



**Comune di
Baldissero Torinese**
Citta' Metropolitana di Torino
Regione Piemonte



LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA DELL'ALVEO E RELATIVE SPONDE
DEL RIO DELLA PISSA IN FRAZIONE RIVODORA INSISTENTI
SU PARTICELLE DI PROPRIETÀ COMUNALE

PROGETTO ESECUTIVO

OGGETTO

RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA

TIMBRI E FIRME

SRIA
s.r.l.

**STUDIO ROSSO
INGEGNERI ASSOCIATI**

VIA ROSOLINO PILO N. 11 - 10143 - TORINO
VIA IS MAGLIAS N. 178 - 09122 - CAGLIARI
TEL. +39 011 43 77 242
studiorosso@legalmail.it
info@sria.it
www.sria.it

dott. ing. Roberto SESENNA
Ordine degli Ingegneri Provincia di Torino
Posizione n.8530J
Cod. Fisc. SSN RRT 75B12 C665C



dott. ing. Chiara AMORE
Ordine degli Ingegneri Provincia di Torino
Posizione n. 8304 J
Cod. Fisc. MRA CHR 75D91 L219V



CONTROLLO QUALITA'

DESCRIZIONE	EMISSIONE
DATA	AGO/2020
COD. LAVORO	426/SR
TIPOL. LAVORO	E
SETTORE	G
N. ATTIVITA'	01
TIPOL. ELAB.	RI
TIPOL. DOC.	E
ID ELABORATO	2
VERSIONE	0

REDATTO

ing. Chiara AMORE

CONTROLLATO

ing. Chiara AMORE

APPROVATO

ing. Roberto SESENNA

ELABORATO

2



INDICE

1. PREMESSA	2
2. INQUADRAMENTO GENERALE	3
2.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	3
2.2 INQUADRAMENTO CLIMATICO.....	4
3. ANALISI DELLA RETE IDROGRAFICA E DEI BACINI IMBRIFERI	5
3.1 PRINCIPALI CARATTERISTICHE DEL BACINO	5
3.1.1 <i>Caratteristiche vegetazionali e dell'uso del suolo del bacino</i>	5
3.1.2 <i>Parametri morfometrici</i>	6
3.2 ANALISI DELL'ACCLIVITÀ DI BACINO	6
3.3 CALCOLO DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE	6
4. DESCRIZIONE SINTETICA DEGLI INTERVENTI	9
5. ANALISI IDROLOGICA	11
5.1 CARATTERIZZAZIONE DEL REGIME IDROLOGICO	11
5.1.1 <i>Curve di massima possibilità pluviometrica</i>	11
5.2 CALCOLO DELLA PORTATA CON MODELLO NUMERICO.....	14
5.2.1 <i>Metodologia e input del modello</i>	14
5.2.2 <i>Calcolo del numero di curva adimensionale CN</i>	16
5.2.3 <i>Calcolo delle portate di piena</i>	17
5.3 ANALISI DEL TRASPORTO SOLIDO E DEFINIZIONE DEL DEBRISGRAMMA.....	18
6. ANALISI IDRAULICA	21
6.1 APPROCCIO METODOLOGICO	21
6.2 SINTESI DELLE PORTATE DI PROGETTO E VERIFICA	21
6.3 MODELLO DI SIMULAZIONE IDRAULICA IN MOTO PERMANENTE	21
6.3.1 <i>Descrizione del codice numerico utilizzato</i>	21
6.3.2 <i>Dati di input</i>	23
6.3.3 <i>Modalità di presentazione dei risultati</i>	24
6.3.4 <i>Analisi dei risultati</i>	24
6.4 VERIFICA IDRAULICA PRELIMINARE DEL TRATTO TERMINALE	25
6.5 VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI INDOTTI DA FENOMENI EROSIVI.....	26
6.5.1 <i>Verifica secondo l'analisi di moto incipiente</i>	27
6.5.2 <i>Metodologia proposta da Pilarczyk (1997)</i>	29
6.5.3 <i>Formulazioni empiriche di Neill e Bogardi</i>	31
6.5.4 <i>Conclusioni</i>	32

ALLEGATI

- ALLEGATO 1 – Carta del bacino –
- ALLEGATO 2 – Ietogrammi di progetto per differenti tempi di ritorno
- ALLEGATO 3 – Idrogrammi e debrisgrammi di progetto per differenti tempi di ritorno
- ALLEGATO 4 – Risultati delle simulazioni idrauliche con modello numerico



1. PREMESSA

Il presente elaborato è parte integrante del Progetto Esecutivo dei *“Lavori di messa in sicurezza dell'alveo e relative sponde del Rio della Pissa a Rivodora insistenti su particelle di proprietà comunale”*.

La presente relazione idrologico-idraulica è finalizzata alla determinazione dei principali parametri idrologici ed al calcolo delle portate per eventi pluviometrici parossistici relativi al Rio oggetto di intervento, denominato Rio della Pissa, affluente in destra del Rio Dora, in località Rivodora nel Comune di Baldissero Torinese (Città Metropolitana di Torino).

Il progetto comprende interventi di difesa spondale e regimazione delle acque mediante adeguamento idraulico del tratto terminale del Rio della Pissa ai fini di ripristinare i danni da dissesto idrogeologico conseguenti in particolare all'evento di dissesto del giugno 2020. Per una descrizione maggiormente dettagliata degli interventi in progetto si rimanda alla *Relazione descrittiva e documentazione fotografica (Elaborato 01)*.

Il presente documento, a seguito di un'analisi dettagliata delle caratteristiche geomorfologiche, pedologiche e fisiografiche del bacino in studio, analizza dal punto di vista idrologico l'entità delle precipitazioni relative ad un evento pluviometrico parossistico impulsivo, fornendo le curve di possibilità pluviometriche riferite a tutto il bacino idrografico sino alle due sezioni di interesse per tempi di ritorno di 10, 20, 50, 100 e 200 anni.

Applicando un metodo di trasformazione afflussi-deflussi, sono state successivamente determinate le portate idriche di piena per i tempi di ritorno di 100 e 200 anni, di interesse ai fini del dimensionamento e verifica degli interventi.

Nell'ambito del presente studio, è stata svolta un'analisi idrologico-idraulica del bacino idrografico del Rio della Pissa, in relazione alla sezione di chiusura ubicata in corrispondenza del tratto coperto, prima dell'immissione nel corpo idrico principale. È stata inoltre condotta un'analisi idraulica mediante modello numerico in moto permanente in alveo allo stato di progetto, con il fine di dimensionare e verificare correttamente gli interventi.



2. INQUADRAMENTO GENERALE

2.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il Territorio comunale di Baldissero Torinese si sviluppa su 15,46 km² che ricadono in ambito collinare, con alture che raggiungono quasi quota 700 m s.l.m. e in cui si distinguono n. 2 bacini idrografici: bacino del Rio Dora e bacino del Rio Baldissero. Parte del territorio comunale, prevalentemente a natura boscosa, ricade nel contesto del Parco naturale della Collina di Superga. Sito ad est della città di Torino, Baldissero T.se confina con la stessa Torino, oltre a Castiglione Torinese, Chieri, Pavarolo e San Mauro Torinese.

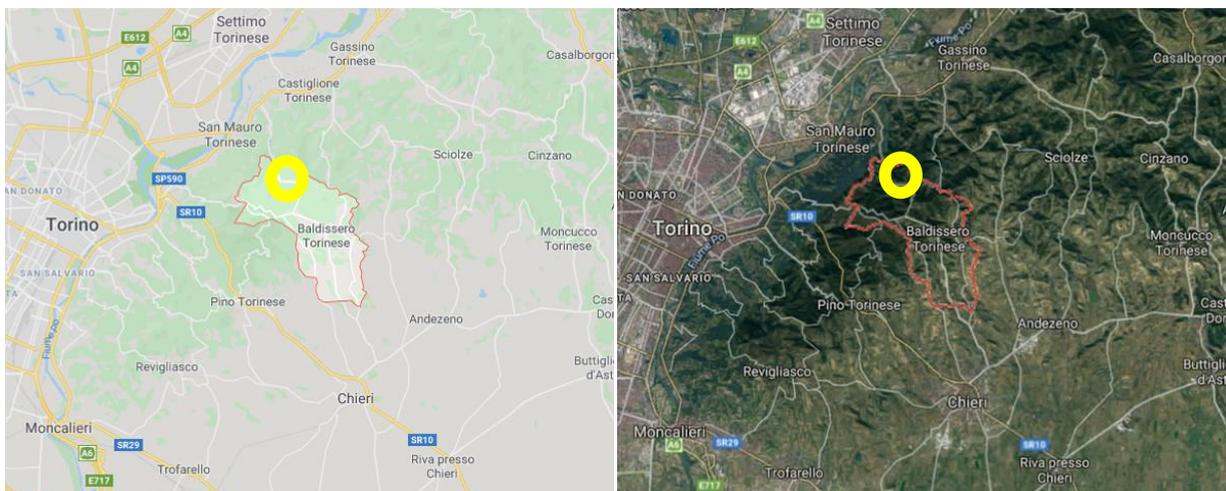


Figura 1 – Inquadramento geografico e ubicazione dell'intervento. L'area in studio è cerchiata in giallo.

