

REGIONE PIEMONTE

PROVINCIA DI CUNEO



Comune di Caraglio

Studio idraulico di approfondimento delle condizioni di pericolosità
da esondazione del torrente Grana nel tratto compreso tra la zona
Cascina dei Prati e il ponte della SP 422

Relazione finale

Il Tecnico
Ing. A. Selleri



ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI CUNEO
776 Dott. Ing. Andrea Selleri

CUNEO, settembre 2024



PIANIFICAZIONE E GESTIONE DELLA RISORSA

ACQUA

PROGETTAZIONE IDRAULICA

VIA RAFFAELLO, 1 - CUNEO

TEL 0171 631740 - FAX 0171 630732

E-MAIL STUDIO@PANTIDRO.IT

Indice

1. PREMESSA.....	4
2. DATI DISPONIBILI.....	5
3. RILIEVO TOPOGRAFICO.....	5
3.1 Rilievo dell'alveo con strumentazione GNSS.....	6
3.2 Rilievo dei ponti con stazione totale.....	7
4. ANALISI IDROLOGICA.....	8
4.1 Idrografia.....	8
4.2 Calcolo del picco di piena.....	9
4.3 Studi pregressi.....	9
4.3.1 Analisi del rischio idraulico nella fascia fluviale del torrente Grana (Studi per l'adeguamento al PAI del Comune di Caraglio).....	10
4.3.2 Progetto di integrazione al piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) – Rete idrografica minore naturale di pianura – Bacino del Torrente Grana-Mellea.....	10
4.3.3 Studio idraulico con modellazione bidimensionale in moto vario sui torrente Maira e Grana-Mellea.....	10
4.3.4 Confronto.....	11
4.4 Analisi statistica.....	12
4.4.1 Massima portata al colmo a Monterosso Grana.....	12
4.4.2 Massima portata al colmo a Caraglio.....	14
4.5 Approccio cinematico.....	15
4.5.1 Portata liquida.....	15
4.5.2 Coefficiente di deflusso.....	16
4.5.3 Tempo di corrivazione.....	17
4.5.5 Equazione monomia.....	17
4.5.6 Metodo TCEV.....	18
4.5.7 Coefficiente di ragguaglio.....	19
4.5.8 Risultati.....	19
4.6 Confronto tra i risultati.....	20
4.7 Idrogramma di piena.....	20
5. MODELLO IDRAULICO.....	21
5.1 Morfologia e granulometria d'alveo.....	22
5.1.1 Caratteristiche morfologiche.....	22
5.1.2 Diametri caratteristici.....	22

5.1.3 Determinazione della scabrezza.....	23
5.2 Modello monodimensionale.....	25
5.3 Modello bidimensionale.....	26
5.4 Modello misto.....	27
6. ANALISI DEI RISULTATI.....	27
7. VALUTAZIONE DELLE CONDIZIONI DI RISCHIO.....	30
7.1 Tratto di monte.....	30
7.2 Tratto di valle.....	32
8. OPERE DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO.....	34
8.1 Rifacimento del ponte della Vallera.....	34
8.1.1 Risultati del modello.....	36
8.1.2 Cronoprogramma.....	36
8.1.3 Stima dei costi.....	36
8.2 Argine golenale in sponda sinistra.....	37
8.2.1 Risultati del modello.....	38
8.2.2 Cronoprogramma.....	39
8.2.3 Stima dei costi.....	40
9. AZIONI DI MONITORAGGIO E PROTEZIONE CIVILE.....	40

1. PREMESSA

Nel contesto della variante strutturale al PRGC in corso, il Comune di Caraglio ha recepito, a livello di Progetto Preliminare, gli esiti dello studio del rischio idraulico promosso da AIPo sui torrenti Maira e Grana Mellea del 2017, aggiornando di conseguenza la Carta dei Dissesti dello strumento urbanistico a suo tempo approvato.

Le fasce fluviali di delimitazione del rischio, però, si interrompono in corrispondenza di Via Divisione Cuneense, in quanto non di competenza AIPo, e non coprono pertanto l'intera porzione del territorio comunale interessata dai fenomeni esondativi del torrente Grana.

A seguito di alcune osservazioni al Progetto Preliminare pervenute nel periodo di pubblicazione, il Comune di Caraglio ha ritenuto opportuno fare eseguire verifiche di carattere idraulico per il tratto di torrente non coperto dalle fasce, al fine di confrontarle con le risultanze dello studio AIPo del 2017.

L'Amministrazione ha quindi affidato allo Studio Pantidro, qui rappresentato dallo scrivente ing. Andrea Selleri, uno studio idraulico relativo al torrente Grana nel tratto, sul territorio del Comune di Caraglio, compreso tra la zona Cascina dei Prati e il ponte della SP 422 (Via Divisione Cuneense), con l'obiettivo di approfondire le condizioni di rischio, anche mediante il confronto con lo studio AIPo, e così zonizzare con maggior precisione il territorio sopra identificato.

L'attività prevede, in sintesi:

1. acquisizione del DTM ministeriale disponibile
2. rilievi a terra lungo l'asta del torrente Grana; con almeno 10 sezioni d'alveo, oltre ai ponti;
3. analisi idrologica e definizione dell'idrogramma di piena;
4. modello idraulico bidimensionale;
5. valutazione delle condizioni di rischio connesse con la dinamica fluviale, evidenziando in particolare gli elementi di maggiore dettaglio rispetto allo studio AIPo;
6. indicazione di eventuali opere di mitigazione del rischio, con relativo

- cronoprogramma e stima dei costi;
7. azioni di monitoraggio e protezione civile da prevedere sia nel transitorio sia ad opere eseguite;
 8. supporto allo studio urbanistico estensore della variante di PRGC.
- Nel seguito viene descritta l'attività svolta.

2. DATI DISPONIBILI

Il modello digitale del terreno (DTM) utilizzato è quello realizzato dalla Regione Piemonte (ripresa aerea ICE 2009-2011) a copertura dell'intero territorio regionale, acquisito con metodologia uniforme (LIDAR) in standard di livello 4. La risoluzione della griglia (passo) è di 5 m, con una precisione in quota di ± 0.30 m (± 0.60 m nelle aree di minor precisione, corrispondenti alle aree boscate e densamente urbanizzate).

Si sottolinea che la decisione di adottare questo DTM, anziché quello ministeriale, è legata a:

- maggiore dettaglio del DTM regionale (5 metri di griglia contro 20 per quello ministeriale);
- aggiornamento più recente (2009-2011 contro 2001);
- tecnologia più affidabile (LIDAR contro interpolazione di curve di livello della cartografia IGM).

3. RILIEVO TOPOGRAFICO

Il rilievo è stato finalizzato a caratterizzare l'alveo inciso, le sponde e le aree golenali del tratto di torrente Grana compreso tra la zona Cascina dei Prati e il ponte della SP 422 per uno sviluppo di circa 2.500 metri.

A partire dalla base DTM è stato effettuato un rilievo topografico di precisione utilizzando due diverse tecnologie, parzialmente accoppiate:

- GNSS
- Stazione totale laser

3.1 Rilievo dell'alveo con strumentazione GNSS

Per la definizione dell'alveo bagnato e delle sponde è stato utilizzato un ricevitore GNSS di nuova generazione, in modalità Real Time Kinematic (RTK). Il sistema di posizionamento GNSS (Global Navigation Satellite System) è un sistema di navigazione basato sulla ricezione di segnali radio emessi da una costellazione di satelliti artificiali in orbita attorno alla Terra: oltre al sistema statunitense GPS, comprende quello russo GLONASS, europeo GALILEO e cinese COMPASS/BEIDOU.

Alla modalità di correzione degli errori (ancora in uso) detta base-rover, che utilizza due ricevitori accoppiati e determina l'errore mediante posizionamento differenziale DGPS sul tracciamento di un medesimo satellite, si è affiancata recentemente una nuova modalità denominata RTK, che sfrutta, dove esistenti, le reti di stazioni permanenti GNSS che forniscono correzioni in tempo reale di area e consentono rilevazioni con un solo ricevitore (rover). I dati vengono acquisiti dal software di gestione del ricevitore mediante collegamento Internet ad un server che gestisce centralmente i dati provenienti dalla rete.

Il D.P.C.M. 10 novembre 2011 ha adottato il sistema di riferimento della Rete Dinamica Nazionale (RDN), aggiornando la rete IGM95 precedentemente in uso, come materializzazione del nuovo sistema di riferimento italiano, costituito dalla realizzazione ETRF2000 (all'epoca 2008.0) del Sistema di riferimento geodetico europeo ETRS89, in linea con la Direttiva Europea INSPIRE.

La Regione Piemonte dal 2011 si è dotata di una rete di stazioni permanenti, denominata PiemonteGNSS e composta da 15 stazioni permanenti, ed inquadrata nel sistema di riferimento ETRF2000-RDN. Le rete è stata quindi integrata con quelle di Valle d'Aosta e Lombardia creando il Servizio di Posizionamento Interregionale GNSS SPIN3.

L'utilizzo della tecnologia GNSS-RTK si è resa necessaria nel caso in esame, come integrazione della rete DTM regionale, al fine di dettagliare l'alveo inciso anche nelle aree bagnate, considerato che altre tecnologie (LIDAR, laser scanner, fotogrammetria da drone) evidentemente non sarebbero in grado di rilevare l'alveo bagnato, e il rilievo con stazione totale è stato scartato (ad

esclusione dei ponti) in quanto eccessivamente oneroso e tendenzialmente meno preciso, considerato che il rilievo multistazione con poligonale chiusa su un percorso di 2.500 metri comporta necessariamente un accumulo di errori che la compensazione in post-processing dei dati rilevati riesce a correggere solo parzialmente.

L'acquisizione di ciascun punto prevede il posizionamento su una linea virtuale individuata come sezione (procedendo da monte verso valle, a distanza di circa 30÷50 metri dalla precedente) scegliendo il punto possibilmente in corrispondenza di salti morfologici in modo da caratterizzare al meglio la geometria (che ovviamente interpola linearmente tra un punto e l'altro).

Una volta posizionata la palina si attende che il rover acquisisca il segnale dai satelliti (in genere qualche secondo), fornendo la precisione voluta (± 2 cm medio e 5 cm massimo sul dato planimetrico e su quello altimetrico). L'altimetria viene quindi controllata con il dato proveniente dalla griglia DTM, precaricata sul software di acquisizione.

Il rilievo ha comportato l'acquisizione di circa 650 punti, su 63 stazioni, cioè mediamente una ogni 40 metri. Il bando di gara richiedeva il rilievo di un minimo di 10 sezioni, mentre nel rilievo relativo allo studio AIPo ne sono state effettuate una ogni 500 metri, da cui si desume un valore ipotetico di 5 sezioni nel tratto in esame.

L'alveo inciso si presenta monocursale, prismatico con sponde quasi ovunque ripide.

