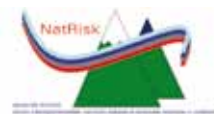


Realizzato nell'ambito del progetto NAPEA



Progetto di cooperazione transfrontaliera Italia-Francia
Alcotra 2007-2013



ISBN 978-88-906677-0-1



9 788890 667701

GUIDA PRATICA DI PEDOLOGIA

Rilevamento di campagna,
principi di conservazione
e recupero dei suoli

Fabienne **Curtaz**, Gianluca **Filippa**,
Michele **Freppaz**, Silvia **Stanchi**,
Ermanno **Zanini**, Edoardo A.C. **Costantini**





GUIDA PRATICA DI PEDOLOGIA

Rilevamento di campagna,
principi di conservazione
e recupero dei suoli

Fabienne **Curtaz**, Gianluca **Filippa**,
Michele **Freppaz**, Silvia **Stanchi**,
Ermanno **Zanini**, Edoardo A.C.**Costantini**

**A cura di**

Fabienne Curtaz e Ermanno Zanini

Autori

Fabienne Curtaz (I) (II)

Gianluca Filippa (II)

Michele Freppaz (II)

Silvia Stanchi (II)

Ermanno Zanini (II)

Edoardo A.C. Costantini (III)

(I) DIVAPRA Università di Torino

(II) NatRisk Università di Torino

(III) CRA-Consiglio per la ricerca e la sperimentazione in agricoltura

Il progetto

Il progetto NAPEA (2009-2011) è stato cofinanziato dall'Unione Europea, attraverso il FESR, nel quadro del programma ALCOTRA 2007-2013 (progetto n. 101), dalla Repubblica Italiana e dalla Regione Autonoma Valle d'Aosta. I partner del progetto sono: Regione Autonoma Valle d'Aosta, Assessorato Agricoltura e risorse naturali (capofila); Institut Agricole Régional, Aosta (I); SUACI Alpes du Nord, Saint-Baldoph (F). Al progetto hanno contribuito il Centro di ricerca sui Rischi Naturali in ambiente montano e collinare (NatRisk) e il Dipartimento di Valorizzazione e Protezione delle Risorse Agroforestali (DIVAPRA) dell'Università di Torino.

Editore

Institut Agricole Régional,
Rég. La Rochère 1/A, I-11100 Aosta.

Stampa

Tipografia Testolin Bruno

ISBN

978-88-906677-0-1

Progetto grafico

Lauriane Talichet

Ringraziamenti

Gli autori desiderano ringraziare tutti coloro che, con grande disponibilità, hanno collaborato alle attività di ricerca e tutte le persone che hanno dato un prezioso contributo alla realizzazione del progetto e a questa pubblicazione:
Luca Dovigo, Cristina Galliani, Assessorato Agricoltura e risorse naturali, Regione Autonoma Valle d'Aosta;
Angèle Barrel, Ordine dei Dottori Agronomi e Forestali della Valle d'Aosta;
Michele D'Amico e Maria Martin.



Introduzione	5	Scheda C2: capacità d'uso dei suoli	67
Parte A: il suolo (E. Zanini, M. Freppaz)	11	Scheda C3: attitudine delle terre (Land Suitability)	70
Scheda A1: cos'è il suolo?.....	12	Riferimenti bibliografici.....	74
Scheda A2: proprietà chimiche del suolo	15	Parte D: la morte del suolo	
Scheda A3: proprietà fisiche del suolo.....	22	(S. Stanchi, E. Zanini)	75
Scheda A4: pedogenesi	27	Scheda D1: patologia del suolo	76
Scheda A5: variabilità spaziale dei suoli... ..	35	Scheda D2: perdita di suolo per erosione....	82
Scheda A6: pedoclima e sua caratterizzazione.....	41	Riferimenti bibliografici.....	90
Riferimenti bibliografici	44	Parte E: l'impatto dell'uomo sul suolo	
Parte B: indagini di campagna e di laboratorio (E.A.C. Costantini, M. Freppaz, E. Zanini)	45	(G. Filippa, F. Curtaz)	91
Scheda B1: indagine di campagna	46	Scheda E1: suoli antropogenici e tecnologici	92
Scheda B2: unità ambientali omogenee... ..	48	Scheda E2 ambiti in cui è possibile il restauro/recupero pedo-ambientale	100
Scheda B3: il pedon	50	Scheda E3: parametri per il restauro	102
Scheda B4: il profilo	52	Scheda E4: progettazione del restauro/ recupero.....	104
Scheda B5: campionamento e analisi chimiche e fisiche di base.....	56	Scheda E5: materiali correttivi utili per il restauro pedologico	111
Scheda B6: database pedologici.....	59	Scheda E6: precauzioni, raccomandazioni, operazioni integrative	120
Riferimenti bibliografici	60	Riferimenti bibliografici	124
Parte C: il suolo nel territorio		Appendici (F. Curtaz)	125
(E. Zanini, S. Stanchi).....	61		
Scheda C1: classificazione di fertilità secondo la fertility capability soil classification (FAO).....	62		



Nella progettazione degli interventi di miglioramento fondiario occorre tenere conto della qualità iniziale del suolo e delle sue specifiche caratteristiche (**Parte A**). I metodi d'indagine devono essere standardizzati e condivisi, in maniera tale che i risultati siano confrontabili e si possa arrivare alla creazione di un database unico (**Parte B**). Gli interventi di miglioramento fondiario mirano a migliorare l'accessibilità dei fondi e dove possibile a migliorare la possibilità di meccanizzazione degli stessi. Questi obiettivi però non possono essere ottenuti sempre e comunque, anche a scapito di suoli di elevata qualità, ed occorre quindi graduare l'intensità dell'intervento in funzione delle specifiche caratteristiche del suolo ante operam (**Parte C**). In particolare si devono limitare i rischi di degradazione dei suoli in seguito agli interventi, che devono essere condotti con grande attenzione, in relazione alla loro elevata vulnerabilità, in particolare negli ambienti di montagna (**Parte D**). Sulla base delle priorità d'intervento occorre poi definire con chiarezza il suolo-obiettivo (**Parte E**), il più simile possibile alla situazione ante operam, se non, in alcuni casi, con caratteristiche migliori, con la definizione di tutti gli interventi necessari per il suo conseguimento.

■ Generalità sull'ambiente fisico e pedologico della Valle d'Aosta

Geografia fisica e umana

La posizione geografica di un'area influenza molto sui tipi di suolo che si possono rinvenire e sulle possibilità di utilizzo agricolo.

La Regione Autonoma Valle d'Aosta è situata all'estremità Nord-Ovest della penisola italiana ed è compresa tra 45°28' e 46° di latitudine Nord e tra 4°31' e 5°39' di longitudine Ovest. Copre una superficie totale pari a 3260 km² e la popolazione residente ha una densità di circa 35 persone per km². Tale dato è di particolare interesse al fine di fornire una prima indicazione sull'entità ridotta dell'urbanizzazione e, quindi, sulla potenziale disponibilità del resto del territorio ad uso agro-forestale. Inoltre, la maggior parte dei residenti vive concentrata nel fondovalle, mentre alcuni villaggi di montagna sono stati progressivamente abbandonati.

Amministrativamente, la Regione è divisa in 74 Comuni; il capoluogo Aosta conta circa 40.000 abitanti, mentre negli altri Comuni la popolazione va dai circa 5.000 abitanti di Saint Vincent ai circa 100 di Rhêmes-Notre-Dames. Questa evidente disomogeneità mette in luce come la popolazione valdostana, nel 900 e maggiormente nel secondo dopoguerra, si sia addensata nella valle principale, dove le condizioni morfologiche

e climatiche risultano meno avverse per le pratiche agricole. Ciò nonostante, l'agricoltura oggi ha un'importanza secondaria rispetto alle attività commerciali, industriali e turistiche.

Il territorio valdostano è costituito da quattordici grandi valli laterali, ciascuna delle quali riversa le sue acque nella Dora Baltea, che attraversa la regione lungo tutto il suo asse principale. I versanti si presentano piuttosto scoscesi, il che rende indubbiamente problematica e faticosa l'attività agricola, che si espleta, peraltro, da secoli grazie al duro lavoro dei montanari. I ghiacciai attuali sono molto estesi, nonostante la regressione degli ultimi anni. Essi occupano circa 1/20 della superficie regionale.

Geomorfologia

I depositi glaciali rappresentano una frazione assai significativa dei sedimenti presenti nei suoli valdostani. Infatti, il glacialismo rappresenta il fenomeno del Quaternario più importante in Valle d'Aosta. Il modellamento glaciale ha prodotto un profilo ad "U" ben visibile nelle porzioni superiori delle vallate laterali, mentre la parte inferiore delle stesse è stretta da gole. Infatti, le valli laterali sono state modellate da ghiacciai di dimensioni inferiori rispetto a quello che erodeva la valle centrale. Esse sono, quindi, meno incise e, di conseguenza, il fondo del loro letto si trova ad una altezza superiore. Inoltre, in seguito alla deglaciazione, nei gradini rocciosi i torrenti hanno prodotto delle gole di raccordo tra il livello del letto del ghiacciaio principale e quello dei ghiacciai affluenti. La parte inferiore delle valli laterali è quindi caratterizzata dall'erosione

torrentizia, mentre la parte superiore è rimasta all'incirca nello stato in cui l'avevano lasciata i ghiacciai quaternari al loro ritiro, ossia col fondo a truogolo (o "à berceau") e le pareti verticali. Come è facilmente comprensibile, questa eterogeneità morfologica condiziona il tipo di pratiche agricole realizzabili e il loro grado di estensione. Per questo motivo che il paesaggio, i villaggi e le attività degli abitanti della parte inferiore delle valli laterali sono così differenti da quelli delle alte vallate. Le esigenze antropiche di massimo sfruttamento della risorsa suolo sono fortemente condizionate dall'acclività del territorio. Questa, infatti, influisce fortemente sull'estensione della superficie utile per le pratiche rurali. In tale ottica, è importante sottolineare come la Valle d'Aosta presenti un profilo trasversale asimmetrico, con il versante sinistro meno inclinato del destro idrografico della Dora e quindi molto più ampio di quest'ultimo.

L'intera valle può poi essere divisa in due porzioni, a seconda dell'effetto che il ghiacciaio Balteo ha prodotto: la prima interessa l'area a monte di Verrès, la seconda quella a valle. Il tronco a monte di Verrès presenta abbondanti depositi glaciali su entrambi i versanti della valle principale, anche se in sinistra idrografica della Dora Baltea sono molto più sviluppati che non in destra, mentre del tutto subordinati risultano gli arrotondamenti e le striature delle rocce cristalline. Per contro, a valle di Verrès, gli arrotondamenti, le montonature, le levigature e le striature sono molto sviluppate, ma mancano grossi corpi di deposito glaciale e i massi erratici sono praticamente assenti.

Fenomeni di rilascio gravitativo hanno interessato il substrato, come conseguenza del disequilibrio di carico generatosi a seguito del rapido ritiro della massa glaciale; ciò ha contribuito, da un lato, al verificarsi di eventi franosi presenti in molti punti del territorio valdostano; dall'altro il rilascio degli ammassi rocciosi ha creato condizioni di permeabilità per fratturazione abbastanza elevate, aspetto evidenziato dalla consistente quantità di sorgenti di notevole portata. Un altro elemento morfologico caratteristico di notevole rilevanza ad uso agricolo è la presenza di "coni di deiezione" allo sbocco dei torrenti nella valle principale. Infatti la brusca riduzione di pendenza dell'alveo fluviale determina condizioni di deposito dei materiali da parte delle acque. Queste forme, per la granulometria e la gradazione del sedimento, sono molto fertili e fin dall'antichità sono state luogo preferenziale di insediamento.

Nel corso dei secoli, per ovviare alle situazioni più avverse dal punto di vista morfologico gli abitanti hanno cercato di realizzare un'imponente opera di terrazzamento per aumentare la superficie coltivabile.

Caratteristiche climatiche

Il clima della Valle d'Aosta è fortemente condizionato dalle notevoli differenze di altitudine, di orientamento e di esposizione dei versanti delle valli; inoltre, la disposizione prevalente Est-Ovest dell'asse della valle principale acuisce la disomogeneità climatica di questa regione, ove il versante Sud è caratterizzato da una maggiore aridità rispetto al versante Nord, a causa del differente grado d'insolazione, fattore di cui si risente, in

modo particolare, nei mesi invernali. Si parla in genere di clima semi-continentale di montagna di tipo temperato-freddo con precipitazioni scarse e notevole grado di aridità, dovuto alle catene montuose che causano il verificarsi delle precipitazioni principalmente in prossimità delle stesse; tali precipitazioni, nei mesi più freddi, si verificano sotto forma di neve, la quale costituisce una riserva d'acqua destinata ad essere rilasciata con il disgelo primaverile.

La quantità di precipitazioni che raggiunge il territorio regionale è direttamente influenzata dalla particolare situazione geografica della valle: infatti, le imponenti catene montuose che la circondano fanno da sbarramento per la maggior parte delle perturbazioni che qui si scaricano di preferenza in prossimità delle cime più elevate e sul versante sopravvento. Laddove invece l'energia dei rilievi è minore, la catena montuosa non costituisce uno sbarramento per le perturbazioni che, quindi, raggiungono il territorio valdostano: questo è il caso della zona del Piccolo San Bernardo, del Gran San Bernardo e del Col de la Seigne. Da studi recenti che hanno considerato anche la geochimica isotopica delle acque di precipitazione, è emerso che il settore nord-occidentale del bacino della Dora Baltea è sotto l'influsso prevalente delle perturbazioni di origine atlantica, mentre il settore centrale e quello meridionale sono caratterizzati da un regime misto, a prevalenza mediterranea.

Nel fondovalle accentuano le condizioni di aridità e di scarsa piovosità: il settore centrale della valle, tra Aymavilles e Châtillon, presenta una media annua delle precipitazioni inferiore ai 600 mm

e la media di Aosta è di 545 mm. Per il fatto di trovarsi in una conca, il capoluogo valdostano risulta infatti riparato dai venti carichi di umidità provenienti sia dal Piemonte sia dalla Val d'Isère. Tali condizioni di siccità determinano il ricorso all'irrigazione artificiale delle colture, peraltro consentita dall'abbondante presenza delle acque di fusione dei ghiacciai.

Il termoudogramma (§ APPENDICE 1) secondo Walter & Lieth, (1960) evidenzia l'esistenza di un accentuato deficit idrico estivo nell'area di Aosta.

L'aridità del clima, evidenziata precedentemente, è accentuata dalla notevole ventosità che caratterizza le giornate valdostane per quasi tutto l'anno. I venti prevalenti spirano più comunemente da Ovest ad Est con rinforzi nelle ore pomeridiane. Sono poi frequenti le brezze di valle e di monte, con spostamenti giornalieri di masse d'aria calda dal fondovalle verso le cime durante il mattino (quando l'aria si riscalda più facilmente e perciò sale) e di aria fresca in senso inverso durante il pomeriggio e la notte. Il ciclo giornaliero delle brezze determina un rimescolamento dell'aria tra il fondovalle e le quote superiori e questo fatto risulta molto importante ai fini dell'allontanamento degli agenti inquinanti dalle zone di emissione alle quote superiori, dove l'aria è più pura. Esiste anche un altro importante fenomeno meteorologico che contribuisce a rendere caratteristico il clima della valle, rappresentato dal foehn, un forte vento caldo che spazza il fondovalle, ripulendo rapidamente l'atmosfera dagli inquinanti.

Allontanandosi progressivamente dal centro-valle, indipendentemente dalla

direzione, si assiste invece ad un aumento progressivo delle medie annuali delle precipitazioni.

Le precipitazioni che si verificano al di sopra dei 2000 m di quota sono per lo più a carattere nevoso e ricoprono un ruolo molto importante, in quanto costituiscono delle riserve d'acqua che vengono trattenute nei mesi freddi e, a partire dalla primavera, vengono a mano a mano rilasciate, andando ad alimentare il sistema acquifero superficiale e quello profondo.

Come si è visto precedentemente, la Regione è caratterizzata da situazioni ad energia del rilievo molto differenti tra loro. E' quindi ovvio che non esista un'unica tipologia climatica, ma piuttosto una quantità di climi differenti caratterizzanti le varie quote altimetriche e/o i gruppi e i settori di valli. La multiforme disposizione del rilievo determina, inoltre, diverse esposizioni topografiche e, quindi, un diverso irraggiamento del suolo. In particolare, vi sono due situazioni principali: l'una, nota come "Adret", costituita dai versanti esposti a Sud e a Ovest, è quella che riceve i raggi solari con incidenza più o meno vicina ai 90° e pertanto con il massimo potere calorifico; l'altra, detta "Envers", caratterizzata invece dai versanti esposti a Nord e a Est, è quella che riceve i raggi molto inclinati e perciò molto meno potenti.

La differenza di temperatura media fra gli opposti versanti è notevolissima e le conseguenze sono ben evidenti nell'aspetto stesso del paesaggio: insediamenti umani permanenti e coltivazioni sull'Adret e boschi, prati e pascoli sull'Envers.

In generale si osservano estati fresche ed inverni rigidi, con abbondanti nevicate.

L'evoluzione delle temperature, nel corso dell'anno, è simile nelle varie stazioni di misura esistenti sul territorio: infatti si rileva un progressivo ed uniforme aumento fino a raggiungere le medie massime nel mese di luglio, per poi ridiscendere progressivamente. La zona di Aosta mostra una media annua delle temperature di 10,2°C, con la media del mese più freddo di 0,6°C e quella del mese più caldo di 20,7°C. Inoltre, non trascurabile in ambito agricolo, è il fatto che le temperature decrescono a mano a mano che ci si inoltra nella valle, da Pont-Saint-Martin in poi.

Caratteristiche idrografiche

Dal punto di vista idrografico, la valle è solcata in tutta la sua lunghezza dall'alveo della Dora Baltea, fiume a regime nivo-glaciale, il quale nasce dai ghiacciai del Monte Bianco e che raccoglie la totalità delle acque provenienti dai torrenti che profondamente incidono le valli laterali, per poi continuare a scorrere nella pianura canavesana. Le grosse portate sono concentrate in cinque mesi all'anno, da Maggio a Settembre. A Maggio comincia, infatti, la fusione delle nevi sulle montagne e a luglio si realizza il culmine di portata. La fusione dei ghiacciai mantiene abbondante la portata durante tutta l'estate. A partire da Ottobre, la portata diminuisce rapidamente, fino a raggiungere il minimo a Dicembre-Gennaio. Questo tipo di regime di portata ha consentito all'agricoltore valdostano, da tempo immemorabile, di praticare un'agricoltura redditizia nonostante la scarsità di piogge e le asperità del territorio e grazie ai canali irrigui a mezza costa, denominati "rus", che vanno oggi scompa-



Fig. 1
Particolare
del ru Gattinery
nel comune
di Gaby (AO)

rendo a causa dell'avvento dei moderni sistemi di irrigazione (Fig. 1).

Caratteristiche vegetazionali

La flora valdostana, che conta più di 1500 specie, possiede spiccate caratteristiche alpine. Essa conserva numerose testimonianze delle migrazioni vegetazionali avvenute durante le glaciazioni con specie rimaste confinate in particolari nicchie ecologiche. Determinate specie, infatti, sono presenti solo in aree molto ristrette e, risultando sconosciute altrove, danno luogo ai cosiddetti "endemismi": queste vere e proprie rarità botaniche risultano concentrate ad esempio nell'alta valle di Cogne dove vengono protette nell'ambito del Parco Nazionale del Gran Paradiso (tra i più importanti ricordiamo la *Linnaea borealis*, comune nell'Artico, la *Potentilla pennsylvanica* e l'*Astragalus centroalpinus*). Nell'antichità il fondovalle principale aostano era ricoperto di foreste di ontano, querce e faggio nelle zone più elevate. Nel tempo, l'esigenza di poter disporre di terreni agricoli, ha sostituito quei boschi colture di frutta, cereali, vite, prati e

pioppi. Molti boschi, però, sono tuttora esistenti e risalgono i versanti sia della valle centrale, sia di quelle laterali con alcune differenze legate all'esposizione. I versanti esposti a mezzogiorno, infatti, presentano, sotto gli 800 metri, in prevalenza associazioni di castagno (*Castanea sativa*), roverella (*Quercus pubescens*) e robinia (*Robinia pseudacacia*). Il versante dell'envers, invece, dai 700 metri in poi, presenta associazioni di pino silvestre (*Pinus silvestris*) e larice (*Larix decidua*), con prevalenza di pino nella zona tra Nus e Morgex. Il faggio (*Fagus sylvatica*) è limitato alle valli di Gressoney e Champorcher. Dai 1000 ai 2000 metri su tutto il territorio della regione, dominano i boschi di conifere costituiti da abete rosso (*Picea excelsa*), abete bianco (*Abies alba*) e larice (*Larix decidua*), che raggiunge facilmente le quote più elevate, talvolta in associazione con il pino cembro (*Pinus cembra*). Al limite della presenza del larice e fino ai 2500 metri la vegetazione è poi rappresentata dall'arbusteto, con prevalenza di rododendro (*Rhododendron ferrugineum*), associato a mirtillo nero (*Vaccinium myrtillus*), mirtillo rosso (*Vaccinium vitis-idaea*, *V. uliginosum*), salice (*Salix reticulata*) e ginepro nano (*Juniperus communis*). Laddove l'arbusteto ha ceduto spazio ai pascoli, l'inizio dell'estate è segnato dalla fioritura degli anemoni, astri, viole, campanule, primule, trifogli e di molte altre specie mentre nelle zone più impervie fioriscono artemisie, achillee, papaveri, genziane, stelle alpine. Il pascolo alpino occupa i terreni oltre i 2500 m, fino a raggiunge-

re l'orizzonte nivale. Qui la vegetazione, esclusivamente erbacea, assume caratteri da tundra e steppa, con le differenze tra suoli acidi e calcarei: nei primi domina la *Carex curvula*, nei secondi la *Carex firma*, *Dryas octopetala*, *Silene acaulis* e diverse sassifraghe. Più in alto resiste la flora delle morene (*Salix herbacea*, *Dryas octopetala*) e delle rupi, con muschi e licheni.

Stato dei suoli

Il glacialismo rappresenta il fenomeno Quaternario più importante ed il relativo materiale di deposito e l'affioramento del cristallino sono presenti sui versanti di tutto l'asse della valle e nel piano di fondovalle con litotipi misti da carbonatici ad acidi, su cui opera un clima semi-continentale di montagna di tipo temperato-freddo, con precipitazioni scarse, soprattutto nevose, e con notevole grado di aridità. Benché molto influenzati dalla copertura vegetale, i fattori di vulnerabilità dei suoli sono la modesta profondità, l'elevato tenore in scheletro, l'evoluzione della sostanza organica e dell'acidificazione del profilo. In linea del tutto generale i suoli si distinguono in **a**) suoli vulnerabili all'erosione e potenzialmente soggetti a desaturazione, poco profondi, scheletrici e instabili (soprattutto Entisuoli) o stabilizzati di prateria d'alta quota (talora Mollisuoli) o sotto copertura forestale di conifera (criptopodzol - Podzol); **b**) suoli colluvio-alluviali più profondi, meno scheletrici e più stabili (soprattutto Inceptisuoli).



Parte A: il suolo

Scheda A1: cos'è il suolo?



Vi sono due sorgenti basilari della nostra conoscenza attuale del suolo: la prima è la pratica raggiunta dai contadini nell'arco di secoli di esperienze e di errori, mentre la seconda è la Scienza del Suolo che, iniziata nel XVII secolo, ha avuto il suo massimo impulso a partire dalla seconda metà del XIX. Oltre un secolo di osservazioni e di ricerche hanno portato gli studiosi alla conclusione che, al contrario dei minerali, dei vegetali e degli animali, i suoli non sono entità nettamente distinte ed esattamente individuabili: essi, nell'ambito di una visione ecologica globale, devono essere considerati come fenomeni di interfaccia della superficie terrestre appartenenti alla **pedosfera** (dal greco *pedon*=suolo), cioè all'ambiente in cui litosfera, atmosfera, idrosfera e biosfera si sovrappongono ed interagiscono. Finché non vi fu vita sulle terre emerse, non vi fu suolo nel senso proprio della parola: le rocce erano direttamente esposte agli agenti dell'alterazione chimica e fisica, nonché all'erosione, in un ambiente scarso di ossigeno e privo di organismi viventi. Solo verso la metà dell'era Paleozoica l'ossigeno libero divenne relativamente abbondante in seguito alla comparsa dei processi di fotosintesi ed al riciclo biogeochimico dei suoi prodotti. Con la colonizzazione delle terre emerse da parte della biomassa, differenti tipi di alterazione delle rocce e importanti prodotti residuali, tra cui i suoli, sono andati lentamente evolvendosi. Fattori endogeni, come il vulcanesimo

ed esogeni, come le glaciazioni, l'erosione e la sedimentazione, hanno interferito con la genesi e l'evoluzione dei suoli modificando le superfici, i materiali minerali e le condizioni bioclimatiche con cui si trovano in equilibrio. Pochi suoli relitti conservano caratteristiche legate a condizioni bioclimatiche molto antiche: la maggior parte dei suoli attualmente osservabili si è formata durante il Quaternario ed è pertanto opportuno aver presente la storia geologica, climatologica e botanica degli ultimi due milioni di anni: i cambiamenti climatici e vegetazionali, i cicli di erosione e rideposizione eolica e fluvioglaciale, il livello dei mari e gli agenti geotettonici che perdurano fin dal Pleistocene sono alla base delle profonde variazioni del substrato su cui il suolo si è evoluto e/o si evolve, nonché responsabili in certi casi dell'interruzione della pedogenesi per seppellimento di suoli già formati che risultano essere pertanto dei paleosuoli.

L'origine del suolo, le sue proprietà, la sua descrizione e classificazione sono oggetto della **pedologia**: essa considera il suolo come un corpo naturale da studiare anatomicamente ed ecologicamente, cioè nelle sue componenti e nel suo ambiente, senza prendere in considerazione le relazioni suolo-pianta in termini di quantità, qualità e soprattutto intensità. Le manifestazioni delle varie proprietà del suolo, le loro reciproche relazioni e quelle con la nutrizione e la crescita vegetale sono in-

vece oggetto dell'**edafologia** (dal greco *edaphos*=nutrimento): sotto questo punto di vista si considerano soprattutto le ragioni della variabilità morfologica ed altitudinale del suolo e la possibilità di conservazione od incremento della sua produttività.

I due aspetti - pedologico ed edafico - sono tuttavia interdipendenti: infatti la funzionalità e la produttività di un suolo sono legate al sito in cui esso si trova e pertanto, per caratterizzarle, il suolo deve essere rilevato, studiato e tipizzato e nessun laboratorio o nessun modello potranno correggere scelte sbagliate dovute ad una non corretta descrizione o indagine di campagna. D'altro canto solo attraverso i dati analitici della microbiologia, della mineralogia, della fisica e della chimica del suolo, si possono avere le conoscenze di base indispensabili per capire le proprietà intrinseche di questo comparto ambientale là dove esso si propone come risorsa.

Nel contesto di questa guida il punto di vista sarà nel contempo edafico e pedologico: questo metodo di presentazione non è contraddittorio e si basa su una definizione univoca di suolo: ***“il suolo è il prodotto della trasformazione di sostanze minerali ed organiche sulla superficie della Terra sotto l'azione dei fattori ambientali che hanno operato e operano per tempi generalmente lunghi”***.

Importante anche definire il ***“non suolo”*** ovvero l'insieme di materiali presenti alla superficie delle terre emerse che non corrispondono alla predetta definizione. Si tratta di materiali dislocati da processi non naturali, spesso di origine antropica, oppure di roccia nuda recen-

temente esposta agli agenti atmosferici, o ancora da sedimenti sommersi.

Il termine suolo può avere, a seconda di chi lo usa, diverse altre possibili definizioni oltre a quella citata e dal punto di vista stratigrafico sono possibili letture assai differenti. Nella nostra accezione possiamo sostanzialmente pensarlo come un corpo naturale che consiste in strati, detti orizzonti, di spessore variabile e costituiti da materiali minerali e/o organici che, per proprietà morfologiche, chimiche, fisiche, mineralogiche e biochimiche, sono diversi da quelli da cui hanno avuto origine, cioè dalla cosiddetta roccia madre e dai residui della biomassa (Fig. 2).



Fig. 2
Esempio di “Pedolite” (ricostruzione tridimensionale di suolo) esposto presso l'Istituto Scientifico Angelo Mosso

Alcune di queste proprietà si sviluppano nel corso della pedogenesi, mentre altre sono ereditate, e gli orizzonti possono essere più o meno evoluti a seconda soprattutto del contenuto di sostanza organica, silicati, carbonati o ossidi di ferro e di alluminio.

Al variare delle condizioni ambientali i tipi e le intensità dei processi pedogenetici cambiano e danno origine a suoli diversi, talora unici. Da questa semplice constatazione si può dedurre che la complessità, più che la semplicità, è un carattere comune a tutti i suoli: un suolo "semplice" può evolvere solo sotto l'influenza di un unico fattore pedogenetico e ciò è molto raro in quanto il suolo è per sua natura condizionato da situazioni ambientali multivariate. L'osservazione anche casuale del suolo in spaccati naturali, lungo strade o in scarpate, consente infatti di verificare che, in questo ricoprimento continuo della superficie, esiste grande variabilità anche solo nel colore, nella consistenza, nell'umidità ecc.. La moderna Scienza del Suolo, pur riconoscendo questa variabilità non solo esteriore, ma anche interna, è riuscita ad individuare la presenza di proprietà

e caratteristiche comuni in suoli di stazioni anche molto lontane e in ambienti diversi: è stato possibile pertanto razionalizzare lo studio del suolo e indicarne il valore come risorsa irriproducibile.

Il suolo, come risorsa, è stato quindi riconosciuto come qualcosa di più di un semplice mezzo di crescita dei vegetali: esso, malgrado la grande mutevolezza, è di per sé, comunque e dovunque, un sistema dinamico aperto, formidabile trasformatore di energia, in cui compiono il loro ciclo biologico miriadi di organismi, che serve come "discarica" naturale dei residui animali e vegetali o come filtro di sostanze tossiche ed è infine il magazzino fondamentale degli elementi nutritivi. Non si deve dimenticare che l'uomo dipende dal suolo e, in un certo senso, oggi più che mai il suolo dipende dall'uomo: essendo un corpo naturale su cui si insediano i vegetali o che, al contrario, soggiace alle fondamenta di edifici e strade o assorbe scarichi agricoli, industriali e urbani, può infatti andare incontro a processi distruttivi. Questi sono accentuati dalla mancata conoscenza della genesi, della funzionalità, degli equilibri e delle attitudini di questo prezioso ecosistema.

Scheda A2: proprietà chimiche del suolo



La crescita dei vegetali superiori dipende dalla combinazione di sei fattori ambientali: luce, aria, acqua, calore, elementi nutritivi e supporto meccanico. Com'è evidente il suolo, a parte la luce, è in grado di fornire da solo, in tutto o in parte, questi fattori ed in questo senso rappresenta la risorsa primaria per la produzione vegetale. Lo sviluppo ottimale delle piante verdi è però condizionato dalla giusta combinazione di tali fattori e questa può non coincidere con quella effettivamente disponibile: secondo il principio della legge del minimo, il livello di crescita di un vegetale è quello consentito dal fattore disponibile in minor misura, o fattore limitante. Le proprietà chimiche e fisiche del suolo, che sono in relazione con il suo regime idrico e termico, nonché con la sua aerazione, regolano la disponibilità di elementi per la nutrizione radicale e rendono quindi più o meno adatto il suolo a funzionare come habitat per i vegetali.

■ Suolo “habitat” per i vegetali

L'energia luminosa, fornita dal sole, e il calore, accumulato e quindi restituito dal suolo come energia radiante, consentono la nutrizione carbonica mediante la fotosintesi che è il motore fondamentale del ciclo del carbonio. L'atmosfera fornisce CO_2 per la sintesi per esempio di zuccheri che consentono di accumulare

l'energia e di fabbricare le strutture costituenti dell'organismo vegetale; l'ossigeno dell'aria consente la riossidazione dei composti organici mediante la quale l'energia viene lentamente sfruttata nei fenomeni respiratori per rendere possibili i processi biosintetici all'interno della pianta.

Le radici delle piante assumono dal suolo l'acqua necessaria per la loro termoregolazione, per il turgore cellulare, per il trasporto di ioni o molecole nel sistema vascolare e per la fotolisi da cui hanno origine gli elettroni necessari per le reazioni ossidoriduttive della fotosintesi. Le radici, inoltre, assumono dall'atmosfera del suolo l'ossigeno per la respirazione radicale che produce l'energia necessaria per il metabolismo cellulare e per l'assorbimento di elementi nutritivi dalla soluzione circolante nel suolo. L'acqua è disponibile per i vegetali in relazione alla permeabilità del suolo nella zona radicale e al clima della stazione.

■ Fertilità naturale del suolo

L'acqua, l'aria e gli elementi che il suolo può rendere disponibili sono i fattori della fertilità chimica e regolano la capacità di un suolo a funzionare come habitat per i vegetali e come risorsa produttiva. Oltre a quella chimica, esiste una fertilità della stazione che considera il contributo delle condizioni macro e micro-clima-

tiche, della topografia, dell'attività della biomassa e dell'antropizzazione al complessivo habitat per le piante.

La fertilità è generalmente valutata in termini di produttività intesa, nei suoli "naturali", solo come quantità annua di sostanza secca prodotta per unità di superficie e, nei suoli coltivati, anche come qualità del prodotto ottenuto (sanità e valore alimentare in termini di contenuto proteico, zuccherino e vitaminico a seconda del tipo di coltura, ovvero valore merceologico). In relazione alla presenza di fattori limitanti, la fertilità può essere distinta in attuale, in relazione alle condizioni intrinseche del suolo e della stagione, indipendentemente da input straordinari, e potenziale, se esprime la massima produttività quanti-qualitativa raggiungibile in conseguenza di un'ottimizzazione di tutti i fattori produttivi sia del suolo, sia esterni.

■ **Macroelementi e microelementi disponibili per i vegetali**

Secondo le attuali conoscenze gli elementi contenuti nei vegetali sono una cinquantina, di cui solo 16 essenziali, cioè senza i quali le piante verdi non possono svilupparsi e riprodursi. Secondo la loro concentrazione nei vegetali sono convenzionalmente divisi in macroelementi o macronutrienti (C, H, O, N, P, S, Ca, Mg, K e Cl), che sono presenti in quantità maggiori di 1000 mg/kg, e microelementi o micronutrienti (Fe, Mn, Zn, Cu, B e Mo) solitamente presenti con meno di 100 mg/kg. Tale divisione non rispecchia la loro importanza relativa, così come non ne rispecchia l'abbondanza nel suolo: alcuni elementi, come l'alluminio, sono

molto abbondanti, ma meno rilevanti per la nutrizione delle piante, ed altri, come il ferro, sono molto diffusi nel suolo, ma ne vengono assunte solo piccole quantità dai vegetali.

Il ciclo degli elementi nutritivi nella biosfera è continuo e il flusso interessa tre comparti: la riserva inorganica più o meno disponibile, rappresentata dalla frazione minerale del suolo, la biomassa e la riserva organica del suolo. Elementi come P, Ca, Mg e K sono assorbiti dai vegetali per via radicale durante ogni singola stagione di crescita, attingendo solo da una piccola parte della riserva inorganica, il cosiddetto "insieme disponibile". Esso è costituito dagli ioni immediatamente disponibili in quanto presenti nella soluzione circolante del suolo e dagli ioni scambiabili, che sono presenti ad esempio sui minerali argillosi e sono non immediatamente, ma solo prontamente disponibili in conseguenza della capacità tampone dei costituenti del suolo, che reagisce alla diminuzione delle concentrazioni in soluzione o al rilascio di H^+ provocato dalle radici.

Gli ioni dell' "insieme non disponibile" sono presenti nei minerali ancora inalterati, o in sali poco solubili, come gesso e calcite, o insolubili, come i fosfati. Alcuni ioni possono essere "fissati" in forme non scambiabili nei minerali secondari, ovvero far parte della biomassa o di molecole organiche difficilmente degradabili ed essere trattenute irreversibilmente: questo insieme rappresenta una riserva quantitativamente importante e soprattutto non labile. L'input all'insieme disponibile avviene per alterazione dei minerali del suolo e della roccia, per precipitazione di sali, caduta di polveri, per

mineralizzazione della sostanza organica e per somministrazione di letami, ammendanti e/o di fertilizzanti organici e minerali.

La sostanza organica rappresenta una riserva in parte presente nel suolo e in parte esterna ad esso ed è costituita da materiali organici morti, a diverso stadio di trasformazione, e dalla biomassa. Le frazioni viventi e non viventi della materia organica sono, nel sistema suolo, strettamente interconnesse. I residui in via di trasformazione, la cui quantità dipende dallo sviluppo della massa vegetale, rappresentano il substrato di crescita per la microflora del suolo. Questa riserva è in effetti vitale in quanto tutto il carbonio e quasi tutto l'azoto vengono riciclati attraverso l'attività dei microrganismi del suolo che rappresentano quindi il punto d'incontro dei cicli di questi elementi.

La riserva organica che si trova parzialmente sul suolo, come residui animali e vegetali indecomposti, costituisce dunque una riserva di nutrienti a lento rilascio, la cui disponibilità dipende dal tasso di alterazione e quindi dall'attività microbica. La frazione organica che si trova nel suolo come materiale umificato, rappresenta una riserva di nutrienti poco disponibile in relazione alla resistenza che l'humus presenta alla mineralizzazione, ma indirettamente fornisce un importante contributo all'insieme disponibile in conseguenza della sua elevata capacità di adsorbire ioni in modo scambiabile.

La disponibilità immediata di elementi dipende dal contenuto idrico del suolo. L'umidità promuove la mobilitazione di ioni, al contrario dell'aridità, che porta

ad un'immobilizzazione, per esempio ad una precipitazione dei sali disciolti.

La disponibilità di elementi è altresì condizionata dal pH del suolo e dal potenziale di ossido-riduzione, come si vedrà più avanti.

Le piante assorbono elementi dalla soluzione del suolo e la quantità effettivamente disponibile per il periodo di crescita non è legato alle condizioni istantanee della soluzione, ma alle relazioni esistenti tra nutrienti prontamente disponibili e riserve. Sostanzialmente gli elementi nutritivi si presentano in: 1) **forme ioniche in soluzione**, prontamente disponibili; 2) **forme scambiabili**, che diventano disponibili solo previo scambio ionico con altri ioni della soluzione o direttamente con ioni H^+ , OH^- e HCO_3^- prodotti dalle radici; 3) **forme lentamente disponibili**, mobilizzabili nel giro di periodi più lunghi di un ciclo vegetativo in quanto o contenuti in complessi organo-minerali o adsorbiti su siti poco accessibili dei reticoli cristallini dei minerali argillosi; 4) **forme non disponibili** contenute in complessi minerali o in molecole organiche molto resistenti all'alterazione e alla mineralizzazione.

La nutrizione ionica dipende dall'equilibrio tra queste forme: le piante attingono dalla parte più labile del sistema e questo reagisce sempre più lentamente a mano a mano che il rifornimento avviene da forme più saldamente trattene e disponibili solo a lungo termine. In conclusione la disponibilità di un elemento dipende dalla quantità presente in ciascuna forma, labile o meno, dalla velocità con cui si ristabilisce l'equilibrio in seguito all'assorbimento radicale e dalla velocità di trasporto in soluzione.

Il tutto è reso complesso dalla variabilità dell'assorbimento radicale che si presenta con delle punte stagionali. Benché il fabbisogno assoluto di un vegetale per un determinato elemento possa essere modesto, l'assorbimento in un certo periodo di crescita può essere molto intenso, tanto da non consentire un pronto ristabilimento degli equilibri tra forme ioniche in soluzione e forme adsorbite, ed ancor meno tra queste e quelle poco disponibili: ne deriva che, malgrado una potenziale sufficiente disponibilità, di fatto l'elemento considerato può rappresentare un fattore limitante.

■ I colloidi del suolo

Lo stato colloidale si riferisce ad un sistema a due fasi di cui una, composta di parti finemente suddivise ($<1 \mu\text{m}$), con elevata area superficiale specifica, è dispersa nell'altra. Sono sistemi colloidali le emulsioni di un liquido in un altro non miscibile, gli aerosol di un solido o di un liquido in un gas e i gel di un solido in un liquido (il latte). A quest'ultimo tipo appartiene il sistema colloidale del suolo che comprende come fase dispersa le argille (minerali argillosi, ossidi di ferro e di alluminio, silice) e l'humus e come mezzo disperdente l'acqua. **Le dimensioni delle particelle disperse sono generalmente inferiori a $1 \mu\text{m}$ di diametro, ma nel suolo hanno proprietà colloidali anche quelle fino a $2 \mu\text{m}$.**

Proprietà particolare dei sistemi colloidali è la possibilità della fase dispersa di mantenersi tale (peptizzata o sol) in determinate condizioni del mezzo e di presentarsi in forma precipitata (coagulata o flocculata o gel) al mutare di tali condizioni.

Nel suolo lo stato disperso è favorito dall'elevata area superficiale dei colloidali, che rallenta la sedimentazione a causa degli attriti tra le superfici, dai moti Browniani, da repulsioni elettrostatiche di particelle con uguale carica, dall'idratazione e dall'adsorbimento di ioni fortemente idratati sulle superfici e dalla diminuzione della forza ionica della soluzione del suolo. Al contrario la coagulazione è favorita dalla disidratazione e dall'aumento della forza ionica che riduce le dimensioni dello strato diffuso, dall'introduzione nel sistema di ioni di carica opposta a quella delle superfici, dalla riduzione della sfera di idratazione per adsorbimento di ioni meno idratati ($\text{Fe} > \text{Al} > \text{Ca} > \text{Mg}$ e $\text{PO}_4^{2-} > \text{SO}_4^{2-}$) che consentono l'attrazione tra le particelle per mezzo di forze di Van der Waals. La reidratazione, con la modifica delle concentrazioni per esempio di Na^+ , può portare alla ridispersione di argille e humus. I colloidi flocculati contribuiscono alla formazione di aggregati e, in condizioni limite, di strutture massive nel sottosuolo. I **minerali argillosi fillosilicatici** sono colloidali cristallini con elevata area superficiale specifica, da 10 ad oltre $800 \text{ m}^2/\text{g}$, le cui particelle hanno sviluppo prevalentemente laminare. La forma e le dimensioni dipendono dalla struttura mineralogica e dalle condizioni di formazione, ma in ogni caso hanno un abito essenzialmente bidimensionale che supera di molto quello nella terza direzione. In alcune argille la superficie accessibile a ioni o molecole non è solo esterna, ma si estende anche all'interno del cristallo ed è per questo che per unità di peso essa può diventare estremamente elevata (1 ha di superficie di suolo di "medio

impasto”, o “franco”, può contenere nello strato arato una quantità di argilla la cui superficie complessiva è anche 100 volte quella dell’Italia).

La proprietà fondamentale dei minerali argillosi, le cui particelle colloidali prendono anche il nome di micelle, è quella di avere una prevalente carica superficiale negativa accompagnata in alcuni casi da una certa carica positiva, come quella che si può sviluppare per la protonazione degli ossidrili presenti sugli spigoli di frattura dei fillosilicati, per esempio nel caso della caolinite.

I **colloidi minerali non fillosilicatici** sono rappresentati da ossidi ed idrossidi di ferro e di alluminio, da allofane ed altri minerali amorfi o “poco cristallini”. Essi sono caratterizzati da un carica superficiale dipendente dal pH. Ad esempio gli ossidrossidi di Fe e Al, nel suolo, a pH acidi sono carichi positivamente, mentre a pH prossimi o superiori alla neutralità sono carichi negativamente.

L’**humus** ha caratteristiche colloidali simili a quelle dei minerali argillosi e, grazie ad un’organizzazione micellare carica negativamente, è in grado di adsorbire cationi con reazioni simili a quelle delle argille. Le micelle umiche non sono tuttavia cristalline, e sono meno stabili di quelle argillose: la mineralizzazione della sostanza organica è un’azione distruttiva più rapida dell’alterazione chimica delle argille; d’altra parte l’umificazione della sostanza organica può essere più rapida della neogenesi di minerali secondari. Ciò rende l’humus assai più dinamico delle argille, e, inoltre, la carica negativa è fortemente pH-dipendente essendo originata principalmente da gruppi carbossilici -COOH e fenolici -OH par-

zialmente dissociati e legati a complessi molecolari non facilmente definibili e di dimensioni variabili. Nel range di pH del suolo questi colloidali sono, nel complesso, carichi negativamente. La carica negativa a pH molto acido è trascurabile, mentre in ambienti alcalini può essere molto più elevata di quella delle argille.

■ Capacità di scambio

La conseguenza del manifestarsi di cariche negative e positive sui colloidali è che una grande quantità di cationi (soprattutto H^+ , Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} e K^+) e una piccola quantità di anioni (NO_3^- , $H_2PO_4^-$ ecc.) sono adsorbiti, cioè attratti con forze di tipo coulombiano, i primi verso le ampie superfici delle micelle e i secondi verso gli spigoli vivi delle facce laterali di frattura dei fillosilicati o nei siti in cui si manifesta elettropositività. Questi cationi possono essere sostituiti da altri cationi con un meccanismo reversibile di scambio ionico.

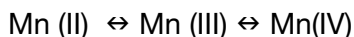
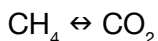
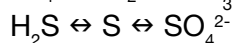
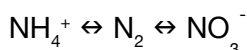
La somma dei siti in cui si manifesta la carica negativa compensata in modo equivalente da cationi è detta **capacità di scambio cationico (CSC)** e, analogamente, quella dei siti carichi positivamente rappresenta la **capacità di scambio anionico (CSA)** del suolo. La carica negativa è compensata, o saturata, contemporaneamente da cationi basici ed acidi: la percentuale di cationi basici (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) sul totale della C.S.C. rappresenta la **saturazione basica percentuale del suolo**, essendo il complemento a 100 la **saturazione acida** (H^+ , Al^{3+}).

■ La reazione del suolo e il potere tampone

La reazione del suolo, espressa come pH della soluzione circolante del suolo, indica la sua acidità, neutralità o alcalinità come logaritmo negativo della concentrazione, o meglio dell'attività, degli ioni H^+ . L'intervallo normale di pH nel suolo è compreso tra 3 e 9, ma più frequentemente spostato nel campo da neutro ad acido, $pH=3-7$, nei climi temperato-umidi e freddo-umidi e nel campo da subacido ad alcalino, $pH=6-9$, nei climi caldo-umidi e soprattutto caldo-aridi dove la forte perdita d'acqua dal suolo per evaporazione provoca un aumento della concentrazione di soluti.

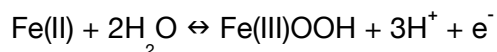
■ Il potenziale di ossidoriduzione (redox) del suolo

Le proprietà redox del suolo derivano dalla compresenza di molti sistemi ossidoriduttivi reversibili. L'ossidazione corrisponde a una cessione di elettroni (e^-), mentre la riduzione corrisponde alla reazione contraria con acquisizione di elettroni. Alcuni sistemi redox importanti nel suolo sono:

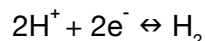


in cui le reazioni di ossidazione sono indicate verso destra e verso sinistra quelle di riduzione.

La maggior parte dei sistemi ossidoriduttivi cede elettroni e produce contemporaneamente ioni H^+ nell'ossidazione, ovvero li richiede per la riduzione ed in tal modo queste reazioni influiscono sul pH del suolo; ad esempio la reazione di ossidazione del Fe ferroso $Fe(II)$ a ferrico $Fe(III)$



Ogni sistema redox ha un suo potenziale di ossidoriduzione o Redox (Eh) che deriva dal trasferimento di elettroni dal donatore all'accettore: più il potenziale è elevato, più è alto il potere ossidante e viceversa. Il potenziale è espresso come funzione del potenziale standard E_0 (espresso in V), cioè riferito a quello della reazione di riduzione di H^+ in condizioni standard di temperatura e pressione;



in quanto rappresenta il valore più basso delle riduzioni in soluzione acquosa:

$$Eh = E_0 + (R \cdot T / n \cdot F) \ln [OX] / [RED]$$

dove [OX] è la concentrazione della sostanza ossidata, [RED] quella della sostanza ridotta, E_0 è il potenziale standard (=1 se [OX] e [RED] sono entrambi unitarie), R è la costante dei gas, T è la temperatura assoluta, F è la costante di Faraday ed n è il numero di elettroni rispettivamente donati dalla sostanza che si ossida ed accettati da quella che si riduce. Come si può osservare il potenziale redox (Eh) diminuisce con l'aumento della concentrazione della sostanza ridotta in relazione a quella della sostanza ossi-

data: un basso potenziale sarà dunque indicativo di un alto potere riducente, cioè di un surplus di elettroni (e^-), mentre un alto potenziale corrisponderà ad una mancanza di elettroni. In presenza di O_2 prevarranno condizioni di elevato potenziale, poiché esso è un ossidante così forte da indurre l'ossidazione di C, H, N, S, Mn e Fe inducendo la formazione dei corrispondenti ossidi (CO_2 , H_2O , NO_3^- , SO_4^{2-} , MnO_2 , $FeOOH$).