Il Rio oggetto di indagine scorre nel territorio comunale di Baldissero Torinese in località Rivodora, nella collina a sud est di San Mauro Torinese e si immette nel Rio Dora attraversando l'area edificata e la SP96 prima con un tratto intubato e successivamente con un attraversamento a sezione rettangolare.



Figura 2 – Inquadramento geografico.



2.2 INQUADRAMENTO CLIMATICO

La Collina Torinese, pur occupando una posizione quasi centrale nell'ambito della regione piemontese, si innalza in modo netto rispetto alle circostanti zone pianeggianti. Tale diversità di quota, unita alla favorevole esposizione dei versanti collinari abitati, è causa di un andamento termico con escursioni termiche annuali sensibilmente ridotte rispetto a quelle tipiche del clima continentale della Pianura Padana occidentale.

Le differenze più marcate si hanno nella stagione invernale, quando la collina si viene sempre a trovare al di sopra dello strato di inversione termica: questo determina una forte limitazione del numero e dell'intensità delle gelate notturne, ma soprattutto una quasi totale assenza di nebbie e dunque un elevato soleggiamento in grado di garantire temperature pomeridiane decisamente miti. Le stagioni primaverili ed autunnali non presentano sostanziali differenze termiche rispetto alla sottostante pianura, mentre durante la stagione estiva tornano a farsi evidenti le differenze termiche rispetto alla zona pianeggiante: il pur limitato ma presente raffreddamento dovuto all'altitudine, unito alla maggiore esposizione ai venti ed alle correnti d'aria, rendono meno intenso il riscaldamento durante le ore diurne e limitano la sensazione di disagio tipica dei bassi strati afosi prossimi alla pianura.

Il regime pluviometrico presenta un minimo principale in gennaio-febbraio, massimo principale in maggio, minimo secondario in luglio e massimo secondario in novembre.



3. ANALISI DELLA RETE IDROGRAFICA E DEI BACINI IMBRIFERI

3.1 PRINCIPALI CARATTERISTICHE DEL BACINO

Per caratterizzare il regime pluviometrico dell'area oggetto di studio, è stata definita la pluviometria che caratterizza l'area sottesa dal bacino idrografico del Rio della Pissa alla sezione di chiusura.

In Figura 3 si riporta lo stralcio cartografico con la delimitazione del bacino idrografico, pari a 0,47 km².

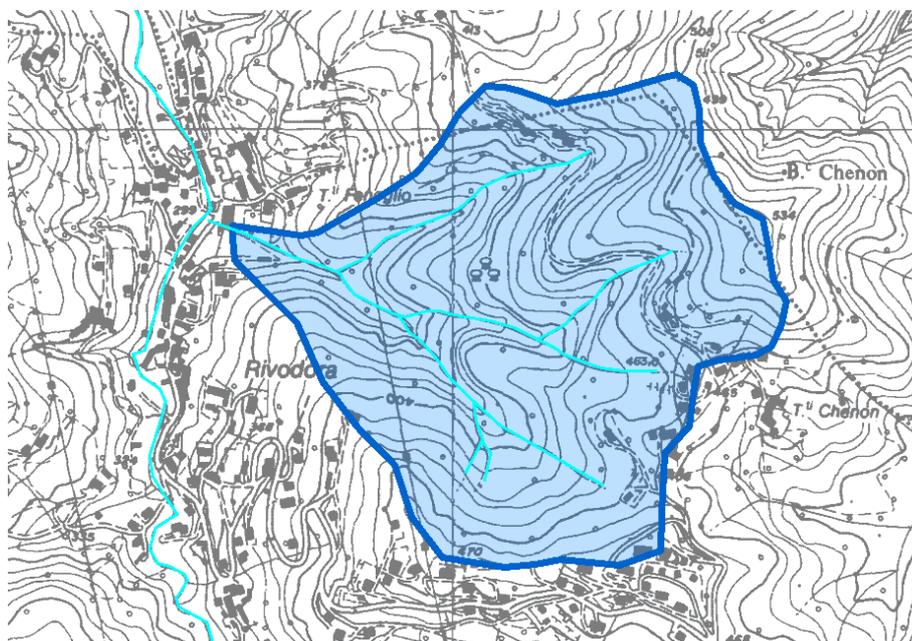


Figura 3 – Estratto cartografico e delimitazione del bacino idrografico del Rio della Pissa.

3.1.1 Caratteristiche vegetazionali e dell'uso del suolo del bacino

Il bacino analizzato presenta quota massima di 534 m s.l.m. (Bric Chenon) e dal punto di vista dell'uso del suolo si tratta quasi interamente di superfici boscate, con forti limitazioni d'uso (classi IV e V).

- Classe IV: “Suoli con molte limitazioni che restringono la scelta delle colture agrarie e richiedono specifiche pratiche agronomiche”;
- Classe V: “Suoli con forti limitazioni che ne restringono notevolmente l'uso agrario”.



3.1.2 Parametri morfometrici

Nella valutazione dei parametri morfologici in grado di caratterizzare la conformazione del bacino si è valutata, oltre all'area S , anche il perimetro P . Il bacino ha andamento E-W.

I rapporti tra i parametri fisiografici di un bacino idrografico costituiscono un'indicazione sintetica e quantitativa della forma del bacino stesso; si definiscono quindi i seguenti coefficienti di forma, introducendo il diametro D e il perimetro C corrispondenti ad un bacino di forma circolare avente la stessa estensione S del bacino in esame:

$$F_1 = \frac{L}{D} = \frac{L}{\sqrt{4S/\pi}} = 0,89 \frac{L}{\sqrt{S}}$$

$$F_2 = \frac{P}{C} = \frac{P}{\sqrt{2\sqrt{S}\pi}} = 0,28 \frac{P}{\sqrt{S}}$$

I parametri di forma calcolati per il bacino del Rio della Pissa sono prossimi all'unità, indicando quindi una morfologia tendenzialmente arrotondata:

$$F_1 = 1,06$$

$$F_2 = 1,18$$

3.2 ANALISI DELL'ACCLIVITÀ DI BACINO

L'analisi dell'acclività, oltre a permettere, a parità di condizioni litologiche, geomeccaniche ed idrogeologiche, l'individuazione delle aree di maggiore propensione al dissesto, rappresenta il fattore dominante per le condizioni di stabilità dei versanti, ed è sicuramente un elemento fondamentale per lo studio morfologico della rete idrografica al fine di definire la “risposta del bacino” e cioè il legame afflussi-deflussi attraverso la definizione della capacità di invaso della rete idrografica. L'acclività, inoltre, è un parametro importante per valutare i processi di erosione superficiale del suolo che condizionano la definizione del trasporto solido di un corso d'acqua nel periodo di piena.

La pendenza media dell'impluvio è espressa in genere dal rapporto tra la massima differenza di quota e la lunghezza totale dell'asta stessa:

$$i_f = \frac{\Delta h_{\max}}{L}$$

Nel caso del bacino considerato si riscontra una pendenza media pari al 30%.

3.3 CALCOLO DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE

Il tempo di corrivazione dipende da numerosi fattori (geologici, morfologici, planimetrici, idrologici, di copertura del suolo,...), di cui è difficile tener conto: si fa, pertanto, ricorso a formule empiriche, che esprimono il legame con alcune grandezze caratteristiche del bacino. Nel presente studio è stato definito il tempo di corrivazione relativo ai sottobacini individuati, facendo ricorso a differenti formulazioni adatte alla tipologia di bacino



Progetto Esecutivo

considerata. Verificata la coerenza dei valori ottenuti, al bacino è stato associato il valore medio dei tempi di corrivazione così calcolati.

Si riportano di seguito le formulazioni utilizzate nel presente studio:

1. La formulazione di Pasini per bacini di superficie < 40 km²:

$$T_c = 0,108 \cdot \frac{\sqrt[3]{S \cdot L}}{\sqrt{i_f}}$$

dove:

- T_c = tempo di corrivazione (ore);
- S = superficie del sottobacino (Km²);
- L = lunghezza dell'asta principale (Km);
- i_f = pendenza caratteristica dell'asta principale (m/m);

2. La formulazione proposta Pezzoli (per bacini < 20 km²):

$$T_c = 0,055 \cdot \frac{L}{\sqrt{i_f}}$$

dove:

- T_c = tempo di corrivazione (ore);
- L = lunghezza dell'asta principale (Km);
- i_f = pendenza caratteristica dell'asta principale (m/m);

3. La formulazione proposta da Ventura (per bacini < 40 km²):

$$T_c = 0,1272 \cdot \sqrt{\frac{S}{i_f}}$$

- T_c = tempo di corrivazione (ore);
- S = superficie del sottobacino (Km²);
- i_f = pendenza caratteristica dell'asta principale (m/m);

4. La formulazione di Kirpich (per bacini < 10 km²):

$$T_c = 0,066 \cdot L^{0,77} \cdot \left(\frac{1000 \cdot L}{h_{max} - h_{min}} \right)^{0,385}$$

- T_c = tempo di corrivazione (ore);



Progetto Esecutivo

- L = lunghezza dell'asta principale (Km);
 h_{max} = quota massima dell'asta principale (m);
 h_{min} = quota sezione di chiusura (m);

5. Formulazione di Merlo

$$T_c = \alpha \frac{L}{\sqrt{i_f}} \left(\frac{S}{L^2} \cdot \frac{\sqrt{i_f}}{\sqrt{i_v}} \right)^{0,72}$$

dove:

- T_c = tempo di corrivazione (ore);
S = superficie del sottobacino (Km²);
L = lunghezza dell'asta principale (Km);
 i_f = pendenza caratteristica dell'asta principale (m/m);
 i_v = pendenza media dei versanti (m/m);
 α = parametro empirico.