3.2 Rilievo dei ponti con stazione totale

La tecnologia GNSS non consente il rilievo dei tre ponti, per i quali è stata utilizzata una stazione totale laser dotata di modalità reflectorless (senza prisma riflettente). Al fine di agganciare i punti rilevati con il resto del rilievo sono stati acquisiti diversi punti anche con tecnologia GNSS in modo da attribuire all'intera nuvola di punti la corretta posizione in coordinate assolute con rototraslazione degli assi cartesiani relativi al rilievo di partenza.

Per ognuno dei tre ponti sono stati rilevati circa 30 punti, comprensivi di impalcato, pile ed estradosso.

In allegato si presenta la planimetria del rilievo complessivo con indicazione delle sezioni.

4. ANALISI IDROLOGICA

All'interno del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) di cui alla Legge 18.05.1989, n. 183, art. 17, comma 6ter, adottato con deliberazione n. 18 del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del Fiume Po in data 26.04.2001 è contenuta una *“Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica”*, a cui nel seguito della trattazione ci si riferisce per brevità con il termine Direttiva: è il documento che ha guidato l'analisi idrologica descritta in questo capitolo.

4.1 Idrografia

Il torrente Grana nasce dalla Fonte Negra in Comune di Castelmagno ai piedi del Monte Tibert, a quota 2.300 m s.l.m., percorrendo la valle omonima in direzione ovest-est, dal colle del Vallonetto fino allo sbocco nella pianura cuneese presso l'abitato di Caraglio. Nel suo tratto vallivo il T. Grana riceve i contributi di diversi rii laterali tra i quali i principali sono il Rio di Narbona in sinistra ed il Rio di San Pietro in destra.

Il T. Grana è un affluente di destra del T. Maira (a sua volta secondo principale affluente di destra del Fiume Po) nel quale confluisce poco a monte dell'abitato di Cavallermaggiore.

Il bacino idrografico del T. Grana si inserisce tra i più importanti bacini del T. Maira (in destra) e T. Stura di Demonte (in sinistra) senza raggiungere lo spartiacque italo-francese.

All'inizio del tratto di alveo in esame, a sud dell'abitato di Caraglio, il bacino del T. Grana ha un'estensione di 145 km². I valori caratteristici del bacino imbrifero nel tratto in esame sono riportati nella tabella seguente:

Parametri	T.Grana
S (km ²)	145
L (km)	26
H _{max} (m s.l.m.)	2.615
H _{min} (m s.l.m.)	600
H _{media} (m s.l.m.)	1.425

Tab. 4.1 - Parametri caratteristici del bacino di riferimento

in cui:

- S = superficie del bacino
- L = lunghezza dell'asta principale
- H_{max} = altitudine massima del bacino
- H_{min} = altitudine della sezione di chiusura del bacino
- H_{med} = altitudine media riferita alla sezione di chiusura

4.2 Calcolo del picco di piena

In base a quanto indicato nella Direttiva e all'art. 10 delle Norme di attuazione del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI), il calcolo della portata di piena con tempo di ritorno T=200 anni sul bacino idrografico del T. Grana può essere effettuato con due diversi approcci:

- **metodo diretto:** analisi statistica dei dati registrati, utilizzabile per i bacini come quello in esame, per i quali si hanno a disposizione valori di portata di piena per un lungo periodo di osservazione
- **metodo indiretto:** modello cinematico afflussi-deflussi a parametri concentrati

4.3 Studi pregressi

Gli studi pregressi riportanti le elaborazioni idrologiche (portate ed idrogrammi di piena) sono riassunti nel seguito.

4.3.1 Analisi del rischio idraulico nella fascia fluviale del torrente Grana (Studi per l'adeguamento al PAI del Comune di Caraglio)

Lo studio è stato condotto dallo Studio Pantidro di Cuneo; è datato marzo 2002 ed utilizza sia il metodo diretto che quello indiretto.

Il metodo diretto si avvale di 45 anni di rilevazioni di portata a scala giornaliera, relative agli anni 1934-1979 (manca il 1974). Per ognuno degli anni è disponibile il dato della portata massima annua media giornaliera, e per 18 anni anche il valore della portata massima al colmo.

Il metodo indiretto utilizza l'approccio cinematico (modello afflussi-deflussi) con tempo di corrivazione calcolato con la formula di Giandotti, i parametri a ed n ed il coefficiente di deflusso ricavati dalla Direttiva, ed il coefficiente di ragguaglio con la formula di Gray.

4.3.2 Progetto di integrazione al piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) – Rete idrografica minore naturale di pianura – Bacino del Torrente Grana-Mellea

Lo studio è stato condotto dall'Autorità di Bacino del Fiume Po che lo ha affidato allo Studio Lotti e associati; è datato ottobre 2002 ed utilizza solo il metodo indiretto con diversi approcci, poi messi a confronto:

- 1) modello deterministico a parametri concentrati NAM del DHI
- 2) cinematico (formula razionale)
- 3) probabilistico (MG e MGs)
- 4) VAPI-TCEV GNDCI
- 5) VAPI-TCEV Regione Piemonte
- 6) AdBPo SP1

Nel documento viene analizzata l'intera asta del torrente Grana-Mellea; la sezione di riferimento è la n. 83, ovvero quella del ponte della SP 422.

4.3.3 Studio idraulico con modellazione bidimensionale in moto vario sul torrente Maira e Grana-Mellea

Lo studio è stato condotto da AIPo che lo ha affidato all'R.T.I. EDes; è datato maggio 2017 e non effettua un calcolo della portata di piena, ma assume l'idrogramma prodotto da un precedente lavoro commissionato da

AIPO al Politecnico di Torino. Tale studio in realtà utilizza come sezione di riferimento quella identificata con codice 77, situata a valle della confluenza del Rio S. Anna proveniente da Bernezzo. Per ammissione degli stessi estensori, nel tratto compreso tra Caraglio e tale sezione il picco di piena risulta sovrastimato.

4.3.4 Confronto

In tabella sono riportati i valori del picco di piena Q_{max} con tempo di ritorno 200 anni determinati nei vari studi pregressi.

Committente	Estensore	Modello	Q_{max} (m^3/s)
Comune di Caraglio	Studio Pantidro	Statistico	304
		Cinematico	278
AdBPo	Lotti e associati Aquafer Hydrodata	NAM - DHI	391
		Cinematico	428
		Probabilistico MG	212
		Probabilistico MGs	217
		VAPI GNDCI	454
		VAPI Reg. Piemonte	248
		SP1	274
AIPO	EDes	Politecnico	365

Si osserva una variabilità rilevante tra i vari valori, compresi tra i 212 m^3/s del modello probabilistico MG a oltre il doppio, ovvero 454 m^3/s del modello VAPI. Interessante anche notare come pur restando in un medesimo modello (cinematico, VAPI) i valori finali divergano sensibilmente, a causa dell'incertezza di alcuni parametri determinanti ai fini del calcolo, ovvero i coefficienti di deflusso e di ragguaglio. Un'incertezza di grado inferiore è da attribuire all'altezza di pioggia attesa, che varia tra 79 e 89 mm.

4.4 Analisi statistica

La Direttiva indica il caso in cui siano presenti misure di portata nella sezione di interesse come il più favorevole, ed in queste condizioni suggerisce l'utilizzo di metodi di inferenza statistica diretta per la determinazione delle portate di progetto.

Avendo a disposizione una serie di ben 67 anni (dati SIMN 1934-1979 con esclusione del 1974 e dati ARPA 2002-2023) di valori giornalieri di portata relativi al Torrente Grana, seppur non riferentesi alla sezione di interesse, è possibile applicare un metodo probabilistico per il calcolo della massima portata al colmo di piena.

Nei 67 anni di osservazione la portata massima al colmo più alta registrata all'idrometro è stata pari a 219 m³/s, nel 1949.

Il valore della portata massima media giornaliera per il 2008 è stato desunto dall'idrometro posto sul Grana a Levaldigi, dato che quello di Monterosso è stato danneggiato dalla piena del 29-30 maggio 2008 e pertanto non ha fornito il dato per questo evento, che è stato il più rilevante dell'intero periodo di rilevazioni ARPA.

Le misure di portata sono state rilevate alla stazione di Monterosso Grana; pertanto si utilizzano tali misure per calcolare la massima portata con tempo di ritorno assegnato relativa alla sezione di chiusura di Monterosso Grana, e successivamente, tramite una relazione che lega i bacini aventi medesime caratteristiche idrologiche ma estensioni diverse, si determina la massima portata a Caraglio.

4.4.1 Massima portata al colmo a Monterosso Grana

La metodologia probabilistica adottata si propone di calcolare la massima portata al colmo Q con tempo di ritorno assegnato T a partire dalla massima portata media giornaliera q con uguale tempo di ritorno.

Ciaponi e Moisello, sulla base di uno studio effettuato su 237 bacini del territorio italiano¹, hanno trovato le seguenti relazioni che esprimono la

¹ C.Ciaponi, U. Moisello - "Un metodo per la stima delle portate al colmo di bacini italiani" (L'energia elettrica - N.5 - 1988)

dipendenza del rapporto $\lambda = Q/q$ dalle caratteristiche geomorfologiche e idrologiche del bacino:

$$\mu(\lambda) = 14,7 S^{-0,103} Hm^{-0,172} \sigma(q)^{0,114} i1^{0,779}$$

$$\sigma(\lambda) = 111,9 S^{-0,314} Hm^{-0,400} \sigma(q)^{0,333} i1^{2,076}$$

in cui:

μ media

σ scarto quadratico medio

λ rapporto tra Q e q, considerato variabile casuale

Q massimo annuale della portata al colmo

q massimo della portata media giornaliera

S area del bacino in km²

Hm altitudine media del bacino in m s.l.m.

$\mu(q)$ valore medio dei massimi annuali q della portata media giornaliera per unità di superficie in m³/s/km²

$\sigma(q)$ scarto quadratico medio dei massimi annuali q

i1 indice della presenza di aree lacuali, definito come complemento all'unità del rapporto tra l'area coperta da laghi e l'area totale del bacino (in questo caso i1 = 1)

Utilizzando i valori dei parametri $\mu(\lambda)$ e $\sigma(\lambda)$, calcolati con le relazioni precedenti, e quelli dei parametri $\mu(q)$ e $\sigma(q)$, ricavati dalle osservazioni, è possibile stimare, nell'ipotesi che λ e q siano variabili indipendenti, la media e lo scarto quadratico medio della distribuzione di Q tramite le relazioni:

$$\mu(Q) = \mu(\lambda) \mu(q)$$

$$\sigma^2(Q) = \mu^2(\lambda) \sigma^2(q) + \sigma^2(\lambda) [\sigma^2(q) + \mu^2(q)]$$

Assumendo, quindi, che la variabile Q sia distribuita secondo la legge di Gumbel, a partire dai valori calcolati di $\mu(Q)$ e di $\sigma(Q)$ si stimano i parametri caratteristici della distribuzione ed infine il valore di Q corrispondente.

