Dynamics and contribution of karst groundwater to surface flow during Mediterranean flood*. *Environmental Geology* 51 (5), 725–730.
- KOVAČIČ G., RAVBAR N. (2010), *Extreme hydrological events in karst areas of Slovenia, the case of the Unica River basin*. *Geodinamica Acta* 23 (1–3), -.
- MARGIOTTA B., PALMENTOLA G., PATELLA D. (1979), *Lo smaltimento delle acque di ristagno superficiale nel Salento. Studio e ipotesi di intervento nella zona campione di Presicce (Lecce)*. *Quad. Ric. Centro Studi Geotecnici, Lecce*, 1, 1–13.
- MARTINOTTI M.E., PISANO L., MARCHESINI I., ROSSI M., PERUCCACCI S., BRUNETTI M.T., MELILLO M., AMORUSO G., LOIACONO P., VENNARI C., VESSIA G., TRABACE M., PARISE M., GUZZETTI F. (2017), *Landslides, floods and sinkholes in a karst environment: the 1–6 September 2014 Gargano event, southern Italy*. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 17, 467–480.
- MASTRONUZZI G., SANSÒ P. (1993), *Inquadramento geologico e morfologico della Gravina di Riggio (Grottaglie, Taranto)*. *Itinerari Speleologici*, s. 2, 7: 23–36.
- MILILLO F., TRISORIO LIUZZI G. (1996), *Effetti della sistemazione congiunta idraulica e idraulico forestale del torrente Picone (Puglia)*. *Atti del Convegno "La difesa dalle alluvioni"*, Firenze, 4–5 novembre 1996, 569–579.
- MOSSA M. (2007), *The floods in Bari: what history should have taught*, *Journal of Hydraulic Research*, 45 (5), 579–594.
- NORTH L.A., VAN BEYNEN P.E., PARISE M. (2009), *Interregional comparison of karst disturbance: Westcentral Florida and southeast Italy*. *J. Environ. Management*, 90 (5), 1770–1781.
- OROFINO F. (1990), *Castellana-Grotte: le vicende storiche di Largo Porta Grande*. *Itinerari Speleologici*, 4, 39–46.
- PALAGIANO C. (1965), *Sulle lame e gravine della Puglia*. *Annali Fac. Econ. Comm., Bari*, 21: 357–386.
- PALMER A.N. (2010), *Understanding the hydrology of karst*. *Geologia Croatica* 63, 143–148.
- PARENZAN P. (1976), *La gravina di Riggio*. Ediz. Comune di Grottaglie.
- PARISE M. (2003), *Flood history in the karst environment of Castellana-Grotte (Apulia, southern Italy)*. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 3 (6), 593–604.
- PARISE M. (2007), *Pericolosità geomorfologica in ambiente carsico*. *Atti e Memorie della Commissione Grotte "E. Boegan" 41*, 85–89.
- PARISE M. (2010) *Hazards in karst*. In: BONACCI O. (a cura di), *Proceedings International Interdisciplinary Scientific Conference "Sustainability of the karst environment. Dinaric karst and other karst regions"*. Plitvice Lakes (Croatia), 23–26 September 2009, IHP-UNESCO, Series on Groundwater no. 2, 155–162.
- PARISE M. (2015), *Karst geo-hazards: casual factors and management issues*. *Acta Carsologica* 44/3, 402–404.
- PARISE M. (2007), *Pericolosità geomorfologica in ambiente carsico: le gravine dell'arco ionico tarantino*. *Atti e Memorie Commissione Grotte "E. Boegan" 41*, 81–93.
- PARISE M., PASCALI V. (2003), *Surface and subsurface environmental degradation in the karst of Apulia (southern Italy)*. *Environmental Geology* 44, 247–256.
- PARISE M., GUNN J. (a cura di) (2007), *Natural and anthropogenic hazards in karst areas: recognition, analysis and mitigation*. Geological Society of London, sp. Publ. 279, London, 202 pp.
- PARISE M., PISANO L., VENNARI C. (2018), *Sinkhole clusters after heavy rainstorms*. *Journal of Cave and Karst Studies* 80 (1), 28–38.
- PARISE M., DERAZZA A., GARZIANO G., GENTILE M., LAGNA F., SANNICOLA G., SANTANCARTELO S., VIVA M. (2019), *Knowing the underground, as the first step for hazard management: an experience in southern Italy, in the aftermath of a catastrophic collapse*. In: ZHALOV A., GYOREV V. & DELCHEV P. (Eds.), *Hypogea 2019*, Proc. Int. Congr. Speleol. Artificial Caves, Dobrich (Bulgaria), p. 59–64.
- PARISI N. (2017), *Un progetto per Ginosa. Il Parco delle eccellenze artigiane*. ADDA editore, Bari.
- PICCINNI A. (2005), *Studio delle aree soggette a rischio idraulico nel territorio del comune di Ostuni*. Comune di Ostuni, ufficio di Protezione Civile.
- TROPEANO M. (1992), *Aspetti geologici e geomorfologici della Gravina di Matera "Parco Archeologico Storico Naturale delle Chiese Rupestri del Materano"*. *Itinerari Speleologici*, s. 2, 6: 19–33.
- VAN BEYNEN, P.E., TOWNSEND K.M. (2005), *A disturbance index for karst environments*. *Environmental Management* 36 (1): 101–116.
- WHITE W.B. (1988), *Geomorphology and hydrology of karst terrains*. Oxford University Press.
- WHITE W.B. (2002), *Karst hydrology: recent developments and open questions*. *Eng. Geol.* 65, 85–105.
- WHITE E.L., WHITE W.B. (1984), *Flood hazards in karst terrains: lessons from the Hurricane Agnes storm*. In: BURGER A., DUBERTRET L. (a cura di) *Hydrogeology of Karst Terrains*. Vol. 1, 261–264.
- WILLIAMS P.W. (2008), *The role of the epikarst in karst and cave hydrogeology: a review*. *International Journal of Speleology*, 37 (1), 1–10.

Il catasto frane della Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia come strumento di prevenzione e mitigazione del rischio

Fabrizio Kranitz

Direzione centrale difesa dell'ambiente, energia e sviluppo sostenibile, Regione Autonoma FVG - Servizio geologico
E-mail: fabrizio.kranitz@regione.fvg.it

Landslide registry of the Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia as a preventive tool and risk mitigation

Parole chiave: movimenti gravitativi, catasto frane, prevenzione, rischio, Friuli Venezia Giulia
Key words: landslide, registry, preventive tool, risk mitigation, Friuli Venezia Giulia

1. PREMESSA

La Regione Autonoma Friuli Venezia Giulia, di seguito FVG, occupa il settore Nord-Est del territorio italiano. Da Nord a Sud la Regione FVG è divisa in una zona montana, una pedemontana collinare, e una di pianura e lagunare.

Da un punto di vista geologico essa appartiene all'unità sudalpina e si estende dall'arco alpino fino al mare Adriatico, con unità morfologiche diversificate ed orientate Est-Ovest influenzate dall'assetto strutturale regionale. Il territorio regionale è caratterizzato prevalentemente da litologie sedimentarie, con rari episodi effusivi costituiti da sequenze vulcanoclastiche e vulcaniti. Inoltre, sono presenti, in maniera limitata, affioramenti metamorfici nella parte Nord occidentale (Alpi Carniche).

I condizionamenti geologici e tettonici del territorio regionale unitamente alla sismicità dell'area e alla piovosità molto elevata contribuiscono a far sì che il territorio regionale sia piuttosto fragile: soprattutto in concomitanza di eventi idrometeorologici rilevanti si raggiungono facilmente condizioni di disequilibrio che favoriscono l'insorgere di movimenti gravitativi.

2. IL CATASTO FRANE

A partire dal 2000 il Servizio Geologico della Regione FVG ha cominciato ad organizzare i dati relativi alle frane della Regione creando un complesso archivio informatico strettamente connesso ai Piani di Assetto Idrogeologico PAI e al progetto dell'Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (IFFI). Il catasto frane e l'associato catasto delle opere di difesa vengono gestiti dal 2010 dal Sistema Informativo Difesa del Suolo (SIDS) della Regione che costituisce un progetto interdirezionale a carattere

trasversale che ha lo scopo di gestire in un'unica banca dati tutte le informazioni relative ai dissesti geo-idrologici (frane, esondazioni e valanghe); tutte le informazioni provenienti dalle diverse strutture regionali relativamente a segnalazioni di dissesto idrogeologico (frana, dissesto idraulico e valanga), vengono gestiti dallo stesso strumento costituendo così anche il catasto eventi.

I fenomeni franosi vengono censiti secondo lo standard IFFI con l'aggiunta di tematismi quali la pericolosità (PAI), gli elementi a rischio, gli elementi morfologici (massi, fratture di trazione, ecc.), i con visuali dell'archivio fotografico collegato, nonché il catasto delle opere

di difesa. Per ciascuna frana censita in ambiti urbanizzati o infrastrutturati, e quindi riferibile ai PAI, viene fatta una quantificazione di massima dei costi di intervento per la mitigazione del rischio.

È in fase di avvio, inoltre, anche la registrazione dei progetti delle opere di difesa che ogni struttura regionale competente ha il dovere di implementare.

Compatibilmente con le risorse umane a disposizione, l'attività di aggiornamento del catasto frane e delle opere di difesa viene svolta dal Servizio Geologico in maniera continuativa, con l'inserimento dei dati e la validazione degli stessi anche sulla base del citato catasto eventi.

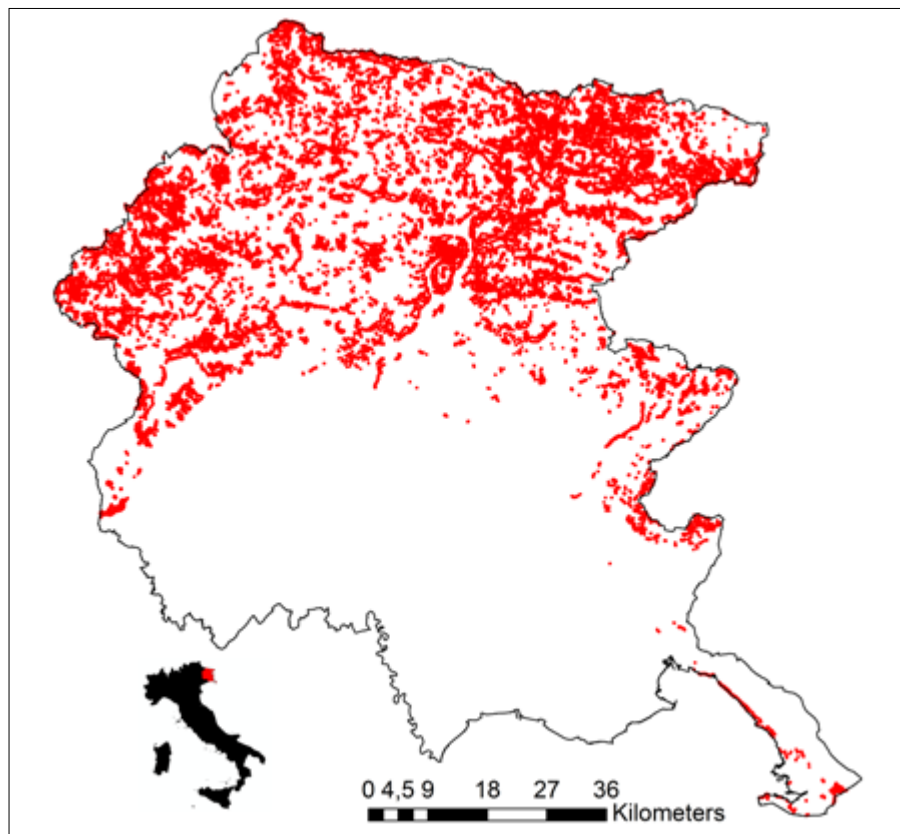


Figura 1. Distribuzione areale delle frane in Friuli Venezia Giulia

Parallelamente al catasto frane è in fase di realizzazione anche il catasto dei *sinkhole* che comprende anche i dati del catasto frane relativamente ai fenomeni di sprofondamento.

2.1 IL DISSESTO DA FRANA IN FRIULI VENEZIA GIULIA

Nel catasto frane alla data del 31 agosto 2019 risultano censiti 6.148 fenomeni franosi di cui 5.702 a geometria areale e 446 a geometria puntuale completati con i citati tematismi aggiuntivi. Circa 1/3 delle frane censite ricade in aree antropizzate o interessa infrastrutture e pertanto va a costituire il PAI e i suoi aggiornamenti. Il 2,6 % del territorio regionale è mappata da aree a pericolosità geologica PAI.

Più del 16% del territorio montano e collinare della Regione è mappato con fenomeni franosi. La distribuzione areale delle frane è sintetizzata graficamente nella Fig. 1 che rappresenta la Regione FVG con la perimetrazione delle frane.

Nella Fig. 2 sono riportate suddivise in percentuale le aree classificate a pericolosità crescente P1 (moderata), P2 (media), P3 (elevata) e P4 (molto elevata) secondo gli standard dei PAI ricadenti nel territorio regionale per un totale di 2.818 aree.

Nel catasto sono censiti 3.325 elementi a rischio relativi a tratti di viabilità, edifici isolati o nuclei abitativi (ogni nucleo abitato corrisponde ad un unico elemento a rischio) a cui è associata in genere una classe di vulnerabilità pari ad 1 e pertanto una classe di rischio uguale alla classe di pericolosità sottesa.

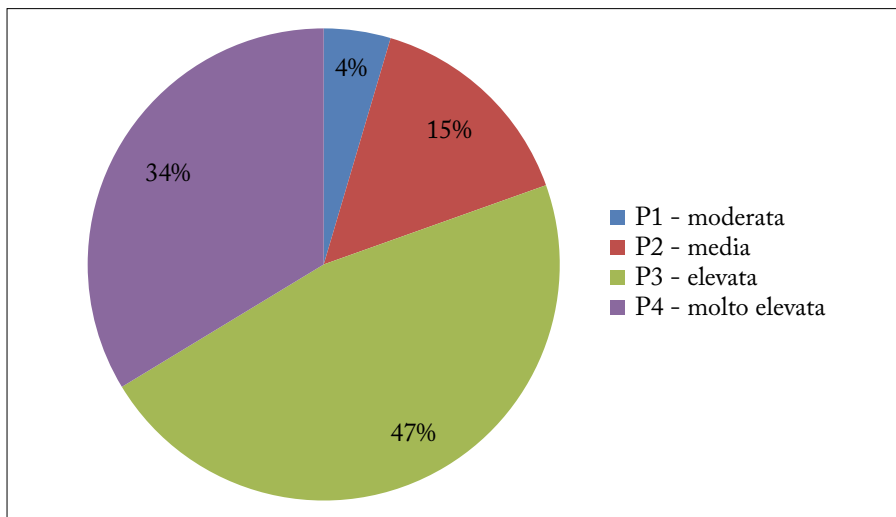


Figura 2. Distribuzione delle classi di pericolosità



Figura 3. Località Anduins, Comune di Vito D'asio massa 6 mc su strada comunale (ottobre 2018)



Figura 4. Località Cucco, Comune di Malborghetto-Valbruna, colata detritica alluvione 29 agosto 2003



Figura 5. Sistema vallo rilevato con rete a difesa dell'abitato di Timau comune di Paluzza. Ampiezza media vallo 12,5 m, altezza intercettazione totale 8 m

Le opere di difesa negli stessi contesti sono censite con geometrie differenti in base alla tipologia di intervento e tenendo conto di leggibilità in stampa a scala 1:5.000, in particolare sono censite 348 opere a geometria puntuale, 617 a geometria areale e 2.393 a geometria lineare per un totale di 3.358 opere di difesa. Nel catasto opere sono censite, inoltre, oltre 30.000 opere di difesa idraulica e idraulico-forestale.

Nel grafico di Fig. 6 le frane sono distinte per tipologie e nel catasto vengono classificate secondo la classificazione di Cruden & Varnes (1994).

Le tre classi definite come aree soggette a frane superficiali, a crolli e a sprofondamenti rappresentano da un punto di vista del catasto degli estesi involucri di porzioni di territorio all'interno dei quali sono stati individuati fenomeni di

crollo, frane superficiali o sprofondamenti. A ciascun'area, che rappresenta più eventi, viene assegnato un unico codice frana IFFI. Per esempio, un versante esteso soggetto a caduta massi viene perimetrato dall'area sorgente fino alla zona di massimo avanzamento massi con un unico areale di frana, anche se all'interno sono avvenuti più crolli ripetuti. I numerosi eventi di crollo che avvengono annualmente all'interno di un singolo areale vengono trattati come eventi di frane senza aumentare il numero di frane registrate. Traccia degli eventi e dell'evoluzione storica di una frana vengono registrate nella scheda alfanumerica associata a ciascuna frana. La scelta di privilegiare le aree estese dipende dalla forte connessione del catasto con i PAI ed in genere di utilizzo del catasto per la pianificazione territoriale.

Le ridotte percentuali di sprofondamenti e aree soggette agli stessi risentono della non integrazione fra il catasto frane e il catasto *sinkhole* già citato.

2.2 CARATTERISTICHE DEI FENOMENI MAGGIORMENTE PRESENTI

In base a quanto riportato nella Fig. 6, appare evidente che i fenomeni franosi maggiormente rappresentati nel territorio regionale siano legati a problematiche di crolli, a frane di scivolamento e a colate rapide. Risulta una percentuale significativa anche per le aree a frane superficiali diffuse che in gran parte sono riferibili ad aree a concentrazione di frane di scivolamento superficiali che per altro spesso sono evolute in colate di fango.

I fenomeni di crolli e ribaltamenti sono la tipologia di fenomeno maggiormente diffusa in Friuli Venezia Giulia sia con riferimento agli areali censiti, sia come numero di eventi. Un contributo notevole alla definizione delle aree soggette a caduta massi deriva dai rilievi effettuati a seguito degli eventi sismici di maggio e settembre 1976 a seguito dei quali si erano innescati innumerevoli fenomeni di crollo.

Per rendere un'idea dell'entità dei fenomeni di crollo che insistono in determinati contesti geologico strutturali della Regione basti pensare che, nell'ambito del Progetto Interreg IV ITA –AUS MASSMOVE nelle 3 aree di studio del progetto sono stati censiti 3.655 massi significativi (isolati o VRM per le zone di accumulo concentrato) derivati da crolli in parte avvenuti anche con il citato sisma del 1976.

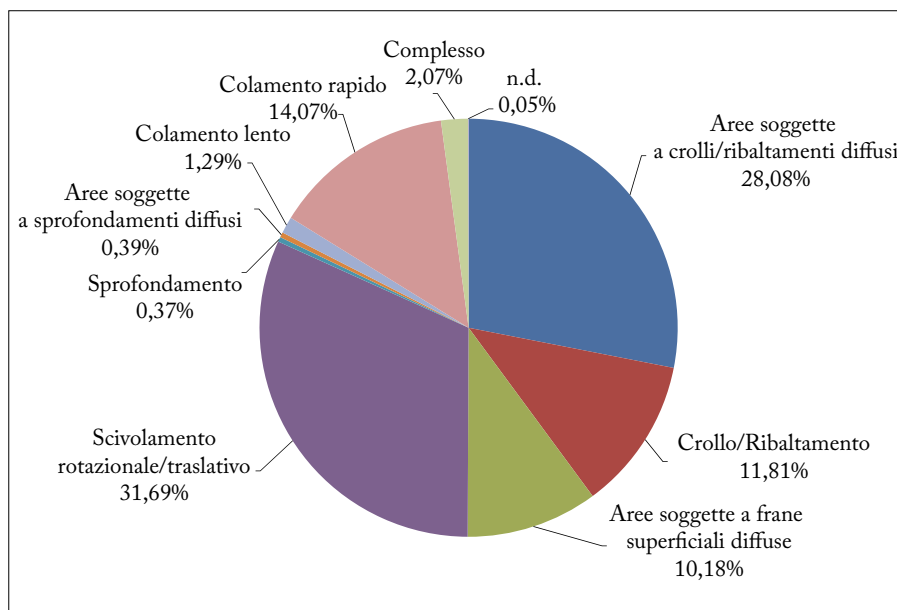


Figura 6. Percentuale di frane per tipologia di movimento, secondo la classificazione di Cruden & Varnes (1994).

Le frane di scivolamento sono in genere maggiormente concentrate, ma non esclusivamente, nelle zone di montagna e spesso sono innescate dalle erosioni al piede da parte di corsi d'acqua. Frequenti come tipologia anche negli ambiti collinari adibiti a colture specializzate tipo i vigneti dove il non sempre corretto riordino morfologico per la coltivazione crea le condizioni predisponenti per gli inneschi di frane.

Le colate rapide sono concentrate per lo più nelle Alpi Carniche e nel bacino del idrografico del Torrente Fella (Alpi e Prealpi Giulie) dove soprattutto con l'alluvione del 29 agosto 2003 (Fig.10) si sono innescati o riattivati centinaia di fenomeni.

2.3 I DANNI REGISTRATI

Nel catasto frane come evidenziato sono stati individuati gli elementi a rischio ai fini della stesura dei PAI e nel contempo sono stati raccolti tutti i dati disponibili relativamente a danni pregressi che vengono mantenuti aggiornati nel registrare nuovi eventi. Nel grafico di Fig. 8 i danni sono stati raccolti in macro categorie e il numero riportato indica il numero di frane che hanno comportato un determinato tipo di danno. Nel grafico sono stati esclusi i valori riferiti a terreni agricoli (1.255) o i termini n.d. (3.394) che riguardano in genere aree senza elementi antropici rilevanti, anche se nel caso di terreni agricoli spesso sono coinvolti terreni con colture specializzate come i vigneti.

Dal grafico si evince che la maggior parte dei danni, come facilmente prevedibile vista la fitta rete stradale esistente, riguarda la viabilità: i danni coinvolgono le strade di ogni ordine e grado. Nella maggior parte dei casi si tratta di crolli all'interno di aree soggette a crolli diffusi, colate detritiche e in subordine frane di scivolamento. Le altre categorie di danno sono attribuibili a tutti i tipi di fenomeni di frana senza una particolare distinzione.

Sommando i fenomeni elencati nel grafico di Fig. 8 assieme ai fenomeni che hanno creato danni a terreni agricoli o per i quali non sono stati determinati danni si raggiunge un valore apparentemente discordante rispetto al numero di frane censite nel catasto in quanto una singola frana può aver determinato diverse tipologie di danno.

Per quanto riguarda danni diretti a persone sono documentati 1993 decessi. Il numero di decessi maggiori è riferito alla nota e tragica frana del Vajont del 9 ottobre 1963 che ha causato 1909 morti.



Figura 7. Crolli a seguito del terremoto del 1976, abitato di Braulins, Comune di Trasaghis, tratto da Cavallo R. Bertini T. (1976)

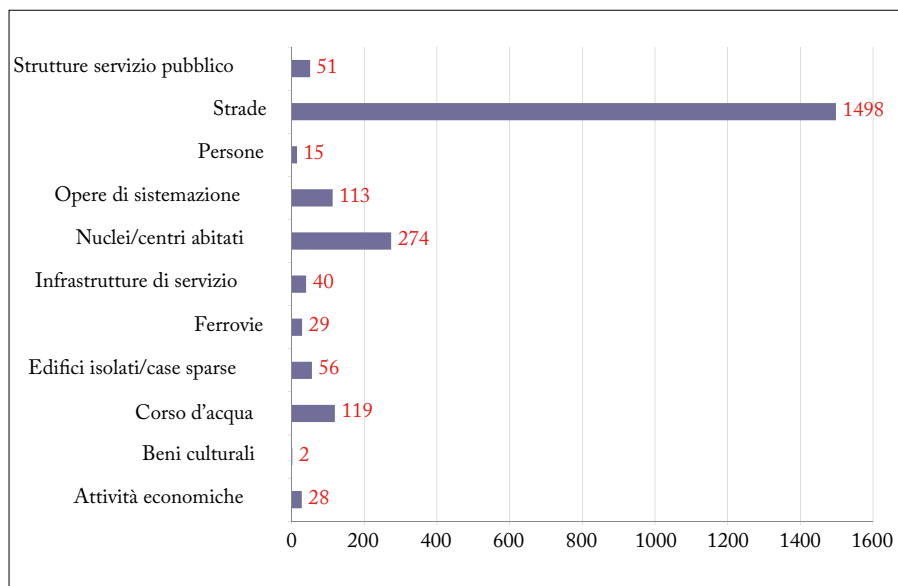


Figura 8. Numero di frane (asse x) per tipologia di danno (asse y). Le strade sono considerate senza alcuna distinzione di ordine e grado

Il primo evento di frana con numero di morti registrati si riferisce ad una frana catastrofica del 1692 che distrusse il Borgo di Borta nel comune di Soccchieve con 53 morti, la frana creò anche lo sbarramento del fiume Tagliamento. Attualmente l'area non interessa aree antropizzate. Nel catasto sono segnalate anche una serie di frane storiche in cui il numero di decessi e feriti non è indicato con precisione e quindi numericamente non registrati.

2.4 LA PIOVOSITÀ DEL FRIULI VENEZIA GIULIA FATTORE SCATENANTE

La conformazione geografica della Regione Friuli Venezia Giulia, caratterizzata dal mare Adriatico a pochi chilometri dai rilievi alpini, fa sì che essa sia una delle regioni più piovose d'Italia,

con valori cumulati annui che superano spesso i 3.000 mm in diverse località come si evince dal grafico di Fig. 9 che comprende un periodo di osservazione dal 2002 al 2018.

Periodicamente la Regione FVG è interessata da eventi molto intensi con precipitazioni orarie elevatissime che favoriscono l'insacco di dissesti di natura diversa sia geologica, sia idraulica. In particolare per quanto riguarda le frane le colate rapide e le frane superficiali sono fenomeni che si innescano principalmente in occasione di precipitazioni intense e molto intense anche di breve durata. Possono sicuramente essere annoverate fra episodi di elevata intensità di pioggia gli anni 1996, 1998, 2002, 2003, 2009, 2014 e 2018. A puro titolo di esempio con l'alluvione del 29 agosto del 2003 che colpì la zona NE della

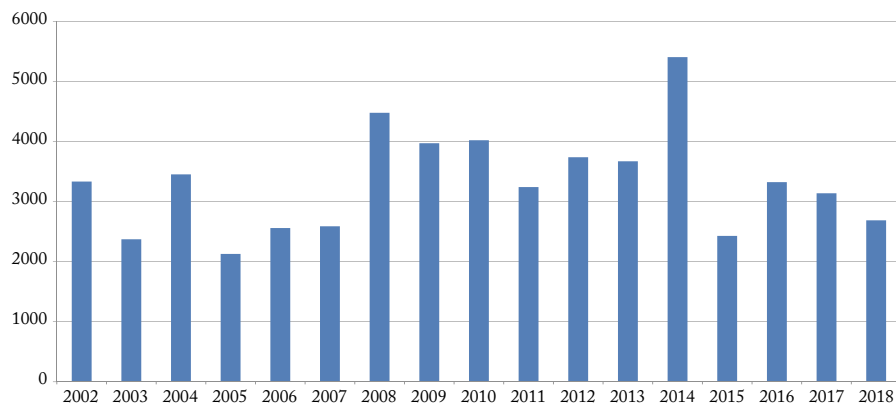


Figura 9. Piovosità cumulata annua da dati rete meteorologica regionale –Arpa-Osmer della stazione Musi (600 m s.l.m. - Lat: 46.312663 - Lon: 13.274682) (Fig.10)

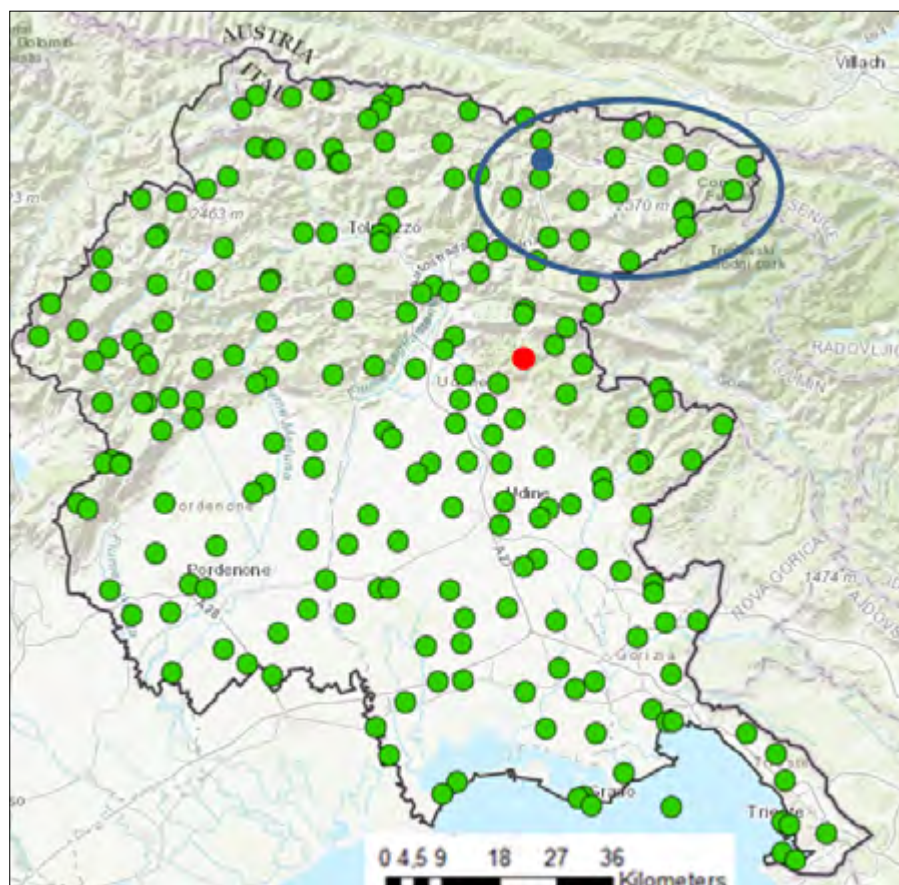


Figura 10 – Stazioni meteo della Regione con indicati in rosso la stazione di Musi, in blu la stazione di Pontebba. Nell'ellisse la zona colpita dall'alluvione del 29 agosto 2003

Regione (Val Canale e Canal del Ferro, bacino del Torrente Fella, Fig. 10), oltre ai vari dissesti di natura idraulica, si sono innescate più di mille frane, per lo più colate rapide e frane superficiali evolute in colate. In occasione di tale evento sono stati registrati 343 mm in 6 ore e 396 in 24 ore nella stazione di misura di Pontebba collocata nella zona ovest dell'area colpita (Fig. 10).

3. GLI UTILIZZI DEL CATASTO FRANE E POSSIBILI FUNZIONI

Il catasto frane consente una gestione avanzata della storicizzazione di tutti gli strati informativi contenuti e risulta la base di partenza per qualunque valutazione di pericolosità geologica nelle numerose

procedure di gestione, manutenzione e pianificazione del territorio da parte del Servizio Geologico o qualunque altra struttura regionale o ente territoriale.

Il catasto frane, come già accennato diventa lo strato informativo fondamentale per la stesura dei PAI, viene preso in considerazione nella pianificazione di livello comunale o sovramunicipale per definire le aree edificabili e viene utilizzato nei piani di emergenza comunale per individuare le aree sicure nelle attività di protezione civile.

Il continuativo aggiornamento delle conoscenze territoriali relativo agli eventi di frane e le loro evoluzioni comporta una banca dati utile, oltre per la pianificazione territoriale, anche per la programmazione della mitigazione del rischio.

Può succedere che, per la sovrapposizione delle competenze delle diverse strutture regionali in materia di dissesto geo-idrologico e difesa del suolo, nonostante uno strumento comune di gestione del dato, soprattutto in occasione di situazioni emergenziali, si possa creare un disallineamento nella registrazione dei dati che deve essere recuperato per una corretta gestione del catasto frane. Ciò nonostante il catasto frane resta uno strumento utile e fondamentale per la gestione del territorio.

4. CONCLUSIONI

Dall'esperienza maturata nel Servizio Geologico della Regione FVG, nonostante le difficoltà di gestione che possono crearsi, è stato appurato che la conoscenza data dal catasto frane è il presupposto per una corretta gestione del territorio e quest'ultima è direttamente correlata alla prevenzione se si traduce in una riduzione della pressione antropica nei contesti territoriali più fragili.

In definitiva la prevenzione non può esulare da una conoscenza approfondita del territorio e delle sue fragilità.

La gestione di un catasto frane può sicuramente essere considerata una misura non strutturale per la mitigazione del rischio.

BIBLIOGRAFIA

- CAVALLO R., BERTINI T. (1976), *Aspetti geologico-tecnici, Terremoto del 6 maggio 1976 in Friuli*. In: *L'industria italiana del cemento*, Fascicolo monografico sul terremoto del Friuli n.7-8, Anno XLVI Luglio-Agosto 1976.
- CROSTA G.B., AGLIARDI F., FRATTINI P., COLUCCI F., CREMA A., VALAGUSSA A. (2011), *Standard minimi per la stesura di carte di pericolosità per frane di scivolamento e di crollo quale strumento per la prevenzione dei dissesti franosi*, Progetto n. 1381 – 302 Interreg IV MASSMOVE – Relazioni finali Villasantina-Caneva di Tolmezzo, Venzone, Timau.
- CRUDEN D.M., VARNES D.J. (1994), *Landslide types and process*. In: "Landslide: investigation & mitigation". Transportation research board. Natural Academy of Science.
- KRANITZ F., MANCA P., OBERTI S., PIANO C. (2007), *Analisi del dissesto da frana in Friuli Venezia Giulia*, APAT - Dipartimento della Difesa del Suolo, "Rapporto sulle frane in Italia", 78/2007, pp. 261-305. Roma.
- KRANITZ F., MANCA P., OBERTI S., PIANO C. (2007), *Il progetto Iffi come base informativa per la redazione dei Piani Stralcio: l'esempio della regione Friuli Venezia Giulia*, Rendiconti della Società Geologica Italiana, Nuova Serie, 2007, vol.4 pp.63-73.

Meccanismi dell'instabilità costiera e processi erosivi lungo le coste rocciose pugliesi

Coastal instability and erosional processes along apulian rocky coasts

Parole chiave: Morfodinamica costiera, instabilità, falesie, erosione, calcareniti, alterazione
Key words: coastal morphodynamics, instability, cliffs, erosional processes, calcarenites, weathering

Rosa Pagliarulo

CNR. Istituto di Ricerca Protezione Idrogeologica. Bari
 E-mail: r.pagliarulo@ba.irpi.cnr.it

Veronica Zumpano

CNR. Istituto di Ricerca Protezione Idrogeologica. Bari
 E-mail: v.zumpano@ba.irpi.cnr.it

1. INTRODUZIONE

La consapevolezza che le scogliere pugliesi si sgretolano è balzata preponderatamente all'attenzione dell'opinione pubblica nel 2014 a seguito delle Ordinanze di restrizione alla balneazione e di interdizione agli accessi e alla fruizione di alcune aree costiere da parte delle Capitanerie di Porto a causa di alcuni crolli. La vocazione turistica del territorio pone tali problematiche tra quelle assolutamente prioritarie per la definizione della suscettibilità all'instabilità delle coste alte rocciose e la definizione dei rischi esistenti. In questo articolo vengono analizzate le cause della diffusa instabilità delle coste rocciose alte. Il rischio costiero associato alle condizioni di instabilità di questa tipologia di costa è particolarmente grave nella Regione Puglia, ed esso viene acuito da due condizioni strettamente interconnesse: la prima è relativa ad una fascia costiera ampia circa 30 Km in cui si risente della elevata frequentazione per attività turistiche e conseguente urbanizzazione della costa stessa, la seconda, invece, è determinata dall'irrigidimento antropico sempre sul bordo costiero dovuto alla presenza di infrastrutture viarie e diverse tipologie di costruito.

Nello specifico, la costa pugliese è caratterizzata dall'alternanza di falesie, coste rocciose digradanti e spiagge. Una prima classificazione può essere definita, infatti, sulla base delle diverse morfologie che la caratterizzano. Su un totale di 970 km di estensione costiera 320 Km sono costituiti da spiagge sabbiose e 601 Km di costa non sabbiosa di cui circa 200 Km da coste rocciose basse e solo 126 Km da falesie, mentre i restanti 49 Km sono indefinibili poiché l'antropizzazione ha obliterato le originarie morfologie (Fig. 1).

La definizione "coste alte" si riferisce a morfologie associate a differenti litologie diversamente rappresentate lungo le coste pugliesi.

La composizione litologica, l'assetto strutturale e l'esposizione influiscono sulla evoluzione delle pendici essendo controllata essenzialmente dall'azione erosiva degli agenti esogeni e da fenomeni di crollo. In Puglia le morfologie costiere rocciose più diffuse (33%) sono quelle digradanti. Questa tipologia costiera si può presentare tabulare o con una superficie suborizzontale dolcemente digradante verso il mare. Subordinatamente, sono presenti le falesie che presentano pareti rocciose generalmente subverticali, alte e continue costituite da rocce e/o affioramenti di diversa natura, omogenee o eterogenee, da semi-incoerenti a rocce particolarmente resistenti, con altezze variabili da 7 fino ad oltre 20 m e corrispondono a versanti di modellamento subaereo. Localmente presentano un profilo convesso che può essere stratificato o massivo. Si nota la presenza di sistemi di fratturazione variamente orientati complicati da fratture da tensione.

Le falesie possono presentare alla base una spiaggia antistante costituita dal materiale ciottoloso o sabbioso crollato e successivamente elaborato dal moto ondoso o immergersi direttamente a strapiombo in mare. In corrispondenza delle incisioni possono venire a formarsi delle pocket beaches, costituite da ma-

teriale di diversa granulometria eroso e trasportato lungo di esse.

2. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

La regione pugliese costituisce il margine orientale dell'Avampaese Apulo in cui si individuano il Promontorio del Gargano, l'Altopiano delle Murge e le Serre Salentine, una zona di Avanfossa che comprende la Fossa Premurgiana a Sud e il Tavoliere delle Puglie a nord, tanto per rimanere nell'ambito delle aree che insistono lungo i tratti costieri (Patacca & Scandone, 2007).

Trattasi di una potente successione carbonatica mesozoica spessa circa 3 Km in facies di piattaforma, scarpata e bacino, coperta in maniera discontinua, soprattutto lungo la costa, da sedimenti depositatisi a partire dall'Eocene fino al Pleistocene.

In particolare, il promontorio del Gargano, la cui elevazione massima è intorno ai 1000 m, risulta separato dal resto della piattaforma apula da faglie attive ed è costituito da sedimenti evaporitici non affioranti riferibili al Trias superiore e successivamente da calcari e dolomie giurassico-cretacei associati a calcari di scogliera (Spalluto & Pieri, 2008). Ai depositi giurassico-cretacei si sovrappongono in trasgressione, nelle aree marginali, forma-

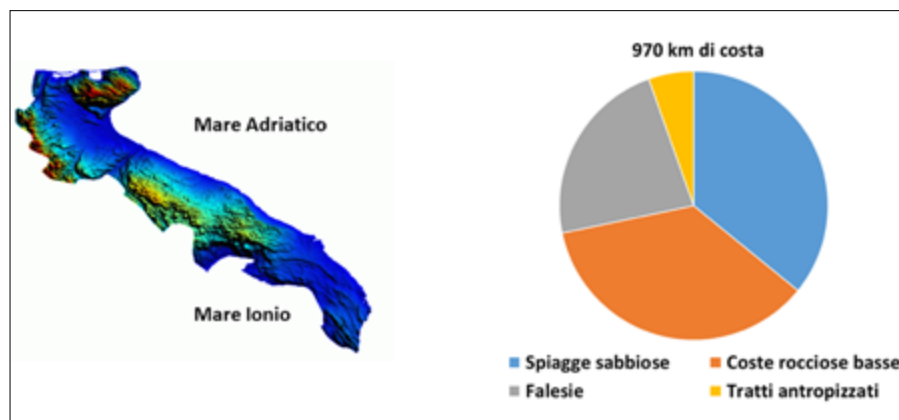


Figura 1. Distribuzione e percentuale delle diverse morfologie lungo la costa pugliese

zioni paleogeniche costituite da calcari organogeni, calcari compatti e calcareniti.

Le Murge rappresentano la porzione centrale dell'Avampese Apulo, il cui ripiano più elevato raggiunge i 700 m di quota, si identificano con una articolata area costituita quasi esclusivamente da rocce di età cretacea a composizione carbonatica (calcari mesozoici della Piattaforma Apula), allungata in direzione NW-SE (Pieri *et al.*, 1997). In trasgressione e in maniera discontinua su queste formazioni si rinvencono sedimenti calcarenitici Plio - Pleistocenici. In lembi residui, prevalentemente in zone costiere, si rinvencono depositi calcareo arenacei Pleistocenici più o meno cementati.

Il basamento carbonatico mesozoico che costituisce la penisola salentina è rappresentato dalle formazioni calcareo dolomitiche su cui si rinvencono, all'interno, depositi miocenici mentre lungo la costa affiorano depositi paleogenici (Tropeano *et al.*, 2009).

Le coste pugliesi sia del versante Adriatico che Ionico sono quindi modellate negli ammassi carbonatici descritti. La caratteristica morfologica dell'area costiera murgiana è la presenza di una serie di terrazzi marini di abrasione collegati a piccole scarpate subparallele alla linea di costa, mentre il paesaggio dell'area salentina, essendo topograficamente poco rilevata sul livello del mare, può essere descritto a grande scala come un complesso di diverse ed ampie superfici, disposte tra

160 m e pochi metri sul livello medio marino, raccordate da scarpate di faglia rielaborate dall'erosione, orientate prevalentemente NW-SE e NNW-SSE, e da paleo coste di abrasione marina (Tropeano *et al.*, 2004).

3. TIPOLOGIE E MECCANISMI DELL'INSTABILITÀ COSTIERA

Le forme costiere sono il risultato dell'interazione e della combinazione di processi marini e continentali (Mastrozzi *et al.*, 2011). I fattori che controllano i processi morfodinamici costieri sono rappresentati da processi di: i) lungo e medio termine: variazioni relative del livello marino, eustatismo, tettonica, effetti locali; ii) processi continui (erosione/deposizione da parte del moto ondoso, correnti, maree, etc.); iii) eventi parossistici e/o improvvisi (mareggiate, tsunami, alluvioni, crolli istantanei); iv) azione antropica lenta ma continua.

I movimenti di massa che si realizzano più frequentemente lungo i versanti costieri sono di vario tipo e dipendono dai caratteri geotecnici e litostrutturali della roccia in cui è modellata la falesia. I tipi di dissesto riconosciuti sono essenzialmente: 1) scivolamenti planari o rotazionali, 2) scivolamenti di cunei, 3) ribaltamenti, 4) crolli (Hoek & Bray, 1981). Essi si rinvencono spesso in associazione, per cui risulta abbastanza difficile distinguere volta per volta il tipo di movimento primario e quelli innescatisi in un secon-

do tempo. I movimenti gravitativi dei primi tre tipi elencati si realizzano lungo piani di discontinuità predefiniti; i crolli invece consistono nel distacco di porzioni di roccia in corrispondenza di giunti di neoformazione non relazionati ad alcun sistema strutturale.

Questi fenomeni possono essere episodici e discontinui nel tempo e nello spazio, possono essere la risposta di masse rocciose molto fratturate ed erose a singole forti mareggiate e sono da considerare come la naturale evoluzione di una costa rocciosa (Fig. 2).

L'evoluzione morfologica dei dissesti che interessano le falesie richiede la comprensione del complesso quadro di interazioni tra i caratteri interni del sistema costiero e le sollecitazioni esterne e, quindi, dell'incidenza di ognuno di questi fattori sulle condizioni di instabilità (Sunamura, 1992).

I fattori predisponenti sono rappresentati dalla geometria, litologia e assetto strutturale dell'ammasso e quindi dalle caratteristiche fisiche della roccia, presenza di discontinuità e di zone di taglio, faglie, famiglie di fratture di varia origine, soprattutto quelle parallele al bordo della falesia; geomeccaniche (orientazione, spaziatura, rugosità, apertura, condizioni idrauliche ed alterazione delle discontinuità); climatiche (temperatura, umidità, regime delle precipitazioni); di esposizione; storia tensionale dell'ammasso roccioso (eventi di carico e scarico; condizioni di contenimento e di vincolo dell'ammasso (Andriani e Walsh, 2007).

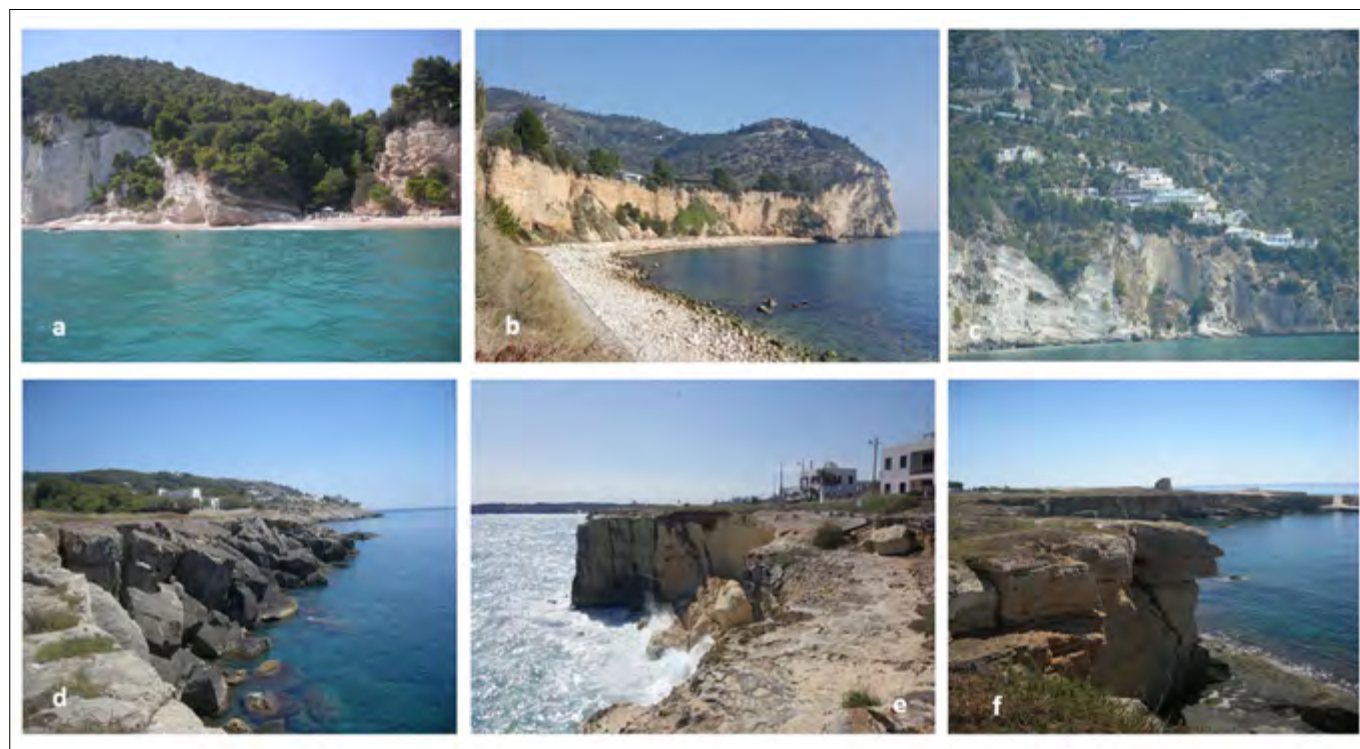


Figura 2. I fenomeni di instabilità più diffusi sono crolli, ribaltamenti, scivolamenti planari e rotture a cuneo. Le immagini superiori si riferiscono alla costa garganica: a) Vignanotica; b) Tor di Lupo; c) Mattinata, mentre le tre inferiori alla costa salentina: c) litorale a Sud-Ovest di località Fontanelle; d) Torre dell'Orso; f) Porto Miggiano

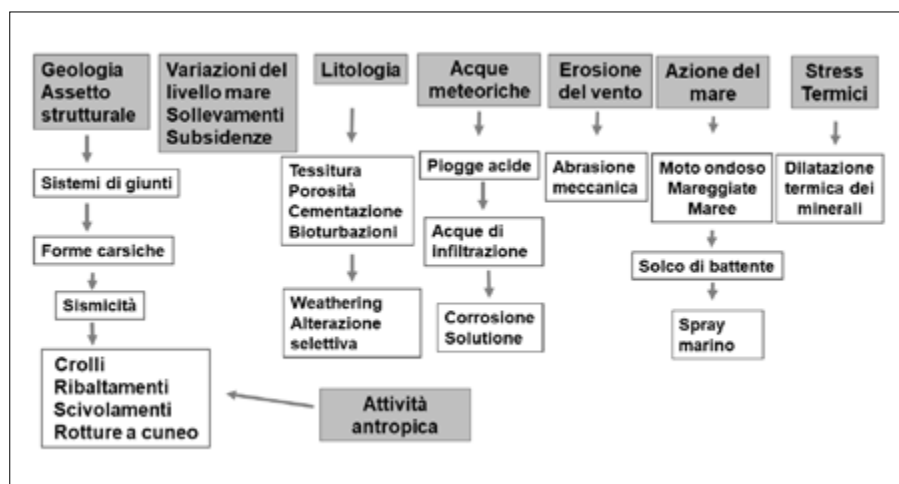


Figura 3. I fattori che controllano la instabilità delle falesie costiere (Lollino & Pagliarulo, 2008; modif.)

Mentre i fenomeni di innesco possono essere dovuti a spinte indotte nelle discontinuità da pressioni idrauliche o dallo stress termico, sollecitazioni tensionali per sismicità e vibrazioni, sovraccarichi indotti da processi naturali o da azioni antropiche.

La ricostruzione dell'assetto litostratigrafico di un versante costiero e la determinazione delle proprietà meccaniche ed idrauliche dell'ammasso roccioso consentono di definire i caratteri di resistenza delle varie unità costituenti la costa e, quindi, di individuare i litotipi maggiormente sensibili alle azioni del mare. L'assetto morfologico di superficie del territorio rappresenta un fattore importante per l'individuazione delle criticità connesse ai fenomeni di dissesto, in quanto è rivelatore dell'evoluzione passata dei versanti e degli effetti indotti da avvenuti movimenti di massa. Questo concetto è particolarmente valido in ambito costiero, dove le pendenze sono particolarmente elevate ed è notevole l'esposizione delle pareti ai fattori esterni e, quindi, il raggiungimento di una certa geometria può pregiudicare l'equilibrio del versante costiero e favorirne movimenti gravitativi. Ruolo primario viene svolto dalle famiglie di discontinuità. In-

fatti, la distribuzione spaziale delle fratture all'interno dei versanti rocciosi può generare condizioni di disequilibrio anche nei casi in cui l'esposizione della costa ai moti ondosi non sia particolarmente marcata, come nel caso di falesie con spiaggia al piede. Nell'ambito di un'analisi di pericolosità, il rilievo strutturale di dettaglio consente di effettuare verifiche di stabilità speditive, ossia cinematiche, dell'ammasso roccioso, attraverso l'individuazione delle zone più suscettibili ad instabilità, la definizione della tipologia di dissesto (scorrimento, ribaltamento, ecc.) e l'identificazione dei potenziali piani di rottura. La morfologia del fondale, la presenza o meno di spiaggia antistante la falesia, la piattaforma di abrasione e il solco di battente sono elementi di basilare importanza (Fig. 3).

Tra i diversi fattori, il moto ondoso rappresenta la principale causa dell'indebolimento delle pareti rocciose e insieme con le correnti e le maree costituisce il più importante agente morfogenetico delle coste alte. L'energia delle onde alla base della scogliera rappresenta uno dei più importanti fattori scatenanti il dissesto (Antonoli *et al.*, 2015).

Le onde, infrangendosi sulle pareti delle falesie, esercitano pressioni mol-

to forti, tanto da erodere la base della falesia in corrispondenza del solco di battente. Questo processo di escavazione alla base della falesia progredisce nel tempo fino a quando la porzione sovrastante, priva del sostegno al piede, si destabilizza, soprattutto se sono presenti fratture da tensione, producendo meccanismi di crollo progressivi e quindi l'arretramento della parete (Fig. 4). La maggior parte dei materiali derivanti dalla demolizione delle pareti rocciose accumulandosi alla base di queste determina una piattaforma di abrasione marina che col tempo costituisce una difesa della falesia smorzando l'energia delle onde (Trenhaile, 2008).

4. VALUTAZIONE METODOLOGICA DELLE CONDIZIONI DELLE COSTE ALTE IN PUGLIA

In Puglia le litologie in cui sono modellate le falesie sono quelle carbonatiche e quindi la determinazione dei sistemi di giunti e la presenza di forme carsiche ha importanza prioritaria ai fini della valutazione della vulnerabilità. Soprattutto laddove sono presenti le facies calcarenitiche è necessaria la definizione delle loro caratteristiche fisico-meccaniche, fattore questo che influisce per la suscettibilità al weathering, alla erosione selettiva e alle azioni del vento e dello spray marino particolarmente attivo durante le forti mareggiate (Fig. 5)

Nelle coste rocciose alte la capacità erosiva del mare è esaltata dalla resistenza degli ammassi rocciosi esposti alla energia trasmessa dalle onde ed è necessario quindi valutare le caratteristiche meteomarine e l'orientazione della costa rispetto al fronte d'onda (Pellicani *et al.*, 2015; 2018).

Le attività antropiche hanno il loro influsso negativo e soprattutto in aree salentine la presenza di infrastrutture turistiche, strade, cave costiere, utiliz-



Figura 4. Condizioni progressivamente più instabili dovute al moto ondoso in presenza di solco di battente alla base della falesia e la formazione di una frattura subverticale dovuta all'azione marina sia meccanica che chimica. La presenza di fratture di tensione nella parte superiore della parete indebolisce ancora di più il versante

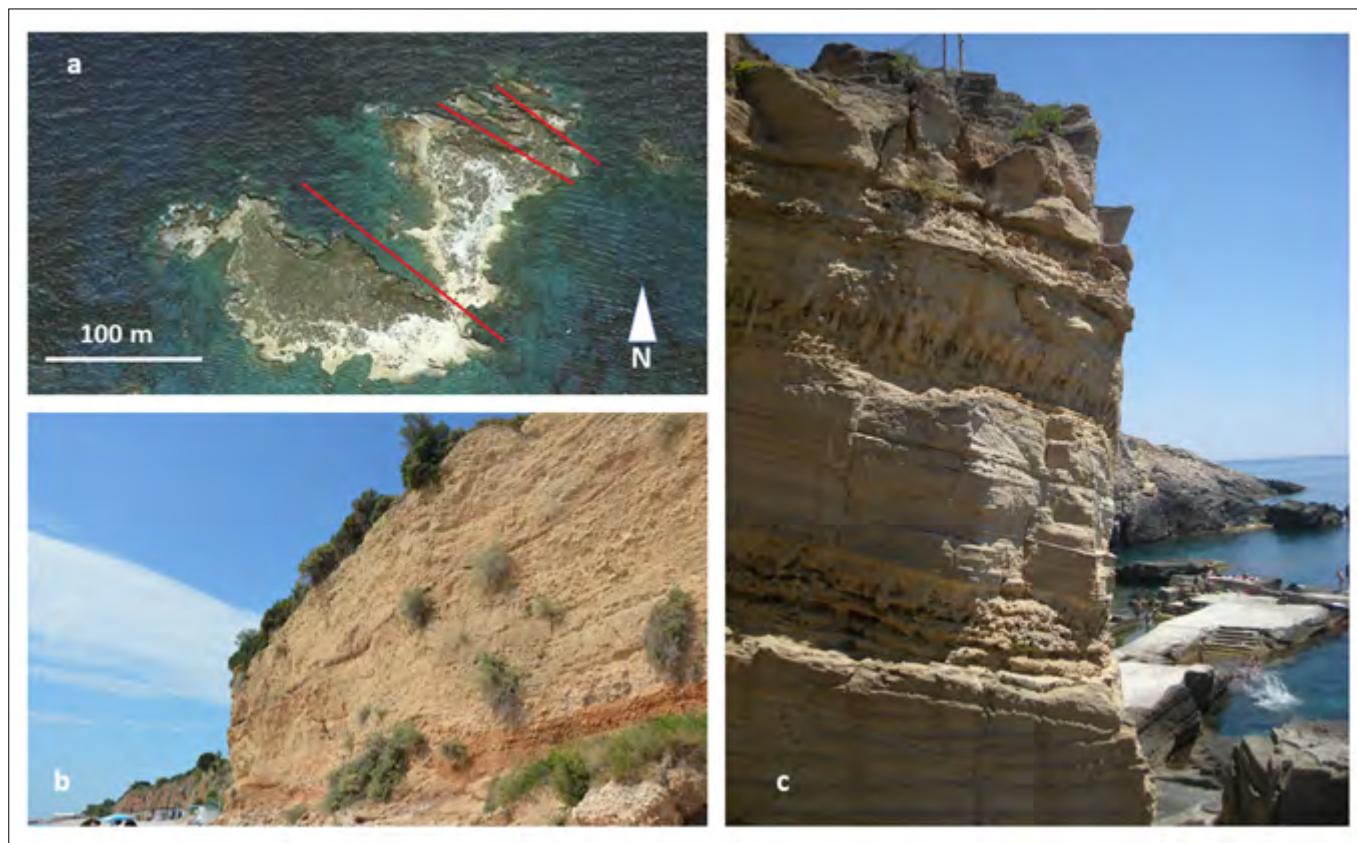


Figura 5 – Gli effetti del weathering, delle azioni del vento e del moto ondoso aggravate dalla presenza di faglie e da erosione selettiva: a) isola del Cretaccio (Arcipelago delle Tremiti); b) alta falesia modellata nella conoide di Mattinatella; c) Santa Cesarea Terme

zate sin dall'epoca storica e successivamente elaborate dal moto ondoso determinano condizioni di debolezza e degrado. Le infrastrutture invece, per lo più, appesantiscono la parte superiore della falesia accelerandone l'evoluzione.

Nell'ambito del Progetto “Valutazione integrata di dissesti geo-idrologici nel territorio della Regione Puglia, modelli interpretativi dei fenomeni e definizione di soglie di pioggia per il

possibile innesco di frane superficiali”, vengono condotti studi riguardo alla definizione di procedure metodologiche per l'analisi della instabilità. Lo scopo principale è quello di giungere, tramite una serie di azioni, a valutare la suscettibilità per tutto il territorio pugliese a vari tipi di geo-hazards, anche su base quantitativa, al fine di produrre adeguati scenari di rischio da porre alla base di efficaci piani comunali di emergen-

za, che possano essere utilizzati ai fini della mitigazione del rischio da dissesti geo-idrologici. Nelle attività del progetto è prevista, dunque, anche l'analisi di fenomeni di instabilità che interessano le coste del territorio della regione Puglia. A tal fine, tra le attività preliminari, è stata eseguita una ricognizione presso gli archivi del Dipartimento della Protezione Civile della Regione Puglia di tutte le segnalazioni e gli eventi di

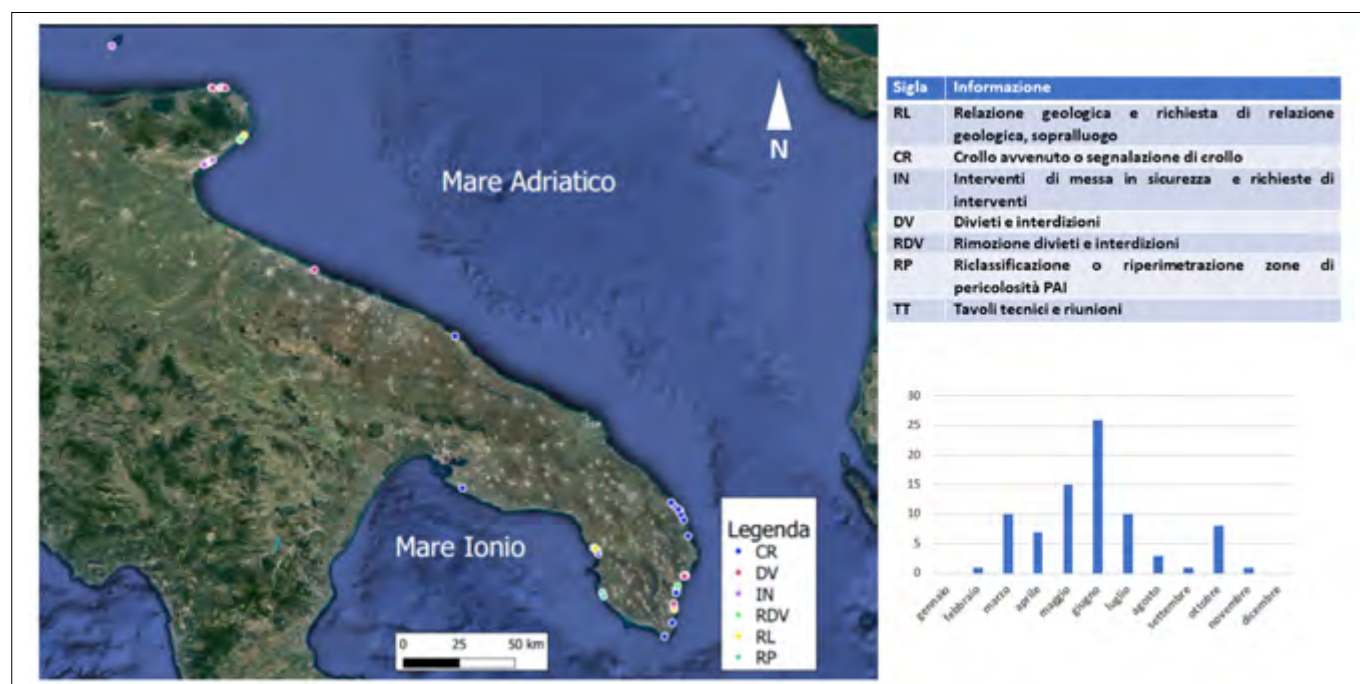


Figura 6. Ubicazione delle segnalazioni di instabilità lungo le coste pugliesi per il periodo 2014-2018 e l'istogramma che riporta il numero di segnalazioni per ogni mese riferito allo stesso intervallo temporale

crollo e/o franosi in genere che hanno coinvolto le coste rocciose pugliesi dal 2014 e i relativi provvedimenti posti in essere dalle autorità competenti quali i Comuni, le Province e la Regione Puglia. I dati disponibili partono dal 2014, da quando cioè questo tipo di emergenze ha rivestito carattere di enorme rilevanza regionale a causa delle Ordinanze di Restrizione alla balneazione e di Interdizione agli accessi e fruizione di alcune aree costiere da parte delle Capitanerie di Porto. Trattasi di una serie di documenti cartacei che riportano informazioni in merito alle situazioni di instabilità costiera per tutto il territorio regionale (Gargano, Costa Adriatica Centrale e Penisola Salentina). I dati sono relativi ad un periodo che va dal 2014 al 2018 e riguardano situazioni molto eterogenee quali tavoli tecnici, relazioni geologiche, divieti ed interdizioni posti su alcune zone, sopralluoghi e lavori di messa in sicurezza, ma anche informazioni su crolli o pericolo di crolli.

Al fine di organizzare un Data Base digitale in ambiente GIS relativo ai dati raccolti, è stata formulata una legenda che classifica le informazioni raccolte, tale legenda riportata nella tabella in Fig. 6 consta di sei classi (Relazione geologica e richiesta di relazione geologica, sopralluogo; Crollo avvenuto o segnalazione di crollo; Interventi messa in sicurezza richieste di interventi; Divieti e interdizioni; Rimozione divieti e interdizioni; Riclassificazione o ripermimetrazione zone di pericolosità PAI; Tavoli tecnici e riunioni).

Il Geo database è stato costruito in ambiente GIS attraverso l'utilizzo del software open source QGIS 3.6. Sono stati creati due shape files di punti, il primo dedicato ai tavoli tecnici, per i quali il punto è stato posto nel comune presso cui la riunione ha avuto luogo, mentre tutte le altre informazioni sono state raggruppate in un altro shape file. I documenti raccolti non forniscono una indicazione precisa in termini di localizzazione dell'informazione, pertanto il punto è stato posto in maniera approssimativa nell'area indicata dal documento. Bisogna dunque sottolineare una scarsa precisione spaziale che inficia la qualità del dato riportato e ne limita l'utilizzo (Fig. 6).

5. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Le condizioni delle instabilità costiere rappresentano in Puglia un problema di enorme rilevanza anche tenuto conto dell'estensione delle coste alte po-

tenzialmente interessate a questo fenomeno. Pur essendo l'arretramento delle falesie un fenomeno del tutto naturale nell'ambito della geomorfologia costiera, esso costituisce una problematica estremamente importante in un contesto di antropizzazione e di logiche turistiche. Le attività antropiche hanno un notevole impatto per la presenza di opere di viabilità, di infrastrutture talvolta invasive e la realizzazione di accessi al mare incrementando i carichi sulla parte superiore della costa e accelerandone l'evoluzione.

La valutazione degli elementi morfologici dei tratti di costa rocciosa alta, le falesie e quelli in costa rocciosa bassa ha permesso di evidenziare le tipologie e i cinematismi instabilità. Si è accertato che i processi di arretramento delle falesie si verificano in specifiche condizioni geometriche e geomorfologiche attraverso fenomeni che si possono essenzialmente riassumere in: i) crolli di singoli blocchi o porzioni di ammasso roccioso; ii) ribaltamenti; iii) scivolamenti planari o rotazionali; iv) scivolamenti di cunei. Da quanto accertato, si ottiene un quadro complessivo sullo stato della stabilità delle coste rocciose della regione, sia pure non esaustivo, e si evince che gli episodi di crollo riguardano quasi tutti i comuni costieri pugliesi. Intanto le falesie continuano inesorabilmente a sgretolarsi. Le ultime segnalazioni si riferiscono nei primi giorni del mese di luglio 2019 a diversi tratti di costa del Comune di Melendugno dove blocchi di calcarenite sono venuti giù, come pure una notevole porzione del faraglione isolato vicino ai due più noti, conosciuti come le "Due sorelle".

Vi è comunque la consapevolezza ormai generalizzata che con questi fenomeni è necessario convivere tenendo conto che il più delle volte non è possibile verificare l'evento nell'immediatezza, sia perché accade in periodo invernale quando non vi è una costante presenza di nautanti, sia perché fortunatamente i crolli avvengono in zone più o meno disabitate.

Note: La ricerca è stata finanziata dalla Regione Puglia - Sezione Protezione Civile, nell'ambito del progetto "Valutazione integrata di dissesti geo-idrologici nel territorio della Regione Puglia, modelli interpretativi dei fenomeni e definizione di soglie di pioggia per il possibile innesco di frane superficiali" - fondi P.O.R. Puglia 2014-2020, Asse V - Azione 5.1. CUP: B82F16003840006

BIBLIOGRAFIA

- ANTONIOLI F., LO PRESTI V., ROVERE A., FERRANTI L., ANZIDEI M., FURLANI S., MASTRONUZZI G., ORRÙ P.E., SCICCHITANO G., SANNINO G., SPAMPINATO C.R., PAGLIARULO R., DEIANA G., DE SABATA E., SANSÒ P., VACCHI M., VECCHIO A. (2015), *Tidal notches in Mediterranean Sea: a comprehensive analysis*. Quat. Sci. Rev. 119, 66- 84.
- ANDRIANI G. F., WALSH N. (2007), *Rocky coast geomorphology and erosional processes: A case study along the Murgia coastline South of Bari, Apulia — SE Italy*. Geomorphology 87, 224-238.
- HOEK E., BRAY J.W. (1981), *Rock Slope Engineering*. III Edition. CRC Press, 360 pp
- LOLLINO P., PAGLIARULO R. (2008), *The interplay of erosion, instability processes and cultural heritage at San Nicola Island (Tremi Archipelago, Southern Italy)*. Geogr. Fis. Dinam. Quat 31, 161-169
- MASTRONUZZI G., CAPUTO R., DI BUCCI D., FRACASSI U., MILELLA M., PIGNATELLI C., SANSÒ P., SELLERI G. (2011), *Middle - Late Pleistocene evolution of the Adriatic coastline of southern Apulia (Italy) in Response to relative sea-level changes*. Geogr. Fis. Din. Quaternaria 34 (2), 207- 222.
- PATACCA E., SCANDONE P. (2007), *Geology of Italy*. Boll. Geol. It., Spec. Issue 7, 75-119.
- PELLICANI R., MICCOLI, D., SPILOTRO, G., GALLIPOLI, M.R., MUCCIARELLI, M., BIANCA, M. (2015), *Dynamic response of a rocky cliff under the sea wave pulse: a study along the Adriatic coast of Polignano (Apulia, Italy)*. Environ. Earth Sci. 73(10), 6243-6257 [https://doi.org/ 10.1007/s12665-014-3848-7](https://doi.org/10.1007/s12665-014-3848-7)
- PELLICANI R., ARGENTIERO I., SPILOTRO G. (2018), *A Preliminary Method for Assessing Sea Cliff Instability Hazard: Study Cases Along Apulian Coastline*. Springer International Publishing AG, part of Springer Nature 2018 O. Gervasi et al. (Eds.): ICCSA 2018, LNCS 10961, 152-165.
- PIERI P., FESTA V., MORETTI M., TROPEANO M. (1997), *Quaternary tectonic of the Murge area (Apulian foreland - Southern Italy)*. Ann. Geofis. 40 (5), 1395-1404.
- SPALLUTO L., PIERI P. (2008), *Carta geologica delle unità carbonatiche mesozoiche e cenozoiche del Gargano sud-occidentale: nuovi vincoli stratigrafici per l'evoluzione tettonica dell'area*. Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia, LXXVII, 147-176.
- SUNAMURA, T. (1992), *The Geomorphology of Rocky Coasts*. Wiley, New York, USA.
- TRENHAILE A.S. (2008), *Modelling the role of weathering on shore platform development*. Geomorphology, 94, 24-39.
- TROPEANO M., SPALLUTO L., MORETTI M., PIERI P., SABATO L. (2004), *Depositi carbonatici pleistocenici di tipo foramol in sistemi di scarpata (Salento - Italia Meridionale)*. Il Quaternario, 17, 537-546
- TROPEANO M., PIERI P., SPILOTRO G., DELLE ROSE M., DIPRIZIO G., GALICCHIO S., MORETTI M., SABATO L., SPALLUTO L. (2009), *Carta Geolitologica della Puglia basata sulla elaborazione e sintesi della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000. Note Illustrative*. <https://www.adb.puglia.it>

Modellazione di crolli da costoni rocciosi in una area di interesse storico-culturale ed implicazioni sulla fruizione

Modeling of rock falls an area of historical-cultural interest and implications on fruition

Giovanna Pappalardo
Università degli Studi di Catania,
Dipartimento di Scienze Biologiche,
Geologiche e Ambientali
E-mail: pappalar@unict.it

Parole chiave: Crolli, fruizione beni culturali, Termografia ad infrarossi, ammasso roccioso
Key words: rockfalls, cultural heritage fruition, infrared thermography, rock mass

ABSTRACT

I centri abitati che sviluppano lungo costoni rocciosi sono spesso coinvolti da fenomeni franosi come i crolli in roccia. La morfologia acclive di tali versanti è il risultato di processi dinamici di natura geologica e geomorfologica, a cui si ricollegano condizioni di elevato rischio per gli abitanti e, più in generale, per i fruitori di questi luoghi. L'abitato di Castelmola è situato nel settore sud-orientale dei Monti Peloritani e si sviluppa sulla porzione superiore di una monoclinale le cui pareti verticali sono sovrastanti il sottostante abitato di Taormina. I due centri sono notoriamente visitati da numerosi turisti e collegati attraverso una strada provinciale (SP 10) che si sviluppa per circa 6 km con un andamento a tratti sinuoso. Numerosi sono stati i crolli che nel tempo hanno coinvolto le pareti rocciose, condizionando la sicurezza degli stessi abitanti, incluse le infrastrutture viarie, e l'incolumità agli abitanti e visitatori. Il presente lavoro è uno studio sui crolli che hanno segnato la stabilità di questi ammassi rocciosi nel tempo, e sull'attuale stabilità delle pareti rocciose più rilevanti. Il rilievo geomeccanico, effettuato in numerose stazioni di misura, è stato affiancato da tecniche di rilievo da remoto quali laser scanner e termografia ad infrarossi. In base ai risultati ottenuti sono emerse condizioni di grave pericolo per gli abitanti ed i frequentatori di questo antico centro turistico, sulle quali bisogna intervenire con urgenti ed appropriati metodi di consolidamento.

1. INTRODUZIONE

In generale gli ammassi rocciosi sono assimilabili ad un mezzo discontinuo, la cui qualità geomeccanica è influenzata dalla presenza di discontinuità e dalle loro caratteristiche. Per questo motivo,

il grado di fratturazione di un ammasso roccioso è l'oggetto principale di studio in caso di analisi di stabilità. Il censimento e la descrizione delle discontinuità presenti lungo un versante rappresenta un approccio metodologico ormai consolidato, noto con il nome di rilievo geostrutturale, e normato da raccomandazioni internazionali (ISRM, 2007). Questo, se eseguito a regola d'arte, consente di misurare direttamente in situ i parametri necessari per lo studio della stabilità e garantisce elevati livelli di affidabilità in termini di risultati. Tuttavia, non sempre le condizioni del territorio consentono un accesso diretto al versante da studiare; basti pensare a settori di pendii a quote elevate, falesie costiere, aree impervie. Per questo motivo negli ultimi decenni sono state sviluppate tecnologie che consentono lo studio dei versanti operando da remoto, talvolta con elevato dettaglio. Nello specifico la Termografia ad Infrarossi è, da qualche anno, oggetto di ricerche scientifiche mirate alla sua applicazione all'analisi della stabilità dei pendii. Infatti, pur essendo una tecnica largamente utilizzata in diversi settori scientifici, quali la medicina, la botanica, la fisica e l'ingegneria (Hudson, 1969), il suo utilizzo nell'ambito della geomeccanica ha ancora carattere pionieristico. Baron *et al.* (2012) hanno utilizzato la Termografia ad Infrarossi per mappare fratture aperte lungo versanti instabili della Repubblica Ceca e dell'Austria, sfruttando la differenza di temperatura tra l'interno delle fratture e l'ambiente esterno. Mineo *et al.* (2015a) hanno acquisito immagini termiche ad infrarossi per valutare la presenza di aree instabili lungo un versante roccioso già interessato da frane, riuscendo ad identificare potenziali aree-sorgente di movimenti franosi sulla base del diverso compor-

tamento termico degli elementi lungo il versante (vegetazione, detrito, roccia nuda). L'obiettivo del presente lavoro è quello di evidenziare le problematiche dei crolli di roccia in contesti geologici complessi in cui sono presenti, centri di interesse culturale come l'abitato di Castelmola e di infrastrutture viarie di importanza strategica per la fruizione dello stesso. Sono state utilizzate tecniche di rilievo da remoto come la IRT che unitamente ai risultati del rilievo geomeccanico hanno evidenziato quali sono i volumi di roccia potenzialmente instabili. L'analisi cinematica ha permesso di realizzare modelli delle tipologie di scivolamento di cuneo, che governano la instabilità dell'area. Sulla base di tali modelli e volumi stimati, le possibili traiettorie sono state calcolate lungo il versante al di sotto dell'abitato di Castelmola. Pappalardo *et al.* (2014) e Mineo *et al.* (2017) hanno messo in evidenza l'elevato rischio di crolli lungo tale infrastruttura attraverso metodi di calcolo semi-quantitativi e qualitativi (RHRS e Event Tree Analysis) mettendo in luce l'elevato rischio cui è soggetta la strada.

2. AREA DI STUDIO

I Monti Peloritani, in cui ricade l'abitato di Castelmola (*Fig. 1*), costituiscono il settore più meridionale della Catena Appenninica, rappresentato geologicamente dall'Arco Calabro-Peloritano. Le formazioni presenti appartengono alle Unità Kabilo-Calabridi e derivano dalla deformazione dell'originario margine europeo; esse sono costituite alla base da rocce cristalline di età ercinica a cui si sovrappongono terreni sedimentari mesozoico-terziari (Atzori & Vezzani, 1974). Gli affioramenti sono delimitati a sud da una importante linea tettonica orientata NW-SE, lungo la quale è

esposto il contatto di sovrascorrimento sui sedimenti caotici dell'originario cuneo d'accrezione tetideo (Lentini *et al.*, 1996). A partire dal Serravalliano l'area in esame è stata dislocata verso sud da sistemi di faglie destre orientate NW-SE appartenenti al sistema Sud-Tirrenico (Finetti *et al.*, 1996). Un altro sistema di faglie orientate NNW-SSE, molto attive e luogo di frequenti terremoti anche di magnitudo elevata (Scandone *et al.* 1981) è quello della Scarpata Ibleo-Maltese. Il settore Peloritano è delimitato ad est da un sistema di faglie con andamento parallelo alla costa ionica (NNE-SSW) che lo ribassano verso est, con ripercussioni sul settore più interno. Dall'interazione di questi sistemi di faglie deriva l'attuale assetto geologico dell'intero settore peloritano, caratterizzato da un'articolazione in blocchi di varie dimensioni.

La successione stratigrafica dell'area di studio (Fig. 2) è costituita da un basamento cristallino ercinico di vario grado metamorfico su cui poggiano terreni sedimentari appartenenti alla Unità di Taormina. Il basamento cristallino è rappresentato da semimetamorfiti e metamorfiti in facies di scisti verdi, mentre la copertura sedimentaria è rappresentata alla base da conglomerati ed arenarie triassiche in facies di Verrucano (Dueé, 1969), passanti verso l'alto ad una sequenza di calcari bianco-grigiastri e dolomie del Lias inferiore in facies di piattaforma carbonatica (Lentini, 1973). La sequenza passa gradualmente verso l'alto ad una fitta alternanza di calcari marnosi e marne grigie del Carixiano-Domeriano in facies di Medolo (Fucini, 1935). I termini carbonatici, costituenti i principali ammassi rocciosi, sono ben esposti sul versante settentrionale di una monoclinale immergente a SW.

L'elevato tasso di sollevamento dell'area, testimoniato anche da terrazzi marini di vario ordine su cui si estende parte del vicino abitato di Taormina, viene stimato in 1.4 mm/yr (Monaco *et al.*, 2002). Questo ha determinato forti squilibri morfologici che favoriscono lo sviluppo di diffuse forme di dissesto e l'esistenza di condizioni di equilibrio limite, come nel caso del costone roccioso di Castelmola. I terreni carbonatici dell'Unità di Taormina offrono infatti una maggiore resistenza all'erosione rispetto ai sottostanti terreni cristallini; ne consegue un profilo con scarpate acclivi di varia altezza nel primo caso e pendii più blandi sugli affioramenti dei sottostanti termini metamorfici. La presenza di cavità sulle pareti del costone, indicative di un carsismo ipogeo, unitamente



Figura 1. Localizzazione dell'area di studio (da Mineo *et al.*, 2017)

alla diffusa fratturazione dell'ammasso, favoriscono l'esistenza di una circolazione idrica al suo interno. Questa è più attiva nella parte inferiore, dove l'intensa tettonizzazione ha provocato la frantumazione della roccia, facendole assumere un comportamento da mezzo poroso.

3. FRANE DA CROLLO

L'area di studio ha subito conseguenze derivanti da crolli per decenni, i blocchi si staccano dai settori superiori del versante roccioso e si spostano a valle colpendo case ed infrastrutture viarie principali (SP 10) e secondarie (strade

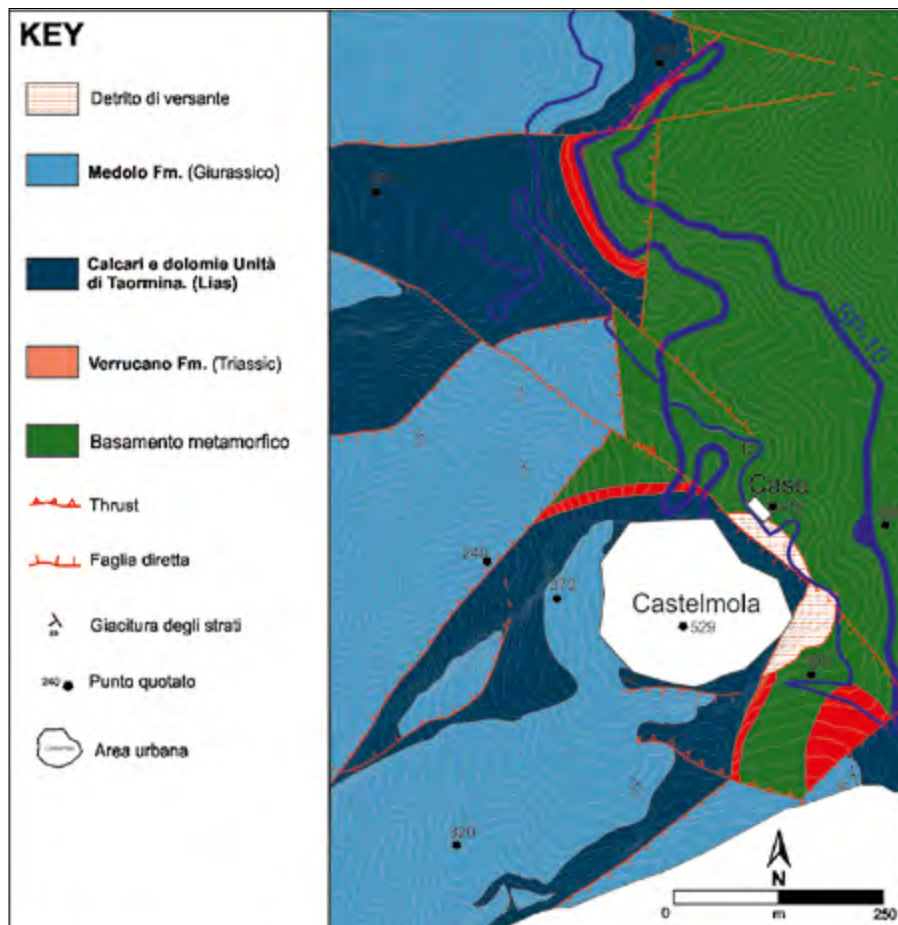


Figura 2. Geologia dell'area studiata (da Mineo *et al.*, 2017)

Tabella 1. Principali eventi documentati dal 1952 (da Mineo *et al.*, 2017)

| Data | Descrizione | Fonte |
|------------------|---|---|
| 1952 | Danni lungo la strada | http://www.db.gndci.cnr.it/php2/avi/frane_riassunto_d.php?comune=Castelmola&lingua=en |
| 1996 | Crolli lungo il costone | Ferrara & Pappalardo, 2005 |
| 1997 | Crolli lungo il costone | http://www.db.gndci.cnr.it/php2/avi/frane_riassunto_d.php?comune=Castelmola&lingua=en |
| 29 agosto 1999 | Un blocco colpisce un'auto parcheggiata | http://www.db.gndci.cnr.it/php2/avi/frane_riassunto_d.php?comune=Castelmola&lingua=en |
| 2006 | Un blocco di circa 6 m ³ cade vicino a complesso di case | Pappalardo <i>et al.</i> , 2014 |
| 1 marzo 2012 | Una frana danneggia acquedotto | Pappalardo <i>et al.</i> , 2014 |
| Marzo 2012 | Un blocco raggiunge la strada in prossimità di curva | La Sicilia, 2012 |
| 29 agosto 2013 | 3 blocchi raggiungono le case e la SP-10 | Pappalardo & Mineo, 2015 |
| Febbraio 2015 | 2 blocchi raggiungono la SP-10 | http://www.ansa.it/sicilia/notizie/2015/02/23/crollano-massi-su-strada-per-castelmola_3dc9e1de-8bc4d1a-9aaa-8305cc9eba08.html |
| Ottobre 2015 | Franosità diffusa dopo piogge | http://www.tempostretto.it/news/disagi-maltempo-castelmola-detriti-buche-strada-decina-famiglie-sono-isolate.html |
| 10 novembre 2016 | 2 blocchi raggiungono strada secondaria e case | http://palermo.repubblica.it/cronaca/2016/11/11/news/taormina-frana-costone-roccioso-a-castelmola-151815328/ |

comunali e strada pedonale turistica). Il principale elemento strategico a rischio è la Strada Provinciale 10 (SP-10), che è l'unica strada di accesso al centro abitato percorsa anche da migliaia di turisti ogni anno a causa della rilevanza del patrimonio culturale di questo sito. La maggior

parte degli eventi antichi, in particolare quelli che non hanno interessato strutture / strade o che hanno coinvolto piccoli volumi di roccia, non sono stati documentati o segnalati alle autorità locali, mentre alcuni di quelli più rilevanti sono raccolti in cataloghi nazionali come il

progetto AVI (italiano Aree di vulnerabilità; Progetto AVI, 1998) e PAI (Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico, 2006). Pappalardo *et al.* (2014), Pappalardo e Mineo (2015) e Mineo *et al.* (2017) hanno presentato una ricostruzione cronologica dei crolli più rilevanti

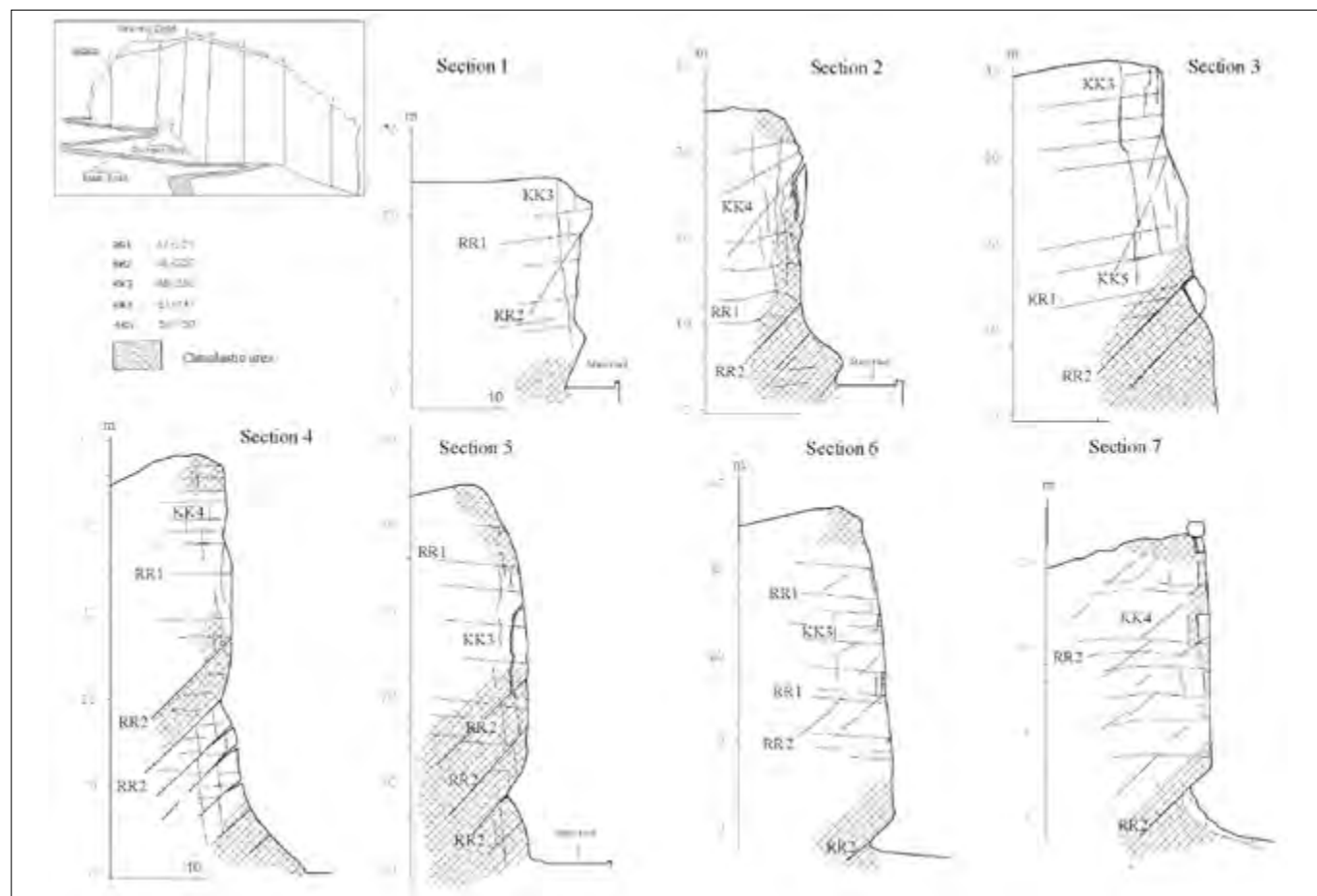


Figura 3. Sezioni geostrutturali dei principali sets sulla base della persistenza, nel versante nord del costone di Castelmola (da Ferrara e Pappalardo 2005)

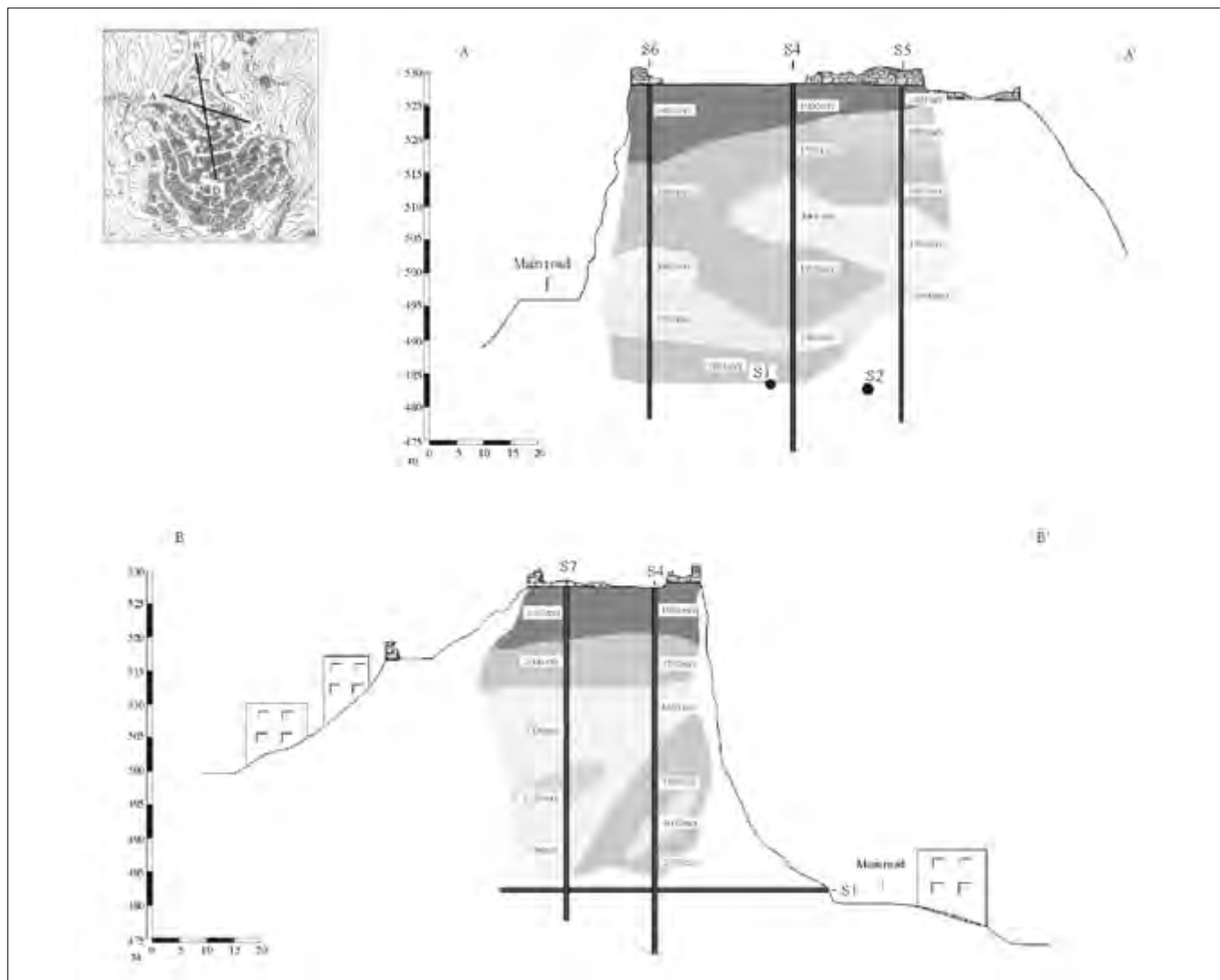


Figura 4. Sezioni geosismiche eseguite attraverso down-hole, nel versante nord del costone di Castelmola (da Ferrara e Pappalardo 2005)

a partire dal 1952, quando una frana ha colpito l'unica via di accesso a Castelmola dopo forti piogge. Tali eventi causano spesso l'interruzione temporanea della strada, portando criticità sia da un punto di vista di protezione civile (soccorsi, evacuazioni), sia danni economici per spese di riparazione dei danni (Tab. 1).

Negli anni '90, tre eventi principali hanno portato alla interruzione della SP-10, con volumi di roccia significativi. In particolare, il crollo del 1999 sviluppatosi nel versante nord dell'abitato. L'analisi dei carotaggi verticali e orizzontali, oltre alla ricostruzione dettagliata dei litotipi presenti, ha permesso di verificare la posizione del contatto tettonico tra le due formazioni alla profondità di 45 m dalla sommità del versante ed uno spessore variabile da 18 e 28 m di rocce intensamente tettonizzate. Sono state riconosciute cinque principali famiglie di discontinuità variamente orientate (RR1 44/251, RR2 48/220, KK3 88/352, KK4 83/147 and KK5 36/150), dalla cui intersezione con le pareti del versante si originano piani o sistemi di piani che delimitano blocchi suscettibili di ribaltamento e/o

crollo (Fig. 3). A seguito di tale evento, sono stati eseguiti sondaggi geognostici sul cliff di Castelmola ed eseguito negli stessi dei down-hole che hanno permesso di individuare le aree in cui l'ammasso roccioso era più fratturato, con valori di velocità delle onde P comprese tra 1000 e 1800 m/s (Fig. 4).

Nel 2006, la caduta di un masso di 6 m³ vicino a un complesso di case private ha portato alla realizzazione in fase emergenziale di una barriera paramassi alla base del costone. Nel febbraio 2012, due diversi blocchi hanno raggiunto la SP-10 provocando danni ad alcuni elementi della carreggiata (Fig. 5). Allo scopo di fornire una zonazione del rischio sulla strada di accesso strategica minacciata, Pappalardo *et al.* (2014) e Mineo *et al.* (2017) hanno messo in evidenza l'elevato rischio di crolli lungo tale infrastruttura attraverso metodi di calcolo semi-quantitativi e qualitativi (RHRS e Event Tree Analysis) (Fig. 6) mettendo in luce l'elevato rischio cui è soggetta la strada.

Nel 2015, due ulteriori blocchi distaccatisi dagli ammassi rocciosi a nord

del paese si sono fermati sul ciglio della strada, portando a una temporanea interruzione dell'SP-10.

Il 16 novembre 2016, forti piogge hanno innescato il distacco di un grande volume di roccia al di sotto della piazza principale del paese; questi hanno dapprima impattato alla base della parete sub-verticale ed alcuni blocchi (con volumi compresi tra 0,5 e > 1 m³) hanno raggiunto la strada pedonale fino al complesso delle case minacciate già nel 2006.

L'ultimo evento è avvenuto il 5 gennaio del 2019 dopo che un intenso evento di pioggia ha innescato il distacco di un volume significativo di calcari e dolomie sottostanti la piazza principale. Tale crollo ha in parte ripercorso il tragitto di quello avvenuto nel 2015 (Fig. 6). Si tratta di circa 25 blocchi principali (volumi medi tra 0,1 e 5 m³) e numerosi volumi più piccoli, che hanno attraversato il pendio impattando sulla strada pedonale fino alla strada SP-10, già interessata nel 2014. Una stima approssimativa del volume mobilitato globale, in base alle dimensioni della cavità lasciata sulla parete, è di circa 60 m³.



Figura 5. Mappa della distribuzione della probabilità di incidente sulla base di un evento di crollo (da Mineo et al., 2017)



Figura 6. Frana del 5 gennaio 2019

4. CARATTERISTICHE GEOMECCANICHE E PRINCIPALI CINEMATISMI

Rilievi geostrutturali e geomeccanici hanno evidenziato la presenza di numerosi sistemi di discontinuità (Fig. 7), che suddividono l'ammasso roccioso in VRU di varie dimensioni.

L'indice RMR (Bieniawski, 1979) consente di attribuire all'ammasso roccioso una qualità geomeccanica di classe III (mediocre) e IV (scadente), con valori di coesione compresi tra 200 e 310 kPa, e valori di angolo di attrito interno tra 25 e 28°. Pappalardo (2015) distingue le dolomie in massiva microcristallina e brecciata con vene di calcite diffuse come riempimento e vuoti dovuti a dissoluzione chimica. I principali parametri fisico-meccanici della roccia intatta sono stati ricavati da numerosi test eseguiti su provini di roccia e sintetizzati in Tab. 2. In particolare la roccia presenta un valore di resistenza alla compressione monoassiale (UCS) medio di 68,86 Mpa, con un'elevata variabilità statistica dovuta alle condizioni di fratturazione che pervadono la roccia anche a scala del provino. Ciò influenza anche la deformazione della roccia, con un modulo di Young (E) mediamente pari a 10163,25 Mpa. La porosità media (n) è generalmente bassa, in quanto tutte le fratture sono riempite di materiale calcificato. Infine la velocità delle onde di taglio, ricavata mediante prove ultrasoniche nei provini, varia da un minimo di 3,3 ad un massimo di 6,25 km/s (Tab. 2).

Pappalardo *et al.*, 2017, hanno inoltre calcolato il fattore di sicurezza di alcuni cunei ritenuti rappresentativi del tipo di cinematismo più diffuso, attraverso il metodo all'equilibrio limite ipotizzando un angolo di attrito lungo le discontinuità di 30° in base all'esperienza acquisita nel sito di studio in corrispondenza di diversi ammassi rocciosi e, nel caso di condizioni dinamiche, un'accelerazione orizzontale di picco del terreno (a_g) di 0.25 (Fig. 8)

4. CALCOLO DELLE TRAIETTORIE

Le frane di crollo, in funzione dell'elevata velocità con cui si manifestano sono ad elevata pericolosità; per tale motivo risulta estremamente importante, ai fini di una corretta pianificazione territoriale, riuscire a circoscrivere e valutare con precisione la diffusione spaziale del fenomeno. Il metodo utilizzato in questo lavoro è il modello "lumped mass", in cui il blocco si assimila ad un punto materiale dotato di velocità e massa. Sebbene limitate dall'impossibilità di

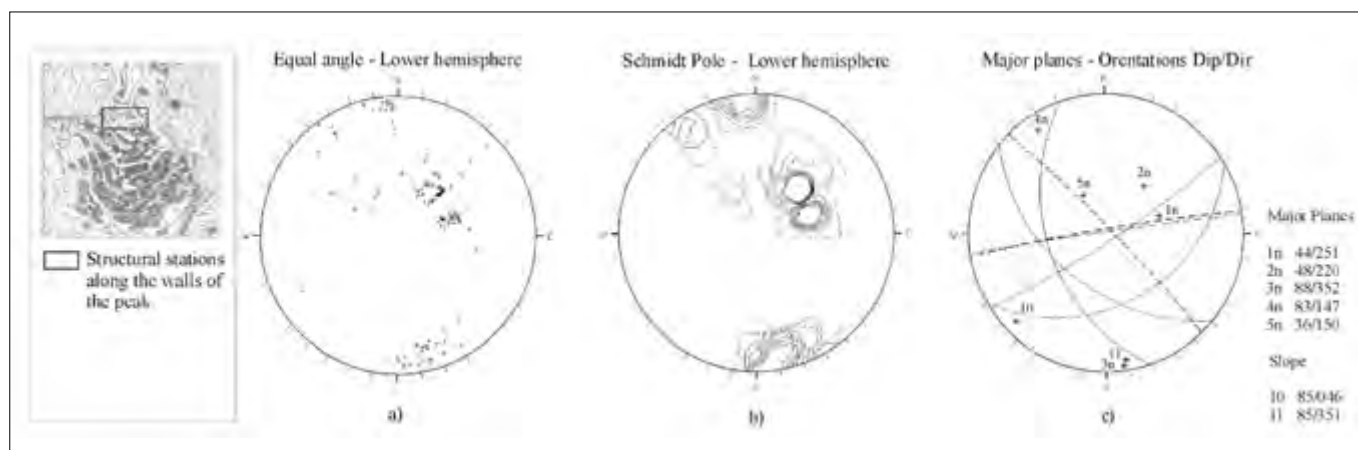


Figura 6. Frana del 5 gennaio 2019

Tabella 2.

| | UCS (Mpa) | E (Mpa) | γ_a (g/cm ³) | n (%) | n' (%) | Ci (%) | V _p (km/s) |
|-------------|-----------|----------|---------------------------------|-------|--------|--------|-----------------------|
| Media | 68,86 | 10163,25 | 2,66 | 5,55 | 2,71 | 0,97 | 5,1 |
| Dev. Stand. | 34,58 | 6008 | 0,05 | 2,34 | 0,98 | 0,48 | 1,06 |
| Max | 110 | 18088 | 2,72 | 10,36 | 4,6 | 1,78 | 6,25 |
| Min | 15,15 | 2667 | 2,57 | 3,3 | 1,4 | 0,48 | 3,3 |

modellare la traiettoria dei blocchi in funzione della morfologia, poichè in ambiente 2D, le simulazioni bidimensionali sono state eseguite nei settori più critici, incluso il gruppo di case già coinvolto in eventi passati e il tratto stradale SP-10 a valle, considerando blocchi di dimensioni simili a quelli caduti negli ultimi anni, con una massa media di

300 kg, corrispondente a un volume medio di 0,13 m³ (Fig. 9); inoltre i coefficienti di restituzione utilizzati sono quelli ottenuti attraverso diverse back analysis condotte sui crolli dell'area (Mineo *et al.*, 2017), discriminando le diverse tipologie di materiale che affiora lungo il versante (vegetazione, detrito, roccia nuda). Le simulazioni effettuate

a Castelmola descrivono un percorso iniziale del blocco per caduta libera a causa della sub-verticalità del versante, successivamente attraverso rimbalzi che coinvolgono la strada pedonale e poi il rotolamento fino alla SP 10 (Fig. 9). Le simulazioni realizzate lungo il versante in cui si sviluppa la SP 10, dimostrano che prima il 10-30% dei blocchi si ferma

| | Prima del crollo | Dopo il crollo | Analisi all'equilibrio limite | |
|----|------------------|----------------|-------------------------------|----------------------------------|
| W1 | | | FS (condizioni statiche) | 0.68 |
| | | | FS condizioni dinamiche | 0.50 |
| | | | Cinematismo | Scivolamento su J1 |
| | | | Linea di intersezione | Plunge 39° Trend 107° |
| W2 | | | FS (condizioni statiche) | 0.86 |
| | | | FS condizioni dinamiche | 0.62 |
| | | | Cinematismo | Scivolamento lungo linea di int. |
| | | | Linea di intersezione | Plunge 39° Trend 36° |
| W3 | | | FS (condizioni statiche) | 0.69 |
| | | | FS condizioni dinamiche | 0.51 |
| | | | Cinematismo | Scivolamento lungo linea di int. |
| | | | Linea di intersezione | Plunge 45° Trend 70° |

Figura 8. Rappresentazione dei principi cunei di roccia instabili e relativo calcolo del fattore di sicurezza

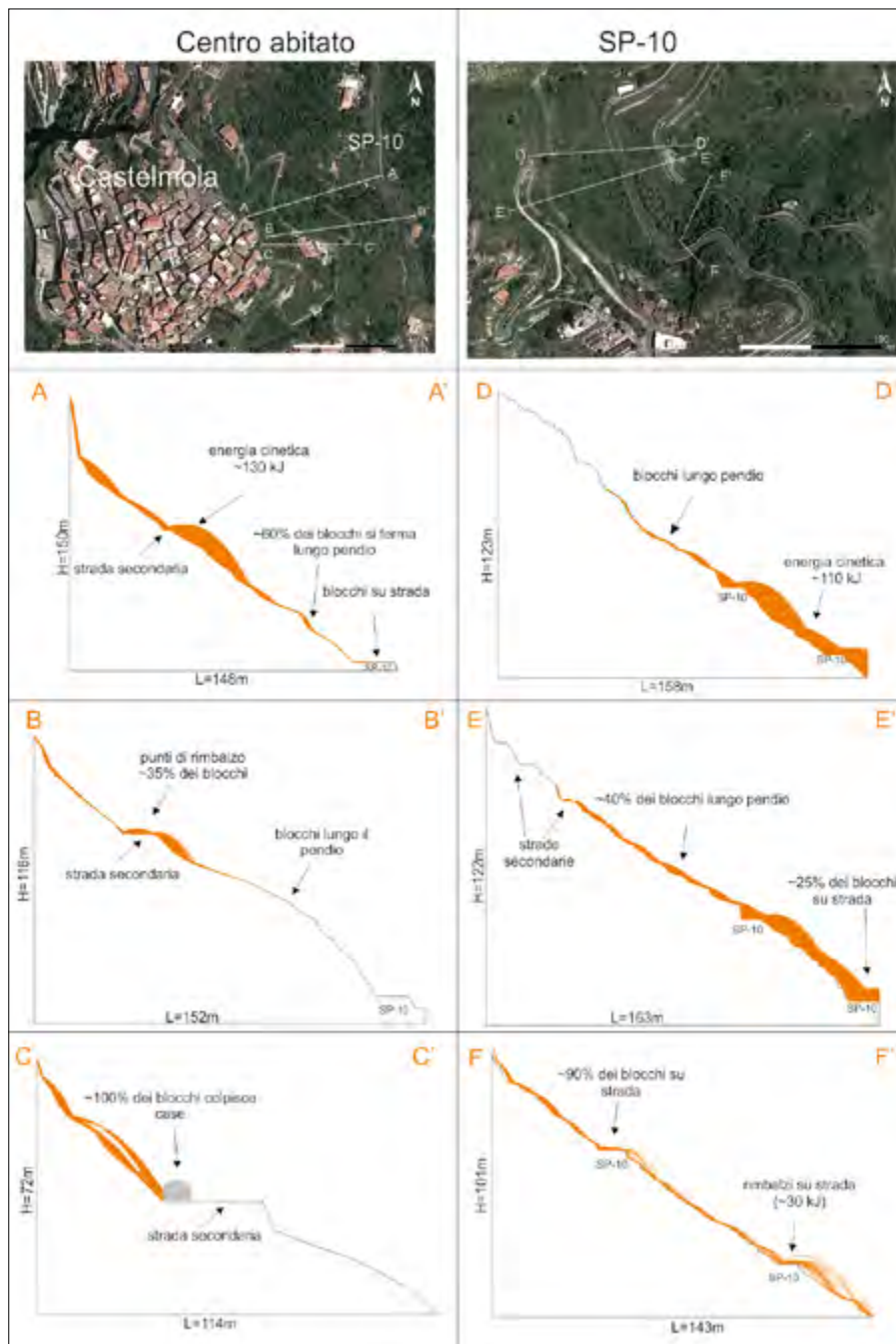


Figura 9. Simulazioni dei blocchi di roccia nelle aree ritenute instabili

lungo il versante a monte raggiungendo la strada, circa il 10-20% dei blocchi si fermerebbe sul segmento superiore della strada, mentre la percentuale rimanente rimbalzerebbe verso il segmento inferiore, dove possono fermarsi o proseguire verso valle. Questi risultati evidenziano l'elevato rischio per la fruizione sia del percorso pedonale a valle dell'abitato di Castelnuola che per la fruizione verso l'abitato lungo la unica via di accesso.

5. ANALISI TERMOGRAFICA

La termografia ad infrarossi (IRT) è una metodologia di indagine non distruttiva che consente una stima della temperatura superficiale di un corpo sulla base della sua emissività (Hillel 1998). Tutti i corpi con temperatura

superiore allo zero assoluto emettono radiazioni termiche per lo più ricadenti nella banda dell'infrarosso (lunghezza d'onda tra 0,1 e 100 μm). La legge di Boltzmann (Hillel 1998; Meola e Carmagnolo 2004; Shannon, 2005) suggerisce che maggiore è la temperatura di un oggetto, maggiore sarà l'intensità della radiazione emessa. Dal punto di vista scientifico la IRT è stata proposta come utile metodologia di rilievo in campo ingegneristico e geologico. In quest'ultimo caso si ritiene utile menzionare le esperienze su di provini di roccia intatta in laboratorio per la caratterizzazione della loro porosità (Mineo e Pappalardo 2016a, b; Pappalardo e Mineo 2017), la stima di permeabilità dell'ammasso roccioso (Pappalardo 2018), rilievo di criticità in miniere (Liu *et al.*, 2011) e, più

specificamente, il rilievo a distanza di pendii instabili (ad es. Squarzoni *et al.*, 2008; Baroň *et al.* 2014; Mineo *et al.* 2015a, b; Teza *et al.* 2015; Pappalardo *et al.* 2016, 2017; Casagli *et al.* 2017). Mineo *et al.* (2015a) hanno dimostrato che le variazioni termiche lungo un pendio possono essere associate a particolari elementi come la presenza di vegetazione (anomalie termiche negative), porzioni di roccia nuda (che è solitamente caratterizzata da valori più alti -anomalie termiche positive-), roccia alterata o porzioni detritiche che assorbono l'umidità dall'ambiente esterno. Anche la morfologia della parete rocciosa incide sulla temperatura superficiale in risposta ad un diverso grado di insolazione ed il raffreddamento dell'ammasso roccioso può essere espresso anche come CRI (Cooling Rate Index), indice sperimentale ben correlato con il grado di fratturazione dell'ammasso (Pappalardo *et al.*, 2016). Tale applicazione sperimentale ha restituito risultati soddisfacenti anche a scopi idrogeologici (Pappalardo, 2018). L'applicazione di tale tecnica in cunei di roccia avvenuti o potenziali, evidenzia nel primo caso che vi sono delle porzioni più calde dovute alla fratturazione che presumibilmente possono essere instabili; mentre nel potenziale cuneo sono ben evidenti le discontinuità che lo delimitano e le porzioni di roccia più allentate e quindi con anomalia termica positiva (Fig. 10).

L'applicazione di tale tecnica al versante in cui si è avuto il crollo del 5 gennaio evidenzia che a causa dell'orientazione della parete rocciosa, con improvvisi cambiamenti causati dalla tettonica dell'area, si ha una disuniforme condizione di insolazione. In effetti, la temperatura superficiale più alta influenza la porzione di versante rivolta a sud-est a causa dell'insolazione diretta, mentre le temperature più fredde influenzano le porzioni ombreggiate comprese tra le pareti rivolte a nord-est e nord-est (Fig. 11).

In questo settore freddo, due anomalie positive (temperature superficiali più elevate) rappresentano un settore dell'ammasso più incavato (Pappalardo e Mineo, 2019), corrispondente a due principali aree di crolli passati. Filtrando le temperature di questo settore nell'intervallo 8-4 $^{\circ}\text{C}$, le due aree di sorgente principali possono essere ben identificate, insieme alla grotta evidenziata dal forte contrasto di temperatura (le cavità mantengono una temperatura superficiale superiore rispetto alla roccia esterna quando non direttamente colpita dai

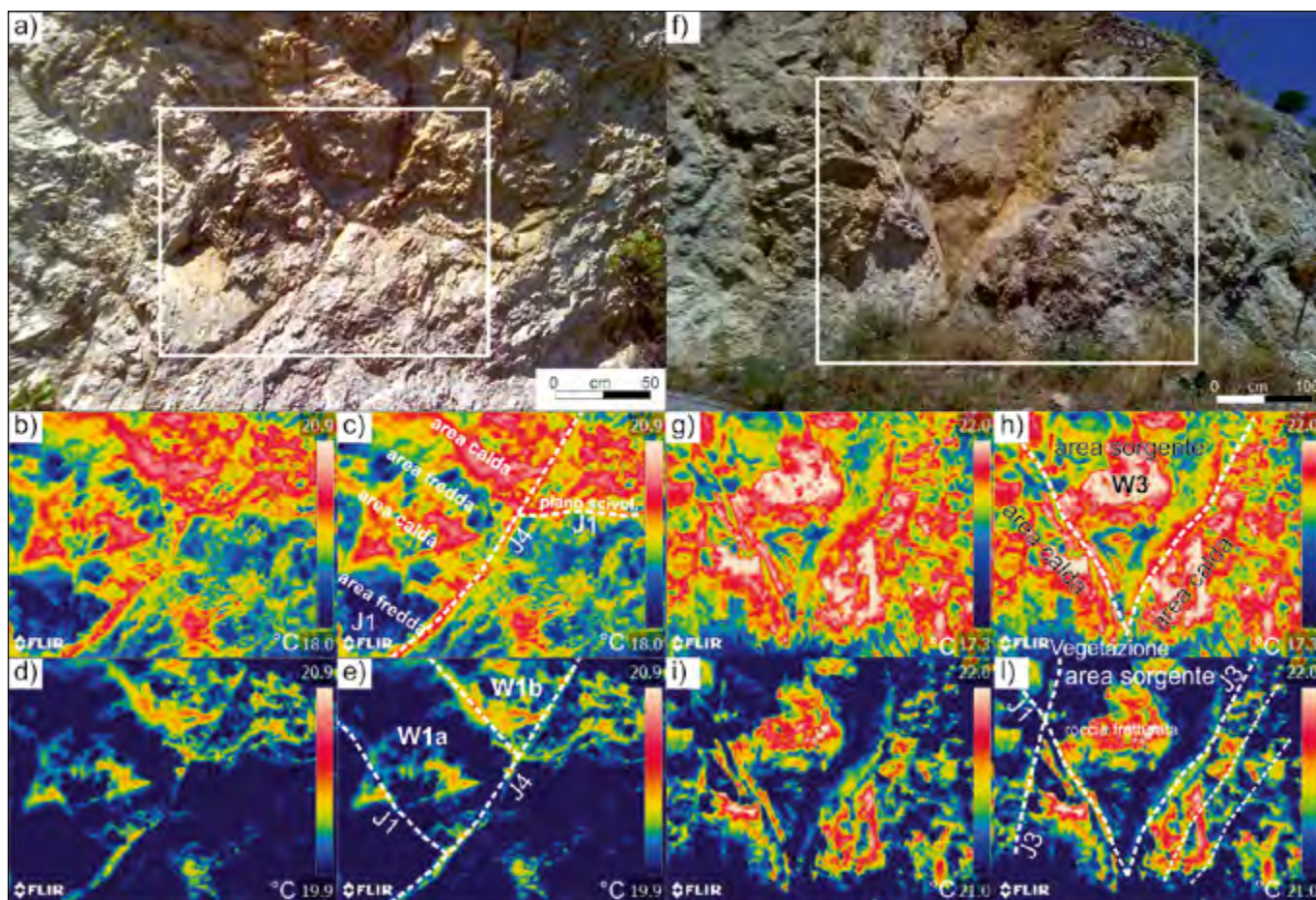


Figura 10. Rappresentazione IRT dei principali cunei di roccia instabili

raggi solari, in accordo con Pappalardo *et al.*, 2016b) (Fig. 11).

Altre cavità sono presenti lungo il medesimo versante e queste sono state evidenziate mediante IRT come anomalie positive. Queste sono situate lungo le principali strutture tettoniche (ad es. faglie), e favoriscono la circolazione idrica nell'ammasso. L'identificazione di porzioni sporgenti è un'attività chiave, in quanto queste rappresentano volumi di roccia potenzialmente instabili. L'area di distacco del 2019 è localizzata nel settore più alto del versante, dove un'anomalia

termica positiva evidenzia la porzione di ammasso svuotata dall'ultimo evento. Ciò mostra un caratteristico schema cinematico a cuneo, poiché questa nicchia è racchiusa tra due discontinuità che si intersecano, come già evidenziato da studi precedenti in questo settore ed in altri della stessa area (Mineo *et al.*, 2017; Pappalardo *et al.*, 2017). Il cuneo in questo caso è formato da tre discontinuità, di cui due sono ben evidenziate dalla immagine IRT, mentre la terza discontinuità è a franapoggio e su questa si presume sia avvenuto lo scivolamento.

CONCLUSIONI

Lo studio dei fenomeni di crollo in centri abitati che sviluppano lungo costoni rocciosi, è l'obiettivo del presente lavoro, con particolare interesse verso borghi di interesse culturale. L'instabilità di ammassi rocciosi è stata definita sia per il centro abitato di Castelmola che lungo la strada di collegamento al sottostante centro di Taormina. L'assetto geologico dell'area, che condiziona l'instabilità, è il risultato di numerose fasi tettoniche che hanno agito a partire dall'Oligo-Miocene sulle formazioni presenti, le quali appartengono alle Unità Kabilo-Calabridi e derivano dalla deformazione dell'originario margine europeo; esse sono costituite alla base da rocce cristalline di età ercinica a cui si sovrappongono terreni sedimentari mesozoico-terziari.

Il rilievo geomeccanico effettuato in numerose stazioni di misura ha evidenziato la presenza di numerosi sistemi di discontinuità (da 5 a 7, variamente persistenti), che suddividono gli ammassi rocciosi in piccoli VRU. Il rilievo geomeccanico tradizionale è stato affiancato da tecniche di rilievo da remoto quali laser scanner e termografia ad infrarossi (IRT). Quest'ultima tecnica è stata oggetto di recenti studi scientifici: Pappalardo *et al.* (2016) hanno calcolato un

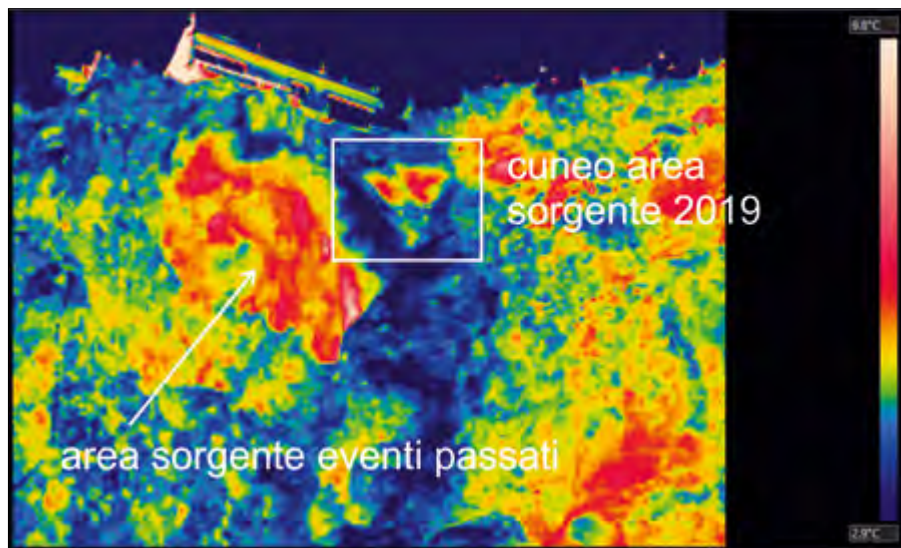


Figura 11. Rappresentazione IRT dei principali cunei di roccia instabili

indice di raffreddamento dell'ammasso roccioso CRI (Cooling Rate Index), che è ben correlato con il grado di fratturazione dell'ammasso. Tale applicazione sperimentale ha restituito risultati soddisfacenti anche a scopi idrogeologici (Pappalardo, 2018). Tale tecnica è stata utilizzata in numerosi affioramenti nell'area di studio sia per valutarne la fratturazione che per la stabilità di cunei di roccia. Quelli già mobilitati sono evidenziati da anomalie termiche positive dovute alla fratturazione e alla decompressione del distacco, mentre i cunei potenziali sono racchiusi da discontinuità "calde" in quanto persistenti ed aperte. Tale tecnica, unitamente all'analisi cinematica, ha permesso di definire le porzioni di roccia con grado di pericolosità elevato su cui si sono basate le simulazioni di traiettorie bidimensionali con il metodo Lumped mass. La scelta della dimensione dei blocchi e dei coefficienti di restituzione è stata fatta sulla base di casi già avvenuti (back analysis), per cui volumi con valori medi di 0,13 m³. Sulla base dei risultati ottenuti sono emerse condizioni di rischio elevato in alcune aree per gli abitanti ed i frequentatori di questo antico centro turistico, sulle quali bisogna intervenire con urgenti ed appropriati metodi di consolidamento.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- ATZORI P., VEZZANI L. (1974), *Lineamenti petrografico-strutturali della catena peloritana*. Geol. Rom. 13, 21–27.
- AVI Project: Progetto AVI (1998) (Aree vulnerate da calamità idrogeologiche), Regione Sicilia Relazione Finale ed Allegati, CNR-GNDICI, <http://avi.gndici.cnr.it/>, Italy.
- BAROŇ I., BEČKOVSKÝ D., MÍČA L. (2014), Application of infrared thermography for mapping open fractures in deep-seated rockslides and unstable cliffs. *Landslides* 11:15–27. <https://doi.org/10.1007/s10346-012-0367-z>
- BIENIAWSKI Z. T. (1989), *Engineering Rock Mass Classification*, John Wiley & Son, New York, 251 pp.
- CASAGLI N., FRODELLA W., MORELLI S., TOFANI V., CIAMPALINI A., INTRIERI E., RASPINI F., ROSSI G., TANTERI L., LU P. (2017), *Spaceborne, UAV and ground-based remote sensing techniques for landslide mapping, monitoring and early warning*. *Geoenvironmental Disasters* volume 4, Article number: 9.
- FERRARA, V. AND PAPPALARDO, G. (2005), *Kinematic analysis of rock falls in an urban area: The case of Castelmola hill near Taormina (Sicily, Italy)*, *Geomorphology*, 66, 373–383.
- FUCINI, A. (1935), *Fossili domeriani dei dintorni di Taormina*. *Paleontolografia It.*, 26.42. Tabella 2.
- HILLEL D. (1998), *Environmental soil physics*. Academic Press, New York 771 pp
- ISRM, *The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: 1974–2006*, in: *Suggested Methods Prepared by the Commission on Testing Methods*, edited by: ULUSAY, R. AND HUDSON, J. A., International Society for Rock Mechanics, Compilation Arranged by the ISRM Turkish National Group, Kozan Ofset, Ankara, Turkey, p. 628, 2007.
- LENTINI, F. (1973), *I molluschi del Lias inferiore di Longi (Sicilia nord-orientale)*. *Boll. Soc. Paleontol. Ital.* 12, 23–75.
- LIU S., XU Z., WU L., MA B., LIU X. (2011), *Infrared imaging detection of hidden danger in mine engineering*. *Proc. of Symp. on Progress in electromagnetics research*, Suzhou, China, Sept 12–16, 125–129.
- MEOLA C., CARLOMAGNO G.M. (2004), *Recent advances in the use of infrared thermography*. *Meas Sci Technol* 15:27–58.
- MINEO S., PAPPALARDO G., D'URSO A., CALCATERA D. (2017), *Event tree analysis for rockfall risk assessment along a strategic mountainous transportation route*. *Environmental Earth Sciences* 76:620, 2017. DOI 10.1007/s12665-017-6958-1.
- MINEO S., PAPPALARDO G. (2016a), *The use of infrared thermography for porosity assessment of intact rock*. *Rock Mech Rock Eng* 49(8):3027–3039. <https://doi.org/10.1007/s00603-016-0992-2>
- MINEO S., PAPPALARDO G. (2016b), *Preliminary results on the estimation of porosity in intact rock through InfraRed thermography*. *Rend Online Soc Geol Ital* 41:317–320. <https://doi.org/10.3301/ROL.2016.157>
- MINEO S., PAPPALARDO G., RAPISARDA F., CUBITO A., DI MARIA G. (2015a), *Integrated geospatial, seismic and infrared thermography surveys for the study of an unstable rock slope in the Peloritani Chain (NE Sicily)*. *Eng Geol* 195:225–235. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2015.06.010>
- MINEO S., CALCATERA D., PERRIELLO ZAMPELLI S., PAPPALARDO G. (2015b), *Application of infrared thermography for the survey of intensely jointed rock slopes*. *Rend Online Soc Geol Ital* 35:212–215. <https://doi.org/10.3301/ROL.2015.103>
- P.A.I.: PIANO STRALCIO DI BACINO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO, Regione Siciliana, <http://www.sitr.regione.sicilia.it/pai/> (last access: 3 February 2014), 2006.
- PAPPALARDO G. (2015), *Correlation between P-wave velocity and physical-mechanical properties of intensely jointed dolostones, Peloritani mounts, NE Sicily*. *Rock Mech Rock Eng* 48:1711–1721.
- PAPPALARDO G., MINEO S. (2019), *Study of Jointed and Weathered Rock Slopes Through the Innovative Approach of InfraRed Thermography*. In: Pradhan S., Vishal V., Singh T. (eds) *Landslides: Theory, Practice and Modelling*. Advances in Natural and Technological Hazards Research, vol 50. Springer, Cham., 2019. DOI 10.1007/978-3-319-77377-3_5.
- PAPPALARDO G. (2018), *First results of infrared thermography applied to the evaluation of hydraulic conductivity in rock masses*. *Hydrogeology Journal*, Volume 26, Issue 2, pp.417–428.
- PAPPALARDO G., MINEO S., PERRIELLO ZAMPELLI S., CUBITO A., CALCATERA D. (2016), *InfraRed Thermography proposed for the estimation of the Cooling Rate Index in the remote survey of rock masses*. *International Journal Of Rock Mechanics And Mining Sciences*, 83, 182–196. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2016.01.010.
- PAPPALARDO G., MINEO S., CALCATERA D. (2017), *Geomechanical Analysis Of Unstable Rock Wedges By Means Of Geospatial And Infrared Thermography Surveys*. *Italian Journal of Engineering Geology and Environment*, Special Issue (2017), 93–101. DOI: 10.4408/IJEGE.2017-01.S-09.
- PAPPALARDO G., MINEO S., ANGRISANI A.C., DI MARTIRE D., CALCATERA D. (2018), *Combining field data with infrared thermography and DInSAR surveys to evaluate the activity of landslides: the case study of Randazzo Landslide (NE Sicily)*. *Landslides*, 15:2173–2193. DOI 10.1007/s10346-018-1026-9.
- PAPPALARDO G., MINEO S. (2017), *Investigation on the mechanical attitude of basaltic rocks from Mount Etna through InfraRed Thermography and laboratory tests*. *Construction and Building Materials* 134, 228–235, 2017. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.12.146.
- PAPPALARDO G. & MINEO S. (2015), *Rockfall Hazard and Risk Assessment: The Promontory of the Pre-Hellenic Village Castelmola Case, North-Eastern Sicily (Italy)*. In G. Lollino et al. (eds.), *Engineering Geology for Society and Territory – Volume 2*, 1989–1993, 2015. DOI: 10.1007/978-3-319-09057-3_353.
- PAPPALARDO G., MINEO S. AND RAPISARDA F. (2014), *Rockfall hazard assessment along a road on the Peloritani Mountains (northeastern Sicily, Italy)*. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 14, 2735–2748, 2014. doi:10.5194/nhess-14-2735-2014.
- SHANNON H.R., SIGDA J.M., VAN DAM R.L., HANDRICKX J.M.H., MCLEMORE V.T. (2005), *Thermal camera imaging of rock piles at the Questa Molybdenum Mine, Questa, New Mexico*. *Proc. 2005 National Meeting of the American Society of Mining and Reclamation*, June 19–23, ASMR: 1015–1028.
- SCANDONE, P., PATACCA, E., RODOICIC, R., RYAN, W. B. F., CITA, M. B., RAWASON, M., CHERZAR, H., MILLER, E., MCKENZIE, J., AND ROSSI, S. (1981), *Mesozoic and Cenozoic rocks from Malta Escarpment (Central Mediterranean)*, *A.A.P.G. Bull.*, 65, 1299–1319.
- SQUARZONI C., GALGARO A., TEZA G., ACOSTA C.A.T., PERNITO M.A., BUCCHERI N. (2008), *Terrestrial laser scanner and infrared thermography in rock fall prone slope analysis*. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 10, EGU2008-A-09254.
- TEZA G., MARCATO G., PASUTO A., GALGARO A. (2015), *Integration of laser scanning and thermal imaging in monitoring optimization and assessment of rockfall hazard: a case history in the Carnic Alps (Northeastern Italy)*. *Nat Hazards* 76:1535–1549. <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1545-1>

Alcune considerazioni sul primo aggiornamento delle mappe previsto dalla Direttiva Alluvioni 2007/60/CE. Il caso di studio del fiume Tagliamento

Antonio Rusconi

Già Segretario Generale dell'Autorità di Bacino dei fiumi dell'Alto Adriatico
E-mail: antonio.ruxo@gmail.com

Some considerations on the first update of the maps provided for by the Floods Directive 2007/60.

The case study of the Tagliamento river

Parole chiave: pianure alluvionali, previsione morfologica, aree fluviali, mappe pericolosità/rischio

Key words: floodplains, morphological forecast, river areas, hazard/risk maps

RIASSUNTO

Il primo aggiornamento (2019) delle mappe della pericolosità/rischio previste dalla Direttiva Alluvioni 2007/60/CE è l'occasione per una revisione dei criteri delle diverse definizioni delle fasce di pertinenza fluviale, adottate in passato dalle varie Amministrazioni nell'ambito del corridoio fluviale, che può comprendere, oltre all'alveo, anche adiacenti pianure alluvionali.

Il ripristino di queste ultime infatti è fortemente auspicato dalla Agenzia Europea dell'Ambiente. In tale contesto, il Distretto delle Alpi Orientali, a suo tempo, nell'ambito del Piano per l'Assetto Idrogeologico, ha introdotto le "aree fluviali", individuate con il criterio geomorfologico, attribuendo loro la massima classe di pericolosità idrau-

lica, rinunciando alle previste analisi dei diversi scenari di probabilità di alluvioni al loro interno.

I recenti approfondimenti scientifici sulla previsione dell'evoluzione morfologica degli alvei, applicato al caso del fiume Tagliamento, hanno stimato per i prossimi decenni un modesto ampliamento dell'alveo attivo, peraltro ostacolato dall'insediamento della vegetazione ripariale.

La periodicità sessennale degli aggiornamenti delle mappe costituisce una scala temporale di sicurezza, consentendo con il primo aggiornamento delle mappe, di fare riferimento all'attuale assetto morfologico dell'alveo per l'applicazione del criterio idrodinamico, individuando così i diversi scenari di probabilità di allagamento.

1. PREMESSA

La memoria analizza alcuni aspetti connessi con i caratteri delle *aree fluviali* (AF) definite e adottate dal Distretto delle Alpi Orientali nell'ambito della gestione dell'assetto idrogeologico e del rischio di alluvioni dei bacini idrografici di competenza.

L'occasione è derivata dal primo riesame e aggiornamento delle mappe della pericolosità e del rischio di alluvioni previsto entro il 22 dicembre 2019, secondo quanto indicato dall'art.14 della Direttiva Alluvioni n.2007/60/CE (DA).

Un ulteriore aspetto che ha motivato la ricerca è indicato nel *Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni* del Distretto delle Alpi Orientali (PGRA) che, nella Delibera di approvazione del primo ciclo (PGRA-2016) ha previsto che il vigente Piano di Assetto Idrogeologico (PAI-2013) entro tre anni (quindi entro il 2019), si coordini con i contenuti conoscitivi del PGRA. La "fusione" tra il PAI e il PGRA è inoltre prevista dalla misura di prevenzione "M21" del PGRA-2016.

2. CORRIDOI FLUVIALI, ALVEI E PIANURE ALLUVIONALI

Al fine di conferire maggiore spazio ai fiumi, la DA ricorda che i PGRA dovrebbero comprendere, ove possibile, il mantenimento e/o il ripristino delle *pianure alluvionali*, il cui ruolo, come aree naturali di ritenzione delle acque, rientra nella valutazione delle potenziali conseguenze negative delle alluvioni per la salute umana, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche.



Figura 1. Idromorfologia dei corridoi fluviali: alvei incisi e pianure alluvionali (aggragate e interrate) in presenza di pennelli che impediscono la migrazione laterale (da Buijse T., 2014, modif.)

Il *Programma di Gestione dei Sedi-menti* (PGS), introdotto dalla Legge n.221/2015 nell'ambito dei Piani di Gestione, deve coniugare la prevenzione del rischio di alluvioni con la tutela degli ecosistemi fluviali ed è finalizzato alla riduzione dell'alterazione dell'equilibrio geomorfologico e della disconnessione degli *alvei* con le *pianure alluvionali*, evitando un'ulteriore artificializzazione dei *corridoi fluviali*. Quindi, secondo la recente condivisa terminologia, il *corridoio fluviale* è composto dall'*alveo* e dalle adiacenti *pianure alluvionali*.

Le componenti del corridoio fluviale possono comprendere, oltre all'alveo principale inciso, la cui migrazione laterale in alcuni casi è impedita da opere idrauliche (pennelli, muri, argini, ecc.), anche adiacenti pianure alluvionali spesso diversificate tra *pianure alluvionali aggragate* (*floodplains aggrade*) e

bilità ambientale, esplorando le sinergie tra il ripristino delle pianure alluvionali, le politiche delle acque e le politiche tematiche (EEA, N.1/2016).

Il Rapporto ricorda che la DA non fornisce la definizione di pianura alluvionale, limitandosi a definire come "alluvione" l'allagamento temporaneo di aree che abitualmente non sono coperte d'acqua: da ciò deduce che la pianura alluvionale è l'area che più o meno frequentemente è irregolarmente ricoperta di acqua nei periodi di piene elevate nei rami adiacenti, e non esiste una loro classificazione completa.

Risulta pertanto preliminare valutare il grado di naturalità delle pianure alluvionali che può essere valutato secondo cinque classi che descrivono il grado di alterazione rispetto allo stato potenzialmente naturale: sostanzialmente naturali, leggermente modificate,

FDM rappresentano le aree legate alla dinamica del corso d'acqua, che pertanto comprendono l'attuale alveo e le aree di pianura a questo adiacenti che sono state o che potranno essere interessate dalla sua dinamica laterale. L'obiettivo di questa zonazione è quello di definire le aree che, con diverso grado di probabilità o frequenza, sono interessate dalla dinamica morfologica di un corso d'acqua (Bussetini M. *et al.*, 2013; Rinaldi M. *et al.*, 2014).

La gestione delle pianure alluvionali in generale ha molteplici obiettivi. Il mantenimento della pericolosità e del rischio di alluvione a un livello accettabile deve essere combinato con altre esigenze sociali, economiche ed ecologiche.

L'agricoltura, la navigazione interna, l'energia idroelettrica, la silvicoltura, le attività ricreative, la tutela del patrimonio culturale, l'edilizia abitativa e l'indu-

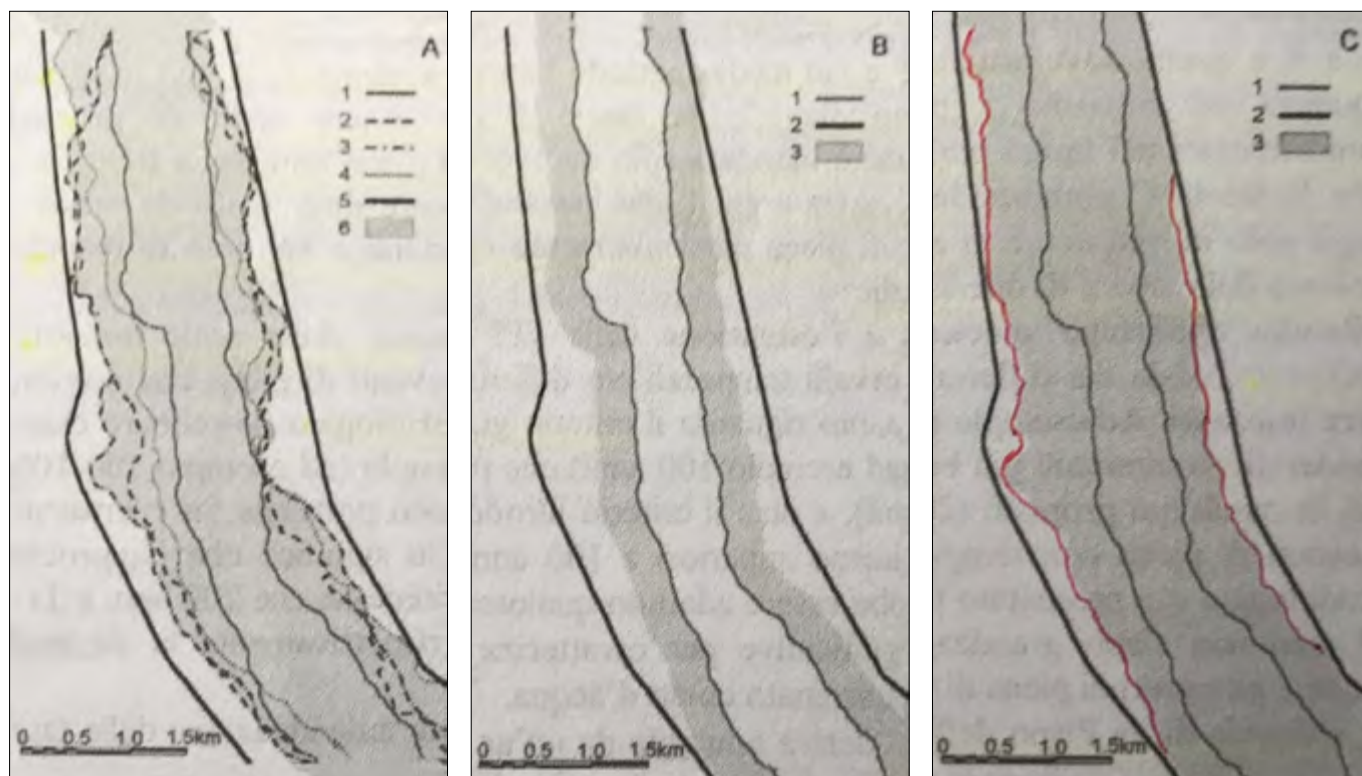


Figura 2. Definizione delle fasce di pertinenza fluviale (FPF) secondo il criterio geomorfologico. Esempio del fiume Tagliamento (Baruffi F. *et al.*, 2004)

pianure alluvionali interrate (*floodplains embanked*) (Fig. 1) (Buijse T., 2014).

L'Agenzia Europea per l'Ambiente (EEA) nel 2018 ha pubblicato il documento *Why should we care about floodplains?* nel quale ha ribadito la necessità che nel 2021, in occasione del 2° ciclo del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA-2021), sia previsto - ove possibile - il ripristino delle pianure alluvionali mediante le *Misure di Ritenzione Naturale delle Acque* (NWRM). In precedenza, nel 2016, la stessa Agenzia Europea aveva pubblicato il Rapporto N. 1/2016: *Rischi di alluvione e vulnera-*

moderatamente modificate, fortemente modificate e totalmente modificate. Queste ultime sono parzialmente scollegate dalle inondazioni, con un uso del suolo ad alta intensità, con alta percentuale di aree urbane.

Il grado di naturalità delle pianure alluvionali costituisce un tema centrale dell'*idromorfologia fluviale*, soprattutto per gli aspetti della dinamica e della mobilità laterale dei corsi d'acqua che, nel nostro Paese, sono stati sviluppati soprattutto mediante la metodologia IDRAIM che ha definito le *Fasce di Dinamica Morfologica* (FDM). Le

stria sono tra le attività socioeconomiche più importanti nelle pianure alluvionali.

Inoltre di rilevante importanza sono i collegamenti tra la DA, la *Direttiva Quadro Acque* (DQA) e le *Direttive Ucelli e Habitat* (DUH). Attraverso i collegamenti con la DQA, tutte le attività previste dalla DA devono essere conformi ai requisiti delle DUH, ad esempio, quando le misure di protezione dalle inondazioni possono interessare uno o più siti Natura 2000.

Tuttavia poiché i potenziali conflitti non mancano, si deve tenere conto che, tra gli strumenti disponibili per incorag-

giare un approccio integrato, collegando le questioni socio-economiche con gli aspetti ambientali, risultano molto importanti la *Valutazione Ambientale Strategica* e la *Valutazione dell'Impatto Ambientale*.

Il Rapporto dell'EEA analizza dettagliatamente i molteplici aspetti connessi con il ripristino delle pianure alluvionali, tra cui il cambiamento climatico e la pianificazione del territorio, sottolineando l'importanza in tal senso della ciclicità sessennale del PGRA e del ruolo dei diversi livelli della partecipazione del pubblico e degli *stakeholder* alla *governance* della DA e delle Direttive comunitarie collegate (DQA, DUH, ...).

3. LE FASCE DI PERTINENZA FLUVIALE

Il ripristino e la gestione delle pianure alluvionali si collegano sia con la definizione e la perimetrazione delle *fasce di pertinenza fluviale* (FPF), adottate negli anni scorsi dalle Autorità di Bacino e dalle Regioni, sia con la predisposizione delle *mappe della pericolosità e del rischio* contenute, nel caso particolare, nel PAI-2013 e nel PGA-2016.

Un'esauriente rassegna dei diversi approcci delle FPF è presentata nel richiamato manuale IDRAIM (Rinaldi M. *et al.*, 2014).

Fin dagli anni '90 ha avuto una certa diffusione la definizione di tre distinte FPF. L'Agenzia del Rodano ha definito lo *spazio di libertà* dei corsi d'acqua composto dallo *spazio di mobilità massima*, lo *spazio di mobilità funzionale* e lo *spazio minimale*, indispensabile per le esigenze morfologiche ed ecologiche del fiume (Malavoi J.R. *et al.*, 1998).

L'Autorità di Bacino del Po, nel 1998, ha approvato il primo Piano Stralcio delle fasce fluviali, con la delimitazione di 3 FPF in funzione dei principali elementi morfologici e idraulici dell'alveo: la fascia A di deflusso della piena, la fascia B di esondazione e la fascia C di esondazione per piena catastrofica, esterna alle precedenti (AdBPO, 1998).