Per l'utilizzo delle precedenti formule, è necessario determinare i parametri morfologici necessari, vale a dire la superficie, la lunghezza dell'asta fluviale tra la quota della sezione iniziale e quella finale di chiusura del bacino, la pendenza dell'asta principale. Valutate le ipotesi alla base dei diversi metodi applicati, si è ritenuto ragionevole utilizzare per i calcoli successivi il valore medio delle formulazioni analizzate.

I valori dei tempi di corrivazione calcolati con le differenti formulazioni, eliminati i valori anomali, sono stati mediati per definire il tempo di corrivazione utilizzato nelle successive analisi afflussi – deflussi, riportato nella tabella seguente.

Tabella 1 – Tempi di corrivazione per il bacino in studio.

Bacino	Tempo di corrivazione (h)
Rio della Pissa	0,26



4. DESCRIZIONE SINTETICA DEGLI INTERVENTI

Lo studio del bacino e la valutazione degli eventi di dissesto che lo hanno interessato, in particolare l'evento occorso nel giugno scorso, hanno evidenziato la necessità, in generale, di prevedere interventi di tipo passivo per il contenimento delle portate, con particolare attenzione al carico solido.

Ai fini della definizione degli interventi, gli elementi conoscitivi che l'analisi geologico-geomorfologica, l'analisi idrologica e l'analisi del contesto territoriale hanno determinato la consapevolezza che in primo luogo, con carattere di urgenza, deve essere adeguato il tratto terminale del rio, dal cimitero sino al limite del tratto intubato che, dopo aver attraversato una proprietà privata, sottopassa la SP.

In ottemperanza all'Ordinanza sindacale n. 19 del 24.06.2020 gli Scriventi hanno pertanto redatto un primo stralcio di interventi aventi carattere di urgenza e dotati di copertura finanziaria, facenti parte del presente progetto, che si concentrano sul tratto di valle.

Gli interventi proposti, riportati nello schema planimetrico di Figura 4, possono essere così sinteticamente descritti:

- **Rettifica e regolarizzazione della sezione d'alveo**

L'attuale sezione dell'alveo è in terra, forma trapezia presenta evidenti processi erosivi in atto. La sezione in progetto avrà caratteristiche dimensionali idonee al deflusso delle portate di piena calcolate, attese per un tempo di ritorno di 100 anni. La sezione trapezia si caratterizzerà da una base minore di 1,5 m, una larghezza in testa di 3 m e un'altezza di 1,5 m. La pendenza del fondo, pari al 7%, sostanzialmente resterà invariata, fatta eccezione per il tratto terminale dove si realizzeranno due salti di fondo a inizio e a metà della vasca di deposito.

- **Protezione della sponda sinistra con scogliera**

La sponda sinistra, che lambisce principalmente terreni di proprietà comunale e presenta un piano campagna a quota più elevata, sarà protetta da scogliera in massi ciclopici opportunamente fondati sotto la linea di thalweg. La scogliera, di altezza complessiva 2,60 m di cui 0,60 m di zoccolo di fondazione, sarà fondata in modo che l'estradosso della fondazione sia collocato 0,5 m sotto la profondità di thalweg della sezione.

- **Arretramento muro di confine e protezione con scogliera**

Il punto maggiormente critico è rappresentato dall'ostruzione data dai manufatti del cimitero in sinistra e dal muro di contenimento e confine del mappale 99. Si rende necessario pertanto arretrare il muro di contenimento e confine in destra al fine di garantire la sezione di progetto anche in corrispondenza di tale tratto critico. Anche in sponda destra, limitatamente al tratto in oggetto, per uno sviluppo di 10 m si realizzerà la scogliera di protezione, andando a costituire con la difesa in sinistra un unico manufatto.

- **Vasca di deposito e briglia di trattenuta del materiale**

L'intervento di tipo passivo è caratterizzato dalla realizzazione, nell'area di proprietà comunale, immediatamente a monte del tratto tombato, di una vasca di deposito e trattenuta del materiale solido eventualmente trasportato dalla corrente affinché esso non vada ad ostruire la tubazione esistente, di dimensioni limitate.

La vasca avrà estensione longitudinale di circa 15 m e trasversale di circa 5 m (oltre la larghezza del rio), con quota di fondo leggermente rialzata rispetto al fondo alveo al fine di attivarsi solo durante gli eventi pluviometrici e non



Progetto Esecutivo

per il deflusso di base del corso d'acqua. La vasca sarà suddivisa in due settori: il principale, a monte della briglia a pettine, dove si ipotizza la trattenuta di maggior parte del materiale, e un settore secondario a valle, per incrementare ulteriormente il volume disponibile. Il setto intermedio sarà dotato di opportuni drenaggi per garantire la filtrazione della portata liquida anche successivamente all'interrimento della briglia e del settore principale della vasca ed avrà una quota tale da essere eventualmente sormontato senza comportare da parte del livello idrico il superamento della quota delle scogliere perimetrali della vasca.

- **Interventi accessori: regimazione acque piazzale e sistemazione recinzione e sponda campo sportivo.**

Sono previsti inoltre alcuni interventi accessori complementari, atti a garantire la fruibilità e la funzionalità delle opere realizzate e degli elementi presenti nell'intorno.

In primo luogo si prevede la sistemazione del piazzale comunale con stesa e compattazione di materiale e di misto granulare, e corretta regimazione delle acque mediante la realizzazione di fosso di raccolta delle acque di ruscellamento e convogliamento controllato nel Rio della Pissa in corrispondenza della vasca in progetto.

In relazione alla presenza del campo sportivo soprastante la sponda sinistra, poiché tale proprietà diventerà comunale, si prevede la sistemazione della recinzione metallica laddove necessiti di intervento e la sistemazione della sponda in prossimità della stessa recinzione nel tratto dove i processi erosivi hanno indotto l'instabilizzazione della fondazione dei sostegni della recinzione.

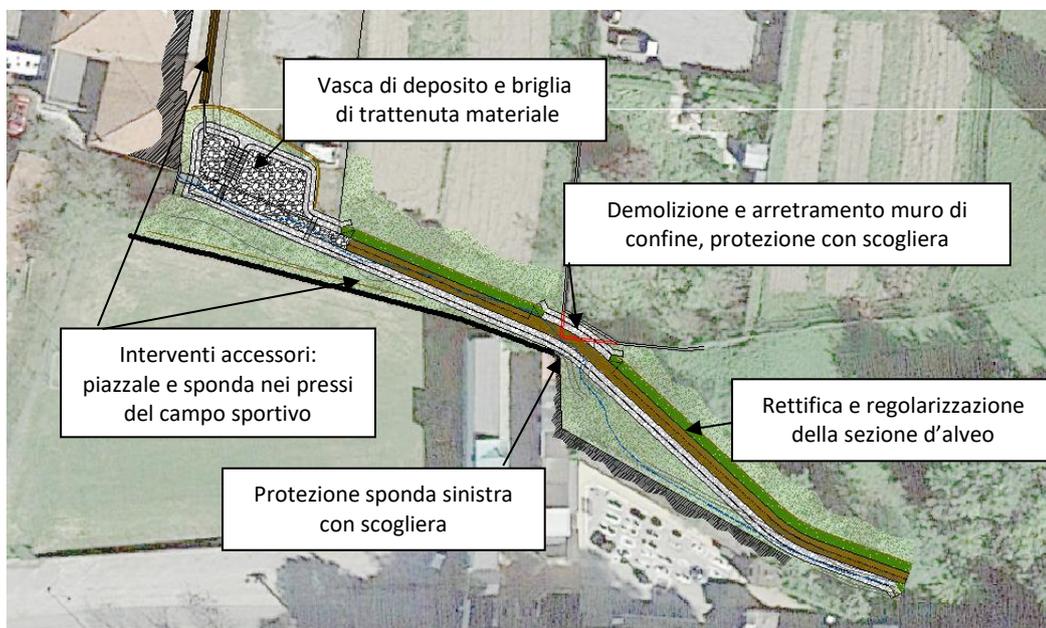


Figura 4 – Estratto planimetrico degli interventi in progetto.



5. ANALISI IDROLOGICA

Per poter definire le portate di progetto e di verifica idraulica degli interventi, è necessario condurre un'analisi pluviometrica dell'area e successivamente, con un adeguato modello di trasformazione afflussi-deflussi, definire la portata di progetto per un adeguato tempo di ritorno.

