

# Pericolosità geo-idrologica del T. Malone (provincia di Torino – Italia nordoccidentale)

## Geo - hydrological hazard of Malone stream (province of Turin – northwestern Italy)

MARIKA NOVELLO<sup>1</sup>, ANNALISA BOVE<sup>2</sup>, LUCIANO MASCIOTTO<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Università degli Studi di Torino

<sup>2</sup> Geologo, Libero Professionista – Socio SIGEA-APS

<sup>3</sup> Università degli Studi di Torino – Consigliere SIGEA-APS

E-mail: [annalisa.bove@geologipiemonte.it](mailto:annalisa.bove@geologipiemonte.it) (A. Bove), [luciano.masciocco@unito.it](mailto:luciano.masciocco@unito.it) (L. Masciocco)

Parole chiave: pericolosità idrologica, provincia di Torino, Italia nordoccidentale

Key words: hydrological hazard, province of Turin, northwestern Italy

### 1. INTRODUZIONE

Il presente lavoro è finalizzato alla valutazione della pericolosità idrologica del T. Malone il cui bacino si estende interamente nel territorio della provincia di Torino per circa 344 km<sup>2</sup>, di cui il 25% in ambito montano e il 75% in pianura; esso digrada dai territori montuosi di Corio e Forno Canavese (quota max 2.167 m s.l.m.), proseguendo nel territorio di alto terrazzo (Vauda) e di pianura del Basso Canavese, fino alla confluenza del torrente nel fiume Po, a 181 m s.l.m., tra gli abitati di Brandizzo e di Chivasso (Fig. 1).

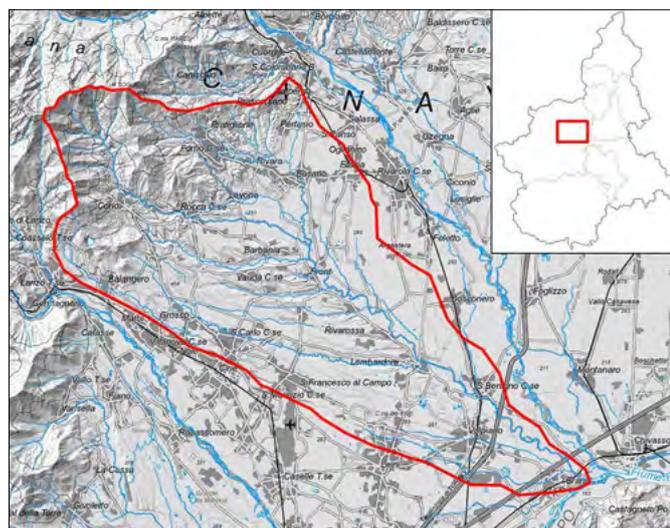


FIGURA 1. Il bacino del Torrente Malone.

### 2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Facendo riferimento alla Carta Geologica della Regione Piemonte alla scala 1:250.000 (Piana et al., 2017), nel bacino del T. Malone sono presenti le seguenti litologie (Fig. 2): Unità derivanti dal MARGINE CONTINENTALE PALEOADRIATICO

#### COMPLESSI METAMORFICI DEL DOMINIO AUSTRALPINO:

Zona Sesia-Lanzo:

- Unità di Rocca Canavese (SLs): serpentiniti antigoritiche;
- Unità di Rocca Canavese (SLR): gneiss, micascisti, miloniti;

- *Complesso dei Micascisti Eclogitici (SLEg)* (Permiano?): metagabbri;
- *Complesso dei Micascisti Eclogitici (SLE)*: micascisti eclogitici, paragneiss, eclogiti.

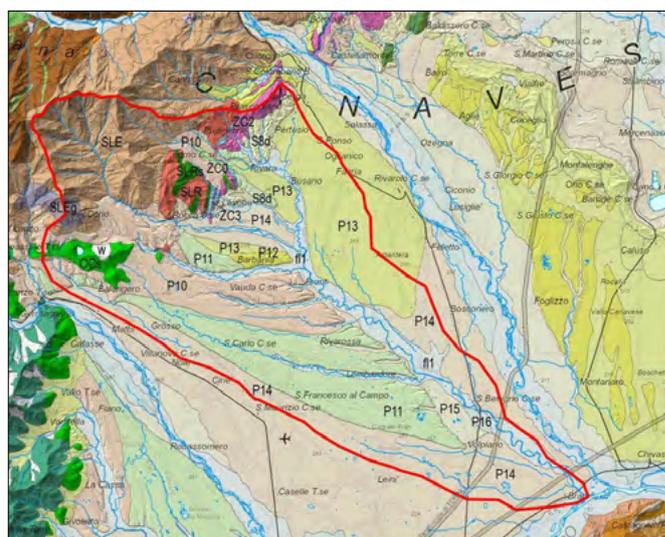


FIGURA 2. Il bacino del T. Malone (limite in rosso) riportato sullo stralcio della Carta geologica del Piemonte alla scala 1:250.000 (Piana et al., 2017).