Nel suolo l'ordine di potenziale dei sistemi presenti è:

N-nitrico > Mn-ossido > Fe-ossido > S-solfato > C organico

Il potenziale Redox di un suolo è la somma di tutti i potenziali dei sistemi ossidoriduttivi presenti e vale da un minimo di -300 mV, corrispondenti a condizioni fortemente riducenti, a un massimo di +800 mV. Per l'influenza che ha sul pH del suolo (circa 80 mV = 1 unità di pH) il potenziale redox ha un significato pedologico ed edafico rilevante: le sue variazioni corrispondono a condizioni ambientali molto differenti ed in particolare un basso potenziale è conseguenza dell'idromorfia e della scarsa aerazione del suolo ed un alto potenziale segue ad un buon dre-

naggio e ad una buona aerazione. Nelle prime condizioni si osserva un accumulo di composti ridotti, la sostanza organica anche facilmente mineralizzabile tende ad accumularsi. La biomassa microbica subisce una selezione per le specie anaerobiche poiché, dopo aver consumato l'ossigeno, deve passare ad accettori finali di elettroni via via più deboli. Al contrario, nelle seconde condizioni, vi è un'elevata quantità di composti ossidati e domina la biomassa mineralizzatrice di sostanza organica. Le condizioni di potenziale redox sono indicative anche della possibilità di mobilizzazione, trasporto ed immobilizzazione del Fe e Mn, che, generalmente sono molto più disponibili in forma ridotta, e di S e Mo, assorbiti, al contrario, in forma ossidata; l'azoto è ugualmente assorbito nelle due forme e quindi la nutrizione vegetale di questo elemento non risente molto delle diverse condizioni redox, se non indirettamente, per quanto riguarda il rallentamento della mineralizzazione della sostanza organica in suoli asfittici e le possibili perdite per denitrificazione, mentre, per quanto riguarda la disponibilità del P, la riduzione dei complessi ossidi di Fe-fosfato può liberare fosfato in soluzione.

* Si ringrazia la dott.sa Maria Martin per l'accurata revisione di questa scheda.

Scheda A3: proprietà fisiche del suolo



■ Peso specifico

Nei suoli minerali il **peso specifico reale** (o densità reale DR o massa specifica ρ_r) è condizionato soprattutto da quello delle particelle minerali, che varia da 2.6 a 2.8 g/cm³, con valori vicini a quello del quarzo che è il minerale prevalente nei suoli sabbiosi. La presenza di ossidi di ferro e di metalli pesanti aumenta il valore medio della densità reale, mentre l'humus, la cui densità media è circa 1.4 g/cm³ lo diminuisce: ne consegue che nel suolo, secondo le proporzioni delle due frazioni, la DR è compresa tra 2.4 e 2.7 g/cm³.

Il suolo si presenta però con spazi vuoti e ciò incide sull'economia degli elementi nutritivi e induce a considerare la densità per unità di volume "vuoto per pieno". Tale densità, corrispondente al rapporto tra massa del suolo secco e volume totale, prende il nome di **peso specifico apparente** (o densità apparente DA o massa specifica apparente ρ_a). Il suo valore è 1.1-1.5 g/cm³ nei suoli minerali e 0.2-0.4 g/cm³ in quelli organici; tale valore è usato per calcolare in via approssimativa il peso di un'unità di superficie di suolo: per consuetudine 1 ha (10000 m²) di suolo per una profondità di 25 cm, pari ad un'aratura normale, con una DA media di 1.2 g/cm³ viene ad essere equivalente a 3000 Mg.

La densità apparente è fortemente influenzata dalla struttura del suolo il cui sviluppo, resistenza o eventuale massività, dipendono dall'umidità e dalla presenza di argille: tuttavia anche i suoli più massivi hanno valori di densità apparente generalmente inferiori a quelli delle sole particelle, poiché comunque le particelle non sono mai perfettamente coincidenti e spazi vuoti anche molto piccoli sono sempre presenti.

■ Porosità

La porosità può essere definita **come rapporto tra spazi vuoti e volume del suolo** ed è ricavata dai valori di densità secondo la relazione

Porosità = volume pori/volume totale del suolo = 1 - (DA/DR)

Viene anche talora determinata come rapporto tra volume degli spazi vuoti e volume dei soli solidi in modo da ottenere un valore in cui le variazioni di volumi vuoti influiscano solo sul numeratore. Il primo rapporto è agronomicamente più usato e il suo valore varia in genere da 0.3 a 0.6 e comprende pori di varia dimensione: da < 0.2 μm di diametro o capillari fini in cui l'acqua è trattenuta con una forza tale da non essere disponibile per i vegetali, a 0.2-30 μm o capillari in cui l'acqua trattenuta è disponibile per le

radici, a $> 30 \mu\text{m}$ in cui l'acqua non è trattenuta ed è più o meno libera di drenare e percolare ed in cui, mancando l'acqua, si hanno spazi pieni d'aria. La porosità è strettamente legata alla dimensione delle particelle minerali ed alla presenza di materiale organico.

■ Umidità

Per umidità del suolo s'intende il **contenuto relativo d'acqua nel suolo** e può essere espresso o come rapporto tra massa d'acqua e massa del suolo secco, o come percentuale di volume d'acqua presente per unità di volume di suolo, o come grado di saturazione cioè come percentuale di spazi vuoti occupati dall'acqua. A questo proposito ricordiamo che il "suolo secco" contiene comunque una certa percentuale d'acqua a causa dell'igroscopicità del suolo cioè alla sua naturale tendenza ad adsorbire acqua dall'atmosfera. La stima dell'umidità del campione può essere eseguita ponendo il campione di suolo ad essiccare in stufa ad una temperatura compresa tra i 100 e 110 °C.

■ Tessitura

La **distribuzione granulometrica percentuale di sabbia, limo e argilla nella frazione inferiore a 2 mm di diametro**, o terra fine, prende il nome di tessitura del suolo: essa può essere sabbiosa, limosa o argillosa secondo la prevalenza di una delle tre componenti ovvero franca se nessuna è dominante. Definizioni più precise possono essere ricavate dal triangolo della tessitura (§ APPENDICE 2): le diverse denominazioni sono legate

a differenti caratteristiche di lavorabilità del suolo, di drenaggio, di compattazione secondo il rapporto tra le componenti granulometriche della terra fine.

■ Superficie specifica

La superficie specifica del suolo è la **superficie sviluppata da un'unità di massa di suolo**; generalmente è espressa in m^2/g di suolo e dipende dalla dimensione delle particelle presenti, nonché dalla loro forma e natura. I minerali argillosi che sviluppano superfici planari estese possono contenere anche superfici interne alla struttura cristallina ed in tal modo accrescono grandemente la superficie specifica. Analogamente le macromolecole organiche umiche possono sviluppare grandi superfici interne accessibili. Rispetto ad una sabbia a grana singola che ha al massimo $2 \text{m}^2/\text{g}$ di superficie specifica, un suolo argilloso può sviluppare centinaia di metri quadrati di superficie per grammo. Questa proprietà fisica intrinseca al suolo è di importanza primaria in quanto strettamente correlata alla reattività delle superfici che è alla base dei fenomeni di adsorbimento e di scambio di ioni e di molecole, nonché di idratazione, di coesione tra le particelle e di formazione di aggregati. In genere i metodi di misura della superficie specifica si basano sulla valutazione della quantità di gas o di liquido necessario per formare uno strato monomolecolare sulle superfici in seguito ad un completo processo di adsorbimento.

■ Struttura

Lo **stato di aggregazione con cui si presentano le diverse frazioni minerali ed organiche** determinano la struttura del suolo. Le varie particelle del suolo si impaccano e si uniscono formando un continuum spaziale detto “fabric” la cui organizzazione può essere micro o macroscopica e le unità strutturali naturali o ped o aggregati possono essere più o meno consistenti e permanere se disturbate. Essi non devono essere confusi con figure artificiali provocate in superficie ad esempio dalle lavorazioni. Gli **aggregati** possono essere ricoperti da **pellicole o cutans** di ossidi e idrossidi o di carbonati o di argilla o di sostanza organica (*ferrans, mangans, organans, argillans*) che contribuiscono alla loro stabilità. La natura instabile della struttura ne complica grandemente la definizione e la valutazione, ma nondimeno tale carattere fisico del suolo è alla base del movimento dei fluidi nel suolo e, quindi, in ultima analisi di tutti i fenomeni connessi con il funzionamento del suolo come habitat per i vegetali.

I fattori che formano la struttura sono essenzialmente quelli in grado di provocare una riorganizzazione delle particelle e sono legate alle proprietà dei colloidi di coagulare o peptizzare, e quindi anche alla qualità della soluzione del suolo, alla presenza di cementi inorganici, per esempio CaCO_3 , alla possibilità di formazione di complessi argillo-umici in grado di “imbrigliare” come in una rete le particelle minerali di classi tessiturali superiori. Un ruolo importante lo svolgono anche le forze laterali esercitate sia dalle radici, sia dall’aumento di volume dell’acqua

che congela (cicli gelo/disgelo), sia dagli organismi, soprattutto dai lombrichi. Un prerequisito indispensabile per la stabilizzazione della microstruttura e per consentire la coesione dei microaggregati ed il passaggio ad una macrostruttura è comunque la flocculazione dei minerali argillosi associata alla presenza di micelio fungino, soprattutto quello legato alle radici o micorrize. La buona struttura in grado di consentire la crescita vegetale è vincolata alla presenza di aggregati di dimensioni tra 1 e 10 mm di diametro stabili in acqua. In genere è sufficiente distinguere tre grosse categorie strutturali: suoli a grana singola, suoli massivi e suoli strutturati. Quest’ultima categoria è di gran lunga quella preferibile soprattutto nelle prime fasi di germinazione ed accrescimento dei vegetali.

■ Coesione e plasticità

Oltre a proprietà scambianti, i colloidi possiedono anche altre proprietà fisiche notevoli e cioè plasticità, coesione, ed espandibilità. La **plasticità**, ovvero la capacità delle argille di essere modellate, si trasmette frequentemente al suolo se ne contiene più del 15% ed è dovuta alla natura lamellare di questi minerali che tra gli strati presentano una possibilità di scivolamento quando è interposta, come lubrificante, acqua di idratazione. Questa proprietà è soprattutto legata alla presenza di minerali argillosi espandibili tipo 2:1 come vermiculiti o smectiti.

La **coesione** è legata alla plasticità e si manifesta come conseguenza della disidratazione con una tendenza delle particelle colloidali ad attrarsi l’un l’altra.

La resistenza meccanica che il suolo oppone alla penetrazione delle radici rappresenta la sua consistenza, mentre la capacità di mutare forma in seguito all'applicazione di una forza e poi conservarla è detta plasticità. Entrambe queste caratteristiche sono il risultato dell'effetto complessivo della tessitura, della sostanza organica, della struttura e del contenuto d'acqua e sono valutabili solo empiricamente anche in campo.

I **limiti di Atterberg** indicano il valore limite del contenuto di acqua per il quale si registra una transizione dello stato fisico del terreno. In particolare si possono distinguere quattro possibili stati fisici in funzione della consistenza, in ordine crescente del contenuto di acqua essi sono:

- **Solido:** il suolo non è modellabile ed ha un contenuto di umidità relativa mente basso
- **Semisolido:** il suolo inizia a prendere una consistenza plastica, cioè a diventare "modellabile"
- **Plastico:** il suolo si comporta come un materiale plastico, cioè una volta modellato è in grado di mantenere una forma
- **Liquido:** il suolo si comporta come un liquido, cioè ha perso la sua consistenza.

La transizione tra questi stati è quantificabile attraverso tre indici dati da tre diversi contenuti di acqua nel campione (determinati gravimetricamente in %):

- **Limite di ritiro (LR):** transizione tra stato solido e semisolido
- **Limite plastico (LP):** transizione tra stato semisolido e plastico
- **Limite liquido (LL):** transizione tra stato plastico e liquido.

In particolare, la differenza $LL - LP$ si indica come **IP** (indice di plasticità) e individua l'intervallo di contenuto idrico all'interno del quale il suolo mantiene un comportamento plastico. Più è ampio tale intervallo, e quindi più i valori di LL e LP sono lontani tra loro, più il suolo è plastico (Tab. 1).

Tab.1 Classificazione dei suoli in base all'indice plastico.

IP	Suolo
0 - 5	Non plastico
5 - 15	Poco plastico
15 - 40	Plastico
>40	Molto plastico

In ambiente valdostano Stanchi et al. (2008) riportano LL medi (%) pari a 50 per campioni di topsoil, e 34 per bottomsoil; LP (quando determinabili) pari a 39 (topsoil) e 25 (bottomsoil).

Si tratta in ogni caso di suoli con bassa plasticità.

In generale LL e LP sono influenzati da alcune proprietà chimico-fisiche del suolo, ed in particolare il contenuto di argilla e sostanza organica, coi quali mostrano una significativa correlazione positiva.

■ Temperatura

Una proprietà molto importante è la **temperatura del suolo** i cui effetti diretti ed indiretti in parte sono già stati osservati nei confronti della formazione della struttura. La sua importanza è ovviamente legata alla vita della biomassa microbica e delle radici dei vegetali e alla germinazione dei semi, ma anche dal punto di vista pedogenetico si deve considerare questo parametro

come fortemente influenzante le reazioni di alterazione soprattutto per l'azione clastica e crioclastica, di ossidoriduzione nonché le reazioni di mineralizzazione ed umificazione. Nel Sistema di Classificazione Americano (USDA Soil Taxonomy) lo zero biologico è indicato in corrispondenza di una temperatura del suolo uguale a $+5^{\circ}\text{C}$, anche se in aree particolarmente fredde è stata osservata attività biologica anche a temperature inferiori, fino a circa -6.5°C .

Nel **bilancio termico del suolo** l'input è prevalentemente solare e dipende dalla quota, dalla latitudine, dall'esposizione e dalla copertura vegetale: si deve tener conto che solo il 10% circa dell'energia solare contribuisce effettivamente ad aumentare la temperatura del suolo, essendo il resto perso prevalentemente per irraggiamento o sfruttato nei fenomeni di evapotraspirazione dell'acqua dal suolo e dai vegetali, ovvero utilizzato per la fotosintesi; un contributo si ha anche dall'energia geotermica e dalle reazioni esotermiche che avvengono nel suolo, soprattutto dai processi respiratori e fermentativi. Le perdite di calore sono quelle per irraggiamento ed evaporazione dell'acqua. Il bilancio dipende anche dalla capacità termica del suolo che è il prodotto della densità apparente per il calore specifico: nel suolo le diverse frazioni hanno un calore specifico diverso [acqua a $15^{\circ}\text{C} = 1 \text{ cal}/(\text{g} \times ^{\circ}\text{C})$, aria e minerali = $0.2 \text{ cal}/(\text{g} \times ^{\circ}\text{C})$, sostanza organica = $0.4 \text{ cal}/(\text{g} \times ^{\circ}\text{C})$] e poiché il contribu-

to maggiore è quello dell'acqua il suo valore dipende dalle condizioni di umidità del suolo. Dal punto di vista della conducibilità termica il suolo si comporta come un isolante tanto più forte quanto più è presente aria nei pori e quindi le maggiori fluttuazioni di temperatura si hanno in prossimità della superficie. In ambiente montano la presenza del manto nevoso condiziona fortemente la temperatura del suolo (Freppaz et al., 2006, 2008), mantenendola prossima agli 0°C indipendentemente dalla temperatura dell'aria, anche in ambienti di tundra alpina (2400-2800 m slm), in assenza di permafrost.

■ Colore

Un'ultima proprietà fisica, importante anche perché immediatamente evidente, è il colore del suolo. Esso è fortemente legato alla presenza di sostanza organica, di ossidi o di composti ridotti, di calcare e soprattutto d'acqua. Per convenzione esso è descritto per mezzo di tavole di confronto (**Munsell Soil Colour Charts, 2009**) secondo le quali ogni possibile colore di un suolo è indicato con una designazione per la composizione spettrale (**hue**), una per la nitidezza (**value**) ed una per la cromaticità (**chroma**). Poiché possono essere presenti più orizzonti e in ciascuno di essi si possono osservare screziature, laccature, noduli o concrezioni, di norma ciascuna di queste figure pedologiche riceve la designazione del suo colore.



■ Sistema suolo e sue interazioni

Dal punto di vista genetico il suolo può essere studiato a livelli diversi, ciascuno con un suo particolare grado informativo:

1) a livello di **regione geografica** per evidenziare soprattutto gli effetti climatici zionali (si parla spesso di suoli “boreali”, “tropicali”, “di steppa”, “mediterranei” ecc.);

2) a livello di **paesaggio regionale** per studiare le relazioni con l’oro-idrografia e la morfologia complessiva di un grande bacino;

3) a livello di **sottobacino** per collegare la natura dei suoli alla dinamica dei versanti e alle condizioni geomorfologiche locali;

4) a livello di **pedon**, cioè della più piccola unità spaziale tridimensionale che, dalla superficie al “non suolo”, conserva pressoché costanti caratteri chimici, fisici, biologici, mineralogici e morfologici. in quanto espressione dei medesimi processi pedogenetici;

5) a livello di **profilo**, cioè di organizzazione interna, per descrivere il dinamismo, all’interno del pedon, delle frazioni che compongono il suolo e le sue cause;

6) a livello di **orizzonti**, cioè di unità stratigrafiche del profilo, entro ciascuna delle quali le condizioni chimiche, fisiche e strutturali sono più omogenee e le “figure” pedogenetiche (aggregati, concrezioni, laccature ecc) osservabili macroscopicamente possono essere lette come risultato di processi endogeni od esogeni;

7) a livello di **aggregati o ped**, cioè di unità macro- e micro-strutturali all’interno che sono alla base o sono il risultato della complessa interazione tra fase minerale e organica del suolo e a livello delle quali si manifestano le reazioni di superficie e quelle della soluzione circolante.

Il livello di **pedon** è in genere considerato quello che più propriamente risponde alle esigenze descrittive e progettuali della pedogenesi in quanto permette, in genere, di riconoscere l’effetto dell’interazione tra fattori e processi pedogenetici e proprietà che ne derivano al corpo suolo.

Il suolo è per sua natura un’entità variabile nello spazio oltre che nel tempo. Talora questa variabilità appare limitata ad aree di grande ampiezza, altre volte invece può essere estremamente alta anche in piccoli areali: la descrizione dei suoli deve tener conto di questo fatto sia per fini genetici, sia agronomici, sia di tutela e programmazione ecologica del territorio. La descrizione della variabilità dei suoli può essere effettuata applicando metodi numerici, tassonomici e cartografici.

■ Nascita del suolo

La “nascita” del suolo corrisponde alla comparsa delle proprietà mineralogiche, fisiche, chimiche e chimico-fisiche che lo distinguono dalla parte profonda del regolite ed ha inizio con l’alterazione della roccia madre sotto l’azione degli agenti atmosferici e biotici (Fig. 3).



Fig. 3
Nascita del suolo
in un'area recentemente
deglacializzata (Ghiacciaio del
Lys, Gressoney la
Trinité)

Nel 1941 Jenny, nel suo libro “Factors of Soil Formation”, formulò l’ipotesi che il suolo fosse il risultato dell’interazione di fattori pedogenetici rappresentati principalmente da roccia madre (**rm**), clima (**cl**), organismi viventi (**o**), geomorfologia (**g**) e tempo (**t**). Tali **fattori** agirebbero come variabili indipendenti nei confronti della nascita e dell’evoluzione del corpo suolo, ma non necessariamente indipendenti tra loro: ogni proprietà (**s**) del suolo deriverebbe pertanto da una funzione multivariata

$$S = f (rm, cl, o, g, t, \dots)$$

L’insieme delle proprietà di un suolo (**S**) non sarebbe quindi che una delle infinite combinazioni derivate dalle singole funzioni multivariate di ogni proprietà. L’importanza relativa dei fattori pedogenetici varia da un suolo all’altro, ma oggi si riconosce alla roccia madre una certa prevalenza a livello di pedon, mentre il clima avrebbe un effetto soprattutto a livello di distribuzione geografica dei tipi di suolo e gli altri fattori

subentrerebbero nell’indurre variabilità a livello di paesaggio. La roccia madre e la geomorfologia condizionano lo stato iniziale della stazione, il clima e la biomassa regolano invece la velocità delle reazioni chimiche e biochimiche a livello zonale, fermo restando che il tempo comunque regola il livello evolutivo raggiunto.

Una delle maggiori difficoltà del modello di Jenny risiede nel fatto che la litologia e la biomassa non sono fattori facilmente quantificabili, ma possono essere solo descritti qualitativamente. La roccia madre è, a lungo termine, un fattore costante: nei suoli molto antichi esso viene praticamente annullato dal tempo e si assiste su diversi substrati, a parità di altri fattori, ad una sostanziale convergenza delle proprietà dei suoli. Ciò tuttavia non è valido per i suoli che evolvono su roccia madre del Quaternario, per i quali il fattore geolitologico è invece primario, poiché non è trascorso abbastanza tempo. Per quanto riguarda il fattore biotico il modello è poco applicabile poiché è difficile individuare delle reali biosequenze, essendo la copertura vegetale attuale di un suolo funzione degli stessi fattori della pedogenesi: suolo e vegetazione infatti evolvono insieme ed interagiscono secondo funzioni bioclimatiche. I suoli spesso non sono monogenici, cioè formati sotto l’effetto di una sola combinazione di fattori che ha agito nel tempo, e ciò significa che le condizioni attuali possono non corrispondere a quella dell’inizio della pedogenesi, dando al suolo le caratteristiche e le proprietà con cui si presenta oggi.

■ I fattori della pedogenesi

Roccia madre

La roccia madre è il materiale minerale grezzo da cui il suolo nasce e che, con le sue caratteristiche fisiche, chimiche, mineralogiche e di giacitura ne condiziona lo sviluppo, talora limitando anche gli effetti degli altri fattori: in ogni caso tanto meno il suolo è evoluto, tanto più le sue proprietà conservano una memoria della roccia originaria.

I minerali costituenti le rocce contribuiscono alla pedogenesi secondo il loro grado di stabilità all'alterazione: alcuni minerali si alterano in poche migliaia di anni, mentre per altri ne occorrono anche milioni e possono quindi permanere per più cicli di sedimentazione (§ AP-PENDICE 3).

La stabilità di un minerale è legata alla sua struttura e all'energia di legame, ma anche all'ambiente di alterazione.

Su rocce silicee compatte lo sviluppo del suolo è tanto più lento quanto più i cationi basici vengono liberati nell'alterazione dei minerali bilanciando l'acidità che, al contrario, accelera la pedogenesi. Su rocce quarzose o calcaree la pedogenesi è ostacolata in quanto nelle prime il quarzo è stabile all'alterazione chimica e mineralogica, e nelle seconde la rimozione per dissoluzione del calcare è un precursore necessario ed indispensabile per la formazione del suolo.

Ricordiamo che, ai fini evolutivi dei suoli, anche la vegetazione è condizionata dalla roccia madre che, come riserva stabile anche se non immediatamente disponibile, rifornisce la soluzione e quindi contribuisce alla selezione delle specie vegetali. Ad esempio una particolare for-

ma di adattamento è data dalle specie vegetali che si sviluppano su rocce serpentinite caratterizzate da potenziale fitotossicità.

I suoli che si sviluppano su un materiale parentale costituito da minerali particolarmente resistenti all'alterazione sono in genere caratterizzati da una tessitura più grossolana. I suoli a tessitura più fine si sviluppano invece dove la roccia madre è costituita da minerali meno resistenti all'alterazione o disgregazione. La composizione del materiale parentale ha un effetto diretto sulla chimica del suolo e sulla sua fertilità. Ad esempio, materiali parentali ricchi in ioni solubili quali Calcio, Magnesio, Potassio e Sodio, si dissolvono facilmente nell'acqua e diventano disponibili per la nutrizione vegetale. I calcari e le lave basaltiche hanno un elevato contenuto di basi solubili ed in climi umidi originano suoli particolarmente fertili. Se i materiali parentali contengono pochi ioni solubili, l'acqua che scorre attraverso il suolo rimuove le basi e le sostituisce con ioni idrogeno, rendendo il suolo acido e poco adatto alle attività agricole. L'influenza del materiale parentale sulle proprietà del suolo decresce con il passare del tempo in quanto aumentano il livello di alterazione e l'importanza del clima.

Clima

I suoli tendono a mostrare una forte relazione geografica (zonale) con il clima, specie a scala globale. Il fattore clima è forse il più importante agente pedogenetico in quanto regola le proprietà di moltissimi suoli tanto che, dal punto di vista tassonomico, il criterio zonale è a lungo rimasto come strumento distintivo di

diversi tipi di suolo a partire da Dokuchaev nella seconda metà del XIX secolo e dai pedologi di scuola russa.

Ancora oggi, sovrapponendo una carta dei suoli ad una carta delle isoiete e delle isoterme, si possono fare in molte zone del mondo importanti considerazioni sulle relazioni suolo-clima. Nell'accezione comune si continua a definire **zonale** un suolo così evoluto ed in equilibrio con il suo clima da nascondere l'effetto degli altri fattori pedogenetici; **intrazonale** invece è un suolo evoluto in cui però esistono particolari condizioni stazionali, quali geomorfologia o vegetazione, che influenzano l'effetto del clima; infine **azonale** un suolo poco evoluto ed indifferenziato perché di recente formazione o perché fattori ambientali ne hanno bloccato la pedogenesi.

La zonalità è però limitata prevalentemente all'emisfero boreale con esclusione delle zone tropicali e subtropicali: resta valida solo nelle aree in cui non ci sono stati nel tempo molti cicli di erosione e rideposizione correlati con cambiamenti climatici, ovvero dove non ci sono substrati così recenti da rendere il rilievo ininfluenza nella differenziazione dei tipi di suolo.

Le componenti climatiche che intervengono al momento della nascita del corpo suolo sono essenzialmente l'umidità e la temperatura: esse iniziano immediatamente a controllare la velocità dei fenomeni chimici, fisici e biologici della pedogenesi, soprattutto i processi di degradazione della roccia madre, di alterazione dei minerali e di lisciviazione.

Le precipitazioni influenzano molto le reazioni chimiche e fisiche a carico della roccia madre e inducono traslocazione

di materiali e di ioni dissolti attraverso il suolo. Il clima determina la copertura vegetale che, a sua volta, influenza lo sviluppo del suolo. Con il progredire della pedogenesi nel tempo il clima tende a diventare il fattore maggiormente condizionante le proprietà del suolo, mentre la roccia madre perde di significato. Il clima inoltre condiziona sia l'attività dei vegetali, sia dei microrganismi per cui aree calde e desertiche hanno vegetazione rada e poca sostanza organica disponibile per il suolo. Poca precipitazione limita le alterazioni chimiche dei minerali, inducendo una tessitura più grossolana, e pure l'attività microbica. Le basse temperature inibiscono l'attività mineralizzatrice dei microrganismi, portando ad un accumulo di sostanza organica, mentre con l'aumento dell'umidità e della temperatura l'attività microbica aumenta fino ad essere molto intensa in ambiente tropicale.

Il clima, interagendo con la vegetazione, determina anche la chimica del suolo. Ad esempio le foreste di conifere sono tipiche di ambienti freddi ed umidi e la deposizione di aghi rifornisce di acidi deboli la soluzione che porta alla lisciviazione delle basi e a un'acidificazione profonda, anche in ambienti litologicamente calcarei o comunque basici: in queste condizioni di "svuotamento" di cationi le conifere avranno poco nutrimento a disposizione dal suolo e il rifornimento sarà essenzialmente legato al riciclo degli elementi contenuti nella lettiera. Le latifoglie caducifoglie, più esigenti a livello nutritivo continuamente riciclano elementi assunti dal suolo e mantengono più alto il contenuto in basi solubili.

Effetto particolare ha poi il microclima

legato all'esposizione e alla quota, così come alla morfologia, con la presenza, ad esempio di "laghi" d'aria fredda nelle conche carsiche.

Geomorfologia

La roccia si presenta disponibile all'azione degli agenti atmosferici di degradazione e alterazione secondo il rilievo e la giacitura, intesa come esposizione e pendenza. Queste condizioni regolano anche i rapporti tra suolo e falda, tra suolo e percolazione e tra suolo e ruscellamento superficiale: la profondità della falda determina l'evoluzione del suolo in presenza o in assenza d'acqua (condizioni riducenti ovvero ossidanti), la percolazione con possibilità di movimento o di asporto di soluti e di materiali dispersi e l'erosione con asporto, trasporto e riporto di materiali ad opera dell'acqua o del vento.

Quanto più la pendenza è elevata e il suolo è impermeabile, tanto più l'effetto erosivo delle precipitazioni è alto: l'**erosione** è un fattore limitante l'evoluzione di un suolo tanto che può indurre un continuo "ringiovanimento" del profilo per asporto parziale (suoli troncati) o totale degli orizzonti superficiali. L'effetto dell'erosione superficiale più o meno severa si traduce in un continuo rimodellamento delle superfici con possibilità di maggiore evoluzione dei suoli meno acclivi anche in termini di potenza. I materiali trasportati dall'erosione possono **coluviare** alla base delle pendici o nelle conche e **alluvionare** pianure: talora suoli già evoluti possono essere sepolti e sottratti ai fattori della pedogenesi (suoli fossili).

Il rimodellamento e la variabilità pedogenetica sono anche conseguenza dell'azione del vento. L'erosione eolica è prevalente negli ambienti poveri di coperture vegetali: la sua importanza risiede nella selezione dimensionale operata dal vento che trasporta limi e sabbia fine depositandoli altrove.

Senza giungere necessariamente alla condizione di suolo sepolto, un suolo soggetto ad apporti di nuovi materiali "freschi" può risultare in genere "ringiovanito" nei suoi orizzonti superficiali tranne quando l'input è di materiali erosi da orizzonti già pedogenizzati.

Il rilievo e la giacitura sono infine responsabili delle condizioni microclimatiche legate all'esposizione cioè al diverso input di energia solare e alla diversa distribuzione delle precipitazioni: anche a questa variabilità è legata la diversa alterazione della roccia madre e intensità di pedogenesi.

Organismi viventi

La colonizzazione della superficie della roccia madre è inizialmente vegetale e tende a raggiungere un equilibrio corrispondente ad una comunità climax in cui i rapporti tra le diverse specie sono in funzione delle condizioni ambientali.

La fauna, che partecipa a vari processi pedogenetici, è evidentemente strettamente correlata con la flora e selezionata dalle condizioni di acidità e di accumulo di materiale organico morto o lettiera.

L'uomo è a questo proposito un fattore indipendente di pedogenesi, ma di ciò si parlerà oltre più dettagliatamente, essendo la sua azione destinata a determinare più sovente la morte piuttosto che la nascita del suolo.

Tempo

Con il trascorrere del tempo i processi di alterazione continuano ad agire sul materiale parentale, distruggendolo ed aumentandone il grado di decomposizione. I processi di sviluppo degli orizzonti continuano, con la differenziazione di strati caratterizzati da proprietà chimiche e fisiche differenti. Ne consegue che i suoli più vecchi e maturi hanno in genere una sequenza ben sviluppata di orizzonti benché in alcuni casi essi possano subire un grado di alterazione così elevato da rendere difficilmente individuabili i differenti orizzonti. Quest'ultimo caso si osserva ad esempio negli Oxisuoli, uno dei dodici ordini di suoli della Classificazione Americana (Soil survey Staff USDA, 2010), caratterizzato da un unico orizzonte diagnostico, chiamato *oxico*. Alcuni processi geologici impediscono poi ai suoli di svilupparsi, attraverso la costante alterazione della superficie ed impedendo in questo modo al materiale parentale di alterarsi per un periodo di tempo sufficientemente ampio. Ad esempio i fenomeni erosivi lungo le pendici, rimuovendo costantemente gli orizzonti più superficiali di suolo, impediscono lo sviluppo e l'evoluzione della coltre pedologica. In ambiente montano l'innescò di fenomeni erosivi può essere legato anche al movimento delle

masse nevose, con trasporti di materiale ad opera delle valanghe di neve umida anche dell'ordine di decine di tonnellate di suolo ad ettaro (Fig. 4).

Anche lungo i corsi d'acqua il periodico deposito dei sedimenti alluvionali determina un nuovo innescò dei processi di formazione del suolo.

L'alterazione della roccia e dei minerali è, come si è visto, dipendente dal tempo, ma in modo variabile, e le proprietà del suolo nascono ed evolvono più rapidamente se sono legate alla sostanza organica ovvero più lentamente se legate alla frazione minerale primaria.

Inoltre il clima interagisce con il fattore tempo nel corso dei processi di pedogenesi, i quali risultano più accelerati in climi miti e umidi mentre in climi freddi i processi di alterazione risultano rallentati così come i processi pedogenetici.

Il tempo deve essere interpretato come intervallo necessario perché un suolo raggiunga uno stato stazionario. Ciò non può valere ugualmente per tutte le proprietà del suolo perché all'inizio le variazioni di alcune sono molto rapide, tuttavia nel tempo tutte raggiungono una stabilità, o equilibrio apparente, nella quale i fenomeni di formazione sono bilanciati dai fenomeni distruttivi. Non tutte le proprietà del suolo raggiungono contemporaneamente questa condizione e quindi in realtà è molto comune osservare solo uno stato stazionario, tuttavia nelle regioni temperate in condizioni costanti si è stimato possibile il raggiungimento di un equilibrio stabile nel sistema suolo-pianta in 1000-10000 anni: tale situazione è stabile nel senso che nel breve intervallo in cui sono state possibili delle osservazioni scientificamente valide, cioè poco più di 100 anni, in questi suoli le variazioni sono state trascurabili.



Fig.4
Trasporto
di materiale solido
operato dalla va-
langa di Mont de la
Saxe (Courmayeur)

Per contrasto nelle regioni tropicali, dove i fattori di alterazione sono più energici, il suolo raggiunge uno stato stazionario in tempi più lunghi e ciò perché l'alterazione deve interessare strati più potenti e gli orizzonti profondi sono poco influenzati dalla biomassa; inoltre i minerali argillosi devono essere completamente distrutti con produzione di sesquiossidi e rilascio di silice e di cationi basici (laterizzazione).

Processi pedogenetici e formazione del profilo

I complessi fenomeni di alterazione delle frazioni minerale ed organica si traducono in processi concorrenti di **disintegrazione** o di **integrazione** e di **aggregazione** o di **disaggregazione** a cui si accompagnano processi di **traslocazione dei materiali**. Mentre i primi corrispondono ad una conversione di materiali primari in secondari e alla formazione di un sistema strutturato in modo da estrinsecare le proprietà chimiche e chimico-fisiche del suolo, i secondi sono quelli responsabili della migrazione e ridistribuzione dei materiali e delle proprietà strutturate entro il sistema. I processi pedogenetici di trasformazione cominciano al momento della nascita del suolo là dove sono disponibili i materiali da convertire e proseguono in continuo durante tutta la vita del suolo, seguendo i materiali primari e secondari nelle loro eventuali migrazioni entro il suolo. I processi di traslocazione cominciano "in situ" là dove nuovi e vecchi materiali costituiscono l'insieme strutturato detto "corpo suolo". Sia i processi di trasformazione, sia quelli di traslocazione conducono alla formazione di una morfologia pedogenetica, detta **profilo**, tipica di ogni unità ambientale omogenea che era stata definita pedon: esso si può presentare nel tempo

completamente riorganizzato rispetto alle condizioni originarie di detrito disponibile all'insediamento vegetale e alla pedogenesi. Possono essere evidenti delle sovrapposizioni di materiali o **orizzonti**, come risultato di forze pro-anisotropiche in grado di imporre un ordine "discreto" ai materiali presenti nel suolo, ovvero vi può essere omogeneità in conseguenza di forze pro-isotropiche. Queste ultime tendono a rendere il profilo caotico e disordinato, cioè a massimizzare la probabilità che la distribuzione dei materiali sia uguale in tutte le parti del corpo suolo. L'**isotropia** è un fenomeno complessivamente spontaneo e favorito termodinamicamente, mentre l'**anisotropia** è una condizione temporanea favorita da input energetici che inducono ad un ordine interno nel sistema suolo. In ogni caso, in funzione del tempo di pedogenesi, l'isotropia è la condizione in cui il suolo si trova inizialmente oppure è la condizione che tende a prevalere come stadio evolutivo finale: in un certo senso può coincidere sia con la "gioinezza", sia con la "senilità" del suolo. Nell'APPENDICE 4 sono riassunti i processi pedogenetici generalmente ritenuti "di base".

I processi pedogenetici di trasformazione sono sostanzialmente: alterazione, neoformazione, mineralizzazione della sostanza organica, umificazione, strutturazione, scambio ionico ed ossidoriduzione. I processi di traslocazione sono operati dai movimenti dell'acqua nel suolo, dalla biomassa e dall'uomo, dal gelo e disgelo, dalla contrazione ovvero dall'aumento di volume di minerali espandibili, dall'erosione, dalla gravità e dalle forze legate al rilievo. In analogia con quanto avviene nei processi sedimentari, le traslocazioni sono dinamicamente distinguibili in un momento di mobilitazione, uno di trasporto ed uno di immobilizzazione.

Uomo e pedogenesi

L'azione antropica può essere diretta, come nel caso della conversione di un suolo naturale a suolo coltivato, o indiretta, quando si concretizza nel cambiamento delle condizioni di un fattore pedogenetico, per esempio il clima o la forma del rilievo.

La messa a coltura di un suolo significa interventi di lavorazione più o meno profonda, di sistemazione delle superfici, di correzione e fertilizzazione organica o minerale, di cambiamento delle specie vegetali e di cambiamento del regime idrico (Fig. 5): tutto ciò, soprattutto se fatto in modo scorretto, è causa di impoverimento di elementi nutritivi, di distruzione della struttura, di aumento di acidità e quindi di interferenza, soprattutto negli orizzonti superficiali, con i fattori naturali della pedogenesi. Il movimento terra, le livellazioni e le compattazioni sono ope-

razioni ad elevato rischio di perdita di risorsa, specie se comportano lo scavo e il riporto di materiale poco pedogenizzato dagli orizzonti più profondi alla superficie. I cambiamenti di regime idrico e microclimatico attraverso le sistemazioni idrauliche e le opere di irrigazione o la deforestazione, possono imporre al suolo condizioni estreme di alterazione e di rischi legati al drenaggio. Senza arrivare a queste conseguenze, anche l'alpicoltura, cioè lo sfruttamento del bosco e dei cotici erbosi falciati o pascolati, può indirizzare l'evoluzione da un tipo di suolo ad un altro: per esempio in ambiente forestale, pur non cambiando la destinazione a bosco, l'uomo può operare dei tagli o favorire una specie, modificando la qualità e la quantità dei residui vegetali con inevitabili conseguenze sul bilancio sulla biomassa, sull'umificazione, sul drenaggio, sul bilancio della lisciviazione delle basi ecc..



Fig.5
Terrazzi a
vocazione viticola
della Bassa Valle
(Pont-Saint-Martin),
(Freppaz et al.,
2008 a,b; Stanchi
et al., in press)

Scheda A5: variabilità spaziale dei suoli



Il suolo è per sua natura un'entità eterogenea e variabile, oltre che nel tempo anche nello spazio. Talora questa variabilità appare limitata ad aree di grande ampiezza, altre volte invece può essere estremamente alta anche in piccoli areali: la descrizione dei suoli deve tener conto di questo fatto sia per fini genetici legati alla biodiversità, sia agronomici, sia di tutela e programmazione ecologica del territorio. La descrizione della variabilità dei suoli può essere effettuata applicando metodi numerici, statistici, geostatistici, tassonomici e cartografici. Mentre l'approccio classico propone l'uso della statistica descrittiva, approcci

più moderni includono tecniche come la geostatistica e la fuzzy logic.

■ Metodi numerici

Nella scienza del suolo riveste grande importanza la comprensione dei fenomeni pedogenetici sia per prevedere l'evoluzione del corpo suolo, sia per regolarne l'uso. Tuttavia il numero e la diversa intensità dei fattori che influiscono sul suolo ne complicano lo studio: spesso si rende necessaria una semplificazione attraverso modelli, per esempio si studiano le **sequenze** di suoli per separare l'effetto dei fattori pedogenetici (Fig. 6).



Fig. 6
Le cronosequenze glaciali come quella studiata a Prè de Bar (Courmayeur) permettono di valutare l'influenza del fattore tempo sull'evoluzione dei suoli (Letey et al., 2010)

I fenomeni osservati vengono in ogni caso descritti mediante le misure di numerose variabili connesse a varie proprietà del suolo: difficilmente si può considerare una sola proprietà come di per sé esaustiva, d'altro canto non può essere utile un metodo che, pur considerando misure di diverse proprietà, non ne preveda un'analisi simultanea.

■ Metodi statistici

Metodi statistici quali la correlazione, la regressione semplice o multipla e l'analisi della varianza, sono molto usati nello studio dei suoli, anche se spesso non consentono di analizzare completamente le interrelazioni esistenti tra gli individui considerati (suoli, profili di suoli, orizzonti di profili ecc.). Le elaborazioni statistiche a più variabili non erano molto praticabili, a causa della complessità di calcolo, fino all'avvento del computer: oggi molte procedure sono disponibili anche su PC e tutte le librerie software prevedono programmi di analisi multivariata di architettura più o meno complessa.

L'analisi multivariata è in grado di confermare statisticamente la validità delle semplificazioni fatte per interpretare e riorganizzare le variabili relative ad un fenomeno pedogenetico e inoltre può definirne matematicamente la natura. Essa interviene dove una generica lettura dei dati non può condurre a giudizi in grado di distinguere gli effetti casuali da quelli reali, cioè dove, di regola, ci si basa su di un fattore aleatorio, o "esperienza", che di fatto è soggettivo e basato esclusivamente su idee aprioristiche: non per questo il risultato è in assoluto negativo o errato, ma non ci sarà dato sapere quanto sarà ripetibile in analoghe cir-

costanze o confrontabile con il giudizio espresso da altri. L'analisi multivariata elimina gran parte della soggettività ed è ripetibile anche se, a monte, devono comunque essere fatte delle scelte come la strategia di campionamento, la trasformazione dei dati, la scelta del metodo di analisi ecc, intrinsecamente soggettive: si può comunque ritenere che, una volta stabiliti i criteri d'indagine, l'analisi sarà precisa e ripetibile. L'analisi multivariata d'altro canto è in grado di trattare una grande massa di dati senza seguire concetti e fenomeni predefiniti: sotto questo punto di vista è generatrice di ipotesi non intuitive, talora riducibili alla contemporanea variazione di poche variabili o rappresentabili con indici o con semplici relazioni matematiche. I metodi dell'analisi multivariata sono sostanzialmente quattro, solo in parte complementari, descritti in genere sotto il nome di **classificazione numerica gerarchica** (analisi dei Cluster), **ordinazione** (analisi delle Componenti Principali e analisi dei Fattori), **classificazione numerica non gerarchica** (analisi discriminante) e **analisi della varianza multivariata** (Anova multivariata).

■ Analisi spaziale quantitativa (geostatistica)

Scopo della geostatistica è studiare il valore che una certa proprietà del suolo assume in funzione della sua ubicazione spaziale. Essa descrive una qualsivoglia caratteristica attraverso funzioni continue che eliminano l'impasse di una suddivisione "a mosaico" attraverso l'utilizzo di classi rigide e arbitrarie separate da confini netti. Il supporto teorico è fornito dalla teoria delle variabili regionalizzate

svilupata dal Mathéron (1965) nel suo “Les variables régionalisées et leur estimation”. Esula dagli scopi del presente manuale la trattazione di questi metodi assai complessi e si rimanda alle note bibliografiche per l’approfondimento (Webster, Oliver, 1990).

■ Metodi tassonomici

I fattori pedogenetici agiscono in modo tale da differenziare i suoli sia all’interno di piccole aree, sia a livello di grandi zone geografiche. Per organizzare i diversi tipi di suolo secondo criteri genetici, evolutivi o funzionali ai fini della crescita vegetale, sono stati proposti diversi sistemi tassonomici: taluni sono più dettagliati di altri, ma tutti hanno in comune il difetto di creare inevitabilmente delle discontinuità artificiali in contrasto con l’infinito continuum ecologico che il suolo costituisce nella realtà. L’aumento dei “taxa” (ordini, sottordini, classi, ecc.) e la formazione di gerarchie, in cui a livello più generale pesino di più i caratteri genetici e a livello inferiore quelli funzionali ha migliorato, ma non ottimizzato il risultato.

Storicamente la sistematica dei suoli ha inizio nella seconda metà del XIX secolo con la scuola russa di Dokuchaev che per prima ha definito il suolo secondo unità ambientali soggette a fattori e processi evolutivi intrinseci ed estrinseci che ne provocano significative differenze morfologiche e funzionali: con un’ottica prevalentemente ecologica, furono il clima e le condizioni zionali a giustificare i diversi tipi di suolo. La successiva evoluzione della moderna sistematica ha visto prevalere l’importanza attribuita alle proprietà interne del suolo quali lo sviluppo del profilo, il tipo e il grado

di alterazione della frazione organica e minerale, le condizioni di saturazione del complesso di scambio, la tessitura ecc.: sostanzialmente le categorie sono formate da una sintesi di molti caratteri biogeochimici correlati a ben determinati fattori ambientali. Non esiste allo stato attuale un sistema tassonomico internazionale dei suoli, a parte quello della FAO-UNESCO che però non è di tipo gerarchico, essendo costituito dalla legenda della Carta Mondiale dei Suoli edita per la prima volta nel 1974 e aggiornata nel 1990. A livello dei maggiori gruppi, tuttavia, le varie tassonomie generalmente citate ed effettivamente usate internazionalmente - citiamo tra le altre la Soil Taxonomy del Soil Conservation Service dell’U.S.D.A. (2010), la classificazione francese C.P.C.S. (1967), il Référéntiel pédologique francese (1995), il World Reference Base for Soil Resources FAO (1998-2006) - hanno notevoli rapporti e, in un certo senso, si integrano a vicenda in quanto si reggono tutte sulle correlazioni esistenti tra caratteri e proprietà dei suoli da una parte e processi evolutivi causali dall’altra. La diversità è essenzialmente dovuta al diverso peso relativo attribuito ai vari termini della complessa relazione tra il mezzo in cui il suolo si evolve (roccia madre, clima, vegetazione, geomorfologia), i processi pedogenetici (trasformazione e traslocazione dei materiali entro il profilo) e i caratteri che ne derivano al corpo suolo (proprietà del complesso di scambio, tessitura, struttura, pH ecc.).

I criteri generalmente impiegati nelle moderne tassonomie utilizzano pertanto uno o più dei seguenti riferimenti:

1. il grado di sviluppo del profilo, inteso come espressione del livello evolutivo del suolo, basato sulla presenza di una sequenza di orizzonti principali designati internazionalmente. Il profilo “tipo AC” rappresenta il termine meno evoluto in tutte le classificazioni in quanto contiene un orizzonte minerale A indifferenziato, ma con sostanza organica, che poggia direttamente sul materiale C da cui il suolo ha presumibilmente avuto origine. Il profilo “tipo ABC” o “A(B)C”, secondo i pedologi francesi, indica invece un suolo più evoluto in cui compare un orizzonte di alterazione legato ad un processo pedogenetico di base ovvero un orizzonte di accumulo di materiali. Infine il profilo “tipo AEBC”, secondo la notazione americana, indica un grado evolutivo maggiore legato ai processi di eluviazione ed illuviazione, cioè di redistribuzione selettiva, di materiali nonché di formazione di ricoprimenti, o *cutans*, di “laccature” o “screziature” ecc..

2. le condizioni pedoclimatiche ritenute fondamentali, ma generalmente ricavate dalle condizioni climatiche esterne a causa della difficoltà di misura.

3. il tipo di sostanza organica, il grado di mineralizzazione ovvero di umificazione, per gli evidenti rapporti che possono intercorrere con la frazione minerale, per il concorso alla formazione della struttura e per il contributo alla capacità di scambio.

World Reference Base for Soil Resources (WRB)

Il World Reference Base for Soil Resources (WRB) è il successore dell’International Reference Base for Soil Classification (IRB), un’iniziativa della FAO, sostenuta dall’United Nations Environment

Programme (UNEP) e dalla International Society of Soil Science (oggi International Union of Soil Science Societies), attiva dal 1980. L’intenzione era di stabilire un metodo per correlare e armonizzare le classificazioni dei suoli con l’obiettivo di ottenere un accordo internazionale sui maggiori gruppi di suoli a scala globale e sui criteri e le metodologie per descriverli e caratterizzarli, anche per facilitare lo scambio di informazioni con un linguaggio tecnico-scientifico comune agli addetti e comprensibile agli esperti di altre discipline.