Nel caso specifico, è stata valutata la pluviometria relativamente al bacino di interesse, in particolare sulla base dei dati pluviometrici storici e dei dati ufficiali.

5.1 CARATTERIZZAZIONE DEL REGIME IDROLOGICO

Per calcolare le massime portate di piena per assegnati tempi di ritorno è indispensabile poter simulare gli effetti sul bacino di un evento di pioggia particolarmente gravoso denominato *pioggia di progetto*. Tale evento può coincidere con un evento eccezionale effettivamente osservato in passato oppure, come sarà applicato nel presente studio, rappresentare un evento ipotetico, definito considerando le caratteristiche pluviometriche ed idrologiche dell'area in esame e la probabilità che lo stesso possa verificarsi in un assegnato intervallo di tempo, definito appunto *tempo di ritorno* (T_r).

La valutazione del regime idrologico dell'area d'interesse è stata condotta facendo riferimento alla metodologia elaborata dall'ARPA PIEMONTE – Atlante delle piogge intense.

Il servizio consente di ricavare in un qualsiasi punto del territorio regionale le linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per assegnato tempo di ritorno per le durate da 10 minuti a 24 ore che rappresentano lo strumento essenziale nella progettazione idraulica e nella valutazione probabilistica delle portate di piena. L'analisi statistica ha utilizzato tutta la base dati disponibile comprensiva delle stazioni storiche del Servizio Idrografico e Mareografico nazionale in funzione nel periodo 1913-2002 e delle stazioni della rete regionale realizzata a partire dal 1987.

Al bacino individuato è stato quindi applicato tale sistema statistico di regionalizzazione. Le curve di possibilità pluviometrica definiscono i parametri idrologici per l'applicazione del metodo afflussi-deflussi mediante il quale, note le caratteristiche idrologiche dei bacini, si ricavano per assegnato tempo di ritorno i valori delle portate di piena.

5.1.1 Curve di massima possibilità pluviometrica

Lo scopo principale dell'analisi idrologica è quello di determinare l'entità delle massime portate di deflusso per l'area oggetto di studio, in particolare in riferimento ad eventi meteorici intensi di breve durata.

La metodologia permette di selezionare graficamente l'area del bacino di interesse e scaricare i dati caratteristici di ogni maglia in tabelle rappresentative per la successiva elaborazione numerica. Le maglie hanno dimensione areale pari a 1000x1000 m, ad ogni quadrato del reticolo sono assegnati i valori di a , n e K_t caratteristici e per i quali utilizzando le formule elaborate nella metodologia è possibile calcolare dei valori di a , $n = f(T_R)$ rappresentativi del bacino analizzato.



Un esempio grafico della maglia utilizzabile nel webgis dell'atlante delle piogge intense è riportato in Figura 5.

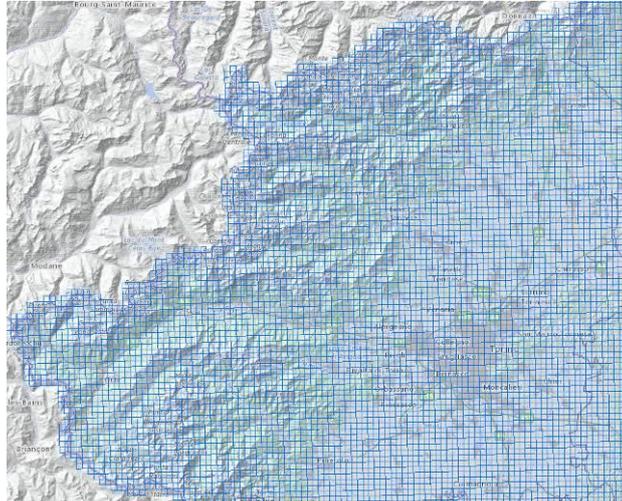


Figura 5 – Maglie della rete dell'Atlante delle Piogge – Arpa Piemonte

Le elaborazioni statistiche effettuate nella metodologia proposta da Arpa Piemonte consentono, per assegnato valore del tempo di ritorno, di ricavare per ciascun bacino la curva di massima possibilità pluviometrica, rappresentata dalla funzione:

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

avendo indicato con

- h [mm] altezza della pioggia;
- t [ore] tempo di pioggia;
- a [mm] massima precipitazione di durata 1 ora (funzione di Tr);
- n [-] esponente in funzione di Tr .

È stato quindi possibile valutare il valore assunto dal coefficiente a e dall'esponente n per il bacino individuato, utilizzando la metodologia sopra esposta.

L'analisi è stata svolta per il bacino del Rio della Pissa con sezione di chiusura in corrispondenza del fondovalle (cfr. Figura 6) calcolando i valori di precipitazione per differenti tempi di ritorno e per le differenti durate come media dei valori ricadenti nelle celle appartenenti al sottobacino stesso, ottenendo le curve di possibilità pluviometrica (cfr. Figura 7) da cui ricavare i coefficienti a ed n (cfr. Tabella 2).



Progetto Esecutivo

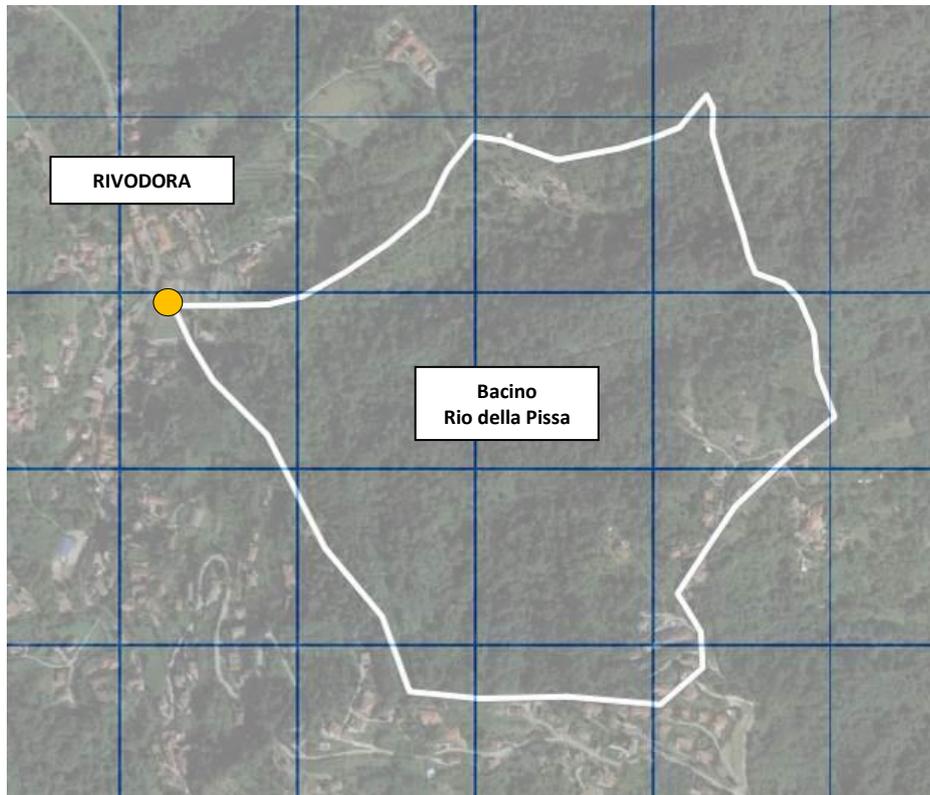


Figura 6 – Celle della rete dell'Atlante delle Piogge – Arpa Piemonte sovrapposte al bacino in studio.

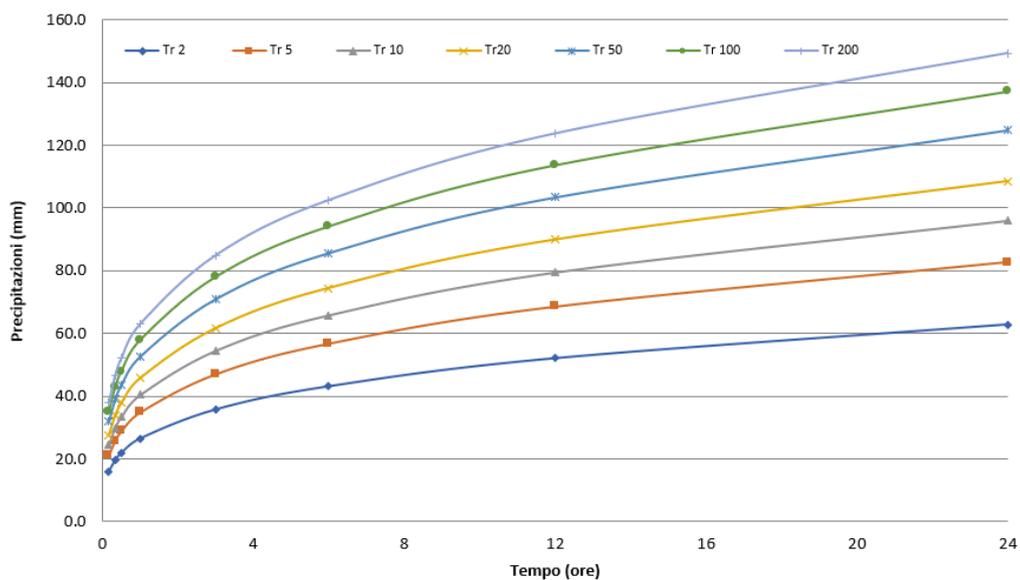


Figura 7 – Curve di possibilità pluviometrica per differenti Tr (Bacino Rio della Pissa).