Nel 2004 l'Autorità di Bacino dell'Alto Adriatico, nell'ambito degli studi finalizzati al Piano delle fasce di pertinenza fluviale, ha presentato un approccio metodologico, fondato sull'utilizzo incrociato rispettivamente dei criteri idrodinamico, geomorfologico ed ecologico, che portava a delimitare tre FPF (A, B e C), caratterizzate dalla diversa frequenza di accadimento (breve, medio e lungo termine) dei ricordati processi fluviali (Baruffi F. *et al.*, 2004).

Nella Fig. 2, presentata nel richiamato studio, sono indicate le fasce di un tratto arginato del fiume Tagliamento indagate con il criterio geomorfologico.

L'Agenzia del Rodano ha pubblicato recentemente (2016) la Guida sullo *Spazio di Buon Funzionamento dei corsi d'acqua* (SBF), dove è tracciata l'evoluzione della nozione di *spazio di libertà* definito nella ricordata pubblicazione di Malavoi *et al.* nel 1998.

La nozione di SBF, che garantisce il funzionamento durevole di un corso d'acqua e del suo corridoio alluvionale, sviluppato successivamente, è più integrato in quanto tiene conto complessivamente delle cinque funzioni naturali del corso d'acqua stesso e del suo corridoio alluvionale: *morfologica, idraulica, ecologica, idrogeologica e biogeochimica*.

Lo spazio di mobilità corrisponde alla componente morfologica dello SBF, e si identifica con la porzione del *letto maggiore* (*lit majeur*) all'interno della quale il *letto minore* (*lit mineur*) può divagare in un ambito dinamico spazio-temporale (Agence de l'eau Rhone Méditerranée, 2016).

4. LE AREE FLUVIALI DEL DISTRETTO IDROGRAFICO DELLE ALPI ORIENTALI

Le diverse definizioni del *corridoio fluviale* e quindi la rassegna dei principali requisiti delle FPF, precedentemente descritte, devono comprendere il particolare carattere delle *aree fluviali* (AF) definite e adottate dall'Autorità di Bacino dei fiumi dell'Alto Adriatico (AdBVe) nelle mappe della pericolosità idraulica del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico fin nel suo primo progetto, adottato nel 2004 (PPAI-2004), per essere definitivamente approvato nel 2013 (PAI-2013).

Si tratta delle aree del corridoio fluviale, nelle mappe colorate di azzurro, all'interno delle quali "... devono potersi svolgere i processi morfo-dinamici e di invaso che lo caratterizzano... Tali aree si differenziano concettualmente dalle aree pericolose poiché, a differenza di queste ultime, sono strettamente funzionali all'evoluzione del corso d'acqua cui si riferiscono, pertanto la pericolosità è un fattore intrinseco...". Poiché l'analisi idraulica non è in grado di rappresentare la dinamica evolutiva del corso d'acqua, ne è derivata l'esigenza di "... fondare i metodi di individuazione delle aree fluviali sul criterio geomorfologico..." (AdB Isonzo, ecc.: PAI 2013).

È noto però che tale definizione è radicalmente diversa da quella originaria del PPAI-2004 che individuava,

all'interno delle AF diversi scenari di pericolosità idraulica (P3 e P4) (AdB Isonzo, ecc.: Progetto PAI 2004).

L'impostazione descritta delle AF ha avuto successivamente un'ulteriore evoluzione con il PGRA-2016, secondo il quale l'*area fluviale* è un ambito territoriale particolare che "... è da considerare come espressione nella massima classe di pericolosità ... per principio generale, con vulnerabilità assunta pari a 1...". (Distretto Alpi Orientali, PGRA-2016).

La singolarità di un tale approccio necessita di osservare che "... la massima classe di pericolosità, con vulnerabilità assunta pari a 1 ...", corrisponde (Fig. 3) all'*Intensità alta* del fenomeno ($I_a = 1$), il cui campo è caratterizzato, ad esempio, da altezze della lama d'acqua superiori a 2 m ($h > 2$ m) se le velocità idriche sono minori di 0,5 m/s ($v < 0,5$ m/s) e altezze idriche superiori a 0,50 m ($h > 0,50$ m) se la velocità della corrente è pari a 2 m/s ($v = 2$ m/s) (Distretto Alpi orientali, PGRA, 2016).

Una conseguenza molto dibattuta è stata la totale assenza della rappresentazione delle *aree fluviali* nelle mappe della pericolosità e del rischio di alluvioni del PGRA-2016. La ragione è derivata dal fatto che "... le aree fluviali sono strettamente funzionali all'evoluzione del corso d'acqua cui si riferiscono e presentano un fattore di pericolosità intrinseco, ... pertanto non sono state oggetto di mappatura di pericolosità/rischio e la loro mancata rappresentazione cartografica non esime dall'applicazione del principio di tutela di tutta l'area posta all'interno degli argini e delle sponde naturali. L'approccio utilizzato per l'individuazione di tali aree è riconosciuto e supportato da bibliografia (Surian, Rinaldi, Pellegrini, 2009) ..." (MATTM, Commissione VIA, VAS, 2015). La Fig. 4 mostra due mappe del medesimo tratto del fiume Tagliamento compreso tra la stretta di Pinzano e il ponte di Dignano. A sinistra la mappa del PAI-2013 dove il tratto fluviale è complessivamente classificato come *area fluviale* (colorata in azzurro). A destra la corrispondente mappa della pericolosità di alluvioni del PGRA-2016 con l'assenza di ogni indicazione dei diversi possibili scenari idraulici indicati dalla DA.

5. LA PREVISIONE DELL'EVOLUZIONE MORFOLOGICA DEL MEDIO TAGLIAMENTO

Il ricorso predominante all'*approccio geomorfologico* nell'individuazione e perimetrazione delle AF ha costituito la sostanziale novità introdotta nella

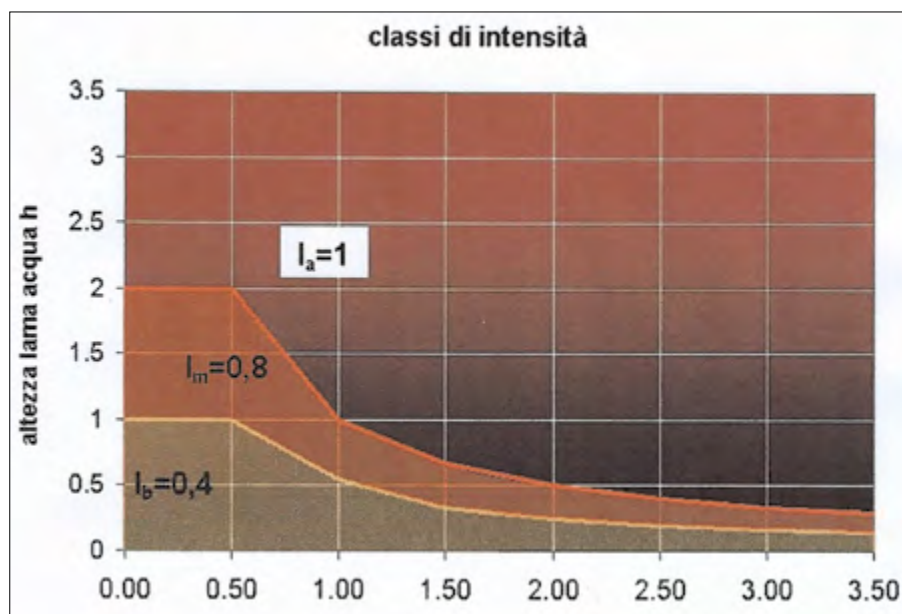


Figura 3. Definizione delle classi di Intensità (I) (Distretto Alpi Orientali, PGRA-2016)

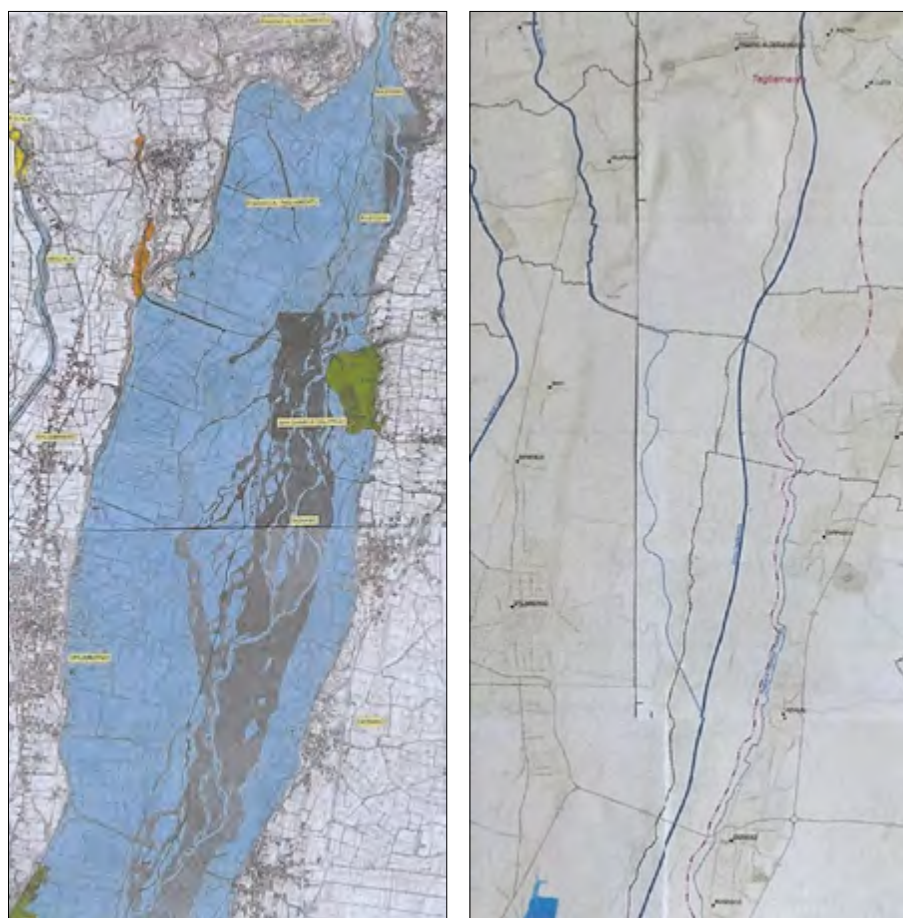


Figura 4. Due mappe del fiume Tagliamento tra Pinzano e Dignano. Sinistra: area fluviale (in azzurro) del PAI-2013 (AdB Isonzo, ecc.: PAI 2013). Destra: mappa della pericolosità del PGRA-2016 senza alcuna indicazione delle superfici allagabili e delle stesse AF (Distretto Alpi orientali: PGRA, 2016).

redazione delle mappe del PAI-2013, successivamente recepite in quelle del PGRA-2016.

In effetti, la ricostruzione e la previsione dell'evoluzione morfologica dei corridoi fluviali, nell'ambito dell'idromorfologia fluviale, hanno acquisito un particolare interesse nella gestione dei corsi d'acqua e del rischio di alluvioni.

I principali corsi d'acqua veneto-friulani, a fonte di processi dominanti

di riduzione della larghezza e dell'incisione dell'alveo nel XX secolo, conseguenti prevalentemente alle note cause antropiche (prelievo di ghiaia, opere di difesa, ecc.), negli anni '70 hanno subito un'inversione di tendenza: i processi più diffusi sono stati infatti l'allargamento e la sedimentazione con una parziale compensazione delle modificazioni del periodo precedente (Surian N. *et al.*, 2008).

Il caso di studio particolarmente approfondito del medio Tagliamento costituisce un irrinunciabile riferimento anche in occasione del primo aggiornamento delle mappe pericolosità/rischio.

In particolare, negli anni scorsi, l'Università di Padova ha analizzato le variazioni morfologiche subite da un tratto di circa 35 km del medio Tagliamento a valle della stretta di Pinzano negli ultimi 200 anni. Oltre alle avvenute variazioni altimetriche, la larghezza media dell'alveo attivo è passata da 1'302 m nel 1805, a 545 m negli anni '90 del secolo scorso, e 582 m nel trascorso decennio (Ziliani L., 2011).

Per valutare le tendenze evolutive future è stato applicato un modello numerico (CEASAR) per una copertura temporale di 80 anni, dal 2001 (con una larghezza di 735 m), al 2080 in diverse possibili condizioni del fiume (nessun intervento, rimozione opere idrauliche, ecc.).

In ogni caso l'alveo del tratto di studio proseguirà l'allargamento, oscillando da 1'128 m (+53%) a 1'229 m (+67%) (Ziliani L., 2011).

I risultati del modello numerico sono stati messi a confronto con quelli proposti dai modelli concettuali (Surian N. *et al.*, 2009). Entrambi i modelli hanno concordato nell'indicare che il Tagliamento proseguirà il recupero morfologico intrapreso negli anni '90 seguendo una traiettoria di allargamento almeno fino al 2040.

Successivi aggiornamenti dei modelli numerici del medio Tagliamento hanno sostanzialmente confermato, per ogni scenario simulato, le precedenti stime: la larghezza dell'alveo nel 2080 potrebbe essere vicina a quella del 1954 (1'240 m), ma comunque inferiore alla larghezza del 1927 (1'520 m), cioè anteriore alla prima fase di restringimento (Ziliani L., Surian N., 2012)). Secondo il modello concettuale la larghezza dell'alveo potrà aumentare fino a 1'120 m nel 2080 (Ziliani L., Surian N., 2012).

Recentemente il ruolo della *vegetazione ripariale* sulla morfodinamica fluviale è diventato oggetto di crescente interesse da parte degli studiosi. Anche in questo caso le simulazioni a lungo termine (2001-2035) hanno sviluppato sia la modellazione concettuale (con due possibili traiettorie di equilibrio vegetazione/erosione) sia quella numerica (con tre scenari di insediamento vegetazionale/interventi di gestione) (Ziliani L., Surian N., 2016).

Entrambi i modelli hanno indicato che, nel periodo 2012-2035, è proba-

bile che proseguano lievi variazioni di larghezza dell'alveo, processo peraltro ostacolato dall'insediamento della vegetazione (Fig. 6).

È improbabile che nei prossimi anni si verifichi un allargamento diffuso dell'alveo, che potrebbe eventualmente preoccupare sia la Pubblica Amministrazione sia i portatori di interessi (Ziliani L., Surian N., 2016).

La strategia di "nessun intervento" sembra quindi l'opzione migliore per condurre il fiume verso una nuova condizione di equilibrio e per raggiungere diversi obiettivi (per esempio, la mitigazione delle inondazioni, la conservazione o il miglioramento dello stato ecologico ecc.) (Ziliani L., Surian N., 2016).

alluvioni, definiti dalla DA, in analogia e coerentemente con quanto proposto a suo tempo con il PPAI-2004, che aveva individuato, all'interno delle AF, diverse "sotto-aree" a diversa classificazione di pericolosità P3 e P4.

In tal senso, particolare rivalutazione meriterebbero gli esempi dei criteri dell'Autorità di Bacino del Po e dell'Agenzia del Rodano del 1998 e gli approfondimenti a suo tempo sviluppati dalla stessa ADBVE nell'ambito degli studi finalizzati al Piano delle Fasce Fluviali del Fiume Tagliamento, con la delimitazione di tre FPF (A, B e C) di differente ampiezza (paragrafo 2).

Il riesame delle mappe dovrebbe rientrare nel coordinamento del PAI

ribadisce che la gestione delle pianure alluvionali e dei bacini idrografici in generale ha molteplici obiettivi, e un livello accettabile della pericolosità e del rischio di alluvioni deve combinarsi con altre esigenze sociali, economiche ed ecologiche (paragrafo 2).

Il riesame e l'aggiornamento dei criteri di identificazione e perimetrazione delle AF nel senso sopraindicato porterebbe utili effetti anche nelle successive attività di aggiornamento del PGRA-2021. A tale riguardo la stessa EEA ha ricordato che, al fine di conferire maggiore spazio ai fiumi, i PGRA dovrebbero comprendere, ove possibile, il mantenimento e/o il ripristino delle pianure alluvionali possibilmente at-

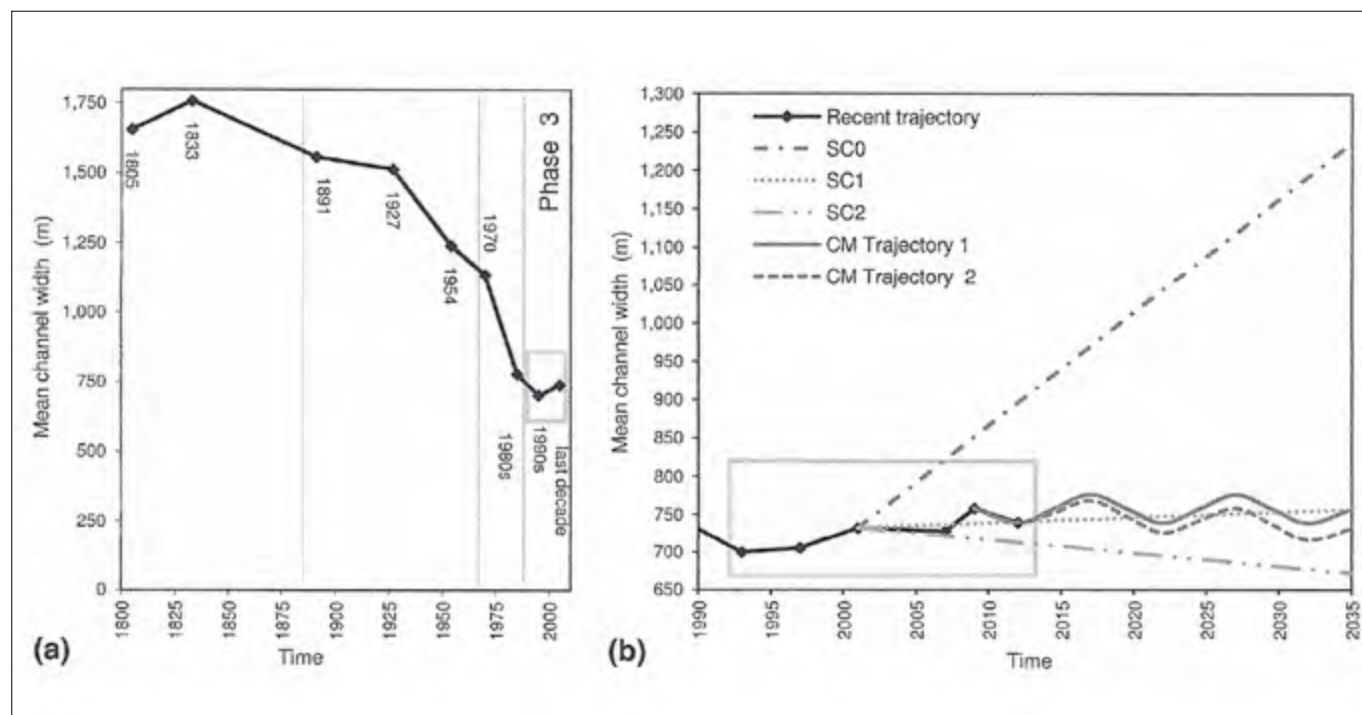


Figura 6. a): Variazioni della larghezza dell'alveo nel periodo 1805-2012; b): previsione delle variazioni della larghezza dell'alveo fino al 2035, secondo simulazioni di modelli numerici (SC0, SC1 e SC2) e di un modello concettuale (CM, traiettoria 1 e 2) (Ziliani L., Surian N., 2016)

6. L'AGGIORNAMENTO DELLE MAPPE

Il primo riesame delle mappe pericolosità/rischio del 2019 dovrebbe riconsiderare i particolari aspetti delle AF del Distretto delle Alpi Orientali adottate e definite nel PAI-2013, e acquisite dal PGRA-2016. Resta confermata la necessità di fondare i metodi della loro individuazione prioritariamente sul criterio geomorfologico, quale strumento per riconoscere le forme del corridoio fluviale, e quindi applicando il criterio idrodinamico, per valutarne i diversi livelli di possibile inondazione.

Andrebbe però rivisto il concetto della massima classe di pericolosità attribuita alle stesse AF, introducendo anche per esse gli scenari diversificati di scarsa, media ed elevata probabilità di

e i contenuti conoscitivi del PGRA previsto entro tre anni dall'approvazione del PGRA-2016. Ovviamente le AF, così aggiornate, dovrebbero essere rappresentate anche nelle mappe pericolosità/rischio, per l'inserimento nel PGRA-2021.

I sopraindicati aggiornamenti andrebbero comunque elaborati e concordati nell'ambito della *partecipazione pubblica*, con il massimo coinvolgimento dei portatori di interessi locali. Ciò favorirebbe una risoluzione bonaria del complesso annoso contenzioso avviato negli anni scorsi da diversi portatori di interessi pubblici e privati, finalizzato all'annullamento del PAI-2013 e del PGRA-2016.

Una risoluzione concordata e bonaria delle richiamate questioni è ripetutamente auspicata dall'EEA, quando

traverso le NWRM (Natural Water Retention Measures), compatibilmente con la presenza di importanti attività socio-economiche (agricoltura, silvicoltura, attività didattiche e ricreative, edilizia abitativa, industria, ecc.).

L'aggiornamento andrebbe preceduto dall'analisi del grado di naturalità delle pianure alluvionali esistenti nelle AF. Tale procedimento deve portare alla definizione del *grado di alterazione* rispetto allo stato potenzialmente naturale secondo le ricordate classi predisposte in ambito comunitario (paragrafo 2). Nel nostro Paese, ha trovato applicazione l'*Indice di Qualità morfologica (IQM)* di un corso d'acqua con le corrispondenti cinque classi di qualità (pessima, scadente, moderata, buona ed elevata) (Rinaldi M. et al., 2014).

Un'importante esperienza di integrazione e aggiornamento delle mappe è stata sviluppata nel 2016 dall'*Agence de l'eau Rhone Méditerranée* con il riesame dell'*espace de liberté* dei corsi d'acqua del 1998 e la definizione dello SBF dei corsi d'acqua (paragrafo 3).

La definizione delle possibili tendenze evolutive future a suo tempo ha costituito il riferimento principale per il criterio geomorfologico introdotto nell'individuazione delle AF del PAI-2013. L'approccio utilizzato per l'individuazione di tali aree è stato supportato dalle conoscenze scientifiche del periodo di formazione del PAI stesso (primo decennio del secolo corrente) (paragrafo 4). Tuttavia recentemente, in quest'ultimo decennio, rilevanti progressi scientifici confermano la necessità del rivedere i criteri di allora, tenuto anche conto che la periodicità sessennale degli aggiornamenti delle mappe costituisce una scala temporale "di sicurezza" per la periodica verifica, con l'eventuale aggiornamento correttivo delle precedenti previsioni delle possibili variazioni morfologiche del corridoio fluviale.

I recenti studi sui probabili cambiamenti futuri dell'alveo del medio Tagliamento e le simulazioni condotte con diversi tipologie di modelli (concettuali e numerici) hanno indicato che, nel periodo 2012-2035, è probabile che proseguano lievi variazioni di larghezza dell'alveo, processo ostacolato dall'insediamento della vegetazione riparia, e quindi è improbabile che nei prossimi anni si verifichi un allargamento diffuso dell'alveo (paragrafo 5).

Quest'ultimo risultato scientifico, opportunamente verificato anche per i corridoi fluviali con caratteristiche simili al medio Tagliamento, dovrebbe costituire il fondamento del riesame delle mappe e del loro aggiornamento. La valutazione dei diversi livelli di pericolosità di alluvioni anche all'interno delle AF, almeno per i prossimi sei anni, potrebbe quindi riferirsi all'assetto morfologico attuale dell'alveo, e quindi potrebbe essere definito dalle risultanze della modellazione idraulica, ovviamente fatte salve le osservazioni e le proposte sopraindicate (IQM, SBF, ecc.). Infine, grazie alle stesse ipotesi morfologiche, in analogia a come è avvenuto per alcune particolari situazioni locali, potrebbe essere considerata la possibilità di escludere dalle predette aree quei terreni che risultano attualmente comunque insommergibili secondo i tempi di ritorno adottati per gli scenari di elevata, media e scarsa probabilità di alluvioni.

BIBLIOGRAFIA

- (AdB Isonzo, ecc.: Progetto PAI 2004): Autorità di Bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione: *Progetto di Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dei bacini idrografici dei fiumi ISONZO, TAGLIAMENTO, PIAVE E BRENTA-BACCHIGLIONE. Relazione*. Venezia, 2004.
- (AdB Isonzo, ecc.: PAI 2013): Autorità di Bacino dei fiumi Isonzo, Tagliamento, Livenza, Piave, Brenta-Bacchiglione: *Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dei bacini idrografici dei fiumi ISONZO, TAGLIAMENTO, PIAVE E BRENTA-BACCHIGLIONE. Relazione Generale*. Venezia, 2012.
- (AdBPO, 1998): Autorità di Bacino del Po: *Piano Stralcio delle Fasce Fluviali. DPCM 24 luglio 1998*.
- (Agence de l'eau Rhone Méditerranée, 2016): *Agence de l'eau Rhone Méditerranée Corse. Comité de Bassin Rhone Méditerranée: Guide Technique du SDAGE. Délimiter l'espace de bon fonctionnement des cours d'eau. Décembre 2016*.
- (Baruffi F. *et al.*, 2004) - F. Baruffi, A. Rusconi, N. Surian: *Le fasce di pertinenza fluviale nella pianificazione dei bacini idrografici: aspetti metodologici ed applicazioni*. Internationales Symposium. INTERPRAEVENT 2004 - Riva del Garda (TN).
- (Buijse T., 2014) - Buijse T.: *Hydromorphology of rivers and floodplains - What is at stake and how will REFORM contribute? REFORM Iberian Stakeholder Workshop Sevilla, 2014*.
- (Bussetini M. *et al.*, 2013) - Bussetini M., Rinaldi M., Surian N., Comiti F.: *Idromorfologia dei corsi d'acqua e Direttive Europee. L'Acqua, 5-6/2013*.
- (Distretto Alpi Orientali, PGRA, 2016) - *Distretto Idrografico delle Api Orietani. Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni. Relazione Generale. 1° ciclo, 2016*.
- (EEA, N.1/2016) - *Flood risks and environmental vulnerability. Exploring the synergies between floodplain restoration, water policies and thematic policies. European Environment Agency, 2016*.
- (Malavoi J.R. *et al.*, 1998) - *Bassin Rhone Méditerranée-Corse. Jean-René Malavoi - Guide Technique SDAGE N.2. Détermination de l'espace de liberté des cours d'eau. Novembre 1998*.
- (MATTM, Commissione VIA, VAS, 2015): *Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. Commissione Tecnica di Verifica dell'Impatto ambientale VIA e VAS: Parere n. 1853 del 04/08/2015. Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni del Distretto Idrografico delle Alpi orientali. Roma, 2015*.
- (Rinaldi M. *et al.*, 2014): Rinaldi M., Surian N., Comiti F., Bussetini M. (2014): *IDRAIM - Sistema di valutazione idromorfologica, analisi e monitoraggio dei corsi d'acqua - ISPRA - Manuali e Linee Guida 113/2014. Roma, giugno 2014*.
- (Surian N. *et al.*, 2008) - N. Surian, L. Ziliani, L. Cibien, A. Cisotto & F. Baruffi: *Variazioni morfologiche degli alvei dei prin-*

cipali corsi d'acqua veneto-friulani negli ultimi 200 anni. *Il Quaternario - Italian Journal of Quaternary Sciences* 21/(1B), 2008 - 279-290.

- (Surian N., *et al.*, 2009a): Surian N., Rinaldi M., Pellegrini L. (2009): *Linee guida per l'analisi morfologica degli alvei fluviali e delle loro tendenze evolutive*. Cleup Padova.
- (Surian N. *et al.*, 2009b): Surian N., Ziliani L., Comiti F., Lenzi M.A., Mao L. (2009): *Channel adjustments and alteration of sediment fluxes in gravel-bed rivers of north-eastern Italy: potentials and limitations for channel recovery. River and Applications*, 25:551-567 (2009).
- (Ziliani L., 2011) - Ziliani L.: *Ricostruzione e previsione dell'evoluzione morfologica di un alveo a fondo ghiaioso (F. Tagliamento): Integrazione di modellazione numerica, analisi GIS e rilievi di terreno. Ph. D. thesis, Università di Padova. Scuola di Dottorato in Scienze Storiche. Indirizzo Uomo e Ambiente. Ciclo XXIII, 2011*.
- (Ziliani L., Surian N., 2012a) - Ziliani L., Surian N., 2012: *Evolutionary trajectory of channel morphology and controlling factors in a large gravel-bed river. Geomorphology*, 173, 104-117.
- (Ziliani L., Surian N., 2012b) - Ziliani L., Surian N. 2012: *Modelling and prediction of channel morphology in a large braided river (Tagliamento River, Italy). Geophysical Research Vol.14, EGU2012-9784, 2012. EGU general Assembly 2012*.
- (Ziliani L., Surian N., 2016) - Ziliani L., Surian N.: *Reconstructing temporal changes and prediction of channel evolution in a large Alpine river: the Tagliamento river, Italy. Aquatic Sciences*, 2016, 78, 83-94.

ABBREVIAZIONI E ACRONIMI

- AdBVE - Autorità di Bacino dei fiumi Isonzo, Piave, Livenza, Tagliamento, Brenta-Bacchiglione.
- AF - Aree Fluviali.
- DA - Direttiva Alluvioni n.2007/60/CE.
- DQA - Direttiva Quadro Acque n.2000/60/CE.
- DUH - Direttive Uccelli (79/409/CEE) e Habitat (92/43/CEE).
- EEA - Agenzia Europea per l'Ambiente.
- FDM - Fasce di Dinamica Morfologica.
- FPF - Fasce di Pertinenza Fluviale.
- IQM - Indice di Qualità Morfologica.
- PAI - Piano stralcio di bacino per l'Assetto idrogeologico.
- PAI-2013 - PAI 4 bacini, redatto dall'AdBVE, approvato nel 2013.
- PGRA - Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni.
- PGRA-2016 - Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni, 1° ciclo, approvato nel 2016.
- PGRA-2021 - Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni, 2° ciclo, entro il 2021.
- PGBI - Piano di Gestione dei Bacini Idrografici.
- PGS - Piano di Gestione dei Sedimenti.
- PPAI-2004 - Progetto di PAI adottato nel 2004.
- NWRM - Misure Naturali di Ritenzione delle Acque.
- SBF - Spazio di Buon Funzionamento;

I sinkholes naturali e antropici nella regione Puglia

Natural and anthropogenic sinkholes in Apulia

Parole chiave: sinkholes naturali, sinkholes antropici, regione Puglia
Key words: natural sinkholes, anthropogenic sinkholes, Apulia region

Carmela Vennari⁽¹⁾
E-mail: carmela.vennari@irpi.cnr.it

Mario Parise^(1, 2)
E-mail: mario.parise@uniba.it

Piernicola Lollino⁽¹⁾
E-mail: p.lollino@ba.irpi.cnr.it

⁽¹⁾ Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica (IRPI), Bari
⁽²⁾ Dipartimento di Scienze della Terra e Geoambientali, Università Aldo Moro, Bari

ABSTRACT

Sinkhole events represent one of the most frequent phenomena of geo-hydrological instability in Apulia region: for this reason it is essential to have an accurate and exhaustive knowledge of the phenomena. From several years, the Research Institute for Hydrogeological Protection of the National Research Council (IRPI-CNR) has developed an activity of data collection on sinkholes phenomena as well as the organization and management of a database aimed at the assessment of the sinkhole hazard. It is a chronological database, which clearly distinguish natural from anthropogenic sinkholes, for their different features and the different scenarios they can produce, especially in terms of Civil Protection action and risk mitigation.

The catalogue of natural and anthropogenic sinkholes for the Apulia region, including a statistical analysis of their spatial-temporal distribution, is then presented.

INTRODUZIONE

La Puglia è una delle regioni italiane in cui si verifica il maggior numero di fenomeni di *sinkholes* (Delle Rose & Parise, 2002; Bruno *et al.*, 2008; Fidelibus *et al.*, 2011; Festa *et al.*, 2012; Margiotta *et al.*, 2012; Parise & Vennari, 2013; Parise *et al.*, 2018), sia di origine naturale che antropica. I sinkholes di origine naturale (Gutierrez *et al.*, 2014; Parise, 2019) sono connessi alla presenza di cavità sotterranee carsiche, a causa della diffusa presenza nel territorio pugliese di rocce carbonatiche solubili. Dal Catasto delle Grotte Naturali, a cura della Federazione Speleologica Pugliese (<http://www.catasto.fspuglia.it>), risultano censite in Puglia oltre 2000 grotte, la cui distribuzione copre praticamente l'intera regione. I *sinkholes* antropici, invece, sono legati alla presenza nel sottosuolo di cavità artificiali. La Puglia è una delle regioni italiane più ricche in numero di cavità artificiali, costruite

dall'uomo in diverse epoche storiche e per scopi molto differenti (Parise & Vennari, 2017), in virtù del fatto che le caratteristiche geologiche del territorio ben si prestano allo scavo e alla realizzazione di cavità (Del Prete & Parise, 2007). Nel Catasto delle Cavità Artificiali (<http://www.catasto.fspuglia.it>), a cura della Federazione Speleologica Pugliese, risultano attualmente censite 1500 cavità artificiali, un numero certamente sottostimato rispetto alla reale distribuzione delle stesse. Le tipologie di cavità artificiali presenti sul territorio sono variegata, e ne riflettono la storia. I centri abitati di Gravina in Puglia, nonché quelli dell'arco jonico tarantino, caratteristici per lo sviluppo degli insediamenti rupestri, contano a volte alcune centinaia di cavità di varie tipologie e dimensioni scavate lungo i fianchi delle gravine (Del Vecchio *et al.*, 1991; Parise, 2007). Alle vere e proprie abitazioni si aggiungono poi: cave e miniere sotterranee, ricoveri per animali, silos per la conservazione di derrate alimentari, frantoi ipogei, colombaie, ecc. Insomma, una varietà di opere da decenni oggetto di studio da parte di storici ed archeologi (Dell'Aquila & Messina, 1988), ma frequente in condizioni di degrado e con

serie problematiche di stabilità (Barnaba *et al.*, 2010).

Da alcuni anni l'IRPI-CNR (Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica, del Consiglio Nazionale delle Ricerche) ha avviato un'attività di raccolta dati sui fenomeni di sinkholes, nonché l'organizzazione e la gestione di un database finalizzato alla valutazione della loro pericolosità (Parise & Vennari, 2013, 2017). Si tratta di una banca dati cronologica, in cui i dati sono inseriti solo se si hanno informazioni spaziotemporali sui fenomeni di sprofondamento. Il database comprende *sinkholes* connessi a cavità sia naturali che antropiche, e la regione Puglia ricade tra le regioni italiane con un maggior numero di eventi registrati.

IL CATALOGO DATI

Nel database dei *sinkholes*, esiste la distinzione netta tra gli eventi connessi a cavità naturali e quelli connessi a cavità artificiali, per le loro differenti caratteristiche, sia di predisposizione che di innesco, e perché possono determinare scenari diversi soprattutto in termini di Protezione Civile, e di mitigazione del rischio. La distinzione basata sulla tipologia di cavità nasce in virtù dell'elevata



Figura 1. Distribuzione dei sinkholes naturali e artificiali nella Regione Puglia

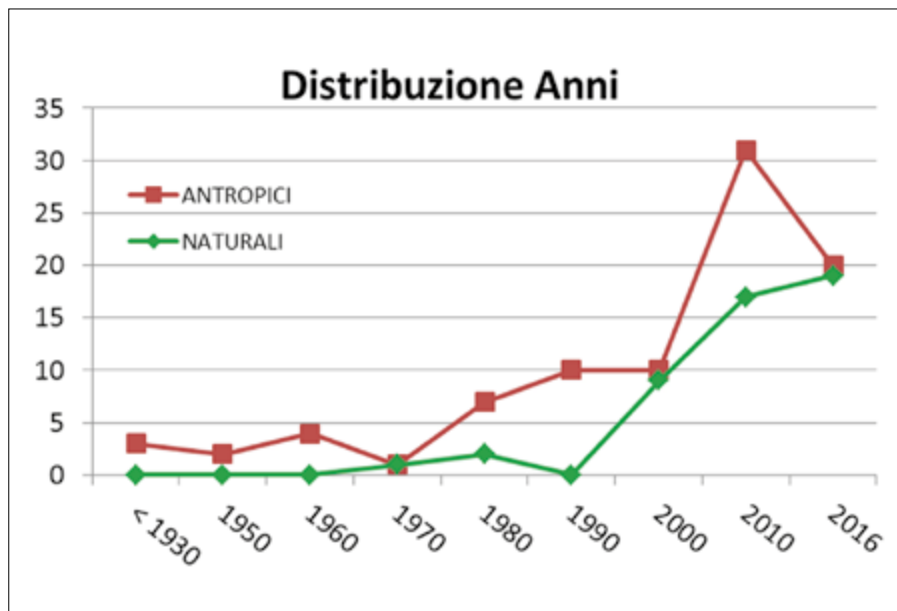


Figura 2. Distribuzione dei sinkholes naturali ed antropici, censiti nel database

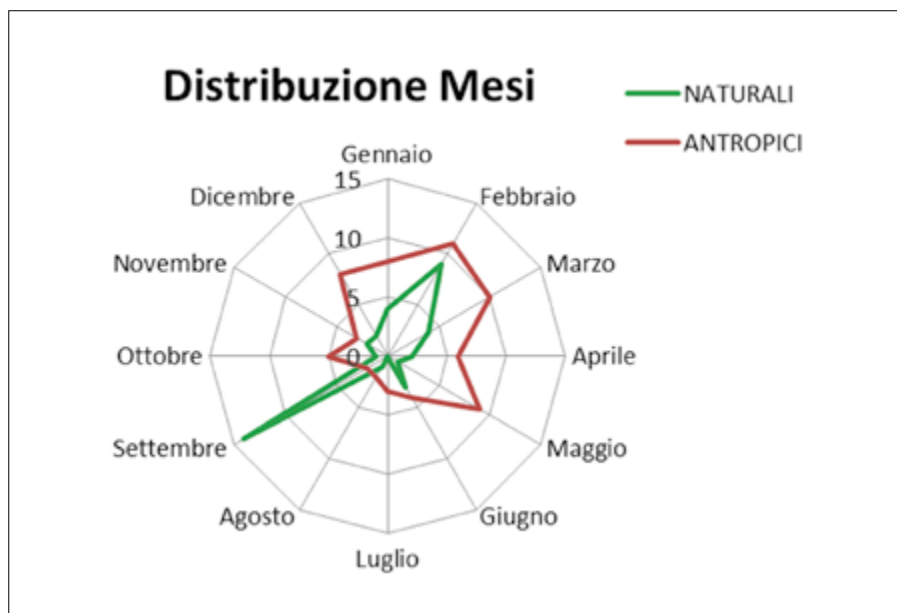


Figura 3. Distribuzione dei sinkholes naturali ed antropici, presenti nel database, nel corso dei mesi

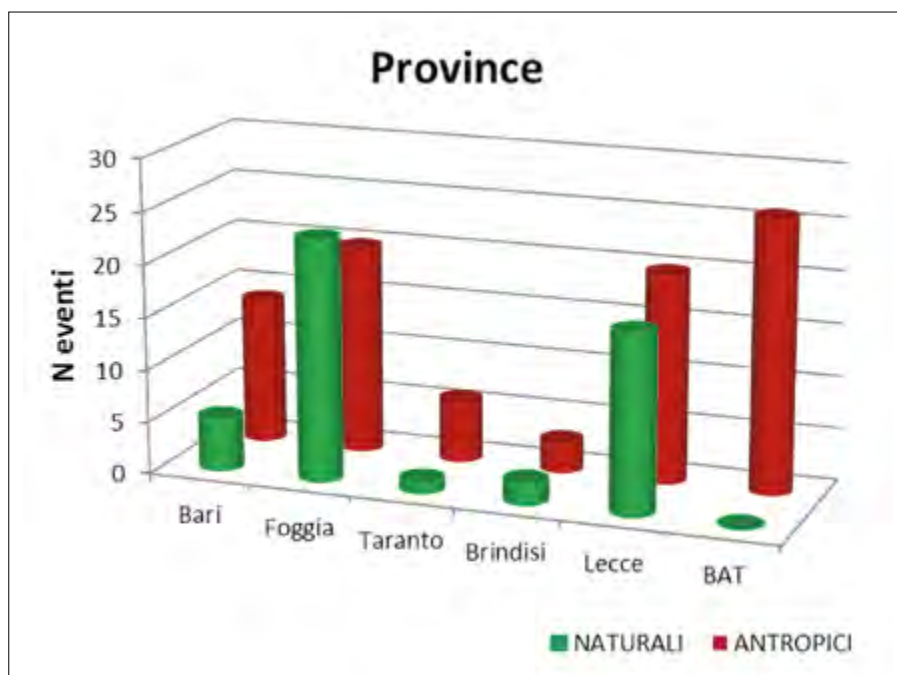


Figura 4. Distribuzione dei sinkholes naturali ed antropici nelle province pugliesi

interazione delle cavità artificiali con le infrastrutture viarie ed i centri abitati. Se infatti, al momento della loro realizzazione, gran parte delle cavità artificiali risultava localizzata alla periferia o al di fuori dei centri abitati, la successiva espansione delle aree urbanizzate ha fatto sì che gli abitati si spingessero di frequente nei settori interessati dalle cavità, ormai spesso dimenticate, con rischi notevoli per la pubblica e privata incolumità (Del Prete *et al.*, 2011; Parise & Lollino, 2011; Lollino & Parise, 2014).

I *sinkholes* censiti nel database cronologico per la regione Puglia sono in totale 140, dei quali il 34,5 % connessi a cavità di origine naturale e il 63,5 % di origine antropica.

La loro distribuzione sul territorio è riportata in Fig. 1. Nell'immagine sono rappresentati in rosso i fenomeni connessi a cavità la cui natura è sconosciuta, che rappresentano solo il 2 % del campione.

I fenomeni censiti coprono un intervallo di tempo di circa un secolo, in quanto il meno recente è un *sinkhole* antropico avvenuto nel comune di Canosa di Puglia nel 1925.

In Fig. 2 è riportata la distribuzione dei fenomeni nel corso degli anni. Per entrambi i dataset, si evidenzia una frequenza crescente, dovuta non solo alla maggiore disponibilità di fonti d'informazione (testate on-line, blog, social-media, ecc.) ma anche ad una crescente interazione delle cavità con le infrastrutture ed i centri abitati, data l'espansione di questi ultimi nel corso degli anni.

Relativamente all'occorrenza temporale nel corso dell'anno, in Fig. 3 si evidenzia una preponderante differenza tra i fenomeni connessi a cavità naturali ed antropiche. In particolare, i fenomeni connessi a cavità antropiche si verificano principalmente nei mesi invernali, e ciò è con molta probabilità connesso ad una azione più incisiva operata dalle precipitazioni.

Relativamente ai *sinkholes* naturali, si evidenziano invece due picchi nella distribuzione mensile, in corrispondenza dei mesi di febbraio e settembre. Nel mese di febbraio, l'elevata frequenza può essere dovuta ad una maggiore occorrenza di eventi pluviometrici, mentre nel mese di settembre probabilmente la causa è da ricercare nelle proprietà geo-meccaniche dei materiali coinvolti, che si presentano più facilmente erodibili e suscettibili ai processi carsici alla fine della stagione secca. Entrambi gli

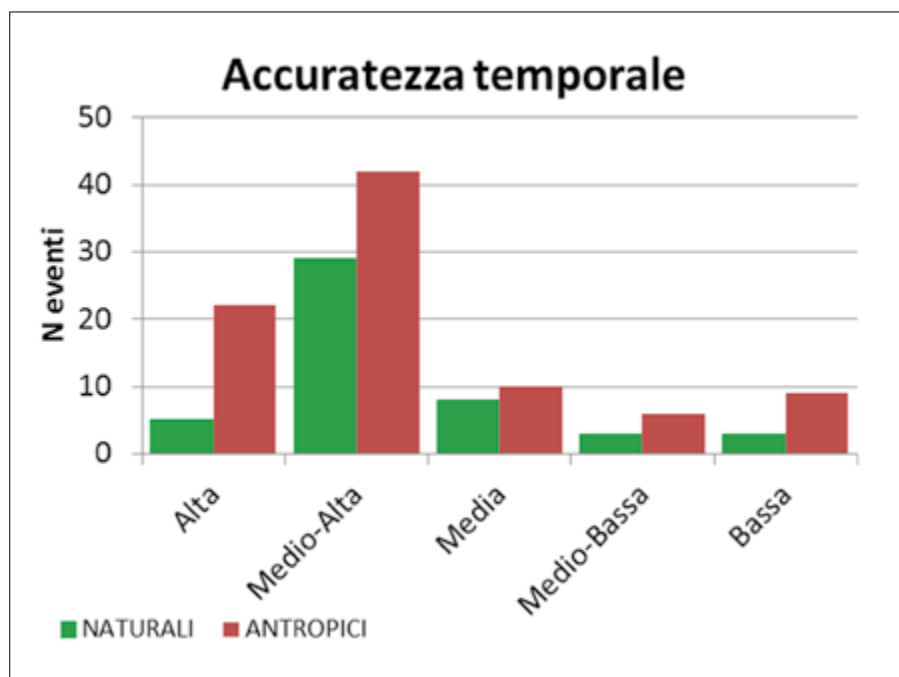


Figura 5. Distribuzione dei sinkholes naturali ed antropici secondo classi di accuratezza temporale

aspetti necessitano di ulteriori approfondimenti.

Per quanto riguarda la distribuzione dei fenomeni nei territori provinciali, la frequenza delle due tipologie nelle province di Lecce e Foggia è all'incirca paragonabile, mentre si distinguono nettamente per una prevalenza di *sinkholes* antropici le province di Bari e di Barletta-Andria-Trani. Nel primo caso, si collocano in questa provincia le località di Altamura e Gravina di Puglia, dove i numerosi fenomeni di sprofondamento, registrati nel corso degli anni, sono dovuti soprattutto alla presenza di cavità legate alle attività estrattive (Parise, 2010, 2012). Nella provincia di Barletta-Andria-Trani, le località in

cui i *sinkholes* antropici documentati si sono innescati con maggior frequenza sono Andria e Canosa di Puglia, che già a partire dagli anni '70 e '80 manifestarono episodi critici, che portarono anche all'attenzione dei *mass media* il pericolo connesso alla presenza di cavità artificiali abbandonate (in gran prevalenza, antiche cave; Del Vecchio *et al.*, 1991; Cherubini *et al.*, 1993; Parise, 2010).

Come detto in precedenza, il catalogo cronologico dei *sinkholes* occorsi nella regione Puglia ha come obiettivo la definizione della pericolosità connessa a tali fenomeni. Per questo motivo, particolare attenzione è rivolta all'accuratezza dei dati catalogati, in termini di collocazione spaziale e temporale dei

fenomeni. In particolare l'accuratezza della collocazione temporale è definita dal grado di conoscenza del momento in cui si è verificato il fenomeno di sprofondamento. Per i casi caratterizzati da accuratezza molto elevata, si conosce ora, giorno, mese, anno di occorrenza del fenomeno.

In Fig. 5 il grafico illustra la distribuzione dei *sinkholes* naturali ed antropici nelle diverse classi di accuratezza. Per entrambe le tipologie, l'accuratezza temporale dei fenomeni censiti è prevalentemente medio-alta, ciò significa che si conosce con esattezza il giorno, il mese e l'anno di formazione. Occorre evidenziare come i dati sui *sinkholes* antropici siano caratterizzati da un'accuratezza maggiore rispetto a quelli degli eventi naturali, in alcuni casi fino alla conoscenza dell'ora di occorrenza. Generalmente, per i *sinkholes* antropici si hanno informazioni in numero superiore e di maggiore dettaglio rispetto a quelli naturali, in quanto i primi interessano le aree antropizzate, interferendo maggiormente con le infrastrutture e producendo danni maggiori ed effetti negativi sulla società (Parise & Vennari, 2013).

Per quanto riguarda la certezza in merito all'ubicazione, essa diminuisce generalmente andando indietro nel tempo. I documenti storici e le cronache sono in genere più accurati nel fornire informazioni su vittime e danni piuttosto che sulla localizzazione spaziale e temporale precisa degli eventi (Salvati *et al.*, 2010). Ciò nonostante, la maggioranza dei *sinkholes*, sia di origine naturale che antropica, è caratterizzata da un'accuratezza dell'ubicazione elevata; ciò indica che si conoscono con precisione le coordinate geografiche o il nome della strada lungo la quale si è verificato il fenomeno.

CONCLUSIONI

I *sinkholes* naturali ed antropici verificatisi nella regione Puglia, di cui si hanno informazioni spatio-temporali attendibili in merito alla formazione, sono stati collezionati all'interno di un catalogo dati. In termini di numero di eventi, risultano maggiori i fenomeni connessi a cavità di origine antropica. Tutte le province della regione risultano interessate da entrambe le tipologie di fenomeno. I *sinkholes* catalogati, sia naturali sia antropici, presentano un'accuratezza geografica molto elevata, elemento di fondamentale importanza per la stima della suscettibilità del territorio a tale fenomeno di dissesto. Le differenti

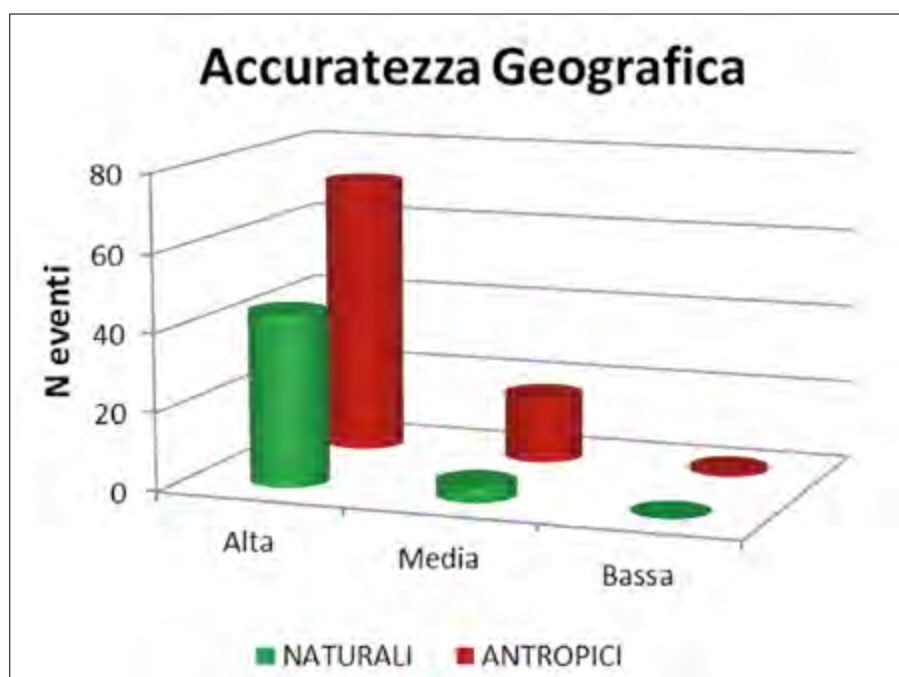


Figura 6. Distribuzione dei sinkholes naturali ed antropici secondo classi di accuratezza geografica

caratteristiche delle cavità antropiche e naturali, e quindi la diversa distribuzione dei sinkholes, impongono una netta distinzione nell'analisi di suscettibilità delle due tipologie di fenomeno, a causa della interazione tra i caratteri geologici dell'area e delle vicende storiche che hanno di frequente visto il sottosuolo come un ambiente di estrema importanza strategica per le popolazioni locali. Ne consegue che ad oggi esiste una maggiore interazione tra le cavità antropiche ed i centri abitati, con evidenti conseguenze in termini di rischio associato. Occorre, tuttavia, approfondire la netta distinzione fin qui osservata in termini di occorrenza mensile tra i sinkholes naturali ed antropici.

RINGRAZIAMENTI

La ricerca è stata finanziata dalla Regione Puglia - Sezione Protezione Civile, nell'ambito del progetto "Valutazione integrata di dissesti geo-idrologici nel territorio della Regione Puglia, modelli interpretativi dei fenomeni e definizione di soglie di pioggia per il possibile innesco di frane superficiali" - fondi P.O.R. Puglia 2014-2020, Asse V - Azione 5.1. CUP: B82F16003840006

BIBLIOGRAFIA

- BARNABA F., CAGGIANO T., CASTORANI A., DELLE ROSE M., DI SANTO A.R., DRAGONE V., FIORE A., LIMONI P.P., PARISE M. & SANTALUOIA F. (2010), *Sprofondamenti connessi a cavità antropiche nella regione Puglia*. Atti 2° Workshop Internazionale "I sinkholes. Gli sprofondamenti catastrofici nell'ambiente naturale ed in quello antropizzato", Roma, 3-4 dicembre 2009, 653672.
- BRUNO, E., CALCATERA, D. & PARISE, M. (2008), *Development and morphometry of sinkholes in coastal plains of Apulia, southern Italy*. Preliminary sinkhole susceptibility assessment: Engineering Geology, v. 99, p. 198-209. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2007.11.017>
- CHERUBINI C., GERMINARIO S., PAGLIARULO R., RAMUNNI F.F. (1993), *Caratterizzazione geomeccanica delle calcareniti di Canosa in relazione alla stabilità degli ipogei*. Atti I Conv. Naz. "Le pietre da costruzione in Puglia: il Tufo Calcarea e la Pietra Leccese", Bari, pp. 221-230.
- DELL'AQUILA F., MESSINA A. (1998), *Le chiese rupestri di Puglia e Basilicata*. Mario Adda edit., Bari, 277 pp.
- DELL'AQUILA F., & MESSINA A. (1989), *Il "templon" nelle chiese rupestri dell'Italia meridionale*. Byzantion, 59, 20-47
- DELLE ROSE M. & PARISE M. (2002), *Karst subsidence in south-central Apulia Italy*, International Journal of Speleology, v. 31, no. 1/4, p.181-199. <https://doi.org/10.5038/1827-806X.31.1.11>
- DEL PRETE S., & PARISE M. (2007), *L'influenza dei fattori geologici e geomorfologici sulla realizzazione di cavità artificiali*. Opera Ipogea, 2(2007), 11-24.
- DEL PRETE S., GALEAZZI C., GERMANI C., MARTIMUCCI V. & PARISE M. (2011), *Fenomeni di dissesto idrogeologico connessi a cavità sotterranee di origine antropica*. Atti dei Convegni Lincei "Frane e dissesto idrogeologico: consuntivo", X Giornata Mondiale dell'Acqua, Accademia dei Lincei, Roma, 22 marzo 2010, 262, 223-232.
- DEL VECCHIO F., RIZZI I., GRECO A. (1991), *Canosa underground: ipogei, catacombe, insediamenti in grotta, gallerie e grandi sistemi sotterranei presenti nel sottosuolo di Canosa di Puglia*. Atti 3rd International Symposium on Underground Quarries, Napoli, 10-14 luglio 1991, pp. 110-122.
- FESTA V., FIORE A., PARISE M., AND SINISCALCHI A. (2012), *Sinkhole evolution in the Apulian karst of southern Italy: a case study, with some considerations on sinkhole hazards*, Journal of Cave and Karst Studies, v. 74, no. 2, p. 137-147. <https://doi.org/10.4311/2011JCKS0211>
- FIDELIBUS M.D., GUTIERREZ F., AND SPILOTTO G. (2011), *Human-induced hydrogeological changes and sinkholes in the coastal gypsum karst of Lesina Marina area (Foggia Province, Italy)*, Engineering Geology, v. 118, p. 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2010.12.003>
- GALEAZZI C. (2013), *The typological tree of artificial cavities: a contribution by the Commission of the Italian Speleological Society*. Opera Ipogea, n. 1, p. 9-18.
- GUTIERREZ F., PARISE M., DE WAELE J., JOURDE H. (2014), *A review on natural and human induced geohazards and impacts in karst*. Earth Science Reviews, vol. 138, p. 61-88.
- LOLLINO P. & PARISE M. (2014), *La valutazione delle condizioni di stabilità di cavità sotterranee: approcci semplificati e metodi avanzati di calcolo*. Geologia dell'Ambiente, suppl. 2/2014, 7481.
- MARGIOTTA S., NEGRI S., PARISE M., AND VALLONI R. (2012), *Mapping the susceptibility to sinkholes in coastal areas, based on stratigraphy, geomorphology and geophysics*, Natural Hazards, v. 62, no. 2, p. 657-676. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0100-1>
- PARISE M. (2007), *Pericolosità geomorfologica in ambiente carsico: le gravine dell'arco ionico tarantino*. Atti e Memorie Commissione Grotte "E. Boegan", vol. 41, p. 81-93.
- PARISE M. (2010), *The impacts of quarrying in the Apulian karst*. In: CARRASCO F., LAMOREAUX J.W., DURAN VALSERO J.J., ANDREO B. (eds.), *Advances in research in karst media*. Springer, pp. 441-447.
- PARISE M. (2012), *A present risk from past activities: sinkhole occurrence above underground quarries*. Carbonates and Evaporites, vol. 27 (2), p. 109-118.
- PARISE M., (2019), *Sinkholes*. In: WHITE W.B., CULVER D.C. & PIPAN T. (Eds.), *Encyclopedia of Caves*. Academic Press, Elsevier, 3rd edition, ISBN ISBN 978-0-12-814124-3, p. 934-942.
- PARISE M. & LOLLINO P. (2011), *A preliminary analysis of failure mechanisms in karst and manmade underground caves in Southern Italy*. Geomorphology, 134, 132-143.
- PARISE M., VENNARI C. (2013), *A chronological catalogue of sinkholes in Italy: the first step toward a real evaluation of the sinkhole hazard*. In: LAND, L., DOCTOR, D.H., STEPHENSON, B. (Eds.), Proc. 13th Multidisc. Conf. Sinkholes and the Engineering and Environmental Impacts of Karst, National Cave and Karst Research Institute, p. 383-392.
- PARISE M., VENNARI C. (2017), *Distribution and features of natural and anthropogenic sinkholes in Apulia*. In: RENARD P. & BERTRAND C. (Eds.), *EuroKarst 2016, Neuchâtel. Advances in the hydrogeology of karst and carbonate reservoirs*. Springer, ISBN 978-3-319-45464-1, p. 27-34.
- PARISE M., PISANO L., AND VENNARI C. (2018), *Sinkhole clusters after heavy rainstorms*. Journal of Cave and Karst Studies, v. 80, no. 1, p. 28-38. DOI: 10.4311/2017ES0105.
- PARISE M., GALEAZZI C., BIXIO R., DIXON M. (2013), *Classification of artificial cavities: a first contribution by the UIS Commission*. In: FILIPPI, M., BOSAK, P. (Eds.), Proc. 16th Int. Congress of Speleology, Brno, vol. 2, p. 230-235.



SESSIONE 2
EVOLUZIONE
DEI PROCESSI E SISTEMI
DI MONITORAGGIO

SIGEA

Noè e il dissesto idrogeologico

Dal libro della *Genesi* modificato da
Nicola Casagli
 Professore in Firenze, esperto di rischio idrogeologico

Già apparso su agendadigitale.eu

Questa è la storia di Noè e del dissesto idrogeologico. Noè era uomo giusto e integro tra i suoi contemporanei e parlava con Dio. Quando gli uomini cominciarono a moltiplicarsi sulla terra e nacquero loro figlie, i figli di Dio videro che le figlie degli uomini erano belle e ne presero per mogli quante ne vollero.

E fu così che essi misero su famiglia e costruirono villette, palazzine, condomini, asili, scuole, fabbriche, uffici e capannoni. Edificarono dovunque: nei fiumi, sulle spiagge, sopra alle frane, sulle faglie sismiche, fino in cima ai vulcani. E per questo succedevano continuamente disgrazie.

E allora il Signore chiamò Noè e gli disse: «Sarebbe ora che vi deste qualche regola di pianificazione».

E perciò gli uomini fecero i PTC, i PTP, i PSC, i POC, i RUE, i PAC e, per l'ambiente, la VAS, la VIA e l'AIA. Ma siccome nessuno ci capiva nulla le disgrazie continuavano ad accadere.

E allora il Signore chiamò Noè e gli spiegò: «Anche l'edilizia deve essere regolata».

E dunque gli uomini fecero la SCIA, la DIA, la CIL, la CILA, la CEA da inviare a mezzo PEC per avere il PDC. Ma siccome litigavano s'inventarono anche il TAR. Le catastrofi continuavano a susseguirsi senza tregua.

E allora il Signore spazientito riconvocò Noè e gli intimò: «Ma cosa state combinando? Fate subito degli sportelli unici per semplificare gli adempimenti».

E allora gli uomini istituirono lo SUE e lo SUAP, ma i disastri continuavano inesorabilmente ad accadere. C'erano a quei tempi sulla terra i geometri – e anche dopo – quando i figli di Dio si univano alle figlie degli uomini e queste partorivano loro degli altri geometri: sono questi i progettisti dell'antichità, uomini pericolosi.

E allora il Signore richiamò Noè e suggerì: «Ci vogliono tecnici qualificati, norme tecniche chiare e univoche, certificazioni, responsabilità ben identificate».

E quindi gli uomini s'inventarono le NTC, gli EN, l'UNI, l'ISO, l'ITP e poi anche i RUP, i DLL, i RLL, i DT, i RSPP, i DVR e il FTO, ma il territorio continuava ad essere dissestato.

E allora il Signore esclamò: «Vi aiuterò io a dare regolarità al vostro caos» e

creò le stagioni e i mesi e dette loro un nome mettendo in ordine il calendario. Ma anche così gli uomini non riuscivano proprio a organizzarsi: sprecavano l'acqua d'estate e morivano di sete, andavano sott'acqua con le prime piogge autunnali e si tiravano addosso le frane irrigando e disboscando a sproposito.

E allora il Signore chiamò nuovamente Noè e gli ordinò: «Con il caos che avete combinato, non vi resta altro che dotarvi di piani di protezione civile e di un sistema di allertamento».

E allora gli uomini fecero i piani di protezione civile scritti su carta e li chiusero nei cassetti, per tirarli fuori solo in caso di procedimenti penali, e misero in piedi un sistema di allerta meteo in quattro livelli che, per chiarezza, chiamarono criticità ordinaria, moderata ed elevata, da inviare alle Prefetture rigorosamente a mezzo fax e da queste ai sindaci per scaricare su di loro le responsabilità.

Tutti continuavano a non capirci nulla e per questo gli uomini continuavano ad affogare e a rimanere sepolti dalle frane, mentre i sindaci dovevano difendersi nei tribunali.

E allora il Signore sbottò con Noè: «Benedetti figlioli! Ma non potevate inviare gli allerta per sms con il *cell broacasting*? E magari fare una app? Oppure usare Telegram o Whatsapp? Non potevate usare dei codici di allerta un po' più semplici? Magari con i colori? Non potevate insegnare i piani di protezione civile nelle scuole e negli uffici? E magari affiggerli nelle pubbliche piazze e mandarli a tutti per email».

Poi il Signore si ricordò che gli uomini avevano appena approvato il GDPR sulla privacy che, secondo loro, impediva di fare molte di queste semplici cose.

E allora il Signore capì che la stupidità degli uomini era grande sulla terra e che ogni disegno concepito dal loro cuore non era altro che assurda complicazione e disse a Noè: «Siete proprio degli incapaci. Adesso io sarò il vostro commissario straordinario. Ve lo farò io un piano per la messa in sicurezza dell'intero territorio».

E Dio elaborò i progetti esecutivi di una miriade di opere di rinaturalizzazione dei corsi d'acqua, di regimazione delle acque, di sistemazione idraulica e

forestale delle aree montane e collinari, di difesa delle coste.

Per aprire i cantieri però gli uomini gli chiesero di fare una gara ai sensi del nuovo codice appalti, che essi si divertivano a modificare tutti gli anni per renderlo inapplicabile.

Intervennero l'ANAC: gli chiesero l'iscrizione alla CCIAA, all'AUSA e alla BDNCP, il casellario giudiziale, il certificato antimafia e il CEL, la certificazione SOA, l'AVCPass, il PassOE, il DURC e il DUVRI, il CUP ...

Non fecero in tempo a chiedergli il CIG perché un fulmine si abbatté sull'agenzia anticorruzione, con un fragoroso rumore simile a PEC.

La voce del Signore tuonò tra le folgori: «Sterminerò dalla terra l'uomo che ho creato: con l'uomo anche i geometri e gli ingegneri, gli architetti e i geologi, i giuristi e i giornalisti, gli esperti e gli incapaci, perché sono pentito d'averli fatti!».

Solo Noè trovò grazia agli occhi del Signore, perché era l'unico che non aveva mai fatto un condono edilizio.

Allora Dio disse a Noè: «È venuta per me la fine di ogni uomo, perché la terra, per causa loro, è piena di dissesti. Fatti un'arca di legno di cipresso. Ecco io manderò il diluvio, cioè le acque, sulla terra, per distruggere sotto il cielo ogni carne, in cui è alito di vita. Quanto è sulla terra perirà. Ma con te io stabilisco la mia alleanza. Entrerai nell'arca tu e con te i tuoi figli, tua moglie e le mogli dei tuoi figli. Di quanto vive, di ogni carne, introdurrà nell'arca due di ogni specie, per conservarli in vita con te: siano maschio e femmina».

Noè eseguì tutto. Come Dio gli aveva comandato, così egli fece.

Dopo sette giorni, le acque del diluvio furono sopra la terra. Eruppero tutte le sorgenti del grande abisso e le cateratte del cielo si aprirono.

Il diluvio durò sulla terra quaranta giorni: le acque crebbero e divennero poderose e crebbero molto sopra la terra e l'arca galleggiava sulle acque.

Così fu sterminato ogni essere che era sulla terra con gli uomini: gli animali domestici, i rettili e gli uccelli del cielo, i geometri e gli ingegneri, gli architetti e i geologi, i giuristi e i giornalisti, gli esperti e gli incapaci.

Essi furono sterminati dalla terra e rimase solo Noè e chi stava con lui nell'arca. Poi Dio si ricordò di Noè, di tutte le fiere e di tutti gli animali domestici che erano con lui nell'arca. E allora chiuse le fonti dell'abisso e le cateratte del cielo e trattenne la pioggia dal cielo. Le acque andarono via via ritirandosi dalla terra e calarono dopo centocinquanta giorni.

Nel settimo mese, il diciassette del mese, l'arca si posò sui monti dell'Ararat. Noè uscì con i figli, la moglie e le mogli dei figli. Tutti i viventi e tutto il bestiame e tutti gli uccelli e tutti i rettili che strisciano sulla terra, secondo la loro specie, uscirono dall'arca.

Seminascosti dalla vasta ombra dell'arca, strisciarono fuori anche due burocrati, animali senza cervello e senza cuore, uno maschio e l'altra femmina, che si erano infiltrati insieme alle altre specie.

Dio benedisse Noè e i suoi figli e disse loro: «Siate fecondi e moltiplicatevi e riempite la terra e dominatela».

Solo i burocrati lo presero in parola e iniziarono subito ad emanare nuovi regolamenti.

Dopo qualche tempo il territorio era di nuovo dissestato e gli uomini erano diventati incapaci di comunicare, se non con una babelica selva di acronimi e sigle.

Glossario

| | |
|---------|---|
| AIA | Autorizzazione Integrata Ambientale |
| ANAC | Autorità Nazionale Anticorruzione |
| AUSA | Anagrafe Unica delle Stazioni Appaltanti |
| AVCPass | Pass dell'Autorità per la Vigilanza Contratti Pubblici |
| BNDPCP | Banca Dati Nazionale dei Contratti Pubblici |
| CCIAA | Camera di Commercio, Industria, Artigianato e Agricoltura |
| CEA | Segnalazione certificata di conformità edilizia e agibilità |
| CEL | Certificato di Esecuzioni Lavori |
| CIG | Codice Identificativo di Gara |
| CIL | Comunicazione Inizio Lavori |
| CILA | Comunicazione Inizio Lavori Asseverata |
| CUP | Codice Unico di Progetto |
| DIA | Dichiarazione Inizio Attività |
| DLL | Direttore dei Lavori |
| DT | Direttore Tecnico |
| DURC | Documento Unico di Regolarità Contributiva |
| DUVRI | Documento Unico di Valutazione Rischi da Interferenze |
| DVR | Documento di Valutazione Rischi |
| EN | European Standards |
| FTO | Fascicolo Tecnico Opera |
| GDPR | General Data Protection Regulation |
| ISO | International Organization for Standardization |
| ITP | Idoneità Tecnica Professionale |
| NTC | Norme Tecniche delle Costruzioni |
| PAC | Piano Attuativo Comunale |
| PassOE | Fascicolo virtuale dell'Operatore Economico |
| PDC | Permesso di Costruire |
| PEC | Posta Elettronica Certificata |
| POC | Piano Operativo Comunale |
| PSC | Piano Strutturale Comunale |
| PTC | Piano Territoriale di Coordinamento |
| PTP | Piano Territoriale Paesaggistico |
| RL | Responsabile dei Lavori |
| RSPP | Responsabile Servizio Prevenzione e Protezione |
| RUE | Regolamento Urbanistico Edilizio |
| RUP | Responsabile Unico del Procedimento |
| SCIA | Segnalazione Certificata di Inizio Attività |
| SOA | Società Organismo di Attestazione |
| SUAP | Sportello Unico per le Attività Produttive |
| SUE | Sportello Unico per l'Edilizia |
| TAR | Tribunale Amministrativo Regionale |
| UNI | Ente nazionale italiano di Unificazione |
| VAS | Valutazione Ambientale Strategica |
| VIA | Valutazione di Impatto Ambientale |

L'applicazione di analisi morfometriche speditive sulle colate rapide della Val Lapisina (Treviso)

Debris flow geomorphometric analysis: the Val Lapisina (Treviso) study case

Luciano Arzillero
Regione del Veneto
E-mail: luciano.arzillero@regione.veneto.it

Mauro Bettella
Regione del Veneto

Marco Cavalli
CNR IRPI Padova

Veronica Tornielli
Regione del Veneto

Parole chiave: colate detritiche, analisi geomorfometrica, interventi di mitigazione, infrastrutture

Key words: debris flow, geomorphometric analysis, mitigation measures, infrastructure

PREMESSA

Il presente contributo intende esporre un caso studio per la definizione di aree a maggior probabilità di accadimento di fenomeni di colata rapida lungo il versante detritico posto in sinistra idrografica della Val Lapisina in comune di Vittorio Veneto (TV). Vengono presi in considerazione gli effetti delle colate avvenute nel recente passato e oggetto di segnalazione agli enti competenti nonché le caratteristiche delle stesse osservate durante i sopralluoghi.

A questo riguardo è corretto informare che i dati storici disponibili sono in realtà limitati in quanto essi non contemplano la totalità dei fenomeni accaduti nel corso degli anni ma solamente la frazione di questi che ha in qualche maniera coinvolto bersagli significativi, in questo caso rappresentati dalle infra-

strutture viarie (SS n. 51 di Alemagna, linea ferroviaria VE-BL, parte basale dell'Autostrada A27), con conseguente attenzione per la pubblica incolumità da parte degli enti pubblici e dei gestori delle stesse.

L'analisi per una gestione delle priorità d'intervento che viene esposta, si basa sull'integrazione dei metodi classici con un innovativo approccio metodologico speditivo di tipo geomorfometrico.

Il metodo applicato consente di individuare, con pochi dati e una definizione adatta allo scopo, le aree del versante in cui è più probabile l'innescò di colate detritiche, fenomeni che si manifestano specificatamente in occasione di precipitazioni piovose abbondanti e concentrate in aree relativamente confinate.

INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area di studio si trova nel territorio regionale veneto, più precisamente in comune di Vittorio Veneto sito nella parte settentrionale della provincia di Treviso al confine con quella di Belluno (Fig. 1).

La Val Lapisina, detta anche Vallone di Fadalto, interrompe la continuità delle Prealpi, separando il Col Visentin dall'Altopiano del Cansiglio. È limitata a nord dalla Sella del Fadalto (489 m) mentre a sud trova la sua naturale continuazione nella vallata trevigiana. La valle è in comunicazione anche con la pianura della zona di Vittorio Veneto attraverso la stretta di Serravalle. Dal punto di vista orografico l'area è ricompresa nei versanti nord ovest che sovrastano lo specchio lacuale del Lago Morto. Le cime più significative sono



Figura 1. Inquadramento dell'area



Figura 2. Inquadramento dell'area su base cartografica I.G.M.

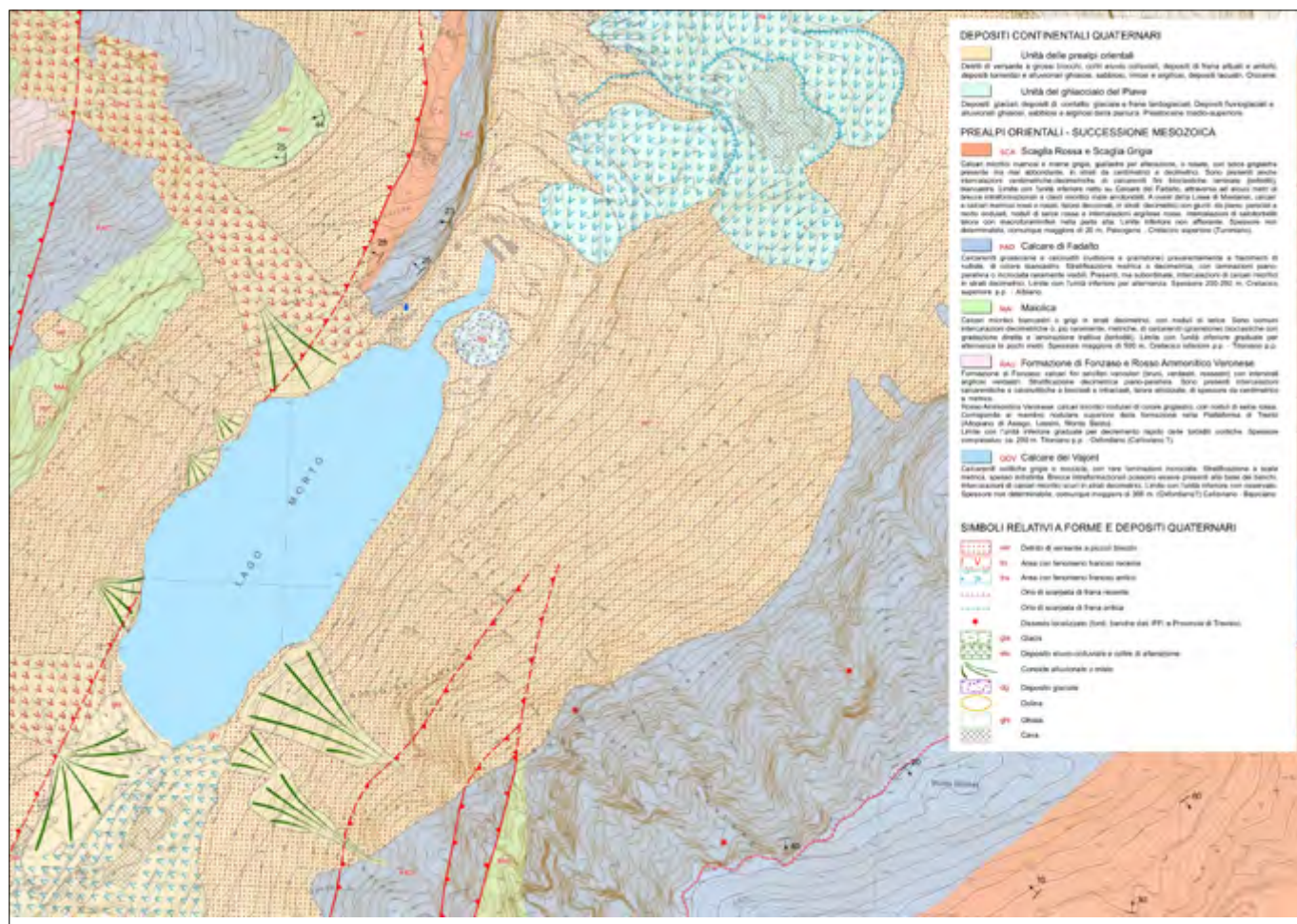


Figura 3. Stralcio dalla Carta Geologica alla scala 1:10.000

il Monte Millifret (1581 m) e il Monte Pizzoc (1565 m) che delimita le porzioni meridionali del gruppo montuoso (Fig. 2).

INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

Le successioni rocciose di origine sedimentaria che costituiscono il substrato delle colline trevigiane e della fascia prealpina hanno origini che risentono fondamentalmente di un prevalente condizionamento paleogeografico (ambiente di sedimentazione) e tettonico-strutturale (assetto geodinamico).

La Val Lapisina con direzione SSO-NNE è impostata lungo l'asse di una piega sinclinale; i fianchi vallivi sono molto acclivi e per lo più costituiti da calcari mesozoici a nord e, procedendo verso sud-est, affiora un'alternanza di rocce cenozoiche (arenarie, calcari e marne) in corrispondenza della Costa di Serravalle. La Val Lapisina è una valle glaciale di età quaternaria, originata da un ramo del ghiacciaio del Piave, che in corrispondenza della località Santa Giustina a Nord di Vittorio Veneto si biforcava ed andava ad occupare la vallata trevigiana fino a costituire l'apparato glaciale di Vittorio Veneto. La prolungata permanenza delle lingue glaciali in valle, il loro potenziale erosivo e il loro rapido ritiro sono la causa delle numerose frane tardiglaciali staccatesi dai versanti della vallata per la cessata spinta della massa glaciale e progressivamente riattivatesi fino all'epoca recente. Il Lago Morto rappresenta infatti un lago di sbarramento ad opera di depositi alluvionali, morenici e di frana. Il nome del lago sembra derivare dall'assenza di immissari o emissari, essendo probabilmente alimentato attraverso una circolazione carsica sotterranea (Bondesan *et al.*, 2015).

Nel particolare, l'area di indagine è per lo più composta da affioramenti rocciosi appartenenti alla formazione del Calcere di Fadalto che interessano la porzione più alta dei versanti, mentre la fascia medio bassa sino al Lago Morto è ricoperta da importanti depositi di detrito di versante. La carta geologica alla scala 1:10.000 (Sezione n. 64090 Fadalto) documenta infatti per quest'area una tra le più ampie superfici cartografate in provincia di Treviso con detrito di versante a piccoli blocchi, affiancata da apparati di accumulo detritico rientranti nella definizione di legenda "conoide alluvionale o misto" (Bondesan *et al.*, 2013) (Fig. 3). Le attività di erosione e accumulo di detrito caratterizzano geologicamente questi ambienti sin dai periodi post-glaciali, come testimoniano le



Figura 4. Versante sinistro della Val Lapisina su cui si innescano le colate detritiche

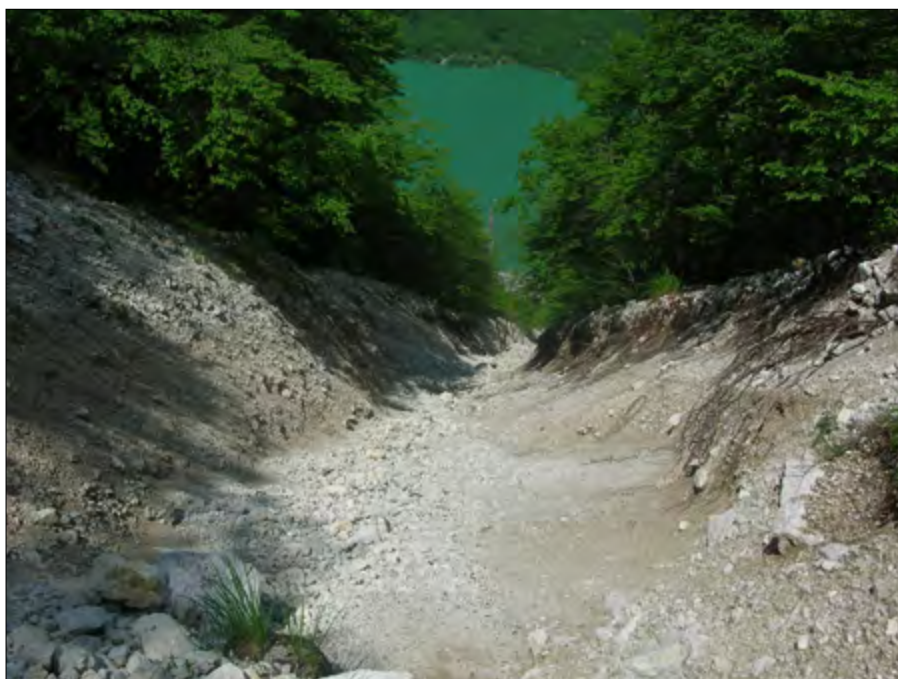


Figura 5. Particolare di uno dei canali attivi di colata

aree con fenomeno franoso antico. Per la particolare situazione strutturale e per la prolungata erosione glaciale, i fianchi della valle si presentano assai ripidi, con dislivelli, tra il fondovalle e le creste, superiori ai 1000 metri.

FENOMENI DI COLATA DETRITICA

Si sono verificati negli ultimi anni alcuni fenomeni preoccupanti di colata detritica. In particolare la strada statale di Alemagna è stata interessata in più punti dall'apporto di materiale lapideo grossolano misto ad acqua, trasportato dalla base dei costoni rocciosi a più alta quota e veicolato lungo alcune principali linee di impluvio (Fig. 4), con prevalente

attività di erosione nella parte superiore e di accumulo in quella inferiore, con la particolare attitudine a formare nella parte intermedia del versante incisioni profonde (Fig. 5). Alcuni di questi fenomeni hanno portato alla formazione, nelle zone dove non si è impostata una vera e propria vallecchia, di depositi detritici lobati (Fig. 6). Tali forme di erosione e di accumulo non costituiscono nella realtà l'eccezione nella dinamica deposizionale del versante in questione, bensì la sua manifestazione più evidente e improvvisa: la classificazione di tali fenomeni franosi in colate rapide tipo *debris flow* le connota quali fenomeni da tenere in particolare evidenza dal punto di vista della pericolosità geologica. I de-



Figura 6. Area di divagazione della colata con lobo frontale

positi sulla quale si impostano le colate segnalate in quest'area sono in realtà il risultato di millenni di azione di crolli, erosione, trasporto e accumulo del materiale lapideo costituente il crinale roccioso che limita verso ovest l'Altopiano del Cansiglio. Tale assetto deriva da un rilassamento tensionale dei versanti conseguente al ritiro del ghiacciaio del Piave dalla Val Lapisina che determinò la caduta di grandi frane (ad es. la frana del Fadalto che determinò la formazione del Lago di S. Croce) e il successivo impostarsi di falde detritiche in continua evoluzione. Per questo motivo l'assetto geomorfologico descritto nella Carta Geomorfologica (Bondesan *et al.*, 2015) corrisponde a un'ampia falda detritica di versante solcata da numerose vallecole a "V" e da conoidi di deiezione.

ANALISI DEGLI EVENTI OCCORSI

Sulla base delle osservazioni di terreno realizzate con i sopralluoghi relativi agli eventi del 2017 e tenuto conto di quanto è stato possibile ricostruire sugli eventi storici censiti, si possono esprimere le seguenti considerazioni.

In relazione alla tipologia di fenomeno franoso definito come colamento rapido, debris flow, si può evidenziare che le caratteristiche topografiche, litologiche e morfologiche dei versanti del Monte Millifret che sovrastano l'area del Lago Morto evidenziano una predisposizione all'innescò di tali fenomeni, come peraltro testimoniato dalla ciclicità di eventi rilevata dal 2011 ad oggi. Tale predisposizione viene confermata nella cartografia tematica disponibile, principalmente quella del PAI. (Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino del fiume Livenza)

Indubbiamente l'importante disponibilità di materiale detritico presente lungo buona parte del versante e le ele-

vate pendenze che caratterizzano l'intera area risultano i principali elementi di fragilità di questa porzione di versante. Va però precisato che l'innescò di colate sul versante è essenzialmente connesso alla disponibilità di quantitativi d'acqua tali da permettere la mobilitazione del materiale disponibile e da quanto questo risulti connesso alla presenza di un reticolo idrografico. Proprio quest'ultimo elemento merita particolare attenzione visto che lungo i versanti della Val Lapisina non vi sono veri e propri corsi d'acqua ma piuttosto la presenza di impluvi che periodicamente convogliano le acque di precipitazione verso valle. I piccoli bacini idrografici, nelle porzioni prossime al Lago Morto, risultano in alcuni punti non ben delimitabili data la forte omogeneità morfologica propria di queste porzioni di versante; tuttavia sembrano chiaramente individuabili le aree preferenziali di recapito delle acque che risultano quindi anche le zone di potenziale deposito dei fenomeni di colata detritica. Una prima conferma a tali considerazioni è dimostrata dalla ripetitività con cui gli eventi censiti dal 2011 colpiscono determinate zone come evidenziato dalle segnalazioni di colata pervenute finora.

A seguito degli eventi del 2017, risultati avere una magnitudo mediamente più rilevante dei precedenti, sono stati effettuati specifici approfondimenti tecnici con il supporto delle varie strutture ed enti che operano sul territorio.

Le risultanze di seguito riportate si basano sulle osservazioni svolte in sede di sopralluogo e sull'analisi della documentazione disponibile.

Dal punto di vista meteorologico l'area è stata oggetto di due eventi di pioggia a carattere temporalesco i cui aspetti principali sono descritti nelle relazioni di evento pubblicate dal Centro Funzionale Decentrato regionale sulla base di elaborazioni condotte da ARPAV (Relazione

di evento 28-29/06/2017 del CFD della Regione del Veneto). Il primo evento è avvenuto nella giornata del 25/06/17 ed ha interessato principalmente zone pre-alpine del vicentino, basso bellunese, alto trevigiano e rodigino orientale; il secondo si è sviluppato tra le giornate del 28 e 29/06/17 ed ha interessato, con fenomeni localmente intensi tra cui forti rovesci, forti raffiche di vento e locali grandinate, in particolar modo le Prealpi vicentine e bellunesi e la pedemontana trevigiana (punta di precipitazione massima di 113 mm a Follina - TV).

Nell'area d'interesse si sono registrati importanti valori di intensità in corrispondenza della manifestazione dei dissesti che, da notizie estratte da quotidiani locali, dovrebbero essere occorsi intorno alle ore 15 (ora legale). Dai dati registrati dalla centralina pluviometrica di Vittorio Veneto (posta a quota di 122 m s.l.m.) si può confermare il picco di pioggia di 20.2 mm in 15 minuti intorno alle 13.45 ora solare e un altro successivo intorno alle ore 15.00 di circa 11 mm in 20 minuti. Va evidenziato che l'utilizzo dei quantitativi misurati può sottostimare l'effettiva intensità dei fenomeni meteorologici occorsi nelle aree di interesse in quanto il punto di misura della pioggia si trova spostato verso valle rispetto all'area e la precipitazione che ha innescato i fenomeni di colata, di tipo temporalesco, è stata molto localizzata; i quantitativi di acqua sopra citati possono quindi considerarsi sottostimati considerato che, con molta probabilità, la zona di innescò della colata si trova sopra gli 800 m s.l.m..

Come accennato, vi è una certa ricorrenza degli eventi di colata che interessano i versanti nord ovest del Monte Millifret per cui si ritiene utile fare il punto, sulla base della documentazione di archivio e di quella resa disponibile dagli enti che operano sul territorio, sull'ubicazione e sulle date di accadimento degli eventi recenti e storici. I dati non sono esaustivi della ripetitività dei fenomeni di colata nella zona, si conoscono altri eventi non documentati, ma forniscono un quadro temporale e spaziale delle dinamiche di versante a cui quest'area è soggetta.

Gli eventi registrati e di cui è stato possibile trovare documentazione risultano i seguenti:

- 28/06/2017 SS51 km 21+400 e km 21+900 (3 punti)
- 16/10/2015 SS51 km 20+890
- 05/11/2014 SS51 km 20+230 e km 20+300
- 27/08/2011 SS51 tra km 20+000 e km 21+000 (4 punti)

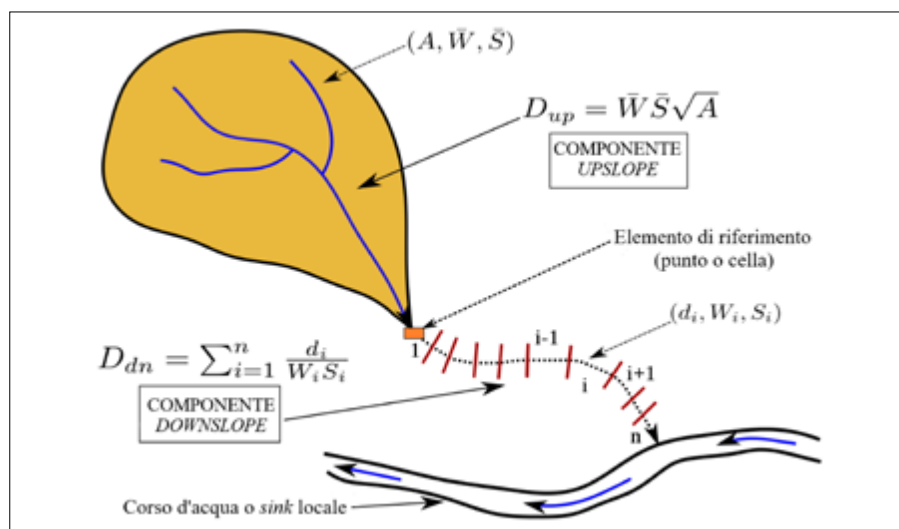


Figura 7. Le componenti upslope e downslope dell'indice di connettività dove A è l'area drenata (m^2), W è un indicatore adimensionale dell'impedenza al deflusso, S è la pendenza (m/m) e d la dimensione dell'elemento di riferimento (modificata da Borselli et al., 2008)

APPROCCIO GEOMORFOMETRICO

La dinamica del sedimento nei corsi d'acqua montani, specialmente in quelli che drenano i bacini di minori dimensioni e presentano le pendenze più elevate, può manifestarsi attraverso processi di caratteristiche assai diverse. In particolare, le colate detritiche sono fenomeni piuttosto diffusi in questo contesto e sono in grado di causare ingenti danni. La valutazione delle aree interessate dalle colate detritiche è uno dei maggiori problemi per gli enti preposti alla gestione del territorio. È dunque di fondamentale importanza disporre di affidabili e speditivi metodi per una mappatura preliminare delle aree potenzialmente interessate da colate detritiche a scala regionale. Nell'ambito di una convenzione tra la Regione del Veneto e il CNR IRPI sono stati sviluppati diversi strumenti software (Cavalli et al., 2018) che implementano approcci geomorfometrici per: i) la stima della connettività del sedimento, ii) l'identificazione dei potenziali punti d'innesco delle colate detritiche e iii) la caratterizzazione della dinamica della colata detritica lungo il reticolo idrografico. Questo lavoro presenta i risultati dell'applicazione di tali strumenti al caso di studio della Val Lapisina (Treviso) interessata da colate detritiche nel 2011 e nel 2017.

MATERIALE E METODI

i) Indice di Connettività

La connettività del sedimento (Fig. 7) può essere definita come il grado di connessione dei flussi di sedimento all'interno di un territorio, è una proprietà emergente dei bacini idrografici e rappresenta un parametro chiave nello studio delle dinamiche del

sedimento (Heckmann et al., 2018). La caratterizzazione spaziale dei pattern di connettività in un bacino consente di stimare la probabilità che il sedimento presente in un'area sorgente raggiunga un'area di interesse situata a valle, quale ad esempio il reticolo canalizzato. L'Indice di Connettività (IC) (Borselli et al., 2018; Cavalli et al., 2013) è un indicatore geomorfometrico sviluppato per caratterizzare la potenziale dinamica del sedimento a partire da un modello digitale delle elevazioni (DEM). L'indice intende rappresentare la potenziale connettività del sedimento tra le diverse parti di un bacino e, in particolare, mira a valutare la potenziale connessione tra i versanti e le diverse aree del bacino che agiscono come aree di accumulo del sedimento (*sink*) o risultano di particolare interesse a fini gestionali (e.g. corsi d'acqua principali, rete viaria).

L'indice di connettività (IC) è definito come:

$$IC = \log_{10} (D_{up} / D_{dn}) \quad (1)$$

dove D_{up} e D_{dn} rappresentano rispettivamente la componente *upslope* e quella *downslope* dell'indice (Fig. 7). I valori di connettività variano nell'intervallo $[-\infty, +\infty]$, con la connettività che aumenta al crescere di IC.

La componente D_{up} definisce il potenziale per il trasporto del sedimento verso valle prodotto eventualmente disponibile a monte mentre la componente D_{dn} considera invece la lunghezza del percorso necessario al sedimento per raggiungere il più vicino target di riferimento (e.g. corso d'acqua principale, rete stradale, lago). Entrambe le componenti sono basate sul calcolo di area drenata, pendenza ed una stima dell'im-

pedenza al flusso di sedimento che può essere stimato sulla base della scabrezza superficiale (Cavalli et al., 2013).

ii) Identificazione dei potenziali punti d'innesco delle colate detritiche

Anche l'estrazione dei possibili punti di innesco di una colata detritica può essere effettuata mediante approccio geomorfometrico ed, in particolare, sulla base di una relazione tra pendenza locale e area contributiva. La relazione, derivata empiricamente da Zimmermann et al. (1997) a partire da diversi eventi di colata in Svizzera si esprime secondo la formula:

$$S = 0.32 * A^{-0.2} \quad (2)$$

dove S è la pendenza locale (m/m) e A l'area contributiva (km^2). Le celle classificate come potenziale innesco devono eccedere questa soglia.

Questo approccio trova fondamento nel fatto che, in presenza di sedimento disponibile per essere mobilizzato, l'innesco di una colata detritica canalizzata dipende dal superamento di valori critici di portata liquida e pendenza del canale.

Come suggerito da Cavalli et al. (2017), si è posto un limite alla relazione per valori di pendenza locale maggiori di 38° , dove è ragionevole supporre che la quantità di materiale detritico mobilizzabile possa essere modesta o trascurabile. Per quanto riguarda l'area drenata, gli stessi autori ritengono che un limite per valori superiori a $20 km^2$ possa ritenersi ampiamente cautelativo.

Questo metodo fornisce un'indicazione di tipo puntuale sul potenziale innesco di una colata detritica. Un'informazione di tipo areale può essere fornita da una mappa di densità derivabile tramite un'analisi di Kernel Density con un raggio d'indagine scelto per l'area di studio pari a 50 m. La mappa della densità

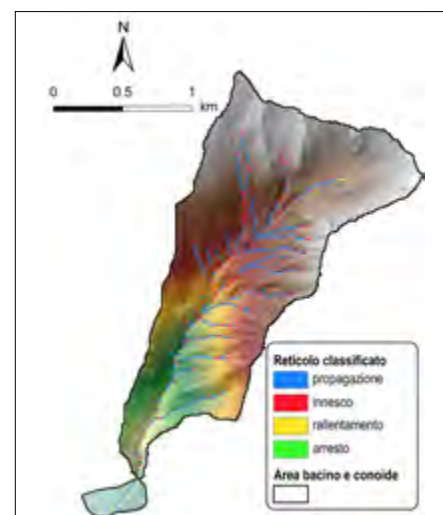


Figura 8. Esempio di classificazione della rete idrografica

permette di individuare le parti del territorio oggetto di studio in cui è maggiore la concentrazione dei potenziali punti d'innescò contribuendo all'individuazione delle situazioni di maggior pericolo lungo le aste torrentizie e sui versanti.

iii) *Classificazione del reticolo sintetico*

Poiché lungo il canale interessato da colata detritica, questi fenomeni possono presentare un diverso cinematismo, la procedura GIS sviluppata da Cavalli *et al.* (2017) distingue tra i possibili punti di innescò delle colate detritiche, i tratti interessati di propagazione e quelli che presentano tendenza al deposito del materiale trasportato o all'arresto della massa fluente.

La ripartizione dei canali da colata detritica viene effettuata sulla base di soglie critiche di pendenza locale definite sulla base di valori riportati in letteratura (e.g. Vandré, 1985) e suddividendo le aste torrentizie secondo il seguente schema di classificazione:

- possibile punto d'innescò nel caso sia superata la soglia critica dell'equazione (2), con pendenza locale inferiore a 38° ed area contribuyente inferiore a 20 km^2 ;
- rallentamento quando la pendenza locale è compresa tra 3° e 8° ;

- arresto per pendenze locali del pixel inferiori ai 3° ;
- propagazione per le restanti celle del reticolo.

Il reticolo classificato in base ad innescò, propagazione, rallentamento e deposito (*Fig. 8*) offre un primo quadro conoscitivo sul controllo topografico sulla dinamica di una potenziale colata detritica lungo tutte le aste torrentizie dell'area oggetto di studio (Cavalli *et al.*, 2018).

APPLICAZIONE SPEDITIVA DELL'ANALISI GEOMORFOMETRICA

Come ulteriore elemento di valutazione per l'individuazione delle aree maggiormente soggette a questa tipologia di dissesti, quale ulteriore strumento oggettivo d'indagine, si è proceduto ad un'analisi di tipo speditivo utilizzando degli indicatori geomorfometrici.

Per tale tipologia di analisi è necessario l'utilizzo di un rilievo topografico accurato derivante da rilievo LiDAR. In quest'area l'unico dato disponibile, completo ed utilizzabile per tali elaborazioni è risultato il DEM derivato da carta tecnica regionale numerica. Le elaborazioni si basano quindi sull'utilizzo di un dato topografico di dettaglio

(DEM con risoluzione $5 \times 5 \text{ m}$). I risultati ottenuti, tenuto conto della base topografica disponibile, sono da considerare come prima valutazione sulla tematica e possono essere una base di partenza a supporto dei necessari studi di dettaglio che dovrebbero essere realizzati per una compiuta definizione delle singole situazioni di dissesto.

Per le analisi si è provveduto inizialmente ad estrarre i bacini dell'intero versante, con una definizione utile ad ottenere un reticolo idrografico caratteristico. I risultati evidenziano alcune aree che meglio si prestano ad eventuali innescò e propagazione di fenomeni di colata detritica. In talune circostanze, il processamento di questi dati ha messo in luce che la presenza di incisioni adiacenti può dar luogo a divagazioni e costituire vie preferenziali di propagazione della colata. Un altro elemento di valutazione, che conferma quanto già emerso dalle prime osservazioni circa le caratteristiche di predisposizione della zona indagata, è contenuto nell'elaborato sull'indice di connettività che, da un punto di vista topografico, classifica con valori medio alti la maggior parte del versante indagato (*Fig. 9*). In particolare le zone con valori alti ben identificano i percorsi più probabili che si estendono

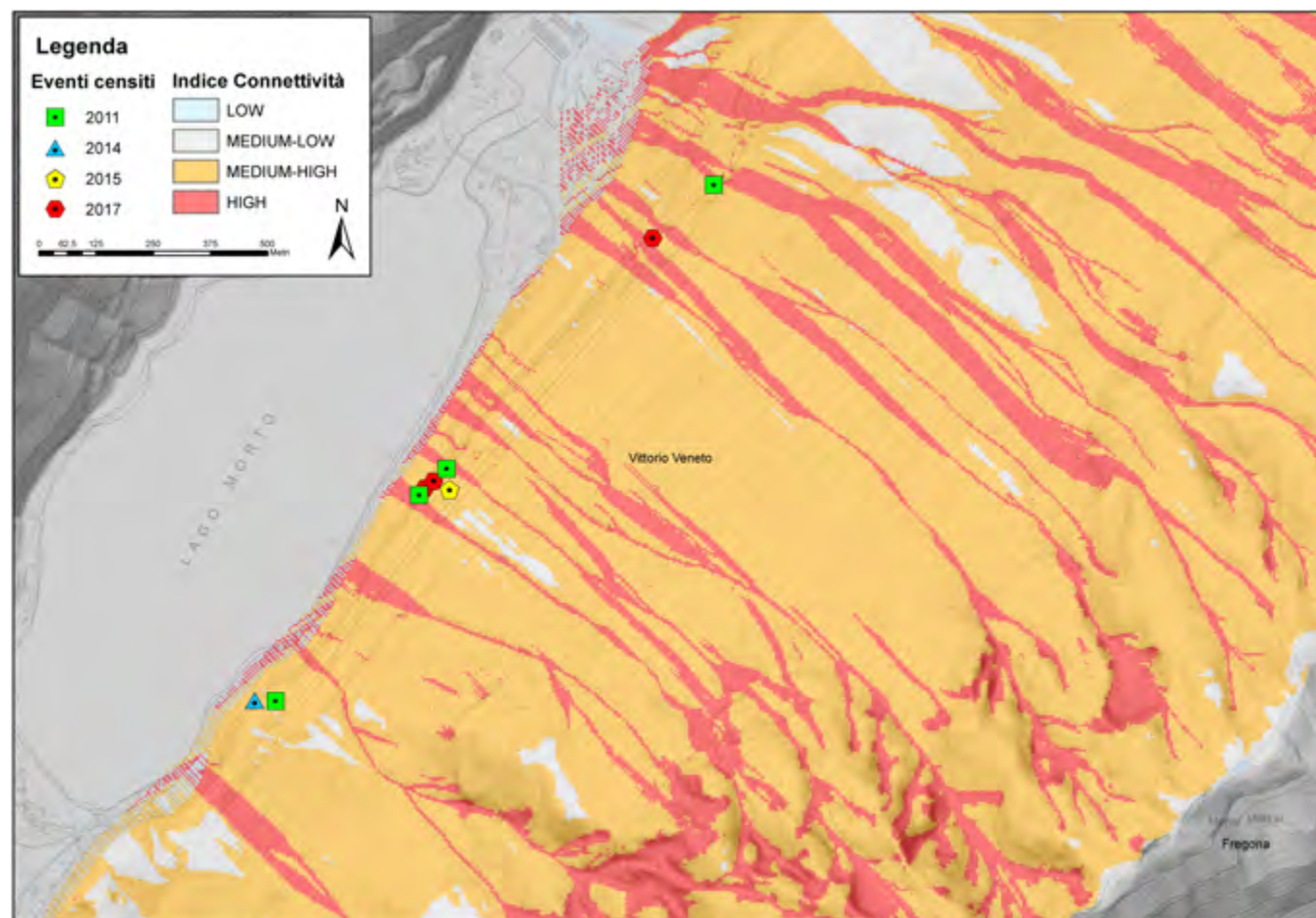


Figura 9. Indice di connettività nell'area studio

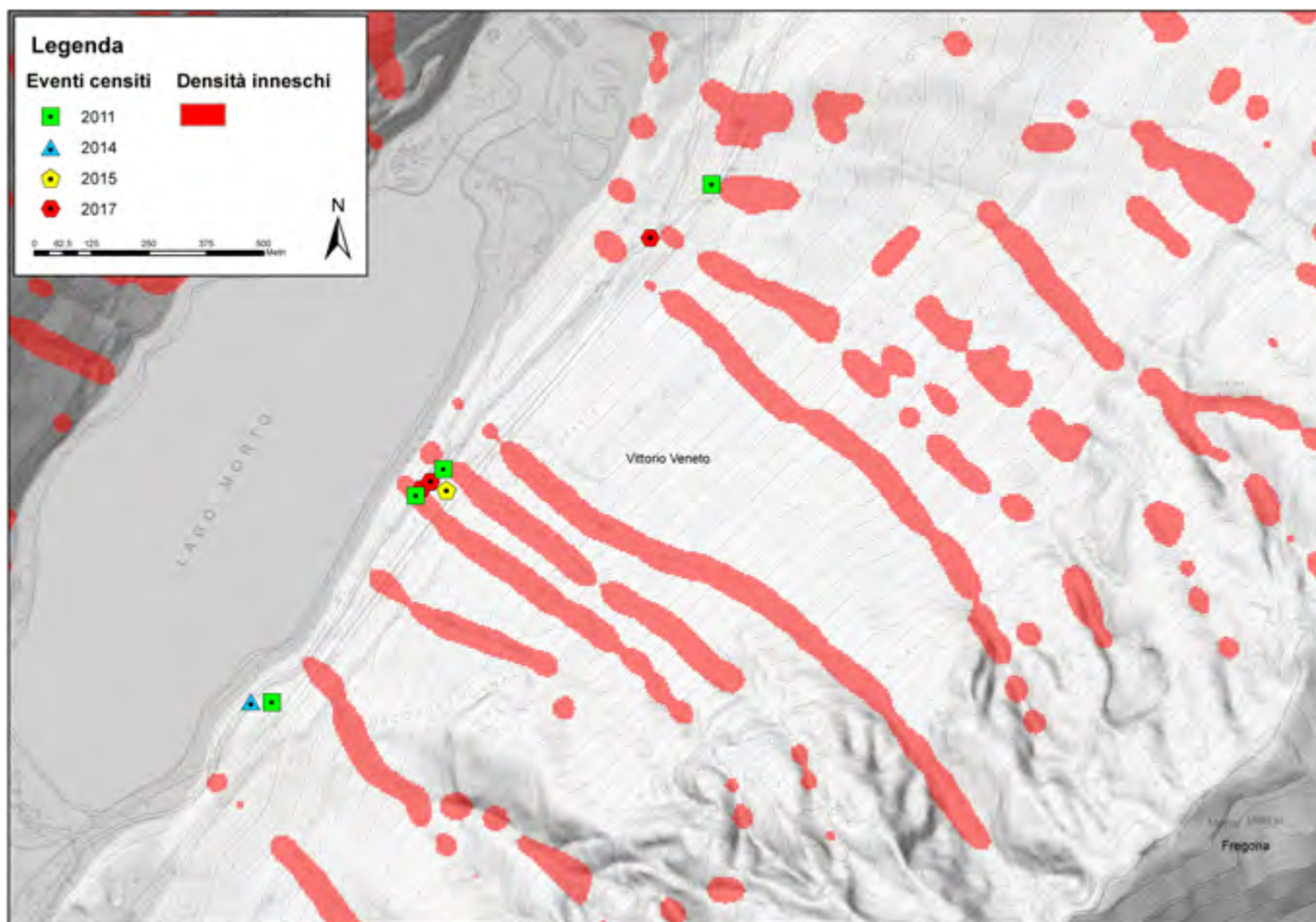


Figura 10. Densità degli inneschi nell'area studio

dalle parti alte dei bacini sino alle zone più prossime al lago.

INDIVIDUAZIONE DELLE PRIORITÀ

Come è possibile rilevare dall'apposito elaborato (Fig. 9), le aree con un indice di connettività elevato, rappresentate in rosso, evidenziano alcune zone del versante dove è presente una più alta connessione del sedimento con il reticolo idrografico. Quindi, laddove il materiale detritico è presente sul versante vi è una maggiore predisposizione ad una propagazione di fenomeni di colata di detrito. Si nota come vi sia una buona sovrapposizione tra queste zone e le aree di deposito degli eventi di colata censiti.

Un'ulteriore correlazione, tra il posizionamento degli eventi di colata e l'indagine geomorfometrica, viene evidenziata anche dall'analisi che porta alla classificazione del reticolo in base alla propensione topografica all'innesco, propagazione, rallentamento e deposito di una colata detritica. Tutti i reticoli classificati evidenziano valori tali da assicurare un innesco e una propagazione di eventuali fenomeni di colata detritica sino alla base del versante dove, solo nelle immediate vicinanze del lago, vi sono le condizioni per un arresto del flusso.

Per un'immediata lettura di questa tipologia di dato si riporta un elaborato dove vengono evidenziati i tratti di innesco utilizzando il dato di densità (Fig. 10). Da ultimo, considerando che le colate detritiche, in relazione al grado di maturità dell'area di deposito, sono soggetti a divagazione sul versante dando origine a fenomeni di avulsione, si ritiene che i risultati ottenuti forniscano indicazioni di massima anche sulle possibili aree di interesse di tali fenomeni.

In conclusione, l'indagine sul tema delle colate detritiche che possono interessare l'area in studio, basata sulla raccolta delle informazioni disponibili, integrate da un'analisi speditiva ottenuta utilizzando gli indicatori geomorfometrici descritti e confrontati i risultati con i rilievi di campagna, ha permesso di identificare sul versante dei settori (S) (Fig. 11).

A tali settori di interesse, prossimi alle infrastrutture esistenti, è possibile associare un grado di priorità per la definizione di un piano differenziato di approfondimenti necessari alla realizzazione di interventi di mitigazione. In questo caso studio le priorità sono state suddivise in primaria e secondaria principalmente in relazione alla ripetitività degli eventi di colata ad oggi

registrati che fanno quindi ritenere tali settori interessati da una maggiore attività. I settori individuati con le sigle S2, S4, S6 e S7 sono definiti a priorità 1, in quanto sono già stati interessati da eventi in passato e quindi, in un'ottica di pianificazione delle attività, sono le aree su cui si dovrebbe eventualmente intervenire al più presto. Le rimanenti (S1, S3, S5 e S8) sono aree che potenzialmente possono essere sede di eventi di colata su cui sarà necessario, con una tempistica differenziata, prevedere analoghi approfondimenti ed eventuali interventi (Fig. 11).

CONCLUSIONI

L'applicazione delle analisi geomorfometriche, realizzate con modalità speditive, ad integrazione dei metodi classici quali l'analisi storica, la fotointerpretazione e i rilievi di campagna, ha fornito importanti elementi oggettivi di confronto utili a identificare in prima approssimazione le aree che possono essere interessate da fenomeni di colata detritica. Inoltre è stato possibile suddividere i settori identificati in due priorità temporali di intervento in aiuto ad una migliore pianificazione delle indagini di dettaglio finalizzate alla realizzazione di interventi di mitigazione.

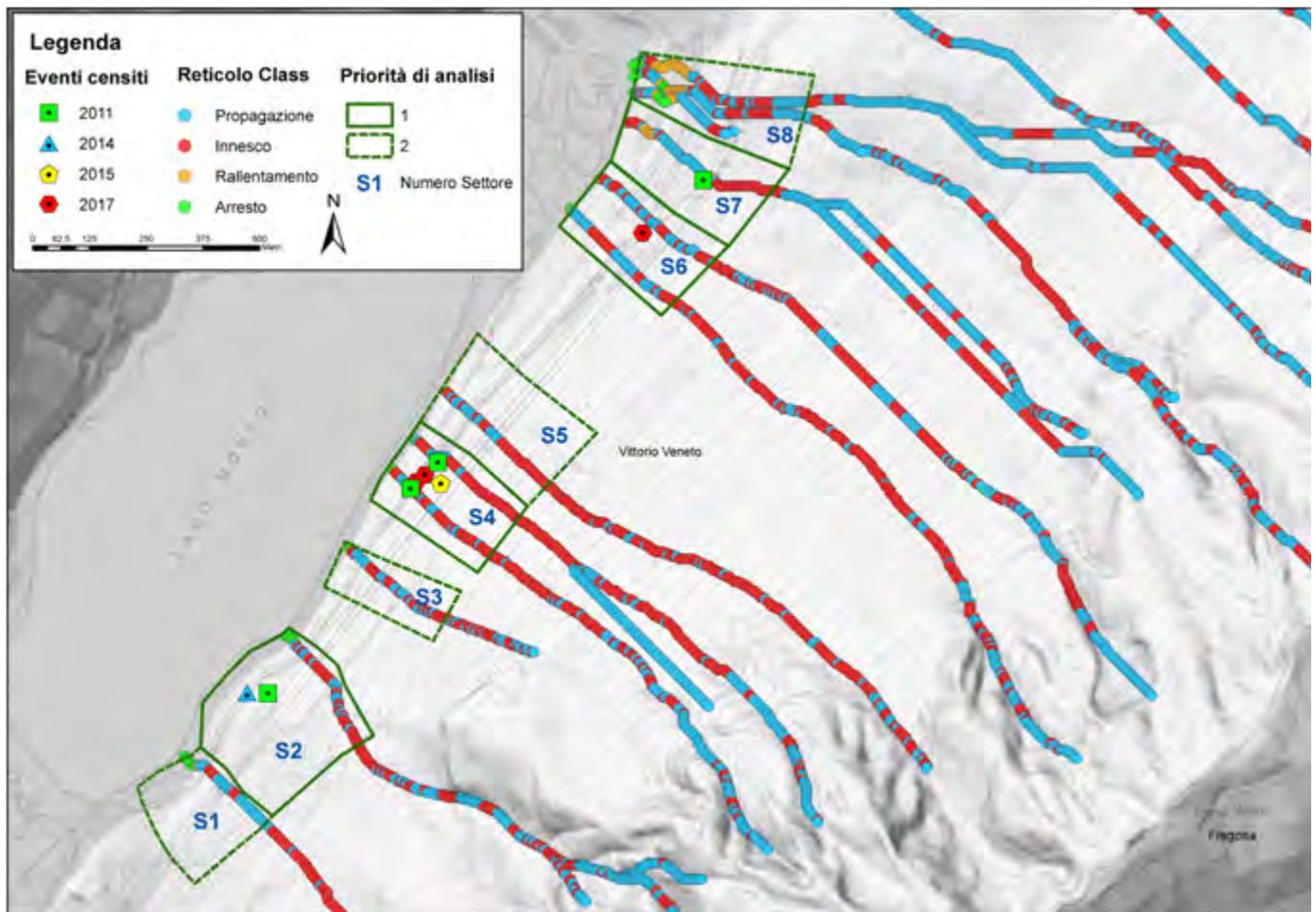


Figura 11. Classificazione del reticolo e analisi dei settori

- Si evidenziano i seguenti punti:
- i versanti del Monte Millifret che sovrastano l'area del Lago Morto (Val Lapisina) presentano caratteristiche topografiche, litologiche e morfologiche che ne evidenziano una predisposizione all'instabilità;
 - con la raccolta dei dati disponibili, accompagnati da analisi speditive, è stato possibile fornire alcuni elementi utili ad inquadrare, a scala di versante, i fenomeni di colata che interessano l'area di indagine;
 - per le analisi speditive di tipo geomorfometrico, che si basano sulle caratteristiche topografiche, è stato utilizzato l'unico dato di dettaglio disponibile per l'area, che è un DEM derivato dalla CTR numerica. La base di elaborazione, pur risultando datata (rilievo del 2005) e con un dettaglio mediamente scarso in relazione a tecnologie più recenti basate su DEM derivati da rilievi LiDAR, ha fornito dei buoni risultati che hanno contribuito a completare l'analisi complessiva a scala di versante;
 - è possibile proporre una delimitazione di settori, prossimi alle infrastrutture esistenti, potenzialmente interessati da eventi di colata detritica su cui eventualmente effettuare studi

- specifici e pervenire ad una progettazione di opere di mitigazione dei fenomeni, rispetto ad aree che per le caratteristiche analizzate non sembrano interessate da tali fenomeni;
- è inoltre possibile, in un'ottica di pianificazione delle risorse, differenziare tali settori su due ambiti di priorità in base alla maggiore attività dimostrata dagli eventi censiti dal 2011 ad oggi.

BIBLIOGRAFIA

- ANTONELLO M., ARZILIERO L., BUSCEMI P. (2017), *Colate detritiche in Val Lapisina (Treviso). Relazione di sopralluogo e prime analisi geologiche*. Regione del Veneto.
- ARPAV – OSSERVATORIO REGIONALE SUOLO (2008), *Carta dei suoli della provincia di Treviso*. L.A.C., Firenze.
- BONDESAN A., BUSONI S., PRETO N. (2013), *Carta Geologica della provincia di Treviso*. Sezioni n. 063120 - Nevegal e n. 064090 Fadalto, scala 1: 10.000.
- BONDESAN A., BUSONI S., LEVORATO C., MENEGHEL M. (a cura di) (2015), *Carta Geomorfologica della provincia di Treviso*, Antiga Ed., scala 1:50.000.
- BORSELLI, L., CASSI, P., TORRI, D. (2008), *Prolegomena to sediment and flow connectivity in the landscape: A GIS and field numerical assessment*. CATENA 75, 268–277. doi:10.1016/j.catena.2008.07.006.
- CAVALLI, M., CREMA, S., TREVISANI, S., MARCHI, L. (2017), *GIS tools for prelim-*

- inary debris-flow assessment at regional scale*. J. Mt. Sci. 14, 2498–2510. <https://doi.org/10.1007/s11629-017-4573-y>
- CAVALLI, M., CREMA, S., VIERO, A., ARZILIERO, L., MARCHI, L. (2018), *Metodologia e strumenti per la raccolta dati e l'analisi dei processi torrentizi che interessano le aree di conoide nella Regione del Veneto Rendiconti online della Società Geologica Italiana*, 46, 167–173 <https://doi.org/10.3301/ROL.2018.69>
- CAVALLI, M., TREVISANI, S., COMITI, F., MARCHI, L. (2013), *Geomorphometric assessment of spatial sediment connectivity in small Alpine catchments*. *Geomorphology*, 188, 31–41 <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.05.007>
- CENTRO FUNZIONALE DECENTRATO DELLA REGIONE DEL VENETO, *Relazione di evento 28-29/06/2017*.
- HECKMANN, T., CAVALLI, M., CERDAN, O., FOERSTER, S., JAVAUX, M., LODE, E., SMETANOVÁ, A., VERICAT, D., BRARDINONI, F. (2018), *Indices of sediment connectivity: opportunities, challenges and limitations*. *Earth-Sci. Rev.* 187, 77–108 <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2018.08.004>
- VANDRE, B.C. (1985), *Rudd Creek debris flow*. In: *Delineation of landslide, flash flood and debris flow hazards in Utah*. Edited by Bowels D.S., Utah Water Research Laboratory, Logan, Utah, 117–131.
- ZIMMERMANN M, MANI P., GAMMA P., GSTEIGER P., HEINIGER O., HUNZIKER G. (1997), *Murganggefahr und Klimaänderung - ein GIS-basierter Ansatz*. Schlussbericht NFP 31, Zurich.

Pericolosità idrologica della Città di Ceva (CN)

Hydrological hazard in the City of Ceva (CN)

Mauro Bonasera
Anna Maria Ferrero
Giandomenico Fubelli
Luciano Masciocco
Adriano Nocera
Eleonora Viviani

Dipartimento di Scienze della Terra -
Università degli Studi di Torino

E-mail: luciano.masciocco@unito.it

Parole chiave: pericolosità idrologica, pianificazione territoriale, Città di Ceva, Piemonte - Italia
Key words: hydrological hazard, land use, City of Ceva, Piedmont - Italy

INTRODUZIONE

La Città di Ceva è situata nel settore sudorientale della provincia di Cuneo, appena a monte della confluenza del T. Cevetta nel F. Tanaro (Fig. 1). In corrispondenza di Ceva, il bacino idrografico del Tanaro misura circa 400 km² mentre il bacino del T. Cevetta presenta un'estensione di circa 100 km².

Il borgo storico di Ceva sorge sull'estremità settentrionale del terrazzo modellato dall'incisione dei due corsi d'acqua, in corrispondenza di un avvallamento formato verosimilmente da un paleoalveo del T. Cevetta. Lo sviluppo urbanistico è avven-

nuto in parte correttamente, sui terrazzi più elevati, come testimonia a sudest, la frazione S. Bernardino o, verso ovest, la zona compresa tra via Romita, Strada di Battifollo e l'Autostrada A6 Torino - Savona). Purtroppo però, si è andati anche ad occupare maldestramente le aree di esondazione del F. Tanaro e del T. Cevetta (Fig. 2). Queste zone, ormai ampiamente antropizzate, sono state colpite in modo pesante durante l'alluvione del 1994, con inondazioni che hanno superato anche i 4 metri di altezza (Fig. 3). Il presente lavoro vuole mettere in luce la pericolosità idrologica della Città di Ceva e il relativo rischio per la popolazione interessata.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Dal punto di vista *geologico strutturale* (Piana *et al.*, 2017), il bacino del F. Tanaro con chiusura a Ceva e il bacino del T. Cevetta sono impostati (Fig. 4):

- nella *Zona Assiale della catena alpina (Dominio Pennidico)*, corrispondente in parte al Pale Margine Continentale Europeo (qui affiorano soprattutto le *Unità Brianzonesi Interne* e, in minor misura, il *basamento polimetamorfico brianzonese*) e, limitatamente al bacino del F. Tanaro, alle *Unità Oceaniche Liguri-Piemontesi* (in particolare nella testata della Val Tanaro, in destra idrografica, affiorano unità non metamorfiche quali le *Unità Liguri delle Alpi Marittime*);
- nella *Zona Esterna della catena alpina*, corrispondente al Pale Margine Continentale Europeo (dove in sinistra idrografica dell'alta Val Tanaro affiorano le *successioni Delfnese-provenzale e Brianzonese esterna*);
- e nei *Bacini Sinorogenetici*, essenzialmente nel Bacino Terziario Ligure Piemontese.

Le litologie del bacino del F. Tanaro con chiusura a Ceva sono rappresentate per 77% da rocce silicatiche (gneiss, micascisti, quarziti, porfidi, conglomerati, Flysch, etc.) e per il 23% da rocce carbonatiche (calcari e dolomie). Il bacino

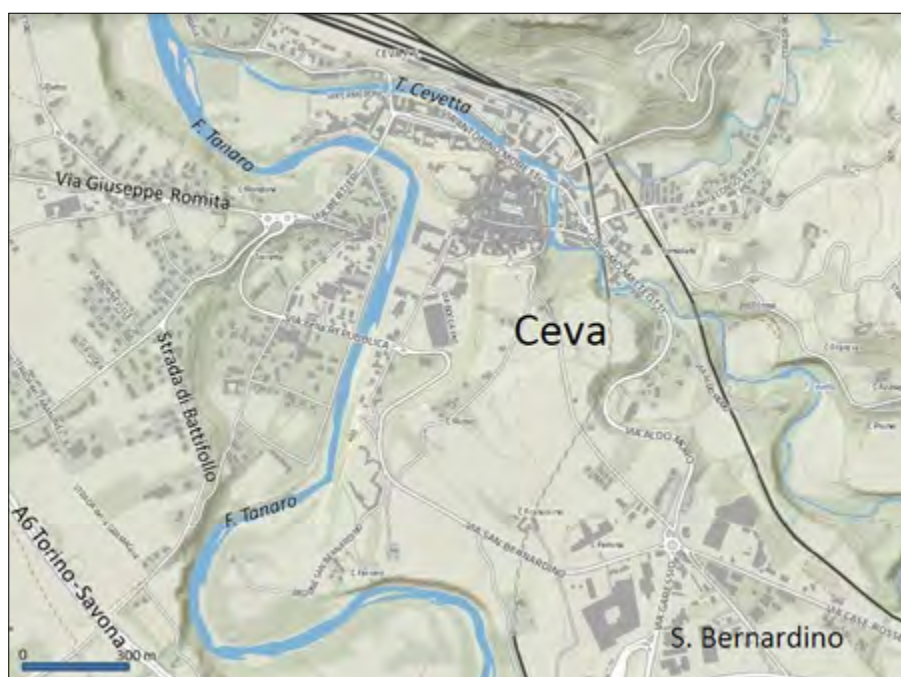


Figura 1. Ubicazione della Città di Ceva, alla confluenza del T. Cevetta nel F. Tanaro

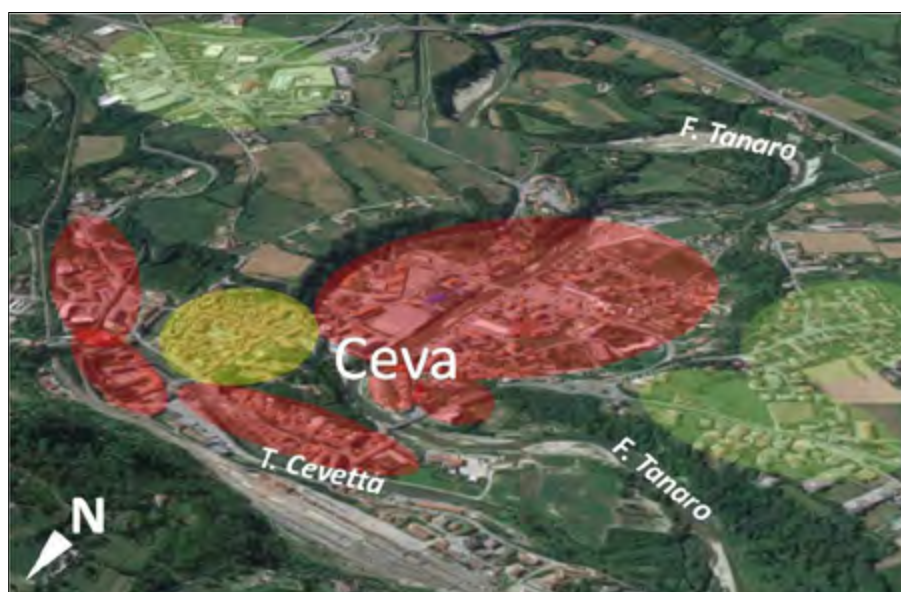


Figura 2. La Città di Ceva: il borgo antico (evidenziato in giallo). L'espansione urbanistica corretta al sicuro sui terrazzi (in verde), e quella considerata, in zone idrologicamente pericolose (in rosso)

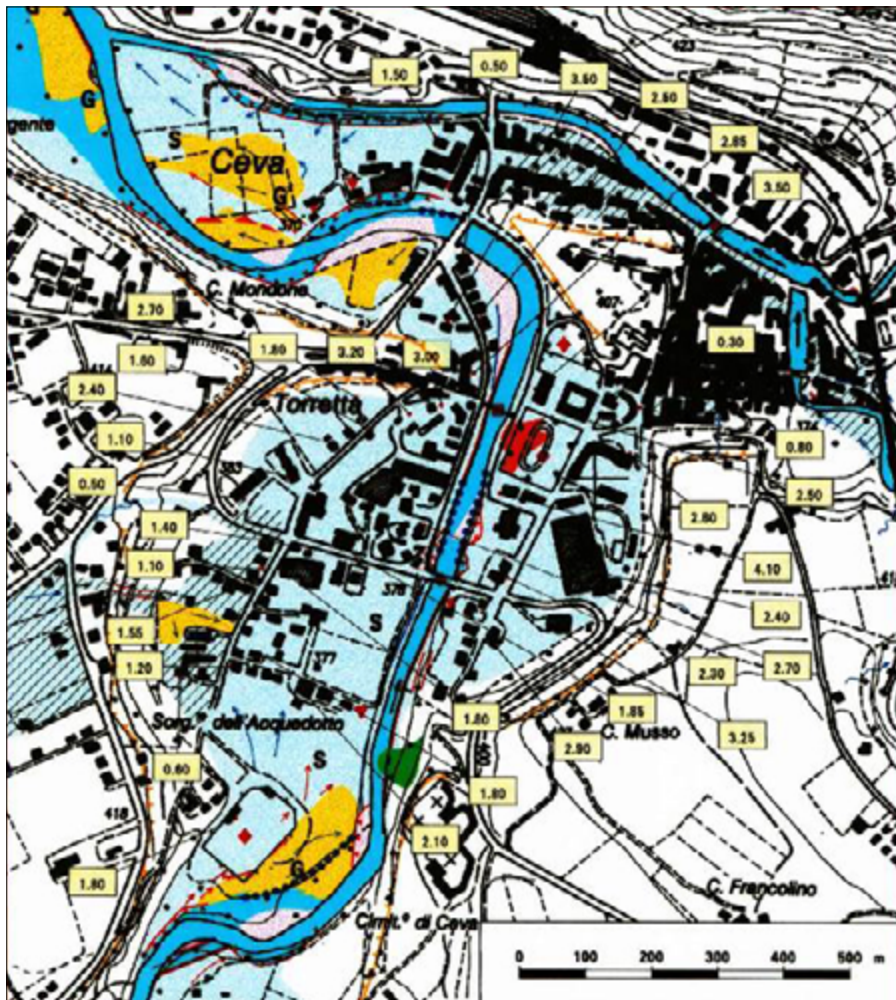


Figura 3. Dettaglio della carta sul campo di inondazione ed effetti indotti dalla piena del 5-6/11/1994 nell'abitato di Ceva (AA.VV., 1999, pag. 138).

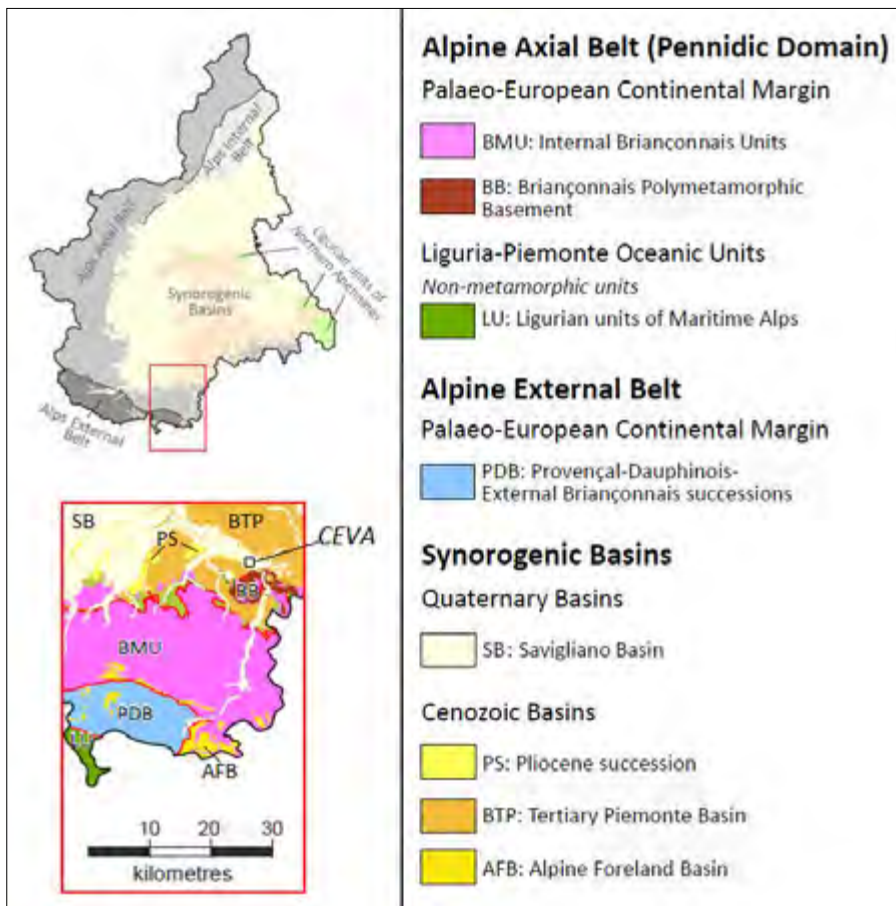


Figura 4. Inquadramento geologico strutturale. Modificato dalla Carta Geologica del Piemonte alla scala 1:250.000 (Piana et al., 2017)

del T. Cevetta è costituito per il 94% da rocce silicatiche (complesso metamorfico, complesso arenaceo-pelitico-conglomeratico, etc.) e dal 6% da rocce carbonatiche (calcarei e dolomie).

VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ IDROLOGICA

La valutazione della pericolosità idrologica della Città di Ceva ha comportato la verifica idraulica su quattro sezioni fluviali: due sul F. Tanaro (T1 e T2) e due sul T. Cevetta (C1 e C2) in zone critiche per il rischio di inondazione (Fig. 5). In particolare, l'edificio appena a valle della sezione T2, dall'appariscente tetto blu, è la scuola materna di Ceva: distrutta dall'alluvione del 1994, venne tempestivamente ricostruita grazie a una colletta dei cittadini, ma purtroppo nel medesimo luogo, a soli 25 m dal F. Tanaro.

ANALISI PLUVIOMETRICA

I dati delle piogge intense riferiti al bacino del F. Tanaro e al bacino del T. Cevetta, sono stati estratti dal "GeoPortale ARPA Piemonte – Atlante piogge intense in Piemonte" (Rif. WEB n. 1). Su questo sito, è riportato il territorio regionale suddiviso in celle, con lato di 500 metri, per ciascuna delle quali è possibile estrapolare i parametri delle precipitazioni intense con assegnato tempo di ritorno. Mediando i dati relativi a un numero congruo di celle omogeneamente distribuite del bacino del F. Tanaro (n. 100) e a tutte le celle del bacino del T. Cevetta (n. 79), sono state ricavate le curve di probabilità pluviometrica rappresentative dei due bacini in esame (Figg. 6 e 7).

CALCOLO DELLE PORTATE DI MASSIMA PIENA

La portata di massima piena viene calcolata con il Metodo Razionale attraverso la seguente relazione:

$$Q_{max} = k \cdot C \cdot i \cdot A$$

dove:

- Q_{max} è la portata di massima piena del corso d'acqua espressa in m^3/s ;
- k è un fattore adimensionale che tiene conto della non uniformità delle unità di misura. Se A è espressa in km^2 ed i in mm/h , per ottenere la portata in m^3/s bisogna attribuire a k il valore $1/3,6 = 0,278$;
- C è il coefficiente di deflusso;
- i è l'intensità della precipitazione critica che provoca la piena (mm/ora);
- A è l'area del bacino a monte della sezione presa in esame (km^2)



Figura 5. Ubicazione delle 4 sezioni su cui è stata valutata la pericolosità idrologica della Città di Ceva: le sezioni T1 e T2 sul Fiume Tanaro e le sezioni C1 e C2 sul Torrente Cevetta

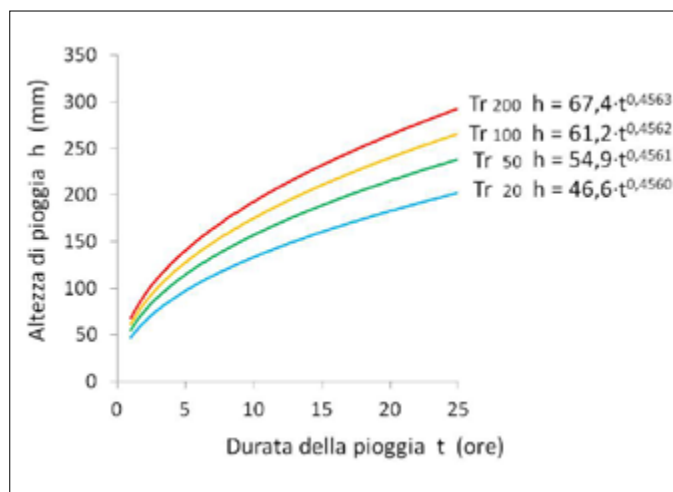


Figura 6. Curve di probabilità pluviometrica medie con tempi di ritorno di 20, 50, 100 e 200 anni adottate per il bacino del F. Tanaro

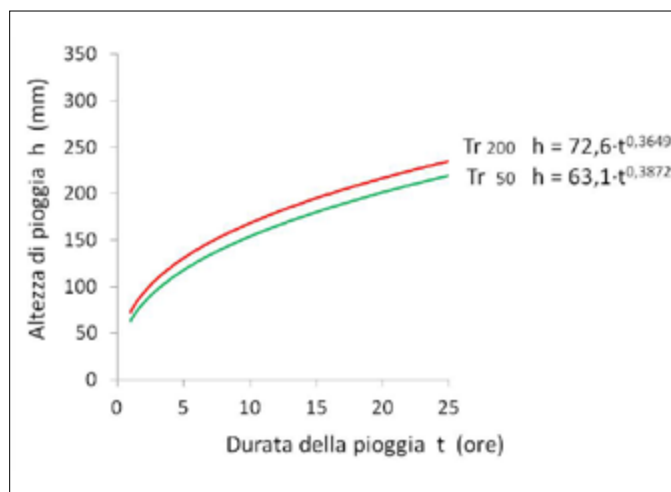


Figura 7. Curve di probabilità pluviometrica medie con tempi di ritorno di 50 e 200 anni adottate per il bacino del T. Cevetta

Le precipitazioni considerate sono quelle descritte dalle curve di probabilità pluviometrica riportate nelle Figg. 6 e 7.

Per tutte le simulazioni effettuate, l'intensità critica i , è stata ricavata attraverso la valutazione dei tempi di corrivazione dei due bacini, utilizzando la formula di Giandotti, che viene comunemente usata in Italia per bacini

con area maggiore di 20 km² e pertanto idonea per entrambi i bacini in esame.

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,8\sqrt{h_{mr}}}$$

dove:

- t_c è il tempo di corrivazione espresso in ore;

- A è l'area del bacino preso in considerazione in km²;
- L è la lunghezza dell'asta fluviale principale fino al punto di misura;
- h_{mr} è l'altezza media del bacino rispetto alla sezione di chiusura.

In Tab. 1 vengono riportati i tempi di corrivazione dei bacini sottesi dalle 4 sezioni prese in considerazione, insieme ai

Tabella 1. Dati fisiografici e tempi di corrivazione dei bacini in esame

| Bacini sottesi dalle sez. in esame | Area [km ²] | L [km] | h _m [m] | H _{sez} [m] | h _{mr} [m] | t _c [ore] |
|------------------------------------|-------------------------|--------|--------------------|----------------------|---------------------|----------------------|
| Bacino sotteso dalla Sezione T1 | 405 | 63,8 | 1140,73 | 374 | 766,73 | 7,95 |
| Bacino sotteso dalla Sezione T2 | 404 | 62,9 | 1142,62 | 378 | 764,62 | 7,90 |
| Bacino sotteso dalla Sezione C1 | 103 | 14,3 | 605,43 | 380 | 225,43 | 5,16 |
| Bacino sotteso dalla Sezione C2 | 85 | 14,3 | 605,43 | 380 | 225,43 | 5,16 |

Tabella 2. Piogge e intensità critiche ottenute per le diverse simulazioni effettuate

| Bacini sottesi dalle sezioni in esame | t _c [ore] | h _c [mm] | i _c [mm/ora] |
|--|----------------------|---------------------|-------------------------|
| Bacino sotteso dalla Sezione T1 (Tr = 20) | 7,95 | 119,96 | 15,08 |
| Bacino sotteso dalla Sezione T1 (Tr = 50) | 7,95 | 141,42 | 17,78 |
| Bacino sotteso dalla Sezione T1 (Tr = 100) | 7,95 | 157,52 | 19,80 |
| Bacino sotteso dalla Sezione T1 (Tr = 200) | 7,95 | 173,56 | 21,82 |
| Bacino sotteso dalla Sezione T2 (Tr = 20) | 7,90 | 119,59 | 15,14 |
| Bacino sotteso dalla Sezione T2 (Tr = 50) | 7,90 | 140,98 | 17,85 |
| Bacino sotteso dalla Sezione T2 (Tr = 100) | 7,90 | 157,02 | 19,88 |
| Bacino sotteso dalla Sezione T2 (Tr = 200) | 7,90 | 173,02 | 21,90 |
| Bacino sotteso dalla Sezione C1 (Tr = 50) | 5,16 | 119,04 | 23,07 |
| Bacino sotteso dalla Sezione C1 (Tr = 200) | 5,16 | 132,16 | 25,61 |
| Bacino sotteso dalla Sezione C2 (Tr = 50) | 5,16 | 119,04 | 23,07 |
| Bacino sotteso dalla Sezione C2 (Tr = 200) | 5,16 | 132,16 | 25,61 |

Tabella 3. Valori per il coefficiente C in funzione del tipo di terreno, dell'uso del suolo e della pendenza (Benini, 1990)

| Vegetazione e pendenza | | Tipi di suolo | | |
|------------------------|------|-----------------|--------------------------|------------------|
| | | Terreno leggero | Terreno di medio impasto | Terreno compatto |
| Boschi | <10% | 0,13 | 0,18 | 0,25 |
| | >10% | 0,16 | 0,21 | 0,36 |
| Pascoli | <10% | 0,16 | 0,36 | 0,56 |
| | >10% | 0,22 | 0,42 | 0,62 |
| Colture agrarie | >10% | 0,40 | 0,60 | 0,70 |
| | >10% | 0,52 | 0,72 | 0,82 |

Tabella 4. Bacini del F. Tanaro: aree delle superfici omogenee per uso del suolo e litologia ottenute dalle analisi cartografiche tramite software Quantum GIS

| Superfici omogenee [km ²] | Bacino Sez. T1 | Bacino Sez. T2 | Coeff. C |
|---------------------------------------|----------------|----------------|----------|
| Area pascoli su Flysch | 11,6 | 11,6 | 0,55 |
| Area pascoli su carbonati | 29,1 | 29,1 | 0,42 |
| Area pascoli su silicati | 22,8 | 22,8 | 0,65 |
| Area bosco su Flysch | 73,6 | 73,6 | 0,42 |
| Area bosco su carbonati | 59,7 | 59,7 | 0,31 |
| Area bosco su silicati | 137,5 | 137,5 | 0,46 |
| Area bosco su gneiss | 28,9 | 28,9 | 0,44 |
| Area bosco su conglomerati | 22,5 | 22,5 | 0,3 |
| Area bosco su marne | 0,2 | 0,2 | 0,48 |
| Area colture agrarie su silicati | 0,6 | 0,6 | 0,85 |
| Area colture agrarie su gneiss | 0,5 | 0,5 | 0,80 |
| Area colture agrarie su conglomerati | 5,2 | 5,2 | 0,70 |
| Area colture agrarie su marne | 5,3 | 4,5 | 0,88 |
| Area antropizzata | 7,9 | 7,5 | 0,92 |

parametri fisiografici utilizzati, ricavati tramite software Quantum Gis.

A questo punto, per ciascun tempo di ritorno considerato, l'intensità critica i_c risulterà dal rapporto tra l'altezza della pioggia di durata pari al tempo di corrivazione h_c (per calcolare la quale basta sostituire t_c nella durata t delle equazioni delle curve di probabilità pluviometrica) e il tempo di corrivazione t_c stesso:

I dati di pioggia critica h_c e intensità critica i_c ottenuti per tutte le simulazioni effettuate sono riportati in Tab. 2.

Un altro parametro nel calcolo della portata di massima piena è rappresentato dal coefficiente di deflusso C che tiene conto della natura dei terreni, del tipo di copertura vegetale e, seppure non venga mai preso in considerazione, dal grado di saturazione del terreno al momento dell'infiltrazione.