L’obiettivo generale del World Reference Base for Soil Resources è quello di fornire basi scientifiche alla FAO Revised Legend del 1988. Più specificatamente gli obiettivi sono:

- sviluppare un sistema internazionale accettabile per identificare le risorse;
- fornire un sistema scientificamente valido e utile anche per agronomi, geologi, idrologi ed ecologi;
- riconoscere le importanti relazioni spaziali tra suoli e/o descriverle secondo topo e cronosequenze;
- dare risalto alla caratterizzazione morfologica rispetto all’approccio meramente analitico di laboratorio.

Il WRB non vuole sostituire le classificazioni nazionali, ma correlarle come una sorta di comune denominatore basato su un linguaggio internazionale legato al suolo.

I principi generali del WRB possono essere così sintetizzati:

- la classificazione dei suoli è basata sulle proprietà del suolo definite in termini di orizzonti e caratteri che devono essere

per quanto possibile misurabili e osservabili in campo;

- la scelta degli orizzonti e caratteri diagnostici deve tener conto dei processi pedogenetici che contribuiscono alla caratterizzazione del suolo, ma di per sé non devono essere considerati caratteri differenziali;

- per quanto possibile ai livelli più elevati, si devono scegliere caratteri diagnostici che siano significativi per scopi gestionali;

- i parametri climatici non sono applicati alla classificazione perché devono essere usati in combinazione dinamica con le proprietà e non entrare nella nomenclatura;

- la classificazione WRB deve essere traducibile partendo dalle classificazioni nazionali;

- le unità tassonomiche devono far riferimento alle maggiori regioni “pedologiche”;

- la Revised Legend of FAO/UNESCO Soil Map of the World deve essere la base di sviluppo del WRB per renderla il più possibile internazionale;

- definizioni e descrizioni delle unità di suolo devono riflettere la variabilità delle caratteristiche sia in senso verticale, sia orizzontale per tener conto delle relazioni spaziali laterali;

- la nomenclatura deve essere chiara e far riferimento il più possibile a gruppi di suoli tradizionalmente riconosciuti, senza però creare confusione nei termini.

Benché i principi generali della FAO Legend siano basati su due livelli categorici e vi siano solo linee guida per un terzo livello, nel WRB si è deciso di valorizzare anche questo livello tassonomico più basso. Ogni “**gruppo**” di riferimento del WRB è determinato da una serie di “**qua-**

lificatori” in sequenza prioritaria attraverso i quali il tassonomo è guidato alla costruzione dei diversi livelli. Grossolanamente la differenziazione tra le classi del WRB è la seguente:

- le classi categoricamente più alte sono differenziate dai diversi processi pedogenetici di base che hanno portato alle varie possibili figure e caratteristiche pedogenetiche, salvo casi particolari dovuti a tipo di roccia madre “speciali”;

- le classi inferiori sono differenziate da quei processi secondari di formazione del suolo che possono significativamente far variare le condizioni primarie. Malgrado un gran numero di suoli di riferimento possano essere presenti in condizioni climatiche diverse, si è deciso di non introdurre differenze legate alle caratteristiche climatiche in modo che la classificazione non sia subordinata alla disponibilità di dati climatici.

Gli schemi della classificazione per i suoli antropogenici/tecnici utili ai fini di questo manuale sono riportati nella SCHEDA E1.

USDA - Soil Taxonomy

La classificazione americana, la cosiddetta USDA Soil Taxonomy, è attualmente alla sua undicesima edizione (Soil Survey Staff, 2010). Questa si basa sull'identificazione di orizzonti e proprietà diagnostiche, che permettono di collocare il suolo studiato in campo in una categoria.

Questa classificazione prevede 6 livelli, già definiti ove il suolo studiato in campagna va collocato. Tali livelli sono: **ordini, sottordini, grandi gruppi, sottogruppi, famiglie e serie**. I diversi livelli gerarchici, ma in particolare l'ultimo, possono essere suddivisi in fasi.

I principi fondamentali che la regolano sono:

- elevata oggettività (due pedologi esperti dovrebbero classificare lo stesso suolo nello stesso modo);
- multicategorialità, così da consentire di scegliere il livello gerarchico adeguato agli obiettivi del rilevamento;
- possibilità di integrazione con l'inserimento di nuovi tipi di suolo senza essere stravolto;
- riconoscibilità in campagna delle proprietà diagnostiche e delle caratteristiche differenziali

Le prime quattro categorie evidenziano i processi pedogenetici dominanti e subordinati (livello genetico); le ultime raggruppano i suoli sotto l'aspetto pratico in funzione della risposta all'uso (livello pragmatico). Le Fasi separano suoli per caratteristiche, intrinseche o estrinseche dei suoli, determinate specificatamente durante il rilevamento.

Gli Ordini sono 12 e sono distinti dalla presenza o assenza dei principali orizzonti diagnostici o proprietà diagnostiche:

1. **Alfisuoli:** suoli caratterizzati dalla lisciviazione di argilla in un orizzonte illuviazione Bt.

2. **Andisuoli:** suoli sviluppatasi su materiali vulcanici; si osserva abbondanza di composti amorfi come allofane, imogolite e ferridrite.

3. **Aridisuoli:** i suoli delle regioni a clima secco, caratterizzati da regime di umidità arido.

4. **Entisuoli:** suoli giovanissimi, poco sviluppati; le condizioni ambientali non riescono a far progredire lo sviluppo di un suolo oltre un certo segno.

5. **Gelisuoli:** i suoli delle zone fredde, interessati dal permafrost. Presentano spesso delle pedoturbazioni originate

dall'alternanza fra gelo e disgelo nel profilo.

6. **Histosuoli:** i suoli organici, costituiti per la maggior parte da resti vegetali a vario grado di decomposizione.

7. **Inceptisuoli:** sono suoli poco evoluti, in cui si osservano comunque segni di alterazione dei minerali primari, perdita per dilavamento di basi, ferro o alluminio e differenziazione in orizzonti. Non si osservano invece segni di lisciviazione di argilla, né abbondanza di composti amorfi fra alluminio e humus.

8. **Mollisuoli:** suoli caratterizzati dalla presenza di un orizzonte superficiale ricco in sostanza organica, scuro, piuttosto profondo e ricco in basi.

9. **Oxisuoli:** suoli minerali molto alterati, caratterizzati da intensissimo dilavamento di silice e cationi, argille di neoformazione (quando presenti) di tipo 1:1 (caolinite). La sostanza organica si ritrova solo nei primissimi centimetri.

10. **Spodosuoli:** sono i suoli tradizionalmente conosciuti come **podzol**, contraddistinti dall'accumulo di sostanza organica e alluminio (con o senza ferro) in un orizzonte spodico di illuviazione. È solitamente presente anche un orizzonte eluviale albico, decolorato.

11. **Ultisuoli:** sono suoli in cui si manifesta illuviazione di argilla in un orizzonte argilloso, ma in cui, a differenza degli Alfisuoli, si ha una bassa saturazione in basi.

12. **Vertisuoli:** (dal latino *vertere*, cioè girare) questi suoli hanno la caratteristica di rimescolarsi continuamente. Sono suoli ricchi in argille espandibili: nei periodi umidi assorbono acqua e si espandono (gonfiano) quando secchi, al contrario, perdono acqua e diminuiscono di volume, producendo crepacciature.

Scheda A6: pedoclima e sua caratterizzazione



Il pedoclima, ovvero il clima del suolo, è la risultante dell'interazione tra il clima atmosferico e le caratteristiche del suolo. Esso è stato sempre riconosciuto come un fattore importante della pedogenesi, così come della gestione e produttività dei suoli. Nonostante ciò solo la scuola americana inserisce la classificazione del pedoclima nel nome stesso del suolo. Il motivo per cui è presente nella classificazione americana (Soil Taxonomy, Soil Survey Staff, 2010) una classificazione del pedoclima è riconducibile al vecchio concetto di "zonality" dei suoli, cioè poter distinguere suoli per molti aspetti simili, ma situati in contesti climatici diversi. I pedologi che utilizzano la classificazione dei suoli americana si trovano quindi a dover affrontare la difficoltà di determinare correttamente il regime termico dei suoli. Il problema è generalmente risolto affidandosi a stime basate sulla temperatura dell'aria, presupponendo una certa uniformità nel potere di "trattenuta" del calore da parte del suolo. Nella Soil Taxonomy, ad esempio, la temperatura media annua del suolo si considera più elevata di quella dell'aria di un grado centigrado. In realtà, tutti coloro che hanno esperienza di suolo sanno che, a parità di condizioni climatiche, la temperatura del suolo può variare notevolmente in funzione del livello e del tipo di copertura vegetale, e della sua natura fisica, chimica e morfologica.

Il significato dei termini classificatori dei regimi udometrici e termometrici secondo la Soil Taxonomy è riportato nelle tabelle seguenti.

Tab. 2 Principali regimi di umidità del suolo secondo la Soil Taxonomy. Modificato da Costantini (1998)

Acquico	Il regime di umidità è quello di un ambiente riducente, virtualmente privo di ossigeno in un suolo saturato dalla falda o dalla frangia capillare. La durata del periodo di saturazione deve essere almeno di qualche giorno durante il quale la temperatura del suolo è sopra lo 0 biologico (5°C).
Aridico	Il concetto di aridico è quello di una condizione in cui la disponibilità idrica è di regola insufficiente per una normale crescita delle piante.
Udico	Il suolo ha una buona disponibilità di acqua per la crescita delle piante per tutto l'anno.
Ustico	Il suolo è caratterizzato da una limitata disponibilità idrica per la crescita delle piante. Questo perché vi sono dei periodi nell'anno in cui il suolo è troppo secco per la crescita delle piante di clima non desertico oppure, perché, la disponibilità idrica non è ottimale durante tutto l'anno.
Xerico	Il suolo è umido in inverno e secco in estate. E' sempre un concetto legato alla disponibilità idrica limitata, come il regime Ustico, di cui infatti può essere considerato un caso particolare, riferito essenzialmente al clima mediterraneo.

Tab. 3 Principali regimi di temperatura del suolo secondo la Key to Soil Taxonomy (2010).

	T media annua	Differenza fra temperatura media invernale ed estiva
Gelico	< 0°C	-
Cryico	0°C < t < 8°C, assenza di permafrost*	-
Frigido	0°C < t < 8°C, ma T estiva > rispetto a quella che caratterizza il regime Cryico	>6°C
Mesico	8°C < t < 15°C	>6°C
Termico	15°C < t < 22°C	>6°C
Ipertermico	t > 22°C	>6°C

*permafrost: substrato la cui temperatura permane al di sotto degli 0°C per almeno due anni consecutivi

I regimi di umidità del suolo si riferiscono a specifiche sezioni di controllo nel suolo, la cui profondità dipende essenzialmente dalla tessitura. Ad esempio se la tessitura è sabbiosa la sezione di controllo è compresa fra 30 e 90 cm. Essa si riduce a 10-30 cm se la tessitura è argillosa.

La sezione di controllo per la misura della temperatura è fissata ad una profondità di 50 cm. Il prefisso iso- indica un regime termico in cui la differenza fra la temperatura media estiva del suolo e quella media invernale è < 6°C.

Quale che sia il sistema tassonomico utilizzato, nella determinazione del pedoclima è sempre presente un problema di scala (Costantini, 1998). In sintesi, è possibile individuare tre livelli di indagine, a cui corrispondono tre scale di riferimento e di rappresentazione dei dati.

Al primo livello, quello a scala più piccola, la classificazione del pedoclima è funzione di pochi dati climatici atmosferici (es-

senzialmente temperatura, piovosità, radiazione ed evapotraspirazione) utilizzati per simulare la temperatura e l'umidità di un suolo tipo, senza considerare le interazioni con le caratteristiche specifiche del suolo in esame. La classificazione è effettuata mediante l'uso di modelli informatizzati che simulano i flussi idrici e termici in modo più o meno approssimato (Thorntwaite, Mather, 1995; Newhall, 1972). Il risultato che si ottiene è una individuazione del pedoclima di larga massima, utile per individuare i principali processi pedogenetici dominanti in un certo territorio e per distinguere le aree con problematiche agronomiche ed ambientali diverse. E' il livello a cui attualmente si fa riferimento per classificare i suoli. A titolo di esempio, nel territorio della Regione Autonoma Valle d'Aosta, ad una quota di 1380 m slm in Bassa Valle (Valle del Lys), il regime di temperatura del suolo risulta generalmente mesico mentre il regime di umidità è udico.

Se si sale di quota (1630 m slm), il regime di umidità permane normalmente udico mentre il regime di temperatura diventa rigido (§ APPENDICE 1).

Al secondo livello, corrispondente al polypedon (Scheda A4), il pedoclima dovrebbe essere stimato non solo in relazione al clima, ma anche alle caratteristiche del suolo (soprattutto riserva di acqua utilizzabile dalle colture, ma anche risalita capillare, scorrimento superficiale, apporti da falda), in modo da diventare una “qualità del suolo” e come tale essere messo in relazione con la risposta dei suoli alla vegetazione, alle colture e alle singole pratiche di gestione. E’ il livello che ha le maggiori implicazioni applicative, ma è anche quello sul quale permangono più incertezze, poiché le sperimentazioni di controllo del comportamento del suolo sono piuttosto rare.

Solo al terzo livello, quello di maggior dettaglio, corrispondente al pedon, cioè al singolo suolo, il pedoclima è realmente misurato in situ. In questo caso si tratta in

genere di rilievi inseriti nell’ambito di prove sperimentali, o su suoli rappresentativi di realtà più vaste (suoli caposaldo). A titolo di esempio si riportano i dati di temperatura nel Comune di Fontainemore, ad una quota di 1450 m slm, registrati nel corso di una prova sperimentale, dall’autunno alla primavera (Freppaz et al., 2008) (Fig. 7).

Purtroppo, ben poche sono le stazioni sperimentali che hanno rilevato il pedoclima a questo livello per un numero di anni soddisfacente, non solo in Italia, per cui la conoscenza dei reali regimi idrici e termici dei suoli è quasi sempre molto approssimativa. In tale senso si sottolinea l’importanza di misure della temperatura e dell’umidità del suolo a lungo termine, quali quelle promosse nell’ambito della Rete LTER (Long Term Ecological Research; www.lteritalia.it), all’interno della quale è compreso un sito valdostano (Sito 19: Ambienti d’alta quota delle Alpi Nord Occidentali), gestito dal centro NatRisk dell’Università di Torino e dall’Arpa Valle d’Aosta.

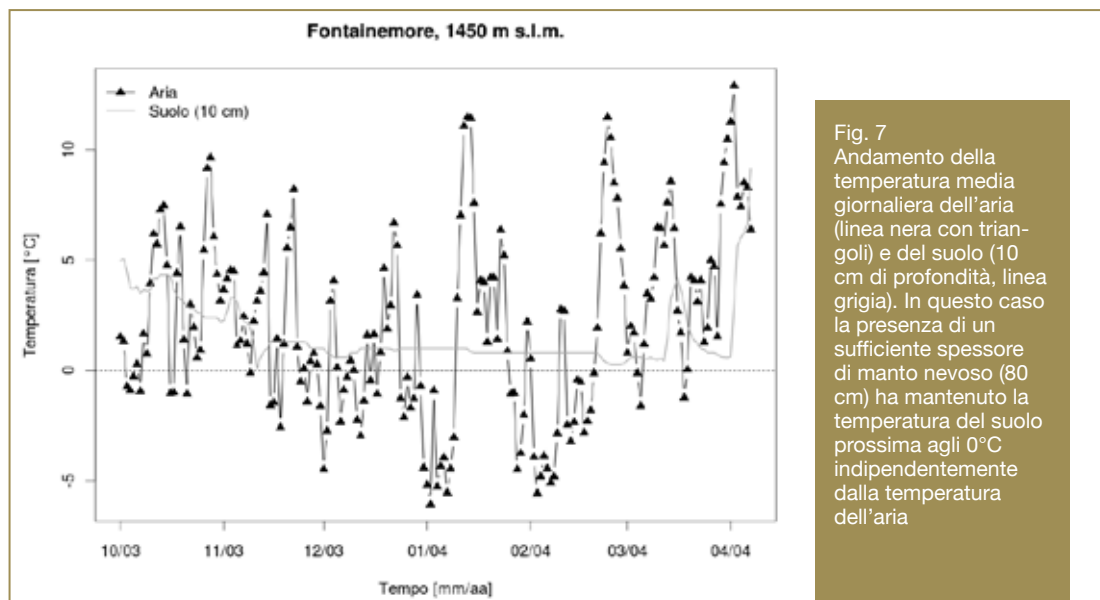


Fig. 7
Andamento della temperatura media giornaliera dell’aria (linea nera con triangoli) e del suolo (10 cm di profondità, linea grigia). In questo caso la presenza di un sufficiente spessore di manto nevoso (80 cm) ha mantenuto la temperatura del suolo prossima agli 0°C indipendentemente dalla temperatura dell’aria



- AFES (1995). Référentiel Pédologique 1995. D. Baize et M.C. Girard coord. INRA Éditions, Paris. pp. 332.
- Costantini E.A.C. (1998). Pedoclimi italiani e aree sensibili. Atti del Convegno Gli Studi Climatologici: strumenti per la gestione del territorio. Palermo-Mondello, 16 dicembre 1998. pp. 29-60.
- CPCS (Commission de Pédologie et Cartographie des Sols) (1967). Classification des sols. FAO-UNESCO (1988). Soil map of the world. Revised legend. Rome. pp. 119.
- FAO (1998-2006). World Reference Base for Soil Resources. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Freppaz M., Agnelli A., Drusi B., Stanchi S., Galliani C., Revel Chion V., Zanini E. (2008). Terraced pergola vineyards in the low Aosta Valley. In: Scaramellini G. e Varotto M. (Eds.) Terraced landscapes of the Alps, Atlas. Marsilio Editori, Italy, ISBN 978-88-317-9520. pp. 84-87.
- Freppaz M., Agnelli A., Drusi B., Stanchi S., Galliani C., Revel Chion V., Zanini E. (2008). Soil quality and fertility: studies in the Valle d'Aosta. In: Fontanari E. e Patassini D. (Eds.) Terraced landscapes of the Alps, Projects in Progress. Marsilio Editori, Italy, ISBN 978-88-317-9486 pp. 37-39.
- Freppaz M., Marchelli M., Viglietti D., Bruno E., Zanini E. (2006). Suoli più freddi in un mondo più caldo? Il ruolo della neve nel condizionare la temperatura e la vita del suolo. Neve e Valanghe ISSN 1120-0642 58: pp.74-81.
- Freppaz M., Marchelli M., Celi L., Zanini E. (2008). Snow removal and its influence on temperature and N dynamics in alpine soils (Vallée d'Aoste - NW Italy). Journal of Plant Nutrition and Soil Science 171: pp.672-680.
- Letey S., Freppaz M., Filippa G., Stanchi S., Cerli C., Pogliotti P., Zanini E. (2010). Soil development along a glacial chronosequence (Pré de Bar glacier, NW Italy) Geophysical Research Abstracts Vol. 12, EGU2010-9182-1, 2010 EGU General Assembly 2010.
- Munsell Soil Colour Charts (2009). www.munsellstore.com
- Newhall F. (1972). Calculation of Soil Moisture Regimes from Climatic Record. Rev. 4 Mimeographed, Soil Conservation Service, USDA, Washington DC.
- Soil Survey Staff. (2010). Keys to Soil Taxonomy, 11th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.
- Stanchi S., Freppaz M., Agnelli A., Reinsch T., Zanini E. (in press). Properties, best management practices and conservation of terraced soils in Southern Europe (from Mediterranean areas to the Alps): A review. Quaternary International. doi:10.1016/j.quaint.2011.09.015.
- Stanchi S., Freppaz M., Oberto E., Caimi A., Zanini E. (2008). Plastic and liquid limits in Alpine soils: methods of measurement and relations with soil properties. Advances in Geocology 39: pp. 594-604.
- Stanchi S., Oberto E., Freppaz M., Zanini E. (2009). Linear regression models for liquid and plastic limit estimation in Alpine soils. Agrochimica, vol. 5 pp. 322-338.
- Thornthwaite C.W., Mather, J.R. (1955). The water balance. Publications in Climatology. New Jersey: Drexel Institute of Technology, pp.104.
- Walter H., Lieth H., (1960). KlimadiagrammWeltatlas. VEB Gustav Fisher Verlag. Jena.
- Webster, R., Oliver, M.A. (1990). Statistical Methods in Soil and Land Resources Survey. Oxford Univ. Press.



Parte B:
indagini di
campagna e
di laboratorio



■ Cos'è e perché si effettua un rilevamento pedologico

Il rilevamento dei suoli, (indicato in inglese come “soil survey”), è un insieme di procedure volte a determinare i tipi e le proprietà dei suoli di un territorio o di un paesaggio per capirne l'evoluzione, la capacità d'uso e l'attitudine ovvero per mapparne la variabilità pedologica.

Può essere considerata una branca della geografia fisica applicata ed è fortemente dipendente dall'interpretazione geomorfologica, dall'indagine geobotanica e vegetazionale oltre che, ovviamente, dall'analisi pedogenetica. I dati essenziali sono acquisiti dal campionamento a terra supportato dal remote sensing, soprattutto dalle fotografie aeree o dalle immagini satellitari. Dal punto di vista pratico, il rilevamento dei suoli permette previsioni relative a specifici obiettivi più accurate, più numerose ed uti-

li rispetto ad altri metodi interpretativi del territorio agricolo e/o forestale.

Per raggiungere questo obiettivo occorre:

1. individuare la struttura e la forma della copertura pedologica;
2. discriminare all'interno di questa struttura e di questa forma una serie di unità relativamente omogenee;
3. determinare per ogni unità le tipologie di suoli dominanti;
4. mappare su una base cartacea o informatizzata la distribuzione di queste unità così da poter esprimere giudizi sull'uso potenziale dei suoli e/o sulla loro risposta a cambiamenti nella loro gestione o ad altri input antropici e naturali.

I diversi tipi di suolo attribuiti alle varie unità di mappa possiedono proprietà correlate e caratteristiche di una determinata associazione di suoli da intendersi come un ben preciso **“corpo suolo”**.

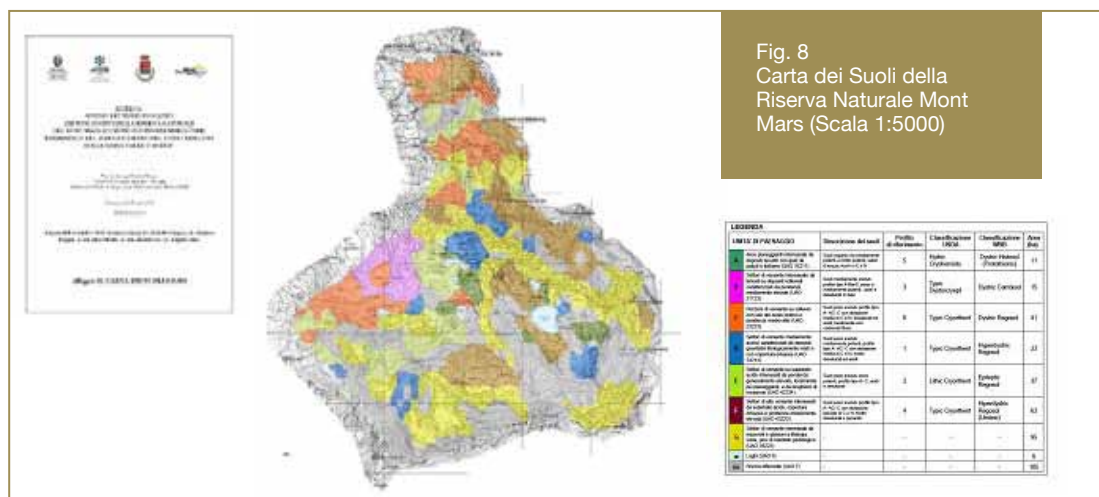


Fig. 8
Carta dei Suoli della
Riserva Naturale Mont
Mars (Scala 1:5000)

S'intende che non possono essere considerate come "carte dei suoli" le mappe della semplice distribuzione di caratteri o proprietà del suolo quali tessitura, pendenza, esposizione, pH ecc. sia da sole, sia in limitata combinazione, così come le mappe qualitative, quali quelle di produttività, e le mappe relative ai soli fattori di formazione del suolo (climatiche, topografiche, vegetazionali, geo-litologiche). Una **carta dei suoli** (Fig. 8) individua aree occupate da differenti tipi di suolo ciascuno dei quali ha un unico set di caratteri e proprietà derivate dal materiale da cui è stato formato, dallo specifico ambiente e dalla sua storia. I suoli mappati devono comunque far riferimento ad un sistema tassonomico universalmente accettato (es. WRB, USDA Soil Taxonomy). La distribuzione spaziale di molte singole proprietà del suolo ovvero molti aspetti qualitativi, possono essere estratti dalle carte dei suoli e rappresentati in **carte tematiche** quali, ad esempio, la vulnerabilità all'erosione o il comportamento del suolo in relazione ad un particolare uso. Il numero di possibili mappe derivate, di carattere interpretativo, è molto grande, ma ciascuna offre una specifica interpretazione e raramente serve per scopi diversi.

Le carte che descrivono una o più proprietà del suolo possono essere realizzate direttamente sulla base di osservazioni di campagna senza necessariamente costruire come base una carta dei suoli. Sono carte per specifici usi, come si è detto, interpretative di uno specifico problema e spesso devono essere cambiate ogni volta che cambia l'uso del territorio o il tipo di coltivazione. Una carta di produttività di una certa coltura su suoli a lento drenaggio non avrà alcun valore dopo l'introduzione di un sistema di drenaggio artificiale.

Se le carte di base dei suoli sono fatte con cura, quelle derivate possono essere riviste senza necessariamente rifare o integrare il lavoro di campagna. Ciò è essenziale: capita che occasionalmente dei **rilevamenti speditivi** siano fatti per il raggiungimento di un obiettivo immediato a costi bassi. Le mappature che ne derivano diventano però rapidamente obsolete e non possono essere revisionate senza ulteriori lavori di campo perché, in genere, vengono trascurati dati importanti, la "fotografia" della situazione viene confusa con l'interpretazione e spesso, i limiti tra diverse unità di suoli non vengono definiti. L'obiettivo del rilevamento pedologico è simile per tutti i tipi di Terre, tuttavia il numero di unità di mappa e la loro composizione è variabile in relazione alla complessità con cui i suoli si presentano e alle esigenze dell'utente. Il rilevamento deve rispondere contemporaneamente all'esigenza di conoscere i suoli, ma anche di metterli in relazione con i problemi dell'area in cui si trovano: non è solo pura conoscenza dei suoli, ma anche approccio a problemi pratici e pianificatori utili per la Comunità. Questi piani includono la conservazione delle risorse per gli agricoltori, i miglioramenti fondiari, lo sviluppo e la difesa del territorio, la gestione forestale ecc.. Essi soddisfano il bisogno di informazioni relative al suolo in merito a specifiche aree geografiche di uno Stato, ma anche ambiti territoriali più circoscritti, dove sono necessarie specifiche azioni di pianificazione territoriale. Ovviamente l'accumulo di dati pedologici ed il loro reperimento sono meglio gestiti con sistemi di Automatic Data Processing (ADP) che consentono rapide interpretazioni e decisioni "politiche" per il presente e per il futuro.



■ Unità di Paesaggio

I fattori climatici e biologici producono in genere situazioni geografiche di massima diverse tra loro: ciò ha portato alla definizione della distribuzione dei suoli come **“zonale”**. La roccia madre poi contribuisce alle variazioni pedologiche all’interno delle zone climatiche e vegetazionali. Le situazioni topografiche locali aggiungono ulteriore complessità, in quanto possono determinare sia il tempo di esposizione ai processi pedogenetici, sia il tipo di processo. Le complesse interazioni tra questi fattori nel tempo si presentano in forme ripetitive che portano alla presenza di combinazioni altrettanto ripetitive in un territorio, corrispondenti a cosiddette Unità di paesaggio: ciò è la base per la definizione, l’identificazione e la rappresentazione cartografica dei suoli, secondo **“Unità di mappa”** o **“Unità ambientali omogenee”** (§ APPENDICE 5).

Il Soil Survey Staff del Dipartimento dell’Agricoltura statunitense, così come la FAO, hanno sviluppato terminologie descrittive dei suoli e sistemi tassonomici applicabili alle diverse scale e per un’ampia varietà di uso dei suoli. Si fa dunque spesso riferimento alla SOIL TAXONOMY USDA e al Word Reference Base for Soil Resources o WRB. Si veda a questo proposito anche la SCHEDA A5 e il sito WEB “A Compendium of On-Line Soil Survey

Information, Soil Classification for Soil Survey” (http://www.itc.nl/personal/rossiter/research/rsrch_ss_class.html). Questi sistemi sono ormai ritenuti i riferimenti internazionali e sono molto flessibili per adattarsi alle diverse scale d’indagine sui suoli, ma, per contro, sono complessi e necessitano della comprensione di molti assunti filosofici e concettuali, nonché di molte operazioni analitiche e di campo: soprattutto, tra questi, le relazioni tra unità di mappa e unità tassonomiche, tra dati relativi ai singoli siti e dati relativi alle unità di mappa, tra modelli pedogenetici concettuali ed entità reali presenti in un territorio.

Le Unità di mappa sono costruite in modo tale da essere informative per i più comuni usi del suolo in un area d’indagine e devono essere anche facilmente riconoscibili e aggiornabili su basi geografico-topografiche cartacee o informatizzate, oltre ad essere compatibili con la possibilità reale di raccogliere i dati pedologici e con le capacità degli operatori (rilevatori ed analisti).

I diversi tipi di suolo sono meglio riconoscibili attraverso la caratterizzazione

di proprietà presenti in piccoli campioni, che facciano riferimento a descrizioni di campagna (§ APPENDICE 6) di “profili verticali di suolo” che includono: **designazione degli orizzonti,**

profondità e potenza degli orizzonti, colore a secco e a umido, struttura, forma e consistenza delle unità strutturali in diverse condizioni d'umidimento, presenza di noduli o concrezioni, presenza di sali, scheletro, tessitura, porosità, presenza di radici e di altra attività biologica, condizioni dei limiti tra orizzonti. In genere sono descritte anche le condizioni dei suoli e dell'ambiente immediatamente circostante. I dati chimici, fisici e chimico-fisici relativi a campioni prelevati nei singoli orizzonti devono essere ottenuti in laboratorio con metodi ufficiali e standardizzati. Le osservazioni di campagna ci informano sulla situazione attuale, tuttavia è in genere possibile speculare su ciò che sono stati gli input e gli output di materia e di energia, su quali cambiamenti siano avvenuti nel tempo, su quali traslocazioni di materiali siano avvenute all'interno del suolo. La morfologia del profilo spesso è collegabile sia a modelli pedogenetici, sia a processi geomorfologici. Il riferirsi a modelli generali di pedogenesi è un processo mentale che può consentire rapidamente di passare dalla presenza di ioni in soluzione all'organizzazione degli orizzonti nel profilo ed alle loro relazioni stratigrafiche all'interno di un territorio. Il campionamento finalizzato entro un'unità di mappa dipende dalle informazioni che s'intendono ricavare e che si ritengono correlabili in modo significativo con le condizioni di tale unità. Gli indizi necessari per avere tali informazioni non necessariamente dipendono dalle proprietà puntuali, ma

possono essere associate al modello pedogenetico associato all'unità di mappa.

Nella maggior parte delle mappature dei suoli sono delineati limiti territoriali che possono non coincidere affatto con le aree geografiche e le unità di mappa possono essere rappresentate con differenti tonalità di colore od ombreggiature per associare i suoli a cambiamenti di vegetazione, di condizioni di drenaggio ecc, ma queste non si devono usare per evidenziare caratteristiche così importanti da giustificare un'ulteriore possibile definizione di nuove unità di mappa.

Tutte le previsioni sulle caratteristiche dei suoli in un'unità di mappa, sulle possibili risposte dei suoli in termini di attitudine o di qualità sono basate sulle relazioni che si pensa possano esistere tra situazione attuale e modelli pedogenetici di riferimento di quell'unità.

Sono stati suggeriti molti schemi per determinare le caratteristiche di un suolo in un certo punto e la composizione pedologica associata alle unità di mappa, ma tutti devono anche tener conto di una certa casualità nella distribuzione spaziale e quindi l'estrapolazione alle singole condizioni puntuali è un fatto probabilistico e possono esistere certamente situazioni aberranti. Queste ultime, se verificate a terra, danno spesso origine a delle "inclusioni" di suoli diversi all'interno delle unità di suoli del modello di riferimento: la reale composizione di un'unità di mappa non può essere conosciuta, ma solo approssimata sulla base delle osservazioni effettuate.



■ Identificazione dei pedon

Pedon e Polypedon

Nelle indagini pedologiche le singole parti che costituiscono il *continuum* dei suoli vengono classificate. Le classi sono definite in modo tale da includere suoli di tipologia e frequenza significative: le classi sono dei concetti, non suoli reali, ma rappresentano ciò che in natura può essere ricondotto a **pedon** e **polypedon**.

Pedon

Si tratta della più piccola unità tridimensionale entro la quale è possibile pensare che i suoli siano per profilo e per proprietà, sostanzialmente analoghi, se non uguali. L'individuazione del pedon come unità di campionamento limita l'effetto della variabilità spaziale.

Il pedon s'intende esteso in profondità fino alla roccia madre o fino alla parte più superficiale del materiale sottostante il suolo (Fig. 9) e, lateralmente, è delimitato da ogni possibile variazione significativa di uno o più fattori della pedogenesi. Qualora non sia possibile definire la profondità della roccia madre, per motivi pratici, ci si limita a considerare una potenza complessiva massima del suolo di 2 m, che usualmente

consente di verificare la presenza/assenza della maggior parte di orizzonti pedogenetici e di considerare i volumi di suolo esplorati dalle radici, fornendo realistiche informazioni sulle proprietà chimiche, fisiche e fisico-chimiche (Fig. 9).

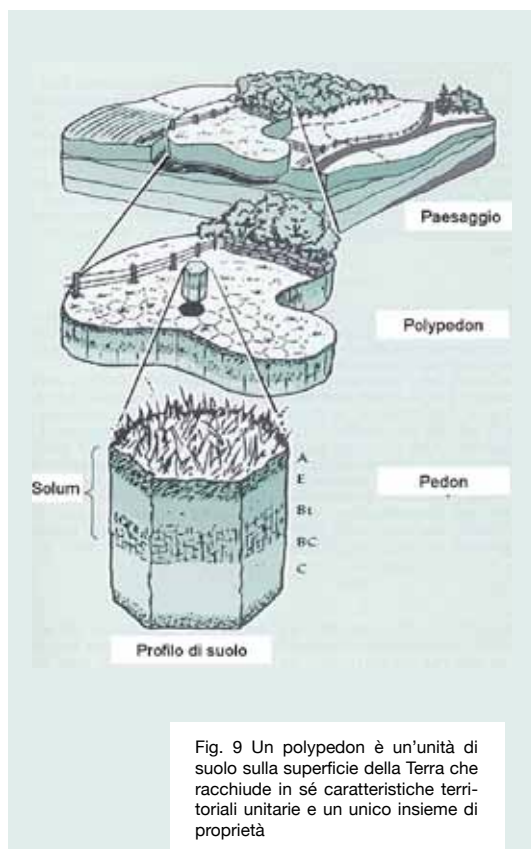


Fig. 9 Un polypedon è un'unità di suolo sulla superficie della Terra che racchiude in sé caratteristiche territoriali unitarie e un unico insieme di proprietà

Fig. 10 Schema della sezione di un pedon. Il solum rappresenta le parti in cui avvengono le trasformazioni e le traslocazioni interne di fasi organiche e minerali di neoformazione. Il regolite è invece uno strato di materiale sciolto e di granulometria eterogenea che copre uno strato di roccia compatta usualmente chiamato roccia madre



Polypedon

Il pedon è considerato troppo piccolo per essere in grado di rappresentare in modo esaustivo tutte le condizioni e proprietà del suolo di un territorio, per esempio per quanto riguarda le pendenze, la pietrosità ecc: è stata quindi introdotta dalla USDA - Soil Taxonomy la notazione di polypedon come unità di classificazione, come un unico “corpo suolo” omogeneo a livello tassonomico di serie e grande abbastanza da poter evidenziare tutte le

caratteristiche pedologiche necessarie per la completa descrizione e classificazione dei suoli.

In pratica, tuttavia, il concetto di polypedon è stato largamente disatteso e ignorato e molti pedologi considerano il pedon, o analoghi concetti, sufficientemente rappresentativi, malgrado la loro dimensione a volte limitata, trasferendo deliberatamente o inconsciamente al pedon tutte le proprietà spaziali dell’area che circonda il suolo studiato (Fig. 10).



■ Profilo pedologico

Osservando una buca o un taglio stradale, facilmente si possono osservare delle stratificazioni parallele alla superficie del suolo: esse costituiscono gli **orizzonti** del suolo e la loro reciproca sistemazione costituisce il **profilo** del suolo. I pedologi osservano e descrivono i profili rappresentativi dei pedon per caratterizzare, interpretare e classificare i suoli.

Gli orizzonti si differenziano frequentemente per caratteristiche facilmente distinguibili quali il colore, la struttura degli aggregati, la tessitura, la presenza di attività biologica, lo spessore ecc.. Altre proprietà meno visibili o determinabili solo in laboratorio, quali le caratteristiche

mineralogiche e chimiche, concorrono, comunque, alla definizione degli orizzonti. Gli studiosi, secondo le indicazioni dell'USDA Soil Conservation Service (Soil Survey Staff, 2010) integrate da quelle della FAO (FAO, 2006), usano le lettere maiuscole O, A, B, C, E, L, M, R, e W per identificare gli orizzonti principali, aggiungendo lettere minuscole per distinguere particolari condizioni all'interno di questi. La maggior parte dei suoli ha tipicamente un profilo ABC ovvero: un orizzonte minerale superficiale arricchito di sostanza organica (**A**), un orizzonte sottostante (**B**) meno ricco di sostanza organica in cui si possono osservare i risultati delle trasformazioni della fase minerale e/o della struttura, e il substrato (**C**) derivante dall'alterazione prevalentemente fisica della roccia madre. Alcuni suoli presentano un accumulo di materia organica in superficie che costituisce un orizzonte organico (**O**) e, talvolta, questo può essere sepolto e quindi non viene a trovarsi alla superficie. La designazione principale **E** corrisponde a un orizzonte subsuperficiale in cui si è verificata una forte alterazione e perdita di minerali (eluviazione). Per la roccia compatta, non suolo, si usa la designazione **R**. Sono anche usate altre lettere per indicare un orizzonte principale di accumulo di materiale *limnico* derivante dalla sedimentazione di minerali e di materia organica in acqua per azione di alghe ed altri organismi acquatici (**L**), un orizzonte



Fig. 11
Esempio di
profilo di suolo in
"veste invernale"
Fontainemore
(1985 m s.l.m.)

profondo fortemente cementato costituito da manufatti limitanti lo sviluppo delle radici (**M**) e un orizzonte corrispondente a uno strato d'acqua nel suolo liquida (falda sospesa o ristagno) o congelata (**W**).

La formazione del suolo comincia con la disgregazione o alterazione della roccia madre e continua con la trasformazione (weathering) dei minerali e con l'integrazione/trasformazione di sostanza organica fino alla formazione del profilo verticalmente organizzato in orizzonti (Fig. 11).

■ Gli orizzonti principali in dettaglio:

Orizzonte O

Nella parte più superficiale del profilo si osserva l'orizzonte O. Esso è costituito principalmente da sostanza organica. La lettiera fresca si trova in superficie mentre a maggiore profondità i segni della struttura originaria della vegetazione sono stati distrutti dai processi di decomposizione e umidificazione. L'humus, contribuisce alla formazione della struttura e favorisce la ritenzione dell'acqua all'interno del suolo. I suoli costituiti da una sequenza di orizzonti O sono denominati Histosuoli e sono caratteristici delle aree umide (Fig. 12).

Fig. 12
Area umida d'alta quota nella Riserva Naturale Mont Mars 2000 m slm circa.



(Fig. 13)
Profilo di Inceptisol a Verrès (tra 0-20 cm orizzonte A ben espresso; successione di orizzonti B oltre 20 cm di profondità)

Orizzonte A

Esso si trova al di sotto dell'orizzonte O. Esso indica l'inizio del suolo minerale. In questo orizzonte la materia organica si integra con i prodotti minerali dell'alterazione. Normalmente esso è caratterizzato da un colore bruno nerastro dovuto alla presenza della sostanza umificata (Fig. 13). L'eluviazione, cioè la rimozione di sostanze organiche ed inorganiche da un orizzonte per lisciviazione si verifica proprio nell'orizzonte A. Il processo di eluviazione è legato al movimento verticale dell'acqua.

Orizzonte E

L'orizzonte E è in genere un orizzonte di colore chiaro, in cui il processo dominante è rappresentato dall'eluviazione. La lisciviazione o la rimozione di particelle di argilla (lessivage), sostanza organica, e/o ossidi di ferro e alluminio, sono particolarmente attive in questo orizzonte. Al di sotto di foreste di conifere, l'orizzonte E di frequente è caratterizzato da una elevata presenza di quarzo, il quale conferisce a tale orizzonte un colore grigiastro simile alla cenere (Fig. 14-15).

Orizzonte B

Al di sotto dell'orizzonte A o E se presente si trova l'orizzonte B. L'orizzonte B corrisponde ad una zona di illuviazione, dove il materiale proveniente dalle parti superiori del profilo si accumula. L'accumulo del materiale fine determina la formazione di uno strato piuttosto denso nel suolo. In alcuni suoli l'orizzonte B è arricchito di carbonato di calcio, con la formazione di noduli o di veri e propri orizzonti calcici. Questo fenomeno si osserva quan-



Fig. 15
Orizzonte E in un
podzol osserva-
to nella Valle di
Cogne (AO)



Fig. 14
Orizzonte E
"crioturbato" in
un profilo di suolo
(Gelisol in Siberia)

do il carbonato precipita nel corso del movimento dell'acqua verso il basso oppure per azione della capillarità. I processi di eluviazione sono importanti nei climi umidi, dove si osservano precipitazioni significative ed un surplus nel bilancio idrico del suolo. In genere gli orizzonti illuviali si trovano a maggiore profondità nel profilo. Essi si osservano vicino alla superficie del suolo in climi aridi e semiaridi, dove le precipitazioni sono scarse. L'azione della capillarità trasporta i cationi in soluzione, quali il calcio ed il sodio verso l'alto, dove precipitano.

Orizzonte C

L'orizzonte C (Fig. 16) rappresenta il materiale parentale, da cui si è originato il suolo. Esso può essersi originato in situ oppure essere stato trasportato da altre zone, per esempio per azione di fenomeni alluvionali o gravitativi. Al di sotto dell'orizzonte C si può osservare la Roccia Madre inalterata (R).

I suffissi

Nella Tabella 4 seguente sono riportati i suffissi adottati nei singoli orizzonti (FAO, 2006) per precisare le differenze all'interno del profilo legate a input nel profilo, output dal profilo, trasformazione/traslocazione entro il profilo, accumulo entro il profilo di materiali determinati dai processi pedogenetici.



Fig. 16
Orizzonte C
in un suolo su
serpentinite
a Pontey (AO)

Tab. 4 Suffissi impiegati per la caratterizzazione degli orizzonti del suolo secondo il WRB. Sono inoltre indicati gli orizzonti a cui si possono riferire tali suffissi

Suff.	Breve descrizione	Utilizzato per
a	Sostanza organica fortemente decomposta	Orizzonti O
b	Orizzonte genetico sepolto	Orizzonti minerali non crioturbati
c	Concrezioni o noduli	Orizzonti minerali
d	Strati compatti (tali da impedire lo sviluppo radicale)	Orizzonti minerali, senza m
e	Sostanza organica parzialmente decomposta	Orizzonti O
f	Suoli gelati	Non negli orizzonti R
g	Condizioni stagniche	Nessuna restrizione
h	Accumulo di sostanza organica	Orizzonti minerali
i	Sostanza organica poco decomposta	Orizzonti O
j	Accumulo di jarosite	Nessuna restrizione
k	Accumulo di carbonati di origine pedogenetica	Nessuna restrizione
l	Evidenze di gleyficazione	Nessuna restrizione
m	Forte cementazione (pedogenetica, massiva)	Orizzonti minerali
n	Accumulo pedogenetico di sodio scambiabile	Nessuna restrizione
o	Accumulo di sesquiossidi (pedogenetici)	Nessuna restrizione
p	Aratura e altri disturbi antropici	Nessuna restrizione
q	Accumulo di silice pedogenetica	Nessuna restrizione
r	Forte riduzione	Nessuna restrizione
s	Accumulo illuviale di sesquiossidi	Orizzonti B
t	Accumulo illuviale di argilla silicatica	Orizzonti B e C
u	Materiali di origine "urbana" ed altri materiali di origine antropica	Orizzonti O, A, E, B e C
v	Presenza di plintite	Nessuna restrizione
w	Sviluppo di colore o struttura	Orizzonti B
x	Caratteristiche di fragipan	Nessuna restrizione
y	Accumulo pedogenetico di gesso	Nessuna restrizione
z	Accumulo pedogenetico di sali più solubili del gesso	Nessuna restrizione
@	Evidenza di crioturbazione	Nessuna restrizione

Scheda B5: campionamento e analisi chimiche e fisiche di base



■ Campionamento entro il profilo

Dovendo provvedere al campionamento di suoli, occorre ricordare che i campioni devono essere rappresentativi, pena la scarsa validità e attendibilità dei dati analitici di laboratorio. Entro il profilo **si procede per orizzonti** in quanto elementi da ritenersi omogenei entro la popolazione da campionare. Un campione non deve mai interessare più orizzonti e la quantità da prelevare deve essere utile per il laboratorio e quindi abbondante di **“terra fine”** (frazione $\emptyset < 2\text{mm}$), almeno 1 Kg, al netto quindi di scheletro, radici o altro. I campioni, ciascuno debitamente etichettato con l'indicazione del rilevatore, della data di prelievo, del progetto cui si riferiscono, del luogo di prelievo, del profilo prelevato (indicazioni geografiche, topografiche o di progetto), dell'orizzonte campionato e della sua profondità, devono essere trasportati in sacchetti resistenti. L'etichetta può essere legata al sacchetto, possibilmente alcuni riferimenti devono essere riportati a pennarello indelebile sul sacchetto.

Piccoli accorgimenti sono:

- utilizzare etichette di cartoncino rigido;
- scrivere con matita copiativa (spesso l'inchiostro svanisce con il tempo o con l'umidità);
- iniziare il campionamento dagli orizzonti più profondi per non inquinare quelli sottostanti;

- non compattare il materiale e limitare la distruzione degli aggregati;
 - eliminare materiale vegetale vivo, insetti, e materiali diversi (vetri, cocci, plastiche ecc) che, nel caso, devono essere conservati a parte;
 - prelevare unendo vari sottocampioni
- Di fondamentale importanza è lo scatto di fotografie sia del profilo del suolo, sia dell'unità di paesaggio di cui è rappresentativo.

■ Campionamento dei suoli superficiali

In alcuni casi è necessario o sufficiente campionare solo la parte superficiale del suolo in quanto o si vuole un dato medio superficiale di un'area, in genere un campo e per scopi agronomici, o si vuole rappresentare uno o più caratteri e la loro distribuzione nello spazio. Anche in questo caso i campioni devono essere rappresentativi.

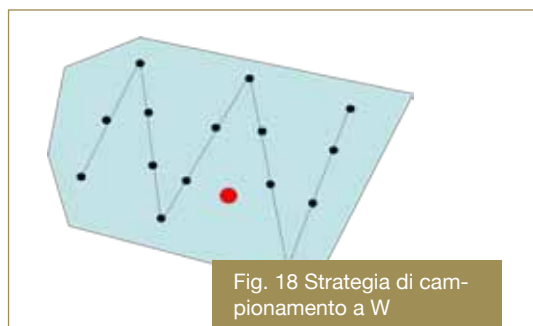
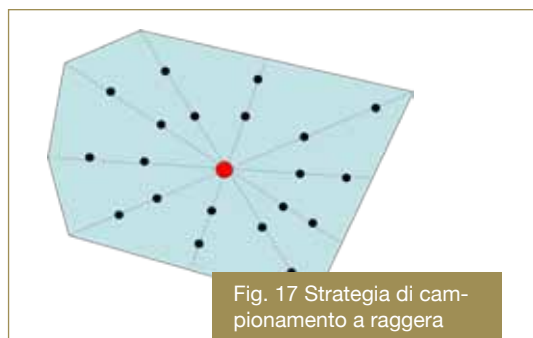
- Il campione raccolto deve essere composto da numerosi sottocampioni, in grado di descrivere la situazione media del campo analizzato. In genere le normali analisi di laboratorio sono eseguite su 5-10 grammi di suolo che sono estratti dal campione consegnato: è quindi fondamentale che tale campione sia rappresentativo del suolo di riferimento. Il numero minimo di sottocampioni da raccogliere va calcolato in base alla superficie dell'appezzamento ed è preferibile che non sia mai inferiore a 5. La densità di campionamento

può essere indicativamente quella riportata nella seguente.