La legge di probabilità di Gumbel, per la portata di piena al colmo Q, è espressa dalla seguente relazione:

$$P(Q) = \exp\{-\exp[-\alpha (Q-\epsilon)]\}$$

mentre la relazione diretta tra il tempo di ritorno T e il valore della variabile limite Q_T corrispondente è:

$$Q_T = \epsilon - \frac{1}{\alpha} \ln\left(\ln \frac{T}{T-1}\right)$$

dove i parametri α ed ϵ sono dati da:

$$\epsilon = \mu(Q) - 0,45 \sigma(Q)$$

$$\alpha = 1,283/\sigma(Q)$$

A partire dai valori di q e Q rilevati dagli annuali si determinano i parametri statistici:

$$\mu(q) = 0,243 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$$

$$\sigma(q) = 0,212 \text{ m}^3/\text{s}/\text{km}^2$$

Sostituendo i parametri caratteristici della sezione di Monterosso Grana in cui è posto l'idrometro:

$$S = 102 \text{ km}^2$$

$$H_m = 1540 \text{ m s.l.m.}$$

si sono calcolate le grandezze

$$\mu(\lambda) = 2,164$$

$$\sigma(\lambda) = 0,8$$

Con i risultati ottenuti si determinano la media e lo scarto quadratico medio della distribuzione di Q :

$$\mu(Q) = 53,72 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\sigma(Q) = 54,08 \text{ m}^3/\text{s}$$

i parametri

$$\epsilon = 29,38$$

$$\alpha = 0,0237$$

ed infine il valore richiesto per la sezione di Monterosso Grana:

$$Q_{200} = 252,7 \text{ m}^3/\text{s}$$

4.4.2 Massima portata al colmo a Caraglio

Il bacino del Torrente Grana a Caraglio ha le medesime caratteristiche di quello a Monterosso Grana, ma ha un'estensione maggiore ($S = 145 \text{ km}^2$).

Gherardelli e Marchetti hanno dedotto che il contributo di piena, per bacini aventi le medesime caratteristiche idrologiche, dipende dalla superficie secondo la relazione:

$$\bar{Q}_{max} = \bar{Q}_{100} \left(\frac{S}{100} \right)^{-2/3}$$

dove:

$\bar{Q}_{max}$ è espresso in m³/s/km²

$\bar{Q}_{100}$ è un parametro caratteristico della regione idrologica a cui appartiene il bacino e rappresenta il contributo di massima piena relativo ad un'area scolante di 100 km².

S è la superficie del bacino in km².

Assunto che i due bacini hanno un medesimo valore di $\bar{Q}_{100}$, si deriva dalla precedente la relazione che lega il valore di $\bar{Q}_{max}$ relativo a Caraglio al valore $\bar{Q}_{max}$ corrispondente al bacino sotteso a Monterosso Grana:

$$\bar{Q}_{Caraglio} = \bar{Q}_{Monterosso} \left(\frac{S_{Caraglio}}{S_{Monterosso}} \right)^{1/3}$$

Da cui si ottiene il valore di $\bar{Q}_{max}$ relativo al bacino sotteso a Caraglio:

$$\mathbf{Q_{200} = 284 \text{ m}^3/\text{s}}$$

4.5 Approccio cinematico

4.5.1 Portata liquida

La portata di piena con tempo di ritorno assegnato viene determinata con la formula razionale, che costituisce il metodo cinematico indicato dalla Direttiva.

$$Q_{max} = \frac{C \cdot i \cdot A}{3,6}$$

dove

- C [-] = coefficiente di deflusso;
- i [mm/h] = intensità di pioggia con assegnato tempo di ritorno;
- A [km²] = superficie del bacino.

La formula razionale assume che la portata di massima piena sia

correlata essenzialmente con la precipitazione di massima intensità che ha durata pari al tempo di corrivazione (t_c), cioè il tempo che impiega la particella liquida più lontana per raggiungere la sezione alla quale si riferisce la portata massima.

Essendo la pioggia critica riferita al punto della stazione pluviometrica, si introduce un coefficiente di ragguaglio correttivo dell'intensità di pioggia i (la quale pertanto è da intendersi come intensità di pioggia ragguagliata) per tenere conto della distribuzione di pioggia nell'intero bacino imbrifero sotteso dalla sezione, coefficiente che è tanto più prossimo all'unità quanto più è ridotta la superficie del bacino anzidetto.

La portata di massima piena dipende anche dalla capacità del bacino di trattenere la pioggia, cioè dalla sua permeabilità, che si esprime col coefficiente di deflusso (C), rapporto cioè tra l'altezza del deflusso e quella del corrispondente afflusso meteorico.

4.5.2 Coefficiente di deflusso

Il coefficiente di deflusso C è ottenuto facendo riferimento ai valori indicati da V.T. Chow in *"Handbook of Applied Hydrology"*:

Tipo di suolo	Copertura del bacino	
	Coltivazioni	Boschi
Molto permeabile (sabbioso o ghiaioso)	0,20	0,10
Mediamente permeabile (terreni di medio impasto, terreni senza strati di argilla)	0,40	0,30
Poco permeabili (suoli argillosi, con strati di argilla in prossimità della superficie, suoli poco profondi su substrato roccioso impermeabile)	0,50	0,40

Tab. 4.2 - Coefficienti di deflusso per i diversi tipi di copertura del bacino

La superficie del bacino d'interesse nella parte apicale (quota superiore a 2.000 metri) risulta caratterizzato prevalentemente da rocce con scarsissima permeabilità, mentre nella parte media e bassa dominano i boschi, con terreni coltivati solo nel fondo valle (peraltro caratterizzati da scarse pendenze) e superfici impermeabilizzate irrilevanti; globalmente si può considerare come mediamente permeabile. Per tali ragioni si può assumere ragionevolmente un valore del coefficiente di deflusso pari a 0,35.

4.5.3 Tempo di corrivazione

Il calcolo del tempo di corrivazione t_c , può essere svolto con una serie di formule sperimentali dedotte dai diversi autori attraverso lo studio di un numero sufficientemente elevato di bacini idrografici.

In realtà, le formule sperimentali sono valide entro determinati range di superficie di bacino afferente, e praticamente nessuna di quelle a disposizione in letteratura si adatta in modo assolutamente perfetto al caso studio, in cui i sottobacini considerati presentano una superficie di circa 2 km².

L'espressione utilizzata nel calcolo è pertanto quella più diffusa a livello di applicazione ai bacini idrografici italiani, suggerita anche dalla Direttiva, ovvero la formula di Giandotti:

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5L}{0,8\sqrt{(H_m - H_0)}}$$

in cui:

- S [km²] = superficie del bacino;
- L [km] = lunghezza dell'asta principale;
- H_m, H_0 [m s.l.m.] = altitudini media (H_m) e minima (H_0) del bacino.

Il tempo di corrivazione calcolato per il bacino è pari a 3,79 ore.

4.5.5 Equazione monomia

L'equazione monomia

$$h = a \cdot t^n$$

correla l'altezza della precipitazione massima h (espressa in mm) alla durata t (espressa in ore) con riferimento a diversi tempi di ritorno, e consente di determinare l'intensità di pioggia richiesta dalla formula.

L'applicazione dell'equazione monomia richiede la conoscenza dei parametri a ed n , per i quali sono disponibili due fonti alternative:

1. Dati desunti dalla Direttiva
2. Analisi statistica dei dati di pioggia intensa rilevati nel bacino del torrente Grana

L'allegato della Direttiva contiene i valori dei parametri a ed n per l'intero bacino

padano, desumibile in base alle coordinate geografiche del punto di interesse ed al tempo di ritorno fissato.

I parametri a ed n per tempo di ritorno pari a 200 anni nel punto baricentrico nel bacino in esame, avente coordinate UTM:

N 4917878

E 362133

valgono rispettivamente:

a 48,37 mm

n 0,413

L'analisi statistica dei dati di pioggia intensa è sicuramente più probante, specie se sono presenti stazioni pluviometriche con quantità sufficienti di dati all'interno del bacino imbrifero.

Nel caso in esame l'analisi viene applicata utilizzando i dati di pioggia intensa con durate variabili da 10 minuti a 5 giorni registrati presso le stazioni pluviometriche di Castelmagno (1997-2021) e di Monterosso Grana (2006-2021) da parte di Arpa Piemonte, ipotizzando che la distribuzione statistica che descrive le altezze di pioggia per ciascun intervallo temporale sia la log-normale a due parametri.

Si ottengono in questo modo i valori di altezza di pioggia relativi a ciascuna durata t che vengono poi interpolati con curva monomia utilizzando il metodo dei minimi quadrati.

Si ottengono i seguenti valori:

Castelmagno

a 49,28 mm

n 0,455

Monterosso Grana

a 58,31 mm

n 0,356

4.5.6 Metodo TCEV

In alternativa ai due metodi che utilizzano l'equazione monomia, altezza e intensità di pioggia possono essere calcolate anche con il metodo denominato TCEV, normalmente utilizzato in Regione Piemonte.

Il calcolo mediante l'utilizzo della distribuzione TCEV avviene mediante una serie di passaggi che vengono riassunti nel seguito:

- individuazione dell'area pluviometrica omogenea all'interno della quale ricadono i sottobacini di interesse;
- calcolo della media delle altezze massime di pioggia in un dato periodo di tempo (E) attraverso una formula specifica per ogni area pluviometrica omogenea, funzione del tempo di corrivazione e dell'altitudine media ;
- determinazione della zona di riferimento corrispondente al sito in esame e del relativo coefficiente di crescita (X') per il tempo di ritorno considerato;
- calcolo dell'altezza di pioggia critica ragguagliata X_T data dal prodotto del parametro X' per l'altezza massima di pioggia E

4.5.7 Coefficiente di ragguaglio

L'altezza di pioggia h deve essere ragguagliata alla superficie di bacino sotteso. Il coefficiente di ragguaglio k_r è stato stimato utilizzando la tabella di Gray, pubblicata nel Manuale di Ingegneria Civile II ed., Ed. Cremonese, Bologna, 1986, che in realtà va leggermente estrapolata in quanto indica i valori per bacini con superfici superiori a 250 km² e tempi di corrivazione almeno pari a 6 ore. Il valore limite è pari a 0,85, ed è quello utilizzato nel calcolo.

4.5.8 Risultati

Noti il tempo di corrivazione ed il coefficiente di ragguaglio, i tre metodi presentati consentono di conoscere per ciascun tempo di ritorno i valori delle altezze h_c e delle intensità di pioggia i_c , calcolate in corrispondenza un tempo di pioggia che, in base ad un approccio universalmente riconosciuto, viene assunto pari al tempo di corrivazione del bacino alla sezione di chiusura e ragguagliate alla superficie. Da questi valori si desume il dato della portata massima calcolata con la formula razionale vista sopra.

La tabella seguente mostra i valori delle grandezze citate con riferimento ai vari metodi descritti.

	Direttiva	TCEV	Dati ARPA_C	Dati ARPA_M
h (mm)	83,89		90,39	93,73
hr (mm)	71,31	74,19	76,83	79,67
i (mm/h)	18,80	19,56	20,25	21,00
Q200 (m³/s)	267,11	277,89	287,81	298,44

Tab. 4.3: altezze, intensità di pioggia e portate con metodo cinematico

4.6 Confronto tra i risultati

Dal confronto tra i valori della tabella 4.3 con il valore ottenuto mediante l'analisi statistica emerge un sostanziale accordo, che consente di affermare la validità del valore ottenuto con il primo metodo, considerato più probante in quanto ottenuto da misure dirette.

