

Proposta per la mitigazione del rischio geo-idrologico nell'Alta Val Tanaro (provincia di Cuneo - Italia nord-occidentale)

Proposal for the geo-hydrological risk mitigation in the upper Tanaro Valley (province of Cuneo - northwestern Italy)

MAURO BONASERA¹, ANNALISA BOVE², ANNA MARIA FERRERO³, GIANDOMENICO FUBELLI³, MICHELE LICATA³, LUCIANO MASCIOTTO⁴, BATTISTA TABONI³, GESSICA UMILI³

¹ Servizio Geologico d'Italia - ISPRA

² Geologo libero professionista, Consigliere Generale Fondazione CRC, socio SIGEA-APS

³ Dipartimento di Scienze della Terra – Università degli Studi di Torino

⁴ Dipartimento di Scienze della Terra – Università degli Studi di Torino, consigliere SIGEA-APS

E-mail: battista.taboni@unito.it

Parole chiave: rischio geo-idrologico, Fiume Tanaro, provincia di Cuneo, Italia nord-occidentale

Key words: geo-hydrological risk, Tanaro River, province of Cuneo, northwestern Italy

1. PREMESSA

I principali centri abitati dell'Alta Valle Tanaro hanno subito, nel 1994, 2016 e 2020, eventi alluvionali che hanno determinato in più punti esondazioni e notevoli danni.

In un precedente studio, si è messo in evidenza come la Città di Ceva, centro urbano collocato presso la porzione terminale del territorio oggetto del presente studio, sia costantemente a rischio alluvione da parte del F. Tanaro, in quanto la sezione fluviale in corrispondenza delle Scuole Materne (costruite purtroppo a pochi metri dall'alveo del corso d'acqua) è risultata insufficiente a contenere portate di progetto anche con tempi di ritorno molto bassi (Bonasera *et al.*, 2020).

Per contrastare gli effetti delle piogge che negli ultimi decenni hanno mostrato un aumento di intensità e frequenza, si propone la realizzazione di sbarramenti che, opportunamente posizionati sul territorio, potranno laminare le piene in occasione di eventi critici.

Un territorio particolarmente adatto per costruire tali sbarramenti, sia perché poco o punto antropizzato sia per la vastità di area drenata da ciascuna opera, appare la testata della Val Tanaro, laddove scorrono i due torrenti che, confluendo, danno luogo al F. Tanaro: il Torrente Negrone e il Torrente Tanarello.

Il presente articolo sintetizza i primi risultati di questo studio, finanziato dalla Fondazione Cassa di Risparmio di Cuneo, Ente da sempre attento alla tutela del proprio territorio.

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area in esame è situata nell'Italia nord-occidentale, tra il Piemonte sud-occidentale e la Regione Liguria, al confine con la Francia; in particolare, essa è rappresentata dalla parte alta del bacino idrografico del Fiume Tanaro, che si estende per una superficie di circa 400 km², con quote che vanno dai 2651 m s.l.m. del Monte Marguareis ai 386 m s.l.m. dell'abitato di Ceva (Fig. 1). L'area, essenzialmente montuosa, ricade amministrativamente all'interno delle provincie di Cuneo, Savona e Imperia, nei territori comu-

nali di Briga Alta (CN), Ormea (CN), Garessio (CN), Priola (CN), Bagnasco (CN), Battifollo (CN), Nucetto, Perlo (CN), Ceva (CN), Triora (IM), Mendatica (IM), Cosio di Arroscia (IM), Pornassio (IM), Armo (IM) e Massimino (SV). La popolazione risiede principalmente nei piccoli paesi del fondovalle, sebbene una piccola parte degli abitanti occupa invece le piccole frazioni dislocate sugli acclivi versanti che bordano la valle principale. Il comune con il maggior numero di cittadini è Ceva (5.774 abitanti), che si sviluppa per 42,96 km² su un territorio prevalentemente collinare; seguono Garessio con 3.150 abitanti e Ormea con 1.750 abitanti. La principale via di comunicazione è rappresentata dalla Strada Statale S.S. 28 che percorre il fondovalle dall'abitato di Ponte di Nava fino a Ceva. L'a-

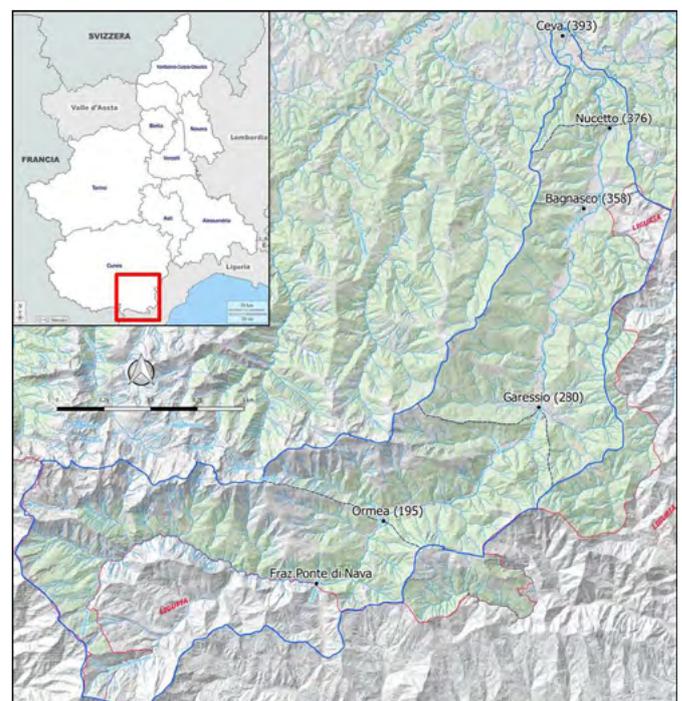


FIGURA 1. L'alta Val Tanaro e i suoi principali centri abitati (tra parentesi l'area in km² dei relativi bacini sottesi).

rea di studio è raggiungibile dalla Liguria dal Colle di Nava tramite la S.S. 28 e dal Piemonte tramite l'autostrada A6 imboccando lo svincolo per la SS 28 all'uscita di Ceva.

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Dal punto di vista *geologico strutturale* (Piana et al., 2017), il bacino del F. Tanaro con chiusura a Ceva è impostato (Fig. 2):

- nella *Zona Assiale della catena alpina* (*Dominio Pennidico*), corrispondente in parte al Paleo Margine Continentale Europeo (qui affiorano soprattutto le *Unità Brianzonesi Interne* e, in minor misura, il *basamento polimetamorfico brianzonese*) e alle Unità Oceaniche Liguri-Piemontesi (in particolare nella testata della Val Tanaro, in destra idrografica, affiorano unita non metamorfiche quali le *Unità Liguri delle Alpi Marittime*);
- nella *Zona Esterna della catena alpina*, corrispondente al Paleo Margine Continentale Europeo (dove in sinistra idrografica dell'alta Val Tanaro affiorano le *successioni Delfinense provenzale e Brianzonese esterna*);
- e nei *Bacini Sinorogenetici*, essenzialmente nel Bacino Terziario Ligure Piemontese.