Tab. 5 Densità di campionamento in funzione dell'area da indagare

Superficie del campo (ha)	Numero di sottocampioni
1,0-1,5	5
1,6-2,0	6
2,1-2,5	7
2,6-3,0	8
3,1-3,5	9
3,6-4,0	10

La strategia di campionamento per sottocampioni può essere quella riportata nelle figure seguenti (Fig.17-18). Il punto di prelievo di ogni singolo sottocampione va individuato lungo un percorso a raggera o W, evitando le eventuali zone anomale ed i bordi dell'appezzamento.



Per facilitare un corretto campionamento, si consiglia di individuare innanzitutto il punto evidenziato in rosso in ciascuno dei due schemi. In questo punto si stende un telone nero di circa 1,5 m² su cui miscelare i vari sotto-campioni e si esegue il primo campionamento. Da questo punto, poi, ci si sposta lungo i vari bracci, provvedendo ad individuare i successivi punti di campionamento. Dopo che si sono raccolti tutti i sottocampioni di ogni singolo braccio, è opportuno tornare al punto centrale e versare il contenuto del secchio sul telone, prima di riprendere il campionamento su un altro braccio. Per la raccolta del sottocampione procedere come illustrato nei punti seguenti:

1. pulire dai residui colturali;
2. al centro della zona pulita rimuovere con la vanga o il badile uno strato superficiale di terreno di 2-3 cm;
3. scavare con la vanga o il badile una buca a pareti verticali, profonda circa 30 cm;
4. su un lato della buca della zona pulita, tagliare e prelevare una fetta verticale di terreno, spessa 3-4 cm e che arrivi fino in fondo alla buca (eventualmente);
5. eliminare i ciottoli e le pietre di grossa dimensione (maggiori di 2,5 cm) e i residui vegetali evidenti;
6. dopo aver raccolto nel secchio i sottocampioni prelevati lungo un braccio del percorso di campionamento tornare al punto di partenza e versare tutto il terreno sul telo nero;
7. riprendere il campionamento su un altro braccio dello schema e ripetere tutte le operazioni;

8. al termine del campionamento occorrerà miscelare accuratamente con tutto il terreno presente sul telo nero;

9. una volta miscelati i sottocampioni, prelevare una quantità di terreno sufficiente per riempire il sacchetto in dotazione;

10. etichettare il campione con un numero progressivo e con tutte le indicazioni del caso;

11. per campionare correttamente il suolo sul telo, dopo accurata miscelazione, idealmente dividete il cumulo in 4 parti e prelevate un intero settore.

■ **Analisi chimiche e fisiche di base**

I metodi ufficiali di analisi dei suoli sono indicati dai D.M. n. 79 del 11/05/1992 e D.M. n.185 del 13/09/1999. Le analisi di routine da richiedere al laboratorio in genere sono:

- Tessitura
- pH in acqua (eventualmente anche in KCl)
- Calcare totale

- Calcare attivo
- Sostanza organica (Carbonio organico)
- Azoto totale e calcolo del rapporto C/N
- Fosforo assimilabile
- Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , eventualmente Na^+ . scambiabili
- Capacità di Scambio Cationico (CSC) e calcolo della Saturazione basica %
- Microelementi assimilabili
- Conducibilità elettrica

Altre analisi accessorie in genere necessarie nel campionamento entro il profilo sono:

- Contenuto di scheletro
- Colore Munsell (a secco e a umido)
- Bulk density
- Porosità
- Stabilità degli aggregati (Wet Aggregate Stability)
- Limiti di Atterberg (limite liquido e limite plastico)

Per la corretta interpretazione dei dati si veda l'APPENDICE 7.



L'indagine pedologica è tipicamente multidisciplinare e coinvolge conoscenze geologiche, agronomiche, forestali, naturalistiche, ingegneristiche, chimico-agrarie, ecc.. Ne deriva che durante un rilevamento dei suoli si acquisiscono e si elaborano una notevole quantità di informazioni.

Gli sviluppi di hardware e software consentono oggi di gestire grandi quantità di dati, per esempio con strumenti GIS (Geographic Information System), che permettono anche una condivisione delle informazioni pedologiche tra pedologi, pianificatori, o utenti generici, che può contribuire ad aumentare l'efficacia dell'indagine pedologica e l'accessibilità dei dati.

L'archiviazione informatizzata comporta una nuova organizzazione del rilevamento non tanto finalizzato alla cartografia dei suoli, quanto alla creazione di sistemi informativi territoriali da cui ricavare in tempo reale tutte le informazioni desiderate in termini numerici, logici e car-

tografici.

Un sistema di tale tipo è stato recentemente proposto dal Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura (CRA) e ad esso rimandiamo per consultazione:

Edoardo E.A.C. Costantini: "Linee guida dei metodi di rilevamento e informatizzazione dei dati pedologici", CRA-ABP, Firenze 2007.

Il testo, corredato del software su CD-ROM, è in libera distribuzione e può essere richiesto a: CRA-Centro per l'Agrobiologia e la Pedologia, Piazza Massimo D'Azeglio 30, 50121 Firenze. Esso è inoltre reperibile on line:

http://www.soilmaps.it/download/pub-Linee_guida_2011.pdf

Molto materiale utile e scaricabile, inclusi Data Base pedologici e cartografie, sono scaricabili dal sito WEB **www.soilmaps.it**



Costantini E.A.C. (2007). Linee guida dei metodi di rilevamento e informatizzazione dei dati pedologici, CRA-ABP, Firenze.
FAO (2006). Guidelines for soil description. ISBN 92-5-105521-1

Soil Survey Staff (2010). Keys to Soil Taxonomy, 11th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.



Parte C:
il suolo nel
territorio

Scheda C1: classificazione di fertilità secondo la fertility capability soil classification (FAO)



Il sistema Fertility Capability soil Classification (FCC) permette di valutare la fertilità di un suolo, non in relazione a fattori morfologici o evolutivi, ma in base alle proprietà fisico-chimiche dello strato utile superficiale (0-20 cm).

Applicando tale sistema ad un suolo forestale i risultati devono essere riferiti esclusivamente agli orizzonti minerali superficiali interessati dalle radici, per una profondità corrispondente a quella dello strato arato di un suolo agrario o maggiore se da dati di campagna si hanno elementi per evidenziare un maggiore approfondimento.

Nel dare un giudizio circa l'attitudine agricola dei suoli, la FCC evidenzia i fattori limitanti per lo sviluppo dei vegetali ed è applicabile su vasta scala; occorre però tenere presente che questo sistema è stato studiato per l'applicazione in campo agricolo e che pertanto alcuni di questi fattori sono limitanti per le specie agrarie, ma non per quelle forestali: per esempio un pH compreso fra 5 e 6 od un rapporto C/N > 10 agiscono come modificatori in ambito agrario, ma non influenzano negativamente la maggior parte delle specie forestali.

Il sistema FCC è attivo a 3 livelli:

■ Classe

definita attraverso i seguenti parametri:

- tessitura dello strato utile secondo la classificazione USDA (% di limo, argilla, sabbia);

- tessitura del substrato (classe tessiturale secondo la classificazione USDA, nel caso in cui ci sia una netta differenza rispetto alla classe tessiturale dello strato utile);
- strati corrispondenti alla definizione di orizzonti organici;
- eventuali impedimenti alla crescita delle radici caratterizzanti il substrato.

■ Modificatori

I modificatori sono parametri sovente identificabili tramite una accurata lettura delle carte pedologiche, e quindi forniscono le limitazioni più macroscopiche. Sono basati sulle proprietà fisiche, sulla reazione del suolo (pH) e sulla mineralogia del suolo.

■ Modificatori aggiuntivi:

Si tratta di parametri che specificano ulteriormente le limitazioni alla fertilità, ma che non sempre sono disponibili.

Nelle Tabelle seguenti sono indicati i Tipi e i Modificatori (Tab. 6-7) secondo la versione 4^a del 2003 (Sanchez et al., 2003).

Modificatori “di condizione”:

nello strato arato o nei primi 20 cm di profondità, se meno profondo, a meno che non sia espressamente esplicitato.

I modificatori sono raggruppati in quelli legati alle proprietà fisiche del suolo, alla reazione del suolo (pH), alla mineralogia del suolo e alle proprietà biologiche del suolo.

- I valori di pH sono in estratti in acqua 1:1, se non altrimenti specificato;
- I parametri e le misure riportate sono quelle presenti nella USDA Soil Taxonomy;
- Al o saturazione acida è definita come: $[(1M\ KCl\ Al^{3+}) / (Ca^{2+} + Mg^{2+} + K^+ + Na^+)100]$;
- Capacità di scambio cationico effettiva = somma delle basi + $1M\ KCl\ Al^{3+}$ espressa in $cmol_c^+ kg^{-1}$;
- BS7 e BS8.2: saturazione basica (%) in soluzioni tamponate rispettivamente a pH 7 e 8.2;

Ciascun suolo può avere numerosi modificatori. Ad esempio un suolo classificato come **LCaik (0-10)** è un suolo franco su argilloso, con tossicità da Al, elevata capacità di adsorbimento del fosforo, con una ridotta quantità di minerali alterabili e una moderata pendenza.

Tab. 6 Tipi secondo il sistema per la classificazione FCC: Versione 4^a

Classe FCC e breve descrizione	Simbolo	Definizioni ed interpretazioni
Tipo: tessitura media nello strato di aratura o alla profondità compresa fra 0 e 20 cm, nel caso sia meno profondo	S	Topsoil sabbioso: franco sabbioso e sabbioso
	L	Topsoil franco: < 35% argilla
	C	Topsoil argilloso: > 35% argilla
	O	Suolo organico: > 12% di Corg fino ad una profondità di 50 cm o più
Tipo di substrato (subsoil): da impiegare se si osserva un cambio tessiturale nei primi 50 cm	S	Subsoil sabbioso*
	L	Subsoil franco*
	C	Subsoil argilloso*
	R	Roccia o altri strati compatti in grado di impedire lo sviluppo radicale nei primi 50 cm
	R-	Come sopra, ma lo strato può essere lavorato per favorire l'approfondimento delle radici

* Tessitura come in Tipo

Tab. 7 Modificatori secondo il sistema per la classificazione FCC: Versione 4^a

Condizione	Modific.	Criteri per l'identificazione (se più di uno sono riportati in ordine di importanza)
Modificatori legati alle proprietà fisiche del suolo		
Saturazione idrica (gley): condizioni anaerobiche, condizioni chimiche riducenti, denitrificazione; emissione di N ₂ O e CH ₄	g	Regime di umidità del suolo aquico; screziature con chroma <2 nei primi 50 cm dalla superficie e al di sotto di tutti gli orizzonti A o suolo saturato dall'acqua per più di 60 giorni nella maggior parte degli anni
	g ⁺	Condizioni prolungate di saturazione idrica; suolo saturo d'acqua sia naturalmente sia mediante irrigazione per più di 200 giorni all'anno, senza evidenza di screziature indicative della presenza di composti ossidati del Ferro (Fe ³⁺) nei primi 50 cm; sono inclusi i suoli di risaia; la permanenza di condizioni riducenti può risultare in una ridotta mineralizzazione dell'azoto
Importante stagione arida (dry)	d	Regime di umidità del suolo ustico o xerico: suolo secco per più di 60 giorni consecutivi/anno ma umido per più di 180 giorni cumulativi/anno ad una profondità compresa fra 20 e 60cm
	d ⁺	Regime di umidità del suolo aridico o torrico: troppo secco per coltivare senza irrigazione
Basse temperature del suolo (temp)	t	Regimi termici del suolo non-iso cryico o frigido (media annuale <8°C). Dove le pratiche gestionali possono aiutare a "riscaldare" il topsoil è possibile la coltivazione dei cereali
	t ⁺	Permafrost nei primi 50 cm (Gelisols); non è possibile la coltivazione
Abbondanza di scheletro (rocks)	r ⁺	10-35% (in volume)
	r ⁺⁺	>35% (in volume) di scheletro (d=2-25 cm) nei primi 50 cm di profondità del suolo
	r ⁺⁺⁺	>15% affioramenti rocciosi

Pendenza	%	Indicare intervallo di pendenza (es. 0-15%)
Elevato rischio di erosione	SC, LC CR, LR SR>30%	Suoli ad elevata erodibilità dovuta a netti cambi tessiturali (SC, LC), ridotta profondità (R) o elevata pendenza (>30%)
Modificatori legati alla reazione del suolo (pH)		
Sulfidico	c	pH<3.5 dopo essiccazione; screziature di jarosite con hue = 2.5Y o più giallo e chroma = 6 o più nei primi 60 cm Sulfaquents, Sulfaquepts e Sulfudepts
Tossicità da Al per la maggior parte delle coltivazioni	a	>60% di saturazione da Al nei primi 50 cm, o saturazione basica (BS ₇) < 33%, determinata dalla somma dei cationi a pH 7 nei primi 50 cm, o saturazione basica (BS _{8.2}) < 14% determinata dalla somma dei cationi a pH 8.2 nei primi 50 cm, o pH < 5.5 ad eccezione dei suoli organici (O)
	a ⁻	10-60% di saturazione da Al nei primi 50 cm per coltivazioni estremamente sensibili quali il cotone e l'erba medica
Nessuna limitazione chimica particolare	No simbolo	<60% di saturazione da Al della capacità di scambio effettiva nei primi 50cm e pH compreso fra 5.5 e 7.2
Calcareao (reazione basica): diffusa carenza di Fe e Zn	b	CaCO ₃ libero nei primi 50 cm (effervescenza con HCl), o pH>7.3
Salinità	s	>0.4 Sm ⁻¹ nell'estratto saturo a 25°C nel primo metro di profondità; gruppi salids e salic della Soil Taxonomy; Solonchaks
	s ⁻	0.2-0.4 Sm ⁻¹ nell'estratto saturo a 25°C nel primo metro di profondità (salinità incipiente)
Alcalinità	n	>15% di saturazione sodica della capacità di scambio effettiva nei primi 50 cm di suolo; Solonetz
	n ⁻	6-15% di saturazione sodica della capacità di scambio effettiva nei primi 50 cm di suolo (alcalinità incipiente)

Modificatori legati alla mineralogia del suolo		
Ridotte riserve di nutrienti (carenza di K)	k	<10% di minerali alterabili nella frazione limosa e sabbiosa nei primi 50 cm di suolo, o mineralogia silicea, o K scambiabile <0.20 cmol _c ⁺ kg ⁻¹ , o K scambiabile <2% della somma delle basi, se la somma delle basi è < 10cmol _c ⁺ kg ⁻¹
Elevata fissazione del P ad opera di ossidi di Fe ed Al; I suoli Ci hanno una eccellente struttura ma una ridotta capacità di ritenzione idrica; i substrati (subsoil) Ci sono in grado di trattenere i nitrati	i	> 4% Fe estraibile in ditionito-citrato nel topsoil, o Oxisols e gruppi Oxic di tipo C, o hue più rosso che 5YR e struttura granulare
	i ⁻	come sopra ma i suoli sono stati soggetti a fertilizzazione fosfatica; >10mgkg ⁻¹ di P Olsen
	i ⁺	Come sopra; Possibile tossicità da Fe se suoli sommersi per lungo tempo (g ⁺) o se le aree più elevate circostanti hanno modificatore i
Vulcanico amorfo; elevata fissazione del P da parte dell'allofane; ridotta mineralizzazione dell'azoto	x	Nei primi 50 cm pH>10 (in NaF 1M), o Andisols e sottogruppi andic, ad eccezione di Vitrande e grandi gruppi vitric; altre evidenze indirette della dominanza dell'allofane nella frazione argillosa, o >90% di ritenzione fosfatica
	x ⁻	Ritenzione fosfatica tra 30 e 90%
Argille "fratturabili" (proprietà vertiche): argilla molto plastica e adesiva, elevata dilatazione e contrazione nel topsoil	v	Contenuto di argilla >35% e >50% di argille espandibili 2:1, o coefficiente di dilatazione lineare >0.09 o Vertisuoli e gruppi vertici
Elevato potenziale di lisciviazione (bassa capacità tampone, bassa capacità di scambio effettiva)	e	Capacità di scambio effettiva < 4 cmol _c ⁺ kg ⁻¹ , o <7 cmol _c ⁺ kg ⁻¹ come somma di cationi a pH 7, o <10 cmol _c ⁺ kg ⁻¹ come somma di cationi Al ³⁺ + H ⁺ a pH 8.2
Modificatori legati alle proprietà biologiche del suolo (nuovo)		
Ridotta saturazione di Carbonio organico (Impoverimento della sostanza organica del suolo)	m	<80% di saturazione di Corg totale nel topsoil in confronto con un vicino sito indisturbato o produttivo



Tra i sistemi di valutazione del territorio, elaborati in molti paesi europei ed extra-europei secondo modalità ed obiettivi differenti, la **Land Capability Classification** (Klingebiel e Montgomery, 1961) viene utilizzato per classificare il territorio per ampi sistemi agro-pastorali e non in base a specifiche pratiche colturali. La valutazione viene effettuata sull'analisi dei parametri contenuti nella carta dei suoli e sulla base delle caratteristiche dei suoli stessi. Il concetto centrale della *Land Capability* non si riferisce unicamente alle proprietà fisiche del suolo, che determinano la sua attitudine, più o meno ampia, nella scelta di particolari colture, quanto alle **limitazioni da questo presentate nei confronti di un uso agricolo generico**; limitazioni che derivano anche dalla qualità del suolo, ma soprattutto dalle caratteristiche dell'ambiente in cui questo è inserito. Ciò significa che la limitazione costituita dalla scarsa produttività di un territorio, legata a precisi parametri di fertilità chimica del suolo (pH, C.S.C., sostanza organica, salinità, saturazione in basi) viene messa in relazione ai requisiti del paesaggio fisico (morfologia, clima, vegetazione, ecc.), che fanno assumere alla stessa limitazione un grado di intensità differente a seconda che tali requisiti siano permanentemente sfavorevoli o meno (es.: pendenza, rocciosità, aridità, grado vegetale, ecc.).

I criteri fondamentali della capacità d'uso sono:

- di essere in relazione alle limitazioni fisiche permanenti, escludendo quindi le valutazioni dei fattori socio-economici;
- di riferirsi al complesso di colture praticabili nel territorio in questione e non ad una coltura particolare;
- di comprendere nel termine "difficoltà di gestione" tutte quelle pratiche conservative e sistematorie necessarie affinché, in ogni caso, l'uso non determini perdita di fertilità o degradazione del suolo;
- di considerare un livello di conduzione abbastanza elevato, ma allo stesso tempo accessibile alla maggior parte degli operatori agricoli;

La classificazione si realizza applicando tre livelli di definizione in cui suddividere il territorio:

- a) classi
- b) sottoclassi
- c) unità

a) Le **classi** sono 8 e vengono distinte in due gruppi in base al numero e alla severità delle limitazioni: le prime 4 comprendono i suoli idonei alle coltivazioni (suoli arabili) mentre le altre 4 raggruppano i suoli non idonei (suoli non arabili), tutte caratterizzate da un grado di limitazione crescente. Ciascuna classe può riunire una o più sottoclassi in funzione del tipo di limitazione d'uso che la caratterizza (erosione, eccesso idrico, limitazioni

climatiche, limitazioni nella zona di radicamento) e, a loro volta, queste possono essere suddivise in unità non prefissate, ma riferite alle particolari condizioni fisiche del suolo o alle caratteristiche del territorio.

b) Le **sottoclassi** sono individuate aggiungendo alla classe una delle seguenti lettere: s, w, e, o c, (Costantini, 2006) e le **unità** sono indicate con numeri relativi alle tipologie di limitazione:

s: *limitazioni legate a caratteristiche sfavorevoli del suolo*

- profondità utile per le radici (1)
- tessitura (2)
- scheletro (3)
- pietrosità superficiale (4)
- rocciosità (5)
- fertilità chimica dell'orizzonte superficiale (6)
- salinità (7)
- drenaggio interno eccessivo (8)

Tab. 8 Caratteristiche delle 8 classi Land Capability previste dalla classificazione della capacità d'uso del suolo

CLASSE	DESCRIZIONE	ARABILITA'
I	suoli senza o con modestissime limitazioni o pericoli di erosione, molto profondi, quasi sempre livellati, facilmente lavorabili; sono necessarie pratiche per il mantenimento della fertilità e della struttura; possibile un'ampia scelta delle colture	si
II	suoli con modeste limitazioni e modesti pericoli di erosione, moderatamente profondi, pendenze leggere, occasionale erosione o sedimentazione; facile lavorabilità; possono essere necessarie pratiche speciali per la conservazione del suolo e delle potenzialità; ampia scelta delle colture	si
III	suoli con severe limitazioni e con rilevanti rischi per l'erosione, pendenze da moderate a forti, profondità modesta; sono necessarie pratiche speciali per proteggere il suolo dall'erosione; moderata scelta delle colture	si
IV	suoli con limitazioni molto severe e permanenti, notevoli pericoli di erosione se coltivati per pendenze notevoli anche con suoli profondi, o con pendenze moderate ma con suoli poco profondi; scarsa scelta delle colture, e limitata a quelle idonee alla protezione del suolo	si
V	non coltivabili o per pietrosità e rocciosità o per altre limitazioni; pendenze moderate o assenti, leggero pericolo di erosione, utilizzabili con foresta o con pascolo razionalmente gestito	no
VI	non idonei alle coltivazioni, moderate limitazioni per il pascolo e la selvicoltura; il pascolo deve essere regolato per non distruggere la copertura vegetale; moderato pericolo di erosione	no
VII	limitazioni severe e permanenti, forte pericolo di erosione, pendenze elevate, morfologia accidentata, scarsa profondità idromorfia, possibili il bosco od il pascolo da utilizzare con cautela	no
VIII	limitazioni molto severe per il pascolo ed il bosco a causa della fortissima pendenza, notevolissimo il pericolo di erosione; eccesso di pietrosità o rocciosità, oppure alta salinità, ecc.	no

w: limitazioni legate a drenaggio sfavorevole o a rischio di inondazioni

- drenaggio interno limitato (9)
- rischio di inondazione (10)

e: limitazioni dovute al rischio di erosione

- pendenza (11)
- erosione idrica superficiale (12)
- erosione di massa (13)

c: limitazioni dovute al clima

- interferenza climatica (14)

La classe I non ha sottoclassi perché i suoli ad essa appartenenti presentano poche limitazioni e di debole intensità. La classe V comprende solo le sottoclassi indicate da w, s o c, in quanto i suoli in classe V sono caratterizzati da una modesta o nulla erosione.

Per esempio, la sottoclasse IIe, indica che il rischio principale è rappresen-

to dall'erosione se non si mantiene una adeguata copertura del suolo con le specie vegetali. La lettera w indica che l'acqua può costituire un impedimento alla crescita delle specie vegetali o alla coltivazione (in alcuni suoli l'eccesso idrico può essere in parte corretto con opere per il drenaggio artificiale). La lettera s indica che il suolo è limitato principalmente perché poco profondo, arido od eccessivamente ricco di scheletro. La lettera c indica invece che la principale limitazione è legata al clima, troppo freddo o troppo secco.

La lettura delle indicazioni riportate nelle classi della land capability permette di ottenere informazioni importanti sulle attività silvo-pastorali effettuabili in un area territoriale, come si comprende anche dal grafico che segue, che descrive le attività silvo-pastorali ammissibili per ciascuna classe di capacità d'uso (Fig 19).

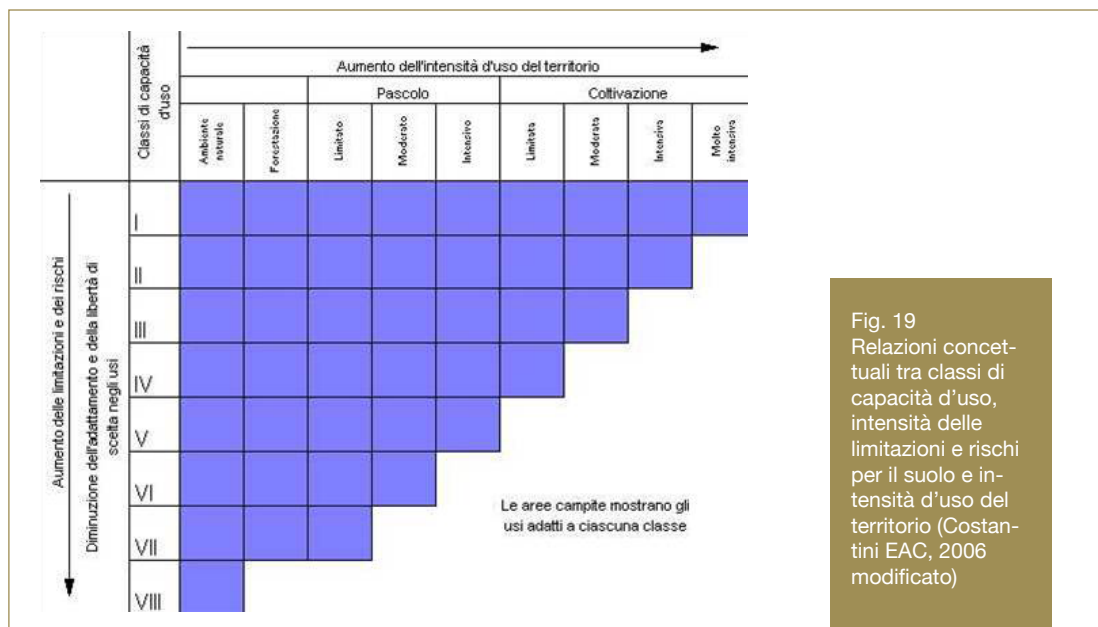


Fig. 19
Relazioni concettuali tra classi di capacità d'uso, intensità delle limitazioni e rischi per il suolo e intensità d'uso del territorio (Costantini EAC, 2006 modificato)

Scheda C3: attitudine delle terre (Land Suitability)



■ Schema per la valutazione attitudinale secondo la Land Suitability Classification

La classificazione FAO per l'attitudine delle Terre prevede quattro categorie: **Ordine, Classe, Sottoclasse e Unità**:

Ordini

Gli Ordini sono due: **adatto (Suitable-S)** e **non adatto (Not Suitable-N)**.

Adatto è attribuito a Terre in cui ci si attende dall'uso considerato la produzione di un beneficio che giustifica l'input di energia ed i costi senza rischi di danno o riduzione delle risorse (suolo). **Non adatto** indica Terre che hanno qualità che precludono la sostenibilità dell'uso previsto.

Classi

Le Classi di Land Suitability sono relative a diversi gradi di attitudine all'interno degli Ordini:

- **S1** molto adatto (non comprende sottoclassi di limitazione)
- **S2** moderatamente adatto
- **S3** poco adatto
- **Sc2** moderatamente adatto a condizione di pochi interventi specifici
- **Sc3** poco adatto a condizione di forti interventi specifici
- **N1** attualmente non adatto

- **N2** permanentemente non adatto (non comprende sottoclassi di limitazione)

Un numero maggiore o minore di Classi è ammesso, se opportuno, per meglio descrivere le attitudini di un territorio, ma in ogni caso vengono definite solo le Classi che hanno una significativa differenza in termini economici.

Classe S1: Terre che non hanno significative limitazioni nel sostenere l'uso previsto. Possono esserci minori limitazioni, ma queste non riducono la produttività e i benefici o aumentano i costi oltre il limite stabilito per la classe.

Classe S2: Terre con limitazioni nel loro insieme moderatamente severe per l'uso previsto. Queste possono ridurre sia la produttività, sia i benefici o aumentare i costi rispetto a quelli più bassi previsti dalla Classe S1.

Classe S3: Terre con limitazioni complessivamente severe per l'uso previsto. Produttività e benefici sono legati a costi solo marginalmente giustificabili.

Una condizione **Sc2** e **Sc3** può corrispondere a Terre per cui si ha incertezza, oppure esiste un'incompleta conoscenza dei fattori rilevanti ai fini dell'attitudine, oppure Terre per cui moderati o forti interventi specifici potrebbero portare ad un'attitudine positiva.

Classe N1: indica una Terra marginalmente non adatta all'uso previsto in

quanto gravata da limitazioni superabili nel tempo, ma che attualmente non lo sono perché non si hanno sufficienti conoscenze tecniche o perché le condizioni socio-economiche attuali non consentono una produttività accettabile. Questa classe segna un confine tra adatto e non adatto che, tuttavia, può variare nel tempo, con il cambiamento delle condizioni socio-economiche.

Classe N2: indica Terre permanentemente inadatte all'uso considerato a causa delle limitazioni fisiche. La classe esclude che per queste Terre si possano fare studi per sviluppare una potenziale attitudine.

Sottoclassi

Riflettono il tipo di limitazione o di necessità presenti nella Classe e sono indicate con lettere minuscole che devono essere stabilite a priori dal classificatore con un criterio di facile memorizzazione, per esempio S2m, S3xy, ecc.. Non esiste una lista a priori perché le limitazioni possono essere molto variabili, a seconda dell'uso che si considera. Ovviamente non ci sono sottoclassi nella Classe S1.

Unità

Sono delle suddivisioni di una Sottoclasse. Tutte le unità all'interno di una Sottoclasse hanno lo stesso tipo di limitazione e lo stesso grado di attitudine, ma differiscono nelle caratteristiche

di produzione o per aspetti minori in termini di necessità di gestione. Il riconoscimento di Unità consente una più dettagliata interpretazione a livello aziendale. La designazione delle Unità è fatta con un numero arabo dopo una lineetta di separazione con la Sottoclasse, per esempio: S2e-1, S2e-2, ecc.. Non vi sono limiti al numero di Unità all'interno di una Sottoclasse.

Ogni categoria mantiene il suo significato rispetto a qualsiasi classificazione sia che questa si riferisca ad un'attitudine attuale o a una potenziale.

Le Unità di attitudine non devono essere confuse con le Unità Ambientali Omogenee/Land Unit Type (UAO/LUT) che invece sono ambienti legati alla distribuzione spaziale dei suoli.

Alla classificazione attitudinale si giunge dopo la costruzione di uno schema o **chiave di classificazione** specifica per l'uso considerato. Questo schema consiste in una tabella a doppia entrata che mette in relazione i fattori limitanti con le Classi di attitudine.

Il **classamento**, ovvero l'introduzione nella Classe opportuna delle varie unità di Terre, è la fase successiva ed è fatta, considerando le relazioni tra i fattori limitanti e la loro severità.

Esempi di chiavi di classificazione adatti al classamento di Terre della Valle d'Aosta (Tab. 9-10).

Tab. 9 Chiave di attitudine dei suoli alla coltura del melo in Valle d'Aosta (progetto INTERREG II, n. 213, "Méthode de caractérisation des sols pour le diagnostic et le zonage agro-pédologique")

Fattore limitante (sottoclasse)		Classe di attitudine			
		S1	S2	S3-N1-Sc2	N2-Sc3
Lavorabilità	i	Pietrosità <1%	Pietrosità 1-50%	Pietrosità 1-50%	Rocciosità superficiale >10%
Rischio di erosione	i	Erosione diffusa	Erosione incanalata	Erosione incanalata	Erosione incanalata severa
Profondità del suolo cm	p	>90	60-90	30-60	<30
Volume di terra fine m ³ /m ³ di suolo	t	>0.70	0.50-0.70	0.35-0.50	<0.35
Drenaggio interno	d	Non impedito Scheletro grossolano <10%	Non impedito Scheletro grossolano 10-50%	Lento Scheletro <1%, sabbia <10%	Impedito o eccessivo Scheletro assente o >50%
Pendenza %	s	<5	5-20	20-35	>35
Argilla sulla terra fine %	c	5-30	30-60	>60 o <5	>60 o <5
Struttura	p	Grumosa fine	Grumosa	Poliedrica o astrutturato	Poliedrica subangolare o astrutturato
Regime idrico del suolo	u	Udico	Ustico	Xerico	Xerico
Regime termico del suolo	x	Mesico	Mesico	Frigido	Cryico
Esposizione	e	SE-SW	NE-SE NW-SW	NW-NE	N
Saturazione basica %	b	>70	50-70	30-50	<30
Saturazione potassica %	k	>2%	>1%	<1%	<1%
FCC	f	L-Lr ⁺	Lr ⁺⁺ -Sr ⁺ -Sr ⁺⁺ d, b	C-O d, b, a	C-O g, d, k, a, b

N.B: le sottoclassi sono indicate dopo la classe in ordine di importanza nella limitazione all'attitudine

Tab. 10 Chiave di attitudine dei suoli allo smaltimento dei liquami zootecnici in Valle d'Aosta (progetto INTERREG II, n. 213, "Méthode de caractérisation des sols pour le diagnostic et le zonage agro-pédologique")

Fattore limitante (sottoclasse)		Classe di attitudine			
		S1	S2	S3-N1-Sc	N2-Sc
Profondità del suolo cm	p	>90	60-90	30-60	<30
Scheletro %	t	<0.10	10-30	30-50	>50
Drenaggio interno	d	Non impedito Scheletro grossolano <10%	Non impedito Scheletro grossolano 10-50%	Lento Scheletro <1%, sabbia <10%	Impedito o eccessivo Scheletro assente o >50%
Pendenza %	s	<5	5-20	20-35	>35
Struttura nell'orizzonte A	p	Grumosa fine	Grumosa	Poliedrica o astrutturato	Posliedraica subangolare o astrutturato
Regime idrico del suolo	u	Udico	Ustico	Xerico	Xerico
Regime termico del suolo	x	Mesico	Mesico	Frigido	Cryico
C:N Nell'orizzonte A	c	<10	10-12	>12	>12
pH	a	6.5-7	5-6.5 7-8	<5 >8	<5 >8
FCC	f	L-Lr+	Lr ⁺⁺ -Sr ⁺ -Sr ⁺⁺ d, b,	C-O d, b, a	C-O g, d, a, k, b

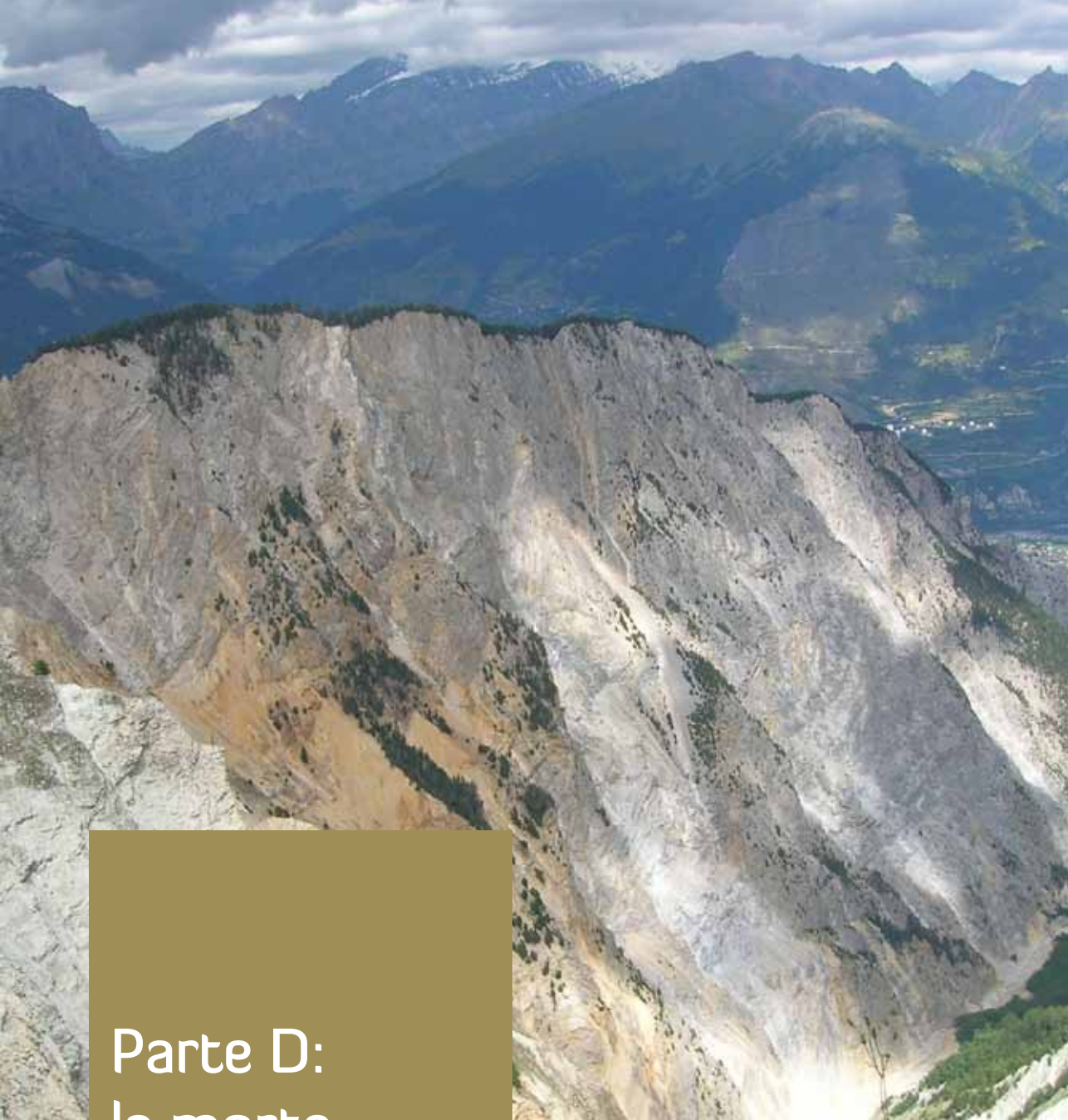
N.B: le sottoclassi sono indicate dopo la classe in ordine di importanza nella limitazione all'attitudine



Costantini, E.A.C. (2006). La classificazione della capacità d'uso delle terre (Land Capability Classification). In: Costantini, E.A.C. (Ed.), *Metodi di valutazione dei suoli e delle terre*, Cantagalli, Siena, pp. 922.

Klingebiel, A.A., Montgomery, P.H. (1961). *Land capability classification*. USDA Agricultural Handbook 210, US Government Printing Office, Washington, DC.

Sanchez A.P., Palm C.A., Buol S.W. (2003). Fertility capability soil classification: a tool to help assess soil quality in the tropics. *Geoderma* 114: pp.157-185.



Parte D:
la morte
del suolo



Da un punto di vista strettamente produttivistico un suolo è difficile quando la sua fertilità, espressa in termini di quantità di raccolto o di prodotti animali per unità di superficie, è bassa. Il mantenimento della produttività di un suolo agrario o forestale è legato alla natura stessa del suolo e al clima, ma anche al potenziale genetico e alle malattie dei vegetali, così come al “governo” umano delle superfici. Non esiste tuttavia solo il concetto produttivistico di suolo patologico: in senso più lato un suolo è difficile anche quando le sue caratteristiche pedogenetiche o la stazione in cui si trova o interventi antropici o eventi accidentali non ne consentono un uso razionale o non sono in grado di soddisfare pienamente le esigenze della copertura vegetale. Sono pertanto suoli difficili non solo quelli con carenze nutrizionali, ma anche quelli eccessivamente acidi, quelli salini, quelli con struttura debole soggetti ad erosione, quelli con struttura massiva e quelli frequentemente sommersi o impermeabili, quelli inquinati. In questo contesto prenderemo in considerazione solo “patologie” naturali.

■ Suoli poco fertili

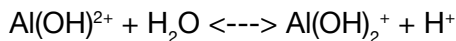
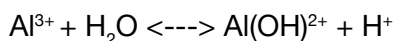
La diagnosi di scarsa fertilità di un suolo è fatta normalmente secondo giudizi qualitativi, riguardanti l'identificazione degli elementi nutritivi in difetto od in eccesso, ovvero quantitativi cioè che hanno riguardo per lo studio del fattore limi-

tante la nutrizione vegetale e delle sue relazioni con l'ambiente (§ APPENDICE 7). La qualità delle carenze nutrizionali può essere determinata con l'analisi fogliare o con l'analisi della linfa o dei tessuti: questi test sono normalmente utili per interventi di soccorso in caso di sofferenza dei vegetali, ma non sono risolutivi delle difficoltà che sono a monte e che risiedono nelle condizioni intrinseche del suolo. L'analisi del suolo può essere di aiuto e lo spirito delle determinazioni analitiche dei macro o micronutrienti è quello di determinare prima di tutto la concentrazione degli elementi nella soluzione circolante da cui le piante traggono immediatamente nutrimento: questa rappresenta una misura dell'intensità (I) della disponibilità dei nutrienti. L'analisi si spinge successivamente a determinare con estrazioni, mediante opportuni solventi o con scambio ionico, le quantità di nutrienti disponibili nel complesso di scambio: ciò significa misurare il fattore quantità (Q) del rifornimento di nutrienti. L'**Activity Ratio (AR)** o **rapporto Quantità/Intensità (Q/I)** di un nutriente esprime il potere tampone del suolo nei confronti di quell'elemento e varia con la tessitura, in particolare con la qualità dei minerali argillosi del suolo.

■ Suoli eccessivamente acidi

L'acidità del suolo e le condizioni nutrizionali conseguenti sono il risultato del basso contenuto di cationi basici adsor-

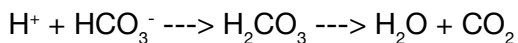
biti rispetto al contenuto di ioni idrogeno e alluminio. Le principali cause di acidità sono: 1) l'ossidazione microbica della sostanza organica; 2) la nitrificazione; 3) le piogge acide; 4) la fertilizzazione; 5) l'ossidazione del ferro; 6) la lisciviazione (dilavamento) dei cationi basici. Inoltre, gran parte dell'acidità del suolo è associata all'alluminio rilasciato durante la progressiva acidificazione del profilo dall'alterazione dei minerali. Esso si accumula dapprima come idrossido negli interstrati o come rivestimento dei minerali argillosi e come complesso organominerale, ma a $\text{pH} < 4.5$ prevale la forma Al^{3+} scambiabile e nell'intervallo di $\text{pH} 4.7-7.5$ sono presenti le due fasi, scambiabile e idrossido. L'idrolisi dell'alluminio è una delle maggiori cause di acidità del suolo, per esempio:



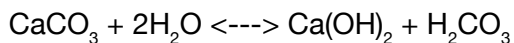
Nei confronti dell'acidità le specie vegetali manifestano una diversa adattabilità e sono normalmente distinte in calcicole, tolleranti a pH elevati, e calcifughe, non tolleranti. L'acidità è comunque legata alla disponibilità di elementi nutritivi o alla presenza di elementi tossici per le piante. L'eccesso di acidità può essere corretto sostituendo idrogenioni e ioni Al^{3+} con ioni Ca^{2+} e Mg^{2+} : ciò si ottiene aggiungendo al suolo materiali calcitanti, come ossidi, idrossidi e carbonati di calcio e magnesio. Tale pratica tende a compensare, nelle zone ad elevata piovosità, le perdite di cationi dovute all'erosione superficiale, alla nutrizione vegetale e alla lisciviazione dei

carbonati il cui ordine di grandezza può essere di 600-1000 kg/ha all'anno, di cui un terzo circa di MgCO_3 .

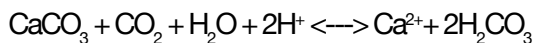
La calcitazione aumenta il pH del suolo poiché ogni H^+ scambiato è neutralizzato dalla formazione di acido carbonico diluito che è instabile e dà origine a acqua ed anidride carbonica



mentre $\text{Al}(\text{OH})^{2+}$ precipita come $\text{Al}(\text{OH})_3$ insolubile. La calcitazione ha anche un effetto fisico favorevole sulla struttura dovuto al miglioramento delle condizioni di vita della biomassa umificatrice. La quantità di materiale calcitante, espresso come CaCO_3 , da applicare è variabile in funzione dell'acidità degli orizzonti superficiali, del contenuto di sostanza organica, della tessitura e della struttura e deve tener conto della coltura da praticare, della qualità del materiale calcitante e ovviamente del suo costo. Di norma più elevato il potere tampone del suolo e più la tessitura è fine, più alta è la quantità di calcitante necessaria per aumentare il pH del suolo. L'apporto di ioni calcio nel suolo è la conseguenza della lenta reazione di idrolisi del carbonato di calcio



e della più rapida reazione con l'anidride carbonica atmosferica



Il pH del suolo può essere previsto dalla relazione:

$$\text{pH} = K - 0.5 \log (\text{PCO}_2) - 0.5 \log [\text{Ca}]$$

in cui $K = 5.05$, PCO_2 = pressione parziale di anidride carbonica (pari a circa 0.00033 bar) e $[Ca]$ =concentrazione degli ioni Ca^{2+} .

■ I suoli a rischio salino o sodico

I sali solubili nel suolo sono in genere composti da cationi Na^+ , Ca^{2+} e Mg^{2+} e da anioni Cl^- , SO_4^{2-} e HCO_3^- , mentre K^+ , NH_4^+ , NO_3^- e CO_3^{2-} sono meno presenti. Questi ioni hanno origine soprattutto dalla dissoluzione dei minerali e, in ambiente secco o aridico e con drenaggio impedito, l'evaporazione può diventare così forte da provocare un accumulo di sali più solubili del gesso ($CaSO_4 \cdot 2H_2O = 2.41$ g/l) negli orizzonti superficiali, un innalzamento del pH fino a valori anche superiori a 8.5 e della conducibilità della soluzione oltre 4 mmhos/cm, intollerabile per i vegetali.

Sali solubili si possono trovare in suoli che evolvono su sedimenti marini, soprattutto marne, ma anche in suoli di ambienti a forte evaporazione dove si pratica un'irrigazione minima e non vi sono praticamente percolazione e lisciviazione.

Il rischio attuale di un suolo può essere espresso o in termini di conducibilità elettrica rispetto ad una soglia di 4 mmhos/cm, o dalla percentuale di sodio scambiabile (E.S.P.):

$$E.S.P. = (Na^+ \text{ scambiabile}/C.S.C.) \times 100$$

Una misura attendibile del rischio salino potenziale deve tuttavia tener conto non solo del sodio, ma anche del calcio e del magnesio e quindi risulta meglio definita dal rapporto di adsorbimento del sodio (S.A.R.):

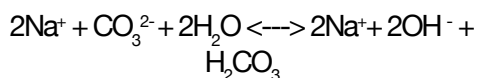
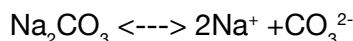
$$S.A.R. = [Na^+]/([Ca^{2+}]+[Mg^{2+}])^{1/2}$$

dove [] sono le concentrazioni in mM/l nella soluzione circolante del suolo.

Il livello di salinità complessiva di un suolo è misurato sulla soluzione estratta per filtrazione dalla cosiddetta pasta satura (suolo saturato d'acqua distillata fino a ottenere un impasto non deliquescente). Per quanto riguarda il rischio salino viene in genere accettata questa distinzione:

- suoli normali: conducibilità <4 mmhos/cm e S.A.R.<13 o E.S.P.<15;
- suoli salini: conducibilità >4 mmhos/cm e S.A.R.<13 o E.S.P.<15;
- suoli sodici: conducibilità <4 mmhos/cm e S.A.R.>13 o E.S.P.>15;
- suoli salino-sodici: conducibilità >4 mmhos/cm e S.A.R.>13 o E.S.P.>15;

L'alcalinità estrema si osserva nei suoli a rischio sodico: in questi suoli vi può essere un elevato contenuto di sodio come sale solubile neutro $NaCl$, ma soprattutto è presente Na_2CO_3 che idrolizzando induce tossicità sia da sodio, sia da ossidril.



La struttura di questi suoli è di solito piuttosto debole a causa della dispersione dei colloid. L'indebolimento della struttura può portare dalla diminuzione di conducibilità idraulica, cioè di permeabilità, dovuta alla deflocculazione delle argille con conseguente intasamento della porosità: benché il fenomeno sia

reversibile e le argille possano nuovamente flocculare, non altrettanto si può dire della formazione della struttura e il danno quindi è permanente.

La presenza di CaCO_3 normalmente è sufficiente a tamponare il rischio sodico e ioni calcio possono essere anche somministrati per mezzo di gesso.

Il calcolo del S.A.R. dell'acqua di irrigazione può essere utile nella prevenzione dell'aumento di sodio scambiabile.