Tabella 2 – Valori di a ed n relativi al bacino considerato per i differenti tempi di ritorno.

BACINO	TR	2	5	10	20	50	100	200
Rio della Pissa	a	26,3867	34,7464	40,2793	45,5892	52,4604	57,6146	62,7547
	n	0,2738	0,2738	0,2738	0,2738	0,2738	0,2738	0,2737

5.2 CALCOLO DELLA PORTATA CON MODELLO NUMERICO

5.2.1 Metodologia e input del modello

Uno dei metodi più utilizzati per calcolare le portate di piena relative ad una sezione di un corso d'acqua consiste nel fare riferimento ai dati pluviometrici ed elaborare statisticamente gli stessi, ricavando la portata con il metodo della corrivazione o con altri metodi indiretti di trasformazione degli afflussi in deflussi. La trasformazione afflussi-deflussi si basa difatti su modelli numerici che consentono di passare dal dato di precipitazione al dato di portata, dove entrano in gioco aspetti morfologici, dati di infiltrazione, ruscellamento, evaporazione ecc.

Per il calcolo delle portate, e quindi per la stima dei prevedibili volumi liquidi legati ad un prescelto tempo di ritorno, si è utilizzato in particolare un approccio di tipo modellistico che consente, una volta definita la precipitazione di progetto, di calcolare le portate defluenti alla sezione che sottende il bacino in esame mediante la simulazione dei complessi fenomeni di trasformazione afflussi-deflussi.

Il software utilizzato, derivato dal noto codice di calcolo americano HEC-HMS “*Flood Hydrograph Package*” sviluppato dall'*Hydrologic Engineering Center* dell'U.S. *Army Corps of Engineers*, consente mediante un'opportuna schematizzazione del reticolo idrografico in una serie di componenti idrologicamente interconnessi tra loro ed un'attenta definizione delle caratteristiche geometriche e di permeabilità del bacino, il calcolo degli idrogrammi di deflusso che competono a particolari eventi meteorici registrati.

La pioggia di progetto utilizzata ha uno ietogramma con andamento triangolare detto “di Chicago”, il tempo di ritorno viene assegnato a priori, così come anche la durata t_p dell'evento critico che generalmente è maggiore o uguale al tempo di corrivazione del bacino in studio. L'intensità della pioggia che si ricava non è costante nel tempo in quanto lo ietogramma presenta un picco di intensità da fissare a priori generalmente in funzione del procedimento di trasformazione afflussi-deflussi prescelto.

Nell'introdurre questa pioggia di progetto i due ideatori si sono basati sulla constatazione che la portata al colmo della piena prodotta da un evento di pioggia dipende in modo essenziale dal volume di pioggia caduto nell'intervallo di tempo in cui l'intensità è massima, da quello caduto in precedenza e dalla posizione del picco dell'intensità nello ietogramma.

Si ricava in tal modo uno ietogramma che si basa sul criterio concettuale del rispetto della curva di possibilità climatica nella sua interezza: la massima intensità media di precipitazione per ciascuna durata coincide con il valore ricavato dalla curva di possibilità pluviometrica di assegnato tempo di ritorno.

Seguendo il procedimento di calcolo si sono ricavati, per i tempi di ritorno prescelti, gli ietogrammi (di cui in Figura 8 si riporta un esempio), relativi ad un evento ipotetico con durata pari ad almeno due volte il tempo di corrivazione del bacino, ma con una intensità differente per tutto il periodo di precipitazione.

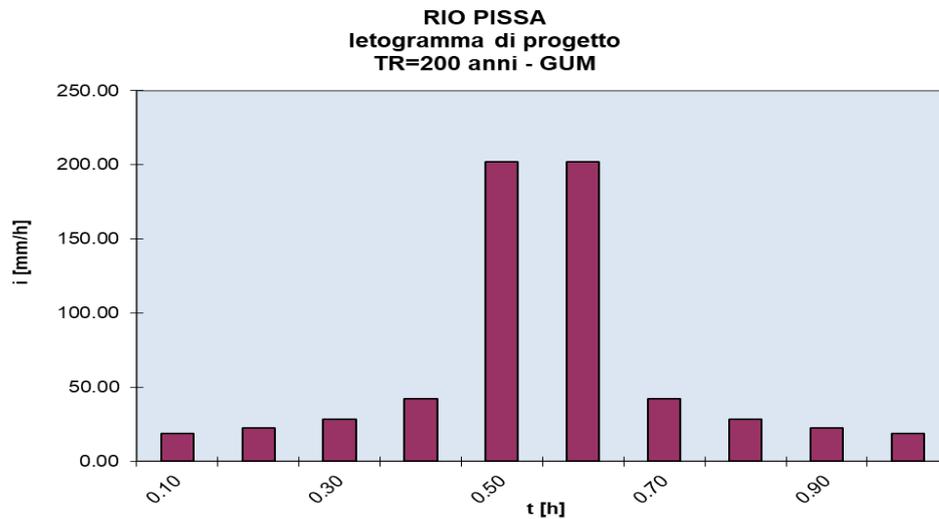


Figura 8 – letogramma Chicago definito in base ai coefficienti a ed n per Tr_{200} per il bacino del Rio della Pissa.

Il calcolo della quota parte di precipitazioni perse in depressioni superficiali, intercettazione, evapotraspirazione, infiltrazione può essere invece eseguito utilizzando metodi diversi che richiedono la conoscenza di vari dati di ingresso spesso di difficile definizione, quali la specificazione della percentuale d’area di sottobacino impermeabile (*percent impervious area*), per la quale il codice di calcolo non tiene conto di nessuna perdita, e molti altri parametri di difficile determinazione quali le perdite iniziali e a regime o l’umidità e la conduttività idraulica del terreno per citarne solo alcuni.

Il metodo del *Soil Conservation Service* Statunitense richiede la conoscenza del valore della perdita iniziale di pioggia (*Initial abstraction*) e del numero di curva adimensionale *CN* (*Curve Number*) definito dal *Soil Conservation Service* sulla base di numerosi dati raccolti con campagne di misure in campo. Spesso però, per la necessità di semplificazione o per la difficoltà che si incontra nel definire i vari parametri, le perdite vengono considerate facendo riferimento ad un’unica equazione nonostante esistano numerosi metodi per il calcolo delle singole quote da attribuire a ciascun fenomeno. La ragione di tale semplificazione risiede nel fatto che le leggi che governano i singoli fenomeni fisici non sono tuttora ben conosciute e risulta pertanto molto difficile individuare i confini di competenza di ciascun processo.

Nel caso in studio il calcolo della quota parte di precipitazioni perse nel bacino è stato eseguito con il metodo *SCS curve number*. I parametri necessari sono due ed il numero di curva adimensionale può essere valutato noti l’uso e la litologia del suolo (§ 5.2.2).

Di più difficile determinazione è invece la stima della perdita di pioggia I_a che si ha all’inizio dell’evento meteorico, perché è funzione delle caratteristiche geologiche e di saturazione del terreno stesso; tuttavia tale parametro può essere calcolato, in funzione di *CN* sulla base di numerosi dati raccolti con campagne di misure in campo, secondo la relazione proposta:

$$I_a = 0,2 \frac{(1000 - 10CN)}{CN}$$



Progetto Esecutivo

5.2.2 Calcolo del numero di curva adimensionale CN

Il numero di curva adimensionale *CN* è un indice di ritenzione potenziale del suolo, che dipende dalla pedologia, dal tipo e grado di copertura del suolo e dal grado di umidità iniziale del terreno. Tale indice ha un valore compreso tra 0 e 100 e, per la sua determinazione, il *Soil Conservation Service* propone delle classificazioni, in modo da far rientrare la zona esaminata in una determinata categoria e ricavare da opportune tabelle il valore di *CN* corrispondente.

I terreni che costituiscono i bacini in esame devono essere ricondotti ad una delle quattro classi litologiche (Tabella 3): dall'analisi geolitologica del terreno e dalla carta geologica nazionale al bacino in studio è stata assegnata la classe C.