Inoltre, non si tratta di un metodo di regionalizzazione, bensì di un approccio statistico che utilizza dati relativi al bacino di interesse e ad un periodo piuttosto lungo e recente, tenendo quindi conto dei cambiamenti climatici in atto.

Si ritiene opportuno, pertanto, proseguire la trattazione utilizzando i risultati prodotti dai calcoli effettuati con il metodo statistico.

4.7 Idrogramma di piena

Per la determinazione dell'idrogramma di piena si è utilizzato il modello dell'idrogramma unitario di Nash: si tratta di un modello parametrico lineare concettualmente rappresentato da una pioggia netta che defluisce attraverso n serbatoi diversi, aventi la stessa costante d'invaso k che fornisce ai serbatoi la proprietà di linearità (serbatoi lineari). Per una precipitazione con altezza pari ad 1 mm e durata che tende a zero, la portata specifica è data dalla seguente relazione, che definisce l'idrogramma unitario istantaneo:

$$Q(t) = \frac{1}{k(n-1)} \left(\frac{t}{k}\right)^{n-1} e^{-t/k}$$

Dove:

- t : durata precipitazione
- n : numero di serbatoi
- k : costante d'invaso nella stessa unità di misura della durata t
- Q : portata specifica (mm per unità di tempo)

Per l'implementazione del modello è stato utilizzato uno specifico software (Lekan), e i parametri n e k sono stati tarati in funzione della portata al colmo determinata come descritto nel capitolo precedente.

In figura 4.1 è riportato l'idrogramma ottenuto dall'implementazione del modello.

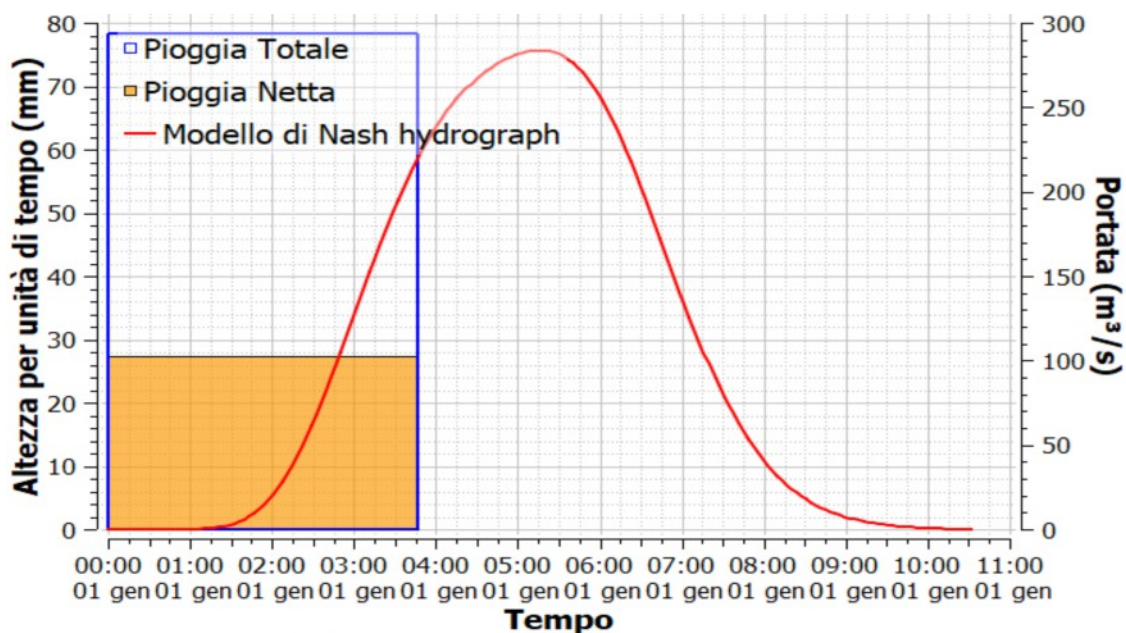


Figura 4.1: idrogramma ottenuto con il modello di Nash

5. MODELLO IDRAULICO

Al fine di simulare il comportamento della corrente di piena è stato utilizzato un software ormai diventato lo standard universale, ovvero HEC-RAS prodotto dall'U.S. Army Corps of Engineers.

La versione utilizzata è la 6.4.1 (giugno 2023), e consente, oltre al tradizionale approccio monodimensionale, anche la modellazione di tipo bidimensionale ed anche una modalità mista 1D-2D.

5.1 Morfologia e granulometria d'alveo

5.1.1 Caratteristiche morfologiche

Le caratteristiche morfologiche del torrente Grana vengono identificate in base ai contenuti del *“Manuale tecnico-operativo per la valutazione ed il monitoraggio dello stato morfologico dei corsi d'acqua”* (ISPRA).

Il testo di riferimento definisce il grado di confinamento come il parametro che misura la percentuale delle sponde direttamente in contatto con versanti o terrazzi antichi. L'indice di confinamento è invece dato dal rapporto tra larghezza della pianura (L_p) (comprensiva dell'alveo) e larghezza dell'alveo (L_a), quindi esprime di quanto un alveo è confinato in sezione trasversale rispetto alla larghezza della pianura.

In tutto il tratto considerato l'alveo è confinato sia in sponda sinistra, sia in sponda destra, per cui si stima un grado di confinamento inferiore prossimo al 100% (ad eccezione di brevissimi tratti) e un indice di confinamento di poco superiore all'unità.

Non si riscontrano fenomeni erosivi, in quanto le sponde, per lo più ripide, evidenziano una continua alternanza una rigogliosa vegetazione ripariale e rocce conglomeratiche ben cementate, totalmente esposte.

L'alveo del Grana è monocursale e rettilineo, con una configurazione del fondo della tipologia “plane bed”², ad indicare un corso d'acqua che da collinare si avvicina ad essere di pianura.

5.1.2 Diametri caratteristici

Le caratteristiche morfologiche del corso d'acqua descritte al capitolo precedente si riflettono sulle caratteristiche granulometriche del materiale d'alveo.

Il materiale che costituisce il fondo dell'alveo è in linea generale di grossa pezzatura, anche se piuttosto disomogenee: i depositi laterali sono ghiaiosi, con presenza di sedimenti di minore pezzatura, nei punti dove la corrente è maggiormente lenta e di ciottoli e massi nella zona centrale.

² In base alla classificazione di Montgomery e Buffington.

A livello di stima generale, per le simulazioni da svolgere, i parametri stimati sulla base di un esame visivo sono:

- $d_{90} = 500 \text{ mm}$;
- $d_{50} = 200 \text{ mm}$.

5.1.3 Determinazione della scabrezza

Un parametro che riveste notevole importanza nella propagazione di un'onda di piena è la scabrezza del terreno. Tale valore non è facilmente determinabile, in quanto variabile da sezione a sezione, all'interno di ogni sezione (nel passaggio tra alveo di magra e alveo golenale di piena), a seconda delle caratteristiche idrauliche dell'onda di piena in arrivo, e persino in funzione del periodo dell'anno in cui accade l'evento; e questa indeterminatezza si ripercuote sui risultati del calcolo.

Da queste premesse si comprende la difficoltà di fornire i parametri di resistenza del terreno con precisione. Pertanto la scabrezza delle superfici di scorrimento, espressa tramite il coefficiente di Manning, viene stimata a partire da un rilievo diretto volto (secondo la metodologia proposta da Cowan e dall'U.S. Soil Conservation Service) a specificare le caratteristiche qualitative dell'alveo che hanno influenza sulla scabrezza.

Sulla base di queste rilevazioni è stato stimato il coefficiente di Manning seguendo la classificazione proposta da V.T. Chow³, e mediante confronto con casi reali osservati e presentati dall'U.S. Geological Survey.

Data la generale omogeneità del tratto di corso d'acqua considerato, si può stabilire un unico valore di scabrezza per tutto il tratto, pari a $0,050 \text{ s/m}^{1/3}$ per l'alveo centrale, mentre il valore per le golene varia in funzione della copertura del suolo, individuata a partire dalla mappa Corine Land Cover messa a disposizione dalla Regione Piemonte con copertura dell'intero territorio regionale e risoluzione delle celle quadrate pari a 5x5 metri. I valori di scabrezza attribuiti alle diverse tipologie sono riportati nella tabella seguente.

³ Il metodo è stato preso come riferimento anche dall'Autorità di Bacino del Fiume Po nella Direttiva.

Classe	Scabrezza
1 1.2.2.2.0. Altre reti stradali	0,030
2 5.1.2.0.0. Bacini d'acqua	0,050
3 1.1.3.0.0. Zone residenziali isolate	0,100
4 1.1.1.0.0. Zone residenziali a tessuto continuo (S.L. > 80%)	0,100
5 1.2.1.3.0. Aree a servizi, pubblici o privati	0,100
6 1.1.2.4.0. Zone residenziali a tessuto discontinuo a densità molto bassa (S.L. < 10%)	0,100
7 1.2.1.0.0. Aree industriali, commerciali e dei servizi pubblici e privati	0,100
8 1.1.2.1.0. Zone residenziali a tessuto discontinuo (S.L. : 50% - 80%)	0,100
9 1.2.1.1.0. Aree industriali	0,100
10 1.2.1.2.0. Aree commerciali	0,100
11 1.1.2.3.0. Zone residenziali a tessuto discontinuo a bassa densità (S.L. : 10% - 30%)	0,070
12 1.3.1.0.0. Aree estrattive	0,070
13 1.4.2.0.0. Aree ricreative e sportive	0,070
14 1.4.1.0.0. Aree verdi urbane (pubbliche o private)	0,070
15 1.4.1.3.0. Cimiteri	0,100
16 1.1.2.2.0. Zone residenziali a tessuto discontinuo a media densità (S.L. : 30% - 50%)	0,100
17 2.2.1.0.0. Vigneti	0,070
18 2.2.2.0.0. Frutteti e frutti minori	0,070
19 2.3.1.1.1. Prati da sfalcio a bassa e media altitudine (sotto 800)	0,060
20 2.2.4.0.0. Arboricoltura da legno	0,070
21 3.2.4.0.0. Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione	0,070
22 3.1.1.2.0. Castagneto	0,070
23 2.1.1.4.0. Orticole	0,070
24 2.1.1.1.0. Monocolture intensive	0,070
25 3.2.4.1.1. Rimboschimento di latifoglie	0,070
26 2.4.4.0.0. Aree agroforestali	0,070
27 3.2.2.0.0. Brughiere e cespuglieti	0,070
28 2.1.1.2.0. Monocolture estensive	0,070
29 3.2.1.2.1. Aree a pascolo naturale con alberi (discontinue)	0,070
30 2.1.1.1.6. Foraggere avvicendate	0,070
31 3.1.1.4.3. Querceto di Roverella	0,070
32 3.1.1.9.0. Formazioni legnose riparie	0,070
33 2.1.1.0.0. Seminativi in aree non irrigue	0,070
34 3.3.1.0.0. Spiagge, dune e sabbie, isole fluviali, greti	0,050
35 3.1.1.0.0. Boschi di latifoglie	0,070
36 2.3.1.2.0. Incolti	0,070
37 3.1.1.1.0. Acero-tiglio-frassineto	0,070
38 3.2.1.1.0. Aree a pascolo naturale e praterie (continue)	0,060
39 5.1.1.0.0. Corsi d'acqua, canali e idrovie	0,050