#### ZONA A SCAGLIE TETTONICHE

Zona del Canavese:

- *Serpentinite di Pesmonte (ZC0)*: serpentinite, lizardite;
- *Rocce Permiane intrusive e vulcaniche (ZC2)*: graniti, vulcaniti e vulcanoclastiti permiane;
- *Successione sedimentaria Mesozoica (ZC3)*: quartzite, calcare, dolomite, breccia, arenaria, radiolarite e calcescisti.

#### Unità derivanti dal DOMINIO OCEANICO LIGURE-PIEMONTESE UNITÀ METAMORFICHE

Unità oceaniche delle Alpi occidentali, delle Alpi Liguri e dell'Appennino occidentale:

- *Serpentiniti, serpentinoscisti e serpentiniti* con associate breccie serpentinitiche e oficalciti (OCs).

## BACINI SIN-OROGENICI

### SUCCESSIONI CENOZOICHE DEI BACINI EPISUTURALI INTERNI

#### Successione Pliocenica:

- Successioni silteose e sabbioso-ghiaiose zancleano-piacenziane (S8d) (Piacenziano): “villafranchiano b”.

### SUCCESSIONI QUATERNARIE

#### Bacino Padano Occidentale:

- Depositi fluviali (P10) (Pleistocene Inf.);
- Depositi fluviali, depositi glaciali di fondo e di ablazione, depositi fluvioglaciali (P11) (Pleistocene Medio);
- Depositi fluviali, depositi glaciali di fondo e di ablazione, depositi fluvioglaciali (P12) (Pleistocene Medio);
- Depositi fluviali, depositi glaciali di fondo e di ablazione, depositi fluvioglaciali (P13) (Parte superiore del Pleistocene Medio);
- Depositi fluviali, depositi fluvioglaciali, depositi di megafan e depositi glaciali di fondo e di ablazione (P14), (Pleistocene Medio-Sup.);
- Depositi fluviali, depositi glaciali di fondo e di ablazione, depositi fluvioglaciali (P15) (Pleistocene Sup.);
- Depositi fluviali (fl1) (Olocene-Presente).

## EVENTI ALLUVIONALI PREGRESSI

Gli eventi più importanti e significativi verificatosi nel territorio in esame sono rappresentati dalle alluvioni del novembre 1994 e dell'ottobre del 2000.

### L'evento del 2 – 6 novembre 1994

L'evento alluvionale del 2 - 6 novembre 1994 ha comportato effetti diffusi su tutta la provincia di Torino, con numerosi fenomeni franosi e di esondazione lungo i corsi d'acqua. La ricostruzione fornita dal quadro meteorologico evidenzia come a partire dal pomeriggio e durante la serata del giorno 5 e nel corso del giorno 6 le precipitazioni si siano intensificate lungo la fascia prealpina, per poi dirigersi verso la fascia meridionale della Regione.

Nell'area di studio, impostata nel Basso Canavese settore di pianura, a seguito della pioggia caduta nei giorni antecedenti l'evento, si è assistito a dissesti generati dalla dinamica fluviale dei corsi d'acqua principali - Fiume Po, T. Stura di Lanzo, T. Malone, T. Orco - e secondari - T. Bendola (Fig. 3), T. Ceronda - ed a fenomeni di allagamento e ristagno in superficie a seguito dalla risalita fino al piano campagna della falda (Regione Piemonte, 1998).

Nell'area di pertinenza del T. Malone, a partire dalla confluenza con il T. Viana, nei pressi del comune di Front Canavese, si sono verificati numerosi alluvionamenti e danni ad infrastrutture viarie e d opere di difesa idraulica; lungo tutto il tratto considerato il corso d'acqua ha, inoltre, riattivato un elevatissimo numero di paleoalvei, prevalentemente in sinistra orografica.

In destra orografica, le acque di piena del torrente Malone hanno tracimato (Fig. 4), proseguendo il loro corso verso le abitazioni poste nei settori più a valle, nei pressi di Rivarossa, centro abitato di Lombardore fino alla confluenza nel fiume Po, causando lo sgombero temporaneo di circa 150 persone

All'evento alluvionale e alle caratteristiche morfologiche del territorio considerato, va sommato lo stato di scarsa manutenzione che caratterizzava il reticolato minore, con alvei spesso occupati dalla vegetazione con attraversamenti insufficienti e strettoie di natura antropica (Regione Piemonte, 1998).



FIGURA 3 - Comune di Volpiano. Ripresa da Est dell'attraversamento sul T. Bendola, lungo la strada statale tra Volpiano e Leini, gravemente danneggiato dalle acque di piena del torrente (Regione Piemonte, 1998).