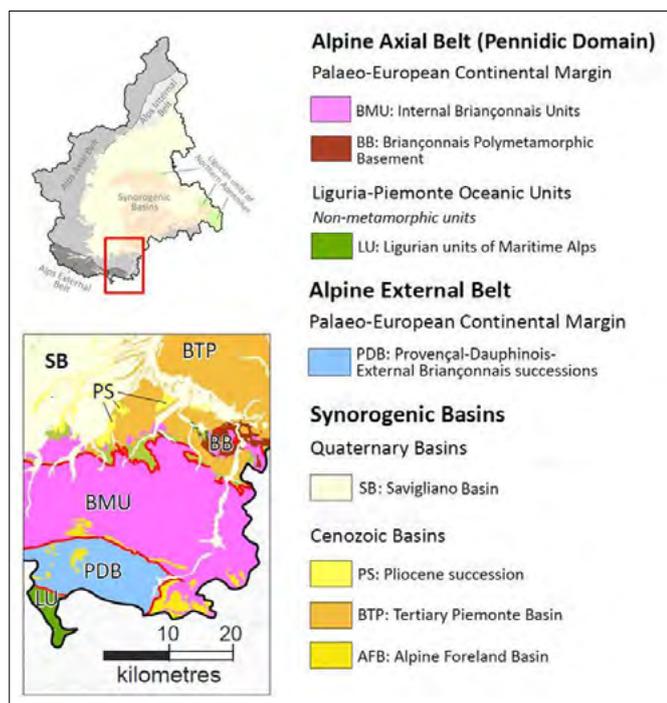


FIGURA 2. Inquadramento geologico strutturale. Modificato dalla Carta Geologica del Piemonte alla scala 1:250.000 (Piana et al., 2017).

Le *litologie* presenti nella porzione di bacino del F. Tanaro qui considerato sono rappresentate per il 77% da rocce silicatiche (gneiss, micascisti, quarziti, porfidi, conglomerati, Flysch, etc.) e per il 23% da rocce carbonatiche (calcari e dolomie).

4. CALCOLO DELLE PORTATE DI MASSIMA PIENA

Nel presente lavoro sono state valutate le portate di massima piena con diversi tempi di ritorno nelle sezioni fluviali del F. Tanaro a Ormea (ponte del centro storico), Garessio (ponte di Via Vittorio Emanuele II), Bagnasco (ponte della S.P.490), Nucetto (ponte di Via Caramelli) e Ceva (in corrispondenza della Scuola Materna).

La portata di massima piena è stata calcolata con il Metodo Razionale attraverso la seguente relazione:

$$Q_{max} = k \cdot C \cdot i \cdot A$$

dove:

- Q_{max} è la portata di massima piena del corso d'acqua espressa in m^3/s ;
- k è un fattore adimensionale che tiene conto della non uniformità delle unità di misura. Se A è espressa in km^2 ed i in mm/h , per ottenere la portata in m^3/s bisogna attribuire a k il valore $1/3,6 = 0,278$;
- C è il coefficiente di deflusso;
- i_c è l'intensità della precipitazione critica che provoca la piena (mm/ora);
- A è l'area del bacino a monte della sezione presa in esame (km^2).

Le precipitazioni considerate per valutare le intensità critiche (i_c) sono state estratte dal *GeoPortale ARPA Piemonte - Atlante piogge intense in Piemonte* (Rif. WEB n. 1), sul sito del quale il territorio regionale è suddiviso in celle di lato 250 metri, per ciascuna delle quali è possibile estrapolare i parametri delle precipitazioni intense (a e n) con assegnato tempo di ritorno. Mediando i dati relativi a un numero congruo di celle omogeneamente distribuite in ogni sottobacino del F. Tanaro considerato (corrispondenti a circa un decimo di ogni bacino), sono state ricavate le curve di probabilità pluviometrica rappresentative dei sottobacini ai fini della valutazione delle portate alle relative sezioni di chiusura. Per quantificare i tempi di corrivazione, è stata utilizzata la formula di Giandotti che viene comunemente usata in Italia per bacini con area maggiore di $20 km^2$ e quindi idonea per tutti i bacini considerati nello studio. Infine, i coefficienti di deflusso (C) sono stati mediati sui

Tabella 1. Valori del coefficiente di deflusso C in funzione del tipo di terreno, dell'uso del suolo e della pendenza (Benini, 1990).

Vegetazione e pendenza	Tipi di terreno ¹		
	leggero	medio	compatto
Boschi	<10%	0,13	0,18
	>10%	0,16	0,21
Pascoli	<10%	0,16	0,36
	>10%	0,22	0,42
Coltivi	<10%	0,40	0,60
	>10%	0,52	0,72

¹ Cioè terreni con permeabilità alta (t. leggero), media (t. medio) o bassa (t. compatto).

diversi bacini utilizzando la Tabella n. 1 (Benini, 1990).
Nelle Tabelle 2, 3, 4, 5 e 6, vengono riportati i parametri
utilizzati per la valutazione delle portate di massima piena

alle sezioni di Ormea (ponte del centro storico), Garessio
(ponte di Via Vittorio Emanuele II), Bagnasco (ponte del-
la SP490) e Nucetto (ponte di Via Caramelli).

Tabella 2. Valutazione delle portate di massima piena alla sezione di Ormea.

SEZIONE DI ORMEA									
k	C	i	A	a	n	Calcolo del tc (Giandotti)	Q max		
		mm/ora	km ²						
0,278	0,47	22,02	195	44,384	0,5103	tc (ore)	4,17	Tr 20	561
0,278	0,47	25,98	195	52,386	0,5101	L (km)	26	Tr 50	662
0,278	0,47	28,96	195	58,367	0,5103	h _{media} (m)	1518	Tr 100	738
0,278	0,47	31,91	195	64,328	0,5102	h _{sez} (m)	715	Tr 200	813

Tabella 3. Valutazione delle portate di massima piena alla sezione di Garessio.

SEZIONE DI GARESSIO									
k	C	i	A	a	n	Calcolo del tc (Giandotti)	Q max		
		mm/ora	km ²						
0,278	0,46	19,61	280	45,180	0,5079	tc (ore)	5,45	Tr 20	702
0,278	0,46	23,17	280	53,387	0,5078	L (km)	38	Tr 50	830
0,278	0,46	25,84	280	59,533	0,5078	h _{media} (m)	1380	Tr 100	925
0,278	0,46	28,50	280	65,646	0,5079	h _{sez} (m)	572	Tr 200	1.020

Tabella 4. Valutazione delle portate di massima piena alla sezione di Bagnasco.

SEZIONE DI BAGNASCO									
k	C	i	A	a	n	Calcolo del tc (Giandotti)	Q max		
		mm/ora	km ²						
0,278	0,45	17,20	358	45,331	0,4970	tc (ore)	6,86	Tr 20	770
0,278	0,45	20,30	358	53,508	0,4970	L (km)	52	Tr 50	909
0,278	0,45	22,63	358	59,633	0,4970	h _{media} (m)	1253	Tr 100	1.013
0,278	0,45	24,95	358	65,727	0,4972	h _{sez} (m)	470	Tr 200	1.117

Tabella 5. Valutazione delle portate di massima piena alla sezione di Nucetto.

SEZIONE DI NUCETTO									
k	C	i	A	a	n	Calcolo del tc (Giandotti)	Q max		
		mm/ora	km ²						
0,278	0,45	16,31	376	45,392	0,4830	tc (ore)	7,24	Tr 20	767
0,278	0,45	19,24	376	53,519	0,4831	L (km)	56	Tr 50	905
0,278	0,45	21,43	376	59,600	0,4832	h _{media} (m)	1224	Tr 100	1.008
0,278	0,45	23,61	376	65,658	0,4833	h _{sez} (m)	446	Tr 200	1.110

Tabella 6. Valutazione delle portate di massima piena alla sezione di Ceva.

SEZIONE DI CEVA									
k	C	i	A	a	n	Calcolo del tc (Giandotti)	Q max		
		mm/ora	km ²						
0,278	0,45	15,413	393	45,114	0,4716	tc (ore)	7,66	Tr 20	758
0,278	0,45	18,157	393	53,125	0,4718	L (km)	64	Tr 50	893
0,278	0,45	20,212	393	59,124	0,4719	h _{media} (m)	1196	Tr 100	994
0,278	0,45	22,259	393	65,099	0,4720	h _{sez} (m)	372	Tr 200	1.094

Si ricorda che, dalla verifica idraulica effettuata in Bonasera *et al.* (2020), la sezione di Ceva è risultata insufficiente a contenere piene con tempi di ritorno anche di soli 20 anni.