Tabella 5.1 – Valori di scabrezza relativi alle diverse superfici

5.2 Modello monodimensionale

Le equazioni che regolano i modelli di tipo monodimensionale o bidimensionale derivano dall'applicazione al moto del fluido dei due principi di conservazione ben noti della meccanica classica:

- principio di conservazione della massa (a cui corrisponde l'equazione di continuità)
- principio di conservazione della quantità di moto (a cui corrisponde l'equazione dei momenti)

Nel caso del moto vario in campo monodimensionale le equazioni, alle derivate parziali, assumono la seguente forma:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial QV}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial z}{\partial x} + S_f \right) = 0$$

dove i simboli assumono il seguente significato:

Q	portata
A	area
t	tempo
x	coordinata longitudinale
V	velocità
g	accelerazione di gravità
z	quota
S _f	pendenza del fondo

Il software HEC-RAS che è stato utilizzato per la simulazione integra il sistema di equazioni utilizzando la formulazione di Barkau (1982), che utilizza uno schema alle differenze finite di tipo implicito detto dei quattro punti, in cui i valori delle grandezze in gioco vengono simultaneamente calcolati nei vertici della generica cella avente come lati il Δx e il Δt impostati per il calcolo.

Il risultato è stato poi messo a confronto con quello ottenuto mediante uno schema, recentemente messo a disposizione dal software, ai volumi finiti, che è risultato più stabile.

Le condizioni al contorno imposte nel calcolo sono:

- a monte l'idrogramma di piena considerato
- a valle le condizioni di moto uniforme

Un'ulteriore condizione al contorno è rappresentata dalle strutture in alveo, costituite dai tre ponti.

Come condizione iniziale si considera una portata, presente su tutto l'alveo, pari a quella dell'istante iniziale dell'idrogramma.

Per impostare il calcolo si è utilizzato il tool RAS Mapper integrato nel software, mentre per la predisposizione dei layer GIS è stato impiegato il software QGis.

5.3 Modello bidimensionale

Nel caso del moto vario in campo bidimensionale le equazioni, nell'approccio delle onde diffusive, assumono la seguente forma:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = q$$

$$\mathbf{V} = -\frac{R^{2/3}}{n} \frac{\nabla z_s}{|\nabla z_s|^{1/2}}$$

dove oltre ai simboli già visti compaiono il termine h (tirante idrico), la seconda coordinata planimetrica y e la corrispondente velocità u , il raggio idraulico R e il coefficiente di scabrezza di Manning n . L'operatore ∇ rappresenta il gradiente della funzione.

In questo caso il software HEC-RAS adotta uno schema alle differenze finite di tipo esplicito per le derivate temporali ed un'approssimazione ibrida per le derivate spaziali.

Le condizioni al contorno sono sostanzialmente analoghe a quelle relative al

moto monodimensionale.

5.4 Modello misto

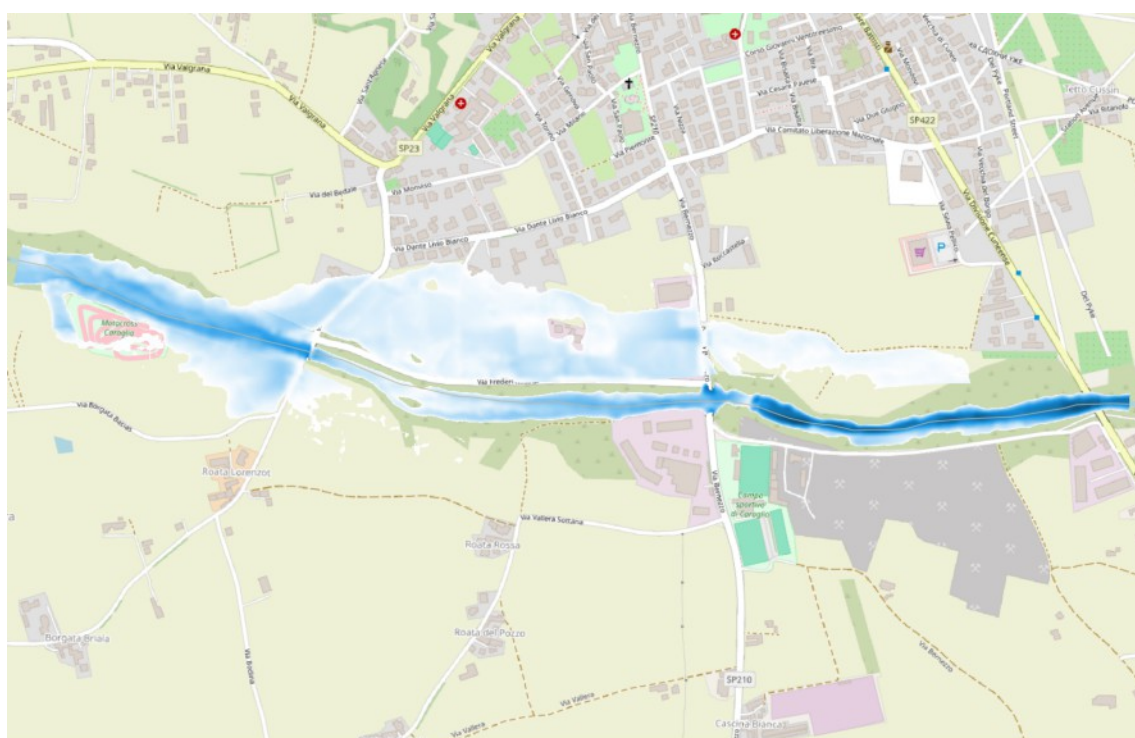
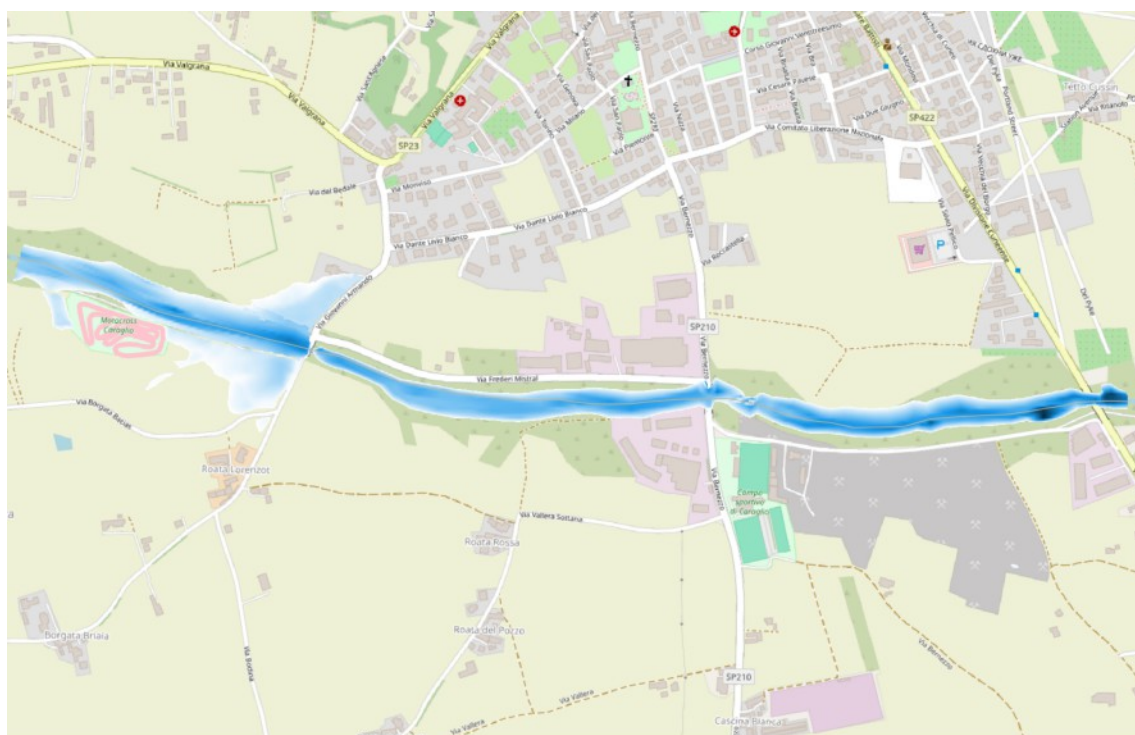
Entrambi i modelli descritti in precedenza presentano pregi e difetti.

Il modello monodimensionale riesce a caratterizzare meglio il flusso all'interno dell'alveo, mentre è impreciso nelle aree golenali governate da un moto nettamente bidimensionale; in modo complementare si comporta il modello bidimensionale.

Per questo motivo recentemente HEC-RAS ha sviluppato un'opzione di calcolo che consente di implementare un modello di tipo misto, che utilizza entrambi gli schemi di calcolo: quello monodimensionale per la porzione dell'alveo, e quello bidimensionale per le golene.

6. ANALISI DEI RISULTATI

I risultati delle simulazioni sono visualizzati nelle figure seguenti, distinte in base al modello utilizzato. Il parametro comune ai tre grafici è l'altezza d'acqua (ad intensità maggiore di blu corrisponde un'altezza d'acqua maggiore).





Dal raffronto tra le tre mappe emerge una migliore rappresentazione del modello idraulico da parte del modello misto 1D-2D.

Infatti il modello 1D si interrompe in modo anomalo proprio in corrispondenza del ponte della Vallera, come se la strada che porta al ponte costituisse una barriera, mentre le altezze in quel punto sono tali da consentire con certezza il sormonto. La difficoltà del modello 1D consiste nel fatto che la sezione successiva al ponte e la presenza in quel punto di un consistente salto di fondo interrompono la continuità del flusso idrico, di modo che il modello presenta un repentino rientro della corrente in alveo, non giustificato dalle quote golenali. In particolare la strada che porta all'isola ecologica rappresenta una sorta di piccolo argine, con quote leggermente superiori a quelle in sinistra orografica, che non consente alla corrente di rientrare, ma la obbliga a proseguire nella fascia golenale successiva. Si può sintetizzare il discorso affermando che l'imprecisione del modello 1D è intrinseco alla sua schematizzazione, perché non consente di simulare un fenomeno che, in particolare nel tratto golenale a monte del ponte della Vallera, appare chiaramente a carattere bidimensionale. Il modello 2D presenta un'anomalia evidente in sponda sinistra in

corrispondenza dell'area artigianale e poi successivamente fino al ponte della SP 422, in un tratto in cui le sponde sono certamente in grado di contenere la corrente di piena, come evidenziato negli altri due modelli, anche considerato il fatto che il ponte della strada per Bernezzo appare in questi due modelli in grado di far defluire la corrente di piena con sufficiente franco, e pertanto senza rigurgito a monte.