FIGURA 4 - Ripresa lungo la ferrovia canavese. Evidenti i danni causati dalle acque di esondazione del T. Malone straripate in destra idrografica a monte dell'abitato di S. Benigno (Regione Piemonte, 1998).

### L'evento del 13 – 16 ottobre 2000

Nel bacino del torrente Malone, analogamente a tutti i bacini del Piemonte, sono stati registrati degli elevati valori di precipitazione caratterizzate da grande intensità che hanno causato tre principali ondate di piena tra i giorni 14 e 15, di cui l'ultima corrispondente al massimo livello registrato, provocando, anche in questa circostanza, l'esondazione dei corsi d'acqua principali e secondari con processi di erosione spondale, trasporto ed accumulo di materiale detritico negli alvei, allagamenti nei principali centri abitati e numerosi danni alle opere idrauliche di difesa ed alle infrastrutture. Lungo i versanti collinari si sono verificati localmente anche dei fenomeni gravitativi, rappresentati da un rapido colamento di coltre superficiale (*rapid earth flow*), di dimensioni molto ridotte (ARPA PIEMONTE, 2003).

## VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ IDROLOGICA

La valutazione della pericolosità idrologica ha comportato la verifica idraulica su due sezioni fluviali che sembravano mostrare alcune criticità; la loro ubicazione, insieme alla delimitazione dei relativi bacini sottesi, è visualizzata in Fig. 5.

La *sezione 1*, più a monte, è stata individuata a quota 430 m s.l.m., in corrispondenza del ponte di Rocca Canavese (Fig. 6).

La *sezione 2*, più a valle, è invece localizzata in corrispondenza del ponte di San Benigno Canavese a quota 212 m s.l.m. (Fig. 7)

Per ciascuna di esse, sono state calcolate le portate di massima piena per diversi tempi di ritorno, successivamente verificate idraulicamente, mettendole a confronto con le portate massime ammissibili.

## ANALISI PLUVIOMETRICA

I dati delle piogge intense riferiti al bacino del T. Malone sono stati ricavati dalle registrazioni delle stazioni meteorologiche dell'Arpa Piemonte poste lungo il T. Malone. In particolare, per quanto riguarda il bacino sotteso della sezione 1, sono state prese in considerazione due stazioni