Per determinarlo si fa riferimento a valori di letteratura come ad esempio quelli di Tab. 3, proposti da Benini (1990).

I bacini oggetto di studio sono stati pertanto suddivisi in aree omogenee per litologie e uso del suolo (14 per la Val Tanaro, 9 per il T. Cevetta) utilizzando il software Quantum Gis. Successivamente, a ciascuna area omogenea è stato assegnato un coefficiente C (Tabb. 4 e 5), facendo riferimento ai valori di Tab. 3, mediati per la pendenza.

Utilizzando i dati ricavati, sono stati calcolati i valori medi dei coefficienti di deflusso C (ponderati sulle superfici omogenee per uso del suolo e litologia) per ciascuno dei bacini sottesi dalle quattro sezioni oggetto di verifica (Tab. 6).

Le aree A dei quattro bacini erano già state ottenute tramite software Quantum Gis (Tab. 1). A questo punto, sono disponibili tutti i parametri dell'equazione del Metodo Razionale per ottenere le portate di massima piena Q_{max} in corrispondenza delle quattro sezioni oggetto di studio (Tab. 7).

VERIFICHE IDRAULICHE

Una volta calcolate le portate di massima piena attese per i diversi tempi di ritorno in corrispondenza delle quattro sezioni prese in esame, si è verificato se

Tabella 5. Bacini del T. Cevetta: aree delle superfici omogenee per uso del suolo e litologia ottenute dalle analisi cartografiche tramite software Quantum GIS

| Superfici omogenee [km ²] | Bacino Sez. T1 | Bacino Sez. T2 | Coeff. C |
|---|----------------|----------------|----------|
| Area bosco su depositi alluvionali | 0,00 | 0,00 | 0,25 |
| Area bosco su carbonati | 4,32 | 4,32 | 0,31 |
| Area bosco su metamorfiti | 17,13 | 17,13 | 0,36 |
| Area bosco su peliti, areniti, conglomerati | 46,65 | 38,14 | 0,36 |
| Area colture agrarie su depositi alluvionali | 19,21 | 17,76 | 0,65 |
| Area colture agrarie su carbonati | 0,69 | 0,69 | 0,45 |
| Area colture agrarie su metamorfiti | 0,13 | 0,13 | 0,35 |
| Area colture agrarie su peliti, areniti, conglomerati | 9,94 | 1,99 | 0,85 |
| Area antropizzata | 5,28 | 5,04 | 0,92 |

Tabella 6. Valori medi dei coefficienti di deflusso C per ciascuno dei bacini sottesi dalle quattro sezioni oggetto di verifica

| Bacini sottesi dalle sezioni in esame | Coefficiente di deflusso medio C |
|---------------------------------------|----------------------------------|
| Bacino sotteso dalla Sezione T1 | 0,69 |
| Bacino sotteso dalla Sezione T2 | 0,75 |
| Bacino sotteso dalla Sezione C1 | 0,49 |
| Bacino sotteso dalla Sezione C2 | 0,46 |

Tabella 7. Portate di massima piena attese alle sezioni di misura per i relativi tempi di ritorno

| Sezioni analizzate | k | i _c [mm/ora] | C | A [km ²] | Q _{max} [m ³ /s] |
|-----------------------|-------|-------------------------|------|----------------------|--------------------------------------|
| Sezione T1 (Tr = 20) | 0,278 | 15,08 | 0,69 | 405 | 1172 |
| Sezione T1 (Tr = 50) | 0,278 | 17,78 | 0,69 | 405 | 1381 |
| Sezione T1 (Tr = 100) | 0,278 | 19,80 | 0,69 | 405 | 1538 |
| Sezione T1 (Tr = 200) | 0,278 | 21,82 | 0,69 | 405 | 1695 |
| Sezione T2 (Tr = 20) | 0,278 | 15,14 | 0,75 | 404 | 1275 |
| Sezione T2 (Tr = 50) | 0,278 | 17,85 | 0,75 | 404 | 1504 |
| Sezione T2 (Tr = 100) | 0,278 | 19,88 | 0,75 | 404 | 1675 |
| Sezione T2 (Tr = 200) | 0,278 | 21,90 | 0,75 | 404 | 1845 |
| Sezione C1 (Tr = 50) | 0,278 | 23,07 | 0,49 | 103 | 324 |
| Sezione C1 (Tr = 200) | 0,278 | 25,61 | 0,49 | 103 | 359 |
| Sezione C2 (Tr = 50) | 0,278 | 23,07 | 0,46 | 85 | 251 |
| Sezione C2 (Tr = 200) | 0,278 | 25,61 | 0,46 | 85 | 278 |

tutte queste portate sarebbero defluite normalmente nell'alveo o se in qualche occasione il fiume avrebbe esondato, inondando le zone abitate circostanti. A tal fine, è stato necessario fare un confronto tra le *portate di progetto* calcolate precedentemente e la *portata massima ammissibile* Q_{amm} in corrispondenza delle quattro sezioni, pari al prodotto dell'area A della sezione e la velocità del flusso idrico V :

$$Q_{amm} = A \cdot V$$

Per ricavare l'area A sono stati effettuati sopralluoghi sulle sezioni di interesse con battute topografiche per ricavare le quote e misure tramite telemetro per ricavare le lunghezze. Come quota massima della sezione è stato preso il livello base delle abitazioni anche laddove fossero presenti opere di contenimento, quali muretti o argini. Questa scelta è dovuta al fatto che l'opera di contenimento può cedere o può comunque essere aggirata a monte del tratto considerato, risultando inutile ai fini della sicurezza degli abitanti. Come quota minima è stata invece presa la quota del fondo del corso d'acqua (Figg. 8-11).

Per determinare la velocità del flusso idrico V delle sezioni, si utilizza la formula di Chézy:

$$V = \chi \cdot \sqrt{R \cdot i}$$

dove:

- V è la velocità media in m/s;
- χ è il coefficiente di Chézy che dipende dalla scabrezza dell'alveo e dal raggio idraulico;
- R è il raggio idraulico in m^{1/2}/s;
- i è la pendenza del fondo espressa in %.



Figura 8. Ubicazione e schema semplificato della sezione T2, immediatamente a monte del Ponte Battaglione Ceva.



Figura 9. Ubicazione e schema semplificato della sezione T2, immediatamente a valle del ponte della SP225 e a monte della scuola materna di Ceva

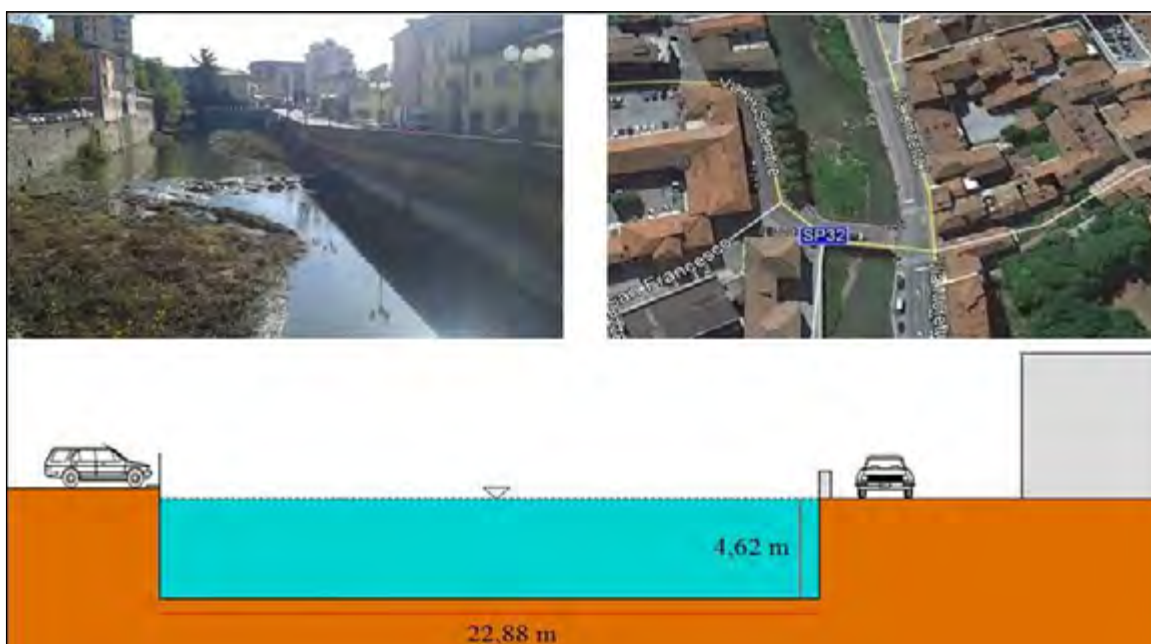


Figura 10. Ubicazione e schema semplificato della sezione C1, immediatamente a monte del ponte che collega via Umberto I con via XX Settembre

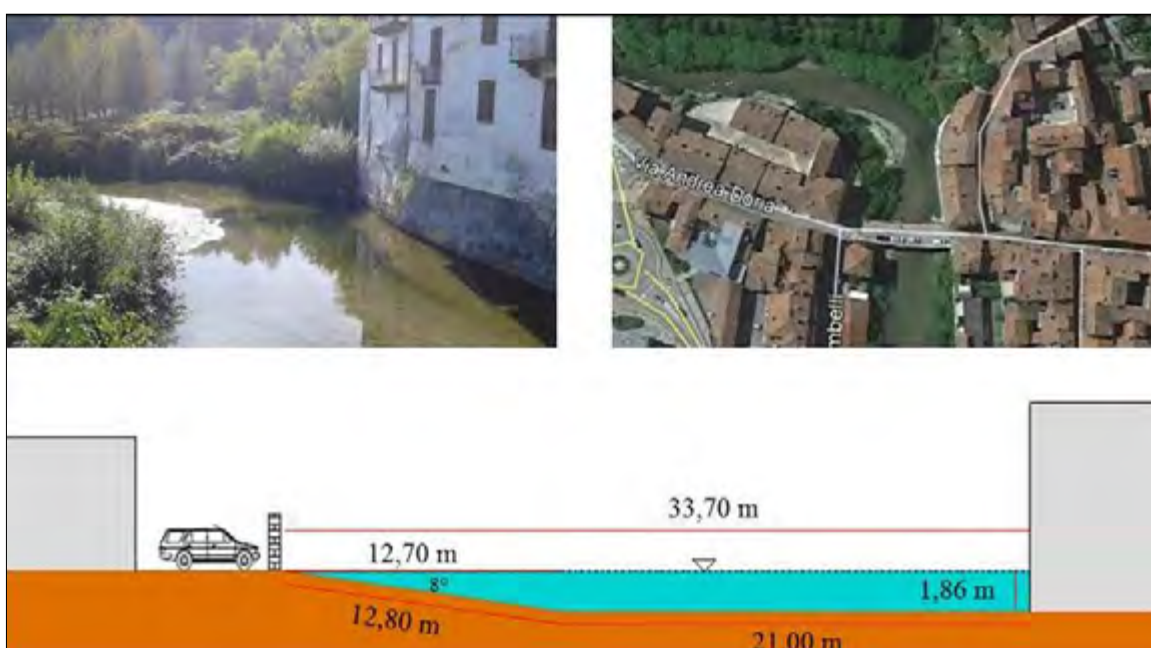


Figura 11. Ubicazione e schema semplificato della sezione C2, in corrispondenza dell'ansa fluviale del T. Cevetta, a circa 30 m dal ponte che collega via Doria con via Marengo

Tabella 8. Valori dell'area, del perimetro bagnato e del raggio idraulico delle quattro sezioni oggetto di verifica

| Sezioni analizzate | Area sezione [m ²] | p _b [m] | R [m] |
|--------------------|--------------------------------|--------------------|-------|
| Sezione T1 | 172,50 | 51,60 | 3,34 |
| Sezione T2 | 198,00 | 59,00 | 3,36 |
| Sezione C1 | 105,71 | 32,12 | 3,29 |
| Sezione C2 | 50,87 | 35,66 | 1,43 |

Per *raggio idraulico* si intende il rapporto tra l'area della sezione e il perimetro bagnato. Per *perimetro bagnato* si intende la somma tra la lunghezza del fondo dell'alveo e delle sponde.

$$R = \frac{A}{p_b}$$

Con i dati ricavati dalle misure sono stati ottenuti, quindi, i raggi idraulici delle quattro sezioni (Tab. 8).

Le *pendenze del fondo* sono state ricavate per ciascun bacino, suddividendo il profilo longitudinale dell'asta in tronchi e calcolando la media delle pendenze ponderata in base alle lunghezze (2,37% per il F. Tanaro e 3,75% per il T. Cevetta).

Al fine di determinare il *coefficiente di Chézy*, è stata utilizzata l'equazione di Manning:

$$\chi = \frac{1}{n} * R^{\frac{1}{6}}$$

dove:

- *n* è il *coefficiente di Manning*
- *R* è il raggio idraulico

per cui la formula di Chézy diventa:

$$V = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * i^{\frac{1}{2}}$$

Il *coefficiente n di Manning* è stato calcolato dalla formula:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * m_5$$

rifacendosi ai coefficienti parziali riportati in Tab. 9 (Chow, 1959).

Tabella 9. Valori da utilizzare per calcolare il coefficiente n di Manning (Chow, 1959)

| Condizioni dell'alveo | | Valori |
|--|----------------------|-------------------------------|
| Materiale costituente l'alveo | Terra | 0,020 |
| | Roccia | 0,025 |
| | Alluvione grossolana | n ₀ 0,028 |
| | Alluvione fine | 0,024 |
| Irregolarità della superficie della sezione | Trascurabile | 0,000 |
| | Bassa | n ₁ 0,005 |
| | Moderata | 0,010 |
| Variazione di forma e dimensione della sezione trasversale | Elevata | 0,020 |
| | Graduale | 0,000 |
| | Occasionale | n ₂ 0,005 |
| Effetto relativo di ostruzioni | Frequente | 0,010-0,015 |
| | Trascurabile | 0,000 |
| | Modesto | n ₃ 0,010-0,015 |
| Effetto della vegetazione | Apprezzabile | 0,020-0,030 |
| | Elevato | 0,040-0,060 |
| | Basso | n ₄ 0,005-0,010 |
| | Medio | 0,010-0,025 |
| Grado di sinuosità dell'alveo | Alto | 0,025-0,050 |
| | Molto alto | 0,050-0,100 |
| | Modesto | 1,000 |
| | Apprezzabile | m ₅ 1,150 |
| | Elevato | 1,300 |

Tabella 10. Valori dei coefficienti parziali utilizzati e relativi coefficienti n di Manning.

| | Bacino Sez. T1 | Bacino Sez. T2 | Bacino Sez. C1 | Bacino Sez. C2 |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| n ₀ | 0,028 | 0,028 | 0,028 | 0,024 |
| n ₁ | 0,005 | 0,005 | 0,005 | 0,010 |
| n ₂ | 0,010 | 0,010 | 0,012 | 0,012 |
| n ₃ | 0,005 | 0,005 | 0,012 | 0,012 |
| n ₄ | 0,060 | 0,060 | 0,008 | 0,008 |
| m ₅ | 1,000 | 1,150 | 1,150 | 1,150 |
| n | 0,108 | 0,124 | 0,075 | 0,076 |

I coefficienti parziali utilizzati e i relativi coefficienti n di Manning calcolati con la formula di Chow (1959) sono riportati in Tab. 10.

Coi dati ottenuti, sono state calcolate le *velocità di deflusso V* tramite la formula di Chézy (Tab. 12).

Infine, moltiplicando le aree delle sezioni per le rispettive velocità di deflusso, sono state ricavate le *portate massime ammissibili* per le due sezioni analizzate (Tab. 13).



Figura 12. Evento alluvionale del 21-25 novembre 2016: il Tanaro esonda, allagando di nuovo il quartiere della scuola materna, edificio riconoscibile dai tetti blu (Foto Dott. Giuseppe Galliano)



Figura 13. Evento alluvionale del 21-25 novembre 2016: in corrispondenza della sezione C1, le impetuose acque del T. Cevetta sono fortunatamente rimaste al di sotto anche degli argini naturali (RIF. WEB n. 2)

Tabella 12. Valori delle velocità di deflusso

| Sezioni analizzate | Velocità [m/s] |
|--------------------|----------------|
| Sezione T1 | 3,19 |
| Sezione T2 | 2,78 |
| Sezione C1 | 5,67 |
| Sezione C2 | 3,23 |

Tabella 13. Portate massime ammissibili nelle due sezioni

| Sezioni analizzate | Area sezione [m ²] | Velocità [m/s] | Portata [m ³ /s] |
|--------------------|--------------------------------|----------------|-----------------------------|
| Sezione T1 | 172,50 | 3,19 | 550 |
| Sezione T2 | 198,00 | 2,78 | 551 |
| Sezione C1 | 105,71 | 5,67 | 599 |
| Sezione C2 | 50,87 | 3,23 | 164 |

Tabella 14. Verifica idraulica delle quattro sezioni prese in esame: solo la sezione C1 riesce a contenere nell'alveo naturale le piene di progetto considerate nello studio

| Sezioni analizzate | Portata di massima piena [m ³ /s] | Portata ammissibile [m ³ /s] |
|------------------------------|--|---|
| Sezione T1 (Tr = 20) | 1172 | 550 |
| Sezione T1 (Tr = 50) | 1381 | 550 |
| Sezione T1 (Tr = 100) | 1538 | 550 |
| Sezione T1 (Tr = 200) | 1695 | 550 |
| Sezione T2 (Tr = 20) | 1275 | 551 |
| Sezione T2 (Tr = 50) | 1504 | 551 |
| Sezione T2 (Tr = 100) | 1675 | 551 |
| Sezione T2 (Tr = 200) | 1845 | 551 |
| Sezione C1 (Tr = 50) | 324 | 599 |
| Sezione C1 (Tr = 200) | 359 | 599 |
| Sezione C2 (Tr = 50) | 251 | 164 |
| Sezione C2 (Tr = 200) | 278 | 164 |

DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Dal confronto tra le portate massime ammissibili delle quattro sezioni e le portate di progetto calcolate con il Metodo Razionale si rileva che, in entrambe le sezioni analizzate sul F. Tanaro, le portate attese per tempi di ritorno anche solo di 20 anni sono notevolmente maggiori della portata massima ammissibile con

prevedibili allagamenti delle zone edificate circostanti. Per quanto riguarda il T. Cevetta, la sezione C1 sembra ben dimensionata per sopportare piene anche con tempi di ritorno di 200 anni, mentre è stata rilevata criticità nella sezione C2, insufficiente a contenere piene già con tempi di ritorno di 50 anni (Tab. 14).

Tali calcoli di verifica sembrano trovare conferma dalle conseguenze dell'e-

vento alluvionale del 21-25 novembre 2016: mentre il F. Tanaro è esondato, allagando di nuovo i quartieri limitrofi, compresi gli edifici della scuola materna (Fig. 12), in corrispondenza della sezione C1, le impetuose acque del T. Cevetta sono fortunatamente rimaste al di sotto anche degli argini naturali (Fig. 13).

È chiaro che nella città di Ceva dovranno essere presi provvedimenti per mitigare il rischio di alluvione nel tratto costruito sciaguratamente nel letto di piena del F. Tanaro.

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV (1999), *Eventi alluvionali in Piemonte, 2-6 novembre 1994, 8 luglio 1996, 7-10 ottobre 1996*, Regione Piemonte - L'Artistica di Savigliano, 1999, 415 pp., 9 tav.
- G. BENINI (1990), *Sistemazioni idraulico-forestali*. UTET Torino, ISBN 88-02-04340-X, 283 pp.
- A. BONI, R. CASNEDI (1970), *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 - Fogli 69 e 70 Asti - Alessandria*. Servizio Geologico d'Italia, Poligrafica & Cartevalori, Ercolano (NA), 64 pp.
- A. BOVE, L. MASCIOCO (2017), *Caratterizzazione geologica e geomorfologica del sito "I paesaggi vitivinicoli del Piemonte: Langhe, Roero e Monferrato" iscritto nella lista del Patrimonio Mondiale dell'UNESCO*. Geologia dell'Ambiente. Periodico della SIGEA, Società Italiana di Geologia Ambientale, n. 2/2017, ISSN 1591-5352, 12-19.
- F. PIANA, G. FIORASO, A. IRACE, P. MOSCA, A. D'ATRI, L. BARALE, P. FALLETTI, G. MONEGATO, M. MORELLI, S. TALLONE & G.B. VIGNA (2017), *Geology of Piemonte region (NW Italy, Alps-Apeninnes interference zone)*, Journal of Maps, 13:2, 395-405, DOI: 10.1080/17445647.2017.1316218

RIFERIMENTI WEB

- 1 - http://webgis.arpa.piemonte.it/atlan-te_pioggia_webapp/
- 2 - <https://www.ilfoglio.it/resizer/770/550/false/1480000192327.jpg---.jpg?-1480000193000>

Studio geo-idrologico del bacino del Torrente Talloria (CN)

Annalisa Bove

Geologo libero professionista

E-mail: annalisa.bove@geologiapiemonte.it

Luciano Masciocco

Dipartimento di Scienze della Terra -

Università degli Studi di Torino

E-mail: luciano.masciocco@unito.it

Geo-hydrological study of the Talloria Creek basin (CN)

Parole chiave: geo-idrologia, pericolosità idrologica, pianificazione territoriale, Piemonte - Italia

Key words: geo-hydrology, hydrological hazard, land use, Piedmont - Italy

INTRODUZIONE

Il bacino del T. Talloria è ubicato in provincia di Cuneo nell'estremo lembo nordoccidentale del sistema collinare delle Langhe (*Fig. 1*).

Esso si estende da sud verso nord per 99,16 km² nei territori comunali di Arguello, Cerreto Langhe, Lequio Berria, Albaretto della Torre, Roddino, Monforte d'Alba, Novello, Barolo, Sinio,

Serralunga d'Alba, Rodello, Montelupo Albese, La Morra, Castiglione Falletto, Diano d'Alba, Grinzane Cavour, Verduno, Roddi ed Alba. Il territorio in esame è il fulcro della produzione del

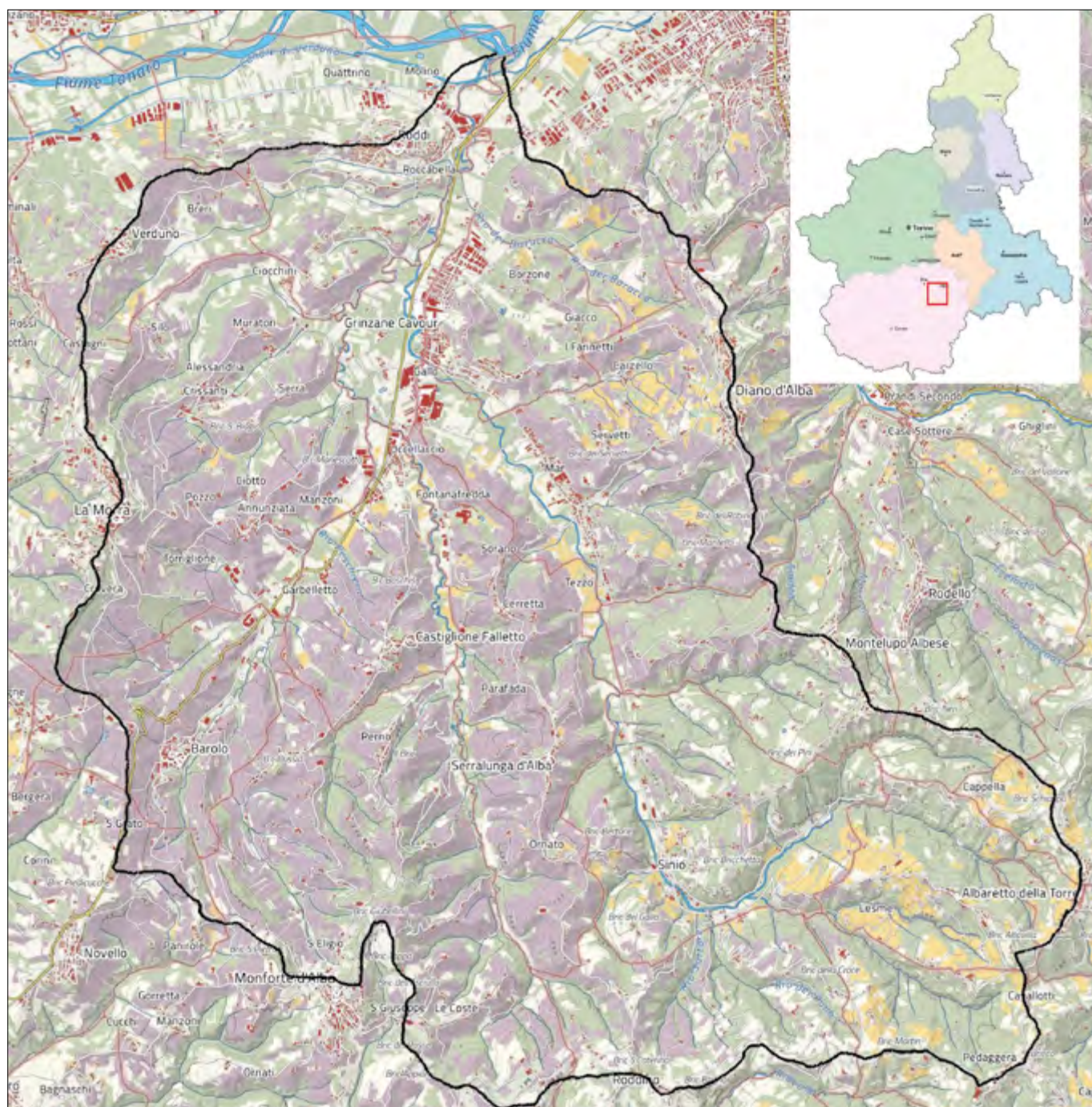


Figura 1 – Ubicazione del bacino idrografico del Torrente Talloria nel Piemonte meridionale



Figura 2. Il bacino del T. Talloria racchiude la “Langa del Barolo” e il “Castello di Grinzane Cavour” due delle sei componenti del sito “Paesaggi Vitivinicoli di Langhe - Roero e Monferrato” dichiarato Patrimonio dell’Umanità dall’UNESCO nel 2005 (Rif. WEB n. 1)

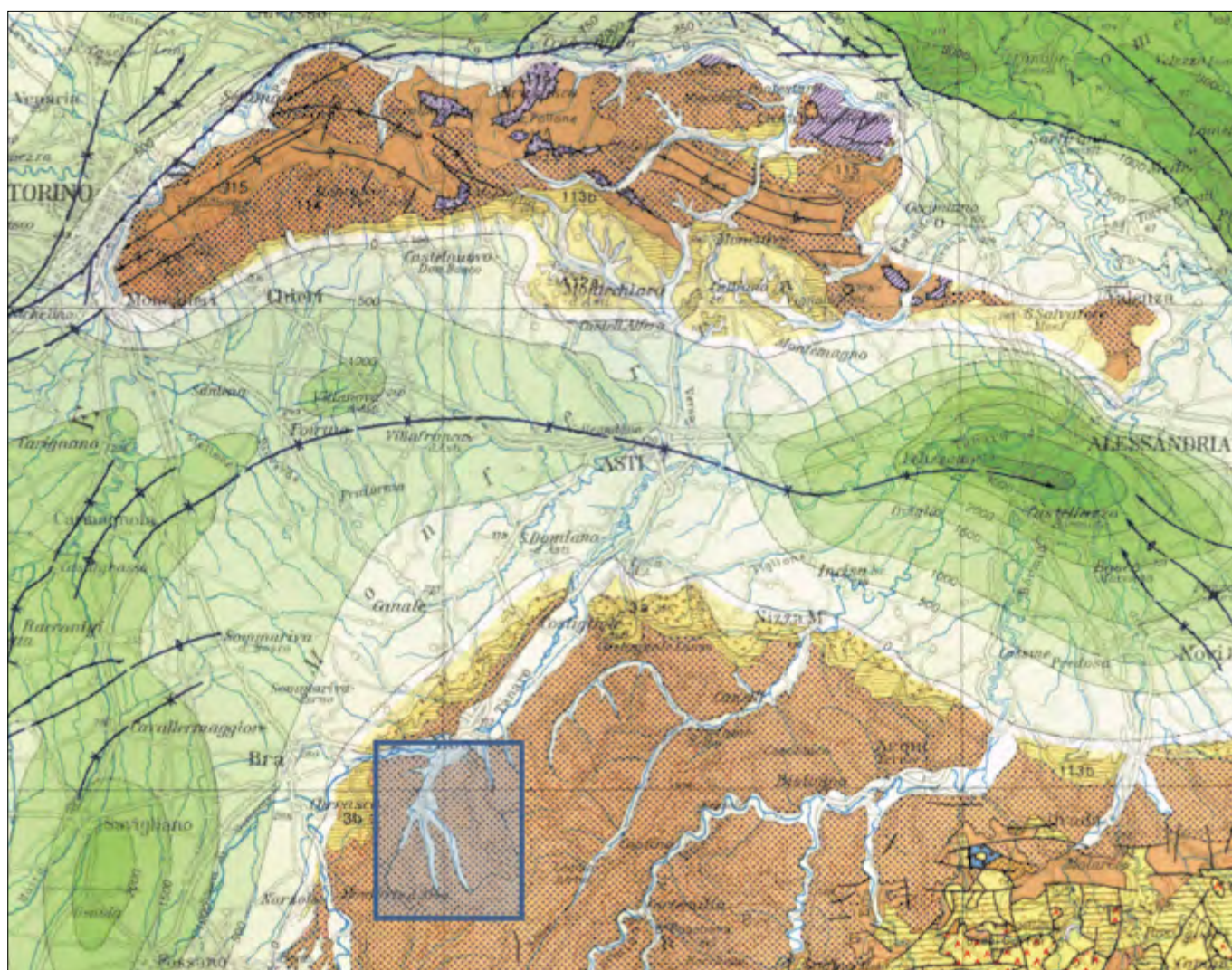


Figura 3. Inquadramento geologico strutturale Stralcio della Carta Strutturale d’Italia (Bigi et al., 1990) il bacino del T. Talloria (riquadro azzurro) si estende su una monoclinale che immerge a basso angolo (5-10°) verso NW

vino Barolo e rientra interamente nella “Langa del Barolo”, una delle sei componenti del sito “Paesaggi Vitivinicoli di Langhe - Roero e Monferrato” dichiarato Patrimonio dell’Umanità dall’UNESCO nel 2005 (Fig. 2).

Il paesaggio è prevalentemente monoculturale: i vigneti si estendono con continuità sui pendii dei versanti collinari, intervallati qua e là da borghi di impianto medioevale dai quali spesso si ergono imponenti castelli tra i quali spicca quello di Grinzane Cavour, altra componente del sito UNESCO.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Dal punto di vista geologico strutturale, il bacino del torrente Talloria è situato sul fianco meridionale della Sinclinale Astigiana (Fig. 3). Tale struttura si sviluppa in direzione E-W, e, a partire da una zona di culminazione in corrispondenza dell’abitato di Asti, si approfondisce verso ovest, nel bacino subsidente di Savigliano e verso est, nel bacino subsidente di Alessandria. Per tali ragioni, l’assetto strutturale del bacino del T. Talloria è rappresentato da una monoclinale

che immerge a basso angolo (5-10°) verso NW. Per una ricostruzione più dettagliata della geologia e della geomorfologia si veda Bove & Masciocco (2017).

Dal punto di vista litologico, la monoclinale è costituita dai terreni più recenti del Bacino Terziario Ligure Piemontese (Serravalliano – Messiniano), successione oligo-miocenica di origine prevalente terrigena, che può raggiungere spessori di 5-6000 m nei suoi settori occidentali.

Come si può osservare dalla Fig. 4, nel bacino in esame affiorano le seguenti successioni litologiche (Piana *et al.*, 2017):

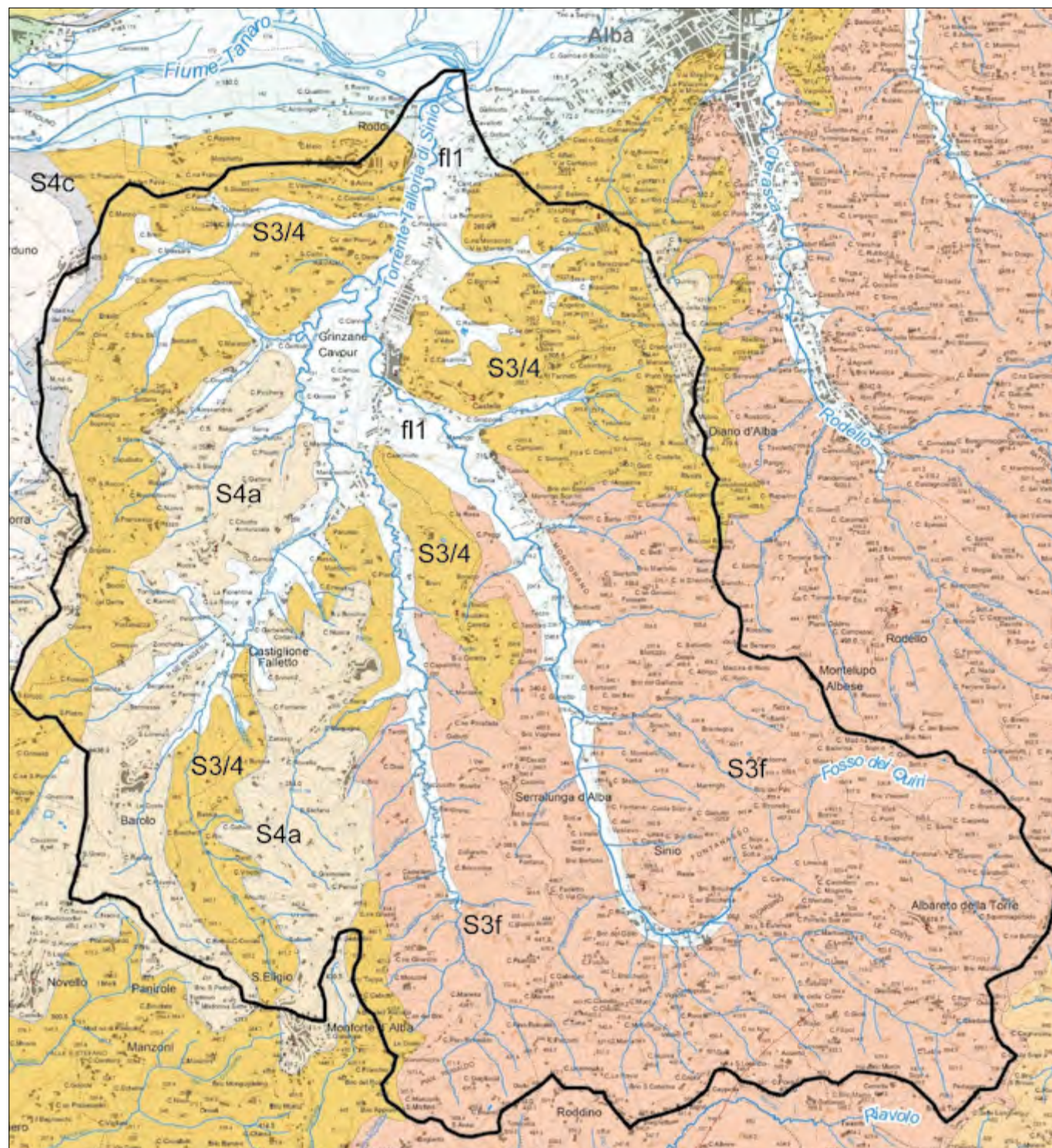


Figura 4. Inquadramento geologico del bacino del T. Talloria (Piana *et al.*, 2017). Legenda. fl1: Depositi fluviali (Olocene – Attuale); S4c: Formazione della Vena del Gesso (Messiniano); S4a: Corpi lenticolari arenaceo-conglomeratici tortoniano-messiniani (Tortoniano – Messiniano inf.); S3/4: Successioni marnose (Tortoniano – Messiniano); S3f: Successioni arenaceo-pelitiche ed arenacee (Serravalliano – Tortoniano)

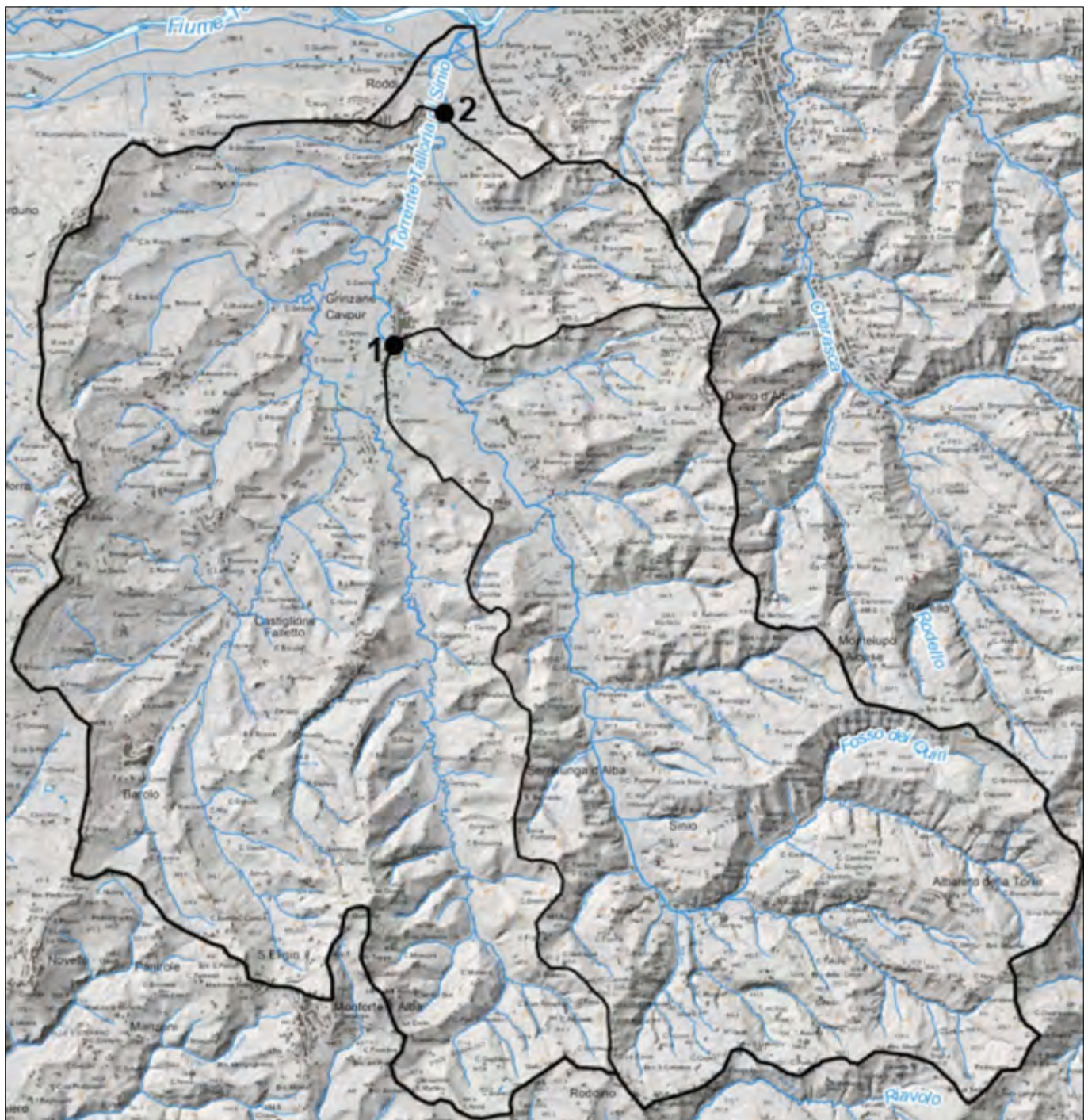


Figura 5 – Ubicazione delle due sezioni e delimitazione dei bacini loro sottesi

SUCCESSIONI ARENACEO-PELTICHE ED ARENACEE SERRAVALLIANO-TORTONIANE - S3F

Formazione di Lequio – Strati di arenarie, talvolta scarsamente cementate, a grana media o fine, grigio giallastre, gradate, alternate a marne sabbiose o siltose grigie; le arenarie sono quarzose, a cemento calcitico e il loro graduale passaggio a marne avviene in sequenze ritmiche fitte, dello spessore di mezzo metro circa, tipiche dei sedimenti fli-scioidi. La parte superiore è caratterizzata dal progressivo diminuire delle intercalazioni arenacee, fino al prevalere delle sovrastanti Marne di S. Agata Fossili. Lo spessore supera i 500 m (Boni & Casnedi, 1970).



Figura 6. Ubicazione della sezione 1, immediatamente a monte del ponte sul T. Talloria di Sinio, posto al confine tra il comune di Grinzane Cavour e quello di Diano D'Alba: le case si trovano addossate al corso d'acqua



Figura 7. Ubicazione della sezione 2. Lo spazio riservato al deflusso delle acque superficiali alla chiusura del bacino del T. Talloria è indicato nei due particolari: 1) prese d'aria del tratto tombinato (tracciato in giallo); 2) luce del ponte nel tratto naturale, utilizzato attualmente come troppo pieno

SUCCESSIONI MARNOSE

TORTONIANO-MESSINIANE - S3/4

Marne di S. Agata Fossili – Formazione costituita da marne (CaCO_3 circa 35%) grigio-azzurre un po' sabbiose nella parte inferiore che passa lateralmente alla Formazione di Lequio, da marne e arenarie con rari livelli conglomeratici nella parte media e, superiormente, da marne

siltose. Lo spessore si aggira sui 250-300 m (Boni & Casnedi, 1970).

CORPI LENTICOLARI ARENACEO-CONGLOMERATICI TORTONIANO-MESSINIANI - S4A

Arenarie di Diano d'Alba – La formazione è rappresentata prevalentemente da sabbie con livelli arenacei ben stratifica-

ti, con intercalazioni di marne sabbiose e ciottolose in banchi (Boni & Casnedi, 1970).

VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ IDROLOGICA

La valutazione della pericolosità idrologica ha comportato la verifica idraulica su due sezioni fluviali che sembravano mostrare alcune criticità; in Fig. 5 è visualizzata l'ubicazione delle sezioni 1 e 2 e la delimitazione dei bacini loro sottesi. La sezione 1 è stata individuata immediatamente a monte del ponte sul T. Talloria di Sinio, posto al confine tra il comune di Grinzane Cavour e quello di Diano D'Alba, laddove i fabbricati si trovano a pochi metri dal corso d'acqua (Fig. 6). Dalla foto si possono osservare i muri costruiti dopo l'evento alluvionale del novembre 1994.

La sezione 2 è localizzata nei pressi della chiusura del bacino, nella strettoia compresa tra la collina di Roddi a ovest e quella prospiciente, sede dell'Azienda vitivinicola Ceretto a est (Fig. 7); qui lo spazio di deflusso per le acque superficiali è stato ridotto artificialmente ad un tratto incautamente tombinato (particolare 1) e ad un tratto naturale (corrispondente al vecchio percorso del T. Talloria prima degli interventi post alluvione 1994) di sezione infima (particolare 2).

Tabella 1. Coefficienti a e n delle curve di probabilità pluviometrica delle singole stazioni e medi per tempi di ritorno di 10, 20, 50, 100 e 200 anni

| T | Rodello | | Roddino | | Alba Tanaro | | Valori medi | |
|-----|---------|--------|---------|--------|-------------|--------|-------------|--------|
| | a | n | a | n | a | n | a | n |
| 10 | 42,437 | 0,2376 | 39,433 | 0,2501 | 51,538 | 0,2106 | 44,469 | 0,2328 |
| 20 | 48,672 | 0,2279 | 45,115 | 0,2384 | 61,069 | 0,1926 | 51,619 | 0,2196 |
| 50 | 56,749 | 0,2182 | 52,472 | 0,2266 | 73,448 | 0,1750 | 60,890 | 0,2066 |
| 100 | 62,805 | 0,2125 | 57,986 | 0,2195 | 82,746 | 0,1649 | 67,846 | 0,1990 |
| 200 | 68,841 | 0,2077 | 63,481 | 0,2135 | 92,025 | 0,1565 | 74,782 | 0,1926 |

ANALISI PLUVIOMETRICA

I dati delle piogge intense riferiti al bacino del T. Talloria sono stati ricavati dalle registrazioni della stazione meteorologiche di Alba-Tanaro per il periodo 2001-2018, da quella di Rodello per il periodo 1995-2018 e da quella di Roddino per il periodo 1997-2018 (Arpa Piemonte, Rif. WEB n. 2). Per ciascuna stazione sono state ricavate le curve di probabilità pluviometrica con tempi di ritorno di 10, 20, 50, 100 e 200 anni, ed i valori dei coefficienti a e n sono stati successivamente mediati per ottenere le curve rappresentative del bacino in esame (Tab. 1, Fig. 8).

CALCOLO DELLE PORTATE DI MASSIMA PIENA

Per il calcolo delle portate di massima piena, è stato utilizzato il Metodo Razionale; il modello prevede che la pioggia di progetto cada con intensità costante e in modo uniforme sul bacino.

La portata di massima piena calcolata con il Metodo Razionale è espressa dalla seguente relazione:

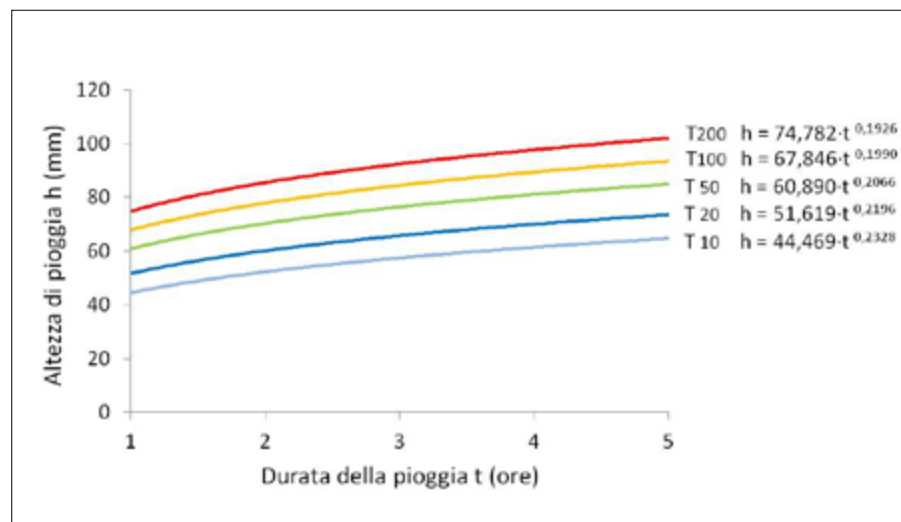


Figura 8. Curve di probabilità pluviometrica medie con tempi di ritorno di 10, 20, 50, 100 e 200 anni adottate per il bacino oggetto di studio

$$Q = k \cdot i \cdot C \cdot A$$

dove:

- k è un fattore adimensionale che tiene conto della non uniformità delle unità di misura. Se A è espressa in km^2 ed i in mm/h per ottenere la portata in m^3/s , k vale 0,278;
- C è il coefficiente di deflusso;
- i è l'intensità della precipitazione critica;
- A è l'area del bacino a monte della sezione presa in esame.

La precipitazione considerate sono quelle descritte dalle curve di probabilità pluviometrica riportate in Fig. 8.

L'intensità critica i , è stata ricavata attraverso la valutazione dei tempi di corrivazione dei due bacini utilizzando la formula di Giandotti, che viene comunemente usata in Italia per bacini con area maggiore di 20 km^2 e pertanto idonea per entrambi i bacini in esame.

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,8\sqrt{h_{mr}}}$$

dove:

- t_c è il tempo di corrivazione espresso in ore;
- A è l'area del bacino preso in considerazione in km^2 ;
- L è la lunghezza dell'asta fluviale principale fino al punto di misura;
- h_{mr} è l'altezza media del bacino rispetto alla sezione di chiusura.

In Tab. 2 vengono riportati i tempi di corrivazione dei due bacini, insieme ai parametri fisiografici utilizzati, ricavati tramite software Quantum Gis.

Tabella 2. Dati fisiografici e tempi di corrivazione dei due bacini in esame

| | Area [km^2] | L [km] | h_m [m] | H_{sez} [m] | h_{mr} [m] | t_c [ore] |
|----------|------------------------|--------|-----------|---------------|--------------|-------------|
| Bacino 1 | 41,15 | 13,627 | 432,38 | 190 | 242,38 | 3,70 |
| Bacino 2 | 97,75 | 14,020 | 364,10 | 179 | 185,10 | 5,56 |

Tabella 3. Piogge e intensità critiche ottenute per i diversi tempi di ritorno

| | h_c [mm] | t_c [ore] | i_c [mm/ora] |
|--|------------|-------------|----------------|
| Bacino 1 (tempo di ritorno = 10 anni) | 60,30 | 3,70 | 16,30 |
| Bacino 1 (tempo di ritorno = 20 anni) | 68,80 | 3,70 | 18,59 |
| Bacino 1 (tempo di ritorno = 50 anni) | 79,79 | 3,70 | 21,56 |
| Bacino 1 (tempo di ritorno = 100 anni) | 88,02 | 3,70 | 23,79 |
| Bacino 1 (tempo di ritorno = 200 anni) | 96,21 | 3,70 | 26,00 |
| Bacino 2 (tempo di ritorno = 10 anni) | 66,30 | 5,56 | 11,92 |
| Bacino 2 (tempo di ritorno = 20 anni) | 75,24 | 5,56 | 13,53 |
| Bacino 2 (tempo di ritorno = 50 anni) | 86,79 | 5,56 | 15,61 |
| Bacino 2 (tempo di ritorno = 100 anni) | 95,45 | 5,56 | 17,17 |
| Bacino 2 (tempo di ritorno = 200 anni) | 104,06 | 5,56 | 18,72 |

Tabella 4. Valori per il coefficiente C in funzione del tipo di terreno, dell'uso del suolo e della pendenza (Benini, 1990)

| Vegetazione e pendenza | Tipi di suolo | | | |
|------------------------|-----------------|--------------------------|------------------|------|
| | Terreno leggero | Terreno di medio impasto | Terreno compatto | |
| Boschi | < 10% | 0,13 | 0,18 | 0,25 |
| | > 10% | 0,16 | 0,21 | 0,36 |
| Pascoli | < 10% | 0,16 | 0,36 | 0,56 |
| | > 10% | 0,22 | 0,42 | 0,62 |
| Colture agrarie | < 10% | 0,40 | 0,60 | 0,70 |
| | > 10% | 0,52 | 0,72 | 0,82 |

A questo punto, l'intensità critica i_c risulterà dal rapporto tra l'altezza della pioggia di durata pari al tempo di corrivazione h_c (per calcolare la quale basta sostituire t_c nella durata t delle equazioni delle curve di probabilità pluviometrica) e il tempo di corrivazione t_c stesso, riferita quindi a un determinato tempo di ritorno:

$$i_c = \frac{h_c}{t_c}$$

I dati di pioggia e intensità critica ottenuti per entrambi i bacini sono riportati in Tab. 3.

Un altro parametro nel calcolo della portata di massima piena è rappresentato dal coefficiente di deflusso C che tiene conto della natura dei terreni, del tipo di copertura vegetale e, seppure non venga mai preso in considerazione, dal grado di saturazione del terreno al momento dell'infiltrazione.

Per determinarlo si fa riferimento a valori di letteratura come ad esempio quelli di Tab. 4, proposti da Benini (1990).

Come si nota dai valori riportati in tabella, la copertura vegetale influenza notevolmente la capacità di assorbimento. I boschi tendono ad assorbire maggiormente le precipitazioni e pertanto i valori di C sono minori per i boschi rispetto alle aree a pascolo e a colture agrarie.

Il bacino di interesse è stato suddiviso in aree boschive e in aree adibite a colture agrarie, essenzialmente vigneti e nocioleti, nonché in aree con pendenze maggiori e minori del 10%. Data la natura dei litotipi presenti nel bacino, poco o punto permeabili, si è fatto sempre riferimento ai valori del terreno compatto. Alle aree antropizzate, fortemente impermeabilizzate, è stato assegnato un coefficiente C pari a 0,90.

Utilizzando il software Quantum Gis, sono state ricavate 4 categorie omogenee per vegetazione, pendenza e uso del suolo a cui è stato assegnato un coefficiente C (Tab. 5), facendo riferimento ai valori sopra citati.

Pesando i coefficienti di deflusso per le aree omogenee a cui sono riferiti, sono state calcolate le medie ponderali dei coefficienti C da attribuire ai due bacini (Tab. 6).

Le aree A dei due bacini erano già state ottenute tramite software Quantum Gis (Tab. 2).

Utilizzando i dati ricavati sono state infine calcolate le portate di massima piena in corrispondenza delle due sezioni oggetto di studio (Tab. 7).

Tabella 5. Valori del Coefficiente di deflusso C assegnato alle superfici omogenee per uso del suolo e pendenza ottenute dalle analisi cartografiche tramite software Quantum GIS

| Uso del suolo | Pendenza | Area Bacino 1 | Area Bacino 2 | Coefficiente di deflusso C |
|-------------------|----------|---------------|---------------|----------------------------|
| Bosco | >10% | 9,68 | 14,65 | 0,36 |
| Colture agrarie | <10% | 7,62 | 10,39 | 0,70 |
| Colture agrarie | >10% | 21,11 | 65,57 | 0,82 |
| Aree antropizzate | --- | 2,74 | 7,14 | 0,90 |

Tabella 6. Valori medi dei coefficienti di deflusso per i due bacini in esame

| Coefficiente di deflusso C | |
|----------------------------|------|
| Bacino 1 | 0,69 |
| Bacino 2 | 0,74 |

Tabella 7. Portate di massima piena attese alle sezioni di misura per i relativi tempi di ritorno

| | k | i_c [mm/ora] | C | A [km ²] | Portata [m ³ /s] |
|--------------------------|-------|----------------|------|----------------------|-----------------------------|
| Bacino 1 (Tr = 10 anni) | 0,278 | 16,30 | 0,69 | 41,15 | 128,66 |
| Bacino 1 (Tr = 20 anni) | 0,278 | 18,59 | 0,69 | 41,15 | 146,74 |
| Bacino 1 (Tr = 50 anni) | 0,278 | 21,56 | 0,69 | 41,15 | 170,18 |
| Bacino 1 (Tr = 100 anni) | 0,278 | 23,79 | 0,69 | 41,15 | 187,78 |
| Bacino 1 (Tr = 200 anni) | 0,278 | 26,00 | 0,69 | 41,15 | 205,23 |
| Bacino 2 (Tr = 10 anni) | 0,278 | 11,92 | 0,74 | 97,75 | 239,70 |
| Bacino 2 (Tr = 20 anni) | 0,278 | 13,53 | 0,74 | 97,75 | 272,08 |
| Bacino 2 (Tr = 50 anni) | 0,278 | 15,61 | 0,74 | 97,75 | 313,90 |
| Bacino 2 (Tr = 100 anni) | 0,278 | 17,17 | 0,74 | 97,75 | 345,27 |
| Bacino 2 (Tr = 200 anni) | 0,278 | 18,72 | 0,74 | 97,75 | 376,44 |

Tabella 8. Valori dell'area, del perimetro bagnato e del raggio idraulico delle due sezioni misurate

| | Area sezione [m ²] | p_b [m] | R [m] |
|-----------|--------------------------------|-----------|--------|
| Sezione 1 | 15,5225 | 15,1261 | 1,0262 |
| Sezione 2 | 72,4931 | 23,9486 | 3,0270 |

Tabella 9. Pendenze medie del fondo calcolate con la formula di Taylor-Schwartz

| Tronchi asta bacino 1 | L (m) | i [%] | Tronchi asta bacino 2 | L (m) | i [%] |
|--------------------------|-------|-------|--------------------------|-------|-------|
| 700 m – 600 m | 1057 | 9,46 | 500 m – 400 m | 398 | 25,13 |
| 600 m – 400 m | 2210 | 9,05 | 400 m – 300 m | 1496 | 6,68 |
| 400 m – 300 m | 2750 | 3,64 | 300 m – 200 m | 7065 | 1,41 |
| 300 m – 190 m | 7610 | 1,44 | 200 m – 179 m | 5061 | 0,41 |
| Pendenza media ponderata | | 3,74 | Pendenza media ponderata | | 2,28 |

VERIFICHE IDRAULICHE

Una volta calcolate le portate di massima piena attese per i quattro tempi di ritorno in corrispondenza delle sezioni prese in esame, si è verificato se tutte queste portate sarebbero defluite normalmente nell'alveo o se in qualche occasione il fiume avrebbe esondato, inondando le zone abitate circostanti. A tal fine, è stato necessario fare un confronto tra le *portate di progetto* calcolate precedentemente e la *portata massima ammissibile* in corrispondenza delle due sezioni, pari al prodotto dell'area A della sezione e la velocità del flusso idrico V :

$$Q = A \cdot V$$

Per ricavare l'area A sono stati effettuati sopralluoghi sulle sezioni di interesse con battute topografiche per ricavare le quote e misure tramite telemetro

per ricavare le lunghezze. Come quota massima delle sezioni è stato considerato il livello di base degli edifici più vicini al corso d'acqua, anche laddove fossero presenti muretti o argini artificiali; tale precauzione è sempre necessaria nella valutazione della portata massima ammissibile perché le opere di difesa possono comunque cedere o essere aggirate a monte. Queste generalmente sono impiegate per mitigare il rischio dei beni esposti riducendone la vulnerabilità, ma la pericolosità dei luoghi resta purtroppo inalterata. Come quota minima è stato chiaramente considerato il letto del corso d'acqua.

Per determinare la velocità del flusso idrico V delle sezioni, si utilizza la formula di Chézy:

$$V = \chi \cdot \sqrt{R \cdot i}$$

dove:

- V è la velocità media in m/s;
- χ è il coefficiente di Chézy che dipende dalla scabrezza dell'alveo e dal raggio idraulico;
- R è il raggio idraulico in m^{1/2}/s;
- i è la pendenza del fondo espressa in %.

Per raggio idraulico si intende il rapporto tra l'area della sezione e il perimetro bagnato. Per perimetro bagnato si intende la somma tra la lunghezza del fondo dell'alveo e delle sponde.

$$R = \frac{A}{p_b}$$

Con i dati ricavati dalle misure sono stati ottenuti, quindi, i raggi idraulici delle due sezioni (Tab. 8).

Le pendenze del fondo sono state ricavate per ciascun bacino, suddividendo il profilo longitudinale dell'asta in quattro tronchi e calcolando la media delle pendenze ponderata in base alle lunghezze (Tab. 9).

Al fine di determinare il coefficiente di scabrezza, è stata utilizzata l'equazione di Manning:

$$\chi = \frac{1}{n} * R^{\frac{1}{6}}$$

dove:

- n è il coefficiente di Manning
- R è il raggio idraulico

per cui la formula di Chézy diventa:

$$V = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * i^{\frac{1}{2}}$$

Tabella 10. Valori da utilizzare per calcolare il coefficiente n di Manning (Chow, 1959)

| Condizioni dell'alveo | | Valori | |
|--|----------------------|--------|-------------|
| Materiale costituente l'alveo | Terra | n_0 | 0,020 |
| | Roccia | | 0,025 |
| | Alluvione grossolana | | 0,028 |
| | Alluvione fine | | 0,024 |
| Irregolarità della superficie della sezione | Trascurabile | n_1 | 0,000 |
| | Bassa | | 0,005 |
| | Moderata | | 0,010 |
| | Elevata | | 0,020 |
| Variazione di forma e dimensione della sezione trasversale | Graduale | n_2 | 0,000 |
| | Occasionale | | 0,005 |
| | Frequente | | 0,010-0,015 |
| Effetto relativo di ostruzioni | Trascurabile | n_3 | 0,000 |
| | Modesto | | 0,010-0,015 |
| | Apprezzabile | | 0,020-0,030 |
| | Elevato | | 0,040-0,060 |
| Effetto della vegetazione | Basso | n_4 | 0,005-0,010 |
| | Medio | | 0,010-0,025 |
| | Alto | | 0,025-0,050 |
| | Molto alto | | 0,050-0,100 |
| Grado di sinuosità dell'alveo | Modesto | m_5 | 1,000 |
| | Apprezzabile | | 1,150 |
| | Elevato | | 1,300 |

Tabella 11. Valori dei coefficienti parziali utilizzati e relativi coefficienti n di Manning

| | Bacino 1 | Bacino 2 |
|-------|----------|----------|
| n_0 | 0,024 | 0,024 |
| n_1 | 0,020 | 0,020 |
| n_2 | 0,010 | 0,010 |
| n_3 | 0,030 | 0,050 |
| n_4 | 0,030 | 0,050 |
| m_5 | 1,150 | 1,150 |
| n | 0,131 | 0,200 |

Tabella 12. Valori delle velocità di deflusso

| | Velocità [m/s] |
|----------|----------------|
| Bacino 1 | 1,500 |
| Bacino 2 | 0,733 |

Tabella 13. Portate massime ammissibili nelle due sezioni

| | Area sezione [m ²] | Velocità [m/s] | Portata [m ³ /s] |
|----------|--------------------------------|----------------|-----------------------------|
| Bacino 1 | 15,5225 | 1,500 | 23,296 |
| Bacino 2 | 72,4931 | 0,733 | 53,106 |

Il coefficiente n di Manning è stato calcolato dalla formula seguente (Chow, 1959), rifacendosi ai coefficienti parziali della Tab. 10.

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * m_5$$

I coefficienti parziali utilizzati e i coefficienti n di Manning ricavati nella formula di Chow (1959) sono riportati in Tab. 11.

Coi dati ottenuti, sono state calcolate le velocità di deflusso V tramite la formula di Chézy (Tab. 12).

Infine, moltiplicando le aree delle sezioni per le rispettive velocità di deflusso, sono state ricavate le portate massime ammissibili per le due sezioni analizzate (Tab. 13).

CONCLUSIONI

Dal confronto tra le portate massime ammissibili delle due sezioni e le portate di progetto calcolate con il Metodo Razionale (Tab. 14) si rileva che, in entrambe le sezioni analizzate, le portate attese per tempi di ritorno anche solo di 10 anni sono notevolmente maggiori della portata massima ammissibile con prevedibili allagamenti delle zone edificate circostanti.

Tabella 14. Verifica idraulica delle due sezioni prese in esame: in entrambe le sezioni, le portate attese per tempi di ritorno anche solo di 10 anni sono maggiori della portata massima ammissibile con prevedibili allagamenti delle zone edificate circostanti

| | Portata di massima piena [m ³ /s] | Portata ammissibile [m ³ /s] |
|---------------------------|---|--|
| Sezione 1 (Tr = 10 anni) | 128,66 | 23,296 |
| Sezione 1 (Tr = 20 anni) | 146,74 | 23,296 |
| Sezione 1 (Tr = 50 anni) | 170,18 | 23,296 |
| Sezione 1 (Tr = 100 anni) | 187,78 | 23,296 |
| Sezione 1 (Tr = 200 anni) | 205,23 | 23,296 |
| Sezione 2 (Tr = 10 anni) | 239,70 | 53,106 |
| Sezione 2 (Tr = 20 anni) | 272,08 | 53,106 |
| Sezione 2 (Tr = 50 anni) | 313,90 | 53,106 |
| Sezione 2 (Tr = 100 anni) | 345,27 | 53,106 |
| Sezione 2 (Tr = 200 anni) | 376,44 | 53,106 |

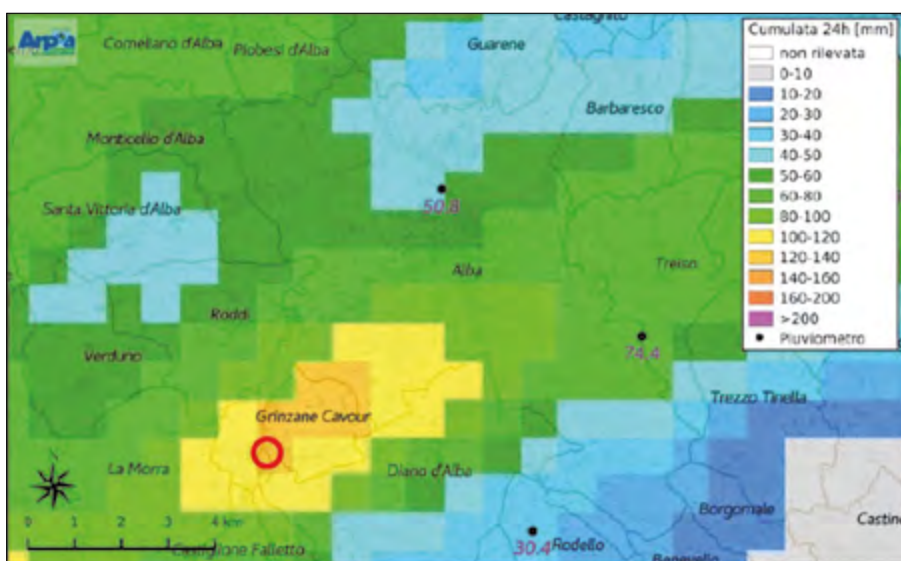


Figura 9. Evento meteorologico del 5 settembre 2019: mappa di precipitazione cumulata giornaliera stimata da radar (Rif: WEB. n. 3). In rosso, l'ubicazione della sezione 1



Figura 10. Il muro crollato appena a monte della sezione 1 a seguito dell'evento meteorologico del 5 settembre 2019 (Rif: WEB n. 4)

Per quanto riguarda la sezione 2, è stato preso in considerazione anche il troppopieno che, in corrispondenza del ponticello che lo sormonta (particolare 2 di Fig. 7), ha un'area A di 38,65 m² e un raggio idraulico pari a 2,4. La velocità del flusso è risultata di 1,35 m/s e la portata ammissibile di 52,307 m³/s, insufficiente ad evitare l'erosione in qualsiasi evento considerato nelle simulazioni. Un'ultima considerazione riguarda l'efficacia degli interventi a difesa delle abitazioni a rischio: mentre si redigeva il presente lavoro, in data 5 settembre 2019 si verificava un intenso evento piovoso con grandine su Grinzane Cavour, con massimo registrato dal radar meteorologico proprio in corrispondenza della sezione 1 (Fig. 9).

Il muro, costruito con l'intenzione di non far straripare le acque dal T. Talloria, ha in questo caso anche impedito il drenaggio delle acque verso il corso d'acqua, con saturazione del terrapieno retrostante il muro e collasso dello stesso per le forti spinte da monte (Fig. 10).

BIBLIOGRAFIA

- BENINI G., *Sistemazioni idraulico forestali*. UTET Torino, 283 pp.
- BIGI G., CASTELLARIN A., COLI M., DAL PIAZ G.V., SARTORI R., SCANDONE P. & VAI G.B. (1990), *Structural Model of Italy scale 1:500.000, sheet 1*. C.N.R., Progetto Finalizzato Geodinamica, SELCA Firenze.
- BONI A., CASNEDI R. (1970), *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 - Fogli 69 e 70 Asti - Alessandria*. Servizio Geologico d'Italia, Poligrafica & Cartevalori, Ercolano (NA), 64 pp.
- BOVE A., MASCIOTTO L. (2017), *Caratterizzazione geologica e geomorfologica del sito "I paesaggi vitivinicoli del Piemonte: Langhe, Roero e Monferrato" iscritto nella lista del Patrimonio Mondiale dell'UNESCO*. Geologia dell'Ambiente. Periodico della SIGEA, Società Italiana di Geologia Ambientale, n. 2/2017, ISSN 1591-5352, 12-19.
- CHOW V.T. (1959), *Open Channel Hydraulics*. Mc Graw Hill Company, 680 pp.
- PIANA F., FIORASO G., IRACE A., MOSCA P., D'ATRI A., BARALE L., FALLETTI P., MONEGATO G., MORELLI M., TALONE S. & VIGNA G.B. (2017), *Geology of Piemonte region (NW Italy, Alps-Apennines interference zone)*, Journal of Maps, 13:2, 395-405, DOI: 10.1080/17445647.2017.1316218

RIFERIMENTI WEB

- https://www.paesaggivitivinicoli.it/wp-content/uploads/2017/05/panoramica-wpcf_1250x780.jpg
- https://www.arpa.piemonte.it/rischinaturali/accesso-ai-dati/annali_meteorologici
- <http://www.arpa.piemonte.it/pubblicazioni-2/relazioni-tecniche/analisi-eventi>
- <http://www.lavocedialba.it/2019/09/06/leggi-notizia/argomenti/cronaca-17/articolo/bomba-dacqua-e-grandine-agallo-grinzane-si-fa-la-conta-dei-danni-foto-e-video.html>

L'erosione costiera: i processi morfogenetici e morfoevolutivi della linea di costa da Ostia a Fregene

Coastal erosion: morphogenetic and morphological evolution of Ostia to Fregene coastline

Parole chiave: erosione costiera, instabilità idrogeologica, processi morfogenetici, trasporto solido del Tevere, Ostia e Fregene

Key words: coastal erosion, hydrogeological instability, morphogenetic processes, solid Tiber transport, Ostia and Fregene

Ilaria Falconi

Tecnico ambientale ISMEA c/o MIPAAF

Consigliere nazionale SIGEA

E-mail: ilaria.falconi.greenadvantage@gmail.com

INTRODUZIONE

Da lungo tempo si discute in ambito scientifico sul fenomeno del dissesto idrogeologico, che, in Italia si manifestano con eventi impetuosi e rapidi, ad andamento catastrofico, richiamando l'attenzione delle istituzioni, politici, scienziati, tecnici e del pubblico. Il dissesto idrogeologico è un potente modificatore del paesaggio. Nella loro virulenta forma presente, fenomeni come le frane, le inondazioni, l'erosione costiera sono stati definiti come malattia della civilizzazione, perché il progresso tecnologico ha accelerato il lento decorso di questi fenomeni naturali in maniera travolgente e preoccupante. Va comunque detto che i fenomeni del dissesto idrogeologici sono antichi come la Terra, anche se in molti casi l'uomo, nel corso del tempo, ha trasformato il territorio rendendolo molto più vulnerabile ad essi.

Prima di progettare e realizzare interventi occorre eseguire un'analisi approfondita del territorio ai fini della previsione, prevenzione e mitigazione del rischio idrogeologico che tenga conto anche della biodiversità, della geodiversità e dei processi naturali in continua evoluzione, prevedendo i conseguenti effetti sul paesaggio.

Nell'ultimo cinquantennio, in Italia, la dissipazione di risorse primarie e il non corretto uso del suolo hanno dato luogo ad una situazione di diffuso degrado che contribuisce ad amplificare gli effetti dei fenomeni distruttivi di origine naturale quali alluvioni, frane ed erosione della costa. L'incidenza e la frequenza di alcuni di detti fenomeni è peraltro in aumento in tutto il mondo.

In genere, le cause vanno rinvenute nei modelli di sviluppo attuali che amplificano la vulnerabilità degli insediamenti attraverso localizzazioni pe-

ricolose, forme insediative non idonee e disfunzioni organizzative. L'obiettivo del lavoro proposto è l'individuazione dei fattori di vulnerabilità territoriale di origine antropica, che contribuiscono ad incrementare i livelli di rischio presenti sul territorio. Lo studio che si espone analizza l'evoluzione della costa, con un'attenzione particolare all'arretramento della linea di riva lungo il litorale romano, specificatamente nel tratto costiero che va da Ostia a Fregene.

Per valutare l'evoluzione della linea di riva, sono state utilizzate le fotografie aeree fornite dalla Regione Lazio, per gli anni 1980 - 1990 - 1991 - 2002, e le cartografie, realizzate a partire dal 1960, messe a disposizione dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare. Si è provveduto ad effettuare un primo confronto dell'evoluzione storica del litorale mediante la sovrapposizione di cartografie riferite al periodo 1960 - 2012 e opportuna georeferenziazione. È stato inoltre espletato un monitoraggio in situ da maggio 2018 a marzo 2019.

Nelle conclusioni, si mette in luce che le opere di difesa sino ad oggi attuate non hanno contribuito a risolvere il problema dell'erosione costiera e si propongono, fra l'altro, possibili soluzioni innovative in particolare per il tratto di costa antistante Fregene.

INQUADRAMENTO TERRITORIALE DELL'AREA OGGETTO DELLO STUDIO

Il Tevere è il principale fiume dell'Italia centrale e peninsulare ed è il terzo fiume italiano per lunghezza dopo il Po e l'Adige. Per estensione del bacino idrografico è il secondo fiume italiano dopo il Po. Il Fiume Tevere ha una por-

tata media annua di 224 m³/sec e una bassa sinuosità. Non sono state rare, fino al 1937, piene eccezionali, durante le quali il Tevere ha talvolta raggiunto portate vicine ai 4.000 m³/sec. È quindi, dopo il Po e il Ticino, il terzo fiume italiano per quanto riguarda la portata. Il percorso del fiume si snoda attraverso un territorio che ricade in sei regioni: nasce in Emilia - Romagna, attraversa la porzione centro orientale della Toscana, passa per l'Umbria e, dopo aver ricevuto il contributo dalle Marche e dall'Abruzzo, percorre il Lazio e, attraversata la città di Roma, sfocia nel Mar Tirreno non più solo a Ostia, come in passato, ma anche a Fiumicino in un delta di due bracci, uno naturale, c.d. "Fiumara", e l'altro artificiale, il canale di Traiano, che delimitano l'Isola Sacra. All'apporto sedimentario del Tevere, si deve principalmente la formazione delle numerose spiagge site lungo le ali dell'apparato.

Quelle poste a nord della foce sono collegate più direttamente, rispetto a quelle situate a sud, agli apporti sedimentologici del fiume. Detto fattore è poi all'origine dei differenti *trend* erosivi tra i due tratti. Le correnti provenienti da sud - est deviano verso nord il pennacchio del Tevere, innescando così la sovralimentazione del settore a nord. La dinamica dell'apice deltizio è molto vivace, con assetto divergente verso nord - ovest e verso sud - est.

Il trasporto solido del Tevere, inoltre, rappresenta il fattore principale determinante l'evoluzione morfologica dell'alveo e delle spiagge limitrofe alla foce. Nel dettaglio, nella cuspidale fociva del Tevere, il trasporto solido è divergente in quanto nella zona situata a nord è diretto da sud verso nord, mentre in quella a sud è diretto da nord verso sud. Il trasporto solido potenziale risultante

è diretto da sud verso nord e rappresenta la causa principale della tendenza evolutiva che interessa il litorale.

A Roma, il trasporto solido del Tevere si verifica in massima parte in sospensione e in misura trascurabile al fondo, per cui il valore del trasporto torbido annuo può essere assimilato al valore totale del trasporto solido. Il trasporto solido a Roma è concentrato durante i fenomeni di piena, in cui la portata media giornaliera supera il valore soglia di 340 - 360 m³/s. Il trasporto solido, che nel 1970 era attestato attorno a 137 m³/km² (fonte: MIN. LL. PP. - Servizio Idrografico), ha consentito l'accrescimento della piana deltizia. I dati ricavati dalla stazione di Roma Ripetta evidenziano una progressiva riduzione del trasporto torbido annuo dal periodo 1873 - 1879 fino ai giorni nostri causato da fattori naturali e antropici (Fig.1).

- Firenze; la costruzione di sette soglie da Ponte Milvio fino al porto di S. Paolo per contrastare l'approfondimento del fondo; la costruzione da parte dell'Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile (ENEA) di cinque impianti idroelettrici sull'asta principale del fiume nel medio e basso corso, che svolgono una funzione di diminuzione del trasporto solido, a causa della riduzione della pendenza che generano a monte nel caso delle traverse (Castel Giubileo, Nazzano e Ponte Felice) e della presenza dei serbatoi nel caso delle dighe (Corbara, Alviano e Montedoglio). La relazione esistente tra costruzione degli invasi idroelettrici e la diminuzione dei deflussi torbidi è evidenziata nella Fig. 1: dopo il 1952, anno di entrata in funzione dello sbarramento di Castel Giubileo, si registra una diminuzione

te delta", ossia "il contatto terra - mare avviene su spiaggia sabbiosa localmente distaccata dalla terraferma ed avente una geometria d'insieme aggettante in mare ed una laguna o palude nel retrolitorale. Gli apporti solidi provengono da bocche fluviali e il trasporto lungo riva è molto sviluppato".

La porzione di litorale laziale compresa tra Fregene, a nord, ed Ostia, a sud, è caratterizzata da costa bassa e sabbiosa, fortemente utilizzata a fini turistici, con apparati dunali e retrodunali, in parte interessati da pinete piantate nel secolo scorso (Castel Fusano). Nel dettaglio, le spiagge sabbiose del Lido di Ostia si estendono per 10 km dall'estremità meridionale della foce del Tevere a Castel Fusano e la loro evoluzione è stata, ed è attualmente, dominata dal regime stesso del fiume.

Il litorale di Ostia, in genere, viene suddiviso in tre tratti: ponente (dalla foce del Tevere al Pontile della Vittoria), centro (dal Pontile della Vittoria al Canale dei pescatori) e levante (dal Canale dei pescatori a Castel Fusano). Le sabbie sono scure e leggere in quanto sono costituite principalmente da granuli quarzosi originati dall'erosione delle rocce sedimentarie del bacino del Tevere.

Tutta la fascia costiera del comune di Fiumicino è costituita da sabbie grigie delle dune recenti e da sabbie fini giallo - rossastre delle retrostanti dune continentali mediamente consolidate e con suoli più evoluti.

VALUTAZIONE DEI FENOMENI ACCADUTI ED OPERE DI DIFESA PRESENTI NEL TRATTO DI COSTA COMPRESO TRA OSTIA E FREGENE

I primi interventi di difesa dell'area marina in esame hanno riguardato Ostia ponente, ossia il tratto subito in destra idraulica del Fiume Tevere, per poi ampliarsi sempre più a sud. Dagli anni '50, opere di difesa costituite da pennelli trasversali sommersi e barriere longitudinali sommerse si rinvennero lungo la quasi totalità del tratto di costa tra il Pontile della Vittoria ed il Canale dei Pescatori, anche se in alcuni punti non in modo omogeneo. Appena oltre il canale, immediatamente a ridosso, è presente una barriera longitudinale.

Si è constatato che i pennelli ed i frangiflutti risultano efficienti nell'immediato, ma, a distanza di qualche decennio, mostrano la loro inefficienza se non addirittura la loro dannosità sottoflutto. Infatti, dopo gli anni Settanta, essi hanno perso

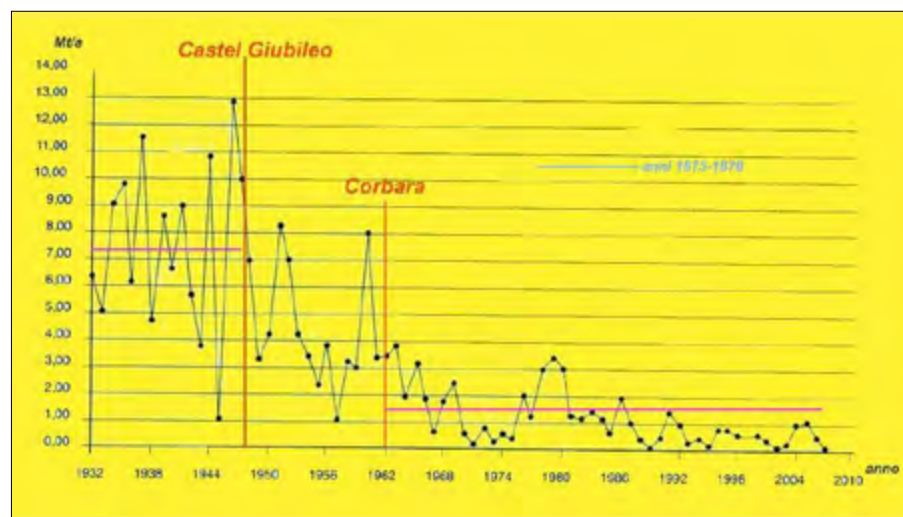


Figura 1. Il trasporto solido del fiume Tevere

Nell'ultimo secolo, sul Tevere si sono succeduti diversi interventi antropici, i cui effetti si sono talvolta sommati e hanno determinato esiti spesso non previsti, per la cui soluzione si sono resi necessari nuovi interventi.

Tra gli interventi antropici si annoverano: la costruzione dei muraglioni nel tratto tra Ponte Margherita e Ponte Palatino per la difesa della città di Roma dalle piene; l'arginatura del tratto vallivo del Tevere da Roma al mare, nel 1930, per proteggere i terreni bonificati dall'erosione e restringere l'alveo di magra per la navigazione; il banchinamento del tratto urbano delle arginature al fine di salvaguardare la stabilità dei muraglioni minacciata dall'erosione del fondo, conseguenza della citata arginatura; i prelievi in alveo di ingenti quantità di materiale inerte avvenuti specialmente negli anni '60 per la realizzazione dell'autostrada A1 e della ferrovia Roma

del deflusso torbido di circa il 40%; una diminuzione ulteriore si riscontra dopo la costruzione della traversa di Nazzano e del bacino di Corbara avvenuta nel decennio a cavallo tra gli anni cinquanta ed i sessanta.

LE SPIAGGE PRESENTI NEL LAZIO

Nella regione Lazio, su 290 Km di litorale, le spiagge occupano circa 220 km, di cui il 20% a rischio di erosione, come le aree in prossimità della foce fluviale (ad es. Ostia e Fiumicino) e la duna costiera del Circeo. Le opere di difesa rappresentano circa il 35% del litorale. Le spiagge del litorale romano ricadono nell'ala sinistra del delta del Tevere e si estendono per una lunghezza di 17 km dalla foce fino alle secche di Tor Paterno. Il morfotipo costiero romano, come individuato in "Elementi di gestione costiera - ENEA", è di tipo "costa di fron-

decisamente efficace e il moto ondoso sta infliggendo seri danni alle strutture balneari e, nel complesso, all'intero litorale.

Nel 1988, nella zona tra il Pontile della Vittoria ed il Canale dei Pescatori (Ostia centro), fu avviata la progettazione di un innovativo intervento di ripascimento protetto da barriera longitudinale sommersa fissa, la cui realizzazione, iniziata poi nel 1990, era finalizzata a ricreare un'ampia fascia di spiaggia che avesse la capacità di difendere la costa e di riprodurre il meccanismo di protezione delle barre naturali. La sabbia scura nativa, tipica del posto, è molto fine ($D_{50} = 0,15 - 0,30$ mm) e per far fronte alla scarsità di sabbia marina adeguata per il ripascimento da effettuare fu individuata, a circa 20 km dalla foce del Tevere una cava terrestre di sabbia gialla e breccia, dalla forma ben arrotondata. Il sistema di protezione costiera si estendeva per quasi 2,5 km ed era costituito da due elementi principali: la barriera sommersa e il ripascimento di sabbia. Nel dettaglio, la barriera sommersa fu collocata parallelamente alla linea di riva, posta ad una distanza di circa 150 m ed imbasata su un fondale di circa -4,0 metri dal livello marino medio, con una larghezza di cresta di progetto di 15 metri, alla quota -1,5 m, con pendenza della scarpata lato mare pari a 1:5. La scogliera fu realizzata con pietrame assortito, con peso massimo di 1 t (D_{50} stimato di 0,5 metri), posata in opera su materiale geotessile, con una trincea di protezione al piede larga 5 metri e profonda 1 metro. Il materiale impiegato fu di circa 300.000 m³ di roccia (basalto e calcare provenienti da differenti cave).

La cresta della barriera, effettivamente costruita con una larghezza di 20 metri a una quota di -1,8 m, ha subito rapidamente cedimenti, sprofondando a una quota media da -2,0 m (1992) a -2,3 m (2003) dal livello marino medio. Nel successivo decennio, si è registrato ancora un abbassamento medio di circa 0,5 m e un allargamento di alcuni metri. In particolare, la sezione di scogliera a ridosso del Pontile della Vittoria risulta la più danneggiata; infatti, già nel 1996, si è rilevata una riduzione di volume del 25%. A riguardo, si evidenzia che la barriera sommersa viene sottoposta all'azione turbolenta del moto ondoso frangente. I due principali fenomeni che, nel tempo, ne modellano la geometria sono: il dislocamento dei massi esterni durante le mareggiate più intense e lo sprofondamento della base nel sedime sabbioso.

Inoltre, il ripascimento della spiaggia allora operato consisteva nel versa-

mento di un doppio strato di materiale di cava terrestre. Lo strato inferiore era costituito da sabbia mista a ghiaia con granulometria molto assortita compresa tra 0,08 e 120 mm. Lo strato superiore, di spessore pari a 1 metro, era composto da sedimento di granulometria compresa tra 0,3 e 1,3 mm ($D_{50} = 0,5$ mm). A ridosso della scogliera, lo strato inferiore era risoltato per uno spessore di 5 m, con funzione di filtro tra il materiale fine superiore e la scogliera; la pendenza di equilibrio della spiaggia era pari al 2.5% e la sommità della berma era posta a una quota pari a +1,0 metri. L'avanzamento medio di progetto della linea di riva era previsto all'incirca di 60 m.

Successivamente, nel 1998, furono versati 235.000 m³ di sabbia ($D_{50} = 0,2$ mm), proveniente da cava terrestre, tra viale delle Repubbliche Marinare e viale del Lido, per un'estensione totale di 1.220 metri, coinvolgendo un tratto del lido di Ostia centro e realizzando un pennello lato nord - ovest al Pontile della Vittoria; nel 2000, un nuovo ripascimento di 70.000 m³ provenienti dal dragaggio della foce del Canale dei Pescatori fu effettuato tra Piazza Magellano e lo stabilimento Belsito; nel 2003, un altro versamento di 366.000 m³, di provenienza sottomarina ($D_{50} = 0,2$ mm), è stato eseguito tra il Pontile della Vittoria e lo stabilimento Belsito ed infine, nel 2012, è stato realizzato un ulteriore ripascimento morbido tra il Canale dei Pescatori e via Cristoforo Colombo, vanificatosi dopo appena tre mesi a seguito di una forte mareggiata.

Dato che l'estensione lorda degli arenili (spiaggia calpestabile ed occupata dalle strutture degli stabilimenti) risultava nel 1999 (prima del ripascimento ricostruttivo) di circa 580.000 metri quadri, l'aspettativa di progetto era un'area lorda di spiaggia di circa 700.000 m². Sulla base dei rilievi aereofotografici a disposizione, effettuati nel 1998, è stato evidenziato che l'obiettivo progettuale di ottenere una superficie di arenile di circa 70 ettari lordi tra il Canale dei Pescatori e lo stabilimento La Marinella, dal 1999 (anno della ricostruzione della spiaggia) al 2013, è stato raggiunto. Tuttavia, nello stesso periodo, si è assistito ad un incremento del 30% dell'area edificata per nuove strutture balneari, che ha sottratto alla spiaggia calpestabile una rilevante quota di quella ottenuta con il ripascimento del 1999. Inoltre, dal 2001 al 2004, specifici lavori di manutenzione hanno riguardato anche la struttura sommersa, ricaricata lungo l'intero tratto con massi naturali

di peso compreso tra 1 e 3 tonnellate, facendo raggiungere alla cresta una quota variabile tra -0,5 m s.l.m.m., nel tratto di NO, e -1,0 m s.l.m.m. nel tratto centrale ed a SE. Si evidenzia infine che nel 2001, nel tratto di litorale laziale compreso tra la zona sottoflutto del Canale dei Pescatori e l'area della Tenuta di Castel Porziano, in prossimità dello stabilimento Sporting Beach, è stato anche sperimentato il *Beach Management System* (BMS). La spiaggia interessata, prima dell'installazione, era larga circa 43 m, con sabbie a granulometria fine ($D_{50} = 0,15 - 0,20$ mm). Il BMS di Ostia, il primo impianto italiano di drenaggio, era costituito da tre condotte drenanti indipendenti, aventi un diametro di 160 mm, ognuna dotata di una propria stazione di pompaggio. Nel dettaglio, il principio di funzionamento era basato su un sistema di drenaggio artificiale lungo la battigia: una condotta drenante sepolta determinava un abbassamento del livello freatico e la creazione di una zona non satura al di sotto della superficie sabbiosa. Il sito aveva subito un intervento di ripascimento nel 1999 e il prototipo di impianto di drenaggio iniziò l'attività nel febbraio 2001, restando operativo per poco più di un anno, quando si decise di effettuare un altro ripascimento. Purtroppo non sono disponibili dati a lungo termine per poter effettuare considerazioni sull'efficacia o meno del BMS di Ostia, in quanto l'impianto fu spento definitivamente a seguito del danneggiamento delle condotte drenanti.

Il litorale di Ostia, oggetto di processi erosivi, come sin qui descritto, è attualmente "minacciato" da un nuovo progetto, nato per fronteggiare il fenomeno: si prevede la realizzazione di 8 pennelli ortogonali alla linea di costa della lunghezza di 200 m, a forma di T, per un tratto di 4 km, a fronte di 1 km di costa in regime critico.

L'ultimo pennello ricadrebbe peraltro a ridosso del sito d'importanza comunitario (SIC), individuato con codice Natura 2000 - IT6030027, di Castel Porziano. Sulle possibili iniziative da assumere in alternativa, si tratterà nelle conclusioni.

Nel corso degli ultimi decenni, per contrastare l'erosione costiera, sono stati messi in opera diversi interventi di difesa, realizzati in più fasi, sia nel tratto di costa dinanzi all'abitato di *Fiumicino* sia in quello antistante *Focene*. Quest'ultimo sito presenta, nel tratto di costa più prossimo alla foce del Tevere, un elevato grado di antropizzazione anche in ter-

mini di opere marittime per la difesa del litorale (scogliere frangiflutti).

La variazione della linea di riva osservata tra il 1992 e il 1996 (precedentemente alla realizzazione delle opere di difesa a Focene) si caratterizzava per un forte arretramento nel tratto di costa tra Fiumicino e Focene (nell'area antistante l'aeroporto) e lungo il litorale stesso di Focene, con valori di arretramento compresi tra - 20 metri e - 40 metri.

Tra il 1996 ed il 2013, le opere di difesa ivi realizzate hanno permesso di contenere localmente la tendenza erosiva, ma non hanno attenuato il trasporto solido potenziale, il cui gradiente ha innescato, immediatamente sottoflutto al litorale, evidenti fenomeni di arretramento della linea di riva, responsabili dell'attuale tendenza evolutiva. Infatti, il tratto di costa prospiciente l'abitato di Focene è stato caratterizzato dall'esecuzione di molteplici interventi di difesa costiera, messi in opera in più fasi di intervento. Attualmente è possibile osservare la presenza di 17 pennelli trasversali connessi a barriere distaccate, più o meno sommerse, che presentano un andamento planimetrico poco omogeneo. Gli interventi di difesa hanno arrestato i fenomeni erosivi in corso nel tratto di costa retrostante ma hanno dato avvio a evidenti effetti di bordo che hanno provocato erosione nel tratto di costa sottoflutto.

In tale contesto, il litorale di Fregene ha da sempre beneficiato degli apporti solidi provenienti dallo smantellamento dei tratti di costa sopraflutto e, solo ultimamente, con la messa in esercizio dei nuovi interventi di difesa costiera presso Focene, che hanno ridotto il trasporto solido, ha iniziato ad essere interessato da fenomeni erosivi. La portata solida nel tratto di litorale compreso tra il canale di Fiumicino e Focene, grazie alle opere di difesa, risulta molto contenuta. Nel tratto di costa compreso tra Focene e Fregene, la portata solida aumenta in modo significativo e genera una zona in erosione per poi stabilizzarsi lungo il litorale stesso.

A Fregene, conseguentemente, per il tratto di costa compreso tra gli stabilimenti balneari La Perla a sud e La Vela a nord (circa 770 m), a partire dal pennello in destra della foce del canale Collettore Acque Alte, è stato progettato un geotubo sommerso ed un ripascimento manutentivo. L'obiettivo principale del geotubo è quello di proteggere l'arenile dal fenomeno erosivo in atto e costituire un ostacolo al continuo e progressivo abbassamento dei fondali a ridosso della linea di riva. Il proget-

to prevede che il geotubo, costituito da moduli in polipropilene riempiti con sabbia, sia posizionato parallelamente alla costa lungo il litorale sud di Fregene. Il manufatto dovrà essere intestato a un'esistente opera trasversale in modo da evitare erosioni localizzate all'estremità sopraflutto. La maggior parte del geotubo sarà affondato nella sua sezione trasversale, all'interno del fondale, in modo da evitare erosioni dovute a fenomeni di riflessione lungo il relativo fronte e garantire così la massima stabilità e funzionalità dell'opera. L'installazione è prevista all'interno di una trincea scavata nel fondale per garantirne un opportuno immorsamento. Il manufatto dovrà raccordarsi all'attuale linea di riva in un tratto di circa 100 metri.

Sono state previste tre differenti sezioni tipologiche:

- la prima, a correre con un geotubo di diametro nominale di 3,00 metri con quota di imposta prevista in scavo a - 3,10 metri s.m.m., in modo da garantire un adeguato immorsamento della struttura ed evitarne successivi scalzamenti per effetto del moto ondoso incidente, con sommità a - 1,00 m s.m.m.;
- la seconda, localizzata per gli accessi agevolati al mare con un geotubo di diametro 2,00 m, alla medesima quota di imposta del primo geotubo;
- l'ultima sezione, ancor più ribassata, con sommità a - 1,20 m s.m.m., al fine di garantire due corridoi di lancio, in corrispondenza degli stabilimenti balneari Break Point e Capri, a servizio della nautica da diporto.

La prima fase per la posa del manufatto prevede lo scavo della trincea per l'immorsamento del geotubo, mediante escavatore montato su pontone galleggiante, che dovrà iniziare dal pennello di foce del Collettore Acque Alte e avanzare verso nord. Il materiale di risulta potrà essere temporaneamente stoccato sul pontone per il successivo reimpiego per il riempimento del geotubo. Lo scavo potrà procedere per tratti successivi di lunghezza pari a quella dei moduli del manufatto da posare successivamente, indicativamente 35 m.

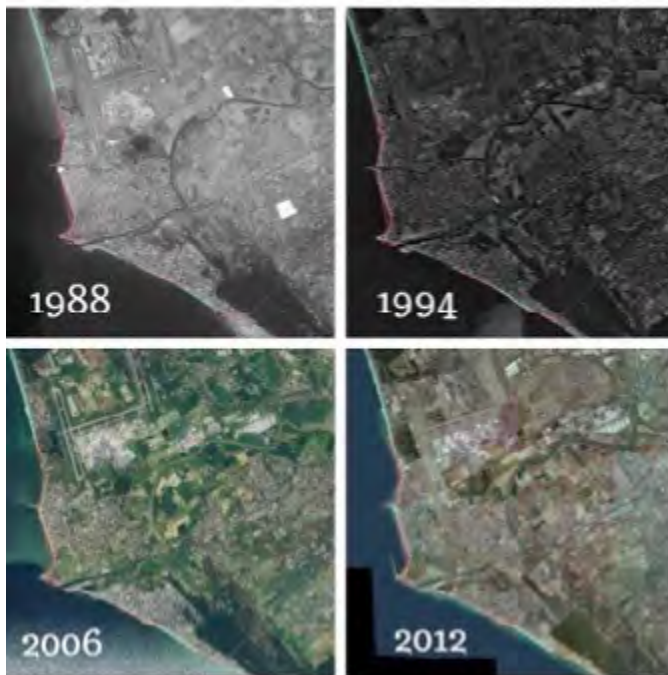
Alla fase di scavo, seguirà il posizionamento del geotubo vuoto, opportunamente vincolato con pali di posa, in ragione di almeno 3 + 3 pali per ciascun modulo. Il riempimento della struttura verrà effettuato con il materiale di risulta degli scavi precedenti, facendolo affondare nella posizione prescelta, al fine di garantire l'allineamento di progetto e la continuità della posa in opera.

Completato il riempimento e l'affondamento, il fondale in adiacenza al geotubo mediante rinfiacco con la sabbia precedentemente escavata. Successivamente, verrà effettuato un ripascimento ricostruttivo del litorale sud di Fregene, lungo un tratto esteso circa 770 metri, a partire dal pennello esistente in destra della foce del canale delle Acque Alte, a sud dello stabilimento La Perla, fino allo stabilimento La Vela, a tergo del geotubo, con il deposito di un volume di sabbia pari a circa 25.000 m³ in prossimità dell'attuale linea di riva fino alla quota di 1,00 metri s.m.m. La sabbia dovrà essere prelevata preferibilmente da un'area localizzata lungo la spiaggia emersa della falcatura nord del litorale di Fregene, in prossimità della foce del fiume Arrone.

Tale area si localizza all'interno della stessa unità fisiografica dell'area di intervento, nella quale si osserva da anni un avanzamento della costa dovuto proprio al deposito del materiale eroso dal litorale sud. In corso d'opera, sarà necessario monitorare le operazioni di riempimento e di affondamento del geotubo, tratto per tratto, per assicurare che non si verifichino sversamenti di materiale o danneggiamenti dell'opera stessa. Le eventuali perdite di materiale dai moduli danneggiati, in grado di modificare sostanzialmente la forma, la dimensione e la stabilità dell'opera, dovranno essere compensate con il ripristino di sabbia dai bocchettoni di carico lasciati in opera. In corso di affondamento di ciascun modulo, dovrà inoltre essere verificato, il grado di riempimento del geotubo e la relativa ovalizzazione, mediante la misurazione della quota di posa sul fondale in tre punti al piano di appoggio, la quota di sommità in tre punti lungo l'asse e la larghezza resa lungo i fianchi del modulo posato.

Nella fase *post operam*, la verifica della stabilità dell'opera sarà effettuata monitorando i possibili movimenti della struttura soffolta, le batimetrie dei fondali, la possibile formazione di erosioni localizzate sul fondale in prossimità e in corrispondenza della struttura tali da comprometterne la stabilità e il possibile arretramento dell'arenile. Infine, occorrerà effettuare campagne annuali di rilievo topo - batimetrico, eventualmente intensificate a cadenza semestrale per i primi due anni successivi all'intervento di posa in opera del geotubo. L'impatto dell'opera sul suolo è riconducibile a possibili effetti di erosione e accumulo sulle spiagge oggetto di intervento e su quelle limitrofe.

Variatione linea di riva 1960 - 1994



Variatione linea di riva 1994 - 2012



Figura 2a. Il delta del Tevere - Variazione linea di riva (fotoaeree 1988, 1994, 2006 e 2012)

VALUTAZIONE DELL'EROSIONE NEL TRATTO DI COSTA COMPRESO TRA OSTIA E FREGENE

Per Ostia, il confronto tra le linee di riva storiche ha evidenziato un'alternanza di tratti in erosione e in avanzamento. Le zone con un *trend* evolutivo più marcato sono quelle in corrispondenza della foce del Fiume Tevere (in erosione) ed i tratti di litorale tra lo stabilimento Maristella e la spiaggia di Castel Porziano (in avanzamento). Il litorale tra la spiaggia di Castel Fusano e quella di Castel Porziano risulta ancora in avanzamento, mentre in erosione si presenta il tratto di costa tra Pantan di Lauro e il confine con il comune di Pomezia. La zona di Ostia però merita un discorso a parte, in quanto la situazione di sostanziale stabilità è il risultato di pesanti e continui interventi con opere rigide e ripascimenti. Il confronto delle linee di riva, peraltro, non tiene in considerazione l'approfondimento dei fondali che si è verificato sul lato esterno della barriera sommersa (Figg. 2 a - b).

L'erosione è maggiormente concentrata nelle vicinanze della foce del Fiume Tevere, in particolare in prossimità di Ostia. La posa in opera di strutture di difesa costiera distaccate emergenti (realizzate negli anni '70 e '80), in corrispondenza della foce, ha spostato l'erosione verso le spiagge limitrofe, soprattutto verso la costa compresa tra il Pontile della Vittoria ed il Canale dei Pescatori, con conseguenti danni agli stabilimenti



Figura 2b. Il litorale di Ostia

balneari ed eccezionalmente, durante gli eventi estremi, alla strada litoranea. La barriera artificiale sommersa, installata negli anni '90, ha avuto un limitato effetto di protezione a causa della relativa profondità dalla sua sommità, mediamente tra $-2,0$ e $-2,5$ m dal livello marino medio, a seguito dei cedimenti e dei dislocamenti imputabili all'azione diretta del moto ondoso frangente, oltretutto per il progressivo intasamento con la sabbia. Si osserva nel contempo anche la progressiva demolizione delle barre naturali esistenti, che tendono ad unificarsi sulla barriera artificiale fissa.

Nel complesso, l'intervento di ripascimento protetto del 1990 ha riportato la linea di riva ad una posizione più avanzata rispetto a quella del 1944 (circa $10 \text{ m}^2/\text{m}$). Negli anni successivi, tutta-

via, si sono registrati altri considerevoli arretramenti dell'area di spiaggia concentrati in particolare nella zona nord: più di $16 \text{ m}^2/\text{m}$ di spiaggia in otto anni. Il rafforzamento della barriera davanti alla spiaggia dello stabilimento balneare Battistini, avvenuto nel 2001, ma anche le ulteriori ricariche di sabbia versata, hanno permesso il mantenimento della posizione della linea di costa nel tratto tra il Pontile della Vittoria e lo stabilimento Lido ad Ostia centro.

In definitiva, si evidenzia un avanzamento della linea di riva nell'estremo SE ed un arretramento nell'estremo NO, dovute principalmente al gradiente del trasporto solido netto in direzione SE. Infatti, la foce armata del Canale dei Pescatori intercetta e trattiene parte del trasporto solido longitudinale verso la

spiaggia di Ostia levante, dove, in effetti, continuano a manifestarsi i fenomeni erosivi più gravi, che hanno richiesto numerosi interventi di ripascimento.

Conseguentemente, per il tratto di Ostia levante, si riscontra la necessità di mantenere una sufficiente resilienza della spiaggia, così come richiesto da tutte le indicazioni europee, tra cui il Protocollo di Gestione Integrata della Zona Costiera (GIZC).

Si osserva anche che l'aver incrementato, dopo il ripascimento del '99, di oltre il 30% la superficie della spiaggia destinata a nuove strutture balneari espone i litorali a una elevata sensibilità alle naturali fluttuazioni della linea di riva e contribuisce a diminuire il margine di sicurezza da danni da mareggiata e di conseguenza l'effetto dei ripascimenti (Figg. 3 a - b).



Figura 3a. Incremento superficie della spiaggia dopo il ripascimento del 1999 (Ostia levante)



Figura 3b. Incremento strutture - Stabilimento balneare Venezia (Foto 2019)



Figura 4. Lo stabilimento Vecchia Pineta ed i danni prodotti dall'erosione allo stabilimento Nuova Pineta (Foto 2019)

Inoltre, anche le opere di urbanizzazione relative alla realizzazione del riallineamento della litoranea da piazza Gasparri al Porto di Roma hanno sottratto ulteriori superfici di spiaggia.

Infine, nel 2016, durante l'ultima audizione della Commissione Regionale sul livello di erosione marina e sulle opere da intraprendere per la difesa della costa, è stata assunta la decisione che il piano da quattro milioni di euro, fermo da quasi un decennio, sarebbe stato ripreso a breve. Gli studi per i pennelli sul litorale romano di Ostia levante hanno ottenuto l'autorizzazione dall'ISPRA e l'affidamento dei lavori doveva avvenire a fine gennaio del 2017. Purtroppo,

più di recente, gli stabilimenti balneari situati su tale tratto di litorale hanno subito consistenti danni a seguito della mareggiata dello scorso gennaio. Nel dettaglio, infatti, il mare, nel tratto di costa prospiciente lo stabilimento Vecchia Pineta, infrangendosi, contro la massicciata del marciapiedi del lungomare ha fatto anche crollare, distruggendole, una quindicina di cabine dello stabilimento balneare Nuova Pineta. Anche il blocco in muratura del bar - ristorante di quest'ultima struttura è ancora oggi circondato dalle onde del mare (Fig. 4).

Il bar dello stabilimento Shilling è rimasto, sospeso sulla battigia, e, presso gli stabilimenti balneari Sporting Beach

e Venezia, la mareggiata ha aperto un varco tra i diversi settori delle cabine, risucchiando al largo la spiaggia e privando gli impianti dello spazio di balneazione. Questi ultimi gravi danni, probabilmente, dovranno far ripensare agli strumenti di difesa già previsti ed autorizzati per l'area.

Fino agli anni Ottanta, nell'area compresa tra i ruderi di San Nicola e Fregene, si è notata la progressione dell'erosione, mentre più di recente si osserva una certa stabilità. A sud di Fregene, invece, si è evidenziata un'erosione marcata proprio nell'ultimo periodo. La costruzione delle dighe a protezione dello stabilimento della Purfina, situato a nord del Canale di

Fiumicino, ha incentivato l'erosione verso nord. Tra Fiumicino e la Fiumara Grande si rileva un forte abbassamento dei fondali fino alla profondità di 10 metri ed oltre. A sud della Fiumara Grande si nota un arretramento notevole della battigia ed un approfondimento considerevole dei fondali. Sia l'evoluzione storica (1944 - 1990) che quella più recente (1990 - 2005) mostrano un avanzamento della linea di costa piuttosto marcato nel Comune di Fiumicino, nel tratto tra l'Ospedale Bambino Gesù e l'Oasi di Macchia Grande. Nella zona in esame, pertanto, i tratti in erosione tendono ad espandersi verso nord di fronte alla Riserva Coccia di Morto e tra lo stabilimento balneare La Perla e Focene (Fig. 5).

CONCLUSIONI E PROPOSTE D'INTERVENTO

L'erosione del litorale laziale ha raggiunto in molti tratti livelli di grave dissesto e, considerata la rapida evoluzione dei fenomeni di arretramento delle spiagge degli ultimi anni, le prospettive future sono molto preoccupanti.

La gestione integrata del litorale necessita, come supporto alle azioni di tutela, di mitigazione ed adattamento, di un apparato conoscitivo evoluto ed aggiornato che evidenzi le dinamiche di correlazione tra le cause determinanti i rischi e le opzioni risolutive.

La difesa dei litorali va inserita all'interno di un contesto d'azione integrata a medio - lungo termine, in cui devono essere considerati gli effetti indiretti, che riducono la resilienza delle spiagge, e quelli diretti, causati dall'erosione costiera e dai cambiamenti climatici. Gli interventi di difesa devono essere integrati in un piano che deve includere criteri di sviluppo sostenibile e tutela ambientale in quanto la conservazione dei litorali, sabbiosi ben sviluppati e il contrasto all'erosione rappresentano, in genere, una strategia di difesa e di riduzione del rischio di inondazione dei territori costieri.

Qualsiasi opera di difesa costruita sugli arenili, in qualunque punto essa si trovi e indipendentemente dal tipo adottato, rappresenta sempre un ostacolo al libero movimento delle acque marine lungo il litorale, sia sotto forma di corrente sia di moto ondoso.

Le opere di difesa, quindi, devono essere conformate in modo che i movimenti delle acque possano superare l'opera e proseguire oltre, sia pure modificati e ridotti. L'inclinazione del paramento esposto alle onde è fondamentale, qualunque sia l'opera che si considera: pennello, muro, scogliera radente, etc. Infatti, un paramento a forte inclinazione dà luogo alla rottura violenta dell'onda con formazione di fenomeni di risacca molto intensi, alla caduta di notevoli masse d'acqua nella fase del suo ritorno al mare

e alla compromissione della stabilità ed integrità dell'opera di difesa. Soprattutto per i pennelli, è da evitare sia l'eccessiva sporgenza della difesa dal livello del mare sia l'eccessiva lunghezza dell'opera.

Nella progettazione di un'opera di difesa, occorre tenere nella debita considerazione e valutare opportunamente: le caratteristiche dei movimenti migratori dei materiali litici, con attenzione al senso nel quale questi si verificano; la posizione, rispetto all'opera da costruire, delle fonti di rifornimento dei materiali consistenti prevalentemente nelle conoidi situate alle foci dei fiumi; la ripartizione del materiale lungo gli arenili, dovuta alle caratteristiche del litorale nonché ai movimenti delle acque marine in prossimità del litorale stesso; la composizione granulometrica dei materiali e la quantità degli stessi che mediamente persiste nella zona.

Occorre pertanto: evitare di contrastare eccessivamente i movimenti naturali delle acque marine, cercando di assecondarli il più possibile; favorire la normale tendenza del mare al ripascimento, nel senso di non impedire del tutto l'azione di trascinarsi dei materiali sciolti lungo l'arenile ad opera delle correnti di riva; e non ostacolare il raggiungimento dell'arenile stesso da parte dei materiali sciolti, nella zona dei frangenti, dal moto ondoso e da questo trascinati in sospensione verso la riva.



Figura 5. Variazione linee di riva Comune di Fiumicino

Inoltre, non potendo conoscere l'entità e le caratteristiche dei cimenti cui l'opera è sottoposta quando viene colpita dall'onda, occorre anche dimensionare le opere sulla base dell'esperienza, ovvero tenendo conto del comportamento delle altre opere costruite nelle zone adiacenti che sono sottoposte più o meno a mareggiate della stessa entità. Nella progettazione di un'opera di difesa è necessario altresì esaminare attentamente l'opportunità di prevedere la sua esecuzione in un'unica fase oppure in più fasi, in relazione sia alla tendenza dell'opera a modificare i processi naturali che si verificano in quella zona del litorale sia all'entità delle difese stesse.

Infine, bisogna assolutamente subordinare l'entità dell'opera, e tanto più la tipologia, al fattore economico.

In conclusione, nel richiamare i criteri di scelta tecnica e le buone pratiche sopra descritte, finalizzate se non a ricostituire l'habitat naturale almeno ad impedire l'aggravarsi dell'erosione nel tratto di costa laziale in esame, si riterrebbe urgente assumere specifiche iniziative per:

1. continuare a contrastare il fenomeno erosivo nel litorale di Ostia, che si presenta in forme non omogenee ed altalenanti, pianificando e realizzando opere di ripascimento che, sino ad oggi, si sono rivelate quelle più efficaci perché non hanno causato criticità e danni alle zone limitrofe. Urgenti opere di ripascimento ricostruttivo dovrebbero essere realizzate in particolare nel litorale di Ostia levante ove l'erosione persiste e in forma grave (soprattutto dopo l'ultima mareggiata del gennaio 2019) con evidente degrado dei luoghi (cfr. Fig. 4). L'iniziativa che si propone per il litorale di levante parrebbe preferibile al progetto in essere che prevede la realizzazione di 8 pennelli ortogonali alla linea di costa. L'inefficienza del suddetto progetto non consiste solo nella risposta in termini di avanzamento della linea di costa, ma anche nel fatto che dalla posa dei pennelli previsti si innescherebbero processi di erosione nelle zone limitrofe. Infatti, i progetti per combattere l'erosione sono migrati progressivamente sempre più a sud, riguardando tratti sempre più ampi di litorale, a causa dei precedenti interventi. Inoltre, si dovrebbe scongiurare il ripetersi, come avvenne dopo il positivo ripascimento del 1999, che nell'area di spiaggia aumentata siano posizionate da parte dei gestori commerciali ulteriori strutture balneari la cui installazione vanificherebbe il risultato raggiunto;

2. proporre di sostituire per l'area marina antistante Fregene, compresa tra gli stabilimenti balneari La Perla a sud e La Vela a nord, il geotubo, già progettato ed in parte ora in fase d'esecuzione, con il *tecnoreef* che, fra le tecniche innovative di difesa contro l'erosione costiera, appare quella più efficace. Tale tecnica risulta, fra l'altro, di minore impatto ambientale ed anzi di stimolo alla naturale riparazione dei danni prodotti dall'erosione, nonché alla protezione e allo sviluppo di specie ittiche e di organismi vegetali. Il *tecnoreef* è un manufatto in calcestruzzo armato costituito da elementi naturali assemblati in svariate combinazioni e con fori in grado di originare strutture stabili e complesse sui fondali marini e lacustri. Detta tecnologia attenua l'energia del moto ondoso e, al contempo, svolge la funzione di una vera e propria *nursery area*. La struttura costituente il *tecnoreef* è sempre composta "su misura" e si adatta alle caratteristiche geomorfodinamiche del sito di applicazione. I moduli posti alla base della struttura scaricano sul fondale le tensioni verticali indotte dal peso di un qualsiasi punto della struttura stessa e le loro pareti inclinate si ancorano sul fondo in modo stabile e definitivo. I moduli sono in grado di resistere alle spinte delle correnti e agli effetti di trascinarsi delle reti. Allo stesso tempo, dato che la base della struttura è sempre, in qualsiasi composizione, più ampia del culmine, la forza scaricata su ogni singola piastra di base non è mai eccessiva, evitando così l'affondamento della struttura nel fondale. All'esterno delle pareti, l'attrito provocato dalla struttura immersa in un flusso di corrente crea delle turbolenze superficiali, accentuate dalla presenza delle sfaccettature di varia inclinazione sui profili esterni ed interni. Tali difformità geometriche creano all'interno di ogni singolo elemento dei flussi circolari continui, sfere d'acqua, che sfogano la loro relativa energia verso l'alto, smorzando di fatto la forza dell'onda. Nel merito, occorrerebbe posizionare una barriera leggermente curva, con pancia rivolta verso il largo, costituita da 102 moduli *tecnoreef* da 51 piastre, per un'estesa di circa 770 m, in corrispondenza alla batimetrica - 3,50 metri s.m.m. circa, in modo da creare una difesa permeabile e reversibile, in grado di stabilizzare la linea di riva a tergo. I

moduli da utilizzare sarebbero lunghi 7,5 metri ciascuno e le pareti dei fori inclinate verso l'interno ed unite fra loro. I moduli, costituenti la struttura piramidale, verrebbero assemblati inizialmente a terra; l'unione degli elementi del manufatto si otterrebbe mediante bulloneria metallica in acciaio inox e il calcestruzzo con cui realizzare le piastre, a basso impatto ambientale, cd. sea - friendly, sarebbe costituito solo da elementi naturali, quali sabbia lavata e ghiaia spezzata. L'attività di ripascimento della spiaggia potrà essere successiva alla posa della struttura.

BIBLIOGRAFIA

- BELLOTTI P., DE LUCA G. (1979), *Erosione del litorale del lido di Roma: cause ed effetti*, Universo n. 59, pp. 1169 - 1182, Firenze.
- BERSANI P., PIOTTI A. (1994), *Correlazioni tra portata liquida e trasporto solido del fiume Tevere a Roma*, Idrotecnica, n. 2, Marzo - Aprile 1994.
- BERSANI P., MORETTI D. (2008), *Evoluzione storica della linea di costa in prossimità della foce del Tevere*, L'Acqua, n. 5.
- BOCCALARO F. (2012), *Difesa delle coste e ingegneria naturalistica*, Dario Flaccovio Editore, Collana SIGEA di Geologia Ambientale.
- CESARI G. (2010), *Il bacino del Tevere, il suo ambiente idrico e l'impatto antropico*, Consorzio Tiberina - Primo rapporto annuale.
- DELLA SETA M., DEL MONTE M., FREDI P., MARRA F., PANTANI G. (2002), *Caratteri morfostrutturali del settore in riva destra del Tevere nell'area urbana di Roma*, Geologica Romana, n. 36, pp. 105-122.
- FRANCO L., DI RISIO M., RICCARDI C., SCALONI P., CONTI M. (2004), *Monitoraggio del ripascimento protetto con barriera sommersa nella spiaggia di Ostia Centro*, Studi costieri n. 8.
- FONTANA E., CIAVOLA P., VICINANZA D. (2009), *Stabilizzazione di arenili in erosione tramite sistemi di drenaggio della battigia: casi studio in Italia*, Studi costieri n. 16, pp. 123-144.
- LUCARINI M., DEL GIZZO M., IADANZA C., CERRI C., BERTI D., LIGATO D., BRUSTIA E., VITTORI E., PASANISI F., FERRUZZA G., CONTI M., CAPPUCCI S., CORSINI S. (2007), *Atlante delle opere di sistemazione costiera*, Manuali e Linee guida APAT n. 44.
- GISOTTI G. (2012), *Il dissesto idrogeologico. Previsione, prevenzione e mitigazione del rischio*, Dario Flaccovio Editore, Collana SIGEA di Geologia Ambientale.
- REGIONE LAZIO (2018), *Intervento emergenziale per la protezione costiera del litorale Sud di Fregene nel comune di Fiumicino. Messa in opera di geotubo sommerso e ripascimento manutentivo. Progetto esecutivo*, 1.1 Relazione Generale, Regione Lazio, Direzione Regionale Risorse Idriche, Difesa del Suolo e Rifiuti - Area Difesa delle Coste (Progettazione Studio Rinaldo S.r.l., Proponenti Balnearia Litorale Romana e FederBalneari Fiumicino).

Analisi del meccanismo di riattivazione di uno scorrimento profondo in argille: il caso della frana di Montescaglioso

Analysis of the mechanism of reactivation of a deep earth-slide in clays: the case of the Montescaglioso landslide

Parole chiave: riattivazione di frana, scorrimento, argille, analisi FEM
Key words: landslide reactivation, earth-slide, clays, FEM modelling

Piernicola Lollino⁽¹⁾
Ricercatore, Cnr Irpi Bari
E-mail: p.lollino@ba.irpi.cnr.it

Nunzio Luciano Fazio⁽¹⁾
Assegnista di ricerca, Cnr Irpi Bari
E-mail: n.fazio@ba.irpi.cnr.it

Michele Perrotti⁽¹⁾
Assegnista di ricerca, Cnr Irpi Bari
E-mail: m.perrotti@ba.irpi.cnr.it

Pierpaolo Limoni⁽¹⁾
Tecnico di ricerca, Cnr Irpi Bari
E-mail: p.limoni@ba.irpi.cnr.it

Carmela Vennari⁽¹⁾
Assegnista di ricerca, Cnr Irpi Bari
E-mail: c.vennari@ba.irpi.cnr.it

Mario Parise^(1,2)
Professore associato, Università degli Studi di Bari "Aldo Moro"
E-mail: mario.parise@uniba.it

⁽¹⁾ IRPI, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Bari

⁽²⁾ Dipartimento Scienze della Terra e Geoambientali, Università degli Studi di Bari "Aldo Moro"

ABSTRACT

Nel dicembre del 2013, la riattivazione di una grossa frana, classificabile come movimento roto-traslativo, ha coinvolto il versante meridionale dell'abitato di Montescaglioso (Basilicata), provocando ingenti danni a strutture e infrastrutture presenti in zona. Il corpo di frana mobilizzato è localizzato in una più vasta area sede in passato di antiche frane classificate come quiescenti, così che il fenomeno esaminato può essere considerato una riattivazione lungo una superficie di scivolamento pre-esistente, verosimilmente individuata all'interno di argille consistenti pleistoceniche sormontate in superficie da blocchi dislocati di calcareniti e brecce.

L'evento franoso, avvenuto in data 3 dicembre 2013, è stato preceduto da eventi meteorici eccezionali per l'area sia nei giorni appena precedenti (1 e 2 dicembre), sia nei due mesi antecedenti (ottobre e novembre 2013) che possono aver determinato l'innescò del processo franoso lungo una superficie di scivolamento preesistente con caratteristiche di resistenza residue. La modellazione tridimensionale FEM (Finite Element Method) ha permesso di simulare i diversi scenari attraverso una analisi a ritroso calibrata secondo le misure registrate ai pluviometri e avvalendosi dei dati raccolti nella campagna di monitoraggio successiva al verificarsi del fenomeno franoso. Le indicazioni fornite dall'analisi FEM 3D risultano in buon accordo con le evidenze geomorfologiche di sito e aiutano a comprendere le cause di innescò di spostamenti particolarmente elevato.

1. INTRODUZIONE

Le riattivazioni di scorrimenti lungo bande di taglio preesistenti, caratterizzate da valori di resistenza al taglio residua, usualmente manifestano spostamenti lenti e di entità limitata in ragione del comportamento moderatamente fragile lungo la superficie di scivolamento, dopo grandi deformazioni, e della ridotta energia potenziale disponibile al collasso (Skempton & Hutchinson 1969; Vaunat *et al.* 1994; D'Elia *et al.* 1998). Tuttavia, in particolari circostanze, spostamenti di massa di entità e velocità significative possono verificarsi in periodi di tempo limitati come effetto di particolari fattori di innescò o aggravamento (Hutchinson 1987; Vaunat *et al.* 1994). Hutchinson (1987) e D'Elia *et al.* (1998) hanno riconosciuto alcuni di questi fattori, quali ad esempio il rapido incremento delle pressioni interstiziali dovuto alla generazione di flussi idraulici preferenziali, il riempimento d'acqua di fratture di trazione o scarpate nella porzione superiore del versante, la rottura di condotte che attraversano l'area in frana dovuta anche a piccoli spostamenti iniziali, la variazione improvvisa delle condizioni stazionarie di deflusso idraulico, la variazione dello stato tensionale prodotta da scavo o erosione al piede, il rapido cambiamento della distribuzione dei carichi agenti lungo la superficie di taglio, l'esistenza di condizioni di fragilità interna della massa in frana nel caso di scivolamenti roto-traslativi composti.

In particolare, secondo Hutchinson (1987) spostamenti di entità significativa per porzioni di frane di scorrimento profonde possono verificarsi

come conseguenza della generazione di nuove porzioni della superficie di rottura nell'area del piede del versante, coinvolgenti ammassi di terreno o roccia caratterizzati da comportamento fragile. In questo contesto, l'intero processo di rottura, che comprende la superficie di scivolamento preesistente e la rottura fragile al piede di neo-formazione, può esibire ancora un grado di fragilità che può portare a movimenti franosi significativi in un intervallo di tempo relativamente breve. Infine, Tika *et al.* (1996) affermano che anche valori elevati del gradiente di deformazione di taglio possono produrre una riduzione della resistenza residua disponibile lungo preesistenti zone di taglio, dando luogo a movimenti di massa caratterizzati da velocità elevata.

Pertanto, in concomitanza di alcuni dei fattori anzidetti, i processi di riattivazione di frane preesistenti possono generare condizioni di rischio particolarmente elevate, con danni ingenti alle strutture e rischi potenziali per le vite umane.

Un esempio di questo tipo di riattivazioni è quello verificatosi il 3 dicembre 2013 lungo il versante meridionale dell'abitato di Montescaglioso (Basilicata), con la riattivazione di una estesa porzione di frana preesistente, classificabile come scorrimento roto-traslativo profondo, all'interno di un deposito di argille consistenti pleistoceniche sormontate in superficie da blocchi dislocati di calcareniti e brecce. La riattivazione, occorsa dopo circa 52 ore di precipitazioni molto intense, eccezionali per la regione in esame, ha comportato danni

significativi ad alcune strutture presenti nell'area e l'interruzione di una importante strada di collegamento. La frana, con una estensione di circa 10 km², è risultata caratterizzata da una significativa mobilità, con spostamenti elevati sia in direzione orizzontale che verticale, occorsi in un intervallo di tempo di circa 15 minuti. In accordo con le evidenze geomorfologiche ed i dati storici, il corpo di frana indagato è localizzato in una più vasta area, sede in passato di antiche frane classificate come quiescenti, così che il fenomeno esaminato può essere considerato una riattivazione lungo una superficie di scivolamento preesistente (D'Elia *et al.* 1998; Cruden & Varnes 1996).

Il presente lavoro propone un'analisi a ritroso del processo di riattivazione della frana di Montescaglioso mediante un modello di calcolo agli elementi finiti di tipo tridimensionale, con lo scopo di individuare i principali fattori di controllo della rimobilizzazione della massa in frana e ricostruire il corrispondente cinematisma di riattivazione. Il modello è basato su una dettagliata analisi delle caratteristiche geomorfologiche dell'area di studio ed una indagine sui parametri geotecnici dei materiali coinvolti.

2. IL CASO DI STUDIO: LA FRANA DI MONTESCAGLIOSO

2.1. CARATTERISTICHE DELLA FRANA

Nell'ottobre del 2013, una vasta area tra Puglia e Basilicata è stata interessata da un forte evento pluviometrico con un'altezza di pioggia cumulata su base mensile pari a 246 mm. Dopo circa 2 mesi, il 3 dicembre 2013, una grossa frana di tipo scorrimento profondo ha interessato il versante a sud ovest dell'abitato di Montescaglioso (MT), la cui area urbana si trova sulla sommità di un rilievo collinare circondato da pendii affetti da franosità diffusa, di diverso tipo e con stato di attività variabile (Fig. 1). In particolare, il pendio interessato dal fenomeno in esame è caratterizzato da diversi morfotipi riconducibili a movimenti gravitazionali antichi quiescenti (Manconi *et al.*, 2014).

La frana in esame si è verificata dopo 52 ore di pioggia ininterrotta (dal 30 novembre al 2 dicembre), con una altezza di pioggia cumulata in tre giorni di 151,6 mm, pari a circa il 27% della pioggia cumulata annualmente (pioggia media annuale: 570 mm; Manconi *et al.* 2014), e all'81% della massima pioggia cumulata mensilmente. Tale evento

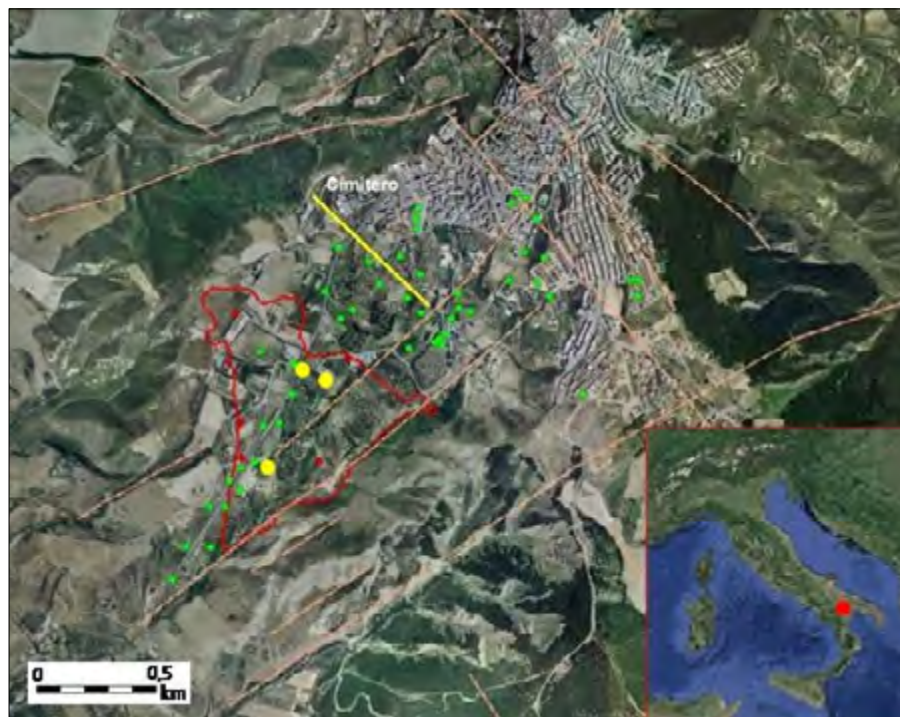


Figura 1. Abitato di Montescaglioso e assetto generale dell'area (con ubicazione dei sondaggi geognostici in verde; sondaggi equipaggiati con inclinometri in giallo)



Figura 2. Foto aerea della frana e danni alla strada di collegamento dell'abitato di Montescaglioso con la strada statale di fondovalle

si configura come il secondo valore più alto di pioggia mai registrato nel dataset storico.

Da un punto di vista morfologico, l'area sede della frana è caratterizzata da una forma a triangolo equilatero, con assi principali di circa 1 km e una massima larghezza di circa 900 m nella porzione a monte (Fig. 1). Il corpo di frana ha coinvolto un'area estesa circa 5×10^5 m². L'attivazione della frana ha causato grossi danni ad una nuova strada di collegamento tra l'abitato di Montescaglioso e la strada statale ubicata a fondovalle, con il totale dissesto

della stessa per un tratto di circa 500 m (Fig. 2).

Nel corso della sua evoluzione spaziale e temporale, la frana ha anche coinvolto diverse strutture, di cui alcune sono risultate completamente danneggiate e, di conseguenza, inagibili (Fig. 3). Sulla base delle informazioni derivate da testimonianze dirette, il movimento è iniziato alle ore 13:00, interessando la porzione inferiore del fianco destro del versante. In seguito, il movimento si è esteso verso ovest e verso monte, dando luogo alla formazione di una serie di scarpate e contro-scarpate (Fig. 2),



Figura 3. Vista aerea della frana e danni ad alcune strutture della zona

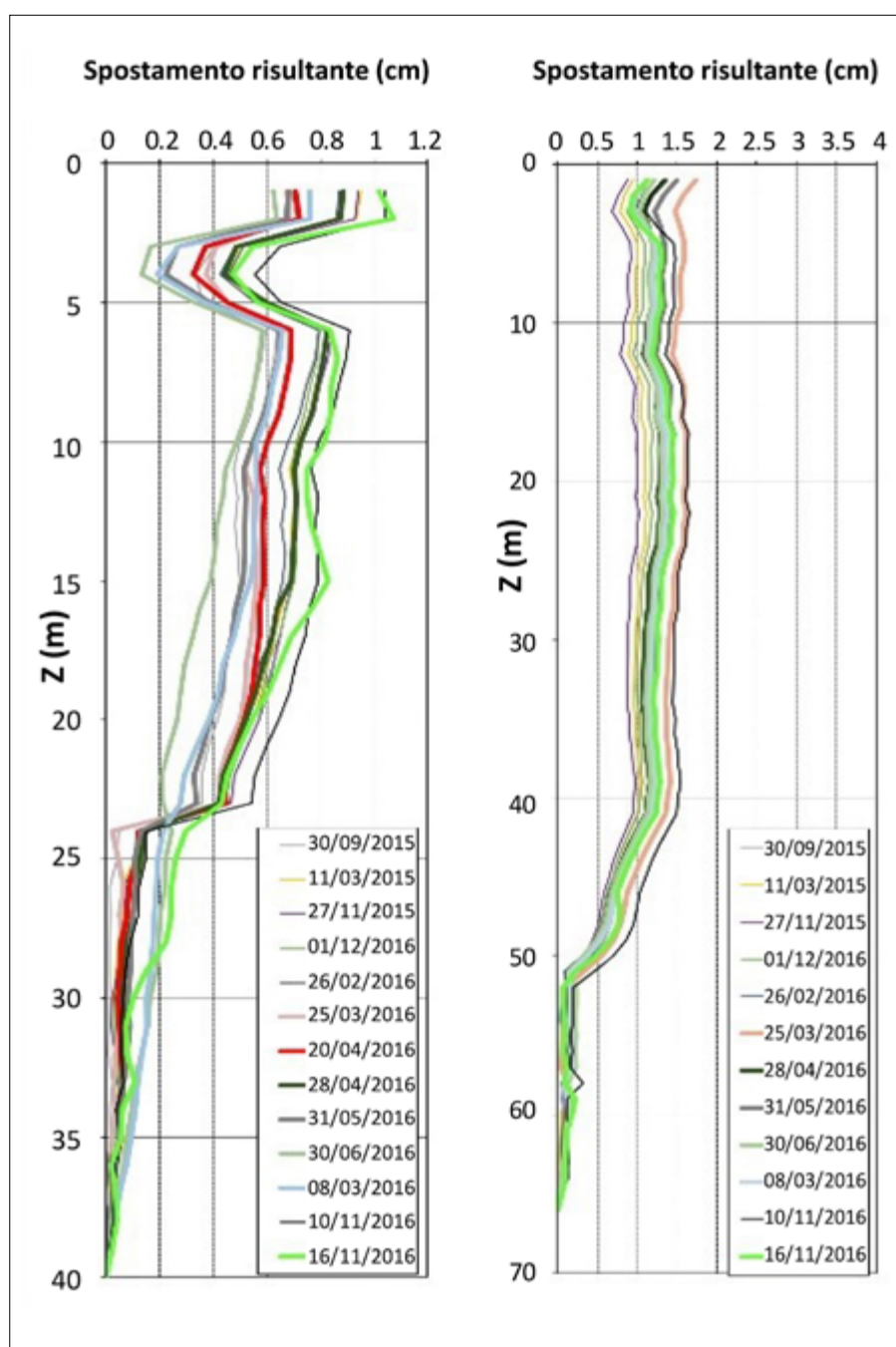


Figura 4. Misure inclinometriche acquisite nei sondaggi S8 e S6

larghe diverse decine di metri e con profondità massima di 7-8 metri. Nonostante l'elevata velocità di attivazione della frana, l'evoluzione dei percorsi di deformazione delle strutture è stata relativamente lenta, fortunatamente consentendo agli abitanti di evacuare in tempo le case.

Al termine della fase critica di attivazione, la frana si è assestata raggiungendo una nuova configurazione di equilibrio, testimoniata dalle misure inclinometriche eseguite successivamente alla frana, che indicano movimenti profondi pressoché trascurabili (Fig. 4). Sebbene in presenza di spostamenti di modesta entità, le misure inclinometriche hanno, tuttavia, consentito di individuare le profondità ipotetiche della banda di taglio, riconosciute a $z = 24$ m per il sondaggio S8, nell'area superiore della frana, e $z = 51$ m per il sondaggio S6, ubicato nell'area di piede.

2.2. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E GEOMORFOLOGICHE

Il paese di Montescaglioso sorge su una collina che lambisce la parte terminale della valle fluviale del fiume Bradano. L'area in frana si trova appena al di sotto dell'area urbana e del cimitero, tra i fossi Cinque Bocche e Fosso di Capo Jazzo (Fig. 1). Nell'area affiora la "Formazione delle Argille Azzurre Pleistoceniche Sub-appenniniche", che risulta delimitata in cresta dalle "Sabbie di Montemarano" e dai "Conglomerati di Irsina" (Ricchetti, 1965; Boenzi *et al.*, 1971; Bonardi *et al.*, 1998; Pieri *et al.*, 1996; Sabato, 1996; Tropeano *et al.*, 2002). La sequenza finale delle argille, sabbie e conglomerati affiora nella parte più alta della collina, mentre nella porzione medio-bassa del pendio la formazione argillosa è spesso coperta da blocchi dislocati di calcareniti e breccie, derivanti da antichi movimenti gravitativi (Fig. 5). L'assetto strutturale generale dell'area è caratterizzato dalla presenza di lineamenti tettonici con direzione NW-SE e SW-NE. Questo assetto regionale gioca un ruolo fondamentale nello sviluppo della rete idrografica e sulle caratteristiche geomorfologiche alla scala regionale. Per quanto riguarda le condizioni idrogeologiche del pendio, lungo il versante sud-ovest della collina di Montescaglioso, sono stati misurati livelli di falda freatica ad una profondità mediamente compresa tra 2 e 6 m dal p.c.. Amanti *et al.* (2016) hanno condotto un'analisi della deformazione superficiale utilizzando le informazioni derivate da due diverse ortofoto e da ri-

lievi da volo LIDAR (pre- e post-evento), che hanno consentito l'elaborazione di due diversi DTM (con passo 1m x 1m). Il confronto tra le caratteristiche morfologiche pre- e post-evento ha così permesso di ricostruire il cinematismo della frana, in termini di componenti di spostamento sia orizzontali che verticali. Il risultato ottenuto è in accordo con un'analisi simile condotta mediante confronto di dati interferometrici da Manconi *et al.* (2014).

letteratura (Cotecchia *et al.*, 1999, 2000; Lollino *et al.*, 2005, 2011). Amanti *et al.* (2016) presentano i risultati di un dettagliato studio geotecnico condotto in laboratorio su campioni di argilla estratti dall'area in frana durante la campagna di indagini post-evento. Sulla base dei test di laboratorio, i terreni coinvolti risultano abbastanza omogenei, composti principalmente da argille e limi con valori di permeabilità molto bassi. Per quanto concerne le caratteristiche granulometriche, i terreni sono composti da

basso indice di attività. Il peso naturale dell'unità di volume è di circa 20 kN/m³, con contenuto d'acqua naturale pari circa al 20%. Prove di taglio diretto hanno indicato valori di coesione che variano, al picco, tra 20 e 45 kPa, con angolo di attrito compreso tra 19° e 30°, mentre prove triassiali consolidate non drenate hanno indicato un valore medio di coesione di picco di circa 30 kPa e angolo di attrito pari a 28°. L'angolo di attrito residuo è stato stimato attraverso prove di taglio anulari e risulta in un range di poco inferiore rispetto a quello dell'angolo di attrito di picco. Cotecchia & Monterisi (1999) indicano per le argille grigio-azzurre affioranti in un'area prossima a Montescaglioso valori di angolo di attrito residuo, ottenuti dai risultati di prove di taglio diretto, pari a 14°, mentre Di Maio *et al.* (2011, 2012) documentano, a partire dai risultati di prove di taglio anulare, valori dello stesso parametro pari circa a 9° per campioni con elevata frazione argillosa, e 14° per i campioni con maggiore frazione sabbiosa.

3. ANALISI TRIDIMENSIONALE FEM

L'evoluzione dello stato tenso-deformativo del versante meridionale di Montescaglioso, che ha condotto all'attivazione della frana del dicembre 2013, è stata investigata con analisi tridimensionali agli elementi finiti (FEM 3D) con l'ausilio del codice di calcolo PLAXIS-3D (Plaxis BV, 2014). In particolare, l'analisi ha previsto l'esistenza nel pendio di una banda di taglio pregressa e la riattivazione del movimento lungo tale banda al raggiungimento di notevoli carichi idraulici per effetto dell'apporto pluviometrico intenso dei giorni stessi.

A partire dal DTM (*Digital Terrain Model*) pre-evento, è stato costruito il dominio di calcolo riportato in Fig. 6a, che include i diversi affioramenti del conglomerato (in verde) e delle "Argille Azzurre Sub-appenniniche" (in giallo). Il substrato profondo è riportato in marrone scuro.

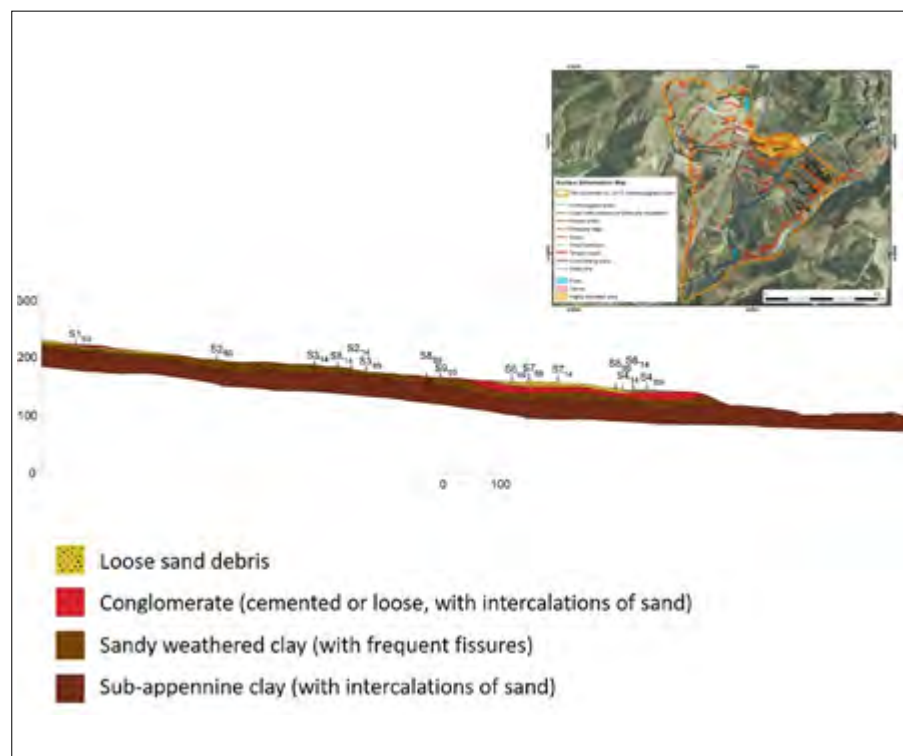


Figura 5. Sezione geologica longitudinale dell'area in frana: in giallo, sabbie sciolte detritiche; in rosso, conglomerati con intercalazioni sabbiose; in marrone chiaro, argille sabbiose alterate; in marrone scuro, argille grigio-azzurre profonde. Nella finestra superiore la mappa delle deformazioni superficiali prodotte dalla frana (da Parise *et al.*, 2016)

2.3. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI COINVOLTI

Gli strati argillosi profondi del versante in esame, principalmente coinvolti dal movimento franoso, possono essere classificati come appartenenti alla "Formazione delle Argille Azzurre Sub-appenniniche", da un punto di vista geotecnico ampiamente studiate in

argille limose e sabbiose, con indice della frazione argillosa compreso tra 38% e 55%. L'indice di plasticità varia tra il 22% e il 41%, quindi con valori tipicamente misurati per campioni appartenenti alla stessa formazione (Cotecchia *et al.*, 2000; Lollino *et al.*, 2005, 2011). Con riferimento alla carta di plasticità di Casagrande, il terreno può essere classificato con plasticità medio/alta e

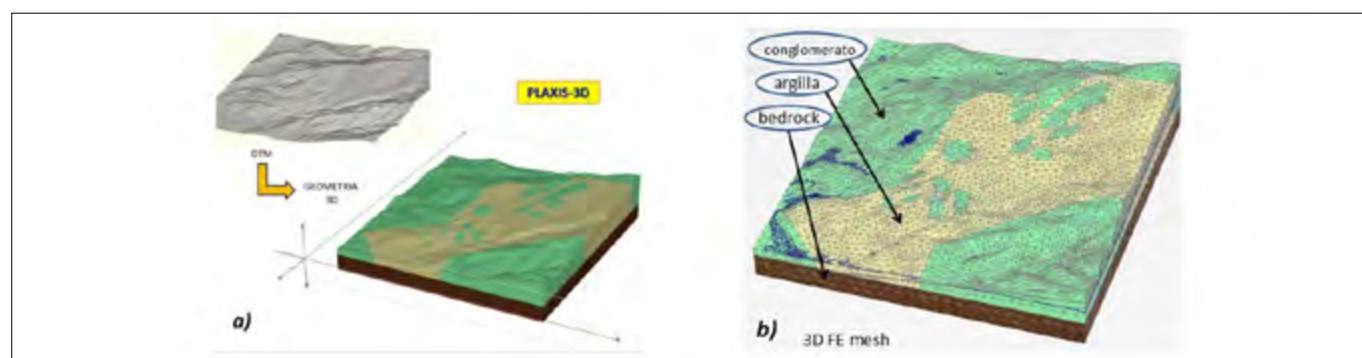


Figura 6. a) DTM e geometria 3D; b) mesh di discretizzazione FEM 3D

La *mesh* adottata nel modello FEM 3D, mostrata in Fig. 6b, è costituita da elementi tetraedrici e risulta più grossolana nella parte inferiore e più fine nella porzione superiore, dove una banda di taglio pre-imposta è stata modellata all'interno dello strato argilloso, con profondità massima di 50 m.