Ormai ci sono troppe abitazioni esposte in zone pericolose sul fondovalle Tanaro, sia a Ceva sia negli abitati a monte. Si è pertanto pensato che, per ridurre il rischio di alluvione durante gli eventi meteorici estremi, si possa intercettare l'acqua di ruscellamento nella zona di testata, per poi rilasciarla gradatamente una volta passata la piena.

5. PROPOSTA PER LA MITIGAZIONE DEL RISCHIO

A partire dai dati forniti dall'Inventario dei Fenomeni Franosi d'Italia (IFFI), dai dati pluviometrici forniti dall'Arpa Piemonte e dai dati geologici ricavati dalla cartografia prodotta da Vanossi (1972) e considerando quanto ottenuto dalle successive indagini sul terreno appositamente eseguite durante le fasi iniziali dello studio qui presentato, sono stati individuati due siti in cui collocare altrettanti potenziali sbarramenti per la mitigazione del rischio geo-idrologico nell'Alta Val Tanaro: il n. 1 sul Torrente Negrone e il n. 2 sul Torrente Tanarello (Fig. 3).

L'individuazione dei due siti ha tenuto conto dei seguenti criteri:

- *area di intercettazione* delle acque di ruscellamento;
- *visibilità* dai centri abitati o dalle vie di comunicazione;
- *accessibilità* del potenziale cantiere;
- *interferenza degli invasi al colmo* con edifici, vie di comunicazione o altre infrastrutture;

- *interferenza con fenomeni di instabilità* localizzati sui versanti (Fig. 4).

In riferimento a questi criteri, per quanto riguarda l'area di intercettazione delle acque di ruscellamento, lo sbarramento n. 1 chiuderebbe un bacino di 48,8 km² mentre lo sbarramento n. 2 intercetterebbe un bacino di 48,4 km² per un totale di 97,2 km², quindi pari a circa il 25 % del bacino complessivo con chiusura a Ceva. Per quanto concerne l'aspetto paesaggistico, lo sbarramento n. 1 risulterebbe invisibile sia dalle abitazioni di Viozene sia dai collegamenti con Upega (verso monte) e con Ormea (verso valle); lo sbarramento n. 2, essendo situato all'interno della Val Tanarello, la quale è disabitata nel settore medio-basso, non potrebbe essere notato neanche dalla SS 28, che corre oltre l'immissione di questa valle tributaria nel fondovalle principale. Il sito dello sbarramento 1 è accessibile tramite strada sterrata che permette di raggiungere l'alveo del torrente per poi proseguire lungo l'alveo sino a circa 100 m dal sito; il sito dello sbarramento 2 è accessibile tramite strada sterrata, benché sia presente un piccolo tratto da risistemare causa franamento della sede stradale. Infine, gli invasi al colmo, che potenzialmente si verrebbero a creare solo in occasione di eventi estremi, non interferirebbero con le infrastrutture neanche ipotizzando altezze esagerate per gli sbarramenti pari a 125 m (Figg. 4 e 5).

Infine, per quanto riguarda la franosità del territorio, ci si è tenuti il più possibile lontani dai fenomeni gravitativi più importanti della zona, come si può vedere dalle Figure 6 e 7, nelle quali le ubicazioni degli ipotetici sbarramenti

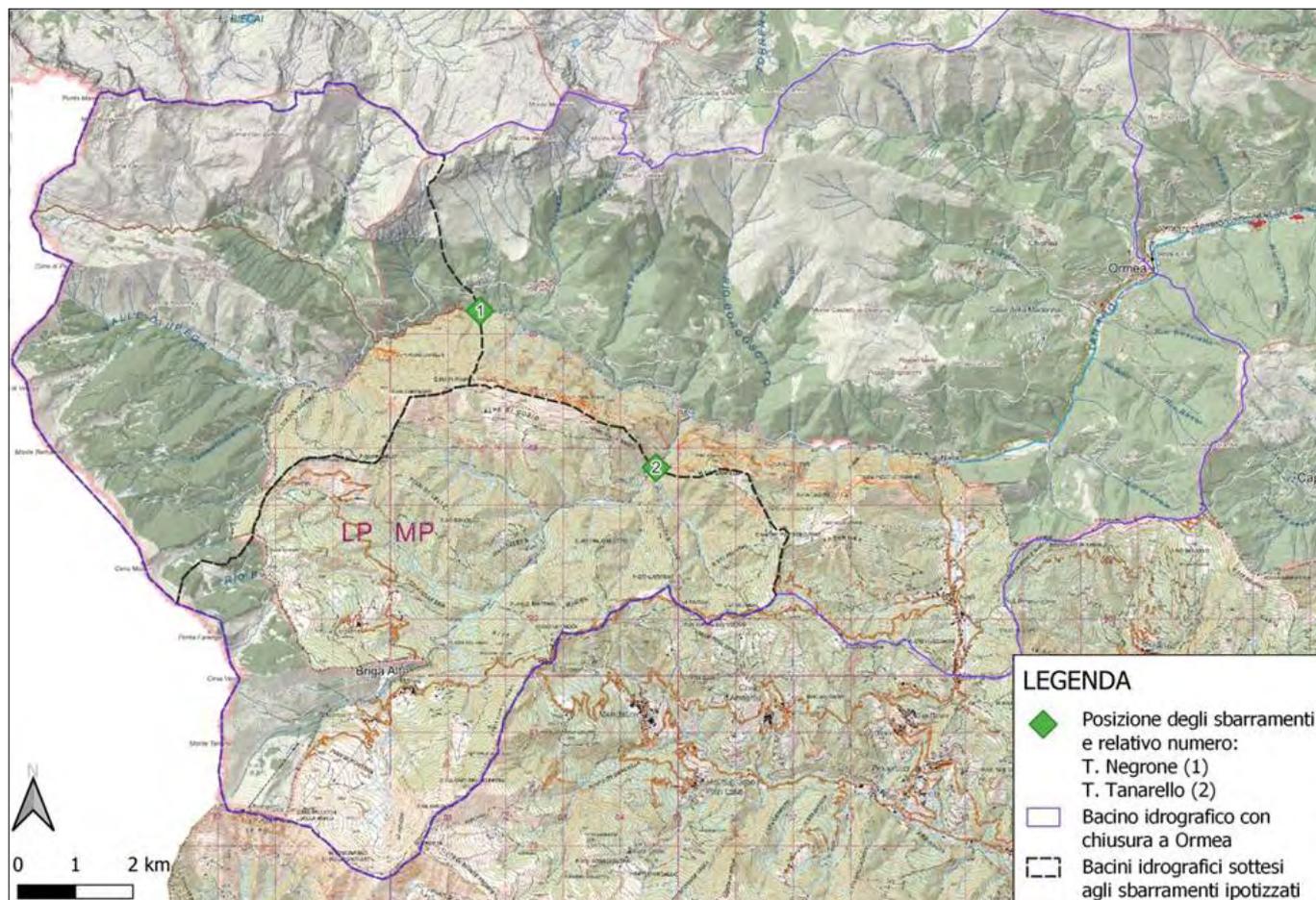


FIGURA 3. Ubicazione dei due potenziali sbarramenti per la mitigazione del rischio geo-idrologico nell'Alta Val Tanaro.