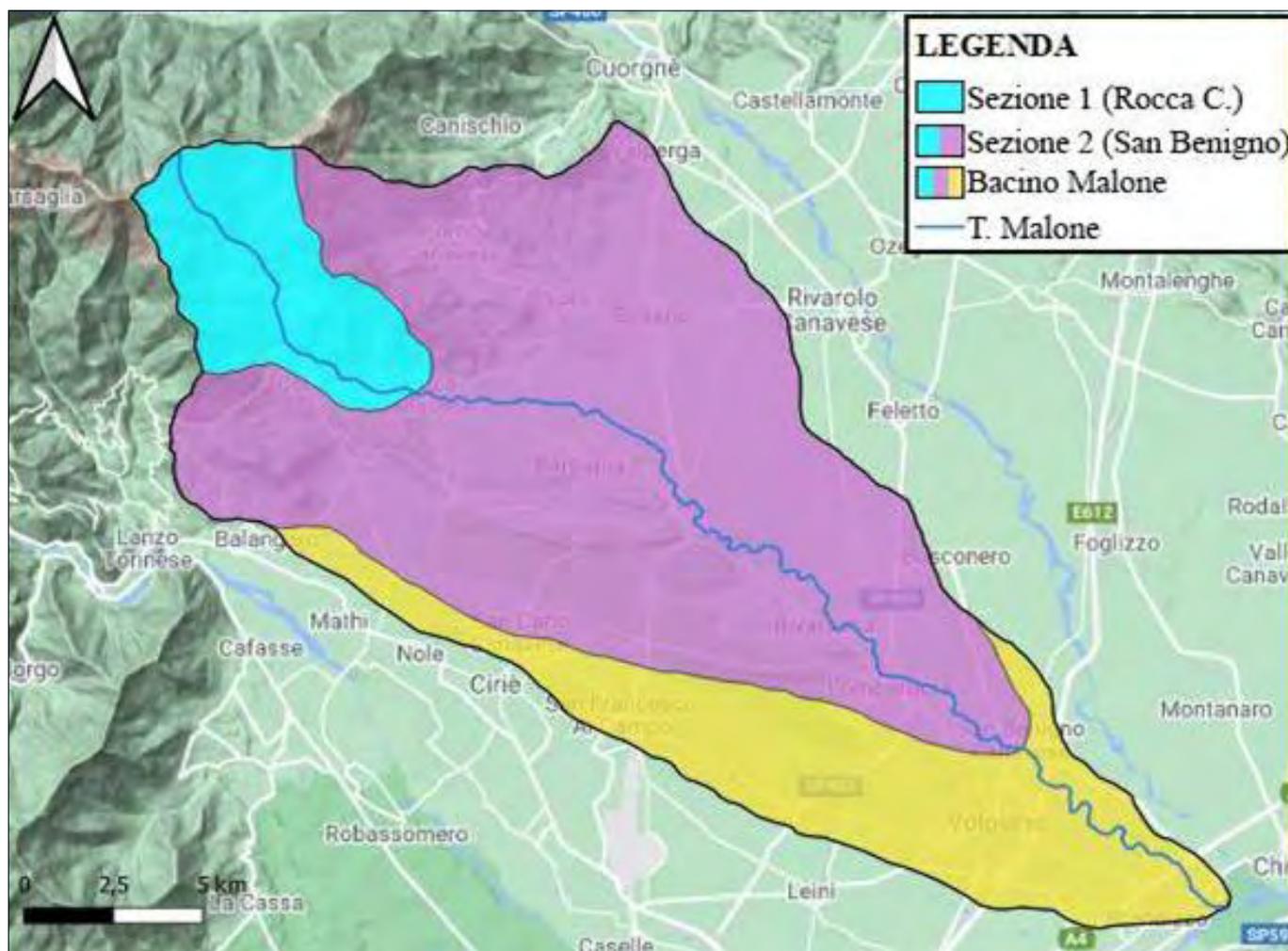


FIGURA 5. Ubicazione delle 2 sezioni e delimitazione dei bacini loro sottesi.



FIGURA 6. Ubicazione della sezione 1 a Rocca Canavese e sue dimensioni. L'attuale ponte è stato costruito in sostituzione del precedente, rovinato dall'alluvione del 1994.



FIGURA 7. Ubicazione della sezione 2 nel centro abitato di San Benigno Canavese.

nei pressi del comune di Corio, una più a monte in località Piano Audi Case Rui (1150 m s.l.m.) per il periodo 1997 – 2017 e una più a valle nel centro di Corio (562 m s.l.m.) per il periodo 2001 – 2017. Per il bacino sotteso dalla sezione 2, si è tenuto conto delle registrazioni del periodo 1996 – 2017 di una terza stazione ubicata in località Ponte S.P. 13 nel comune di Front Canavese (270 m s.l.m.).

I dati sono stati elaborati con il metodo di Gumbel per ricavare le curve di probabilità pluviometrica per tempi di ritorno di 10, 20, 50, 100, 200 e 500 anni. I valori dei coefficienti  $a$  ed  $n$  sono stati mediati sia per la sezione 1 che per la sezione 2, (Tab. 1) in modo da ottenere delle curve rappresentative del bacino in esame.

**Tabella 1. Coefficienti  $a$  e  $n$  delle curve di probabilità pluviometrica calcolate per tempi di ritorno 10, 20, 50, 100, 200 e 500 anni alle 2 stazioni di Corio e a quella di Front e relativi valori medi per i bacini sottesi dalla sezione 1 e dalla sezione 2.**

T	Corio 1		Corio 2		Front		Valori medi Sez.1		Valori medi Sez.2	
	a	n	a	n	a	n	a	n	a	n
10	55,197	0,4915	55,441	0,3078	56,963	0,2030	55,3190	0,3996	55,867	0,3341
20	61,331	0,5038	62,306	0,3083	64,883	0,1960	61,8185	0,4060	62,840	0,3366
50	69,289	0,5160	71,192	0,3087	75,122	0,1891	70,2405	0,4123	71,868	0,3379
100	75,263	0,5232	77,851	0,3090	82,789	0,1850	76,5570	0,4161	78,634	0,3391
200	81,220	0,5291	84,485	0,3092	90,424	0,1816	82,8525	0,4191	85,376	0,3399
500	89,086	0,5356	93,238	0,3094	100,49	0,1779	91,1620	0,4225	94,271	0,3409

**Tabella 2. Dati fisiografici e tempi di corrivazione dei due bacini in esame.**

	Area [km <sup>2</sup> ]	L [m]	Hm [m]	Hsez [m]	Hmr [m]	tc [ore]
<b>Bacino 1</b>	35,75	11,15	889,73	430	459,73	2,37
<b>Bacino2</b>	243,34	35,02	352,53	212	140,53	12,12

### Calcolo delle portate di massima piena

Per il calcolo delle portate di massima piena, è stato utilizzato il Metodo Razionale, che utilizza la seguente relazione:

$$Q = k \cdot i \cdot C \cdot A$$

dove:

- $Q$  è la portata di massima piena in m<sup>3</sup>/s;
- $k$  è un fattore adimensionale che tiene conto della non uniformità delle unità di misura. Se  $A$  è espressa in km<sup>2</sup> ed  $i$  in mm/h per ottenere la portata in m<sup>3</sup>/s,  $k$  vale 0,278;
- $C$  è il coefficiente di deflusso;
- $i$  è l'intensità della precipitazione critica;
- $A$  è l'area del bacino a monte della sezione presa in esame.