Per simulare il comportamento dei materiali è stato considerato un modello elastico perfettamente plastico, con criterio di resistenza di Mohr-Coulomb e legge di flusso non associata ($\psi = 0^\circ$). I valori dei parametri meccanici utilizzati nella simulazione FEM, così come definiti sulla base dei dati disponibili sulle argille, sono riportati in Tab. 1.

Tabella 1. Valori dei parametri geotecnici utilizzati nella simulazione FEM 3D

| Materiale | γ (kN/m ³) | E' (MPa) | ν | c' (kPa) | ϕ' (°) |
|-----------------|----------------------------------|-------------|-------|----------|----------------|
| Argilla | 20 | 100 | 0.2 | 10 | 20 |
| Banda di taglio | 20 | 100 | 0.2 | 0 | 12 |
| Conglomerato | 18 | 500 | 0.3 | 100 | 25 |

Al materiale costituente la banda di taglio sono stati assegnati valori dei parametri di resistenza al taglio corrispondenti alle condizioni residue. Nel calcolo sono state simulate due diverse distribuzioni delle pressioni interstiziali, la prima rappresentativa di condizioni stazionarie pre-evento e la seconda rappresentativa di condizioni critiche corrispondenti alla fase di saturazione del pendio. Per simulare la distribuzione delle pressioni interstiziali rappresenta-

tiva del regime stazionario, si è imposto un contorno impermeabile al bordo inferiore della *mesh*, mentre valori costanti di carico idraulico sono stati assegnati sui bordi laterali verticali ed una condizione di drenaggio libero è stata assegnata sul piano campagna. La superficie freatica risultante nell'area della frana si trova approssimativamente a 10 m dal piano campagna, mentre nella parte alta del versante raggiunge i 20 m. Tale risultato è abbastanza in linea con i dati acquisiti in sito nel corso della campagna di monitoraggio post-evento. Lo stato tensionale iniziale del pendio è stato impostato simulando una procedura di assegnazione delle forze gravitazionali

in condizioni elastiche (Griffiths & Lane, 1999).

In condizioni di regime idraulico stazionario, dopo l'attivazione della banda di taglio, il pendio risulta essere stabile. Successivamente, il processo di riattivazione della frana è stato investigato simulando un regime idraulico con superficie freatica prossima al piano campagna, essendo tale assunzione presumibilmente rappresentativa delle condizioni successive alle precipitazioni verificatesi nei

giorni dell'evento. Con queste assunzioni, il versante diventa instabile, come indicato dalla mancanza di convergenza numerica dell'analisi, con una concentrazione di zone plastiche soprattutto in corrispondenza della banda di taglio imposta. Tuttavia, le zone plastiche e le deformazioni di taglio risultano in connessione col piede del pendio, dove emergono in superficie, attraverso una zona plastica che attraversa la parte delle argille intatte al di sopra della banda di taglio, e si collegano con il piano campagna anche a metà versante, all'incirca dove sono state rilevate in sito le scarpate prodotte in seguito al movimento franoso. Inoltre, il meccanismo di rottura sembra svilupparsi nella parte più bassa del versante per poi risalire verso monte secondo un meccanismo retrogressivo.

Il campo di spostamenti tridimensionali calcolato sembra essere in buon accordo con il meccanismo osservato in sito. La Fig. 7 mostra il confronto, con vista dall'alto, tra gli spostamenti calcolati col modello FEM 3D (Fig. 7a) e quelli ricostruiti in sito mediante analisi interferometrica (Fig. 7b; Manconi *et al.* 2014). La Fig. 7a, che riporta anche il contorno della frana rilevata in sito, suggerisce che gli spostamenti maggiori sono stati calcolati nella porzione centrale della frana e conferma che la principale direttrice di spostamento orizzontale è quella Nord-Sud.

Gli andamenti della componente di spostamento verticale (asse z), calcolati da modello FEM, indicano un generale abbassamento del piano campagna nell'area superiore del versante, mentre si

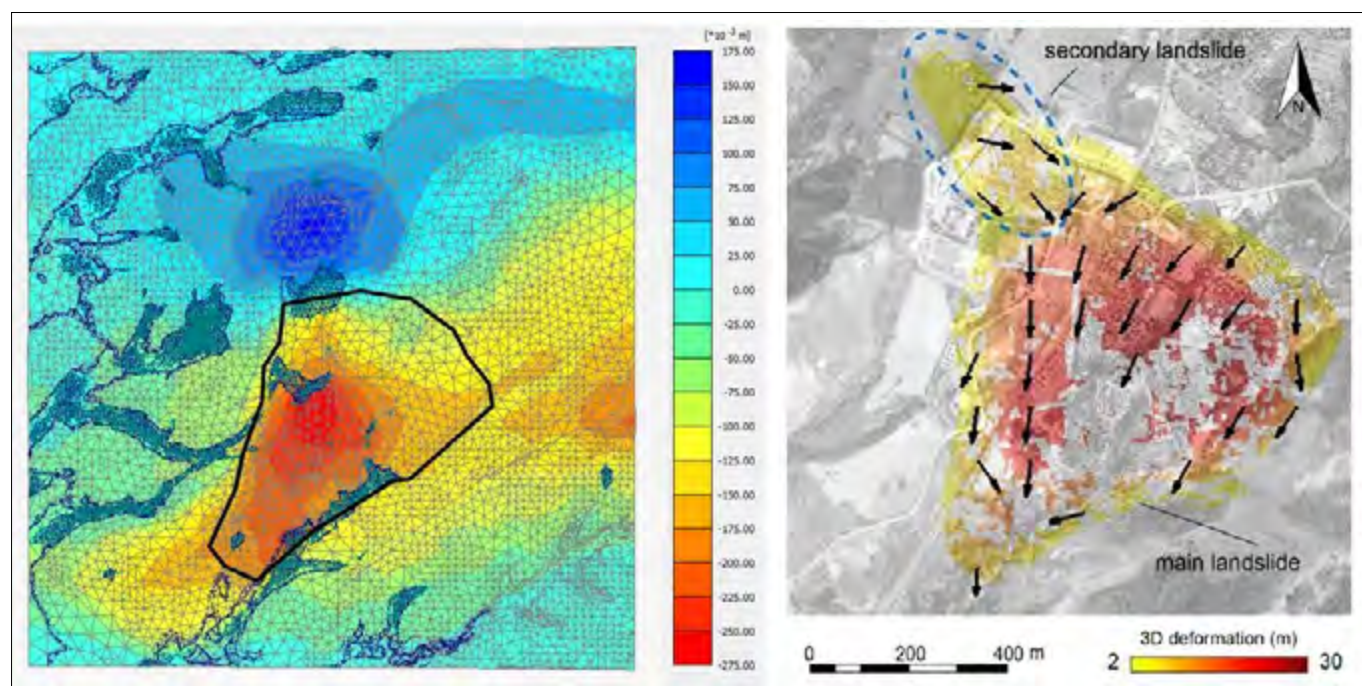


Figura 7. Confronto tra componente di spostamento Nord-Sud da modello FEM 3D (a) e vettori di spostamento ricostruiti da analisi interferometrica (b) (da Manconi *et al.*, 2014)

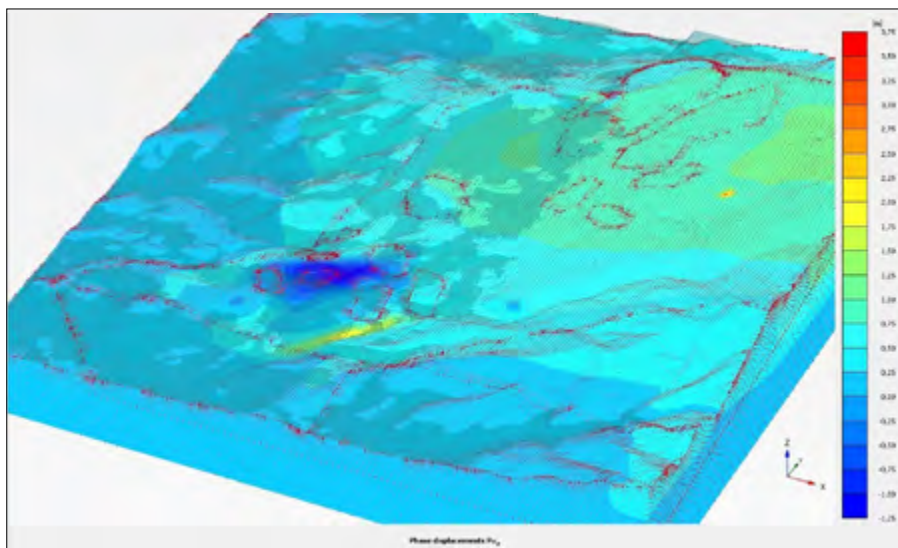


Figura 8. Contours degli spostamenti lungo l'asse z (abbassamenti e sollevamenti)

osserva un significativo innalzamento in corrispondenza del piede, lungo la sponda del fosso nell'area in frana (Fig. 8), in accordo con le osservazioni di sito.

4. CONCLUSIONI

Il cinematico simulato mediante il modello numerico FEM tridimensionale illustrato nel lavoro riproduce bene il meccanismo di rottura in sito durante l'evento di frana del dicembre 2013, così come ricostruito mediante analisi differenti, con particolare riferimento sia al processo di riattivazione della banda di taglio che all'intero campo di spostamento. Il modello conferma che la resistenza mobilizzata del terreno è prossima ai valori residui, così che il processo di rottura può essere inquadrato come una riattivazione di una porzione di frana preesistente, lungo una banda di taglio situata nello strato di argille profonde, a seguito di un significativo incremento delle pressioni interstiziali a livello della superficie di scorrimento.

Tuttavia, i valori di spostamento e di velocità osservati in sito sono inaspettatamente elevati se confrontati con quelli tipicamente misurati per riattivazioni di frane in formazioni argillose analoghe. Tale aspetto può essere riconducibile a diversi fattori, come ad esempio l'effetto della velocità di deformazione sulla resistenza disponibile del terreno, la risposta fragile di nuove zone di taglio attivate nella zona di piede, o ancora l'effetto della rottura di condotte d'acqua presenti nell'area della frana e/o l'instaurarsi di linee di flusso preferenziali. Gli effetti di questi specifici fattori sul cinematico di frana per il caso di studio di Montescaglioso non sono stati considerati in questo lavoro e potrebbero essere oggetto di approfondimenti in un lavoro futuro.

BIBLIOGRAFIA

- AMANTI M., CHIESI V., GUARINO P., SPIZZICHINO D., TROCCOLI A., VIZZINI G., FAZIO N.L., LOLLINO P., PARISE M., VENNARI C. (2016), *Back-analysis of a large earth-slide in stiff clays induced by intense rainfalls. Landslide and Engineered Slopes, Theory and Practice* - Aversa *et al.* (Eds.), ISL 2016, 317-324.
- BOENZI F., RADINA B., RICCHETTI G., VALDUGA A. (1971), *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 del Foglio 201 "Matera"*. Serv. Geol. It., 48 pp.
- BONARDI G. (1988), *Carta Geologica dell'Appennino Meridionale, 1:250.000*. CNR, Roma.
- COTECCHIA F., COOP M.R., CHANDLER R.J. (1999), *The behaviour of layered clays within a framework for the structure-related behaviour of clays - Panel lecture* - Proceedings del International Symposium on the Characterization of Soft Marine Clays - Bothkennar, Drammen, Quebec and Ariake clays - Yokosuka, Japan 26-28 February 1997, Authot. Nakase A. ISBN 10:905809104X; ISBN 13: 9789058091048 pp. 147-163.
- COTECCHIA F., SANTALOAIA F., SANTORO F. (2000), *Movements in a tectonized soil slope: comparison of monitoring data and modelling results*. In: Proceedings of "GeoEng2000 International ISSMGE-ISRME-IMEG Conference on Geotechnical and Geological Engineering" Melbourne - Australia, 19-24/11/2000, SNES 1039. ISBN: 1-58716-068-4
- COTECCHIA V., MONTERISI L. (1999), *Indagini geotecniche e monitoraggio della diga del Rendina (Lavello-Pz) finalizzate al progetto degli interventi di consolidamento del rilevato diga*. XX Congresso Nazionale di Geotecnica - Parma, 22-25 settembre 1999.
- CRUDEN D.M., VARNES D.J. (1996), *Landslide types and processes*. In: Turner A.K., Shuster R.L. (eds) *Landslides: Investigation and Mitigation*. Transp Res Board, Spec Rep 247, pp. 36-75.
- D'ELIA B., PICARELLI L., LEROUÉIL S., VAUNAT J. (1998), *Geotechnical characterization of slope movements in structurally complex clay soils and stiff jointed clays*. Italian Geotech. J., No. 32 (3), 5-32.
- DI MAIO C., VASSALLO R. (2011), *Geotechnical characterization of a landslide in a Blue Clay slope*. Landslides, DOI 10.1007/s10346-010-0218-8, vol.8, pp. 17-32. IF 2.216.
- DI MAIO C., VALLARIO M., VASSALLO R. (2012), *Displacements of a large landslide in structurally complex clays*. Proceedings of XI International Symposium on Landslides and Engineered Slopes, June 2012, Banff, Canada, vol.1. pp. 607-613. ISBN: 978-0-415-63302-4.
- GRIFFITHS D.V., LANE P.A. (1999), *Slope stability by finite elements*. Géotechnique, 49, No. 3, 387-403.
- HUTCHINSON J.N. (1987), *Mechanisms producing large displacements in landslides on pre-existing shears*. Memoir of the Geological Society of China. 9, 175-200.
- LOLLINO P., AMOROSI A., SANTALOAIA F., COTECCHIA F. (2005), *Processi di instabilità di un versante in argille consistenti innescati da scavo*. Questioni di Ingegneria Geotecnica, Scritti in onore di Arturo Pellegrino, Hevelius Ed, pp. 525-536.
- LOLLINO P., SANTALOAIA F., AMOROSI A., COTECCHIA F. (2011), *Delayed failure of quarry slopes in a stiff clay deposit: the case of the Lucera landslide*, Géotechnique, (ISI) Vol. 61 (10), ISSN: 0016-8505, pp. 861-874. Scopus: 2-s2.0-80053278094
- MANCONI A., CASU F., ARDIZZONE F., BONANO M., CARDINALI M., DE LUCA C., GUEGUEN E., MARCHESINI I., PARISE M., VENNARI C., LANARI R., GUZZETTI F. (2014), *Rapid mapping of event landslides: the 3 December 2013 Montescaglioso landslide (Italy)*. Natural Hazards and Earth System Sciences, 14, 1835-1841.
- PARISE M., GUEGUEN E., VENNARI C. (2016), *Mapping surface features produced by an active landslide*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, vol. 44, 022029, doi:10.1088/1755-1315/44/2/022029.
- PIERI P., SABATO L., TROPEANO M. (1996), *Significato geodinamico dei caratteri deposizionali e strutturali della Fossa bradanica nel Pleistocene*. Mem. Soc. Geol. Ital., 51, 501-515.
- PLAXIS B.V. (2014), *PLAXIS-3D. Reference manual*. Delft (The Netherlands).
- RICCHETTI G. (1965), *Alcune osservazioni sulla serie della Fossa Bradanica. Le "Calcarenitidi di M. Castiglione"*. Boll. Soc. Nat. in Napoli, 74, 3-11.
- SABATO L. (1996), *Quadro stratigrafico-deposizionale dei depositi regressivi nell'area di Irsina (Fossa Bradanica)*, Geologica Romana, 32: 219-230.
- SKEMPTON A.W., HUTCHINSON J.N. (1969), *Stability of natural slopes and embankment foundations, State-of-the-Art Report*. 7th Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., Mexico, 291-335.
- TIKA T.E., VAUGHAN P.R., LEMOS L.J. (1996), *Fast shearing of pre-existing shear zones in soil*. Géotechnique, Vol. 46 (2), 197-233.
- TROPEANO M., SABATO L., PIERI P. (2002), *Filling and cannibalization of a foredeep: Bradanic Trough, southern Italy*. Geol. Soc. London, Spec. Publ. 191.
- VAUNAT J., LEROUÉIL S., FAURE R. (1994), *Slope movements: a geotechnical perspective*. Proc. 7th Congr. Int. Ass. Engng. Geol., Lisbon, 1637-1646.

Le frane connesse agli incendi boschivi: stato dell'arte e sviluppi futuri della ricerca anche alla luce dei cambiamenti climatici

Wildfire induced landslides: state of the art and future developments also with reference to climate changes

Parole chiave: frane, incendi, cambiamenti climatici, innesco, modellazione
Key words: landslide, wildfire, climate changes, triggering, modeling

Giuseppe Mandrone⁽¹⁾, Mario Parise⁽²⁾, Damiano Vacha⁽¹⁾, Giovanna Caparelli⁽³⁾, Claudia Meisina⁽⁴⁾, Dario Peduto⁽⁵⁾, Veronica Tofani⁽⁶⁾

Persona di riferimento
E-mail: giuseppe.mandrone@unito.it

(1) Università degli Studi di Torino - Dip. di Scienze della Terra.

(2) Università degli Studi di Bari Aldo Moro - Dip. di Scienze della Terra e Geoambientali

(3) Università della Calabria - Dip. di Conservazione del suolo 'V. Marone'

(4) Università degli Studi di Pavia - Dip. di Scienze della Terra e dell'Ambiente

(5) Università degli Studi di Salerno - Dip. di Ingegneria Civile

(6) Università degli Studi di Firenze - Dip. di Scienze della Terra

RIASSUNTO

Ogni anno gli incendi boschivi creano danni significativi in tutto il mondo, causando serie modificazioni agli ecosistemi naturali e ingenti perdite economiche. In più, gli incendi possono causare ingenti effetti sul sistema idrologico e sulle risposte dei bacini montani o collinari a causa delle modifiche ai tassi di infiltrazione ed all'erosibilità dei suoli. Tutto ciò è causato dalla rimozione del sottobosco e delle coperture erbose, dalla deposizione di ceneri, dalla modificazione fisica e chimica dei suoli compresa la creazione o rimozione di livelli idrofobici. La letteratura dice che il tasso di erosione nelle aree bruciate può aumentare fino a più di 800 volte rispetto a zone identiche dal punto geologico-geomorfologico-vegetazionale ma non affette da estesi incendi. Diversi autori concordano nell'indicare anche un aumento della suscettività a franare (specialmente a carico di debris flow) che si può protrarre per diversi anni.

Questo lavoro, da una parte vuole segnalare che diversi ricercatori italiani hanno iniziato uno studio sistematico su questi effetti, dall'altro vuole mostrare un esempio dei primi risultati ottenuti in un caso reale in Piemonte. Questa regione è colpita da un numero sempre maggiore di incendi, come dimostrato dalle statistiche degli ultimi 50 anni.

Il caso di studio riguarda la zona di Bussoleno, in media Valle di Susa (Alpi occidentali) e si riferisce a fenomeni accaduti nella primavera/estate 2018 e correlati agli incendi del 2017, quando più di 4000 ettari sono andati a fuoco sulle pendici del Rocciamelone, la montagna simbolo della Valle di Susa. Diversi debris flow, innescati dalle pri-

me piogge consistenti, hanno colpito il paese, causando danni ad abitazioni e infrastrutture e causando l'evacuazione di più di 200 persone.

ABSTRACT

Every year wildfire causes significant damage worldwide, leading to a severe modification in natural ecosystems and to economic losses. Moreover, wildfires can have profound effects on the hydrologic response of watersheds by changing the infiltration rates and erodibility of the soil: this is due to litter removal, ash deposition, soil physical alteration and generation or destruction of water repellent soils. Erosion rates in burned areas can increase more than 800 times with respect to the unburned situation; an increased susceptibility to debris flow, which may persist for several years after fire, it's also affirmed.

This work, on the one hand wants to signal that several Italian researchers have started a systematic study on these effects, on the other it wants to show the first results obtained in a case study in Piedmont. This region is affected by an increasing number of fires, as shown by statistics from the past 50 years.

The case study concerns the area of Bussoleno, in the middle of the Susa Valley (Western Alps) and refers to phenomena that occurred in the spring / summer 2018 and related to the 2017 fires, when more than 4000 hectares burned on the slopes of the Rocciamelone, the mountain symbol of the Susa Valley. Several debris flows, triggered by the first heavy rains, hit the village, causing damage to houses and infrastructures and causing the evacuation of more than 200 people

1. INTRODUZIONE

Un ruolo preminente nella rilevazione delle aree percorse dal fuoco è data al Corpo Forestale dello Stato. Secondo i dati da questi raccolti sono stati 39203 il numero totale degli incendi avvenuti in Italia dal 2009 al maggio 2016. Circa il 16,6% sono avvenuti in Sicilia seguita in ordine da Campania e Calabria rispettivamente con il 14,6% e il 13,7%. Valutando invece gli ettari percorsi dal fuoco ben il 50% circa si concentra nella sola Italia insulare e se aggiungiamo la sola Calabria si arriva al 64% (Fig. 1a,b).

I dati raccolti dall'Effis (*l'European forest fire information system*) contano in Italia 20.395 ettari andati a fuoco nel 2019. Rispetto al 2017, l'anno più siccitoso in due secoli di misurazioni, si tratta di un dato, per fortuna, decisamente inferiore: due anni fa, infatti, erano andati a fuoco 140.392 ettari.

Da sempre, oltre a tutti i danni diretti ed indiretti delle fiamme, si discute sul fatto che le aree bruciate siano più suscettibili a fenomeni di erosione diffusa e concentrata e di frana. Affinché si sviluppino fenomeni significativi di questo tipo, occorre un evento scatenante, di solito nei nostri climi riconducibile alle piogge. Purtroppo non esistono statistiche in tal merito, ma casi in cui il sospetto è più che plausibile sono moltissimi, dal sud al nord. Se a tutto questo aggiungiamo il problema dei periodi siccitosi sempre più lunghi a cui seguono sovente piogge molto intense, il quadro predisponente un serio rischio idrogeologico è completo.

In questa prospettiva, alcuni membri della sezione italiana dell'International Consortium on Landslide, organizzazione internazionale riconosciuta

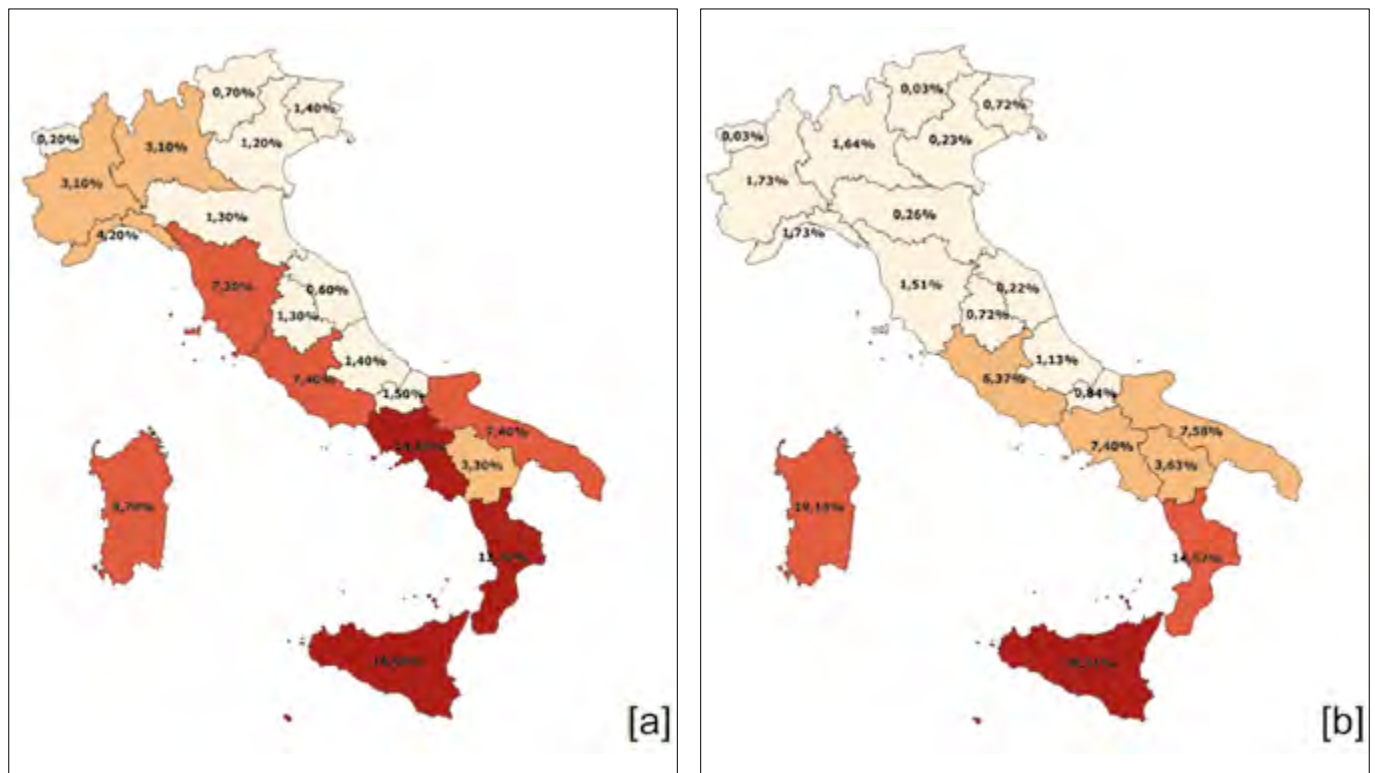


Figura 1. Mappa del numero di incendi per regione (a) e degli ettari colpiti (b), fonte corpo forestale dello stato per l'intervallo 2009-2016

dell'Unesco, ha intrapreso un progetto di ricerca sulle frane avvenute in aree recentemente afflitte da estesi incendi boschivi. Tale progetto è stato ritenuto di estremo interesse dal ICL nel recente meeting di Parigi (settembre 2019) e lo ha fatto suo per i prossimi 3 anni. È in corso, pertanto, una sinergia di forze che, oltre ad coinvolgere il mondo scientifico (al momento partecipano membri delle università di Torino, Pavia, Firenze, Salerno, Bari e Calabria) ha focalizzato l'interesse anche del corpo dei Carabinieri Forestali e dei Vigili del fuoco.

2. STATO DELL'ARTE

L'occorrenza di incendi in aree montane predispone i versanti incendiati a una maggiore suscettibilità a fenomeni di erosione e di frana, privandoli della copertura vegetazionale che intercetta le piogge, nonché della coesione offerta dagli apparati radicali. A ciò vanno aggiunte le trasformazioni delle porzioni di suolo interessate dall'incendio, in funzione della sua intensità, con variazioni chimico-fisiche di notevole entità (Atkinson, 1984; Durgin, 1985; Giovannini *et al.*, 1987; DeBano *et al.*, 1998; Benavides Solario & MacDonald, 2005; Roering *et al.*, 2005; Van Wagtendonk, 2006; Sugihara *et al.*, 2006). Le aree interessate da incendi, infatti, risultano denudate, in parte o del tutto, della vegetazione e del sottobosco, prive pertanto dell'azione protettiva esercitata da alberi ed arbusti nei confronti dell'impatto diretto delle piogge al suolo: la quantità di

acqua piovana che precedentemente era intercettata, rallentata, e assorbita dalla vegetazione, si può ora riversare liberamente sul terreno, esercitando una dirompente azione di erosione e trasporto (Cerde, 1988; DeBano *et al.*, 1998; Shakesby & Doerr, 2006). Allorquando le condizioni topografiche, morfologiche e geologiche lo consentono, ciò risulta in eventi di frana.

I principali meccanismi che portano allo sviluppo di processi erosivi e di frana in aree recentemente interessate da incendi sono (Parise & Cannon, 2012): 1) erosione e cattura di materiali ad opera del ruscellamento superficiale, e 2) rotture di pendio innescate da infiltrazione d'acqua, con mobilitazione di una massa discreta di frana, in genere di limitata profondità. Il primo processo risulta di gran lunga il più diffuso, sulla base degli studi disponibili in letteratura e di eventi da noi direttamente esaminati. In pratica, ciò che in genere accade è che il materiale detritico disponibile sui versanti viene mobilitato dalle prime piogge successive all'evento di incendio; ad esso si aggiunge altro materiale facilmente erodibile per la mancanza di copertura vegetale dopo l'incendio, e per la perdita della resistenza del suolo legata alla morte degli apparati radicali.

Dal punto di vista tipologico, relativamente alla classificazione dei fenomeni franosi, si sviluppano tipicamente colate detritiche e di fango, connesse ai significativi incrementi nel ruscellamento superficiale in aree recentemente

interessate da incendi, a seguito di eventi di pioggia (DeBano, 2000; Doerr *et al.*, 2000). Dopo un incendio, e le successive piogge, si può osservare la formazione di rivoli sui pendii a maggiore acclività (Wells, 1987; Cannon *et al.*, 2003); questi si generano entro pochi minuti, anche a seguito di piccoli eventi di pioggia, con profondità limitata a 1-2 cm, e larghezza tra 5 e 15 cm. In alcuni casi, possono essere accompagnati lateralmente dallo sviluppo di argini laterali, costituiti da materiale sostenuto da matrice, non stratificato e poco classato. Di rado si tratta di morfologie persistenti, a causa dell'arrivo di acqua di ruscellamento dalle zone a monte, che tende a distruggerli rapidamente.

Procedendo verso monte a seguire la traccia dei depositi da colata di detrito, si nota di frequente la mancanza di una vera e propria massa franata all'origine dei fenomeni (Santi *et al.*, 2008). Piuttosto, questi derivano da convergenza e concentrazione del ruscellamento all'interno di piccole concavità e depressioni morfologiche di cosiddetto ordine zero (*zero-order basins*, o *hollows*) e in aste di basso ordine gerarchico. L'erosione spesso raggiunge il substrato roccioso o non alterato, e i sedimenti vengono trasportati tramite il ruscellamento lungo la rete idrografica superficiale. Sulla base di tali osservazioni, si può ipotizzare che l'acqua di ruscellamento superficiale, alimentata da eventi di pioggia, eroda sedimenti dai versanti e all'interno delle incisioni fino a un punto nel bacino

idrografico in corrispondenza del quale sarà stato inglobato un quantitativo sufficiente di materiale, rispetto al volume di ruscellamento, per generare una effettiva colata di detrito.

In altre situazioni, le colate di detrito vengono generate in risposta a situazioni locali, prodotte da acqua in cascata su una scarpata o un ripido versante, che impatta ed ingloba al suo interno materiale facilmente asportabile, presente alla base della scarpata stessa. Si tratta di un processo definito come effetto "idrante" (*firehose effect*), che è stato osservato in contesti Mediterranei anche in casi di eventi di frana avvenuti in aree non incendiate: ad esempio, in occasione delle colate di fango del 5 maggio 1998, in Campania, esso fu prodotto dalla presenza di rotture morfologiche lungo il pendio, in parte di origine naturale (scarpate e gradini nel substrato carbonatico) e in parte di origine antropica (sentieri montani) (Calcaterra *et al.*, 2000).

Qualunque sia il processo all'origine dei fenomeni, i materiali che ne derivano vengono trasportati lungo la rete idrografica e depositi allo sbocco dei bacini, sotto forma di conoidi di deiezione, anche di ampie dimensioni (Meyer & Wells, 1987; Scott *et al.*, 1998; Garfi *et al.*, 2007).

Colate detritiche innescate da ruscellamento sono state osservate in risposta a eventi di pioggia avvenuti 2-3 anni dopo l'incendio, spesso in coincidenza del primo evento significativo della stagione piovosa (Cannon *et al.*, 1998; Cannon & Reneau, 2000). Esse avvengono sia a seguito di temporali di breve durata e elevata intensità, che di piogge di lunga durata e minore intensità; in media, temporali con tempo di ritorno di approssimativamente 2 anni sono sufficienti a generare colate detritiche in bacini incendiati di recente (Cannon *et al.*, 2008). Come già osservato per le stesse tipologie di frane in aree non incendiate, la definizione di soglie pluviometriche (intensità/durata) da utilizzare per identificare le condizioni in corrispondenza delle quali si possono innescare colate di detrito, varia significativamente, in funzione di vari fattori: litologia, grado di alterazione, tipo di suolo, tipo di vegetazione, morfologia e pendenza del bacino idrografico, intensità e distribuzione dell'incendio (Cannon *et al.*, 2008). Condizioni pluviometriche in grado di innescare colate detritiche in aree incendiate si ottengono con durate che si attestano almeno un ordine di grandezza al di sotto di quelle necessarie per l'innescamento di analo-

ghe colate in zone non incendiate, e con intensità di pioggia significativamente inferiori (Caine, 1980; Martin & Moody, 2001; Godt *et al.*, 2006; Guzzetti *et al.*, 2008). Tale differenza può essere imputata ai processi dominati dal ruscellamento, che avvengono in aree interessate da incendi, in confronto a quelli di ben maggiore durata, dominati invece dall'infiltrazione, in zone non incendiate. Un'altra significativa differenza tra colate detritiche in aree incendiate e non, è che mentre in queste ultime le condizioni pluviometriche necessarie ad innescare frane superficiali e colate detritiche hanno la pioggia antecedente come un elemento di indubbia criticità, nel caso delle aree incendiate ciò in genere non si verifica, e può risultare comune la generazione di colate di detrito in risposta al primo evento piovoso che impatta un pendio o un bacino recentemente incendiato, in condizioni quindi per le quali l'umidità del suolo risulta minima o trascurabile.

La seconda categoria di processi documentata in aree interessate da incendi, anche se in misura decisamente inferiore alla precedente, è quella che riguarda l'occorrenza di frane superficiali con distacco di masse discrete di materiale, in spessori variabili da pochi cm a 6 m, in generale interessanti pendii ricoperti da suoli o materiale colluviale (Cannon & Gartner, 2005). Va considerata comunque la difficoltà nell'attribuire con certezza l'occorrenza di una frana superficiale reale effetto dell'incendio; in altre parole, siamo veramente certi che la frana avvenuta sia stata causata dall'incendio, o essa poteva ugualmente mettersi in moto, a prescindere da questo? Spesso, non abbiamo gli elementi sufficienti e necessari per fornire una risposta a tale quesito. In ogni caso, esistono in letteratura tre possibili effetti di innescamento di frane a seguito di incendi. Il primo consiste in un aumento dell'umidità del suolo a seguito dell'incendio, a causa della perdita della capacità di intercettazione e traspirazione della copertura vegetale (Cannon *et al.*, 2001a). Il secondo processo è la mortalità degli alberi che conduce al decadimento delle radici per mezzo delle quali il regolite si ancora (Blackwelder, 1927; Ollier & Ash, 1983; Allison & Bristow, 1999; Ollier *et al.*, 2007); ciò, a sua volta, determina una diminuzione della coesione del suolo ed un aumento della probabilità di occorrenza di eventi di frana (Swanson, 1981). Infine, l'ultimo processo considerato consiste nell'incremento dei picchi di flusso idrico successivi agli incendi, che possono contribuire

all'erosione accelerata sui lati delle incisioni, ed a un aumento nella quantità di frane lungo i pendii.

Per quanto riguarda le condizioni pluviometriche sufficienti ad innescare frane in aree incendiate, queste generalmente avvengono a seguito di eventi prolungati di pioggia (durata di 1 settimana o più), o di piogge prolungate in combinazione con rapido scioglimento delle nevi o eventi di pioggia-neve. Frane sono state documentate nel corso della prima stagione piovosa dopo l'incendio (Cannon *et al.*, 2001b), uno o due anni dopo l'incendio, e anche fino a 10 o addirittura 30 anni successivamente all'incendio. Bisogna però puntualizzare che, specialmente per le frane avvenute dopo lassi di tempo significativi dall'incendio, sarebbe importante stabilire se l'evento franoso può essere effettivamente addebitato al fuoco, e non semplicemente ad un evento meteorologico estremo che avrebbe potuto innescarlo ugualmente, anche senza l'effetto dell'incendio. Nell'ambito dei bacini idrografici censiti negli Stati Uniti occidentali e interessati da incendi, solo il 12% è stato caratterizzato da colate detritiche derivanti dall'occorrenza di frane superficiali (Gartner *et al.*, 2005). Questo dato evidenzia ancora una volta come il principale processo sinora individuato per lo sviluppo di colate detritiche in aree incendiate sia la mobilitazione di materiale già disponibile, o quanto meno in condizioni tali da poter essere facilmente asportato, lungo i pendii e nelle incisioni della rete idrografica.

Nell'area del bacino del Mediterraneo, pur verificandosi un elevato numero di incendi, si osserva un minor numero di eventi di colate detritiche (Gabet, 2003; Campo *et al.*, 2006; Parise & Cannon, 2008), rispetto a quelli osservati ed analizzati negli Stati Uniti occidentali.

3. UN ESEMPIO RECENTE: GLI INCENDI DELLA MEDIA VALLE DI SUSÀ (ALPI OCCIDENTALI)

A titolo di esempio, vengono riportati i primi dati relativi allo studio sui debris flow che hanno colpito la cittadina di Bussoleno in bassa valle di Susa (Torino) nella primavera-estate 2018 (Fig. 1). Questi fenomeni si sono sviluppati in un'area colpita da estesi e persistenti incendi boschivi durante l'autunno-inverno 2018 ed a cui sono seguite le intense precipitazioni che hanno innescato i suddetti colamenti rapidi di fango, terra e detriti.



Figura 1. Vista dall'alto dell'area incendiata e del fondovalle coinvolto dalle frane

In particolare, il 29 aprile un debris flow interessò il bacino di Comba delle Foglie causando modesti danni sul conoide su cui si sviluppa parte dell'abitato. Dopo poco più di un mese, il 7 giugno, un fenomeno decisamente maggiore interessò la stessa area causando l'evacuazione di più di 200 persone, la distruzione di diverse case e seri danni a strade, abitazioni e campi su gran parte dell'abitato di Bussoleno. In passato l'area era già stata colpita da fenomeni simili, ma mai recentemente con questa intensità.

Come già accennato, nell'ottobre 2017, il Piemonte fu interessato da numerosi incendi causati dalla combinazione delle condizioni estremamente

secche del terreno (meno 40% di precipitazione rispetto alla media per i mesi gennaio-ottobre), dall'intensa ondata di caldo (2 gradi in più rispetto alla media mensile di ottobre a Torino) e forti venti caldi e secchi (Foehn) provenienti da ovest, che hanno agito nella doppia veste di causa predisponente e di forza propulsiva dei roghi. L'incendio della media Val di Susa interessò circa 4000 ettari, coinvolgendo 14 bacini. Non solo la Val Susa andò a fuoco, ma altri 8 estesi incendi si svilupparono in Piemonte nello stesso periodo.

L'impatto degli incendi sulle specie vegetali e sulle matrici geologiche non è mai uniforme, neppure all'interno dello stesso evento. I diversi livelli di severità

possono essere stimati mediante l'analisi di immagini satellitari multispettrali pre e post incendio (indici NBR, dNBR e RdNBR) e successive validazioni in campo (indice CBI) (Key & Benson, 2006; Miller & Thode, 2007). La distribuzione del dato di severità telerilevato, unitamente alla verifica degli effetti al suolo, consente di valutare su ampie aree e con buon dettaglio quali siano le porzioni più gravemente interessate dall'incendio e quindi maggiormente suscettibili a fenomeni franosi e di erosione accelerata. Dal punto di vista "geologico" è chiaro che più l'incendio è intenso e persiste su un'area tanto più può modificare il substrato di suolo e terreno su cui si sviluppa.

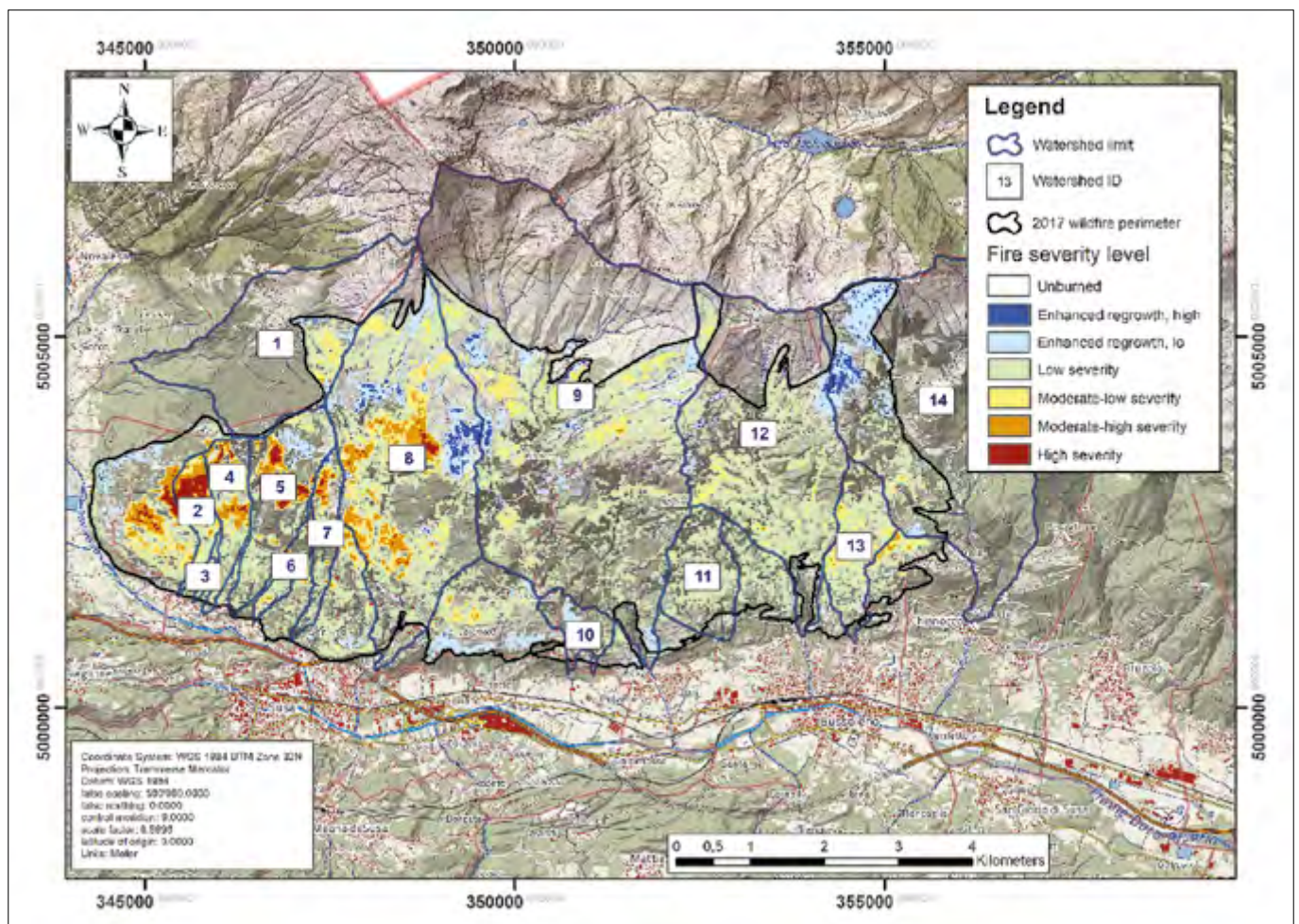


Figura 2. Severità telerilevata dell'incendio del 2017 nella zona di Bussoleno

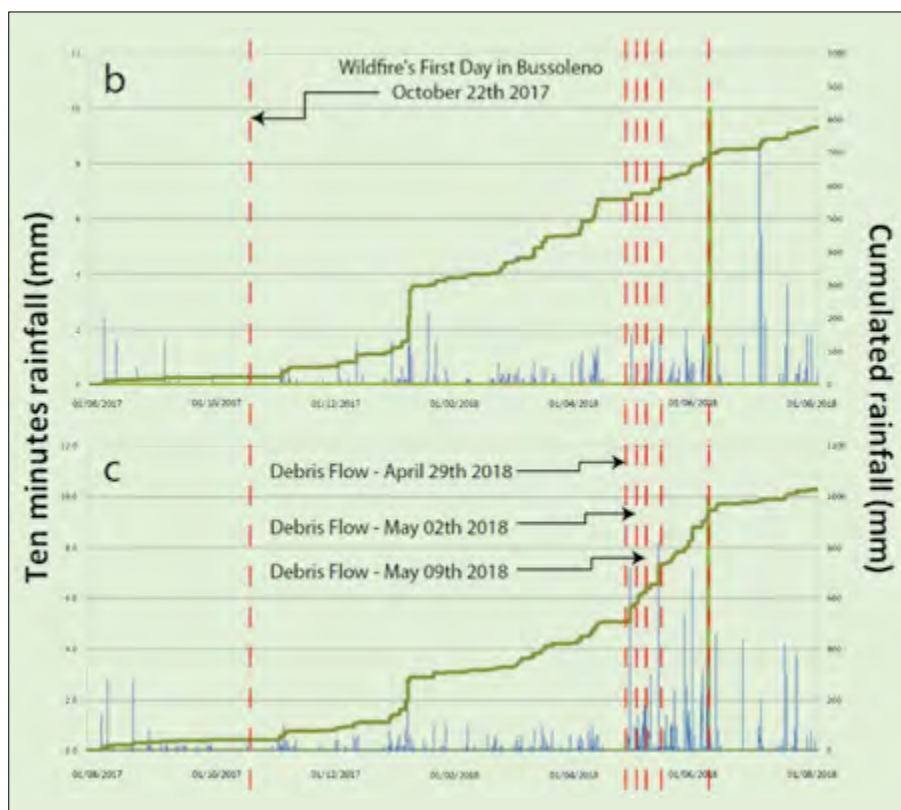


Figura 3. Piogge intense a 10 minuti (in azzurro) e cumulate (in verde) per due stazioni meteo nelle vicinanze di Bussoleno nel periodo dell'incendio e delle frane (linee rosse tratteggiate)

Quindi come primo passo è stata calcolata la severità d'incendio della zona di studio, usando in questo caso una classificazione dell'indice dNBR calcolato su immagini Sentinel-2 successivamente validata mediante rilievi in campo (Fig. 2).

Per quanto riguarda l'analisi delle precipitazioni, causa scatenante delle colate, sono stati analizzati sia i di pioggia oraria e suboraria registrati da diverse stazioni meteo, sia i dati radar (Arpa Piemonte). Sebbene le intensità di pioggia misurate siano già abbastanza significative per gli inneschi (Fig. 3), la natura temporalesca dei fenomeni ed i dati radar registrati lascia pensare che nell'area interessata dalle frane siano cadute piogge molto più intense, passando dai pochi mm a quasi 100 in un'ora (Fig. 4).

Il passo successivo è consistito nella caratterizzazione del terreno prima o dopo il passaggio dell'incendio. I dati sono ancora provvisori e le indagini stanno continuando, ma le prime indicazioni sono chiare. A parità di tensione di consolidazione (2.5 kN/m^2), si passa da resistenze al taglio di poche decine di kN/m^2 nel terreno bruciato a valori superiori al centinaio dove l'incendio non ha colpito il suolo con elevata intensità (Fig. 5).

Dette considerazioni derivano sia da prove speditive eseguite in sito, sia da campioni di laboratorio, sia non disturbati (per quanto possibile) che ricostruiti.

Altre indagini di campo riguardano la capacità di infiltrazione dell'acqua per evidenziare la presenza di un livello idrofobico descritto in letteratura.

Gli studi proseguono con la modellazione del fenomeno, con la ricostruzione delle modificazioni morfologiche del terreno (aree ad erosione accelerata, gerarchizzazione del reticolo idrografico...) e con il rilevamento di dettaglio di forme e depositi riscontrati lungo l'i-

drografia principale e secondaria (Fig. 6a). La fotogrammetria terrestre ed aerea, utilizzando la tecnica denominata Structure from Motion, ha permesso la ricostruzione dettagliata della colata verificatesi ed accumulatasi sul conoide sotteso alla Comba delle Foglie. In Fig. 6b, ad esempio, sono riportate le modifiche topografiche a seguito dell'evento principale analizzato da cui emergono le aree in erosione e quelle in deposito.

4. CONCLUSIONI

Questa memoria vuole mettere in risalto come i cambiamenti climatici possano incrementare il rischio derivante da eventi geo-idrologici: da un lato l'aumento delle temperature medie e l'aumento dei periodi siccitosi tendono a favorire lo sviluppo di incendi boschivi, interessando in modo crescente anche le regioni dell'Italia settentrionale; dall'altro lato l'aumento in frequenza e magnitudo dei fenomeni pluviometrici ad elevata intensità aumenta il rischio di innesco di frane e colate, in particolar modo nelle aree incendiate.

La letteratura cita diversi casi, in Italia e in diverse altre parti del mondo, in cui questi due fenomeni si associano e sono in grado di arrecare gravi danni a persone e cose. Per questo il gruppo di lavoro dell'Italian Network del International Consortium on Landslide sta realizzando un database strutturato ed un protocollo di rilievo validato che permetta di compiere considerazioni statisticamente significative su questa tematica a scala nazionale, con l'obietti-

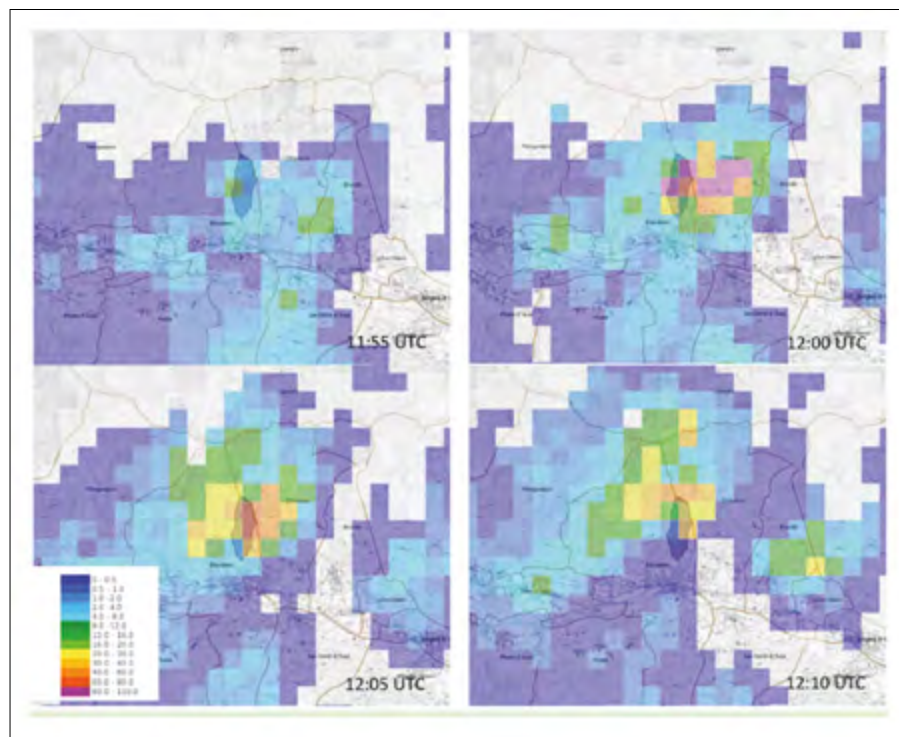


Figura 4. Immagini radar che mostrano come i fenomeni che hanno innescato le frane siano del tipo intensi e concentrati

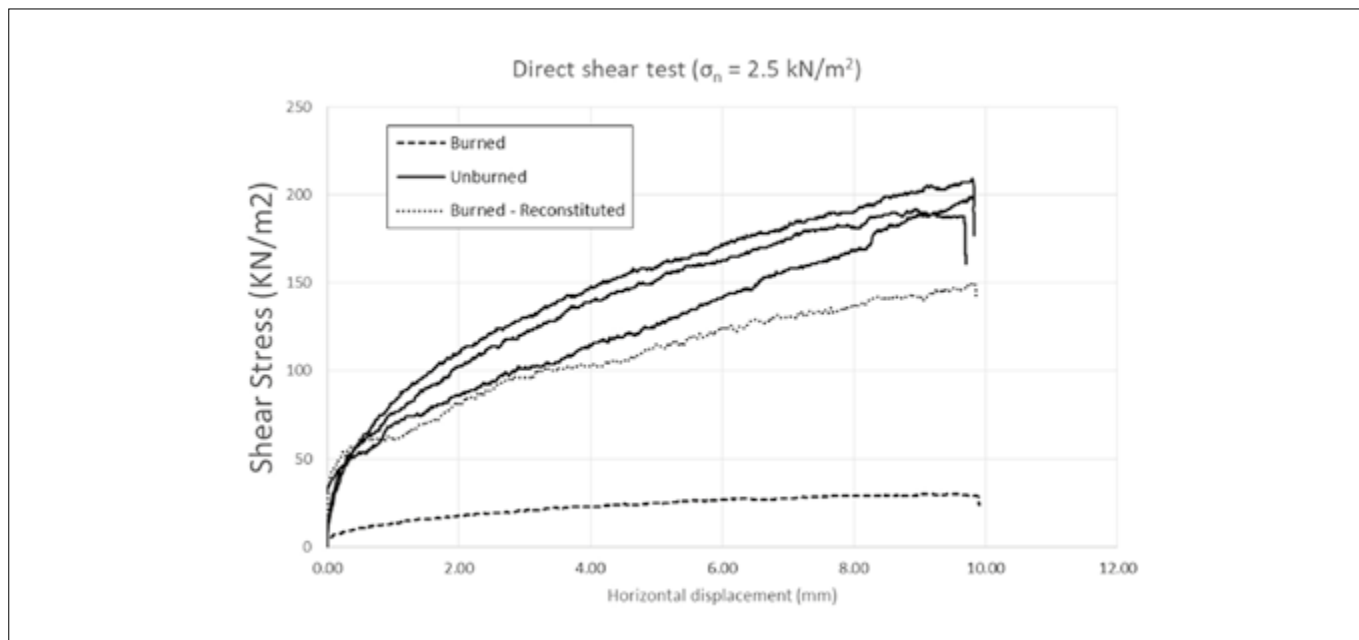


Figura 5. Esempio di prove di laboratorio in scatola di taglio per stimare la resistenza al taglio prima e dopo l'incendio

vo ultimo di mitigazione del rischio da frana in aree così sensibili.

Un primo esempio di come si potrebbe affrontare questo problema è, inoltre, presentato a titolo esemplificativo ma non esaustivo in quanto gli studi sono

ancora in corso. Si tratta di una zona in bassa Valle di Susa bruciata nell'autunno 2017 e colpita a più riprese da debris flow durante le prime piogge significative della primavera successiva. Le prime indagini hanno consentito di determinare la

distribuzione della severità di incendio, le caratteristiche delle piogge innescanti e del fenomeno franoso, il riconoscimento dei processi in atto e di avere i primi dati circa l'effetto degli incendi sulle caratteristiche geotecniche dei suoli incendiati.

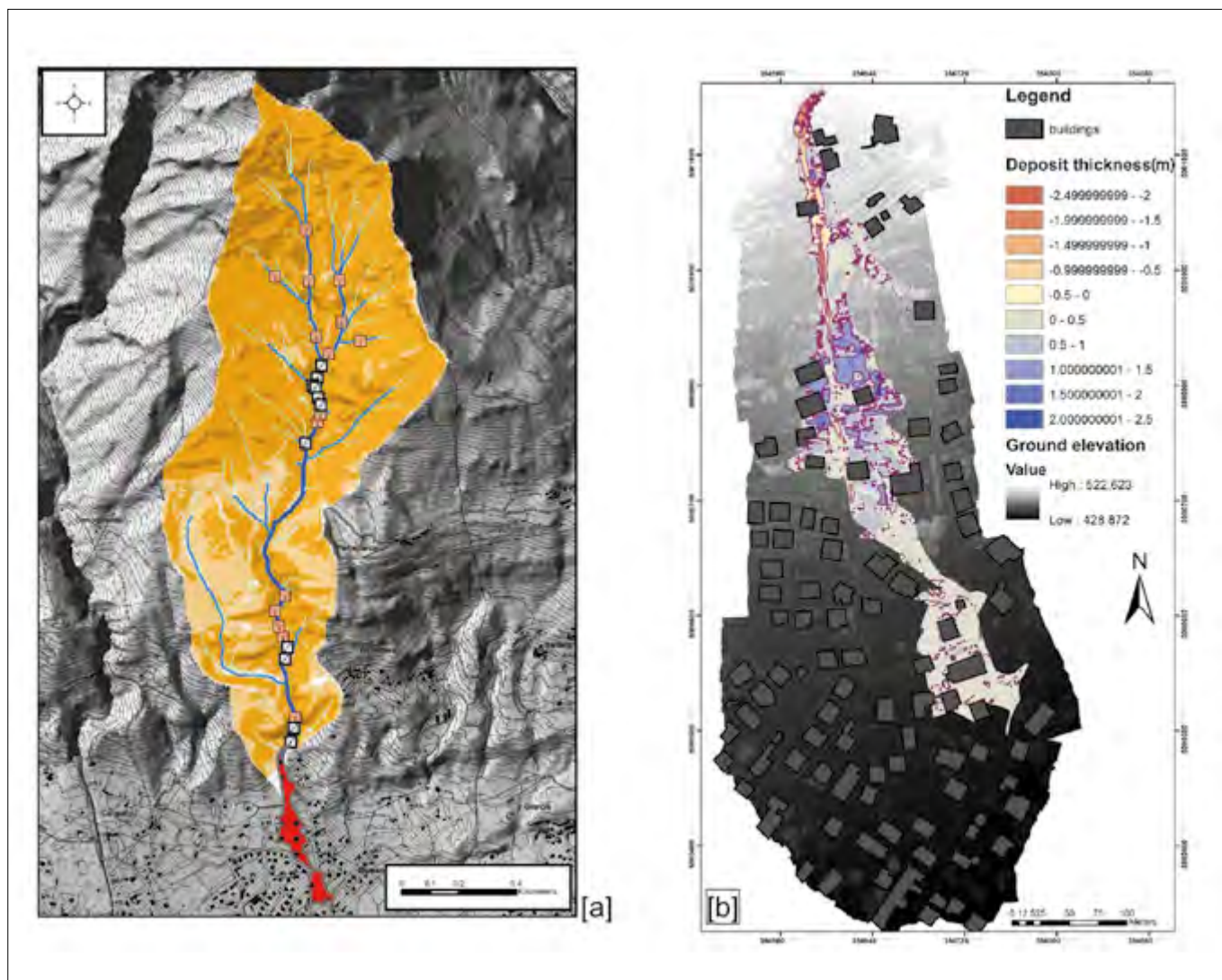


Figura 6.

BIBLIOGRAFIA

- ALLISON R.J., BRISTOW G.E. (1999), *The effects of fire on rock weathering: some further considerations of laboratory experimental simulation*. Earth Surf. Process. Landf., 24, 707-713.
- AMBROSIA V.G., BUECHEL S.W., BRASS J.A., PETERSON J.R., DAVIES R.H., KANE R.J., SPAIN S. (1998), *An integration of remote sensing, GIS, and information distribution for wildfire detection and management*. Photogramm. Eng. Remote Sens., 64 (10), 977-985.
- AMBROSIA V.G., WEGENER S.S., SULLIVAN D.V., BUECHEL S.W., DUNAGAN S.E., BRASS J.A., STONEBURNER J., SCHOENUNG S.M. (2003), *Demonstrating UAV-acquired real-time thermal data over fires*. Photogramm. Eng. Remote Sens., 69 (4), 391-402.
- ATKINSON G. (1984), *Erosion damage following bushfires*. J. Soil Conserv. Serv., 40, 4-9.
- BENAVIDES-SOLARIO J., MACDONALD L.H. (2005), *Measurement and prediction of post-fire erosion at the hillslope scale, Colorado Front Range*. Int. J. Wildl. Fire, 14, 1-18.
- BLACKWELDER E. (1927), *Fire as an agent in rock weathering*. Am. J. Sci., 35, 134-140.
- CAINE N. (1980), *The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows*. Geografiska Annaler, 62A, 23-37.
- CALCATERRA D., PARISE M., PALMA B., PELELLA L. (2000), *Multiple debris flows in volcanoclastic materials mantling carbonate slopes*. In: Wieczorek G.F., Naeser N.D. (eds) Proc. 2nd Int. Conf. "Debris-flow hazards mitigation: mechanics, prediction, and assessment". Taiwan, 99-107.
- CAMPO J., ANDREU V., GIMENO-GARCIA E., GONZALEZ O., RUBIO J.L. (2006), *Occurrence of soil erosion after repeated experimental fires in a Mediterranean environment*. Geomorphology, 82, 376-387.
- CANNON S.H., RENEAU S.L. (2000), *Conditions for generation of fire-related debris flows, Capulin Canyon, New Mexico*. Earth Surf. Process. Landf., 25, 1103-1121.
- CANNON S.H., GARTNER J.E. (2005), *Wildfire-related debris flow from a hazard perspective*. In: Jakob M., Hungr O. (eds) Debris-flow hazards and related phenomena. Praxis, 363-385.
- CANNON S.H., BIGIO E.R., MINE E. (2001a), *A process for fire-related debris-flow initiation, Cerro Grande Fire, New Mexico*. Hydrol. Process., 15, 3011-3023.
- CANNON S.H., KIRKHAM R.M., PARISE M. (2001b), *Wildfire-related debris-flow initiation processes, Storm King Mountain, Colorado*. Geomorphology, 39, 171-188.
- CANNON S.H., GARTNER J.E., PARRETT C., PARISE M. (2003), *Wildfire-related debris flow generation through episodic progressive sediment bulking processes, western USA*. In: Rickenmann D., Chen C.L. (eds) Proc. 3rd Int. Conf. "Debris-flow hazards mitigation—mechanics, prediction, and assessment". Davos, Switzerland, 71-82.
- CANNON S.H., GARTNER J.E., WILSON R.C., BOWERS J.C., LABER J.L. (2008), *Storm rainfall conditions for floods and debris flows for recently burned areas in south-western Colorado and southern California*. Geomorphology, 96, 250-269.
- CANNON S.H., GARTNER J.E., RUPERT M.G., MICHAEL J.A., REA A.H., PARRETT C. (2010), *Predicting the probability and volume of post-wildfire debris flows in the intermountain west, USA*. Geol. Soc. Am. Bull. 122, 127-144.
- CERDA A. (1988), *Post-fire dynamics of erosional processes under Mediterranean climatic conditions*. Zeitschrift für Geomorphologie, 42, 373-398.
- DEBANO L.F. (2000), *The role of fire and soil heating on water repellency in wildland environments: a review*. J. Hydrol., 231-232, 195-206.
- DEBANO L.F., NEARY D.G., FOLLIOTT P.F. (1998), *Fire's effects on ecosystems*. Wiley, New York.
- DE GRAFF J.V., CANNON S.H., GALLEGOS A.J. (2007), *Reducing post-wildfire debris flow risk through the burned area emergency response (BAER) process*. In: Schafer V.R., Schuster R.L., Turner A.K. (eds) Proc. 1st North American Landslide Conf. AEG sp. publ. 23, 1440-1447.
- DE GRAFF J.V., CANNON S.H., PARISE M. (2013), *Limiting the immediate and subsequent hazards associated with wildfires*. In: Margottini C., Canuti P., Sassa K. (Eds.), *Landslide science and practice. Volume 4: Global Environmental Change*. Springer, ISBN 978-3-642-31336-3, DOI 10.1007/978-3-642-31337-0, p. 199-209.
- DOERR S.H., SHAKESBY R.A., WALSH R.P.D. (2000), *Soil water repellency—its causes, characteristics and hydro-geomorphological significance*. Earth Sci. Rev., 51, 33-65.
- DURGIN P.B. (1985), *Burning changes the erodibility of forest soils*. J. Soil Water Conserv., 40, 299-301.
- GABET E.J. (2003), *Post-fire thin debris flows: sediment transport and numerical modeling*. Earth Surf. Process. Landf., 28, 1341-1348.
- GARFI' G., BRUNO D., CALCATERRA D., PARISE M. (2007), *Fan morphodynamics and slope instability in the Mucone River basin (Sila Massif, southern Italy): significance of weathering and role of land use changes*. Catena, 69, 181-196.
- GARTNER J.E., CANNON S.H., BIGIO E.R., DAVIS N.K., PARRETT C., PIERCE K.L., RUPERT M.G., THURSTON B.L., TREBISH M.J., GARCIA S.P., REA A.H. (2005), *Compilation of data relating to the erosive response of 606 recently burned basins in the western US*. USGS open-file report 2005, 1218.
- GIOVANNINI G., LUCCHESI S., GIACHETTI M. (1987), *The natural evolution of a burned soil: a three-year investigation*. Soil Sci., 143, 220-226.
- GODT J.W., BAUM R.L., CHLEBORAD A.F. (2006), *Rainfall characteristics for shallow landsliding in Seattle, Washington, USA*. Earth Surf. Proc. Land., 31, 97-110.
- GUZZETTI F., PERUCCACCI S., ROSSI M., STARK C.P. (2008), *The rainfall intensity-duration control of shallow landslides and debris flows—an update*. Landslides, 5, 3-7.
- KEY C.H., BENSON N.C. (2006), *Landscape assessment: sampling and analysis methods*. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-164-CD, 1-55.
- MARTIN D.A., MOODY J.A. (2001), *Comparison of soil infiltration rates in burned and unburned mountainous watersheds*. Hydrol. Process., 15, 2893-2903.
- MEYER G.A., WELLS S.G. (1997), *Fire-related sedimentation events on alluvial fans, Yellowstone National Park, USA*. J. Sed. Res., 67, 776-791.
- MILLER J. D., THODE A. E. (2007), *Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio (dNBR)*. Remote Sens. Environ. 109, 66-80, doi:10.1016/j.rse.2006.12.006.
- OLLIER C.D., ASH J.E. (1983), *Fire and rock breakdown*. Z. Geomorph., 27, 363-374.
- OLLIER C., CALCATERRA D., PARISE M. (2007), *Studies in weathering and slope movements—an introduction*. Geomorphology, 87, 101-103.
- PARISE M., CANNON S.H. (2008), *The effects of wildfires on erosion and debris-flow generation in Mediterranean climatic areas: a first database*. Proc. 1st World Landslide Forum. Tokyo, Japan, 465-468.
- PARISE M., CANNON S.H. (2012) *Wildfire impacts on the processes that generate debris flows in burned watersheds*. Natural Hazards, 61 (1), 217-227.
- ROERING J.J., GERBER M. (2005), *Fire and the evolution of steep, soil-mantled landscapes*. Geology, 33, 349-352.
- SAN MIGUEL-AYANZ J., RAVAIL N., KELHA V., OLLERO A. (2005), *Active fire detection for fire emergency management: potential and limitations for the operational use of remote sensing*. Nat. Hazards, 35, 361-376.
- SANTI P.M., DE WOLFE V.G., HIGGINS J.D., CANNON S.H., GARTNER J.E. (2008), *Sources of debris flow material in burned areas*. Geomorphology, 96, 310-321.
- SCOTT D.F., VERSFELD D.B., LESCH W. (1998), *Erosion and sediment yield in relation to afforestation and fire in the mountains of the Western Cape Province, South Africa*. South Afr. Geograph. J., 80, 52-59.
- SHAKESBY R.A., DOERR S.H. (2006), *Wildfire as a hydrological and geomorphological agent*. Earth Sci. Rev., 74, 269-307.
- SUGIHARA N.G., VAN WAGTENDONK J.W., FITE-KAUFMAN J. (2006), *Fire as an ecological process*. In: Sugihara N.G., van Wagtendonk J.W., Shaffer K.E., Fites-Kaufman J., Thode A.E. (eds) *Fire in California's ecosystems*. University of California Press, Berkeley and Los Angeles, 58-74.
- SWANSON F.J. (1981), *Fire and geomorphic processes*. In: Mooney H.A., Bonnicksen T.H., Christensen N.L., Lotan J.E., Reiners W.A. (eds.) *Fire regimes and ecosystem properties*. US Department of Agriculture, Forest Service general technical report WO-26, 401-420.
- VAN WAGTENDONK J.W. (2006), *Fire as a physical process*. In: Sugihara N.G., van Wagtendonk J.W., Shaffer K.E., Fites-Kaufman J., Thode A.E. (eds) *Fire in California's ecosystems*. Berkeley and Los Angeles, 38-57.
- WELLS W.G. (1987), *The effect of fire on the generation of debris flows in southern California*. In: Costa J.E., Wiecezorek G.F. (eds.) *Debris flows/avalanches: process, recognition, and mitigation*. GSA Reviews in Engineering Geology, 7, 105-113.

Le fonti archivistiche per un repertorio degli eventi franosi in territorio di Pomarico (Matera) dal XIX secolo ai nostri giorni. La storia degli eventi come prodromo alla programmazione e prevenzione del rischio geoidrologico

Archival sources for a repertory of the landslide events in the territory of Pomarico (Matera) from the XIX century to nowadays. The history of events as a prodrome for the programming and the prevention of hydro-geological risk

Parole chiave: archivi, fonti archivistiche, storia degli eventi franosi
Key words: archives, archival sources, history of landslides

È noto alla comunità scientifica che la definizione del rischio idrogeologico e la conseguente fase di pianificazione territoriale, se supportate da approcci multidisciplinari, risultano più efficaci. Le serie di dati storici, in ambito di studio delle frane, sono sempre più attenzionate, soprattutto dai geologi, in particolare per quei movimenti franosi avvenuti in aree urbanizzate. Tuttavia, da alcuni anni, su scala continentale europea assume sempre maggiore rilevanza l'accostamento degli studi e dei monitoraggi tecnici alla storia dei movimenti franosi avvenuti in qualsiasi area. Ne è testimonianza una banca dati europea realizzata nell'ambito del programma "European Programme on Climatology and Natural Hazard" denominata "Temporal Occurrence and Forecasting of Landslides in the European Community" (Casale *et al.*, 1994).

Diversi progetti, sul territorio italiano, stanno sempre più incalzando al fine di rendere maggiormente adese le scelte di programmazione territoriale alla storia degli eventi che deriva, a sua volta, dalla conoscenza e dall'analisi di dati estrapolati con cura e attenzione scientifica dagli archivi statali (Archivi di Stato), e dagli archivi non statali di competenza delle Soprintendenze Ar-

chivistiche e Bibliografiche (Archivi comunali, provinciali, regionali, Enti sub-regionali a vario livello, archivi privati tra cui anche quelli ecclesiastici).

Pertanto l'approccio multidisciplinare fa in modo che la memoria storica, attraverso la raccolta dei dati, possa essere finalizzata a una più completa ed esaustiva costruzione del quadro conoscitivo degli eventi rispetto a quanto possibile e realizzabile con la normale analisi geologico-geomorfologica e permettendo, di conseguenza, una definizione più accurata di alcuni aspetti fondamentali per le valutazioni di pericolosità e vulnerabilità del territorio (Lazzari M., 2014). Tale miglioramento del quadro conoscitivo entra nel merito della determinazione della pericolosità di un evento franoso e dei rischi ad essa connessa. Il miglioramento di tali conoscenze, dal punto di vista cronologico e statistico, necessita di un approfondimento molto accurato (Canuti e Casagli, 1996) tant'è che mentre gli aspetti cinematici dei singoli eventi possono essere ricostruiti, in buona parte, attraverso rilievi e indagini geologiche e geomorfologiche, gli aspetti temporali possono essere dedotti principalmente da ricerche storiche e di archivio (Lazzari M., 2014).

In ultima analisi i dati storici rappresentano un importante prerequisito per

Gianni Palumbo

Ispettore onorario per gli archivi e le biblioteche. Soprintendenza Archivistica e Bibliografica della Puglia e della Basilicata - MIBACT
E-mail: info@culturemeridiane.org

l'indagine geologica e per l'acquisizione di informazioni su quanto è accaduto in passato, riferendosi a una ricca casistica di eventi franosi e alluvionali succedutisi in una determinata area nel corso dei secoli e, pertanto, è possibile e auspicabile utilizzare anche queste informazioni per essere in grado di attuare più efficaci politiche di mitigazione del rischio.

Per l'analisi degli eventi sul territorio comunale di Pomarico, sulla collina materana, in Basilicata, si è fatto riferimento, prevalentemente, a dati e documenti conservati presso l'archivio storico comunale, recentemente recuperato, riordinato e inventariato grazie all'azione di archivisti e volontari coordinati dall'Associazione culturale "Giuseppe Camillo Giordano". Mentre per il contesto più generale, relativo alla Basilicata, oltre all'ASC di Pomarico sono stati ricavati dati ed elaborate informazioni attraverso ricerche pervenute tramite altri archivi tra i quali gli Archivi di Stato dei due capoluoghi e attraverso la bibliografia generale inerente il rischio idro-geologico del territorio lucano.

Le prime informazioni storiche rilevanti che dimostrano l'esistenza di un problema idrogeologico di una certa portata, in Basilicata, risalgono al XVII Secolo. Nell'atto di compravendita di Stigliano si citano le condizioni di instabilità del centro abitato (Antonini G., 1745); inoltre Racioppi (Racioppi G., 1889) menziona la grande frana di Pisticcio che, nella notte di Santa Apollonia, nel febbraio del 1688, a seguito di perseveranti cattive condizioni meteo provocò il crollo di un rione del paese (da quel momento chiamato "Rione Dirupo") causando diverse centinaia di vittime.

Carlo III di Borbone, nei primi mesi dopo il suo insediamento, durante una sua visita diretta in Basilicata, nel gen-

naio del 1735, vi rimase particolarmente sorpreso per le condizioni generali del territorio (in genere, fino ad allora, il territorio lucano lo si rappresentava ricco di armenti, abbondanza di frutti e raccolti ma la situazione reale era ben diversa) e commissionò una specifica inchiesta sulla Basilicata affidata, il 9 aprile del 1735, da Bernardo Tanucci, da poco nominato Consigliere di Stato (negli anni successivi sarà Ministro della Giustizia, Ministro degli Affari Esteri e poi Segretario di Stato), all'avvocato fiscale presso l'Udienza di Matera, Rodrigo Maria Gaudio.

Il compito del Gaudio fu quello di redigere una "esatta descrizione di questa Provincia". Nonostante lo scopo precipuo dell'inchiesta fosse stato quello di accertare le condizioni economiche e sociali della regione, furono raccolte diverse informazioni sui movimenti franosi e i terremoti che interessavano alcuni centri lucani. Un esempio è quando si cita Viggianello e la tragica situazione in cui versa la terra "conquassata dal tremuoto del 1708" oppure quando, a proposito di Alianello, vien detto che "tutti inclinano alla fatica e coltura de' territori per poter miseramente vivere, non ci sono letterati, ma tutti idioti e perché questa Terra sta situata dalla parte superiore del fiume Agri, di continuo vi sono movimenti di terreno che il richiamo di detto fiume tuttavia va cadendo ... e disabitando".

Durante il decennio francese (1805-1815) che interruppe temporaneamente il Regno dei Borbone nel sud Italia, il 2 agosto del 1806, venne promulgata la legge sull'eversione della feudalità: "La feudalità con tutte le sue attribuzioni resta abolita. Tutte le giurisdizioni sinora baronali, ed i proventi qualunque che vi siano stati annessi, sono reintegrati alla sovranità dalla quale saranno inseparabili".

Contestualmente all'abolizione della feudalità si espanse, progressivamente, la borghesia anche nel Regno di Napoli, una borghesia che però non era quella di ispirazione prevalentemente giacobina, a cui pure la rivoluzione partenopea del 1799 si ispirava, e i risultati furono ben differenti da quelli attesi; da una parte vi furono notevoli benefici sociali, dall'altra vi fu un periodo durante il quale si praticò un intenso disboscamento dei territori meridionali e in particolare del territorio della Basilicata.

Gli usi civici, impediti con tutti i mezzi da parte dei feudatari, divennero una pratica diffusa dopo l'eversione feudale. Le terre furono in parte acquisite dalle municipalità e in parte dai priva-

ti, grandi proprietari terrieri. La nuova borghesia agraria in pochi anni avrebbe sostituito i feudatari ma non seguì una visione illuminista e moderna; l'incedere fattuale fu segnato, semplicemente, suddividendo i feudi tra i nuovi proprietari di una improvvisata borghesia, dissodando e coltivando i territori anche nelle zone più impervie.

Dopo il ritorno dei Borbone, molte riforme, istituite e promulgate nel decennio francese, furono di fatto conservate per evitare di turbare i difficili equilibri sociali. Con la legge forestale del 1826 si permisero ulteriori disboscamenti, pertanto, nelle nuove province istituite dai francesi e tali rimaste dopo la restaurazione, non vi furono attenzioni particolari verso la problematica del disboscamento e del conseguente dissesto idrogeologico. Nella prima metà dell'Ottocento, sulle colline della Basilicata (così come sulle montagne e colline abruzzesi, molisane e calabre) *"Vastissime benché imprecisate superfici di pascoli, di boschi, di macchie furono dissodate e sottoposte a coltura [...] centinaia e centinaia di ettari di boschi e foreste vennero abbattuti, spesso col fuoco (debbio), per creare nuovi pascoli alle mandrie e soprattutto per far posto alla coltivazione del grano, della segale, del granturco. Questa rapida e intensa distruzione degli equilibri ambientali non fu ovviamente senza effetti, spesso immediati, sul resto del territorio. Le alture disboscate, e in primissimo luogo le terre in pendio, private della più o meno antica copertura forestale, erano sottoposte a intensi processi di erosione del suolo (ben noti in tutte le regioni mediterranee) che davano così luogo al fenomeno ricorrente delle frane: spostamenti e crolli spesso imponenti di terre, che investivano talora interi paesi posti a valle, colture, strade ..."* (Piero Bevilacqua, 1997).

Di notevole interesse sono anche le osservazioni della Società Economica di Basilicata, diffuse attraverso il proprio organo ufficiale, il Giornale economico letterario della Basilicata, che individuava nella instabilità climatica e nei fattori di precarietà idrogeologica, oltre che nella carenza di infrastrutture, i problemi principali della gente lucana. Di queste problematiche fa cenno V. D'Errico, Presidente della Società, nel suo discorso pubblico del 30 maggio del 1844.

Nel 1859 il governo borbonico invitò l'Intendente di Basilicata a promuovere un'inchiesta dalla quale risultarono le problematiche intense e disastrose degli effetti del dissesto idrogeologico.

Anche con l'Unità d'Italia le condizioni non cambiarono sostanzialmente,

anzi vi furono nuovi disboscamenti che contribuirono a rendere ancora più fragile la situazione e a determinare intensi fenomeni erosivi. I motivi dei nuovi disboscamenti sono da ricercarsi nei seguenti fattori:

- a) repressione del brigantaggio post-unitario che nei boschi trovavano rifugio;
- b) abolizione dell'asse ecclesiastico attraverso il quale le terre boscate acquisite furono bonificate e spesso disboscate;
- c) promulgazione di una legge forestale liberista del 1877 che permetteva nuovi dissodamenti;
- d) crescita demografica e conseguente pressione antropica.

Il lucano Giuseppe D'Errico fu il primo, in quegli anni, a evidenziare come, nonostante l'aumento demografico, vi era una sostanziale impossibilità nell'affrontare lo sviluppo urbanistico per via della limitata disponibilità di zone stabili nei luoghi dove i centri urbani erano ubicati e quindi fu il primo a disporre la necessità di immaginare una dislocazione dei paesi o delle zone di prospettiva di sviluppo urbanistico dei medesimi, in aree lontane e più stabili da quelle ove erano ubicati.

Dopo l'Unità d'Italia fu merito di Quintino Sella la costituzione prima del Comitato geologico italiano nel 1867 e poi, nel 1873, dell'Ufficio geologico italiano che diede avvio, nel 1877, ai lavori di rilevamento per la realizzazione della prima Carta geologica d'Italia. Fu proprio per questi rilievi geologici che a fine '800 furono inviati in Basilicata gli ingegneri Baldacci, Di Stefano e Viola.

Contestualmente all'inizio dell'iter per la realizzazione della Carta geologica d'Italia, nel 1877 venne costituita la Scuola di Vallombrosa, primo nucleo storico del Corpo Forestale dello Stato. Sulla scorta dei primi studi geologici, e su invito della Società Geografica Italiana, a inizio del XX secolo venne pubblicato dal geografo Roberto Almagià, in due step (il primo nel 1907 relativo all'appennino settentrionale e il secondo nel 1910 relativo all'appennino centrale e meridionale) il primo elenco di dettaglio e commentato delle frane italiane (R. Almagià, 1907 e 1910) con descrizione anche delle frane più importanti osservate in Basilicata. Tra queste è citata quella avvenuta a Pomarico, in contrada Fontanelle (frana che si è reiterata nei secoli successivi), il 5 febbraio del 1848: *"Notevole frana sui fianchi della collina di Pomarico (Potenza) in contrada Fontanelle"*.

Ampliando la ricerca archivistica e ponendo specifica attenzione al territorio del Comune di Pomarico, nutrito risulta l'apparato documentale che riporta notizie storiche sulle varie frane che hanno interessato il territorio rurale e lo stesso centro abitato, con particolare riferimento alla frana di Corso Vittorio Emanuele, reiteratasi con una frequenza tutt'altro che trascurabile. Tuttavia, nonostante la memoria recente degli ultimi, rovinosi eventi, poco è stato fatto per evitare danni ancora peggiori e la maggior forza con cui la frana si è ripresentata a fine gennaio del 2019 è la dimostrazione di come non sia stato fatto tesoro degli episodi più recenti che l'hanno preceduta.

Il 30 di gennaio del 1891 il Sindaco di Pomarico, Cav. Nicola Castellano, convoca una riunione straordinaria del Consiglio comunale in seduta pubblica per discutere di "provvedimenti per lavori di urgenza nell'interno dell'abitato". Nella introduzione della seduta consigliare si fa riferimento al peggioramento dello stato di sicurezza dell'abitato per via delle piogge e delle copiose nevicate dei giorni precedenti. La situazione si mostrava molto grave ed è così descritta: "La vostra Amministrazione di certo non fu mai sorda ai giusti reclami ed ha fatto del suo meglio per garantire la vita di parecchi cittadini; e più farebbe, anche nei limiti del provvisorio, se le forze del bilancio glielo consentissero. Nei decorsi giorni delle proteste scritte furono indirizzate a questa Amministrazione, ed altri reclami pure furono inoltrati alle Superiori Autorità, all'oggetto d'allontanare dagli animi di questa cittadinanza le giuste preoccupazioni che desta la possibilità di una immane catastrofe nel nostro abitato. In presenza, adunque, di sì gravi contingenze, s'impone a tutti il dovere d'efficacemente provvedere non solo, ma di farlo in linea di massima urgenza, perché il solo temporeggiare ancora potrebbe rendere inutili gli sforzi possibili".

È con l'inchiesta Zanardelli, a seguito del suo viaggio nel 1902 in Basilicata, che la vicenda delle frane assunse un valore di un certo peso nell'azione politico-amministrativa del Governo centrale. Da tale inchiesta scaturì la legge speciale per la Basilicata del 1904 con la quale si sistemarono i corsi d'acqua e si prevedero consolidamenti per i centri abitati pericolanti.

"Il 7 marzo 1901, presentando al Parlamento il programma di governo del suo Gabinetto, Giuseppe Zanardelli assunse l'impegno a favore delle regioni meridionali. L'anno successivo, il 28 aprile, l'onorevole socialista e potentino Ettore Ciccotti, forte

delle dichiarazioni governative, presentò alla Camera un'interpellanza sulla Basilicata, che veniva presentata nella condizione di un malato che mal si reggeva sulle gambe; la definiva come la più povera regione d'Italia e, quindi, la più bisognosa degli aiuti dello Stato.

Due mesi più tardi, anche gli onorevoli lucani Lacava e Torraca dipinsero alla Camera un quadro impressionante delle condizioni della Basilicata, puntando il dito sul fenomeno dell'immigrazione che aveva assottigliato la popolazione lucana. Zanardelli, sollecitato da tali interventi, decise, quindi, di intraprendere un viaggio in quella terra arida ed isolata, per rendersi conto personalmente dei bisogni di quella parte d'Italia. Era già stato in quella regione nell'ottobre 1890, quando da ministro di Grazia e Giustizia, prese parte a Brienza all'inaugurazione di un monumento al giurista Mario Pagano.

Nel settembre 1902, per ben tredici giorni, il settantaseienne Presidente del Consiglio dei Ministri, affrontando fatiche e disagi, visitò numerosi comuni della Basilicata. Fu un lungo e duro tragitto durante il quale fece la diretta conoscenza delle enormi difficoltà (povertà, fame e arretratezza) in cui versava il popolo lucano e grazie al quale maturò l'idea di realizzare interventi radicali.

Nel suo viaggio percorse le poche strade rotabili che collegavano la regione, ma, il più delle volte, dovette fare affidamento su vie più impervie. La Basilicata, nei primi anni del '900, doveva fronteggiare la malaria e i dissesti idrogeologici; inoltre, doveva combattere contro il peso delle imposte fiscali e la mancanza di risorse per la realizzazione di opere pubbliche.

Lo statista bresciano programmò provvedimenti speciali per risollevarne l'agricoltura lucana, per difendere e arricchire il patrimonio boschivo, per modificare il sistema fiscale tributario, concedendo agevolazioni ed esenzioni per combattere l'analfabetismo e per creare opere pubbliche e consolidare gli abitati della regione.

Al termine del suo viaggio, dopo aver attraversato e ispezionato per due settimane (14-30 settembre) le più impervie contrade della regione, Zanardelli affidò al Regio Commissario dell'Emigrazione Ausonio Franzoni l'incarico di studiare le cause e gli effetti dell'emigrazione in Basilicata che venne presentata nel gennaio 1903; allo stesso modo affidò all'ingegnere capo del Genio civile di Cagliari Eugenio di Sanjust, l'incarico di un'approfondita indagine e, quindi, di redigere una relazione che divenne la base per la legge speciale per la Basilicata licenziata dal Senato il 31 marzo 1904. Dalla morte di Zanardelli erano trascorsi solo pochi mesi.

Il 25 settembre, Zanardelli ricevette le delegazioni dei Comuni di Matera, Montescaglioso, Irsina, Pomarico e Pisticci, oltre che una delegazione della Società operaia, delle scuole elementari, dei carabinieri, degli avvocati e altri. In piazza della Fontana, scoprì, una lapide in onore del re Umberto I. Durante il pranzo tenuto nel palazzo del Governo furono consegnati quattro memorandum che la città aveva preparato. Uno di essi faceva riferimento alla popolazione materana abitano in tuguri scavati nella nuda roccia".

Così descrive il viaggio in Basilicata del Presidente Zanardelli, Antonio Tan-



Il carro con cui viaggiarono, nel settembre 1902, Zanardelli e la delegazione parlamentare che lo accompagnava durante il viaggio ispettivo nelle terre di Basilicata. Foto Archivio fotografico Tramonte (Ferrandina) riprodotta in copia presso Archivio di Pietro Varuolo (Pomarico)

tari, nel saggio "Il viaggio di Giuseppe Zanardelli in Basilicata", nel sito web www.museiperlastoria.com

Tra i vari memorandum presentati a Zanardelli, non mancò quello del Comune di Pomarico, per l'occasione stampato in molte copie, con la data del 24 settembre 1902, qui di seguito riprodotto. Il memorandum fu consegnato al Presidente del Consiglio dall'Avvocato Gabriele Giordano, su delega del Sindaco di Pomarico.

Il 21 dicembre del 1902 il Presidente del Consiglio dei Ministri, Zanardelli, risponde al Sindaco di Pomarico:

"Ho esaminato col più vivo interessamento il memoriale presentatomi nello scorso settembre da codesta Onorevole Amministrazione Municipale ed inteso a mettere in vista le condizioni d'instabilità di codesto abitato ed a promuovere speciali misure legislative per la esecuzione delle relative opere di consolidamento.

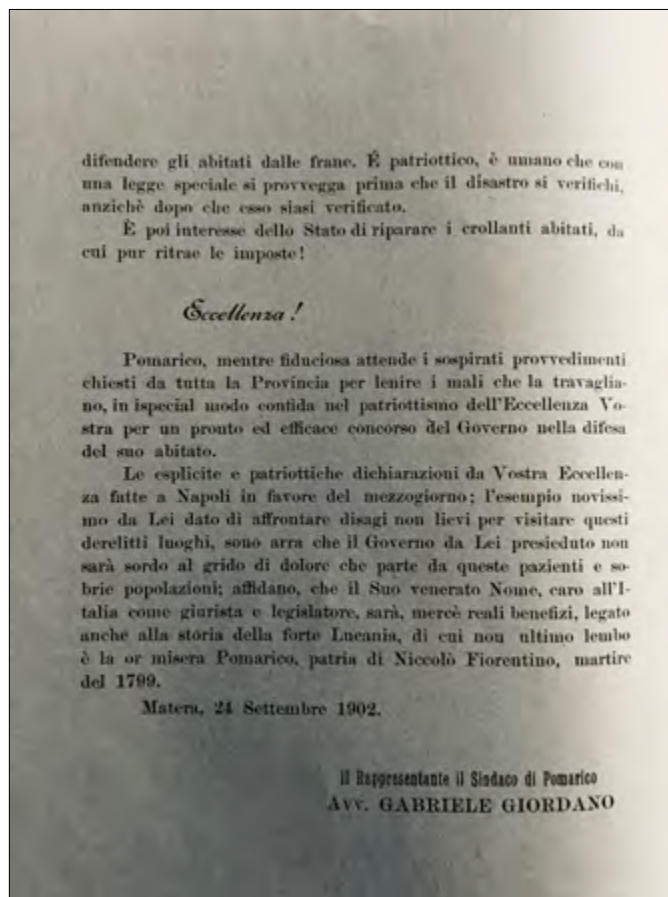
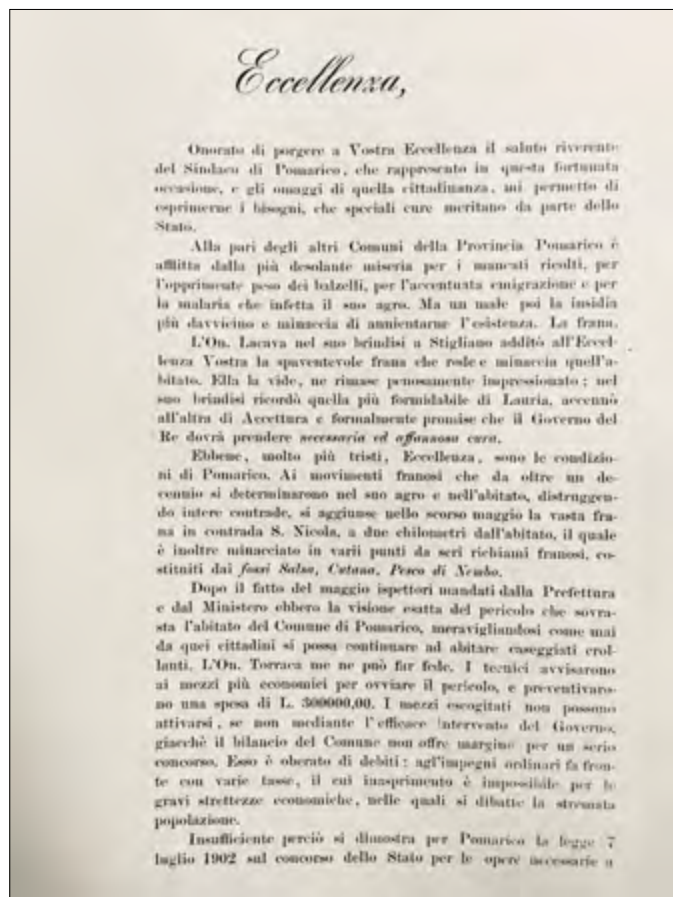
Ritengo opportuno avvisarla che mi sto personalmente occupando dello studio dei mezzi più adatti a venire in aiuto dei numerosi Comuni della Basilicata minacciati da frane, e che terrò nella maggiore considerazione anche le legittime esigenze di codesto Municipio, delle quali ha pure preso particolare nota il Ministro dei Lavori Pubblici alla cui attenzione le ho segnalate.

Gradisca i sensi della mia distinta stima,

*il Presidente del Consiglio dei Ministri
Zanardelli"*

Con questa lettera al Sindaco di Pomarico, Zanardelli assicura di impegnarsi a risolvere buona parte dei problemi del territorio della Provincia di Basilicata. La legge speciale che ne conseguì non fu risolutoria dei problemi, esageratamente troppi per essere risolti tutti insieme, ma gli stessi furono messi in risalto. Finalmente l'Italia unita si rese conto delle difficoltà derivanti anche dalle condizioni geografiche e geologiche di questa terra.

Tant'è vero che qualche anno dopo, in una discussione di Consiglio Comunale a Pomarico, dopo aver raccontato del memorandum e dell'impegno annunciato da Zanardelli in prima persona, si tuona "Tale le rassicuranti promesse, ma quali furono le opere? Più tardi, con circolare urgente degli 11 maggio 1904 n.2385, l'ufficio del Genio Civile, diretto dal presente illustre



Commissario Civile, richiese notizie intorno ai danni sofferti da alluvioni o da frane, e questa Amministrazione, con lettera dei 14 maggio, n.1052, si affrettò a dare le necessarie informazioni, invocando gli opportuni provvedimenti. Ma quali furono le conseguenze? Con deliberato consigliato dei 25 aprile ultimo furono espressi voti a S.E. il Ministro dei Lavori Pubblici ed all'illustre Commissario Civile, perché Pomarico fosse iscritto fra i Comuni compresi nel n.2 della Tabella E, annessa alla Legge dei 31 marzo 1904, concernente i provvedimenti a favore della Basilicata, in vista dello stato deplorabile in cui sono le fontane pubbliche Donnarosa e Acquasalsa, ma a tutt'ora nessun provvedimento venne adottato.

Recentemente, poi, anche l'illustre Capo della Provincia, con circolare dei 3 stante, n.167, ha chiesto urgenti informazioni intorno alle considerazioni di stabilità degli abitati, spinto a ciò dal recente disastro accaduto in quel di Genzano di questa provincia.

E, dopo l'avanti esposto, quale risposta dare all'illustrissimo signor Prefetto?

Attendiamo con ansia che siano al più presto intrapresi i lavori già progettati da più anni, debitamente approvati; lavori per consolidamento di questo abitato, dei quali il Genio Civile si occupò anche lo scorso anno, ritenuti della massima urgenza, a preferenza di quelli reclamati da altri Comuni.

A tutto questo si aggiunge la malaria, che infesta questo abitato e le campagne circostanti, sviluppatesi maggiormente dalle acque stagnanti, prodotte dalla frana in contrada Sannicola, per la quale, anche immantinente, furono invocati i necessari provvedimenti.

In tale stato di cose, poiché l'indugio degli invocati provvedimenti potrebbe improvvisamente riuscire funesto anche per Pomarico, come per Genzano, sia per il consolidamento dell'abitato, che per allontanarne la malaria, il signor Presidente propone che siano rinnovati i precedenti voti al Governo ed al Commissariato Civile a scampo di qualsiasi responsabilità e che sia autorizzata la necessaria spesa per l'andata al Capoluogo della Provincia di speciale Commissione.

Prima discussione, alla quale prendono parte parecchi Consiglieri, il Consiglio, a voti unanimi e per alzata e seduta, approva le proposte del signor Presidente, ed invita il Sindaco a recarsi a Potenza presso gli illustrissimi signori Prefetto e Commissario Civile, in compagnia di un Assessore o d'un consigliere da lui prescelto, all'oggetto di precisare a voce l'importanza dell'interesse vivissimo annesso ai voti in parola".

Più di cento anni dopo quei problemi sembrano irrisolti. Nonostante le opere di rimboscamento degli anni che seguirono, il completo e colpevole abbandono di quelle stesse opere, a partire dagli anni

'70 del '900, ha progressivamente reso più fragile il territorio. Se a questo, poi, aggiungiamo il degrado sociale e culturale degli ultimi decenni, fattore determinante nella propagazione del fenomeno criminale degli incendi boschivi che, puntualmente, tutti gli anni devastano ettari di territorio, allora si comprende come si stia progressivamente cedendo ad una cultura che è parte integrante delle cause scatenanti le frane. Un'ulteriore inchiesta del 1910, voluta da Francesco Saverio Nitti, ebbe al centro le condizioni dei contadini in Basilicata e Calabria. In tale inchiesta Nitti si avvale della collaborazione del geologo Giuseppe De Lorenzo il quale scrisse un capitolo dedicato ai boschi e alle connessioni tra i disboscamenti e le gravi conseguenze idrogeologiche.

Con il primo conflitto mondiale tutte le opere, programmate attraverso la Legge Speciale voluta da Zanardelli e le conseguenze determinate dell'inchiesta Nitti, furono interrotte e i disboscamenti aumentarono di gran lunga anche perché l'industria bellica necessitava di legna per la trazione ferroviaria e più in generale per l'industria.

Nel 1923 venne introdotto il vincolo idrogeologico con apposita legge forestale.

Nell'inchiesta di Umberto Zanotti Bianco, del 1926, fu messo in evidenza il fatto che su 96 comuni minacciati da frane e nei quali erano stati previsti interventi, soltanto in 15 erano state effettuate opere di consolidamento.

L'avvento del regime fascista non fece altro che peggiorare la situazione con ulteriore depauperamento del patrimonio forestale per via di una politica agraria (campagna del grano) piuttosto spinta e nonostante la legge della bonifica integrale del 1933 sanzionò la violazione del vincolo idrogeologico.

Soltanto nel secondo dopoguerra, con i rimboschimenti su vasta scala, fu invertita la tendenza anche se lungi dall'aver risolto i problemi del dissesto idrogeologico, complice l'esodo rurale e l'incuria dei territori. È della fine degli anni '50 del XX secolo la devastante frana di Pomarico che determinò il crollo di 38 case, proprio su Corso Vittorio Emanuele, esattamente nella stessa zona interessata da analogo frana nel gennaio 2019!

Documenti chiave sulla frana del 1960 sono in tutti i fascicoli delle buste archivistiche sui lavori pubblici di quel decennio (con espliciti riferimenti ad altra documentazione degli anni del decennio precedente). Di particolare interesse la busta 16 cat. X anno 1963. Contiene un carteggio del 1959 a firma del geometra Rocco Comisso nel quale si relaziona in ma-

niera dettagliata di tutte le frane nel territorio, abitato ed extra urbano, in seguito alle abbondanti piogge di novembre 1959. Nella stessa busta archivistica, e sempre datato 1959 il ricorso dei signori Zuccaro Michele, Gravina Giuseppe e Gualtieri Federico sui lavori realizzati senza alcuna accuratezza da parte dell'Ente Autonomo Acquedotto Pugliese.

Interessante ai fini della comprensione delle dinamiche annesse alle questioni idrogeologiche, risulta il contenuto dei testi dattiloscritti di due telegrammi del Sindaco Milillo con i quali egli ascrive ad Acquedotto Pugliese, e specificatamente alla esecutrice ditta Cardone - che ha operato gli scavi per la costruzione della rete idrica - l'individuazione di responsabilità di ingenti perdite d'acqua e dei danni a essi connessi e conseguenti alle piogge torrenziali. Il telegramma del Sindaco e l'esposto di Zuccaro *et al.* sembrano convergere nel contenuto teso a individuare in Acquedotto pugliese le responsabilità della cattiva esecuzione delle opere di costruzione e ampliamento della rete idrica e quelle collaterali di regimazione delle acque.

Nel citato carteggio assumono particolare rilevanza le autorizzazioni liberatorie, datate settembre 1959, da parte di alcuni abitanti, che autorizzano l'Ente Autonomo Acquedotto Pugliese, e specificatamente la ditta Cardone incaricata di effettuare i lavori di ampliamento della rete idrica, a far passare il tubo dell'acquedotto attraverso le volte degli immobili ubicati nelle strade sottostanti a quelle dove vi è l'intervento di ampliamento.

Interessante, inoltre, il contenuto di due lettere che il Sig. Michele D'Aria scrive al Sindaco di Pomarico il 9 e il 19 luglio 1963 col quale comunica l'urgente necessità di chiudere un pozzo privato sito in vico 3° Dante, già Casal dei Greci, rimasto semiscoperto in seguito ai lavori di realizzazione della fognatura da parte della ditta preposta. Il Sindaco, da parte sua, con nota al sig. Patruno Vito, Cottimista Acquedotto, di Ferrandina, lamenta il mancato ripristino del fondo stradale danneggiato in via Roma in seguito ai lavori di allacciamento alla rete idrica. È tuttavia utile specificare che per quanto concerne queste ultime evidenze delle lettere del Sig. D'Aria e del Sindaco, si tratta del versante opposto a quello di Corso Vittorio Emanuele a cui si riferisce gran parte della documentazione analizzata.

Significativa e drammatica testimonianza del 3 agosto del 1963 del Sig. Rocco Carioscia (nato il 17 maggio 1909) che racconta il suo estenuante esodo, da casa a casa, tutte in cattivo stato di conservazione, in seguito ai fatti alluvionali



Foto del 1960 in seguito ai movimenti franosi del 1959-1960 in corso Vittorio Emanuele, a Pomarico (MT)

del novembre 1959. Il Carioscia è uno dei tanti sfrattati da Corso Vittorio Emanuele in seguito ai fatti del 1959/1960.

Nella medesima busta archivistica sono contenute le corrispondenze del Provveditorato regionale alle Opere Pubbliche per la Basilicata, della Prefettura di Matera e dell'Istituto Autonomo per le Case Popolari per la Provincia di Matera inerenti la realizzazione di n. 5 fabbricati per un totale di 30 alloggi per le famiglie rimaste senza tetto in seguito ad alluvione e conseguente frana del 1959/1960. Vi è, inoltre, l'elenco delle case sgombrate con i relativi nomi dei proprietari, nonché delle case crollate.

Leggendo i fatti del 1959/1960 sembra di leggere la cronaca attuale. È necessario riflettere sulla ciclicità dei fenomeni all'interno dei medesimi territori e averne memoria; il dissesto idrogeologico si affronta correttamente se - culturalmente e socialmente - si acquisisce consapevolezza che la cura del territorio deve essere agita da ciascun cittadino, oltre che dalle amministrazioni pubbliche. Occorre, contestualmente, una seria programmazione imperniata su puntuali studi scientifici, di natura geologica, naturalistica, paesaggistica, archivistica che mettano in evidenza, in un dialogo multidisciplinare, le criticità e le vulnerabilità. Semplificando potremmo dire che la corretta conoscenza scientifica è prerogativa fondamentale per azioni specifiche di prevenzione e piantare alberi (con criterio scientifico, rispettando le vocazioni territoriali di copertura vegetazionale potenziale), come nel racconto allegorico di Jean Giono, è l'unico antidoto che abbiamo per un territorio calanchivo, geo-idrologicamente tanto fragile; in tal modo agiremo sui processi evolutivi naturali, senza avere la pretesa di stravolgerli, ma salvando vite umane e patrimonio edilizio.

BIBLIOGRAFIA

- ARCHIVIO STORICO DELLA CAMERA, *Disegni e proposte di legge e incarti delle commissioni 1848-1943*. Legislatura XXI 16.06.1900-18.10.1904. Sessione II 20.02.1902-18.10.1904. Esaminati 23.06.1902-09.11.1904. Numero 398: *Provvedimenti a favore della provincia di Basilicata*, 25.06.1903-23.02.1904; volume 792, 1-728 cc. (728 cc.).
- ARCHIVIO STORICO DEL COMUNE DI POMARICO, *Deliberazioni del Consiglio comunale*, reg. 4, 1902 - 1910, Delibera n.8 del 12 febbraio 1906, cc. s.n.
- ALMAGIÀ R. (1907 e 1910), *Studi geografici sulle frane in Italia* - Memorie della Società Geografica Italiana, 2 voll., Società Geografica Italiana, Roma.
- AFAN DE RIVERA (1832), *Considerazioni sui mezzi da restituire il valore proprio ai doni che la natura ha largamente concesso al Regno delle Due Sicilie*. Stabilimento Fabriano, Napoli.
- ANTONINI G. (1745), *Lucania*. Gessari, Napoli.
- BEVILACQUA P. (1992), *Terre del grano, terre degli alberi: l'ambiente nella storia del Mezzogiorno*, Rionero in Vulture, Calice, 1992.
- BEVILACQUA P., (1997), *Breve storia dell'Italia meridionale dall'Ottocento a oggi*. Donzelli, Roma.
- BOENZI F. (2013), *Cenni storici sulla conoscenza del dissesto idrogeologico in Basilicata* - Atti del Convegno "Il dissesto idrogeologico tra passato, presente e futuro", Matera, 20 aprile 2013, pp. 7-11.
- CANUTI P & CASAGLI N. (1996), *Considerazioni sulla valutazione del rischio di frana*. In: Atti del Convegno, "Fenomeni franosi e centri abitati", Bologna, 27 maggio 1994. CNR-GNDCI, linea 2, pubbl. n. 847 pp. 57.
- CASALE R, FANTECHI R. & FLAGEOLLET J. C. (1994), *Temporal Occurrence and Forecasting of landslides in the European community*. Final report epoch EC Programme edited by the European Commission. Science Research Development Ref. Eur 15908 EN, 2.
- CEFALY A., NITTI F. S., RANIERI G. (1910), *Relazione della Commissione Parlamentare d'inchiesta sulle condizioni dei contadini in Basilicata e in Calabria*. Tipografia nazionale G. Bertero e C., Roma, 820 pp.
- COTECCHIA V. (1960), *Il dissesto idrogeologico*

nella Provincia di Matera. Annali Facoltà di Ingegneria, vol. III, Bari.

- DETTINGER M. D., RALPH F. M. (2011), *Storm floods and the Science of Atmospheric rivers*. EOS, vol. 92, n.32.
- FAMIGLIETTI A., & PIERANGELI D. (1996), *Ecosistema bosco in Basilicata*, "Basilicata Regione notizie", n. 5-6, Potenza
- FRANZONI A., (1904), *L'emigrazione in Basilicata*, Ministero degli Affari Esteri. Commissariato dell'emigrazione. Relazione del Cav. Ausonio Franzoni A S. E. il Presidente del Consiglio dei Ministri Cav. Giuseppe Zanardelli - Brescia, 10 gennaio 1903, Roma, Tip. Nazionale, Bertero.
- GAUDIOSO R. M. (1736), *Descrizione della Provincia di Basilicata fatta per ordine di Sua Maestà, che Dio guardi, da don Rodrigo Maria Gaudioso avvocato fiscale proprietario della regia udiienza di detta provincia* - Napoli.
- GIONO J. (1953), *L'uomo che piantava alberi*. Edizioni Salani, (traduzione italiana del 2008) p. 64.
- IPPOLITO F. (1967), *Il disordine idrogeologico* - Nord e Sud, n. 86.
- LABELLA A., (2010), *Il paesaggio agrario della Basilicata nella storiografia nazionale e regionale dell'ultimo ventennio*. In: *Note di storia sul paesaggio agrario della Basilicata tra XIX e XXI secolo* (a cura di FUCELLA P., LABELLA A., e LAVORANO E. M., Calice Editori, Lavello (PZ).
- LAZZARI M. (2014), *Utilizzo delle fonti storiche per lo studio della pericolosità e del rischio geomorfologico* - Mem. Descr. Carta Geol. d'Italia XCVI (2014), pp. 251-260.
- NAUDET V., LAZZARI M., PERRONE A., LOPERTE A., PISCITELLI S & LAPENNA V. (2008), *Integrated geophysical techniques and geomorphological approach to investigate the snowmelt-triggered landslide of Bosco Piccolo village (Basilicata, southern Italy)*. Engineering Geology, 98 (3-4): 156-167.
- NITTI F. S. (1910), *Inchiesta sulle condizioni dei contadini in Basilicata e in Calabria*, Ed. Laterza, Bari 1968 - pp. 413.
- PEDIO T. (a cura di) (1965), *La relazione Gaudioso sulla Basilicata (1736)* - Quaderni di Cultura diretti da Francesco Gabrieli - Edizioni del Centro Librario, Bari pp. 102;
- PONTRANDOLFI A. (2004), *La Terra, ascesa e declino della borghesia agraria materana*. Fondazione Zetema, Matera, pp. 384.
- RACIOPPI G. (1889), *Storia dei popoli della Lucania e della Basilicata* - 2 voll., Roma Ermanno Loescher & C.
- TANTARI A., *Il viaggio di Giuseppe Zanardelli in Basilicata* - www.museiperlastoria.com
- WU T.H., TANG W.M., EINSTEIN H.H. (1996), *Landslide hazard and risk assessment*. In: *Landslides, Investigation and mitigation*, A.R. TURNER & R.L. SHUSTER (Eds.), Sp. Rep. 247, National Academy Press, Washington D.C., 106-117.
- ZANARDELLI G. (1890), *In occasione dell'inaugurazione del monumento a Mario Pagano il 19 ottobre 1890 in Brienza* - Potenza.
- ZANARDELLI G. (1901), *Dichiarazioni del presidente del Consiglio dei Ministri (Zanardelli), tornata del 7 marzo 1901*, Roma.
- ZANOTTI BIANCO U. (1926), *La Basilicata*. Stabilimento Tipografico Riccardo Garroni, Roma.

Tecnologie di rilievo da remoto per la valutazione dello stato di attività di una frana complessa

Remote survey methodologies for the evaluation of the state of activity of a complex landslide

Parole chiave: Frana complessa, Cinematismo intermittente, Termografia ad infrarossi, Interferometria SAR

Key words: complex landslide, intermittent kinematics, Infrared Thermography, Differential interferometry SAR

ABSTRACT

Questo studio illustra i risultati delle più recenti ricerche scientifiche sullo stato di attività di una frana complessa avvenuta nel marzo del 1996 nel territorio di Randazzo (Sicilia nordorientale). Tale fenomeno ha coinvolto un'area di circa 135 ettari, coprendo una differenza di quota dal coronamento al piede di circa 500 m. La frana di Randazzo ha distrutto circa 800 m della SS 116 ed i corpi di colata hanno ostruito l'alveo del Fiume Alcantara creando un lago di sbarramento. Data l'estensione e la complessità della frana, in questo studio sono state utilizzate tecniche di rilievo da remoto che consentissero un rilievo della frana nel suo complesso. La termografia ad infrarossi (IRT) è stata impiegata per individuare anomalie termiche associabili a scarpate di frana, specialmente a monte del coronamento. Tecniche di interferometria SAR sono state invece impiegate per monitorare il fenomeno in termini di spostamenti. L'entità di tali movimenti è stata stimata intorno ai 10 cm/anno, con picchi in corrispondenza di eventi piovosi, specialmente nelle stagioni invernali. I risultati hanno dimostrato l'attività intermittente della frana, sottolineando il rischio ad essa connesso. Inoltre, l'utilizzo di due tecnologie di rilievo innovative si è dimostrato un valido strumento nel monitoraggio di frane complesse e di grandi dimensioni.

INTRODUZIONE

Lo studio dei fenomeni franosi complessi di grandi dimensioni è condizionato spesso dalla mancanza di adeguate misure di monitoraggio che possano valutare lo stato di attività nel tempo. In questo lavoro si illustrano i risultati di ricerche condotte dall'Università degli Studi di Catania e dall'U-

ni-versità degli Studi di Napoli "Federico II", nell'ambito di una convenzione scientifica (responsabili rispettivamente Prof.ssa Giovanna Pappalardo e Prof. Domenico Calcaterra).

Il caso di studio riguarda una frana complessa innescata sul fianco settentrionale della valle del Fiume Alcantara nel marzo del 1996, che ha cancellato un lungo tratto della S.S.116 nella porzione di monte, mentre a valle ha determinato lo sbarramento dell'alveo del Fiume Alcantara in prossimità dell'abitato di Randazzo, creando un invaso di circa 375.000 m³.

Al fine di conoscere lo stato di attività di questo dissesto, che mostra segni di movimenti come ricorrenti lesioni lungo il manto dell'attuale SS116, sono state impiegate due moderne tecnologie di rilievo da remoto: la termografia ad infrarossi (IRT) e l'interferometria differenziale radar (DInSAR) (Pappalardo *et al.*, 2018). I dati acquisiti, unitamente alle informazioni di un rilievo geomorfologico di dettaglio del versante (Basile *et al.*, 1996; Ferrara e Pappalardo, 2002; Cubito *et al.*, 2005), hanno permesso di delimitare aree caratterizzate da movimento con conseguente pericolosità e rischio.

La frana ha avuto origine in terreni flyschoidi arenaceo-argillosi come un fenomeno di scorrimento rotazionale nel marzo del 1996, che successivamente si è evoluto in due grandi colate di terra distinte in due bracci (corpo A e B) in terreni ad alto indice di plasticità, con coinvolgimento dei sottostanti termini argillosi a giacitura caotica. La causa scatenata il fenomeno è stata identificata da Ferrara e Pappalardo (2002) nelle precipitazioni cumulate dei primi tre mesi del 1996.

Nello studio qui commentato, l'applicazione della termografia ad infrarossi (IRT) ha permesso di realizzare un modello termico del versante, individuando il contatto tra diverse litologie, la pre-

Giovanna Pappalardo

¹Università degli Studi di Catania, Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali

Simone Mineo

Università degli Studi di Catania, Dipartimento di Scienze Biologiche, Geologiche e Ambientali

Diego Di Martire

Università degli Studi di Napoli Federico II, Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e delle Risorse

E-mail: pappalar@unict.it

senza di antichi di corpi di frana, ma soprattutto alcune aree potenzialmente in evoluzione a monte dell'attuale coronamento di frana. Ad integrazione di tali dati, il rilievo DInSAR ha fornito utili informazioni sugli spostamenti nel tempo anche in termini di velocità, consentendone il confronto con le precipitazioni dello stesso periodo.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

L'area interessata dal dissesto ricade sul versante meridionale dei Monti Peloritani che, insieme all'Arco Calabro Peloritano, costituiscono il tratto di Catena che raccorda l'Appennino meridionale alle Maghrebidi siciliane (Amodio-Morelli *et al.*, 1976). Il versante interessato dalla frana è costituito dal Flysch di Monte Soro (Cretaceo) che sovrascorre sulle Argille Varicolori (Oligo-Miocene) ed è costituito da termini pelitici e/o pelitico-calcarei che passano verso l'alto a termini prevalentemente arenacei a composizione subarcosica (Puglisi, 1981; Carmisciano e Puglisi, 1983) (Fig. 1). Le Argille Varicolori costituiscono invece la parte bassa del versante, con una struttura chiaramente caotica.

L'intera formazione risulta interessata da intense deformazioni che, prodotte da strutture tipo *thrust* con scaglie tettoniche sovrapposte, dislocazioni con rigetti sia verticali che orizzontali e pieghe a raggio ridotto. Come si evince dal rilievo geologico-geomorfologico effettuato da Ferrara e Pappalardo (2002) l'area della frana è delimitata da due segmenti di faglia.

La frana ha una superficie di circa 135 Ha, uno sviluppo longitudinale complessivo di 2200 m, larghezza massima 800 m, dislivello dal coronamento al piede 400 m, volume stimato nell'ordine dei 20 milioni di metri cubi.

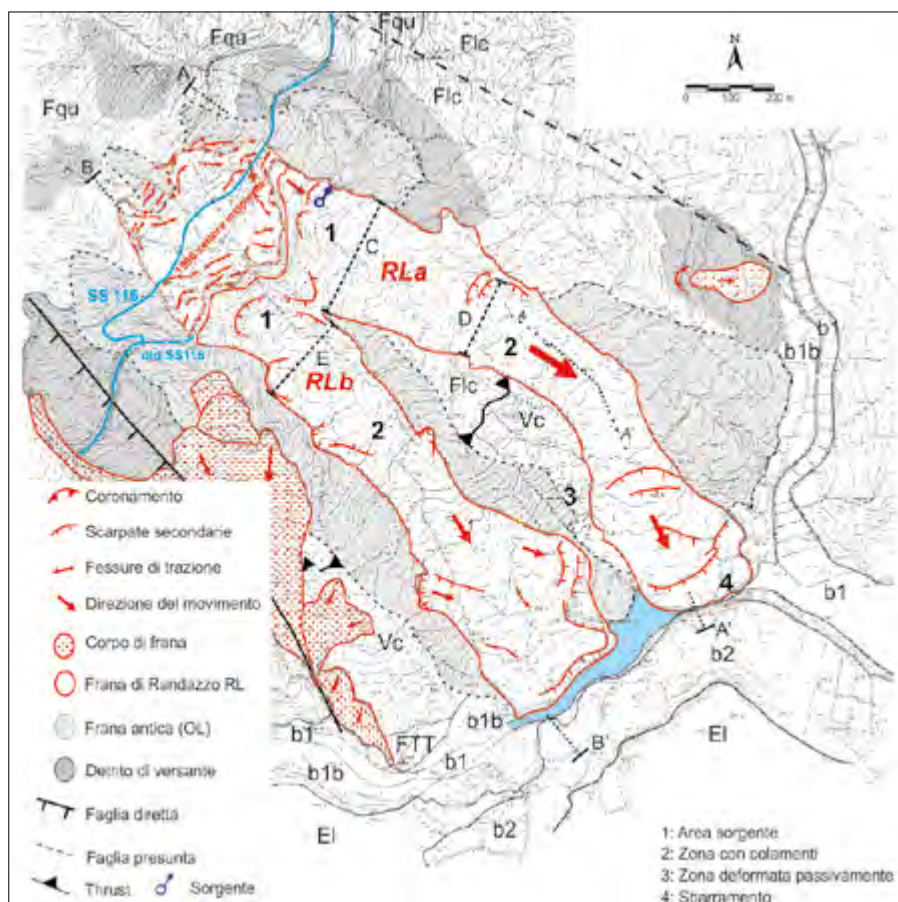


Figura 1. Carta geomorfologica della frana di Randazzo (modificata da Pappalardo et al., 2018). Legenda: b1: corso fluviale; b1b: depositi alluvionali recenti; b2: terrazze alluvionali; EL: lave etnee; FTT: Flysch Troina-Tusa; VC: Argille varicolori; Fc: Flysch di Monte Soro (calcarei e argille); Fqu: Flysch di Monte Soro (quarzareniti e argille)

La prima manifestazione di instabilità si è avuta intorno al 20 marzo 1996, quando a quota 900 m circa si è sviluppato uno scorrimento rotazionale che, qualche giorno dopo è evoluto in senso retrogressivo fino a quota 970, in prossimità della S.S. 116, coinvolgendola direttamente il 26 marzo (Figg. 2 e 3). In avanzamento il corpo di frana si è evoluto in colate di terra. Un altro scorrimento si manifestava a quota 940 m a distanza di circa 600 m dal primo, distruggendo un altro tratto della medesima strada statale. Si sono così originati contemporaneamente due distinti corpi di frana, indicati nel seguito con le lettere A (corpo di sx) e B (corpo di dx). Il 28 marzo la velocità di avanzamento del corpo di frana A, che raggiunge l'alveo del Fiume Alcantara, viene stimata nell'ordine dei 30-40 cm/h. La completa ostruzione di quest'ultimo si è realizzata, per un tratto di circa 100 m, tra il 29 marzo ed il 3 aprile, in relazione alla presenza in destra idrografica di una parete lavica verticale dell'altezza di circa 25 m (Fig. 4). Questo evento ha dato origine ad un tipico lago di sbarramento, il cui livello si è innalzato fino a raggiungere un'altezza massima di 17,5 m, con un volume d'acqua invasato di circa 375.000 m³ (Fig. 5). Il corpo B si è invece sviluppato sul detrito di una antica frana e la sua evoluzione è stata più lenta rispetto a quella del corpo A. Nei primi giorni di aprile il piede del corpo B raggiunge l'alveo del Fiume Alcantara senza però provocarne l'ostruzione.

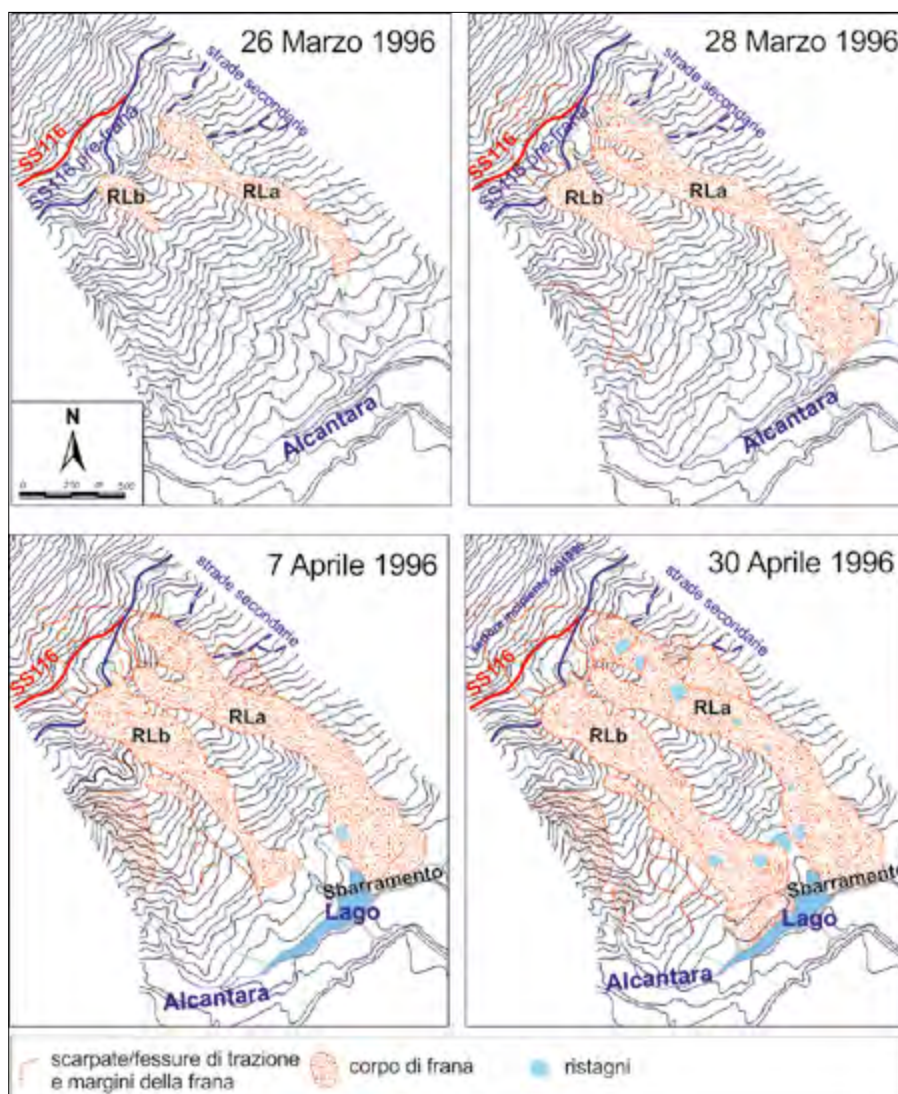


Figura 2. Evoluzione della frana di Randazzo (modificata da Pappalardo et al., 2018)

METODOLOGIE DI RILIEVO DA REMOTO

La scelta di utilizzare tecniche di rilievo da remoto è stata dettata innanzitutto dalla grande estensione del fenomeno e dalla mancanza di un monitoraggio strumentale che coprisse l'intero dissesto. La termografia ad infrarossi (IRT) è una tecnica non distruttiva che consente una stima rapida della temperatura superficiale di un oggetto sulla base della sua emissività, cioè la capacità di emettere radiazioni (Hillel, 1998). Tutti i corpi con temperatura superiore allo zero assoluto emettono radiazioni termiche per lo più ricadenti nella banda dell'infrarosso (lunghezza d'onda tra 0,1 e 100 μ m). La



Figura 3. Foto del 1996: a) scarpate a monte del coronamento; b) SS 116 coinvolta nel movimento; c) coronamento; d) vista panoramica da monte (modificato da Pappalardo et al., 2018)

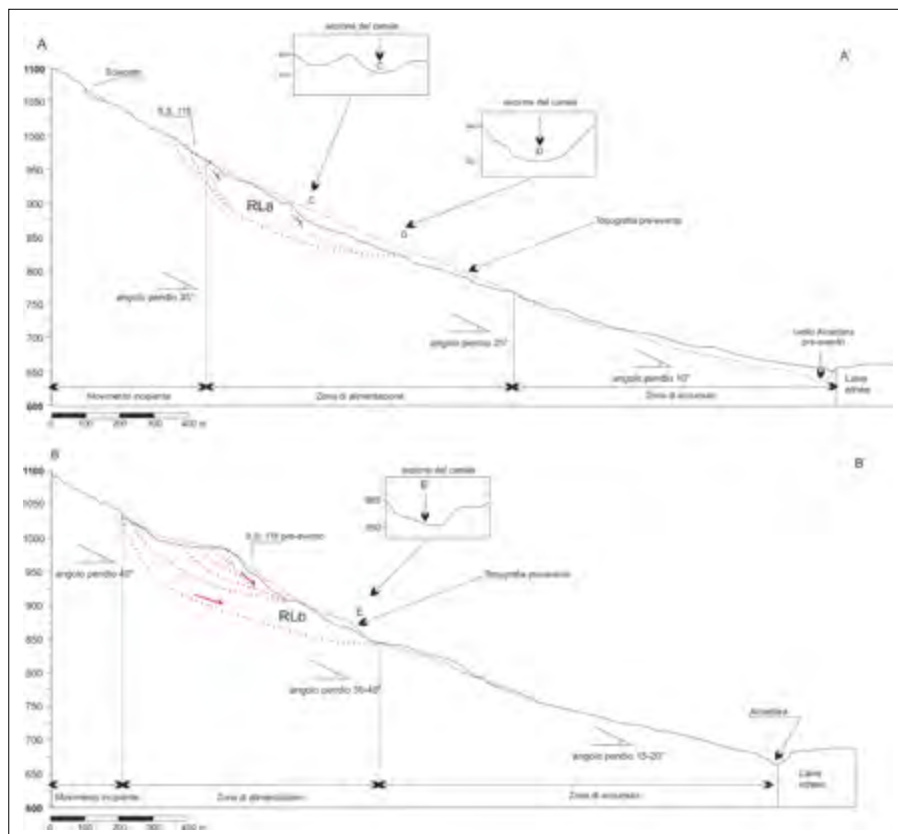


Figura 4. Profili topografici dei due bracci della frana (ubicazione vedi Fig. 2 (modificato da Pappalardo et al., 2018))

legge di Boltzmann (Hillel, 1998; Meola e Carlomagno, 2004; Shannon, 2005) suggerisce che maggiore è la temperatura di un oggetto, maggiore sarà l'intensità della radiazione emessa. Dal punto di vista scientifico la IRT è stata proposta come utile metodologia di rilievo in campo ingegneristico e geologico, anche se con riferimento a quest'ultimo la casistica è ancora limitata a poche applicazioni. Questo è il caso dello studio di provini di roccia intatta in laboratorio per la caratterizzazione della loro porosità (Mi-

neo e Pappalardo, 2016a, b; Pappalardo e Mineo, 2017), la stima di permeabilità dell'ammasso roccioso (Pappalardo, 2018), rilievo di criticità in miniere (Liu et al., 2011) e, più specificamente, il rilievo a distanza di pendii instabili (ad es. Squarzoni et al., 2008; Baroň et al., 2014; Mineo et al., 2015a, b; Teza et al. 2015; Pappalardo et al., 2016, 2017; Casagli et al., 2017). Mineo et al. (2015a) hanno dimostrato che le variazioni termiche lungo un pendio possono essere associate a particolari elementi come la presenza

di vegetazione (anomalie termiche negative), porzioni di roccia nuda (che è solitamente caratterizzata da valori più alti -anomalie termiche positive-), roccia alterata o porzioni detritiche che assorbono l'umidità dall'ambiente esterno. Anche la morfologia della parete rocciosa incide sulla temperatura superficiale in risposta ad un diverso grado di insolazione (Pappalardo et al., 2016).

Nel caso specifico, le immagini IRT sono state acquisite nell'ottobre 2017 durante una giornata non piovosa con una temperatura ambiente di 20-22 °C ed un tasso di umidità del 45-55%. La strumentazione impiegata è una termocamera ad infrarossi ad alta sensibilità, con risoluzione a infrarossi 320 × 240 pixel e intervallo di temperatura compreso tra 20 e 650 °C (con precisione ± 2 °C). I termogrammi sono stati elaborati con il software FLIR Tools, che consente l'analisi delle immagini ed il miglioramento grafico delle anomalie termiche. Inoltre, l'isolamento di vari intervalli di temperature ha consentito sia di focalizzare l'analisi su settori specifici del versante, sia di identificare elementi peculiari invisibili ad occhio nudo.

L'interferometria satellitare DInSAR restituisce dati di spostamenti del suolo con precisione sub-centimetrica. Il principio su cui si basa questa tecnica è quello della differenza di fase tra due immagini SAR (*Single Look Complex-SLC*), acquisite in tempi diversi e con angoli di vista leggermente diversi. Questo è legato alla topografia dell'area ripresa e agli spostamenti che si sono verificati durante le acquisizioni. Le differenze di fase sono usate per creare interferogrammi, che possono essere collegati alla variazione della lunghezza del percorso del segnale radar e quindi allo spostamento (Bamler e Hartl, 1998).

Pertanto, l'interferometria consente di analizzare lunghi set di dati e di estrarre misure di spostamento in corrispondenza di alcuni punti, chiamati *Persistent Scatterers* (PS) (Ferretti et al., 2001), con alta precisione. I PS sono identificabili solo durante l'elaborazione e corrispondono agli oggetti sulla terra caratterizzati da una fase stabile nel tempo. I dati interferometrici utilizzati in questo lavoro sono stati acquisiti nell'ambito del terzo Piano Straordinario di Tele-rilevamento Ambientale, PST-A (Costantini et al., 2017; Di Martire et al., 2017). Con riferimento all'area di studio, 70 immagini COSMO-SkyMed, acquisite in geometria ascendente per il Progetto Map-Italy (Sacco et al., 2015; Carbone et al., 2016) da maggio 2011 a

Marzo 2014, sono state elaborate con la tecnica PSP-IFSAR (Costantini *et al.*, 2008). Questo ha permesso di ottenere la mappa dei tassi medi di deformazione, per il periodo considerato.

RISULTATI

I termogrammi analizzati indicano che le più alte temperature superficiali caratterizzano la maggior parte della metà inferiore del versante, con parti-

colare riferimento al materiale non direttamente coinvolto nel movimento del 1996, su cui ha attecchito meno vegetazione rispetto al corpo di frana. I bracci del corpo di frana hanno una temperatura superficiale compresa, in media, tra 18 e 20 °C, con aree più calde, correlabili alle scarpate principali della frana che sono rappresentate da roccia nuda nei punti più ripidi e che sono orientate favorevolmente rispetto alla radiazione solare al momento dell'acquisizione.

A monte del coronamento e dell'attuale strada SS116 sono evidenti alcune anomalie termiche positive all'interno di un'area più fredda rappresentata da macchie di vegetazione in materiale parzialmente allentato (Fig. 6). Queste corrispondono al settore incipiente del 1996, caratterizzato da tensioni e deformazioni, che non sono più visibili ad occhio nudo a causa della vegetazione, ma che l'analisi termica evidenzia. Sono inoltre evidenti nuove scarpate a monte della vecchia area incipiente, identificate sempre da anomalie positive, che potrebbero essere legate a movimenti più recen-

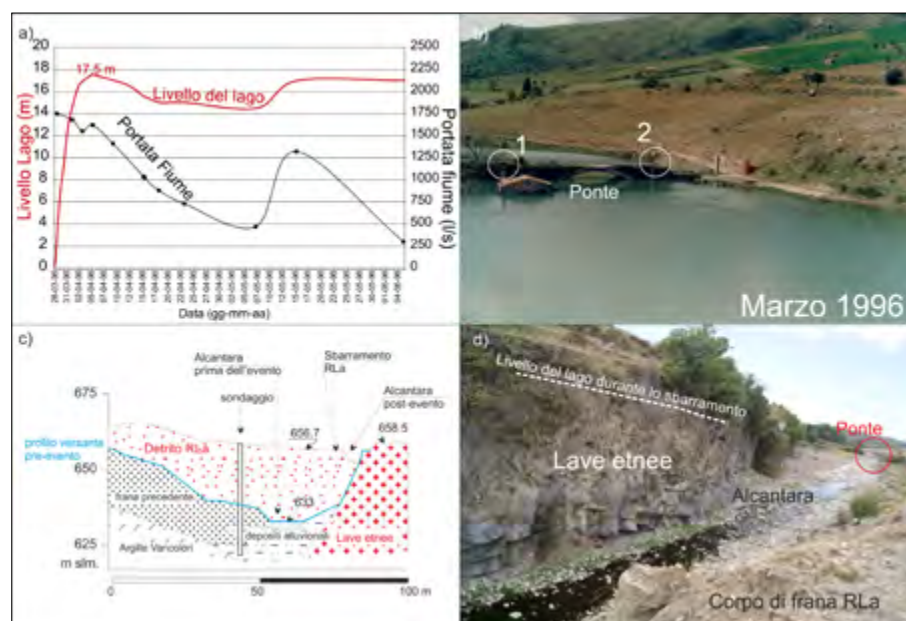


Figura 5. a-b: Innalzamento del livello del lago; c: sezione dello sbarramento fluviale ricostruito mediante sondaggio; d: recente foto dell'area di interesse (modificato da Pappalardo *et al.*, 2018)

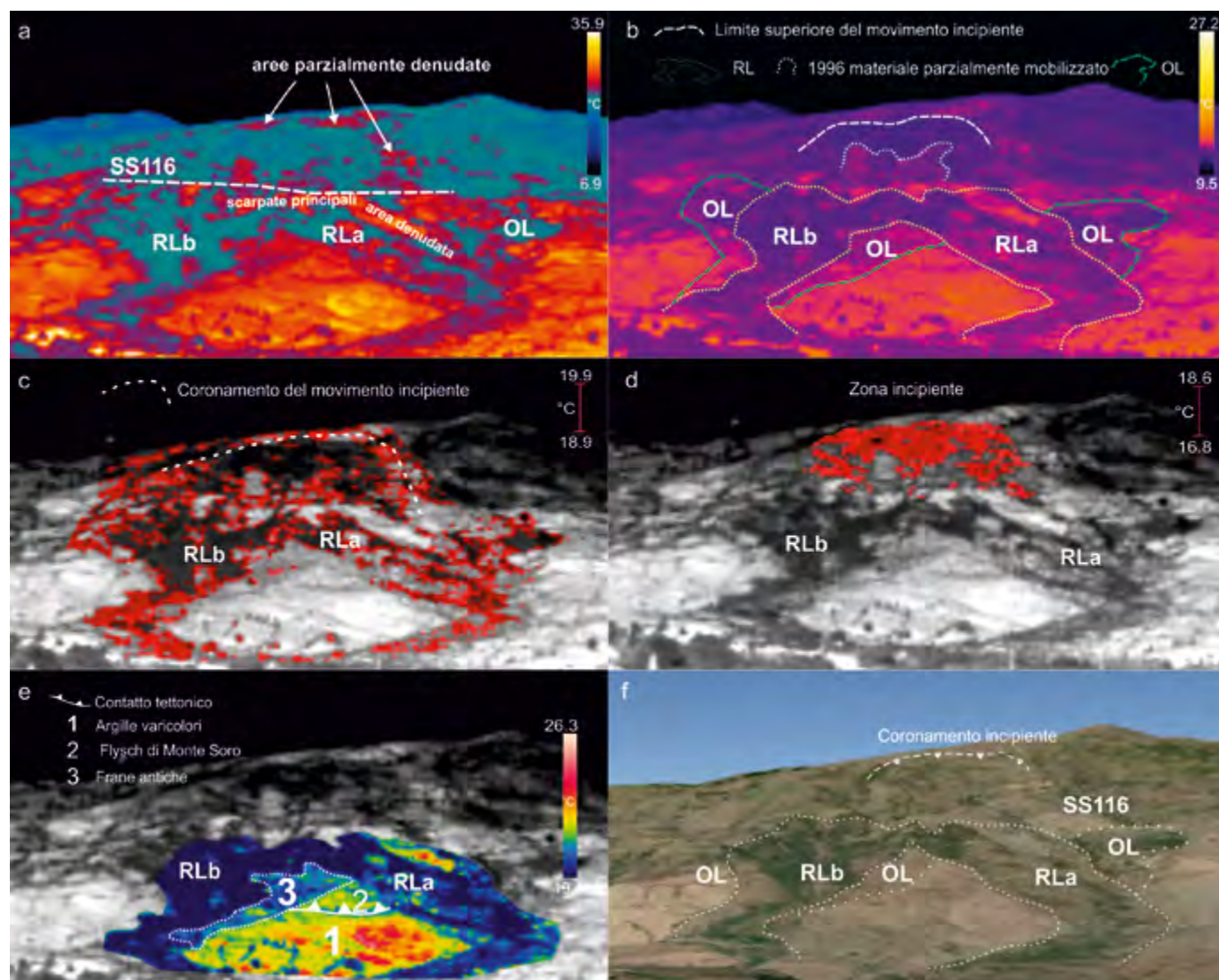


Figura 6. Termogrammi della frana di Randazzo. A: elementi principali evidenziati; b: principali elementi geomorfologici rilevati con IRT; c: porzione esterna della frana; d: settore con movimento potenzialmente incipiente; e: focus sulla porzione racchiusa tra i due bracci; f: immagine panoramica della frana di Randazzo (modificato da Pappalardo *et al.*, 2018)

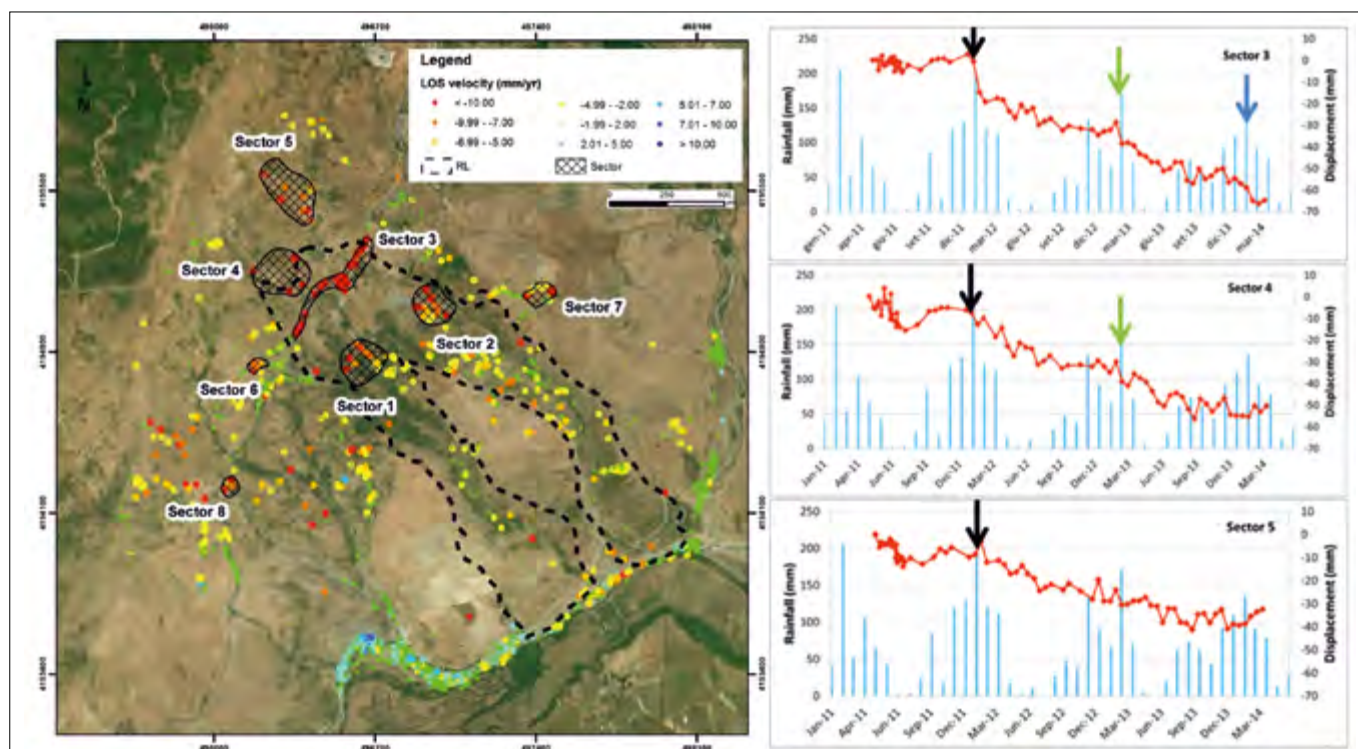


Figura 7. Settori attivi individuati dal rilievo DInSAR e deformazioni comparate con le precipitazioni per alcuni settori chiave. Le frecce nere indicano la prima riattivazione nel Febbraio 2012, le frecce verdi indicano una seconda riattivazione nel Marzo 2013; le frecce blu indicano una terza riattivazione nel febbraio 2014 (da Pappalardo et al., 2018)

ti. Ciò suggerisce che, qualora il dissesto dovesse riattivarsi, questo interesserebbe l'intero versante fino alla cresta (Fig. 6).

Altri elementi che la IRT ha evidenziato sono un contatto geologico tra i terreni del Flysch di Monte Soro e le Argille Varicolori e la presenza di un antico corpo di frana (OL).