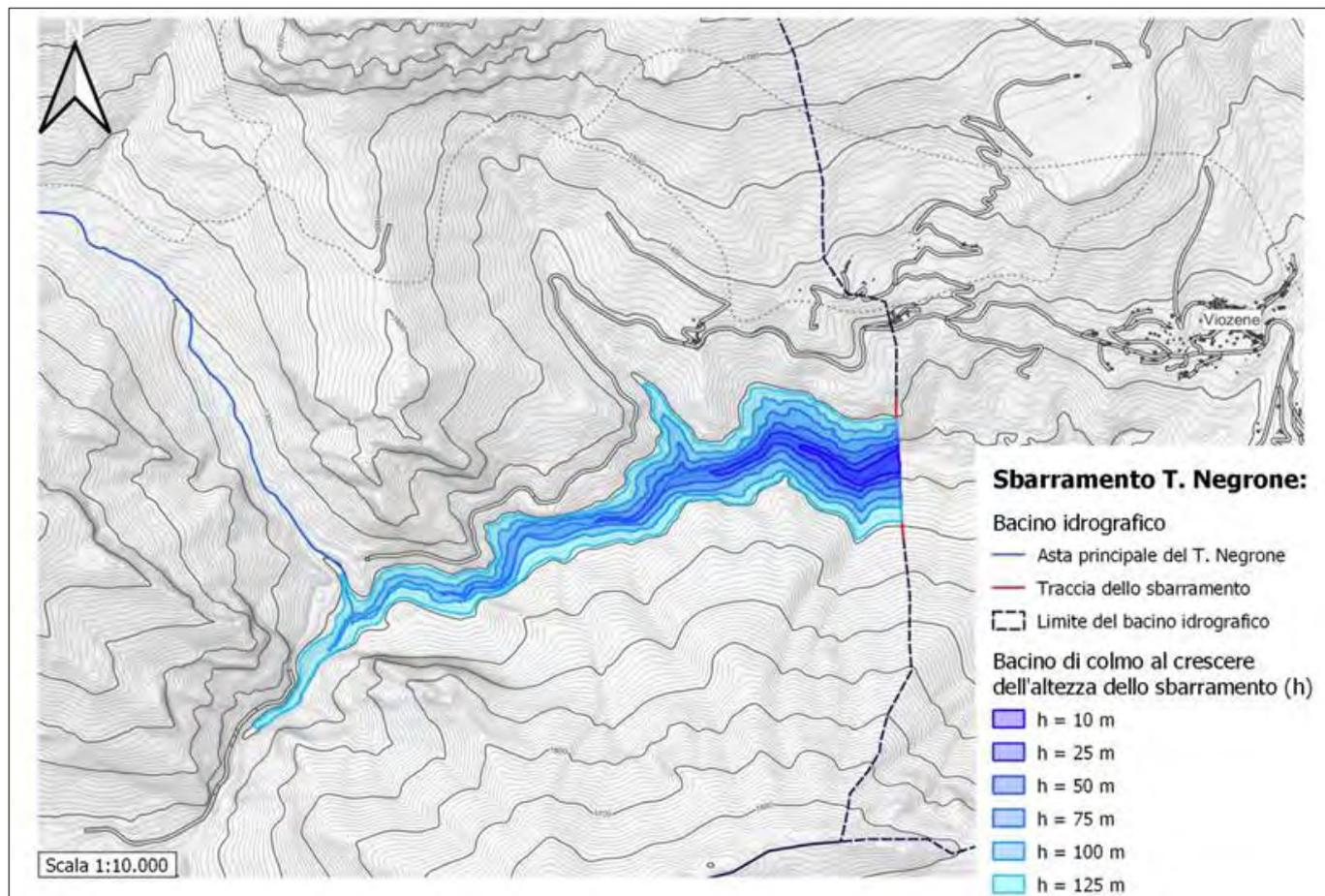


FIGURA 4. Rappresentazione dell'invaso al colmo con uno sbarramento di altezza (H) pari a 125 m sul T. Negrone, senza alcuna interferenza con la S.P. 154.

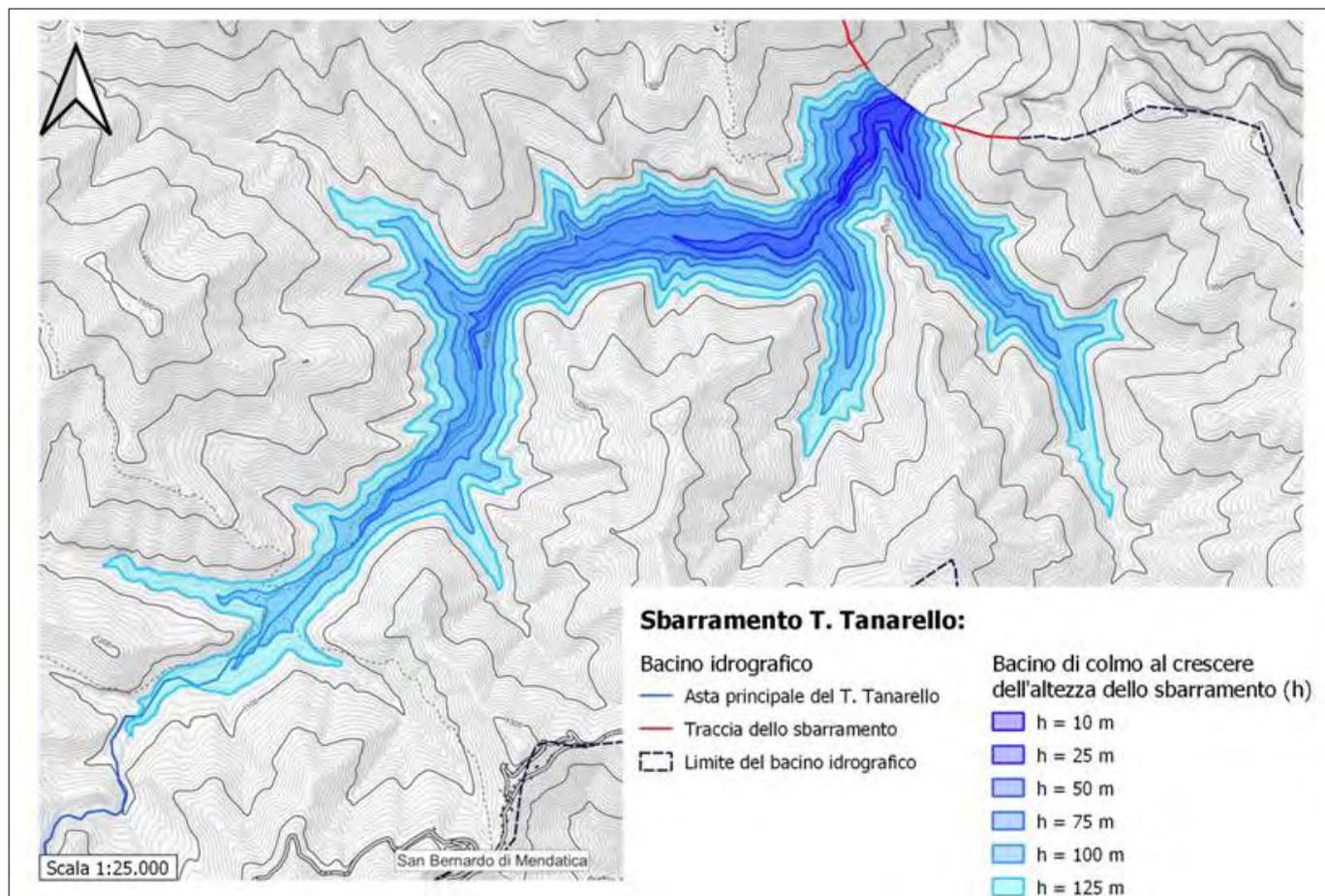


FIGURA 5. Rappresentazione dell'invaso al colmo con uno sbarramento di altezza (H) pari a 125 m sul T. Tanarello, senza alcuna interferenza con infrastrutture e/o strutture antropiche.