Il modello prevede che la pioggia di progetto cada con intensità costante e in modo uniforme sul bacino. Le precipitazioni considerate sono quelle descritte dalle curve di probabilità pluviometrica ricavate dai valori medi riportati in Tab. 1.

L'intensità critica  $i$  è stata ricavata attraverso la valutazione dei tempi di corrivazione.

Per entrambi i bacini 1 e 2, con area maggiore di 20 km<sup>2</sup>, è stata utilizzata la formula di Giandotti:

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,8\sqrt{h_{mr}}}$$

dove:

- $t_c$  è il tempo di corrivazione espresso in ore;
- $A$  è l'area del bacino preso in considerazione in km<sup>2</sup>;
- $L$  è la lunghezza dell'asta fluviale principale fino al punto di misura;
- $h_{mr}$  è l'altezza media del bacino rispetto alla sezione di chiusura.

In Tab. 2 vengono riportati i tempi di corrivazione dei due bacini, insieme ai parametri fisiografici utilizzati, ricavati tramite software Quantum Gis.

A questo punto, l'intensità critica  $i_c$  sarà data dal rapporto tra l'altezza della pioggia di durata pari al tempo di corrivazione  $h_c$  (per calcolare la quale basta sostituire  $t_c$  nella durata  $t$  delle equazioni delle curve di probabilità pluviometrica) e il tempo di corrivazione  $t_c$  stesso, riferita quindi a un determinato tempo di ritorno:

$$i_c = \frac{h_c}{t_c}$$

I dati di pioggia e intensità critica ottenuti per i due bacini e per i diversi tempi di ritorno sono riportati in Tab. 3.

Un altro parametro nel calcolo della portata di massima piena è rappresentato dal coefficiente di deflusso  $C$  che tiene conto della natura dei terreni, del tipo di copertura vegetale e, seppure non venga mai preso in considerazione, dal grado di saturazione del terreno al momento dell'infiltrazione.

**Tabella 3. Altezze critiche di pioggia  $h_c$ , tempi di corrivazione  $t_c$  e intensità critiche  $i_c$  ottenute per diversi tempi di ritorno.**

	$h_c$ [mm]	$t_c$ [ore]	$i_c$ [mm/ora]
Bacino 1 (Tr = 10 anni)	78,10	2,37	32,95
Bacino 1 (Tr = 20 anni)	87,76	2,37	37,03
Bacino 1 (Tr = 50 anni)	100,25	2,37	42,30
Bacino 1 (Tr = 100 anni)	109,63	2,37	46,26
Bacino 1 (Tr = 200 anni)	118,95	2,37	50,19
Bacino 1 (Tr = 500 anni)	131,26	2,37	55,38
Bacino 2 (Tr = 10 anni)	128,57	12,12	10,61
Bacino 2 (Tr = 20 anni)	145,31	12,12	11,99
Bacino 2 (Tr = 50 anni)	166,97	12,12	13,78
Bacino 2 (Tr = 100 anni)	183,24	12,12	15,12
Bacino 2 (Tr = 200 anni)	199,40	12,12	16,45
Bacino 2 (Tr = 500 anni)	220,72	12,12	18,21

Per determinarlo si fa riferimento a valori di letteratura come ad esempio quelli di Tabella 4, proposti da Benini (1990).

Come si può notare dai valori riportati in tabella, la copertura vegetale influenza notevolmente la capacità di assorbimento. I boschi tendono a trattenere maggiormente le precipitazioni e pertanto i valori di C sono minori per i boschi rispetto alle aree a pascolo e a colture agrarie.

**Tabella 4. Valori per il coefficiente C in funzione del tipo di terreno, dell'uso del suolo e della pendenza (Benini, 1990).**

Vegetazione e pendenza		Tipi di terreno*		
		leggero	medio	compatto
Boschi	<10%	0,13	0,18	0,25
	>10%	0,16	0,21	0,36
Pascoli	<10%	0,16	0,36	0,56
	>10%	0,22	0,42	0,62
Coltivi	<10%	0,40	0,60	0,70
	>10%	0,52	0,72	0,82

\*Cioè terreni con permeabilità alta (t. leggero), media (t. medio) o bassa (t. compatto).

Il bacino di interesse è stato suddiviso in aree boschive, aree adibite a colture agrarie, aree antropizzate e aree in cui sono visibili gli affioramenti. Non si è tenuto conto di aree adibite a pascoli in quanto poco estese e sporadiche.

Per le aree boschive si è fatto riferimento a pendenze >10% mentre per le colture agrarie a pendenze <10%.

Data la natura dei suoli presenti nel bacino, poco o punto permeabili, si è fatto sempre riferimento ai valori del terreno compatto. Alle aree antropizzate, fortemente impermeabilizzate, è stato assegnato un coefficiente C pari a 0,90.