Sulla base dei dati interferometrici più recenti (Pappalardo *et al.*, 2018) è stato possibile stimare che durante l'arco temporale 2011-2014 la frana era ancora sostanzialmente attiva, con spostamenti rilevanti nella parte superiore, come precedentemente supposto sulla base delle evidenze termiche. In particolare, il tasso di spostamento più alto è riferito al settore incipiente del 1996 ed all'attuale segmento di strada SS116.

Sono stati individuati diversi settori in movimento, che sono stati poi raggruppati in base alla loro estensione territoriale ed alla posizione strategica. Per ogni settore sono state analizzate le serie temporali di deformazioni e le precipitazioni cumulative. Tale procedura è stata finalizzata alla comprensione dell'evoluzione cinematica della frana ed alla realizzazione di una zonazione dei settori interessati dalla deformazione più elevata (Fig. 7).

Particolare attenzione è stata rivolta ai settori 4 e 5, in quanto situati nella porzione incipiente della frana. Il settore 4 identifica la porzione incipiente del 1996 rilevata anche dalle immagini IRT, confermando così la sua attuale instabilità. La velocità di deformazione media registrata è di circa 15 mm/anno, con un

massimo di circa 20 mm/anno ed uno spostamento cumulativo di 55 mm. Il settore 5 si trova nella parte settentrionale dell'area di studio, dove la IRT ha permesso di identificare porzioni di versante denudate, assimilabili a scarpate. Il tasso medio di deformazione è circa 10 mm/anno con un massimo di circa 13 mm/anno e uno spostamento cumulativo di circa 35 mm. La fase di attività si è verificata dopo un evento piovoso intenso (21-22 febbraio 2012), quando 130 mm di pioggia sono caduti in 48 ore, rispetto ai 1928, mm mensili cumulativi. Il settore 1 è interessato da uno spostamento cumulativo di circa 45 mm ed è stata trovata una buona correlazione tra pioggia e spostamenti, con un picco nel febbraio 2012. Il settore 2, situato nel settore superiore del braccio A dove è stata rilevata la presenza di una sorgente d'acqua, è interessato da uno spostamento cumulativo di circa 40 mm a velocità massima di deformazione di 20 mm/anno. Le time series mostrano una tendenza lineare fino a luglio 2011, quindi una fase stabile fino a febbraio 2012, quando si è verificata una riattivazione. Il settore 3 corrisponde alla sede stradale della SS116 sopra il coronamento del 1996 e all'interno della zona incipiente del 1996. Questo intero settore è caratterizzato da un tasso di deformazione medio di circa 15 mm/anno nell'intervallo di tempo analizzato, con un massimo di circa 25 mm/anno. Il settore 6 è localizzato lungo un segmento della SS116, appena fuori dalla frana. I rilievi di campo hanno messo in luce la

presenza di danni sulla pavimentazione stradale, indicando una possibile evoluzione in allargamento della frana. La velocità di deformazione media registrata è di circa 10 mm/anno, con un massimo di circa 15 mm/anno e deformazione totale di circa 25 mm. Anche in questo caso, la fase di attività si registra in corrispondenza del picco delle precipitazioni del febbraio 2012.

CONCLUSIONI

Questa ricerca è stata condotta al fine di valutare lo stato di attività di una frana complessa mediante l'utilizzo di tecniche di rilievo da remoto. Il caso studio riguarda la frana di Randazzo, attivata da intense piogge nel marzo 1996. Si tratta di un movimento complesso, iniziato come scorrimento roto-traslazionale ed evoluto in due colate di terra lunghe intorno ai 1800 m. Il dissesto ha avuto una distribuzione anche retrogressiva che ha interessato la strada statale 116, distruggendone circa 800 m, e l'alveo del fiume Alcantara, di cui ha sbarrato il corso creando un invaso di circa 350.000 m³.

I risultati ottenuti dimostrano il buon accoppiamento tra le metodologie di indagine IRT e DInSAR, che si sono dimostrate complementari nello studio della frana, in quanto la termografia ha permesso di individuare porzioni di versante a caratteristiche peculiari, potenzialmente coinvolti in movimenti recenti, mentre l'interferometria SAR ha confermato il movimento associato, misurandone l'entità.

In particolare, la tecnica IRT è stata utile per evidenziare le principali scarpate di frana, soprattutto quelle localizzate a monte dell'attuale coronamento e attribuibili a movimenti incipienti e/o recenti. Questo dato è stato confermato dal monitoraggio DInSAR nell'intervallo di tempo 2011-2014, che ha permesso di identificare otto settori interessati da tassi di spostamento compresi tra 10 e 15 mm/anno. I valori massimi sono stati registrati lungo il segmento dell'attuale SS 116 che attraversa la zona incipiente del 1996, con particolare riferimento alla sua porzione centrale, dove lo spostamento cumulativo è maggiore di 50 mm per il periodo analizzato. Sono stati rilevati anche movimenti nelle zone incipienti a dimostrazione del fatto che il fenomeno non è stabilizzato, ma è in evoluzione regressiva. Questo approccio, abbinato all'analisi delle serie di precipitazioni, ha permesso di comprendere anche che la frana può essere attualmente considerata una frana discontinua, che è legata all'andamento delle precipitazioni. Infatti, nell'arco di tempo analizzato le fasi di attivazione si sono solitamente verificate tra i mesi di febbraio e marzo, con particolare attenzione al febbraio 2012, quando 130 mm di pioggia sono caduti in 48 ore. Questo è un risultato rilevante che indica una ricorrenza delle fasi di attivazione della frana, durante i periodi piovosi annuali. Inoltre, la termografia si è rivelata uno strumento utile per riconoscere i vecchi corpi di frana (OL), parzialmente stesi al di sotto dei corpi di frana attuali, che sono stati mappati nel 1996 ma che non sono più visibili alle ispezioni sul campo. Tale distinzione è stata fatta grazie ad una leggera differenza di temperatura superficiale tra i corpi di frana più antichi, la frana di Randazzo ed il materiale adiacente. Infine, la presenza di un contatto tettonico tra il flysch di Monte Soro e le argille varivolori è contrassegnata da un'anomalia termica negativa tra le due formazioni, probabilmente dovuta alla loro diversa conducibilità idraulica che porta ad un locale rallentamento delle acque superficiali e alla conseguente parziale saturazione dei terreni.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- BAMLER R., HARTL P. (1998), *Synthetic aperture radar interferometry*. Inverse problems 14(4):R1
- BAROŇ I., BEČKOVSKÝ D., MÍČA L. (2014), Application of infrared thermography for mapping open fractures in deep-seated rockslides and unstable cliffs. *Landslides* 11:15-27. <https://doi.org/10.1007/s10346-012-0367-z>
- BASILE G., FERRARA V., PAPPALARDO G. (1996), *Meccanismi e fasi evolutive della frana di Randazzo nell'alta valle del fiume Alcantare (Sicilia NE)*. Prevention of Hydrogeological hazard: the role of scientific research, GNDICI-CNR 1:125-135
- CARBONE F., COLETTA A., DE LUCA G.F., DEL FRATE F., FASANO L., SCHIAVON G. (2016), *Automatic generation of frequently updated land cover products at national level using COSMOSkyMed SAR imagery*. In: Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS). IEEE International 3406-3409
- CASAGLI N., FRODELLA W., MORELLI S., TOFANI V., CIAMPALINI A., INTRIERI E., RASPINI F., ROSSI G., TANTERI L., LU P. (2017), *Spaceborne, UAV and ground-based remote sensing techniques for landslide mapping, monitoring and early warning*. *Geoenvironmental Disasters* volume 4, Article number: 9
- COSTANTINI M., FALCO S., MALVAROSA F., MINATI F. (2008), *A new method for identification and analysis of persistent scatterers in series of SAR images*. In: IGARSS 2008-2008 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (Vol. 2, Pp. II-449)
- COSTANTINI M., FERRETTI A., MINATI F., FALCO S., TRILLO F., COLOMBO D., NOVALI F., MALVAROSA F., MAMMONE F., VECCHIOLI F., RUCCI A., FUMAGALLI A., ALLIEVI J., CIMINELLI M., COSTABILE S. (2017), *Analysis of surface deformations over the whole Italian territory by interferometric processing of ERS, Envisat and COSMO-SkyMed radar data*. *Remote Sens Environ*. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.07.017G>
- CUBITO A., FERRARA V., PAPPALARDO G. (2005), *Landslide hazard in the Nebrodi Mountains (Northeastern Sicily)*. *Geomorphology* 66:359-372
- DI MARTIRE D., PACI M., CONFUORTO P., COSTABILE S., GUASTAFERRO F., VERTA A., CALCATERRA D. (2017), *A nationwide system for landslide mapping and risk management in Italy: the second not-ordinary plan of environmental remote sensing*. *Int J Appl Earth Obs Geoinf* 63:143-157 ISSN 0303-2434
- FERRARA V., PAPPALARDO G. (2002), *The Randazzo landslide (peloritani mounts - n.e.sicily): geomorphological and hydrogeological studies on the structurally complex formations*. *Mem Soc Geol It* 55, 397-408
- FERRETTI A., PRATI C., ROCCA F. (2001), *Permanent scatterers in SAR interferometry*. *IEEE Trans Geosci Remote Sens* 39(1):8-20
- HILLEL D. (1998), *Environmental soil physics*. Academic Press, New York 771 pp
- LIU S., XU Z., WU L., MA B., LIU X. (2011), *Infrared imaging detection of hidden danger in mine engineering*. *Proc. of Symp. on Progress in electromagnetics research*, Suzhou, China, Sept 12-16, 125-129
- MEOLA C., CARLOMAGNO G.M. (2004), *Recent advances in the use of infrared thermography*. *Meas Sci Technol* 15:27-58
- MINEO S., PAPPALARDO G. (2016a), *The use of infrared thermography for porosity assessment of intact rock*. *Rock Mech Rock Eng* 49(8):3027-3039. <https://doi.org/10.1007/s00603-016-0992-2>
- MINEO S., PAPPALARDO G. (2016b), *Preliminary results on the estimation of porosity in intact rock through InfraRed thermography*. *Rend Online Soc Geol Ital* 41:317-320. <https://doi.org/10.3301/ROL.2016.157>
- MINEO S., PAPPALARDO G., RAPISARDA F., CUBITO A., DI MARIA G. (2015a), *Integrated geostructural, seismic and infrared thermography surveys for the study of an unstable rock slope in the Peloritani Chain (NE Sicily)*. *Eng Geol* 195:225-235. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2015.06.010>
- MINEO S., CALCATERRA D., PERRIELLO ZAMPELLI S., PAPPALARDO G. (2015b), *Application of infrared thermography for the survey of intensely jointed rock slopes*. *Rend Online Soc Geol Ital* 35:212-215. <https://doi.org/10.3301/ROL.2015.103>
- PAPPALARDO G. (2018), *First results of infrared thermography applied to the evaluation of hydraulic conductivity in rock masses*. *Hydrogeology Journal*, Volume 26, Issue 2, pp.417-428
- PAPPALARDO G., MINEO S., PERRIELLO ZAMPELLI S., CUBITO A., CALCATERRA D. (2016), *InfraRed Thermography proposed for the estimation of the Cooling Rate Index in the remote survey of rock masses*. *International Journal Of Rock Mechanics And Mining Sciences*, 83, 182-196. DOI: 10.1016/j.ijrmms.2016.01.010
- PAPPALARDO G., MINEO S., CALCATERRA D. (2017), *Geomechanical Analysis Of Unstable Rock Wedges By Means Of Geostructural And Infrared Thermography Surveys*. *Italian Journal of Engineering Geology and Environment, Special Issue (2017)*, 93-101. DOI: 10.4408/IJEGE.2017-01.S-09
- PAPPALARDO G., MINEO S., ANGRISANI A.C., DI MARTIRE D., CALCATERRA D. (2018), *Combining field data with infrared thermography and DInSAR surveys to evaluate the activity of landslides: the case study of Randazzo Landslide (NE Sicily)*. *Landslides*, 15:2173-2193. DOI 10.1007/s10346-018-1026-9
- SACCO P., BATTAGLIERE M. L., DARAIO M.G., COLETTA A. (2015), *The COSMO-SkyMed constellation monitoring of the Italian territory: the Map Italy project*. In *Proc. of 66th international Astronautical Congress (IAC 2015)*: 12-16
- SHANNON H.R., SIGDA J.M., VAN DAM R.L., HANDRICKX J.M.H., MCLEMORE V.T. (2005), *Thermal camera imaging of rock piles at the Questa Molybdenum Mine, Questa, New Mexico*. *Proc. 2005 National Meeting of the American Society of Mining and Reclamation*, June 19-23, ASMR: 1015-1028
- SQUARZONI C., GALGARO A., TEZA G., ACOSTA C.A.T., PERNITO M.A., BUCCERI N. (2008), *Terrestrial laser scanner and infrared thermography in rock fall prone slope analysis*. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 10, EGU2008-A-09254
- TEZA G., MARCATO G., PASUTO A., GALGARO A. (2015), *Integration of laser scanning and thermal imaging in monitoring optimization and assessment of rockfall hazard: a case history in the Carnic Alps (Northeastern Italy)*. *Nat Hazards* 76:1535-1549. <https://doi.org/10.1007/s11069-014-1545-1>

LAND-deFeND 1.1 un geodatabase di eventi geo-idrologici per attività di Protezione Civile nella Regione Puglia

LAND-deFeND 1.1 a geodatabase of geo-hydrological events for Civil Protection activities in the Apulia Region

Parole chiave: Catalogo dati, eventi geo-idrologici, attività di Protezione Civile
Key words: Geodatabase, geo-hydrological events, Civil Protection activities

Carmela Vennari⁽¹⁾
Email: carmela.vennari@irpi.cnr.it
Domenico Casarano⁽¹⁾
Email: d.casarano@ba.irpi.cnr.it
Ivan Marchesini⁽²⁾
Email: ivan.marchesini@irpi.cnr.it
Paola Salvati⁽²⁾
Email: paola.salvati@irpi.cnr.it
Mario Parise^(1,3)
Email: mario.parise@uniba.it
Piernicola Lollino⁽¹⁾
Email: p.lollino@ba.irpi.cnr.it

⁽¹⁾ Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica (IRPI), Bari

⁽²⁾ Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR), Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica (IRPI), Perugia

⁽³⁾ Dipartimento di Scienze della Terra e Geoambientali, Università Aldo Moro, Bari

ABSTRACT

Building a geo-database on geo-hydrological phenomena (landslides, floods, sinkholes) represents the basic activity for the complex elaborations aimed at the spatial and temporal prediction of future events and their possible consequences. The collection and organization of data, together with the management of the database structure, is of extreme importance for the practical technical use of the catalogue. A new database structure, LAND-deFeND 1.1, designed and developed by CNR-IRPI is here presented. It is a database structure that allows to record, organize and manage non-homogeneous information on geo-hydrological events (landslides, floods, sinkholes) occurred in the past, able to overcome many of the limitations highlighted in the databases for Italy. The database has been implemented in the framework of a project involving Civil Protection Department of Apulia region, in order to collect available information on geo-hydrological events occurred in Apulia after 1992. The structure of the database is then presented, illustrating the methodology used to collect information and record data in the database. The collected data are presented, with particular attention to a complex event, in order to highlight the potential of the structure.

INTRODUZIONE

La raccolta, l'organizzazione e la gestione di dati su fenomeni geo-idrologici (frane, inondazioni, sinkholes) rappresentano l'attività di base per le successive e più complesse elaborazioni finalizzate alla previsione spaziale e temporale degli eventi attesi e delle loro possibili conseguenze. In questo ambito scientifico le banche dati (database), e

i sistemi sviluppati per la loro gestione (RDBMS (Relational DataBase Management Systems), costituiscono uno strumento (elemento) irrinunciabile. In particolare i DBMS sono programmi di gestione sviluppati per garantire l'affidabilità, la persistenza e la condivisione dei dati. Operando inoltre il controllo degli accessi ai dati mediante un sistema di autorizzazioni, questi programmi costituiscono uno strumento vantaggioso ai fini gestionali, amministrativi ed operativi.

Molti database con informazioni sui rischi naturali sono stati compilati ed utilizzati a fini di ricerca o per scopi assicurativi (Guzzetti e Tonelli, 2004; Munich Re, 2011; Menoni *et al.*, 2016; Parise & Vennari, 2013; Swiss Re, 2017). La letteratura tecnico-scientifica riporta numerosi database dedicati ai fenomeni geo-idrologici ed alle loro conseguenze, realizzati a diverse scale geografiche e temporali (Napolitano *et al.*, 2018). L'analisi della struttura dei database per i cataloghi italiani esistenti ha tuttavia rivelato alcune criticità: i) sono strutturati per un singolo tipo di fenomeno (frane o inondazioni o sprofondamenti), ii) raramente riescono a identificare e separare la localizzazione del fenomeno da quella del danno, iii) non è possibile gestire le localizzazioni con tipi diversi di geometrie (puntuale, lineare e poligonale), iv) molte delle strutture dati non sono compatibili con le direttive UE FLOOD (2007/60/EC) ed INSPIRE (2007-2-EC).

Per superare tutte queste limitazioni, presso il CNR-IRPI è stata progettata e sviluppata (Napolitano *et al.*, 2018) una nuova struttura di database: LAND-deFeND 1.1. Si tratta di una struttura di database che consente di registrare, organizzare e gestire informazioni non omogenee su eventi geo-idrologici verificatisi in passato.

Nel presente lavoro viene descritta l'attività portata avanti nell'ambito di un progetto che vede impegnato il CNR IRPI e la Protezione Civile della Regione Puglia: "Valutazione integrata di dissesti geo-idrologici nel territorio della regione Puglia, modelli interpretativi dei fenomeni e definizione di soglie di pioggia per il possibile innesco di frane superficiali". Il territorio pugliese è costituito principalmente da pianure e colline, con l'eccezione del promontorio del Gargano e del Subappennino Dauno. Quest'ultimo in particolare è soggetto a diversi tipi di fenomeni geo-idrologici. La maggior parte degli eventi sono innescati da precipitazioni ed hanno provocato, nel corso degli anni, vittime, seri danni e gravi perdite economiche per la collettività.

Nelle sezioni seguenti sono descritte la raccolta e l'organizzazione dei dati relativi ai fenomeni geo-idrologici avvenuti nel territorio pugliese, ponendo l'accento su una nuova struttura di database recentemente sviluppata e ulteriormente migliorata nell'ambito del progetto anzidetto in ambito regionale pugliese: LAND-deFeND 1.1. Tale struttura viene utilizzata per rispondere alle esigenze scientifiche, operative e gestionali della Protezione Civile che, ai fini della gestione delle emergenze e della emanazione degli stati d'allerta, trae vantaggio dalla disponibilità di informazioni inerenti a fenomeni e danni pregressi accaduti sul territorio.

METODI

STRUTTURA DEL DATABASE

La struttura del database LAND-deFeND 1.1 può essere descritta secondo un modello concettuale, uno logico ed uno fisico (Napolitano *et al.* 2018).

Il modello concettuale identifica quattro gruppi di entità che permettono di descrivere tutte le caratteristiche più rilevanti degli eventi geo-idrologici, le loro conseguenze socioeconomiche e gli impatti ambientali e sono state definite come: 1) Entità naturali, 2) Entità antropiche, 3) Entità geospaziali, 4) Entità bibliografiche.

Le entità principali sono quelle naturali che includono il trigger, l'evento ed il fenomeno secondo una struttura gerarchica (Fig. 1). Il trigger è la causa, di natura meteorologica o sismica, degli eventi geo-idrologici. Ha una grande variabilità in termini di estensione spaziale e temporale e può includere molteplici eventi. L'evento è l'insieme di inondazioni e/o frane e/o sinkholes (fenomeni al suolo) occorsi in un'area geografica a seguito del trigger. L'estensione spaziale e/o temporale dell'evento può essere dunque inferiore o uguale a quella del trigger. Il fenomeno è la singola frana, l'inondazione o il sinkhole, la sua estensione spaziale e temporale è contenuta all'interno di quella dell'evento e del trigger, sebbene, in rari casi, possa risultare temporalmente posteriore (ad esempio l'innescò di una frana profonda successivo al termine del trigger).

Le entità antropiche sono rappresentate dalle informazioni su proprietà, beni e servizi, pubblici o privati, danneggiati da eventi geo-idrologici, nonché i relativi costi di ripristino o delle opere di mitigazione.

Le entità geospaziali definiscono la collocazione geografica del fenomeno, del danno, o dell'intervento di mitigazione. Le entità possono essere mappate come punti, linee o poligoni. È inoltre possibile associare, ai trigger e agli eventi, poligoni che definiscono la loro estensione spaziale.

Le entità bibliografiche includono le fonti d'informazioni da cui sono stati raccolti i dati inseriti nel database. Comprendono fonti cronachistiche, scientifiche e istituzionali, siano esse cartacee o multimediali, disponibili su supporti fisici o online.

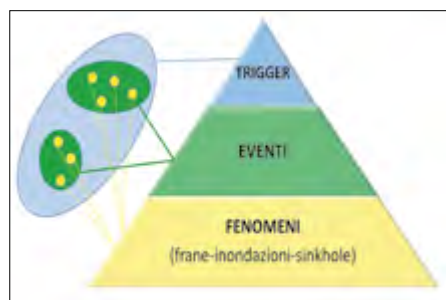


Figura 1. Struttura gerarchica delle entità naturali Trigger-Eventi-Fenomeni

Il cuore della struttura di LAND-deFeND 1.1 è la tabella TEP (Trigger-Evento-Fenomeno) che mantiene un unico collegamento tra le tabelle relative alle entità naturali e quelle antropiche, anche in presenza di lacune informative gerarchiche. La tabella TEP si auto-compila ogni qualvolta un trigger, un evento o un fenomeno viene inserito nel database, generando una combinazione univoca. La tabella TEP consente alla struttura di registrare dati derivanti da fonti informative lacunose. Sebbene un singolo danno dovrebbe essere teoricamente collegato al relativo fenomeno che lo ha generato, in assenza di informazioni sul fenomeno, il danno stesso (di cui si può avere dettagliata informazione) può essere collegato al corrispondente evento o, ove necessario, addirittura al corrispondente trigger.

Il modello logico è il livello di progettazione nel quale le entità sono tradotte in tabelle, gli attributi delle entità diventano i campi delle tabelle, e le relazioni tra tabelle sono determinate mediante la definizione di chiavi primarie e esterne (Codd 1972, Date 1999).

Ogni tipo di entità definita nel modello concettuale diventa un gruppo di tabelle: 1) Tabelle riferite alle entità naturali, 2) Tabelle riferite alle entità antropiche, 3) Tabelle riferite alle entità geospaziali, 4) Tabelle riferite alle fonti bibliografiche. L'insieme delle tabelle permette di descrivere le caratteristiche più rilevanti degli eventi geo-idrologici e le loro conseguenze economiche e ambientali.

Il modello fisico della struttura di LAND-deFeND 1.1 è stato implementato in un database PostgreSQL. Nel modello fisico sono state definite una serie di tabelle dizionario e di tabelle di associazione (che definiscono, rispettivamente relazioni di tipo uno-a-molti (1:N) e multi-a-molti (N:N) con le tabelle derivanti dalle entità principali). Queste consentono di garantire l'integrità referenziale delle informazioni contenute nel database, riducendo il numero di errori che potrebbe commettere l'operatore nella fase di "data entry".

La struttura originaria del database (versione 1.0) è stata modificata per tener conto delle caratteristiche specifiche dei rischi naturali nel contesto regionale pugliese. In particolare i sinkholes, un problema particolarmente diffuso per l'intero territorio regionale, sono stati inclusi nella struttura. Infatti, poiché in Puglia molti centri abitati sono stati edificati su aree interessate dalla presenza di cavità naturali e artificiali, i sinkholes devono essere considerati parte

integrante dei rischi naturali (Parise & Vennari, 2013, 2017).

In LAND-deFeND 1.1 sono state inoltre rese possibili i) la registrazione di dati riguardanti l'evento pluviometrico, espresso in termini di cumulata e durata di pioggia responsabile dell'innescò delle frane (fondamentale ai fini della definizione delle soglie pluviometriche d'innescò per le frane superficiali), ii) la delimitazione della geometria (tramite poligoni) di trigger ed eventi, iii) la registrazione delle informazioni relative al livello di criticità emesso dall'autorità di Protezione Civile prima e durante l'occorrenza degli eventi. Inoltre, le informazioni riguardanti i danni prodotti dai fenomeni geo-idrologici sono classificate considerando le indicazioni della direttiva FLOOD (2007/60/EC), cioè anche osservando gli standard richiesti dal Dipartimento di Protezione Civile Italiano, in modo da permettere l'interoperatività a livello nazionale.

RACCOLTA E INSERIMENTO DATI

Nell'ambito del progetto, particolare attenzione viene posta nella qualità dell'informazione relativa a fenomeni geo-idrologici e ai loro effetti. La raccolta dati viene portata avanti utilizzando fonti di informazione diversificate, poiché la loro combinazione può migliorare la qualità del dato finale. Più accurate e dettagliate sono le informazioni collezionate, maggiori sono gli elementi che consentono di valutare, nel dettaglio, la storia degli eventi geo-idrologici accaduti nel territorio in esame. La qualità delle informazioni dipende anche dall'entità dei danni che si sono verificati. Generalmente, per eventi più severi, che in termini di protezione civile hanno comportato livelli di emergenza superiori, si hanno a disposizione maggiori e più dettagliate informazioni.

Il database di eventi geo-idrologici sviluppato per la Puglia considera i fenomeni verificatisi a partire dal 1992 fino ad oggi. Negli ultimi decenni, l'intensificarsi dell'antropizzazione e dell'uso del suolo, nonché lo sviluppo e la diffusione del web, hanno determinato una maggiore disponibilità di dati su eventi di minore entità (Stoffel *et al.*, 2013), che rappresenta un aspetto particolarmente utile ai fini del progetto. Per raccogliere un numero maggiore di dati accurati e dettagliati, sono state reperite e consultate diverse fonti di informazione, cronachistiche, scientifiche e istituzionali. Per la parte cronachistica, è stato consultato l'archivio online del quotidiano "La Gazzetta del Mezzogiorno", su cui sono state eseguite ricerche per

parole chiave. A seguito di tale consultazione, sono stati selezionati circa 900 articoli che contengono informazioni utili su fenomeni geo-idrologici che hanno interessato il territorio pugliese nel periodo in esame, nonché sui danni, i lavori di ripristino e le opere di mitigazione ad essi correlati. Le fonti istituzionali consultate sono molteplici. La Protezione Civile regionale ha fornito il materiale tecnico utile ai fini del reperimento di informazioni valide per il popolamento dei dati nell'archivio: rapporti tecnici, rapporti di eventi di emergenza, sopralluoghi effettuati, l'elenco dei crolli avvenuti lungo falesie costiere e l'elenco degli interventi finanziati in seguito ad eventi per cui era stato dichiarato uno Stato di Emergenza. Tali documenti contengono informazioni sia sui fenomeni che sui danni ed i costi di ripristino. Sono inoltre state acquisite le schede d'intervento dei Comandi Provinciali dei Vigili del Fuoco, che contengono utili e dettagliate informazioni relative ad interventi effettuati a seguito di danni causati da fenomeni geo-idrologici. Al fine di reperire informazioni sugli eventi che hanno interessato la rete stradale sono stati richiesti ed acquisiti da ANAS (Ente nazionale per le strade) e CCISS (Centro di coordinamento informazioni sulla sicurezza stradale) l'elenco delle interruzioni stradali causate da eventi geo-idrologici. Gli interventi presenti nel database ReNDiS "Repertorio Nazionale degli interventi per la Difesa del Suolo" elaborato da ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale), che riguardano le opere di mitigazione eseguite nel territorio regionale, saranno collegati agli eventi e fenomeni inseriti nel database. In aggiunta, naturalmente, tutte le pubblicazioni scientifiche e le banche dati, risultanti da progetti prece-

dentemente svolti, sono state consultate ed analizzate, unitamente a studi e rapporti tecnici eseguiti dal CNR-IRPI di Bari, coinvolto negli Stati di Emergenza come Centro di Competenza della Protezione Civile.

Utilizzando differenti fonti di informazione, e coprendo un lungo periodo, i dettagli relativi alle informazioni raccolte possono non essere completi. Si possono avere, ad esempio, informazioni relative a danni registrati a seguito di un evento meteorologico senza disporre di dati sulle tipologie di fenomeno che li hanno causati. Tuttavia, la struttura di LAND-deFeND 1.1, tramite la tabella di associazione TEP, consente di collegare un danno direttamente al Trigger meteorologico, e quindi di strutturare informazioni, anche non complete, riducendo la perdita di dati. Ancor più spesso la fonte d'informazione può far riferimento ad un intervallo temporale o spaziale non ben definito, il che è correlato all'accuratezza usata dalla fonte di informazione nel riportare i dati (es. alcuni giorni fa, il mese scorso, nella provincia di Bari, nel tarantino...). Al fine di superare questa limitazione, che avrebbe causato l'eliminazione di molti dati e l'impoverimento del database, la struttura del database consente di registrare le informazioni spaziali e temporali classificandole sulla base di classi di accuratezza. In ambito scientifico l'accuratezza di una misura è il grado di vicinanza della misura al valore reale della stessa (Chapra & Raymond, 2010). L'accuratezza geografica e temporale è essenziale per selezionare correttamente gli elementi per analisi di pericolosità e di rischio. Ciò consente di poter distinguere dati altamente accurati per analisi specifiche, ma al contempo di non perdere informazioni utili, seppur non dettagliate.

L'inserimento dei dati nel database può avvenire attraverso due modalità: usando un software GIS (QGIS®) appositamente configurato, o usando una specifica interfaccia web dedicata (Fig. 2).

DISCUSSIONE

La struttura del database LAND-deFeND 1.1, è inizialmente stata testata utilizzando, tra gli altri, i dati di un importante trigger meteorologico occorso in Puglia nel Settembre 2014 (dal 1 al 6). Questo trigger ha generato 4 eventi al suolo, che hanno innescato, complessivamente, almeno 34 frane, 20 esondazioni e 10 sinkholes. Superata la fase di training, è iniziata la fase operativa di inserimento dati, tuttora in corso. Al momento, in totale, sono stati inseriti, in LAND-deFeND 1.1, 7 trigger, 11 eventi e oltre 200 fenomeni che si sono verificati in un periodo di tempo che va da 2013 al 2016. In particolare tra i fenomeni si annoverano 115 inondazioni, 94 frane e 11 sinkholes. I fenomeni si concentrano maggiormente nel Gargano, nel Subappennino Dauno e nel Tarantino. Tale localizzazione è giustificata dalla naturale conformazione geomorfologica del territorio. Oltre il 90% dei fenomeni censiti ha un'accuratezza geografica molto elevata, inferiore a 100 m.

I fenomeni per i quali si conosce l'ora d'inscasso sono pochi e quindi in generale si ha una media accuratezza temporale. Per la gran parte dei fenomeni si conosce l'occorrenza temporale con un'accuratezza dell'ordine del giorno o di alcuni giorni. Oltre ai fenomeni sono stati anche registrati più di 320 record relativi a danni collegati ai trigger, agli eventi e ai fenomeni. Il costo totale dei danni supera i 18 milioni di Euro, per più di 90 opere di mitigazione finanziate dalle pubbliche amministrazioni.

In Fig. 3 ed in Fig. 4, sono riportate, a titolo di esempio, rispettivamente una mappa dei fenomeni e danni occorsi, in seguito all'evento meteo-climatico del Settembre 2014, nei comuni di Peschici (FG) e San Marco in Lamis (FG). Questo evento meteo-climatico consente, nella sua complessità, di poter evidenziare le potenzialità del database. Nello specifico i dati registrati sono provenienti dalle diverse fonti d'informazione collezionate, che per un evento di tale portata sono molteplici. La pubblicazione scientifica di Martinotti *et al.* (2017), ha consentito di poter suddividere il trigger in diversi eventi meteorologici sulla base della distribuzione temporale delle precipitazioni analizzate nel dettaglio. In Fig. 3 e 4 è possibile

| ID | Nome | Area Colpisuta | Data | Durata in Giorni | Note |
|-----|-----------------|---------------------------------------|------------|------------------|--|
| 100 | 0000021_Salerno | Salerno, Bari | 2014/09/21 | 6 | Innesco meteorologico che ha causato anche 2 morti a LECCE |
| 101 | 0000024_Caserta | Amalfitana, Ponticcia di Stabia | 2013/08/04 | 1 | Innesco di frane nel pomeriggio dovuto alle 70-80 mm di pioggia in 10 ore in zona di forte vento (vento prevalente da Sud-Est) |
| 102 | 0001_seniorita | Capitanata, Mottola di Stabia | 2014/08/12 | 6 | INNESCO meteorologico che ha provocato la morte di un uomo a Mottola di Stabia |
| 103 | 0001011_pescici | Puglia Meridionale, Mottola di Stabia | 2014/09/11 | 1 | innesco meteorologico a 100 km da Bari causato da frane a Torre Canale, Puglia Meridionale |

Figura 2. Dettaglio dell'interfaccia web ed in particolare della tabella Trigger. Nella barra in alto le diverse tabelle di inserimento e consultazione che costituiscono il database. Nel dettaglio i campi della tabella selezionata Trigger. Come si può notare nella sinistra dell'immagine, selezionando un ID si ha la possibilità di accedere direttamente a tutte le tabelle ad esso connesse



Figura 3. Area inondata e relativi danni registrati nel comune di Peschici (FG), nel Settembre 2014.

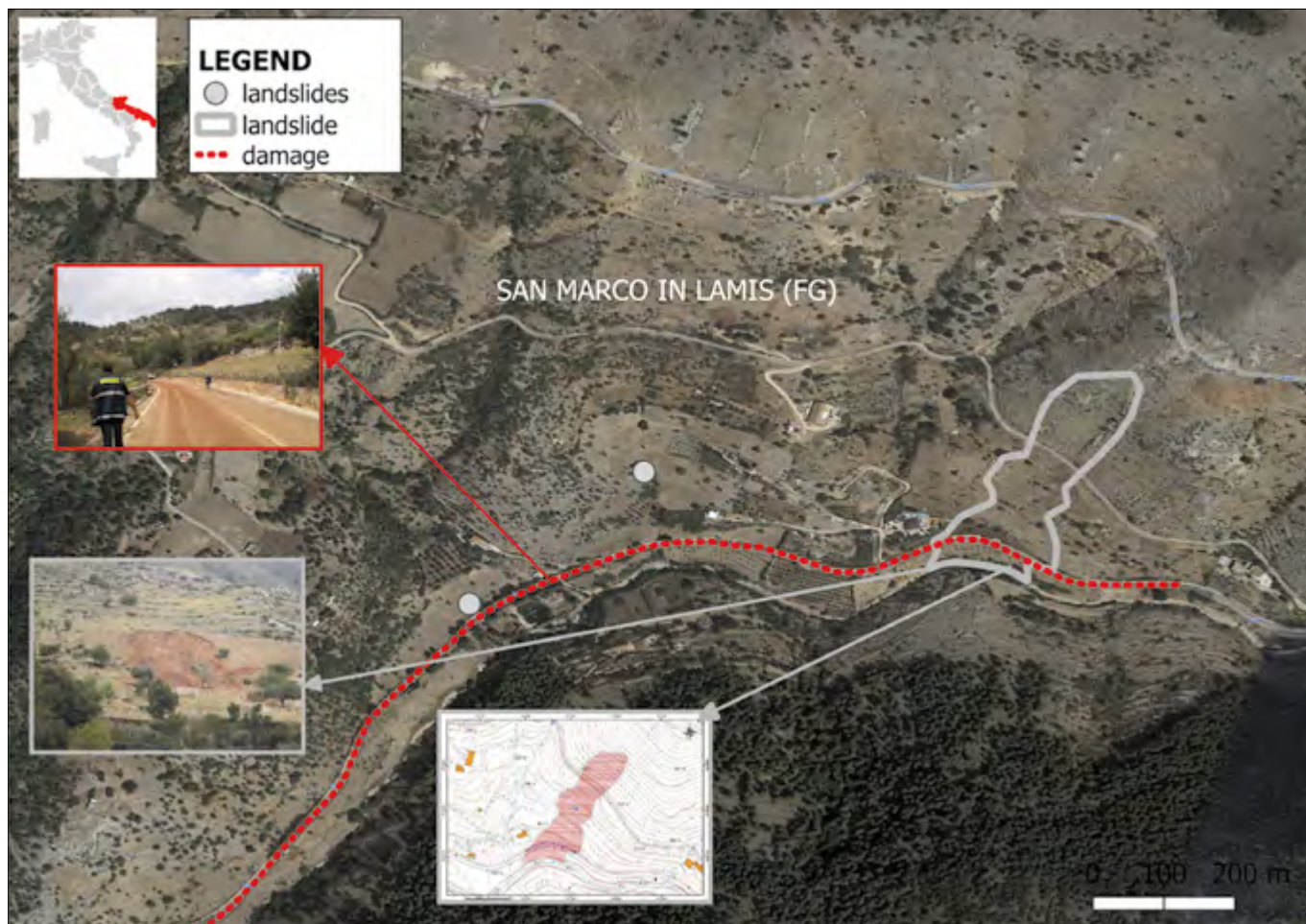


Figura 4. Frane (poligono e punto) ed interruzione stradale registrata nel comune di San Marco in Lamis (FG) nel Settembre 2014

evidenziare come siano state utilizzate differenti localizzazioni per i danni ed i fenomeni, nonché l'utilizzo contemporaneo di diverse geometrie (punti, linee e poligoni) (Fig. 3,4), grazie all'analisi ed integrazione dei dati provenienti da diverse fonti d'informazione. In particolare le fonti cronachistiche, seppur fornendo solitamente dati generici circa i fenomeni, sono spesso corredate da fotografie che consentono una migliore localizzazione dei fenomeni e/o dei danni. Inoltre riportano di frequente informazioni accurate sui danni causati, perché di pubblico interesse, e di conseguenza possono essere georeferenziati come punti, linee o poligoni. La possibilità di utilizzare diverse geometrie aumenta l'accuratezza spaziale del database ed allo stesso tempo consente di non escludere fenomeni o danni per cui le informazioni siano generiche. I sopralluoghi effettuati sul campo consentono di dettagliare i fenomeni in termini dimensionali e delle caratteristiche fisico-meccaniche. In Fig. 4, ad esempio, sono riportate 2 frane: una è stata georeferenziata attraverso un poligono grazie alle informazioni presenti nella scheda di sopralluogo reperita, per l'altra frana l'analisi incrociata delle informazioni collezionate, da quelle presenti nella fonte cronachistica a quelle riportate nel database del CCISS, hanno consentito l'individuazione del kilometro della strada interessato dalla frana, dunque il fenomeno franoso è stato georeferenziato con un punto. Il vantaggio di poter utilizzare diverse geometrie consente di distinguere in maniera netta il fenomeno dal danno (Fig. 4) e ciò è di estrema importanza nelle analisi di pericolosità e rischio che possono essere effettuate successivamente.

Le informazioni spazio-temporali di elevata accuratezza circa i fenomeni franosi, di frequente presenti nelle schede d'intervento dei Vigili del Fuoco, sono fondamentali per la ricostruzione dell'evento pluviometrico innescante, anch'esso registrato nel database nella tabella *rainfall event*.

Tutte le fonti bibliografiche utilizzate sono registrate all'interno del database e collegate all'oggetto (trigger, evento, fenomeno, danno, opere di mitigazione) attraverso la tabella *biblioassociation*, ciò consente di tenere sempre traccia della fonte e di poterla consultare in qualsiasi momento.

Relativamente ai danni, questi vengono classificati secondo la direttiva Europea FLOOD EU/2007, di recente implementata nel database con la co-

difica dei danni utilizzata dal catalogo FLOODCAT, definito dall'Autorità di Bacino, (che fa riferimento sempre alla direttiva FLOOD in modo da utilizzare una classificazione riconosciuta e definitiva a livello europeo, ma di tener conto anche delle esigenze operative della Protezione Civile. La struttura di LAND-deFeND 1.1, essendo conforme con le direttive europee (FLOOD ed INSPIRE), facilita l'integrazione di dati provenienti da altre banche dati, nonché agevola le elaborazioni successive dei dati memorizzati.

CONCLUSIONI

I risultati preliminari dell'utilizzo del database LAND-deFeND 1.1, sia in termini di inserimento che di consultazione degli eventi geo-idrologici, sembrano essere promettenti, anche e soprattutto ai fini dell'utilizzo come strumento di gestione per le autorità di Protezione Civile a diverse scale geografiche. La consultazione di tale database, contenente informazioni spazio-temporali sui fenomeni, sui danni e sui costi degli eventi pregressi, potrà essere uno strumento di fondamentale importanza ai fini della gestione delle emergenze e della emanazione degli stati d'allerta. Inoltre la possibilità di inserire le opere di mitigazione progettate, eseguite e terminate, consente di poter seguire l'evoluzione temporale degli eventi e la loro gestione nelle fasi successive. Il database potrà inoltre rappresentare la base per un'analisi di pericolosità e rischio a livello regionale basata su dati storici.

RINGRAZIAMENTI

La ricerca è stata finanziata dalla Regione Puglia - Sezione Protezione Civile, nell'ambito del progetto "Valutazione integrata di dissesti geo-idrologici nel territorio della Regione Puglia, modelli interpretativi dei fenomeni e definizione di soglie di pioggia per il possibile innesco di frane superficiali" - fondi P.O.R. Puglia 2014-2020, Asse V - Azione 5.1. CUP: B82F16003840006

BIBLIOGRAFIA

- CHAPRA S.C. & RAYMOND P. (2010), *Numerical Methods for Engineers*, sixth edition, Mc Graw Hill Higher Education. ISBN 9780073401065.
- CODD E. F. (1972), *Further normalization of the data base relational model*. Data base systems, 33-64.
- DATE C.J. (1977), *An introduction to database systems*, Vol. 1. Pearson Education India.
- GUZZETTI F., TONELLI G. (2004), *Information system on hydrological and geomorphological catastrophes in Italy (SICI): a tool for*

managing landslide and flood hazards. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 4, 213-232. <https://doi.org/10.5194/nhess-4-213-2004>.

- MARTINOTTI M.E., PISANO L., MARCHESINI I., ROSSI M., PERUCCACCI S., BRUNETTI M.T., MELILLO M., AMORUSO G., LOIACONO P., VENNARI C., VESSIA G., TRABACE M., PARISE M., GUZZETTI F. (2017), *Landslides, floods and sinkholes in a karst environment: the 1-6 September 2014 Gargano event, southern Italy*, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 17, 467-480, <https://doi.org/10.5194/nhess-17-467-2017>, 2017
- MENONI S., MOLINARI D., BALLIO F., MINUCCI G., MEJRI O., ATUN F., BERNI N., PANDOLFO C. (2016), *Flood damage: a model for consistent, complete and multipurpose scenarios*. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 16, 2783-2797. <https://doi.org/10.5194/nhess-16-2783-2016>
- MUNICH RE (2011), *NatCat SERVICE Loss Database for Natural Catastrophes Worldwide*. <http://www.munichre.com/en/reinsurance/business/non-life/georisks/natcat-service/default.aspx>
- NAPOLITANO E., MARCHESINI I., SALVATI P., DONNINI M., BIANCHI C., & GUZZETTI F. (2018), *LAND-deFeND-An innovative database structure for landslides and floods and their consequences*. Journal of environmental management, 207, 203-218. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.11.022>
- PARISE M. & VENNARI C. (2013), *A chronological catalogue of sinkholes in Italy: the first step toward a real evaluation of the sinkhole hazard*. In proceeding of: 13th Multidisciplinary Conference on Sinkholes & the Engineering and Environmental Impacts of Karst, At Carlsbad, New Mexico (USA), 2013. ISBN 978-0-9795422-7-5 (pp383-392).
- PARISE M. & VENNARI C. (2017), *Distribution and features of natural and anthropogenic sinkholes in Apulia*. In: RENARD P. & BERTRAND C. (Eds.), *EuroKarst 2016, Neuchatel. Advances in the hydrogeology of karst and carbonate reservoirs*. Springer, ISBN 978-3-319-45464-1, p. 27-34.
- STOFFEL M., SCHNEUWLY-BOLLSCHWEILER M., RUDOLF-MIKLAU F. (2013), *Dating Past Events on Fans and Cones-An Introduction*, in: M. Schneuwly-Bollschiweiler et al. (eds.), *Dating Torrential Processes on Fans and Cones, Advances in Global Change Research* 47, 1-11, doi:10.1007/978-94-007-4336-6 20, 2013.
- SWISS RE (2017), *Sigma Natural Catastrophes and Man-made Disasters*. <http://institute.swissre.com/research/overview/sigma/>

EUROPEAN DIRECTIVES

- 2007/60/EC. Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the Assessment and Management of Flood risks.
- 2007-2-EC. Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007 establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE). Off. J. European Union L108, 14 (<http://inspire.jrc.ec.europa.eu/>).



SESSIONE 3
INTERFERENZA DEI PROCESSI
GEO-MORFOLOGICI
CON STRUTTURE
E INFRASTRUTTURE

SIGEA

Frane e alluvioni in Italia: pericolosità e indicatori di rischio

Landslides and floods in Italy: hazard and risk indicators

Alessandro Trigila

Carla Iadanza

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale – ISPRA

Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia

E-mail: alessandro.trigila@isprambiente.it

Parole chiave: frane, alluvioni, pericolosità, mosaiculture nazionali, indicatori di rischio

Key words: landslides, floods, hazard, national mosaics, risk indicators

1. INTRODUZIONE

L'Italia è un paese ad elevato rischio idrogeologico, a causa della naturale propensione del territorio a fenomeni franosi e alluvionali e della notevole diffusione di aree urbanizzate. Le superfici artificiali sono passate dal 2,7% negli anni '50 al 7,64% del 2018 (Munafò *et al.*, 2019). Il forte incremento delle aree urbanizzate, verificatosi a partire dal secondo dopoguerra, spesso in assenza di una corretta pianificazione territoriale e con tassi di abusivismo particolarmente elevati nelle regioni dell'Italia meridionale, ha portato a un considerevole aumento degli elementi esposti a frane e alluvioni e quindi del rischio.

L'ISPRA, nell'ambito dei propri compiti istituzionali, svolge l'attività di raccolta, elaborazione e diffusione dei dati in materia di difesa del suolo e dissesto idrogeologico riferita all'intero territorio nazionale (artt. 55 e 60 del D. Lgs. n. 152 del 3 aprile 2006), realizza l'Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (IFFI) in collaborazione con le Regioni e le Province Autonome (art. 6, comma 1 lettera g della L. 132/2016), cura la standardizzazione delle informazioni correlate all'attuazione della Direttiva Alluvioni (2007/60/CE), gestisce il Repertorio Nazionale degli Interventi per la Difesa del Suolo (ReNDiS) individuato come piattaforma per il monitoraggio dell'attuazione degli interventi già finanziati contro il dissesto idrogeologico e per l'istruttoria di nuove richieste di finanziamento (DPCM 28 maggio 2015).

I dati ISPRA sul dissesto idrogeologico costituiscono un riferimento ufficiale per le pubbliche amministrazioni (art. 3 della L. 132/2016) e forniscono un importante supporto alle decisioni nelle politiche nazionali, nella programmazione degli interventi di mitigazione del rischio, nella pianificazione e gestione del territorio. La diffusione delle informazioni inoltre è fondamentale per una maggiore consapevolezza dei cittadini sui rischi che interessano il proprio territorio.

2. LE FRANE IN ITALIA

L'Italia è il paese europeo maggiormente interessato da fenomeni franosi, con oltre 620.000 frane contenute nell'Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (Progetto IFFI) che rappresentano circa i 2/3 delle frane censite in Europa (Herrera *et alii*, 2018).

L'Inventario IFFI è realizzato dall'ISPRA e dalle Regioni e Province Autonome utilizzando modalità standardizzate e condivise di mappatura e archiviazione delle informazioni sui fenomeni franosi (Trigila, 2007; Trigila *et alii*, 2010).

Un quadro sulla distribuzione della frane in Italia può essere ricavato dall'indice di franosità, pari al rapporto tra l'area in frana e la superficie totale, calcolato su maglia di lato 1 km (*Fig. 1a*).

Ogni anno sono qualche migliaio le frane che si innescano sul territorio nazionale e qualche centinaio gli eventi principali di frana che causano vittime, feriti, evacuati e danni a edifici, beni culturali e infrastrutture lineari di comunicazione primarie (Trigila *et alii*, 2015). Nel 2018 si sono verificati 157 eventi principali che hanno causato 12 morti/dispersi e 29 feriti (Indicatore Eventi franosi - Annuario dei Dati Ambientali ed. 2019, ISPRA) (*Fig. 1b*). Le infrastrutture lineari di comunicazione sono gli elementi esposti più colpiti.

Archiviare le informazioni sui fenomeni franosi è un'attività strategica tenuto conto che gran parte delle frane si riattivano nel tempo, anche dopo lunghi periodi di quiescenza di durata pluriennale o plurisecolare (es. frana di Corniglio - PR, 1902, 1994-2000).

L'Inventario IFFI è un importante strumento conoscitivo di base che viene utilizzato per la valutazione della pericolosità da frana dei Piani di Assetto Idrogeologico (PAI), la progettazione preliminare di interventi di difesa del suolo e di reti infrastrutturali e la redazione dei Piani di Emergenza di Protezione Civile.

3. MOSAICATURE NAZIONALI DI PERICOLOSITÀ

L'ISPRA, al fine di fornire un quadro sulla pericolosità da frana e idraulica sull'intero territorio italiano, realizza le Mosaiculture nazionali delle aree a pericolosità, sulla base dei dati forniti dalle Autorità di Bacino Distrettuali.

Le aree a pericolosità da frana dei Piani di Assetto Idrogeologico – PAI, redatti ai sensi della L. 183/89, del D.L. 180/98 convertito in L. 267/98, della L. 365/00, del D.Lgs. 152/06 e dell'Atto di indirizzo e coordinamento 29/09/98, includono, oltre alle frane già verificate, anche le zone di possibile evoluzione dei fenomeni e le zone potenzialmente suscettibili a nuovi fenomeni franosi.

La Mosaicatura ISPRA delle aree a pericolosità da frana utilizza una classificazione per l'intero territorio nazionale in 5 classi: pericolosità molto elevata P4, elevata P3, media P2, moderata P1 e aree di attenzione AA.

La superficie complessiva di tali aree è pari a 59.981 km² (19,9% del territorio nazionale; *Fig. 2*). Se prendiamo in considerazione le classi a maggiore pericolosità (elevata P3 e molto elevata P4), assoggettate ai vincoli di utilizzo del territorio più restrittivi (es. vincolo di inedificabilità), le aree ammontano a 25.410 km², pari all'8,4% del territorio nazionale (Mosaicatura ISPRA v. 3.0 - Dicembre 2017).

Come risulta evidente dall'analisi della Mosaicatura della pericolosità da frana sul territorio nazionale (*Fig. 2*), emergono significative disomogeneità di mappatura e classificazione, dovute principalmente alle differenti metodologie utilizzate dalle Autorità di Bacino (ora Autorità di Bacino Distrettuali) per la valutazione della pericolosità da frana: metodi qualitativi a matrice a 1 o più parametri, metodo qualitativo geomorfologico, metodi quantitativi statistici o metodi di tipo misto. Le maggiori differenze si riscontrano tra le mappature di

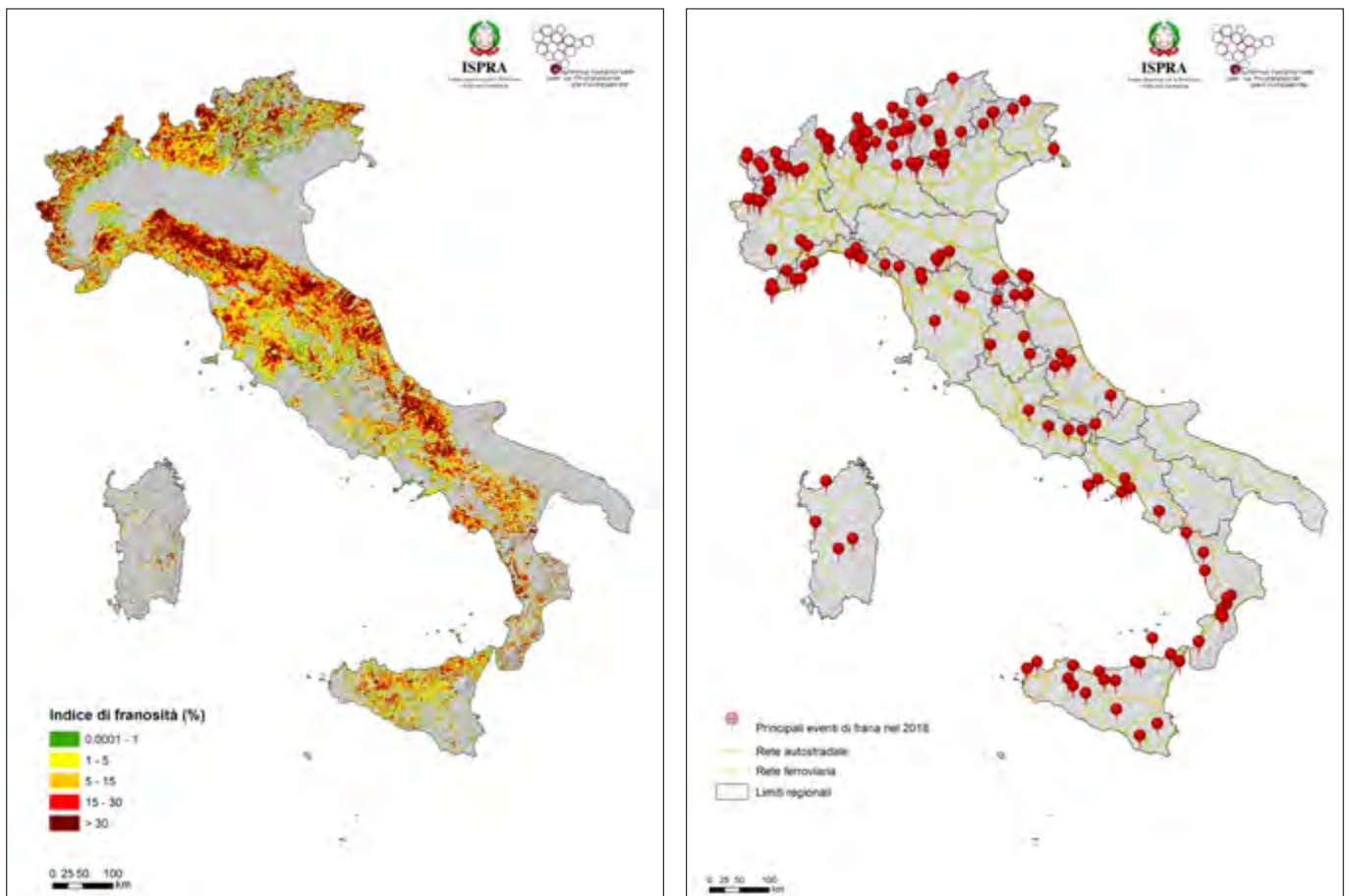


Figura 1. a) Densità di frane (area in frana/area cella) su maglia di lato 1 km (da Rapporto ISPRA 2018 sul Dissesto idrogeologico in Italia); b) Principali eventi di frana nel 2018 (da Annuario dei Dati Ambientali ed. 2019, ISPRA)

pericolosità che hanno classificato solo i poligoni di frana (es. Bacini idrografici dell'Alto Adriatico, Provincia Autonoma di Bolzano) e quelle che hanno classificato l'intero territorio (es. Regione Valle d'Aosta, Provincia Autonoma di Trento, Bacino dell'Arno) (Trigila *et alii*, 2018).

La Mosaicatura nazionale delle aree a pericolosità idraulica è stata realizzata secondo i tre scenari di pericolosità del D. Lgs. 49/2010 (recepimento della Direttiva Alluvioni 2007/60/CE): elevata P3 con tempo di ritorno fra 20 e 50 anni (alluvioni frequenti), media P2 con tempo di ritorno fra 100 e 200 anni (alluvioni poco frequenti) e bassa P1 (scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi).

Le aree a pericolosità idraulica elevata risultano pari a 12.405 km², le aree a pericolosità media ammontano a 25.398 km², quelle a pericolosità bassa (scenario massimo atteso) a 32.961 km² (Mosaicatura ISPRA v. 4.0 - Dicembre 2017). Alla data dell'elaborazione (dicembre 2017) non era disponibile lo scenario a pericolosità elevata P3 e lo scenario a pericolosità bassa P1 per il territorio della ex Autorità di Bacino Regionale delle Marche. Lo scenario a pericolosità bassa non era inoltre disponibile per il territorio della ex Autorità di Bacino Conca-Marecchia e dei Bacini Regionali Romagnoli, ad eccezione delle Aree costiere marine, e per il reticolo di irrigazione e bonifica del territorio del bacino del Po ricadente nella Regione Emilia-Romagna.

Dall'analisi della mosaicatura idraulica (Fig. 2) si riscontra una certa disomogeneità legata al reticolo idrografico di riferimento: in alcune porzioni del territorio nazionale è stato modellato soprattutto il reticolo principale, in altre è stato indagato con grande dettaglio anche il reticolo secondario collinare e montano (es. Regione Valle d'Aosta) o il reticolo secondario di pianura (es. canali di bonifica; Regione Emilia-Romagna) (Trigila *et alii*, 2018).

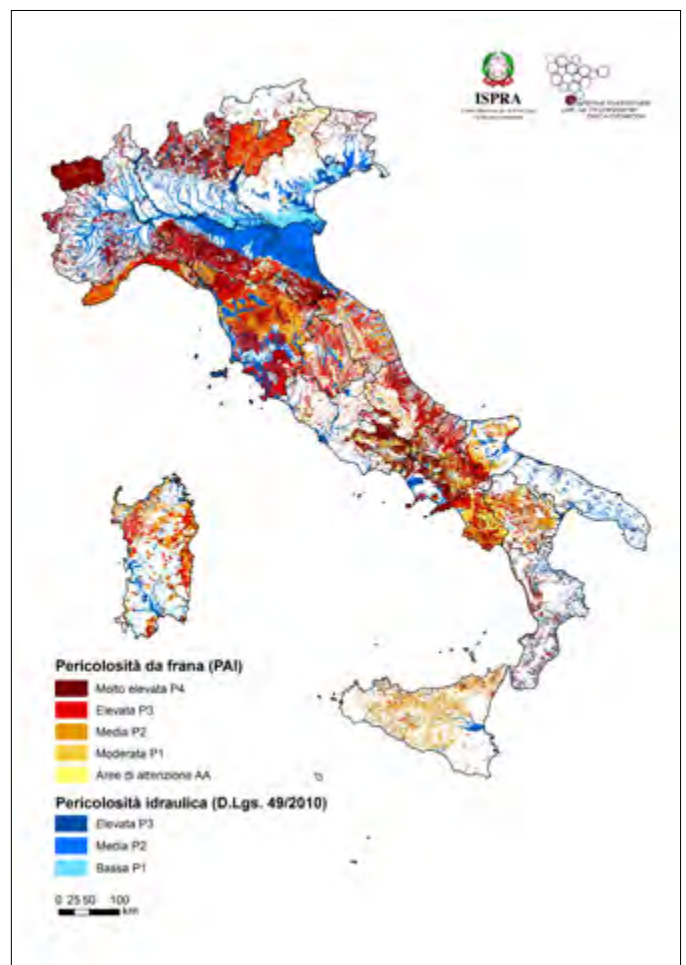


Figura 2. Mosaicatura nazionale delle aree a pericolosità da frana PAI e delle aree a pericolosità idraulica (da Rapporto ISPRA 2018 sul Dissesto idrogeologico in Italia)

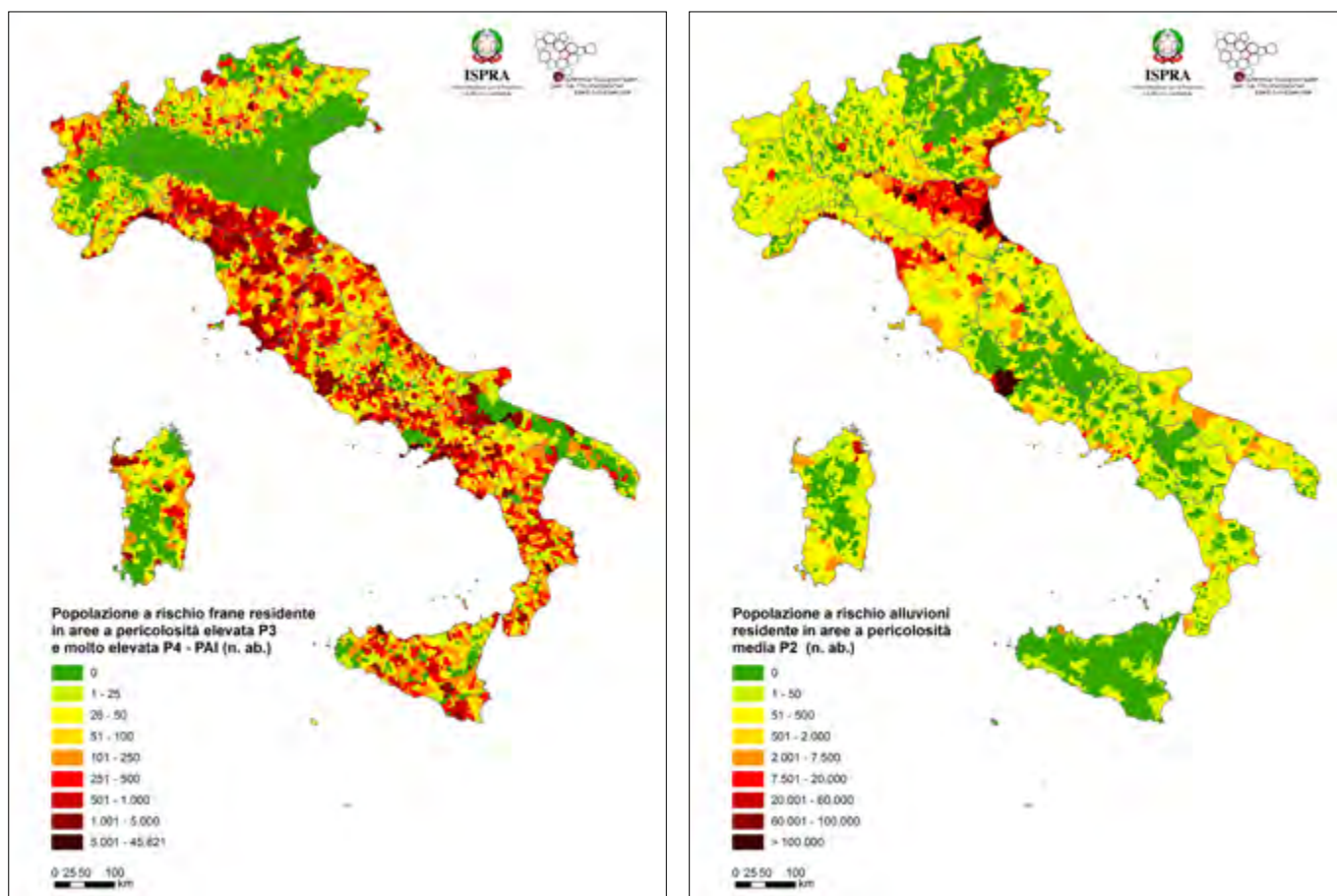


Figura 3. a) Popolazione a rischio in aree a pericolosità da frana P3 e P4 PAI su base comunale; b) Popolazione a rischio residente in aree a pericolosità idraulica media P2 su base comunale (da Rapporto ISPRA 2018 sul Dissesto idrogeologico in Italia)

La superficie complessiva delle aree classificate a pericolosità da frana P3 e P4 e/o idraulica P2 in Italia ammonta a 50.117 km² (16,6% del territorio nazionale).

4. INDICATORI NAZIONALI DI RISCHIO

L'ISPRA, sulla base delle Mosaicature di pericolosità, elabora gli indicatori nazionali di rischio, per frane e alluvioni, relativi a popolazione, famiglie, edifici, imprese, beni culturali e ai comuni italiani. Gli indicatori rappresentano uno strumento a supporto delle politiche nazionali di mitigazione del rischio attraverso l'individuazione delle priorità di intervento, la ripartizione dei fondi e la programmazione degli interventi di difesa del suolo.

La metodologia adottata per la produzione degli indicatori di rischio utilizza dati ufficiali, disponibili sull'intero territorio nazionale, e risponde a criteri di trasparenza e replicabilità. La stima degli indicatori di rischio risente solo in misura ridotta delle disomogeneità delle mappe di pericolosità da frana e idraulica (vedi Par. 3) in quanto, nelle aree urbanizzate, dove si concentrano gli elementi a rischio, l'attività di mappatura delle aree a pericolosità è stata pressoché completa e omogenea sull'intero territorio nazionale.

I comuni a rischio per frane e/o alluvioni (interessati da aree a pericolosità da

frana P3 e P4 PAI e/o idraulica P2) sono 7.275 pari al 91,1% dei comuni italiani.

La popolazione a rischio frane in Italia residente nelle aree a pericolosità PAI elevata e molto elevata ammonta a 1.281.970 abitanti, pari al 2,2% del totale; la popolazione a rischio alluvioni è pari a 6.183.364 abitanti (10,4%) nello scenario di pericolosità media con tempo di ritorno fra 100 e 200 anni; le famiglie a rischio frane e alluvioni sono rispettivamente 538.034 e 2.648.499; gli edifici a rischio frane sono 550.723 (3,8%) e quelli a rischio alluvioni 1.351.578 (9,3%); le industrie e i servizi ubicati in aree a pericolosità da frana elevata e molto elevata sono quasi 83.000 con 217.608 addetti a rischio, mentre sono 596.254 quelle esposte al pericolo di inondazione nello scenario medio (12,4% del totale) con 2.306.229 addetti a rischio. I Beni Culturali ubicati nelle aree a pericolosità da frana elevata e molto elevata sono 11.712; quelli nello scenario a pericolosità idraulica media sono 31.137 (Trigila et alii, 2018).

Gli indicatori *Popolazione a rischio frane* e *Popolazione a rischio alluvioni* sono stati selezionati nel 2014 nell'ambito dell'Accordo di Partenariato 2014-2020 tra Italia e Commissione Europea come indicatori di risultato (Obiettivo tematico 5 - *Promuovere l'adattamento al cambiamento climatico, la prevenzione e la*

gestione dei rischi, con particolare riguardo alle misure contro il dissesto idrogeologico). Tali indicatori sono stati aggiornati nel 2018 nell'ambito del PON Governance e Capacità Istituzionale 2014-2020 (Progetto pluriennale Statistiche ambientali per le politiche di coesione 2014-2020).

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- HERRERA, G., MATEOS, R.M., GARCÍA-DAVALILLO, J.C. et al. (2018), *Landslide databases in the Geological Surveys of Europe*. Landslides, 15, 359-379.
- ISPRA (2020), *Annuario dei Dati Ambientali*. Edizione 2019.
- MUNAFÒ, M. (ed.) (2019) *Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici*. Edizione 2019. Report SNPA 08/19
- TRIGILA A. (ed.) (2007) *Rapporto sulle frane in Italia. Il Progetto IFFI - Metodologia, risultati e rapporti regionali*. APAT, Rapporti 78/2007, pp. 681.
- TRIGILA A., IADANZA C., BUSSETTINI M., LASTORIA B., BARBARO A. (2015), *Dissesto idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio*. Rapporto 2015. ISPRA, Rapporti 233/2015.
- TRIGILA A., IADANZA C., BUSSETTINI M., LASTORIA B. (2018), *Dissesto idrogeologico in Italia: pericolosità e indicatori di rischio*. Edizione 2018. ISPRA, Rapporti 287/2018.
- TRIGILA A., IADANZA C., SPIZZICHINO D. (2010), *Quality assessment of the Italian Landslide Inventory using GIS processing*. Landslides, 7, Number 4, 455-470.

Impact of inter-rows management in sloping vineyards on soils and grapevine roots in an area susceptible to shallow landslides: Oltrepò Apennines (Lombardy, Italy)

Impatto della gestione dell'interfila di vigneti in pendenza su suoli e radici di vite in un'area suscettibile a frane superficiali: area appenninica dell'Oltrepò (Lombardia, Italia)

Parole chiave: vigneto, suolo, radice, frane superficiali, gestione del territorio
Key words: vineyard, soil, root, shallow landslides, land management

Massimiliano Bordoni
Department of Earth and Environmental Sciences, University of Pavia, Italy
E-mail: massimiliano.bordoni@unipv.it

Alberto Vercesi
Department of Sustainable Crop Production, Università Cattolica del Sacro Cuore, Piacenza, Italy
E-mail: alberto.vercesi@unicatt.it

Michael Maerker
Department of Earth and Environmental Sciences, University of Pavia, Italy
E-mail: michael.maerker@unipv.it

Claudia Meisina
Department of Earth and Environmental Sciences, University of Pavia, Italy
E-mail: claudia.meisina@unipv.it

ABSTRACT

Cultivation of grapevines in sloping soils is very widespread all over the world, representing also fundamental branch of local economy of several hilly areas. Agronomical practices in inter-rows can be significantly different and may influence deeply the soil properties and the grapevine root development. Therefore, this work aimed at analyzing the effects of different management practices of inter-rows in terms of soil physical and hydrological properties and of root density and reinforcement. The research was conducted in several test-sites of Oltrepò Pavese (Lombardy region, north-western Italy). Among the examined soil properties, hydraulic conductivity was the most influenced soil property by different soil management practices. Vineyards with alternation management of inter-rows had the highest root density and the strongest root reinforcement, of up to 45% in comparison to permanent grass cover, and up to 67-73% in comparison to tilled vineyards. The results of this study yielded important information to establish effective management practices of vineyards, reducing slope instabilities by a better development of root apparatus in the soil.

1. INTRODUCTION

Vineyards cover currently 7.5 million ha corresponding to about 0.5% of the entire agricultural areas in the world (OIV, 2017). The wine, as main product deriving from this agricultural activity,

has an important economic impact, with a market of about 29 billion of dollars worldwide and an increasing wine production, worldwide, estimated to more than $1 \cdot 10^6$ hl in 2016 (OIV, 2017).

As other human activities, viticulture has strong impacts on the environment. Moreover, vineyard cultivation causes important effects in different parts of the soil system, influencing its physical, hydrological, chemical and biological properties through different management techniques, in particular of the inter-row management (Tarolli *et al.*, 2014; Prosdocimi *et al.*, 2016).

The management practices of inter-rows have also an important impact on the distribution of grapevine roots in the soil, in terms of rooting depth and, especially, of root density. The presence of an undisturbed permanent grass cover or the continued tillage of the inter-rows soil may cause a different development of the root system, expressed in terms of root density and of amount of root biomass (Smart *et al.*, 2006; Linares Torres *et al.*, 2018).

The density of roots within the soil, together with their mechanical behavior related to shear and/or tensile forces, increases soil stability (Bischetti *et al.*, 2009). Root reinforcement may have beneficial effects in preventing slope instabilities and is often used as an effective tool to decrease landslide susceptibility, in particular for shallow landslides (Wu, 2012). Shallow landslides triggered by intense rainfall events frequently affect vineyards located in sloping terrains, causing the

partial or complete destruction of the vineyards, of local structures and infrastructure and thus, creating severe economic damages. Shallow landslides in vineyards are widespread in different European contexts characterized by traditional viticulture, such as in Germany (Grunert, 2009), Slovenia (Komac and Zorn, 2009), Romania (Margarint *et al.*, 2013), Spain (Ramos *et al.*, 2007), Portugal (Pereira *et al.*, 2012), France (Van Den Eeckhaut *et al.*, 2010) and, especially, in Italy (Fonte and Masciocco, 2009; Blahut *et al.*, 2014; Bordoni *et al.*, 2016). For this reason, a quantification of root reinforcement of grapevines in vineyards with different inter-row management is fundamental to understand the practices that might promote the stability of sloping vineyards.

The main aim of this paper is to analyze the effects of different inter-row management techniques in a more comprehensive way, considering traditional agricultural practices of tillage, permanent grass cover, and alternating tillage. In particular, we focused on: i) soil physical properties; ii) soil hydrological properties; iii) root density; iv) root mechanical properties and root reinforcement. The research was conducted in one of the most important Italian wine production areas, the Oltrepò Pavese, in Lombardy region, in north-western Italy. This work was supported by the project "Oltrepò BioDiverso", funded by Fondazione Cariplo in the frame of AttivAree Program.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1. STUDY AREA

The Oltrepò Pavese (265 km², Italian Apennines, Lombardy Region, northern Italy) (Fig. 1) is one of the most important Italian areas devoted to viticulture. This area represents the biggest wine production zone of Lombardy. The vineyards in the Oltrepò Pavese cover an area of about 13,000 ha. The viticulture of this area is based on a variety of grapevine cultivars: Croatina, Pinot noir, Barbera, Riesling italiceo, Chardonnay and Moscato bianco. It is also representative of the geological and geomorphological contexts of Italian Apennines cultivated with vineyards, as demonstrated by the silty-clayey soil cover, the steep hillslopes and the proneness to slope instabilities.

In the northern part of the area, bedrock materials are characterized by a Mio-Pliocene succession consisting of sandstones, conglomerates, marls and evaporitic deposits (Fig. 1b). In this area, slopes are steep, with slope angles generally steeper than 20°. Shallow soils derived from bedrock weathering consists in sandy silts or clayey sandy silts with thickness ranging between few centimeters and 2.5 m. In the southern part of the area, bedrock is composed of Cretaceous flysch deposits and other Eocene-Miocene bedrocks, consisting of marls, calcareous-marls, sandstones and scaly shales (Fig. 1b). In this sector, slopes are less steep with slope angles generally between 10° and 20°. Vineyards are mainly cultivated at elevations ranging between 60 and 500 m a.s.l. and on slopes between 5° and 37°.

The entire study area is very susceptible to slope instabilities, as testified by several rainfall-induced shallow landslides occurred since 2009 (Bordoni *et al.*, 2016; Fig. 1c). The mean density of these phenomena is of about 6 shallow landslides per km², corresponding to a total number of 2105 phenomena since 2009. Shallow landslides are very common in cultivated vineyards of the study area. In fact, 424 failures affected vineyards, causing the partial or the total destruction of the rows, severe damages to the roads and loss of fertile soil. 17.3% of the shallow landslides occurred since 2009 affected vineyards, occupying an area of 3.2 km² (2.1% of the area cultivated with vineyards).

2.2. TEST-SITES AND SOIL MANAGEMENT TYPES

29 test-sites (Fig. 1) were selected, representing the main geological, geo-

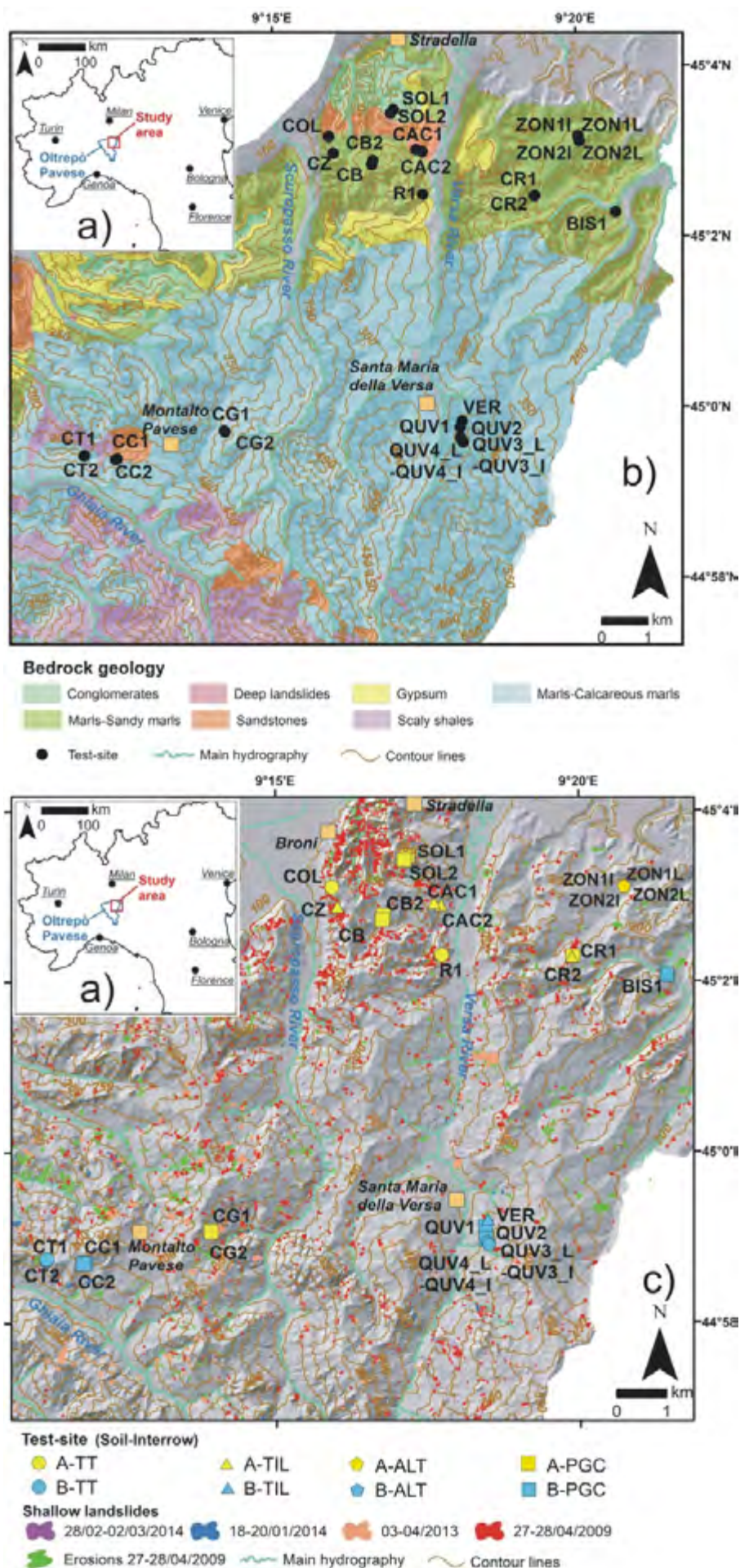


Figure 1. The study area: a) location; b) lithological map of the bedrock; c) location of the test-sites and distribution of erosions and shallow landslides

morphological and agronomical features of the area characterized by typical inter-row management. 17 sites had soils with a predominantly clayey silt or clayey sandy silt texture, classified as low plastic soils (CL) according to the Unified Soil Classification System (USCS). The other 12 sites were characterized by silt with clays or silty clays and could be considered as high plastic soils (CH), according to USCS. As regards the geomorphological features, all the test-sites were located on slopes, at elevations ranging between 115.0 and 344.1 m a.s.l. Moreover, slope angle changed between 5.0 and 37.0°, while all slope aspects apart of north directions occurred.

Most of the analyzed vineyards (25 test-sites) were characterized by a row orientation parallel to the maximum slope gradient (Par VN). Row orientation perpendicular to the maximum slope gradient (Perp VN) was less widespread (4 test-sites).

The studied grapevine plants had ages between 5 and 30 years.

Four different types of inter-row management, corresponding to the techniques usually adopted by the local wine-growers, were tested:

- 1) Total tillage (TT): Tillage operations (20 cm depth) are conducted to keep soil vegetation low. These operations are conducted 4–6 times in a year, through the use of mechanical hoes and spades attached to tracked or tyred tractors. The same tillage is made under the rows.
- 2) Tillage (TIL): Vineyard soils are tilled only 1 to 3 times with the same practices that characterize TT management. Tillage is performed especially at the end of winter and at the beginning of spring months. Instead, the more limited number of tillage phases during a year determines that spontaneous grasses cover the soil during the beginning of the vegetative phase (generally in spring months). As in TT management, tillage is conducted through mechanical tools attached to tracked or tyred tractors. Under the rows, tillage operations are conducted more frequently (4–6 times in a year, as in TT sites) to avoid the growth of spontaneous grasses also in most wet months.
- 3) Alternating tillage-grass (ALT): Realized through tillage up to 20 cm depth, every second inter-row, while leaving the other rows uncultivated and covered by natural grass. Every

one to three years, the practice is alternated thus, tillage is done in the inter-rows previously untouched, while the ones previously tilled are kept under grass cover. The tilled inter-rows are managed with the same operations that are conducted in TIL vineyards. While, the ones covered by the grass cover are managed following the criteria described immediately below for vineyards with permanent grass cover in the inter-rows.

- 4) Permanent grass cover (PGC): Natural and spontaneous grass cover in the inter-rows is kept untouched during the year, without any type of tillage operations. Instead, the grass is mowing 1–2 times in a year, in spring and summer months. The same management is applied under the rows.

2.3. SOIL SAMPLING AND LABORATORY ANALYSIS

Soil samplings were performed between June 2017 and August 2018. In the inter-row of each tested vineyard, a soil pit of 1.0 m x 2.0 m was excavated at the beginning of the experiment. Disturbed and undisturbed soil samples were collected in the identified horizons of the soil profile for laboratory analysis.

The following soil attributes, considered the most affected by inter-rows management, were considered (Rodrigo Comino *et al.*, 2017): soil texture (especially the amount of gravel, sand, silt, and clay in the soil), dry density and porosity, as well as soil water content, the water retention curve and the soil saturated hydraulic conductivity. Moreover, Atterberg limits and oedometric properties of the soils were determined to complete the characterization and to evaluate potential differences according to different inter-row management techniques.

All the laboratory tests were performed according to American Society for Testing and Materials (ASTM) procedures. Instead, saturated hydraulic conductivity (K_s) was measured in field through a constant head permeameter device. K_s was measured in at least 3 points of each test site in the first 0.2 m of soil profile and in the horizons below 0.2 m, generally between 0.5 and 1.0 m depth.

2.4. ROOT DENSITY AND ROOT REINFORCEMENT

In most of the test-sites, root density was evaluated at three distances

from the rootstock, to analyze potential variation on this parameter at different distances from the trunk. In particular, we took one measure close to the plant, between 0.0 and 0.5 m from the stem, in each test-sites. Other two measurements were collected at 0.5 and 1.0 m from the trunk and between 1.0 and 1.5 m from the trunk (the middle between two adjacent rows), respectively.

Root density was then quantified by counting the number of roots per root diameter class by means of the root-wall technique (Bischetti *et al.*, 2009). The measured root amount and root density was estimated through the Root Area Ratio (RAR), which is the ratio between the cross sectional area of the roots and the soil area in the frame of known size (0.3 x 0.3 m).

Data of root mechanical properties of grapevine plants of different test-sites were obtained from Bordoni *et al.* (2016) and Cislighi *et al.* (2017).

For calculating root reinforcement (c_r), Root Bundle Model - Weibull (RBMw) (Schwarz *et al.*, 2013) was used, integrating the data related to root density and root mechanical properties.

3. RESULTS

3.1. SOIL FEATURES

According to grain size distribution and Atterberg limits, tested vineyards were characterized by: i) low-medium plastic soils (CL) with clayey silt or clayey sandy silt texture, that are present in slopes with sandy, sandy marly or marly bedrock (soil A); ii) high plastic soils (CH) with clay with silt or silty clay texture, that are present in slopes with calcareous marly bedrock (soil B).

Dry density and porosity were similar in vineyards characterized by different inter-row management, both for sites with low plastic (CL) clayey or clayey sandy silts and high plastic (CH) clays with silts or silty clays. The average differences in dry density and porosity was, in fact, of less than 0.6 kN/m³ and 0.05 between vineyards with different inter-row management, for both the soil type (Fig. 2).

In soil A, saturation degree of dry period of the soil levels till 0.2 m from ground of test sites with different inter-row management ranged between 32±3 and 37±3%, except for ALT vineyards, where the values are higher, reaching 78±3% (Fig. 3). In wet periods, SD of the most superficial horizons were very similar concerning different inter-row management and very close to complete saturation (between 95±4% and

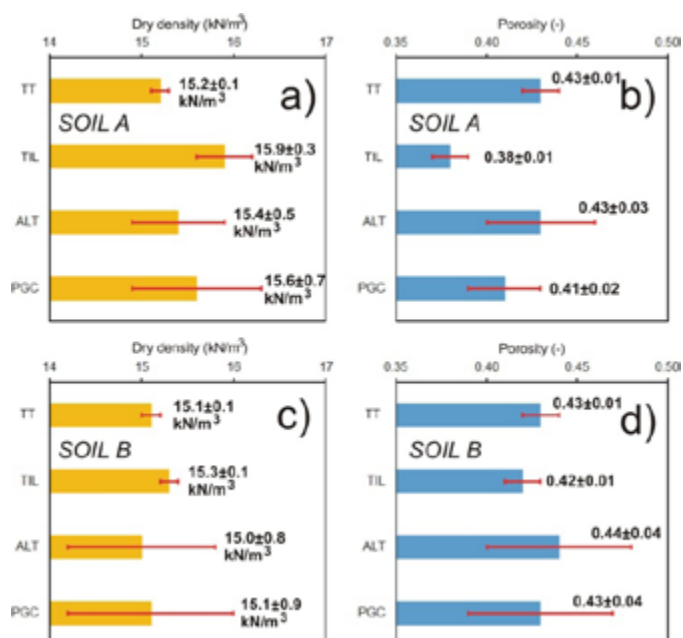


Figure 2. Mean and standard error of dry density (γ_d) and porosity (ρ) for sites with different inter-row management: a) dry density (γ_d) for soil A and soil B; b) porosity (ρ) for soil A and soil B

99±1%). In soil B, SD values of the soil levels till 0.2 m from ground were even more similar for vineyards with different management, both for dry (between 61±5 and 66±11%) and wet (between 94±1 and 99±1%) periods (Fig. 3).

Concerning the soil hydrological properties, K_s was lower in tilled vineyards than ALT and PGC for the soil horizons till 0.2 m from ground. K_s of topsoil horizons in PGC was about 4-5 times higher than TT and TIL and about 2 times higher than ALT. Instead, for the soil levels below 0.2 m from ground, K_s decreased passing from tilled vineyards to ALT and PGC ones of about 2-3 times (Fig. 4).

3.2. ROOT DENSITY AND REINFORCEMENT

Grapevine root density did not show significant differences considering different distances from plant trunk. The ranges were in the order of less than 0.05% for RAR.

Analyzing the root distribution pattern in depth, besides the different management of the inter-row, in all the test site the highest amounts of roots were found between 0.3–0.6 m below ground level (Fig. 5). All along these soil depths, grapevine root density changed significantly according to different inter-row management (Fig. 5). ALT sites had the highest root density all along the soil profile. PGC had a root density on average 10-15% lower than ALT in the three depth intervals. While, for TT and TIL sites, the decrease of root density in respect to ALT was more evident, on av-

erage of about 51-66% till 0.6 m depth and of 25-43% for depths below 0.6 m.

According to the root distribution, c_r was estimated by means of RBMw model at: i) 0.3 m, in correspondence to the topsoil layer; ii) 0.5 m, in correspondence to the highest root density; iii) 1.0 m, where shallow landslide sliding surfaces prevalently occurred in the vineyards of the study area; iv) 1.5 m, in correspondence to the measured highest rooting depth of all the test sites. c_r trends followed the trend of root density, with an increase at 0.5 m in respect to the topsoil layers and a consequent decrease with depth below 0.5 m (Fig. 6). Moreover, as for the root density, c_r was different in sites with different inter-row management (Fig. 6). ALT sites provided the highest root rein-

forcement, at all the considered depths. Generally, PGC had c_r values 40-45% lower than ALT. While, for TT and TIL sites, a decrease of c_r in respect to ALT was on average more than 67-73%, with lowest values documented at TT sites.

4. DISCUSSIONS AND CONCLUSIONS

In this study, the effects of the inter-row management on soil physical and hydrological properties as well as on root density and reinforcement were assessed in a representative viticulture area of Italian northern Apennines. Moreover, the alternating of tillage and permanent grass cover was also analyzed.

The agronomical practices in vineyards, in particular the management of the inter-rows, influence the response of

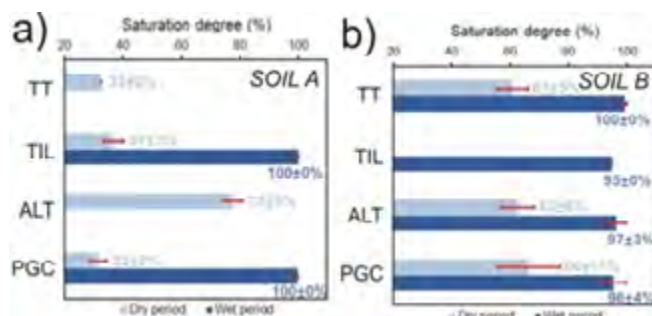


Figure 3. Mean and standard error of saturation degree in dry and wet periods, for vineyards with different inter-row management: a) saturation degree of dry periods for soil A and soil B; b) saturation degree of wet periods for soil A and soil B

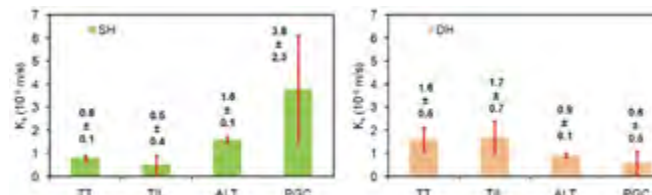


Figure 4. Mean and standard error of measured saturated hydraulic conductivity (K_s) in sites with different inter-row management for the soil levels up to 0.2 m from ground level (SH) and the layers below 0.2 m from ground (DH)

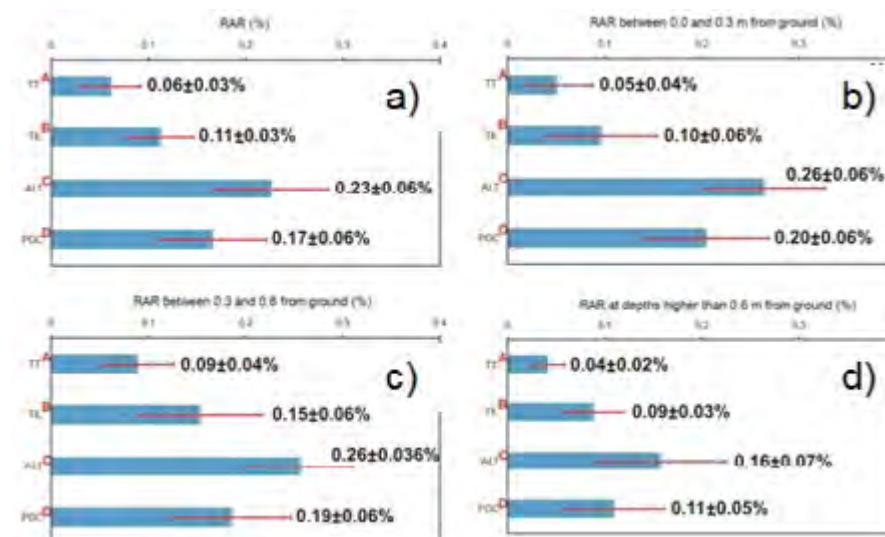


Figure 5. Mean and standard errors and of Root Area Ratio (RAR) along the soil profile, between 0.0 and 0.3 m from ground, between 0.3 and 0.6 m from ground, below 0.6 m from ground

soil properties and root development of grapevine plants. In the context of the Oltrepò Pavese, representing viticulture in sloping landscapes of the northern Italian Apennines, the soil hydraulic conductivity is the most influencing parameter by the inter-row management. The macroporosity allows to increase the superficial (first 0.2 m of soil) hydraulic conductivity of inter-rows without tillage. The results from this study suggest that, in the remaining part of the soil, a high density of roots may represent an obstacle for hydraulic conductivity and the related water fluxes, as shown for vineyards with alternating tillage and permanent grass cover. Anthropogenic factors related to grapevine cultivation and harvesting (e.g. deep ploughing, spread of fertilizers, harvesting, plant pruning activities) during the year tend to standardize the other soil physical, geotechnical and hydrological properties, regardless the different types of inter-row management.

Vineyards with alternation management of the inter-rows promote a significant increase in root density than other types of soil management. Alternating vineyards are also the ones with the highest values of root reinforcement. For these reasons, this soil management can promote an increase in slope stability in correspondence of steep slopes

respect to other managements. These results provide important indications for land use planning at catchment and regional scales able to reduce the proneness towards shallow landsliding, maintaining or increasing soil conservation.

REFERENCES

- BISCHETTI G.B., CHIARADIA E.A., EPIS T., MORLOTTI E. (2009), *Root cohesion of forest species in the Italian Alps*. Plant and Soil n. 324.
- BLAHUT J., GLADE T., STERLACCHINI S. (2014), *Debris flows risk analysis and direct loss estimation: the case study of Valtellina di Tirano*. Italy. Journal of Mountain Science n. 11.
- BORDONI M., MEISINA C., VERCESI A., BISCHETTI G.B., CHIARADIA E.A., VERGANI C., CHERSICH S., VALENTINO R., BITTELLI M., COMOLLI R., PERSICILLO M.G., CISLAGHI A. (2016), *Quantifying the contribution of grapevine roots to soil mechanical reinforcement in an area susceptible to shallow landslides*. Soil and Tillage Research n.163.
- CISLAGHI A., BORDONI M., MEISINA C., BISCHETTI G.B. (2017), *Soil reinforcement provided by the root system of grapevines: Quantification and spatial variability*. Ecological Engineering n. 109.
- FRONTE N., MASCIOTTO L. (2009), *A simplified physically-based approach for the assessment of hazard related to shallow landslides in Southern Piedmont (Italy)*. Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria n. 32.
- GRUNERT J. (2009), *Landslides in the Upper Middle Rhine valley and in Rheinhesse as indicators for climate change? In:*

Malet, J.P., Remaitre, A., Bogaard, T. (Eds.), *Landslides Processes: from Geomorphologic Mapping to Landslide Modelling*. CERIG editions, Strasbourg, pp. 51–55.

- KOMAC M., RIBICIC M. (2006), *Landslide susceptibility map of Slovenia at scale 1:250,000*. Geologija n. 49.
- LINARES TORRES R., DE LA FUENTE LLOREDA M., JUNQUERA GONZALEZ P., LISSARAGUE GARCIA-GUTIERREZ J.R., BAEZA TRUJILLO P. (2018), *Effect of soil management strategies on the characteristics of the grapevine root system in irrigated vineyards under semi-arid conditions*. Australian Journal of Grape Wine Research n. 24.
- MARGARIN M.C., JURAVLE D.T., GROZAVU A. (2013), *Large landslide risk assessment in hilly areas. A case study of Husi town region (North-East of Romania)*. Italian Journal of Engineering Geology and the Environment.
- ORGANISATION INTERNATIONALE DE LA VIGNE ET DU VIN (OIV) (2017), *State of the Vitiviculture World Market - April 2017*. <http://www.oiv.int/en/technical-standards-anddocuments/statistical-analysis/state-of-vitiviculture>.
- PEREIRA S., ZÈZERE J.L., BATEIRA C. (2012), *Technical note: assessing predictive capacity and conditional independence of landslide predisposing factors for shallow landslide susceptibility models*. Natural Hazards and Earth System Science n. 12.
- PROSDOCIMI M., CERDÀ A., TAROLLI P. (2016) *Soil water erosion on Mediterranean vineyards: a review*. Catena n. 141.
- RAMOS M.C., MARTÍNEZ-CASASNOVAS J.A. (2007), *Soil loss and soil water content affected by land leveling in Penedès vineyards*. Catena n. 71.
- RODRIGO-COMINO J., BRINGS C., ISERLOH T., CASPER M.C., GONZÁLEZ SENCIALES, SEEGER M., BREVIK E.C., RUIZ-SINOJA J.D., RIES J.B. (2017) *Temporal changes in soil water erosion on sloping vineyards in the Ruwer-Mosel Valley. The impact of age and plantation works in young and old vines*. Journal of Hydrology and Hydromechanics n. 6.
- SCHWARZ M., GIADROSSICH F., COHEN D. (2013), *Modeling root reinforcement using a root-failure Weibull survival function*. Hydrological and Earth System Science n. 17.
- SMART D.R., SCHWASS E., LAKSO A., MORANO L. (2006), *Grapevine rooting patterns: a comprehensive analysis and a review*. American Journal of Enology and Viticulture n. 57.
- TAROLLI P., PRETI F., ROMANO N. (2014), *Terraced landscapes: from an old best practice to a potential hazard for soil degradation due to land abandonment*. Anthropocene n. 6.
- VAN DEN ECKHAUT M., MARRE A., POESEN J. (2010), *Comparison of two landslide susceptibility assessments in the Champagne-Ardenne region (France)*. Geomorphology n. 115.
- WU T.H. (2012), *Root reinforcement of soil: review of analytical models, test results and application to design*. Canadian Geotechnical Journal n. 50.

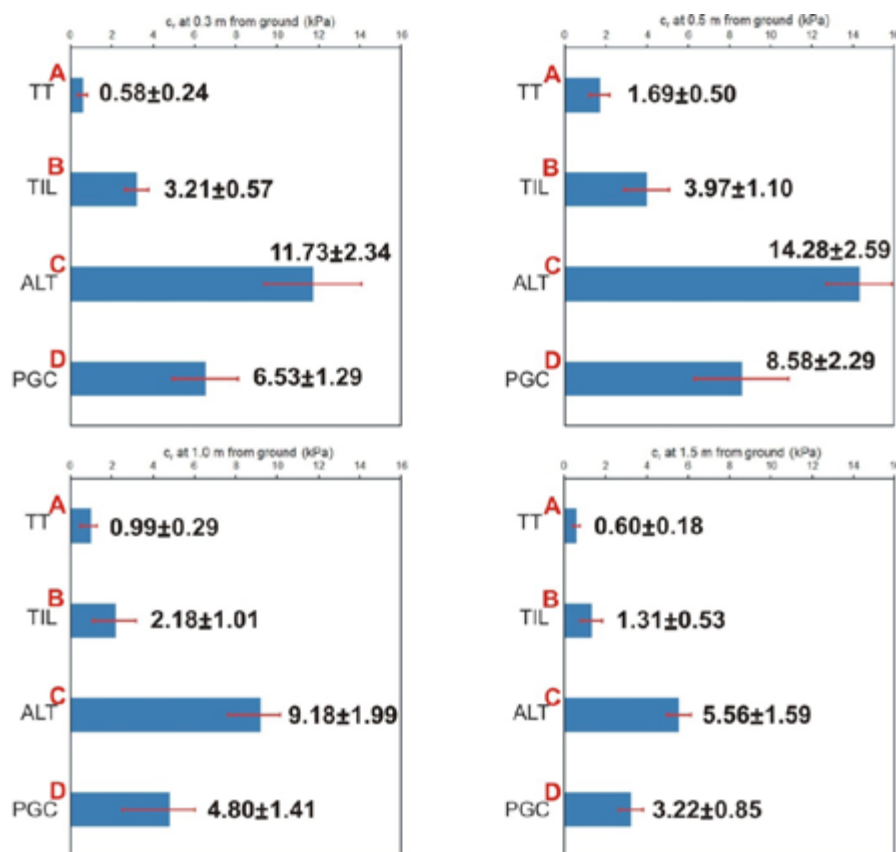


Figure 6. Mean and standard errors of root reinforcement (c_r) in vineyards with different inter-row management, measured at 0.3, 0.5, 1.0 and 1.5 m from ground

Interferenza dei fenomeni franosi con le infrastrutture viarie: un approccio metodologico per la gestione del rischio da frana

Interference of landslide events with road infrastructures: a methodological approach to landslide risk management

Parole chiave: analisi delle conseguenze, gestione del rischio, infrastrutture lineari
Key words: consequence analyses, risk management, linear infrastructures

Francesco Castelli

Facoltà di Ingegneria e Architettura,
Università degli Studi di Enna "Kore"
E-mail: francesco.castelli@unikore.it

Valentina Lentini

Facoltà di Ingegneria e Architettura,
Università degli Studi di Enna "Kore"
E-mail: valentina.lentini@unikore.it

Giosuè Distefano

Facoltà di Ingegneria e Architettura,
Università degli Studi di Enna "Kore"
E-mail: giosue.distefano@unikore.it

ABSTRACT

I fenomeni franosi generano un rischio elevato e diffuso per le persone e, più in generale, per gli elementi ed i beni esposti. In particolare, le infrastrutture viarie siciliane sono state interessate nel recente passato da numerosi fenomeni di dissesto con conseguenti ricadute sul sistema di Protezione Civile, dal momento che le infrastrutture di trasporto assumono un importante ruolo nella gestione delle emergenze.

Il presente lavoro rappresenta un contributo alle azioni intraprese dalla comunità scientifica, al fine di ridurre le conseguenze dei fenomeni franosi sul sistema antropico, ed è incentrato sull'analisi delle conseguenze indotte da eventi franosi sul sistema viario, con l'obiettivo di analizzare le infrastrutture che espongono gli utenti a maggior rischio di perdita della vita e proporre una gerarchizzazione delle priorità degli interventi. Lo studio, basato su un approccio metodologico per la stima quantitativa del rischio da frana, è finalizzato alla gestione efficace e sostenibile delle infrastrutture di trasporto nell'ambito delle attività di ricerca del Progetto PON CLARA "CLoud pLatform & smart underground imaging for natural Risk Assessment".

INTRODUZIONE

Il rischio, dato dalla combinazione di Pericolosità, Esposizione e Vulnerabilità, rappresenta il livello di danno complessivo associato ad un particolare evento che si può verificare in una determinata area e con un prefissato tempo di ritorno. Questa definizione può essere estesa al concetto di "analisi di rischio multi-hazard" (Fig. 1), con lo scopo di orientare programmi tecnici e politici alla mitigazione del rischio e di indiriz-

zare le risorse pubbliche laddove ci siano maggiori priorità. Questo approccio necessita del superamento del tradizionale metodo di gestione delle infrastrutture, basato sul conseguimento di standard prestazionali minimi e definiti in relazione all'importanza dell'infrastruttura e delle caratteristiche di esercizio ammesse sulla tratta. Esso non può prescindere dal tenere in considerazione, oltre gli aspetti legati alla funzionalità dell'infrastruttura e le condizioni strutturali del singolo manufatto, gli aspetti territoriali (Castelli *et al.*, 2016; Lentini *et al.*, 2018). Molte esperienze, infatti,

evidenziano la elevata vulnerabilità delle infrastrutture stradali rispetto a grandi eventi naturali, come: alluvioni, frane e terremoti (Fig. 2).

Ne deriva, dunque, la necessità di individuare degli indicatori associati ad ogni sorgente di rischio, opportunamente pesati al fine di dare adeguata importanza alle diverse componenti, che concorrono alla definizione di un "indice sintetico" che consente di definire il livello di rischio complessivo associato all'infrastruttura, permettendo la individuazione delle opere che necessitano in maniera prioritaria di interventi mitigazione.



Figura 1. Principali sorgenti di rischio per le infrastrutture lineari



Figura 2. Danneggiamenti causati da: a) alluvione, b) frana e c) sisma

Sulla base di queste considerazioni lo studio si propone di definire l'iter procedurale per la stima di un indicatore di stato espresso in termini di priorità di intervento, tenendo conto di cause di natura geotecnica (Castelli *et al.*, 2016; Lentini *et al.*, 2018), ed esprimendo con esso una valutazione dell'effettivo stato dell'infrastruttura stradale in relazione alla sua importanza nel contesto di rete.

APPROCCIO METODOLOGICO PER L'ANALISI DELLE CONSEGUENZE INDOTTE DA FENOMENI FRANOSI SULL'INCOLUMITÀ DEGLI UTENTI E GERARCHIZZAZIONE DELLE PRIORITÀ DEGLI INTERVENTI

Al fine di ottenere una gerarchizzazione delle priorità di intervento, scaturita sulla base di un reale valore di rischio, l'iter procedurale proposto si snoda attraverso un processo multifase che, sulla base di un'approfondita conoscenza del territorio, conduce all'individuazione delle infrastrutture più esposte a rischio ed alla scelta degli interventi di messa

in sicurezza, garantendo un'efficace e sostenibile pianificazione e gestione delle infrastrutture stradali.

Il metodo è applicato ad una scala di dettaglio piccola e, pertanto, lo stato di conservazione della singola opera diviene subordinato al ruolo che essa ricopre nel più ampio contesto della rete stradale.

La prima fase è mirata ad ottenere informazioni sullo stato attuale delle infrastrutture (caratteristiche geometriche, volumi di traffico e composizione), sull'importanza dell'infrastruttura nel contesto di rete e sul ruolo assunto dalla stessa nei Piani di Protezione Civile. Le informazioni acquisite in questa prima fase sono successivamente integrate con dati storici relativi a fenomeni di dissesto che hanno interessato le infrastrutture in esame. La seconda fase consiste nell'analisi di differenti scenari sulla base delle conseguenze indotte sul sistema dei trasporti. La terza fase riguarda l'assegnazione di un livello d'importanza strategica dell'arco stradale, funzione del ruolo svolto dallo stesso nel contesto di rete e della viabilità di protezione civile.

La fase finale consiste nella definizione dell'Indice di Priorità di Inter-

vento (IPI) da cui scaturisce l'ordine di priorità degli interventi da assegnare alle infrastrutture in esame.

L'approccio descritto è stato applicato alla rete costituita dalle strade statali della provincia di Enna.

INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA DI STUDIO

L'area di studio è il territorio provinciale di Enna (Regione Sicilia). La provincia di Enna, in generale, è caratterizzata da un clima che pur appartenendo alle tipologie climatiche mediterranee, assume caratteristiche di maggiore continentalità, dovute sia alla distanza dal mare, sia all'elevata quota. I territori compresi nell'area esaminata presentano una complessa articolazione geo-strutturale a cui corrisponde un susseguirsi di variazioni litologiche e conseguenti disuniformità morfologiche.

La prevalenza dei terreni poco permeabili rispetto a quelli permeabili influisce direttamente sul deflusso superficiale, determinando una maggiore azione erosiva operata dalle acque di precipitazione meteorica, soprattutto dove non è presente copertura vegetale.

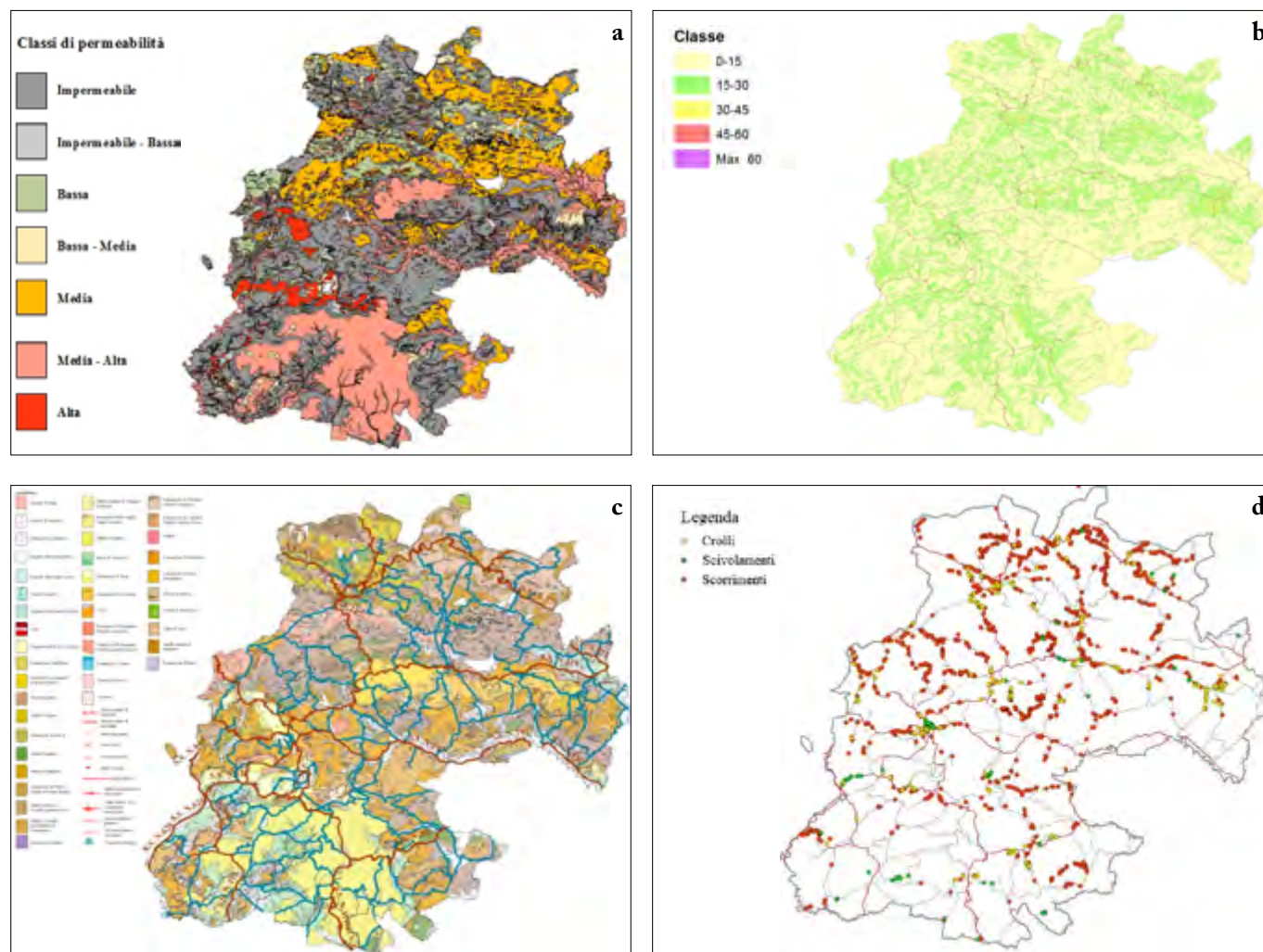


Figura 3. Sistema Gis per l'analisi della pericolosità geologica a) Carta della permeabilità, b) Carta delle acclività, c) Carta geologica, d) Carta inventario frane

Tali aspetti, aggiunti alla mancanza di manutenzione dei versanti e delle opere idrauliche, alla presenza di insediamenti ed infrastrutture in aree a rischio di instabilità, all'inadeguatezza dei progetti infrastrutturali, costituiscono causa di frequenti danneggiamenti e particolarmente al sistema viario lineare (Fig. 3).

In questo contesto si sviluppa una rete stradale, rappresentata principalmente dalle strade statali e provinciali, che assumono un ruolo importante nella gestione delle emergenze poiché fungono da vie di fuga nei Piani Provinciali di Protezione Civile.

DEFINIZIONE DEL SISTEMA, IDENTIFICAZIONE E CARATTERIZZAZIONE DEI FENOMENI FRANOSI

Uno degli step che costituisce la prima fase dell'iter proposto è rappresentato dal censimento dei nodi di interferenza tra fenomeni di dissesto e infrastrutture stradali. In questo senso, il lavoro svolto costituisce un contributo alle attuali conoscenze delle situazioni di potenziale criticità delle infrastrutture stradali che si sviluppano nel territorio regionale.

I fenomeni di dissesto (Fig. 3f) censiti dal Dipartimento della Protezione Civile della Regione Siciliana, sono ricondotti ad una delle tipologie della seguente classificazione:

- *Crolli*: improvvisi distacchi o ribaltamenti di blocchi di roccia in presenza di elevata pendenza della scarpata;
- *Scivolamenti*: fenomeni riconducibili a colamenti di terra o detriti.
- *Scorrimenti*: movimenti di terreno lungo superfici di rottura di forma piana o circolare.

La classificazione proposta non tiene conto delle espansioni laterali, delle deformazioni gravitative profonde di versante e dei movimenti lenti superficiali, essendo questi movimenti caratterizzati da basse velocità di spostamento che solitamente inducono effetti sulla sede stradale generalmente gestibili attraverso interventi di manutenzione ordinaria.

DEFINIZIONE DEGLI SCENARI DI INCIDENTALITÀ E ANALISI DELLE CONSEGUENZE INDOTTE DALLE FRANE

Il modello utilizzato per l'analisi delle conseguenze si basa sull'approccio metodologico proposto da Fell *et al.* (2005) per la stima quantitativa del rischio da frana e consiste nel calcolo del rischio attraverso la seguente equazione che consente di determinare la probabilità annuale che una persona possa perdere la vita $P_{(LOL)}^i$:

$$P_{(LOL)}^i = P_{(L)}^i \cdot P_{(T:L)}^i \cdot P_{(S:T)} \cdot V_{(D:T)}^i \quad (1)$$

dove $P_{(L)}^i$ è la probabilità annuale che si verifichino degli eventi franosi di una data magnitudo; $P_{(T:L)}^i$ è la probabilità che la frana raggiunga l'elemento a rischio; $P_{(S:T)}$ è la probabilità spazio temporale dell'elemento a rischio; $V_{(D:T)}^i$ è la vulnerabilità della persona rispetto all'evento franoso.

La perdita annuale di vite umane, determinata da n movimenti franosi assunti indipendenti tra loro, può essere calcolata mediante la seguente relazione:

$$P_{(LOL)} = \sum_{i=1}^n (P_{(L)}^i \cdot P_{(T:L)}^i \cdot P_{(S:T)} \cdot V_{(D:T)}^i) \quad (2)$$

La probabilità annuale $P_{(L)}^i$ che si verifichi un fenomeno di assegnata intensità è stata effettuata sulla base dei movimenti franosi censiti distinti in tre classi (A, B e C) in relazione al volume di materiale coinvolto e depositato sulla sede stradale. Quest'ultima è calcolata in termini di eventi/anno/km con riferimento a fenomeni di crollo (CR), scivolamento (SCV) e scorrimento (SCR) (Tab. 1).

Una parte essenziale del processo di analisi del rischio è la previsione del meccanismo di collasso e del percorso del fenomeno franoso ("runout") al fine della determinazione della probabilità che la frana raggiunga l'elemento a rischio.

Per le strutture e le infrastrutture che si trovano sulla direzione principale della frana si assume un valore di $P_{(T:L)}$ unitario.

La probabilità spazio-temporale $P_{(S:T)}$, che rappresenta la probabilità che l'elemento a rischio si trovi nell'area interessata dal pericolo al momento del suo verificarsi, è valutata in funzione di tre differenti scenari di incidentalità:

- a) scenario 1: incidenti (eventi) causati dall'impatto diretto del materiale in frana contro il veicolo in movimento;
- b) scenario 2: incidenti determinati dall'impatto di un veicolo contro il materiale franato e depositato sulla carreggiata;
- c) scenario 3: eventi determinati dall'impatto diretto del materiale in frana contro un veicolo fermo.

Tabella 1. Valori di $P_{(L)}$ calcolati per le strade statali

| ID | Crolli [n°] | Scivolamenti [n°] | Scorrimenti [n°] | Estesa [km] | $P_{(L)}^{PCR}$ | $P_{(L)}^{PSCV}$ | $P_{(L)}^{PSCR}$ |
|-----------|-------------|-------------------|------------------|-------------|-----------------|------------------|------------------|
| SS-121 | 14 | 2 | 61 | 80.6 | 0.174 | 0.025 | 0.757 |
| SS-288 | 9 | 6 | 10 | 20.5 | 0.439 | 0.293 | 0.488 |
| SS-290 | 2 | 0 | 28 | 22.7 | 0.088 | 0 | 1.233 |
| SS-117 | 14 | 0 | 40 | 41.51 | 0.337 | 0 | 0.963 |
| SS-120 | 18 | 1 | 105 | 59.9 | 0.300 | 0.017 | 1.752 |
| SS-560 | 1 | 1 | 0 | 10.4 | 0.096 | 0.096 | 0 |
| SS-575 | 4 | 2 | 26 | 24.7 | 0.161 | 0.081 | 1.052 |
| SS-117BIS | 12 | 1 | 14 | 57.9 | 0.207 | 0.017 | 0.242 |
| SS-122 | 1 | 6 | 2 | 78.32 | 0.0127 | 0.0766 | 0.026 |
| SS-192 | 3 | 0 | 9 | 47.2 | 0.0635 | 0 | 0.191 |

Per la stima della probabilità spazio-temporale che un veicolo si trovi a percorrere l'infrastruttura stradale in esame contemporaneamente all'accadimento del fenomeno franoso (Scenario 1) può essere utilizzata l'espressione proposta da Bunce *et al.* (1997) e Fell *et al.* (2005).

$$P_{(S:T)} = \frac{N_V}{24} \times \frac{L_V}{1000} \times \frac{1}{V_V} \quad (3)$$

dove N_V è il traffico giornaliero medio, L_V è la lunghezza media del veicolo e V_V è la velocità di percorrenza.

La velocità media di viaggio (V_V) può essere calcolata a partire dalla velocità di flusso libero di base e tenendo in considerazione le reali condizioni funzionali e geometriche della strada, secondo la procedura illustrata e descritta in Highway Capacity Manual (2010) del Transportation Research Board.

Nello scenario 2 (impatto di un veicolo in movimento contro il materiale depositatosi sulla carreggiata) la probabilità spazio-temporale, $P_{(S:T)}$, può essere calcolata secondo la relazione proposta da Roberds (2005).

$$P_{(S:T)} = 1 - \Phi \left\{ \frac{\ln(V_x) - \ln(m[V_d])}{\ln(COV(V_d) \times m[V_d])} \right\} \quad (4)$$

dove V_x è la distanza di arresto disponibile, che è il minimo tra la metà della distanza tra due veicoli (V_s) e la distanza massima di visuale libera; $m[V_d]$ è la distanza di arresto nominale; $COV[V_d]$ è il coefficiente di variazione della distanza di arresto; $\Phi\{\}$ rappresenta la distribuzione cumulata normale standard.

La distanza media tra i veicoli V_s è stata determinata come segue (Roberds, 2005):

$$V_s = [V_V / \lambda\{V\}] - V_L \quad (5)$$

essendo V_V la velocità del veicolo, $\lambda\{V\}$ la frequenza veicolare e V_L la lunghezza del veicolo.

La distanza di arresto nominale del veicolo è ricavabile dalla seguente (Roberds, 2005):

$$m[V_d] = V_t \times V_V + V_\alpha \times V_V^2 \quad (6)$$

dove V_t è il tempo di percezione e reazione del guidatore che intercorre tra il momento in cui percepisce l'ostacolo e quando inizia l'operazione di frenata, che è funzione delle proprietà ottiche e percettive del guidatore; V_α rappresenta il coefficiente di frenata del veicolo.

Nel caso dello scenario 3 (impatto di una frana su un veicolo fermo), la probabilità spazio-temporale $P_{(S:T)}$ può essere espressa come:

$$P_{(S:T)} = P_{(T:P)} \times P_{(S:P)} \quad (7)$$

$P_{(T:P)}$ è la probabilità temporale che un veicolo sia sulla strada nello stesso momento in cui si verifica la frana e si calcola come parte del tempo, in ore, in cui il veicolo è a rischio.

$P_{(S:P)}$ è la probabilità spaziale che un veicolo si trovi sulla traiettoria della frana ed è calcolata attraverso la seguente relazione:

$$P_{(S:P)} = (L_V / L_v + S_v) \quad (8)$$

dove L_v è la lunghezza del veicolo e S_v è la distanza tra due veicoli.

La probabilità spazio-temporale è stata valutata in funzione del traffico giornaliero medio, della lunghezza media del veicolo e della velocità media di viaggio. Quest'ultima è stata determinata sulla base della velocità di flusso libero di base, pari a 100 km/h (velocità di progetto secondo il DM n.6792 del 5 novembre 2011), tenendo in considerazione le reali caratteristiche delle strade ed ipotizzando una percentuale di veicoli pesanti pari al 25% e una distribuzione omogenea del traffico sulle due corsie, assumendo una lunghezza media dei veicoli pari a 4 metri.

In riferimento allo scenario 3, la probabilità spazio-temporale è stata calcolata nell'ipotesi che un veicolo si trovi fermo sulla carreggiata interessata dalla frana per circa 30 minuti in un anno.

La vulnerabilità $V_{(D:T)}$ rappresenta il grado di perdita (o danno) di un dato elemento, o insieme di elementi all'interno dell'area interessata dal pericolo. Per tenere in considerazione la dipendenza del danno dalla tipologia di movimento e dall'entità del movimento franoso sono stati considerati tre scenari di danno differenti, ciascuno corrispondente a tre differenti classi di eventi (Tab. 2. Classi di vulnerabilità) caratterizzati da diversi volumi di materiale trasportato sull'infrastruttura.

Assumendo che un'infrastruttura versi in uno stato non accettabile e non più compatibile con le esigenze sociali quando il valore di probabilità di perdita di vite umane risulta superiore alla soglia di tollerabilità stabilita dal Geotechnical Engineering Office di Hong Kong pari a 10^{-4} (AGS, 2007) si è definito l'Indice di Severità I_S l'indicatore del livello di debolezza dell'infrastruttura connesso al rischio a cui sono esposti gli utenti a seguito di un evento franoso.

Tabella 2. Classi di vulnerabilità per utenti esposti a rischio da crolli, scivolamenti e scorrimenti

| Classe | Volume [mc] | $V_{(D:T)}$ |
|----------------------------|------------------|-------------|
| Crolli | | |
| A | <1 | 0,3 |
| B | 1-10 | 0,5 |
| C | >10 | 1 |
| Scivolamenti e Scorrimenti | | |
| A | <10 ² | 0,01 |
| B | 102-103 | 0,1 |
| C | >10 ³ | 1 |

Tabella 3. Valori dell'Indice di Severità

| I_S | Livello | $P_{(LOL)}$ | I_S |
|-------|-------------|---|-------|
| A | Molto alto | $P_{(LOL)} > 10^{-3}/\text{anno}$ | 50 |
| B | Alto | $10^{-4} < P_{(LOL)} < 10^{-3}/\text{anno}$ | 40 |
| C | Moderato | $10^{-5} < P_{(LOL)} < 10^{-4}/\text{anno}$ | 30 |
| D | Basso | $10^{-6} < P_{(LOL)} < 10^{-5}/\text{anno}$ | 20 |
| E | Molto basso | $< 10^{-6}/\text{anno}$ | 10 |

Il livello di severità, identificato da una lettera e da un relativo valore numerico (Tab. 3), ed è indicativo delle mancate condizioni di sicurezza nella quale versa l'infrastruttura in esame.

ASSEGNAZIONE DEL LIVELLO D'IMPORTANZA STRATEGICA

La misura della qualità della circolazione ha sicuramente un peso rilevante ai fini della pianificazione degli interventi e fornisce un'indicazione sulle criticità che possono derivare dalle condizioni operative delle infrastrutture stradali.

L'indicatore generalmente utilizzato per esprimere una misura della qualità della circolazione è il livello di servizio. Pertanto si definisce l'indice di qualità I_Q ($0 < I_Q < 50$) corrispondente ai sei livelli di servizio minimi previsti dal DM 5.11.2001 (Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade) per ogni categoria di strada e secondo quanto prescritto dal Highway Capacity Manual (Transportation Research Board, 2010).

L'indice di importanza, I_{IMP} , identifica le infrastrutture di importanza ridotta ($I_{IMP}=5$) e le infrastrutture di fondamentale importanza per l'assetto viario territoriale ($I_{IMP}=50$), per le quali dovrebbe sempre essere garantita la funzionalità necessaria allo svolgimento del servizio. I valori numerici che classificano il tipo di strada sono assegnati in analogia a quanto previsto dal DM 05.11.2001 "Norme Funzionali e geometriche per la costruzione delle strade" (rete primaria: $I_{IMP} = 50$; rete principale: $I_{IMP} = 35$; rete secondaria: $I_{IMP} = 20$; rete locale: $I_{IMP} = 5$).

L'indice di protezione civile (I_{PC}) permette di tenere in considerazione l'importanza dell'infrastruttura in esame nella rete di protezione civile e della presenza o meno di percorsi alternativi. L'indice I_{PC} varia tra 0 e 50 ed, in particolare:

- Infrastruttura non facente parte di un tratto di viabilità strategica ($I_{PC} = 0$);
- Infrastruttura facente parte di un tratto di viabilità strategica ($I_{PC} = 50$).

INDIVIDUAZIONE DELLE INFRASTRUTTURE DI PRIORITARIO INTERVENTO

Sulla base dei risultati scaturiti dall'analisi delle conseguenze degli eventi franosi, in relazione alla qualità e all'importanza dell'infrastruttura, viene proposta una suddivisione dell'infrastruttura, associando un differente indice di priorità di intervento alle diverse parti della stessa, ai fini della pianificazione degli interventi di Protezione Civile.

L'Indice di Priorità di Intervento (I_{PI}) rappresenta l'indicatore finale sul quale è possibile basare in prima approssimazione la pianificazione degli interventi di messa in sicurezza delle infrastrutture presenti sul territorio, il valore scaturisce dal

prodotto dell'indice di severità I_S e del coefficiente α ($1,05 < \alpha < 2,50$).

$$I_{PI} = I_S \times \alpha \quad (9)$$

dove α è definito dalla seguente:

$$\alpha = 1 + \frac{I_Q + I_{IMP} + I_{PC}}{100} \quad (10)$$

L'Indicatore di Priorità di Intervento (I_{PI}) è nullo quando presenta una probabilità di perdita di vite umane da eventi franosi nulla o in presenza di interventi di protezione ($I_S = 0$), indipendentemente dal valore assunto dagli altri indicatori. Ne consegue che a parità di condizioni, l'intervento più urgente sia relativo all'opera con indici di importanza e di protezione civile più elevati (Fig. 4).

APPROFONDIMENTI ALLA SCALA DI DETTAGLIO

Una volta individuate le infrastrutture più esposte a rischio, il successivo step è costituito da analisi approfondite alla scala di dettaglio al fine di individuare gli interventi di mitigazione o protezione.

L'area di studio ricade all'interno del Comune di Enna, ed in particolare il versante compreso tra la strada panoramica SP51 e la SS117bis (Fig 5), quest'ultima caratterizzata da elevato rischio di perdita di vite umane.

Il versante, nella notte tra l'1 e il 2 febbraio del 2014, è stato soggetto ad un intenso evento temporalesco che ha causato una colata detritica dovuta al distacco di un ingente volume di materiale. Il fenomeno franoso ha causato l'isolamento del comune di Enna in quanto il materiale franato ha occupato l'intera carreggiata della SS117bis, che rappresenta l'unica arteria stradale che collega il comune di Enna con l'autostrada A19 (Palermo-Catania). Tramite indagini eseguite in situ e prove di laboratorio, sono state desunte le proprietà fisiche e le caratteristiche meccaniche del materiale costituente la colata detritica (Castelli, 2017). Successivamente, è stato eseguito il rilievo topografico del versante mediante una metodologia di foto-modellazione, a partire da una mappatura fotografica ottenuta per telerilevamento con UAV, con posizionamento geografico GPS di supporto a terra.

Per il telerilevamento è stato utilizzato un drone quadricottero DJI modello SPARK. Il rilievo è stato condotto impostando una quota media di

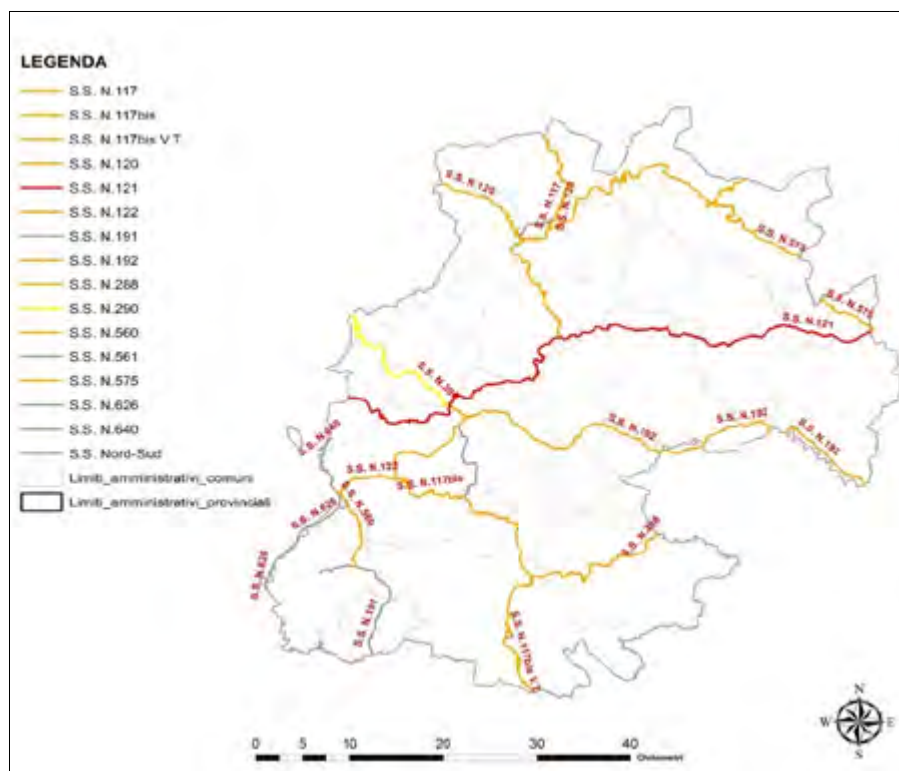


Figura 4. Livelli di urgenza di intervento



Figura 5. Inquadramento generale del versante oggetto di studio

volò di 40 m. Sono stati acquisiti 1914 fotogrammi, durante 8 missioni di volo effettuate tra il 22 maggio 2018 e il 16 ottobre 2018, ognuna delle quali della durata totale di circa 30 minuti. Mediante foto modellazione è stato possibile convertire i dati raster di un set di fotogrammi, opportunamente acquisiti, in un modello tridimensionale del sito a nuvola di punti, ovvero costituito da milioni di punti in coordinate tridimensionali, con texture fotografica applicata, ovvero anche in grado di restituire informazioni cromatiche.

Si è quindi proceduto alla generazione del Digital Elevation Model DEM (Fig 6) del sito e di una ortofoto in vista dall'alto.

È stata effettuata un'analisi geomorfologica dei fenomeni visibili in superficie ed un'analisi morfologica del versante, condotta in ambiente GIS, al fine di estrapolare i dati necessari per l'analisi della risposta del bacino di riferimento agli eventi pluviometrici intensi e per la stima della portata di fango depositata sulla sede stradale. La modellazione

numerica della colata è stata eseguita mediante il codice di calcolo FLO-2D. FLO-2D si basa su un'analisi di tipo bi-dimensionale a fondo fisso, nel caso in cui si stia simulando una colata detritica, o mobile, nel caso in cui si simuli un evento di trasporto solido. Esso consente di predire l'area di inondazione, la velocità e lo spessore del flusso per ogni cella dell'area considerata (Castelli et al., 2017). Sulla base di tali risultati, è possibile individuare gli interventi atti a ridurre il rischio di perdita di vite umane da fenomeni franosi.

RISULTATI E DISCUSSIONE

Nel presente lavoro è stata messa in evidenza la necessità di un sistema di gestione delle infrastrutture di trasporto basato su una analisi del rischio di tipo olistico finalizzato al conseguimento di standard minimi di sicurezza offerti all'utente.

Lo studio è finalizzato all'elaborazione di una procedura per l'individuazione delle infrastrutture di prioritario intervento e ne fornisce una base teorica ed una guida pratica per la gestione.

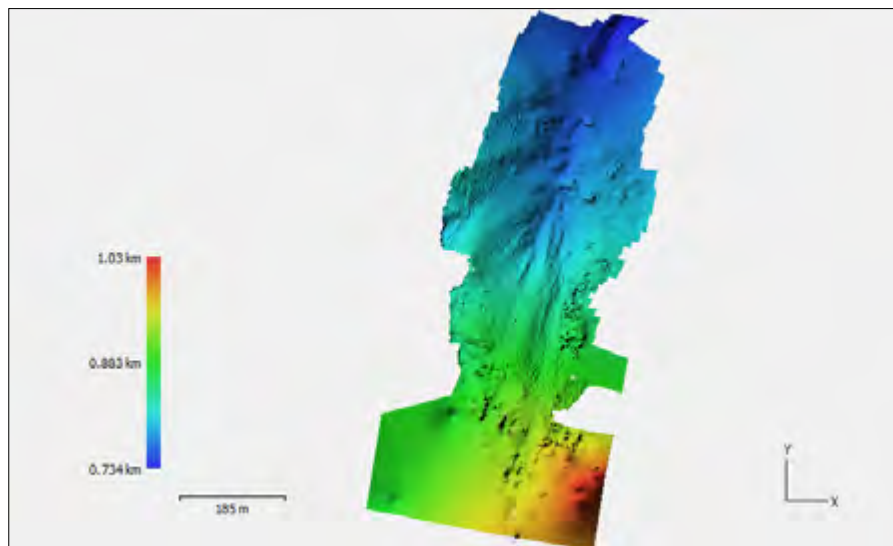


Figura 6. Modello digitale dell'area oggetto di studio

Al fine di ottenere un efficace sistema di gestione delle infrastrutture, che tenga conto delle interazioni tra infrastruttura e territorio, appare urgente la definizione condivisa di un costo del rischio dovuto all'innescò di fenomeni franosi sulla rete infrastrutturale che si è disposti ad accettare o tollerare.

BIBLIOGRAFIA

- AGS (2007), *Practice note guidelines for landslide risk management*. Aust. Geomechanics Soc. Aust. Geomech. Vol.42, no.1, pp.62-114. ISSN: 0818-9110.
- BUNCE C.M., CRUDEN D.M., MORGENSTERN N.R. (1997), *Assessment of the hazard from a rockfall on a highway*. Canadian Geotechnical Journal, Vol.34, pp.344-356.
- CASTELLI F., FRENI G., LENTINI V., FICHERA A. (2017), *Modelling of a debris flow event in the Enna area for hazard assessment*. Proceedings of 1st International Conference on the Material Point Method, MPM 2017, Delft, January 10-13, 2017, Procedia Engineering 175 (2017), 287-292. DOI: 10.1016/j.pro-eng.2017.01.026.
- DISTEFANO G. (2019), *Aspetti geotecnici nella gestione delle infrastrutture di trasporto: una procedura per la gerarchizzazione delle priorità di intervento*. Tesi di Dottorato di Ricerca in Infrastrutture Civili per il Territorio XXXI Ciclo, Università degli Studi di Enna Kore.
- FELL R., HO K.S., LACASSE S., LEROI, E. (2005), *A framework for landslide risk assessment and management*. In: Hungr O., Fell R., Couture R., Eberhardt E. (Ed.). *Landslide risk management*. Taylor & Francis, London, pp.3-26.
- LENTINI V., DISTEFANO G., CASTELLI F. (2018), *Consequence analyses induced by landslides along transport infrastructures in the Enna area (South Italy)*. Bulletin of Engineering Geology and the Environment. Online: 26 September 2018. <https://doi.org/10.1007/s10064-018-1390-7>.
- LENTINI V., CASTELLI F., DISTEFANO G. (2019), *Management of Transport Infrastructures: A Procedure to Assess the Landslide Risk*. In: Calvetti F., Cotecchia F., Galli A., Jommi C. (eds) *Geotechnical Research for Land Protection and Development*. CNRIG 2019. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 40. Springer, Cham, pp 121-128, 23 Giugno 2019 National Conference of the Researchers of Geotechnical Engineering. Online ISBN 978-3-030-21359-6 Print ISBN 978-3-030-21358-9. DOI https://doi.org/10.1007/978-3-030-21359-6_13.
- ROBERDS W. (2005), *Estimating temporal and spatial variability and vulnerability*. In: Hungr O., Fell R., Couture R., Eberhardt E. (Ed.). *Landslide risk management*. Taylor & Francis, London, pp. 129-157.
- TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, (2010), *National Research Council. Highway Capacity Manual*. Washington, D.C. 2000. ISBN 0-309-06681-6.

Analisi dei danni da frana in un'area campione del Sub-Appennino Dauno (Italia meridionale)

Decaro K.⁽¹⁾,
Cardinali M.⁽²⁾,
Pisano L.⁽²⁾,
Zumpano V.⁽²⁾,
Parise M.^{(1,2)*}

*Autore di riferimento/reference author
E-mail: mario.parise@uniba.it

⁽¹⁾ Università Aldo Moro, Dipartimento Scienze della Terra e Geoambientali, Bari
⁽²⁾ CNR - Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica

Analysis of landslide damage in an area of the Dauno Sub-Appennine (Southern Italy)

Parole chiave: frane, danni, pericolosità, cartografia, Daunia
Key words: landslide, damage, hazard, mapping, Daunia

RIASSUNTO

Il presente lavoro riguarda l'analisi dei danni da frana nel comune di Celenza Valfortore, nel Sub-Appennino Dauno, in provincia di Foggia (Puglia). In un'area intensamente modellata da fenomeni gravitativi, molti dei quali in stato attivo o quiescente, è stata svolta un'analisi dei metodi ed approcci disponibili in letteratura, relativi agli effetti prodotti da fenomeni franosi su edifici e infrastrutture antropiche. Avendo individuato il metodo proposto da Chiocchio, Iovine & Parise (1997) come il più appropriato agli obiettivi dello studio, si è proceduto al rilevamento dei danni da frana, ed alla redazione di carte del danno. Queste sono state confrontate con recenti carte inventario delle frane per lo stesso settore, derivanti da analisi multitemporale di fotografie aeree. Lo studio ha evidenziato come l'attenta analisi dei danni riscontrati su edifici e infrastrutture possa essere un valido supporto alla tradizionale analisi fotointerpretativa in aree a forte urbanizzazione, all'interno delle quali le evidenze morfologiche risultano spesso mascherate dalla presenza di edifici.

ABSTRACT

This study focuses on the analysis of the damage induced by landslides on buildings and infrastructures in an area of the Dauno Sub-Appennine (Southern Italy), specifically in the village of Celenza Valfortore (Foggia province). At the site, the overall morphology is strongly controlled by the presence and evolution of landslides like flows, slumps and complex slope movements (rotational slides evolving in flows). The first step of the study consisted in the choice of the methods available in literature, which led to choose that proposed by Chiocchio, Iovine & Parise (1997) as the most appropriate. Then, a field analysis was undertaken with the purpose

of identifying the damage produced by landslides on buildings and infrastructures in order to attribute a level of damage to each area investigated. The last step was to complete a map regarding the damage produced by landslides, and to compare it with the landslide inventory map recently produced for the area.

From the analysis of the map completed at the end of the study, a strong correlation appears between the level of severity of the damages observed and the location of the landslides recognized through aerial photointerpretation. Furthermore, it can be useful to refer to the map of damage developed

to find the presence or the effects of the landslides that are hidden by the intense urbanization of the areas threatened by mass movements.

INTRODUZIONE

I fenomeni di instabilità dei versanti sono all'origine di severi danni e perdite economiche per le aree urbanizzate e le infrastrutture di comunicazione. La valutazione dei danni prodotti da eventi franosi è un tema delicato, non sempre facilmente individuabile, a causa della copertura che l'antropizzato determina sulle originarie morfologie, rendendo difficoltoso il riconoscimento dei limiti

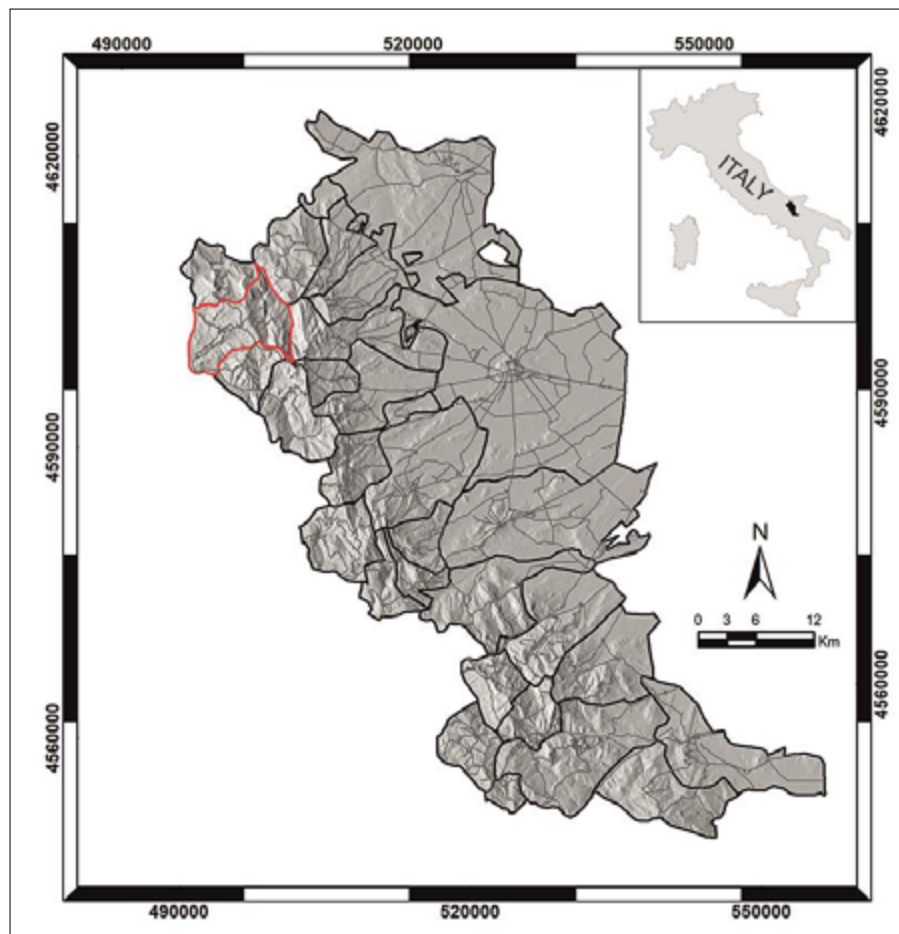


Figura 1. Ubicazione dell'area di studio, con indicazione in nero dei limiti dei comuni della Daunia, e in rosso il comune di Celenza Valfortore. In grigio più scuro rispetto allo shade del DEM sono riportate le strade principali

delle frane. In questo lavoro si presenta uno studio combinato che, includendo l'analisi sul campo dei danni osservati a edifici e strutture antropiche, conferma le indicazioni derivanti dai classici metodi di interpretazione stereoscopica foto-geologica delle carte inventario delle frane.