A fronte di questi ragionamenti, e dell'intrinseca maggiore adattabilità al contesto in esame, viene scelto il modello misto 1D-2D.

7. VALUTAZIONE DELLE CONDIZIONI DI RISCHIO

Le condizioni di rischio connesse con la dinamica fluviale vengono qui analizzate in confronto con lo studio AIPo.

Alle pagine seguenti sono riportate le immagini delle aree allagabili riguardanti la medesima porzione di territorio

7.1 Tratto di monte

Alle figure seguenti 7.1 ÷ 7.3 sono riportate le mappe per il tratto compreso tra i primi due ponti.

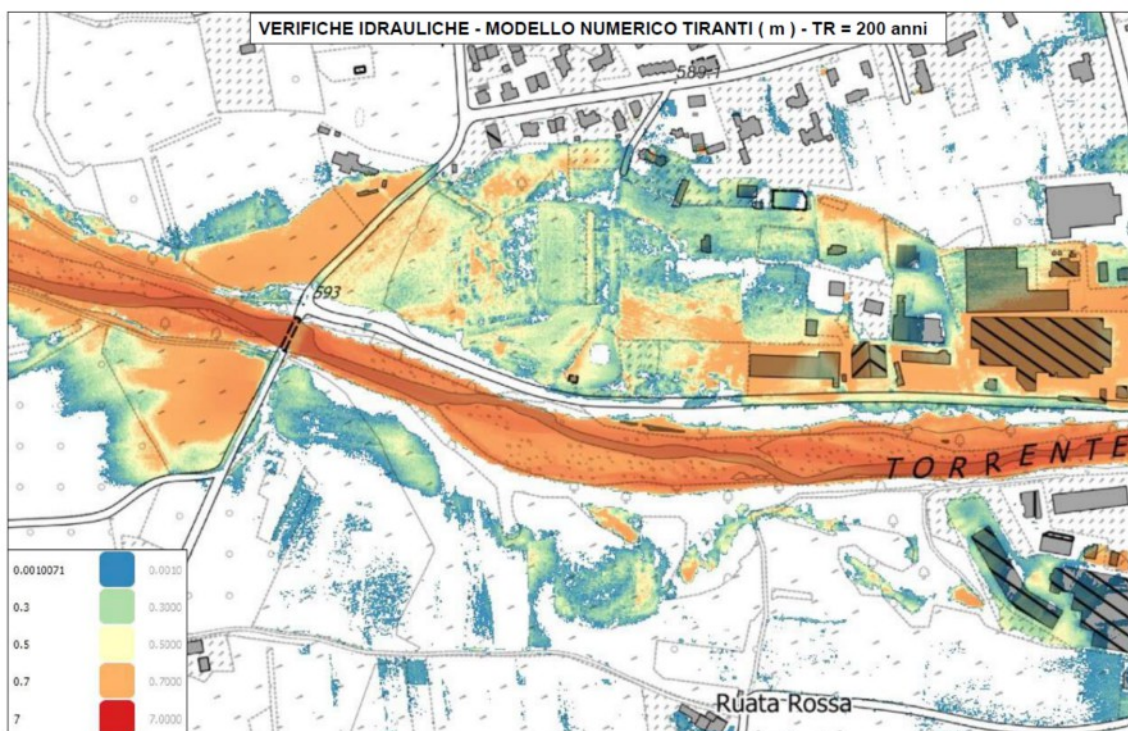


Figura 7.1: altezze d'acqua - Studio EDes-AIPo - Tratto di monte

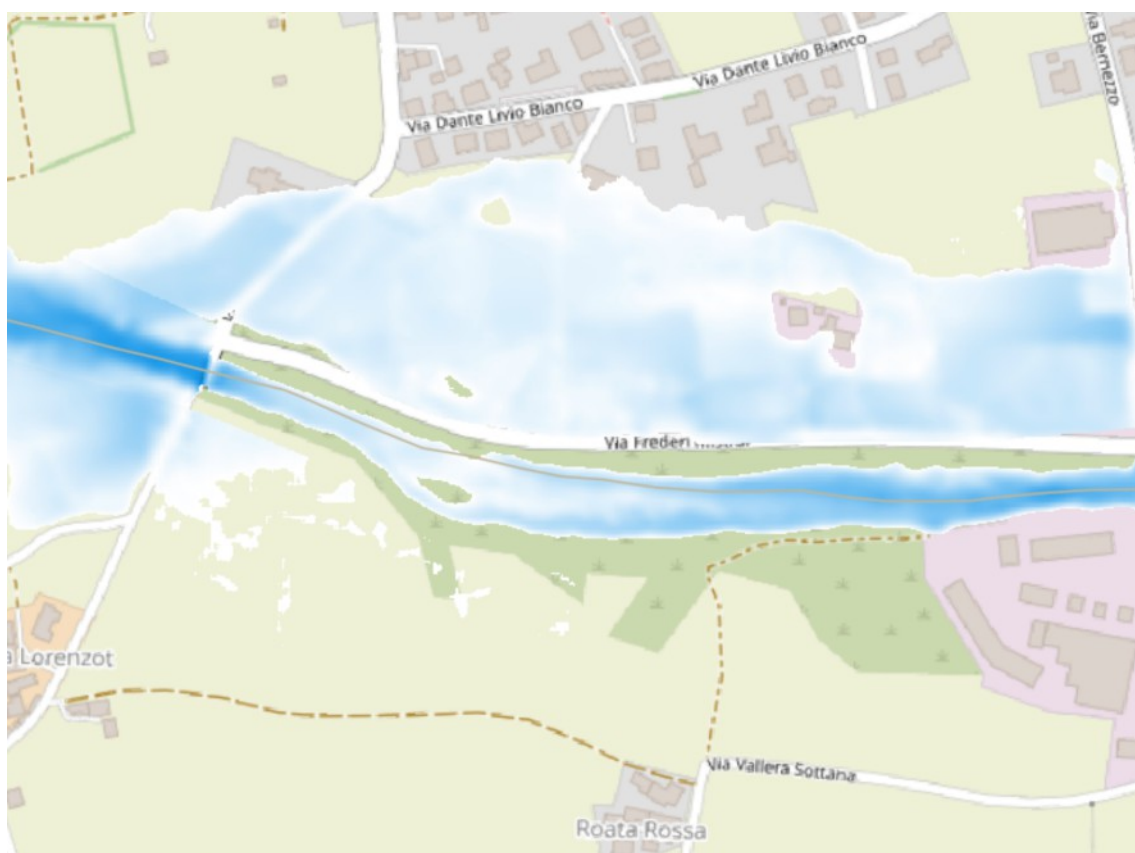


Figura 7.2: altezze d'acqua - Modello misto 1D-2D - Tratto di monte

Rispetto alle mappe EDes, con cui quelle del modello appaiono globalmente concordanti, non risulta interessata dalla piena l'area in destra verso il ponte di Bernezzo. Peraltro anche il modello EDes mostra in quell'area tiranti idrici e velocità (come evidenziato dalla figura seguente) sostanzialmente trascurabili.

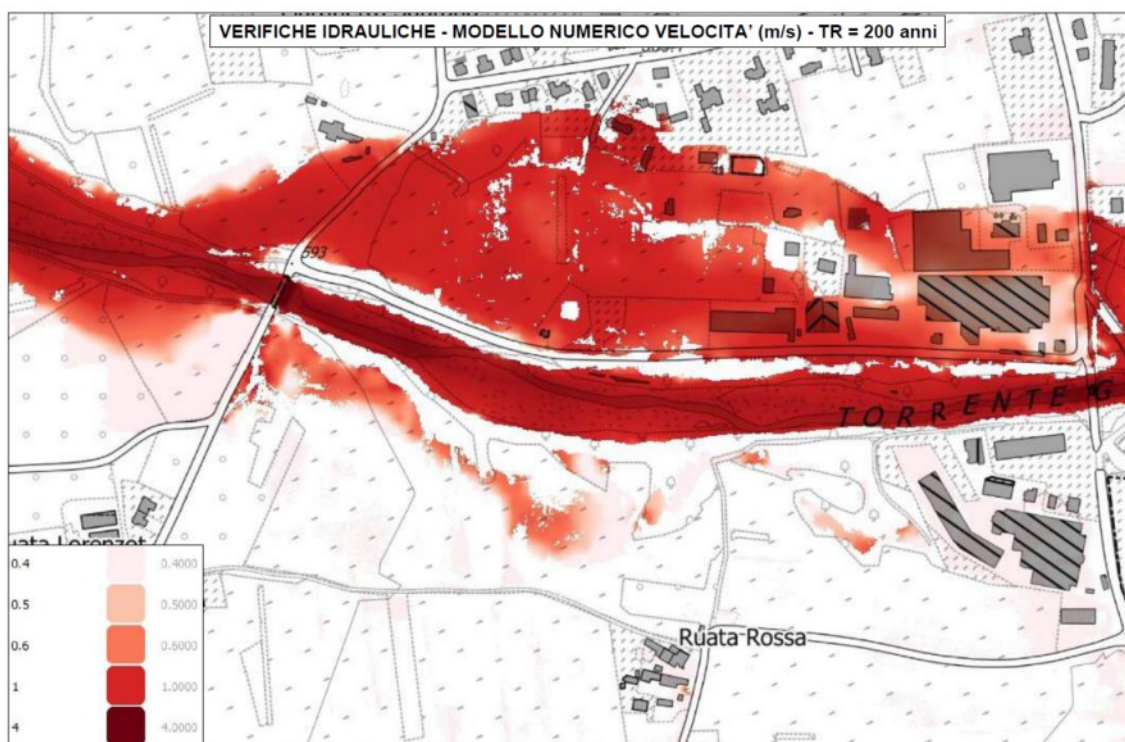


Figura 7.3: Velocità - Studio EDes-AIPo - Tratto di monte

7.2 Tratto di valle

Alle figure seguenti 7.4 ÷ 7.5 sono riportate le mappe per il tratto compreso tra il secondo e il terzo ponte.