Un caso particolare di sterilità del suolo è quello indotto dall'omogeneità mineralogica su roccia serpentinitica. Il serpentino ha struttura 1:1, come le caoliniti, esso è composto da Mg e Si (silicato di magnesio) con un arricchimento in Fe fornito dai minerali accessori magnetite e cromite: dalla sua alterazione si ha un rilascio di ioni Mg^{2+} tale da sbilanciare in suo favore la saturazione basica del complesso di scambio e la concentrazione nella soluzione. Suoli di questo tipo selezionano fortemente la vegetazione a causa della diffusa carenza di calcio. Suoli su matrice serpentinitica si trovano ad esempio in Alta Valle del Lys.

■ Suoli con struttura difficile

Una buona struttura del suolo significa buona aerazione, condizioni ottimali per i microrganismi, buona riserva d'acqua disponibile, facile penetrazione delle radici, facilità di germinazione dei semi e resistenza del suolo ai fenomeni di erosione. I suoli debolmente strutturati ovvero quelli con struttura massiva sono evidentemente poco adatti all'uso agricolo: i primi per la facilità con cui le lavorazioni e il calpestio possono distruggere gli aggregati, i secondi per la difficoltà di creare una zona franca di lavorazione

utile come letto di semina e colonizzabile dalle radici.

I suoli con scarsa cementazione e consistenza degli aggregati, o perché dotati di una tessitura grossolana o perché poveri di cementi organici e minerali, sono suscettibili di perdita di fertilità per erosione idrica (§ SCHEDA D2).

■ Suoli con drenaggio impedito o eccessivo

La libera percolazione dell'acqua nel suolo è necessaria per mantenere la falda ad una profondità tale da non avere periodi eccessivamente lunghi di saturazione degli orizzonti interessati dall'apparato radicale dei vegetali, ma nello stesso tempo essa non deve essere eccessivamente rapida per non avere nel suolo una tendenza all'aridità o un eccessivo dilavamento degli orizzonti superficiali. Corretti schemi di irrigazione e di drenaggio possono ovviare alle conseguenze dei regimi idrologici difficili di suoli con orizzonti di impedimento, per esempio argillici o petrocalcici o a fragipan, o con tessitura eccessivamente grossolana.

I problemi dei suoli con particolare regime idrologico, correlati spesso alle condizioni pedogenetiche, possono essere studiati e talora risolti sulla base del bilancio termo-pluviometrico (§ SCHEDA A6, AP-PENDICE 1). Esso si ottiene dal confronto tra gli input di precipitazione annua, secondo la distribuzione media mensile, e gli output per evaporazione più quelli per traspirazione (evapotraspirazione). Le perdite d'acqua dal sistema suolo-pianta possono essere solo per percolazione, ruscellamento superficiale ed evaporazione diretta o mediata dai vegetali: le

prime due si hanno solo se le precipitazioni superano la capacità idrica del suolo, mentre la terza si ha continuamente e al raggiungimento di un potenziale di trattenuta dell'acqua, prevalentemente osmotico o/e di matrice, corrispondente ad una tensione negativa di suzione pari a 15 bar in corrispondenza del quale i vegetali raggiungono il punto di appassimento. Mentre le perdite per percolazione e ruscellamento avvengono in condizioni di suolo saturo o tendente alla saturazione d'acqua e quindi non sono limitanti ai fini della nutrizione idrica vegetale, semmai possono corrispondere a condizioni asfittiche per le radici, quelle per evapotraspirazione assumono importanza quando non sono bilanciate dalle precipitazioni, cioè nei periodi dell'anno più caldi e siccitosi. Il bilancio idrologico è quindi in stretta dipendenza dalla distribuzione delle precipitazioni nell'arco dell'anno e della temperatura del suolo e dell'aria.

Mentre le precipitazioni e le temperature dell'aria sono registrate da stazioni meteorologiche distribuite sul territorio, l'evapotraspirazione non è determinabile in ogni sito: per tale motivo si fa riferimento all'**evapotraspirazione potenziale (E.T.P.)** calcolata secondo modelli matematici più o meno empirici. Il più accreditato di questi modelli, per la semplicità di reperimento dei dati, è ancora quello dell' E.T.P. corretta secondo Thornthwaite: esso deriva da lunghe sperimentazioni e rilevamenti fatti negli Stati Uniti da cui emerge un'elevata correlazione tra i risultati sperimentali e la seguente funzione esponenziale

$$E.T.P. = 1.6 \cdot (10t/l)^a \cdot K$$

dove E.T.P. è l'evaporazione potenziale (mm/mese), t è la temperatura media mensile ricavata da un periodo statisticamente significativo, l è un indice calorico calcolato su base annua e K è un coefficiente di correzione che tiene conto delle variazioni di insolazione secondo la latitudine.

Per il calcolo di questo parametro sono disponibili in internet programmi specifici è sufficiente avere a disposizione i dati delle temperature medie mensili relativi della località interessata; quello maggiormente diffuso è il Newhall simulation model.

Benchè sia un indice grossolano dell'effetto climatico globale, può risultare utile il rapporto tra precipitazione media annua ed evapotraspirazione potenziale media annua o indice di umidità P/E.T.P.: se tale valore >1 il suolo per la maggior parte dell'anno in condizioni di eccesso idrico con elevata probabilità di condizioni riducenti, di idromorfia o di podzolizzazione; se <1 predominano condizioni di secchezza o addirittura di aridità.

Un'idea della grossolanità di quest'indice si ha considerando i suoli delle regioni artiche o alpine dove la precipitazione è spesso abbondante e l'evapotraspirazione modesta, ma l'acqua, presente per lo più come neve o ghiaccio, è alla superficie, non percola che per pochi giorni all'anno e il suolo alterna quindi lunghi periodi quasi siccitosi a corti periodi di saturazione.

Tra i suoli patologici per cattivo drenaggio meritano una particolare attenzione i suoli idromorfi. Essi sono suoli minerali con impedimento alla libera circolazione dell'acqua e interessati da una falda affiorante o fluttuante.

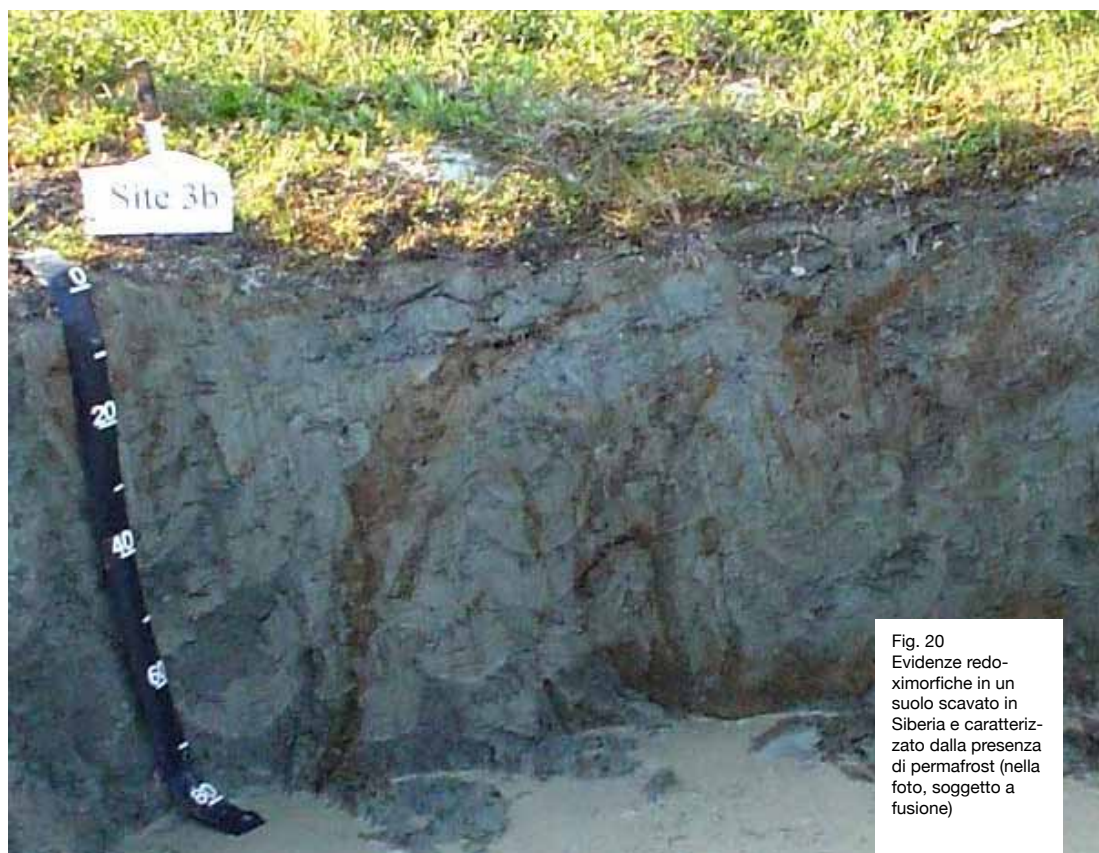


Fig. 20
Evidenze redoximorfiche in un suolo scavato in Siberia e caratterizzato dalla presenza di permafrost (nella foto, soggetto a fusione)

In queste condizioni il processo pedogenetico dominante è la gleyzzazione totale o parziale degli orizzonti frequentemente saturi d'acqua. La caratteristica più evidente è la comparsa di colorazioni da blu a grigio a verde legata alla progressiva mobilizzazione di Fe^{2+} solubile. La riduzione del ferro è prevalentemente biologica, ad opera di microrganismi anaerobi obbligati, in presenza

di sostanza organica che si ossida. La colorazione deriva dalla compresenza di idrossido ferrico e ferroso misti e precipitati (Fig. 20).

Talora una periodica aerazione, legata alle fluttuazioni della falda, provoca nei climi temperato-umidi una gleyzzazione incompleta a pseudogley con la comparsa di colori legati all'ossidazione del ferro sotto forma di screziature rosseggianti.



■ L'Erosione

L'erosione è il distacco e il trasporto della parte superficiale del suolo per effetto dell'acqua, del vento, della neve, del ghiaccio o di altri agenti geologici, includendo tra essi anche alcune manifestazioni della forza di gravità (Giordano, 2002). È un fenomeno naturale che ha partecipato, e partecipa, alla costituzione del paesaggio. Tuttavia esistono anche dei processi erosivi di origine antropica in cui è l'uomo a indurre il fenomeno. Questi hanno la stessa forma e modalità di quelli naturali ma, sono notevolmente più intensi e veloci (Giordano, 2002).

Per distinguere fenomeni naturali da fenomeni di origine, direttamente o indirettamente, antropica si usano anche i termini: erosione geologica per i primi ed erosione accelerata per i secondi.

Negli ultimi tempi il fenomeno dell'erosione per cause antropiche è andato aggravandosi e riporta quotidianamente scenari preoccupanti. Le cause sono diverse, ma quasi tutte riconducibili all'accrescimento della pressione ambientale sul suolo (agricoltura, industria, turismo, sviluppo urbano).

■ Principi dell'erosione idrica

Nella sua essenza l'erosione consiste nell'applicazione di energia su un corpo rigido che può essere deformato e traslocato: il suolo. Per quanto riguarda l'erosione idrica, l'energia proviene dall'acqua di ruscellamento.

La dinamica del processo è diversa in ogni contesto erosivo, però uno schema generale è ipotizzabile. La prima fase è la bagnatura del suolo. Ha un'azione disperdente sulle particelle, dovuta al basso contenuto ionico dell'acqua piovana, e può provocare la rottura degli aggregati per esplosione (soprattutto nei suoli limosi), come evidenziato da Torri e Borselli (2000). Contemporaneamente altri aggregati sono rotti dall'azione battente delle gocce d'acqua (*splash erosion*). Parte di queste particelle sono trasportate via, ma parte s'instaurano nei pori del suolo e vanno a diminuire l'infiltrazione. Di conseguenza aumenta l'acqua che scorre in superficie (*runoff*) e l'allontanamento delle particelle più fini (*sheet erosion*). Con il passare del tempo l'acqua inizia a prendere delle vie preferenziali e si hanno le prime incisioni nel suolo (*rill erosion*). Queste tendono ad ingrandirsi, perché sempre più suolo è trasportato via, e si formano veri e propri "burrioni" (*gully erosion*). In altri casi invece l'acqua si accumula nel suolo, indebolisce le forze di coesione tra le diverse particelle e si originano fenomeni di franamento (*slumping*) o soliflusso (*solifluxion*).

Più si va avanti e più questi eventi si sovrappongono ed interagiscono tra di loro complicando la dinamica del processo. L'entità dell'erosione dipende dalle caratteristiche dell'acqua unite al regime di precipitazioni (erosività della pioggia), del suolo (erodibilità) e dell'ambito in cui si manifesta (topografia, copertura vege-

tale e uso delle terre) (Giordano, 2002). L'erosione idrica laminare è stata stimata in ambito agronomico da Wisniewski e Smith (1978), che hanno elaborato e validato per un campo sperimentale la RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation), nella forma:

$$\text{Erosione} = R \times K \times LS \times C \times P$$

Dove:

- Erosione = $t \text{ ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ di suolo perso;
- R = *fattore erosività della pioggia* [$MJ \text{ mm h}^{-1} \text{ ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$];
- K = *fattore erodibilità del suolo* [$t \text{ ha ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$];
- LS = *fattore topografico o slope length factor* (coefficiente adimensionale calcolato);
- C = *copertura del suolo* (coefficiente adimensionale stimato, variabile tra 0 e 1);
- P = *pratiche di controllo dell'erosione* (coefficiente adimensionale stimato, variabile tra 1 e 0).

■ Erosività della pioggia

È definita come l'abilità potenziale della pioggia a causare erosione e dipende dalle caratteristiche fisiche della pioggia: quantità totale, intensità, dimensione delle gocce, velocità ed energia cinetica.

a) Oltre alla quantità totale delle precipitazioni è fondamentale conoscere, la distribuzione annua. In generale, più è irregolare con picchi molto concentrati, e maggior è il rischio di erosione. Ad esempio nell'area mediterranea una quantità totale di pioggia non molto elevata in valore assoluto può determinare un'intensa erosione.

Tropeano (1991) ha misurato una perdita di suolo di $10,5 \text{ t ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$ in un bacino idrografico sperimentale nel Nord-ovest Italia, con 799 mm di piovosità annua media. Marques M.A. (1991) in un campo sperimentale in Spagna e con una piovosità media annua di 560 mm , ha misurato $2,8 \text{ t ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$. Infine Romero e collaboratori (1988) in un bacino idrografico della Spagna, con una media annua di precipitazioni di 300 mm , hanno misurato addirittura un'erosione superiore a $4 \text{ t ha}^{-1} \text{ y}^{-1}$.

Questo accade perché le piogge sono concentrate in determinati periodi e più intense, talvolta con carattere di *flash-flood*. Inoltre, esse si manifestano sovente su suolo asciutto, secco, con copertura vegetale scarsa, che oppone meno resistenza all'energia dell'acqua ed è più erodibile.

b) L'intensità (mm h^{-1}) è determinante per la perdita di suolo, essendo il rischio di erosione potenzialmente presente ogni qual volta l'intensità della pioggia è superiore alla capacità di infiltrazione del suolo (Giordano, 2002).

c) Il diametro delle gocce influisce in modo direttamente proporzionale su velocità ed energia. Più sono grandi e maggiore è la loro erosività. Bisogna però ricordare che c'è un limite, circa 5 mm , oltre al quale le gocce non possono aumentare perché contemporaneamente cresce la loro resistenza all'aria e la tendenza a dividersi in gocce più piccole.

d) La velocità terminale delle gocce dipende dalla dimensione e dall'altezza di caduta. Il suo quadrato moltiplicato per la massa definisce l'energia cinetica.

e) L'energia cinetica è l'energia che caratterizza i corpi in movimento e può essere espressa nel seguente modo:

$$E = \frac{1}{2} m v^2$$

Rappresenta l'energia con cui la goccia d'acqua impatta al suolo ed è l'elemento attivo dell'erosione.

■ Erodibilità del suolo

È la vulnerabilità o la suscettività intrinseca del suolo ad essere eroso. Dipende dalle caratteristiche fisiche del suolo, da un lato quelle che facilitano l'infiltrazione dell'acqua e dall'altro quelle che ne determinano la stabilità strutturale.

Gli aspetti più importanti sono:

- Capacità d'infiltrazione idrica: è positiva perché aumentando l'infiltrazione diminuisce il flusso erosivo superficiale;
- Contenuto colloidale: determina la struttura e la sua stabilità aumentando le forze che uniscono le particelle;
- Compattezza e consistenza;
- Grado di dispersione: è l'opposto della stabilità strutturale, più è alta e minore è la resistenza che il suolo oppone all'energia dell'acqua.

I suoli limosi dei vigneti collinari, in cui non si applicano tecniche di conservazione del suolo, sono un esempio di suoli con alta erodibilità. Le particelle primarie costituenti il suolo (sabbia, limo, argilla) non sono molto legate tra di loro e non c'è una struttura stabile. Ci sono pochi colloidali argillosi, e manca l'effetto cementante della sostanza organica, pre-

sente in basse quantità (talvolta <1 %), perché le ripetute lavorazioni favoriscono il processo di mineralizzazione a scapito dell'umificazione. Quando la pioggia impatta sul suolo, la debole struttura è facilmente distrutta, le particelle si disperdono e vanno ad occupare i pori impermeabilizzando la superficie. Si forma così la crosta superficiale che favorisce ruscellamento ed erosione, dapprima laminare, poi concentrata.

Inoltre, quando questi suoli sono asciutti, l'inumidimento rapido provoca una rottura degli aggregati per esplosione e aumentano le particelle di suolo disperse, che vanno ad incrementare l'occlusione superficiale dei pori e l'erosione.

■ Topografia, vegetazione, tipo di gestione

Hanno un ruolo decisivo, possono determinare forte erosione anche in presenza di bassi livelli di erodibilità ed erosività, o mitigarla nel caso contrario.

a) Gli aspetti topografici più influenti sono la pendenza e la lunghezza del versante. Al loro incremento aumenta il rischio di erosione, perché il trasporto di particelle e la velocità dell'acqua sono maggiori. Altri parametri da considerare sono: la presenza di vie d'acqua trasversali e la forma.

b) La copertura vegetale ha una forte azione nell'attenuare l'erosione (Fig. 21). In particolare intercetta le gocce d'acqua prima del suolo e ne riduce l'energia cinetica, aumenta la quantità di cementi organici, mantiene intatta la struttura garantendo una buona infiltrazione e imbriglia il suolo con i sistemi radicali.

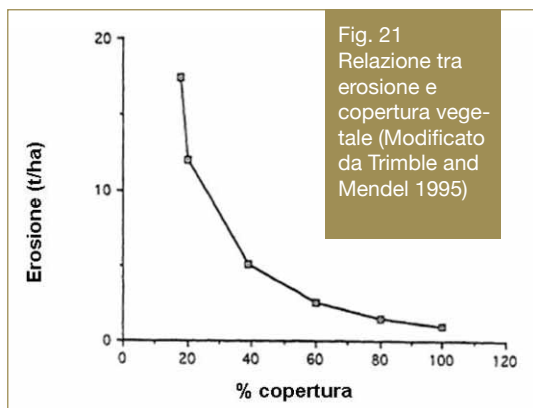


Fig. 21
Relazione tra
erosione e
copertura vege-
tale (Modificato
da Trimble and
Mendel 1995)

La vegetazione naturale, sia erbacea sia arborea, mantiene il suolo coperto tutto l'anno. Soprattutto nel caso della copertura erbacea, le diverse specie si avvicendano in modo continuo al cambiare delle stagioni e delle condizioni climatiche. In un sistema agricolo questo ciclo è interrotto dalle operazioni colturali. Per periodi più o meno lunghi il suolo rimane scoperto e soggetto all'azione erosiva dell'acqua.

c) Anche l'uso delle terre è determinante. A livello generale si può dire che i suoli più protetti sono quelli degli ecosistemi naturali (non antropizzati), mentre man mano che s'intensifica lo sfruttamento da parte dell'uomo (l'uso) accrescono i tassi di erosione.

■ Tipi di erosione idrica

Le forme e i modi in cui si presenta l'erosione idrica sono diversi.

Un esempio di classificazione è riportato nella tabella 11 (da Giordani, Zanchi, 1995).

Come già accennato le diverse forme non sono sempre distinte, bensì sovente si sovrappongono e concorrono insieme allo sviluppo del processo erosivo.

Classificarle è però utile ai fini della descrizione perché permette di capire meglio i singoli processi di genesi e sviluppo.

Erosione non incanalata

Identifica la prima fase di contatto tra suolo ed acqua, quando non si ha ancora incisione di quest'ultimo.

- **Erosione per azione battente delle gocce di pioggia (splash erosion).**

È causata dall'impatto delle gocce d'acqua sul suolo. L'energia cinetica provoca la rottura degli aggregati e la degradazione dei cementi colloidali. Si formano così particelle di suolo più piccole e facilmente trasportabili dal flusso d'acqua. Parte di queste si insinua tra gli aggregati del suolo e ne compromette la permeabilità.

Diminuendo l'acqua che infiltra, conseguentemente, aumenta quella che

Tab.11 Classificazione forme di erosione

Erosione non incanalata	per azione battente delle gocce di pioggia (splash erosion)
	per scorrimento laminare (sheet erosion o interrill erosion)
Erosione incanalata	per ruscellamento (rill erosion)
	per burronamento (gully erosion)
	per abrasione e scalzamento dell'alveo dei corsi d'acqua (channel erosion)
Erosione di massa	per franamento (slumping)
	per smottamento (solifluxion)

scorre in superficie e l'erosione per scorrimento laminare. La presenza di abbondante scheletro superficiale può concorrere alla mitigazione di questa tipologia erosiva, offrendo resistenza all'effetto di "splash".

- **Erosione per scorrimento laminare (sheet erosion o interrill erosion)**

È la rimozione dello strato superficiale del suolo per effetto della "lama" d'acqua che scorre in superficie. Il termine *interill erosion*, al posto di *sheet erosion*, è suggerito da alcuni autori (es. Hudson, 1995) al fine di indicare sia il movimento dell'acqua sia il trasporto delle gocce d'acqua e delle particelle di suolo. Questa erosione è anche detta "selettiva", perché asporta soprattutto le particelle più piccole (argille e limi) e può provocare il cambiamento della tessitura del primo strato di suolo.

Nel momento in cui l'acqua piovana entra in contatto con il suolo, si verificano altri due fenomeni, che non sono riportati nella tabella: la dispersione delle particelle e la rottura degli aggregati per esplosione. La prima è dovuta alla bassa concentrazione ionica dell'acqua piovana, che ha azione disperdente sulle particelle del suolo. Questo accade sia nella zona di deflusso superficiale, sia in quella di infiltrazione. Ha un effetto molto importante sull'entità dell'erosione e non considerarla porterebbe a sottostimare deflusso superficiale, erodibilità e tempi di allagamento.

L'esplosione (*slaking*) è causata dall'aria intrappolata negli aggregati e ha luogo nei suoli asciutti, durante i primi 15-30 minuti di pioggia.

L'acqua penetra all'interno degli aggregati attratta dalle forze di matrice. La velocità

di diffusione dell'aria nell'acqua è, però, più bassa (soprattutto nei micropori) di quella con cui l'acqua entra nell'aggregato. Questo causa dei locali incrementi di pressione che andranno a rompere l'aggregato.

È un processo molto rapido (alcuni minuti) e si arresta quando il suolo ha raggiunto un'adeguata umidità.

Questo fenomeno spiega il motivo per cui si verificano erosioni più intense, sui suoli asciutti prima della pioggia (Torri, Borselli, 2000).

Erosione incanalata

Dopo un certo periodo, i flussi erosivi iniziano a prendere delle vie preferenziali e si concentrano in alcuni punti. Qui l'asporto di materiale è maggiore rispetto al resto della superficie e si formano delle incisioni.

Una volta formate, esse diventano il punto in cui l'acqua si concentra ad ogni evento piovoso e le loro dimensioni aumentano nel tempo.

- **Erosione per ruscellamento (rill erosion)**

Rappresenta la prima fase delle incisioni. La loro profondità è di alcuni centimetri, non presentano ostacolo per l'uso delle terre e possono essere eliminate con operazioni semplici.

Si forma un reticolo di questi rigagnoli su tutta la superficie del suolo e, generalmente, hanno la tendenza a congiungersi nella parte bassa del versante, incrementando la loro profondità.

- **Erosione per burronamento (gully erosion)**

È l'evoluzione del processo di *rill erosion*. Con il passare del tempo ed il sus-



Fig. 22
Erosione catastro-
fica dopo livella-
mento e scasso
(Da Paolo Bazzof-
fi, ISSDS-2002)

seguirsi di diversi eventi piovosi, oppure in presenza di un unico evento ad alta erosività e su terreno facilmente erodibile, aumentano larghezza e profondità delle incisioni (nell'ordine di diversi dm). Questo accade perché il flusso idrico continua ad asportare suolo fino a quando non incontra un orizzonte compatto. A questo punto le dimensioni iniziano ad interferire con l'uso delle terre e occorrono interventi straordinari con macchinari pesanti per il ripristino (Fig. 22).

Erosione di massa

È dovuta all'eccessiva imbibizione di suoli situati su versanti instabili.

L'acqua penetra tra gli aggregati e tra gli altri costituenti fondamentali del suolo, provocandone l'allontanamento. Più questi si allontanano e minori sono le forze di attrazione che li tengono uniti.

Quando queste si annullano il suolo liquefa, cioè non si comporta più come un corpo semisolido, ma come un liquido e tenderà a muoversi seguendo la forza di gravità.

La quantità d'acqua utile a provocare il fenomeno dipende essenzialmente da:

- Suolo: limite di liquidità (determinabile sperimentalmente), copertura vegetale, uso;
- Pendenza del versante.

L'erosione di massa avviene nel momento in cui la forza di gravità prevale su quelle di coesione interne delle particelle.

Se ne possono distinguere due tipologie.

- Erosione per franamento (*slumping*), quando la massa terrosa scivolando si suddivide in diversi corpi;
- Erosione per smottamento (*solifluction*), quando rimane in un corpo unico.

Danni provocati dall'erosione idrica

Come si può vedere dalla tabella sottostante si hanno danni in situ e danni lontani dal luogo in cui l'erosione si è verificata (Tab. 12).

Tasso massimo accettabile di erosione

Inizialmente si partiva dall'assunto che una perdita di suolo determina sempre una perdita di produttività, tuttavia l'effetto può essere molto diverso a seconda del grado di evoluzione del suolo. Ad esempio: la perdita di 3 mm suolo/anno, in un entisuolo, profondo 30 cm, può determinare la perdita definitiva di produttività in meno di 50 anni; mentre 1 cm suolo/anno su depositi di loess o su alluvioni, profondi 50 m può non influenzare la produttività per quasi 500 anni (Giordano, 2002).

Quindi è più valido riferirsi ad un tasso accettabile di erosione, caratteristico per ogni suolo, che corrisponde, all'incirca, al tasso di alterazione della roccia madre.

Tab. 12 Danni provocati dai fenomeni di erosione del suolo

Danni sul posto dove l'erosione si è verificata	Danni lontani dal posto dove l'erosione si è verificata
Asportazione degli orizzonti organici alla superficie del suolo;	Alluvioni;
Distruzione della struttura e compattazione della superficie del suolo;	Inquinamento delle acque;
Riduzione dell'infiltrazione	Interramento delle dighe, dei bacini di raccolta dell'acqua, dei canali e dei fossi;
Diminuzione nella ricarica della falda freatica;	Cambiamento nell'assetto dei corsi dell'acqua;
Rimozione delle sostanze nutritive;	Sedimentazione di terra sui campi;
Aumento degli elementi grossolani in superficie	Deterioramento dei luoghi di pesca;
Sradicamento dei vegetali;	Eutrofizzazione delle acque
Perdita di produttività del suolo	

Per questo motivo al tasso di erosione è necessario affiancare sempre la conoscenza pedologica, per valutare attentamente la condizione del suolo in esame. Bisogna però ricordare che il suolo formatosi per alterazione della roccia madre non corrisponde, qualitativamente, a quello perso per erosione (ricco di sostanza organica e biologicamente attivo). Pertanto, il suolo può essere considerato, rispetto all'erosione, una risorsa pressoché non-rinnovabile o comunque rinnovabile solo in tempi molto lunghi, che esulano da quelli della vita dell'uomo.

Metodi di misura dell'erosione del suolo

L'erosione può essere misurata sperimentalmente in campo.

In situazioni di superfici estese e a livello di bacino i metodi più comuni sono: la misura del materiale disciolto o in sospensione trasportato dai corsi d'acqua

e la quantificazione dei sedimenti accumulati nei bacini artificiali.

Per estensioni minori (campi sperimentali) il suolo eroso può essere convogliato e quantificato usando sistemi di raccolta appositamente progettati.

E' tuttavia possibile valutare la vulnerabilità del suolo all'erosione o perdita di aggregati e consistenza anche in laboratorio o tramite modelli di stima. Ad esempio è possibile impiegare il contenuto di Cs-137 nel suolo al fine di determinare i tassi di erosione, in particolare in ambiente montano. In un sito sperimentale a Mont de La Saxe (Cormayeur), ad esempio, con questo metodo si sono valutati tassi annui di erosione compresi fra 8.8 e 13.4 Mg ha⁻¹ yr⁻¹ (Ceaglio et al., 2010).

Alcuni esempi sono poi: la stima dell'erodibilità del suolo (fattore K) con il **nomogramma di Wischmeier**, i **limiti di Atterberg** e il **Wet Aggregate Stability Index (WAS)**.

Più usate sono le misure indirette dell'erosione. Qui il tasso erosivo è calcolato facendo riferimento a metodi che possono essere: empirici, parametrici o fisici.

I metodi empirici sono basati sull'elaborazione di un modello di aggregazione, in cui rientrano le variabili determinanti l'erosione (erodibilità del suolo, erosività pioggia, topografia, copertura vegetale, uso delle terre), che è in grado di confermare con alta probabilità statistica i risultati ottenuti da parcelle sperimentali. Il più conosciuto è l'USLE (Wischmeier, Smith, 1978) Universal Soil Loss Evaluation poi modificato RUSLE (Revised USLE).

Nei metodi parametrici è redatta, per ogni variabile determinante l'erosione, una carta suddivisa in aree omogenee per intensità, che sono contraddistinte da un valore di propensione all'erosione.

I diversi tematismi sono poi sovrapposti e i valori delle aree, aggregati secondo modelli matematici. Il risultato finale consente di stabilire l'intensità dell'erosione grazie ad una scala di riferimento. Un esempio di questi metodi sono CO-RINE (Coordination Information Environment) e PSIAC (Pacific South-West Inter Agencies Committee).

I metodi fisici si basano su equazioni matematiche capaci di ricostruire il processo erosivo secondo la fisica stessa del fenomeno. Sono metodi fisici WEPP (Water Erosion Prediction Project) e EUROSEM (European Soil Erosion Model). Danno risultati meno precisi rispetto alle misure sperimentali, però, grazie all'utilizzo di *software* di tipo G.I.S. (ArcGIS, GRASS), permettono di mappare l'entità dell'erosione su vaste superfici e in poco tempo.



- Ceaglio E., Meusburger K., Freppaz M., Zanini E., Alewell C. (2012) Estimation of soil redistribution rates due to snow cover related processes in a mountainous area (Valle d'Aosta, NW Italy). *Hydrology and Earth System Sciences*. doi:10.5194/hessd-8-8533-2011
- Giordani C., Zanchi C. (1995). *Elementi di Conservazione del Suolo*. Patron Editore, Bologna, pp. 260
- Giordano A. (2002). *Pedologia forestale e conservazione del suolo*. UTET pp. 600.
- Hudson N. (1985). *Soil conservation*. Batsford academic and Educational. London, UK.
- Marques M.A. (1991). Soil erosion research: experimental plots on agricultural, burnt environments near Barcelona. In: Sala, M., Rubio, J.L., García-Ruiz, J. M. (Eds.). *Soil Erosion Studies in Spain*. Geofoma, Logroño, pp. 153–164.
- Romero M.A., Lopez Bemúdez F., Thornes J., Francis C., Fisher G. (1988). Variability of overland flow erosion in a semiarid Mediterranean environment under matorral cover, Murcia, Spain. *Catena*. Supplement (13), pp. 139–146.
- Torri D., Borselli L. (2000). Water Erosion. In M.E. Sumner (ed.) *Handbook of Soil Science*, Section G, Chapter 7, 171-194, CRC Press (Boca Raton, USA).
- Trimble, S.W., Mendel A.C. (1995). The cow as a geomorphic agent -- a critical review. *Geomorphology* 13: pp. 233-253.
- Tropeano, D. (1991). High flow events, sediment transport in a small streams in the "Tertiary Basin" area in piedemont (Northwest Italy). *Earth Surface Processes and Landforms* 16, 323–339.
- Wischmeier, W.H., Smith D.D. (1978). *Predicting Rainfall Erosion Losses: A Guide to Conservation Planning*. Agriculture Handbook No. 537. USDA/ Science and Education Administration, US. Govt. Printing Office, Washington, DC. pp. 58.



Parte E:
l'impatto
dell'uomo
sul suolo

Scheda E1: suoli antropogenici e tecnogenici



Secondo l'International Committee on Anthropogenic Soils (ICOMANTH), i suoli antropogenici sono quelli che sono stati interessati profondamente da disturbi e trasporto legati alle attività dell'uomo. In altre parole sono suoli direttamente e indirettamente influenzati da attività umane. Tali attività ne hanno modificato profondamente le caratteristiche fisiche, chimiche e biologiche naturali e quindi anche il funzionamento idrologico, la capacità produttiva, le proprietà tecniche e il ciclo evolutivo (Buondonno et al., 1998). Le attività antropiche, responsabili quindi di una antropopedogenesi o comunque di un processo pedogenetico influenzato dall'uomo, meritano così un breve approfondimento in relazione alle loro caratteristiche tecniche, alla loro intensità e agli effetti che esse inducono nei suoli.

■ Apporti di materia

- **Diretti:** letamazioni, fertilizzazioni, diserbi, disinfestazioni, correzioni, irrigazioni, bonifiche per colmata, spandimenti di fanghi e liquami, ecc..
- **Indiretti:** emissioni acide, fumi, polveri, idrocarburi, metalli pesanti, sostanze radioattive, esondazioni fluviali, ecc..

■ Sottrazioni di materia

- **Dirette:** attività estrattive, sbancamenti, decorticazioni;
- **Indirette:** erosione indotta, drenaggi, seppellimenti, impermeabilizzazioni derivanti da edificazioni e da costruzioni di reti viarie, impianti e reti energetiche, allocazione di discariche e di bacini idrici, rimaneggiamenti e disturbi meccanici da lavorazioni agrarie profonde, da disboscamenti, da livellamenti, da terrazzamenti e ciglionamenti, da pascolamento abituale, da traffico veicolare, ecc. (Fig. 23 a-b).



Fig. 23 a-b
Spietramenti e livellamenti eseguiti nel corso della realizzazione di una pista da sci e in un intervento di miglioramento fondiario in Valle d'Aosta

Nello studio dei suoli antropogenici è particolarmente rilevante la classificazione tassonomica, al fine di renderli conformi e utilizzabili sia negli studi scientifici e cartografico-pedologici, sia nelle procedure di valutazione per scopi pianificatori e gestionali dei suoli e del territorio. Tutto questo interesse è oggi amplificato dalla loro crescente espansione territoriale nel pianeta per cause assai disparate come industrializzazione, urbanizzazione, colonizzazione agricola, contaminazione ed inquinamento. Queste cause, essendo sostanzialmente riconducibili all'azione dell'uomo, determinano una evoluzione antropocentrica del globo e, attualmente, diventa alquanto arduo rapportarsi con aree "incontaminate".

Le difficoltà maggiori nello studio dei suoli antropogenici si incontrano nella volontà di conciliare la visione genetico-evolutiva con quella morfologico-quantitativa: l'analisi generale dei fattori è ritenuta assai empirica mentre la comunità scientifica sottolinea l'importanza di un'analisi minuziosa delle attività antropiche elencate in precedenza. Una serie di tassonomie, molto valide da questo punto di vista, pongono perciò una differenziazione netta fra suoli:

- **ad evoluzione pedogenetica influenzata da attività umane** considerata quindi come processo secondario, sovraimposto, epigenetico (con questa modalità lo sviluppo del tipo pedologico riflette processi e schemi noti, confrontabili con situazioni naturali e perciò ben conosciuti nei sistemi tradizionali di classificazione, come ad esempio possono essere i fenomeni erosivi provocati da incendi e disboscamenti);

- **suoli completamente artificiali** caratterizzati da una vera e propria manipolazione pedogenetica (antropopedogenetica) derivante da operazioni drastiche come opere di ingegneria, opere civili, opere di difesa del suolo, attività estrattive, sbancamenti o colmate con materiali di risulta provenienti dai lavori di ingegneria.

Al fine di discriminare tale differenza vengono pertanto definiti precisi valori-soglia morfologici, chimici, fisici e biologici al di sotto dei quali il profilo pedologico viene considerato ancora semi-naturale. Infatti si ha la distinzione fra caratteri qualificativi come antropico e antropizzato che stanno ad indicare un'antropizzazione parziale solo di alcuni orizzonti, e alcuni taxa come Anthrosols (nel WRB della FAO), Anthroposols (nella Classificazione Australiana) e Technosols (nel WRB della FAO), i quali indicano modificazioni causate dall'attività umane sull'intero profilo. Da queste considerazioni nasce quindi un tentativo di compromesso fra analisi meramente scientifica ed una che assuma più una connotazione tecnico-pratica. Tale analisi non si deve però limitare all'aspetto meramente qualitativo delle attività antropiche, ma in modo particolare a quello quantitativo, in modo da capire il grado di antropizzazione che caratterizza un suolo piuttosto che un altro. A questo proposito è utile notare, ad esempio, come la profondità delle lavorazioni meccaniche nelle coltivazioni agrarie possa assumere un significato tassonomico rilevante.

Risulterebbe d'altro canto eccessivo un inserimento fra i suoli antropogenici di tutti i suoli arati e, pertanto, risulta essenziale il riconoscimento dei caratteri

genetici primitivi del suolo in oggetto in modo da poter creare una graduatoria di naturalità inversamente proporzionale alle attività antropiche attuate.

Questo punto però è oggetto di controversia perché talune lavorazioni possono aver obliterato, nel tempo, la struttura e i caratteri propri del suolo di partenza creando in questo modo un suolo con nuove caratteristiche definibile come **neo-suolo** (ad esempio fertilizzazioni, apporti di materiali ecc.).

Oltre quindi ad avere una classificazione tassonomica dettagliata sui suoli antropogenici risulta evidente la necessità di avere una distinzione oggettiva fra suoli:

- naturali
- debolmente modificati
- parzialmente modificati
- completamente modificati
- totalmente prodotti dall'uomo

Risulta poi utile affrontare una problematica, di minore rilevanza rispetto all'approccio da utilizzare per la tassonomia, ma comunque non trascurabile, che è la terminologia da impiegare nello studio e nell'analisi dei suoli in oggetto (importanti anche per la loro trattazione).

Il termine suoli antropogenici, come descritto anche nella definizione riportata in precedenza, indica quei "suoli la cui genesi è riconducibile alle azioni svolte dall'uomo"; di conseguenza la dizione suoli antropogenetici può essere considerata come sinonimo e identico discorso vale pure per suoli antropici.

Un'ultima precisazione deve essere fatta sulla distinzione fra suoli antropizzati e suoli tecnogenici: il termine antropizzato è un neologismo significante colonizza-

to, trasformato o degradato dall'azione umana, spesso usato come dispregiativo o comunque, in modo generico, per descrivere i segni lasciati dalle attività umane senza esprimere un grado di intensità dei processi; il termine tecnogenico ha assunto invece un significato ben determinato, distinguendo i suoli costituiti o arricchiti in materiali di scarto o residuali, di provenienza prevalentemente industriale o mineraria, variamente frammisti a relitti di suolo o di orizzonti pedologici. Si è comunque ancora lontani dall'ottenimento di una terminologia unificata o globalmente riconosciuta (come è stato già in precedenza per la tassonomia dei suoli più in generale) e, nonostante i tentativi effettuati dalla FAO (Revised Legend, 1990-2001) e dell'AFES (Référentiel Pédologique, 1995) per uniformare e proporre all'intera comunità scientifica quantomeno dei criteri tassonomici universalmente validi, ad oggi si ha un ventaglio di tassonomie dissimili per nomenclatura e terminologia che verranno analizzate brevemente in seguito. Vedremo così una piccola sequenza di tassonomie dei suoli antropogenici fra le più diffuse a livello mondiale: il sistema FAO-Unesco, la classificazione del World Reference Base for Soil Resources (IUSS Working Group WRB, 2006), la classificazione Cinese, le Keys of Soil Taxonomy (USDA, 20010) statunitensi e la tassonomia russa, derivante da quella dell'ex Unione Sovietica.

FAO-Unesco

La Revised Legend (FAO-Unesco, 1990) accennata in precedenza, introduce, rispetto alla precedente edizione del 1975, numerosi nuovi Raggruppamenti, fra i

quali figura anche quello degli Anthrosols. Questi vengono definiti come "...suoli in cui le attività umane hanno prodotto una modificazione profonda o un seppellimento degli orizzonti originari, attraverso rimozione o disturbo degli orizzonti superficiali, scavi e riporti, apporti secolari di sostanza organica, irrigazioni prolungate..." Le Unità pedologiche, in cui viene suddiviso il Raggruppamento degli Anthrosols, sono costituite da:

- **Aric Anthrosols**, contenenti soltanto resti di orizzonti diagnostici rimescolati da lavorazioni profonde.
- **Fimic Anthrosols**, ricoperti da uno strato superficiale antropogenico, di almeno 50 cm di spessore, prodotto da prolungati apporti di letame misto a terra.
- **Cumulic Anthrosols**, seppelliti sotto oltre 50 cm di sedimento fine, sedimentato a più riprese da acque irrigue o appositamente riportato dall'uomo per alzare il franco di coltivazione.
- **Urbic Anthrosols**, contenenti, per almeno 50 cm di profondità cumuli di rifiuti minerari, domestici, edilizi.

In questo modo l'inclusione fra gli Anthrosols si basa sulla presenza di forti segni di disturbo e di rimescolamento del suolo su uno spessore di almeno 50 cm di profilo escludendo in tal modo tutti i casi di normale coltivazione agraria del suolo, indicati con Ap, sigla indicante arature, pascolamenti e disturbo meccanico (come per le convenzioni USDA). La nuova versione della "Lecture notes on the major soils of the world del 2001" si avvicina molto alla descrizione del WRB che sarà esposta qui di seguito con tutte le precisazioni.

WRB World Reference Base for Soil Resources

L'impostazione concettuale seguita dal WRB è molto vicina a quella che ha sorretto l'istituzione degli Anthrosols nella Legenda FAO, che si vedrà di seguito.

Vengono anzitutto definiti i processi di antropopedogenesi, associati a caratteristici orizzonti antropopedogenici e connessi alla prolungata e intensa coltivazione del suolo. Essi comprendono: lavorazioni meccaniche profonde; fertilizzazioni con o senza apporto di materiali terrosi estranei (sabbia, lettiere minerali, ecc.); irrigazione con acque ricche di sedimento; coltivazione per sommersione. Questi orizzonti legati all'attività antropica sono i seguenti:

- **Anthraquic horizon**, un orizzonte superficiale che evidenzia caratteristiche di alternanza fra ossidazione e riduzione legate ai periodi di allagamento artificiale. Quando è umido risulta compatto e con una limitata infiltrazione, mentre quando è asciutto è costituito da una massa di piccoli aggregati dispersi. Inoltre, quando non è allagato, sono visibili le colorazioni giallastre e rossastre, nelle crepe e nei canali radicali, causate dall'avvicinamento di condizioni ossidative e riduttive a carico del ferro.
- **Hydragric horizon**, un orizzonte sub-superficiale con una pedogenesi influenzata dall'uomo, in quanto associato con una coltivazione per sommersione; ha delle colorazioni tipicamente riduttive ed è generalmente poco permeabile e ricco di limo e argilla.
- **Irragric horizon**, un orizzonte superficiale in cui la pedogenesi è modificata dall'irrigazione, con l'apporto di sedimenti

e che può includere fertilizzanti, sali solubili e sostanza organica.

- Anthric horizon, un orizzonte superficiale le cui caratteristiche sono associate all'attività agricola e in particolare all'aratura e al rimescolamento che ha subito nei secoli.
- Terric horizon, un orizzonte superficiale in cui la pedogenesi è indotta dall'uomo, in quanto vengono apportati dei materiali minerali come sabbia o fanghi, o organici come il compost. Possono contenere inoltre artefatti come laterizi o ancora macerie e rifiuti di vario genere.
- Plaggic horizon, un orizzonte superficiale di colore scuro prodotto da apporti prolungati, risalenti al periodo medievale; la formazione dei plaggen è dovuta agli apporti di zolle erbose, lettiera, letame e sabbia, che hanno creato uno "strato" di almeno 20 cm.
- Hortic horizon, un orizzonte superficiale dove la pedogenesi è influenzata da lavorazioni profonde, da una intensa fertilizzazione o da residui organici animali e non (reflui, concimi, ecc.).

I suoli che contengono questi orizzonti hanno subito una forte influenza dell'attività umana e sono contenuti in due Gruppi di Suoli di Riferimento (RSG): gli **Anthrosols** e i **Technosols**.

Gli **Anthrosols** comprendono i suoli profondamente modificati dall'attività umana, ad esempio mediante la coltivazione, l'irrigazione e l'aggiunta di sostanza organica. Secondo il WRB sono necessarie attività antropopedogenetiche protratte nel tempo per creare un Anthrosols, e rendere irrecognoscibili i

caratteri pedologici preesistenti oppure seppellirli. Al secondo livello tassonomico troviamo poi 7 Unità differenti:

- Hydragric Anthrosols: suoli provvisti di sequenza idragrica.
- Terric Anthrosols: suoli provvisti di orizzonte "terrico".
- Escalric Anthrosols: suoli presenti nei terrazzamenti costruiti e coltivati dall'uomo.
- Irragric Anthrosols: suoli provvisti di orizzonte "irragrico".
- Plaggic Anthrosols: suoli provvisti di orizzonte plaggen.
- Technic Anthrosols: suoli con più del 10% in vol. di artefatti nei primi 100 cm.
- Hortic Anthrosols: tutti gli altri Anthrosols (sono i suoli con orizzonte ortico).

I **Technosols**, nuovo Gruppo inserito nella nuova versione del WRB del 2006, comprendono i suoli con una cosiddetta "origine tecnica": contengono cioè una elevata quantità di artefatti (più del 20% nei primi 100 cm), definiti come "materiale derivante da processi produttivi umani o da attività estrattiva", generalmente costituiti da ceneri, fanghi e residui estrattivi. Vi può essere inoltre, all'interno del profilo, una geomembrana con funzione stabilizzante al di sotto di un complesso di materiale incoerente apportato dall'uomo.

Fanno così parte dei Technosols i suoli delle città, quelli "costruiti" sulle discariche, i suoli di ripristino delle cave, le strade, ecc..

È necessario comunque un accurato controllo di questa tipologia di suoli, in quanto, data la loro origine, potrebbero aver subito delle contaminazioni di vario

genere.

Molto spesso comunque il materiale antropogenico viene ricoperto da materiale naturale precedentemente accumulato, o di origine alloctona, per rendere più “naturaliforme” l’area.

Al secondo livello tassonomico troviamo poi 5 Unità differenti:

- Garbic Technosols: suoli con uno strato caratterizzato dalla presenza di artefatti e rifiuti organici.
- Spolic Technosols: suoli con la presenza di sottoprodotti terrosi dell’attività industriale o estrattiva.
- Urbic Technosols: suoli in cui si rinvengono macerie edilizie e rifiuti urbani come gomma e plastica.
- Ekranic Technosols: suoli ricoperti dal cosiddetto technic hard rock ossia da materiale tecnico di derivazione antropica con consistenza rocciosa o pseudo-rocciosa (generalmente l’asfalto).
- Linic Technosols: suoli caratterizzati da uno strato di geomembrana impermeabile o lentamente permeabile.

USDA Soil Taxonomy

L’edizione integrale del 1975 contempla i suoli profondamente modificati da attività umane, che vengono individuati dal sottordine Arents nel quale la sezione di controllo (tra 25 e 100 cm dalla superficie del suolo minerale) deve contenere il 3% o più, in volume, di frammenti di orizzonti diagnostici distribuiti disordinatamente. Per situazioni più specifiche alcune soluzioni sono state suggerite da Sencidiver (1977) che ha proposto il sottordine degli Spolents fra gli Entisols; scopo fondamentale era quello di classificare i suoli delle discariche minerarie con ca-

ratteristiche particolari, come presenza di artefatti (vetro, metalli), distribuzione irregolare della sostanza organica con la profondità, orientamento disordinato dei frammenti grossolani.