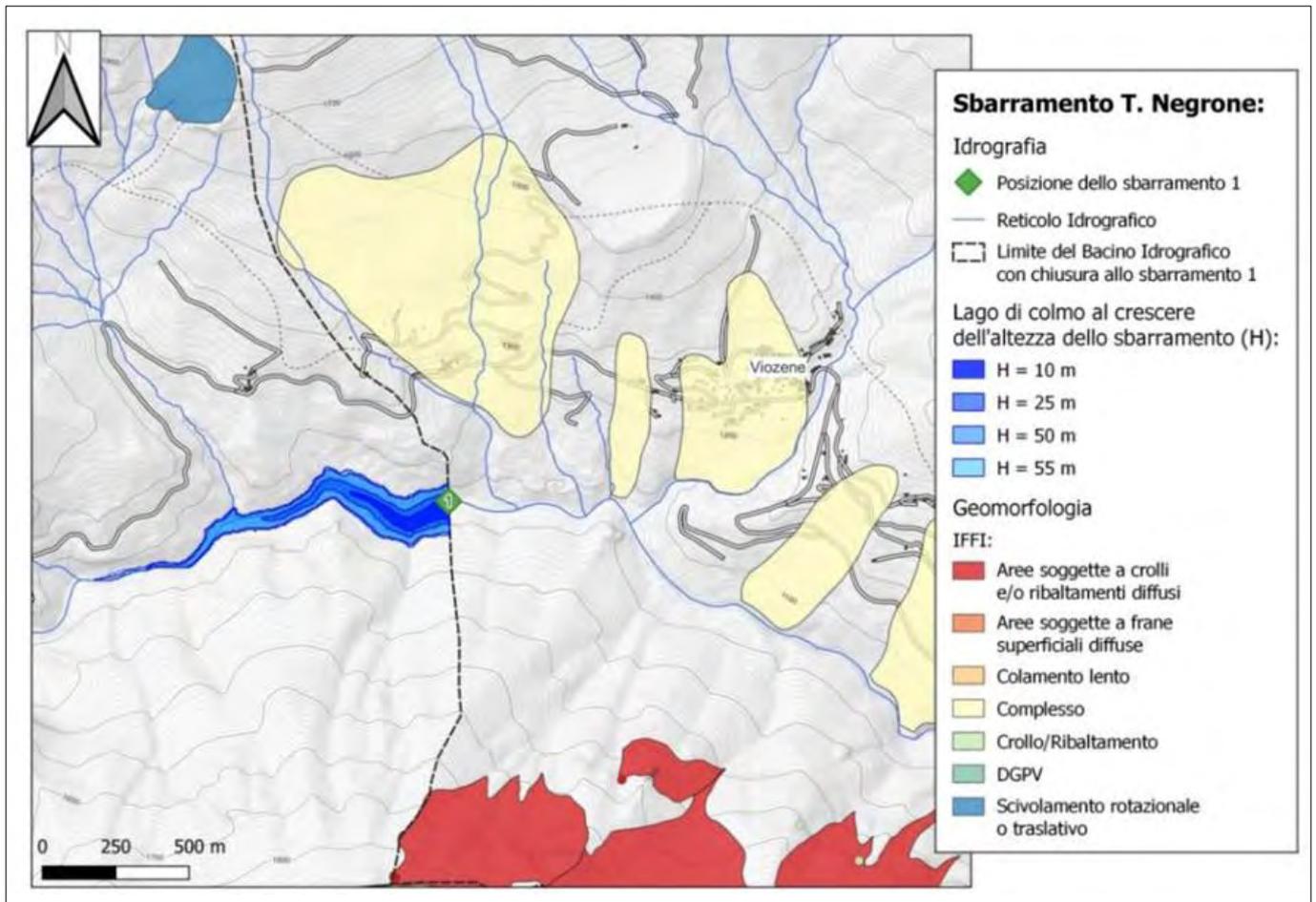


FIGURA 6. Ubicazione dello sbarramento 1 in relazione ai fenomeni gravitativi della zona.

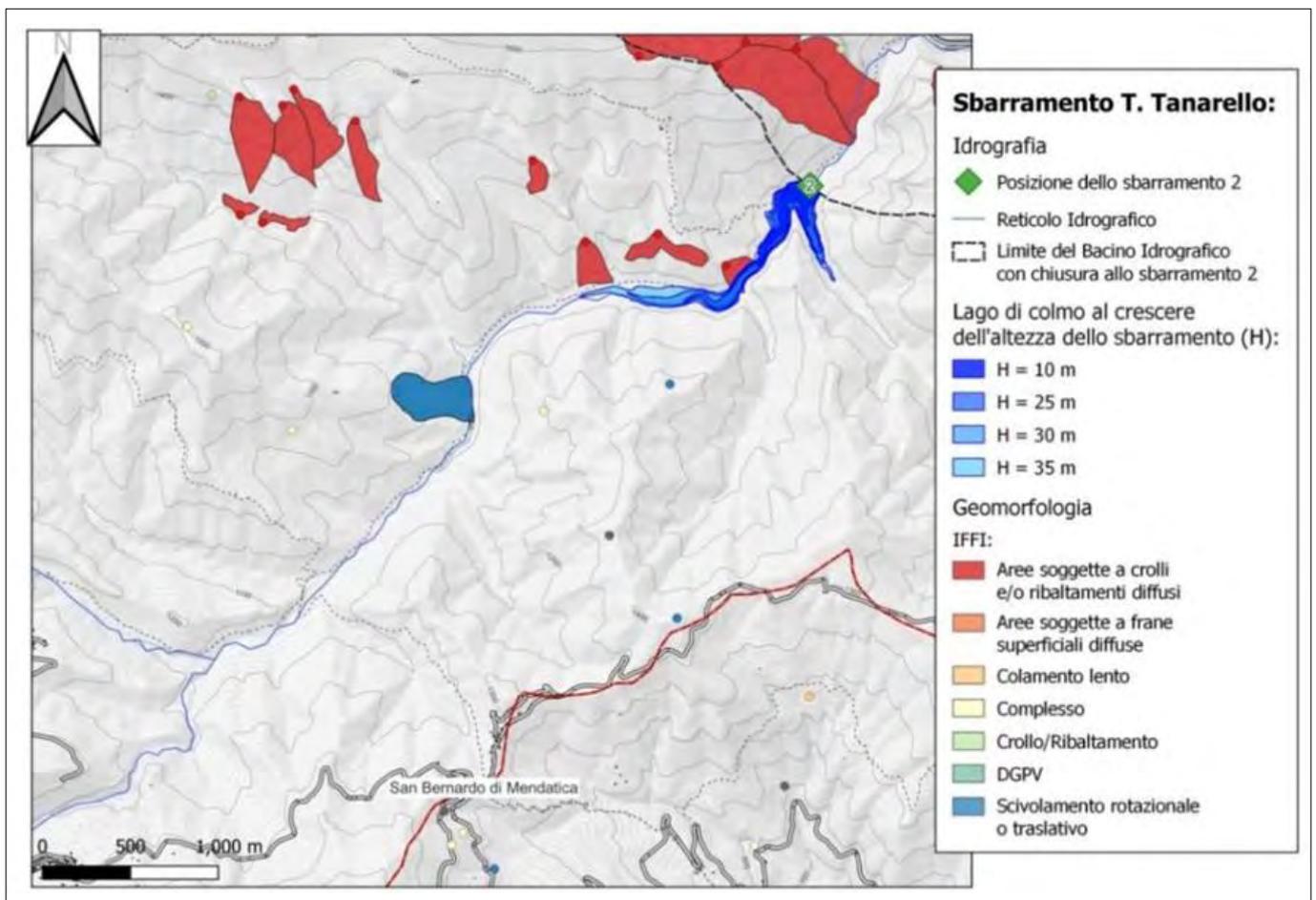


FIGURA 7. Ubicazione dello sbarramento 2 in relazione ai fenomeni gravitativi della zona.