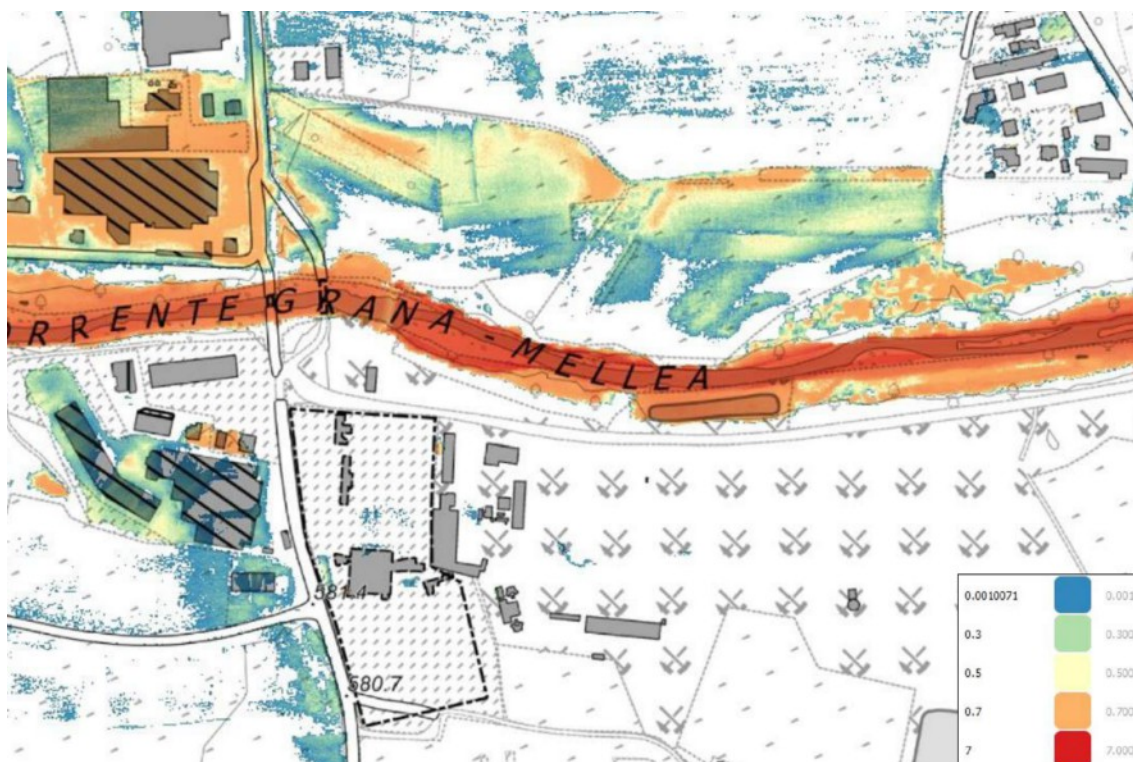


Figura 7.4: altezze d'acqua - Studio EDes-AIPo - Tratto di valle



Figura 7.5: altezze d'acqua - Modello misto 1D-2D - Tratto di valle

In questo tratto le aree allagabili dei due modelli sono sostanzialmente

sovrapponibili.

Rispetto al modello AIPo, quello presentato in queste pagine presenta alcuni aspetti migliorativi che lo rendono più attendibile:

1. la portata al colmo è stata calcolata per la sezione di interesse, mentre quella utilizzata da EDes è dichiaratamente esuberante, in quanto calcolata per una sezione posta decisamente più a valle, dove convergono anche le acque provenienti dal vallone di Sant'Anna di Bernezzo;
2. le sezioni rilevate nel giugno 2024 sono 63 (+ 3 ponti), mentre quelle di AIPo non sono precisate, ma dovrebbero essere in numero decisamente inferiore: all'incirca 5, se si considera che la distanza media tra le sezioni è di 500 metri; inoltre il rilievo AIPo è del 2017;
3. l'approccio misto 1D-2D appare più adatto a simulare il fenomeno per il tratto di torrente Grana in esame, considerato che le sponde sono decisamente incassate, quindi la gran parte del deflusso idrico avviene in corrente monodimensionale.

8. OPERE DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO

In questo paragrafo vengono analizzate due diverse opere di mitigazione del rischio che sono state analizzate nei loro effetti sulle aree allagabili mediante modellazione HEC-RAS seguendo sempre l'approccio 1D-2D:

1. Rifacimento del ponte della Vallera
2. Argine golenale in sponda sinistra

8.1 Rifacimento del ponte della Vallera

L'intervento comporta la demolizione del ponte attuale e il completo rifacimento della struttura, con un attraversamento a campata unica, pertanto senza le due pile in alveo che attualmente ostruiscono il passaggio della corrente (oltre a rappresentare un potenziale elemento di pericolo legato alla vegetazione di alto fusto trasportata dalla piena che viene fermata dalle pile), e con intradosso rialzato di un metro rispetto a quello attuale.

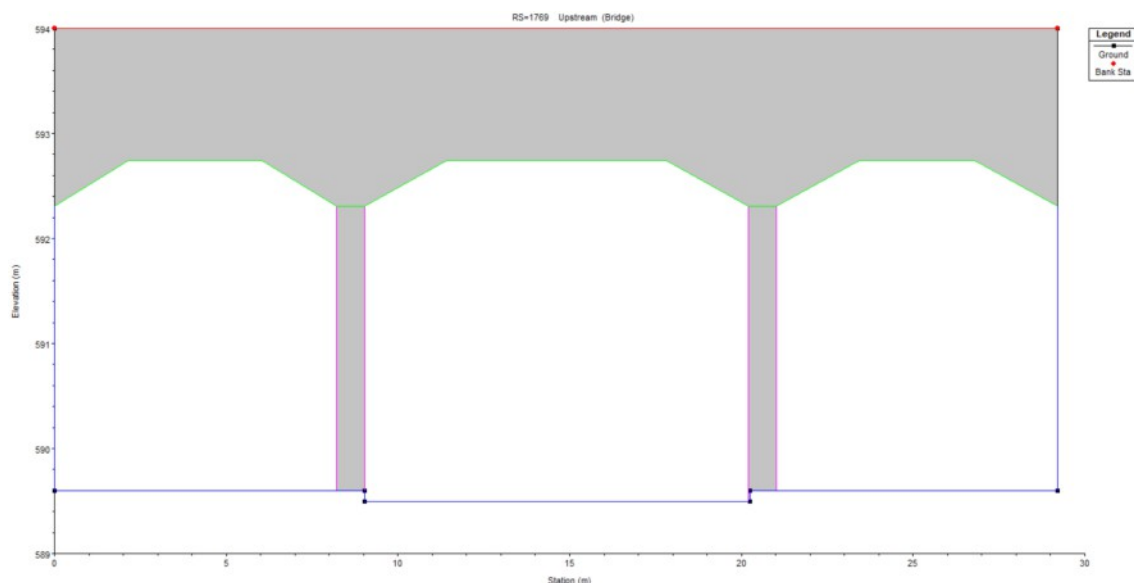


Figura 8.1: schematizzazione del ponte attuale

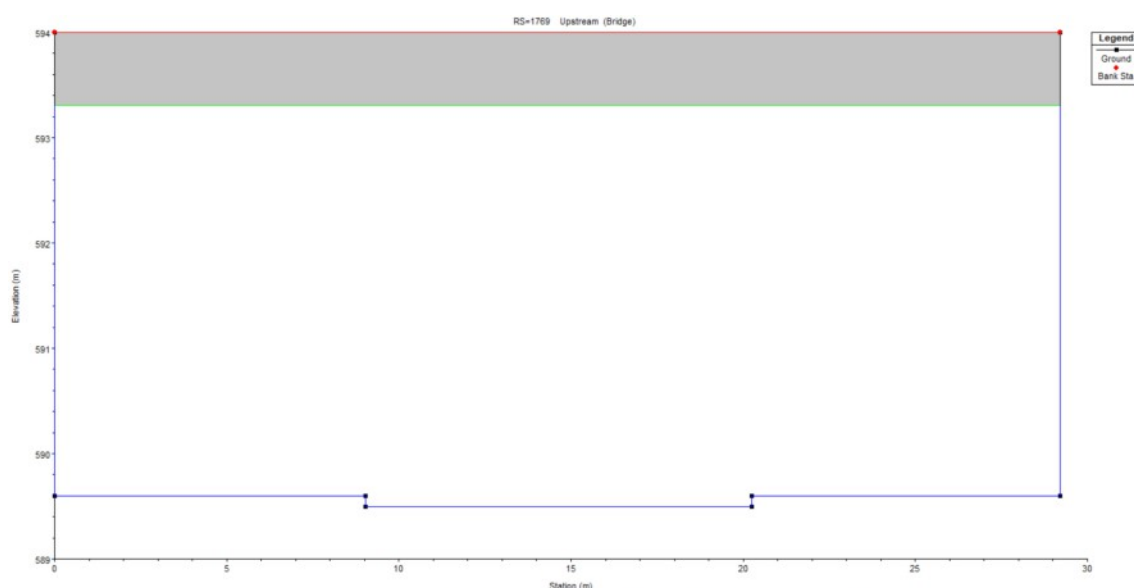


Figura 8.2: schematizzazione del nuovo ponte

L'eliminazione delle pile in alveo consente inoltre di abbassare la quota dell'alveo nel tratto a monte del ponte, beneficiando del salto di fondo realizzato proprio a difesa delle pile (che verrebbe ribassato). L'abbassamento andrebbe però unito ad una generale sistemazione di alveo, anche con realizzazione di scogliere di protezione spondale, in un tratto a monte lungo circa 200 metri, anche in considerazione della velocizzazione della corrente di piena causata dall'incremento delle pendenze in quel tratto.

Anche la stima dei costi, senza un progetto specifico, non può che essere grossolana: date le caratteristiche del ponte e le sue dimensioni si può stimare il suo costo in un range compreso tra 500.000 e 800.000 €.

Per quanto riguarda la sistemazione dell'alveo e la realizzazione delle scogliere si può ipotizzare un costo compreso tra 200.000 e 300.000 €.

8.2 Argine golenale in sponda sinistra

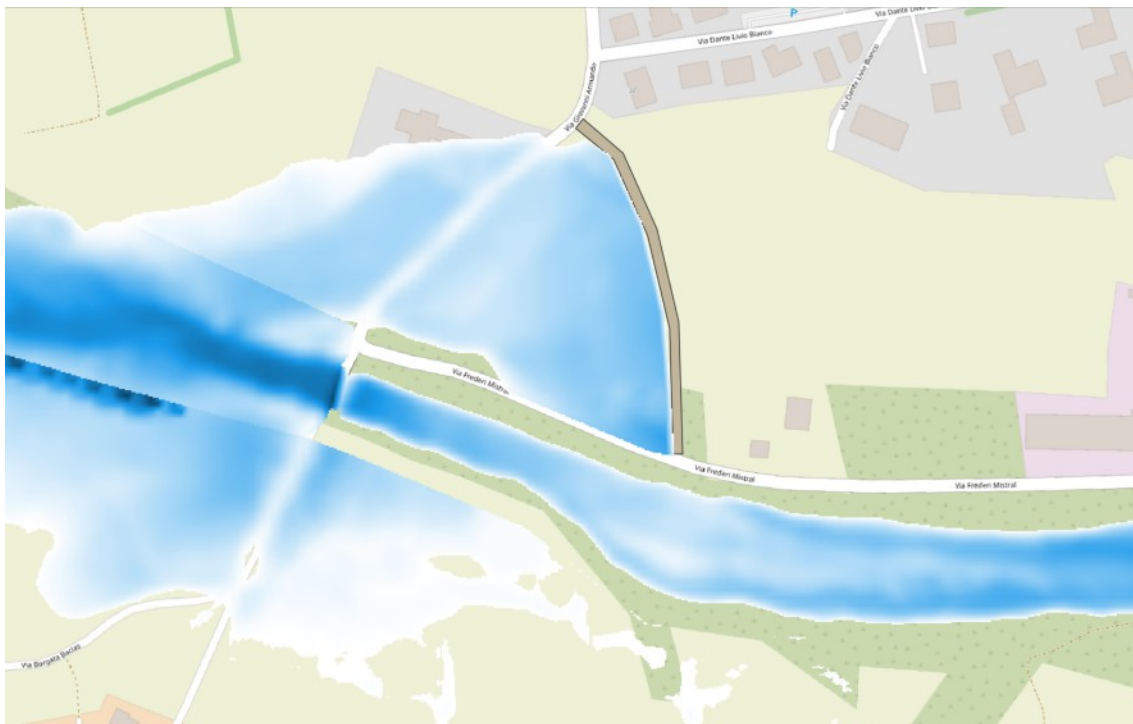
In considerazione di quanto evidenziato dal modello di simulazione e riportato in fig. 7.2, da cui si desume un'esondazione in sponda sinistra che interessa un areale molto importante, ma con acque aventi in generale poca energia, si è ragionato su un intervento che possa deviare questo flusso immediatamente a valle della strada riportandolo nel corso d'acqua nel tratto che segue il salto di fondo del ponte della Vallera, proteggendo le aree edificate a valle che in questo modo non risulterebbero più interessate dal deflusso di piena.