Tabella 3 - Gruppi idrogeologici assegnabili ai diversi litotipi

Classi di permeabilità	Litologia
GRUPPO A	Tufi incoerenti, pozzolane, ceneri, scorie, lapilli (si presentano in strati e banchi, dune, depositi sabbiosi di origine eolica a ridosso di spiagge)
	Rocce calcaree (calcarei dolomitici, calcari marnosi, travertini, calcareniti, breccie calcaree, calcari organogeni) fossilifere, organogene, molto fratturate, gessi salgemma
	Limi, sabbie, ghiaie, ciottoli, (formano depositi alluvionali di origine fluviale o lacustre, tali materiali formano le pianure alluvionali, i coni di deiezione, i terrazzi fluviali)
	Falde e coni di detrito, macerati, composti da cumuli di frammenti rocciosi, di solito angolosi, talora più o meno cementati (breccie di pendio), si trovano ai piedi dei versanti montuosi ripidi e presentano tracce più o meno evidenti di stratificazione
GRUPPO B	Morene ed in generale depositi glaciali
	Coltri eluviali e colluviali - costituite prevalentemente da sabbie e limi con minori quantità di ghiaie, variamente mescolati fra loro
	Conglomerati, breccie, sabbioni e sabbie cementate (ciottoli, ghiaie, sabbie e limo a vari gradi di cementazione)
GRUPPO C	Rocce tipo molto fratturate
	Rocce sedimentarie compatte - dolomie, marne, arenarie, tufi cementati, pomici, alternanza di argille e arenarie, di argille e calcari
	Rocce dolomitiche compatte
	Rocce calcaree compatte
GRUPPO D	Rocce tipo fratturate
	Rocce eruttive (o magmatiche) intrusive - graniti, sieniti dioriti, gabbrri
	Rocce eruttive (o magmatiche) effusive - porfidi trachiti, lipariti, fonoliti, porfiriti, andesiti, basalti, tefriti, leucititi
	Rocce argillose - argilloscisti, argille varie, depositi argillosi di origine lacustre, banchi argillosi di origine fluviale intercalati spesso nei sedimenti alluvionali, depositi eluviali (ferretto, terra rossa) e colluviali argillosi che possono coprire sottostanti rocce permeabili rendendo così impermeabile il terreno
	Rocce metamorfiche - gneiss, micascisti, quarziti, filladi, scisti anfibolici, talcoscisti, e scisti di natura silicea

Si sono quindi calcolate, in funzione della carta dell'uso del suolo, le superfici afferenti a ciascuna classe d'uso, provvedendo conseguentemente, all'attribuzione parziale del CN caratteristico.

La categoria a cui fare riferimento si può individuare in base alla precipitazione totale dei 5 giorni precedenti quello dell'evento di pioggia e in base alla stagione (vegetativa o non vegetativa), come riportato nella Tabella 4.



Progetto Esecutivo

Tabella 4 – Condizioni di umidità in funzione della precipitazione antecedente.

AMC	Precipitazione antecedente di 5 gg l'evento	
	Stagione di riposo (mm)	Stagione vegetativa (mm)
I	< 12,7	< 35,6
II	12,7 – 27,9	35,6 – 53,3
III	> 27,9	> 53,3

Il CN viene calcolato come media pesata, considerando come pesi le percentuali areali di ciascuna classe d'uso del suolo, riferendosi ad un grado di umidità iniziale del terreno prima che si verifichi l'evento meteorico di tipo II, cioè a un terreno umido.

È possibile prendere in considerazione anche situazioni di umidità del terreno all'inizio della precipitazione diversa da quella media; il metodo, infatti, classifica le condizioni di umidità in tre categorie:

- ✓ **AMC I: potenziale di scorrimento superficiale minimo; i suoli del bacino sono sufficientemente asciutti da permettere un'aratura o coltivazione soddisfacente;**
- ✓ **AMC II: condizione media;**
- ✓ **AMC III: potenziale di scorrimento superficiale massimo; il bacino è stato praticamente saturato dalle piogge precedenti.**

I valori di CN corrispondenti alla categoria AMC I e AMC III si possono ricavare dal valore di CN che corrisponde alla categoria AMC II per mezzo delle seguenti relazioni (Chow et al., 1988), dove α e β sono coefficienti sperimentali noti:

$$CN(I) = \frac{\alpha \cdot CN(II)}{10 - \beta \cdot CN(II)}, \quad CN(III) = \frac{\alpha \cdot CN(II)}{10 + \beta \cdot CN(II)}$$

5.2.3 Calcolo delle portate di piena

Il modello di calcolo HEC-HMS consente di calcolare le portate di piena alla sezione di chiusura.

I risultati del modello sono riportati in Tabella 5, mentre in **ALLEGATO 3** **Errori**. L'origine riferimento non è stata trovata. si riportano i corrispondenti idrogrammi delle portate di piena.

Tabella 5 – Portate di piena calcolate col metodo afflussi – deflussi per tempo di ritorno di 100 e 200 anni

Bacino	Q ₁₀₀ (m ³ /s)	Q ₂₀₀ (m ³ /s)
Rio della Pissa	3,7	4,7



5.3 ANALISI DEL TRASPORTO SOLIDO E DEFINIZIONE DEL DEBRISGRAMMA

In ragione della fenomenologia degli eventi di dissesto che hanno interessato il Rio della Pissa, si è ritenuto opportuno sviluppare l’analisi del trasporto solido per la definizione del debrisgramma utile per il dimensionamento di massima degli interventi in progetto, in particolare per la valutazione del volume necessario per il bacino di deposito.

In generale il trasporto solido dei corsi d’acqua è un fenomeno funzione di numerosi fattori quali: il clima, i caratteri idraulici della corrente, la litologia, la morfologia e le dimensioni del bacino idrografico, la morfologia dell’alveo fluviale, l’attività umana nel bacino e lungo l’alveo fluviale stesso.

La portata solida in un determinato istante non è uniformemente distribuita nella sezione, ma varia da punto a punto e in ogni punto fluttua nel tempo. Le variazioni di concentrazione sulla verticale sono generalmente più accentuate che in senso trasversale. Infatti le diverse granulometrie tendono a distribuirsi in modo diverso lungo la verticale: le particelle più fini, dal campo delle argille fino ai limi, hanno generalmente una concentrazione quasi uniforme; quelle più grossolane presentano concentrazioni crescenti verso il fondo.

Per l’analisi di un fenomeno di colata detritica, nell’ottica di una corretta definizione dei fenomeni che potenzialmente si possono manifestare, è necessario ricostruire il “debrisgramma”, ovvero del grafico che rappresenta la variazione di portata della colata nel tempo o dalla determinazione dell’entità del picco di portata in corrispondenza di un evento pluviometrico parossistico.

Le caratteristiche e l’entità del debrisgramma e della portata di picco del fenomeno di colata dipendono in generale dall’apporto di portata liquida dell’evento a cui sono correlate, ovvero dall’idrogramma di piena. L’analisi idrologica è pertanto propedeutica allo studio dei fenomeni di colate detritiche: una volta ottenuto l’idrogramma della portata liquida corrispondente ad un prefissato T_r si è in grado di stimare la portata di picco del fenomeno di colata utilizzando le metodologie ed i criteri proposti in letteratura. La metodologia considerata per il calcolo della portata di picco di un debris flow è quella proposta da Takahashi nel 1991:

$$Q_{d \max} = Q_{l \max} \cdot \frac{C^*}{C^* - C}$$

La formula è altrimenti esprimibile come:

$$Q_{d \max} = Q_{l \max} \cdot k$$
$$k = \frac{C^*}{C^* - C}$$

dove con C^* si indica la concentrazione di massimo impaccamento o la concentrazione statica dei sedimenti, ossia la concentrazione prima che l’ammasso si mobiliti, generalmente assume valori compresi tra 0,55 e 0,75.

Le formulazioni per il calcolo della C , ossia della concentrazione solida volumetrica all’equilibrio del fronte stazionario, sono funzioni essenzialmente delle caratteristiche geomeccaniche del sedimento e della pendenza dell’alveo, oltre che della densità dell’acqua e della densità del solido. Inoltre, esse sono funzione anche del valore della concentrazione statica C^* .



Progetto Esecutivo

Il picco di debris flow è invece determinato in corrispondenza del massimo valore di portata idrica.

Per il caso in esame è stato assunto il valore di C^* pari a 0,55, mentre la concentrazione solida volumetrica all'equilibrio (C) è stata assunta variabile in funzione del tempo di ritorno dell'evento di piena.

A seguire vengono riportati i debris – gramma ricostruiti e i valori significativi degli stessi, per il bacino idrografico in esame, relativamente a tempi di ritorno di 100 e 200 anni.