Tramite il software *Quantum Gis*, sono state ricavate 4 categorie omogenee per pendenza e uso del suolo a cui è stato assegnato un coefficiente C, facendo riferimento ai valori sopra citati, mentre alle aree antropizzate è stato attribuito un coefficiente C pari a 0,90 (Tab. 5).

**Tabella 5. Valori del Coefficiente di deflusso C assegnato alle superfici omogenee per uso del suolo e pendenza ottenute dalle analisi cartografiche tramite software Quantum GIS.**

Uso del suolo	Penden-za	Area del Bacino 1	Area del Bacino 2	Coefficiente di deflusso C
Bosco	>10%	25,15	115,46	0,36
Colture agrarie	<10%	1,05	97,17	0,70
Aree antropizzate	-	0,95	19,25	0,90
Affioramento	-	8,60	11,46	0,90

Pesando i coefficienti di deflusso per le aree omogenee a cui sono riferiti, sono state calcolate le medie ponderali dei coefficienti  $C$  da attribuire ai due bacini in esame (Tab. 6).

**Tabella 6. Valori medi dei coefficienti di deflusso per i due bacini in esame.**

Coefficiente di deflusso $C$	
Bacino 1	0,51
Bacino 2	0,56

Utilizzando i dati ricavati sono state infine calcolate le portate di massima piena in corrispondenza delle due sezioni oggetto di studio, per i diversi tempi di ritorno presi in considerazione (Tab. 7).

**Tabella 7. Portate di massima piena attese alle 2 sezioni di misura per i relativi tempi di ritorno.**

	$k$	$i_c$ [mm/ora]	$C$	$A$ [km <sup>2</sup> ]	Portata [m <sup>3</sup> /s]
Sezione 1 (Tr = 10 anni)	0,278	32,95	0,51	35,75	167,01
Sezione 1 (Tr = 20 anni)	0,278	37,03	0,51	35,75	187,69
Sezione 1 (Tr = 50 anni)	0,278	42,30	0,51	35,75	214,40
Sezione 1 (Tr = 100 anni)	0,278	46,26	0,51	35,75	234,47
Sezione 1 (Tr = 200 anni)	0,278	50,19	0,51	35,75	254,39
Sezione 1 (Tr = 500 anni)	0,278	55,38	0,51	35,75	280,70
Sezione 2 (Tr = 10 anni)	0,278	10,61	0,56	243,34	401,94
Sezione 2 (Tr = 20 anni)	0,278	11,99	0,56	243,34	454,22
Sezione 2 (Tr = 50 anni)	0,278	13,78	0,56	243,34	522,03
Sezione 2 (Tr = 100 anni)	0,278	15,12	0,56	243,34	575,79
Sezione 2 (Tr = 200 anni)	0,278	16,45	0,56	243,34	623,18
Sezione 2 (Tr = 500 anni)	0,278	18,21	0,56	243,34	689,85

### Verifiche idrauliche

Al fine di verificare se le portate di progetto appena calcolate sarebbero defluite normalmente nelle due sezioni o se in qualche occasione il fiume avrebbe esondato, inondando le zone abitate circostanti, è stato necessario fare un confronto con la *portata massima ammissibile* da ciascuna sezione, pari al prodotto dell'area  $A$  della sezione e la velocità del flusso idrico  $V$ :

$$Q = A \cdot V$$

Le aree  $A$  sono state ricavate da misure in situ delle lunghezze con telemetro e delle quote con battute topografiche. Come quota massima delle sezioni è stato preso il livello base delle abitazioni.

La velocità del flusso idrico  $V$  delle sezioni è stata valutata utilizzando la formula di Chézy:

$$V = \chi \cdot \sqrt{R \cdot i}$$

dove:

- $V$  è la velocità media in m/s;
- $\chi$  è il coefficiente di Chézy che dipende dalla scabrezza dell'alveo e dal raggio idraulico;
- $R$  è il raggio idraulico in m<sup>1/2</sup>/s;
- $i$  è la pendenza del fondo espressa in %.

Per raggio idraulico si intende il rapporto tra l'area della sezione e il perimetro bagnato e per perimetro bagnato la somma tra la lunghezza del fondo dell'alveo e delle sponde:

$$R = \frac{A}{p_b}$$

Con i dati ricavati dalle misure *sono stati ottenuti, quindi, i raggi idraulici* delle cinque sezioni (Tab. 8).