L'intervento consiste in un argine in terra di altezza adeguata, la cui impronta è indicata in marroncino nella figura 8.4.

L'argine è stato inserito nel modello 1D-2D per verificare la sua efficacia nei confronti del fenomeno di esondazione.

8.2.1 Risultati del modello

In figura 8.5 è riportato uno stralcio della mappa di allagamento nell'area del ponte della Vallera.



Dai risultati del modello si evince un miglioramento, con l'acqua che pur esondando in sponda sinistra viene riportata in alveo, garantendo la sicurezza per tutto il tratto successivo.

Il livello idrico nel perimetro dell'argine non supera in nessun punto i due metri, pertanto si ritiene sufficientemente sicuro un argine di altezza pari a 3 metri per garantire un adeguato franco anche nelle condizioni più critiche. La progettazione definitiva dell'intervento potrà eventualmente fissare un valore inferiore per le dimensioni del manufatto.

8.2.2 Cronoprogramma

La realizzazione dell'argine comporta tempi decisamente brevi sia per quanto riguarda la progettazione che per gli aspetti autorizzativi, fatta salva la disponibilità dei sedimi destinati ad ospitare l'opera.

Si può ritenere che l'Amministrazione possa arrivare alla completa realizzazione nell'arco di 6÷12 mesi dal momento in cui l'opera viene deliberata. Per quanto riguarda gli aspetti autorizzativi, dato che l'opera è mirata alla salvaguardia di un areale importante e strategico a causa delle infrastrutture

presenti (area ecologica, zona industriale), è auspicabile un confronto preventivo con la Regione Piemonte al fine di verificare la possibilità di una revisione degli strumenti di pianificazione a scala comunale, attualmente in corso di variante, che consenta di svincolare le aree in questione.

8.2.3 Stima dei costi

I costi dell'argine possono essere stimati nell'ordine di 100.000 €, considerando:

- la volumetria necessaria per un argine alto tre metri, pari a circa 3.000 m³ (valore massimo, che considera un'altezza costante su tutto lo sviluppo)
- l'importo unitario, pari a 32,23 €/m³ ⁴

9. AZIONI DI MONITORAGGIO E PROTEZIONE CIVILE

Le indicazioni che seguono sono valide sia nel transitorio, sia quando le opere descritte al capitolo precedente saranno realizzate.

Ai fini del monitoraggio del corso d'acqua è fondamentale la conoscenza **in tempo reale** dei fenomeni di pioggia e dei conseguenti livelli di piena del torrente Grana, nel loro andamento **quantitativo**.

La Regione Piemonte si è dotata ormai da tempo di strumenti adeguati per il monitoraggio, resi disponibili per le amministrazioni e per i cittadini.

Le misure di pioggia sono disponibili in tempo reale per le stazioni di:

- Castelmagno
- Monterosso Grana

⁴ Prezzario 2024, voce 18.A05.C30.020: *“Formazione di rilevato per nuovo argine e/o per adeguamento di argine esistente, compresi gli oneri per lo scavo delle terre, la profilatura e la sistemazione delle aree di scavo, per il sollevamento delle materie scavate, per l'eliminazione delle impurità soprattutto di natura organica, per le gradonature e le immorsature sul rilevato da rialzare o da ringrossare, quelli per la corretta miscelatura dei componenti argillo-sabbiosi, per lo stendimento del terreno in strati orizzontali dello spessore massimo di 50 cm e la relativa compattazione, per la spondinatura delle scarpate e dei cigli, con materiale fornito a cura e spesa dell'impresa”.*

a cui si possono aggiungere, per completare il quadro, le informazioni provenienti dalla rete radar regionale, che indicano i centri di pioggia e il loro spostamento in tempo reale sul territorio che comprende il bacino imbrifero del Grana.

STAZIONE DI CASTELMAGNO

Castelmagno (CN) - 1755 m s.l.m.



PIOGGIA ULTIMA ORA: 0.2 mm - ☀ 11:00

Ultime 3 ore: 0.2 mm - ☀ 11:00

Ultime 24 ore: 4 mm - ☀ 11:00

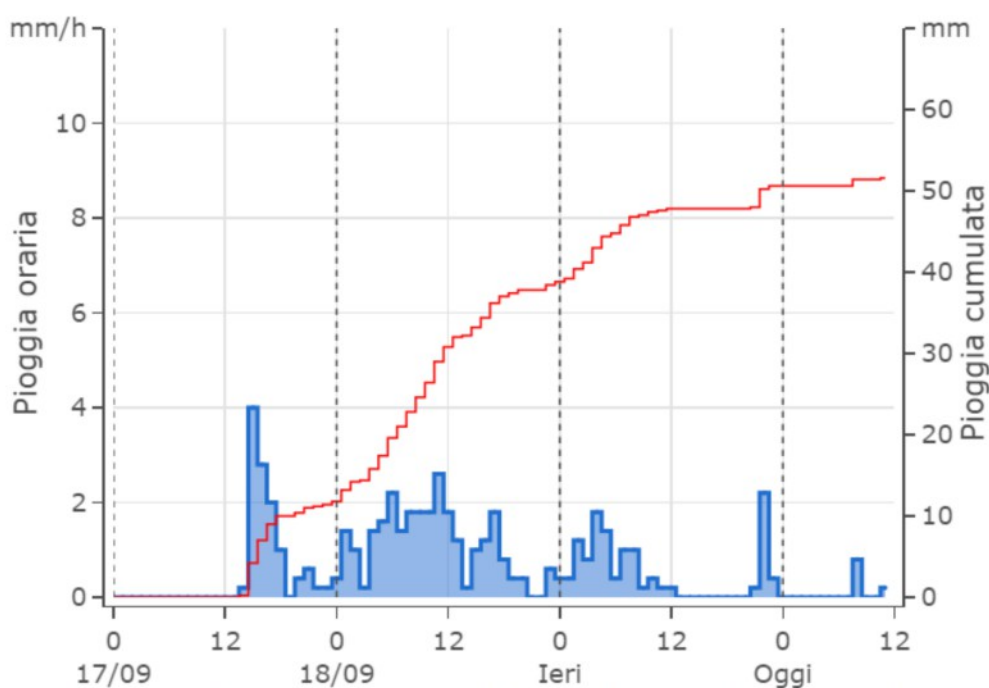


Figura 9.1: grafico di monitoraggio relativo al pluviometro di Castelmagno

La rete idrometrica ha attualmente una sola stazione di rilevamento sul torrente Grana, quella già citata di Monterosso Grana.

Il grafico che riporta l'andamento in tempo reale del livello idrometrico consente anche un confronto con i livelli di guardia e di pericolo.

STAZIONE DI MONTEROSSO GRANA

Monterosso grana (CN) - 720 m s.l.m.



LIVELLO IDROMETRICO: 0.37 m - ☼ 11:00

Corso d'acqua: GRANA

Zero idrometrico: 711.5 m s.l.m.

Minimo oggi: 0.37 m - ☼ 04:30

Massimo oggi: 0.38 m - ☼ 00:00

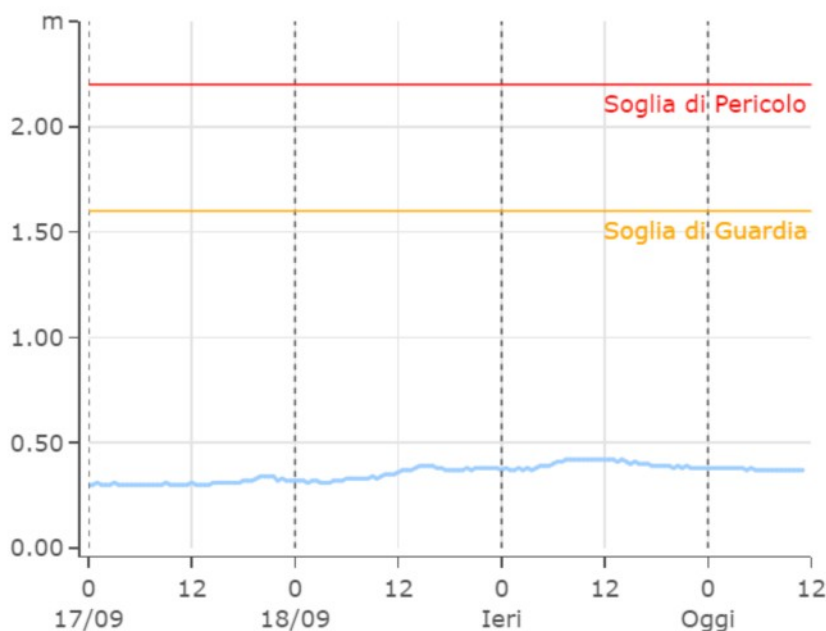


Figura 9.2: grafico di monitoraggio relativo all'idrometro di Monterosso Grana

Recentemente la Regione Piemonte, insieme alle Regioni Valle d'Aosta e Liguria, ha realizzato e messo a disposizione di tutti i cittadini una app denominata Meteo 3R (<https://www.meteo3r.it/app/public/>) che consente di visualizzare questi grafici anche da cellulare, in ogni momento, ed anche di ricevere notifiche sugli eventi che comportano un'allerta meteo.

L'utilizzo di questa app da un numero sempre crescente di persone potrà garantire un'informazione più capillare per i cittadini interessati.

L'Amministrazione, in aggiunta a ciò, può prevedere l'installazione di segnalatori acustici (sirene) o pannelli informativi posti in punti chiave, che informano i cittadini dei fenomeni che interessano il torrente; queste azioni sono completate dalle prassi già previste nei piani di protezione civile per le situazioni di rischio: chiusura dei ponti, evacuazione dalle abitazioni più vicine al corso d'acqua, avvisi alla popolazione.