Fanning e Fanning (1989) hanno proposto 5 sottogruppi di Entisols (Udorthents) ed Inceptisols per l’identificazione di suoli fortemente influenzati dall’attività umana:

- Urbic: suoli contenenti artefatti, come laterizi e vetro.
- Scalpic: suoli naturali affioranti su superfici troncate da azioni antropiche.
- Spolic: suoli costituiti da materiali terrosi smossi e privi di artefatti.
- Garbic: suoli con materiali organici da discarica.
- Dredgic: suoli su materiali derivanti dal dragaggio.

Nella seconda edizione della Soil Taxonomy del 1999 non sono stati apportati cambiamenti riguardo alle caratteristiche degli Arents, ma tra i Sottordini degli Inceptisols è stato aggiunto l’Anthrepts. All’interno degli Anthrepts si identificano quindi dei Grandi gruppi, diversificati in base all’uso del suolo agricolo e agli effetti sulla formazione di orizzonti diagnostici di superficie (epipedon), come *anthropic* e *plaggen*. Questi originano rispettivamente gli Haplanthrepts e i Plag-anthrepts.

L’epipedon “antropico” ha le stesse caratteristiche dell’epipedon mollico per quanto riguarda il colore, la potenza, la struttura ed il contenuto in carbonio organico; quello che varia è il contenuto di fosfati che deve essere superiore a 1500 mg/kg di P_2O_5 estratto con acido citrico.

Valori così elevati sono raggiunti solo a seguito di un prolungato utilizzo del suolo da parte dell'uomo, sia come luoghi residenziali, sia come campi agricoli irrigati ed abbondantemente concimati (anche tramite l'apporto di residui di ossa e conchiglie per aumentare il contenuto di fosforo e calcio). L'elevato livello di fosfati non è ovunque correlato con una elevata saturazione basica, ma questa risulta molto spesso superiore rispetto ai suoli circostanti, meno influenzati da attività antropiche.

L'epipedon "plaggen" è un orizzonte superficiale creato dall'uomo con continui apporti di materiale organico alternato o mescolato con materiale inerte al fine di ottenere un suolo con buone potenzialità agronomiche. Questo tipo di epipedon deve avere una potenza di almeno 50 cm, in cui siano visibili i residui degli apporti di lettiera apportata dai boschi o letame, frammisto a sabbia e manufatti, che si presentano con una evidente stratificazione. Questa pratica, diffusa soprattutto nell'Europa Nord-Occidentale, prevalentemente su suoli poco fertili come gli Spodosuoli sabbiosi, cessò nel XIX secolo con l'avvento dei fertilizzanti chimici, lasciando però dei suoli con ottime caratteristiche di fertilità.

Altre caratteristiche correlate all'attività umana sono:

- l'orizzonte di profondità agric: è un orizzonte illuviale con accumulo di limo, argilla e humus, formato al di sotto di un orizzonte coltivato. L'orizzonte superficiale è periodicamente rimescolato e non vi è una vegetazione duratura e stabile; si ha perciò un flusso turbolento di acqua che percola attraverso piccole

crepe o tramite i buchi creati dai lombrichi. L'acqua di percolazione porta con sé i materiali fini che sono depositati nell'orizzonte agrico creando delle sottili pellicole scure (*cutans*, *argillans*, *mangans* e *organas*), formate da sostanza organica, argilla e limo, ricoprendo gli aggregati del suolo e la superficie interna dei pori;

- le condizioni acquiche (anthraquic conditions) sono causate da attività umane come quella definita *anthric saturation*, ossia condizioni di saturazione che si determinano in campi coltivati a seguito di allagamenti controllati (causando delle condizioni riducenti riconoscibili ai fini della classificazione, dalla colorazione e dalla riduzione del potenziale di ossido-riduzione).

Proprietà diagnostiche

In attesa della pubblicazione di un sistema tassonomico che racchiuda le varie tipologie di suoli antropogenici e che risulti universalmente riconosciuta, sarebbe opportuno adottare delle checklist minimali di diagnosi delle proprietà diagnostiche potenziali nelle operazioni di studio e rilevamento dei suoli.

Sono stati proposti alcuni parametri utilizzabili per catalogare i suoli definiti come urbani:

- spessore del materiale disturbato o sostituito
- profondità del "solum"
- profondità del materiale "alterato"
- contenuto in sostanza organica
- contenuto in CaCO_3
- contenuto in Fe libero
- pH
- CSC / tasso di saturazione basica / basi scambiabili

- concentrazione dei minerali tossici, delle sostanze chimiche e dei gas
- concentrazione dei sali solubili
- conducibilità idraulica del suolo saturo
- capacità per l'aria
- densità apparente
- capacità per l'acqua utile
- proprietà geotecniche (plasticità, estensibilità lineare)
- durata dei periodi di eventuale saturazione idrica
- profondità di strati o orizzonti induriti o cementati
- natura petrografico – mineralogica del substrato
- tipo e condizioni della copertura vegetale.

Scheda E2: ambiti in cui è possibile il restauro/recupero pedo-ambientale



Nella presente scheda si farà largamente riferimento alle “**Linee guida per il trattamento dei suoli nei ripristini ambientali legati alle infrastrutture**” (Paolanti, 2010). Ai fini del restauro e/o recupero pedo-ambientale si fa generalmente riferimento al concetto di suolo antropogenico (§ SCHEDA E1). La diffusione dei suoli antropogenici è in rapida crescita in Italia in relazione alle più diverse problematiche di gestione, agroforestale e non, delle superfici di un ambiente fortemente antropizzato, in un Paese industrializzato come il nostro. Esempi sono i recuperi di aree ex-industriali, estrattive o di cava, il ricoprimento di discariche, così come le aree sottoposte a forti rimaneggiamenti per scopi agrari, terrazzamenti o spianamenti, oppure quelli relativi a sistemazioni fondiari. In questi suoli i materiali spesso alloctoni, organici e/o minerali, vanno incontro ad una pedogenesi diversa da quelli dei suoli originari.

Il rinnovo o il cambiamento del tipo di materiale parentale e il tasso di alterazione conducono ad una notevole differenziazione delle proprietà del suolo che vanno a costituire il **carattere antropogenico** tipico dei suoli “restaurati”.

Al fine di definire gli ambiti di possibili recuperi o restauri pedologici al condizionamento del suolo antropogenico finale occorre innanzitutto verificare l'ipotesi che l'intervento progettabile sia in grado di fornire, mediante materiali e tecniche eco-compatibili, per quanto possibile, garanzie di riequilibrio con l'ambiente

circostante. Tale riequilibrio è inteso in termini di caratteristiche idrologiche interne al suolo e di caratteristiche di fertilità chimica, fisica e biologica.

Il restauro pedologico deve essere ispirato al potenziale riequilibrio dell'ambiente, mediante costruzione di suoli antropogenici, definibili anche “suoli obiettivo” per quanto possibile simili o addirittura migliorati rispetto a quelli pre-esistenti. Ogni ipotesi di restauro deve essere improntata alla massima sostenibilità economica, tenendo conto, tuttavia, che non è comunque possibile ottenere un ambiente produttivo in un numero ragionevole di anni senza un adeguato investimento.

Il restauro pedologico ha dunque come riferimento la qualità di un suolo obiettivo, ovvero la sua capacità di “funzionare”, proprio come un suolo non antropogenico, entro i limiti di ecosistemi naturali e di essere gestito per sostenere la produttività di piante ed animali, mantenere e migliorare la qualità delle acque e dell'aria, e sostenere la salute e la dimora umana (Karlen et al., 1997)

La qualità del suolo può essere valutata tramite indicatori. A tale scopo per la ricostruzione o il restauro di un suolo occorre fare riferimento a un **suolo obiettivo** con parametri pedologici e di fertilità ottimali che dovrebbero indicare se il suolo funzionerà al pieno delle sue potenzialità in un dato contesto territoriale (§ APPENDICE 8).

I parametri sono chimici, fisici o biologi-

ci. Importante è ricordare che le qualità, invece, sono funzioni complesse che esprimono come e quando le caratteristiche del suolo, singolarmente e sinergicamente, reagiscono ad input esterni. Queste sono dedotte da fattori intrinseci od estrinseci del suolo.

Elemento di riferimento anche per il restauro pedologico è la proposta di Direttiva dell'Unione Europea che istituisce un quadro per la protezione del suolo (COM (2006) 232). Punto di partenza della proposta di Direttiva è che, per consentire al suolo di svolgere le proprie funzioni, è necessario difenderlo dai processi di degrado, definiti anche minacce, che lo danneggiano. Queste sono state individuate in: erosione, diminuzione di materia organica, contaminazione locale e diffusa, impermeabilizzazione, compattazione, diminuzione della biodiversità, salinizzazione e frane. L'ultima fase del degrado è rappresentata dalla desertificazione.

E' inoltre necessario ricordare che il suolo è una risorsa praticamente non rinnovabile, poiché i processi di formazione e rigenerazione sono estremamente lenti. È una matrice ambientale che reagisce agli influssi esterni con molto ritardo: i problemi vengono individuati solo a posteriori, quando spesso è troppo tardi per rimediarvi.

Nella progettazione di un restauro pedologico l'attenzione non deve essere concentrata su una sola delle funzioni: non bisogna trascurare il suolo come multifunzionale ossia "un suolo sano" svolge contemporaneamente numerose funzioni (ad esempio permette lo sviluppo di specie vegetali, regola il ciclo dell'acqua e dei nutrienti, è anche un habitat ed un filtro biologico ecc.). In sede progettuale è possibile prevedere gli impatti sui suoli in fase di realizzazione dell'opera e quali funzioni saranno chiamati a svolgere i suoli alla luce del tipo di ripristino previsto: dovrà essere definito se, per quanto possibile, il ripristino sarà conservativo, oppure se e quanto ci saranno trasformazioni rispetto alla situazione ante operam. Ad esempio può succedere che possano essere modificate le morfologie originarie creando dei versanti in un'area pianeggiante ed in questo caso per i suoli diventa sensibile il tema del rischio di erosione. In ogni caso la progettazione deve tenere conto delle relazioni suolo pianta.

Nel progetto, cioè, si dovrà tenere conto delle caratteristiche e qualità che il suolo dovrà avere e quindi di tutte le attività che si dovranno svolgere in relazione anche ai diversi impatti cui saranno soggetti i suoli.



■ Informazioni preliminari relative alla situazione ante operam

Se il progetto di ripristino prevede per tutta o almeno per parte dell'area interessata dai lavori necessari alla realizzazione dell'intervento la ricostituzione di un suolo simile a quello esistente precedentemente, è evidente che è necessario conoscere i tipi di suoli pre-esistenti e la loro distribuzione sul territorio. Il processo più lineare per avere tale informazione, prevede la disponibilità di una cartografia dei suoli dell'area a una scala di dettaglio adeguato (1:50.000 – 1:10.000). A livello nazionale la disponibilità di un tale dato è poco frequente e riguarda solo alcune aree del paese. Non è previsto altresì allo stato attuale che tali conoscenze vengano ottenute all'interno della fase progettuale dell'opera stessa. Alcune infrastrutture, poi, hanno uno sviluppo prevalentemente lineare e questo rende più complicato l'acquisizione di informazioni di tipo geografico sui suoli. Ci limitiamo, quindi, ad indicare le modalità per ottenere, seppure in prima approssimazione, un quadro conoscitivo dei suoli.

Molte Regioni hanno elaborato delle cartografie a scala 1:250.000, che possono fornire un quadro conoscitivo di area vasta che permette di individuare in prima approssimazione i principali tipi di suolo presenti nella zona e quale sia la modalità di espressione dei fattori della pedogenesi. Tali informazioni sono disponibili presso gli Enti che svolgono la funzione di servizio pedologico regionale (vedi anche <http://www.aip-suoli.it/>

suolo/3regioni.htm) che, in alcuni casi, li hanno rese fruibili tramite WEB GIS. Ovviamente è importante, utilizzare il materiale a maggior dettaglio qualora questo sia disponibile. Da tali fonti è possibile ottenere, oltre alle cartografie dei suoli (carte pedologiche), anche cartografie tematiche derivate quali ad es. le carte della capacità d'uso dei suoli; le carte relative alla vulnerabilità dei suoli o quelle della capacità dei suoli di proteggere altre matrici ambientali come le acque. Le carte dei suoli ci informano circa la distribuzione geografica dei diversi tipi di suoli ma anche circa le caratteristiche e qualità degli stessi. L'acquisizione di informazioni sui suoli può avvenire, come già detto, tramite rilievo diretto in campo (§ SCHEDE B3 - B6) oppure utilizzando anche dati pedologiche preesistenti. La cartografia dei suoli si avvale generalmente del cosiddetto "paradigma suolo" (Hudson, 1992), ciò equivale a dire che le misure dei caratteri e delle qualità del suolo rilevate in un punto specifico possono essere ritenute valide, con un determinato grado di approssimazione e di incertezza, nelle aree dove i fattori della pedogenesi alla scala di riferimento sono analoghi a quelli dell'ambiente in cui il suolo è stato rilevato. Ossia in ambienti simili, omogenei per fattori della pedogenesi, vi è una buona possibilità che vi siano suoli simili. Tale affermazione deve, però, essere sempre verificata con sopralluoghi mirati di campo, tenendo conto che a livello operativo non interessa tanto effettuare considerazioni di carattere generale quanto conoscere le caratteristiche che determinano il comportamento funzionale

del suolo e la sua resilienza. La descrizione di campo è fondamentale per la classificazione e la valutazione del suolo, così come per la comprensione dei processi pedogenetici e delle caratteristiche funzionali. Il rilevamento del suolo è assimilabile ad una ricerca di campagna. Solo se l'attività di campo è svolta con scrupolo ed adeguata professionalità è possibile eseguire un corretto campionamento e regolare l'attività di laboratorio, scegliendo le analisi da effettuare e i metodi più appropriati.

La scelta del punto dove eseguire lo scavo e la descrizione del sito di rilevamento deve essere effettuata in modo da individuare il concetto centrale (modale) del suolo rappresentativo dell'elemento territoriale che si vuole indagare. Vengono a tal fine escluse le situazioni anomale.

Le osservazioni pedologiche possono essere ricondotte a quattro tipologie principali:

- **Profilo**

Come profilo pedologico (§ SCHEDA B4) si intende uno scavo di adeguate dimensioni e profondità, utile per descrivere la morfologia derivante dallo sviluppo genetico-evolutivo del suolo e per prelevare campioni per le analisi di laboratorio. Il profilo è composto da una sequenza di orizzonti risultanti dall'evoluzione pedogenetica e rappresenta la minima unità ideale di campionamento.

- **Trivellata**

La trivellata è effettuata mediante una trivella di tipo "olandese" e permette di estrarre "carote di suolo". Il campione prelevato è disturbato e solo alcune caratteristiche o qualità possono essere osservate con precisione. Delle porzioni di suolo estratte non deve essere considerata la parte superiore, i primi 5 cm circa, allo scopo di eliminare il materiale caduto o comunque asportato dalle pare-

ti del foro. Tale accorgimento non va però seguito per la prima "carota". Per la scelta del sito della trivellata valgono le stesse considerazioni fatte per il profilo. Questo tipo di osservazione è utilizzato soprattutto per individuare il sito idoneo allo scavo di un profilo pedologico, o per confermare la presenza di certe caratteristiche dei suoli.

- **Pozzetto o minipit**

Per minipit o pozzetto s'intende uno scavo di circa 50 - 60 cm di profondità, utile per verificare le condizioni dello strato maggiormente interessato dalle radici.

- **Osservazione superficiale o speditiva**

L'osservazione speditiva rappresenta una casistica varia che può andare dall'annotazione delle condizioni superficiali del suolo o di altre caratteristiche della stazione alla descrizione speditiva di sezioni naturali o artificiali, di situazioni disturbate ecc..

In linea generale si raccomanda di selezionare aree significative (aree campione), ove indagare le caratteristiche dei suoli verificando con modalità di rilievo rapido, che il modello individuato sia generalizzabile anche ad altre parti del territorio.

Per approfondimenti e chiarimenti sul rilevamento e la cartografia si rimanda alla manualistica presente ed alle Linee guida dei metodi di rilevamento e informatizzazione dei dati pedologici (Costantini (coord), 2007). In particolare sono consultabili i seguenti capitoli:

LA DESCRIZIONE DEL SUOLO (Paolanti M., Costantini E. A. C., Fantappiè M., Barbetti R.)

LE BANCHE DATI GEOGRAFICHE (Barbetti R., Costantini E. A.C., Fantappiè M., Magini S., Paolanti M., L'abate G.)

Scheda E4: progettazione del restauro/recupero



In sede progettuale è possibile prevedere gli impatti sui suoli in fase di realizzazione dell'opera e quali funzioni saranno chiamati a svolgere i suoli alla luce del tipo di successivo ripristino previsto (sempre comunque nell'accezione della multifunzionalità dei suoli) (Fig. 24).

In sede progettuale dovrà essere definito, per quanto possibile, se il ripristino sarà **conservativo**, oppure se e quanto ci saranno trasformazioni rispetto alla situazione ante operam (**restauro**). Ad esempio può succedere che possano essere modificate le morfologie originarie creando dei versanti in un'area pianeggiante ed in questo caso per i suoli diventa sensibile il tema del rischio di

erosione. In ogni caso la progettazione deve tenere conto delle relazioni suolo/pianta.

Nel progetto, cioè, si dovrà tenere conto delle caratteristiche e qualità che il suolo dovrà avere e quindi di tutte le attività che si dovranno svolgere in relazione anche ai diversi impatti cui saranno soggetti i suoli. La casistica che verrà trattata con maggiore dettaglio è quella che prevede l'asportazione ed il successivo ripristino (Fig. 25).

Molte opere prevedono l'asportazione preventiva di parti superficiali di suolo (topsoil): ad esempio la coltivazione di cave, ma anche miglioramenti fondiari in cui sono inclusi spietramenti, scavi e riporti. L'asportazione è finalizzata alla

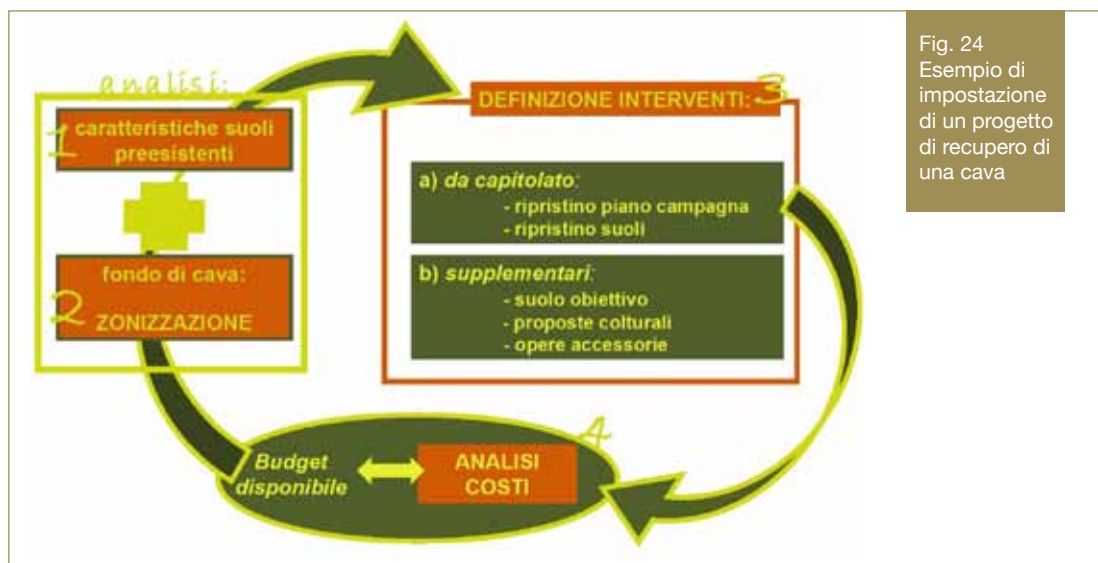


Fig. 24
Esempio di impostazione di un progetto di recupero di una cava

FASI DELL'INTERVENTO

- 1. INDAGINI PRELIMINARI SUI SUOLI PRE-ESISTENTI**
 - Pedologiche: tipi di suolo e caratteristiche di fertilità
 - Idrologiche: porosità, struttura, permeabilità
- 2. ANALISI DEL "TERRENO VEGETALE" ASPORTATO E OBIETTIVI DI FERTILITÀ**
- 3. ZONAZIONE DELLA CAVA IN RELAZIONE AL TIPO E INTENSITÀ DI COLTIVAZIONE**
- 4. IPOTESI DI RESTAURO E CREAZIONE DEI SUOLI TECNOGENICI:**
 - distribuzione dei materiali profondi (residui di vagliatura, tout-venant)
 - sostegno al materiale superficiale (geotessuto)
 - ripristino degli orizzonti superficiali (25-40 cm)
 - ripristino della fertilità e della struttura (integrazione con nuovi materiali minerali e organici)
- 5. AVVIO DELL'ATIVITA' AGRICOLA E IRRIGAZIONE**

Fig. 25
Esempio delle fasi d'intervento previste nel progetto di recupero di una cava

conservazione almeno della parte più utile e teoricamente più fertile del suolo. Il suolo in natura è frutto di una lunga e complessa azione dei fattori (fattori della pedogenesi) e dei processi della pedogenesi (§ APPENDICE 4), e se vogliamo in seguito "riprodurre" un suolo il più possibile simile a quello presente ante operam dovrà essere posta la massima cura ed attenzione alle fasi di: asportazione, deposito temporaneo e messa in posto del materiale terroso. Un suolo di buona qualità sarà in linea generale più capace di rispondere, sia nell'immediato sia nel corso del tempo, alle esigenze del progetto di ripristino, ossia occorreranno minori spese di manutenzione e/o minore necessità di ricorrere ad input esterni. Il materiale "terroso" può essere prelevato in loco dello stesso cantiere oppure da altri siti. Evidentemente nel secondo caso si dovrà valutare con maggiore accuratezza l'idoneità del materiale. È evidente, che se si vuole ricostituire in un ambiente una copertura vegetale

coerente con la vegetazione potenziale dell'area, i suoli debbono essere coerenti con quelli naturalmente presenti nell'area. A tale scopo per esempio le cartografie dei suoli a piccola scala possono essere molto utili, in prima approssimazione, ai fini di questa valutazione poiché permettono di verificare se l'area di provenienza delle terre da scavo ricade in un'area con caratteristiche simili a quella dell'intervento di ripristino. Per effettuare questa valutazione è necessaria una buona esperienza nel settore e comunque occorrerà sempre una valutazione diretta del materiale.

La normativa che regola attualmente le terre da scavo è quella del Decreto legislativo del 3-4-2006 n. 152 ed il successivo Decreto Legislativo 16 gennaio 2008, n. 4 (Ulteriori disposizioni correttive ed integrative del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, recante norme in materia ambientale) tratta delle terre da scavo nell'art. 186 (§ APPENDICE 9 - Terre e rocce da scavo) .

Esiste a livello regionale, di provincie autonome, ma anche comunale una complessa serie di norme, linee guida e regolamenti che disciplinano la materia alle quali si rimanda.

■ Asportazione del suolo

L'asportazione è l'impatto di livello massimo che può essere condotto su un suolo. Quando tale pratica viene eseguita si producono, in linea generale, terre da scavo che, per quanto possibile, saranno riutilizzate nelle opere di ripristino ambientale legato all'infrastruttura in oggetto. In genere questo materiale viene definito impropriamente anche come "terreno vegetale". Molto spesso i capitolati prevedono in modo semplicistico l'asportazione di suolo per una determinata profondità, in genere 40 cm, senza riguardo alla natura del profilo.

Come importante prima indicazione ricordiamo, invece, per un maggior successo del successivo restauro di separare gli strati superficiali da quelli profondi, cercando, ove possibile, di rispettare la successione degli orizzonti. Si raccomanda di agire in condizioni di umidità idonee, ossia con "suoli non bagnati". L'umidità di suolo tollerabile dipende da vari fattori, quali: tessitura, stabilità strutturale, tipo di macchine impiegate ecc..

Come grandezza di misurazione dell'umidità può essere utilizzato il potenziale dell'acqua nel suolo (parametro differenziale che misura l'energia potenziale che ha l'acqua presente nel suolo, generalmente questo parametro è impiegato per quantificare il lavoro che le piante devono spendere per l'assorbimento radicale). Per le misurazioni possono essere utilizzati tensiometri. Le misure forniscono le indicazioni circa le classi dei pori ancora

piene di acqua. In termini generali a $pF < 1.8-2$ non si dovrebbe intervenire sui suoli (pF unità di unità di misura che corrisponde al logaritmo in base 10 della tensione espressa in cm d'acqua), per non correre il rischio di degradare la struttura del suolo e quindi alterarne, in senso negativo, il comportamento idrologico (infiltrazione, permeabilità) e altre caratteristiche fisiche con la creazione di strati induriti e compatti inidonei allo sviluppo degli apparati radicali.

Si raccomanda (prescrive), come accennato, di separare gli orizzonti superficiali (orizzonti A generalmente corrispondenti ai primi 20-30 cm), dagli orizzonti sottostanti (orizzonti B) e quindi se possibile anche dal substrato inerte non pedogenizzato (orizzonti C).

■ Stoccaggio provvisorio (deposito intermedio)

Il suolo asportato deve essere temporaneamente stoccato in un apposito deposito seguendo alcune modalità di carattere generale, quali:

- asportare e depositare lo strato superiore e lo strato inferiore del suolo sempre separatamente;
- il deposito intermedio deve essere effettuato su una superficie con buona permeabilità non sensibile al costipamento (le variazioni di densità apparente possono fortemente compromettere l'esito del successivo ripristino);
- non asportare la parte più ricca di sostanza organica (humus) dalla superficie di deposito;
- la formazione del deposito deve essere compiuta a ritroso, ossia senza ripassare sullo strato depositato;

- non circolare mai con veicoli edili ed evitare il pascolo sui depositi intermedi;
- rinverdire con piante a radici profonde (preferenzialmente leguminose).

In caso di interventi molto brevi (posa di condotte, piccole sistemazioni fondiarie), può essere evitato il rinverdimento del deposito.

Il deposito intermedio di materiale terroso per lo strato superiore del suolo, non dovrebbe di regola superare 1,5-2,5 m, d'altezza in relazione alla granulometria del suolo ed al suo rischio di compattamento. Infatti lo strato di suolo superficiale ben aerato si è formato in seguito a un'intensa attività biologica. Il metabolismo chimico di questo strato del suolo avviene in condizioni generalmente aerobiche. La porosità, il tenore di humus e l'attività biologica diminuiscono nettamente con l'aumento della profondità. A causa del peso proprio, gli strati inferiori del deposito vengono compressi. Ciò comporta prima di tutto il degrado delle caratteristiche fisico-idrologiche del suolo. Mediante il deposito intermedio in mucchi a forma trapezoidale e limitandone l'altezza, si cerca di ridurre al minimo o evitare la formazione di un nucleo centrale anaerobico del deposito. Con l'instaurarsi di fenomeni di asfissia si può produrre una colorazione grigiastra legata agli ossidi di ferro accompagnata, per i depositi ricchi di sostanza organica, da odori di putrescenza. Si cerca quindi di evitare di avere sia fenomeni di ristagno sia di erosione (pendenze troppo accentuate).

■ Ripristino: realizzazione del “suolo obiettivo”

In questa parte si descrivono le modalità di trattamento successivamente ad

operazioni di asportazione e deposito temporaneo del suolo per poi operare la ricostituzione della copertura pedologica.

In natura il suolo è frutto di una lunga e complessa evoluzione, che vede l'interazione di diversi fattori (clima, substrato, morfologia, vegetazione, uomo e tempo), nel caso di ripristino l'obiettivo è quello di predisporre un suolo in una sua fase iniziale, ma che abbia poi i presupposti per evolvere mantenendo caratteristiche ritenute idonee. Devono essere definite quindi le caratteristiche e qualità di un “suolo obiettivo” che risponde alle esigenze progettuale.

Il suolo obiettivo, ad esempio, in un'ottica conservativa, dovrebbe riprodurre il suolo originario se conosciuto, o comunque essere adeguato alla destinazione d'uso dell'area.

Possiamo indicare come ottimale la ricostruzione di due e, qualora possibile, tre pseudo-orizzonti corrispondenti a un profilo AC o ABC che assolvono funzioni diverse, semplificando:

- A con funzione prevalente di nutrizione;
- B con funzione prevalente di serbatoio idrico;
- C con funzione prevalente di drenaggio e ancoraggio

Questa indicazione è di carattere generale e deve essere adattata in relazione alla situazione specifica ed alle necessità di cantiere. In molti casi l'orizzonte C si viene a formare direttamente per alterazione fisica del substrato in loco o a ripartire dagli orizzonti profondi residui dopo l'asportazione.

■ Le caratteristiche dello strato di riporto (suolo obiettivo, § APPENDICE 8)

Le caratteristiche e qualità del suolo più importanti da considerare ex-post sono:

- profondità del suolo e profondità utile alle radici
- tessitura e contenuto in frammenti grossolani
- contenuto in sostanza organica
- reazione
- contenuto in calcare totale ed attivo
- caratteristiche del complesso di scambio
- salinità
- densità apparente
- caratteristiche idrologiche (infiltrazione, permeabilità, capacità di acqua disponibile)
- struttura (caratteristiche e stabilità)
- porosità

Alcune caratteristiche e qualità del suolo obiettivo, fanno riferimento a tutto lo spessore della copertura in quanto sono la risultante dell'interazione dei diversi strati. Ad esempio la capacità d'acqua disponibile, ossia la capacità di immagazzinare acqua nel suolo per poi renderla disponibile alle piante, è la somma della capacità dei diversi strati. La conducibilità idraulica, viceversa, è condizionata dallo strato meno permeabile. Il contenuto in sostanza organica ha generalmente un gradiente e diminuisce sensibilmente con la profondità.

L'elenco ha solo carattere indicativo, alcune qualità ed alcune caratteristiche indicate sono tra di loro collegate ed alcune sono evidentemente più semplici di altre da stimare o misurare.

In un suolo ricostruito non si può pensare di riprodurre la complicazione degli strati che generalmente accompagnano un suolo in natura e si deve quindi pensare ad uno schema semplificato a due od anche tre strati nel caso di suoli profondi. Inoltre spesso la mancanza di materiale "nativo" per il restauro viene compensata con altro materiale terrigeno alloctono che, in ogni caso, deve essere preventivamente caratterizzato per verificarne la compatibilità con l'obiettivo.

Il primo strato ha in genere una profondità media di circa 30 cm e corrisponde agli orizzonti più importanti per lo sviluppo degli apparati radicali e generalmente con un'attività biologica più elevata. Per un suolo profondo un metro possiamo considerare, ad esempio, due strati uno che va dalla superficie fino a 25-40 cm ed uno da 25-40 fino a 100. Le caratteristiche del suolo vengono definite per classi o valori soglia a seconda dei parametri che vanno stabiliti in relazione al progetto di ripristino. Comunque sia le caratteristiche del suolo obiettivo debbono essere stabilite e quantificate per classi indicando il range di variabilità ammesso.

In APPENDICE 8 è riportato un esempio concreto di valori (intervalli di valori) delle principali caratteristiche e qualità del suolo previste secondo un progetto di ripristino. L'esempio si riferisce ad un caso ove si vuole ricreare un suolo "simile" alla tipologia di suolo presente nell'intorno dell'area, ma sono disponibili solo materiali inerti. Il contenuto in carbonio organico all'atto del ripristino non può ovviamente essere troppo elevato, poiché c'è un limite alla concimazione organica apportabile. Si considera che nel corso del tempo si possano raggiungere condizioni

più soddisfacenti. Come si vede si tratta di range abbastanza larghi.

Nel caso in esame si fa riferimento a vincoli di progetto che limitano ad un metro la profondità del suolo. Senza questa limitazione al di sotto della profondità del metro (ma anche a partire dai 70 cm di profondità) si può ipotizzare del materiale terroso, poco o “non pedogenizzato” anche ricco in frammenti grossolani penetrabile alle radici.

In molti casi le caratteristiche del suolo obiettivo non sono raggiungibili se non con “correzioni” mediante materiali organici e minerali soprattutto per raggiungere valori di CSC, pH, C organico, e densità apparente adeguati. A volte poi si può ipotizzare un eccesso di drenaggio legato alla natura del materiale sottostante il ritombamento. Queste condizioni si realizzano soprattutto per:

- ritombamenti con materiali alloctoni
- ritombamenti con frammentazione meccanica dello scheletro
- mancanza di terra di scavo
- alterazione delle caratteristiche della terra di scavo
- ritombamento di cave di ghiaia non allagate

Per la descrizione e l’uso di materiali utili per la “correzione” si veda la SCHEDA E5

■ Ritombamento (modalità di messa in posto e ripristino)

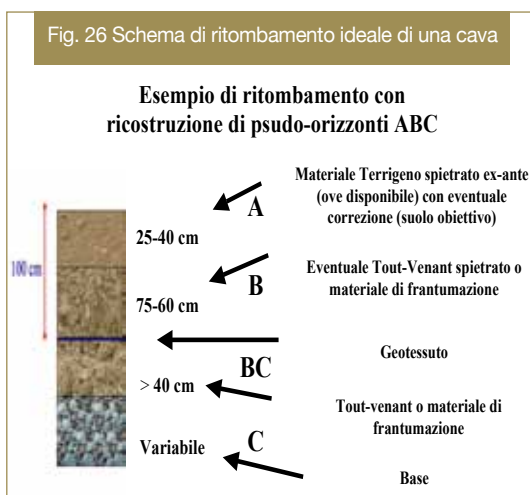
Un’adeguata tecnica di ripristino pedo-ambientale, e adeguati accorgimenti possono consentire l’instaurarsi di condizioni pedologiche accettabili in tempi non molto lunghi. L’intento è, come già ripetuto,

quello di mettere in posto un suolo ad uno stato assolutamente iniziale che nel tempo possa poi raggiungere un suo equilibrio, essere colonizzato dagli apparati radicali e dai microrganismi che si assesti in un rapporto equilibrato tra le particelle solide del suolo solida ed i differenti tipi di pori, che abbia una sua resilienza ai fenomeni degradativi e che mantenga la capacità di svolgere le sue funzioni.

Riportiamo lo schema di un ritombamento ideale con riferimento ad uno pseudo-profilo ABC (Fig. 26):

Le modalità di azione che si propongono sono le seguenti:

- Prima di procedere al ripristino dei suoli occorre aver predisposto la morfologia dei luoghi cui dovrà accompagnarsi il suolo e verificare la necessità di un adeguato drenaggio dell’area.
- All’atto della messa in posto i diversi strati che sono stati accantonati devono essere messi in posto senza essere mescolati e rispettandone l’ordine.
- Il ripristino deve essere effettuato con macchine adatte e in condizioni asciutte.



- Nella messa in posto del materiale terroso deve essere evitato l'eccessivo passaggio con macchine pesanti o comunque non adatte e che siano prese tutte le accortezze tecniche per evitare compatimenti o comunque introdurre limitazioni fisiche all'approfondimento radicale o alle caratteristiche idrologiche del suolo.
- Le macchine più adatte sono quelle leggere e con buona ripartizione del peso.
- In termini generali a $pF < 1,8 - 2$ non si dovrebbe intervenire sui suoli, per non correre il rischio di degradare la struttura del suolo e quindi alterarne, in senso negativo, il comportamento idrologico (infiltrazione, permeabilità) e altre caratteristiche fisiche con la creazione di strati induriti e compatti inidonei allo sviluppo degli apparati radicali.
- Soprattutto nei casi in cui il materiale che viene ricollocato è di limitato spessore (meno di un metro), lo strato "di contatto", sul quale il nuovo suolo viene disposto, deve essere adeguatamente preparato. Spesso succede che si presenta estremamente compattato dalle attività di cantiere: se lasciato inalterato, potrebbe costituire uno strato impermeabile e peggiorare il drenaggio del nuovo suolo, oltre che costituire un impedimento all'approfondimento radicale.
- La miscelazione di diversi materiali terrosi e l'incorporazione di ammendanti e concimazione di fondo avverrà prima della messa in posto del materiale.
- Anche se l'apporto di sostanza organica ha la funzione di migliorare la "fertilità fisica del terreno", si deve evitare un aminutamento troppo spinto del suolo ed un eccesso di passaggi delle macchine.
- Per suoli profondi se lo strato inferiore del suolo è stato depositato transitoriamente per lunghi periodi (> 1 anno) può essere utile effettuare un inerbimento intermedio per lo strato profondo e successivamente inserire lo strato superficiale
- L'utilizzo di materiale non pedogenizzato, ossia ricavato solo per disaggregazione fisica può essere utilizzato per la parte inferiore di suoli molto profondi, ma anche per altre situazioni nelle quali il suolo obiettivo da progetto abbia profondità poco elevate.

Nel caso in cui le morfologie prevedano dei versanti in relazione alle pendenze, alla lunghezza dei versanti stessi ed alle caratteristiche di erodibilità del suolo, si dovranno mettere in atto azioni ed accorgimenti antierosivi.

Un suolo di buona qualità dotato di struttura adeguata e di buona stabilità strutturale ha di per se la capacità di far infiltrare le acque e quindi di diminuire lo scorrimento superficiale e di limitare l'erosione. Queste qualità vanno però accompagnate da una copertura protettiva sul terreno, al fine di ridurre l'azione battente della pioggia, trattenere parte dell'acqua in eccesso, rallentare la velocità di scorrimento superficiale, trattenere le particelle di suolo, migliorare la struttura, la capacità di infiltrazione e la fertilità del suolo. Può essere necessario inserire anche sistemazioni idrauliche per rallentare i deflussi superficiali. Per le scelte che riguardano i soprassuoli vegetali e le tecniche di ingegneria naturalistica si rimanda alle linee guida di settore.

Scheda E5: materiali correttivi utili per il restauro pedologico



Al fine di un corretto restauro pedologico il riporto di **“terreno vegetale”** deve essere inteso come una vera e propria ricostruzione degli orizzonti superficiali pedogenizzati. Il risultante suolo tecnico/antropogenico nei casi di cave dismesse, così come anche dei miglioramenti fondiari, poggerà spesso su un substrato parzialmente alloctono, (il cosiddetto **“tout-venant”**) talora poggiante a sua volta su un riempimento sostanzialmente modificato nella granulometria (materiale di vagliatura o prodotto dalla “macinazione meccanica della roccia”). Il piano di restauro pedologico dovrà spesso prevedere, anche solo su quella parte della superficie da recuperare da considerare più vulnerabile, l’uso di materiali alloctoni ad elevata capacità di scambio cationico (CSC) e strutturanti, in grado sia di esprimere la loro “carica” nei confronti di cationi utili realizzando il loro lento rilascio, sia di facilitare l’aggregazione delle particelle minerali fini con formazione di una porosità utile ai fini del raggiungimento di una sufficiente capacità idrica di campo. Sembrano utili a tal fine per quanto riportato in Letteratura e ormai noto da esperienze pregresse le zeolititi naturali e il compost. Inoltre, nelle aree più vulnerabili che saranno più oltre descritte e mappate, al fine di limitare il collassamento post-ritombamento potrebbe essere necessario prevedere la posa di

materiale geotessile con caratteristiche tecniche adeguate ai fini del sostegno del peso dei materiali di riempimento e del mantenimento della permeabilità senza eccessiva perdita per eluvi azione-illuviazione di materiali fini. Il geotessile dovrà essere posto tra le matrici ciottolose o il “tout venant” o il materiale da macinazione utilizzato per riportare in quota le superfici da recuperare.

■ Zeolititi

Si tratta di rocce coerenti di origine piroclastica a prevalente contenuto di **zeoliti** (>50%) e ad elevata micro e macro porosità tessiturale. Le zeoliti, tetto-allumosilicati di elementi alcalini (Na e K) e alcalino-terrosi (Ca) per la loro natura cristallografica possiedono singolari proprietà chimico-fisiche (disidratazione reversibile, capacità di scambio cationico elevata e selettiva, adsorbimento selettivo). Tali proprietà vengono trasmesse alle rocce di appartenenza (zeolititi) in funzione della specie zeolitica e del suo contenuto percentuale. La chabasite è la specie zeolitica a maggiore porosità strutturale (47% del volume del cristallo) ed è dotata di capacità di scambio cationico elevata e selettiva per NH_4^+ particolarmente indicata per la produzione di substrati per la coltivazione fuori suolo, ma anche come correttivo di suoli a bassa fertilità. Inoltre ha un’alta capacità di ritenzione idrica (300-400 cc per ogni 1000 g di



Fig. 27
Campione di
zeolite phillipsite
(Tufo giallo napolitano)

il fosforo più assimilabile. Ne deriva una forte stimolazione alla crescita dei vegetali ed all'approfondimento degli apparati radicali indispensabile per il restauro pedologico.

Ai fini di un buon restauro pedologico si indica come materiale zeolitico da utilizzare quello avente una CSC minima di 150-160 $\text{cmol}_c^+/\text{kg}$ e una densità apparente di 1 t/m^3 . La granulometria consigliata è 3-8 mm, in modo tale da soddisfare i requisiti necessari di densità apparente e di CSC. La scelta di materiale calibrato evita le difficoltà relative allo stoccaggio a fondo campo e alla successiva movimentazione e distribuzione di materiale pulverulento. Il materiale calibrato in genere fornisce anche maggiori garanzie di purezza rispetto alle polveri di cava (Fig. 27-28).

minerale). Riducendo drasticamente la lisciviazione dei cationi potassio (K^+) ed ammonio (NH_4^+), aumenta l'efficienza delle concimazioni soprattutto nei terreni sabbiosi. Evita drasticamente l'inquinamento della falda freatica e facilita la solubilizzazione dei fostati rendendo

Modello delle zeoliti

$(\text{Na}, \text{K})_a (\text{Ca})_b [\text{Al}(a + 2b)\text{Si}_n - (a + 2b)\text{O}_2n] \cdot m\text{H}_2\text{O}$

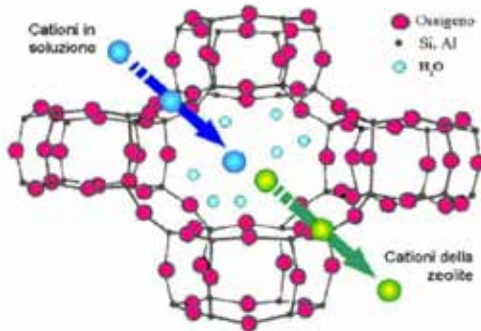


Fig. 28
Modello della
struttura
delle zeoliti
e principale
proprietà

Minerale	CSC ($\text{cmol}_c^+/\text{kg}$)
Sepiolite	30 - 40
Montmorillonite	80 - 100
Morderite (zeolite)	180 - 200
Clinoptilolite (zeolite)	

Zeoliti contenuti:	CSC della specie zeolitica ($\text{cmol}_c^+/\text{kg}$)	Zeolite (%)	CSC ($\text{cmol}_c^+/\text{kg}$)	Rit. idrica	Perm.	Densità g/cm^3	Res. Mecc.
Clinoptilolite	220	70	150	Buona	Buona	0,8-1,0	Elevata
Chabasite		60	210	Elevata	Buona	1,0-1,2	Buona
Phillipsite		50	170	Elevata	Buona	1,0-1,2	Buona

L'integrazione con zeolititi è fortemente consigliata per portare in modo stabile la CSC a un livello adeguato, minimo 10 cmol_c⁺/kg, quando questa sia insufficiente a garantire una buona fertilità del suolo.

La quantità di zeolititi da aggiungere allo pseudo-orizzonte superficiale A (circa 25 cm di profondità) per m² può essere grossolanamente calcolata come segue:

- ricavare il peso **P** in Kg del suolo equivalente a 1 m² di superficie per una profondità di 0.25 m (in caso di mancanza di dati per il calcolo attribuire un peso di 300 Kg/m²):

$$P_{\text{Kg/m}^2} = (1 \text{ m}^2 * 0.25 \text{ m} * \rho_{a \text{ t/m}^3}) * 100$$

Dove ρ_a è la densità apparente del suolo in t/m³

- ricavare il peso **Pn** al netto dello scheletro (solo la terra fine ha CSC):

$$Pn_{\text{Kg/m}^2} = (P_{\text{Kg}} * (100 - \text{scheletro } \%) / 100$$

- determinare l'apporto **X** di Kg di zeolitite per m² (se non è nota la CSC della zeolitite attribuire 150 cmol_c⁺/kg)

$$X_{\text{Kg/m}^2} = (A - B)_{\text{cmol}_c^+/\text{Kg}} * Pn_{\text{Kg/m}^2} / C_{\text{cmol}_c^+/\text{Kg}}$$

Dove **A** è il valore di CSC obiettivo, **B** il valore di CSC iniziale e **C** la CSC della zeolitite.

■ Compost

L'utilizzazione dei rifiuti organici come ammendanti del terreno agrario è una costante storica dei sistemi agricoli di ogni luogo e di ogni tempo: il ruolo della

sostanza organica come ammendante, correttivo e concime è troppo noto per doverne ricordare tutti i molteplici benefici sulla fertilità agronomica del terreno attraverso i miglioramenti delle proprietà fisiche, chimiche e biologiche. Il contenuto di sostanza organica dei terreni agrari, però, tende ad essere deplorabilmente basso specie nelle situazioni pedoclimatiche favorevoli ad una rapida mineralizzazione e nei sistemi agricoli specializzati che tendono a prevalere oggi in Italia. Il compost derivante dalla trasformazione dei rifiuti organici è infatti in grado di restituire elementi nutritivi al terreno agricolo, contribuisce ad una maggior resa delle colture e rallenta il processo di erosione dei terreni stessi. L'utilizzo del compost rivaluta e dà fondamento scientifico all'usanza di un tempo di nutrire il terreno con i rifiuti organici, chiudendo in modo del tutto naturale un ciclo biologico di produzione e recupero. In questo contesto, si intende consigliare l'uso di compost di qualità cioè di un prodotto ottenuto attraverso un processo biologico di trattamento delle matrici organiche di scarto indicate per tipologia, provenienza e caratteristiche al punto 16.1 del DM 5.2.1998 (per gli impianti a procedura semplificata) e delle matrici organiche indicate dalla L.748/84 come modificata dal DM 27/3/98 (per gli impianti autorizzati).

Il compost è un ammendante, ossia ha la capacità di migliorare le caratteristiche fisico-meccaniche del suolo, con un discreto effetto concimante ed è quindi in grado di sostituire la letamazione ed in parte la fertilizzazione minerale. Sono ormai abbondanti le prove sperimentali

e dimostrative condotte in Italia.

Varie sono anche le utilizzazioni aziendali del compost come ammendante sia nei suoli destinati a coltivazioni arboree, quanto per quelli ove vi siano seminativi. Attualmente il miglioramento della qualità dei prodotti disponibili ha accentuato la surrogazione di letami o fertilizzanti di sintesi, anche per la riduzione della disponibilità dei primi e dei costi dei secondi.

Per l'uso del compost occorrono alcuni accorgimenti:

- monitoraggio della qualità del prodotto utilizzato;
- attenzione nell'utilizzo, in considerazione dei risultati d'analisi;
- attenzione alla certificazione del prodotto.

Ricordiamo inoltre il beneficio che ha l'incremento del contenuto di carbonio organico nel suolo nelle strategie ambientali relative ai cambiamenti climatici. Il calcolo della quantità necessaria di compost si basa sul bilancio umico, tenendo conto di diversi fattori quali:

➤ quantità di suolo (T) calcolata tramite:

- spessore considerato
- densità apparente del suolo (da 0,8 a 1,7 t/m³)

➤ quantità di sostanza organica da apportare, che dipende da:

- contenuto di partenza del materiale terroso
- contenuto in sostanza organica del compost (mediamente 35-55% ss)
- contenuto di umidità del compost (35-55% s.t.q.)

Il compost può anche contribuire all'au-

mento della CSC, purché si tratti di materiale con elevato grado di umificazione, tuttavia conviene non tenere conto di questo contributo, che può essere non stabile nel tempo ed intervenire sulle proprietà scambiabili tramite le zeoliti.

L'utilizzo di Compost in agricoltura è regolato dal D.Lgs. 75 del 29 aprile 2010 (Riordino e revisione della disciplina in materia di fertilizzanti), che abroga e sostituisce il precedente D.Lgs. 217 del 29 04 2006. Ai materiali definiti da tale norma si fa riferimento con il termine "compost di qualità". Vedi a tal proposito il Decreto Legislativo 16 gennaio 2008, n. 4 (art. 183 definizioni), di modifica del D.Lgs. 152/2006, che definisce i compost come segue:

- **compost da rifiuti:** prodotto ottenuto dal compostaggio della frazione organica dei rifiuti urbani nel rispetto di apposite norme tecniche finalizzate a definirne contenuti e usi compatibili con la tutela ambientale e sanitaria e, in particolare, a definirne i gradi di qualità;
- **compost di qualità:** prodotto, ottenuto dal compostaggio di rifiuti organici raccolti separatamente, che rispetti i requisiti e le caratteristiche stabilite dall'allegato 2 del decreto legislativo n. 217 del 2006 e successive modifiche e integrazioni.