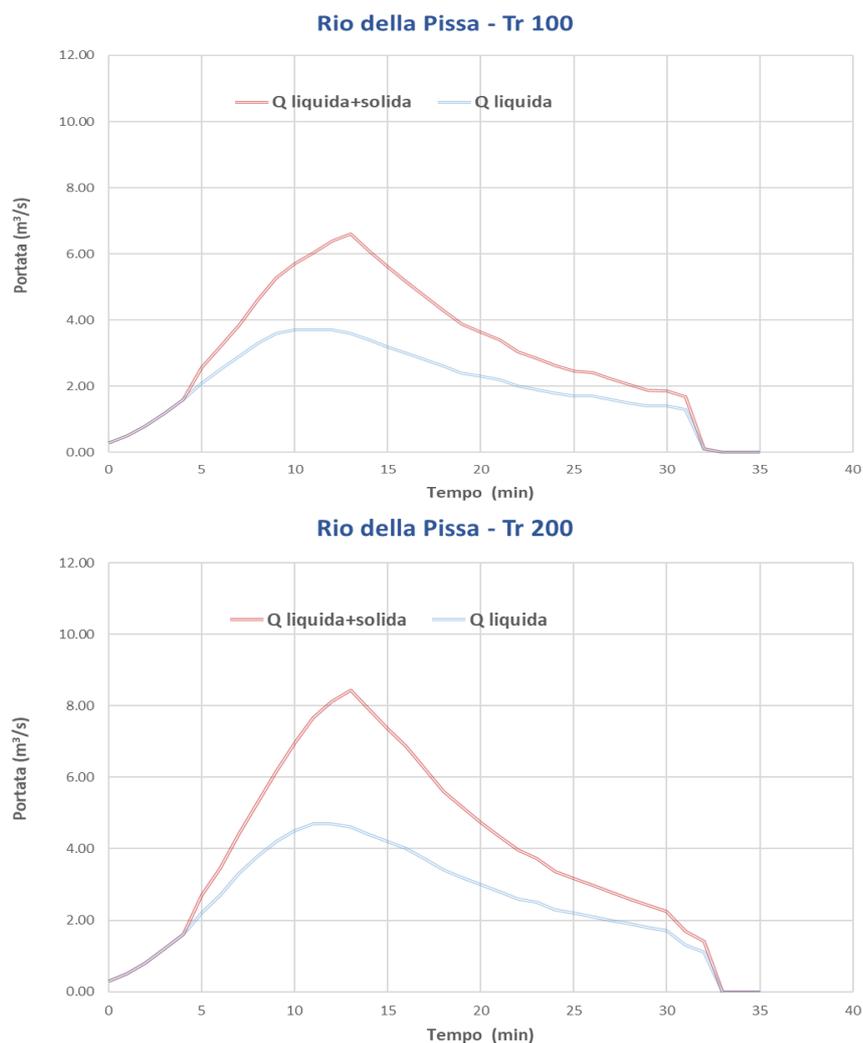


Figura 9 – Debrisgrammi e idrogrammi per il bacino idrografico in esame per i tempi di ritorno di 100 e 200 anni.



Progetto Esecutivo

**Tabella 6 - Valori caratteristici dei debrisgramma ricostruiti per eventi di piena
relativamente a tempi di ritorno di 100 e 200 anni**

	TR 100	TR 200
<i>Massima concentrazione solida</i>	0,3	0,3
<i>Portata liquida al picco (m³/s)</i>	3,7	4,7
<i>Portata solida al picco (m³/s)</i>	3,0	3,8
<i>Volume solido dell'evento di piena (m³)</i>	2'200	2'800

Le grandezze scaturite dall'analisi dei debrisgrammi sono compatibili con il potenziale detritico presente nel bacino e preliminarmente quantificato mediante sopralluoghi e valutazioni in sito.



6. ANALISI IDRAULICA

6.1 APPROCCIO METODOLOGICO

La verifica degli interventi in progetto, si è basata sull'allestimento di un modello numerico di simulazione idraulica in moto permanente sviluppato per i tratti di intervento e finalizzato alla definizione dei tiranti e delle velocità in alveo che si manifestano in occasione di eventi di piena per assegnato tempo di ritorno. La verifica idraulica è stata condotta al fine di verificare la geometria e l'adeguatezza funzionale delle difese in progetto, anche in relazione alle problematiche evidenziate allo stato attuale, principalmente riguardanti i processi erosivi di sponda. Il modello è stato allestito nella configurazione di progetto, andando ad inserire nella geometria dell'alveo le difese di sponda e adeguando le sezioni di deflusso nel tratto di intervento e in corrispondenza della vasca.

6.2 SINTESI DELLE PORTATE DI PROGETTO E VERIFICA

Le portate di progetto da utilizzarsi nelle verifiche sono state definite con apposito modello idrologico, come descritto al capitolo precedente, dove per le sezioni di chiusura dei tre bacini idrografici individuati sono state valutate le portate di progetto per differenti tempi di ritorno.

Il dimensionamento delle opere in progetto è stato effettuato per il deflusso, con un franco di almeno 50 cm, di una portata con tempo di ritorno di 100 anni. Infine è stato verificato che la geometria di progetto, consentisse comunque il deflusso di una portata relativa a un evento di piena duecentennale, con un franco residuo.

6.3 MODELLO DI SIMULAZIONE IDRAULICA IN MOTO PERMANENTE

La valutazione della compatibilità idraulica delle opere e degli effetti dell'intervento in condizioni di piena, è stata elaborata mediante una specifica simulazione di progetto nella quale sono state inserite le opere, utilizzando il codice di calcolo HEC-RAS (5.0.7).

6.3.1 Descrizione del codice numerico utilizzato

Il modello di calcolo HEC – RAS (*River Analysis System*), elaborato da *Hydrologic Engineering Center di U.S. Army Corps of Engineers* (Versione 5.0.7) è un software che consente di sviluppare i calcoli in moto permanente monodimensionale per una rete di canali (artificiali o naturali), ipotizzata la portata costante nel tempo e lungo il tratto d'alveo considerato. In particolare, risulta utile per il calcolo dei profili in moto permanente in regime di corrente lenta, veloce o che interessa entrambe. La sua affidabilità è riconosciuta a livello internazionale ed è impiegato in tutto il mondo. Il modello, in aggiunta alla determinazione dei profili di superficie libera negli alvei per portate caratterizzate da tempi di ritorno rappresentativi, consente di valutare gli effetti indotti sulla corrente da ostacoli e infrastrutture presenti in alveo (ad esempio, ponti, traverse, restringimenti di sezione ...).

La procedura si basa sulla integrazione dell'equazione monodimensionale che rappresenta l'energia della corrente, nota come Standard Step Method. Le perdite di carico valutate sono quelle di attrito e quelle generate dalla contrazione o espansione della sezione. Imposte le condizioni al contorno (di valle o di monte, in funzione del regime che caratterizza il corso d'acqua) e la portata rispetto a cui si vuole effettuare la verifica, il modello



Progetto Esecutivo

determina il profilo longitudinale del pelo libero, a cui si aggiungono una serie di parametri che è possibile interrogare e analizzare.

Nello studio di una corrente gradualmente variata in alvei non prismatici, quali quelli naturali, la limitazione maggiore deriva dall'aver a disposizione informazioni relative solo a un numero piuttosto contenuto di sezioni trasversali del corso d'acqua. Inoltre, per questi alvei non sono applicabili le usuali procedure di calcolo che prevedono la definizione della scala di deflusso o di altri parametri ipotizzati invarianti lungo lo sviluppo longitudinale dell'alveo. Ne consegue che per determinare l'andamento del profilo del pelo libero lungo un tratto d'alveo è necessario procedere per tentativi e successive correzioni, assegnate le adeguate condizioni al contorno (di valle o di monte) in ragione del tipo di regime caratterizzante la corrente. Per determinare la profondità della corrente in ogni sezione, la procedura iterativa utilizza le seguenti relazioni:

$$Z_1 + \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2 \cdot g} = Z_2 + \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2 \cdot g} + h_e + h_f$$
$$h_e = L \cdot i_f$$
$$h_f = C \cdot \left| \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2 \cdot g} - \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2 \cdot g} \right|$$

dove: Z_1 e Z_2 rappresentano le quote assolute della superficie libera agli estremi del tratto; V_1 e V_2 la velocità media nella sezione, riferita agli estremi del tratto; g è l'accelerazione di gravità; h_e sono le perdite distribuite di energia e h_f le perdite di energia localizzate; L è la lunghezza del tratto considerato; i_f la pendenza di fondo nel tratto; C il coefficiente di perdita di carico dovuta a espansioni e/o contrazioni localizzate; α_1 e α_2 sono i coefficienti di Coriolis, funzione della distribuzione di velocità nella sezione trasversale.

Il modello di calcolo numerico, imposta la portata defluente in alveo e le condizioni al contorno, impiega il sistema di relazioni sopra esposto fra due sezioni adiacenti (iniziando da monte o da valle in funzione del regime di corrente ipotizzato) e lo risolve iterativamente, per determinare la quota \downarrow del pelo libero rispetto al fondo in ciascuna di esse. Il processo di calcolo, quindi, prosegue iterativamente alle sezioni successive, fino a interessare tutte le sezioni utilizzate per definire la geometria. In questo modo, risulta possibile determinare il profilo del pelo libero per il tratto d'alveo considerato.

Il codice di calcolo consente la suddivisione della corrente in rami paralleli, in modo da simulare il deflusso, oltre che nell'alveo, anche nelle aree golenali laterali, che possono essere caratterizzate con diversi indici di scabrezza. Nei calcoli possono, inoltre, essere considerati gli effetti dovuti alla presenza di infrastrutture "puntuali", quali i ponti, i sottopassi i manufatti tipo luci sotto battente o a stramazzo.