1 e 2 sono riportate sulla cartografia dei fenomeni franosi censiti da ISPRA per le Regioni Piemonte e Liguria (Rif. WEB n. 2).

Note le precipitazioni caratteristiche per ciascun bacino sotteso alle sezioni di controllo citate in precedenza e localizzate presso gli abitati fra Ormea a monte e Ceva a valle, sono state ricavate le portate che tali precipitazioni producono presso i due sbarramenti e i corrispettivi volumi di piena: poiché il valore della portata e del volume crescono con il tempo di ritorno (T_r), si riportano solo i valori relativi al $T_r = 200$ anni in quanto corrispondenti alle condizioni peggiori (Tabb. 7 e 8).

di piena, si è incrementata l'altezza dello sbarramento; viceversa, nel caso in cui il volume dell'invaso fosse eccessivamente superiore, si è ridotta l'altezza. Questi calcoli sono stati svolti utilizzando il software QGIS: la superficie corrispondente al pelo libero del lago di sbarramento è stata ottenuta riclassificando manualmente il DTM regionale con risoluzione 5 m x 5 m in modo da identificare la fascia altimetrica compresa fra la quota minima del lago, corrispondente alla base dello sbarramento, e l'altezza di quest'ultimo. Una volta nota la superficie si è convertito il dato dal formato *raster* al formato vettoriale (*shapefile*), e ritagliato il DTM usando come maschera quest'ultimo file;

Tabella 7. Valutazione delle portate e dei volumi di massima piena allo sbarramento 1 sul T. Negrone.

	Sezione	tc	i	k	Q_{max}	V_{max}
T_r		ore	mm/ora		m^3/s	m^3
200 anni	Ormea	4,17	31,91	0,278	221	3312819
A	Garessio	5,44	28,50	0,278	197	3863562
48,8 km ²	Bagnasco	6,85	24,95	0,278	173	4262008
C	Nucetto	7,24	23,61	0,278	163	4260843
0,51	Ceva	7,66	22,26	0,278	154	4248220

Tabella 8. Valutazione delle portate e dei volumi di massima piena allo sbarramento 2 sul T. Tanarello.

	Sezione	tc	i	k	Q_{max}	V_{max}
T_r		ore	mm/ora		m^3/s	m^3
200 anni	Ormea	4,17	31,91	0,278	167	2511542
A	Garessio	5,44	28,50	0,278	150	2929076
48,4 km ²	Bagnasco	6,85	24,95	0,278	131	3231150
C	Nucetto	7,24	23,61	0,278	124	3230266
0,39	Ceva	7,66	22,26	0,278	117	3220697

Gli sbarramenti previsti sono pertanto stati dimensionati per esser in grado di gestire al meglio il volume di queste piene facendo riferimento alla condizione peggiore, rappresentata dal maggior volume di piena calcolato. In questo modo si ottiene la configurazione ottimale; sono state comunque valutati volumi d'invaso inferiori.

Per il dimensionamento degli sbarramenti si è eseguito un procedimento di tipo iterativo in cui, partendo da una stima iniziale dell'altezza (H) dell'opera, si è ricavato il volume corrispondente, quindi confrontato con il volume di piena di riferimento: nel caso in cui il volume corrispondente al colmo dello sbarramento fosse inferiore al volume

Quindi, applicando al ritaglio di DTM l'algoritmo *raster surface volume*, si sono ottenute la superficie (in m²) della griglia *raster* e il volume (in m³) ad essa sotteso, al di sopra di una certa quota di riferimento la quale nel nostro caso è posta pari alla quota della base dello sbarramento stesso.

I valori della capacità volumetrica degli invasi al crescere dell'altezza del rispettivo sbarramento sono riportati in Tabella 9.

In base ai volumi così ottenuti, la configurazione ottimale per lo sbarramento 1 sul T. Negrone corrisponde a un'altezza di 63 m, mentre per lo sbarramento 2 sul T. Tanarello è di altezza pari a 34 m.

Tabella 9. Diverse opzioni di dimensionamento dei due sbarramenti.

Sbarramento	h (m)	A (m ²)	A invaso colmo (m ²)	V invaso colmo (m ³)
n. 1	10	445	13.900	63.260
	30	2.300	46.700	756.140
	63	7.265	124.775	4.558.630
n. 2	10	280	33.800	207.305
	30	1.475	79.100	1.252.240
	34	2.505	147.175	3.382.060

6. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

La valutazione dell'effetto mitigatore prodotto dagli sbarramenti ipotizzati, si basa sulle seguenti due assunzioni:

1. nel caso di eventi che producano un volume di precipitazioni inferiore al volume degli invasi, gli sbarramenti sono intesi come vere e proprie dighe che trattengono le acque precipitate a monte, per poi rilasciarle gradualmente al termine dell'evento.
2. nel caso di eventi che producano un volume di precipitazioni superiore al volume degli invasi, gli sbarramenti sono intesi come vasche di laminazione, per cui è sempre presente una certa portata in uscita dallo sbarramento, benché comunque inferiore alla portata del corso d'acqua in condizioni naturali.

La prima assunzione è da intendersi realistica nel caso in cui si consideri la configurazione ottimale dei due sbarramenti, dal momento che essa è stata individuata partendo proprio dal volume del deflusso idrico calcolato tenendo conto di un tempo di ritorno di 200 anni. Di fatto, ciò che idealmente accade in questo caso è l'isolamento di una cospicua parte del bacino dell'Alta Val Tanaro, che non contribuisce più al deflusso idrico superficiale e di conseguenza comporta una riduzione delle portate di massima piena attese alle sezioni a valle. Poiché nella pratica non è realistico che queste opere funzionino esattamente come dighe, è comunque stata prevista una portata minima in uscita dagli sbarramenti, valutata facendo riferimento da un lato al Deflusso Minimo Vitale idrologico (DMV_i) del corso d'acqua come valore minimo, e alla portata ammissibile ad una sezione individuata nel F. Tanaro appena a valle della confluenza dei Torrenti Negrone e Tanarello.

Il valore della DMV_i (in m^3/s) è calcolato secondo la seguente relazione (Regione Piemonte, 2021):

$$DMV_i = (k \cdot Q_m \cdot S) / 1.000$$

dove k è un coefficiente tabulato con valore pari a 0,10 per bacini con superficie uguale o inferiore a 50 km^2 , S è la superficie del bacino in km^2 e Q_m è un valore di portata specifica media annua (in $l/s \cdot km^2$) per il corso d'acqua, ricavato secondo la relazione seguente:

$$Q_m = 0,00860 \cdot H + 0,03416 \cdot A - 24,5694$$

In questa relazione H rappresenta la quota media (in m) del bacino e A la sua precipitazione media annua (in mm); quest'ultimo dato è fornito da ARPA Piemonte (Rif. WEB n. 3) ed è approssimabile a 1.300 mm. Utilizzando queste relazioni si ricavano valori di DMV_i di poco inferiori a 0,20 m^3/s : tale portata è quindi estremamente ridotta.

Per quanto riguarda la sezione di controllo (Fig. 8, Tab. 10) alla confluenza, il cui profilo topografico è facilmente estraibile dal DTM regionale usando un qualsiasi software GIS, ha una certa importanza in quanto sul versante sinistro è collocata la Strada Provinciale S.P. 154 che collega Ormea con le frazioni a monte, quale ad esempio Viozene, e Upega più a occidente.

Tenendo conto di un margine cautelativo per cui la sezione idraulica è stata chiusa 1 m più in basso rispetto all'effettiva quota della S.P. 154, la sezione appare in grado di gestire una portata massima ammissibile pari a 1.553 m^3/s : si tratta di un valore considerevole.