Nel D.Lgs. 75 del 29 04 2010 gli ammendanti sono definiti come "i materiali da aggiungere al suolo in situ, principalmente per conservarne o migliorarne le caratteristiche fisiche o chimiche o l'attività biologica, disgiuntamente o unitamente tra loro, i cui tipi e caratteristiche sono riportati nell'allegato 2".

I diversi tipi di compost sono, quindi, definiti come segue:

- Ammendante Compostato Verde (ACV). Prodotto ottenuto attraverso un processo controllato di trasformazione e stabilizzazione di rifiuti organici che possono essere costituiti da scarti della manutenzione del verde ornamentale, altri materiali vegetali come sanse vergini (disoleate o meno) od esauste, residui delle colture ed altri rifiuti di origine vegetale;
- Ammendante Compostato Misto (ACM). Prodotto ottenuto attraverso un processo controllato di trasformazione e stabilizzazione di rifiuti organici che possono derivare da frazione organica degli RSU proveniente da raccolta differenziata, da rifiuti di origine animale compresi liquami zootecnici, da rifiuti di attività agro-industriali e da lavorazione del legno o dal tessile naturale non trattati, da reflui e fanghi nonché dalle matrici previste per ACV.
- Ammendante Torboso Composto (ATC). Prodotto ottenuto per miscela di torba con ammendante compostato verde e/o misto.
- Il compost da rifiuti (vedi anche i termini biostabilizzato o FOS) può essere utilizzato per i recuperi ambientali, quale ad esempio la copertura delle discariche, con riferimento al DCI 27/7/1984. (Delibera Comitato Interministeriale del 27/07/1984), che definisce: caratteristiche agronomiche del compost, limiti di accettabilità per il compost ai fini della tutela ambientale tabella e le concentrazioni limite di metalli nei terreni ed i limiti di quantità di metalli addizionabili annualmente con la somministrazione del compost.

La normativa di settore è comunque

complessa ed articolata ed in rapida evoluzione. Si dovrà in ogni caso conoscere le caratteristiche esatte del compost, tenendo conto che gli ACM (ammendanti compostati misti), possono presentare un elevato contenuto in sali solubili. Si raccomanda l'utilizzo di compost con un grado di maturità elevato. L'azoto apportato con gli ammendanti compostati è sotto forma organica e quindi a lenta cessione. Il quantitativo esatto deve essere stimato conoscendo l'analisi del prodotto e del materiale terroso disponibile, al fine di evitare comunque eccessi di azoto e la perdita di lisciviazione dello stesso. L'eventuale utilizzo di concimazione minerale, a questo punto dovrà essere dosata tenendo conto delle dotazioni del terreno e dell'apporto del compost. Si può presumere che comunque non siano necessari apporti di potassio, ma unicamente delle miscele con funzione di starter all'atto della semina (es. fosfato biammonico 18:46), ma ciò varia in considerazione del tipo di suolo, del soprassuolo vegetale e dalla tecnica di semina e piantagione che viene adottata.

Un caso che va considerato è quello di dover miscelare il materiale minerale per variare la tessitura. In questi casi bisogna valutare con attenzione le caratteristiche dei materiali da utilizzare, sia dal punto di vista fisico che da quello chimico.

La miscelazione di diversi materiali terrosi e l'incorporazione di ammendanti e concimazione di fondo deve avvenire, possibilmente, prima della messa in posto del materiale.

Ai fini del restauro pedoambientale si consiglia, al momento della scelta del materiale, di fare riferimento agli stan-

dard previsti dal Consorzio Italiano Compostatori (CIC), che detta regole severe riguardo alla qualità del compost prodotto e le metodologie di produzione. Il CIC ha creato un proprio marchio di qualità, l'ottenimento del quale garantisce al consumatore che il prodotto acquistato rispetta i limiti di compatibilità ambientale per la commercializzazione secondo la vigente normativa e il rispetto di ulteriori livelli di sicurezza ambientale. Mediante il rispetto di limiti massimi indicati dal regolamento del CIC, viene inoltre assegnato, al compost insignito del marchio, un punteggio che indica la quantità di metalli pesanti presenti nel medesimo. In

particolare il CIC ha ritenuto importante anche distinguere in classi di qualità i vari compost prodotti in relazione all'origine ed alla composizione delle biomasse di rifiuto e di scarto impiegate nel processo produttivo ed alla presenza di materiali inerti e di elementi contaminanti. Ai fini del recupero pedo-ambientale si ritiene di dover indicare l'uso di un compost di I classe ovvero di un prodotto ottenuto da frazioni organiche selezionate alla fonte ed avente caratteristiche che rientrano nei limiti stabiliti nelle Tabelle seguenti (Tab. 13-14). Per questa classe non è prevista alcuna prescrizione d'uso, fatta eccezione per il limite di elementi addi-

Tab. 13 Limiti previsti dalla revisione della Legge 748/84

Parametro	Ammendante compostato misto
Umidità (% t.q.)	<50
pH	6-8,5
Carbonio org. (%s.s.)	>25
Acidi umici e fulvici %	>7
Norg. (%Ntot)	>80
C/N	<25
Cd (ppm s.s.)	<1,5
Cr VI (ppm s.s.)	<0,5
Hg (ppm s.s.)	<1,5
Ni (ppm s.s.)	<50
Pb (ppm s.s.)	<140
Cu (ppm s.s.)	<150
Zn (ppm s.s.)	<500
Vetri <3,3mm (%s.s.)	<0,9
Vetri 3,3-10mm (%s.s.)	<0,1
Plastiche <3,3mm (%s.s.)	<0,45
Plastiche 3,3-10mm (%s.s.)	<0,05
Plastiche ed inerti >10mm (%s.s.)	Assenti

Tab. 14 Caratteristiche chimico-fisiche dei compost di tipo A secondo il CIC

Parametro	Unità di misura	Limite
Umidità	% massa tal quale	<50
Granulometria	99% in massa passante attraverso un vaglio con maglie quadrate di 2mm	>25
Salinità	meq/100g di sostanza secca	<80
C organico di origine biologica	% in massa sul secco	>20
Grado di umificazione (DH)	%	>50
Tasso di umificazione (RH)	%	>30
Rapporto C/N	-	<25
Rapporto NO ₃ ⁻ /NH ₄ ⁺	-	>1
Boro	mg/kg (sul secco)	<80
Indice di germinazione (I _g)	%	>40
Indice di accrescimento (G _m)	%	>100
Indice di respirazione (I _r)	mg O ₂ /kg vs/h	<200
Massa volumica apparente	g/cm ³	-
Capacità di ritenzione idrica	% vol	-
Porosità totale	% vol	-
Porosità libera	% vol	-
Volume di acqua facilmente disponibile	% vol	-

zionabili al terreno.

In relazione alle caratteristiche agronomiche del compost e all'ambito di impiego si indica la necessità di utilizzo di un compost di tipo A, ovvero di un prodotto destinato agli impieghi di pieno campo, avente caratteristiche che rientrano nei limiti stabiliti.

■ Geotessile

Al fine di ottimizzare le dinamiche idrauliche si ricorda che la funzione drenante di un geotessile dipende dalla sua permeabilità longitudinale. La quantità di acqua

che può essere trasmessa da un singolo dreno dipende dalla trasmissività idraulica del geotessile ed in questo caso, per loro innata natura, tutti i tessuti non tessuti agugliati meccanicamente, essendo microforati, riescono a svolgere la loro funzione in ottimo modo. La capacità di un geotessile in tessuto non tessuto di agire come filtro dipende dal coefficiente di permeabilità normale e dal diametro di filtrazione. In generale, un filtro deve soddisfare entrambe le seguenti condizioni: lasciare passare l'acqua (criterio della permeabilità) e trattenere le parti-

celle solide (criterio di ritenzione).

Al fine di ottenere ottimali funzioni meccaniche si ricorda che il funzionamento di un geotessile come strato separatore dipende principalmente da proprietà idrauliche e da proprietà meccaniche (resistenza al punzonamento, alla trazione, alla lacerazione e deformazione a rottura per trazione e punzonamento). Un elemento di separazione deve trattenere le particelle del terreno più fine a contatto con esso e deve avere sufficiente resistenza per opporsi alle sollecitazioni indotte dai carichi applicati. I criteri di resistenza, invece, tengono conto delle diverse sollecitazioni che il geotessile deve sopportare; in particolare la pressione esercitata dal terreno più fine su un vuoto ed il punzonamento da parte di ciottoli isolati, che può condurre a fenomeni di strappo e di lacerazione del geotessile per effetto di locali concentrazioni di sforzi nel piano. Qualora queste siano soggette a ricarico di materiale con durezza superficiale superiore a quella della membrana stessa, la posa in opera di un telo di adeguato spessore ne evita qualsiasi danneggiamento. Il geotessile sarà quindi utilizzato come elemento di separazione tra i vari strati di terreno di riporto, in modo da impedire una qualche compenetrazione tra gli stessi che andrebbe a pregiudicare la funzio-

ne di ciascuno. Ai fini di una corretta progettazione è necessario conoscere la curva granulometrica del riporto più superficiale e della base; non sembra in questo caso utile la determinazione degli indici di Atterberg (indice di liquidità e di plasticità) del terreno di fondazione in quanto di natura generalmente non coesiva. Si raccomanda invece la determinazione del coefficiente di permeabilità del terreno di fondazione, del coefficiente di permeabilità normale e planare del geotessile, del diametro di filtrazione dello stesso e della sua resistenza al punzonamento.

Si raccomanda l'uso di geotessile non tessuto costituito da fibre di polipropilene in fiocco di prima scelta ad alta tenacità, coesionate mediante agugliatura meccanica, con esclusione di collanti o leganti chimici. Il geotessile dovrà essere in grado di svolgere la funzione di filtrazione, di separazione e drenaggio. In ogni caso il geotessile non dovrà essere posato a profondità minori di 100 cm per impedire il possibile danno di future lavorazioni.

Come qualitativo riferimento si riportano le caratteristiche a norma UNI di geotessile 500 g/m² che, date le caratteristiche fisico-strutturali dei normali riporti sembra il più adatto alla funzione richiesta (un geotessile 300 g/m² è al limite e utilizzabile per materiali di densità apparente < 1,30 t/m³) (Tab. 15):

Tab. 15 Caratteristiche a norma UNI di geotessile 500 g/m²

CARATTERISTICHE TECNICHE		NORME	Unità di Misura	500	Variazione Consentita
Massa areica		UNI EN 965			
			g/m ²	500	± 5 %
Spessore e comprimibilità		UNI EN 964-1			
Spessore	a 2 kPa		mm	3,3	± 10 %
	a 20 kPa		mm	2.7	± 10 %
	A 200 kPa		mm	1.5	± 10 %
Trazione		UNI EN ISO 10319			
Direzione longitudinale					
Resistenza a trazione			kN/m	34	± 10%
Deformazione al carico massimo			%	70	± 10%
Direzione trasversale					
Resistenza a trazione			kN/m	34	± 10%
Deformazione al carico massimo		%	70	± 10%	
Punzonamento statico (metodo CBR)		UNI EN ISO 12236			
Resistenza al punzonamento			kN	5.5	± 10 %
Punzonamento dinamico (metodo cone drop)		UNI EN 918			
Res.al punzonamento dinam.			mm	7.2	± 10 %
Pirometria		EN ISO 12956			
Diametro di filtrazione O90			µm	32	± 20 %
Permeabilità verticale all'acqua		EN ISO 11058			
Coeff. di permeabilità			m/s	0,025	±20 %
Portata idraulica			l/m ² ·s	25	±20 %



■ Posa del geotessile

Il piano di posa del geotessile su residui di vagliatura o detriti grossolani di macinatura della roccia dovrà essere regolare, preparato eventualmente con non meno di 30 cm di “tout venant”. Il piano dovrà essere privo di buche o asperità, esente da materiali appuntiti in grado di danneggiare il telo. A seconda delle condizioni del sito, i teli dovranno essere sormontati, sia in senso longitudinale che trasversale, per almeno 20-50 centimetri. Il geotessile non dovrà in nessun caso essere sottoposto al passaggio dei mezzi di cantiere, prima della sua copertura con materiali di riporto per lo spessore stabilito. Il geotessile dovrà essere ricoperto con il materiale terrigeno subito dopo la sua installazione, per evitare che l'esposizione ai raggi ultravioletti lo possa danneggiare (Fig. 29-30).



Fig. 29
Posa del geotessile nel recupero di una cava



Fig. 29
Posa del geotessile nel recupero di una cava

■ Operazioni preliminari in aree costipate

La ripetuta percorrenza di mezzi pesanti può fortemente compattare e costipare il piano su cui ricostruire il suolo. In alcuni casi, pur essendo il deposito di fondo drenante, la ridistribuzione di materiali fini e il loro costipamento può creare pseudostrutture lenticolari ed impermeabilizzazione. In queste zone prima del restauro pedologico sarà necessario provvedere ad una ripuntatura e rottura delle croste.

■ Spietratura

In tutte le zone, successivamente al riporto di “terreno vegetale”, e prima dell'aggiunta di eventuali correttivi (compost, zeolititi) al fine di alleggerire il solum e rendere più probabile il raggiungimento di un'aggregazione di par-

ticelle con formazione di una struttura ben aerata, sarà necessario provvedere ad una spietatura entro i primi 20-30 cm con vagliatura ed asporto meccanico dello scheletro di dimensioni superiori a 10 cm.

■ Rinverdimento a fini pedogenetici, irrigazione e drenaggio

A fine lavori, risulta indispensabile programmare un periodo di non utilizzo (4-5 anni) dell'area in oggetto, da intendersi in senso assolutamente attivo. Un suolo ricostruito abbisogna infatti di una fase di "innesco" in cui specifiche cenosi vegetali vengono seminate allo scopo non tanto di raccoglierne il prodotto, ma di far partire le necessarie dinamiche ecologiche che permettano il passaggio da un sistema costruito e pertanto assolutamente artificiale ad uno naturale, in grado cioè di autosostenersi senza il continuo ricorso ad input energetici (concimazioni chimiche, ecc.). Una sorta di fertilizzazione verde con materiali vivi che agisce "in continuum" sul sistema. Solitamente questa operazione viene eseguita con la semina in monocultura o meno di specie appartenenti alla famiglia delle leguminose eventualmente integrate con la semina di graminacee, crucifere ed altre specie erbacee.

I più importanti benefici per il sistema suolo sono:

1. gli apparati radicali con il loro notevole sviluppo, "lavorano" lo strato di terreno esplorato (variabile a seconda delle specie), aumentandone la porosità e migliorandone così la capacità di ritenzione idrica o di drenaggio.

2. gli essudati radicali ed i microrganismi che vi sono associati, esercitano un'azione positiva sulla struttura del suolo, favorendola e rendendola più stabile.

3. il turnover della sostanza organica, soprattutto nel caso di specie annuali e biennali, aumenta in modo considerevole.

4. le leguminose, che fissano l'azoto atmosferico nei tubercoli radicali, forniscono una "concimazione" azotata.

5. i macro e microelementi presenti nel suolo, anche a livelli profondi, sono riportati in superficie e messi a disposizione delle colture successive in forme facilmente assimilabili. Ne segue l'importantissimo ruolo che queste colture possono giocare nel ridurre la lisciviazione degli elementi solubili (azoto, potassio, calcio e magnesio) ad opera dell'acqua.

Scelto il miscuglio di semi più opportuno (secondo disponibilità del mercato) questo verrà seminato a macchina e ne verrà distribuito metà in senso longitudinale e metà in senso trasversale in ragione di una quantità mai inferiore a 20 g/m². In caso di non disponibilità di seminatrici a caduta o a distributori rotanti si può ricorrere a seminatrici spandiconcime, avendo l'avvertenza, in questo caso, di mescolare il seme a materiali come sabbia o terra. Il seme può essere interrato, mai oltre pochi mm, con un'erpatura molto leggera o tramite una rete metallica trascinata da mezzi opportuni. L'epoca migliore per la semina del prato è quella in cui il terreno è tiepido e, dopo la semina, è auspicabile un periodo fresco e umido

di alcune settimane: condizioni queste che favoriscono la rapida germinazione dei semi. Ciò, alle nostre latitudini, significa autunno o primavera. Può essere utile rullare leggermente alla fine delle precedenti operazioni per favorire la risalita dell'umidità dagli strati profondi e aumentare il contatto dei semi con le particelle di terra. Il momento della semina dovrà coincidere con una concimazione minerale di copertura N:P:K; la scelta del titolo dei vari elementi potrà essere decisa nel momento in cui il mercato renderà nota la disponibilità dei miscugli disponibili (ad es. stante la contemporanea presenza di graminacee e leguminose nel miscuglio, si rende delicata e complessa la quantità di azoto da distribuire, dal momento che un eccesso relativo di questo elemento porta ad un riequilibrio della composizione floristica del prato a favore delle graminacee).

Per ottimizzare questi processi e al fine di non creare motivi di successivi disturbi, sembrerebbe altresì opportuno realizzare, dopo la ricostruzione pedologica un impianto di irrigazione di soccorso, perlomeno nelle sue linee fondamentali. Sarebbe opportuno far coincidere le linee idrauliche principali con le linee viarie interpoderali, trasversali e perimetrali e, allo stesso tempo, creare delle linee di drenaggio principali che, a lavori ultimati ed in fase di collaudo possano supportare opere secondarie che eventualmente si rendessero necessarie. A questo proposito va notato che ormai da tempo il mercato fornisce prodotti che offrono la possibilità di realizzare le trincee drenanti in sezioni di scavo ridotte, riutilizzando per il

reinterro lo stesso terreno dello scavo senza dover impiegare materiale inerte granulare. In questo modo vengono migliorate le prestazioni dei dreni tradizionali in materiali inerti in quanto, oltre a garantire un'elevata funzione drenante e filtrante nel tempo, viene evitato al tempo stesso l'intasamento dei tubi microforati.

■ Valutazione ex post nel solum restaurato e delle relative caratteristiche funzionali

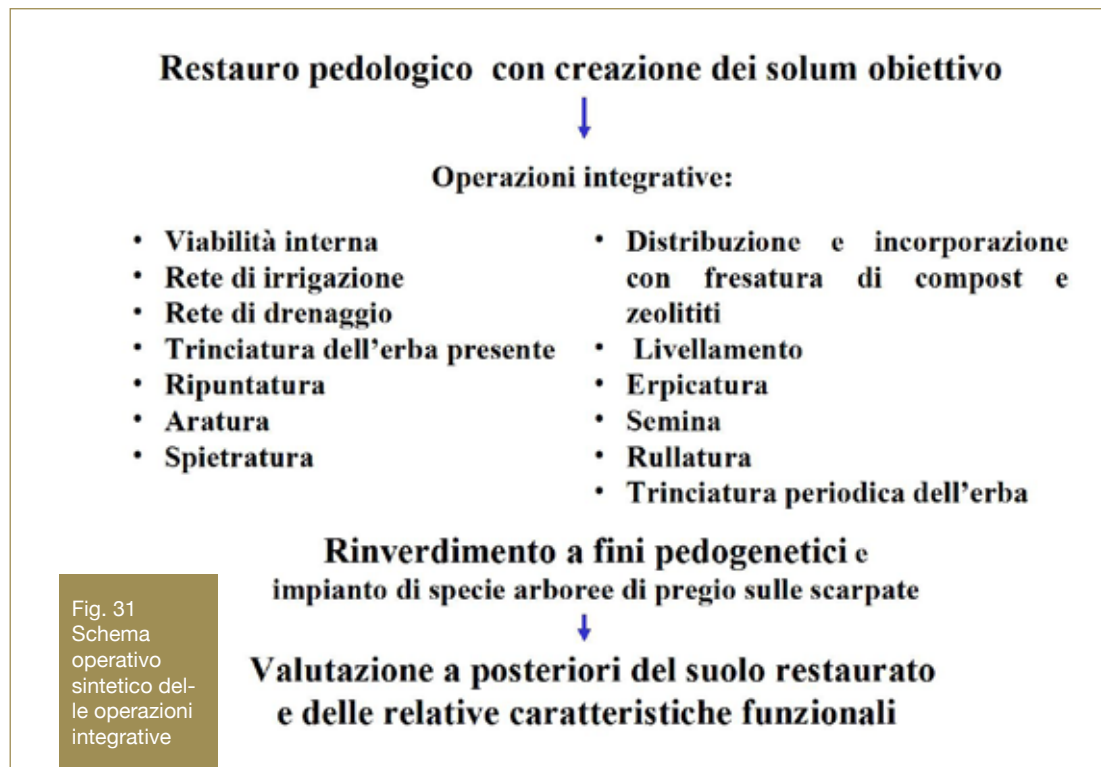
Per cantieri complessi verifiche e controlli debbono essere effettuati già in corso d'opera. Per il collaudo ed il monitoraggio il riferimento è quello della tabella del suolo obiettivo. Al termine delle operazioni di ritombamento e restauro pedologico sarà effettuato un campionamento ragionato dei suoli nell'area di intervento al fine di avere una "fotografia" delle condizioni di partenza all'inizio del periodo di riposo pedogenetico previsto (4-5 anni). La tecnica da adottarsi consiste nello scavo di minipits con integrazione di una trivella manuale per verificare le condizioni al di sotto della soglia di scavo. Ricordiamo che un minipit può essere agevolmente scavato a mano e si tratta quindi di una tecnica non invasiva e poco costosa. Tale valutazione si consiglia venga effettuata almeno due volte l'anno per i primi 4-5 anni per poter seguire l'evoluzione pedogenetica dei suoli restaurati e fornire indicazioni sulle successive scelte produttive.

Il controllo dovrebbe essere fatto sui seguenti parametri: pH, capacità di scambio cationico, saturazione basica, cationi di scambio, C organico, N totale, indici di umificazione, tessitura, indice di aggregazione, stabilità strutturale, porosità utile, densità apparente e, ove

possibile, attività ATPasica.

La storia evolutiva dei suoli potrà fornire un documento utile per dimostrare la possibilità di recupero ambientale di una cava.

Riportiamo lo schema operativo sintetico delle operazioni integrative (Fig. 31).





- Buondonno C., Previtali F., Resulović H., Buondonno A., Comolli R., Erpice A., Murolo M., Pugliano M.L. (1998) Suoli antropogenici. Problemi di classificazione: rassegna e proposte di tassonomia (Convegno Società Italiana della Scienza del Suolo - Suoli fra Vulcanesimo e Antropizzazione).
- Costantini E.A.C. (2007). Linee guida dei metodi di rilevamento e informatizzazione dei dati pedologici, CRA-ABP, Firenze.
- Fanning, D. S., Fanning, M.C.B. (1989). Soil Morphology, Genesis, and Classification: John Wiley and Sons, New York, pp. 395.
- Hudson B.D. (1992). The Soil Survey As Paradigm-Based Science. Soil Sc. Soc. Am. J. 56 pp.836-841.
- Karlen D. L., Mausbach M. J., Doran J. W., Cline R. G., Harris R. F., Schuman, G.E. (1997). Soil quality: a concept, definition, and framework for evaluation. Soil Science Society of America Journal. 61 pp. 4-10.
- Paolanti M. (2010). Il trattamento dei suoli nei ripristini ambientali legati alle infrastrutture. ISPRA, pp. 37.
- Sencidiver J.C. (1977). Classification and Genesis of mine soils. Ph.D. Diss. West Virginia Univ., Morgantown (Diss. Abstr.AADD77-22746).



■ APPENDICE 1: TERMOUDOGRAMMI DELLA VALLE D'AOSTA (< 900 m slm)

Nota sul clima della valle d'Aosta

L'estrema eterogeneità del clima valdostano può essere ricondotta, a quote inferiori ai 2000 m slm, alle seguenti 3 fasce climatiche:

1. La zona di fondovalle, che si estende fino a i 600 metri di altitudine, presenta una temperatura media annua di 10°C, con escursione termica di 17°C, tra estate e inverno, un'umidità relativa che varia tra il 30 e l'80%, con una media annua del 60 %. Le precipitazioni sono piuttosto scarse (500-600 mm/anno); i giorni con precipitazioni sono circa 60-70 all'anno. L'innevamento è di circa 10 giorni all'anno; l'insolazione è particolarmente abbondante in tutti i mesi dell'anno. Dai dati riportati si può dire che il clima di questa zona è influenzato da quello proprio della Valle Padana e moderato da influssi mediterranei.

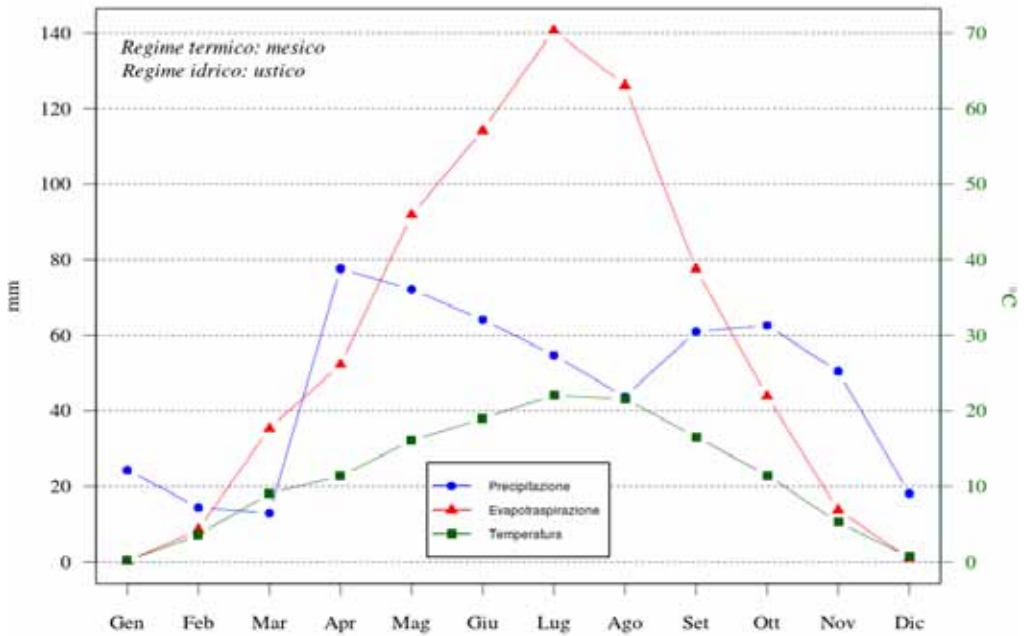
2. La zona di media montagna che si estende sino ai 1200 metri di altitudine presenta una temperatura media

annua di 9 °C, con escursione termica estate-inverno di 19 °C, un'umidità relativa media annua del 65%. Le precipitazioni non superano i 700-750 mm/anno; i giorni con precipitazione sono ~80 all'anno. L'innevamento è di 20-25 giorni all'anno. Anche questo clima si può definire di tipo continentale, con sensibile escursione termica, ma ad andamento mediterraneo nelle precipitazioni.

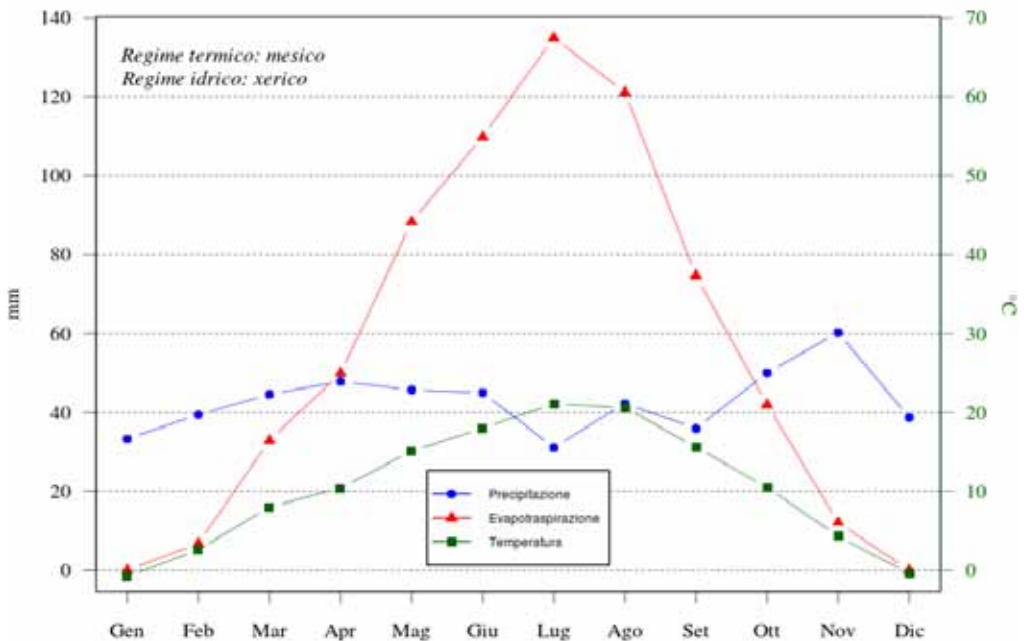
3. Una terza zona è compresa tra 1200 e 2000 metri, con una temperatura media annua di 8 °C, un'escursione termica di 10-15 °C, un'umidità relativa media del 60-75%. Il regime delle piogge è di tipo quasi continentale con precipitazioni variabili da 800 a 1200 mm/anno; i giorni con precipitazione sono circa 100-200 all'anno. Si viene quindi a definire un clima sempre meno nettamente continentale nella temperatura, poiché diminuisce l'escursione termica, ma con accentuazione della continentalità del regime pluviometrico.

A titolo di esempio si riportano una serie di termoudogrammi caratteristiche di alcune località della Regione Autonoma Valle d'Aosta.

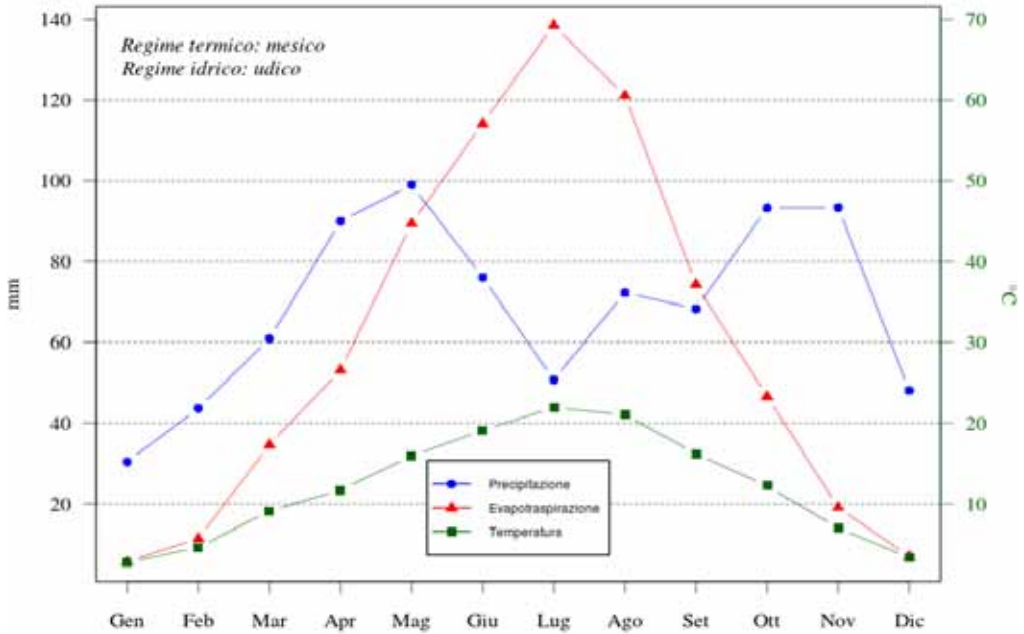
Chambave



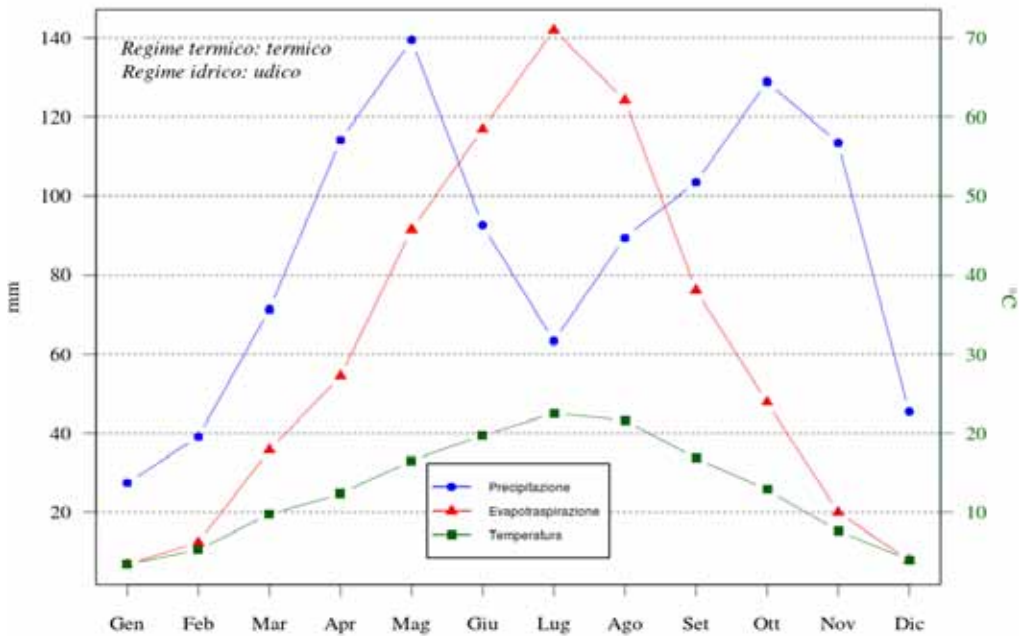
Aymavilles



Champdepraz

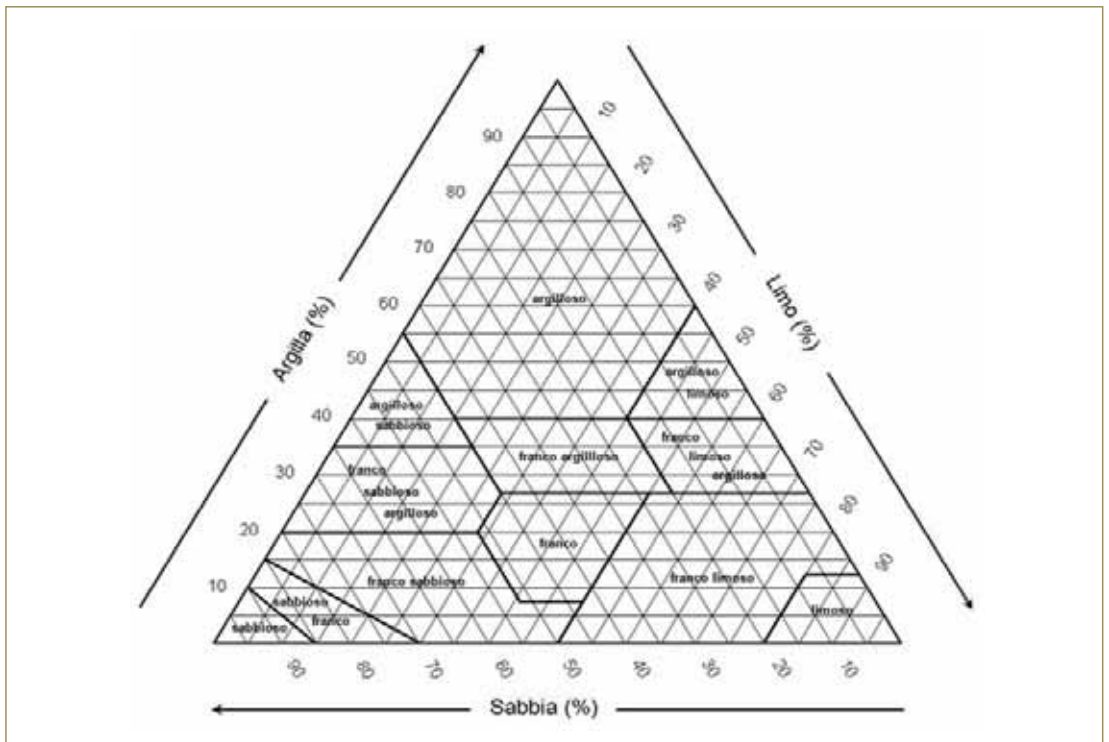


Hône



■ APPENDICE 2: TRIANGOLO DELLA TESSITURA (SECONDO USDA)

Convenzionalmente la tessitura viene espressa sinteticamente in classi. Franco è un suolo che garantisce una buona fertilità, cioè con il 20% di argilla, 40% di sabbia e 40% di limo



■ APPENDICE 3: MINERALI E ROCCE

Minerali: sostanze naturali solide caratterizzate da una composizione chimica definita e una disposizione regolare e ordinata degli atomi che la costituiscono; sono generalmente di natura inorganica.

Struttura cristallina: impalcatura interna a livello atomico, regolare e ordinata, dalla quale si origina la forma esterna del minerale (*abito cristallino*). Un *cristallo* è un solido geometrico le cui facce si originano per la crescita progressiva del *reticolo cristallino*, struttura tridimensionale elementare. Gli abiti cristallini si dividono in 32 classi, ognuna caratterizzata da forme cristalline semplici, che possono combinarsi in forme composte.

Proprietà fisiche: (tabella pagina seguente)

Classificazione: i minerali si classificano in base alla struttura del reticolo e alla composizione chimica, secondo unità di base chiamate *specie minerali*; semplificando, i minerali si suddividono in otto classi più una (quella dei cristalli organici). La prima classe comprende elementi, le altre ossidi e sali.

Dal momento che ossigeno e silicio sono gli elementi più abbondanti nella crosta, i silicati (formati dalla combinazione dei due) sono il gruppo più diffuso dei minerali (80%).

- **Minerali silicatici:** il gruppo silicatico è costituito da uno ione silicio che

coordina 4 ioni ossigeno e ha forma di un tetraedro; legandosi direttamente tra loro tramite la polimerizzazione, originano catene o reticoli di tetraedri; possono legarsi anche con cationi di atomi diversi (sodio, potassio, calcio, ferro, magnesio); a volte l'alluminio sostituisce in parte il silicio originando gli alluminosilicati. In base al diverso modo di legarsi dei tetraedri, i silicati si suddividono in quattro gruppi (1-catena singola, 2-doppia catena, 3-strato, 4-intelaiatura).

- **Minerali non silicatici:** molto meno abbondanti dei silicati (es.: calcite e dolomite, nelle rocce sedimentarie e carbonatiche; salgemma e gesso).

Formazione: dipende dall'ambiente naturale in cui il minerale si forma (temperatura, pressione, concentrazione dei diversi elementi chimici); il processo di cristallizzazione è il risultato di una serie di reazioni chimico-fisiche:

- *Cristallizzazione:* materiale fuso si raffredda
- *Precipitazione:* soluzioni acquose calde si raffreddano
- *Sublimazione:* vapori caldi (esalazioni vulcaniche) entrano in contatto con superfici fredde
- *Evaporazione:* soluzioni acquose, soprattutto marine evaporano
- *Attività biologica:* costruzione di apparati scheletrici o altro
- *Trasformazioni allo stato solido:* a causa di variazioni di temperatura o pressione

Proprietà fisiche:

Proprietà	Descrizione	Causa	Misura
Durezza	proprietà di resistere all'abrasione o alla scalfitura	dipende dalla forza dei legami reticolari	scala di Mohs
Sfaldatura	tendenza a rompersi per urto secondo superfici piane, parallele ad una faccia dell'abito cristallino	dipende dalla diversa forza dei legami tra gli atomi, nelle diverse direzioni	
Lucentezza	il grado in cui la luce viene riflessa (metallica o non-metallica)		
Colore	proprietà non costante in tutti i minerali, che si dividono in: <i>idiocromatici</i> e <i>allocromatici</i>	l'allocromatismo deriva da impurità chimiche "incastonate" nel reticolo	
Densità o massa volumica		dipende dall'addensamento di atomi nel reticolo	Kg/m ³

LE ROCCE

Rocce: aggregati naturali di diversi minerali, talvolta anche di sostanze non cristalline, di solito compatti, che formano masse ben individuabili; possono essere *eterogenee* oppure *omogenee* (monominerali).

Per definire con precisione una roccia è necessario conoscere il tipo e il numero di minerali in essa presenti.

Processi litogenetici: sono i processi tramite i quali si formano le rocce; sono principalmente tre:

	Processo Magmatico	Processo Sedimentario	Processo Metamorfico
Descrizione	il magma risale dall'interno della Terra e cristallizza progressivamente per diminuzione della temperatura	materiali rocciosi in superficie sono alterati dagli <i>agenti esogeni</i> , si spostano e si accumulano	rocce preesistenti, all'interno della Terra, trovandosi in condizioni diverse da quelle d'origine, si trasformano
Temperatura e pressione	centinaia-migliaia di °C; pressioni varie	0-100 °C; basse pressioni	300-800 °C
Rocce risultanti	rocce ignee/magmatiche	rocce sedimentarie	rocce metamorfiche
· presenza in superficie	· 35-40 %	· 5 %	· 55-60 %
· presenza in profondità	· abbondante	· assente	· maggioritaria (in aumento)

ROCCE MAGMATICHE

Le rocce magmatiche si formano dal raffreddamento del magma: i vari tipi di minerali in esso presenti a seconda del loro punto di fusione cristallizzano, costituendo una nuova roccia. Possono essere:

- **intrusive** (/plutoniche): se solidificano in profondità; il raffreddamento avviene in tempi lunghi e la roccia risultante presenta una *struttura granulare olocristallina*.
- **effusive**: se solidificano in superficie; il raffreddamento avviene velocemente

te, solo una piccola parte si trasforma in cristalli (fenocristalli), il resto assume una forma vetrosa amorfa (pasta di fondo); in certi casi tutta la massa è vetrosa (ossidiane). Il risultato è una *struttura porfirica*.

Magma: materiale fuso che si forma nella crosta o nel mantello alto, costituito da miscele di silicati e gas in soluzione.

Classificazione dei magmi: a seconda del contenuto in silice (SiO_2) libera (quarzi) o combinata (base dei silicati).

Magmi	Acidi	Neutri	Basici	Ultrabasici
Silice (in peso)	65%	52-65%	meno del 52%	meno del 45%
Rocce risultanti	acide o sialiche (Si+Al)	neutre	basiche/femiche (fe+Mg)	ultrabasiche/ultrafemiche
Composizione rocce	pochi silicati, molti alluminosilicati, silice libera (in quarzi)	silicati e alluminosilicati in parti uguali	poca silice, ricco di ferro, magnesio e calcio	poca silice, silicati di ferro e magnesio
Densità rocce	2,7	più del 2,7	3	più del 3
Colore rocce			scuro	molto scuro

Classificazione delle rocce. magmatiche

Famiglia	Graniti	Dioriti	Gabbri	Peridotiti	Rocce alcaline	
Tipo di magma	acido	neutro	basico	ultrabasico	ricco di sodio e potassio	
					neutro	basico
Minerali presenti	quarzo feldspati pochi min. femici	plagioclasti (sialici) pirosseni (femici)	plagioclasti pirosseni anfiboli olivina	olivina	Sieniti: poco quarzo ortoclasio (feldspati e feldspatoidi)	Leuciti: fenocristalli (feldspati e feldspatoidi)
Effusivo	rioliti e olipariti	andesiti	basalti		trachiti	
Note	- <i>graniti</i> ricchi di quarzo, <i>granodioriti</i> poveri. -si formano a grande profondità in ammassi di rocce lunghi centi-naia di Km (batoliti).	Fiancheggiano le fosse abissali.	Ipotesi: crosta terrestre primordiale omogenea di basalto (come quella lunare).	Costituente fondamentale della parte alta del mantello.	Si tratta di una famiglia di rocce parallela alle altre.	

Origine dei magmi: i magmi provengono dalla fusione di porzioni di crosta o del mantello alto, a diverse profondità.

Luogo	Temperatura	Magma	Caratteristiche	Processo litogenetico e rocce risultanti	
Mantello	1200-1400 °C	magma primario	basico, molto fluido	-risale dirett. dal mantello e solidifica in sup. per rapido raffreddamento - <i>differenziazione:</i> risale lentamente frazionan-dosi (cambia composiz. chimica) -> magmi diversi	-rocce eff., tutti i basalti -anche dioriti e graniti
Crosta continentale	600-700 °C	magma anatettico	acido, molto viscoso (residui refrattari)	- <i>anatessi:</i> fusione di minerali sialici e successiva cristallizzazione in profondità -> batoliti -più alta è la temperatura più è ricco il magma di componenti femici	-graniti, granidioriti -anche rocce basiche

Cause: con la profondità aumentano temperatura (fino a 4000 °C) e pressione, a causa della quale i materiali in essa presenti rimangono sostanzialmente; il magma deriva dalla fusione di rocce solide, in condizioni particolari:

- un locale aumento della temperatura;
- l'arrivo di fluidi che idratano la roccia in questione (avvicinandola al punto di fusione);
- la risalita di materiali da zone più profonde, quindi più caldi, verso zone dove la pressione è minore.

ROCCE SEDIMENTARIE

Sedimentazione: accumulo di materiali di varia origine dopo il trasporto da parte di *agenti esogeni*.

Diagenesi: insieme di processi che porta alla formazione delle rocce sedimentarie a partire da sedimenti costituiti da frammenti distinti. La *litificazione* è uno di questi processi e si divide a sua volta in due parti:

1. *compattazione:* riduzione degli spazi vuoti (*pori*) tra i frammenti, a causa del peso dei materiali soprastanti;
2. *cementazione:* prodotta da acque che circolano tra i frammenti sfruttando i pori, e che portano in soluzione delle sostanze che col tempo possono precipitare chimicamente e riempire i pori, cementando così i granuli.

Classificazione: si basa sul tipo di formazione delle rocce; si distinguono tre grandi gruppi:

1- **Rocce clastiche o detritiche:** formate da frammenti (*clasti*) di altre rocce, che si accumulano quando il mezzo che li trasporta (acqua, vento, ghiaccio) perde energia; per risalire al mezzo si considera la dimensione dei clasti, per la durata del percorso il grado di arrotondamento. Si classificano a seconda della grandezza dei clasti e per natura.

Tipo	Conglomerati	Arenarie	Argille	Marne	Piroclastiti
Dim. clasti	2 mm o più	1/16-2 mm	meno di 1/16 mm		
Derivazione	lenta cementazione delle ghiaie	cementazione di sabbie varie	sgretolamento di rocce varie	misto di calcare e argilla	ceneri e lapilli emessi da eruzioni vulcaniche
Mezzo	Fiumi, ghiacciai	Vento, fiumi	Fiumi, vento	Fiumi	
Note	<i>brecce:</i> clasti spigolosi; <i>puddinghe:</i> clasti arrotondati	<i>Loess:</i> depositi giallastri di sabbia fine e limi trasportata dal vento.	<i>Argilliti:</i> se i sedimenti diventano più compatti.	Materia prima per cemento edilizio.	Si considerano sedimentarie anche se sono di origine ignea.

2- **Rocce organogene o biogene:** formate quasi esclusivamente dall'accumulo di sostanze legate all'attività biologica

Tipo	Rocce carbonatiche		Rocce silicee	Carbonfossile	Idrocarburi
Derivazione	<i>Calcari:</i> accumulo di gusci formati da calcite CaCO_3	<i>Fosforiti:</i> accumulo di ossa composte da fosfati	accumulo di gusci costituiti da silice.	Fossilizzazione di grandi masse vegetali.	Su fondali marini poco ossi-genati, sostanze org decomposte da batteri anaerobi.
Mezzo	Fiumi	Fiumi	Fiumi	Fiumi, in loco	Fiumi, in loco
Note	<i>Dolòmie:</i> dolomitizzaz. delle rocce calcaree (soluz. acquose ricche di magnesio).		La selce è la più diffusa.		Miscela di composti del C e del H.

3- **Rocce chimiche:** deposte a causa di fenomeni chimici (precipitazione o alterazione per dissoluzione)

Tipo	Evaporiti	Rocce residuali
Formazione	Precipitazione, sul fondo di bacini acquei, di composti chimici disciolti nell'acqua, quando la loro quantità raggiunge il punto di saturazione.	Accumulo <i>in posto</i> (senza trasporto) di materiali che rimangono deposti dopo l'alterazione meteorica di una roccia affiorante.
Esempi	-calcari e dolòmie (< calcite o dolomite); -travertini e alabastri (< acque sorgive); -stalattiti e stalagmiti.	-genericamente tutti i suoli; -climi tropicali: depositi rossi di laterite (idrossidi e ossidi di Fe) e bianco di bauxite (idrossidi di Al).