ASSETTO GEOLOGICO E INQUADRAMENTO TETTONICO

Celenza Valfortore (provincia di Foggia) è un comune di 1700 abitanti circa (dati 2011) che si estende su una superficie di circa 66,5 kmq, sulla cima di una collina nel bacino del Fiume Fortore, ad est del Lago di Occhito. In particolare, l'abitato è situato nella fascia collinare del fronte orientale del Sub-Appennino Dauno, nella Puglia nord-occidentale (Fig. 1).

La Daunia fa parte di un'area che, a partire dal Miocene inferiore, è stata coinvolta da complessi meccanismi orogenetici che hanno portato alla suddivisione della regione in tre domini (Gallicchio *et al.*, 2011): la Catena Appenninica (rappresentata dai Monti della Daunia), l'Avampese Apulo (aree delle Murge, del Gargano e del Salento) e l'Avanfossa (corrispondente alle aree più depresse: Fossa Bradanica e Tavoliere delle Puglie).

Le unità affioranti nell'area di studio (Unità Tettonica del Fortore e Unità Tettonica della Daunia) fanno parte delle Unità di Catena. In particolare, la prima è sovrapposta alla seconda mediante un sovrascorrimento immergente verso WSW, con direzione del trasporto tettonico verso E (Jacobacci *et al.*, 1967; Dazzaro & Rapisardi, 1987); lungo di esso si determina la sovrapposizione dell'Unità del Fortore e delle soprastanti Formazioni di San Bartolomeo e delle Marne argillose del Toppo Capuana sui depositi calcareo-marnosi del Flysch di Faeto (Iovine *et al.*, 1996). L'Unità Tettonica della Daunia è sovrapposta all'Unità della Fossa Bradanica; attraverso tale sovrascorrimento si marca il limite tra i materiali alloctoni ed i depositi pleistocenici della Fossa Bradanica (Iovine *et al.*, 1996).

Dal punto di vista litologico, l'Unità Tettonica del Fortore è a sua volta suddivisa in due successioni sedimentarie, entrambe risalenti al Cretaceo-Miocene, depositatesi nelle zone più interne del Bacino Lagonegrese-Molisano. Sulla base di caratteri stratigrafici e tettonici viene suddivisa nelle due sotto-unità di Vallone Grande e di Volturara Appula (Pieri *et al.*, 2011): la prima è costituita

dalle unità litostratigrafiche delle Argille Varicolori (Cretaceo sup.-Oligocene; argille marnose scagliose, argilliti policrome, calcari marnosi e marne silicizzate, calcareniti torbiditiche con intercalazioni di arenarie litiche; assetto generale caoticizzato, spessore stimato circa 100 m), Tufiti di Tusa (Miocene inf.; alternanza di litoareniti vulcanoclastiche ricche in muscovite, calcareniti giallastre e argille siltose grigio scure, di spessore decimetrico; in concordanza sulle Argille Varicolori, spessore 300 metri), e Flysch Numidico (Burdigaliano-Langhiano inf.; quarzareniti medio-grossolane con elevato grado di maturità composizionale e tessiturale e alto grado di cementazione; in contatto discordante sulle Tufiti di Tusa, spessore di circa 20 m); la seconda, invece, comprende il Flysch Rosso (Cretaceo-Aquitano; argilliti grigio-verdi e rossastre, con intercalazioni di diaspri neri; spessore stimato 300 m; deformato, in gran parte ricoperto da una coltre eluvio-colluviale e da corpi di frane superficiali) e il Flysch Numidico. Entrambe le successioni delle due sotto-unità passano in discordanza verso l'alto al Flysch di San Bartolomeo (Langhiano ? - Tortonianiano sup.; alternanza di areniti silicoclastiche, conglomerati, marne argillose e argille siltose; in discordanza angolare sulle Tufiti di Tusa; spessore massimo affiorante di 500 m) (Pieri *et al.*, 2011).

L'Unità tettonica della Daunia (Cretaceo-Miocene) rappresenta invece l'unità più esterna della Catena Appenninica, ed è costituita dalle unità litostratigrafiche del Flysch Rosso (Cretaceo inf.-Burdigaliano inf.), Flysch di Faeto (Burdigaliano sup.-Tortoniano inf.), e Marne argillose del Toppo Capuana (Tortoniano-Messiniano inf.); su di esse poggiano in discordanza depositi sabbioso-conglomeratici di ambiente di transizione.

Per quanto riguarda gli aspetti tettonici, nell'ambito della Unità Tettonica del Fortore si osserva un retroscorrimento immergente verso NE, che determina l'accavallamento a SW della Sotto-unità di Volturara Appula su quella di Vallone Grande; tale retroscorrimento modifica il rapporto originario, caratterizzato dalla sovrapposizione verso E della Sotto-unità di Vallone Grande sulla Sotto-unità di Volturara Appula (Pieri *et al.*, 2011).

Il quadro tettonico dell'area appenninica è completato dalla presenza di faglie sia distensive che a componente prevalentemente trascorrente; queste ultime, con movimento destro ed orientate principalmente verso SW-NE, di-

slocano il contatto tettonico tra l'Unità Tettonica del Fortore e l'Unità Tettonica della Daunia (Pieri *et al.*, 2011).

METODI DI ANALISI DELLA FRANOSITÀ

Per la stima della pericolosità da frana, della vulnerabilità delle strutture, delle infrastrutture e della popolazione, e per la valutazione delle condizioni di rischio (specifico e totale) è stata definita dal CNR IRPI una metodologia di lavoro (Cardinali *et al.*, 2002; Reichenbach *et al.*, 2005) che ha come obiettivo la perimetrazione delle aree soggette a rischio da frana e la valutazione preliminare dei livelli di rischio. Essa si basa sull'osservazione e lo studio delle condizioni dei versanti, e utilizza tecniche e strumenti propri dell'analisi geomorfologica, per la stima della loro evoluzione spaziale e temporale. Nel dettaglio, il metodo si basa sul riconoscimento delle frane esistenti e passate, sullo studio del locale assetto geologico e morfologico, e sull'analisi delle informazioni di indagini di sito e storiche relative ad eventi franosi passati.

Lo studio è condotto attraverso l'interpretazione di immagini aeree stereoscopiche di anni e scale diverse (4 voli IGMI dal 1954 al 2003), la mappatura in campo, e la revisione critica delle indagini realizzate nei siti specifici atte a valutare problemi di instabilità locale. La carta inventario multi-temporale riporta la distribuzione delle frane esistenti e passate e le loro modificazioni osservate in un arco temporale di circa 50 anni. I cambiamenti nella distribuzione e tipologia delle frane sono di grande importanza per la comprensione della possibile evoluzione dei versanti e del tipo di movimento più probabile che si potrà verificare con una determinata frequenza e intensità. Queste informazioni saranno quindi utili per valutare la pericolosità da frana e per stimare il rischio associato.

La metodologia richiede geomorfologi esperti nel riconoscimento e analisi dei processi di versante. I livelli di pericolosità e di rischio da frana vengono espressi utilizzando un indice posizionale che esprime, in un formato semplice e compatto, informazioni sulla frequenza delle frane, l'intensità o magnitudo delle frane e sul danno più probabile atteso sul bene (strutture, infrastrutture e popolazione) a seguito del verificarsi del movimento franoso.

La procedura include le seguenti fasi:

- delimitazione dell'area oggetto di studio;

- produzione della carta inventario multi-temporale dei movimenti franosi;
- classificazione delle frane per tipologia, intensità e ricorrenza temporale;
- valutazione delle condizioni di pericolosità da frana;
- identificazione degli scenari evolutivi o aree a rischio da frana;
- individuazione degli elementi a rischio;
- valutazione della vulnerabilità e del danno atteso;
- valutazione delle condizioni di rischio specifico;
- stima del rischio totale.

La delimitazione dell'area di studio ha lo scopo di definire in modo esplicito e univoco l'estensione del territorio all'interno del quale viene applicata la metodologia per l'individuazione delle condizioni di rischio da frana. Considerato che i movimenti franosi avvengono (in prevalenza) all'interno dei versanti, ossia in aree morfologiche comprese fra crinali e linee di drenaggio, l'area oggetto di studio viene delimitata utilizzando semplici criteri morfologici. All'interno dell'area individuata nell'intorno del centro abitato è necessario conoscere la distribuzione spaziale delle frane. Ciò è giustificato dall'osservazione che le frane tendono a ripetersi (nel tempo) là dove (nello spazio) si sono verificate in passato, in corrispondenza o nelle vicinanze di altri movimenti franosi, o comunque negli stessi ambiti geomorfologici (Cardinali *et al.*, 2002; Reichenbach *et al.*, 2005). La conoscenza della franosità passata è quindi propedeutica alla stima delle condizioni attuali e future di pericolosità da frana di un territorio (Carrara *et al.*, 1995, 1999; Guzzetti *et al.*, 1999).

La conoscenza quantitativa (e per quanto possibile oggettiva) della distribuzione spaziale delle frane può essere realizzata attraverso la preparazione di una carta inventario. Per realizzare carte inventario possono essere utilizzate diverse tecniche fra cui l'interpretazione foto-geologica e foto-geomorfologica del territorio, integrata da indagini di campagna (anche puntuali) e dallo studio dei documenti esistenti in letteratura (Guzzetti *et al.*, 1999; Parise & Wasowski, 1999; Parise, 2001). Per la realizzazione di carte inventario con tecniche foto-geologiche è importante la disponibilità di fotografie aeree di età e scala diverse. L'analisi di più voli di fotografie aeree, integrata da informazioni bibliografiche, d'archivio o cronachistiche, e dalle informazioni raccolte

durante i sopralluoghi e i rilevamenti di campagna, permette di realizzare una carta inventario multi-temporale dei movimenti franosi. Tale mappa consiste in una serie di carte inventario, geometricamente coerenti fra di loro, e che riportano tutte le frane visibili (riconosciute) e cartografabili alla data delle (diverse) fotografie aeree disponibili, o mappate direttamente sul terreno durante le indagini di campagna. Inoltre, l'analisi comparata dei diversi voli aerei è stata integrata da informazioni bibliografiche, d'archivio, cronachistiche e dalle informazioni raccolte durante i sopralluoghi e i rilevamenti di campagna.

Le frane riportate nelle carte inventario multi-temporali sono classificate in base a: tipologia; età relativa (stimata o nota); stato di attività (stimato o noto); profondità (stimata o nota); velocità (presunta o nota) del movimento. Per la classificazione della tipologia della frana si è fatto riferimento alle raccomandazioni indicate da WP/WLI (1990, 1993), Cruden & Varnes (1996) e Hungr *et al.* (2014). L'età della frana è definita come recente, antica o molto antica; essa è stata stimata o presunta sulla base della data delle foto aeree o dei sopralluoghi in campagna, e sull'analisi della freschezza morfologica del dissesto. Il grado di attività di una frana è stato valutato sulla base della conoscenza oggettiva delle reali condizioni di movimento del dissesto (WP/WLI, 1993). Il grado di attività delle frane è stato stimato sulla base delle evidenze morfologiche del dissesto, in particolare analizzando in modo sistematico i cambiamenti osservati dalla lettura di più voli di fotografie aeree e durante le indagini di campagna. Le informazioni sull'attività hanno compreso la descrizione di:

- distribuzione dell'attività (tendenza evolutiva in senso spaziale del dissesto);
- stile dell'attività (possibile combinazione e ripetizione di più meccanismi di movimento nell'ambito della stessa frana); e
- stato di attività (grado di evoluzione temporale del dissesto), descritto come attivo s.s. (frana continua e stagionale), sospeso e ricorrente, quiescente, stabilizzato o relitto.

L'interpretazione delle immagini consiste nella osservazione e analisi sistematica di una serie di elementi (parametri o indicatori), visibili o deducibili, che appaiono sulle immagini. Gli elementi della foto-interpretazione più importanti sono: tono, contrasto, colo-

re, tessitura, pattern, forma, dimensione, modello geometrico, associazione, contesto geomorfologico e modifiche nel tempo (Ray, 1960; Miller, 1961; Allum, 1966; Amadesi, 1977; Rib & Liang, 1978; van Zuidan, 1985; Dainelli, 2011). Il tono, il contrasto e il colore sono definiti come elementi spettrali delle immagini perché dipendono dalla quantità di luce riflessa degli oggetti distribuiti sulla superficie topografica. Tessitura, pattern, forma, dimensione e modello geometrico rappresentano gli elementi geometrici degli oggetti, la cui identificazione avviene non solo attraverso la visione bidimensionale, ma soprattutto grazie alla visione stereoscopica delle immagini. L'associazione e il contesto geomorfologico sono considerati elementi spaziali, e rappresentano elementi di fondamentale importanza nella fase deduttiva dell'analisi fotointerpretativa. Le modifiche che subiscono gli oggetti nel tempo costituiscono gli elementi temporali. I cambiamenti nel tempo degli oggetti possono essere valutati dal confronto di immagini acquisite in tempi diversi e rappresentano elementi di fondamentale importanza per studi sulla evoluzione multi-temporale. Questi elementi, se presi singolarmente, raramente assumono un significato diagnostico, ma vanno esaminati nel loro insieme e confrontati con la geologia e morfologia locale.

GEOMORFOLOGIA E FRANOSITÀ

Il paesaggio collinare nei dintorni di Celenza Valfortore è caratterizzato da forme dolci in continuo modellamento, ad opera dei fenomeni franosi (Fig. 2). L'analisi dei principali agenti morfologici mostra la stretta connessione con i caratteri litostratigrafici e tettonici dell'area: l'aspetto collinare è strettamente legato alla presenza degli affioramenti di litotipi argillitico-marnosi, facilmente modellabili dai processi erosivi (Ciaranfi *et al.*, 2011).

Il nucleo urbano di Celenza Valfortore è collocato sulla sommità di una dorsale, estesa in direzione E-W, che degrada dolcemente verso il Fiume Fortore, dove si biforca in due displuvi, fino a raggiungere le sponde del lago di Occhito (Zezza *et al.*, 1994). La rete idrografica è poco evoluta, i corsi d'acqua a carattere tipicamente torrentizio sono rappresentati da piccoli affluenti del Fortore. I confini del centro abitato corrispondono alle rotture di pendenza della porzione sommitale della cresta di interfluvio, di ampiezza mediamente

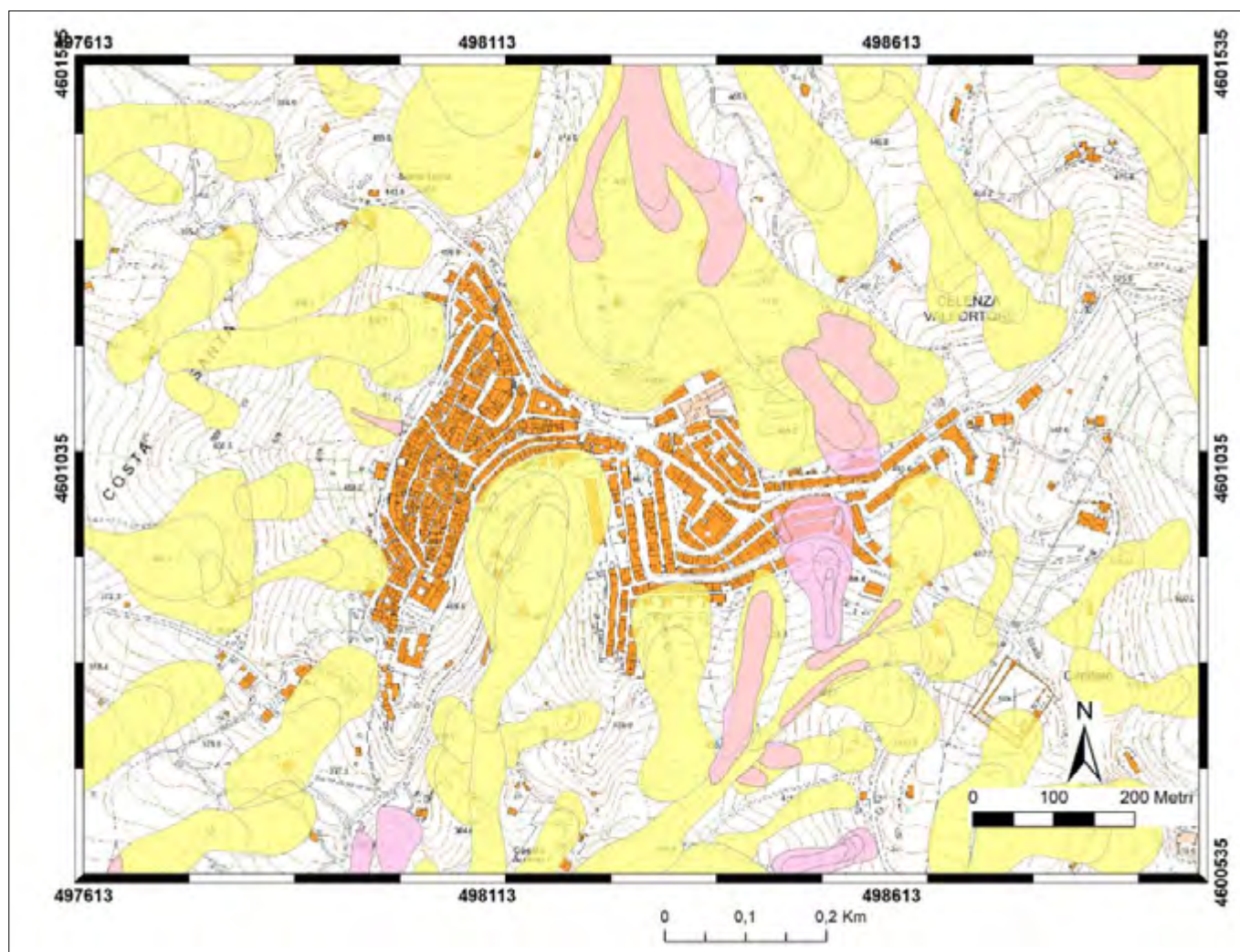


Figura 2. Carta delle frane dei dintorni di Celenza Valfortore: in giallo le frane mappate sulle fotografie aeree del 1954; in rosa le frane che hanno una chiara freschezza morfologica e riconducibili ad uno stato d'evoluzione in atto del movimento, osservato sulla base delle evidenze fotografiche e/o morfologiche delle foto 1954/55 e 1990, e di rilievi in sito (2018/19)

di 100 metri che mostra nella porzione centrale del nucleo urbano una doppia inflessione data dal restringimento delle due valli opposte, attribuibile all'azione dei fenomeni franosi che insistono sull'area (Zezza *et al.*, 1994).

Il Sub-Appennino Dauno è caratterizzato da un clima mediterraneo con inverni miti e estati calde e siccitose, con valori medi di piovosità intorno a 800 mm/anno, concentrati per circa il 60% nei mesi autunnali. Studi effettuati da Di Bari e Piccarreta (2011) sulla piovosità dell'area hanno mostrato che la grande maggioranza di fenomeni franosi si verifica in corrispondenza di eventi piovosi moderatamente estremi, cumulati anche per brevi periodi (48 h). Una caratteristica costante osservata per tutti gli eventi è una condizione di umidità pregressa che, saturando il terreno, attiva o riattiva le frane.

Una analisi della franosità condotta nel settore centrale del Sub-Appennino Dauno ha mostrato che per l'intera area l'indice di franosità è prossimo al 44%, un valore elevato che illustra il ruolo fondamentale svolto dai processi

gravitativi nella morfogenesi delle aree esterne dell'Appennino Meridionale (Parise, 2003). Crescenzi *et al.* (1994) hanno condotto uno studio dettagliato sulla franosità dell'area nei dintorni di Celenza Valfortore, dal quale è stata redatta una carta inventario delle frane. La grande maggioranza delle frane è di tipo colata e scorrimento, sono tuttavia molto frequenti i fenomeni complessi da scorrimento-colata, talvolta sovrapposti, nei quali il processo inizia come uno scorrimento ed evolve successivamente in colata (Parise, 2003; Spalluto *et al.*, 2015).

Dall'osservazione dei caratteri diagnostici (presenza di fratture aperte, di materiale fresco sulle scarpate, riempimento delle aree depresse con depositi colluviali, ecc.), è stato possibile risalire allo stato di attività delle frane: sono presenti frane attive, sospese o quiescenti; generalmente i fenomeni attivi costituiscono una riattivazione parziale di corpi di frana più antichi e più estesi, in tal caso si manifestano come colate. Per quanto riguarda la distribuzione di attività, i fenomeni franosi sono in retrogressione ed in allargamento.

CLASSIFICAZIONE DANNI DA FRANA

I danni provocati dalle frane possono essere distinti in danni diretti ed indiretti, e in entrambi i casi possono interessare sia proprietà pubbliche che private (Brabb & Harrod, 1989; Schuster, 1996). I danni diretti consistono nel danneggiamento parziale o totale di tutte le strutture, le proprietà o i beni di qualsiasi tipo presenti all'interno dell'area in frana; inoltre, rientrano nei danni diretti i costi relativi alla messa in sicurezza, alla ristrutturazione o alla bonifica dei siti danneggiati. Tutti gli altri tipi di danno rientrano nei danni indiretti, e comprendono, ad esempio:

- perdita della produttività agricola, forestale, industriale o di risorse turistiche a causa del danneggiamento delle fabbriche, dei terreni, delle vie di comunicazione;
- riduzione del valore immobiliare in aree minacciate da frane;
- svalutazione delle proprietà in aree minacciate da frane;
- misure di prevenzione o mitigazione di ulteriori danni da frana;

- effetti sulla qualità dell'acqua nei canali o negli impianti di irrigazione;
- perdita della produttività, umana o animale, a causa di ferite, morte o traumi psicologici;
- effetti secondari, come le inondazioni provocate dallo sbarramento dei corpi di frana, i cui danni associati possono a loro volta essere sia diretti che indiretti.

Negli ultimi decenni è sorta la necessità sempre più stringente di effettuare una analisi dei danni da frana all'interno dei centri abitati, a causa della stretta correlazione tra lo sviluppo delle aree urbane ed i fenomeni franosi. Il primo lavoro specifico a occuparsi di tale aspetto è stato quello di Alexander (1986), che introdusse una classificazione dei danni da frana sugli edifici, suddivisa in otto classi (da 0 a 7) corrispondenti a livelli di danno crescenti (da nullo a crollo totale), per ciascuno dei quali forniva una descrizione basata sugli elementi osservabili da una analisi diretta sul campo; inoltre, suggeriva misure di intervento per la messa in sicurezza dei siti danneggiati. Possibili danni alle strutture comprendono la presenza di fratture, capillari o aperte, su facciate o elementi architettonici portanti, cedimenti assoluti, differenziali o rotazionali, muri fuori asse (1° - 2° per gli edifici moderatamente danneggiati fino a 5° - 6° per gli edifici gravemente danneggiati), distorsioni di porte e finestre fino al crollo parziale o totale.

Il metodo di Alexander ha costituito la base per le successive classificazioni (Cooper, 2008), come quella introdotta da Chiocchio *et al.* (1997), che rispettavano i gradi di danno precedentemente definiti da Alexander (da 0, assenza di danni, fino a 7, corrispondente al crollo totale della struttura), approfondendo però le descrizioni dei danni e le relative misure di intervento, e distinguendo tra edifici costruiti con tecniche e materiali

differenti. Nel dettaglio, la distinzione tra tipologie costruttive distingue edifici in muratura ed edifici in cemento armato, e risulta importante per l'analisi delle fratture, in quanto fratture apparentemente simili influenzano in maniera differente le diverse tipologie di edifici (Chiocchio *et al.*, 1997); elemento aggiuntivo del metodo è poi l'indicazione, fornita per ciascun grado di danno e per entrambe le tipologie di edificio, di valori di riferimento per le deformazioni strutturali.

In base alla classe di danno in cui rientra l'edificio, vengono anche indicate misure di intervento e/o di ripristino del sito danneggiato: non sono necessari interventi immediati per le strutture soggette a "nessun danno", danno "debole" e "trascurabile" (rispettivamente grado 0, grado 1, grado 2), le misure di ripristino attuabili per gli edifici lievemente danneggiati prevedono il drenaggio, il ripristino della continuità dei muri, tamponature e tramezzi lesionati, interventi modesti in fondazioni (Iovine & Parise, 2002); è suggerita l'evacuazione degli edifici che presentano un danno "moderato" (grado 3), mentre le misure di intervento consistono in ancoraggi, iniezioni di beton, rafforzamento; per gli edifici danneggiati in maniera "grave" (grado 4) è necessaria l'evacuazione e il puntellamento degli edifici in muratura, gli interventi di ripristino devono essere principalmente rivolti alle fondazioni (Iovine & Parise, 2002); per gli edifici soggetti ad un danno "molto grave" gli interventi immediati consistono nella evacuazione del sito e nel transennamento dello stesso, non risultando economicamente conveniente adottare interventi di ripristino, ma procedendo piuttosto con la bonifica del sito (Iovine & Parise, 2002). È necessario transennare gli edifici soggetti a "crollo parziale" o "crollo totale" (rispettivamente grado 6 e grado 7), procedendo quindi con la bonifica del sito.

La ricerca di un metodo quanto più efficace per analizzare i danni sugli edifici non si è arrestata nel corso degli anni. Palmisano & Elia (2013), con un approccio di tipo strutturale, utilizzano il *Load Path Method* (LPM) per interpretare il comportamento degli edifici in muratura soggetti ai cedimenti indotti dalle frane. Lo scopo è individuare il percorso di carico al quale è associata la minore energia totale di deformazione, utilizzando semplici metodi matematici, in modo tale da ottenere il "percorso dominante" che consente di determinare il meccanismo di rottura e il modello di fratturazione risultante (Palmisano, 2016).

Al contrario, un più recente metodo sviluppato da Del Soldato *et al.* (2017), ha come obiettivo quello di fornire una immediata classificazione dei danni indotti dalle frane sugli edifici, superando gli equivoci e le incongruenze dei metodi esistenti; al pari di quanto proposto da Chiocchio *et al.* (1997) e ripreso da Iovine & Parise (2002), l'analisi dei danni consiste nell'individuazione dello stato di fratturazione, oltre che delle strutture pubbliche e private, anche delle infrastrutture, ad esempio strade e marciapiedi. Per ottenere una classificazione del danno, Del Soldato *et al.* (2017) suggeriscono di suddividere l'indagine in due fasi: indagine diretta sul campo, basata sulla descrizione delle fratture, l'apertura e la posizione delle stesse, ed elaborazione a posteriori dei dati acquisiti, in modo tale da attribuire alla struttura esaminata un livello di danno. I livelli di danno sono sei, da G0 (nessun danno) a G5 (molto grave). Qualora il livello di danno ottenuto non sia omogeneo per l'intera struttura, gli Autori suggeriscono di utilizzare una matrice, per convertire i singoli valori ottenendo una classe di danno relativa all'intero edificio.

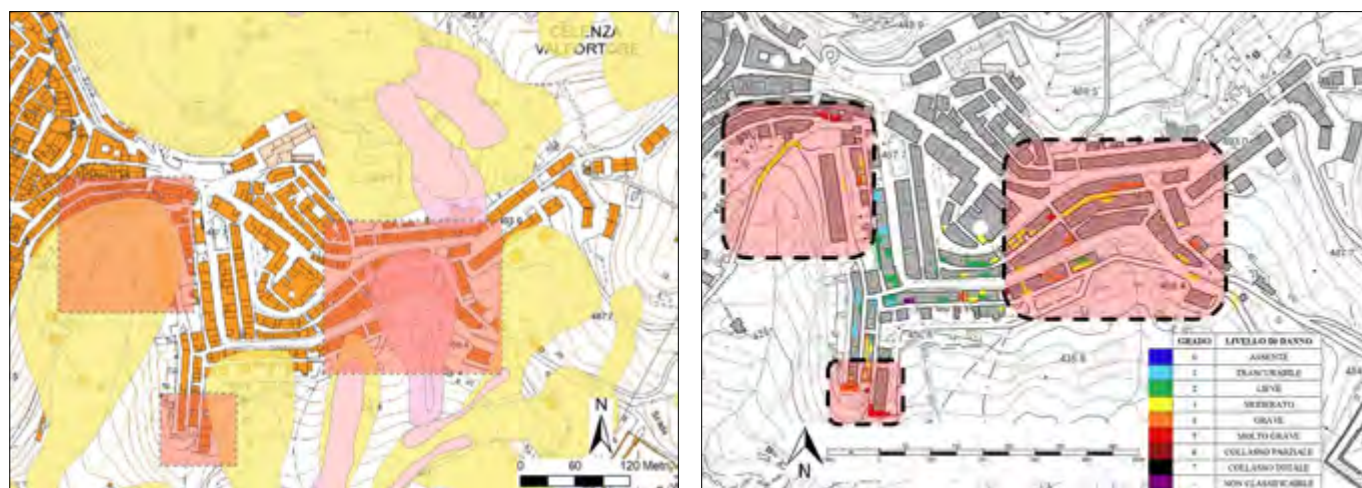


Figura 3. Confronto tra la carta inventario delle frane (a sinistra) e la zonazione dei danni da frana (a destra) nel centro abitato di Celenza Valfortore



L'analisi, condotta nella porzione centro-orientale di Celenza Valfortore, è stata finalizzata al rilevamento dei danni diretti sulle abitazioni e sulle infrastrutture quali strade, marciapiedi, cordoli stradali (Fig. 3). Tra le varie classificazioni precedentemente richiamate, come riferimento è stata utilizzata la metodologia introdotta da Chiocchio *et al.* (1997), che prevede innanzitutto l'individuazione della modalità costruttiva degli edifici: le abitazioni in muratura, presenti principalmente nel centro storico, sono distinte da quelle in cemento armato, di più recente costruzione e presenti nelle aree più periferiche dell'abitato. Come seconda fase, sono state analizzate le fratture presenti sugli edifici, dapprima attraverso una visione d'insieme, successivamente attraverso una analisi di dettaglio: per ogni frattura è stato osservato l'andamento, e misurate l'apertura, ovvero la distanza perpendicolare che separa le due pareti della discontinuità, con valori variabili da 0 mm (per le fratture capillari) ad alcuni cm, e la continuità, ovvero l'estensione del piano di discontinuità.

L'attenzione è stata poi rivolta agli elementi dell'edificio intersecati dalle lesioni come facciate, infissi, soglie, da-

Figura 4. Esempi dei danni da frana osservati nel centro abitato di Celenza Valfortore: a) lesioni capillari, grado 1; b) spostamento tra parti di giunzione, grado 3; c) rigonfiamento e lesioni alla base di edificio, grado 4; d) rottura di cordolo, grado 5

vanzali delle finestre, balconi e cornicioni. Per completare il quadro dell'area analizzata, al di là delle crepe presenti sui singoli edifici, sono stati individuati, ove presenti, dislocazioni e rigetti, anche di notevole entità, tra due edifici, rigonfiamenti ed espulsioni di intonaco alla base di edifici adiacenti, avvallamenti e fessurazioni su strade, marciapiedi e cordoli stradali (Fig. 4).

I danni osservati ben si associano alle frane cartografate (rappresentate in Fig. 3): in particolare, elementi a carattere distensivo, quali lesioni più o meno aperte e spostamenti nelle giunzioni di edifici adiacenti caratterizzano le zone di distacco delle principali nicchie di scorrimenti rotazionali. Localmente, si evidenziano invece strutture di tipo compressivo, con estrusioni e spinte dal basso, derivanti dalla localizzazione dei

manufatti in prossimità dei fianchi di corpi di frana composti, nella porzione di passaggio a movimento tipo colata.

Le informazioni raccolte sono state elaborate attraverso il supporto del materiale fotografico acquisito sul campo ed il confronto con la carta inventario dei fenomeni franosi redatta dal CNR IRPI mediante l'interpretazione delle fotografie aeree del 1954 e del 1990 (Fig. 3). I fenomeni osservati nell'area sono di tipo colata, scorrimento rotazionale e di tipo complesso (scorrimento rotazionale-colata); le rotture di pendenza sono imputabili a scorrimenti rotazionali che evolvono in colate. Il centro abitato è direttamente coinvolto nei fenomeni di distacco e di retrogressione delle scarpate principali, che coinvolgono sempre più le aree urbanizzate. Infine, mediante l'utilizzo delle tabelle di classificazione

dei danni da frana, è stato assegnato un grado di danno a ciascuna abitazione: ad ogni grado di danno corrisponde un colore, riportato quindi su una carta di dettaglio in corrispondenza di ciascun edificio, ottenendo in tal modo la carta della zonazione dei danni da frana.

CONCLUSIONI

L'analisi condotta nell'ambito del presente lavoro, basata sul metodo di Chioocchio *et al.* (1997), ha consentito di individuare i danni sugli edifici del centro abitato di Celenza Valfortore. È emersa una differente distribuzione dei danni all'interno dell'area analizzata, da correlare in primo luogo alla presenza dei fenomeni franosi che insistono sull'abitato ed in secondo luogo, alla differente risposta delle abitazioni rispetto all'insistenza dei fenomeni di dissesto. L'analisi dei danni eseguita direttamente sul campo ha consentito di confermare i dati della carta inventario delle frane, in settori urbanizzati nei quali la visione stereoscopica delle foto aeree non risulta semplice per la presenza dell'antropizzato, che tende a mascherare le originarie morfologie. Sono stati così definiti con maggiore precisione i limiti dei corpi di frana, e i loro vari elementi. Inoltre, è stato possibile individuare connessioni tra l'entità dei danni e la presenza di fenomeni franosi talvolta non riconoscibili con i metodi tradizionali, a causa del crescente sviluppo dei centri abitati in zone instabili.

BIBLIOGRAFIA

- ALEXANDER D. (1986) *Landslide damage to buildings*. Environ. Geol. Water Sci., 8 (3), 147-151.
- ALLUM J.A.E. (1966), *Photogeology and regional mapping*. Institute of Geological Sciences, Photogeological Unit, Pergamon Press, Oxford, 107 p.
- AMADESI E. (1977), *Manuale di fotointerpretazione con elementi di fotogrammetria*. Pitagora Ed., Bologna, 182 p.
- BRABB E.E., HARROD B.L. (eds.) (1989), *Landslides: Extent and economic significance*. A.A. Balkema Publisher, Rotterdam, 385 p.
- CARDINALI M., REICHENBACH P., GUZZETTI F., ARDIZZONE F., ANTONINI G., GALLI M., CACCIANO M., CASTELLANI M., SALVATI P. (2002), *A geomorphological approach to estimate landslide hazard and risk in urban and rural areas in Umbria, central Italy*. Nat. Hazards Earth Syst. Sc., 2 (1-2), 57-72.
- CARRARA A., GUZZETTI F., CARDINALI M., REICHENBACH P. (1999), *Use of GIS Technology in the Prediction and Monitoring of Landslide Hazard*. Natural Hazards, 20 (2-3), 117-135.
- CARRARA A., CARDINALI M., GUZZETTI F., REICHENBACH P. (1995), *GIS technology in mapping landslide hazard*. In: Carrara A., Guzzetti F. (eds.), *Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards*. Kluwer Acad. Pub., Dordrecht, 135-175.
- CHIOCCIO C., IOVINE G., PARISE M. (1997), *A proposal for surveying and classifying landslide damage to buildings in urban areas*. Atti int. Symp. "Engineering Geology and the Environment", Athens, 23-27 June 1997, 553-558.
- COOPER A.H. (2008), *The classification, recording, databasing and use of information about building damage caused by subsidence and landslide*. Quart. J. Engng. Geol. Hydrogeol., 41, 409-424.
- CRESCENZI E., IOVINE G., PARISE M. (1994), *Analysis of landslide damage in a village in Southern Italy: a preliminary report*. Atti Renc. Int. Jeun. Cher. Geol. Appl., Lausanne, 68-72.
- CRUDEN D.M., VARNES D.J. (1996), *Landslides types and processes*. In: *Landslide: Investigation and Mitigation*. In: Schuster R.L., Krizek R.J. (eds). *Landslides analysis and control*. National Academy of Science, Transp. Res. Board Sp. Rep. 176, Washington D.C.
- DAINELLI N. (2011), *L'osservazione della Terra. Fotointerpretazione. Manuale di analisi a video delle immagini digitali per la creazione di cartografia tematica*. Dario Flaccovio Ed.
- DAZZARO L., RAPISARDI L. (1987), *Osservazioni geologiche sull'Appennino Dauno*. Mem. Soc. It., 38, 241-246.
- DEL SOLDATO M., BIANCHINI S., CALCATERRA D., DE VITA P., DI MARTIRE D., TOMÁS R., CASAGLI N. (2017), *A new approach for landslide-induced damage assessment*. Geomatics, Natural Hazard and Risk, 8 (2), 1524-1537.
- DI BARI M., PICCARRETA M. (2011), *Elementi meteorologici*. In: Note illustrative Carta della Pericolosità da frana, Foglio 407 "San Bartolomeo in Galdo". Servizio Geologico d'Italia.
- GALLICCHIO S., FESTA V., MAIORANO P., MORETTI M., TROPEANO M. (2011), *Il Foglio 407 "San Bartolomeo in Galdo": Nuovi dati sulle conoscenze geologiche dell'Appennino meridionale*. Rendiconti online della Società Geologica Italiana, 63,67.
- GUZZETTI F., CARRARA A., CARDINALI M., REICHENBACH P. (1999), *Landslide hazard evaluation: an aid to a sustainable development*. Geomorphology, 31, 181-216.
- HUNGR O., LEROUÉIL S., PICARELLI L. (2014), *The Varnes classification of landslide types, an update*. Landslides, 11,167-194.
- IOVINE G., PARISE M. (2002), *Schema illustrato per la classificazione ed il rilievo dei danni da frana in aree urbane*. Mem. Soc. Geol. It., 57, 595-603.
- IOVINE G., PARISE M., CRESCENZI E. (1996), *Analisi della franosità nel settore centrale dell'Appennino Dauno*. Mem. Soc. Geol. It., 51, 633-641.
- JACOBACCI A., MALATESTA A., MARTELLI G., STAMPANONI G. (1967), *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 - Foglio 163 "Lucera"*. Servizio Geologico d'Italia, Roma.
- MILLER V.C. (1961), *Photogeology*. Mc Graw Hill Book Company, New York, 248 p.
- PALMISANO F. (2016), *Rapid Diagnosis of Crack Patterns of Masonry Buildings Subjected to Landslide-Induced Settlements by Using the Load Path Method*. Int. J. Arch. Heritage, 10, 438-456.
- PALMISANO F., ELIA A. (2013), *Analysis of the structural behaviour of masonry buildings subjected to landslide by using the load path method*. Int. J. Earth Sciences and Engineering, 6 (1), 39-49.
- PARISE M. (2001), *Landslide mapping techniques and their use in the assessment of the landslide hazard*. Journal of Physics and Chemistry of the Earth, part C, 26 (9), 697-703.
- PARISE M. (2003), *Considerazioni sulla franosità dell'Appennino Dauno (Puglia) sulla base dell'elaborazione di carte di attività delle frane*. Quad. Geologia Applicata, 10 (2), 133-145.
- PARISE M. & WASOWSKI J. (1999), *Landslide activity maps for the evaluation of landslide hazard: three case studies from Southern Italy*. Natural Hazards, 20 (2/3), 159-183.
- PIERI P., GALLICCHIO S., MORETTI M. (2011), *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 - Foglio 407 "San Bartolomeo in Galdo"*. Servizio Geologico d'Italia, Roma.
- RAY R.G. (1960), *Aerial photograph in geologic interpretation and mapping*. U.S. Geological Survey Professional Paper 373, Washington, 230 p.
- REICHENBACH P., GALLI M., CARDINALI M., GUZZETTI F., ARDIZZONE F. (2005), *Geomorphological mapping to assess landslide risk: concepts, methods and applications in the Umbria Region of central Italy*. In: GLADE T., ANDERSON M.G., CROZIER M.J. (eds.) *Landslide risk assessment*. John Wiley, 429-468.
- RIB H.T., LIANG T. (1978), *Recognition and identification*. In: SCHUSTER R.L., KRIZEK R.J. (eds). *Landslides analysis and control*. National Academy of Science, Transp. Res. Board Sp. Rep. 176, p. 34-80, Washington D.C.
- SCHUSTER R.L. (1996), *Socioeconomic significance of landslides*. In: *Landslide investigation and mitigation*, Social Report 247, Transportation Research Board, 12-35.
- SPALLUTO L., FIORE A., MICCOLI M.N. (2015), *Mappe di attività delle frane: analisi della riattivazione di alcuni dissesti idrogeologici in Appennino Dauno*. Geologi e Territorio, 2, 3-17.
- VAN ZUIDAN R.A. (1985), *Aerial Photo-Interpretation in Terrain Analysis and Geomorphologic Mapping*. Int. Inst. Aerospace Survey and Earth Sc. (ITC), Smits Publishers, The Hague, 442 p.
- WP/WLI (WORKING PARTY ON WORLD LANDSLIDE INVENTORY) (1990), *A suggested method for reporting a landslide*. Int. Ass. Eng. Geol. Bull., 41, 5-12.
- WP/WLI (WORKING PARTY ON WORLD LANDSLIDE INVENTORY) (1993), *A suggested method for describing the activity of a landslide*. Bull. Int. Ass. Eng. Geology, 47, 53-57.
- ZEZZA F., MERENDA L., BRUNO G., CRESCENZI E., IOVINE G. (1994), *Condizioni di instabilità e rischio da frana nei Comuni dell'Appennino Dauno Pugliese*. Geol. Appl. e Idrogeol., 29, 77-141.

Analisi di una sequenza di eventi alluvionali post-incendio nell'area del Monte Salto, Montoro (Avellino)

Analysis of a post-fire flooding sequence in the Mt. Salto area, Montoro (Avellino)

Parole chiave: severità incendio; Sentinel-2; precipitazione temporalesca; erosione del suolo; colata detritica; rischio geo-idrologico

Key words: fire severity; Sentinel-2; rainstorm; soil erosion; debris flow; geo-hydrological risk

Giuseppe Esposito*
CNR-IRPI, Rende (CS)
E-mail: giuseppe.esposito@irpi.cnr.it

Rocco Masi
Fondazione CIMAF, Savona
E-mail: rocco.masi@cimafoundation.org

Giovanni Nanni
Filiberto Russo
Stefano Alfano
Gaetano Giannatiempo
Direzione Regionale Vigili del Fuoco
Campania
E-mail: dir.campania@cert.vigilfuoco.it

*Autore di riferimento/reference author

1. INTRODUZIONE

Il 2017 è stato uno degli anni più critici per quel che riguarda l'occorrenza di incendi boschivi in Italia. Secondo il rapporto annuale della Commissione Europea (San-Miguel-Ayanz *et al.*, 2018), il territorio italiano è stato interessato da un totale di 7855 incendi che hanno bruciato una superficie pari a 161,987 ettari, provocando la morte di 9 persone. Il primato per numero di eventi è stato raggiunto nella regione Calabria con 1488 incendi, seguita dalla Campania (1199). In quest'ultima regione, una parte degli incendi ha interessato bacini montani che per cause di natura geologica e geomorfologica presentano una certa propensione a fenomeni franosi ed alluvionali. L'occorrenza degli incendi ha quindi incrementato le condizioni locali di instabilità attraverso la rimozione parziale o totale della copertura vegetale, la variazione delle proprietà idrauliche dei suoli, e l'alterazione degli affioramenti rocciosi esposti alle forti variazioni termiche. In generale, l'impatto degli incendi sulle caratteristiche del suolo e della vegetazione viene quantificato attraverso la stima della severità (Keeley, 2009), un fattore ritenuto di primaria importanza nel controllo della risposta idrologica dei bacini, e della suscettibilità ai fenomeni di erosione del suolo o di frana lungo i versanti (Gartner *et al.*, 2014; Moody *et al.*, 2013).

In Campania, le relazioni tra incendi e processi geo-idrologici sono state documentate prevalentemente lungo i rilievi che circondano i principali centri eruttivi (De Vita *et al.*, 1994; Calcaterra *et al.*, 2007; Esposito *et al.*, 2013, 2017). Nella maggior parte dei casi di studio, sono stati identificati processi caratterizzati da elevate velocità di innesco e propagazione, quali colate detritiche e flussi iperconcentrati, innescatisi in risposta a precipitazioni temporalesche. È noto che questi processi, oltre ad avere

una notevole capacità di trasporto, possono esercitare anche un'azione erosiva nel transitare lungo il reticolo idrografico, prendendo in carico ulteriore detrito e materiale vegetale, incrementando così la propria magnitudo. Il materiale trasportato può essere poi rilasciato all'interno di aree urbanizzate presenti allo sbocco dei bacini idrografici, provocando gravi conseguenze. In un recente evento avvenuto in California (USA) il 9 gennaio 2018, per esempio, una serie di colate detritiche post-incendio ha interessato un centro abitato provocando 23 vittime e 167 feriti (Kean *et al.*, 2019). La pericolosità relativa a questi fenomeni richiede perciò una notevole attenzione da parte della comunità scientifica, così come da parte delle autorità di Protezione Civile.

In Italia, il sistema di allertamento nazionale per la prevenzione del rischio geo-idrologico si basa sia sull'emissione di allerte in fase previsionale che di allerte in corso di evento. Le allerte in corso di evento sono correlate al superamento di soglie pluviometriche opportunamente predisposte rispetto ai fenomeni attesi, quali frane e piene in bacini di diverse dimensioni. Per i fenomeni post-incendio,

particolarmente probabili nei successivi 4-6 mesi dall'incendio (Shakesby, 2011), le soglie attualmente utilizzate nelle varie regioni possono risultare sovrastimate, poiché l'innesco può avvenire anche con quantitativi di pioggia modesti, come verificato da Cannon *et al.* (2008) negli Stati Uniti. Per il territorio italiano, l'attuale stato delle conoscenze non consente di definire delle relazioni tra piogge ed innesco di questi processi, a causa dello scarso numero di casi documentati. Questo pone la necessità di approfondire le conoscenze disponibili, per poi mettere in atto delle azioni efficaci finalizzate alla gestione del rischio.

Nel presente lavoro viene analizzata una sequenza di quattro eventi alluvionali post-incendio avvenuti nel 2017 nell'area del Monte Salto (Montoro - AV) (Fig. 1). I dati presentati hanno lo scopo di fornire una prima descrizione degli eventi, e cercare di mettere in evidenza le potenziali relazioni tra incendi e fenomeni geo-idrologici. Nello specifico, viene presentata una caratterizzazione della severità degli incendi realizzata mediante prodotti satellitari; vengono caratterizzate le precipitazioni che hanno innescato i fenomeni di



Figura 1. Immagine Google Earth del Monte Salto e dell'abitato di Montoro acquisita il 24 agosto 2017. I toni rossastri identificano le aree interessate dagli incendi del luglio 2017. La mappa in basso indica la localizzazione dell'area di studio

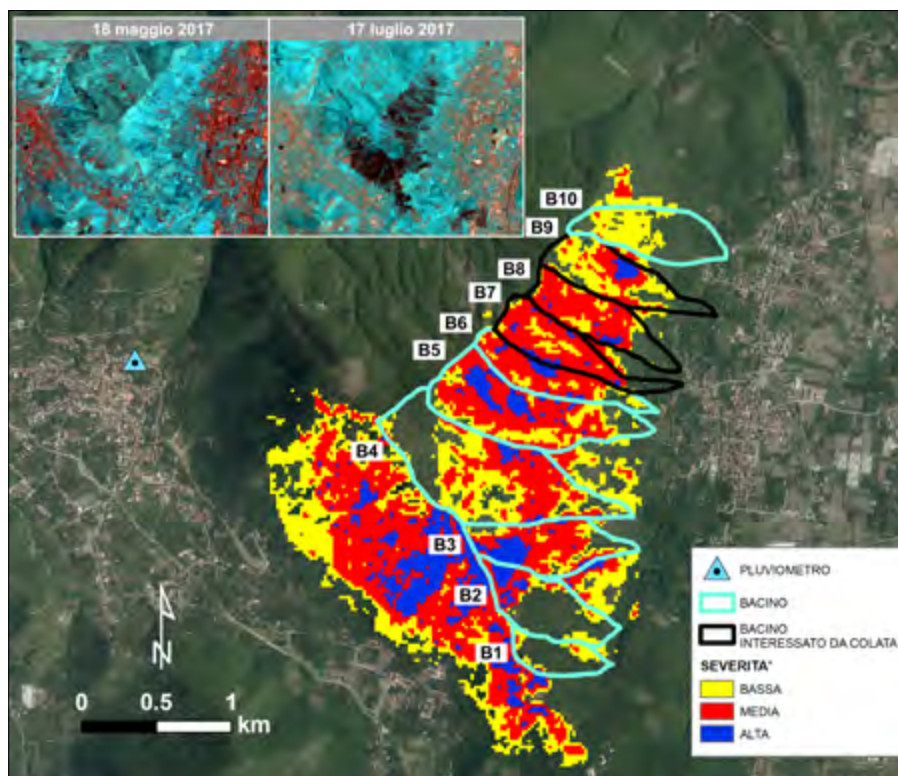


Figura 2. Severità degli incendi ricavata dai dati Δ NBR. Le immagini a falsi colori pre- e post-incendio evidenziano l'intera area interessata. I numeri identificano i diversi bacini

colata fangoso-detritica; viene fornita una generale descrizione degli effetti registrati nelle aree abitate della zona pedemontana. Nella parte finale viene presentata una discussione dei risultati in chiave di pericolosità, e vengono proposti alcuni suggerimenti per la riduzione del rischio.

2. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE E GEOMORFOLOGICHE DELL'AREA DI STUDIO

Il Monte Salto (955.7 m s.l.m.) è caratterizzato da un substrato carbonatico, composto prevalentemente da un'alternanza di calcari e dolomie del Cretacico medio-superiore. Lo stesso è ricoperto da depositi piroclastici da caduta parzialmente pedogenizzati, derivanti dall'attività esplosiva del complesso vulcanico del Somma-Vesuvio, distante circa 25 km. Lo spessore dei depositi piroclastici in giacitura primaria varia da mezzo metro a circa 3-4 m, a seconda delle pendenze del substrato. La zona pedemontana è invece caratterizzata dalla presenza di falde detritiche composte da depositi piroclastici rimaneggiati, misti a detrito carbonatico.

Il versante orientale del Monte Salto, oggetto del presente studio, si suddivide in dieci bacini idrografici con estensione variabile da un minimo di 13 ettari ad un massimo di 82 ettari. Mediamente, la differenza di quota tra il punto più alto e quello corrispondente alla sezione di chiusura è superiore ai 500 m, raggiungendo in alcuni casi i 700 m. Le pendenze medie

dei versanti sono comprese tra 14° e 35°, con valori massimi di 75° in corrispondenza degli affioramenti del substrato. Nella zona pedemontana, invece, la pendenza media è di 8°. Qui le principali direttrici di deflusso risultano parzialmente alterate a causa di interventi antropici, quali restringimenti delle sezioni idrauliche con canalizzazioni in cemento armato, tombature, e deviazioni d'alveo, o per la presenza di strade in coincidenza del reticolo idrografico (alvei-strada). Nel 1998, in concomitanza degli eventi di Sarno, l'area è stata interessata da frane superficiali evolute in colate rapide di fango.

La copertura vegetale è costituita da un'alternanza di zone boscate, con prevalenza di Leccio, Castagno e specie quercine, e zone caratterizzate dalla presenza di specie arbustive di Macchia Mediterranea.

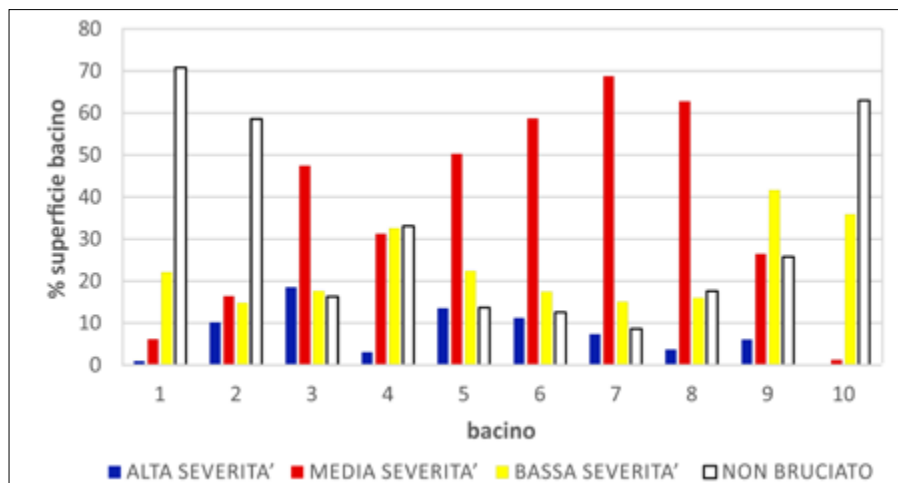


Figura 3. Percentuale della superficie di ogni bacino interessata dai diversi gradi di severità

3. SEVERITÀ DEGLI INCENDI

L'area interessata dagli incendi del luglio 2017 è stata analizzata attraverso le immagini satellitari multispettrali acquisite dai satelliti Sentinel-2 dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA), e rese disponibili gratuitamente tramite la piattaforma *Copernicus Open Access Hub* (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>). Per la mappatura speditiva, sono state utilizzate due immagini acquisite rispettivamente il 18 maggio 2017 (pre-evento) e 17 luglio 2017 (post-evento), caratterizzate da una copertura nuvolosa inferiore al 10% e da un livello di elaborazione 1C. Tale livello implica che per ogni immagine sono state eseguite operazioni di ortorettifica, correzione geometrica ed atmosferica (*top-of-atmosphere*). Per ottenere i valori di riflettività al suolo, invece, è stata eseguita un'ulteriore correzione volta ad eliminare il disturbo dell'atmosfera terrestre (*bottom-of-atmosphere*), utilizzando l'applicativo gratuito Sen2Cor di ESA. Dopo tale correzione, per ogni immagine è stato calcolato l'indice denominato "Normalized Burned Ratio" (NBR) (Key & Benson, 2006) che confronta la radiazione elettromagnetica riflessa dalla vegetazione alle lunghezze d'onda del vicino infrarosso (NIR) e dell'infrarosso a onde corte (SWIR), ottenendo i relativi raster con risoluzione spaziale del pixel di 20 m. Sottraendo il dato NBR dell'immagine raster post-evento dal dato NBR dell'immagine raster pre-evento è stato possibile calcolare il Δ NBR (Key & Benson, 2006):

$$\Delta\text{NBR} = \text{NBR}_{\text{pre-evento}} - \text{NBR}_{\text{post-evento}}$$

Questo indice consente di evidenziare le aree bruciate rispetto a quelle non bruciate, e fornisce una stima quantitativa della severità dell'incendio (Keeley, 2009). Il dato Δ NBR è stato infatti suddiviso in classi corrispondenti ai vari

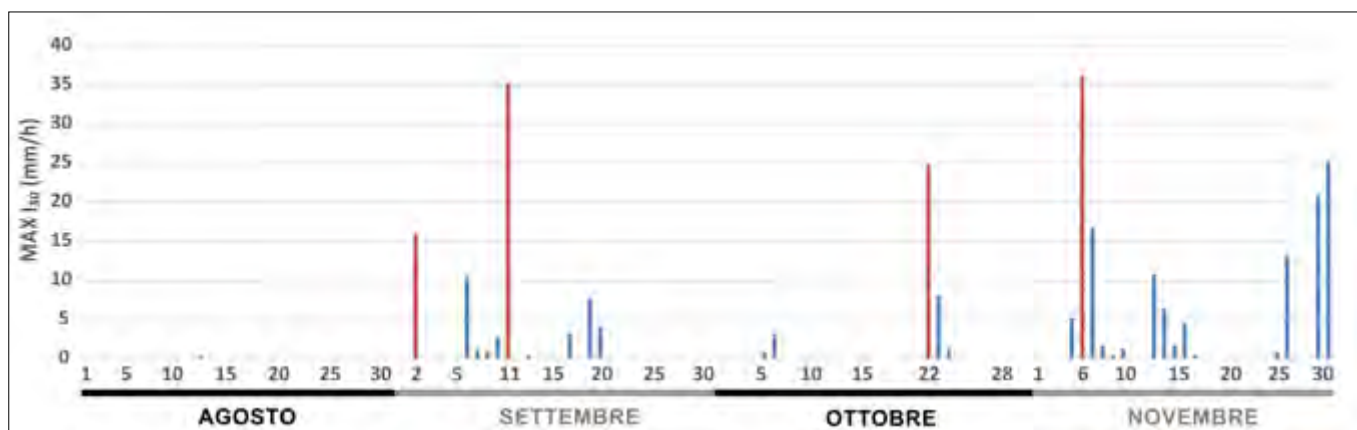


Figura 4. Intensità massime di pioggia registrate in 30 minuti ($MAX I_{30}$) dal pluviometro della Protezione Civile, nel periodo 1 agosto - 30 novembre 2017. Le barre in rosso indicano i valori registrati in corrispondenza degli eventi alluvionali

livelli di severità, utilizzando la classificazione proposta da Key & Benson (2006).

Con questa procedura è stata quindi identificata l'area totale interessata dagli incendi del luglio 2017 (Fig. 2), e le superfici di ogni bacino bruciate con i diversi gradi di severità (Fig. 3). La superficie totale interessata dall'incendio è risultata pari a 221.4 ettari, di cui il 64.4% è stata bruciata con severità medio-alta, ed il 35.6% con bassa severità. I bacini in cui si sono avuti gli effetti più diffusi sono quelli della parte centrale dell'area, dal n°5 al n°9, così come il n°3 nella parte meridionale (Fig. 2). In questi bacini, infatti, gli incendi hanno bruciato più del 70% della superficie con severità prevalentemente medio-alta.

4. CARATTERIZZAZIONE DELLE PRECIPITAZIONI TEMPORALESCHESCHE

Le precipitazioni verificatesi successivamente agli incendi, nei mesi da agosto a novembre, sono state prevalentemente di carattere temporalesco. Da un'analisi dei dati pluviometrici registrati dal sensore più prossimo all'area di studio (stazione "Bracigliano" della rete di monitoraggio idropluviometrico della Protezione Civile Campania - Fig. 2), riferiti al periodo 1 agosto - 6 novembre 2017, è emerso

che le precipitazioni che hanno raggiunto le intensità maggiori in un intervallo di riferimento di 30 minuti ($MAX I_{30}$) si sono verificate nelle date di seguito indicate: 2/9/2017; 11/9/2017; 22/10/2017; 6/11/2017 (Fig. 4). Tali precipitazioni hanno determinato l'innescare dei fenomeni alluvionali oggetto di studio.

Dai dati riportati in Tab. 1 si può notare che per tutti gli eventi sono state raggiunte considerevoli intensità di pioggia in 10 minuti ($MAX I_{10}$). Gli apporti massimi cumulati in 30 minuti ($MAX C_{30}$), invece, non risultano particolarmente rilevanti, come confermato dai tempi di ritorno di circa un anno. I dati mostrano che a partire dal primo evento del 2 settembre c'è stato un progressivo aumento della durata e degli accumuli totali, evidenziando un'evoluzione verso eventi temporaleschi sempre più severi nel passare dal periodo tardo-estivo a quello autunnale. Le precipitazioni del 7, 29 e 30 novembre, anche se dello stesso ordine di grandezza di quelle precedenti, non hanno innescato fenomeni geo-idrologici.

È importante sottolineare, quindi, che dall'analisi idrologica non si evidenzia un carattere estremo degli apporti pluviometrici registrati, e che in fase previsionale, in base alle previsioni meteorologiche ed alle precipitazioni

previste, la Protezione Civile Regionale ha sempre emanato un'allerta nelle ore precedenti gli eventi (Tab. 1).

5. ASPETTI METEOROLOGICI DELL'EVENTO DEL 6 NOVEMBRE 2017

L'evento pluviometrico più importante tra quelli analizzati, sia per quantità di pioggia che per durata, è quello del 6 novembre 2017. Per questo motivo è stata eseguita un'analisi meteorologica di dettaglio, finalizzata alla caratterizzazione del tipo di perturbazione e della sua evoluzione temporale. In Fig. 5 è rappresentata l'altezza dei sistemi nuvolosi presenti sulla Campania nella notte tra il 5 ed il 6 novembre 2017, stimata attraverso i dati acquisiti dal sensore SEVIRI montato sul satellite Meteosat di Seconda Generazione (MSG), nella banda dell'infrarosso termico (10.8 μm). Si può notare come alle 23:00 UTC, un sistema esteso in direzione SO-NE sia prossimo all'area del Monte Salto, evidenziata in blu. Dopo un'ora, alle 00:00 UTC, il sistema nuvoloso impatta la zona, permanendo su di essa per circa due ore e mezza, fin circa alle 02:30 UTC. Nell'immagine riferita alle ore 01:00 UTC, il sistema si trova esattamente sull'area di Montoro,

Tabella 1. Dati pluviometrici relativi ai quattro eventi alluvionali analizzati ($Max C_{30}$ = massima precipitazione cumulata in 30 minuti; $Max C_{10}$ = massima precipitazione cumulata in 10 minuti; $Max I_{30}$ = massima intensità in 30 minuti; $Max I_{10}$ = massima intensità in 10 minuti; TR $Max C_{30}$ = tempo di ritorno della massima precipitazione cumulata in 30 minuti). All'ultima riga sono indicate le tipologie di allerta emanate in fase previsionale

| Evento | 02/09/2017 | 11/09/2017 | 22/10/2017 | 06/11/2017 |
|--------------------------------------|------------|------------|------------|------------|
| Durata evento temporalesco (minuti) | 40 | 50 | 110 | 120 |
| Precipitazione cumulata evento (mm) | 8,2 | 20 | 27,4 | 45,4 |
| Max C_{30} (mm) | 8 | 17,6 | 12,4 | 18 |
| Max C_{10} (mm) | 7,4 | 10 | 5,4 | 7,4 |
| Max I_{30} (mm/h) | 16 | 35,2 | 24,8 | 36 |
| Max I_{10} (mm/h) | 44,4 | 60 | 32,4 | 44,4 |
| TR $Max C_{30}$ (anni) | 1 | 1,1 | 1 | 1,1 |
| Allerta emanata in fase previsionale | gialla | arancione | gialla | arancione |

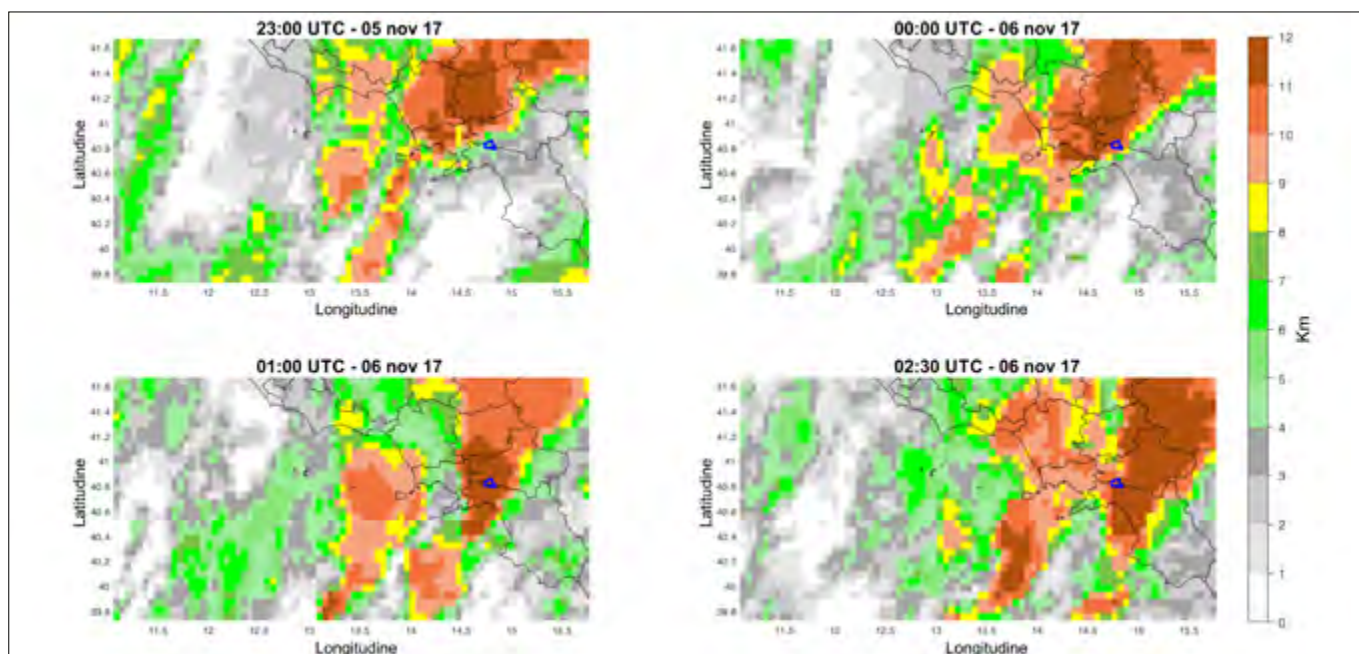


Figura 5. Altezza della sommità delle nuvole stimata a partire dai dati rilevati dal sensore SEVIRI montato sul satellite Meteosat di Seconda Generazione (MSG), nella banda dell'infrarosso termico (10.8 μm) (<https://www.eumetsat.int>). L'area di studio è evidenziata con il colore blu

presenta un'altezza massima di 12 km, ed una forma a "V" tipica di celle convettive autorigeneranti, il cui vertice è posizionato in corrispondenza del Golfo di Salerno. Dalla sequenza di immagini, quindi, è possibile notare come il sistema si sia spostato in direzione SE, attraversando l'area di studio in circa due ore e mezza.

Oltre ai dati appena descritti, anche altre informazioni hanno consentito di classificare questo sistema come di tipo temporalesco. Si tratta del recente prodotto "Heavy Rain Detection" (HRD) implementato dal Centro Funzionale Centrale del Dipartimento Nazionale della Protezione Civile per individuare le aree caratterizzate da precipitazioni particolarmente intense, persistenti e/o di natura temporalesca ([https://](https://dpc-radar.readthedocs.io/it/latest/platform.html)

dpc-radar.readthedocs.io/it/latest/platform.html). Il prodotto HRD è basato sulla definizione di due indici definiti "Heavy Rain Index" (HRI) e "Severity Storm Index" (SSI). L'indice HRI ha l'obiettivo di definire precipitazioni di carattere persistente, mentre l'indice SSI ha l'obiettivo di valutare eventi di carattere temporalesco. Sia per l'HRI che per l'SSI viene effettuata una normalizzazione dei parametri rispetto a delle soglie minime e massime fissate. A seconda del massimo valore di SSI ed HRI, il temporale viene classificato in 4 categorie, da moderato fino a molto forte. Il prodotto HRD viene quindi elaborato attraverso l'acquisizione di una serie di grandezze meteorologiche stimate in tempo reale con dati provenienti da diversi sensori

(radar, satelliti, rete di fulminazioni e rete pluviometrica), e dal 2018 viene rilasciato ogni 5 minuti (<http://www.protezionecivile.gov.it/radar-dpc>).

Per l'evento del 6 novembre 2017, il prodotto HRD è comparso sull'area di studio alle ore 01:00 UTC (Fig. 6). La forma dell'HRD, con una superficie di 138 Km², ha confermato un'estensione del sistema in direzione SO-NE mantenendo una struttura a "V". L'intensità del temporale è stata classificata come "moderata" in quanto i valori HRI ed SSI sono risultati rispettivamente di 1.17 e 1.25. Il massimo valore di intensità istantanea (SRI) registrato nel poligono dell'HRD è risultato pari a 54.54 mm/h. Il fenomeno è stato rilevato con una persistenza di 10 minuti, in quanto nei frames precedenti e successivi non si sono verificate le condizioni per un fenomeno temporalesco severo, almeno secondo i parametri rispetto ai quali è tarato il prodotto. I dati di riflettività radar (Vertical Maximum Intensity - VMI), il cui valore massimo misurato è risultato pari a 36 dBZ (Fig. 6), mostrano come alle ore 01:00 UTC il nucleo del sistema temporalesco sia prossimo alla verticale del Monte Salto, con associata una discreta quantità di fulminazioni.

6. EFFETTI AL SUOLO

Dall'analisi del materiale cronachistico raccolto on-line, e dei dati forniti dall'ufficio tecnico comunale, è stato possibile ricostruire la sequenza dei processi che si sono susseguiti nei quattro eventi analizzati. I bacini idrografici interessati sono quelli di "Torello" (B7), "Proaolo" (B8) ed "Arenaro" (B9) (Fig. 7). Lun-

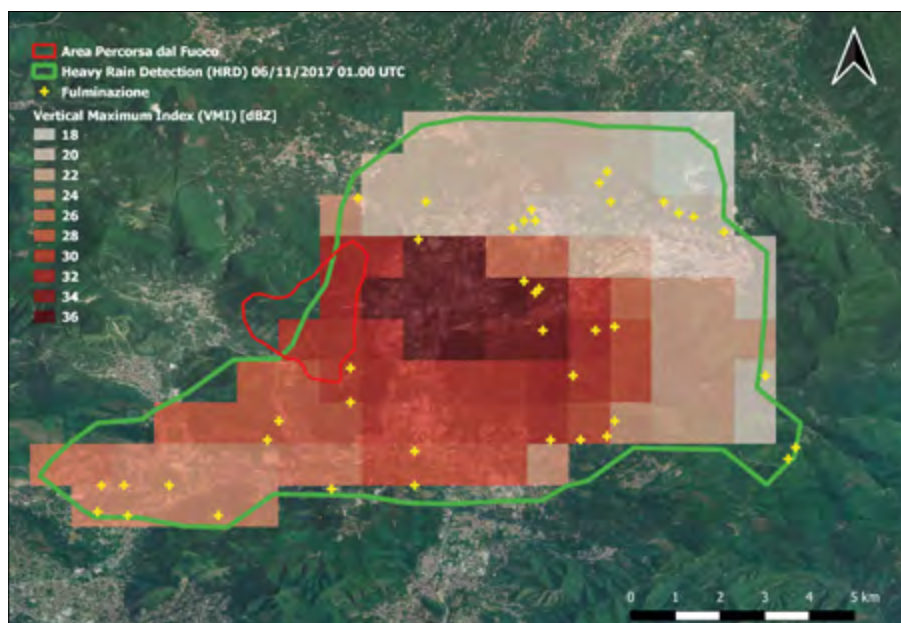


Figura 6. HRD, riflettività radar e fulminazioni rilevate alle ore 01:00 UTC del 06/11/2017, durante l'occorrenza dei fenomeni alluvionali



Figura 7. Panoramica dei bacini idrografici e dell'area urbanizzata interessata dall'invasione di flussi fangoso-detrिटici. Le immagini pubblicate dalla pagina Facebook "Benvenuti a Montoro" rappresentano l'erosione di un canale (A), ed i depositi di fango e detrito rinvenuti lungo le strade durante i diversi eventi (B,C,D,E,F)

go i versanti incendiati, le precipitazioni descritte in precedenza hanno innescato intensi fenomeni di ruscellamento superficiale (*runoff*) che hanno mobilizzato materiale vegetale carbonizzato, ceneri e particelle di suolo. Man mano che i flussi si sono arricchiti della componente solida, nel procedere verso valle hanno incrementato il potere erosivo prendendo in carico ulteriore materiale fine e detrito carbonatico (Fig. 7-A); allo sbocco dei bacini sono quindi giunti dei flussi iperconcentrati e/o colate di detrito che hanno abbandonato i loro percorsi naturali invadendo così le aree abitate (Fig. 7-B, C, D, E, F). Sia dai video che dalle foto analizzate, è stato possibile verificare che l'invasione dei flussi fangoso-detritici nelle zone abitate è stata favorita dalla trasformazione antropica delle naturali direttrici di deflusso in strade (alvei-strada), o dalla modifica dei percorsi naturali per mezzo di canalizzazioni artificiali con sezioni molto limitate rispetto alle portate dei flussi.

In ogni evento sono state interessate sempre le stesse zone (Fig. 7), con l'interruzione di alcune strade e l'invasione dei piani terra di alcune abitazioni. Non è stato possibile quantificare il volume di materiale depositato ogni volta, ma da un'analisi qualitativa della documentazione videofotografica sono state accertate delle evidenti differenze. Il primo evento del 2 settembre ed il terzo del 22 ottobre, per esempio, sono stati caratterizzati dall'accumulo di modeste quantità di fango, caratteristiche di un flusso iperconcentrato (Fig. 7-D), mentre per gli eventi del 11 settembre e 6 novembre si sono registrati gli accumuli maggiori, con notevoli quantità di detrito carbonatico e blocchi di alcuni m³ trasportati evidentemente da colate detritiche (Fig. 7-E, F). Questo diverso comportamento potrebbe essere stato controllato dai diversi apporti pluviometrici, e quindi all'aliquota di pioggia che ha alimentato il deflusso superficiale. In nessuno dei quattro eventi sono stati registrati danni a persone.

7. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La sequenza di eventi alluvionali che ha interessato l'area di Montoro mette in evidenza come lungo versanti caratterizzati da elevate pendenze e suoli particolarmente erodibili (andosoli), gli incendi boschivi siano in grado di incrementare la suscettibilità ai fenomeni erosivi, con conseguente formazione di flussi fangoso-detritici a valle. L'analisi delle precipitazioni rilevate dal pluviometro della rete di monitoraggio della

Protezione Civile - Regione Campania dimostra che anche apporti abbastanza modesti cumulati in meno di un'ora, ma con intensità rilevanti in 10 e 30 minuti, sono in grado di innescare processi di instabilità lungo versanti interessati da incendi con severità medio-alta. Le analisi realizzate con i dati satellitari hanno infatti evidenziato che il 64.4% dell'area è stata bruciata una con severità medio-alta, ed il 35.6% con severità bassa, indicando un impatto ecologico e geomorfologico degli incendi abbastanza rilevante. I bacini 7, 8 e 9 sono risultati tra quelli più colpiti, come si evince dalla Fig. 3. Proprio allo sbocco di questi bacini sono stati registrati i fenomeni alluvionali con deposizione di fango e detrito nell'area abitata, dimostrando una sorta di correlazione tra i due processi. Alla luce di queste osservazioni, la riduzione del rischio indotto da fenomeni alluvionali post-incendio dovrebbe tenere in considerazione anche il monitoraggio dei fenomeni temporaleschi, utilizzando per esempio i dati satellitari (Fig. 5), riflettività radar e fulminazioni (Fig. 6). A ciò dovrebbe seguire un monitoraggio in campo dei punti critici, quali attraversamenti, alvei-strada e zone abitate a ridosso dei versanti, supportato magari da carte della suscettibilità da realizzare in maniera speditiva subito dopo gli incendi. In nessun caso i processi analizzati hanno provocato seri danni agli edifici, né tantomeno alle persone. Questo probabilmente è stato favorito dalla graduale mobilitazione del materiale instabile nel corso di ben quattro eventi consecutivi. Nel caso in cui si fosse verificata una precipitazione intensa e persistente con caratteri estremi, gran parte del materiale sarebbe stato mobilizzato nel corso di un unico evento, con la possibile formazione di colate detritiche dagli effetti distruttivi.

RINGRAZIAMENTI

Per la realizzazione del presente lavoro, gli autori desiderano ringraziare: il Dipartimento Nazionale della Protezione Civile, per aver reso disponibili i dati radar e delle fulminazioni; il Centro Funzionale Multirischi della Protezione Civile della Regione Campania, per aver fornito i dati pluviometrici; il Comune di Montoro, per la fattiva collaborazione nell'analisi degli eventi post-incendio.

BIBLIOGRAFIA

CALCATERRA D., PARISE M., STRUMIA S., MAZZELLA E. (2007), *Relations between fire, vegetation and landslides in the heavily populated metropolitan area of Naples, Italy*. Proceedings 1st North American Land-

slides Conference, Vail, Colorado. AEG Special Publication 23, 1448-1461.

- CANNON S.H., GARTNER J.E., WILSON R.C., LABER J.L. (2008), *Storm rainfall conditions for floods and debris flows from recently burned areas in southwestern Colorado and southern California*. *Geomorphology*, 96, 250-269.
- DE VITA P., GUADAGNO C., LANZARA R., LOMBARDI G., TARANTINO E., VALLARIO A. (1994), *L'evento alluvionale del 20 agosto 1993 nei territori comunali di Solofra e Serino (Avellino - Campania)*. Atti VIII Congresso Nazionale Geologi, Roma (Italy), 165-171.
- ESPOSITO G., ESPOSITO E., MATANO F., MOLISSO F., PORFIDO S., SACCHI M. (2013), *Effects of a wildfire on rocks and soils in the Sarno Mountains, Campania, Southern Apennines*. *Rendiconti Online della Società Geologica Italiana*, 24, 119-121.
- ESPOSITO G., MATANO F., MOLISSO F., RUOPOLLO G., DI BENEDETTO A., SACCHI M. (2017), *Post-fire erosion response in a watershed mantled by volcanoclastic deposits, Sarno Mountains, Southern Italy*. *Catena*, 152, 227-241. DOI: 10.1016/j.catena.2017.01.009
- GARTNER J.E., CANNON S.H., SANTI P. (2014), *Empirical models for predicting volumes of sediment deposited by debris flows and sediment-laden floods in the transverse ranges of southern California*. *Engineering Geology*, 176, 45-56.
- SAN-MIGUEL-AYANZ J., DURRANT T., BOCA R., LIBERTÀ G., BRANCO A., DE RIGO D., FERRARI D., MAIANI P., ARTÉS VIVANCOS T., COSTA H., LANA F., LÖFFLER P., NUIJTEN D., AHLGREN A.C., LERAY T. (2018), *Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa 2017*. JRC Technical Report. DOI: 10.2760/663443
- KEAN J.W., STALEY D.M., LANCASTER J.T., RENGERS F.K., SWANSON B.J., COE J.A., HERNANDEZ J.L., SIGMAN A.J., ALLSTADT K.E., LINDSAY D.N. (2019), *Inundation, flow dynamics, and damage in the 9 January 2018 Montecito debris-flow event, California, USA: Opportunities and challenges for post-wildfire risk assessment*. *Geosphere*, 15, 1-24. DOI: 10.1130/GES02048.1
- KEELEY J.E. (2009), *Fire intensity, fire severity and burn severity: a brief review and suggested usage*. *International Journal of Wildland Fire*, 18, 116-126. DOI: 10.1071/WF07049
- KEY C.H., BENSON N.C. (2006), *Landscape assessment: ground measure of severity, the composite burn index; and remote sensing of severity, the normalized burn ratio*. In: Lutes D.C., Keane R.E., Caratti J.F., Key C.H., Benson N.C., Sutherland S., Gangi L.J. (Eds.), FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-164-CD, 1-51.
- MOODY J.A., SHAKESBY R.A., ROBICHAUD P.R., CANNON S.H., MARTIN D.A. (2013), *Current research issues related to post-wildfire runoff and erosion processes*. *Earth Science Reviews*, 122, 10-37.
- SHAKESBY, R.A. (2011), *Post-wildfire soil erosion in the Mediterranean: review and future research directions*. *Earth Science Reviews*, 105, 71-100.

Mappatura di un'area potenzialmente interessata da colata detritica sul conoide del Vaio del Rì - Frazione Peri - Comune di Dolcè (VR)

Alessandro Raneri
Daniele Rossi
Fabio Giuriato
Autorità di Bacino Distrettuale
delle Alpi Orientali
E-mail: alessandro.raneri@distrettoalpiorientali.it

Mapping of an area potentially affected by debris flow on the conoid of the vaio del Rì - Peri - Municipality of Dolcè (VR)

Parole chiave: Colata detritica, metodo BUWAL, fiume Adige, modellazione, pericolosità idrogeologica

Key words: debris flow, BUWAL method, Adige River, simulation, hydrogeological danger

RIASSUNTO

Il presente articolo descrive le attività svolte dall'Autorità di bacino del fiume Adige per individuare, attraverso modellazione matematica, le aree potenzialmente interessate da un fenomeno di colata detritica nel bacino idrografico del Vaio del Rì, in località Peri, all'interno del comune di Dolcè (VR). Tale attività è confluita all'interno di una Variante di aggiornamento del Piano di Assetto Idrogeologico del Fiume Adige (istruita dall'Autorità nel 2018) che contiene le valutazioni delle condizioni di pericolosità idrogeologica del territorio e la perimetrazione delle aree da sottoporre a misure di salvaguardia. I rilievi ed i risultati della simulazione hanno permesso, per l'area in oggetto, l'individuazione di zone a differente pericolosità secondo il metodo BUWAL, evidenziando i settori interessati dal trasporto e deposito di materiale solido in concomitanza di un evento di colata rapida.

ABSTRACT

This article describes the activities carried out by the Adige river basin authority in order to identify, through mathematical modeling, the areas potentially affected by a debris flow phenomenon in the Vaio del Rì river basin in Peri, municipality of Dolcè (Verona, Italy). This activity was included into an update variant of the Adige River hydrogeological system plan (instructed by the above-mentioned authority in 2018), which includes assessments of the hydrogeological danger conditions of the territory and the perimeter delimitation of the areas to be subjected to preventive measures. The surveys and the results of the simulation

have allowed to identify in the affected territory some areas with different danger level according to the BUWAL method, highlighting the sectors involved in the transport and deposit of solid material in conjunction with a debris flow event.

1. CARATTERISTICHE GENERALI DELL'AREA

Il bacino del Vaio del Rì si colloca sul versante orientale della Valle dell'Adige, in provincia di Verona, nel territorio comunale di Dolcè ed in minima par-

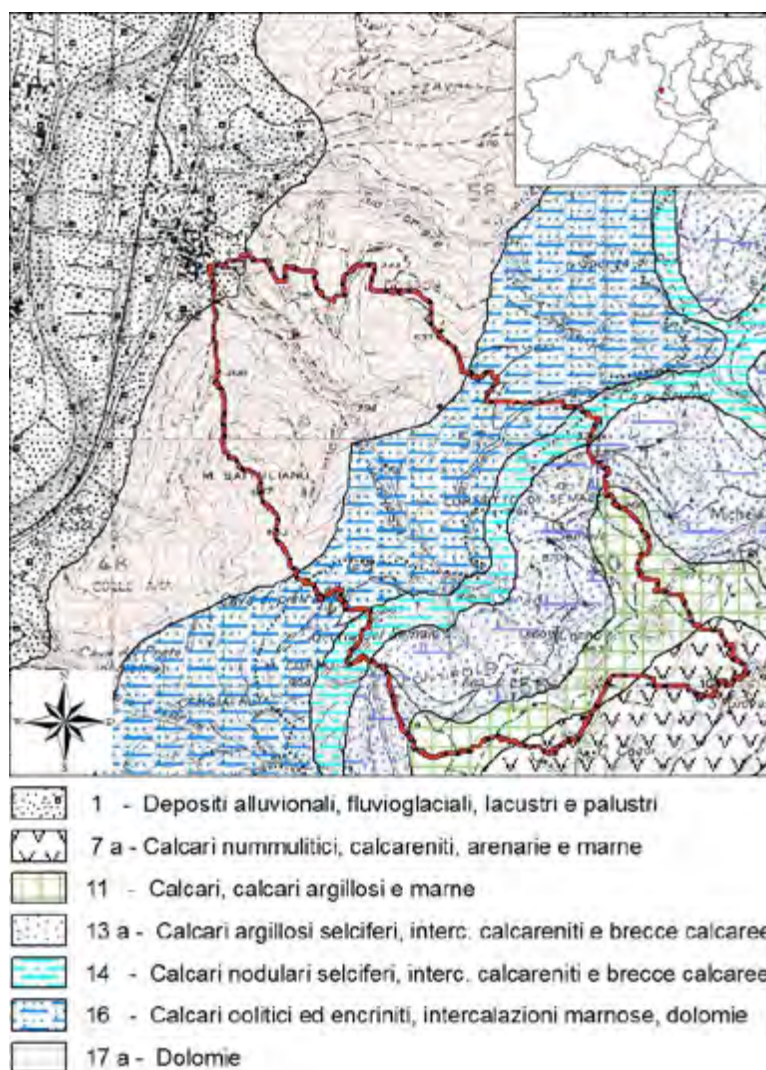


Figura 1. Il bacino idrografico del Vaio del Rì sopra l'abitato di Peri - Comune di Dolcè (VR). Estratto dalla Carta Tecnica Regionale con individuazione schematica delle formazioni geologiche presenti

te in quello di Sant'Anna d'Alfaedo. Il bacino ha una superficie di circa 2,346 km² e si estende da una quota massima di 1051 m ad una quota di 117 m. Il conoide alluvionale si sviluppa nella parte terminale del bacino idrografico, dalla quota di 150 m s.l.m..

Dal punto di vista geologico l'area si trova all'interno del complesso dei Monti Lessini. Il basamento di tale sistema è costituito dalla formazione di Dolomia principale seguito dalla serie carbonatica del Giurassico e del Cretaceo. Il substrato roccioso è sub affiorante in corrispondenza di alcuni passaggi dell'alveo torrentizio. Salendo di quota lungo il bacino si osserva il graduale passaggio alle formazioni appartenenti al Gruppo dei Calcari Grigi. Si tratta di calcari compatti, sovente dolomitizzati, talvolta oolitici, disposti secondo una stratificazione di potenza variabile.

Le litologie affioranti presenti nel bacino idrografico presentano una permeabilità secondaria variabile (da media ad elevata), indotta da fratturazione e carsismo.

I caratteri geomorfologici dei depositi presenti nell'area oggetto di studio sono ascrivibili principalmente a tre categorie:

- depositi fluvio-glaciali e alluvionali antichi e recenti in corrispondenza delle aree golenali;
- depositi fluviali del fiume Adige, nella pianura alluvionale recente;
- rilievi e altopiani prealpini della piattaforma strutturale carbonatica mesozoica, corrispondenti alle aree di versante.

Verso monte i versanti, costituiti da falde detritiche e roccia sub affiorante, diventano ripidi, raggiungendo pendenze dell'ordine dei 35°. Segue poi una fascia caratterizzata da pareti verticali, al di sopra delle quali la morfologia si addolcisce in un altipiano in corrispondenza di zone



Figura 2. Conoide su cui sorge l'abitato di Peri. Le frecce indicano l'inizio e la fine della condotta interrata sotto la frazione

prative adibite pascolo nel territorio comunale di sant'Anna d'Alfaedo.

In corrispondenza del corso d'acqua si verificano dei fenomeni di erosione al piede delle falde detritiche, con conseguente innesco di scoscendimenti di limitate dimensioni ed apporto di sedimenti in alveo.

Si osserva la presenza di blocchi di dimensioni decimetriche (ma anche metriche) che talvolta raggiungono l'alveo principale dove, infatti, se ne riscontra presenza.

Il Vaio del Rì presenta stagionalmente variabilità di portata, garantendo comunque sempre una presenza di acqua superficiale nell'alveo torrentizio.

Stante la presenza di rocce permeabili per fessurazione non si può escludere che la circolazione idrica si sviluppi non solo attraverso deflusso superficiale ma anche lungo percorsi ipogei.

Il torrente scorre in una incisione naturale priva di arginature e guadi fino all'apice del conoide dove è presente una condotta (tombotto) che permette al torrente di scorrere sotto il paese e riemergere a valle della strada statale n. 12 (Fig. 2).

Solo nel tratto torrentizio immediatamente a monte dell'abitato vi è la

presenza di alcune briglie di trattenuta che hanno ridotto localmente la naturale pendenza dell'alveo.

La condotta ha uno sviluppo lineare di circa 169 m con una luce di 4,5 m² all'imbocco e di 8,9 m² all'uscita. La sezione minima, ad arco, di 2,3 m² è posta a 21 m dall'imbocco (Fig. 3a). La sezione minima rettangolare (Fig. 3b) è di 3,3 m² (a 110,5 m dall'imbocco).

2. ANALISI MORFOMETRICA DEL CONOIDE

L'analisi geomorfologica è in grado di fornire utili indicazioni sui processi che hanno generato un conoide torrentizio.

La base per l'analisi morfologica del terreno mediante GIS, comprese le elaborazioni riguardanti la rete idrografica, è stato il modello digitale delle elevazioni (DEM).

Per l'area in esame è, infatti, disponibile un DEM con maglia di 1x1 m fornito dalla Regione Veneto unito a quello di fondovalle del Ministero dell'Ambiente con medesima griglia.

Si è provveduto ad una corretta delimitazione del conoide utilizzando i dati disponibili (foto aeree e dati LIDAR) in modo da avere una giusta corrispondenza con la base topografica.

L'Analisi morfometrica è un'analisi che permette di discriminare i conoidi generati da colata detritica da quelli generati da processi fluviali in base a due indici morfometrici tra i più comunemente utilizzati (indice di Melton e pendenza del conoide).

Per il presente lavoro si è utilizzato il metodo di Bertrand *et al.* (2013) basato sull'indice di Melton R e sulla pendenza del conoide S espressa in gradi [deg]. Se $S > e^{0.23} \cdot R^{-0.85}$ il conoide risulta propenso alle colate detritiche.



Figura 3. Sezioni minime ad arco (a) e rettangolari della condotta (3b)

R = indice di Melton: $(H_{\max} - H_{\min}) / A_b^{0.5}$
 A_b = area del bacino (km^2)
 H_{\max} = quota massima del bacino (km)
 H_{\min} = quota minima del bacino (km)

L'indice di Melton del bacino in questo caso è risultato pari a 0,587.

In base all'equazione l'inclinazione media del conoide oggetto di studio, per essere associabile a un fenomeno di *debris flow*, deve essere superiore a 2° . Dalla misura delle sezioni ottenute dal DTM si è ottenuto un angolo di inclinazione del conoide di Peri di poco superiore a 3° , quindi compatibile con una genesi del conoide da fenomeni di *debris flow*.

3. STIMA DEI VOLUMI DI SEDIMENTO DISPONIBILI

Attraverso un rilievo in sito è stato stimato il detrito disponibile misurando i valori medi di ampiezza e di profondità del canale, sia per il tracciato principale che per gli affluenti. Le aree più significative in termini di apporto sono quelle rappresentate in Fig. 4.

Nell'area 1 sono stati individuati $19 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ di detrito ottenuti da un ghiaione, presente in dx orografica, di larghezza pari a circa 8 metri con uno spessore medio di 3 metri ed un lunghezza di circa 790 m.

Nell'area 2 sono stati individuati 10^3 m^3 ottenuti dal detrito presente all'interno del tracciato (circa 1 km) su una superficie in sinistra orografica di ampiezza media pari a 2 metri per uno spessore di 0,5 metri.

Per il materiale presente su tutta la lunghezza nell'alveo del tracciato principale (3 km circa) si è ritenuto di attribuire uno spessore medio di 0,4m per un'ampiezza del letto torrentizio di 2 metri; ottenendo un volume totale pari a $2,3 \cdot 10^3 \text{ m}^3$.

Sommando tutti volumi di detrito erodibile in caso di colata determinati

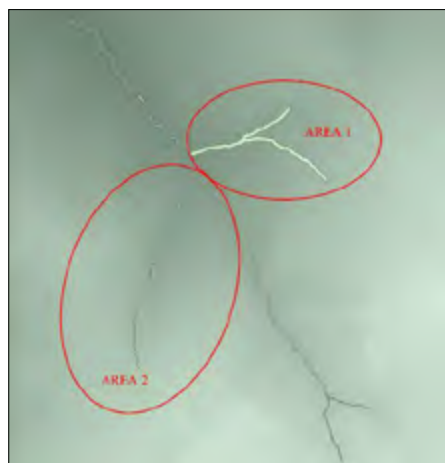


Figura 4. Aree di alimentazione A1 e A2 con presenza di detrito disponibile

in sito, grazie al modello digitale del terreno in ambiente GIS si è ottenuto un volume di totale di circa $22 \cdot 10^3 \text{ m}^3$.

I dati ottenuti direttamente in sito sono stati confrontati con i risultati ottenuti da formule empiriche e semi-empiriche (nello specifico, per tale confronto si sono applicate alcune formule riportate nell'articolo "*An Estimate of the sediments volume entrainable by debris flow along strobil and south pezorries channels at Fiammes (Dolomites, Italy)*" in Degetto, Cricil *et al.* (2011) - Università di Padova - Dip. Scienze del Territorio).

Tali formule utilizzano i parametri morfometrici e gli indici da essi derivati (es: superficie del bacino, pendenza del tratto torrentizio, indici litologici etc.).

- (1) $V = 211 \cdot A \cdot i^{1,3}$ (D'Agostino, 1996)
 (2) $V = 667 \cdot e^{-0.005 \cdot A} \cdot A \cdot i$ (D'Agostino, 1996)
 (2) $V = 13000 \cdot A^{-0.4}$ (Marchi e D'Agostino, 2004)

Dal raffronto si è riscontrata corrispondenza - per ciò che riguarda l'ordine di grandezza - dei volumi di sedimento disponibile misurati in campo e quelli provenienti dalle formule empiriche sopra indicate: 1) $64 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ - 2) $66 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ - 3) $9,3 \cdot 10^3 \text{ m}^3$.

4. STIMA DELLA MAGNITUDO

Stante l'assenza di informazioni storiche nell'area è stato necessario stabilire, a livello previsionale, l'ordine di grandezza dell'intensità di trasporto solido/debris flow che si possono verificare nel bacino in esame.

L'intensità di tali fenomeni è connessa alle volumetrie di materiale che può essere convogliato in conoide (magnitudo) a seguito di colata. Una serie di parametri entrano nel calcolo della magnitudo nelle singole formule presenti in bibliografia, in riferimento agli ambiti e ai limiti di applicabilità delle stesse.

Utilizzando la formula di D'agostino *et al.* 1996

$$M_1 = 39A \cdot i^{-1,5} \cdot (I.G.) \cdot (I.T.)^{-035}$$

si ottiene una magnitudo M_1 pari a 4.455 m^3 , mentre utilizzando la formula di Hampel 1997 risulta pari a 4.579 m^3 .

Tali risultati sono stati confrontati con i volumi attesi in base al metodo volumetrico di seguito illustrato e poi applicato in fase di modellazione del fenomeno.

5. STIMA DELLA DEBRISGRAMMA DI PROGETTO

La stima dei volumi di sedimento mobilizzabili da un evento con tempo di ritorno di 100 anni è stata condotta utilizzando il metodo volumetrico (Takahashi, 1991). Tale metodologia prevede di calcolare la portata di picco dell'evento di colata partendo dalla portata massima dell'idrogramma liquido risultante da una simulazione afflussi deflussi eseguita per un determinato tempo di ritorno (TR) e per un specifico tempo di pioggia (tp).

Per la stima della portata solida da associare ad un debris flow è stata utilizzata la procedura che prevede il calcolo preliminare della concentrazione di equilibrio della colata in movimento (C_v), per poi passare alla stima della portata solido - liquida totale del debris flow ($Q_{d,Max}$) definita come (Takahashi, 1991):

$$Q_{d,Max} = Q_{l,Max} \cdot \frac{C_*}{C_* - C_v}$$

Dove $C_* = 0.55-0.75$, è la concentrazione di massimo impaccamento (prima che i sedimenti siano interessati dall'innesco della colata), C_v è la concentrazione di equilibrio della corrente e $Q_{l,Max}$ è la portata d'acqua che innesca la colata.

La stima del volume di sedimento movimentabile da un evento con tempo di ritorno di 100 anni (Takahashi, 1991) è risultato essere di circa $5,6 \cdot 10^3 \text{ m}^3$.

Il rilievo effettuato direttamente in sito (§ 2) ha portato a valutare in $22 \cdot 10^3 \text{ m}^3$ il volume di sedimento potenzialmente disponibile, pertanto il materiale, stimato direttamente nel bacino, risulta quattro volte maggiore rispetto a quello movimentabile ed il sito può essere considerato a disponibilità di sedimento illimitata nei confronti degli eventi studiati. Il debrisgramma è quello riportato in Fig. 6.

La concentrazione volumetrica C_v dell'evento varia temporalmente con il progredire dell'evento da 0,2 a circa 0,51 (come si vede in Fig. 5)

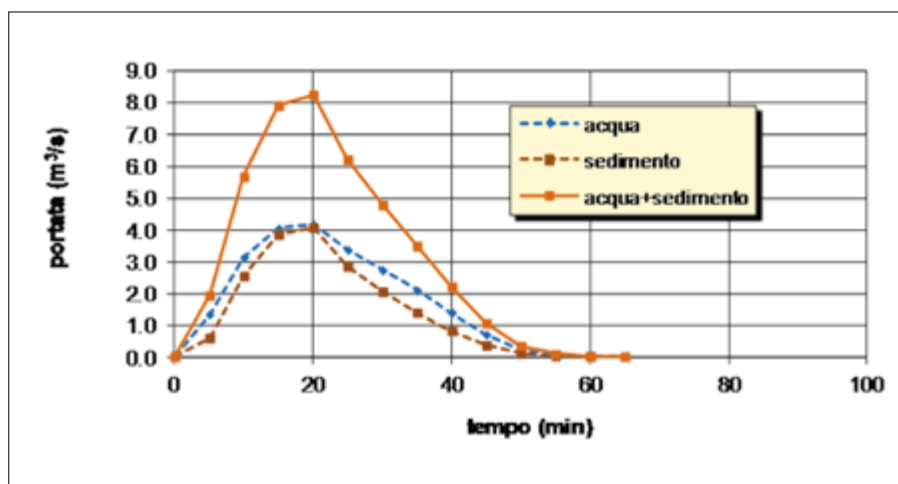


Figura 5. Idrogramma liquido e debrisgramma al TR di 100 anni

6. INDIVIDUAZIONE DELLE AREE DI ATTENZIONE MEDIANTE MODELLAZIONE NUMERICA

Il software utilizzato per determinare l'evolversi della colata è il Flo-2D. Il software utilizza un modello monofasico con reologia di tipo binghamiano. La viscosità del fluido, usato nel modello, è $0.0075e^{14.39C}$ e il limite di scorrimento è $2.6e^{17.48C}$, così come proposto da Dai *et al.* (1980).

Come condizione al contorno è stata imposta, in caso di evento, l'ostruzione della condotta interrata (tombotto) sotto la frazione di Peri per la limitata sezione di passaggio della stessa (§ 1) in rapporto ai quantitativi ed alle dimensioni del detrito trasportato (compreso il materiale vegetale).

Per rappresentare gli ostacoli topografici è stato inserito manualmente, nel modello digitale usato per la modellazione, l'ingombro degli edifici presenti sul conoide.

7. ESITI DELLA MODELLAZIONE

I risultati della simulazione (scegliendo l'idrogramma di progetto con un tempo di ritorno pari a 100 anni)

sono rappresentati in Fig. 6 che riporta le aree interessate dalla colata con i tiranti massimi espressi in metri.

Nella Fig. 7 è riportata la perimetrazione preliminare dell'area da sottoporre a tutela – partendo dalla carte dei tiranti – ampliando e tenendo conto dell'ingombro degli edifici presenti che possono influenzare il moto e la direzione della colata.

In Fig. 6 si nota come i tiranti siano superiori a 1.5 m nella zona del canale immediatamente a monte dell'abitato di peri e nella zona apicale del conoide (in corrispondenza della probabile ostruzione della tombinatura) mentre nella zona distale del conoide i tiranti assumono valori modesti (<0.5 m) tranne a ridosso della ferrovia dove è presente una zona caratterizzata da tiranti di circa 1 m.

8. PROCEDURA DI VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ GEOLOGICA

La procedura di valutazione della pericolosità geologica nel PAI ed utilizzata per la classificazione dell'area di studio, trae origine da quanto predisposto dall'ufficio Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) della

Confederazione Elvetica (metodo svizzero). Nelle fasi di predisposizione del PAI sono state introdotte delle modifiche al metodo svizzero per adattarlo alla specifica normativa italiana (metodo svizzero modificato). Infatti, conseguentemente al D.L. 11 giugno 1998, n. 180, con il quale il legislatore conferì una forte accelerazione alla predisposizione dei Piani per l'Assetto Idrogeologico, con D.P.C.M. 29.09.1998 fu emanato l'Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e 2, del di cui al D.L. 11 giugno 1998, n. 180.

La procedura prevista dal metodo svizzero modificato per la perimetrazione e classificazione delle aree soggette a pericolosità geologica, schematicamente passa attraverso i seguenti punti:

1. definizione delle caratteristiche geomorfologiche del fenomeno franoso (tipologia, velocità, volumi e/o spessori);
2. perimetrazione delle aree soggette a pericolosità geologica, sulla base degli elementi geomorfologici rilevati in sito, dall'analisi di immagini telerilevate e di eventuale documentazione relativa ad attività di studio e monitoraggio (tra queste attività trovano evidenza anche gli esiti modellistici);
3. stima della frequenza probabile di accadimento del fenomeno in relazione allo stato di attività valutato in occasione dei rilievi di campagna e sulla base dei dati storici disponibili;
4. determinazione del livello di pericolosità attraverso l'iterazione dei dati velocità/frequenza probabile o magnitudo/frequenza probabile, utilizzando opportune matrici per la determinazione del livello di pericolosità.

La scelta metodologica fatta consente di appoggiarsi a schemi semplificati che rappresentano una base di riferi-

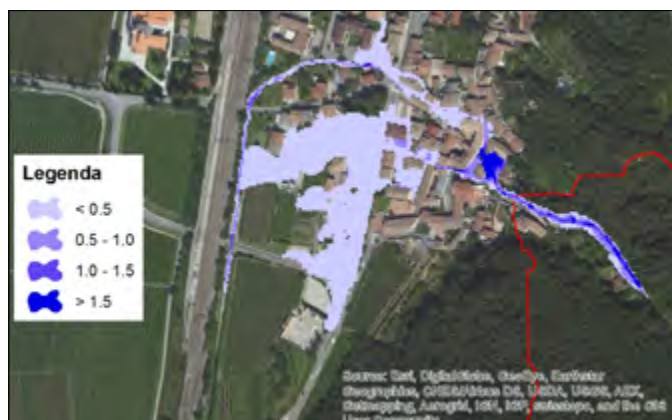


Figura 6. (sx) Tavola dei tiranti massimi espressi in metri (evento con tempo di ritorno pari a 100 anni). Figura 7. (dx) Tavola dell'area di attenzione ottenuta dalla modellazione

mento sulla quale tutti possono facilmente confrontarsi e che consentono alle Amministrazioni locali di verificare con immediatezza il percorso adottato.

Nel caso di studio gli esiti modellistici, unitamente alle valutazioni geomorfologiche permettono di definire direttamente la classe di magnitudo per le sottozone che compongono il conoide e la frequenza probabile di accadimento. Più in generale il metodo svizzero modificato, permette di definire la pericolosità di un'area, anche attraverso la stima dei parametri di frequenza probabile di accadimento e di magnitudo.

Per definire la classe di magnitudo è necessario individuare l'intervallo di velocità e l'intervallo di severità geometrica del fenomeno sulla base dei raggruppamenti indicati nelle *Tabb.* 2.1 e 2.2 sotto riportate. Le classi di velocità sono state definite da Cruden & Varnes (1996), mentre le classi dimensionali del fenomeno franoso sono in larga parte basate su un lavoro di Heinimann *et al.* (1998).

| Classi di velocità (definizione da Cruden & Varnes, 1996) | | Intervalli di velocità |
|--|-----------------|------------------------|
| Descrizione | Velocità tipica | |
| Estremamente rapida | 5 m/sec | 3 |
| Molto rapida | 3 m/min | |
| Rapida | 1,8 m/hr | 2 |
| Moderata | 13 m/mese | |
| Lenta | 1,6 m/anno | |
| Molto lenta | 16 mm/anno | 1 |
| Estremamente lenta | < 16 mm/anno | |

Tabella 2.1. Stima degli intervalli di velocità dei fenomeni franosi, individuati in funzione della possibilità di allertare la popolazione e dei possibili danni attesi agli edifici e alle strutture

| Classi di severità geometrica per i fenomeni di crollo (definizione da Heinimann <i>et al.</i> , 1998) | Classi di severità geometrica per i fenomeni di scorrimento e colata lenta (definizione da Heinimann <i>et al.</i> , 1998) | Classi di severità geometrica per i fenomeni di colata rapida (Profondità della corrente o del deflusso solido) | Intervalli di severità geometrica |
|---|---|--|-----------------------------------|
| Diametro dei blocchi > 2 m | Spessore > 15 m | Profondità > 1 m | 3 |
| Diametro dei blocchi 0,5 – 2 m | Spessore 2 – 15 m | Profondità 0,5 – 1 m | 2 |
| Diametro dei blocchi < 0,5 m | Spessore < 2 m | Profondità ≤ 0,5 m | 1 |

Tabella 2.2. Stima delle classi di severità geometrica dei fenomeni franosi

| Stato di attività | Frequenza probabile |
|---|---------------------|
| frane attive, continue e/o intermittenti | 1 – 30 anni |
| frane quiescenti – episodiche ad alta frequenza | |
| frane quiescenti – episodiche a media frequenza | 30 – 100 anni |
| frane quiescenti – episodiche a bassa frequenza | 100 – 300 anni |
| frane antiche e paleofrane | > 300 anni |

Tabella 2.3. Descrizione classi di frequenza probabile dei fenomeni franosi

| Attribuzione classe di magnitudo | Intervalli di velocità (VEL) (vedi Tabella 2.1) | | |
|--|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 |
| Intervalli di severità geometrica (SG) (vedi Tabella 2.2) | 1 | 2 | 3 |
| | 2 | 4 | 6 |
| | 3 | 6 | 9 |

Tabella 2.4. Matrice di iterazione per la definizione delle diverse classi di magnitudo

Nel caso di una colata detritica che interessa il conoide di Peri, la velocità del movimento soprattutto nella parte apicale e mediana del conoide rientra nelle classi molto rapida – estremamente rapida, e pertanto ricade nell'intervallo di velocità 3.

Per quanto riguarda le classi di severità geometrica, gli esiti modellistici e le applicazioni GIS permettono di mappare delle sotto zone interessate da deflussi con profondità a diversi intervalli. Il canale in prossimità dell'apice evidenzia profondità > a 1 m, quindi con intervallo di severità geometrica risulta pari a 3; immediatamente a valle le profondità diminuiscono ma si mantengono > a 0,5 m (intervallo di severità geometrica pari a 2), la parte distale del conoide evidenzia invece profondità di deflusso inferiore o uguale a 0,5 m (intervallo di severità geometrica pari a 1).

Definiti gli intervalli di velocità e di severità geometrica per le sottozone indicate dal modello è possibile attribuire la classe di magnitudo utilizzando la sotto riportata *Tab.* 2.4. Avremo quindi classe di magnitudo 9 per l'area di apice del conoide, classe 6 per l'area mediana del conoide e classe 3 per l'area distale.

Per quanto riguarda la stima della frequenza probabile, si è scelto di classificare il fenomeno come quiescente con episodiche riattivazioni a bassa frequenza in quanto non risultano segnalazioni di eventi censiti negli ultimi decenni. Coerentemente a questa scelta le modellazioni sono state condotte con idrogrammi aventi tempo di ritorno di 100 anni.

Definite le classi di magnitudo e la frequenza probabile si giunge alla attribuzione della classe di pericolosità per le singole sottozone applicando la matrice di interazione riportata nella seguente *Tab.* 2.5.

Nello scenario a bassa frequenza di accadimento 100-300 anni, all'area corrispondente all'apice del conoide con magnitudo 9 viene preliminarmente attribuita la classe di pericolosità elevata P3, lo stesso vale per l'area mediana del conoide (P3) con magnitudo 6. Alla parte distale del conoide con magnitudo 3 viene attribuita la classe di pericolosità media - P2.

A questa valutazione preliminare della pericolosità da colata rapida con frequenza di accadimento bassa, si è effettuata un'ulteriore valutazione delle particolari condizioni morfologiche e delle infrastrutture presenti sul conoide. Particolare attenzione è stata riservata alla canalizzazione interrata (tombotto) con sezione variabile e all'area d'imbocco posta poco a valle dell'apice del conoide.

L'area d'imbocco del tombotto si trova all'interno dell'area urbanizzata dell'abitato di Peri dove sono presenti edifici e recinzioni in muratura con altezza superiore a 2 m dal piano di campagna. Questi manufatti possono causare difficoltà al deflusso della corrente nel caso in cui la luce d'ingresso

del tombotto venga ostruita, anche parzialmente, dal materiale detritico e flottante trasportato dalla corrente. Tale situazione, come evidenziato dalle simulazioni, indica una notevole criticità, in quanto si possono instaurare imprevedibili processi deposizionali e di sfondamento delle strutture murarie in elevazione.

Sulla base delle considerazioni sopra esposte si è ritenuto per la sottozona apicale del conoide dove è presente l'imbocco del tombotto, l'applicazione dello scenario con forzante di media frequenza 30-100 anni, che in applicazione della matrice di interazione indicata nella Tab. 2.5 prevede l'attribuzione della classe di pericolosità molto elevata - P4, rispetto al P3 attribuito preliminarmente.

| Pericolosità connessa alla magnitudo dei fenomeni franosi | | Frequenza probabile (vedi Tabella 2.3) | | | Frane antiche (> 300 anni) e paleofrane |
|---|-------|--|------------------------|-------------------------|---|
| | | alta 1 - 30 anni | media 30 - 100 anni | bassa 100 - 300 anni | |
| Classi di Magnitudo (vedi Tabella 2.4) | 6 - 9 | P4 | P4 | P3 | P1 |
| | 3 - 4 | P3 | P3 | P2 | |
| | 1 - 2 | P2 | P1 | P1 | |

Tabella 2.5. Matrice di iterazione per la valutazione della pericolosità derivante da fenomeni franosi connessa alla magnitudo

Nella seguente cartografia viene rappresentata la condizione di pericolosità per il conoide su cui sorge l'abitato di Peri in Comune di Dolcè.

Le classi di pericolosità derivano dalle valutazioni di carattere geomorfologico e sulla base delle modellazioni appositamente sviluppate che hanno permesso la puntuale definizione spaziale della severità geometrica.

Classe di pericolosità molto elevata - P4: apice del conoide e area d'imbocco del tombotto

Classe di pericolosità elevata - P3: area mediana del conoide

Classe di pericolosità media - P2: area distale del conoide

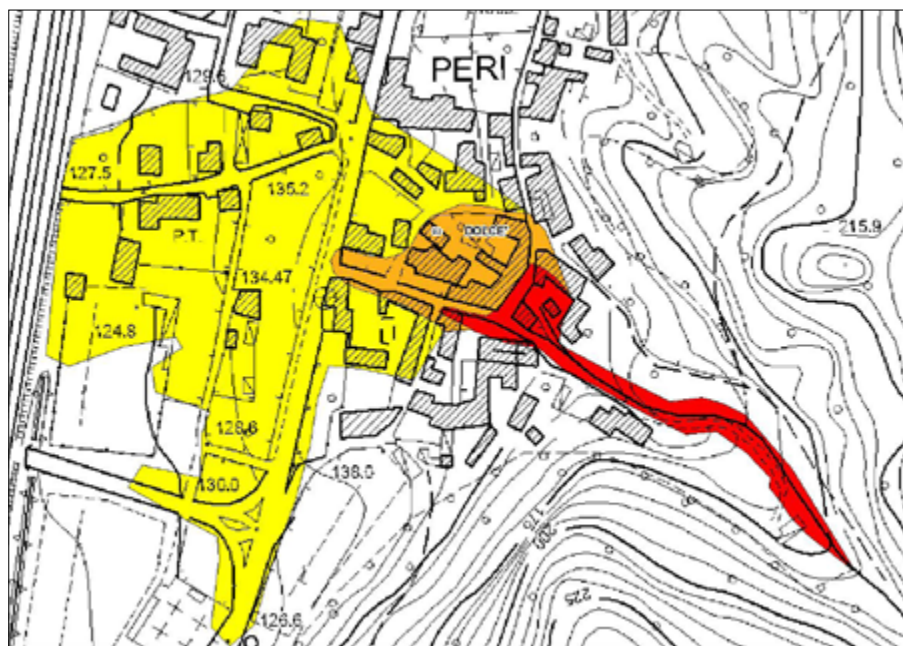


Figura 8. Tavola della pericolosità inserita nel PAI

9. OSSERVAZIONI FINALI

L'attività svolta si è posta come obiettivo l'individuazione, attraverso modellazione matematica, delle aree potenzialmente interessate da un fenomeno di colata detritica nel bacino del vaio del Rì sul sito in località Peri in comune di Dolcè (VR) e la relativa attribuzione di pericolosità secondo il metodo svizzero BUWAL (modificato).

In assenza di informazioni e forme che potessero dare indicazioni su eventi pregressi (anche per la massiccia antropizzazione dell'area) la simulazione e modellazione del fenomeno ha rappresentato la strada obbligata per l'individuazione dei territori potenzialmente soggetti a pericolosità idrogeologica. La precisione del DTM utilizzato e la presenza delle infrastrutture inseriti manualmente (muri perimetrali di

edifici, strade, tombature) hanno determinato una notevole influenza sulla direzione di propagazione della colata e, di conseguenza, sulle le aree di conoide interessate dal fenomeno. Pertanto in fase di individuazione dell'area si è ritenuto in via cautelativa di prevedere l'inserimento settori - non interessati dai tiranti - ma comprese tra il tracciato naturale del corso d'acqua e le zone di esondazione.

Per le condizioni di particolare vulnerabilità del sito sono state opportunamente considerate per l'attribuzione di pericolosità secondo il metodo BUWAL modificato.

I risultati ottenuti sulla base di tali assunzioni appaiono coerenti a scala di pianificazione di bacino.

L'area del conoide è inserita nella proposta di Variante al Piano di Assetto Idrogeologico del bacino del fiume Adige in corso di approvazione.

BIBLIOGRAFIA

- BERTRAND, M., LIÉBAULT, F., PIÉGAY, H. (2013), *Debris-flow susceptibility of upland catchments*. *Natural Hazards*, 67, 497-511, doi: 10.1007/s11069-013-0575-4.
- BURTON A., BATHURST J.C. (1998), *Physically based modelling of shallow landslide sediment yield at a catchment scale*. *Environmental Geology*, 35 (2-3), 89-99.
- CAVALLI M., GRISOTTO S. (2006), *Individuazione con metodi GIS delle aste torrentizie soggette a colate detritiche: applicazione al bacino dell'alto Avisio (Trento)*. In: *Le sistemazioni idraulico-forestali per la difesa del territorio*, Quaderni di Idronomia Montana, 26, 83-94.
- D'AGOSTINO V., CERATO M., COALI R. (1996), *Il trasporto solido di eventi estremi nei torrenti del trentino Orientale*, Atti del Convegno Interpraevent 1996, Garmisch-Partenkirchen, Band 1, pp.377-386.
- D'AGOSTINO V., MARCHI L. (2004), *Estimation of debris-flow magnitude in the Eastern Italian Alps* *Earth Surf Proc Land* 29 (2): 207-220.
- DEGETTO M., G. GRUCIL, A. PIMAZZONI, C.MASSETTO & C.GREGORETTI (2011), *An Estimate of the sediments volume entrainable by debris flow along strobil and south Pezoriè channels at Fiammes (Dolomites, Italy)* 5th International Conference on Debris-Flow Hazards (Padova, Italia 14-17).
- HEINIMANN H.R., HOLTENSTEIN K., KIENHOLZ H., KRUMMENHACHER B., MANI P. (1998), *Methoden zur analyse und bewertung von naturgefahren* "Umwelt-Materialien 85, Naturgefahren. Bern: BUWAL, pp. 248.
- MARCHI L, PASUTTO A, TECCA P (1993), *Flow processes on alluvial fans in the Eastern Italian Alps*. *Z Geomorphol* 37(4):447-458.
- O'BRIEN J.S., *Flow2D User Mnual*.
- JACKSON L.E., KOSTASCHUCK R.A., MACDONALD G.M. (1987), *Identification of debris flow hazard on alluvial fans in the Canadian Rocky Mountains*. *Geol. Soc. of America, Reviews in Engineering Geology*, 7, 115-124.
- TAKAHASHI T. (1991), *Debris flow*. IAHR/AIRH Monograph, Taylor & Francis, London and New York.

Analisi spazio temporale della franosità nel Sub-Appennino Dauno. L'esempio di Motta Montecorvino (FG)

Spatio-temporal analysis of landslides in the Daunia Apennine (Apulia, SE Italy). Example from Motta Montecorvino

Parole chiave: inventario frane, mappatura, Appennino Dauno
Key words: landslide inventory, mapping, Daunia Apennine

ABSTRACT

Il lavoro descrive le carte inventario delle frane, di tipo geomorfologico e multi-temporale, preparate per una parte del territorio comunale di Motta Montecorvino, che ricade nel settore collinare e montuoso del Sub-Appennino Dauno (Provincia di Foggia, Puglia).

Il lavoro è realizzato nell'ambito del progetto "Valutazione integrata dei fenomeni di instabilità geo-idrologica in Puglia, modelli interpretativi e definizione delle soglie di pioggia per l'innescamento di frane" ed ha lo scopo di produrre una carta inventario delle frane di tipo geomorfologico per tutto il territorio Dauno e carte inventario di tipo multi-temporali per dieci centri abitati. La mappatura delle frane è realizzata attraverso l'interpretazione di più serie di fotografie aeree stereoscopiche in bianco e nero a diverse scale, per il periodo dal 1954 al 2003.

La carta inventario geomorfologica di Motta Montecorvino, evidenzia un'elevata presenza di frane con dimensioni che vanno da centinaia di metri quadrati a qualche decina di ettari, mentre la carta inventario multi-temporale mostra un elevato numero di frane recenti di piccole-medie dimensioni, all'interno o in prossimità dei corpi di frane preesistenti e di maggiori dimensioni.

1. INTRODUZIONE

Le carte inventario delle frane sono il mezzo più semplice di rappresentazione cartografica. In esse sono riportate la localizzazione di tutti gli eventi franosi osservabili alla scala del lavoro che hanno lasciato segni visibili sul territorio. Le carte inventario possono essere realizzate con tecniche diverse a seconda della scala, dello scopo e delle risorse finanziarie disponibili. Le carte inventario possono essere classificate in:

(i) *geomorfologiche*, (ii) di *evento* e (iii) *multi-temporali*. Ciascun tipo di cartografia ha caratteristiche, metodi di preparazione, e campi d'applicazione differenti. Le carte inventario *geomorfologiche* sono ottenute prevalentemente attraverso l'interpretazione di fotografie aeree a media o a piccola scala e con limitati controlli in campagna (Brabb and Pampeyan, 1972; Antonini *et al.*, 1993; Cardinali *et al.*, 2001; Galli *et al.*, 2008). Le carte inventario geomorfologiche riportano tutte le frane che hanno lasciato segni visibili sul territorio e possono essere realizzate per territori vasti alcune migliaia di chilometri quadrati. Le carte inventario *d'evento* sono prodotte a seguito di eventi meteorologici o sismici che hanno innescato dissesti. Le cartografie *d'evento* riportano esclusivamente le frane causate da uno specifico evento, e sono prodotte attraverso indagini di campagna e l'interpretazione di fotografie aeree riprese *ad hoc* a seguito di un evento calamitoso (Guzzetti *et al.*, 2004; Cardinali *et al.*, 2006). Infine, le carte inventario *multi-temporali* sono realizzate attraverso l'interpretazione e il confronto di più voli di fotografie aeree di età diversa. Le carte inventario multi-temporali forniscono informazioni sulla evoluzione nel tempo della franosità di un territorio. Sono le cartografie dei dissesti più avanzate oggi disponibili, ma sono anche le più difficili e complesse da preparare (Guzzetti *et al.*, 2012).

L'Appennino Dauno, situato nell'Italia meridionale, è un territorio caratterizzato da una forte franosità, che in passato ha anche interferito con infrastrutture ed attività antropiche (Cotecchia *et al.*, 2016). Il Sub-Appennino Dauno è caratterizzato soprattutto da fenomeni franosi lenti e profondi, ma sono presenti anche fenomeni superficiali che si manifestano

Veronica Zumpano^{(1)*}, Francesca Ardizzone⁽²⁾, Alessia Basso⁽¹⁾, Francesco Bucci⁽²⁾, Mauro Cardinali⁽²⁾, Federica Fiorucci⁽²⁾, Mario Parise^(1, 3), Luca Pisano⁽¹⁾, Paola Reichenbach⁽²⁾, Michele Santangelo⁽²⁾, Janusz Wasowski⁽¹⁾, Piernicola Lollino⁽¹⁾

⁽¹⁾ National Research Council, Institute of Research for the Geo-hydrological Protection, Bari, Italy (*)

⁽²⁾ National Research Council, Institute of Research for the Geo-hydrological Protection, Perugia, Italy,

⁽³⁾ Department of Earth and Environmental Sciences, University Aldo Moro, Bari, Italy

*Autore di riferimento/reference author
E-mail: v.zumpano@ba.irpi.cnr.it

come parziali riattivazioni di fenomeni più profondi (Parise *et al.*, 2012).

Per il territorio del Sub-Appennino Dauno sono ad oggi disponibili diversi inventari delle frane. Tra questi, alcuni coprono l'intero territorio nazionale (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia-IFFI – Trigila *et al.*, 2007), altri sono relativi ad alcune porzioni del Sub-Appennino Dauno, quali quelli dell'Autorità di Bacino regionale pugliese, dell'Autorità di Bacino del Fortore, Saccione e quella del Liri-Garigliano-Volturno (Pellicani *et al.*, 2015). Altri inventari parziali sono stati prodotti da Zezza *et al.* (1994) e Iovine *et al.* (1996), Parise (2003), Mossa *et al.*, (2005) e Wasowski *et al.* (2010).

In questo lavoro viene presentata l'analisi spazio-temporale della franosità di una parte del territorio comunale di Motta Montecorvino, presentando i risultati dell'inventario geomorfologico e multi-temporale.

2. AREA DI STUDIO

Il Sub-Appennino Dauno è un'area geografica dell'Appennino meridionale, situata nella parte nord-occidentale della Puglia, al confine con il Molise a nord, la Campania ad est e la Basilicata a sud (Fig. 1). All'interno dell'area possono essere distinti due settori principali separati da un sovrascorrimento tettonico: il settore occidentale con la maggiore energia di rilievo, costituito da rilievi collinari-montuosi appartenenti al settore esterno dell'Appennino Dauno ed un settore orientale pedemontano dai rilievi più blandi appartenente al Tavoliere di Puglia (Pieri, 2010; Del Gaudio *et al.*, 2012) (Fig. 1). Nell'area, vi è una significativa presenza di fenomeni franosi principalmente di tipo complesso o composito (Cruden e Varnes 1996),

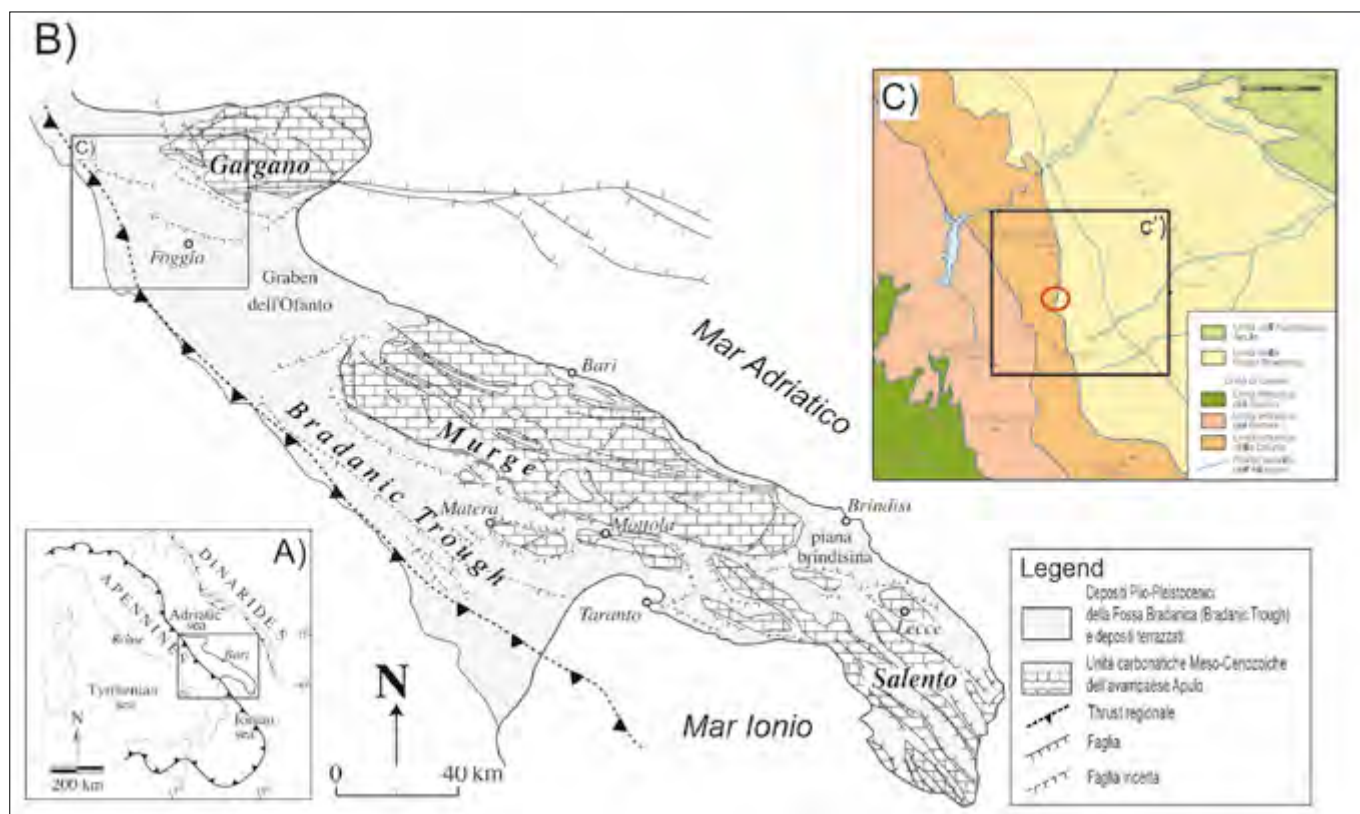


Figura 1. A) Inquadramento dell'area studio. B) Schema geologico strutturale della Regione Puglia, modificato da Pieri et al., 1997. C) Schema geologico strutturale dell'Appennino Dauno, con il cerchio in rosso che riporta l'ubicazione dell'area studio. (c') Estensione del Foglio 407 del Progetto CARG alla scala 1: 50.000

come scorrimenti evolventi in flussi. Subordinatamente sono inoltre molto comuni gli scorrimenti roto-traslativi lenti e i flussi superficiali moderatamente veloci (Pellicani *et al.*, 2015), i cui principali meccanismi di innesco sono rappresentati da eventi meteorici.

L'area oggetto di studio si sviluppa su un territorio di circa 8,4 km² all'interno del Comune di Motta Montecorvino, occupando una porzione di un rilievo costituito da due versanti delimitati da crinali e fondovalle. Il rilievo si sviluppa in direzione est-ovest e presenta una forma asimmetrica con il versante esposto a nord più corto e ripido del versante esposto a sud.

Nel territorio affiorano litotipi appartenenti alla Formazione del Flysch Rosso e alla facies argilloso-marnoso-calcareo del Flysch di Faeto (Foglio 407 "San Bartolomeo in Galdo", a scala 1:50.000). Gli affioramenti lapidei del Flysch di Faeto sono caratterizzati da acclività maggiori rispetto a quelle dei versanti costituiti dai litotipi argillosi delle formazioni geologiche ivi esistenti. L'abitato

storico di Motta Montecorvino, situato su un rilievo alla quota di oltre 600 metri, si sviluppa prevalentemente su litologie lapidee, mentre l'edificato più recente si sviluppa sugli affioramenti più argillosi.

3. METODI E DATI

Una delle tecniche più utilizzate per la preparazione di carte inventario da frana è l'interpretazione di fotografie aeree (foto-interpretazione) (Rib e Liang, 1978; Guzzetti *et al.*, 2012). Questa tecnica risulta appropriata per diversi motivi tra i quali: (i) la disponibilità di fotografie aeree di diversi anni, e la loro facilità di reperimento presso agenzie nazionali, regionali e locali, organizzazioni di ricerca, e compagnie private; (ii) la possibilità di visualizzazione tridimensionale che facilita l'identificazione e l'interpretazione di evidenze morfologiche associate alle frane; (iii) i costi contenuti; (iv) la possibilità di analizzare territori anche di vaste estensioni anche grazie alla scala dei fotogrammi che varia da 1:15.000 a 1:70.000 circa.

Per minimizzare gli errori e le incertezze del processo foto-interpretativo, il Gruppo di Geomorfologia del CNR-IRPI ha messo a punto una procedura di lavoro finalizzata a garantire la corretta impostazione dello studio foto-interpretativo, ed a definire criteri univoci di interpretazione (Cardinali *et al.*, 2001; Reichenbach *et al.*, 2005). La procedura, prevede tre fasi. La prima fase, di tipo organizzativo, comporta: (i) l'acquisizione di informazioni bibliografiche di tipo cartografico, scientifico e storico; (ii) la costituzione di un team di geomorfologi (foto-interpreti) per l'interpretazione ed i controlli di campagna; (iii) la scelta degli stereoscopi ed (iv) il reperimento delle fotografie aeree stereoscopiche, generalmente disponibili su supporti cartacei o digitali, a scale diverse o realizzate in anni diversi. La seconda fase è quella relativa al processo di "interpretazione fotografica" attraverso l'osservazione, la raccolta e l'analisi dell'informazione contenuta nelle fotografie aeree stereoscopiche. La terza fase consiste nell'in-

Tabella 1. Voli di fotografie aeree stereoscopiche selezionate per la foto-interpretazione

| Volo | Scala | Tipo | Anno | Stagione | Copertura |
|-----------|----------------------|------|---------|-------------------|--|
| GAI, IGMI | 1:35.000 | BN | 1954-55 | Varie | Intera regione |
| IGMI | 1:30.000 | BN | 1976-77 | Primavera, estate | Parziale copertura della provincia di Foggia |
| IGMI | 1:33.000 1:35.000 | BN | 1990-91 | Varie | Parziale copertura della provincia di Foggia |
| IGMI | 1:33.000 | BN | 2003 | Primavera, estate | Intera regione |

formatizzazione dei dati foto-interpretati in un sistema informativo geografico che consente lo stoccaggio dell'informazione, la definizione di una banca dati, la visualizzazione e l'analisi dei dati.

Per l'analisi temporale e spaziale della franosità, sono state acquisite fotografie aeree stereoscopiche multi-temporali in bianco e nero a diverse scale per il periodo che intercorre tra il 1954 ed il 2003 (Tab. 1). Le immagini acquisite presso l'Istituto Geografico Militare, sono state fornite in formato digitale. Questo ha reso necessaria una fase di elaborazione delle immagini (pre-processing) finalizzata alla realizzazione di stereo-blocchi. La generazione degli stereo-blocchi consente: (i) la visione stereoscopica necessaria per l'interpretazione delle immagini aeree, e (ii) la digitalizzazione delle informazioni tematiche in ambiente 3D, come elementi vettoriali georeferenziati.

Per la realizzazione degli stereo-blocchi è stato utilizzato un software fotogrammetrico "Image Photogrammetry" di Erdas, un modello digitale del terreno e una copertura di ortofotocarte. Una volta realizzati gli stereo-blocchi le fotografie aeree possono essere visualizzate in stereoscopia in ambiente GIS, attraverso il software StereoAnalyst. Questo sistema, che consente di identificare e digitalizzare le informazioni come elementi vettoriali tridimensionali, permette anche l'osservazione simultanea da parte di più foto-interpreti della stessa coppia di fotografie aeree. Il sistema permette l'osservazione simultanea della stessa coppia di fotografie aeree da parte di più foto-interpreti. Questo facilita l'analisi, il confronto e la discussione della mappatura, limitando gli errori di interpretazione.

Per l'analisi temporale e spaziale della franosità, sono state acquisite fotografie aeree stereoscopiche multi-temporali in bianco e nero a diverse scale per il periodo che intercorre tra il 1954 ed il 2003 (Tab. 1). Per l'area di studio, sono state inoltre raccolte tutte le informazioni ancillari disponibili quali (i) le carte geologiche dell'area, a scala 1:50.000 (Foglio San Bartolomeo N°407 - CARG) ed a scala 1:100.000 (Foglio Lucera N° 163 - Carta Geologica d'Italia); (ii) Carta Tecnica Regionale a scala 1:5000; (iii) DEM LiDAR del 2012 del Piano Strategico di Telerilevamento; (iv) carta inventario delle frane IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia) (Trigila *et al.*, 2007), e (v) carte inventario delle frane realizzate dall'Autorità di Bacino regionale (http://93.51.158.165/POR/map_default.phtml)

3.1 CARTA INVENTARIO GEOMORFOLOGICA

La Carta inventario geomorfologica delle frane è stata realizzata ad una scala compatibile con il 1:10.000, utilizzando un volo di fotografie aeree relativo agli anni 1954/55 (Tab. 1). L'interpretazione delle fotografie aeree è stata eseguita da tre geomorfologi (foto-interpreti) che si sono confrontati per limitare gli errori di interpretazione. Due foto-interpreti hanno realizzato la mappatura preliminare, analizzando congiuntamente la stessa coppia di fotografie aeree. Il terzo foto-interprete ha poi revisionato la mappatura preliminare, validando il prodotto finale.

La Fig. 2 mostra la Carta inventario geomorfologica delle frane disponibile per l'area di Motta Montecorvino. La Carta inventario geomorfologica mostra, oltre alla distribuzione delle principali frane, anche la presenza di alcuni elementi geomorfologici quali: depositi alluvionali recenti e terrazzati, conoidi alluvionali e pareti rocciose, che possono essere considerati in relazione con l'evoluzione dei versanti e possono fornire utili informazioni per l'analisi della distribuzione delle frane. Le frane sono state classificate in base alla *tipologia del movimento*, all'*età relativa* ed alla *profondità stimata* del dissesto, applicando criteri di interpretazione noti in letteratura (Cardinali *et al.*, 2002; Reichenbach *et al.*, 2005), ed in accordo a quanto proposto da Cruden e Varnes (1996) e dal WP/

WLI (1990). La *tipologia del movimento* della frana è stata assegnata analizzando le caratteristiche morfologiche del singolo dissesto e le locali condizioni litologiche e di assetto strutturale del versante. L'*età relativa* dei dissesti è stata assegnata in riferimento alle evidenze morfologiche del singolo dissesto, adottando un criterio di classificazione generazionale. La *profondità* presunta (stimata) dei dissesti, è stata assegnata sulla base delle loro caratteristiche morfologiche (i.e. altezza della scarpata, contro-pendenze, convessità e concavità del deposito, ecc.).

3.2 CARTA INVENTARIO MULTI-TEMPORALE

La carta inventario multi-temporale delle frane è stata prodotta attraverso: (i) l'interpretazione di quattro voli di fotografie aeree stereoscopiche riprese negli anni 1954-55, 1976-77, 1990-91 e 2003, (ii) la consultazione di informazioni bibliografiche, d'archivio e cronachistiche e (iii) l'analisi delle osservazioni raccolte durante i sopralluoghi e i rilevamenti di campagna. La Fig. 3 mostra la Carta inventario multi-temporale delle frane disponibile per l'area di Motta Montecorvino, nella quale i dissesti sono classificati in base alla loro età relativa. In particolare, la Carta inventario multi-temporale mostra l'evoluzione spazio-temporale delle frane nel periodo dal 1954 al 2003 (50 anni), per il quale sono stati identificati: (i) quattro inventari per frane di evento, relativi

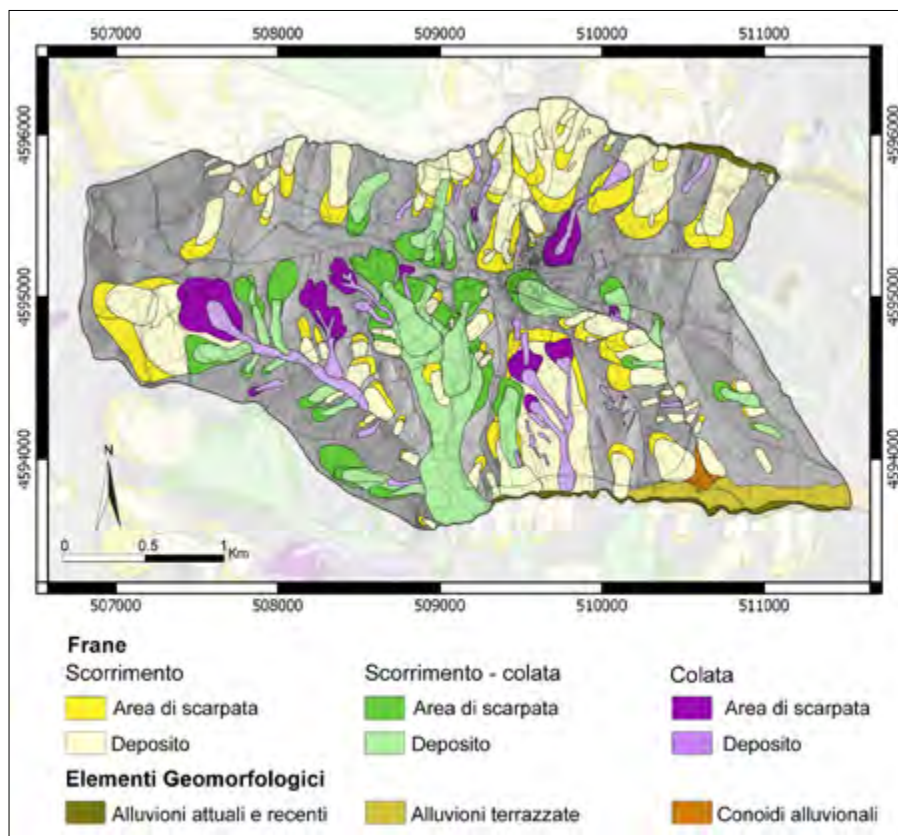


Figura 2. Carta inventario geomorfologica del territorio limitrofo all'abitato di Motta Montecorvino

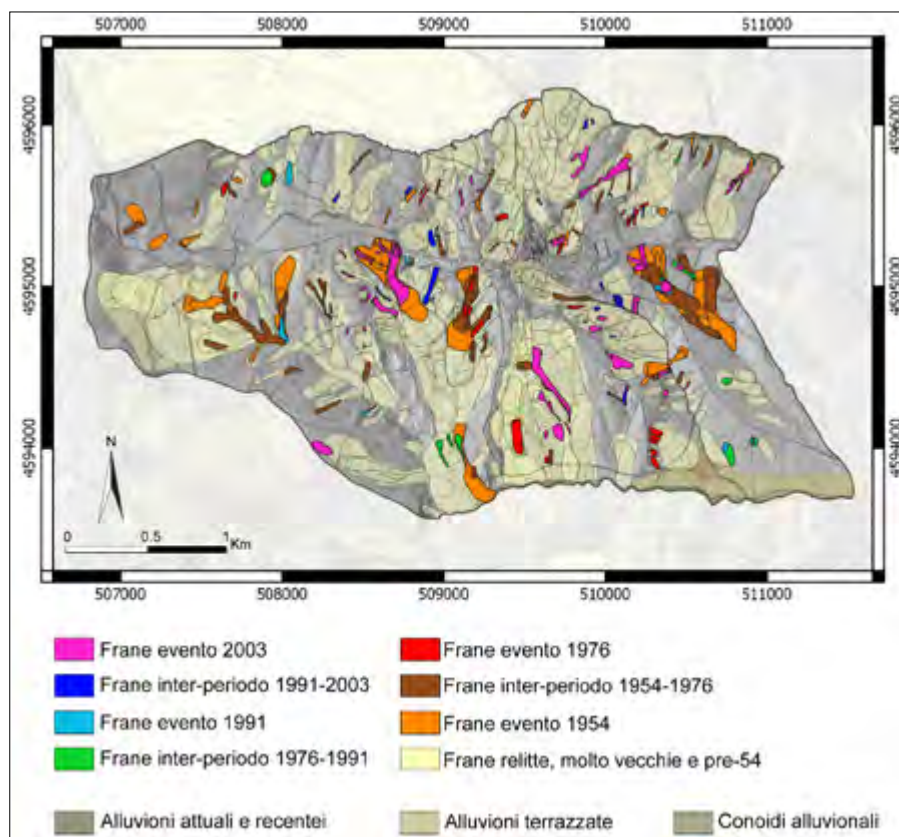


Figura 3. Carta inventario multi-temporale del territorio limitrofo all'abitato di Motta Montecorvino

agli anni 1954, 1976, 1991 e 2003, e (ii) tre inventari per frane di inter-periodo, relativi ai periodi 1954–1976, 1976–1991, 1991–2003. Le frane di evento appaiono sulle fotografie aeree con “*morfologie fresche*” e per questo ritenute in evoluzione e associate a movimenti in atto alla data delle fotografie aeree.

Le frane classificate di inter-periodo sono dissesti che si sono verificati in periodi compresi tra due voli temporalmente contigui. Queste frane sono riconoscibili solo nel volo più recente, tra i due messi a confronto e presentano evidenze morfologiche “*non fresche*”, spesso attenuate dal dilavamento superficiale e/o mascherate dalla presenza della vegetazione.

4. RISULTATI

Il territorio di Motta Montecorvino è caratterizzato da un'elevata franosità distribuita uniformemente lungo i versanti dell'area di studio. Su un territorio di circa 8,4 km² sono state cartografate un totale di 345 frane delle quali, 150 frane nell'inventario geomorfologico (Fig. 2) e 195 frane nell'inventario multi-temporale

(Fig. 3). L'area totale in frana che risulta dall'inventario geomorfologico supera i 4,0 km², per una densità pari a 17 frane a chilometro quadrato e una dimensione delle frane mappate che varia tra 618 m² e 0,58 km² (Tab. 2). Le frane riconosciute nel periodo dal 1954 al 2003 e riportate nell'inventario multi-temporale sono pari a 195, per un'area totale in frana di circa 0,75 km², oltre cinque volte più bassa dell'area totale delle frane pregresse presenti nell'inventario geomorfologico. Le frane multi-temporali hanno infatti dimensioni più ridotte e variano tra 213 m² e 0,09 km² (Tab. 2).