Tabella 10. Parametri di riferimento per la sezione idraulica di controllo.

Area	Perimetro bagnato	Pendenza	n di Manning	Portata ammissibile
m^2	m	m/m	-	m^3/s
372	55,3	0,036	0,162	1.553

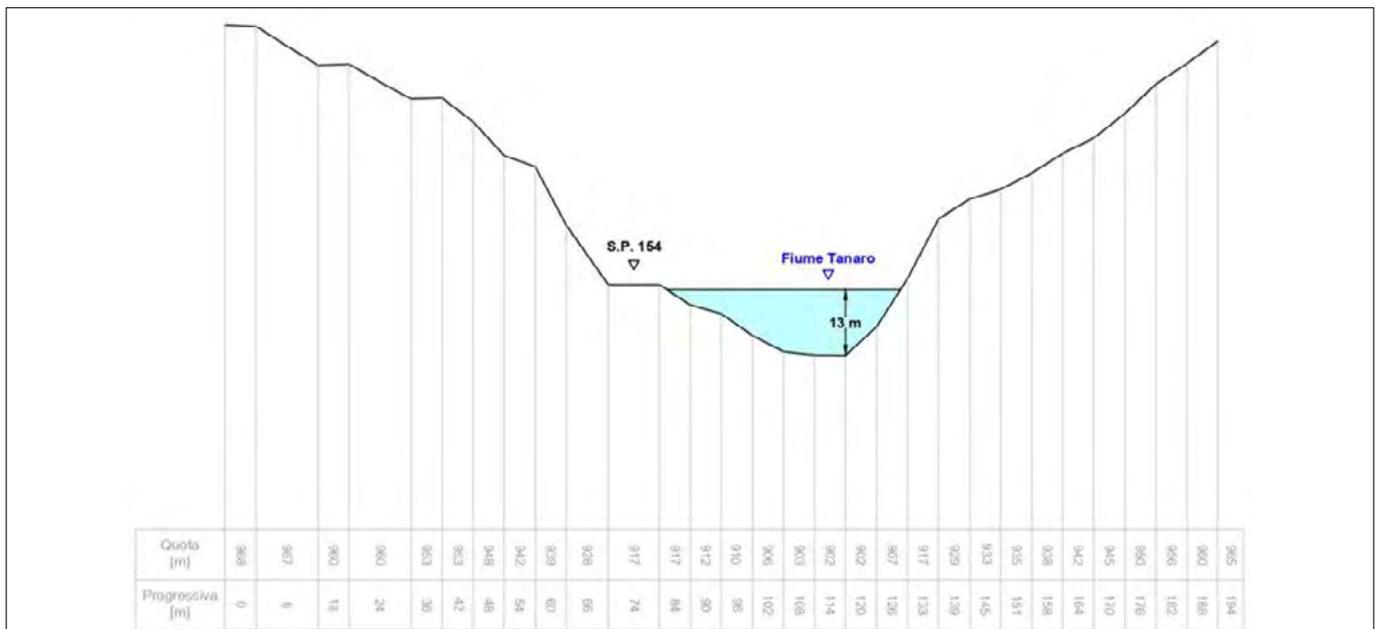


FIGURA 8. Rappresentazione grafica della sezione idraulica di controllo collocata nel F. Tanaro appena a valle della confluenza del T. Tanarello col T. Negrone.

Tabella 11. Effetto di mitigazione delle portate di massima piena considerando la configurazione ottimale dei due sbarramenti: H = 63 m sul T. Negrone e H = 34 m sul T. Tanarello; le portate in uscita considerate sono rispettivamente di 21 m³/s e 17 m³/s.

SEZIONE	Tr	Q _{max} senza sbarramenti	Q _{max} con sbarramenti	Mitigazione
	anni	m ³ /s	m ³ /s	%
ORMEA	200	813	458	44
GARESSIO	200	1020	709	30
BAGNASCO	200	1117	858	23
NUCETTO	200	1110	869	22
CEVA	200	1093	870	20

Tabella 12. Effetto di mitigazione delle portate di massima piena nel caso in cui si consideri solamente lo sbarramento con H = 34 m sul T. Tanarello; la portata in uscita è sempre di 17 m³/s.

SEZIONE	Tr	Q _{max} senza sbarramenti	Q _{max} con sbarramenti	Mitigazione
	anni	m ³ /s	m ³ /s	%
ORMEA	200	813	658	19
GARESSIO	200	1020	886	13
BAGNASCO	200	1117	1010	10
NUCETTO	200	1110	1011	9
CEVA	200	1093	1003	8

Tenuto conto di questi due aspetti, si è ricavato un valore della portata in uscita per i due sbarramenti in condizioni ottimali: per lo sbarramento n. 1, sul T. Negrone, la portata in uscita è pari a 21 m³/s, mentre per lo sbarramento n. 2, sul T. Tanarello, è pari a 17 m³/s. Questi valori sono assolutamente ammissibili presso la sezione alla confluenza oltre che decisamente superiori al valore di DMV_i e sono stati individuati in quanto corrispondenti a circa il 10% del valore massimo calcolato per la portata in ingresso ai due sbarramenti.

Nella Tabella 11 e nelle successive si riporta il confronto delle portate di massima piena attese alle sezioni di controllo, con e senza le opere di mitigazione: per semplicità rappresentativa si riporteranno solamente i valori corrispondenti a un evento con tempo di ritorno di 200 anni.

Questa prima simulazione mette in evidenza che, con i due sbarramenti in funzione, le portate di massima piena nelle sezioni prese in esame verrebbero ridotte di percentuali che variano tra circa il 44% alla sezione di Ormea a circa il 20% presso la sezione di controllo di Ceva, alla chiusura del bacino analizzato.

Dal momento che realizzare la configurazione ottimale comporta l'edificazione di due sbarramenti di notevoli dimensioni, pari a 63 m di altezza nel T. Negrone e 34 m nel T. Tanarello, si sono svolte anche altre simulazioni che tengano conto della realizzazione di un solo sbarramento o di due sbarramenti, ma con altezza (H) non superiori a 30-35 m.

La Tabella 12 riassume gli effetti della realizzazione del solo sbarramento da 34 m sul T. Tanarello.

Per il T. Negrone, al contrario, si ricade per forza nell'assunzione 2. In questo caso è richiesto il calcolo di una por-

tata in uscita (Q_{out}) ottimale. Nel caso delle vasche di laminazione, il coefficiente di laminazione (η) è pari al rapporto fra la portata in uscita e la portata in ingresso (Q_{in}), secondo la seguente relazione:

$$\eta = Q_{out} / Q_{in}$$

Dalla definizione si evince che l'effetto di laminazione è tanto più significativo e di conseguenza l'opera efficiente, tanto più piccolo è il valore di η . Per sbarramenti e dighe si può però correlare tale coefficiente con i volumi di piena (V_{piena}) e dell'invaso (V_{invaso}):

$$\eta = 1 - (V_{invaso} / V_{piena})$$

Le due definizioni sono dunque correlabili (MAJONE, 1995): pertanto, conoscendo la portata in ingresso, il volume di piena e il volume dell'invaso si può calcolare la portata in uscita che garantisca il minimo coefficiente di laminazione, cioè la massima efficienza. La portata in ingresso corrisponde alla portata di massima piena attesa allo sbarramento, la quale è già nota così come il tempo di corrivazione: è quindi possibile calcolare il volume della piena. Invertendo l'ultima relazione, si ricava quindi:

$$Q_{out} = \eta \cdot Q_{in} = [1 - (V_{invaso} / V_{piena})] \cdot Q_{in}$$

Con il volume dell'invaso noto, è calcolabile la portata in uscita. Siccome, facendo riferimento alle diverse sezioni di controllo, i volumi di piena cambiano, anche le portate in uscita necessarie a gestirle cambieranno: di conseguenza,

come per i volumi di piena durante la fase di dimensionamento degli sbarramenti ottimali, anche in questa fase si è scelto di considerare i valori massimi richiesti. Nelle tabelle 13, 14 e 15 si riassumono le simulazioni eseguite con il metodo appena descritto.