**Tabella 8. Valori dell'area, del perimetro bagnato e del raggio idraulico delle due sezioni misurate.**

	Area sezione [m <sup>2</sup> ]	pb [m]	R [m]
Sezione 1	83,47	40,88	2,04
Sezione 2	360,51	68,40	5,27

*Le pendenze del fondo sono state ricavate*, per ciascun bacino, suddividendo il profilo longitudinale dell'asta in diversi tronchi e calcolando la media ponderata con la formula di Taylor–Schwartz (Tab. 9):

**Tabella 9. Pendenze medie del fondo calcolate con la formula di Taylor–Schwartz.**

Tronchi asta <b>Bacino 1</b>	$\delta L$ (m)	$\delta L$ (m)	$i$ (m/m)
2050 - 1800	620	250	0,40
1800 - 1400	888	400	0,45
1400 - 1000	1750	400	0,23
1000 - 600	4018	400	0,10
600 - 430	3824	170	0,04
pendenza media $i_m$			<b>0,09</b>
Tronchi asta <b>Bacino 2</b>	$\delta L$ (m)	$\delta L$ (m)	$i$ (m/m)
2050 - 1800	620	250	0,40
1800 - 1400	888	400	0,45
1400 - 1000	1750	400	0,23
1000 - 600	4018	400	0,10
600 - 212	24380	388	0,01
pendenza media $i_m$			<b>0,002</b>

$$\frac{L}{\sqrt{i_m}} = \sum_{j=1}^{n^{\circ} \text{tronchi}} \frac{L_j}{\sqrt{i_j}}$$

dove:

- $i_m$  = pendenza media dell'asta principale;
- $i_j$  = pendenze dei singoli tronchi;
- $L$  = lunghezza dell'asta;
- $L_j$  = lunghezze dei singoli tronchi.

Al fine di determinare il coefficiente di scabrezza, necessario per il calcolo della velocità del flusso idrico, è stata utilizzata l'equazione di Manning:

$$\chi = \frac{1}{n} * R^{\frac{1}{6}}$$

dove:

- $n$  è il coefficiente di Manning
- $R$  è il raggio idraulico

La formula di Chézy quindi diventa:

$$V = \frac{1}{n} * R^{\frac{2}{3}} * i^{\frac{1}{2}}$$

Il coefficiente  $n$  di Manning è stato calcolato dalla formula seguente (Chow, 1959), rifacendosi ai coefficienti parziali della Tabella 10:

**Tabella 10. Valori da utilizzare per calcolare il coefficiente n di Manning (Chow, 1959).**

Materiale costituente l'alveo	Terra		0,020
	Roccia		0,025
	Alluvione grossolana	$n_0$	0,028
	Alluvione fine		0,024
Irregolarità della superficie della sezione	Trascurabile		0,000
	Bassa		0,005
	Moderata	$n_1$	0,010
	Elevata		0,020
Variazione di forma e dimensione della sezione trasversale	Graduale		0,000
	Occasionale	$n_2$	0,005
	Frequente		0,010-0,015
Effetto relativo di ostruzioni	Trascurabile		0,000
	Modesto		0,010-0,015
	Apprezzabile	$n_3$	0,020-0,030
	Elevato		0,040-0,060
Effetto della vegetazione	Basso		0,005-0,010
	Medio		0,010-0,025
	Alto	$n_4$	0,025-0,050
	Molto alto		0,050-0,100
Grado di sinuosità dell'alveo	Modesto		1,000
	Apprezzabile	$m_5$	1,150
	Elevato		1,300

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) * m_5$$

I coefficienti parziali utilizzati e i coefficienti n di Manning ricavati nella formula di Chow (1959) sono riportati in Tabella 11.

**Tabella 11. Valori dei coefficienti parziali utilizzati e relativi coefficienti n di Manning.**

	Sezione 1	Sezione 2
$n_0$	0,028	0,028
$n_1$	0,015	0,015
$n_2$	0,005	0,005
$n_3$	0,015	0,020
$n_4$	0,025	0,025
$m_5$	1,200	1,200
<b>n</b>	<b>0,1056</b>	<b>0,1116</b>

Avendo quindi a disposizione tutti dati necessari si sono calcolate le velocità di deflusso V tramite la formula di Chézy (Tab. 12). Infine, moltiplicando le aree delle sezioni per le rispettive velocità di deflusso, sono state ricavate le portate massime ammissibili per le due sezioni analizzate (Tab. 13).