Le frane presenti nella carta inventario geomorfologica (Fig. 2) mostrano diverse tipologie di movimento, con prevalenza di scorrimenti e scorrimenti-colate anche di grandi dimensioni e subordinate colate di terra di dimensioni più ridotte. Il versante esposto a nord è caratterizzato prevalentemente da scorrimenti di dimensioni medio grandi. Il versante esposto a sud è invece caratterizzato prevalentemente da scorrimenti-colate e da colate di terra, mentre gli scorrimenti sono meno rappresentati

(Fig. 2). La frana di maggiori dimensioni si sviluppa a sud-ovest dell'abitato di Motta Montecorvino e lambisce il centro urbano e le principali infrastrutture viarie. Si tratta di uno scorrimento-colata di circa 0,58 km² che dal crinale si estende fino al fondovalle modificando l'idrografia locale e deviando in modo evidente il corso d'acqua. Nell'area di scarpata di questa grande frana si sviluppano altri movimenti franosi di dimensioni più ridotte, rappresentati prevalentemente da scorrimenti-colate e da colate che producono un arretramento locale della scarpata della frana principale che supera i 250 metri.

La Carta inventario multi-temporale (Fig. 3) mette in evidenza come la distribuzione geografica delle frane avvenute nel periodo dal 1954 al 2003 (50 anni) sia prevalentemente condizionata dalla presenza delle frane pregresse, precedenti al 1954 (Fig. 2).

Si nota infatti come la maggioranza delle frane recenti (avvenute dal 1954 al 2003) si presentano come parziali riattivazioni delle frane pregresse, distribuendosi prevalentemente nelle aree di scarpata delle grandi frane. Nella parte centrale dell'area di studio, in particolare, la carta inventario multi-temporale mette in evidenza tre settori principali nei quali le frane recenti si presentano in gruppi (*cluster*) con elevata ricorrenza spaziale e temporale. Nel settore più occidentale è possibile notare un gruppo di frane recenti caratterizzato prevalentemente da colate di terra che si sviluppano come parziali riattivazioni delle aree di scarpata di alcune frane pregresse. Tra le frane recenti, quelle di maggiori dimensioni sono le colate di terra riconducibili all'evento del 1954 e all'inter-periodo del 1954-76. Dissesti di dimensioni più ridotte, rappresentati da locali scorrimenti e scorrimenti-colate, sono state osservate nel 1976 e 1991. Nel settore centrale le frane multi-temporali si distribuiscono quasi interamente in corrispondenza della area di scarpata della grande frana pregressa documentata nell'inventario geomorfologico. In questa zona, l'analisi multi-temporale ha messo in evidenza la presenza di estesi scorrimenti-colate riconosciuti in evoluzione nel 1954 che hanno prodotto un ulteriore arretramento del coronamento della frana pregressa che localmente ha superato i 50 metri. Nella stessa zona, nuove frane sono state poi riconosciute nell'inter-periodo 1954-76, nel 1976 e soprattutto nel 2003, anno nel quale numerose colate di terra hanno interessato la parte destra della grande frana pregressa. La elevata persistenza delle frane recenti documenta l'evoluzione in atto di questa

Tabella 2. Statistica descrittiva delle frane cartografate

| Volo | Numero frane (#) | Area min. (m ²) | Area max. (m ²) | Area tot. (m ²) |
|--|------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| Inventario geomorfologico delle frane | 150 | 618 | 587.643 | 4.142.186 |
| Inventario multi-temporale delle frane (periodo 1954-2003) | 195 | 213 | 90.080 | 751.874 |

porzione di versante posta in prossimità del centro abitato. Nel settore orientale, invece, l'inventario multi-temporale mostra un *cluster* di frane localizzate in una porzione del versante dove non sono state riconosciute frane pregresse, precedenti al 1954. Questo gruppo di frane è caratterizzato da prevalenti scorrimenti colata riconosciuti a partire dal 1954 come frane in evoluzione e che si sono poi parzialmente riattivati nell'inter-periodo 1954-76. La persistenza spaziale e temporale delle frane in questa porzione del versante si presenta molto elevata, avendo riconosciuto ulteriori dissesti anche negli anni 1976, 1991 e 2003.

6. CONCLUSIONI

Le carte inventario realizzate per l'area di Motta Montecorvino mettono in evidenza le variazioni spaziali e temporali della franosità nel territorio di studio. La carta inventario geomorfologica fornisce informazioni di base sulla distribuzione e sulla tipologia di frane che si sono ripetutamente verificate nel passato, in un periodo di tempo non ben definito. Molte di queste frane si presentano in gruppi (*cluster*) evidenziando una elevata persistenza spaziale. In questi casi è stato possibile assegnare una età relativa ai dissesti, adottando un criterio generazionale. Alcune delle frane di maggiori dimensioni hanno profondamente modellato la morfologia locale dei versanti, adattandosi all'evoluzione morfo-tettonica quaternaria dell'area.

La carta multi-temporale permette di analizzare l'evoluzione spazio temporale delle frane in un periodo di tempo definito, funzione della tipologia delle informazioni disponibili. Le carte multi-temporali richiedono molto tempo per essere realizzate (Galli *et al.*, 2008) e per questo sono generalmente compilate solo per aree di limitata estensione. Per l'area di Motta Montecorvino, la disponibilità di fotografie aeree per gli anni 1954, 1976, 1991 e 2003, ha permesso di valutare l'evoluzione della franosità più recente, osservata in un periodo di 50 anni. Queste informazioni associate allo studio dell'assetto geologico e morfologico, e all'analisi delle indagini in situ e delle informazioni storiche, potranno essere utilizzate per la definizione della suscettibilità, della pericolosità da frana e per la stima del rischio associato. La cartografia multi-temporale fornisce infatti informazioni sulla frequenza, l'intensità e la magnitudo delle frane e quindi sul probabile danno atteso alle strutture, alle infrastrutture e alla popolazione a seguito del verificarsi di eventi calamitosi (Cardinali *et al.*, 2002; Reichenbach *et al.*, 2005).

7. RINGRAZIAMENTI

Lo studio è realizzato nell'ambito del progetto *Valutazione integrata dei fenomeni di instabilità geo-idrologica in Puglia, modelli interpretativi e definizione delle soglie di pioggia per l'innesco di frane* finanziato dal Sezione di Protezione Civile della Regione Puglia (P.O.R. Puglia 2014-2020, Asse V - Azione 5.1. Numero di identificazione del progetto: B82F16003840006).

8 BIBLIOGRAFIA

- ANTONINI G., CARDINALI M., GUZZETTI F., REICHENBACH P., SORRENTINO A. (1993), *Carta Inventario dei Fenomeni Franosì della Regione Marche ed aree limitrofe*. CNR, Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche, Pubblicazione n. 580, scala 1:100,000.
- BRABB, E. E., PAMPEYAN, E. H. (1972), *Preliminary Map of Landslides in San Mateo County, California*, U.S. Geol. Survey Misc. Field Studies Map MF-344
- CARDINALI M., ANTONINI G., REICHENBACH P., GUZZETTI F. (2001), *Photo geological and landslide inventory map for the Upper Tiber River basin*. CNR, Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche, Publication n. 2116, scale 1:100,000.
- CARDINALI M., REICHENBACH P., GUZZETTI F., ARDIZZONE F., ANTONINI G., GALLI M., CACCIANO M., CASTELLANI M., SALVATI P. (2002), *A geomorphological approach to estimate landslide hazard and risk in urban and rural areas in Umbria, central Italy*, *Natural Hazards and Earth Systems Science*, 2(1-2), 57-72.
- CARDINALI M., GALLI M., GUZZETTI F., ARDIZZONE F., REICHENBACH P., BARTOCCHINI P. (2006), *Rainfall induced landslides in December 2004 in south-western Umbria, central Italy: types, extent, damage and risk assessment*. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 6, 237-260.
- COTECCHIA F., SANTALOAIA F., LOLLINO P., VITONE C., PEDONE G., BOTTIGLIERI O. (2016), *From a phenomenological to a geomorphological approach to landslide hazard analysis*. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 20 (9), 1004-1031.
- CRUDEN D.M., VARNES D.J. (1996), *Landslide types and processes*. In: Turner AK, Schuster RL (eds) *Landslides, investigation and mitigation*, special report 247. Transportation Research Board, Washington, DC, 36-75.
- DEL GAUDIO V., PIERI P., CALCAGNILE G. (2012), *Analysis of seismic hazard in landslide-prone regions: criteria and example for an area of Daunia (Southern Italy)*. *Nat. Hazards* 61, 203-215. <https://doi.org/10.1007/s11069-011-9886-5>
- GALLI M., ARDIZZONE F., CARDINALI M., GUZZETTI F., REICHENBACH P. (2008). *Comparing landslide inventory maps* *Geomorphology*, (94), 268-289, 10.1016/j.geomorph.2006.09.023
- GUZZETTI F., CARDINALI M., REICHENBACH P., CIPOLLA F., SEBASTIANI C., M. GALLI M., SALVATI P. (2004), *Landslides triggered by the 23 November 2000 rainfall event in the Imperia Province, We-*

stern Liguria, Italy. *Engineering Geology*, 73 (2), 229-245.

- GUZZETTI F., MONDINI A.C., CARDINALI M., FIORUCCI F., SANTANGELO M., CHANG K. (2012), *Landslide inventory maps: New tools for an old problem*, *Earth-Science Reviews*, 112 (1-2), 42-66.
- IUVINE G., PARISE M., CRESCENZI E. (1996) *Analisi della franosità nel settore centrale dell'Appennino Dauno*, *Memorie della Società Geologica Italiana*, vol. 51, p. 633-641.
- MOSSA S., CAPOLONGO D., PENNETTA L., WASOWSKI J. (2005), *A GIS based assessment of landsliding in the Daunia Apennines, Southern Italy*, in: *Proceedings of the conference "Mass movement hazard in various environments"*, Polish Geological Institute special papers, 20, 86-91.
- PARISE M., FEDERICO A., PALLADINO G. (2012), *Historical evolution of multi-source landslides*. In: Eberhardt *et al* (eds) *Landslides and engineered slopes: protecting society through improved understanding*. Taylor & Francis Group, London, pp 401-407. ISBN 978-0-415-62123-6
- PARISE M. (2003), *Considerazioni sulla franosità dell'Appennino Dauno (Puglia) sulla base dell'elaborazione di carte di attività delle frane*. *Quad. Geol. Applicata* 10 (2): 133-145.
- PELLICANI R., SPILOTRO G. (2015), *Evaluating the quality of landslide inventory maps: Comparison between archive and surveyed inventories for the Daunia region (Apulia, Southern Italy)*. *Bull. Eng. Geol. Environ.* 74, 357-367. <https://doi.org/10.1007/s10064-014-0639-z>
- PIERI P., GALLICCHIO S., DE DONATO G., FESTA V., FIORE A., MORETTI M., TILLI A., TROPEANO M. (2010), *Carta Geologica d'Italia. Foglio 407 "San Bartolomeo in Galdo", alla scala 1:50.000*, Ispra ISBN: 978-88-240-2967-4, Litografia Artistica Cartografica s.r.l., Firenze.
- REICHENBACH P., GALLI M., CARDINALI M., GUZZETTI F., ARDIZZONE F. (2005), *Geomorphological mapping to assess landslide risk: concepts, methods and applications in the Umbria Region of central Italy*, In: Glade, T., Anderson, M.G. and Crozier, M.J. (eds.) *Landslide risk assessment*. John Wiley, 429-468.
- RIB H.T., LIANG T. (1978), *Recognition and identification*. In: R.L. Schuster, R.J. Krizek (Eds.), *Landslide Analysis and Control*, Transportation Research Board Special Report, 176, National Academy of Sciences, Washington, 34-80.
- TRIGILA A., IADANZA C., GUERRIERI L. (2007), *The IFFI project (Italian landslide inventory): Methodology and results. Guidelines for Mapping Areas at Risk of Landslides in Europe*, 23, 15.
- WASOWSKI J., LAMANNA C., CASARANO D. (2010), *Influence of land-use change and precipitation patterns on landslide activity in the Daunia Apennines, Italy*. *Quarterly Journal of Engineering Geology & Hydrogeology*, 43, 1-17.
- ZEZZA F., MERENDA L., BRUNO, G., CRESCENZI E., IUVINE G. (1994), *Condizioni di instabilità e rischio da frana nei comuni dell'Appennino Dauno pugliese*. *Geologia Applicata e Idrogeologia* 29: 77-141.



SESSIONE 4
INTERVENTI STRUTTURALI
E NON STRUTTURALI PER LA
MITIGAZIONE DEL RISCHIO

SIGEA

Il sistema di allertamento nazionale per la riduzione del rischio meteo-idrologico (in un contesto di Cambiamento Climatico)

National Early Warning System for the reduction of Meteo-Hydrogeological risk (in a Climate Change context)

Parole chiave: cambiamento climatico, impatti, azioni di adattamento, rischio idrogeologico, sistema di allertamento, riduzione del rischio, resilienza

Key words: climate change, impacts, adaptation actions, hydrogeological risk, early warning system, risk reduction, resilience

1. INTRODUZIONE

I segnali del cambiamento climatico sono chiaramente rilevabili anche alla scala nazionale e locale. I dati mostrano un marcato e generalizzato aumento delle temperature, maggiore nel periodo estivo e anche una diminuzione delle precipitazioni, anche se, e non sembri un paradosso, è altrettanto evidente una crescente frequenza e intensità di fenomeni estremi, come ad esempio i periodi di ondate di calore o gli eventi di precipitazione molto intensa che si verificano in tempi molto ristretti su aree molto limitate. Negli ultimi anni abbiamo assistito in Italia ad una lunga serie di eventi estremi alluvionali: Giarre, la Versilia, Crotone, Sarno, Cervinara, Soverato, Ischia, Vibo Valentia, Capoterra, Giampileri, Scaletta Zanclea, Atrani, Genova, sono solo alcune delle località che compongono la geografia del dissesto idrogeologico. Tali eventi idrogeologici e idraulici, non sempre prevedibili dai modelli meteorologici numerici attualmente disponibili, hanno investito in molti casi anche aree urbane, con conseguenze spesso catastrofiche, e con perdita di molte vite umane. Il recente evento luttuoso di Livorno del settembre 2017 è un tipico esempio di alluvione occorsa in area urbana, indotta da precipitazioni associate a temporali di grande intensità ed autorigeneranti per diverse ore.

Nuovi recenti studi (Schiermeier, 2018) mostrano che il clima già mutato ha effetti misurabili anche sulla probabilità di occorrenza di singoli eventi di ondate di calore, episodi di siccità, allagamenti, eventi estremi nevosi, che manifestano una probabilità di occorrenza

superiore di quanto accadrebbe con un "clima" di qualche decennio fa. In sostanza il cambiamento del clima rappresenta oramai una "variabile aggiuntiva" con la quale fare i conti, e che modifica l'equazione del rischio. E quindi è assolutamente imperativo definire, già da adesso, e siamo già in grave ritardo, precise azioni e politiche di adattamento.

Per contrastare tali effetti nel tempo, l'ambito istituzionale si è andato sempre più incentrando sia nella filiera dei cosiddetti interventi *strutturali* di mitigazione del rischio, la cui pianificazione, programmazione e realizzazione ricade nelle competenze, del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, delle Regioni e delle Autorità di distretto degli Enti locali, sia in quella degli interventi *non strutturali*, gestiti dal Sistema Federato di Protezione Civile, e sui quali è focalizzata l'attenzione in questo articolo. Con interventi *non strutturali* si intendono le misure finalizzate alla riduzione del rischio attraverso interventi che possano mettere in sicurezza le popolazioni e pianificati all'interno di dettagliati piani di protezione civile, dei quali i cittadini devono essere messi a conoscenza, affinché concorrano, alla loro stessa messa in sicurezza durante le situazioni di rischio. È interessante notare, e la cosa è degna di essere sottolineata, come esistano già notevoli esempi di applicazioni di buone pratiche, sperimentate anche nell'ambito di progetti finanziati dall'Unione Europea.

A solo titolo di esempio, molto interessante in tal senso è il recente progetto LIFE PRIMES (www.lifepimes.eu) che ha visto impegnate tre Regioni

(Emilia-Romagna, Marche e Abruzzo), e dove sono stati sperimentati con le comunità locali dei processi di condivisione "partecipata" che hanno condotto alla realizzazione di veri e propri Piani di Adattamento Civico (CAAP) finalizzati alla riduzione del rischio idraulico e da alluvione nei territori.

Il sistema di allertamento nazionale è ad oggi lo strumento principale che concorre alla messa in sicurezza delle persone e, in un contesto di impatti crescenti dei cambiamenti climatici, rappresenta una reale misura di adattamento non strutturale. Nei prossimi paragrafi ne sarà data una descrizione, rimandando molti dettagli alla consultazione del sito web del Dipartimento di Protezione Civile (<http://www.protezionecivile.gov.it/servizio-nazionale/attivita/previsione>).

2. IL SISTEMA DI ALLERTAMENTO NAZIONALE: IL QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO

La Direttiva Europea n. 2007/60/CE del 23 ottobre 2007 ha istituito "un quadro per la valutazione e la gestione dei rischi di alluvioni, volto a ridurre le conseguenze negative per la salute umana, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche..." (art.1). Tale Direttiva è stata recepita dal D.lgs. 23 febbraio 2010 n. 49 che ne definisce gli ambiti di applicazione all'interno dei Piani di riduzione dei rischi di alluvione, attraverso le azioni di tipo strutturale e non strutturale discusse nel precedente paragrafo. Relativamente a queste ultime, assume rilevanza strategica il sistema di

allertamento, che contempla le attività di previsione, di monitoraggio, sorveglianza e allertamento attraverso le attività congiunte di un nutrito numero di attori:

- a) la rete dei Centri Funzionali, definiti con la Direttiva DPCM 27/2/2004 e ripresa dal nuovo Codice di Protezione Civile (D.lgs. del 2/gennaio 2018, n. 1);
- b) i presidi territoriali idraulici posti in essere dalle Regioni e dalle Province, che ad esempio attuano la regolazione dei deflussi attraverso i piani di laminazione, e infine le autorità di protezione civile che a vario titolo e responsabilità territoriale attivino i piani urgenti di emergenza previsti dalla normativa vigente.

Il sistema di allertamento è quindi un asse portante di prevenzione non strutturale del Sistema federato di Protezione Civile, come già previsto dalla Legge n. 225 del 24 febbraio 1992, ora sostituita dal D.lgs. 1/2018 sopra citato, al quale concorrono, come Autorità, le amministrazioni centrali dello Stato, le Regioni e Province Autonome e i Comuni, ciascuno con le proprie competenze e alle quali si affiancano, come strutture operative, il Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco, le Forze Armate, le Forze di Polizia, il Comando Unità per la tutela forestale, ambientale e agroalimentare dell'Arma dei Carabinieri (ex Corpo forestale dello Stato), la Comunità scientifica, la Croce Rossa Italiana, le strutture del Servizio Sanitario Nazionale, le organizzazioni di volontariato, il Corpo Nazionale di soccorso alpino e speleologico.

La già citata Direttiva 27/2/2004, *"Indirizzi operativi per la gestione organizzativa e funzionale del sistema di allertamento nazionale, statale e regionale per il rischio idrogeologico ed idraulico ai fini di protezione civile"*, sottolineava che il governo e la gestione del sistema di allerta nazionale sono assicurati dal Dipartimento della protezione civile e dalle Regioni, attraverso la rete dei Centri funzionali (CF), da attuarsi anche grazie al supporto delle reti strumentali di monitoraggio e di sorveglianza e dai presidi territoriali, nonché dai centri di competenza, e da ogni altro soggetto chiamato a concorrere funzionalmente e operativamente a tali reti.

In tale norma vengono definiti e dettagliati i rapporti di responsabilità nel processo di emanazione delle allerte per il rischio meteo-idrologico ed idraulico, e formalizzano così la realizzazione di un sistema di allertamento nazionale condiviso.

La rete dei Centri Funzionali è costituita da un CF centrale e da CF decentrati; il primo interno al Dipartimento della Protezione Civile Nazionale, gli altri inseriti nelle Regioni.

3. LE ATTIVITÀ TECNICHE CHE CARATTERIZZANO IL SISTEMA DI ALLERTAMENTO

Due sono i settori, o tipologie di attività, che caratterizzano attualmente le attività del sistema di allertamento attuato dai Centri Funzionali:

- 1) una prima attività "meteo" che conduce ad una previsione "meteo" a fini di protezione civile;
- 2) una successiva valutazione della criticità idrogeologica-idraulica determinata dallo scenario meteo.

Analogamente, due sono le fasi operative su cui si attua:

- a) una fase previsionale costituita dalla valutazione della situazione meteorologica, nivologica, idrologica, idraulica e geomorfologica attesa, nonché degli effetti che tale situazione può determinare sull'integrità della vita, dei beni, degli insediamenti e dell'ambiente;
- b) una fase di monitoraggio e sorveglianza, che si basa su un'osservazione degli eventi meteo-idrologici ed idrogeologici in atto e una previsione a brevissimo termine che permetta di effettuare una valutazione speditiva degli effetti.

In particolare questa fase si attua attraverso il *nowcasting* meteorologico e successivamente, per la parte idrologico-idraulica, grazie al supporto dei modelli idrogeologici e idraulici in grado di valutare in tempo reale gli afflussi e i deflussi sui bacini idrografici e facendo uso congiunto delle diverse tipologie di dati osservati: quelli rilevati dalle stazioni osservative al suolo, dai sistemi radar e dalle piattaforme satellitari.

Allo stato attuale la Direttiva 27/2/2004 contempla solo la gestione del rischio idrogeologico-idraulico; nell'immediato futuro tale norma dovrà essere modificata, anche ai sensi di quanto previsto dal D.lgs. 1/2018, per contemplare anche la gestione delle tipologie di rischio derivanti da eventi meteorologici intensi ed estremi, nonché quelli indotti da condizioni meteorologiche avverse, in grado di produrre alluvioni nelle aree costiere.

La fase previsionale ha lo scopo di "accendere" il sistema di allertamento, con 24-36 e talvolta 48 ore di anticipo, emettendo valutazioni di possibile

occorrenza di rischi su più di 100 "aree di criticità" (Fig. 1) con cui è diviso il territorio nazionale. La fase di monitoraggio idro-meteo, che si attua nel tempo reale, ha invece lo scopo di seguire i fenomeni man mano che si verificano (ad esempio il monitoraggio in tempo reale degli apporti pluviometrici o nivometrici, lo stato idrometrico dei fiumi, i dissesti che potenzialmente potrebbero verificarsi, le piene fluviali improvvise) componendo in maniera dinamica il rischio che si viene a produrre, espresso come probabilità di un danno, diretto e indiretto.

In concreto, ogni giorno, presso i Centri Funzionali Centrale e Decentrati (CFD) viene realizzata prima una valutazione meteorologica a livello nazionale, fortemente orientata a dare supporto al Sistema di Protezione Civile, e che produce un "bollettino di vigilanza nazionale"; successivamente viene prodotta dai CFD una valutazione delle criticità relativamente ai possibili scenari di rischi idraulico e idrogeologico, che poi è assemblata a livello centrale dal CFC nel "Bollettino di criticità nazionale/allerta". Questa valutazione di "Allerta" così realizzata viene poi diffusa da Regioni e Province autonome ai Comuni, e quindi ai cittadini, attraverso diversi canali di diffusione (web costruiti ad hoc, app per smartphone...). Le Allerte sono codificate e diffuse facendo uso, come detto, dei "codici colore" (verde, giallo, arancione e rosso) che rappresentano una intensità crescente di rischio e che permettono all'Autorità a valle (il Sindaco ad esempio) di decidere l'azione di contrasto, via via più importante a seconda del livello di allerta.

Per svolgere queste attività il Sistema federato di allertamento dispone di strumenti di monitoraggio e di previsione idro-meteo "stato dell'arte", oggi certamente molto migliorati in qualità e capacità sia osservativa che previsionale, anche per quanto concerne la valutazione di fenomeni che avvengono su scale spazio-temporali molto ridotte. L'integrazione tra queste vari e complessi "assetti" di monitoraggio e previsione ha permesso negli ultimi anni di fare enormi salti in avanti relativamente alla capacità di valutare ex-ante il rischio idrogeologico, pur con le incertezze inevitabili trattandosi di fenomeni naturali estremamente complessi da prevedere, visto l'enorme numero di "gradi di libertà" che li caratterizza, la non linearità delle leggi che ne governano il comportamento nel tempo e talvolta anche la stessa comprensione dell'evoluzione di

namica, in particolare quando si tratta di localizzare, nello spazio e nel tempo, gli eventi di piccola dimensione spaziale e brevissima durata temporale, talvolta comunque molto “pericolosi” e in grado di determinare ingenti danni quando si abbattano su territori molto vulnerabili e esposti a rischio.

4. LO STATO ATTUALE DEL SISTEMA DI ALLERTAMENTO E LE AZIONI DI MIGLIORAMENTO

Nel corso del tempo il sistema federato di allertamento nazionale si è sviluppato da una forma iniziale molto diversa tra Regione e Regione, a una

allarme), che definiscono le conseguenti misure di protezione da attuare per minimizzare i rischi indotti.

Parallelamente alle attività di tipo tecnico è stato sviluppato un importante percorso relativo alle modalità di comunicazione e di informazione del sistema di allertamento, aventi l'obiettivo di semplificare e omogeneizzare le diverse forme di comunicazione, delle allerte meteo-idro. Requisiti cruciali per il buon funzionamento del sistema di allertamento sono sia la rapidità di invio dei messaggi di allerta, sia la successiva corretta interpretazione e recepimento da parte dei cittadini. I messaggi devono essere chiari, non essere ambigui, affinché la popolazione li possa comprende-

poni, governo delle piene, regolazione dei deflussi, ecc.), opera e talvolta svolge radicate dinamiche culturali, probabilmente impossibili da modificare solo attraverso una imposizione di una normativa ma devono essere perseguite attraverso processi educativi e formativi ben stabiliti.

Il più volte citato D.lgs. 2018/1, nuovo “Codice di protezione civile” ha introdotto importanti novità in ambito di protezione civile e gestione dell'emergenza. Ad esempio la nuova norma definisce in maniera ancor più puntuale le attività di prevenzione non strutturale di protezione civile, tra cui l'importante novità per cui il preannuncio dei possibili rischi deve essere diffuso in termini

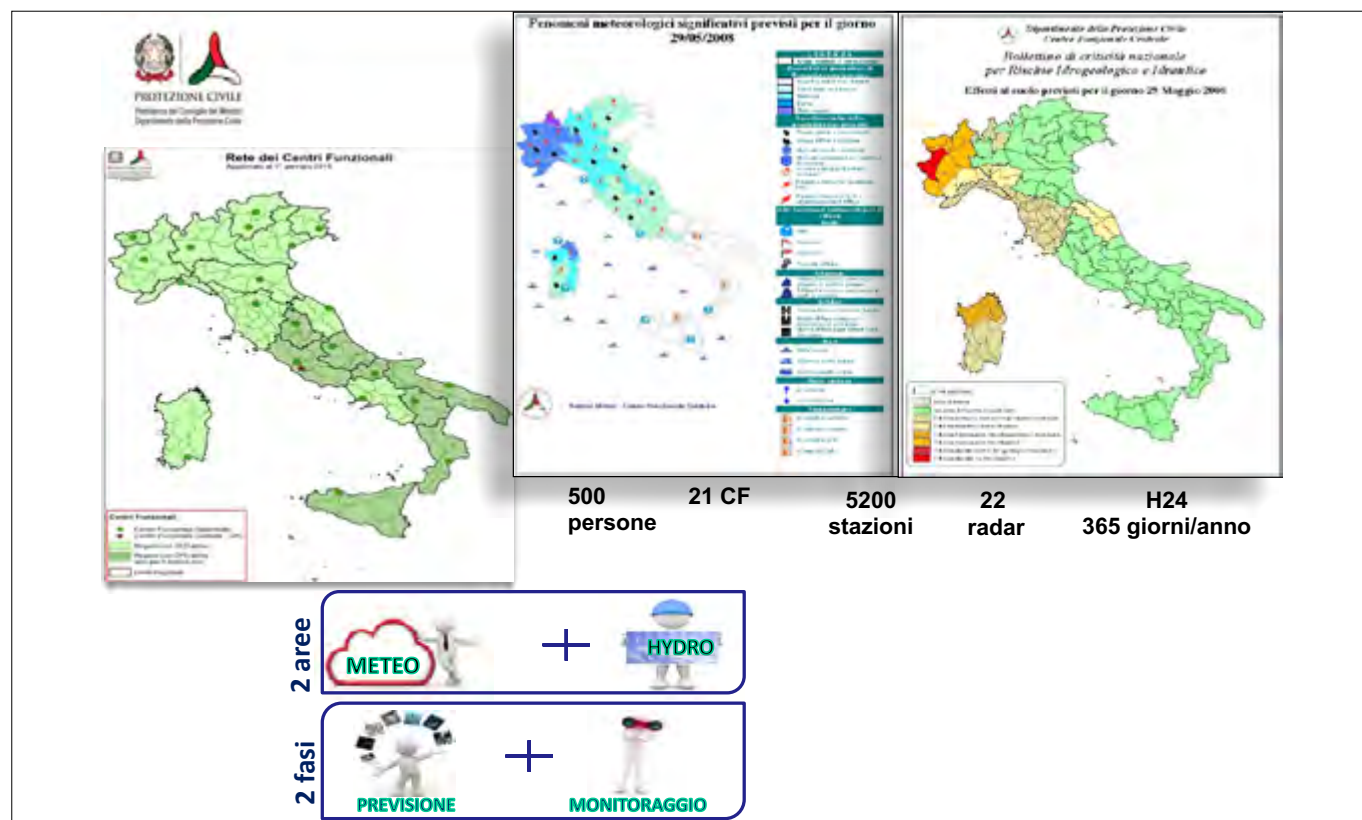


Figura 1. Rappresentazione del sistema di allertamento nazionale. Sono descritte, mappa di sinistra, le aree di allertamento nazionale ed evidenziati i Centri Funzionali regionali (punti verdi) e nazionale (punto rosso). La mappa centrale rappresenta “il bollettino di vigilanza meteorologica nazionale” e la mappa di sinistra il bollettino di allerta nazionale. In basso a sinistra il riquadro evidenzia i due ambiti di attività (Meteo e Idro) e le due fasi richiamate nel testo (fase di previsione e monitoraggio). Infine in basso i numeri rappresentano il numero (approssimativo) di persone che lavorano nell'intero sistema federato di allertamento, il numero di Centri Funzionali presenti, il numero delle stazioni di monitoraggio al suolo, quello delle piattaforme radar e la struttura organizzativa del servizio (24 ore su 24 e 365 giorni/anno)

struttura di rete federata ben funzionante, pur con diverse criticità da risolvere e presentando quindi ampi margini di miglioramento.

Questo processo di crescita è avvenuto, e avviene ogni giorno, grazie ad una continua concertazione tecnica tra Stato e Regioni, che ha condotto all'emanazione, nel 2016, da parte del DPC, dei “codici colore” (verde, giallo, arancione e rosso che classificano le diverse condizioni di rischio), e di linee guida per l'attivazione delle fasi operative di allertamento (attenzione, preallarme,

re, oltre che da tutte le altre componenti del Servizio Nazionale, a partire dalle autorità di Protezione Civile sul territorio, cioè i Sindaci di tutti i Comuni italiani.

Questo obiettivo, oltre a coinvolgere complesse filiere procedurali e operative, il cui funzionamento è regolamentato secondo una precisa catena di responsabilità che, di volta in volta, portano a mettere in atto una vasta serie di misure di contrasto al rischio (esempio: evacuazioni preventive, messa in sicurezza di beni e persone, chiusure di strade e

probabilistici e sulla base delle conoscenze disponibili, e le attività di monitoraggio e di sorveglianza in tempo reale assumono una maggiore rilevanza di quanto sia stato in passato anche grazie ai nuovi strumenti e tecnologie che rendono possibile l'attivazione di azioni di contrasto anche a fronte di rischi rilevati con preannunci di pochi minuti, appena dopo la rilevazione.

Parimenti è ancor più sottolineata l'importanza della diffusione della conoscenza e della cultura della protezione civile, anche con il coinvolgimento delle

istituzioni scolastiche, allo scopo di promuovere la crescita della resilienza delle comunità e l'adozione di comportamenti consapevoli di autoprotezione da parte dei cittadini. Grande rilevanza viene data all'informazione alla popolazione relativamente agli scenari di rischio e le relative norme di comportamento nonché sulla pianificazione di protezione civile; la promozione e l'organizzazione di esercitazioni ed altre attività addestrati-

intervenire in caso di evento calamitoso per la messa in sicurezza della comunità locale.

5. PROBLEMI APERTI, RACCOMANDAZIONI E CONCLUSIONI

Il Sistema di allertamento è l'elemento fondamentale delle azioni non strutturali di riduzione del rischio, che possono essere declinate, usando il lin-

traverso efficaci analisi costo/danno. Per raggiungere questo scopo, è necessario lavorare e migliorare su più fronti, tutti ugualmente rilevanti (Fig. 2): a) garantire e migliorare continuamente il funzionamento dei sistemi di monitoraggio idro-meteo e le previsioni meteorologiche e degli effetti al suolo conseguenti; b) attuare in maniera continua e capillare un'azione di "formazione" dei decisori e dei cittadini, al fine di permettere loro



Figura 2: Le azioni necessarie per il miglioramento del Sistema di allertamento nazionale

ve e formative che prevedano un massiccio coinvolgimento delle comunità, sul territorio nazionale al fine di promuovere l'esercizio integrato e partecipato della funzione di protezione civile.

Certamente un aspetto essenziale e rafforzato dal nuovo codice di protezione civile è quello della comunicazione alla popolazione insieme alla definizione di modelli organizzativi che consentano di assicurare la necessaria continuità nello svolgimento delle diverse fasi di attività.

In tale ambito è fondamentale la costruzione di adeguati "piani comunali di protezione civile" che rappresentano lo snodo fondamentale su cui si basa la gestione della sicurezza da rischio idrogeologico-idraulico anche a livello urbano.

Tali piani dovranno sempre più in futuro essere resi più fruibili e intellegibili dai cittadini, e sempre più rappresentare uno strumento concreto che definisca gli scenari di rischio, ed anche le responsabilità e i compiti di chi deve

guaggio tipico della scienza del Clima, anche come azioni non strutturali di adattamento climatico. Il Sistema è costituito da una fase di previsione e una di monitoraggio. La fase di previsione è certamente soggetta a incertezza che deve essere opportunamente gestita, soprattutto quando gli eventi che possono accadere nell'immediato futuro sono molto rapidi e interessano aree territoriali molto limitate. Tale incertezza nella previsione si traduce in incertezza nell'allerta, che a sua volta rende difficile l'attuazione delle azioni di contrasto che il decisore finale deve prendere (il Sindaco, ad esempio) per salvaguardare il territorio e la vita stessa dei cittadini che amministra.

Affinché i sistemi di allertamento abbiano efficacia, è necessario che i decisori e infine anche i cittadini, comprendano bene il significato delle previsioni e delle allerte e sappiano gestire il margine di incertezza in esse presente, e decidano le azioni da intraprendere at-

di usufruire al meglio delle valutazioni e delle allerte rese disponibili; c) operare nel settore della "comunicazione" sia per rendere il più possibile chiari e univoci i messaggi espressi sia per essere in grado di comunicarli in fretta e ad un gran numero di persone contemporaneamente, facendo uso delle nuove tecnologie di comunicazione.

REFERENZE BIBLIOGRAFICHE

SCHIERMEIER Q. (2018), *Droughts, heatwaves and floods: How to tell when climate change is to blame*. Nature 560(7716): 20.

Analisi e attività di mitigazione dei processi di erosione accelerata nell'alveo del Torrente Tiepido in Provincia di Modena

Alessandro Annovi
Geologo
E-mail: alessandro.annovi@gmail.com

Analysis and mitigation activities of the accelerated erosion processes of the Tiepido River bed in the Province of Modena

Parole chiave: bacino idrografico, difesa del suolo, erosione accelerata, geomorfologia fluviale

Key words: river basin, soil defense, accelerated erosion, river geomorphology

INTRODUZIONE

Gli affluenti emiliani del Po hanno avuto un'evoluzione morfologica che si è manifestata, dal 1955, con pronunciate modifiche degli alvei fluviali.

Fra questi anche il Torrente Tiepido, affluente del Fiume Panaro, è stato caratterizzato da intensi approfondimenti di un tratto dell'alveo al suo sbocco in pianura, riconosciuti dal 1964 e ben documentati dal 1975 (Pellegrini M. *et al.* 1979).

Le modeste dimensioni del bacino (53,5 km²), l'erosione molto accentuata ma localizzata e quindi facilmente studiabile, e la possibilità di ricostruire gli interventi antropici e gli effetti delle sistemazioni idrauliche che l'hanno interessato, ne hanno fatto un "bacino campione" il cui studio può fornire utili informazioni per la gestione di bacini idrografici, più ampi e complessi, che interessano il versante appenninico della Pianura Padana.

In questo lavoro saranno analizzati, in particolare, gli effetti delle opere idrauliche sulla morfologia fluviale e i benefici, ma anche gli inconvenienti, che le "briglie" danno alla mitigazione dei processi erosivi, alla stabilizzazione degli alvei e al ripristino dei profili d'equilibrio, materia che nel 1989 ha trovato un punto di sintesi (legislativo, non tecnico) con la Legge 183 "Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo".

IL BACINO IDROGRAFICO DEL TORRENTE TIEPIDO

Il Torrente Tiepido si sviluppa dalle prime propaggini collinari appenniniche, a quota 875 m s.l.m., e dopo aver attra-

versato l'alta pianura modenese confluisce nel Fiume Panaro, nei pressi della città di Modena, alla quota di 32 m s.l.m..

Il bacino imbrifero, di forma allungata, si chiude allo sbocco nell'alta pianura alla quota di 165 m s.l.m.; da questo punto in poi il reticolo idrografico è costituito dalla sola asta principale (Fig. 1) con gli spartiacque, poco definiti per la morfologia tabulare della pianura, che si avvicinano all'alveo quasi a coincidere, dalla quota 73 m s.l.m. fino alla foce, con l'alveo stesso (Fig. 2).

Nel bacino imbrifero affiorano numerose formazioni geologiche diverse per caratteristiche litologiche e tettoniche, riconducibili alle Unità Liguridi e alla Successione Epiligure; prevalgono i litotipi flyscioidi e argillosi che ricoprono rispettivamente circa il 30% e il 50% dell'intera superficie. La copertura vegetale, rada e solo in piccola parte a destinazione produttiva (prevalgono il bosco ceduo misto, in stato di abbandono, il seminativo, il prato e l'incolto), determina un'ampia diffusione delle forme erosive tipiche dei terreni argillosi. Nella restante parte del bacino sono presenti unità marine di transizione e quaternarie continentali riferibili alle Argille azzurre plio-pleistoceniche e ad alluvioni prevalentemente ghiaiose.

L'ALVEO FLUVIALE

L'alveo fluviale principale, nel tratto dal reticolo di quarto (e ultimo) ordine, fino alla sezione di chiusura del bacino idrografico, può essere suddiviso in tre tratti a diversa morfologia.

Nel primo, a sud dell'abitato di Torre Maina, l'alveo ha pendenze medie dell'1,7%, è confinato e limitato da ver-



Figura 1. Morfologia dell'alveo a monte della chiusura del bacino imbrifero (1a), nell'alta pianura (1b) e nel tratto terminale (1c)

santi che si estendono fino agli spartiacque con morfologia regolare (Fig. 1a). Il letto fluviale, delle dimensioni delle decine di metri, è stabile, con alluvioni grossolane ed eterogenee di spessore inferiore al metro; prevalgono i processi di trasporto, seppure limitati dalla scarsa alimentazione di sedimenti grossolani

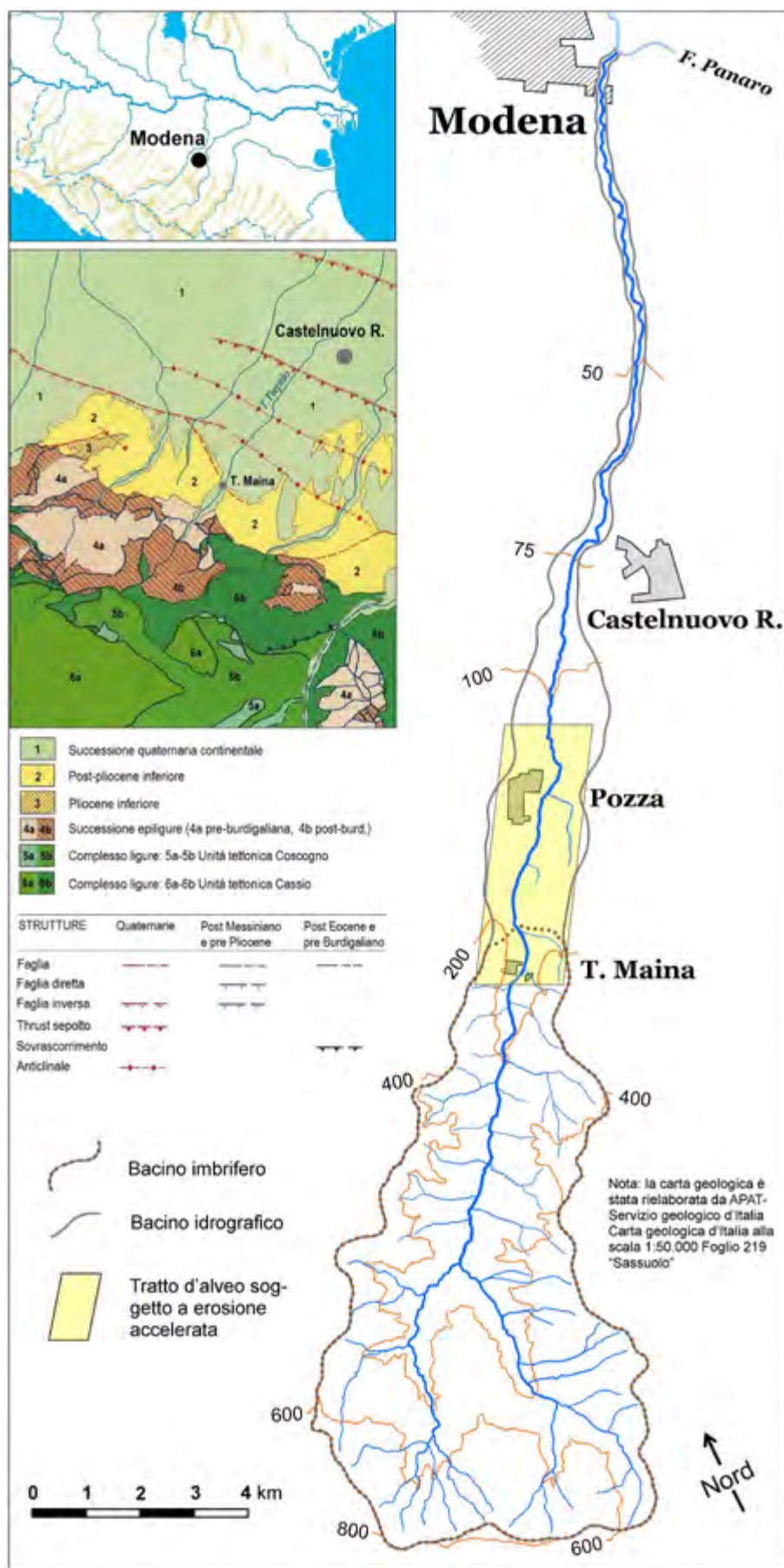


Figura 2. Caratteristiche del bacino idrografico

dai versanti e dalla presenza di opere di regimazione diffuse (prevalentemente difese spondali, ponti e briglie).

Dalla sezione di chiusura del bacino imbrifero fino al punto in cui scompa-

iono i terrazzi fluviali, da Torre Maina a Castelnuovo Rangone, l'alveo, a basso condizionamento laterale, dove non rimaneggiato dall'uomo o soggetto a erosione accelerata, è piatto, largo da 50 a

150 m, con alluvioni ghiaiose di piccola pezzatura distribuite uniformemente su tutta la sezione trasversale fino agli orli dei terrazzi fluviali che la bordano (Fig. 1b). Sono presenti canali intrecciati poco incisi sui quali si esercita, durante le piene fluviali, la maggior capacità di trasporto dei materiali grossolani. La pendenza media è dell'1%.

Nel rimanente tratto, fino alla confluenza nel Fiume Panaro, dove gli spartiacque vengono a coincidere con le sponde, l'alveo, rettilineo e incassato, è inciso nelle alluvioni oloceniche (Fig. 1c); solo per poche centinaia di metri, nel tratto finale, è arginato. Inoltre è stabile con circoscritte erosioni spondali localizzate che si manifestano durante gli eventi di piena. Il trasporto solido è limitato alla frazione fine e sono scarse le alluvioni con dimensioni superiori alle sabbie. La pendenza media è dello 0,4%.

L'EVOLUZIONE MORFOLOGICA DELL'ALVEO

L'alveo del Torrente Tiepido precedente al IV secolo d.C. era quello derivante dalla dinamica quaternaria, sia come sviluppo planimetrico che per morfologia, presenza di alluvioni e fenomeni idrogeomorfologici. La documentazione archeologica e lo studio delle sabbie del sottosuolo di Modena (Cremonini S. *et al.* 2015), ipotizzano che il corso d'acqua lambisse la città e sia stato deviato verso est per evitare il ripetersi delle alluvioni che spesso causava.

Se questa deviazione fosse effettivamente stata fatta, non solo l'andamento planimetrico del corso d'acqua sarebbe mutato, ma anche il regime idraulico e la morfologia fluviale.

Dal 1821-1828 però, anno di redazione della Carta topografica del Ducato Estense (Pezzoli S. *et al.* 1999), i rilevamenti topografici avevano una precisione e una restituzione grafica tale da poter ritenere l'andamento planimetrico del corso d'acqua, sostanzialmente identico a quello attuale e poterlo considerare come situazione di partenza per l'analisi dell'evoluzione recente.

Nel 1975 fu osservata, per la prima volta, un'incisione erosiva permanente che iniziava dal Ponte di Torre Maina e si estendeva verso valle, mentre il tratto a monte conservava una condizione di equilibrio.

Nel tratto inciso era stata erosa la copertura costituita da depositi ghiaioso-sabbiosi recenti, visibili sulle sponde, e affioravano le Argille azzurre plio-plei-

stoceniche, stratificate, con inclinazione di circa 60° e immersione verso valle. L'erosione della copertura alluvionale, dello spessore di 1-1,5 m, aveva facilitato l'asportazione delle sottostanti argille, con la modifica della sezione del corso d'acqua che, da larga e piatta, aveva assunto una forma a U (Fig. 5a). Su tutto il tratto in erosione, della lunghezza di 2800 m, affioravano le Argille azzurre; l'approfondimento dell'alveo, di entità variabile, aveva raggiunto un valore massimo di circa 7 m. Alla distanza di 1950 m dal primo gradino d'erosione era di 1,30 m, valore che diminuiva progressivamente nei successivi 550 m, fino ad azzerarsi in corrispondenza di un passaggio stratigrafico a sabbie gialle e ghiaie con matrice sabbiosa (Fig. 4), con le quali iniziava un tratto in equilibrio.

Il fenomeno erosivo fu imputato all'asportazione dei materiali ghiaiosi dal letto fluviale (Pellegrini M. e Zarotti L. 1975).

Negli anni precedenti era iniziata la realizzazione di un importante asse stradale che fiancheggia il corso d'acqua nel tratto di alta pianura e collinare; è presumibile, anche se non documentato, che, come da prassi consolidata in quegli anni, i rilevati e i sottofondi siano stati realizzati utilizzando materiali ghiaiosi prelevati direttamente dall'alveo. Ma nell'innescare il fenomeno erosivo sarebbe stato determinante, non tanto la quantità di alluvioni asportata, ma la messa a nudo del substrato argilloso più erodibile, in un bacino con bassa capacità di ripascimento, anche per l'effetto delle bonifiche montane (Pellegrini M. et al. 1979): nel tratto collinare erano stati costruiti, nei decenni precedenti, 6 ponti, 5 tombinature, 11 briglie, 266 m di difese spondali.

In seguito al crollo di una passerella, l'Ufficio del Genio Civile di Modena intervenne regimando il corso d'acqua secondo la tecnica in uso allora (e ancora oggi): la realizzazione di opere idrauliche trasversali in calcestruzzo (briglie), con lo scopo di stabilizzare l'alveo e centralizzare la corrente liquida per evitare erosioni laterali durante le piene, senza tener conto delle cause del fenomeno. Poiché l'effetto di tali opere si manifesta a monte delle stesse, il criterio dell'intervento fu di realizzarle a valle dei tratti più incisi e con dimensioni tali da impostarle nel substrato per garantirne la stabilità. Furono così realizzate 4 briglie nel 1975, 3 nel 1978-79 e 2 nel 1982, tutte nel tratto in erosione (tratti 1.1 e 1.2 di Fig. 3), trasformando l'alveo naturale in artificiale.

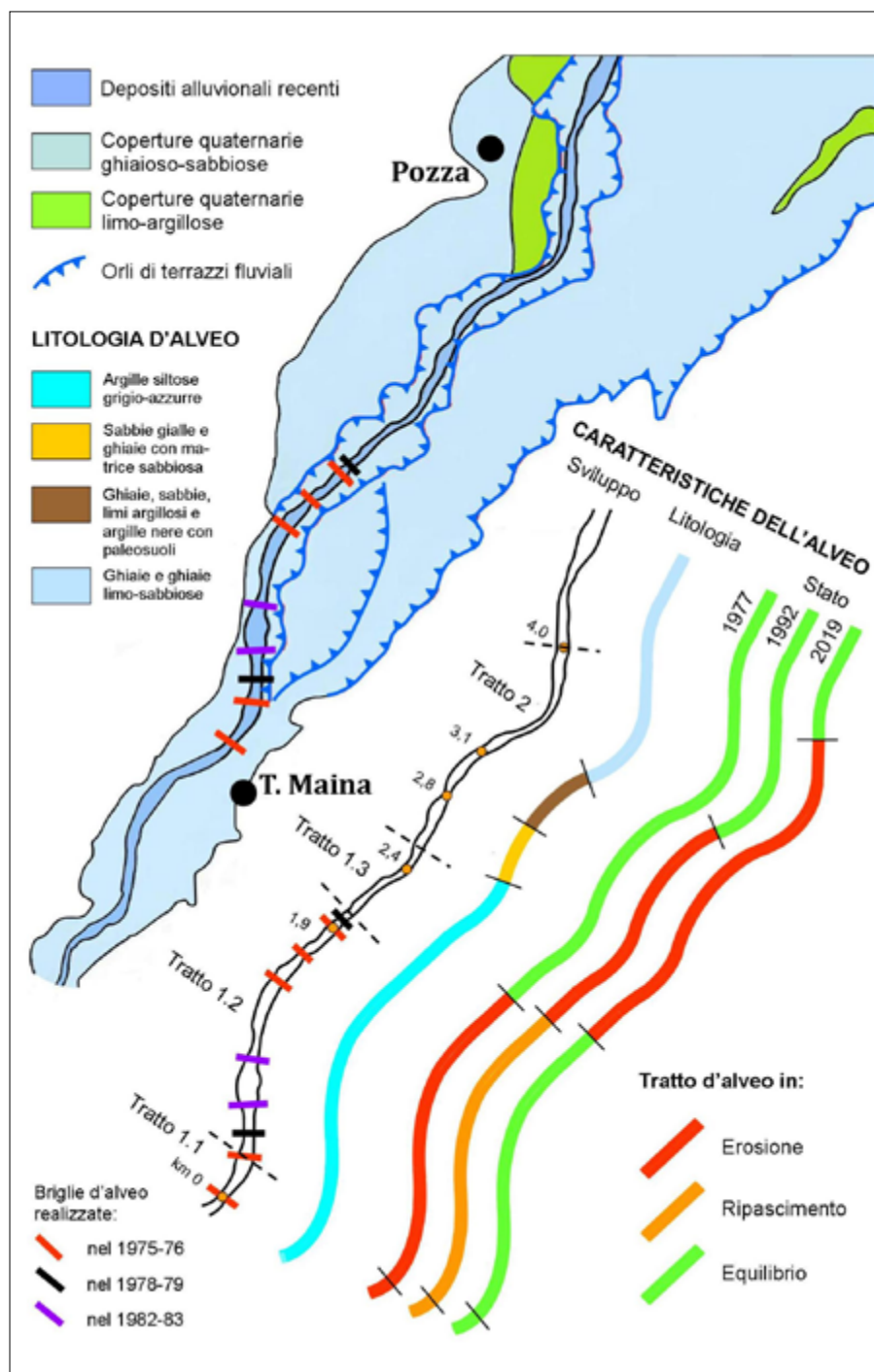


Figura 3. Caratteristiche ed evoluzione del tratto d'alveo soggetto a erosione accelerata

L'effetto degli interventi di sistemazione idraulica, progettati senza tener conto della dinamica fluviale, se da una parte è stato quello di stabilizzare l'alveo bloccandone l'approfondimento, dall'altra non ha evitato una nuova fase di erosione accelerata. Di fatto l'intervento ha ripristinato le quote di fondo, ma ha anche azzerato il trasporto solido, innescando un nuovo ciclo erosivo a valle dell'ultima briglia realizzata, poi crollata. Nel 1992 una profonda incisione, maggiore di quella che era stata bloccata con l'intervento, interessava l'alveo per 1150 m a valle, dove affiorano sabbie e ghiaie, talvolta cementate, che costituiscono la parte alta della successione stratigrafica (Fig. 4).

Nel tratto regimato era invece iniziato un lento ripascimento con la sedimentazione, a monte di ogni briglia, durante gli eventi di piena, di materiali fini e ciottoli asportati dalle sponde dei terrazzi laterali (Fig. 5b).

Il fenomeno di erosione accelerata si è in seguito esteso ancora più a valle, negli anni dal 1992 a oggi, per altri 780 m, fino a interessare le fondazioni del ponte sulla strada provinciale in località Pozza poggiate su un alveo fino allora stabile (Fig. 6).

Complessivamente, nel periodo da 1977 a oggi, si è avuto un consistente processo di modificazione morfologica dell'alveo, determinata prima da una pronunciata erosione accelerata per

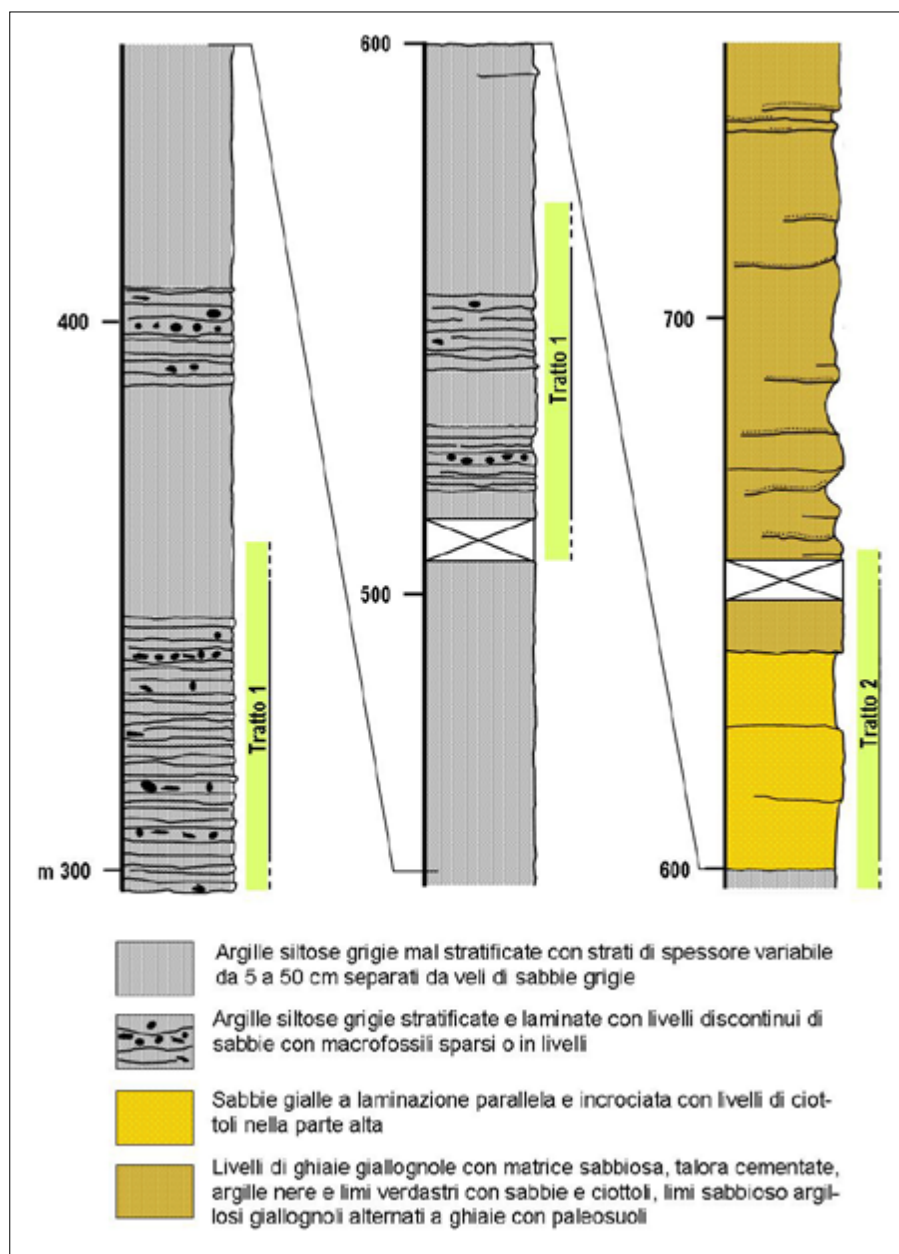


Figura 4. Successione stratigrafica degli affioramenti in alveo

cause antropiche (l'asportazione dei depositi alluvionali), cui è seguita una fase di ripristino di un equilibrio idromorfologico di adeguamento alla nuova situazione, condizionato però ancora da un ulteriore intervento antropico (la realizzazione delle opere idrauliche).

Nel tratto 1 (Fig. 3), corrispondente all'affioramento delle Argille azzurre plio-pleistoceniche, si sono avute le modifiche più rilevanti.

Il tratto 1.1, compreso fra la prima e la seconda briglia costruite, in cui, nel 1975, era presente il primo gradino di erosione, è oggi in sovralluvionamento per il vincolo alla sua estensione verso monte e per la stabilizzazione dell'alveo a valle (300 m) determinato dalla due opere idrauliche.

Nel tratto 1.2, che nel 1975 era in continuità di erosione con il tratto 1.1 ed è stato anch'esso regimato, è iniziato, un processo di rialluvionamento, che oggi



Figura 5 – (a) tratto d'alveo in erosione (1977) e (b) in ripascimento (1992)



Figura 6. Ponte di Pozza: luce destra nel 1977, oggi occlusa (a), e luce centrale nel 2019, occlusa nel 1977 (b)

lo ha portato in equilibrio. Nel tratto 1.3, in equilibrio prima della costruzione delle briglie, è iniziata una nuova fase di intensa erosione accelerata.

In Fig. 7, relativa a una sezione in questo tratto, si possono osservare le profonde trasformazioni subite dall'alveo. Nel 1980 questo, già in erosione, si era abbassato, nel punto più profondo, di 1,30 m, mancava parte della copertura alluvionale recente (Fig. 7a) ma non vi era erosione verso valle. Nel 1992, tredici anni dopo la realizzazione dell'ultima briglia e a nove anni dal completamento della sistemazione idraulica, si era creata una profonda incisione a V nelle argille (Fig. 7b), e cominciavano a manifestarsi approfondimenti verso valle.

Nel 2019 l'alveo si presenta ulteriormente approfondito, anche se il fenomeno è in rallentamento, mentre trasversalmente si è allargato, sia per scalzamento al piede sia per frane lungo le pareti, ora sub verticali (Fig. 7c).

Questa profonda incisione ha avuto ripercussioni non solo sulla morfologia e sull'idraulica fluviale, in particolare con la diminuzione dei tempi di corruzione, ma anche nell'uso del suolo. Il torrente non è più attraversabile né percorribile; le fasce laterali, una volta coltivate, sono state abbandonate e una fitta vegetazione di nessun valore botanico le ha rese impraticabili. L'incisione ha inoltre modificato l'equilibrio fra le acque superficiali e sotterranee, provocando un abbassamento della falda idrica connessa al pelo libero dell'acqua fluviale. Anche se questo non incide sull'approvvigionamento delle acque



Figura 7. Sezione morfologica a valle dell'ultima briglia costruita e prima del passaggio alle sabbie gialle: (a) nel 1980, (b) nel 1992, (c) nel 2019

sotterranee, da sempre molto limitato, la maggior aridità del suolo ha portato alla riduzione delle fitocenosi fluviali e ad una perdita di valore paesaggistico.

Il tratto 2 comprende il passaggio dalla Formazione delle Argille azzurre plio-pleistoceniche alla successione pleistocenica continentale. È costituito da un'alternanza di argille siltose e sabbie con intercalazioni di banchi ghiaiosi, a volte cementati, che diventano progressivamente prevalenti. Si tratta di depositi più resistenti all'erosione rispetto alle Argille azzurre, e questa caratteristica ha garantito, in un primo tempo, un minor approfondimento dell'alveo nonostante l'abbassamento del tratto di monte e la tendenza all'erosione per creare un nuovo profilo d'equilibrio. Queste prerogative non sono, però, più state suffi-

cienti, dopo la costruzione delle opere idrauliche, e nel 1992 sono comparse le prime vistose erosioni d'alveo (Fig. 8). Nel 2019 l'approfondimento interessa l'intero tratto 2 fino al Ponte di Pozza (Fig. 6); a valle, dove affiorano i depositi ghiaiosi olocenici della paleoconoide del Torrente Tiepido, il corso d'acqua non ha risentito di questa nuova fase erosiva ed è in equilibrio.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'analisi dei processi erosivi manifestatisi nell'alveo del Torrente Tiepido e degli interventi di difesa idraulica attuati per mitigarne gli effetti ha permesso di valutarne l'efficacia, ma anche di poter applicare queste conclusioni a bacini più complessi.

1. CONSIDERAZIONI SULL'EVOLUZIONE MORFOLOGICA DEL TORRENTE TIEPIDO

Le osservazioni sull'erosione accelerata che ha caratterizzato una parte dell'alveo del Torrente Tiepido, in quarantacinque anni, anche se il periodo non è sufficiente per descrivere un processo geomorfologico completo, hanno permesso di valutare le interazioni che sono avvenute tra gli interventi antropici attuati sul corso d'acqua e i "comportamenti" dello stesso, conseguenti alle modifiche determinate dalle nuove opere idrauliche. In particolare si può concludere che:

- interventi antropici anche modesti sui corsi d'acqua, ma tali da alterarne la condizione di equilibrio, possono innescare nuovi cicli erosivi, anche molto intensi, soprattutto quando questo equilibrio è prossimo alla condizione limite. Nel caso del Torrente Tiepido l'asportazione di materiali litoidi, pur se in quantità modeste, ha determinato la rottura dell'equilibrio del corpo idrico e il conseguente innesco di erosioni accelerate in alveo, tuttora in corso, sottostanti depositi fluviali in un bacino idrografico con scarsa alimentazione e trasporto di materiali grossolani;

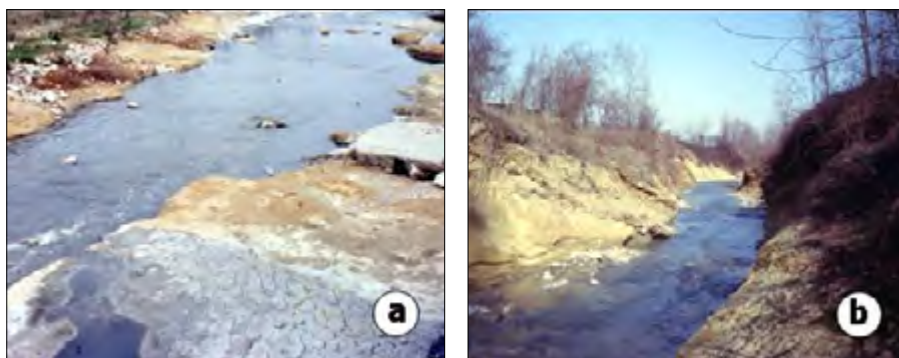


Figura 8. Parte del tratto 2 dell'alveo nel 1977 (a, in equilibrio) e nel 1992 (b, in erosione)

- la morfologia fluviale del Torrente Tiepido, modificata in seguito ad un intervento antropico durato pochi anni, richiederà tempi molto più lunghi per il raggiungimento di un nuovo equilibrio. A parità di altre condizioni, in particolare che sia stato raggiunto il massimo approfondimento dell'alveo, dal confronto fra il volume di depositi asportati e quelli sedimentati nel periodo di osservazione, si può ritenere che siano necessari da 90 a 150 anni per ripristinare il profilo di equilibrio iniziale nel tratto interessato dall'erosione accelerata;
- gli interventi di sistemazione idraulica devono essere tali da agire sui meccanismi naturali di riequilibrio (erosione, trasporto e sedimentazione), senza contrastarli. Un'opera idraulica a difesa di un ponte ne garantisce la stabilità a breve ma nella sola area dell'intervento, così come la regimazione diffusa in un tratto fluviale in erosione, non impedisce che il fenomeno si sviluppi in altri tratti non regimati. Nel caso del Torrente Tiepido l'imbrigliamento di un tratto di 2 km ha provocato erosioni accelerate a valle per ulteriori 2 km, di entità maggiore, e il crollo della briglia di cerniera tra i due tratti, rendendo necessari ulteriori interventi.

Si può quindi affermare che l'approfondimento dell'alveo del Torrente Tiepido, i danni subiti e il potenziale rischio idrogeologico sono dipesi da interventi antropici che ne hanno alterato l'equilibrio esistente e che i lavori di sistemazione lo ha ulteriormente peggiorato innescando una nuova fase di erosione accelerata.

2. CONSIDERAZIONI SUGLI AFFLUENTI MODENESI DEL PO: I FIUMI PANARO E SECCHIA

Le considerazioni fatte sull'evoluzione morfologica del Torrente Tiepido possono essere estese, per alcuni aspetti, ai fiumi Panaro e Secchia che hanno avuto, nel recente passato, modifiche morfologiche simili.

Entrambi sono stati soggetti a erosioni accelerate che hanno provocato approfondimenti e canalizzazione d'alveo, frane sulle sponde, il crollo di ponti e altri manufatti. Le dimensioni di questi corsi d'acqua non sono però tali da poterli contrastare con una regimazione diffusa, per cui sono state realizzate briglie solo in alcuni punti, in generale in corrispondenza dei ponti, affidando

alla costruzione di casse d'espansione la difesa di Modena dalle alluvioni, attraverso la laminazione dei colmi di piena aumentati a causa della canalizzazione degli alvei.

Questa soluzione, contrariamente a quanto è avvenuto sul Torrente Tiepido, non ha innescato nuovi fenomeni erosivi e gli alvei hanno avuto una discreta stabilizzazione, anche per la cessazione delle attività estrattive in alveo e grazie al trasporto solido, pur in una condizione comunque ancora critica.

Il Fiume Secchia – e non il Panaro – ha però avuto recentemente, dopo aver raggiunto queste condizioni su tutta l'asta dell'alta pianura, un nuovo imponente fenomeno di erosione accelerata. Il rinnovarsi di questo ciclo è coinciso con la realizzazione di una traversa per la creazione di un bacino idrico che ha di nuovo bloccato il trasporto solido e provocato gli stessi effetti riscontrati sul Torrente Tiepido: l'innescò di un nuovo ciclo erosivo a valle con approfondimenti d'alveo maggiori di quelli avvenuti in precedenza.

Il diverso comportamento dei fiumi Panaro e Secchia e le similitudini con quanto è avvenuto, a scala ridotta, sul Torrente Tiepido, fanno ritenere che, anche nel caso del Fiume Secchia, il nuovo ciclo erosivo sia stato determinato dalla costruzione della traversa che ha alterato il precario equilibrio raggiunto in precedenza.

3. CONSIDERAZIONI SUI NUOVI APPROCCI TECNICO-CULTURALI SUL RISCHIO GEO-IDROLOGICO A 30 ANNI DALLA LEGGE 183/1989

Molte sono le considerazioni che si possono fare sull'applicazione della Legge 183/1989, sui suoi risultati, sulla nuova configurazione amministrativa e sui piani di bacino. Rimanendo però nel tema di questo lavoro, cioè l'efficacia degli interventi di mitigazione del rischio idrogeologico secondo i nuovi criteri dettati dalla (ormai non più) nuova legge sulla difesa del suolo, non si può non rilevare come il nuovo approccio tecnico-culturale innescato dalla sua introduzione non sia giunto, forse in generale – ma certamente in Emilia-Romagna – all'anello finale della catena, i tecnici che progettano e realizzano le opere di sistemazione idraulica. Questi dovrebbero farlo in un modo diverso rispetto al passato, considerando il corso d'acqua come un elemento naturale alla continua ricerca di un suo equilibrio, assecondandolo: il miglior modo per ottenere i risultati desiderati.



Figura 9. Una briglia realizzata sul Torrente Tiepido (a) nel 1979 (la terza di figura 3) e (b) la ricostruzione dell'ultima della serie crollata nel 2019. Un tentativo di ingegneria naturalistica, (c) dove sono stati utilizzati materiali naturali in sostituzione del calcestruzzo, senza tener conto che anche i criteri progettuali dovevano essere diversi, con evidenti risultati negativi

BIBLIOGRAFIA

- ANNOVI A., CREMASCHI M., FREGNI P., GASPERI G. (1979), *La successione pleistocenica marina e continentale del T. Tiepido (Appennino Modenese)*, Geogr. Fis. Dinam. Quat. 1/1979.
- CREMONINI S., LABATE D. (2015), *Modena: un "dissesto" di lungo periodo. Nuovi dati sull'alluvionamento solido della città*, Geologia dell'Ambiente 1/2015.
- GASPERI G., LOSACCO S., TOSATTI G., ZAROTTI L. (1979), *L'evoluzione recente e i processi erosivi di alveo del torrente Tiepido presso Maranello (Modena)*, Convegno di Idraulica padana.
- LUINO F. (2019), *L'uomo e i corsi d'acqua: una convivenza che è diventata difficile fra urbanizzazioni intensive, alluvioni, danni e proposte di legge per rimuovere i sedimenti fluviali*, Geologia dell'Ambiente 2/2019.
- PELLEGRINI M., ZAROTTI L. (1975), *Esempio di erosione accelerata in alveo: T. Tiepido presso Maranello (Modena)*, Atti Soc. Nat. Mat. di Modena, 106.
- PELLEGRINI M., PEREGO S., TAGLIAVINI S. (1979), *La situazione morfologica degli alvei degli affluenti emiliani del Po*, Convegno di Idraulica padana.
- PEZZOLI S., VENTURI S. (1999), *Topografia degli Stati Estensi 1821-1828*, Istituto per i Beni Artistici Culturali e Naturali della Regione Emilia-Romagna.

Interventi non strutturali nella filiera per la gestione del rischio: la percezione sociale e la comunicazione del rischio geo-idrologico secondo gli esperti nel caso studio di Maierato (Calabria meridionale, Italia)

Non-structural measures in the risk management chain: expert opinion on social perception and communication of geo-hydrological risk in Maierato (Calabria, southern Italy)

Parole chiave: gestione del rischio, percezione sociale, comunicazione, Calabria
Key words: risk management, public perception, communication, Calabria (southern Italy)

Loredana Antronico

E-mail: loredana.antronico@irpi.cnr.it

Francesco De Pascale

E-mail: francesco.depascale@irpi.cnr.it

Roberto Coscarelli

E-mail: roberto.coscarelli@irpi.cnr.it

Giovanni Gullà

E-mail: giovanni.gulla@irpi.cnr.it

Consiglio Nazionale delle Ricerche,
Istituto di Ricerca per la Protezione
Idrogeologica, Rende (CS)

1. INTRODUZIONE

La gestione del rischio, in emergenza e in condizioni ordinarie (Gullà, 2013; Gullà *et al.*, 2018a), si può schematizzare secondo una filiera che utilizza l'adattamento, la mitigazione e la riduzione del rischio, perseguibili con interventi strutturali e non strutturali variamente combinati (Gullà, 2017). Filo conduttore del percorso delineato è la valutazione della pericolosità dei fenomeni e/o degli eventi, su area vasta e su singolo versante (Gullà, 2016a; Gullà *et al.*, 2018a). Fra gli interventi non strutturali assumono un ruolo di rilievo il monitoraggio - specialmente se condotto nell'ambito di laboratori in sito (Gullà, 2016b) - e il coinvolgimento delle comunità che vivono nelle aree a rischio. In particolare, il coinvolgimento della popolazione risulta essenziale per conseguire i risultati più efficaci possibili nella gestione del rischio stesso. Tutti concordano, infatti, nell'affermare che un'adeguata informazione e consapevolezza dei cittadini sull'esposizione al rischio, nonché un'educazione al rischio stesso, siano fondamentali per attuare mirate strategie di intervento. Infatti, se la popolazione non è sufficientemente consapevole ed informata dei pericoli naturali a cui è esposta, difficilmente adotterà misure che ne possano ridurre gli impatti negativi. Se da una parte, quindi, è importante che una comunità sia informata e consapevole dell'esposizione ai pericoli naturali, risulta ancora più importante che gli amministratori locali siano consapevoli del grado di conoscenza della popolazione

da loro amministrata al fine di stabilire politiche adeguate. Inoltre, comprendere come il pubblico percepisce il rischio risulta cruciale nel determinare il modo di diffondere informazioni appropriate allo scopo di aumentare la fiducia della popolazione nelle autorità e, in questo modo, migliorare la capacità pubblica di rispondere a eventi estremi e aumentare la resilienza delle persone (Bradford *et al.*, 2012).

Come evidenziano Chowdhury e Haque (2011), scienziati e politici spesso concordano sul fatto che il pubblico ha la tendenza a reagire emotivamente o soggettivamente alla complessità e spesso non è in grado di apprezzare la natura incerta e complessa delle questioni ambientali. Il pubblico, d'altro canto, tende, molte volte, a criticare gli esperti (scienziati e responsabili politici) per l'utilizzo di un linguaggio tecnico inaccessibile e per non fornire risposte chiare e complete. Questi rilievi evidenziano le difficoltà di interlocuzione che esistono tra il pubblico e gli esperti e la necessità di migliorare la comunicazione del rischio da parte degli esperti.

Partendo da questa riflessione, si è ritenuto opportuno svolgere nel febbraio 2018 un'indagine sulla percezione del rischio frana da parte della popolazione di Maierato, cittadina in provincia di Vibo Valentia, coinvolta il 15 febbraio 2010 da un evento franoso ad elevato impatto ambientale e socio-economico. Al termine di questa indagine si è aggiunta l'esigenza di realizzare delle interviste semi-strutturate, coinvolgendo altresì gli esperti cioè gli at-

tori politici locali e i responsabili tecnici e di Protezione Civile del comune in carica nel periodo in cui si è verificato l'evento franoso del 2010 e i soggetti che rivestivano tali incarichi alla data dell'indagine e cioè otto anni dopo l'evento. Questa esigenza è nata dalla necessità di conoscere il punto di vista di amministratori e tecnici locali sulla gestione dell'emergenza del 2010, sul recupero e la riabilitazione, sulla percezione e consapevolezza del rischio della popolazione e sugli interventi di prevenzione, preparazione e adattamento che si inseriscono nel quadro degli interventi non strutturali utili alla mitigazione del rischio.

In Antronico *et al.* (2018, 2019) sono stati analizzati i risultati dell'indagine sulla percezione del rischio frana da parte della popolazione; nel presente articolo vengono, invece, presentate e discusse le interviste semi-strutturate somministrate agli attori politici locali e ai responsabili tecnici e di Protezione Civile del comune. Le domande sono state sottoposte ai soggetti interessati dal Dr. De Pascale, nel ruolo di intervistatore sul campo, nel 2018. Le opinioni sono state trascritte durante le singole interviste.

2. EVENTO FRANOSO DEL FEBBRAIO 2010

Il 15 febbraio 2010, dopo un periodo di prolungate precipitazioni, una frana profonda e di cospicue dimensioni ha interessato l'abitato di Maierato (Borrelli *et al.*, 2014). Dopo l'evoluzione, la frana presentava un'area di circa 3×10^5 m² con una lar-

ghezza massima di 500 m, una lunghezza di 1400 m e una profondità massima di circa 50 m (Fig. 1). Il fenomeno franoso durante la sua evoluzione ha coinvolto un tratto di circa 1 km della SP 55 Maierato-Filogaso e alcune costruzioni rurali e, solo grazie alla tempestiva interdizione da parte dell'amministrazione comunale dell'area coinvolta nel movimento, non è stato riscontrato alcun danno alla popolazione. La frana ha prodotto un notevole impatto socio-economico nella comunità locale in quanto ha modificato la geografia di una vasta zona nelle immediate vicinanze del centro abitato, zona intensamente utilizzata a fini agricoli ed attraversata da una strada provinciale di notevole importanza per l'economia locale. Subito dopo l'evento, l'intera comunità (circa 2300 abitanti) è stata evacuata, con ordinanza del sindaco, a causa della prossimità alla frana di numerose abitazioni, attività e reti di servizio e sono state attivate tutta una serie di azioni previste dagli enti preposti alla salvaguardia delle persone, dei beni e del territorio in caso di pericoli naturali. Con ordinanza del 19 febbraio 2010 è stato disposto il rientro dei residenti nelle aree che, secondo gli esperti, non presentavano condizioni di particolare rischio (in particolare zona centro storico).

Dal 31 marzo 2010, data dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri che definiva le modalità per affrontare l'emergenza, e fino al 2013, anno in cui si fissava la chiusura dell'emergenza, le attività effettuate sono state regolamentate da molteplici Ordinanze del Commissario delegato per la gestione dell'emergenza, consistenti nella realizzazione di interventi non strutturali (studi, indagini, monitoraggi, piano di protezione civile, ecc.) e strutturali (intervento urgente e interventi di mitigazione del rischio). Fra i primi, si menziona il Piano di Protezione Civile (approvato con delibera comunale nel 2013) ed il monitoraggio dell'area in frana (a cura del CNR-IRPI e proseguito

fino al 2019); fra quelli strutturali l'intervento urgente è stato completato nel 2016, mentre quelli di mitigazione del rischio non sono stati ancora realizzati. Per quanto concerne il tratto di strada provinciale distrutto dalla frana, attualmente, è stato ripristinato solo un tracciato di servizio per consentire le operazioni di controllo e monitoraggio dell'area in frana, mentre notevoli sono le pressioni della popolazione affinché sia ripristinata la viabilità ordinaria (Gullà *et al.*, 2014; 2018b).

3. METODOLOGIA

L'indagine nei confronti degli esperti sulla gestione dell'emergenza del 2010, sul recupero e la riabilitazione della popolazione, sugli interventi di prevenzione, preparazione e adattamento e sulla consapevolezza e percezione del rischio frana è stata condotta tramite metodi qualitativi impiegando le interviste semi-strutturate. L'intervista semi-strutturata è costituita da un sistema di domande-stimolo predefinite e costruite allo scopo di far esprimere agli intervistati le proprie opinioni, convinzioni, atteggiamenti relativi all'oggetto di studio (Lucidi *et al.*, 2008). Per lo scopo del lavoro sono stati intervistati dieci esperti, tra cui 2 sindaci, 4 assessori e consiglieri comunali, 2 tecnici dell'Ufficio Tecnico comunale e 2 responsabili della Protezione Civile comunale che ricoprivano questi incarichi quando è avvenuta la frana (febbraio 2010) o nel periodo in cui sono state svolte le interviste, vale a dire otto anni dopo l'evento franoso.

Le interviste semi-strutturate sono state condotte *face to face* nel febbraio 2018 ed il tempo impiegato per lo svolgimento di ciascuna di esse è stato di circa 40-45 minuti. Le stesse sono state, poi, elaborate, eseguendo un'analisi tematica (Braun e Clarke, 2006). I temi sono stati identificati attraverso approfondite e reiterate letture nelle trascrizioni delle interviste, per formare un quadro completo dell'esperienza collettiva, delle posizioni, delle percezioni

e delle conoscenze dei partecipanti (Aronson, 1995, Braun e Clarke, 2006; Forino *et al.*, 2018). Gli esperti intervistati sono stati identificati, per ragioni di privacy legate alla sensibilità dell'argomento, con la lettera E dal numero 1 al numero 10.

4. RISULTATI E DISCUSSIONE

4.1. GESTIONE DELL'EMERGENZA DEL 2010

Sul tema della messa in sicurezza del territorio e dell'assistenza della popolazione dopo l'evento e sulla percezione di essa da parte della popolazione, emergono punti di vista simili tra gli esperti intervistati. In particolare, secondo E1, E2, E3, E10 "attualmente la popolazione non ha una piena consapevolezza delle opere di messa in sicurezza di emergenza effettuate subito dopo l'evento, nonostante siano stati svolti incontri per informare e rendere partecipi i cittadini degli interventi proposti". E3, E8 e E9 ribadiscono "l'insoddisfazione della popolazione verso gli interventi effettuati". Tale insoddisfazione da parte della popolazione è dovuta all'interesse prevalente di quest'ultima verso i problemi di viabilità legati all'interruzione della SP 55, ritenuta dalla popolazione di notevole importanza per le attività economiche locali in quanto collega Maierato con Filogaso, paese limitrofo. Gli stessi esperti evidenziano che la responsabilità di tale criticità rimasta irrisolta sia da attribuire agli enti sovracomunali.

Per quanto riguarda gli aspetti relativi alla comunicazione tra istituzioni e cittadini e all'informazione trasmessa durante l'evento franoso, la maggior parte degli intervistati concordano su un punto, ovvero che la popolazione è stata bene informata durante l'emergenza. Secondo E1, E3, E7, E9, E10 "durante la fase di emergenza tutti gli enti preposti sono intervenuti adeguatamente e tutta la popolazione ha percepito l'attenzione delle istituzioni e si è sentita protetta, quindi



Fig. 1 – A) La frana di Maierato dopo qualche mese dalla sua attivazione. In rosso sono riportati il tratto della Strada Provinciale Maierato-Filogaso (SP55) e il tornante della circonvallazione distrutti dal movimento franoso. B) La frana dopo circa sette anni dalla sua attivazione. In rosso il limite della frana; la freccia indica il tracciato di servizio realizzato in emergenza

soddisfatta”. All’unanimità i partecipanti ritengono che il comportamento della comunità durante l’emergenza sia stato responsabile, corretto, rispettoso, ordinato e abbastanza collaborativo nei confronti dei soggetti istituzionali, dei Vigili del Fuoco, della Protezione Civile, delle Forze dell’Ordine e delle Associazioni di Volontariato. “In poche ore è stato portato a termine lo sgombero senza problemi; nessun ostacolo rilevato; la popolazione ha accettato qualsiasi soluzione”, afferma E4. Anche sul coordinamento dei soggetti coinvolti durante l’emergenza c’è un parere unanime da parte degli intervistati sul lavoro eccellente svolto da tutti gli enti ed associazioni coinvolti e dalla Prefettura di Vibo Valentia che ha coordinato le attività. E7 ha aggiunto che “nei momenti di emergenza, la comunità è più compatta e tutto si svolge nel migliore dei modi”.

Quanto espresso evidenzia l’efficienza della macchina organizzativa nella fase emergenziale nel caso di Maierato. Tutto ciò è avvenuto anche grazie alla capacità dei soggetti coinvolti durante l’emergenza di prevedere e di saper gestire le reazioni dei cittadini durante la fase di sgombero e di veicolare in modo corretto le informazioni e la comunicazione dell’allarme al fine di evitare danni alle persone. Secondo la maggioranza degli esperti, però, “oggi la popolazione non si mostra soddisfatta poiché ritiene che l’attenzione delle istituzioni col tempo si sia affievolita”. Ciò mette in evidenza che, se da una parte la comunicazione durante la fase di gestione dell’emergenza è stata efficace, dall’altra parte esiste un deficit di comunicazione nel periodo post-disastro successivo alla fase di emergenza. Diversi casi studio in Italia mostrano che la collaborazione tra istituzioni e cittadini e la comunicazione fra i vari soggetti istituzionali coinvolti e la comunità colpita è ad alti livelli solo immediatamente dopo il disastro (Carnelli e Ventura, 2015; Mela *et al.*, 2017; Gugg, 2018), ma l’attenzione sui luoghi e sulle persone colpite tende gradualmente a svanire fino al verificarsi del disastro successivo (Antronico *et al.*, 2019).

4.2. RECUPERO E RIABILITAZIONE DELLA POPOLAZIONE

Gli esperti hanno espresso parere unanime sul coinvolgimento psicologico da parte della popolazione durante l’evento traumatico vissuto nel febbraio 2010. Soprattutto E3 e E4 mettono in evidenza il turbamento dei cittadini e la loro insicurezza verso il futuro; E3 si esprime così: “dai visi delle persone erano evidenti il senso di smarrimento e il timore di ciò che il futuro avrebbe potuto loro riservare.

La maggior parte di loro risultava molto provata, con uno sguardo quasi assente”. Secondo E4 “non si aspettavano un evento così; era il futuro che turbava i cittadini; avevano l’incubo di non poter tornare nelle loro abitazioni e riprendere la loro quotidianità”. Anche E8 evidenzia che “il condizionamento psicologico di ognuno è stato direttamente proporzionale alla paura di perdere ciò che si aveva”. Secondo E10, soprattutto gli anziani hanno risentito psicologicamente del disagio perché hanno dovuto abbandonare le proprie abitazioni.

Secondo alcuni esperti, ancora oggi permangono i disagi psicologici in molti cittadini che hanno vissuto l’evento del 2010. Questi problemi emergono soprattutto in occasione di piogge particolarmente intense”. E1 spiega ancora meglio che “l’evento è stato uno spartiacque nella comunità; quando piove, la maggioranza della popolazione avverte la sensazione di pericolo legata al timore che si possa verificare un nuovo fenomeno franoso anche al di là dell’area a rischio”. La permanenza di disturbi post-traumatici da stress in molti cittadini richiederebbe interventi e cure mirate di Psicologia dell’Emergenza (Barbato *et al.*, 2006): sarebbe stata, infatti, opportuna la presenza di un team di psicologi che sarebbe dovuto intervenire anche a distanza di mesi dall’evento traumatico occupandosi dei cittadini che hanno riscontrato questa tipologia di problema.

Nonostante la permanenza di tali disagi psicologici secondo alcuni partecipanti, dopo l’evento la popolazione è più sensibile alle problematiche relative al rischio idrogeologico nel proprio territorio. E6 afferma che “sicuramente oggi la popolazione è più cosciente di quanto potrebbe accadere in caso di forti piogge, vista la vulnerabilità del territorio. Ancora oggi è vivo in ognuno di essi il ricordo di quella tragica giornata”. E8 sostiene che “le persone sono cambiate; è aumentata di molto la consapevolezza che certe problematiche, come il dissesto idrogeologico, siano molto più vicine alla comunità di quanto si possa credere”. D’altronde, prendere coscienza del rischio frana nel proprio territorio, oltre a potenziare la preparazione alle emergenze, rimanda altresì ad una maggiore capacità di coesione sociale e di adattamento al verificarsi di un successivo evento naturale estremo.

4.3. PREVENZIONE, PREPARAZIONE E ADATTAMENTO

Tutti gli esperti intervistati concordano sul fatto che la maggioranza dei cittadini non conosce i contenuti del Piano Comunale di Protezione Civile. E3 affer-

ma che “sono stati svolti diversi incontri con la popolazione al fine di metterla al corrente del contenuto del Piano, ma solo le persone davvero attente ne ricordano il contenuto”. Secondo E1 e E2, “prendendo atto dell’apatia della popolazione, sarebbe opportuna, oggi, la preparazione di una brochure informativa per inviarla ad ogni cittadino”. In tale contesto, la comunicazione del rischio non dovrebbe essere considerata come un processo a senso unico. Un sistema che consenta uno scambio tra gestori del rischio e pubblico potrebbe portare a politiche migliori e più ampiamente supportate (Science Communication Unit, University of the West of England, Bristol, 2014). Se la popolazione, infatti, non è informata, non potrà ritenersi soddisfatta. Il coinvolgimento del pubblico può anche aumentare la fiducia nelle istituzioni, aspetto cruciale per la loro percezione del rischio (Viklund, 2003).

Sulla tematica relativa alla preparazione della comunità nell’affrontare un nuovo evento idrogeologico, la maggior parte degli esperti ritiene che la popolazione non sia preparata al verificarsi di un altro evento franoso estremo. Per E1 e E3 “alcune persone si sentono preparate perché sottovalutano il rischio; se si verificasse un nuovo evento, avremmo maggiori difficoltà nell’affrontarlo soprattutto se esso dovesse avere una portata significativa come quello del 2010”. Per E4 la motivazione è legata all’età avanzata della popolazione: “la popolazione non è pronta ad affrontare un nuovo evento idrogeologico; forse i giovani riescono ad essere più vigili, ma essendo un paese di anziani c’è sempre molta paura”. Per aumentare la preparazione e migliorare la risposta della comunità al verificarsi di eventi calamitosi di pari portata, secondo la metà dei rispondenti è necessaria la diffusione di una cultura della prevenzione attraverso diversi approcci: “il rispetto dell’ambiente e azioni di sensibilizzazione della comunità, perché l’uomo tende a dimenticare”, affermano E1 e E2; “un’attività incisiva di informazione rivolta alle comunità sui rischi e su come affrontarli, partendo dalle scuole come si sta facendo con il rischio sismico in alcune località della provincia di Vibo Valentia”, ribadiscono E3 e E5; l’educazione della popolazione al rispetto del proprio territorio e dell’ambiente, anche attraverso la corretta lavorazione dei terreni, il mantenimento e le pulizie dei “fossi mastri”, credibili campagne informative e ancora di più formative per spiegare alla popolazione quali siano i comportamenti da attuare in caso di eventi calamitosi, evidenzia E6. Anche nell’indagine rivolta alla popola-

zione emerge quanto siano fondamentali questi aspetti nella fase post-disastro di recupero, ripristino e ricostruzione; infatti, migliorare la comunicazione, informare la popolazione, renderla partecipe delle attività svolte nell'area a rischio e far rispettare maggiormente le norme di costruzione e l'ambiente rappresentano dei presupposti fondamentali per potenziare la resilienza territoriale e per prevenire disastri futuri (Antronico *et al.*, 2020). Pertanto, fattori culturali (informazione, conoscenza, memoria storica), psicologici (esperienza diretta, disturbi post-traumatici da stress che permangono nei cittadini) e socio-economici (perdite indirette) hanno condizionato la percezione del rischio da parte della popolazione (Antronico *et al.*, 2020).

Lo sviluppo delle capacità di adattamento e di prevenzione ai fini di ridurre il rischio disastri è strettamente connesso ad azioni che sviluppano le competenze e le infrastrutture sociali all'interno delle comunità. Queste azioni includono, in sintonia con quanto affermato dagli esperti, formazione e istruzione, informazione pubblica, trasferimento di tecnologia o competenza tecnica, rafforzamento delle infrastrutture e miglioramento delle capacità organizzative (UNISDR, 2004).

4.4. CONSAPEVOLEZZA E PERCEZIONE DEL RISCHIO

Secondo E8 "la percezione del rischio frana dipende dal livello di consapevolezza personale; chi vive e conosce bene il territorio ha piena consapevolezza di quale sia il livello di rischio nelle varie zone del Comune di Maierato"; secondo E2 "nell'immediatezza, la frana avvenuta nel 2010 ha causato paura e quindi il rischio frana è stato percepito in modo elevato; ogni cittadino, poi, si è assuefatto e la percezione è diminuita". Quanto affermato dagli esperti si riferisce al processo di assuefazione che segue quello della paura iniziale al manifestarsi dell'evento estremo e fa sì che la percezione del rischio, elevata all'inizio, tenda, poi, a diminuire. Secondo Raaijmakers *et al.*, (2008), una maggiore consapevolezza può aumentare i livelli di preoccupazione, ma può avere un effetto positivo sul livello di preparazione. Una migliore preparazione, a sua volta, riduce la preoccupazione. Su una scala temporale più lunga, quest'ultima, trasformandosi in assuefazione, può, però, ridurre la percezione.

All'unanimità i partecipanti ritengono che la popolazione non si aspettasse un evento franoso di così vaste proporzioni. Secondo E6 l'evento ha fatto da

spartiacque tra una popolazione ignara del rischio frana nel proprio territorio ed una popolazione consapevole solo dopo aver assistito all'evento del 2010: "l'evento del 2010 ha chiaramente segnato la vita dell'intera comunità che, da quel giorno, vede in modo decisamente diverso i fenomeni franosi. Fino a quella data mai la popolazione aveva avvertito situazioni di possibile pericolo derivanti da eventi naturali". Difatti, secondo diversi autori, l'esperienza personale di un evento calamitoso può pesantemente condizionare la percezione del livello di rischio della comunità colpita (Eiser *et al.*, 2012; Wahlberg e Sjoberg, 2000; Kitzinger, 1999).

5. CONCLUSIONI

L'analisi tematica svolta mira ad esaminare il punto di vista degli esperti nel quadro degli interventi non strutturali di mitigazione del rischio frana nel Comune di Maierato. Tali interventi riguardano le attività di prevenzione, preparazione e adattamento, di recupero e di riabilitazione della popolazione e la consapevolezza e percezione del rischio frana da parte della comunità a otto anni dall'evento calamitoso di febbraio 2010. Gli esperti hanno evidenziato i seguenti aspetti tematici tratti dall'analisi effettuata:

- La popolazione non è soddisfatta, in generale, degli interventi strutturali effettuati e, in particolare, lamenta in maniera insistente il mancato ripristino della viabilità ordinaria della SP 55, una strada ritenuta di vitale importanza per i rapporti sociali, economici e commerciali con la vicina comunità di Filogaso e per le quotidiane attività agricole svolte dalla comunità sui terreni circostanti l'area in frana. Attualmente, la mancanza di tale ripristino determina, fra l'altro, un utilizzo improprio e rischioso dell'attuale tracciato di servizio.
- La comunicazione durante l'emergenza è stata efficace e funzionale. Il disastro avvenuto è legato soprattutto a perdite indirette relative a danni socio-economici subiti dalla comunità, ma grazie ad un'adeguata gestione dell'emergenza e a un coordinamento appropriato dei soggetti istituzionali e associativi coinvolti è stata evitata la perdita di vite umane. Tuttavia, secondo gli esperti, l'attenzione delle istituzioni, soprattutto degli enti sovracomunali, si è affievolita su una scala temporale più lunga, lasciando la comunità di Maierato in uno stato di abbandono e di apatia.
- In molti cittadini permangono disturbi post-traumatici da stress che

si manifestano al verificarsi di rovesci temporaleschi intensi; questi cittadini avrebbero bisogno di essere seguiti da un team di psicologi dell'emergenza.

- Secondo gli esperti, molti cittadini sottovalutano il rischio e qualora si verificasse un nuovo evento la comunità avrebbe maggiori difficoltà nel saperlo affrontare, soprattutto gli anziani.
- Secondo gli esperti, la consapevolezza e la percezione del rischio frana sono state fortemente influenzate dall'esperienza vissuta, ma è altresì vero, sempre secondo gli esperti, che, se all'inizio, nella fase di emergenza, la preoccupazione era elevata, col passare del tempo essa si è trasformata in assuefazione e, di conseguenza, la percezione del rischio è diminuita.
- La popolazione non conosce il Piano di Protezione Civile Comunale e i suoi contenuti e, secondo gli esperti, è opportuno diffondere una cultura della prevenzione, del rispetto dell'ambiente e illustrare i comportamenti corretti da adottare in caso di eventi calamitosi, partendo dalle scuole, per mezzo di campagne informative, ai fini di creare una coscienza del rischio nei cittadini.

Dalla sintesi riportata, emerge che i processi di apprendimento sociale attraverso la partecipazione pubblica, le campagne formative ed informative sul rischio sono rilevanti nel processo di gestione e di prevenzione del rischio. D'altronde, una volta riconosciuti i contributi degli esperti, delle parti interessate e del pubblico, sarebbe auspicabile sviluppare un processo decisionale costruttivo e di comprensione reciproca. Questo processo potrebbe non portare sempre ad un allineamento esatto delle valutazioni tecniche del rischio e della percezione del rischio da parte della popolazione, ma le esperienze finora suggeriscono che le competenze scientifiche, le preoccupazioni delle parti interessate e le percezioni pubbliche possono essere riconciliate se si tenta seriamente di integrarle (Rauschmayer e Wittmer, 2006, US National Research Council of the National Academies, 2008; Science Communication Unit, University of the West of England, Bristol, 2014). In tale contesto, gli interventi non strutturali di mitigazione del rischio hanno la necessità e l'utilità di essere impiegati nell'ambito di un approccio integrato ed interdisciplinare, di filiera, adattivo e inclusivo che possa connettere gli aspetti inerenti alla pianificazione, programmazione, studio, analisi e progettazione con quelli altrettanto importanti riguardanti la percezione del

rischio e la comunicazione, il capitale sociale ed economico, gli aspetti psicologici, culturali ed istituzionali.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori desiderano ringraziare i partecipanti che hanno dato il loro consenso volontario e informato prima delle interviste. Lo studio presentato nell'articolo si inserisce nel contesto del Progetto DTA.AD003.077 "Tipizzazione di eventi di dissesto idrogeologico", del Dipartimento del CNR "Scienze del Sistema Terra e Tecnologie per l'Ambiente" ed è stato parzialmente svolto nell'ambito del Progetto "Supporto tecnico-scientifico per il monitoraggio delle frane, la pianificazione e la valutazione degli interventi di salvaguardia del rischio per la cittadina di Maierato", accordo tra CNR-IRPI e Comune di Maierato.

BIBLIOGRAFIA

- ANTRONICO L., COSCARELLI R., DE PASCALE F., GULLÀ G. (2018), *La comunicazione del rischio e la percezione pubblica dei disastri: il caso studio della frana di Maierato*, PRISMA Economia - Società - Lavoro, 3/2018, pp. 9-29, doi:10.3280/PRI2018-003002.
- ANTRONICO L., COSCARELLI R., DE PASCALE F., GULLÀ G. (2020), *Landslides risk perception, social vulnerability and community resilience: the case study of Maierato (Calabria, southern Italy)*. International Journal of Disaster Risk Reduction, 46, 2020, 101529, <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101529>.
- ANTRONICO L., COSCARELLI R., DE PASCALE F., CONDINO F. (2019), *Social Perception of Geo-Hydrological Risk in the Context of Urban Disaster Risk Reduction: A Comparison between Experts and Population in an Area of Southern Italy*, Sustainability 2019, 11, 2061.
- ARONSON J. (1995), *A pragmatic view of thematic analysis*, The Qualitative Report, Vol. 2, No. 1, pp. 1-3.
- BARBATO R., PULIATTI M., MICUCCI M. (2006), *Psicologia dell'Emergenza. Manuale di intervento sulle crisi da eventi catastrofici*, Edup, Roma.
- BRAUN V., CLARKE V. (2006), *Using thematic analysis in psychology*, Qualitative Research in Psychology, Vol. 3 No. 2, pp. 77-101.
- BRADFORD, R. A., O'SULLIVAN, J. J., VAN DER CRAATS, I. M., KRYWKOW, J., ROTKO, P., AALTONEN, J., BONAIUTO, M., DE DOMINICIS, S., WAYLEN, K., SCHELFAUT, K. (2012), *Risk perception – issues for flood management in Europe*. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 2012, 12, 2299-2309, doi.org/10.5194/nhess-12-2299-2012
- BORRELLI L., ANTRONICO L., GULLÀ G., SORRISO-VALVO G.M. (2014), *Geology, geomorphology and dynamics of the 15 February 2010 Maierato landslide (Calabria, Italy)*, Geomorphology, 208, pp. 50-73.
- CARNELLI F., VENTURA S. (2015) (a cura di), *Oltre il Rischio Sismico. Valutare, Comunicare e decidere Oggi*, Carocci, Roma.
- CHOWDHURY P.D., HAQUE C. E. (2011), *Risk perception and knowledge gap between experts and the public: issues of flood hazards management in Canada*, Journal of Environmental Research And Development, Vol. 5 No. 4, April-June 2011, pp. 1017-1022.
- EISER J.R., BOSTROM A., BURTON I., JOHNSTON D.M., McCLURE J., PATON D., VAN DER PLIGT J., WHITE M.P. (2012), *Risk interpretation and action: A conceptual framework for responses to natural hazards*, International Journal of Disaster Risk Reduction, pp. 5-16.
- FORINO G., VON MEDING J., BREWER G.J. (2018), *Challenges and opportunities for Australian local governments in governing climate change adaptation and disaster risk reduction integration*, International Journal of Disaster Resilience in the Built Environment, Vol. 9 Issue 3, pp. 258-272, <https://doi.org/10.1108/IJDRBE-05-2017-0038>.
- GUGG G. (2018), *Anthropology of the Vesuvius Emergency Plan: History, perspectives and limits of a dispositive for volcanic risk government*, in: Antronico L., Marincioni F. (a cura di), *Natural Hazards and Disaster Risk Reduction Policies*, Geographies of the Anthropocene book series; Il Sileno Edizioni: Rende, 2018; pp. 105-123, sileno.it/geographiesoftheanthropocene (ultimo accesso: 15/07/2019).
- GULLÀ G. (2013), *Instabilità dei versanti e frane: dall'emergenza alla prevenzione*. Rendiconti Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, Memorie di Scienze Fisiche e Naturali; SCRITTI E DOCUMENTI XLVII, a cura di Francesco Dramis, Annibale Mottana, ARACNE editrice s.r.l., ottobre 2013, pp. 73-99. DOI 10.4399/97888548613815.
- GULLÀ G., L. ACETO L., ANTRONICO L., BORRELLI, R., COSCARELLI, A.A., PASQUA, O., PETRUCCI, C., REALI S., GUARDIA, E., VALENTE (2014), *Relazione attività svolte – Comune di Maierato*. Convenzione di consulenza tecnico-scientifica per "Studi ed indagini geologiche, geotecniche, idrologiche ed idrauliche nel comune di Maierato", "Monitoraggio finalizzato alla gestione dell'emergenza nel comune di Maierato", "Studi ed indagini geologiche, geotecniche, idrologiche ed idrauliche nella frazione Ianò del comune di Catanzaro", "Monitoraggio finalizzato alla gestione dell'emergenza nella frazione Ianò del comune di Catanzaro", "Monitoraggio delle strutture nella frazione Ianò del comune di Catanzaro", CNR-IRPI, Commissario Delegato OPCM n. 3862/2010.
- GULLÀ G. (2016a), *Metodi per la valutazione della pericolosità dei fenomeni di dissesto dei versanti: l'esperienza del POR Calabria 2000-2006*. magazineINGENIO-informazione tecnica e progettuale. Novembre 2016, 47, pag. 50. <https://goo.gl/CtXktW> <http://www.ingenio-web.it>
- GULLÀ G. (2016b), *L'importanza di laboratori in sito e reti integrate di monitoraggio degli eventi di dissesto idrogeologico per la gestione sostenibile del rischio e lo sviluppo di processi e tecnologie innovative*. magazineINGENIO-informazione tecnica e progettuale. Novembre 2016, 47, pag. 50. <https://goo.gl/Bq89mX> <http://www.ingenio-web.it>
- GULLÀ G. (2017), *Filiera per l'adattamento, la mitigazione e la riduzione del rischio determinato da eventi di dissesto idrogeologico e interventi sostenibili*. Rendiconti Accademia Nazionale delle Scienze detta dei XL, Memorie di Scienze Fisiche e Naturali; 134° (2016), Vol. XL, Parte II, pp. 99-124.
- GULLÀ G., ACETO L., ANTRONICO L., BORRELLI L., COSCARELLI R., PERRI F. (2018a), *A smart geotechnical model in emergency conditions: A case study of a medium deep landslide in Southern Italy*. Engineering Geology 234 (2018) 14: 138-152. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2018.01.008>.
- GULLÀ G., L. ACETO, L. BORRELLI (2018b), *Terza Relazione Ordinaria – Attività di approfondimento conoscitivo con riferimento alla Rete Integrata di Monitoraggio acquisita dal Comune di Maierato e "Approfondimenti di Studio"*. Accordo per "Supporto tecnico-scientifico per il monitoraggio delle frane, la pianificazione e la valutazione degli interventi di mitigazione del rischio da frana nell'area urbana di Maierato", CNR-IRPI – Comune di Maierato (VV), Gruppo di Lavoro: G. Gullà (Resp. scientifico), L. Aceto, P. Allasia, L. Borrelli, L. Antronico, R. Coscarelli, F. De Pascale, D. Godone, S. Guardia, D. Reale, E. Valente, Agosto 2018.
- KITZINGER J. (1999), *Researching risk and the media*, Health, Risk & Society, 1 (1), pp. 55-69.
- LUCIDI F., ALIVERNINI F., PEDON A. (2008), *Metodologia della ricerca qualitativa*, Il Mulino, Bologna.
- MELA A., MUGNANO S., OLORI D. (2017) (a cura di), *Territori Vulnerabili. Verso una Nuova Sociologia dei Disastri Italiana*, Sociologia Urbana e Rurale, FrancoAngeli, Milano.
- RAAIJMAKERS R., KRYWKOW J., VEEN A. (2008), *Flood risk perceptions and spatial multi-criteria analysis: an exploratory research for hazard mitigation*, Natural Hazards, 46 (3), pp. 307-322.
- RAUSCHMAYER F., WITTMER H. (2006), *Evaluating deliberative and analytical methods for the resolution of environmental conflicts*, Land Use Policy, 23, 1, 1-122.
- SCIENCE COMMUNICATION UNIT, UNIVERSITY OF THE WEST OF ENGLAND, BRISTOL (2014). *Science for Environment Policy Future Brief: Public risk perception and environmental policy. Report produced for the European Commission DG Environment*, September 2014. <http://ec.europa.eu/science-environment-policy> (ultimo accesso: 01/07/2019).
- UNISDR (2004) "Hyogo Framework for Action 2005-2015: Building the Resilience of Nations and Communities to Disasters", UNISDR, Geneva. <http://www.unisdr.org/wcdr>
- US NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF THE NATIONAL ACADEMIES (2008), *Public Participation in Environmental Assessment and Decision Making*, The National Academies Press, Washington DC.
- VIKLUND M.J. (2003), *Trust and risk perception in western Europe: a cross-national study*, Risk analysis: an official publication of the Society for Risk Analysis. 23 (4), pp. 727-738.
- WAHLBERG A.A.F., SJOBERG L. (2000), *Risk perception and the media*, Journal of Risk Research. 3 (1), pp. 31-50.

Misure non strutturali contro i disastri naturali

Giorgio Cesari
E-mail: giorgio_cesari@libero.it

Non-structural measures against natural disasters

Parole chiave: disastri, rischio, finanziamento, assicurazione, diritti umani, infrastrutture critiche, consapevolezza, monitoraggio, programmazione, allerta

Key words: disasters, risk, financing, insurance, human rights, critical infrastructure, awareness, monitoring, programming, alert

SOMMARIO

Negli ultimi anni catastrofi naturali e di origine antropica hanno investito paesi a economia sviluppata e in via di sviluppo in tutto il mondo, generando impatti diretti e indiretti sulla società, con perdita di vite umane e danni a proprietà e infrastrutture, oneri finanziari per le spese di recupero e ricostruzione, diminuzione dei ricavi dalle imposte; occorrono non solo ingenti risorse finanziarie, ma soprattutto efficaci strategie per gestire i rischi di catastrofi. Sulla base di recenti indagini, si può delineare una panoramica globale degli approcci, con cui sono affrontati vari livelli di rischio di catastrofi naturali e antropiche e gestiti gli impatti, che confermano l'esigenza di studiare misure non strutturali, atte a fornire le informazioni necessarie sui rischi per l'elaborazione di mappe di rischio, pericolosità, esposizione, vulnerabilità e danno, e di ricorrere al sostegno di coperture assicurative dei rischi di calamità. Vanno indagate la resilienza soprattutto delle infrastrutture critiche e la consapevolezza del rischio di catastrofi e vanno promossi progetti di informazione e divulgazione. Sono fondamentali sia la costruzione della consapevolezza dell'opinione pubblica sui rischi di catastrofi, sia la necessità di garantire i diritti umani nei disastri naturali, sia essere in grado di svolgere quanto necessario prima, durante un disastro e nelle fasi di recupero e ricostruzione. Sono disponibili strumenti, migliorati e standardizzati, per valutare il rischio a bassa-alta probabilità e per rafforzare la *capacity building* delle istituzioni centrali, regionali e locali, con validi sistemi di allerta e messa a punto di rapporti innovativi di collaborazione fra le istituzioni e i portatori di interesse pubblici e privati.

SUMMARY

In recent years natural and man-made disasters have invested countries with developed and developing econo-

mies all over the world, generating direct and indirect impacts on society, with loss of human lives and damage to property and infrastructure, financial costs for expenses recovery and reconstruction, decrease in tax revenues; we need not only huge financial resources, but above all effective strategies to manage catastrophe risks. On the basis of recent surveys, a global overview of the approaches can be outlined, with which various risk levels of natural and man-made disasters are dealt with and impacts managed, which confirm the need to study non-structural measures, aimed at providing the necessary information on the risks for the elaboration of risk maps, danger, exposure, vulnerability and damage, and to resort to the support of insurance coverage for the risks of disaster. The resilience of critical infrastructures and the awareness of catastrophe risks must be investigated and information and dissemination projects must be promoted. Both the construction of public awareness on the risks of catastrophes and the need to guarantee human rights in natural disasters are fundamental, as well as being able to perform what is necessary before, during a disaster and in the phases of recovery and reconstruction. Improved and standardized tools are available to assess low-to-high probability risk and to strengthen the capacity building of central, regional and local institutions, with valid alert systems and the development of innovative collaboration relationships between institutions and stakeholders, public and private.

1. DISASTRI GEOFISICI NEL MONDO

Se la frequenza dei disastri geofisici è costante, si registra però un aumento significativo degli eventi legati al clima (principalmente alluvioni e tempeste). Dal 2000, EM-DAT (*Events Database del Centre for Research on the Epidemiology of Disasters* - CRED) ha registrato

una media di 341 disastri legati al clima per anno, in aumento del 44% rispetto alla media del 1994-2000 e ben oltre il doppio del livello nel 1980-1989. Più in dettaglio, tra il 1994 e il 2013, l'EM-DAT ha registrato 6.873 disastri naturali in tutto il mondo, che hanno provocato perdite di 1,35 milioni di vite (quasi 68.000 vite in media ogni anno). Nello stesso periodo, ogni anno, mediamente, 218 milioni di persone sono state colpite da disastri naturali. Mentre i disastri sono più frequenti negli ultimi 20 anni, il numero medio di persone colpite è diminuito da uno su 23 nel periodo 1994-2003 a uno su 39 nel periodo 2004-2013. I tassi di mortalità sono però aumentati rispetto allo stesso periodo, con una media di oltre 99.700 morti l'anno tra il 2004 e il 2013, in ragione di tre megadisastri (tsunami asiatico del 2004, Cyclone Nargis nel 2008, terremoto di Haiti del 2010).

I dati EM-DAT mostrano che le inondazioni hanno causato la maggior parte dei disastri tra il 1994 e il 2013, pari al 43% di tutti gli eventi registrati, e hanno colpito circa 2,5 miliardi di persone. Le tempeste sono il tipo più "costoso" di disastro e il secondo più frequente, con più di 244.000 vite umane perdute e con un costo di 936 miliardi di dollari di danni. I terremoti (compresi gli tsunami) hanno provocato la morte di più persone di tutti gli altri tipi di disastri messi insieme, con quasi 750.000 vittime tra il 1994 e il 2013. Gli tsunami hanno comportato una media di 79 morti ogni 1.000 persone colpite, rispetto a quattro morti per 1.000 per sismi sulla terraferma. La siccità ha colpito oltre un miliardo di persone tra il 1994 e 2013 (25% del totale globale): circa il 41% dei disastri si è verificato in Africa.

In numeri assoluti, gli Stati Uniti e la Cina hanno registrato più disastri naturali tra il 1994 e il 2013, in ragione della loro dimensione e delle alte densità di popolazione. L'Asia ha sopportato il peso maggiore dei disastri, con 3,3 mi-

liardi di persone colpite solo in Cina e in India, mentre l'Eritrea e la Mongolia sono i paesi più colpiti al mondo per numero di persone colpite ogni 100.000. Haiti ha sofferto il maggior numero di morti, in termini assoluti e relativi, a causa del terribile bilancio del terremoto del 2010. L'analisi di EM-DAT mostra pure l'impatto dei diversi livelli di reddito per disastri. In media, i morti per disastro nei paesi a basso reddito (332 morti) sono tre volte rispetto alle nazioni ad alto reddito (105 morti), che hanno subito il 56% di disastri, con il 32% dei decessi, mentre i paesi a basso reddito hanno sofferto il 44% dei disastri con il 68% dei decessi.

Secondo il CRED, i dati EM-DAT indirizzano verso diverse importanti conclusioni:

- l'aumento dei tassi di mortalità evidenzia la vulnerabilità costante delle comunità ai rischi naturali. L'accuratezza delle attuali previsioni del tempo e lo sviluppo di sistemi di preallerta permettono di promuovere la riduzione del rischio di catastrofi;
- in ragione dell'onere sproporzionato dei rischi naturali in paesi a basso reddito e l'enorme disparità in tassi di mortalità fra paesi più ricchi e più poveri, le misure di mitigazione nei paesi meno sviluppati richiedono significativi miglioramenti;
- un migliore controllo delle inondazioni per le comunità più povere ad alto rischio è un importante obiettivo da conseguire anche attraverso soluzioni efficaci a basso costo, tra cui imboscamento, zonizzazione di terreni alluvionali, costruzione di argini, migliori sistemi di allerta e ripristino delle zone umide;
- alla luce del prevedibile aumento del cambiamento climatico e della conseguente frequenza delle tempeste e degli altri eventi meteorologici estremi, efficaci sistemi di preallerta e allerta sono indispensabili per salvare più vite in futuro;
- appare altresì una priorità del prossimo decennio la riduzione dell'entità della popolazione vulnerabile alla siccità globale, in particolare in Africa;
- un'adeguata ricerca su come e perché le comunità siano colpite da disastri è urgente, pure a livello micro, per ridurre e prevenire il rischio di catastrofi.

Nel recente passato, anche nel Mediterraneo si sono verificati numerosi eventi catastrofici (inondazioni, colate di detrito e frane), che hanno parimenti reso necessario provvedere:

- alla predisposizione di sistemi di preannuncio idrometeorologico al fine di conoscere con sufficiente anticipo il manifestarsi degli eventi estremi;

- a definire adeguate strategie per l'emissione degli allarmi e delle allerte alle autorità locali e alla popolazione coinvolta.

Se forniti con sufficiente anticipo e con idonea affidabilità, i piani di emergenza basati sugli allarmi tempestivi, soprattutto in aree urbane, appaiono la misura, di tipo non strutturale, più efficiente per mitigare il rischio idraulico. Con l'introduzione di sistemi di misura della precipitazione, tipo radar meteorologici e satelliti geostazionari e polari, e tramite la possibilità di stimare i campi di pioggia con i modelli ad area limitata (Limited Area Models), è possibile creare sistemi efficaci complessi di preannuncio a differenti scale idrologiche di interesse.

2. FINANZIAMENTO DEL RISCHIO DA DISASTRO: INDAGINE OECD

In molti Paesi, l'assicurazione o la riassicurazione per la copertura di specifici rischi di catastrofi, o di calamità, è a carico dei governi. Nel paesi in via di sviluppo con scarsa o nulla penetrazione assicurativa, sono comunque state predisposte numerose iniziative innovative per fornire una copertura mirata a segmenti vulnerabili della società, come produttori agricoli o piccoli imprenditori. Dove la copertura assicurativa per i rischi di calamità è limitata, l'assistenza finanziaria e i compensi a individui, amministrazioni locali e/o imprese, soggetti a catastrofi su larga scala, sono spesso forniti dai governi come mezzi per sostenere la ripresa e ripristinare l'attività economica di "recupero".

Le catastrofi possono anche comportare impatti fiscali significativi, che altrettanto promuovono l'impiego di vari strumenti di finanziamento e trasferimento del rischio. I governi stanno utilizzando una vasta gamma di strumenti per gestire le proprie esposizioni ai rischi di catastrofi, tra cui fondi di riserva, fondi di credito e assicurazione di beni pubblici e talora meccanismi di trasferimento del rischio, come le "obbligazioni per catastrofi" e l'assicurazione per la gestione dei rischi fiscali. A tale proposito, il rapporto, sulla base delle risposte dei sondaggi di 29 economie, inclusa l'OCSE (Organizzazione per la Cooperazione e lo Sviluppo Economico) e le economie dei membri dell'APEC (Cooperazione Economica

Asiatico-Pacifico) ha prodotto risultati importanti. Se pure è stata adottata una diversa e vasta gamma di approcci alla gestione finanziaria dei rischi di catastrofi in tutte le economie, riflettendo i diversi livelli di rischio di disastro e di sviluppo economico, sono state però identificate numerose sfide comuni che suggeriscono la necessità di nuovi investimenti nell'approfondimento dei metodi di approccio globale al finanziamento del rischio di catastrofi.

Perdurando notevoli difficoltà nella raccolta e analisi dei dati sui rischi, lo sviluppo di strategie di finanziamento del rischio di catastrofi richiede di rafforzare la capacità tecnica e istituzionale per la valutazione e la modellizzazione del rischio, per fornire un quadro completo e coordinato del rischio di calamità tra i livelli di governo e i diversi segmenti della società. Migliorare la qualità, la coerenza e la disponibilità dei dati sui rischi, esposizioni, vulnerabilità e perdite di vite e beni è fondamentale per il meccanismo del mercato dell'assicurazione contro i disastri.

L'armonizzazione locale e internazionale di definizioni e metodologie potrebbe bene sostenere la cooperazione internazionale sulla gestione finanziaria del rischio da disastro e migliorare l'accesso ai mercati assicurativi internazionali. La copertura completa dei rischi di catastrofi rimane però una sfida in molte economie e migliorare la capacità finanziaria delle compagnie di assicurazione per coprire le perdite di disastri richiede l'istituzione di un quadro legislativo e regolamentare solidale. La complessità, infatti, degli strumenti finanziari, come le "obbligazioni per catastrofi" e i prodotti assicurativi, nonché i vincoli sull'accesso all'assicurazione internazionale e ai mercati dei capitali, hanno limitato un ampio uso di strumenti di trasferimento del rischio per gestire gli impatti fiscali delle catastrofi. È dunque necessaria una ricerca sui potenziali benefici della cooperazione internazionale per la gestione delle esposizioni fiscali, incluso il ricorso al pooling di rischi regionali, per l'analisi dell'efficacia dei diversi approcci.

Il rapporto in parola ha identificato una serie di priorità per affrontare le sfide legate allo sviluppo di strategie efficaci per la gestione finanziaria dei rischi di catastrofe, quali:

- rafforzare la valutazione del rischio e della vulnerabilità finanziaria per meglio comprendere l'impatto delle catastrofi (comprese le interconnessioni e le interdipendenze tra le economie);

- orientare opportunamente l'assistenza finanziaria e migliorarne l'efficacia in termini di costi per l'assistenza nella fase di ripresa;
- promuovere la consapevolezza della necessità di preparazione finanziaria per gestire i rischi di disastro sulla base di una chiara comprensione dell'assegnazione della responsabilità per i costi di calamità;
- incoraggiare lo sviluppo di strumenti e mercati di finanziamento del rischio di catastrofi, insieme a una maggiore prevenzione dei rischi di calamità;
- migliorare le capacità tecniche e istituzionali e il coordinamento tra le parti interessate e coinvolte nella gestione dei rischi di calamità.

3. DISASTRI NATURALI E DIRITTI UMANI

Un disastro naturale è definito dall'ONU come "le conseguenze degli eventi innescati da pericoli naturali che travolgono la capacità di risposta locale e compromettono gravemente lo sviluppo sociale ed economico di una regione". Per trattare i diritti umani nei disastri naturali, occorre non solo definire quanto siano "naturali" i "disastri naturali", ma pure analizzare quanto siano peggiori le loro conseguenze a causa dell'abbandono delle aree marginali, l'antropizzazione, l'impermeabilizzazione del suolo.

Un altro aspetto dei disastri naturali riguarda la velocità con cui si verificano, a insorgenza rapida (terremoti, inondazioni, uragani, cicloni, ecc) e a insorgenza lenta (siccità), perché ben diverso è il lasso di tempo per le azioni da intraprendere, considerando che il cambiamento climatico, probabilmente aumenterà sia la frequenza sia la gravità dei disastri naturali. Generalmente è più facile mobilitare il sostegno internazionale per i disastri improvvisi; nei disastri con un'alta copertura mediatica, di solito c'è un'ondata di sostegno che non si manifesta nei disastri a insorgenza lenta. Si deve tenere conto poi dello sfollamento delle persone colpite da disastri naturali, la cui maggior parte rimane all'interno dei confini del proprio paese. Sono sfollati interni (IDP, *Internally Displaced Persons*), così come definiti nei Principi guida sul displacemento interno (*Guiding Principles on Internal Displacement*), l'intera gamma di diritti va loro garantita e, al pari delle persone sfollate a causa di conflitti, sono i propri governi nazionali responsabili della protezione e dell'assistenza e della facilitazione di soluzioni per il loro spo-

stamento. Le Linee Guida, formalmente adottate dal comitato permanente di *InterAgency (RSG-Climate change and displacement)* nel giugno 2006 e utilizzate per addestrare i soccorritori su come garantire nel caso di disastri, per l'emergenza iniziale e la risposta a lungo termine, i diritti umani, non solo civili e politici, ma anche economici, sociali e culturali, dividono i diritti umani in quattro gruppi, vale a dire:

- diritti relativi alla sicurezza fisica e all'integrità (la protezione del diritto alla vita e il diritto di essere liberi da aggressioni, stupri, detenzioni arbitrarie, rapimenti e minacce a tali diritti);
- diritti relativi alle necessità primarie della vita (diritti al cibo, acqua potabile, alloggio, abbigliamento adeguato, servizi sanitari adeguati e servizi igienico-sanitari);
- diritti relativi ad altre esigenze di protezione economica, sociale e culturale (diritti all'istruzione, per la restituzione o il risarcimento per la perdita di beni e il lavoro);
- diritti connessi ad altre esigenze di protezione civile e politica (diritti alla libertà religiosa e alla libertà di espressione, documentazione personale, partecipazione politica, accesso ai tribunali e libertà dalla discriminazione).

Le linee guida operative insistono sul pieno rispetto di tutti i gruppi di diritti per garantire un'adeguata protezione dei diritti umani di coloro che sono colpiti da calamità naturali, compresi quelli che sono sfollati. Lo spostamento interno poi non è sempre solo un problema di un singolo paese, ma sovente di un'intera regione; mentre i contesti nazionali variano e diversi tipi di disastri richiedono risposte diverse, la necessità di sostenere i diritti umani in situazioni di emergenza è una costante da garantire comunque e sempre.

Oltre alle istituzioni nazionali, che sono in una posizione privilegiata per svolgere un ruolo nel sostenere gli *standard* dei diritti umani per le persone colpite da disastri naturali, esistono molte strategie per rafforzare le capacità delle NHRI (*National Human Rights Institutions*). Le strategie immediate consistono nel nominare un punto focale degli IDP, stabilire legami con le aree regionali, formare e fornire documenti pertinenti sui problemi dei diritti umani ai membri dello *staff* e integrare esperti e IDP locali. Per poter collaborare efficacemente con i governi durante un disastro e, soprattutto, prima che si verifichi, gli NHRI dovrebbero diffondere i principi guida alle agenzie governative, sostenere

la ratifica degli strumenti internazionali sui diritti umani e umanitari, identificare eventuali lacune nelle leggi, aumentare la consapevolezza tra le popolazioni locali, promuovere l'informazione pubblica per sensibilizzare la questione dei diritti umani agli sfollati interni e, per gestire i reclami efficacemente, stabilire relazioni con tutti i meccanismi di ascolto delle lagnanze delle varie comunità, garantendo la flessibilità necessaria perché funzionino in emergenza.

4. ALCUNE RECENTI ESPERIENZE DI MISURE NON STRUTTURALI

4.1 LA BANCA MONDIALE

La Banca Mondiale sostiene la resilienza delle infrastrutture critiche e la consapevolezza del rischio di catastrofi con progetti di divulgazione scientifica e di informazione alle autorità nazionali, tra cui uno finanziato per la Turchia per l'analisi e la fornitura di beni e attività presso il *Konya TUBITAK Science Center*, con le componenti di seguito precisate.

La prima componente mira a facilitare la creazione di aree di consapevolezza al rischio di catastrofi presso alcuni centri scientifici, all'interno dei quali sono finanziati punti di sensibilizzazione per fornire le opportune informazioni sul perché e come accadono i disastri, sulle misure preventive da adottare, sul comportamento da tenere durante e dopo gli eventi, sulle conseguenze strutturali e non strutturali e sulle misure di preparazione. Data la vasta capacità di sensibilizzazione dei centri scientifici, ampie informazioni saranno fornite a individui, istituzioni pubbliche e organizzazioni non governative sui rischi di catastrofi, potenziando la sensibilizzazione della comunità e dando l'esempio ad altri centri scientifici.

La seconda componente riguarda l'infrastruttura critica (CI), cioè una misura o un sistema, nei settori dell'energia e dei trasporti, essenziale per il mantenimento di funzioni sociali vitali. Riducendo le vulnerabilità delle infrastrutture critiche e aumentandone la resilienza contro i disastri naturali, il terrorismo o l'uso non corretto, si promuovono la prevenzione e la preparazione. È finanziato lo sviluppo di un rapporto consultivo, basato sulla Direttiva 2008/114/CE, per agevolare la protezione delle CI attraverso un sostegno scientifico per la migliore comprensione delle criticità e delle interdipendenze, sulla base delle migliori pratiche disponibili. Sono anche finanziati una valutazione del rischio

per sviluppare un piano di adattamento su scala settoriale, studi di impatto per rafforzare la competitività nel settore e ridurre al minimo le interruzioni del servizio e seminari tecnici per la diffusione dei risultati e la partecipazione di stakeholder pubblici e privati.

Un'altra componente riguarda la resilienza delle infrastrutture critiche e la consapevolezza del rischio di catastrofi, attraverso la creazione di una piattaforma *online*, amministrata da AFAD (Autorità turca per la gestione delle emergenze e dei disastri) e accessibile a tutti gli *stakeholder*, che fornisce una valutazione del rischio infrastrutturale critico per classificare il rischio. La matrice è *multi-hazard* e considera diversi scenari e periodi di ritorno, consentendo di analizzare gli aspetti critici mediante mappatura delle infrastrutture su scala nazionale e suggerendo misure di prevenzione / preparazione.

Un'ultima componente, pianificazione della continuità operativa, intende facilitare la conduzione delle analisi per valutare le dipendenze dei servizi e la loro capacità di sopportare l'interruzione del servizio e i conseguenti impatti, operando a livello di PMI.

4.2 IL PROGETTO STREST

Le infrastrutture critiche (CI) forniscono servizi pubblici nazionali essenziali, sono sempre più integrate e vulnerabili ai guasti a cascata e al collasso in conseguenza dei pericoli naturali. Pertanto esse richiedono strumenti migliorati e standardizzati per la valutazione del rischio di eventi a bassa probabilità-alta conseguenza (LP-HC) e la loro applicazione sistematica a intere classi di IC, con strategie integrate di mitigazione del rischio. Tra gli strumenti di valutazione più importanti ci sono gli *stress test*, progettati per testare la vulnerabilità e la resilienza delle singole CI e dei sistemi di CI.

Per ridurre la vulnerabilità, il progetto **STREST** (*Harmonized approach to stress tests for critical infrastructures against natural hazards*), finanziato dall'UE e incentrato su terremoti, tsunami, dissesti e alluvioni, sviluppa prove da sforzo per tre principali classi di CI: (a) infrastrutture individuali a sito singolo ad alto rischio, (b) infrastrutture distribuite e/o geograficamente estese con un potenziale impatto economico e ambientale potenzialmente elevato, (c) infrastrutture distribuite su più siti con basso impatto individuale ma con un grande impatto collettivo. In dettaglio, gli obiettivi del progetto sono: l'indi-

viduazione di una tassonomia comune e coerente per gli IC non nucleari, lo sviluppo di un approccio modellistico rigoroso e coerente alla valutazione del rischio, della vulnerabilità e della resilienza per gli eventi LP-HC, il progetto di una *framework* di *stress test*, applicazioni specifiche per affrontare la vulnerabilità, la resilienza e le interdipendenze degli IC, la facilitazione per la predisposizione di politiche europee per l'effettuazione sistematica di *stress test*.

STREST, in collaborazione con i principali centri europei, prevede di conseguire:

- metodi per armonizzare il trattamento delle incertezze e la meccanica della valutazione dei pericoli, con particolare attenzione alla quantificazione delle incertezze epistemiche e ai suoi effetti sul rischio di LP-HC, all'integrazione dei rischi regionali rispetto a quelli sito specifici e agli effetti, così detti, *near-source*;
- quantificazione coerente della presenza di eventi LP-HC (estremi, effetti a cascata) e schemi per introdurli nelle valutazioni di rischio e pericolo;
- definizione di misure appropriate per esprimere le probabilità aggregate di superare i valori limite su un *footprint* esteso, considerando la correlazione spaziale;
- tassonomia coerente di diverse classi di IC, per classificarle in termini di caratteristiche comuni di vulnerabilità, possibili conseguenze e resilienza;
- modelli probabilistici per la valutazione della vulnerabilità e delle conseguenze, progettati per consentire il trasferimento dal pericolo al rischio e per la valutazione delle conseguenze dei danni del sistema, anche con effetti a cascata;
- miglioramento dell'attuale comprensione e valutazione delle perdite (danni) e della resilienza, a livello di singola IC, sistema o società delle IC;
- modelli probabilistici di prestazioni strutturali e sistemiche (*test di stress*) per determinare le "perdite" nelle IC e la loro suscettibilità agli effetti a cascata che possono amplificare queste perdite, nonché le interdipendenze tra differenti IC;
- relazioni di riferimento europee riguardanti la valutazione e la protezione delle IC;
- interazioni con i professionisti attraverso il coinvolgimento dei proprietari di CI e svolgimento di *workshop* con le parti interessate.

4.3 PROGETTO RESTART

Nel quadro del Programma Operativo Nazionale "Governance e Capacità" (Fondi 2014-2010, Asse 2 "Rafforzamento della *governance* multilivello nei Programmi di investimento pubblico" e all'Azione 2.1.1 "Realizzazione di azioni orizzontali per tutta la pubblica amministrazione funzionali al presidio e alla maggiore efficienza del processo di decisione della *governance* multilivello dei programmi di investimento pubblico, al rafforzamento della filiera di cooperazione tecnica", l'Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Centrale (il Distretto, la cui superficie assomma a 42.272,7 km², contiene al suo interno il cratere del sisma del 2016 di superficie pari a 7.967 km², pari a circa il 20% della superficie totale) è beneficiario di un progetto finanziato con Euro 7.477.435,00.



Il progetto, denominato RESTART (1/10/2018 – 30/06/2022) ha l'obiettivo di rafforzare la capacità di governo delle istituzioni centrali, regionali e locali attraverso un modello di rapporti istituzionali, in collaborazione con gli *stakeholder* pubblici e privati, per definire i processi di ricostruzione post-sisma nel quadro delle azioni complessive al fine di garantire la sicurezza idrogeologica e la gestione sostenibile delle risorse idriche. La struttura di Coordinamento è costituito dalle Regioni interessate dagli effetti indotti dagli eventi sismici (Umbria, Marche, Lazio, Abruzzo) e da En-



ti Pubblici competenti (Dipartimento Nazionale della Protezione Civile, Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, Ministero per le Politiche Agricole Alimentari Forestali e del Turismo, ISPRA-SNPA, struttura del Commissario per la ricostruzione).

La struttura interistituzionale, nella quale sono rappresentati i *partner* del Progetto che potranno individuare ulteriori soggetti provenienti dal mondo tecnico-scientifico, da enti pubblici e dalla società civile, ha il compito di approvare le linee guida, favorire lo scambio di esperienze anche con le realtà operanti in altri distretti, proporre progetti su tematiche e/o questioni specifiche, realizzare specifici strumenti modellistici di rappresentazione dei fenomeni fisici e/o di rischio, proporre iniziative per favorire processi di partecipazione pubblica, supportare scelte locali nel corso dello sviluppo del progetto.

Gli obiettivi del progetto comprendono: supporto tecnico per la ricostruzione post sisma in condizioni di sicurezza idrogeologica da fenomeni progressi e sismo indotti (frane e alluvioni), riprogrammazione delle risorse idriche a causa degli effetti sismoindotti, modello pilota della *governance* per l'aggiornamento costante e continuativo del quadro conoscitivo dei fenomeni di rischio.

Il progetto si sviluppa secondo linee di intervento riguardanti: la mappatura post sisma e il programma delle misure per il rischio idraulico e quello gravitativo, il monitoraggio quali quantitativo corpi idrici superficiali e sotterranei, l'analisi socio-economica (usi e costi dell'acqua), la modellistica di settore, l'analisi delle criticità e delle azioni per l'uso della risorsa, le relazioni con la pianificazione urbanistica generale, di settore e con la ricostruzione. A queste si aggiungono le linee trasversali di direzione e coordinamento, comunicazione e disseminazione, monitoraggio e valutazione.

Le attività comprendono rilievi e monitoraggio del territorio per la definizione del quadro di riferimento della pericolosità idraulica e di versante modificato dal sisma, il programma delle misure strutturali e non strutturali, modelli interpretativi, monitoraggio idrologico, idrogeologico, idromorfologico e Deflusso Ecologico, studio socio-economico e ricognizione dei prelievi e delle restituzioni, degli schemi idrici e contabili per il servizio idrico, lo sviluppo di modelli quali: idrico di gestione della risorsa, di trasporto solido e de-

gli inquinanti, idrogeologico. Inoltre si predisporrà un DSS (*Decision Support System*) di analisi economica e finanziaria e di individuazione delle criticità e delle azioni nel settore idro-potabile, agro-zootecnico e forestale, industriale e dei servizi nonché un modello cooperativo delle relazioni interistituzionali e del *network* degli attori a livello centrale e territoriale, compresi gli enti di ricerca: il tutto per orientare la necessità di conoscenze e il pronto uso dei risultati. Completano le attività i modelli di relazione della pianificazione urbanistica generale e di settore e la ricostruzione post sisma, integrate con la pianificazione idrogeologica e le direttive europee 2000/60/CE e 2007/60/CE, il progetto del sistema informativo territoriale per la *governance* e la comunicazione, azioni sulla popolazione per rafforzare la consapevolezza e la resilienza, il monitoraggio del progetto.

Mediante l'impiego di dati di InSAR (Interferometria satellitare) per il monitoraggio dei dissesti idrogeologici, saranno ottenute, dai radar montati su satelliti come Sentinel-1 dell'ESA, senza interferenze meteorologiche o del ciclo notte-giorno, immagini da elaborare con appositi *software*. Con procedure speditive, analisi morfologiche, analisi statistiche e modellazione specifica sarà possibile il monitoraggio continuo del territorio e della risorsa idrica, fornendo il supporto, in tempo "reale", alle necessarie decisioni di ricostruzione e di protezione del territorio e delle opere di mitigazione.

Molta attenzione è, come detto, dedicata alla Partecipazione Pubblica e alla comunicazione per accrescere la consapevolezza delle popolazioni interessate. Fra le iniziative, va citato l'Osservatorio dei cittadini per stabilire interazioni e partecipazioni tra cittadini e Sistema di Pianificazione e Protezione Civile, a supporto operativo del monitoraggio dei rischi naturali e della gestione delle emergenze.

4.4 INVITO A UNA RIFLESSIONE

FINALE

È indispensabile unire gli sforzi e ricercare le soluzioni strutturali e non strutturali più efficaci contro i disastri naturali e antropici. Già Elia Lombardini (La Brogne 1794 – Milano 1878) affermava: "Le grandi e ripetute sventure che hanno scosso le menti, le quali spesso divisoandosi vasti progetti di pubblica sicurezza, senza dimandarsi sin dove il rigore della scienza li possa accettare". Nel XIII

secolo, ancora prima, il frate francescano Guglielmo di Ockham (Ockham 1295 – Monaco di Baviera ca. 1350) osava sfidare la cultura dominante con simili affermazioni, poi riassunte nell'immagine del 'Rasoio di Ockham': "Non si deve moltiplicare il numero delle entità oltre a quelle strettamente necessarie". Come il frate francescano invita al coraggio, ma, allo stesso tempo, alla necessità di unire gli sforzi e non di fare ricerca solo per una propria isolata primazia, così gli enti finanziatori possono e devono interagire non solo per coordinare al meglio le proprie ricerche scientifiche e applicate, ma anche per rendere in breve tempo disponibili i risultati degli studi a tutti i potenziali utilizzatori, pubblici e privati.

BIBLIOGRAFIA

- AUTORITÀ DI BACINO DISTRETTUALE DELL'APPENNINO CENTRALE (2019), Progetto "ReStart – Azioni e tecnologie per la prevenzione e la pianificazione idrogeologica e antisismica dopo i terremoti 2016-17". Roma, 4 luglio 2019.
- BANCA MONDIALE (2019), *Sostenere la resilienza delle infrastrutture critiche e la consapevolezza del rischio di catastrofi in Turchia* - Scheda di sicurezza integrata - Identificazione / Concept Stage (ISDS).
- CENTRE OF RESEARCH ON THE EPIDEMIOLOGY OF DISASTERS (CRED), Université Catholique de Louvain (UCL), Institut of Health and Society (IRSS), USAID, UNISDR, *The human cost of natural disasters 2015: a global perspective*, Brussels.
- CESARI G. (2019), *Il disagio del Territorio*, Geologia dell'Ambiente, n. 2/2019.
- COMMISSIONE EUROPEA (2017), *Harmonized approach to stress tests for critical infrastructures against natural hazards* - FP7-ENVIRONMENT - Specific Programme "Cooperation": Environment (including Climate Change).
- CONSIGLIO NAZIONALE DELLE RICERCHE, *La mitigazione del rischio idraulico mediante misure non strutturali*. <https://www.cnr.it/it/focus/066-1/la-mitigazione-del-rischio-idraulico-tramite-misure-non-strutturali>
- Ferris E. (2008), *Disastri naturali, diritti umani e ruolo delle istituzioni nazionali per i diritti umani*, 25 ottobre 2008. <https://www.brookings.edu/>
- LOFFI STEFANO GIOVANNI (1954), *Piccola Storia dell'Idraulica*, libera traduzione, ridotta ma integrata, di *History of Hydraulics* di Hunter Rose e Simon Ince dell'Istituto di Ricerca Idraulica dell'Università Statale dell'IOWA, U.S.A.
- OECD (2015), *Disaster Risk Financing. A global survey of practices and challenges*, OECD Publishing, Paris.
- STREST (2016), *Approccio armonizzato agli stress test per infrastrutture critiche contro i rischi naturali*, European Commission.
- UNISDR (2017), *Annual Report 2016-17*, Biennium Work Programme, Final Report – 31 marzo 2018.

I Contratti di Fiume nella mitigazione dei processi geo-idrologici. Gestione del rischio, miglioramento della governance e sviluppo locale. Case study: risultati e potenzialità nelle Marche

The River Contracts in the mitigation of geo-hydrological processes. Risk management, improvement governance and local development. Case study: results and potential in the Marche region

Enrico Gennari

Consigliere Nazionale SIGEA

E-mail: e.gennari@consulenzaeprogetto.it

Endro Martini

Coordinatore Nazionale CdF SIGEA

E-mail: endromartini@gmail.com

Stefania Tibaldi

Regione Marche Dirigente Servizio

Tutela, Gestione e Assetto del Territorio

E-mail: stefania.tibaldi@regione.marche.it

Giuliana Porrà

Regione Marche PF Servizio Tutela,

Gestione e Assetto del Territorio

E-mail: giuliana.porra@regione.marche.it

Anita Stagnozzi

Università di Urbino

E-mail: anitastagnozzi@gmail.com

Silvia Stagnozzi

Università di Urbino

E-mail: silviastagnozzi@gmail.com

Parole chiave: Fiumi, Governance, Strategie, Processi partecipati, Cambiamenti climatici
Key words: Rivers, Governance, Strategy, Participatory processes, Climate changes

ABSTRACT

The CdF are strategic planning tools at the basin level. Their main objectives are the protection of the environment (paying attention also to climate change), the prevention of hydraulic risks and the development of the territory. In the Marche region, 10 CdF have been started, of which 4 are at an advanced stage. Their development began with the definition of the economic and social situation and has continued with the identification of the strategic vision, set on objectives differentiated according to local needs. The CdFs marked a transition from geo-hydrological processes to new territorial governance processes.

PREMESSA

Attraverso i Contratti di Fiume possono essere affrontati in maniera virtuosa importanti e strategici aspetti come la sorveglianza, la prevenzione, la gestione dei rischi connessi al dissesto idrogeologico e in maniera proattiva, la manutenzione ordinaria e straordinaria dei territori fluviali. La manutenzione e la cura del territorio sono spesso espressione di un presidio territoriale, svolto dalle Comunità locali in prima persona, responsabili da una parte della tutela delle aree naturali più pregiate del paese e al tempo stesso garanti di un'azione di controllo e conservazione del territorio, fondamentale per una politica di prevenzione del rischio idrogeologico.