Per completezza si riportano infine (Tabella 16) gli effetti di un solo sbarramento di 63 m d'altezza, localizzato sul T. Negrone; in questo caso, vale l'assunzione 1, per cui non è necessario eseguire il calcolo dell'efficienza di laminazione della piena.

Tabella 13. Effetto di mitigazione delle portate di massima piena nel caso in cui si consideri solamente uno sbarramento con $H = 30$ m sul T. Negrone: portata in uscita $171 \text{ m}^3/\text{s}$.

SEZIONE	Tr	Q_{\max} <i>senza sbarramenti</i>	Q_{\max} <i>con sbarramenti</i>	Mitigazione
	anni	m^3/s	m^3/s	%
ORMEA	200	813	760	7
GARESSIO	200	1020	994	3
BAGNASCO	200	1117	1124	0
NUCETTO	200	1110	1110	0
CEVA	200	1093	1094	0

Tabella 14. Effetto di mitigazione delle portate di massima piena nel caso in cui si consideri solamente uno sbarramento con $H = 30$ m sul T. Tanarello: portata in uscita $37 \text{ m}^3/\text{s}$.

SEZIONE	Tr	Q_{\max} <i>senza sbarramenti</i>	Q_{\max} <i>con sbarramenti</i>	Mitigazione
	anni	m^3/s	m^3/s	%
ORMEA	200	813	677	17
GARESSIO	200	1020	905	11
BAGNASCO	200	1117	1030	8
NUCETTO	200	1110	1030	7
CEVA	200	1093	1023	7

Tabella 15. Effetto di mitigazione delle portate di massima piena nel caso in cui si considerino entrambi gli sbarramenti con $H = 30$ m.

SEZIONE	Tr	Q_{\max} <i>senza sbarramenti</i>	Q_{\max} <i>con sbarramenti</i>	Mitigazione
	anni	m^3/s	m^3/s	%
ORMEA	200	813	627	23
GARESSIO	200	1020	879	14
BAGNASCO	200	1117	1030	8
NUCETTO	200	1110	1030	7
CEVA	200	1093	1023	7

Tabella 16. Effetto di mitigazione delle portate di massima piena nel caso in cui si consideri un solo sbarramento sul T. Negrone con $H = 63$ m: portata in uscita pari a $21 \text{ m}^3/\text{s}$.

SEZIONE	Tr	Q_{\max} <i>senza sbarramenti</i>	Q_{\max} <i>con sbarramenti</i>	Mitigazione
	anni	m^3/s	m^3/s	%
ORMEA	200	813	610	25
GARESSIO	200	1020	844	17
BAGNASCO	200	1117	974	13
NUCETTO	200	1110	977	12
CEVA	200	1093	972	11

Confrontando i risultati riportati nelle precedenti tabelle si possono trarre le seguenti considerazioni conclusive.

In primo luogo, dei due bacini, è quello del T. Negrone che contribuisce in modo maggioritario: infatti isolandolo completamente con uno sbarramento da 63 m di altezza, si mitigano le portate di massima piena attese alle varie sezioni di controllo di un valore compreso fra il 25% e l'11%. Tuttavia la proibitiva altezza dello sbarramento impone serie difficoltà, anche e soprattutto dal punto di vista economico. Si noti però come la realizzazione di sbarramenti di dimensioni più ragionevoli sul T. Negrone abbia un effetto mitigatorio irrisorio, come testimoniato dall'esempio qui riportato di uno sbarramento alto 30 m, il quale riduce le portate di massima piena alle sezioni di controllo di valori compresi fra 7% e il 3%, ma solamente per le due sezioni più prossime allo sbarramento stesso (Ormea e Garessio), in merito al fatto che la portata in uscita dallo sbarramento per poter gestire le piene con durate maggiori facenti riferimento alle altre sezioni di controllo (Bagnasco, Nucetto e Ceva) dovrebbe esser pari alla portata in ingresso. Di fatto questo rende del tutto inutile una tale opera.

Ben più promettente è il bacino del T. Tanarello, il quale per altro appare meglio disposto dal punto di vista geografico a catturare le precipitazioni. Per questo secondo bacino le condizioni ottimali di dimensionamento dello sbarramento si raggiungono con altezze molto più ragionevoli, pari a 34 m: un tale sbarramento, isolando il bacino del T. Tanarello dal resto del bacino dell'Alta Val Tanaro, produrrebbe una mitigazione delle portate di piena del 19% alla sezione di controllo di Ormea, la più a monte, e del 8% alla sezione di Ceva, la più a valle. Anche considerando altezze inferiori, pari a 30 m, lo sbarramento produrrebbe una mitigazione significativa e variabile fra il 17% e il 7%.

Per questi motivi, la realizzazione di interventi nel bacino del T. Tanarello è da intendersi come prioritaria.

RICONOSCIMENTI

Questo lavoro riassume i risultati delle attività del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Torino, nell'ambito dello "Studio preliminare alla realizzazione di sbarramenti nella zona a monte di Ormea per la mitigazione del rischio geo-idrologico nell'Alta Val Tanaro". Tale progetto è stato finanziato dalla Fondazione Cassa di Risparmio di Cuneo con bando della Sessione Erogativa Generale 2021.

BIBLIOGRAFIA

GIUSEPPE BENINI (1990), *Sistemazioni Idraulico Forestali*. UTET Torino. Collana: Scienze Forestali e Ambientali. ISBN: 88-02-04340-X. EAN: 9788802043401. pp. XXIV-284.

MAURO BONASERA, ANNA MARIA FERRERO, GIANDOMENICO FUBELLI, LUCIANO MASCIOTTO, ADRIANO NOCERA, ELEONORA VIVIANI (2020), *Pericolosità idrologica della Città di Ceva (CN)*. In Atti del Seminario Nazionale "Analisi e attività di mitigazione dei processi geo-idrologici in Italia". Geologia dell'Ambiente, Periodico trimestrale della SIGEA - Società

Italiana di Geologia Ambientale, Supplemento al N. 1/2020, Anno XXVIII - gennaio-marzo 2020, 105-112, ISSN 1591-5352.

UGO MAIONE (1995), *Le piene fluviali*. La Goliardica Pavese. EAN: 9788878302198. ISBN: 8878302198. pp. 218.

FABRIZIO PIANA, GIANFRANCO FIORASO, ANDREA IRACE, PIETRO MOSCA, ANNA D'ATRI, LUCA BARALE, PAOLO FALLETTI, GIOVANNI MONEGATO, MICHELE MORELLI, SERGIO TALLONE, BARTOLOMEO 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.

MARIO VANOSI (1972), *Rilevamento geologico ed analisi strutturale delle dorsali del M. Mongioie e del M. Cimone (Brianzonese Ligure)*. Atti dell'istituto geologico dell'Università di Pavia, 29-72.

REGIONE PIEMONTE (2021), Regolamento regionale n. 14 del 28/12/2021 - Disposizioni per l'implementazione del deflusso ecologico - Allegato B. B.U. 28 dicembre 2021, 5° suppl. al n. 51.

RIFERIMENTI WEB

Rif. WEB n. 1 - http://webgis.arpa.piemonte.it/atlante_pioggia_webapp/

Rif. WEB n. 2 - <https://idrogeo.isprambiente.it/app/iffi>

Rif. WEB n. 3 - <http://relazione.ambiente.piemonte.it/fif/webapp.php?id=290>