**Tabella 12. Valori delle velocità di deflusso.**

	Velocità [m/s]
Bacino 1	4,55
Bacino 2	3,79

**Tabella 13. Portate massime ammissibili nelle due sezioni.**

	Area sezione [m <sup>2</sup> ]	Velocità [m/s]	Portata ammissibile [m <sup>3</sup> /s]
Bacino 1	83,47	4,55	379,79
Bacino 2	360,51	3,79	1366,33

**Tabella 14. Verifica idraulica delle due sezioni prese in esame.**

	Portata di massima piena [m <sup>3</sup> /s]	Portata ammissibile [m <sup>3</sup> /s]
Sezione 1 (Tr = 10 anni)	167,01	379,79
Sezione 1 (Tr = 20 anni)	187,69	379,79
Sezione 1 (Tr = 50 anni)	214,40	379,79
Sezione 1 (Tr = 100 anni)	234,47	379,79
Sezione 1 (Tr = 200 anni)	254,39	379,79
Sezione 1 (Tr = 500 anni)	280,70	379,79
Sezione 2 (Tr = 10 anni)	401,94	1366,33
Sezione 2 (Tr = 20 anni)	454,22	1366,33
Sezione 2 (Tr = 50 anni)	522,03	1366,33
Sezione 2 (Tr = 100 anni)	575,79	1366,33
Sezione 2 (Tr = 200 anni)	623,18	1366,33
Sezione 2 (Tr = 500 anni)	689,85	1366,33

**Tabella 15. Verifica idraulica nelle due sezioni utilizzando i dati pluviometrici registrati il 24 ottobre 2011 alla stazione di Brugnato (SP). Entrambe le sezioni risultano insufficienti.**

	k	ic [mm/h]	tc [ore]	hc[m]	C	Area [km <sup>2</sup> ]	Qmax [m <sup>3</sup> /s]	Qamm [m <sup>3</sup> /s]
Sezione 1	0,278	117,33	2,37	278	0,51	35,75	564,71	379,79
Sezione 2	0,278	42,48	12,12	515	0,56	243,34	1609,92	1366,33

**Tabella 16 - Verifica idraulica nelle due sezioni utilizzando i dati pluviometrici registrati il 4 novembre 2011 alla stazione di Vicomorasso (GE). La sezione 1 risulta insufficiente.**

	k	ic [mm/h]	tc [ore]	hc[m]	C	Area [km <sup>2</sup> ]	Qmax [m <sup>3</sup> /s]	Qamm [m <sup>3</sup> /s]
Bacino 1	0,278	124,51	2,37	295	0,51	35,75	631,08	379,79
Bacino 2	0,278	33,99	12,12	412	0,56	243,34	1287,94	1366,33

#### 4. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Dal confronto tra le portate massime ammissibili delle due sezioni e le portate di progetto calcolate con il Metodo Razionale (Tab. 14), per i tempi di ritorno considerati le portate di massima piena attese sono nettamente minori delle portate massime ammissibili.

Ciò significa che quando si ha il passaggio della piena, non si verificano gravi danni e non si prevedono allagamenti nelle zone edificate circostanti. Pertanto, le due sezioni sembrano ben dimensionate a sopportare piene anche con tempi di ritorno di 500 anni nell'alveo naturale.

È da specificare, però, che precipitazioni simili a quelle che hanno colpito negli ultimi anni il nostro Paese (Masciocco, 2011), causerebbero problemi. In particolare, prendendo in considerazione l'evento verificatosi ad ottobre 2011 nello Spezzino entrambe le stazioni risulterebbero insufficienti a contenere la piena (Tab. 15).

Considerando l'evento verificatosi a novembre 2011 nel genovesato (tragedia del Rio Fereggiano), la sezione di Rocca Canavese non riuscirebbe a contenere la piena (Tab. 16).

#### BIBLIOGRAFIA

ARPA PIEMONTE (2003). *Eventi alluvionali in Piemonte (Evento alluvionale del 13-16 ottobre 2000)*. AGES

ARTI GRAFICHE – Torino, 327 pp., Tavole fuori testo.

G. BENINI (1990). *Sistemazioni idraulico forestali*. Collana Scienze forestali e ambientali. UTET, Torino, 308 pp., ISBN-10: 880204340X, ISBN-13: 978-8802043401

V.T. CHOW (1959). *Open Channel Hydraulics*. Mc Graw Hill Company, 680 pp.

F. PIANA, G. FIORASO, A. IRACE, P. MOSCA, A. D'ATRI, L. BARALE, P. FALLETTI, G. MONEGATO, M. MORELLI, S. TALLONE, G.B. VIGNA (2017). *Geology of Piemonte region (NW Italy, Alps–Apennines interference zone)*, Journal of Maps, 13:2, 395-405, DOI: 10.1080/17445647.2017.1316218.

REGIONE PIEMONTE (1998). *Eventi alluvionali in Piemonte (2-6 novembre 1994; 8 luglio 1996; 7-10 ottobre 1996)*. Assessorato Ambiente, Energia, Pianificazione e gestione delle risorse idriche, Lavori Pubblici e Tutela del Suolo, Protezione Civile. Direzione Servizi Tecnici di Prevenzione. L'Artistica Savigliano, 415 pp., Tavole fuori testo.

#### RIFERIMENTI WEB

[https://www.arpa.piemonte.it/rischinaturali/accesso-ai-dati/annali\\_meteoidrologici/](https://www.arpa.piemonte.it/rischinaturali/accesso-ai-dati/annali_meteoidrologici/)