Per convivere con i rischi geologici, idraulici, idrogeologici, ambientali e sismici conclamati, per generare, fronteggiandoli, anche crescita e sviluppo nel paese è poi necessario attuare forme di prevenzione primaria. La Manutenzione, declinata secondo lo schema allegato, che nel caso dei territori fluviali preveda sia il ripristino degli alvei con la funzionalizzazione delle aree di espansione e naturale esondazione, che l'abbattimento delle strutture abusive con piani di rimboschimento-selvicoltura che "assecondino la natura" (riqualificazione e manutenzione del bosco e lotta agli incendi), rappresenta una attività irrinunciabile che nei Contratti di Fiume emerge con forza.

Tali tematiche, trovano nel modus operandi introdotto dal Contratto di Fiume l'opportunità di essere affrontate sia nella fase conoscitiva dell'analisi delle criticità che in quella propositiva, strategica e programmatica attraverso un nuovo modello di governance partecipata.

I Contratti di Fiume sono strumenti di programmazione strategica e negoziata ad adesione volontaria, che concorrono alla definizione e all'attuazione degli strumenti di pianificazione di ristretto a scala di bacino e sotto-bacino idrografico; sono stati introdotti in Italia a seguito del secondo FORUM Mondiale dell'Acqua (l'Aia 2000 organizzato dal World Water Council) prima in Lombardia e poi in Piemonte (2004-

2007) e diffusi dal Tavolo Nazionale Contratti di Fiume a partire dal 2007. L'obiettivo è quello di tutelare e gestire correttamente le risorse idriche, ridurre l'inquinamento, proteggere l'ambiente e gli ecosistemi acquatici, valorizzare i territori fluviali e prevenire i rischi idraulici, favorendo così lo sviluppo locale attraverso un approccio globale, innovativo, partecipato dal basso. Nel 2015 il Tavolo Nazionale dei CdF, con il Ministero dell'Ambiente, ISPRA ed il contributo di 35 esperti, ha fissato i criteri di qualità dei processi con il "documento Definizione e Requisiti Qualitativi di base dei CdF", definendo il percorso di un Contratto in ben 8 fasi distinte.

1. Condivisione del Documento d'intenti (Manifesto) contenente le motivazioni e gli obiettivi generali;
2. Messa a punto di una appropriata analisi conoscitiva preliminare integrata sugli aspetti ambientali, sociali ed economici del territorio oggetto del Contratto di Fiume;
3. Elaborazione di un Documento strategico;
4. Definizione di un Programma d'Azione (PA);
5. Messa in atto di processi partecipativi aperti e inclusivi;
6. Sottoscrizione di un Atto di impegno formale, il Contratto di Fiume;
7. Attivazione di un sistema di controllo e monitoraggio periodico del contratto per la verifica dello stato di attuazione delle varie fasi e azioni;

8. Accessibilità al pubblico dei dati e delle informazioni sui Contratti di Fiume.

I Contratti di Fiume sono citati nel “Piano Nazionale di Adattamento ai Cambiamenti Climatici (PNACC)” nelle Proposte d’azione di tipo non strutturale o “soft” (Allegato 3) e nelle Linee Guida di programmazione e progettazione interventi per il contrasto del rischio idrogeologico (#ItaliaSicura).

I Contratti di Fiume, per lo sviluppo che hanno avuto in Italia dal 2007/2008 ad oggi possono essere ormai riconosciuti come i luoghi privilegiati delle analisi di base e della concertazione, sia per le decisioni strategiche di mitigazione del rischio idrogeologico e di gestione delle risorse idriche da attuare, che per la ricerca di implementazioni utili a soluzioni di sviluppo locale attraverso le azioni e le misure strutturali e non strutturali proposte nei Programmi d’Azione che si attuano poi attraverso “piani o progetti di bacino o sub bacino”.

Attraverso i Contratti di Fiume le comunità locali hanno contribuito a programmare e realizzare gli interventi necessari alla difesa attiva del territorio ed alla protezione civile in maniera olistica, mobilitando le competenze territoriali per azioni di manutenzione ordinaria e straordinaria, di riqualificazione condivise ed in linea con le caratteristiche dei territori, attivando ed incentivando presidi (Cabine di Regia, Tavoli Tecnici, Comitati di Coordinamento, ecc.) formati da tecnici e studiosi delle diverse discipline, enti locali, amministrazioni, imprenditori ed associazioni che cooperano attraverso la partecipazione strategica negoziata. Incrementare il dialogo sociale con gli stakeholder appare oggi più che mai indispensabile per il successo delle politiche pubbliche di gestione e la realizzazione di azioni strategiche di riduzione dei disastri ambientali

1. I CONTRATTI DI FIUME NEL CONTESTO DELLA REGIONE MARCHE

CENNI SINTETICI DI GEOLOGIA, GEOMORFOLOGIA E RETICOLO IDROGRAFICO

Le Marche risultano caratterizzate, dal punto di vista geologico, da formazioni sedimentarie (Fig. 1). Gli affioramenti più antichi sono quelli del calcare massiccio a cui si succedono la corniola, il rosso ammonitico, i calcari selciferi e quindi le formazioni della maiolica, degli scisti a fucoidi e della scaglia rosata. Nelle aree collinari i sedimenti sono invece a composizione



Figura 1. Schema geologico sintetico (a sinistra) e reticolo idrografico schematico marchigiano (a destra)

calcareo argilloso, argilloso, arenaceo e talvolta sabbioso o ghiaioso. La tettonica delle Marche è caratterizzata da una serie di piegamenti piuttosto regolari ed allungati con andamento parallelo alla linea di costa marchigiana che hanno contribuito a determinare in maniera fondamentale le forme del territorio. A nord la dorsale montuosa della regione, si sviluppa poi nel settore umbro-marchigiano dell’Appennino centrale per poi raggiungere i Monti Sibillini. Separati dalla dorsale montuosa principale si rinvengono a nord, i nuclei calcarei della Gola del Furlo ed i M. della Cesana. Più a sud, parallela alla dorsale principale si sviluppa la catena montuosa che dalla Gola della Rossa e di Frasassi raggiunge il M. San Vicino per poi ricollegarsi ai Monti Sibillini. In questo contesto geologico geomorfologico la struttura del reticolo idrografico si presenta in una forma a pettine che sviluppa ben 32 corsi d’acqua che dalla catena Appenninica scendono al mare Adriatico (Fig. 1). Trattasi di corridoi fluviali che determinano contesti territoriali di par-

ticolare bellezza, con situazioni paesaggistiche di grande rilievo, ma anche di grande criticità per il regime torrentizio e per la presenza di sistemi antropici e di città concentrate sulla fascia costiera alla foce dei fiumi. Situazioni favorevoli allo sviluppo dei Contratti di Fiume per la relativa semplicità a mettere insieme soggetti pubblici e privati interessati in contesti di modeste dimensioni.

1.2 STATO DI ATTUAZIONE DEI CONTRATTI DI FIUME NELLE MARCHE

La Regione Marche, con l’Adesione alla Carta Nazionale dei Contratti di Fiume (2014), comincia il suo rapporto con questi strumenti continuandolo con la costituzione di un Tavolo Regionale Permanente di Coordinamento sui CdF (2016). L’interesse dell’Ente si manifesta anche con l’inserimento nel Piano Formativo Regionale 2018 di un Laboratorio di Programmazione e Progettazione partecipata su “I Contratti di Fiume, che utilizza come bacino pilota il Fiume Esino. Nella regione Marche nel

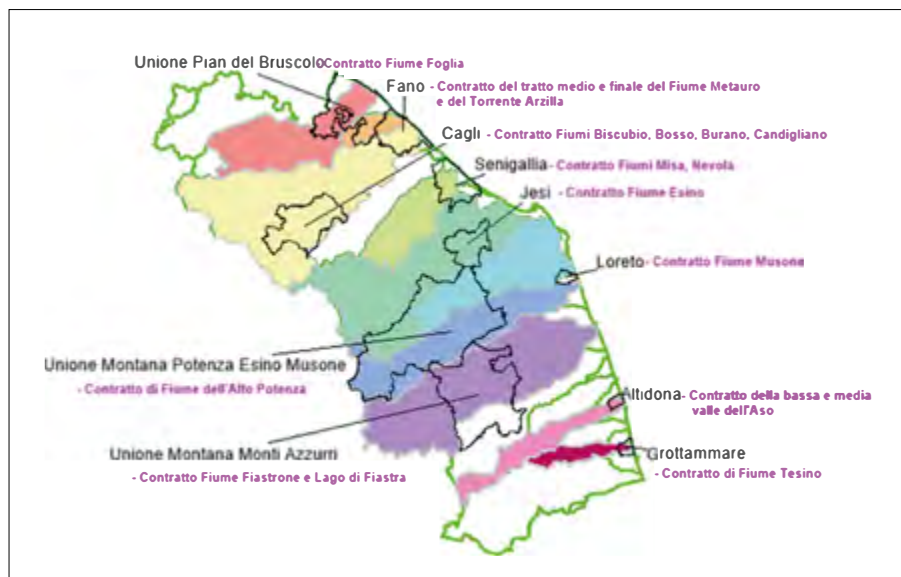


Figura 2. Carta generale dei contratti di Fiume in regione Marche



Figura 6.



Figura 7.

A fronte di una superficie territoriale regionale di 9.381,79 kmq, quella interessata da un Contratto di Fiume è pari a 5.907,86 kmq (63%); su 229 comuni regionali, 110 sono Firmatari di uno o più CdF

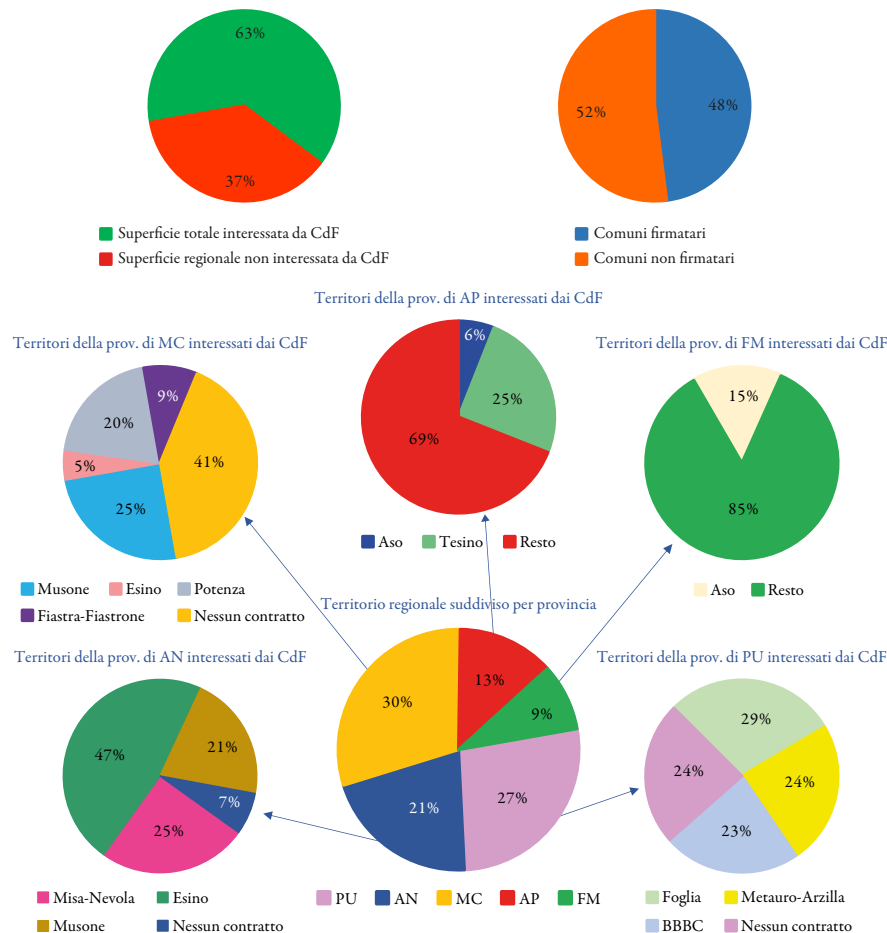


Figura 8.

2. CASE STUDY

2.1 PREMESSA

Nei quattro contratti di Fiume che hanno raggiunto il più avanzato livello di attuazione del processo, (CdF Foglia, Misa Nevola, Esino e Musone) attraverso incontri partecipati, focus specifici e convegni dedicati sono stati trattati i temi della sicurezza, tutela, prevenzione del rischio idrogeologico – fruizione dello spazio fluviale - balneabilità - sport acquatici e pesca sportiva- riscoperta dei valori identitari anche attraverso piste ciclo-pedonali – qualità ambientale, utilizzo, recupero e riuso della risorsa acqua trattata – inquinamento – educazione ambientale – rete ecologica, conservazione della biodiversità, - sviluppo turistico – valorizzazione delle filiere agroalimentari per essere gestiti attraverso progetti integrati e condivisi bottom-up facendo riferimento anche alla possibilità di utilizzare i fondi del PSR, del FERS, del FSE, dei PIL, dei Leader GAL, ecc. Pur nelle differenze connesse alle diverse situazioni locali i quattro contratti citati evidenziano approcci integrati rispettosi dei requisiti fissati dal Ministero dell’Ambiente e costituiscono per le Marche modelli di riferimento.

2.2 LA QUESTIONE DELLE RISORSE FINANZIARIE PER ATTUARE IL PERCORSO E PER REALIZZARE LE AZIONI

La questione delle risorse sia per il sostegno dei percorsi partecipati dei Contratti di Fiume che per l’attuazione delle misure e delle azioni condivise nei Programmi di Azione dei Contratti di Fiume è ancora un problema aperto a livello nazionale, anche se alcune regioni stanno sostenendo finanziariamente questi processi e finanziando i Programmi di Azione dei Contratti di Fiume. Recentemente sia l’Assessore competente che il Presidente della Commissione Ambiente dell’Assemblea Legislativa Regionale, hanno convenuto sulla necessità di attivare concrete misure e azioni di sostegno ai percorsi avviati, e di indirizzare i primi interventi-azioni in coerenza con gli strumenti di programmazione territoriali ed ambientali, in considerazione di processi che vedono, per la prima volta, i territori con i portatori di interesse diventare attori di una domanda di azioni-interventi più vicina alle esigenze locali; in questo senso diverrà strategico l’inserimento dei Contratti di Fiume nella Programmazione Europea 2021/2027.

2.3 MODALITÀ OPERATIVE E RISULTATI OTTENUTI

Come già accennato i quattro contratti di Fiume (Foglia, Misa Nevola,

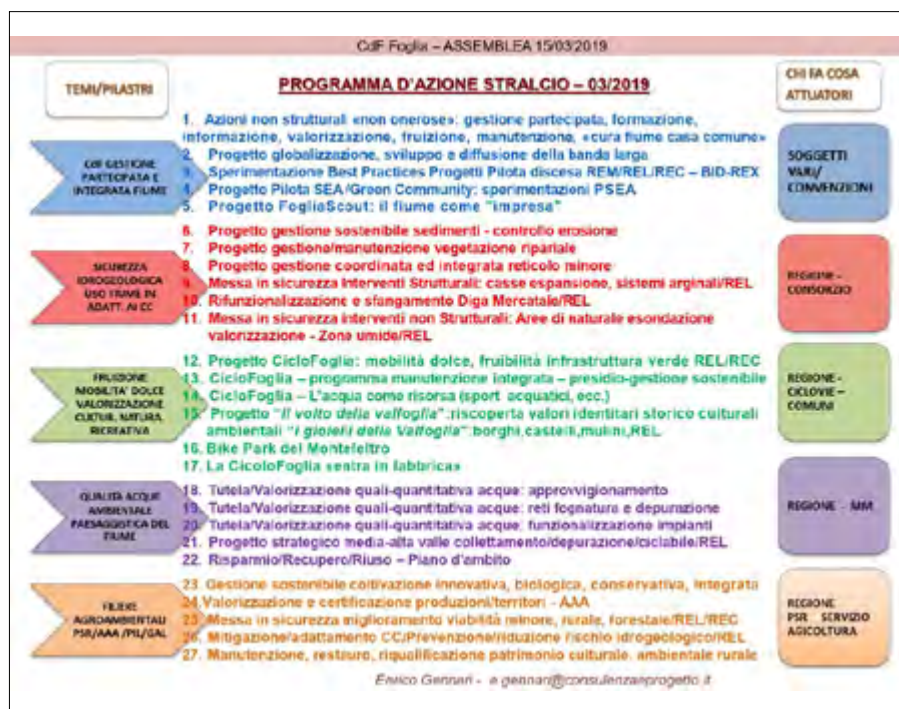


Figura 9.



Figura 10.



Figura 11.

Esino, Musone) dopo aver effettuato il quadro conoscitivo socio-economico-ambientale integrato hanno identificato una “vision strategica” impostata su pilastri/obiettivo differenziati in base alle situazioni locali, ma sempre indirizzati sostanzialmente ad una gestione complessiva e coordinata dei “processi di governo del territorio”. I CdF nelle Marche stanno svolgendo un processo partecipativo-programmatico importante, che può sostenere ed affiancare il percorso della legge di governo del territorio, rappresentano di fatto una forma di attuazione della legge regionale in merito ai Progetti Generali di Gestione dei corsi d’acqua (Linee Guida Delibera100/2014, L.R.31 del12/11/2012). In questo contesto, sia per il tema della riduzione dei rischi che per lo sviluppo sostenibile, tutti e quattro i Contratti si sono riferiti al “Quadro di Riferimento di Sendai” per la Riduzione del Rischio di Disastri 2015-2030, adottato a Sendai, Giappone, il 18 marzo 2015, in occasione della Terza Conferenza Mondiale delle Nazioni Unite, e i punti 11.b e 13.1 dell’Agenda 2030 per lo Sviluppo Sostenibile del programma ONU, i Piani di gestione delle Direttive Europee Acque e Alluvioni, le Direttive Natura 2000 nonché i contenuti dell’Art. 68 bis del Codice dell’Ambiente.

Al fine di inquadrare il percorso che i CdF marchigiani hanno effettuato segnando un passaggio dai processi geoidrologici ai processi di nuova governance del territorio, si riportano queste sintesi.

2.3.1 CONTRATTO DI FIUME DEL FOGLIA

Inizialmente il CdF Foglia si è sviluppato con una serie di attività conoscitive e di sintesi, finalizzate ad individuare interventi principalmente volti alla “mitigazione dei processi geo-idrogeologici”, in parte già previsti e finanziati, in parte completamente nuovi, in ambiti perfluviali fortemente a rischio.

Dopo 2 anni si è approvato un Programma di Azione che poggia su “5 pilastri” con gli obiettivi indicati in Fig. 9. Delle 27 azioni previste nel PA, 6 comprendono interventi strutturali e non strutturali, ma nel complesso, tenendo conto dei contributi diretti/indiretti al tema in discussione “processi geoidrologici/processi di governo del territorio”, oltre il 50% delle azioni del PA concorrono alla mitigazione, prevenzione e riduzione del rischio secondo criteri virtuosi ed innovativi (Figg. 10-11). Si segnalano in particolare alcuni tentativi sviluppati nell’ambito del PSR (AAA-TSDA Ac-

cordi Agroambientali d'Area per la tutela del suolo e la prevenzione del rischio di dissesto idrogeologico ed alluvioni, in Fig. 12) dove le attività avviate nell'ambito del CdF, potranno trovare sinergie ed opportunità anche nei futuri bandi.

2.3.2 CONTRATTO DI FIUME DEL MISA NEVOLA

Il Contratto di Fiume del Misa Nevola, a seguito dell'analisi conoscitiva integrata, attraverso tre tavoli di lavoro e la sua Assemblea, è divenuto il luogo della ideazione di strategie condivise (officina delle idee), della presentazione e illustrazione di soluzioni progettuali connesse ad azioni specifiche di gestione del rischio finanziate dalla Regione per far fronte ad interventi urgenti o programmati, della illustrazione delle possibilità offerte all'agricoltura e al miglioramento della qualità dell'ambiente grazie alle misure del Piano di Sviluppo Rurale, della ideazione di strategie di fruizione connesse a luoghi, a paesaggi e a valori identitari esistenti lungo tutto il percorso del Misa Nevola. Nel percor-

so del Contratto di Fiume si sono anche analizzati in modo partecipato gli "effetti sociali ed economici di una strategia o di un intervento" per facilitare l'iter procedurale di approvazione dei progetti con incremento della "fruibilità" delle aree di intervento, ove possibile. Le strategie individuate rappresentano la vision strategica condivisa dell'Assemblea del Contratto di Fiume, costituita da SEI OBIETTIVI PRINCIPALI a cui corrispondono interventi/azione proposti e condivisi, così da tabella che segue in Fig. 13. Nel complesso, tenendo conto dei contributi diretti/indiretti al tema in discussione - processi geoidrologici/processi di governo del territorio - circa il 50% delle azioni previste nel PA concorrono alla mitigazione, prevenzione e riduzione del rischio secondo criteri virtuosi ed innovativi.

2.3.3 CONTRATTO DI FIUME DELL'ESINO

Anche nel Contratto di Fiume dell'Esino a seguito dell'analisi conoscitiva integrata è stato elaborato un documento

strategico. Come osservabile in Fig. 14, sono stati individuati due Temi portanti:

- Qualità dell'acqua, natura ed ecosistema fluviale, rischio idraulico e geomorfologia fluviale
- Paesaggio, pianificazione territoriale, fruizione e sviluppo economico del territorio fluviale

Nel Documento Strategico sono stati individuati quattro Assi Strategici (AS) e nove Obiettivi Specifici (OS) collegati ai Temi sui quali sono strutturati gli Scenari integrati di tutela e sviluppo per il medio-lungo termine; Per il Tema Qualità dell'Acqua Ecosistema e Rischio sono presenti in totale trentatré macro Azioni, mentre per il Tema Paesaggio Pianificazione Fruizione, sono state individuate venti macro Azioni.

Nel complesso, tenendo conto dei contributi diretti/indiretti al tema in discussione "processi geoidrologici/processi di governo del territorio", quasi il 50% delle azioni previste nel PA concorrono alla mitigazione, prevenzione e riduzione del rischio secondo criteri virtuosi ed innovativi.

2.3.4 CONTRATTO DI FIUME DEL MUSONE

Nel Contratto di Fiume del Musone, a seguito del quadro conoscitivo integrato e del documento strategico sono stati individuati, tra gli obiettivi principali, il miglioramento delle qualità delle acque e la tutela dell'ecosistema fluviale, la riduzione dei danni dovuti ai fenomeni di esondazione, l'aumento della sicurezza e la fruibilità.

Gli obiettivi sono stati sviluppati considerando sia le priorità della popolazione che della comunità scientifica e sono stati svolti in diverse attività come si evince dalla tabella in Fig. 15 ripresa dal Programma di Azione Finale approvato. Nel complesso, tenendo conto dei contributi diretti/indiretti al tema in discussione "processi geoidrologici/processi di governo del territorio", moltissime azioni previste nel PA concorrono alla mitigazione, prevenzione e riduzione del rischio secondo criteri virtuosi ed innovativi.

3. CONCLUSIONI

In una Regione come le Marche dove una superficie di 288,1 kmq è soggetta a pericolosità idraulica e una superficie di 1627, 7 kmq è soggetta a pericolosità da frana (Rapporto ISPRA 2018) il Contratto di Fiume è divenuto il luogo di confronto tra Istituzioni e comunità locali, nella analisi ex ante e nella presentazione di soluzioni progettuali connesse ad azioni specifiche di gestione dei rischi. Inizialmente quasi tutti i CdF



Figura 12.

| SIGLA OBIETTIVO STRATEGICO | DENOMINAZIONE OBIETTIVO STRATEGICO | INTERVENTI AZIONE PREVISTI DAL PROGRAMMA |
|----------------------------|---|---|
| A | Abilitazione integrale di tutti i piani di emergenza comunali di tutti i Comuni lungo l'area del Misa (secondo con riferimento alle zone soggette alla sismicità) che consentano l'efficienza degli interventi e siano conformi alle strutture costruite nell'attuazione di una programmazione della protezione e gestione del rischio sismico (Piani di Emergenza e Piani di Protezione Civile) e di una programmazione di una funzione di Protezione Civile (Piani di Protezione Civile). | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Piani di Emergenza del Bacino Idrografico del Fiume Misa (Nuclei coordinati) (Funzione Associata) ✓ Riorganizzazione e rineo del quadro normativo delle competenze pubblico/privato |
| B | Attuazione integrale degli interventi strutturali di riduzione del rischio sismico di tutti gli edifici esistenti e delle strutture di nuova costruzione. | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Realizzazione Vase espansione Ingegno-Bettolite con modifiche progettuali ✓ Dragaggio parte finale canale Misa ✓ Ricostruzione argini fluviali ✓ Rifacimento ponte XI Giugno |
| C | Adozione di una manutenzione ordinaria completa, programmata e permanente lungo tutto il tratto idrografico e di tutti gli edifici esistenti e delle strutture di nuova costruzione. | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Manutenzione ordinaria del Fiume Misa e degli ultimi 500 metri dei suoi affluenti regionali ✓ Monitoraggio, sorveglianza idraulica e controllo ambientale ✓ Rimozione dei resti ingombranti |
| D | Definizione di progetti progettuali attuativi in tutti gli ambiti di intervento di progetto, attuati e realizzati in base a valutazioni e confronti con le norme vigenti e l'attuazione dei programmi di protezione e gestione del rischio sismico. | <ul style="list-style-type: none"> ✓ Valutare la funzionalità e l'efficacia delle Casse di Espansione (esistente e di quelle già giudicate) |
| E | Protezione delle attività produttive di carattere agricolo e forestale lungo tutto il tratto idrografico e di tutti gli edifici esistenti e delle strutture di nuova costruzione. | <p>17 Interventi/Azione individuati</p> <p>Progetto generale di gestione del corso d'acqua; messa in sicurezza alto Misa; Sostituzione ponti Garibaldi e Fontana a Senigallia; Prolungamento della funzione di lavoro del Misa; Ripertura collegamento tra canale fiume e terzi darsena; realizzazione invaso "S. Antonio"; Sostituzione ponte ferroviario; realizzazione di bacini di stoccaggio idrico; realizzazione di aree di laminazione diffusa in zone rurali vicine; rafforzamento sorge argenti; Deviazione del tratto finale del letto del Samburo; Accordi d'area (acqua e usi); Agricoltura biologica, rigenerativa e conservativa (Biosicchi); Regimazione acque e prevenzione del dissesto idrogeologico in ambito agricolo; Gestione attiva delle aree forestali; Multifunzionalità delle imprese agricole</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ Percorsi d'acqua lungo il fiume ✓ Valorizzazione siti storici ✓ Valorizzazione culturale territorio ✓ Coltiva adattare la strada Anselmi ✓ Passerella ciclopedonali sul Misa ✓ Passerella pedonale ambiente ristorante Ulivati |
| F | Previsione di interventi e azioni strutturali lungo le fluviali dello spazio fluviale per mitigare il rischio alle popolazioni sottostanti (quali Argini) che sottopongono elementi di difficoltà a partire dai muricci (siti esistenti) e strutture preesistenti, gestione idraulica da attuare. | |

Figura 13.

| Tema: qualità dell'acqua, natura ed ecosistema fluviale, rischio idraulico, geomorfologia fluviale e cambiamenti climatici | Tema: paesaggio, pianificazione territoriale, fruizione e sviluppo economico del territorio fluviale |
|---|--|
| <p>AS1 - Acqua, aree marginali e usi fluviali</p> <ul style="list-style-type: none"> OS 11 Qualità e gestione dell'acqua OS 12 Aree naturali e boschi, biodiversità OS 13 Ambiente Fluviale <p>AS2 - Rischio idraulico, geomorfologia, fluviale e cambiamenti climatici</p> <ul style="list-style-type: none"> OS 21 Concorso della pericolosità idraulica OS 22 Gestione, monitoraggio, educazione ambientale | <p>AS3 - Paesaggio, pianificazione territoriale</p> <ul style="list-style-type: none"> OS 31 Paesaggio OS 32 Pianificazione <p>AS4 - Fruizione e sviluppo economico del territorio fluviale</p> <ul style="list-style-type: none"> OS 41 Fruizione OS 42 Attività economiche |

Figura 14.

| SIGLA | AZIONE | TIPO | SOGLGETTO RESPONSABILE |
|-------|--|-------------------------|-----------------------------|
| T1a | Protocollo d'intesa per l'applicazione della REM, Regolamento polizia rurale unitario e formazione strutture di controllo ambientale | intesa operativa | Ufficio REM Regione Marche |
| L1a | Progetto integrato foce-Musone (ambito 10) | progetto | Numana |
| T2a | Protocollo d'intesa per definizione accordi agroambientali e partecipazione ai bandi PSR (area GAL) | studio | Filottano |
| T3a | Publicazione "La via del Musone" | realizzazione | Filottano |
| T4a | Protocollo d'intesa per la fase della gestione e monitoraggio | intesa operativa | Loreto |
| P1 | Interventi ATO 3 | realizzazione | ATO3 |
| P2 | Interventi Consorzio Bonifica | realizzazione | Consorzio Bonifica |
| P3 | Interventi Genio Civile | realizzazione | Genio Civile Regione Marche |
| P4 | Interventi PIL | realizzazione | GAL colli esini S. Vicino |
| P5 | Distretto cicloturistico | implementazione | Osimo |
| T5 | studio per la definizione di aree a pesca protetta e monitoraggio (Apro-Cingoli) | Studio | Cingoli |
| T6 | protocollo d'intesa Cdf-genio civile per un tavolo di verifica preventiva dei progetti | intesa operativa | Loreto |
| T7 | progetto: "adotta il fiume" con le scuole | realizzazione | Loreto |
| L2 | progetto integrato ponte romano -Bravi (ambito 2) | progetto | Cingoli |
| L3 | progetto integrato per la sistemazione del Bachero (ambito 2) | progetto | Staffolo |
| L4 | progetto integrato del lago di Castreccioni (ambito 1) | Studio/progetto | Aprò |
| L5 | progetto integrato area S.Faustino di Cingoli (ambito 4) | progetto | Cingoli |
| L6 | progetto integrato S.Vittore di Cingoli (ambito 2) | studio | Cingoli |
| L7 | progetto integrato per un parco fluviale (ambito 6) | progetto | Recanati |
| L8 | studio su manutenzione spondale Fiumicello (ambito 5) | Studio | Filottano |
| L9 | progetto integrato per Valciola (ambito 1) | progetto | San Severino Marche |
| L10 | progetto integrato aree archeologiche e ville con parco (ambito 3a) | progetto | Osimo |
| L11 | progetto integrato sponde fiume Musone (ambito 3) | Studio intesa operativa | Santa Maria Nuova |
| L12 | Studio acque sulfuree e valorizzazione turistica Lago di Castreccioni (ambito 2) | Studio/progetto | Aprò |

Figura 15.



Figura 16.

si sono sviluppati attraverso una serie di attività finalizzate ad individuare interventi principalmente volti alla "mitigazione dei processi geo-idrogeologici", in parte già previsti e finanziati, in parte completamente nuovi, in ambiti periferici fortemente a rischio.

Dieci sono i CdF avviati tra il 2015-19, su altrettanti bacini idrografici, per una superficie di circa 5.900 kmq, pari al 61% del territorio regionale; 110 i Comuni coinvolti di cui 10 Capofila, con il 51% della popolazione regionale interessata con circa 116 tra *stakeholders* privati e pubblici. Una dimensione importante, che ha acquisito rilevanza sociale ed aspettative di "buon governo del territorio", in appena quattro anni. Con questo strumento si sono sperimentate nuove forme di processi partecipati e di interazione pubblico-privato, per valutare sia gli "effetti sociali ed economici di un intervento", che per mettere a sistema, integrare e ottimizzare le soluzioni proposte anche al fine di facilitare l'incremento della "fruibilità" dell'area di intervento e gestire così adeguatamente la percezione degli impatti sul sistema socioeconomico. Tenendo conto dei contributi diretti/indiretti al tema in discussione "processi geoidrologici/processi di governo del territorio", moltissime azioni previste nei Piani di Azione dei CdF analizzati concorrono di fatto alla mitigazione, prevenzione e riduzione del rischio, secondo criteri virtuosi ed innovativi (Fig. 16).

Nei percorsi di CdF illustrati risulta di fondamentale importanza una buona analisi conoscitiva di base dei processi geo-idrologici, prodromici per una corretta lettura e gestione del territorio fluviale, non solo ai fini dell'individuazione delle azioni di difesa-protezione, ma anche per identificare le azioni di fruizione, valorizzazione-sviluppo, oltre che di corretta manutenzione e gestione, dove le comunità locali detengono, per gli apporti conoscitivi ed identitari che possiedono, enormi potenzialità.

SITOGRAFIA

- <http://www.regione.marche.it/Regione-Utile/Paesaggio-Territorio-Urbanistica-Genio-Civile/Contratti-di-fiume>
- <http://www.unionepiandelbrusco.pu.it/ambiente/contratto-fiume-foglia/>
- <https://www.comune.jesi.an.it/VivereIn-Citta/AmbienteVerde/contrattodifiume/index.html>
- <http://www.comune.loreto.an.it/visitatore/index.php?id=62&evento=1798>
- http://www.comune.senigallia.an.it/urbanistica/contratto_fiume/cdf_documentazione.html
- <https://www.bonificamarche.it/iprogrammi/contratti-di-fiume/>

Il Compendio di Ingegneria Naturalistica della Regione Lazio: analisi, casistica ed elementi di progettazione

The Naturalistic Engineering Compendium of the Lazio Region: analysis, case studies and design elements

Parole chiave: ingegneria naturalistica, riqualificazione di ecosistemi, soluzioni basate sulla natura

Key words: soil and water bioengineering, ecological restoration, nature based solutions

L'INGEGNERIA NATURALISTICA, PARADIGMA DI SOLUZIONI ECOCOMPATIBILI

La "Ingegneria Naturalistica" (I.N.) è una disciplina tecnico – naturalistica che ha avuto molto successo negli ultimi decenni perché risponde ad una domanda reale di interventi sul territorio (difesa del suolo, opere di mitigazione in ambiti infrastrutturali) ecocompatibili e con il massimo inserimento paesaggistico. Si tratta della riscoperta ed espansione di tecniche nate nel mondo alpino di lingua tedesca nel dopoguerra, ma con radici antiche nella grande tradizione italiana delle Sistemazioni idraulico forestali, che vengono oggi rilanciate da

parte delle Regioni le quali hanno ereditato in buona parte le competenze del Corpo Forestale dello Stato.

Se è vero che soluzioni semplici per problemi complessi sono soluzioni sbagliate (G.B. Shaw), la ingegneria naturalistica ricerca una sintesi progettuale basata sull'analisi delle componenti ecosistemiche (geologia, pedologia, vegetazione, idraulica, etc.), nella consapevolezza del cambiamento nel tempo dell'intervento rispondente comunque al criterio della massima semplicità e minimo costo a pari risultato (considerando sempre l'opzione zero del non intervento), in conformità ai principi deontologici.

DEFINIZIONI

L'ingegneria naturalistica è una disciplina tecnica che utilizza le piante vive autoctone negli interventi antierosivi e di consolidamento, da sole o in abbinamento con altri materiali (Cornellini P., Sauli G. 2015, *Compendio di ingegneria naturalistica*, Regione Lazio), per la ricostruzione di ecosistemi tendenti al naturale e per l'aumento della biodiversità.

Le finalità degli interventi di ingegneria naturalistica sono principalmente quattro:

- tecnico-funzionali, per esempio antierosive e di consolidamento di una sponda o di una scarpata stradale;
- naturalistiche, non di semplice copertura a verde ma di ricostruzione o innesco di ecosistemi paraturali;
- paesaggistiche, di "ricucitura" al paesaggio naturale circostante;
- economiche, in quanto strutture competitive e alternative ad opere tradizionali (ad esempio muri di controripa sostituiti da terre rinforzate verdi).

L'Ingegneria Naturalistica è quindi una disciplina trasversale che affronta i problemi progettuali con una visione sistemica, che, pur avendo le sue radici nelle classiche sistemazioni idraulico-forestali, ha sviluppato un suo spazio scientifico-culturale autonomo privilegiando l'attenzione al particolare del piccolo intervento piuttosto che alla grande opera.

LE TECNICHE DI INGEGNERIA NATURALISTICA

Le tecniche di I.N. per gli interventi antierosivi e di rinaturazione censite nelle *Linee guida per capitolati speciali per interventi di ingegneria naturalistica* (Ministero dell'Ambiente -PODIS, 2006) si dividono essenzialmente in:



- 1) *di rivestimento* o antierosive (tutti i tipi di semina, stuoie, materassini seminati, etc.);
- 2) *stabilizzanti* (messa a dimora di arbusti, talee, fascinate, gradonate, cordonate, viminate, etc.);
- 3) *combinata di consolidamento* (palificate vive, muri, grate vive, muri a secco con talee, cuneo filtrante, gabbionate e materassi verdi, terre rinforzate, etc.);
- 4) *particolari* (barriere antirumore e paramassi, opere frangivento, etc.).

Nell'ambito degli interventi di risanamento del dissesto idrogeologico le tecniche di ingegneria naturalistica trovano il loro campo di applicazione non tanto nelle emergenze catastrofiche o negli interventi immediati di sistemazione dei danni, bensì nelle sistemazioni a medio e lungo termine, nonché nella prevenzione tramite la manutenzione del territorio.

LA PROGETTAZIONE DEGLI INTERVENTI DI INGEGNERIA NATURALISTICA

Il progetto di ingegneria naturalistica prevede un lavoro multidisciplinare ove l'esperto di ingegneria naturalistica lavora insieme agli esperti di settore (topografia, geologia, costruzioni, etc.) per individuare gli interventi da attuare per la difesa del suolo nelle sistemazioni idrauliche e di versante, per la mitigazione degli impatti di un'opera sull'ambiente, per il recupero ambientale, in un'ottica di aumento della biodiversità del territorio, e di miglioramento della rete ecologica.

Gli interventi di I.N. si differenziano da quelli tradizionali per la necessità di analisi di tipo naturalistico tramite approfondita analisi botanica, fondamentale per la definizione della componente viva degli interventi di ingegneria naturalistica, oltre alle analisi topografiche e geomorfologiche di dettaglio.

IL COMPENDIO DI INGEGNERIA NATURALISTICA DELLA REGIONE LAZIO: 25 ANNI DI ESPERIENZE IN ITALIA PER LA DIDATTICA E LA PROGETTAZIONE

Quale strumento per una corretta scelta progettuale viene presentato il Compendio di ingegneria naturalistica per docenti e professionisti (free download www.Regione.Lazio.it).

La pubblicazione (3 parti, 14 capitoli + 3 appendici, 710 pagine, 700 foto e 40 tecniche descritte) rappresenta l'ultima elaborazione di una serie di testi specialistici di ingegneria naturalistica,

editi dalla Regione Lazio negli ultimi 15 anni in collaborazione con AIPIN -Associazione Italiana per l'Ingegneria Naturalistica (oltre 4.500 pagine di manualistica pubblicate) ed è stata pensata come un approfondimento rispetto ai precedenti testi, in chiave didattica nella fase delle analisi a livello ecosistemico e di progettazione.

Nel testo vengono riproposte e aggiornate le principali tecniche di Ingegneria Naturalistica con casistica italiana di lavori degli ultimi 25 anni, sia nei settori di difesa del suolo sia nel settore delle opere di mitigazione a verde in ambiti infrastrutturali, collegati con le procedure autorizzative ambientali (Valutazione d'Impatto Ambientale, ecc.), curando in particolar modo la parte relativa alle analisi e alle sistemazioni idrauliche, con riferimento non solo alle esperienze italiane, ma anche spagnole, francesi, svizzere e nord americane.

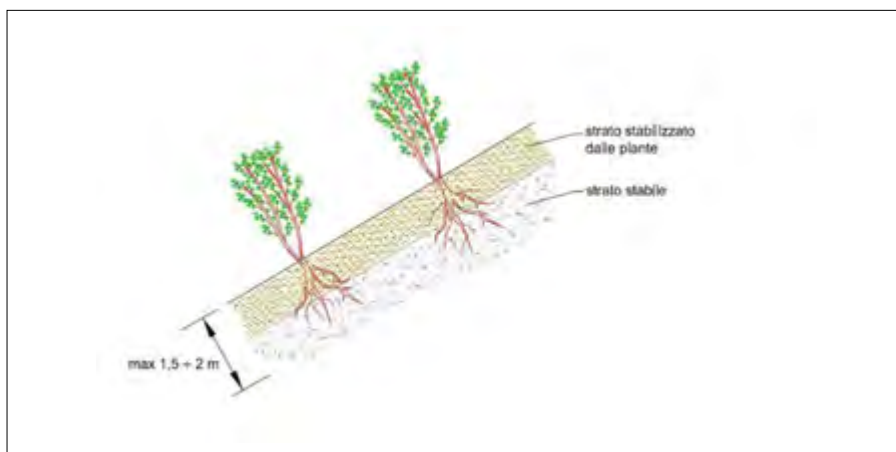
Nata come dispensa per studenti, è in realtà diventata strumento didatti-

co completo di riferimento per l'insegnamento della disciplina nel mondo universitario e professionale, da cui la definizione "compendio" perché è stata riproposta in modo selettivo la casistica italiana dei lavori degli ultimi 25 anni, curando in particolar modo la parte relativa alle analisi e sistemazioni idrauliche, facendo riferimento alla bibliografia più recente e consolidata non solo italiana, ma anche internazionale, con particolare attenzione alle esperienze nordamericane.

In particolare viene proposto un percorso di analisi ecosistemiche con finalità progettuali e didattiche tramite la scheda di *Valutazione speditiva della qualità ecomorfologica di un corso d'acqua*, di uso potenziale negli interventi di manutenzione dei fiumi, anche da parte delle scuole, delle associazioni ambientaliste e del volontariato.

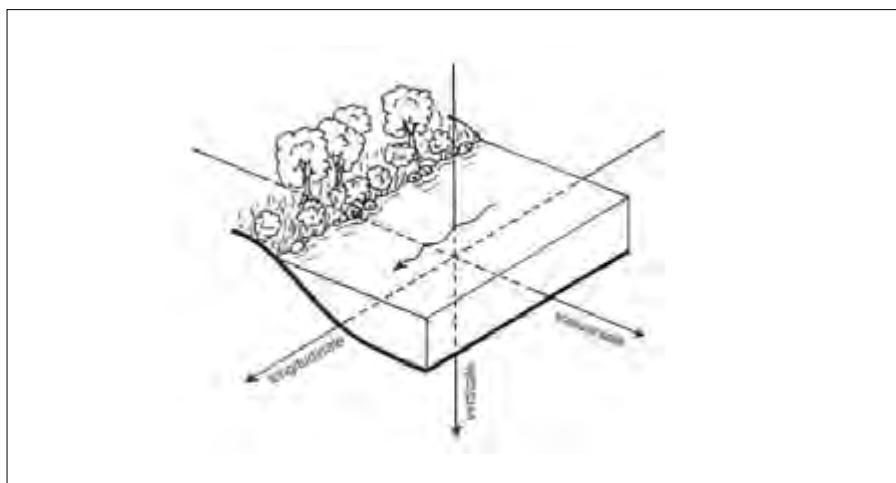
Di seguito si riportano, a titolo di esempio, alcuni schemi grafici e foto contenuti nel testo.

BIOTECNICA DELLE SPECIE VEGETALI



Schema dell'effetto stabilizzante degli arbusti radicati. (P. Cornolini e G. Sauli 2005)

ANALISI DEGLI ECOSISTEMI IDRAULICI



Approccio pluridimensionale all'ambiente fluviale (IFF 2007)

LA SCHEDA DI VALUTAZIONE SPEDITIVA DELLA QUALITÀ ECOMORFOLOGICA DI UN CORSO D'ACQUA

| VALUTAZIONE DELLA QUALITÀ DI OGNI COMPONENTE ECOSISTEMICA | | | | | |
|---|-----------------------------|----------|-------------|-------|--------|
| COMPONENTE | VALUTAZIONE DI FUNZIONALITÀ | | | | |
| | PESSIMA | MEDIOCRE | SUFFICIENTE | BUONA | OTTIMA |
| GEOMORFOLOGIA | 3-9 | 10-19 | 20-29 | 30-39 | 40-48 |
| REGIME IDRICO | 1 | 2 | 4 | 8 | 16 |
| QUALITÀ ACQUE | 1 | | 4 | 8 | 16 |
| VEGETAZIONE | 3-9 | 10-19 | 20-29 | 30-39 | 40-48 |
| FAUNA ITTICA | 1 | 2 | 4 | 8 | 16 |



| GEOMORFOLOGIA | REGIME IDRICO | QUALITÀ ACQUE | VEGETAZIONE | FAUNA ITTICA |
|---------------|---------------|---------------|-------------|--------------|
| | | | | |

La scheda di valutazione delle rive evidenzia, per gli interventi di sistemazione del rischio idraulico, una pessima qualità vegetazionale e mediocre qualità geomorfologica e faunistica.

| GEOMORFOLOGIA | REGIME IDRICO | QUALITÀ ACQUE | VEGETAZIONE | FAUNA ITTICA |
|---------------|---------------|---------------|-------------|--------------|
| | | | | |

La scheda evidenzia una ottima qualità ecomorfologica.

ELEMENTI DI PROGETTAZIONE NATURALISTICA PER IL RECUPERO ECOMORFOLOGICO DEI CORSI D'ACQUA



Rivitalizzazione del rio Mareta presso Vipiteno: immagini del 2005 e del 2013 a confronto. Sezioni degli interventi. Fonte Provincia Autonoma di Bolzano – Ripartizione opere idrauliche



Fiume Fella, in opera, 1998



Fiume Fella, post operam, 2001

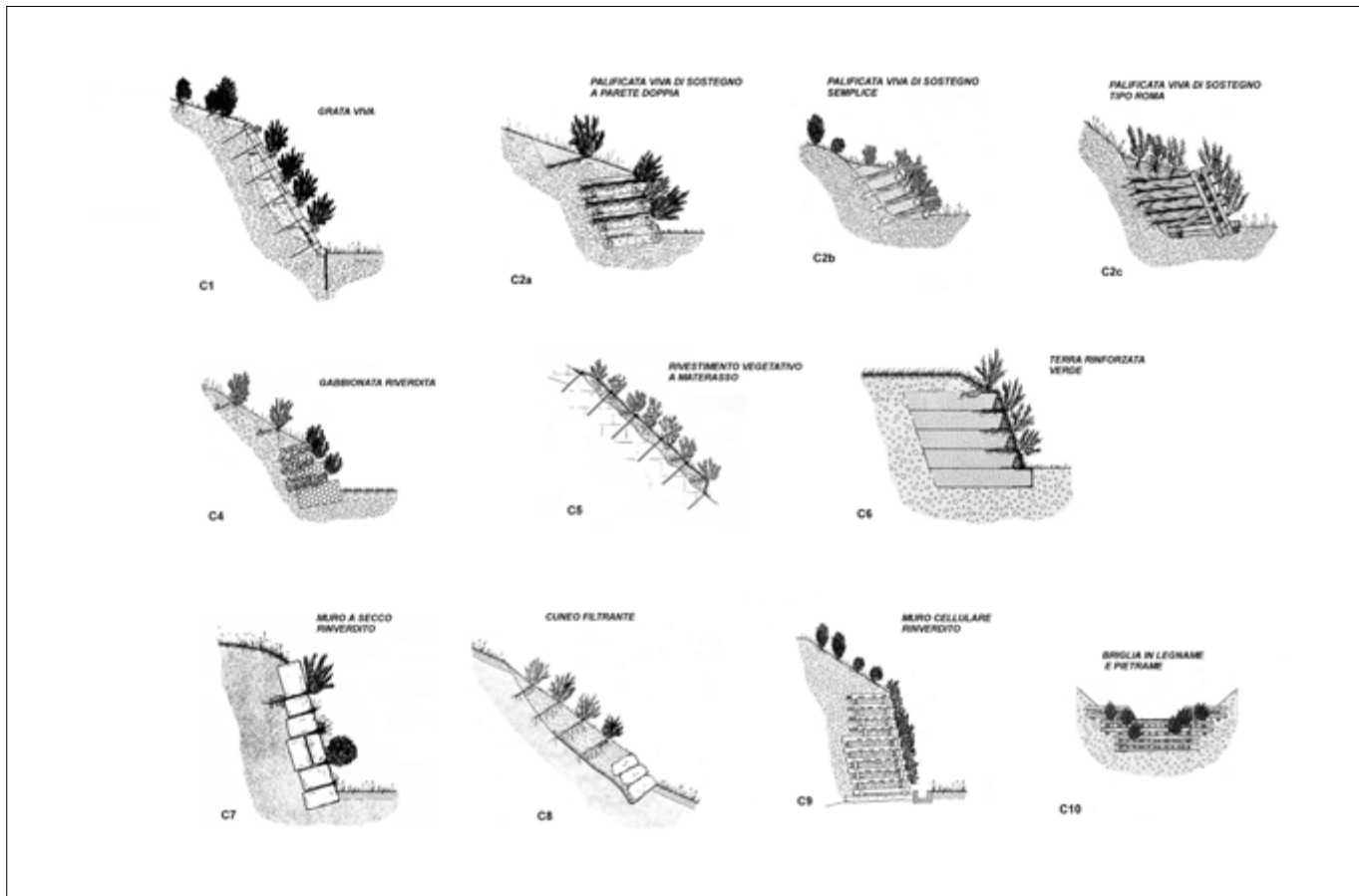


Fiume Fella, post operam, maggio 2011



Fiume Fella, post operam, giugno 2013. Foto Sauli

VERSANTI



Interventi combinati di consolidamento

NUOVE TIPOLOGIE CONSOLIDANTI DI INGEGNERIA NATURALISTICA



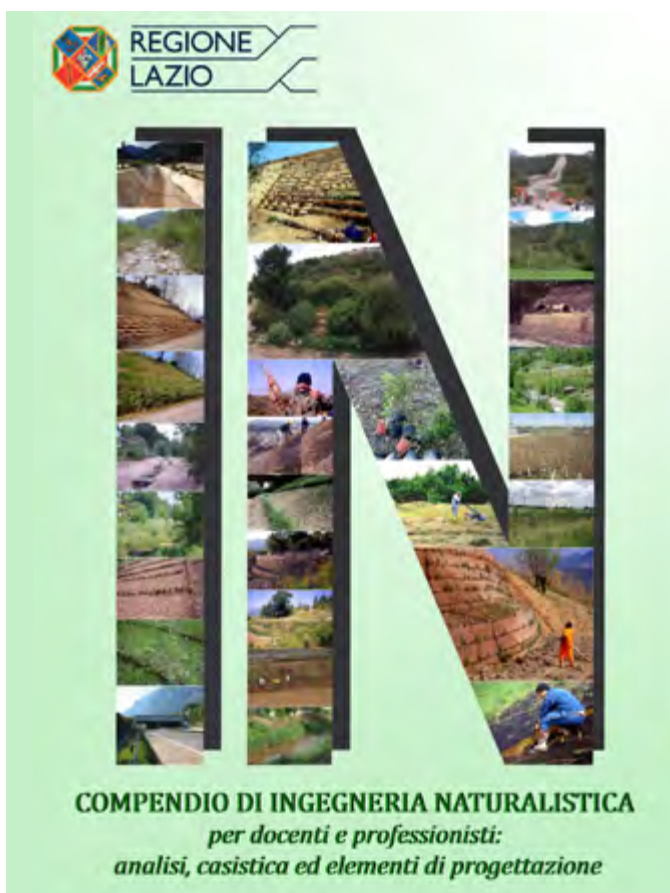
Palificata Roma - Urbanizzazione La Leprignano (RM) 2007. Foto P. Cornellini



Idem 2009. Foto P. Cornellini



Palificata loricata (PS) nel 2011 e 2014. Foto E. Marrone



BIBLIOGRAFIA CITATA

CORNELINI P., SAULI G. (2015), *Compendio di ingegneria naturalistica*, Regione Lazio.

SAULI G., BINAZZI P. (2006), *Linee guida per capitolati speciali per interventi di ingegneria naturalistica*. Ministero dell'Ambiente - Progetto Operativo Difesa Suolo.

http://www.regione.lazio.it/prl_ingegneria_naturalistica/

Comune di Pomarico (MT) - Movimento franoso del 29 gennaio 2019. Le attività dei vigili del fuoco

Salvatore Tafaro
Comandante Provinciale Vigili del Fuoco
di Matera
E-mail: salvatore.tafaro@vigilfuoco.it

Pomarico (Matera, Italy)-Landslide movement of 29 January 2019-Civil Protection Activities of Matera Fire Brigade

Parole chiave: frana, movimento franoso, terreno, sabbia, argilla, edifici, zona rossa, Vigili del Fuoco

Key words: landslide, soil, sand, clay, buildings, Red Zone, Fire Brigade

Il 29 gennaio di quest'anno, il Centro storico di Pomarico (MT) è stato interessato da un fenomeno franoso, con il conseguente cedimento e crollo delle abitazioni subito a ridosso del fronte di frana.

siti argillosi alla base (Argille azzurre) e sabbiosi al tetto (Sabbie di Monte Marano). Il passaggio stratigrafico dalle argille alle sovrastanti sabbie si rinviene intorno ai 400 metri di quota (De Marco & Di Piero, 1981). Sin da epoche storiche l'a-

grafico dell'ISPRA (Progetto IFFI) e classificati come movimenti complessi secondo la classificazione proposta da Varnes (1978).

Le caratteristiche fisico-meccaniche delle Argille Subappennine, che costitu-

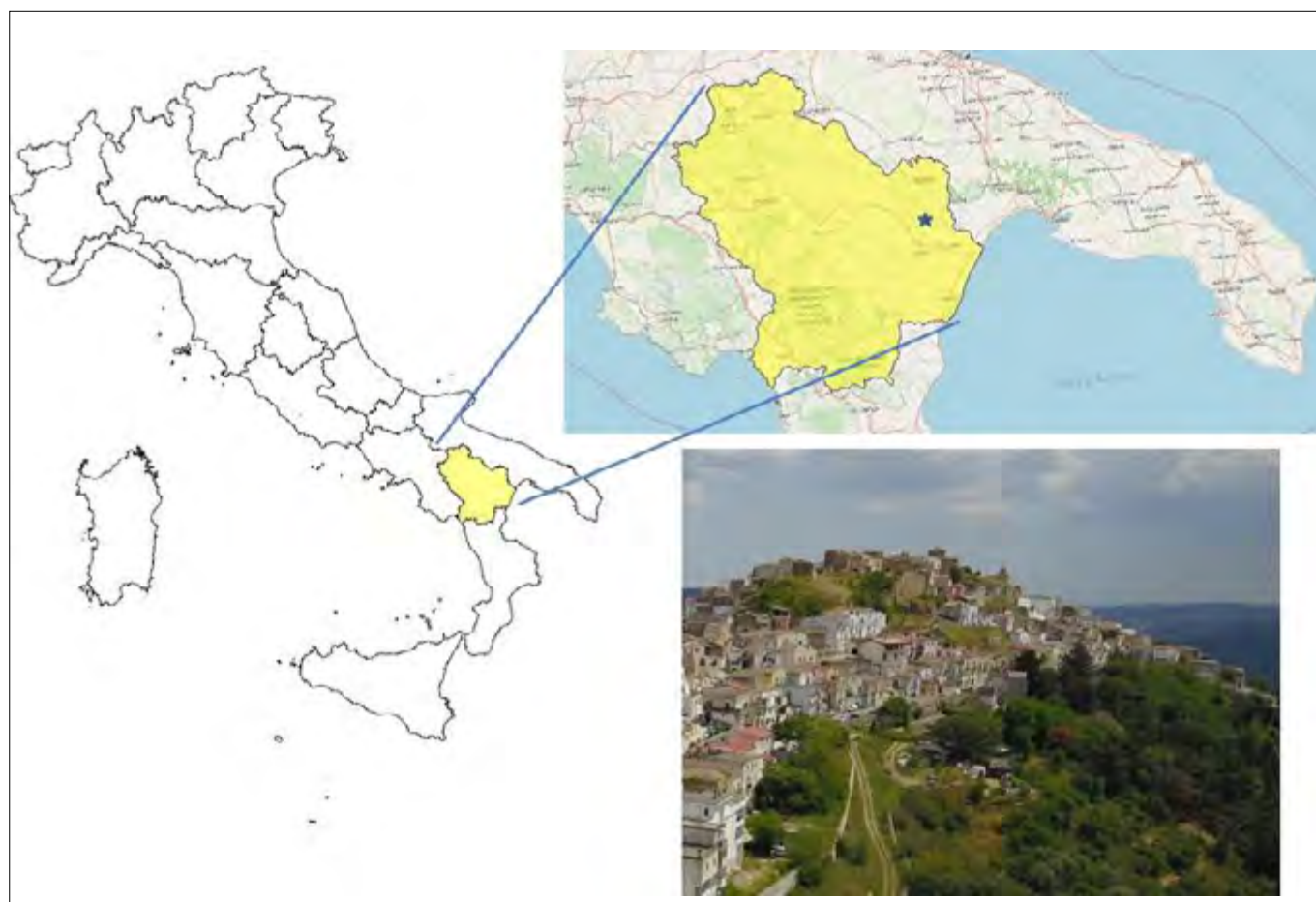


Figura 1. Inquadramento territoriale del Comune di Pomarico

L'abitato di Pomarico sorge su un rilievo collinare a 454 m (s.l.m.), che fa parte di una dorsale estesa in direzione NW-SE e che separa il medio corso dei fiumi Bradano e Basento. Il rilievo è costituito essenzialmente da terreni incoerenti e/o pseudocoerenti appartenenti a sedimenti terrigeni marini e continentali di età plio-pleistocenica, rappresentati da depo-

bitato di Pomarico, risalente al IX secolo, è stato interessato da fenomeni di dissesto gravitativo e di erosione accelerata di tipo calanchivo ad opera delle acque dilavanti (Lupo, 1998), che hanno profondamente inciso i fianchi della collina, arrivando ad interessare il paese (Tab. 1).

I fenomeni franosi dell'area interessata, sono già censiti sul portale carto-

iscono i fianchi dell'abitato di Pomarico, sono riportate in numerose note scientifiche (e.g.: Genevois *et al.*, 1984; Cherubini e Lupo, 1998) e di seguito, in Tab. 2, si riportano alcuni parametri di natura geotecnica dei terreni, per gentile concessione del Dott. Geol. Donato Caldone.

Dopo abbondanti rovesci temporaleschi avvenuti nella notte tra il 24 ed

Tabella 1. Fenomeni franosi più significativi nell'abitato di Pomarico (rif. Michele Lupo)

| Anno | Località | Tipologia evento franoso |
|-------------------|-----------------------------------|---|
| 1557 | Pomarico | Crollo casa palazzata Sig.ri De Caniis |
| 1595 | Contrada Serrone | Crollo della Chiesa di S. Pietro |
| 1650 | Contrada case cadute | Sprofondamento Ospedale vecchio e altri edifici |
| 13.05.1718 | Contrada S. Rocco | Frana con la morte di tre operai |
| 1748 | Località Fontanelle | Frana con varie riattivazioni |
| 1816 | Pesco di Nembo | Frana |
| 18.10.1857 | Contrada Salsa | Frana che minaccia il Convento |
| 01.1860 | Contrada Tamarici | Frana |
| 1890 | Contrada Parete Rotto | Frana e sprofondamento |
| 1920 | Zona S. Maria degli Ulivi | Frana |
| 1937 | Corso Vittorio Emanuele | Frana e crollo di molti edifici |
| 1946 | Zona Le Tempe – Piana Pacilio | Frana |
| 1950 | Zona Casa Comunale C.so Garibaldi | Frana |
| 11.1959 | Corso Vittorio Emanuele | Frana e crollo di edifici su lato destro |
| 01.1997 | Località Le Tempe | Frana con crollo del muro e strada |
| 29.01.2019 | Corso Vittorio Emanuele | Frana e crollo edifici |

Tabella 1. Alcuni parametri geotecnici dei terreni

| Litotipi | Peso di volume a secco (g/cm ³) | Indice dei vuoti | Porosità | Coefficiente di uniformità U=D ₆₀ /D ₁₀ | Coesione Kg/cm ² | Angolo di attrito |
|------------------------|---|------------------|--------------|---|-----------------------------|-------------------|
| Argille azzurre | Y _d = 1,55 - 1,65 | e = 0,622 | n = 38% | | 0,24 | Tra 22° e 24° |
| Sabbie di Monte Marano | Y _d = 1,45 | e = 0,70 - 0,92 | n = 41 - 48% | Tra 2,10 e 2,43 | | Tra 32° e 37° |

il 25 gennaio 2019, alle ore 10.00 circa del 25 stesso, si verificarono i primi movimenti franosi all'altezza del Corso Vittorio Emanuele, causando un diffuso quadro fessurativo sulle abitazioni ubicate subito a ridosso del Corso stesso. Come già sopra descritto, l'evento franoso non è stato il primo del genere, ma, negli anni, l'abitato di Pomarico è stato spesso soggetto a fenomeni di dissesto, per i quali sono stati elaborati progetti di consolidamento, in parte realizzati.

Il movimento franoso avvenuto a partire dal 25 gennaio, fino alla giornata del 29 gennaio, giorno in cui si è evidenziato il collasso anche della struttura di sostegno del pendio e di tutti gli edifici limitrofi, è stato fin da subito caratterizzato da una elevata velocità di movimento (circa 3-4 cm al giorno di avanzamento), che ha reso necessaria, da parte dei Vigili del Fuoco e della struttura Comunale, una prima perimetrazione (c.d. zona rossa) all'interno della quale gli edifici sono stati dichiarati inagibili e contestualmente evacuati.

Di seguito in sintesi la Time-Line degli eventi:

- Alle ore 10.09 del giorno 25 gennaio 2019, intervento di squadre VF

nel comune di Pomarico, provincia di Matera, per un movimento franoso verificatosi nel centro storico del paese, in corso Vittorio Emanuele II.

- L'instabilità della zona, già sotto controllo da tempo, a causa delle intense precipitazioni, ha fatto registrare un ulteriore grave movimento franoso il 29 gennaio 2019, alle ore 15:20. Lo scivolamento del terreno ha causato diversi crolli parziali di edifici, il collasso totale di dodici unità abitative, gravi lesioni alle infrastrutture urbane (strade, marciapiedi, muretti di protezione) e alle murature portanti di alcune abitazioni e locali ubicati a ridosso della strada. Lo sgombero già attuato di 18 nuclei familiari, resosi necessario per la velocità con la quale si evolveva il movimento, ha permesso di salvare vite umane.
- Le squadre VF hanno presidiato l'area coinvolta per diversi giorni e veniva concordato tra lo scrivente ed il C.O.N. di inviare, nella zona interessata dalla frana, dal giorno 31 gennaio, un interferometro ottico capace di monitorare in continuo la corona di frana e gli edifici immediatamente

prossimi. Quest'ultima attività è proseguita fino al 14 febbraio 2019.

Si riportano di seguito (Figg. 2-5) alcune foto aeree antecedenti il fenomeno franoso, dalle quali si potrebbero fare le prime valutazioni anche sugli altri potenziali fronti suscettibili di criticità idrogeologica e sulle eventuali azioni preventive da porre in essere, prima ancora della realizzazione delle opere di consolidamento in progetto.

Dall'osservazione delle foto effettuate nella stessa zona ma in periodi diversi (maggio 2018, settembre 2018 e gennaio 2019), non si notano segni evidenti di dissesto idrogeologico tali da far prevedere, in un lasso temporale così breve (cinque mesi), l'emergenza idrogeologica in atto.

La frana sembra essere avvenuta presumibilmente per liquefazione del terreno di pendio (cfr. Fig. 4), presumibilmente per infiltrazione di grandi quantità di acqua che hanno contribuito ad innescare il meccanismo di scivolamento del pendio. L'asportazione di buona parte del terreno del pendio ha poi provocato il crollo e/o il cedimento, prima di buona parte della palificata di sostegno e poi di quasi tutti gli edifici già resi inagibili dal 25 gennaio.



Figura 2. Foto aerea della zona soggetta al movimento franoso del 25 gennaio 2019 (maggio 2018 – Amati)



Figura 3. Foto aerea panoramica della zona soggetta al movimento franoso del 25 gennaio 2019 (settembre 2018 – Amati)

I DATI DEL MOVIMENTO FRANOSO

Nelle giornate dell'1 e del 2 febbraio, fino alle ore 16.00 del 3 febbraio si è effettuato il monitoraggio del fronte frana posizionando un interferometro

in uso al Dipartimento dei Vigili del Fuoco a valle della stessa. Il software di interfaccia dello strumento, data la particolare conformazione e difficoltà di accesso alla zona di posizionamento dello strumento, è stato impostato con

criteri di allarmi di movimento inviati a mezzo email e popup sui monitor. Tutta la strumentazione è stata collegata in remoto a mezzo software dedicati sui PC installati nell'UCL di Matera e presso la sala emergenza del CON al



Figura 4. Fronte della frana 29 gennaio 2019



Figura 5. Confronto movimento franoso 25 gennaio 2019 – 29 gennaio 2019 (Amati)



Figura 6. Ubicazione dei punti di monitoraggio

fine di tenere sotto costante controllo anche il più piccolo spostamento del fronte o parte di esso. Per il miglior utilizzo del software dedicato per frane e denominato “Guardian” è stato utilizzato un modello digitale del terreno elaborato dal nucleo SAPR Puglia, successivamente ai vari sorvoli effettuati con i droni (Figg. 6-8).

Contestualmente il Servizio TAS ha provveduto alla mappatura della zona rossa fornendo all’ufficio tecnico comunale il censimento dettagliato dei fabbricati interessati dal crollo, il numero dei fabbricati di cui è stato disposto l’evacuazione ed il totale degli edifici ricadenti nella zona rossa. Il 3 febbraio, vista la lieve entità dello spostamen-

to della massa franosa e la contestuale necessità di eseguire recuperi di beni in sicurezza da parte delle squadre VF, si è ritenuto di effettuare il monitoraggio strutturale h24 degli edifici posti sulla corona della frana posizionando lo strumento in zona sicura. In concomitanza con giornate di precipitazioni lo strumento ha registrato movimenti fino a

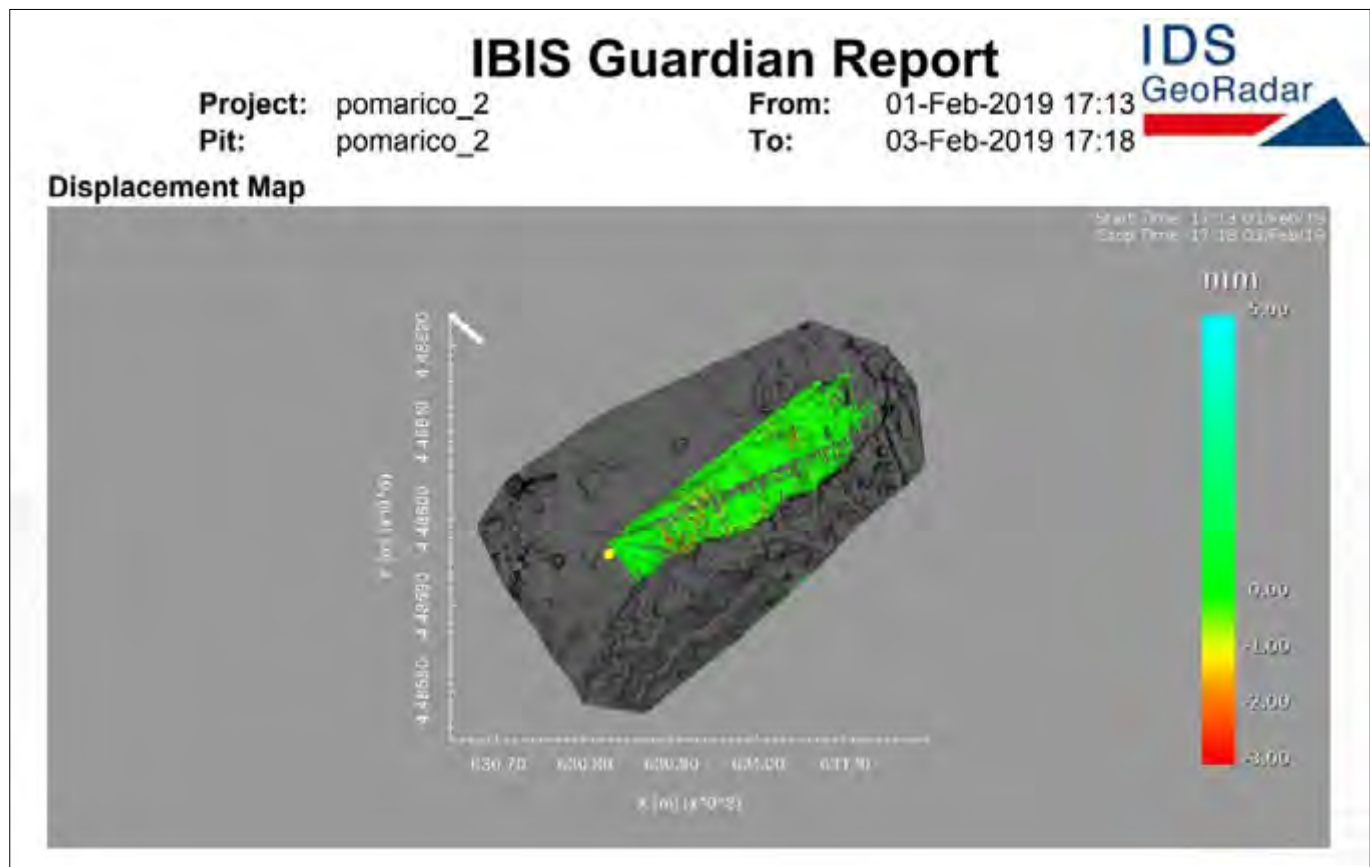


Figura 7. Schema tipo report del software «Guardian» per il monitoraggio frana, associato all’interferometro terrestre Hydra IDS

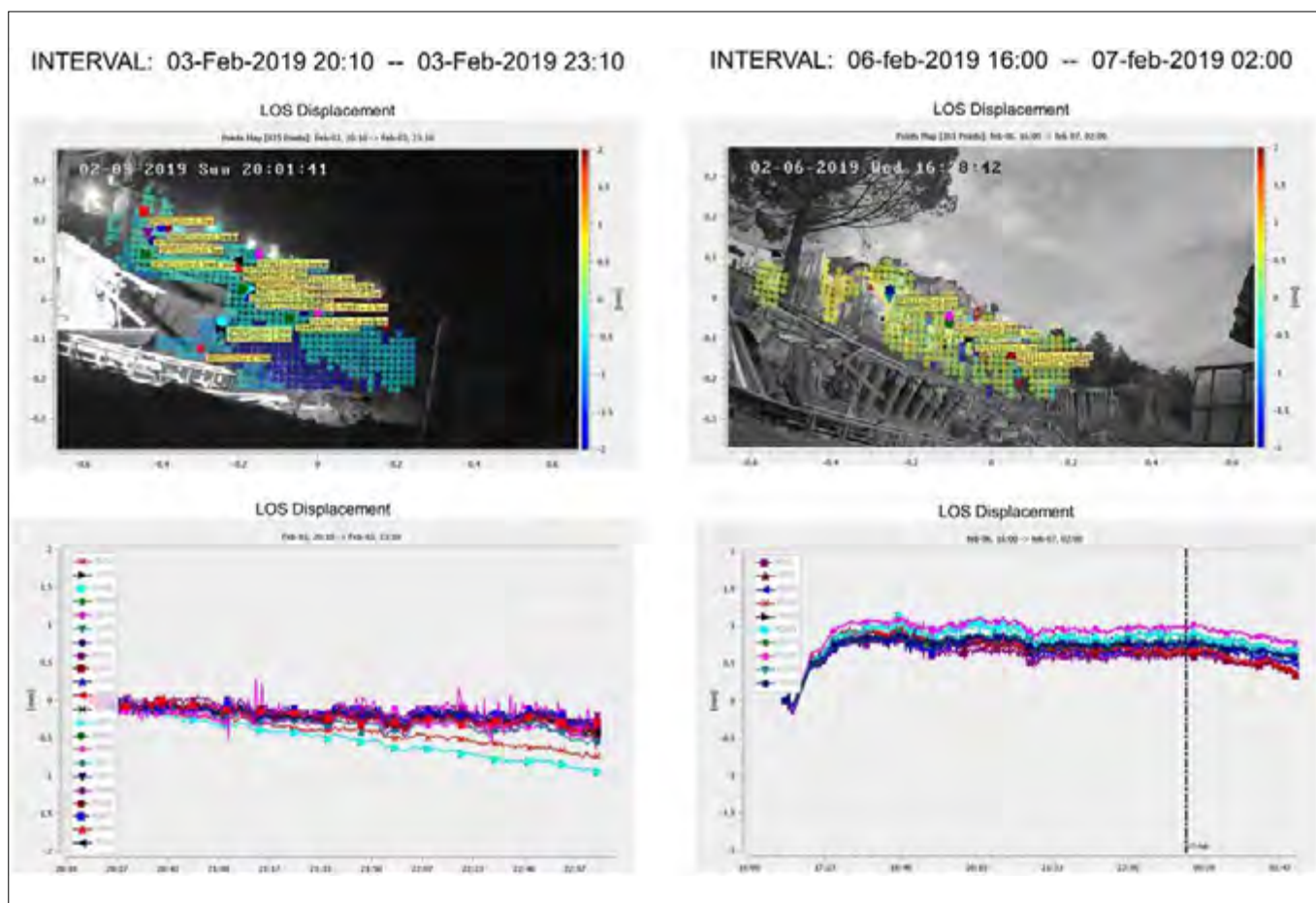


Figura 8. Schema tipo di report del software «Surfscan» utilizzato per il monitoraggio edifici, associato all'interferometro terrestre Hydra IDS

2 cm, permettendo così agli operatori di interrompere tali recuperi evitando di incorrere in situazioni di rischio. Solo dopo attente valutazioni dei dati ricavati dal monitoraggio e da sopralluoghi effettuati sui fabbricati interessati, si è provveduto a riprendere le normali operazioni di recupero. Tali attività di monitoraggio sono state temporaneamente interrotte il 14 febbraio 2019.

IL VOLUME DI TERRENO INTERESSATO

Il Nucleo SAPR Puglia, ha utilizzato i droni per il monitoraggio dei movimenti del corpo di frana, elaborando il relativo modello digitale del terreno (DTM-post frana), che è stato successivamente sovrapposto al DTM (ante-frana) della stessa area, rilasciato dall'ufficio cartografico della Regione Basilicata.

Gli esperti del Servizio TAS (Topografia Applicata al Soccorso) del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco ha in seguito stimato, con l'utilizzo del software Global Mapper, il volume di terreno interessato in seguito al movimento franoso pari a circa 184.000 m³ (circa 6000 camion di 30 m³). Si è inoltre stimato il perimetro dell'area franata pari a circa 1,227 km e l'area stessa pari a circa 35.670 m² (Figg. 9-12).

DISPOSITIVO DI SOCCORSO E PROTEZIONE CIVILE

Per l'emergenza tuttora in atto, in quanto si registrano ancora oggi, anche se dell'ordine dei millimetri/giorno, movimenti del terreno, si è reso necessario costituire e mantenere in piena operatività il C.O.C. (Centro Operativo Comunale) con le funzioni SAR (Safety and Rescue), Censimento danni, Viabilità, Materiali e Mezzi, Assistenza alle persone e Volontariato, già attivato con Ordinanza del Sindaco di Pomarico n. 4/2019 del 29 gennaio 2019. In data 14 febbraio 2019, il Consiglio dei Ministri ha deliberato lo stato di emergenza e, conseguentemente il Capo Dipartimento della Protezione Civile, Dott. Borrelli, ha emanato il 21 febbraio 2019, l'Ordinanza di Protezione Civile n. 578, contenente l'indicazione delle prime misure di protezione civile in conseguenza al movimento franoso del 29.01.2019.

Nell'Ordinanza sopra richiamata si prevede la redazione di un piano di interventi che devono contenere:

- gli interventi di soccorso e di assistenza della popolazione;
- gli interventi per il ripristino della funzionalità dei servizi pubblici e delle infrastrutture di reti strategiche, etc.;

- gli interventi volti alla riduzione del rischio residuo e le attività di monitoraggio;
- gli interventi di previsione e di mitigazione attiva e passiva necessari a far fronte agli effetti diretti e indiretti del movimento del fronte franoso.

Il dispositivo di soccorso posto in essere dal Comando Provinciale dei Vigili del Fuoco di Matera è stato costituito, fino al 14 febbraio, da una squadra completa e da personale proveniente dalla Centrale con abilitazione TAS2, oltre al personale abilitato all'utilizzo, alla taratura ed alla lettura dell'interferometro, proveniente dal C.O.N. e dai Comandi di Bari e Cosenza. La squadra ha effettuato diverse operazioni di assistenza alla popolazione e recupero beni, oltre a verifiche di stabilità strutturale, congiuntamente ai Funzionari tecnici del Comando.

PROPOSTE OPERATIVE PER LE FASI FUTURE

La fase successiva, in applicazione all'Ordinanza n. 578, sarà caratterizzata, secondo le competenze proprie delle singole strutture operative di Protezione Civile, da operazioni di soccorso, assistenza alla popolazione, monitoraggio del fronte frana e degli edifici in zona rossa e soprattutto dallo studio di una

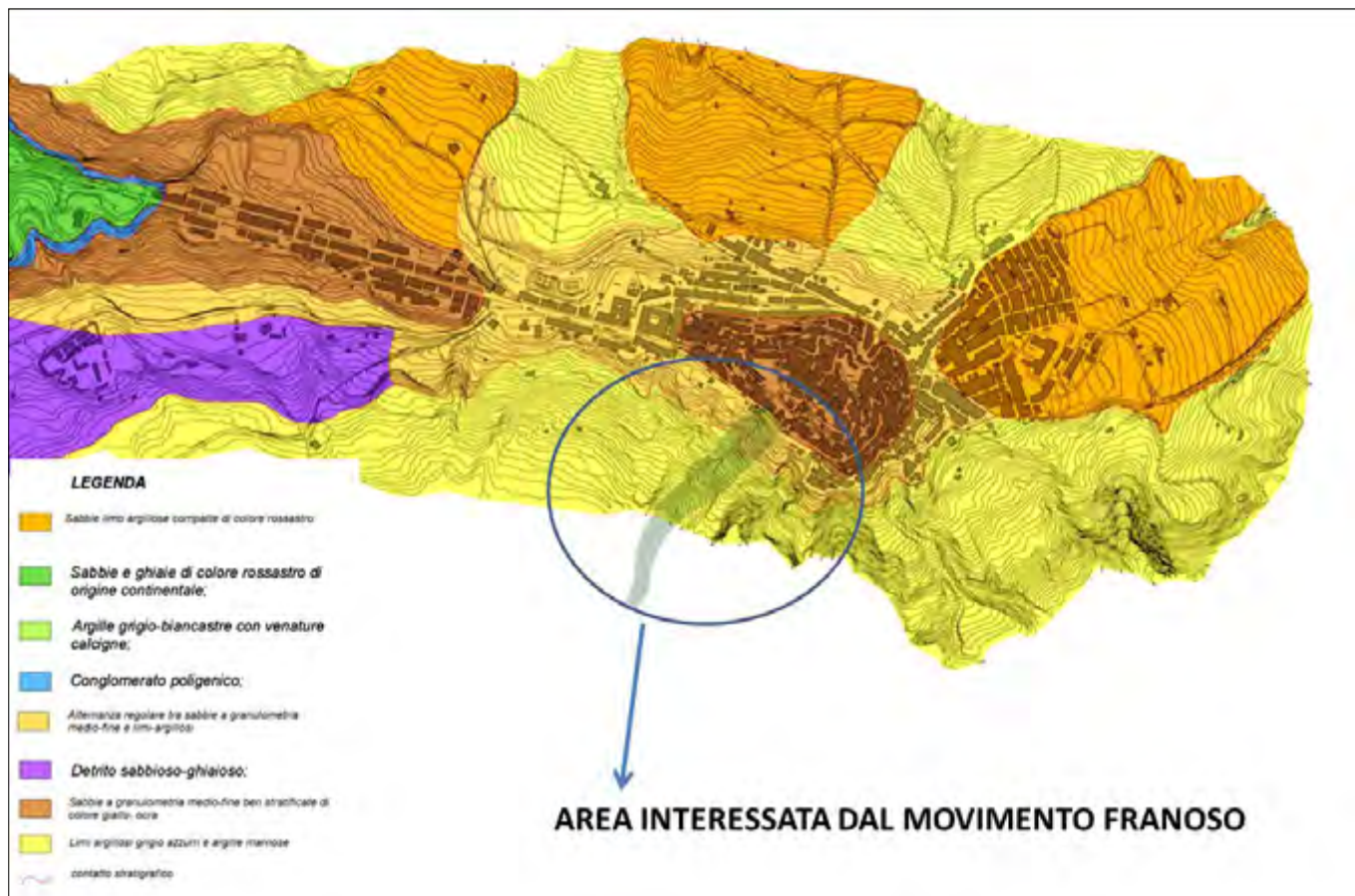


Figura 9. Carta Litologica del sito interessato

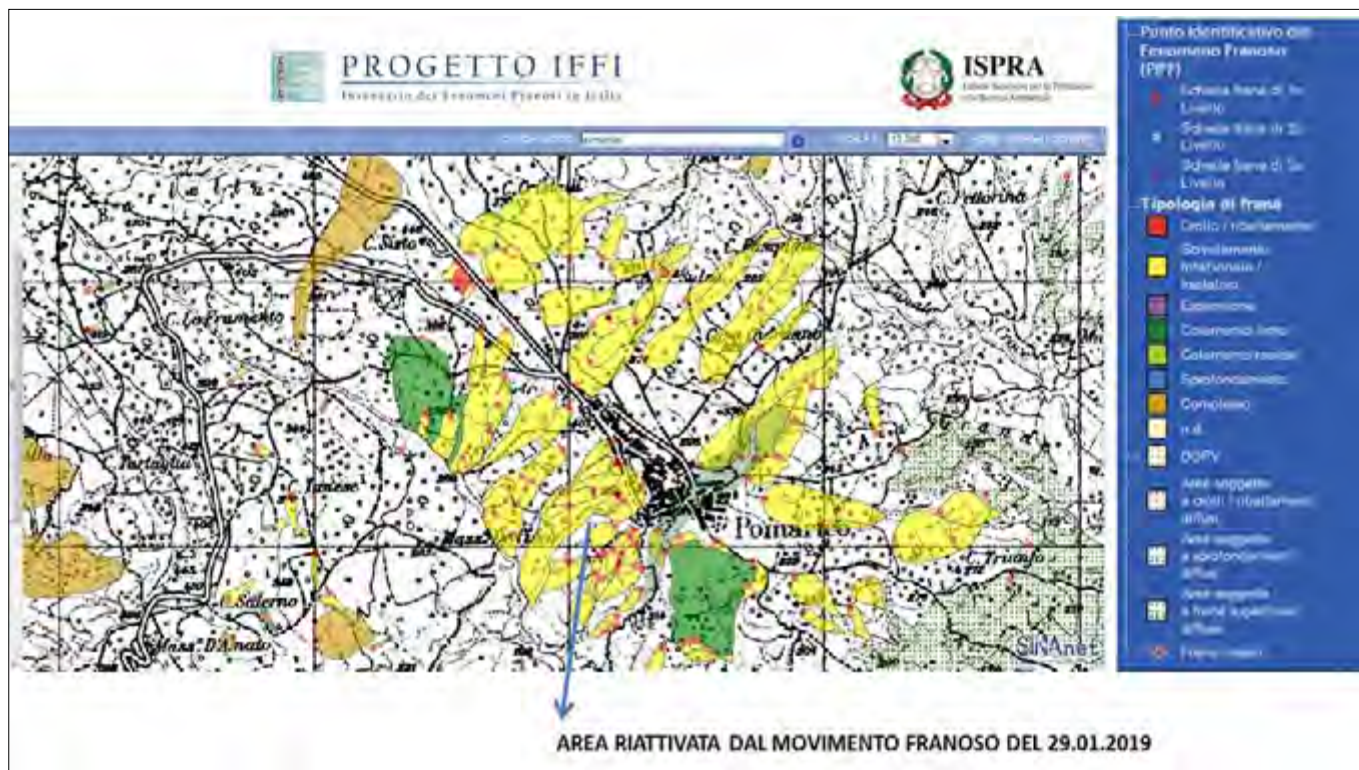


Figura 10. Stralcio del progetto IFFI – ISPRA relativo al sito interessato (Fonte ISPRA)

procedura operativa per l'evacuazione immediata degli abitanti in zona limitrofa a quella rossa, in caso di evoluzione dell'emergenza.

In seguito a queste prime operazioni si potrà iniziare, stante la fattibilità delle attività, alla messa in sicurezza della zona direttamente coinvolta dalla frana

e al recupero e rimozione delle macerie. È ovvio che questa seconda fase, che corrisponde all'individuazione delle misure di riduzione del rischio, è quella più critica e difficile da porre in essere, viste le condizioni del fronte di frana e quindi necessiterà di valutazioni esperte e approfondite sulle metodologie, stru-

mentazioni e attrezzature/macchine da scegliere per una miglior approccio alla problematica.

Il Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco ha dato il suo apporto, fondamentale fin nelle prime fasi, utilizzando strumentazione ad altissima ed avanzata tecnologia (interferometria radar, foto

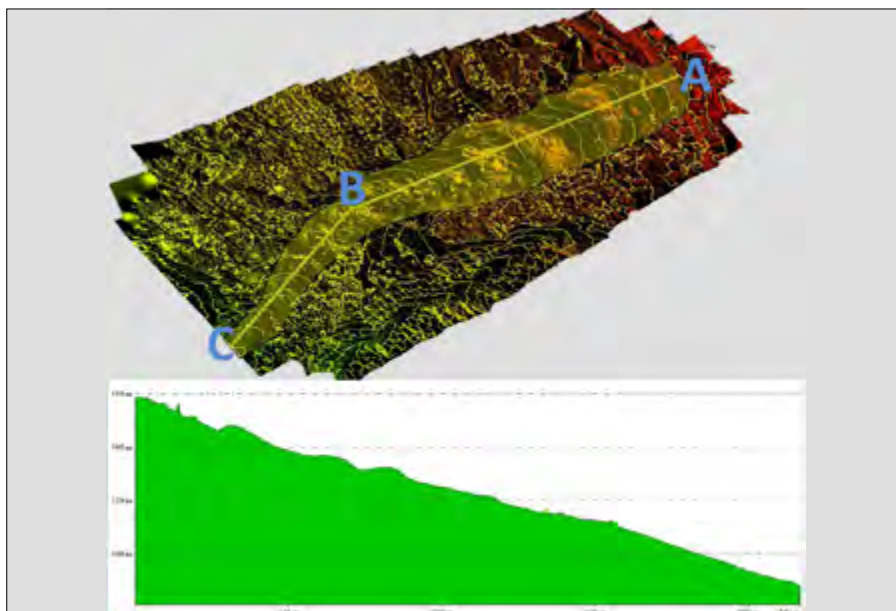


Figura 11. Modellazione digitale dell'area interessata dalla frana con curve di livello e profilo topografico

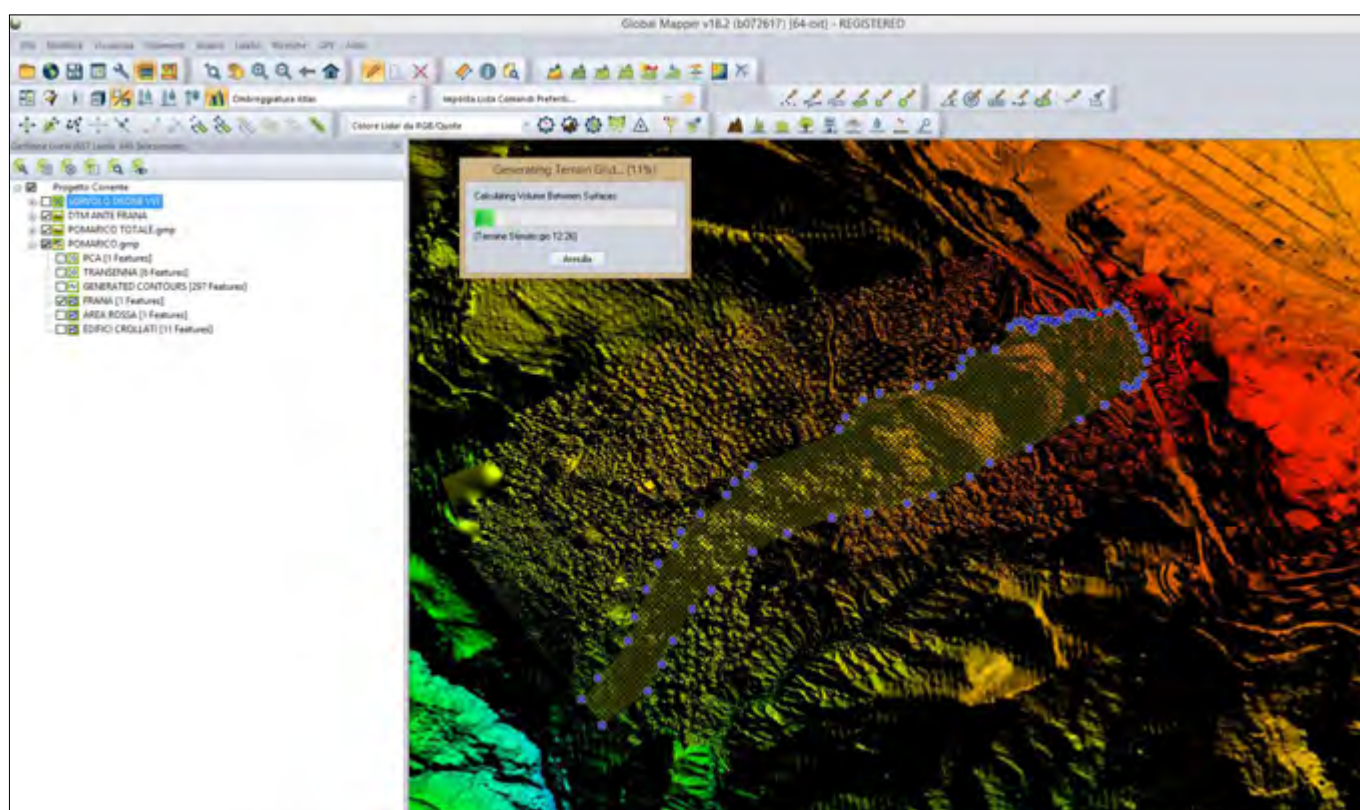


Figura 12. Calcolo del volume di terreno interessato dalla frana con Global Mapper

apportare la necessaria esperienza per la fase progettuale di prevenzione. Infine, in relazione a quanto sopra sommariamente descritto si ritiene quindi di estrema utilità attivare il sistema di protezione civile così come sopra descritto, effettuando una mappatura delle zone che potrebbero presentare potenziali criticità e verifiche degli edifici, oltre alle ispezioni approfondite con nuclei specialistici VF ed eventuali operazioni di messa in sicurezza di edifici.

Si ringrazia per l'utile e fondamentale supporto documentale il personale del C.O.N. nella persona dell'Ispettore Geol. Paolo Marchili, del VF Geol. Luca Cavalletti e di tutto il personale operativo che da vari Comandi (Matera, Bari e Co-senza) ha fornito il proprio contributo.

aeree con Droni, restituzione con tecniche TAS – topografia applicata al soccorso), permettendo, come già scritto, l'effettuazione di interventi in zona rossa in sicurezza poichè monitorata in continuo. Il personale operativo VF potrebbe pertanto validamente ed efficacemente continuare la propria opera effettuando una serie di verifiche, sopralluoghi congiunti, ispezioni con lo scopo non solo a monitorare lo stato degli edifici all'interno e fuori della zona rossa, ma utili anche a verificare eventuali ingrota-menti o possibili punti dai quali potrebbe eventualmente confluire l'acqua. Il monitoraggio in continuo del movi-

mento franoso attualmente è assicurato dall'Università degli Studi di Firenze, mentre l'intervento di personale VVF specialista proveniente dal Dipartimento dei Vigili del Fuoco, C.O.N. (Centro Operativo Nazionale) di Roma con interferometro radar, installato in punti fissi ben definiti, potrebbe essere di estrema utilità non appena di inizieranno le operazioni di demolizione, messa in sicurezza e rimozione delle macerie. Al fine di approfondire lo studio sulle criticità idrogeologiche, sarà di fondamentale importanza l'ausilio di risorse umane specialistiche, anche provenienti da sedi Universitarie, le quali potranno

BIBLIOGRAFIA

- CHERUBINI C., LUPO M. (1998), *Physico-mechanical properties of Matera Blue Clays and correlations among them*, 8th International IAEG Congress – Balkema, Rotterdam pp. 283-288.
- DE MARCO, DI PIERRO (1981), *Le argille in frana di Pomarico (Matera)*. Studio granulometrico e mineralogico, rendiconti SIMP 37, 213.
- GENEVOIS R., PRESTININZI A., VALENTINI G. (1984), *Caratteristiche e correlazioni geotecniche dei depositi argillosi bradanici affioranti a NE della fossa*, Geol. Appl. e Idrogeol., vol. XIX pp. 173-212.
- LUPO M. (1998), *La stretta correlazione tra sistemazione idrogeologica dei luoghi perimetrali ed il riuso dei centri storici*, Informazione & Tecnica pp. 2-6.

Analisi di stabilità di un costone roccioso e progettazione esecutiva degli interventi per la messa in sicurezza di una struttura privata sita nel territorio di Modica (RG)

Michele Zocco

Geologo libero professionista

E-mail: michelezocco@aol.com

Stability analysis of a rocky ridge and executive planning of safety operations for a private site in the area of Modica (RG)

Parole chiave: costone roccioso, instabilità massi, sicurezza, sostenibilità economica
Key words: rocky ridge, falling rocks, safety, budget

RIASSUNTO

Sono state sviluppate analisi di stabilità e progettazione esecutiva degli interventi di messa in sicurezza dal rischio di caduta massi nell'ambito del progetto di restauro e riqualificazione architettonica di una struttura privata nel territorio di Modica (RG), in Sicilia sud-orientale. L'area è situata nel caratteristico paesaggio delle "Cave", costituito da tipiche valli torrentizie a forma di Canyon dell'altopiano carbonatico ibleo. La modellazione geostrutturale e geomeccanica è stata effettuata sulla base di rilievi diretti eseguiti in parete, per i quali è stato necessario l'impiego di attrezzature e tecniche speleo-alpinistiche. Le analisi di stabilità ed il dimensionamento geotecnico degli interventi di consolidamento sono stati sviluppati secondo le disposizioni delle N.T.C. 2018. A seguito delle verifiche di equilibrio del fronte roccioso sono stati evidenziati diffusi fenomeni di instabilità corticale con potenziale crollo di blocchi rocciosi. Per la messa in sicurezza degli insediamenti sottostanti, in un'ottica di ottimizzazione costi/benefici, è stata prevista la realizzazione di un rilevato paramassi in terra armata ed il consolidamento dei principali blocchi rocciosi instabili.

ABSTRACT

The analysis of slope stability and the design of operations for safety implementation against the risk of rockfalls were developed for the resto-

ration project and architectural redevelopment of a private complex, located in the territory of Modica (RG), in south-eastern Sicily. The area is set amid in landscape of the "Cave", given by typical canyon-shaped valleys in the carbonatic Hyblean plateau. The geostuctural model was carried out on the basis of in-situ surveys on the cliff, for which it was necessary to adopt speleoclimbing equipment and techniques. The analysis of stability and the sizing of the geotechnical operations for consolidation, have been updated according to the Italian N.T.C. 2018. From the analysis of the equilibrium conditions of the cliff, widespread phenomena of instability of the cortical rocks have been highlighted, with potential

collapse of the boulders. In order to optimise costs/benefits, and for the safety of the settlements below, a rockfall protection has been designed with reinforced embankments, together with the consolidation of the main unstable boulders.

1. MODELLAZIONE GEOLOGICA

L'area è caratterizzata da un substrato roccioso costituito dalle alternanze calcarenitico-marnose della Formazione Ragusa, interessato da sistemi di giunti sub-verticali di origine tensionale e sin-genetica. Lo spessore complessivo della formazione risulta di circa 200 m. Le unità stratigrafiche più profonde sono anch'esse di natura carbonatica. La



Figura 1. Ubicazione dell'area (da Google Earth)



Figura 2. Carta Geomorfológica di dettaglio

VITA DELLA STRUTTURA

| | | | |
|---------------------|-------|-----|--------|
| Vita nominale | V_N | 50 | [anni] |
| Classe d'uso | C_U | IV | |
| Vita di riferimento | V_R | 100 | [anni] |

CARATTERISTICHE SISMICHE TERRENO

| | | |
|--------------------|-------|-----|
| Topografia | | T2 |
| Coeff. topografico | S_T | 1,2 |
| Categoria suolo | | B |

| | SL | P_{VR} | T_R | a_g | F_o | T_C^* | S | T_b | T_C | T_D | F_v | a_{max} | a_{max}/g |
|-----------------|----|----------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|-------------|
| slc Operatività | | 81% | 60 | 0,527 | 2,531 | 0,270 | 1,440 | 0,129 | 0,386 | 1,811 | 0,784 | 0,759 | 0,077 |
| slc Danno | | 63% | 101 | 0,729 | 2,494 | 0,290 | 1,440 | 0,136 | 0,409 | 1,892 | 0,909 | 1,050 | 0,107 |
| slu Salv. Vita | | 10% | 949 | 2,131 | 2,365 | 0,458 | 1,370 | 0,196 | 0,589 | 2,693 | 1,668 | 3,742 | 0,382 |
| slu Collasso | | 5% | 1950 | 3,036 | 2,391 | 0,511 | 1,240 | 0,214 | 0,643 | 3,135 | 1,999 | 4,756 | 0,405 |

Figura 3. Parametri di azione sismica locale secondo le N.T.C. 2018

profondità della superficie piezometrica rispetto al piano campagna è compresa tra - 90 m nelle aree circostanti di altopiano, fino ad affiorante lungo l'alveo del torrente Cava Palombieri.

2. MODELLAZIONE SISMICA

I valori dei parametri dell'azione sismica locale sono stati determinati sulla base delle caratteristiche morfologiche, geologico-stratigrafiche ed elastiche del sito, attraverso l'elaborazione dei dati di microtremore sismico, acquisiti con un'indagine sismica HVSR.

3. MODELLAZIONE GEOMECCANICA

La caratterizzazione geomeccanica dell'ammasso roccioso è stata effettuata applicando il criterio di Hoek-Brown, attraverso l'utilizzo del software RockLab della Rocscience. Per il volume corticale "instabile" sono stati determinati i seguenti valori efficaci di coesione ed attrito:

$$C'_k = 0,01 \text{ MPa } \phi'_k = 35^\circ$$

Per il substrato roccioso "integrato" di ancoraggio risulta:

$$C'_k = 0,10 \text{ MPa } \phi'_k = 40^\circ$$

Per le superfici di scivolamento dei blocchi: $C'_k = 0,00 \text{ MPa } \phi'_k = 35^\circ$.

4. MODELLAZIONE GEOSTRUTTURALE

In corrispondenza del fronte sono stati eseguiti rilievi geostretturali e geomeccanici in quota, per i quali sono state utilizzate attrezzature e tecniche speleo-alpinistiche. I rilievi sono stati effettuati secondo le procedure indicate dall'I.S.R.M., su stazioni localizzate e scanlines quanto più possibile rappresentative. Le giaciture delle discontinuità presenti nell'ambito del volume significativo sono state riportate sulle proiezioni stereografiche equi-angolari, attraverso l'utilizzo del programma Stereonet 10.0.

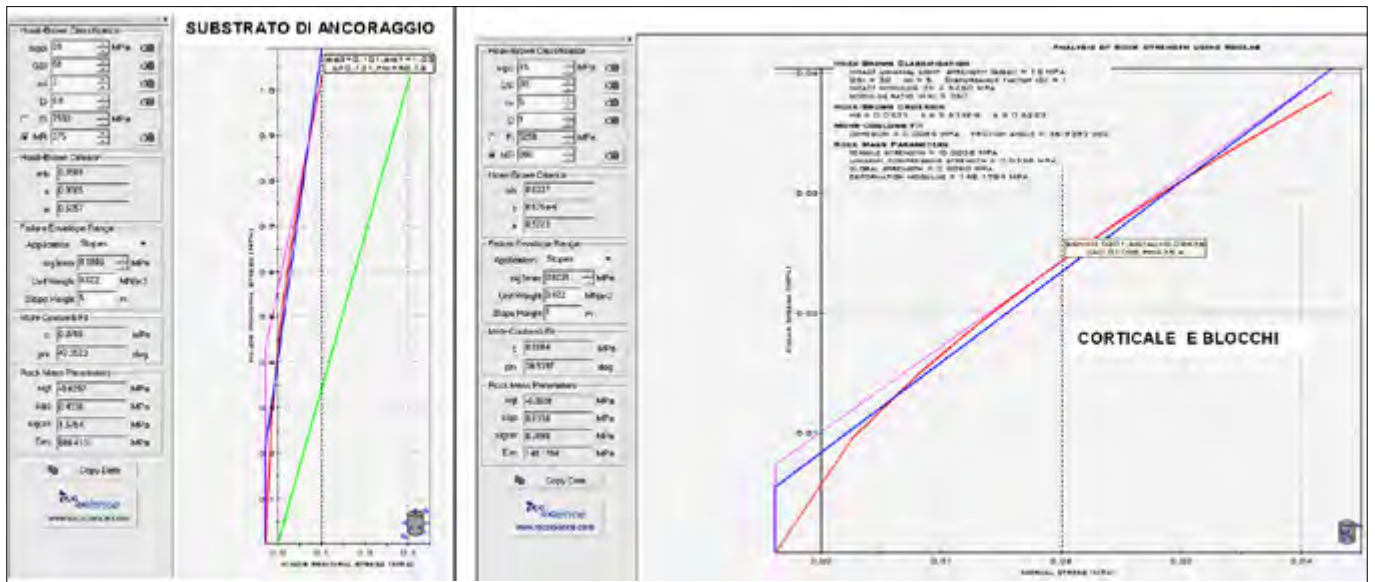


Figura 4. Dati geomeccanici substrato di ancoraggio, volume corticale e blocchi (Software RocLab 1)



Figura 5. Fasi esecutive dei rilievi geostrutturali e geomeccanici

L'applicazione del criterio di Markland al caso in esame, conferma la formazione di cunei lapidei instabili, soggetti a potenziali fenomeni di distacco dal fronte ($n^{\circ}j_i \geq 2$).

5. ANALISI DI STABILITA'

Le verifiche analitiche di equilibrio sono state effettuate sia in termini di stabilità globale, sia per singole condizioni di instabilità localizzata relative ad elementi monolitici disarticolati, aggregati rocciosi e volumi detritici corticali, considerando i coefficienti sismici inerziali k_h e k_v , in conformità alle disposizioni di cui al D.M. 17-01-2018 e Circ. 21-01-2019, n.7 C.S.LL.PP § C6.3.

5.1 VERIFICHE DI STABILITÀ GLOBALE

L'analisi delle condizioni di equilibrio globale del versante è stata effettuata con l'impiego del software SSAP 4.9.8 rev. 21/8/2018. Le verifiche di sicurezza, effettuate in condizioni sismiche e con sovraccarichi, non evidenziano fenomeni di potenziale instabilità globale ($Fs_{min} = 1,2$).

5.2 VERIFICHE DI STABILITÀ LOCALE

I rilievi geostrutturali sono stati concentrati lungo un fronte di circa 100 metri lineari posto a ridosso delle strutture più vulnerabili, dove i potenziali cinematismi di scivolamento, ribaltamento e/o crollo coinvolgono complessivamente 26 volumi rocciosi, costituiti da blocchi fessurati ed agglomerati di blocchi, con elementi monolitici delle dimensioni massime di circa 5-7 mc. Fanno eccezione i blocchi B8, B13, e B18, caratterizzati da volumi complessivi fino a circa 120 m³, con porzioni monolitiche comprese tra 7-10 m³.

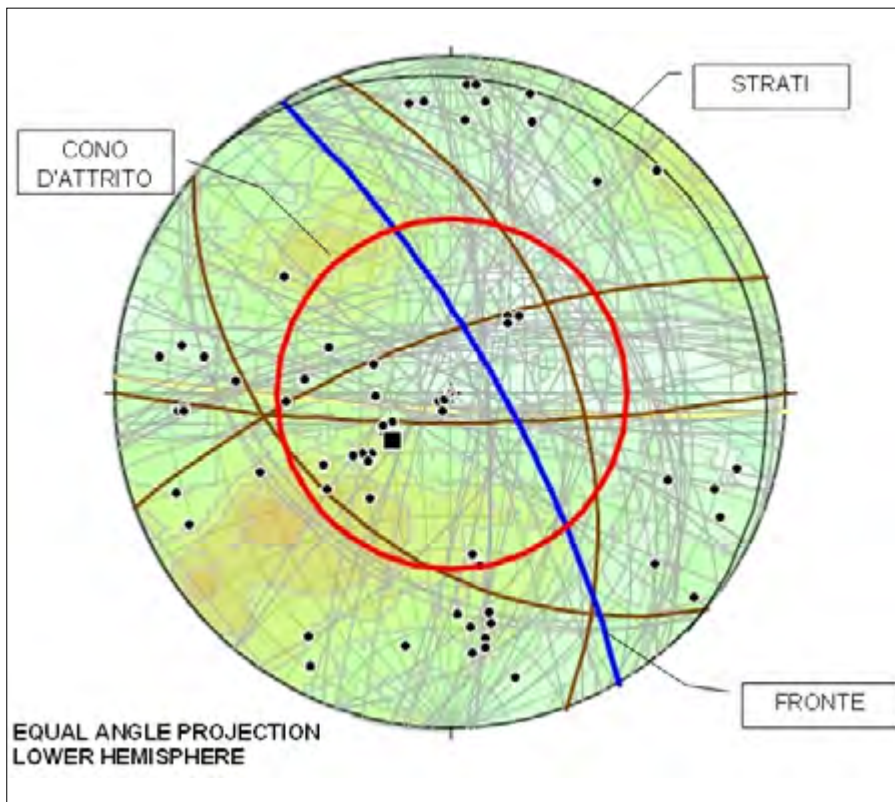


Figura 6. Stereogramma equi-angolare di Wulff

6. CRITERI GENERALI DI PROGETTO E VERIFICHE DI SICUREZZA

Gli interventi per la messa in sicurezza degli insediamenti sottostanti il versante rientrano nell'ambito di un progetto di riqualificazione del territorio e di ristrutturazione e restauro architettonico di edilizia privata, finalizzato allo svolgimento di attività turistico-ricettive, pertanto, in un'ottica di ottimizzazione del rapporto costi/benefici, l'area di intervento è stata circoscritta al tratto di versante dove i fenomeni di instabilità possono interessare direttamente gli insediamenti, prevedendo la realizzazione di un rilevato paramassi in terra armata ed il consolidamento dei principali blocchi rocciosi instabili.

6.1 OPERE DI TIPO PASSIVO

Per quanto riguarda gli interventi per la messa in sicurezza dal rischio di caduta dei blocchi con dimensioni inferiori a 7 m^3 , è stata prevista una barriera paramassi in terra armata, in conformità alle disposizioni UNI 11211-4 "Opere di difesa da caduta massi". L'opera sarà posizionata sull'area terrazzata posta direttamente a monte del fabbricato ad una distanza di circa 70 m dalla base del costone roccioso.

L'analisi probabilistica delle traiettorie di caduta dei massi e delle energie da impatto, è stata sviluppata con l'impiego del software Rocfall della Rocscience Inc. secondo il metodo Montecarlo, pre-

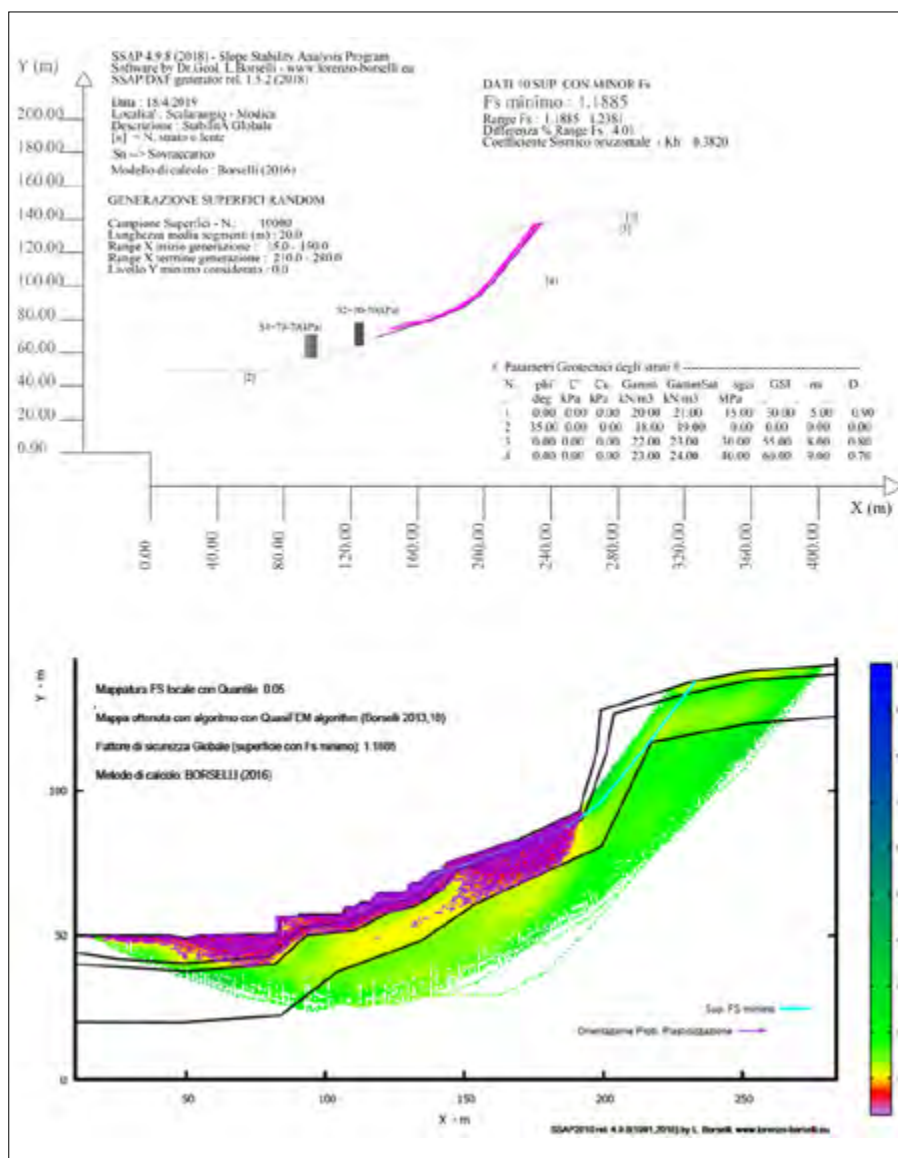


Figura 7. Superfici di verifica con F_s min e Mappatura F_s locale (Software SSAP 4.9.8)



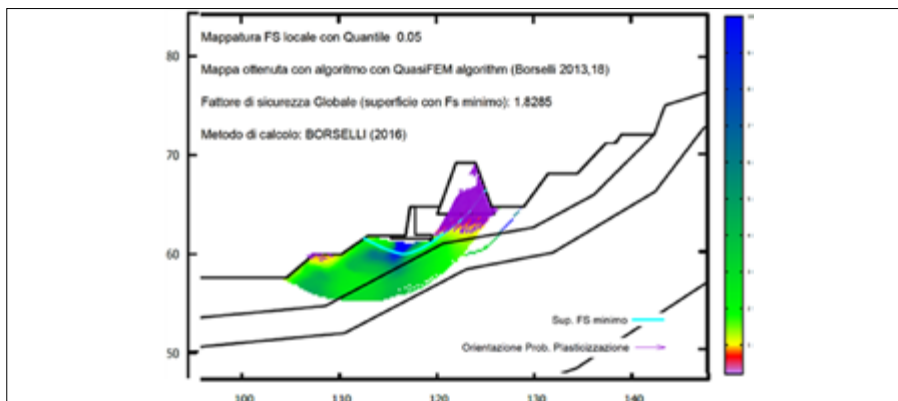
Figura 8. Panoramica dei blocchi instabili a ridosso dell'insediamento in progetto.



Figura 9. Panoramica del fronte ed ubicazione dei principali blocchi residui, considerati per l'individuazione delle traiettorie d'impatto.



Figura 10. Simulazione caduta massi (Software RocFall) - Mappa Fs locale Versante-Barriera (Software SSAP-2018)



via taratura delle simulazioni in funzione delle traiettorie e dei punti di arresto dei blocchi residui rilevati in situ.

I valori dei coefficienti di restituzione normale (Rn) e tangenziale (Rt) (Hoek 1987) risultano: Rn=0,53, Rt=0,99 per il fronte roccioso e Rn=0,35, Rt=0,85 per il versante a gradoni. Dai parametri progettuali: energia sollecitante $E_{sd\ 95\%} = 500$ kJ, velocità $V_{d\ 95\%} = 7,72$ m/s e geometria del rilevato, attraverso l'applicazione della procedura di Kar (1978), risultano valori della profondità di impatto Z, compresi tra 0,90 m e 2,10 m, con una forza impulsiva $F_z=700$ kN.

La barriera paramassi in terra armata, da realizzare secondo le disposizioni delle NTC18 § 6.8 - 7.11.4, sarà costituita da un rilevato con dimensione longitudinale $L=50,00$ m, a sezione trapezia, con base inferiore $B_i=5,85$ m, incassata di 0,76 m sotto il p.c., con altezza fori terra $H=4,50$ m, base superiore $B_s=2,00$ m ed inclinazione dei fronti sull'orizzontale $\beta=70^\circ$. Gli strati sovrapposti avranno spessore $S=0,76$ m, saranno costituiti da "misto granulare" sabbioso-ghiaioso, ad elementi lapidei di natura carbonatica e spigoli vivi, con passante ai $15\text{ mm} \leq 20\%$ ad indice di Plasticità $IP \leq 10$, appartenenti ai gruppi A1, A2.4, A2.5 (CNR-UNI 10006/1963). Il materiale sarà compatto fino al 95% della massa volumica del secco, ottenuta con energia AASHO modificata (CNR 69/78), procedendo per strati di spessore non superiore a 35-40 cm e non inferiore a 20 cm, costipati e rullati con rulli vibranti, in modo da rendere l'addensamento uniforme, fino

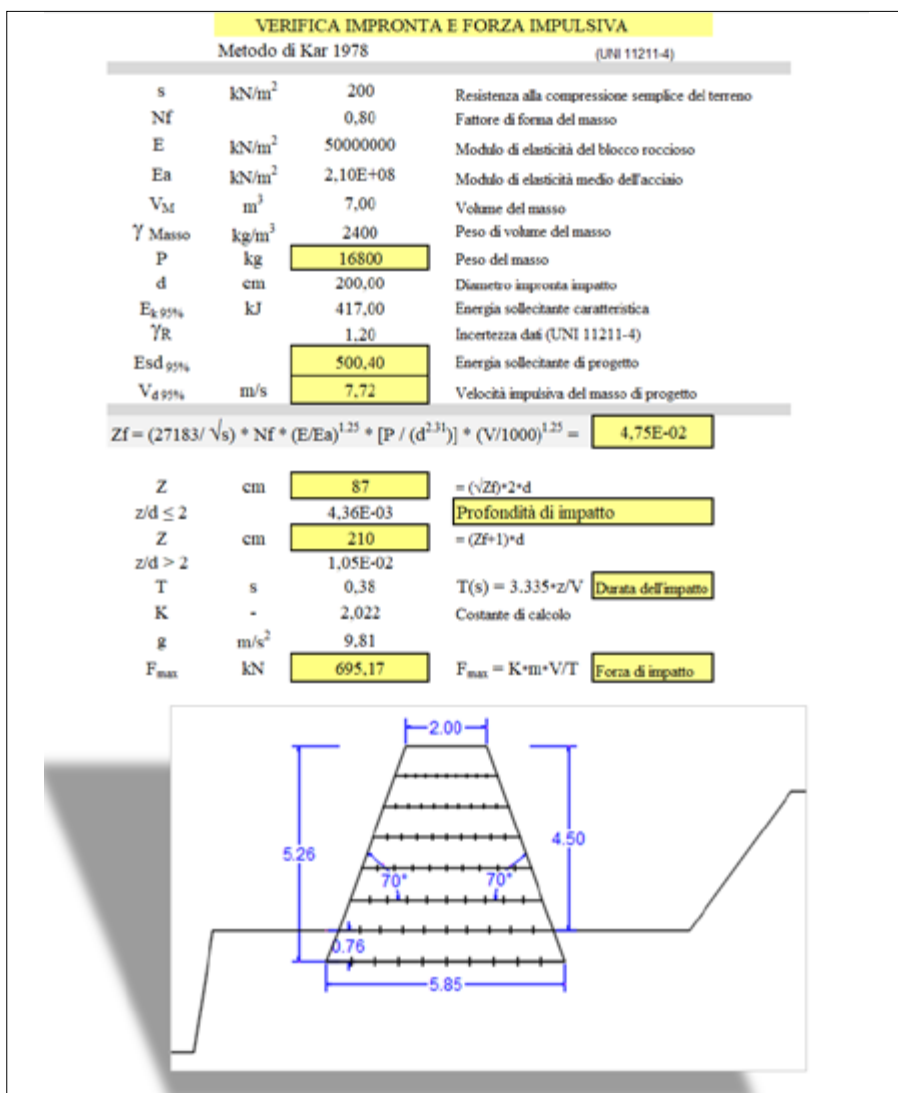


Figura 11. Applicazione metodo di Kar per la determinazione delle profondità di impatto Z.



Figura 12. Rendering progettuale (Per gentile concessione dello studio tecnico Arch. Cannata A.)

ad un modulo di compressibilità non inferiore a $ME \geq 50 \text{ N/mm}^2$. L'armatura di rinforzo tra gli strati è rappresentata da pannelli di rete metallica zincata, con maglia esagonale 8×10 , a doppia torsione, carico di rottura nominale a trazione $Tr \geq 35,00 \text{ KN/m}$, con lunghezza del risvolto $R=1,00 \text{ m}$.

6.2 SISTEMI DI TIPO ATTIVO

Considerata l'entità dei volumi monolitici in gioco e l'alto rischio di distacco, per la stabilizzazione dei blocchi B8, B13 e B18 è stato previsto un sistema di imbracatura con funi metalliche fissate ad ancoraggi perimetrali permanenti, di

tipo passivo o non presollecitati. L'intervento prevede un preciso piano di realizzazione finalizzato soprattutto alla salvaguardia dei tecnici rocciatori durante tutte le fasi operative di cantiere. Nei calcoli di stabilità sono stati considerati i meccanismi di stato limite ultimo SLU, sia a breve sia a lungo termine, in funzione dei cinematismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza dell'ammasso roccioso e dal raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali. La procedura di analisi utilizzata per le verifiche in condizioni sismiche fa riferimento al metodo pseudostatico. Le assunzioni adottate preve-

dono un comportamento rigido-plastico delle masse, con rottura istantanea lungo la superficie di scivolamento, le resistenze sono espresse in termini di tensioni efficaci (criterio di Mohr-Coulomb), le verifiche di sicurezza dei blocchi sono state sviluppate rispetto alla condizione di stato limite ultimo o di collasso secondo l'Approccio 1, Combinazione 2 (A2+M2+R2) delle NTC.

Il dimensionamento geotecnico degli ancoraggi è stato effettuato nel rispetto della condizione ($E_d \leq R_d$), con specifico riferimento allo stato limite di sfilamento della fondazione dell'ancoraggio, secondo l'Approccio 2, Combinazione (A1+M1+R3). La verifica a sfilamento della fondazione dell'ancoraggio è stata effettuata confrontando la massima azione di progetto E_d , con la resistenza di progetto R_d , determinata applicando alla resistenza caratteristica R_k i fattori parziali γ_R (Tab. 6.6.I). Il valore caratteristico della resistenza allo sfilamento dell'ancoraggio R_k è stato determinato con metodi di calcolo analitici, secondo le accomandazioni AI-CAP, attraverso i valori caratteristici dei parametri geotecnici dedotti dai risultati dei rilievi geomeccanici e geostrukturali effettuati in quota. La disposizione perimetrale delle chiodature, realizzate

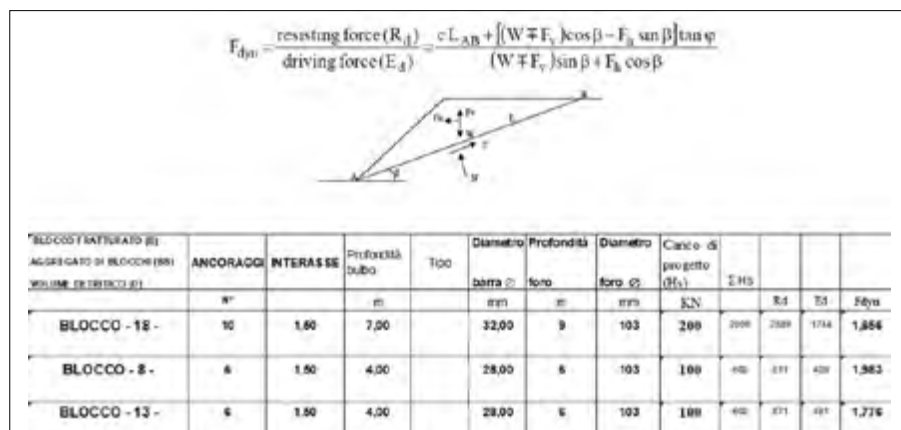


Figura 13. Schema Reazioni / Azioni e parametri progettuali per la verifica di equilibrio dei blocchi stabilizzati, in condizioni sismiche

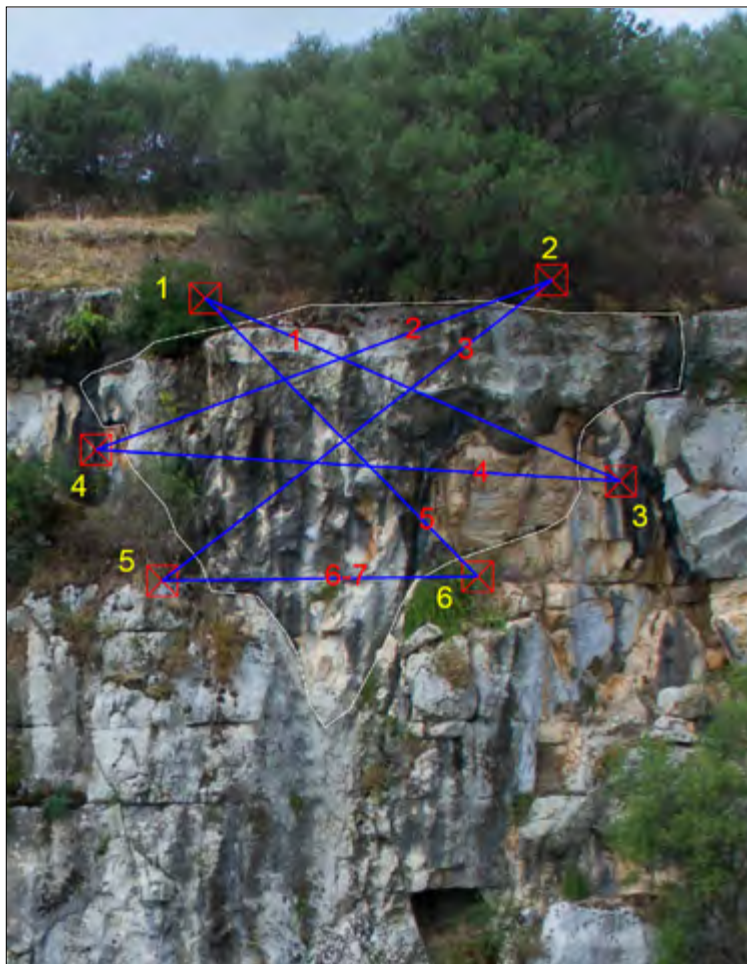
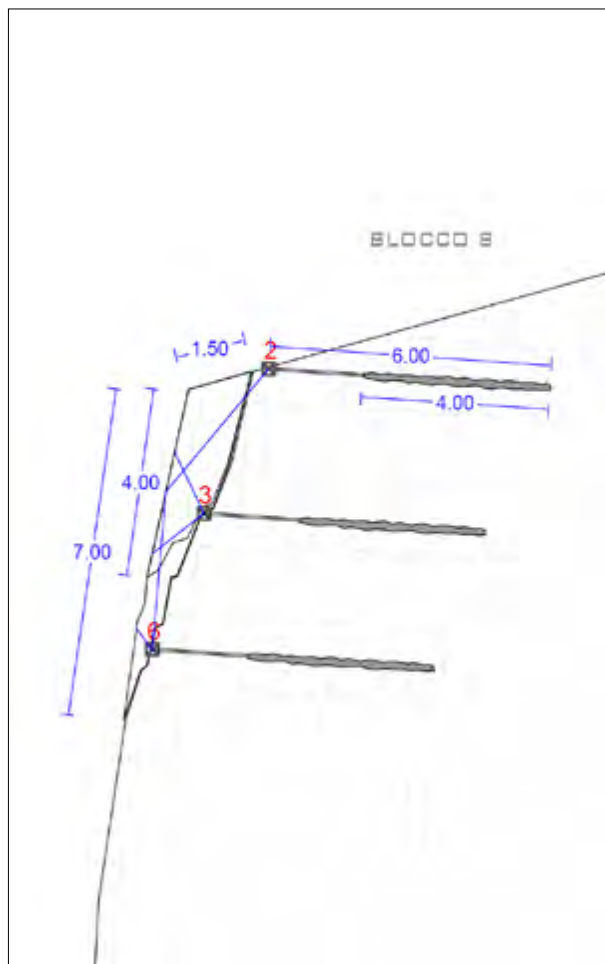


Figura 14. Schema progettuale blocco B8

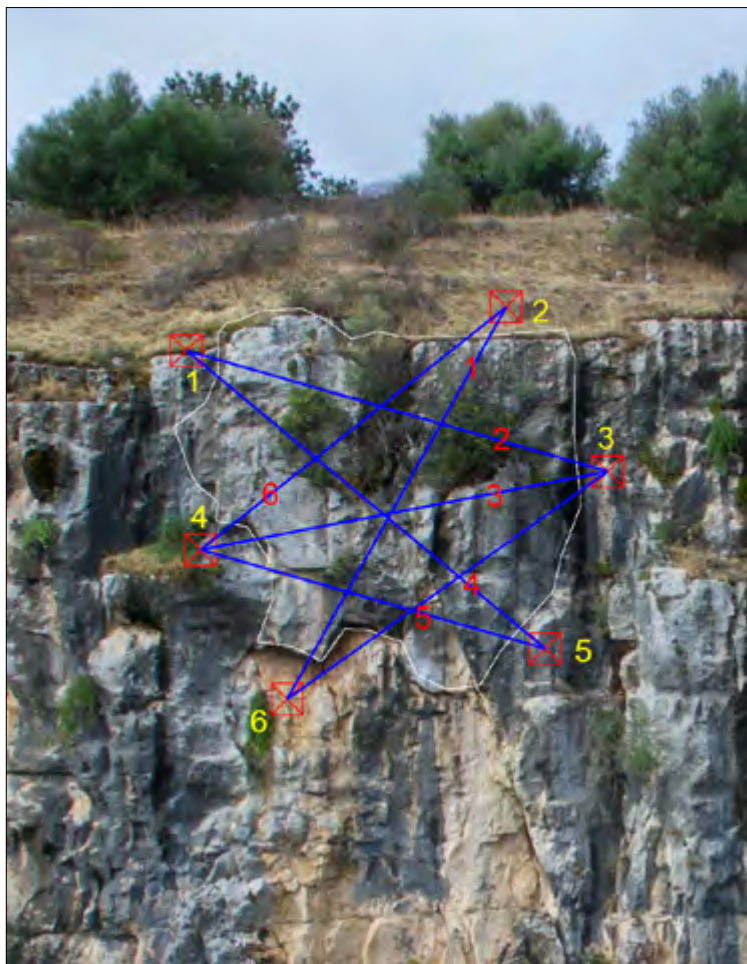
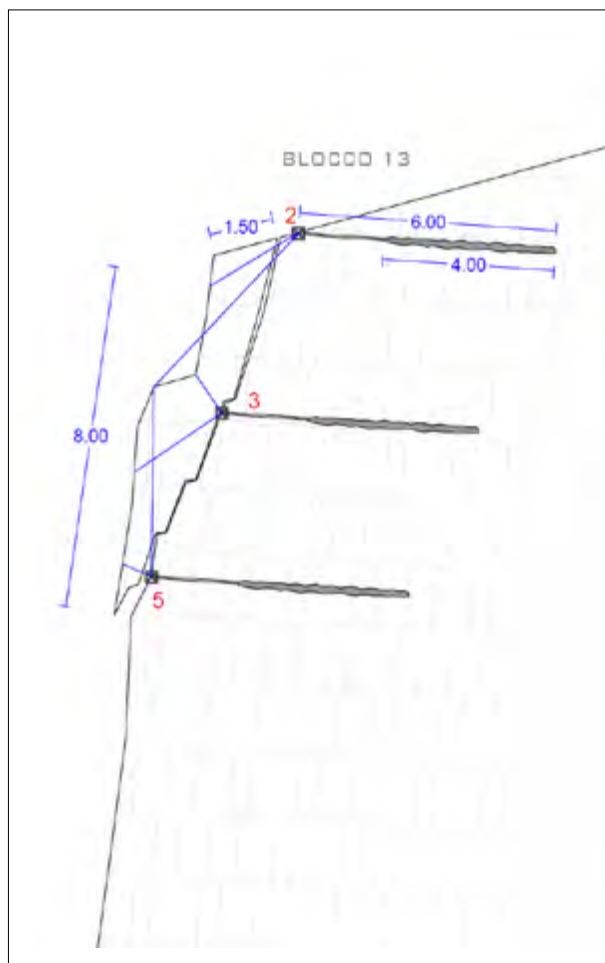


Figura 15. Schema progettuale blocco B13

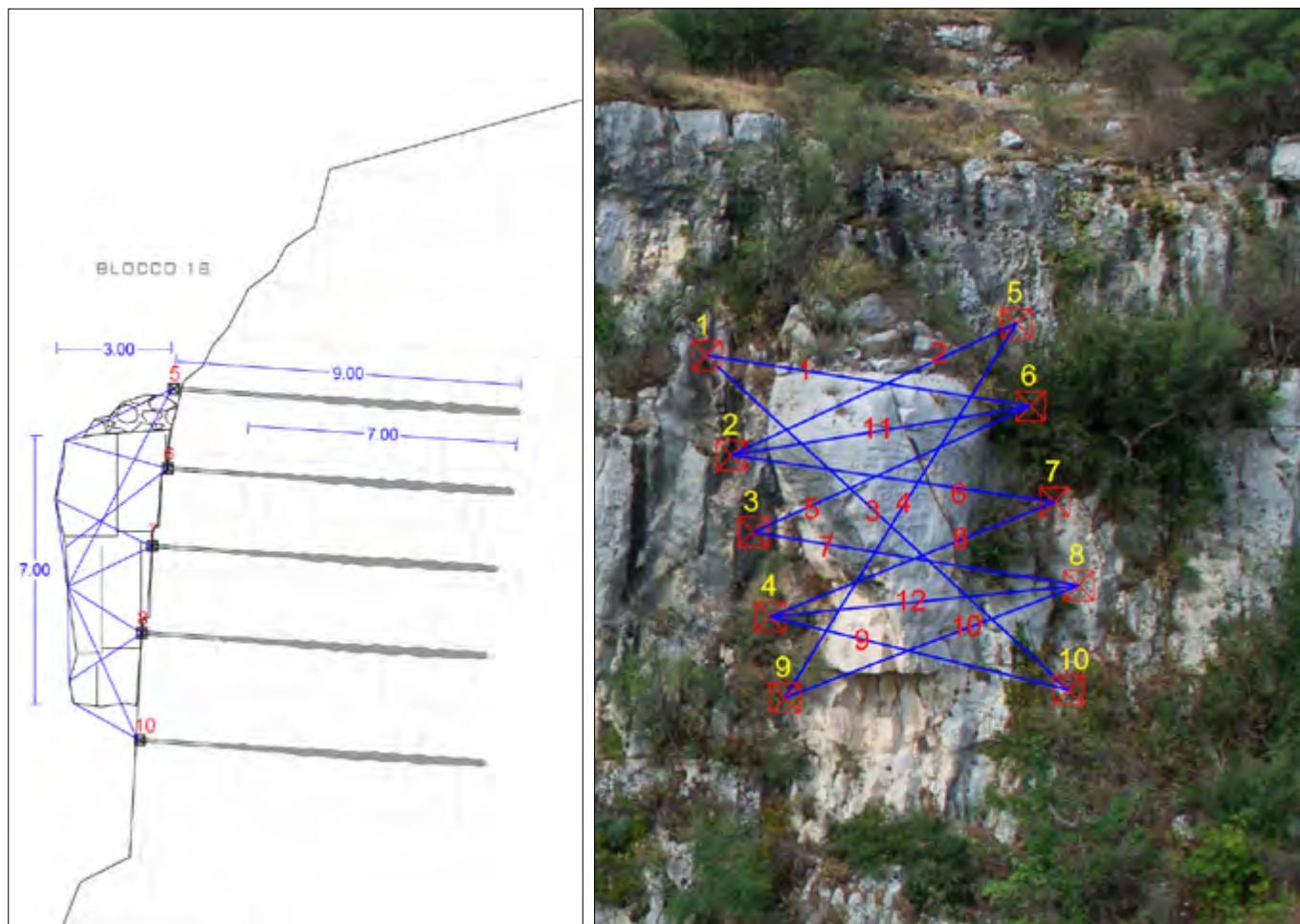


Figura 16. Schema progettuale blocco B18

con funzione di ancoraggio del sistema di imbracatura e non di placcaggio del blocco, esclude la loro interazione diretta con il sistema dei giunti di scorrimento. Inoltre l'orientamento delle chiodature è perpendicolare al fronte, con un valore nullo dell'angolo tra il loro asse e la normale al fronte rispetto al piano orizzontale ($\lambda \approx 0$). Il valore della resistenza caratteristica R_{ak} è inteso come il minore tra i valori derivanti dai fattori di correlazione x_{a3} e x_{a4} , applicati rispettivamente al valore medio e al valore minimo delle resistenze $R_{a,c}$ ottenute dal calcolo. Si riporta di seguito la sintesi dei dati progettuali ottenuti dalle verifiche di equilibrio sviluppate in condizioni statiche e sismiche.

Il progetto ha previsto la realizzazione di fori perimetrali del diametro $\varnothing 103$ mm, al fine di garantire la necessaria tenuta del bulbo ed una efficace azione di "copriferro" a protezione delle armature metalliche dalla corrosione, sebbene l'ambiente non sia particolarmente aggressivo. Le armature sono rappresentate da barre in acciaio armonico, cementate nel substrato roccioso. I diametri delle barre sono compresi tra $\varnothing 32$ e $\varnothing 28$ mm, con lunghezza tolte tra 6 e 9 m. Alla testa delle barre sono applicate piastre e dadi metallici di fissaggio.

La fasciatura dei blocchi è rappresentata da funi in trefoli di acciaio ad anima metallica della sezione $\varnothing 16$ mm. Le funi di acciaio, opportunamente tensionate e bloccate con morsetti di serraggio, sono fissate alle barre di ancoraggio e poste in aderenza al sistema blocco-parete. Le attività di controllo e monitoraggio degli interventi e dei dispositivi di consolidamento, previsti nelle NTC-2018 § 6.3.6 – 6.8.5, saranno effettuati periodicamente da personale qualificato. Considerato il carattere divulgativo della presente relazione, si omettono i tabulati di calcolo relativi alle verifiche agli stati limite SLV Geo e Str dei sistemi di ancoraggio ed i dettagli grafici di progetto, per i quali si rimanda al progetto esecutivo, già approvato dal genio civile di Ragusa.

BIBLIOGRAFIA

- BARLA G. (1976), *Meccanica delle rocce*. CLUT, Torino.
- BARLA G. & SCAVIA C. (1987), *Analisi di stabilità di pendii in roccia in presenza di sisma ed in condizioni tridimensionali*. Riv. It. Geotec., 21 (1), 5-24.
- BIENIAWSKI, Z.T. (1998), *Engineering Rock Mass Classification*. John Wiley: New York.
- CLERICI A., GRIFFLNI L. & POZZI R. (1988), *Procedura per l'esecuzione di rilievi strutturali geomeccanici di dettaglio su ammassi*

rocciosi a comportamento rigido. Geologia Tecnica. 3/88, 21-31.

ERCOLI L. (1981), *Metodo normalizzato per la descrizione delle discontinuità negli ammassi rocciosi*. Riv. It. Geotec. 15(3).209-214.

HOEK E. & BROWN E.T. (2002), *Hoek and Brown failure criterion 2002 edition* (online). Available: <http://www.rocksience.com>.

KAR A.K. (1978), *Projectile penetration into buried structures*. Journal of Structural Division, ASCE 104.

IPPOLITO F., NICOTERA P., LUCINI P., CIVITA M., DE RISO R. (1985), *Geologia tecnica*. ISEDI Petrini editore, Torino.

ISRM - INTERNATIONAL SOCIETY OF ROCK MECHANICS - COMMISSION ON STANDARDIZATION OF LABORATORY AND FIELD TESTS (1981), *Rock Characterization Testing and Monitoring. Suggested Methods*. Brown E.T. (Editor). Pergamon Press.

ISRM - INTERNATIONAL SOCIETY OF ROCK MECHANICS - COMMISSION ON STANDARDIZATION OF LABORATORY AND FIELD TESTS (1978), *Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses*. Int. Journ. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstracts, 15. n.6. 319-368.

MARKLAND J.T. (1972), *A useful technique for estimating the stability of rock slopes when the rigid wedge sliding type of failure is expected*. Imperial College Rock Mechanics Research Report, 19.

PRIEST S.D. (1985), *Hemispherical projection methods in Rock Mechanics*. Imperial College of Science and Technology, London SW7. George Allen & Unwin.

**III COPERTINA
SPONSOR**

Dissesti geologici, frane, crepe, cedimenti e problemi strutturali di edifici o terreni ?

GE.AR. con oltre sessant'anni di esperienza e migliaia di interventi effettuati e garantiti **indaga, consiglia e, se necessario, consolida** fabbricati, opere edili e terreni con competenza certificata e adottando i migliori sistemi e mezzi all'avanguardia.

Collaboriamo, ci confrontiamo e aiutiamo i tecnici nella risoluzione di problematiche geologico-tecniche; numerosi sono i geologi che ci affidano le loro indagini geognostiche e geofisiche.

Facciamo anche il Noleggio a caldo di perforatrici, penetrometri e apparecchiature per indagini geognostiche e geofisiche.

SETTORE GEOGNOSTICA - GEOTECNICA - IDROGEOLOGIA

Siamo in grado di effettuare ogni tipologia di indagini dirette ed indirette:

Sondaggi stratigrafici economici con possibilità di realizzare prove e prelievi a qualsiasi quota; **Sondaggi geognostici standard**; **Prove scissometriche**, prove **pressiometriche** e **prove SPT** in FORO; **Prelievo di campioni indisturbati** con vari tipi di campionatori; **Inclinometri** (misure inclinometriche anche con acquisizione continua); **Piezometri** Norton, di Casagrande a Corda Vibrante (anche con acquisizione continua); **Prove di permeabilità** in foro (Lefranc, lugeon); **Sondaggi ambientali** con carotieri aperti e a pistoni, con criteri dettati dalle normative in materia; **Prove penetrometriche dinamiche** medie, pesanti, superpesanti (SCPT-DPSH); **Prove penetrometriche statiche** sino a 20KN; **Prove da carico su piastra**; **Prove di carico su pali e su micropali**, con fornitura e organizzazione dei sistemi di contrasto **Prove di tesatura tiranti**, a barre e a trefoli, anche con celle carico; **Prove di pompaggio su pozzi** acquiferi.

SETTORE GEOFISICA: Indagini **Geelettriche** 2d e 3d tomografie elettriche; **Prove Sismiche** a rifrazione; **Down hole**; **Cross hole**; **Tomografie sismiche**; **MASW**.

SETTORE CONSOLIDAMENTO EDIFICI E TERRENI E INGEGNERIA NATURALISTICA

Consolidamenti di opere murarie, strutture lesionate e pareti di roccia degradata. Specialisti nell'esecuzione e messa in opera di **PALI** di medio e grande diametro all'interno degli edifici ed in siti molto angusti. **Iniezioni di RESINE** e **MALTE CEMENTIZIE**, **GUNITI**, **SPRITZ BETON** per consolidamenti e impermeabilizzazioni. Interventi di **INGEGNERIA NATURALISTICA**. **PALI** da Ø250mm a 1.200mm; **MICROPALI** da Ø60mm a 300mm; **Paratie tirantate**; **TIRANTI**, a trefoli e a barre; **CATENE**; **Chiodature** **Carotaggi** e tiranti nelle murature con **carotatrici al diamante** sino a 25metri prof.; **Perforazioni orizzontali**; **Dreni** verticali e sub-orizzontali; **Gabbionate**; **Reti antierosione**; **Reti strutturali**; **Geostuie**; **Idrosemine**.

Possibilità di detrazione fiscale su interventi di consolidamento e miglioramento sismico, con iva ridotta al 10%



GE.AR.sas

di **Consolidamenti**
ARCANGELI Giorgio

ACCREDIA **ATTICO SOA** **aif**
UNI EN ISO 9001:2008 OS21 - OS20-B
Azienda Attestata e qualificata per l'esecuzione di lavori pubblici

Strada Calvese, 20 - 05035 NARNI (TR)
Tel. **0744 79.68.84** Fax **0744 79.70.14**
e-mail: **info@ge-ar.it** - sito web: **www.ge-ar.it**

grafica Stefano Arcangeli