Processo sedimentario:

1. gli *agenti atmosferici* disgregano o alterano i minerali originali di ogni roccia che affiori alla superficie, con intensità differenti a seconda dei climi

2. si forma un *mantello detritico* che può restare in un luogo (-> rocce residuali) o essere trasportato dagli *agenti esogeni* : a- la pioggia opera un dilavamento generale; b-i ghiacciai, i venti e i fiumi trasportano i materiali

3. i materiali trasportati vanno a sovrapporsi in accumuli caratteristici

4. il tutto è contrastato da processi endogeni (all'interno della Terra) che portano in superficie altre rocce.

ROCCE METAMORFICHE

Cristallizzazione metamorfica: è il processo per cui rocce preesistenti si trasformano, al livello dei minerali in esso presenti (cambiandone il reticolo cristallino), e a livello della struttura della roccia (cambiando il modo in cui sono disposti i minerali al suo interno); la composizione chimica generale viene conservata. La trasformazione è operata da agenti chimici e fisici, ed avviene all'interno della crosta terrestre, in condizioni di elevate pressioni e tempera-

ture, senza che si arrivi alla fusione (si parla allora di *anatessi*).

Facies metamorfiche: condizioni ambientali, in particolare pressione e temperatura, in cui si verifica il processo:

1. **Metamorfismo di contatto:** se un magma risale attraverso la crosta, riscalda le rocce con cui entra in contatto e queste subiscono modificazioni nella composizione mineralogica, in una zona di spessore vario (pochi cm-km), chiamata *aureola di contatto*; il grado di trasformazione dipende dalla distanza dalla fonte di calore.

2. **Metamorfismo regionale:** quando movimenti della crosta fanno sprofondare masse di rocce sedimentarie o magmatiche, queste vengono sottoposte ad alte temperatura e pressione (a seconda di queste grandezze: metamorfismo di grado basso, medio e alto); se prevale l'azione della pressione, si formano rocce costituite da minerali appiattiti, caratterizzate dalla *scistosità*, proprietà di suddividersi per piani paralleli.

Da questi processi si formano rocce metamorfiche di vario tipo: parametamorfiche e orometamorfiche.

Famiglia	Saccaroidi	Filladi	Micascisti	Gneiss	Scisti glaucofane	Granuliti granati
Metamorfismo	di contatto	regionale di basso grado	regionale di gr. medio/alto	regionale di gr. medio/alto	regionale di grado basso	
Prevale	temperatura	pressione	pressione	temperatura	pressione	temperatura
Caratteri	cristalli di calcite (CaCO ₃)	cristalli di quarzo e mica	cristalli di quarzo e mica	simili a quelle dei graniti		feldspati e pirosseni
Rocce originali	calcarei	argille	argille		lave basaltiche	
Scistosità		elevata	elevata	modesta		

Ciclo litogenetico

All'interno del mantello si forma una massa di magma basico, estremamente fluido che a) in parte risale in superficie attraverso il vulcanismo, generando rocce magmatiche effusive, b) in parte risale lentamente verso la superficie, raffreddandosi progressivamente e formando rocce magmatiche intrusive di varia natura (per il fenomeno della *diffenziazione*).

Nella crosta, a causa di un processo chiamato *anatessi*, si forma una massa di magma acido, estremamente plastico, che a) in minima parte risale in superficie tramite il vulcanismo, b) per il resto, si raffredda all'interno della crosta creando rocce intrusive di vario tipo.

Queste possono a. giungere in superficie per sollevamenti prodotti dai movi-

menti interni della terra, b) trasformarsi per metamorfismo per contatto se si trovano vicino a una massa magmatica, c) essere coinvolti nel metamorfismo regionale.

Una volta giunte in superficie, le rocce (magmatiche o metamorfiche) subiscono l'effetto di agenti atmosferici alterandosi e di agenti esogeni che li trasportano altrove. Qui finiscono per accumularsi in sedimenti; si compattono e cementificano divenendo così rocce sedimentarie.

Queste a) possono ritornare in superficie per sollevamenti, b) possono essere coinvolte in processi metamorfici per contatto o regionali.

A questo punto, le nuove rocce metamorfiche formatesi, possono a) tornare in superficie per sollevamento, b) essere coinvolte in un processo anatettico e tornare a fondersi, alimentando il ciclo.

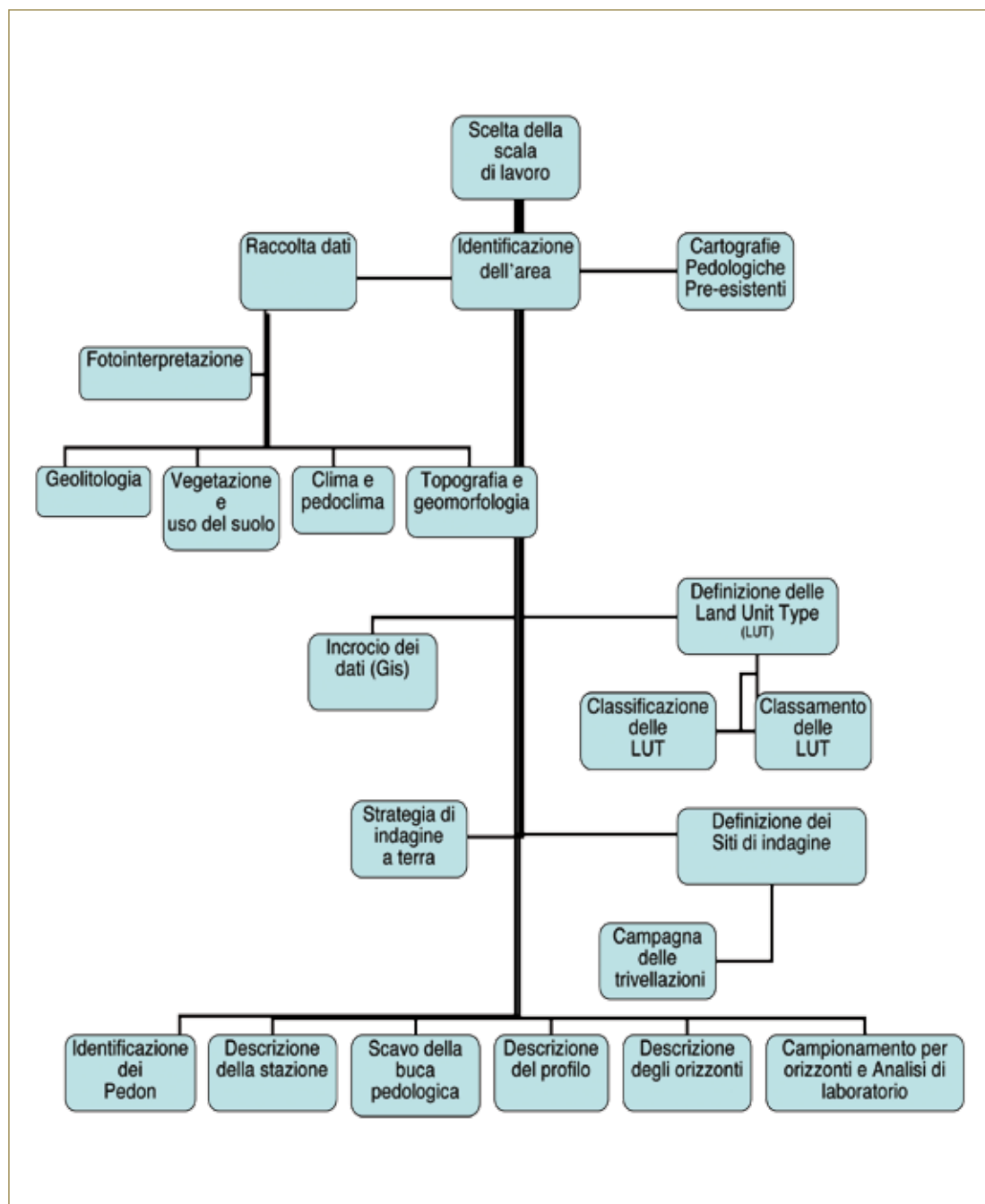
■ APPENDICE 4: SCHEMA GENERALE DEI PROCESSI PEDOGENETICI DI BASE

(I processi sono distinti per tipo: di traslocazione o movimento entro il profilo, di input/output di materiali nel/dal profilo e di trasformazione in situ dei materiali)

PROCESSO	TIPO DI PROCESSO	DESCRIZIONE SINTETICA
Eluviazione	traslocazione	Impoverimento ed uscita di materiali da una parte del profilo
Illuviazione	traslocazione	Arricchimento ed ingresso di materiali in una parte del profilo
Lisciviazione	output	Dilavamento o trasporto di materiali fuori dal corpo suolo
Arricchimento	input	Aggiunta di materiali al corpo suolo o aumento della loro concentrazione residuale
Erosione	output	Rimozione fisica di materiali dagli orizzonti superficiali
Cumulizzazione	input	Accumulo eolico o idrico di materiali sulla superficie del suolo
Decalcitazione	traslocazione	Dissoluzione e rimozione di CaCO_3 da uno o più orizzonti (detto anche processo di Decarbonatazione)
Calcitazione	traslocazione	Precipitazione di CaCO_3 in uno o più orizzonti sottostanti un orizzonte di decalcitazione (detto anche processo di carbonatazione)
Salinizzazione	traslocazione	Accumulo di sali più solubili del CaCO_3 in uno o più orizzonti
Desalinizzazione	traslocazione	Dissoluzione e rimozione di sali più solubili del CaCO_3 in uno o più orizzonti
Alchilazione	traslocazione	Saturazione del complesso di scambio di un orizzonte con Na
Dealchilazione	traslocazione	Desaturazione e lisciviazione di Na da orizzonti saturi
Lessivage	traslocazione	Trasporto meccanico di argille da un orizzonte A uno B di accumulo
Pedoturbazione	traslocazione	Azione pro-isotropa di agenti biotici (bioturbazione), fisici (crioturbazione), climatico-mineralogici (vertisolizzazione)
Podzolizzazione	trasformazione e traslocazione	Movimento di Fe, Al e/o sostanza organica verso orizzonti profondi con arricchimento residuale superficiale di silice (quarzo)
Laterizzazione	trasformazione e traslocazione	Trasporto di silice verso orizzonti profondi e concentrazione residuale superficiale di ossidrossidi con formazione eventuale di croste o concrezioni
Alterazione	trasformazione	Degradazione della fase minerale e organica primaria per dissoluzione, ossidazione, idrolisi
Sintesi	trasformazione	Neoformazione di minerali secondari, in genere argille del suolo, e di sostanze umiche

Melanizzazione	input e traslocazione	Annerimento degli orizzonti superficiali per azione della sostanza organica umificata
Leucizzazione	traslocazione	Schiarimento di orizzonti superficiali per scomparsa della frazione umica
Littering	input	Accumulo superficiale di sostanza organica fresca (lettieria)
Umificazione	trasformazione	Trasformazione biochimica della sostanza organica fresca in humus
Paludizzazione	trasformazione	Accumulo superficiale di depositi organici indecomposti (torbe) in ambiente idromorfo
Fermentazione	trasformazione	Parziale mineralizzazione microbica della sostanza organica
Brunificazione	trasformazione	Cambiamento di colore legato al rilascio del Fe dai minerali e all'arricchimento e/o pigmentazione con ossidrossidi di Fe bruni (ferridrite)
Rubefazione	trasformazione	Cambiamento di colore legato all'arricchimento e/o pigmentazione con ossidi di Fe rossi (ematite)
Ferruginazione	trasformazione	Cambiamento di colore legato all'arricchimento e/o pigmentazione con ossidrossidi giallastri (goethite)
Gleyzzazione	trasformazione	Cambiamento di colore in orizzonti soggetti a riduzione del Fe in ambiente anaerobico per sommersione o idromorfia

■ APPENDICE 5:
 DIAGRAMMA DI FLUSSO PER
 L'INDAGINE PEDOLOGICA



■ APPENDICE 6: SCHEMA SEMPLIFICATO DI RILEVAMENTO DEL PROFILO DEL SUOLO

I. Descrizione della stazione

Data		
Rilevatori		
Profilo		
Località		
Progetto		
Coordinate geografiche		
Quota	m slm	
Pendenza	%	
Esposizione	°N	
Litologia		
Forma		
Uso e vegetazione		
Rocciosità superficiale	% area	
Pietrosità superficiale	% area	
Erosione		
Note		

Schema profilo e punto di campionamento

II. Orizzonti organici

Nome dell'orizzonte				
Limite inferiore (cm)				
Limite superiore (cm)				
Tipo	<i>Abrupto (<2 cm), Chiaro (2-5), Graduale (5-12), Diffuso (> 12 cm)</i>			
Andamento	<i>Lineare, Ondulato, Irregolare, Discontinuo</i>			
Tipologia materiale	<i>Foglie, aghi, parti legnose, muschi, sfagni, altro</i>			
Grado di alterazione	<i>Assente, debole, moderata, notevole</i>			
Radici	<i>Dimensioni</i>			
	<i>Andamento</i>			
	<i>Quantità</i>			
Scheletro	<i>% volumetrico</i>			

III. Orizzonti minerali

Limite inferiore (cm)				
Tipo	<i>Abrupto (<2 cm), Chiaro (2-5), Graduale (5-12), Diffuso (> 12 cm)</i>			
Andamento	<i>Lineare, Ondulato, Irregolare, Discontinuo</i>			
Struttura				
tipo	<i>Granulare, poliedrica angolare e subangolare, lamellare, prismatica e colonnare</i>			
dimensioni	<i>cm</i>			
grado	<i>Debole, moderato, forte, incoerente, massivo</i>			
Tessitura	<i>Classe</i>			
Porosità	<i>% volume pori</i>			
	<i>Dimensioni (mm)</i>			
Scheletro	<i>Forma</i>			
	<i>Dimensioni</i>			
	<i>% volume</i>			
Colore	<i>Umido</i>			
	<i>Secco</i>			
Screziature				
abbondanza	<i>% superficie</i>			
dimensioni	<i>Asse maggiore</i>			
contrasto	<i>Debole, distinto, marcato</i>			
Carbonati	<i>Effervescenza forte, moderata, debole, assente</i>			
Consistenza	<i>Resistenza (secco)</i>			
	<i>Adesività (umido)</i>			
	<i>Plasticità (umido)</i>			
Figure pedogenetiche	<i>Tipo (pellicole, concrezioni, noduli)</i>			
	<i>Abbondanza</i>			
	<i>Dimensioni</i>			
	<i>Contrasto</i>			
	<i>Colore</i>			
Attività biologica				
Radici	<i>Dimensioni</i>			
	<i>Andamento</i>			
	<i>Quantità</i>			
Altro	<i>Ife, lombrichi ecc..</i>			

■ APPENDICE 7: INTERPRETAZIONE DELLE ANALISI CHIMICHE E FISICHE DEL SUOLO

Valutazione del pH (in acqua)

Peracidi	<5,3
Acidi	5,4 - 5,9
Subacidi	6,0 - 6,7
Neutri	6,8 - 7,2
Subalcalini	7,3 - 8,1
Alcalini	8,2 - 8,8
Peralcalini	>8,8

Valutazione della CSC ($\text{cmol}_c^+/\text{kg}$)

Bassa	< 10
Media	10 - 20
Alta	>20

Valutazione del grado di saturazione basica (GSB) e della ripartizione percentuale delle basi di scambio

Grado di saturazione basica	
Valutazione	% della CSC
Molto basso	< 45%
Basso	45 - 65%
Ottimo	65 - 85%
Alto	> 85%
Tenore in Ca scambiabile	
Valutazione	% della CSC
Molto basso	< 35%
Basso	35 - 55%
Ottimo	55 - 70%
Alto	> 70%

Tenore in Mg scambiabile	
Valutazione	% della CSC
Molto basso	< 3%
Medio	3 - 10%
Alto	> 10%
Tenore in K scambiabile	
Valutazione	% della CSC
Molto basso	< 2%
Medio	2 - 5%
Alto	> 5%

Valutazione di un terreno agrario in funzione del tenore in sostanza organica (%)

povero	< 1,5
mediamente dotato	1,5 - 3
ricco	> 3

NB: il tenore in C organico si può ottenere dividendo la sostanza organica per 1,72

Valutazione del terreno in base al tenore in N totale (‰)

povero	< 1
mediamente dotato	1 - 1,5
ben dotato	1,5 - 2,2
ricco	2,2 - 5
eccessivamente dotato	> 5

Alcuni schemi di classificazione dei terreni in base al tenore in P o P₂O₅ ass. (metodo Olsen)

Valutazione P ₂ O ₅ ass. (ppm)	Valutazione P ass. (ppm)
povero <10	molto scarso <5
mediamente dotato 10 - 20	scarso 5 - 11
ben dotato 20 - 40	sufficiente 11 - 16
ricco >40	buono 16 - 25
	elevato >25

Soglia di sufficienza del contenuto in P₂O₅ ass. (metodo Olsen) in relazione alla CSC

CSC (meq/100g)	P ₂ O ₅ ass. (ppm)
< 10	50
10-20	70
> 20	80

NB: P₂O₅ = 2,29 * P

Alcuni schemi di classificazione dei terreni in base al tenore in K o K₂O ass. (ppm) (estrazione con NH₄ acetato)

Classificazione n. 1 Valutazione K ₂ O ass. (ppm)	
povero	<80
mediamente dotato	80 - 150
ben dotato	150 - 250
ricco	> 250

Classificazione n. 2 Valutazione K ass. (ppm)	
molto scarso	<41
scarso	41 - 81
sufficiente	81 - 141
buono	141 - 200
elevato	>200

■ APPENDICE 8: SUOLO OBIETTIVO

Caratteri per pseudo-orizzonti ricostruiti (da Paolanti, 2010 modificato).

Caratteri del suolo	Orizzonti superficiali (0-30 cm)	Orizzonti sub superficiali (30-100 cm)
Tessitura	Franco sabbiosa	Franco sabbiosa
Scheletro (<2.5 cm)	<35%	<50%
pH in H ₂ O	6.1-7	6.1-7
Sostanza organica	>1.5%	>1.5%
Calcare totale	<10%	<10%
Calcare attivo	<1%	<1%
CSC	>10 cmol _c ⁺ kg ⁻¹	>10 cmol _c ⁺ kg ⁻¹

■ APPENDICE 9: TERRE E ROCCE DA SCAVO

La normativa che regola attualmente le terre da scavo è quella del Decreto legislativo del 3-4-2006 n. 152 ed il successivo Decreto Legislativo 16 gennaio 2008, n. 4 (ulteriori disposizioni correttive ed integrative del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, recante norme in materia ambientale) tratta delle terre da scavo **nell'art. 186:**

1) *Le terre e rocce da scavo, anche di gallerie, ottenute quali sottoprodotti, possono essere utilizzate per reinterri, riempimenti, rimodellazioni e rilevati purché:*

a) *siano impiegate direttamente nell'ambito di opere o interventi preventivamente individuati e definiti;*

b) *sin dalla fase della produzione vi sia certezza dell'integrale utilizzo;*

c) *l'utilizzo integrale della parte destinata a riutilizzo sia tecnicamente possibile senza necessità di preventivo trattamento o di trasformazioni preliminari per soddisfare i requisiti merceologici e di qualità ambientale idonei a garantire che il loro impiego non dia luogo ad emissioni e, più in generale, ad impatti ambientali qualitativamente e quantitativamente diversi da quelli ordinariamente consentiti ed autorizzati per il sito dove sono destinate ad essere utilizzate;*

d) *sia garantito un elevato livello di tutela ambientale;*

e) *sia accertato che non provengono da siti contaminati o sottoposti ad interventi di bonifica ai sensi del titolo V della parte quarta del presente decreto;*

f) *le loro caratteristiche chimiche e*

chimico fisiche siano tali che il loro impiego nel sito prescelto non determini rischi per la salute e per la qualità delle matrici ambientali interessate ed avvenga nel rispetto delle norme di tutela delle acque superficiali e sotterranee, della flora, della fauna, degli habitat e delle aree naturali protette. In particolare deve essere dimostrato che il materiale da utilizzare non è contaminato con riferimento alla destinazione d'uso del medesimo, nonché la compatibilità di detto materiale con il sito di destinazione;

g) *la certezza del loro integrale utilizzo sia dimostrata. L'impiego di terre da scavo nei processi industriali come sottoprodotti, in sostituzione dei materiali di cava, è consentito nel rispetto delle condizioni fissate all'articolo 183, comma 1, lettera p).*

2) *Ove la produzione di terre e rocce da scavo avvenga nell'ambito della realizzazione di opere o attività sottoposte a valutazione di impatto ambientale o ad autorizzazione ambientale integrata, la sussistenza dei requisiti di cui al comma 1, nonché i tempi dell'eventuale deposito in attesa di utilizzo, che non possono superare di norma un anno, devono risultare da un apposito progetto che è approvato dall'autorità titolare del relativo procedimento. Nel caso in cui progetti prevedano il riutilizzo delle terre e rocce da scavo nel medesimo progetto, i tempi dell'eventuale deposito possono essere quelli della realizzazione del progetto purché in ogni caso non superino i tre anni.*

3) *Ove la produzione di terre e rocce da scavo avvenga nell'ambito della realizzazione di opere o attività diverse da*

quelle di cui al comma 2 e soggette a permesso di costruire o a denuncia di inizio attività, la sussistenza dei requisiti di cui al comma 1, nonché i tempi dell'eventuale deposito in attesa di utilizzo, che non possono superare un anno, devono essere dimostrati e verificati nell'ambito della procedura per il permesso di costruire, se dovuto, o secondo le modalità della dichiarazione di inizio di attività (Dia).

4) Fatti salvi i casi di cui all'ultimo periodo del comma 2, ove la produzione di terre e rocce da scavo avvenga nel corso di lavori pubblici non soggetti né a Via né a permesso di costruire o denuncia di inizio di attività, la sussistenza dei requisiti di cui al comma 1, nonché i tempi dell'eventuale deposito in attesa di utilizzo, che non possono superare un anno, devono risultare da idoneo allegato al progetto dell'opera, sottoscritto dal progettista.

5) Le terre e rocce da scavo, qualora non utilizzate nel rispetto delle condizioni di cui al presente articolo, sono sottoposte alle disposizioni in materia di rifiuti di cui alla parte quarta del presente decreto.

6) La caratterizzazione dei siti contaminati e di quelli sottoposti ad interventi di bonifica viene effettuata secondo le modalità previste dal Titolo V, Parte quarta del presente decreto. L'accertamento che le terre e rocce da scavo di cui al presente decreto non provengano da tali siti è svolto a cura e spese del produttore e accertato dalle autorità competenti nell'ambito delle procedure previste dai commi 2, 3 e 4.

7) Fatti salvi i casi di cui all'ultimo periodo del comma 2, per i progetti di utilizzo già autorizzati e in corso di realizzazione prima dell'entrata in vigore della presente disposizione, gli interessati possono procedere al loro completamento, comunicando, entro novanta giorni, alle autorità competenti, il rispetto dei requisiti prescritti, nonché le necessarie informazioni sul sito di destinazione, sulle condizioni e sulle modalità di utilizzo, nonché sugli eventuali tempi del deposito in attesa di utilizzo che non possono essere superiori ad un anno. L'autorità competente può disporre indicazioni o prescrizioni entro i successivi sessanta giorni senza che ciò comporti necessità di ripetere procedure di Via, o di Aia o di permesso di costruire o di Dia.

■ APPENDICE 10: GLOSSARIO GEOLOGICO MINIMO

Acclività: Inclinazione della superficie topografica. Viene espressa in gradi o in percentuale.

Acquifero: Strato di roccia permeabile che contiene una falda di acqua sotterranea.

Agenti meteorici: Agenti atmosferici (vento, pioggia, neve, ecc.) la cui azione sulla topografia produce nel tempo variazioni nella forma del rilievo.

Altitudine: Elevazione altimetrica di un punto al di sopra del livello del mare.

Antropizzazione: Modificazione dell'ambiente naturale da parte dell'uomo in conseguenza dello sviluppo delle sue attività sul territorio (per esempio l'urbanizzazione di nuove aree).

Argilla: Roccia sedimentaria con dimensione degli elementi inferiore a 1/256 di millimetro.

Astenosfera: Parte duttile ed in piccola parte fusa del mantello terrestre a profondità di 100-150 km, su cui poggiano e scrono le placche litosferiche (rigide). Bacino oceanico Vedi "oceano".

Catena montuosa (o catena orogena): Rilievo montuoso caratterizzato in profondità da ispessimento crostale, prodotto dall'azione di forze compressive tra due placche convergenti attraverso processi di accavallamento di unità tettoniche. La tettonica delle placche prevede che le catene orogeniche si formino lungo il margine tra due placche durante la subduzione (v.) E la collisione delle masse continentali (vedi "collisione continentale").

Collisione continentale: Scontro tra due masse continentali in seguito alla chiusura di un oceano intermedio per subduzione, accompagnato da deformazioni su grande scala (orogenesi).

Conoide alluvionale: Accumulo di sedimenti a forma di ventaglio allargato verso il basso di una valle, trasportati da un fiume o da un torrente allo sbocco in pianura ove là esso perde velocità, energia e capacità di trasporto.

Contatto stratigrafico: Superficie di separazione tra due successioni di rocce sedimentarie (vedi "sedimento") che non deve la sua origine a dislocazioni tettoniche, ma unicamente a processi sedimentari (processi che avvengono durante la formazione delle rocce sedimentarie).

Crosta terrestre: Involucro esterno della terra, situato al di sopra della discontinuità di Mohorovicic che la separa dal sottostante mantello.

Crosta continentale: Crosta terrestre nelle zone continentali. E' costituita da graniti e gneiss ed ha spessori variabili tra 30 km (aree stabili) e 80 km (catene orogeniche).

Crosta oceanica: Crosta terrestre in corrispondenza dei bacini oceanici. E' formata da basalti e gabbri ed è spesso 6-7 km.

Deformazione tettonica: Deformazione di porzioni più o meno grandi di crosta terrestre ad opera delle forze tettoniche originatesi dal movimento relativo tra placche litosferiche adiacenti.

Deriva dei continenti: Spostamento orizzontale o rotazione, su grande scala, dei continenti l'uno rispetto all'altro.

Discordanza stratigrafica: Deposizione stratigrafica di una formazione sedimen-

taria su di un substrato che può essere dislocato, piegato, o basculato in precedenza per fenomeni tettonici e/o parzialmente eroso. Rappresenta un intervallo di tempo in cui la deposizione si è arrestata o durante il quale l'erosione ha asportato una parte dei sedimenti prima che la deposizione ricominciasse.

Dissesto (idrogeologico): Insieme di processi geologici e geomorfologici che producono fenomeni di instabilità superficiale ed importanti modificazioni nelle forme del rilievo terrestre. Esempi di tali fenomeni sono ad esempio frane, esondazioni, fenomeni di dilavamento ed erosione, dinamica dei depositi alluvionali.

Dorsale oceanica: Lungo rilievo montuoso sommerso formato da effusioni di magmi basaltici che segna il margine tra due placche divergenti. Si tratta di un sito dove le placche si separano ed in corrispondenza del quale si crea nuova crosta oceanica.

Era geologica: Ampia suddivisione della scala del tempo geologico comprendente più periodi geologici. Le ere geologiche sono: il paleozoico, il mesozoico ed il cenozoico.

Epoca geologica: Suddivisione di un periodo geologico (v.).

Erosione: Insieme di processi e fenomeni che, sulla superficie del suolo o sott'acqua, intervengono nell'asportare formazioni rocciose esistenti, modificando le forme del rilievo.

Eruzione vulcanica: Fuoriuscita di materiale lavico e piroclastico (frammenti di rocce), con emissione di gas, da un condotto vulcanico.

Esondazione: Fuoriuscita delle acque dall'alveo di un corso d'acqua con allagamenti delle aree circostanti.

Espansione del fondo oceanico: Meccanismo con il quale viene creata nuova crosta oceanica. Ha luogo in corrispondenza delle dorsali oceaniche (v.).

Evento deformativo: Vedi "fase di deformazione".

Faglia: Frattura della crosta terrestre lungo la quale si è prodotto uno spostamento relativo delle due parti delle rocce interessate.

Falda acquifera (freatica o artesiania): Acqua sotterranea che si accumula in rocce permeabili limitate alla base da livelli impermeabili. Si distinguono in falde freatiche e artesiane (o in pressione). Le prime possono oscillare verso l'alto sino a raggiungere la superficie topografica, quelle artesiane sono in pressione e limitate sia sopra che sotto da livelli impermeabili.

Fase di deformazione (o fase tettonica): Insieme di deformazioni tettoniche di una certa importanza che interessano vaste regioni nel corso di un lasso di tempo, separando nel contempo periodi durante i quali le deformazioni strutturali sono assenti o poco rilevanti.

Fattori antropici: Fattori legati all'uomo ed alle sue attività.

Formazione (rocciosa): Insieme di rocce che possiedono caratteristiche ben definite ed omogenee e una precisa posizione stratigrafica (vedi "stratigrafia") rispetto ad altri corpi rocciosi.

Forza tettonica: Forze che si generano nella crosta terrestre, legate principalmente al movimento delle placche litosferiche (v.). L'espressione di tali forze è visibile in natura dalle strutture deformative (pieghe, faglie, ecc.) osservabili nelle rocce.

Frana (attiva, quiescente): Fenomeno di distacco, discesa lungo il pendio e ac-

cumulo a quote più basse, di una massa di terreno o roccia.

Fossa di subduzione (o fossa oceanica): Profonda depressione di grandi dimensioni, lunga e stretta, caratterizzata da fianchi ripidi, posta sul fondo oceanico. La depressione segna la linea lungo la quale una placca litosferica si inflette discendendo in una zona di subduzione (v.).

Geofisica applicata: Utilizzazione dei metodi geofisici per la ricerca di sostanze o strutture utilizzabili dall'uomo nel sottosuolo. La geofisica è una scienza che applica i metodi della fisica allo studio della terra, dei suoi involucri liquido e gassoso, delle sue azioni a distanza (campo magnetico, campo gravitazionale).

Giacitura della stratificazione (o degli strati): Disposizione nello spazio ed assetto geometrico degli strati di roccia. La giacitura è definita dai parametri direzione, immersione ed inclinazione, che si misurano, rispetto al nord e all'orizzontale, con bussola provvista di clinometro.

Impatto ambientale: Conseguenze ed effetti delle modificazioni sull'ambiente causate da interventi sul territorio operati dall'uomo. Ad esempio la realizzazione di grandi opere infrastrutturali (strade, grandi costruzioni, ponti, ecc.) produce significative modificazioni sull'ambiente.

Litologia: Caratteristiche generali sia fisiche che chimiche che definiscono l'aspetto e la natura di una roccia e che ne consentono una prima classificazione per grandi suddivisioni.

Litosfera: Involucro rigido, esterno, della terra, formato dalla crosta e dal mantello superiore. E' suddiviso in grandi frammenti (placche) in movimento sopra l'astenosfera.

Livello di scollamento: Spessore di roccia o terreno in corrispondenza del quale avvengono la separazione e il distacco di due terreni o corpi rocciosi a causa di una discontinuità o di una variazione improvvisa delle proprietà meccaniche.

Magma: Materiale roccioso fuso che, raffreddandosi, forma le rocce ignee. Il magma che raggiunge la superficie è detto lava.

Mantello: Involucro intermedio della terra compreso tra la crosta terrestre (all'esterno) ed il nucleo (all'interno). Si estende da una profondità di circa 40 km ad una profondità di 2900 km.

Metamorfismo: Trasformazione della composizione mineralogica e della tessitura (forma e dimensioni) dei cristalli, avvenuta su corpi rocciosi sepolti (o trasportati in profondità), per effetto delle mutate condizioni di pressione e temperatura, dell'attività dei fluidi e della deformazione. E' associato normalmente agli eventi orogenici ed all'intrusione di magmi nella crosta terrestre.

Mineralogia: Disciplina che studia la composizione chimica, la struttura, l'aspetto, la stabilità, l'ubicazione e le associazioni dei minerali.

Oceano: Vasto mare caratterizzato da: 1) un fondale formato da crosta oceanica; 2) esistenza di una dorsale sommersa dalla quale vengono emessi basalti.

Orogenesi: Insieme delle fasi tettoniche deformative, metamorfiche e magmatiche, che determinano la formazione di una catena montuosa tra due placche convergenti (vedi "subduzione" e "collisione continentale").

Paleontologia: Scienza che studia gli organismi vissuti nel passato e attualmente parzialmente conservati, allo

stato fossile, nelle rocce sedimentarie. Studia anche le tracce fossilizzate della loro attività. Comprende la paleobotanica (organismi vegetali) e la paleozoologia (organismi animali).

Pangea: Supercontinente unico formatosi per ripetute collisioni tra vari lembi di crosta continentale verso la fine dell'era paleozoica e che in seguito si è frammentato per dare origine a tutti i continenti attuali.

Pantalassa: Antico, vasto ed unico oceano che circondava con le sue acque il supercontinente Pangea alla fine del paleozoico.

Periodo geologico: L'unità di tempo geologico usata più spesso; rappresenta la suddivisione di un'era geologica (v.).

Petrografia: Scienza che descrive e classifica le rocce in base agli aspetti tessiturali (caratteristiche geometriche) e strutturali, alla composizione chimica e mineralogica e all'origine.

Piega: Figura di deformazione tettonica che risulta dalla flessione o dalla torsione (cioè nella curvatura) di masse rocciose.

Placche litosferiche: Suddivisione fondamentale della litosfera terrestre in lastre spesse 50-100 km (in tutto una ventina, di cui 12 di grandi dimensioni), in movimento relativo tra di esse al di sopra dell'astenosfera.

Processi morfogenetici: Tutti i processi (chimici, fisici, biologici e tutti quelli propri delle attività umane) che hanno effetto nel modificare la forma del rilievo terrestre.

Ricerca sismica: Ricerca del sottosuolo mediante lo studio della propagazione delle onde sismiche all'interno della terra. Le sorgenti di tali onde possono essere naturali (terremoti) o artificiali (per

esempio: esplosioni sotterranee).

Rischio sismico: Probabilità che in una regione, caratterizzata da un certo grado di simicità (ossia frequenza ed intensità dei sismi), si verifichi un terremoto di una prefissata intensità.

Sedimento: Ciascuno dei numerosi materiali depositati sulla superficie terrestre da agenti fisici (acqua, vento e ghiaccio), da agenti chimici (precipitazione da oceani, mari, laghi e corsi d'acqua), o da agenti biologici (organismi viventi e morti). Successivamente, attraverso il processo di diagenesi, tali materiali vengono trasformati in roccia sedimentaria.

Sezione geologica: Rappresentazione bidimensionale convenzionale di terreni e/o rocce in uno spaccato (sezione) generalmente verticale. Rappresenta idealmente la costituzione geologica di un'area al di sotto della superficie topografica.

Sistema informativo geografico (GIS): Sistema per l'acquisizione, elaborazione e visualizzazione di dati georeferenziati. Vale a dire dati di cui è nota la posizione relativa ad un sistema geografico di riferimento.

Sovrascorrimento: Sovrapposizione meccanica di un'unità tettonica (v.) su di un'altra lungo una superficie suborizzontale o poco inclinata, per effetto di forze di compressione.

Stratigrafia: Scienza che studia la successione dei depositi sedimentari, generalmente suddivisi in strati.

Strutture tettoniche (o strutture deformative): Strutture geologiche generate dalle forze tettoniche che agiscono nella crosta terrestre. Esse sono: faglie, pieghe, sovrascorrimenti, ecc.

Subduzione: Sprofondamento di una placca litosferica oceanica al di sotto di

una placca sovrascorrente.

Superficie piezometrica: Superficie i cui punti sono rappresentati dall'altezza a cui può risalire la falda acquifera in ogni punto di una zona considerata. Si può rappresentare su di una carta per mezzo di curve di livello piezometrico o isopieze.

Tettonica delle placche: Teoria basilare nella geologia, la migliore fino ad oggi, che ha permesso di interpretare la maggior parte dei fenomeni geologici osservabili a larga scala sulla superficie terrestre tramite lo studio del movimento relativo, della formazione e della distruzione delle placche litosferiche.

Tempo di ritorno (dei fenomeni geologici): Intervallo di tempo, determinato principalmente attraverso studi di tipo statistico, che intercorre tra due eventi geologici (nel senso più generale del termine) successivi.

Terremoto (o sisma): Violenta ed improvvisa vibrazione della terra prodotta da una brusca liberazione di energia elastica, sotto forma di onde sismiche, che accompagna il movimento lungo una faglia.

Tetide: Ampio golfo oceanico che durante l'era mesozoica si incuneava da

est ad ovest separando i due paleocontinenti Eurasia ed Africa.

Unità tettoniche (o unità strutturali): Massa rocciosa appartenente ad una catena montuosa composta da un insieme di formazioni geologiche che hanno subito la stessa storia deformativa. Ciascuna unità si differenzia principalmente dalle altre per: 1) posizione geometrica occupata nella catena, 2) formazioni geologiche che la compongono, 3) caratteri della deformazione subita.

Vincolo idrogeologico: Insieme di norme legislative a tutela dell'ambiente idrogeologico che regolano l'utilizzazione dei terreni e gli interventi sul territorio nei bacini montani.

Vulcanismo: Complesso di fenomeni connessi con la risalita di magmi verso le parti più alte della crosta terrestre e la loro fuoriuscita in superficie allo stato fuso (manifestazioni e fenomeni vulcanici).

Vulnerabilità dell'acquifero: Possibilità più o meno elevata, dipendente da numerosi fattori di tipo geologico, idrogeologico e antropico, che un agente inquinante possa penetrare nella falda acquifera.

■ APPENDICE 11: GLOSSARIO PEDOLOGICO MINIMO

Acqua gravitazionale: Acqua libera che percola nel suolo per gravità.

Acqua capillare: Acqua assimilabile dalle piante, localizzata tipicamente nei pori capillari di diametro compreso fra i 10 e gli 0.2 μm .

Acqua igroscopica o di adsorbimento: E' l'acqua che aderisce come un velo alle microrugosità delle particelle di terreno o ai pori di diametro inferiore a 0.2 μm . Non può essere assorbita dalle radici delle piante.

Alterazione: Disintegrazione e decomposizione della roccia o altri materiali del terreno a causa dell'esposizione agli agenti atmosferici.

Argilla (frazione granulometrica): Particelle minerali del suolo, di dimensioni inferiori a 2 μm ; può includere minerali di ogni tipo (argille mineralogiche, silice, calcite, ossidi ed idrossidi cristallini).

Argille del suolo: Comprendono minerali fillosilicati, ossidrossidi di Fe e Al, allofane che hanno origine da processi legati all'alterazione pedogenetica di minerali primari

Calcare totale: Quantitativo totale di carbonati presente nella terra fine.

Calcare attivo: Calcare presente in forme più finemente suddivise e quindi più idrolizzabili e solubili. Esso rappresenta la frazione che più facilmente reagisce con le altre componenti del terreno e influenza negativamente la disponibilità di fosforo e ferro formando con essi dei composti fortemente insolubili e non assimilabili dalla pianta.

Capacità di scambio cationico (C.S.C.): Quantità massima di cationi adsorbibili dai colloidali organici e minerali del suolo in relazione alla presenza di cariche negative superficiali; è espressa in cmolc^+/kg di suolo o in $\text{meq}/100 \text{ g}$ di suolo.

Carta dei suoli: Documento che illustra la distribuzione dei vari tipi di suolo nel paesaggio. Rappresenta il momento di sintesi del lavoro di ricerca su una data area e deve mediare tra l'esposizione completa delle informazioni acquisite e la loro rappresentazione in forma ordinata secondo le finalità del progetto.

Classificazione dei suoli: Sistema di riferimento, di solito di tipo tassonomico, che permette di codificare le principali caratteristiche genetiche di un suolo; generalmente è comprensibile solo dagli addetti ai lavori.

Coesione: Capacità che possiedono alcune sostanze, come le particelle dei colloidali, di aderire fortemente le une alle altre, a causa della elevata superficie specifica.

Colore: Carattere del suolo descritto tramite un sistema di riferimento (Munsell's soil color charts), che utilizza tre variabili: hue (tinta), value (luminosità) e chroma (saturazione). Così ad un colore identificato come 10yr 5/4 corrisponde un hue di 10yr, un value di 5 e un chroma di 4. Nella descrizione dei suoli i colori vengono "tradotti" in aggettivi come "bruno grigiastro", "bruno giallastro", "bruno oliva" ecc.

Colloide: Sostanza finemente dispersa in un mezzo e in uno stato intermedio tra la soluzione omogenea e la dispersione eterogenea. Questo stato "microeterogeneo" consiste quindi di due fasi: una sostanza di dimensioni microscopiche

(diametro da 1 nm a 1 μm) dispersa in una fase continua.

Concrezione: Corpo di forma generalmente tondeggiante che deve la sua genesi pedologica all'accumulo di sostanze attorno ad un nucleo di formazione; generalmente nel suolo si rinvengono concrezioni calcaree, ferromanganesifere, gessose.

Consociazione: Unità cartografica in cui è predominante un solo tipo di suolo e la maggior parte degli altri è ad esso simile.

Crepacciamento: Formazione di fessure per disseccamento. È un processo frequente in suoli a prevalente componente argillosa.

Delineazione: Singola area delimitata sulla carta dei suoli ed identificata da una sigla cartografica.

Drenaggio: Termine indicante la capacità da parte del suolo di eliminare l'acqua in esso presente; è in funzione di diversi fattori, fra i quali, più importanti, la permeabilità degli orizzonti, la situazione morfologica, la presenza di acqua di falda a bassa profondità.

Ematite: Vedi ossidi

Erosione: Processo costituito dall'asporto e trasporto di materiale terroso o roccioso dalla superficie terrestre, causato dagli agenti di modellamento della superficie (acqua, ghiaccio, vento, gravità, uomo).

Evapotraspirazione (reale): Si intende la quantità d'acqua che effettivamente evapora dal suolo e traspira attraverso le piante in un luogo con determinate condizioni climatiche.

Evapotraspirazione (potenziale): Rappresenta la perdita d'acqua che si attua nel sistema terreno-vegetale se in nes-

sun istante di tempo vi è deficit di acqua nel suolo per le necessità della pianta.

Falda: Acqua sotterranea situata all'interno di un mezzo permeabile (per es. Ghiaia) a sua volta limitato da strati poco permeabili; essa può trovarsi a notevoli profondità (diverse centinaia di metri) o molto vicino alla superficie.

Fattori pedogenetici: I vari fattori che determinano la formazione e l'evoluzione di un suolo; in genere vengono distinti in: clima, rilievo, roccia madre, organismi, tempo.

Humus: Sostanza, di colore generalmente scuro, originatasi dalla trasformazione della materia organica; in genere viene classificato, a seconda del grado di trasformazione, in moder, mull o mor.

Idromorfia: Situazione di acqua stagnante nel suolo; è spesso segnalata da un tipico colore grigio-verdastro osservabile nel profilo

Legenda: Documento sintetico utilizzato per una rapida consultazione della carta dei suoli. Esso consente di associare alle sigle, che identificano aree di territorio sulla carta, il nome dei suoli in esse presenti e i principali caratteri di questi ultimi.

Materia organica o sostanza organica: Residui organici dovuti ad attività animale o vegetale, presenti in vari stadi di decomposizione.

Minerali primari: I minerali originari, non alterati, presenti nella roccia madre.

Minerali secondari: I minerali che derivano, per trasformazioni chimico-fisiche legate all'alterazione, dai minerali primari.

Nitrati: I composti dell'azoto più prontamente assimilabili dalle piante ma anche i più lisciviabili dal suolo.

Orizzonte: Strato di suolo, in genere approssimativamente parallelo alla superficie, che possiede specifiche caratteristiche morfologiche, mineralogiche, chimiche, fisiche e biologiche, risultato dei processi di formazione del suolo.

Ossidi/idrossidi (con riferimento al suolo): Forme cristalline o amorfe del Fe, Al e Mn derivate dai processi di alterazione dei minerali primari (ematite, gibbsite, ferridrite, pirolusite ecc.).

Pedogenesi: Formazione di un suolo.

Pedologia: Scienza che si occupa della conoscenza del suolo nei suoi diversi aspetti (chimico-fisici, mineralogici, biologici, morfologici ed evolutivi).

Pedologo: Colui che studia il suolo; egli è in grado di descriverlo nel suo insieme e di analizzarne gli aspetti salienti in relazione agli altri fattori ambientali.

Percolazione: Transitò dall'alto verso il basso di acqua attraverso il suolo.

Permeabilità: E' la proprietà del suolo di essere attraversato dall'acqua o dall'aria. In base alla velocità del flusso dell'acqua attraverso il suolo saturo, vengono distinte le seguenti classi:

Velocità del flusso idrico (mm/h)	Classi di permeabilità
< 0,035	molto bassa
0,035-0,35	bassa
0,35-3,5	moderatamente bassa
3,5-35	moderatamente alta
35-350	elevata
> 350	molto elevata

pH: Vedi reazione

Pietrosità superficiale; Si riferisce alla quantità ed alla dimensione delle pietre presenti sulla superficie del terreno.

Porosità: Rappresenta la percentuale di vuoti osservabile in un determinato volume di suolo. I vuoti (pori) vengono in genere classificati in base alle dimensioni, in quanto è tale parametro che influenza più di tutto il transitò dell'acqua e dell'aria nel suolo.

Processi pedogenetici: L'insieme delle trasformazioni chimico, fisiche, biologiche che avvengono all'interno di un suolo a causa dell'influenza dei fattori della pedogenesi.

Profilo: Sezione verticale del suolo, che permette di studiare tutte le caratteristiche degli orizzonti che lo costituiscono.

Proprietà colloidali: Proprietà relative ai colloidì, particelle di dimensione piccolissima ma di grande superficie. Una delle proprietà più importanti è la coesione.

Reazione: Indica il grado di acidità e di alcalinità del suolo, espressa con il logaritmo della concentrazione degli ioni H⁺ nella soluzione acquosa del suolo.

Report (note illustrative): Documento di integrazione alla carta dei suoli e alla legenda, contenente tutte le informazioni relative al rilevamento.

Rilevamento pedologico: L'insieme delle operazioni che portano allo studio dei suoli in campagna tramite osservazioni pedologiche.

Roccia madre: La roccia od il sedimento dal quale per alterazione prende origine un suolo.

Ruscellamento: Situazione legata alla presenza di acqua sulla superficie del suolo, in moto lungo la linea di maggior pendenza; in genere tale fenomeno ge-

nera erosione ed asportazione di particelle presenti sulla superficie.

Sabbia: E' la frazione minerale del suolo le cui particelle hanno un diametro compreso tra 0.05 e 2 mm.

Scheletro: Elementi litici presenti nel suolo, di dimensioni maggiori della terra fine (2 mm).

Stereoscopio: Strumento con oculari e specchi, tramite il quale è possibile evidenziare dalle foto aeree la tridimensionalità del rilievo.

Struttura del suolo: Aggregazione del suolo in elementi di dimensioni centimetriche o decimetriche di origine artificiale (zolle di lavorazione) o naturale (prismi, poliedri).

Suolo: Corpo naturale composto da particelle minerali e sostanza organica, capace di ospitare comunità di organismi vegetali e animali. Le sue caratteristiche dipendono dal modo in cui hanno operato nel tempo i fattori che ne influenzano l'evoluzione: clima, esseri viventi (anche l'uomo), materiale di partenza (roccia, sedimenti non consolidati, torbe) e morfologia. Lo studio del suolo viene effettuato attraverso l'esame di una sezione

verticale (profilo) in cui si osservano strati (gli orizzonti) sovrapposti a diversa profondità, aventi aspetto esterno e caratteri fisico-chimici e biologici anche molto differenti tra loro.

Tessitura: Esprime la distribuzione per grandezza delle particelle minerali che compongono la frazione della terra fine (<2 mm) di un suolo. La terra fine si suddivide in sabbia (50-2000 micron), limo (2-50 micron) ed argilla (<2 micron); a loro volta la sabbia ed il limo vengono suddivise in più frazioni: sabbia molto fine, fine, media, grossa e molto grossa e limo fine (20-2 micron) e grosso (50-20 micron). Convenzionalmente la tessitura viene espressa sinteticamente in classi; una delle suddivisioni più diffuse si basa su dodici classi fondamentali così definite: sabbia (S), sabbia franca (SF), franco sabbiosa (FS), franca (F), franco limosa (FL), limo (L), franco argillosa sabbiosa (FAS), argilloso sabbiosa (AS), argilloso limosa (AL), argilla (A), franco argillosa limosa (FAL), franco argillosa (FA).

Unità cartografica: Gruppi di delimitazioni caratterizzate dalla medesima sigla cartografica.