Per sviluppare un modello numerico che sia accurato, abbia sensibilità e stabilità di calcolo, occorre cercare il migliore compromesso tra i diversi parametri che rientrano nella simulazione, sempre tenendo presente quali sono i limiti delle equazioni utilizzate per simulare il moto. Tale compromesso si ottiene mediante un'opportuna analisi di sensibilità numerica.

Il modello di calcolo numerico permette di determinare diverse variabili idrauliche: il profilo longitudinale della superficie libera di deflusso, la profondità e la velocità della corrente in prossimità delle opere in progetto,



Progetto Esecutivo

l'eventuale ampiezza del rigurgito provocata dall'elemento interferente, e le principali caratteristiche idrauliche della corrente. Tutti elementi questi fondamentali per il confronto fra gli scenari di realtà diverse quella attuale e quelle possibili in presenza di interventi antropici con forme, ampiezze e caratteristiche differenti.

6.3.2 Dati di input

La descrizione geometrica del corso d'acqua nei tratti di interesse per l'analisi idraulica si è basata sulla ricostruzione topografica delle sezioni di deflusso mediante rilievo topografico appositamente condotto dagli scriventi nel mese di luglio 2020, implementato con la geometria di progetto ipotizzata.

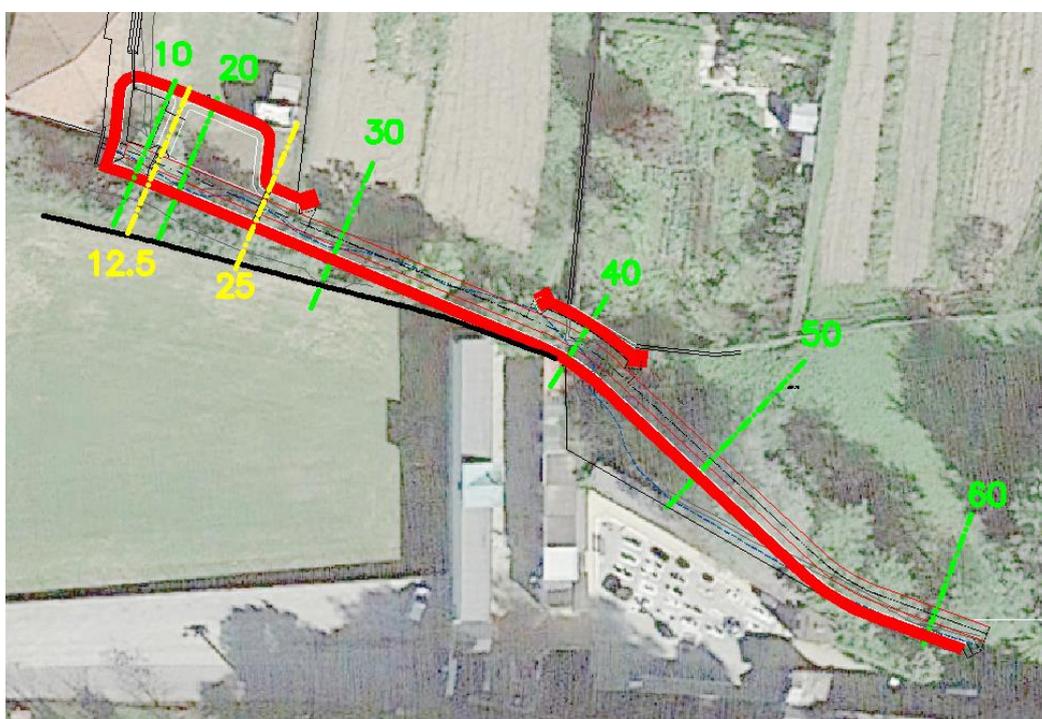


Figura 10 – Ubicazione sezioni di rilievo, utilizzate per l'allestimento del modello idraulico lungo il Rio della Pissa oggetto di intervento.

Sono state definite 6 sezioni corrispondenti alle sezioni di progetto e due ulteriori sezioni in corrispondenza dei due salti di fondo (soglia e briglia a pettine).

- Portate di verifica

Come anticipato nei punti precedenti, la portata di verifica è stata definita mediante l'analisi idrologica utilizzando un modello di simulazione afflussi-deflussi e il calcolo della portata di picco del debrisgramma.

- Resistenze al moto e condizioni al contorno

La definizione delle condizioni di resistenza al moto in alveo inciso nelle zone di esondazione esterne ad esso avviene introducendo coefficienti di scabrezza idonei, caratterizzati da adeguati valori del parametro n di Manning, espresso in $s/m^{1/3}$.



In generale, tale coefficiente dipende dalla granulometria del materiale presente in alveo, dalla regolarità delle sezioni, dall'andamento planimetrico del corso d'acqua, dalle caratteristiche idrauliche delle sponde e dalla possibilità che il materiale di fondo subisca fenomeni di trasporto. Per il caso in esame sono stati assunti valori di scabrezza dell'alveo pari a $n=0,045 - 0,055 \text{ s/m}^{1/3}$ in considerazione delle caratteristiche della sezione e per tenere conto dell'effetto intrinseco del flusso con ingenti quantità di materiale che influiscono sul comportamento reologico del materiale.

Le condizioni al contorno utilizzate hanno imposto la profondità di moto uniforme sulla base della pendenza del fondo caratteristica del tratto di monte, mentre per le condizioni al contorno di valle si è imposto il livello idrico che si manifesta nel tratto terminale a causa del rigurgito prodotto dalla luce ristretta del tratto tombinato (cfr. § 6.4).

6.3.3 Modalità di presentazione dei risultati

I risultati ottenuti sono riportati e sintetizzati negli specifici paragrafi e in allegato.

I parametri riassunti nelle tabelle sono i seguenti:

- *River Sta* : sezione di calcolo;
- $Q_{Total} (m^3/s)$: portata totale (ossia, la portata di piena con tempo di ritorno di 100 anni);
- *Min Ch El (m s.l.m.)* : quota minima della sezione (fondo alveo);
- *W.S. Elev. (m s.l.m.)* : quota del livello della corrente;
- *Crit W.S. (m s.l.m.)* : altezza critica della corrente;
- *E.G. Elev. (m s.l.m.)* : carico totale per un assegnata profondità della corrente;
- *Vel Chnl (m/s)* : velocità della corrente;
- *Flow Area (m²)* : area di deflusso della corrente;
- *Froude* : numero adimensionale di Froude.

6.3.4 Analisi dei risultati

L'analisi dei livelli idrici attesi ha consentito in primo luogo di verificare la quota di sommità delle protezioni e in generale la sezione di progetto dell'alveo al fine di garantire il contenimento dei livelli idrici di piena per un tempo di ritorno di 100 anni con franco idraulico di almeno 0,5 m e il contenimento dei livelli idrici per un evento di piena con tempo di ritorno di 200 anni con franco idraulico residuo. Sulla base dei battenti idraulici e delle velocità di deflusso, invece, si è provveduto al dimensionamento dei massi della scogliera secondo le formulazioni di seguito descritte, considerando i valori massimi di coppia battenti-velocità rilevati nelle sezioni indagate.

L'analisi idraulica condotta ha consentito di stimare i battenti idraulici che si registrano lungo il corso d'acqua nel tratto di interesse nelle condizioni di progetto. Nel profilo in Figura 11 sono riportati i profili idrici della corrente ottenuti con la simulazione idraulica di progetto per una portata di Tr 100 e 200 anni.



Progetto Esecutivo

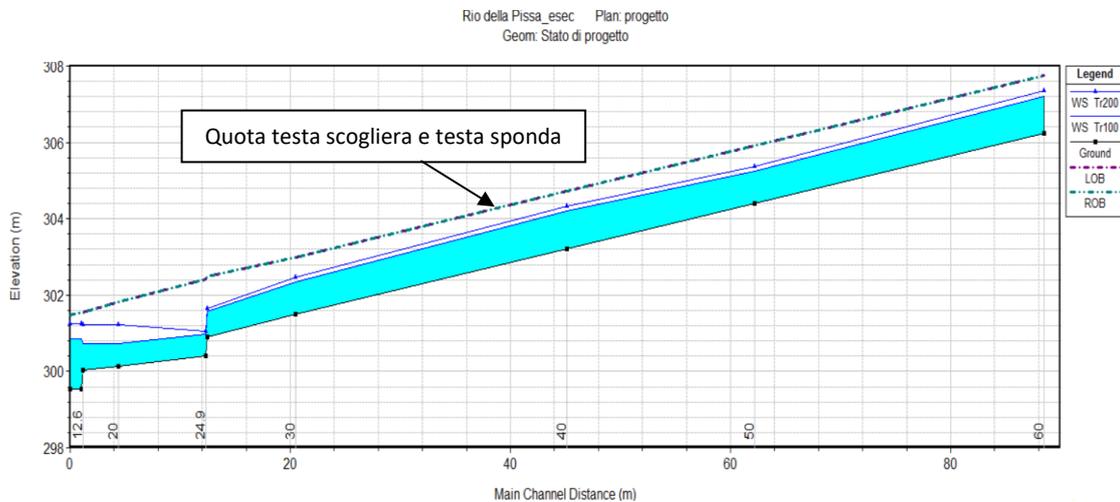


Figura 11 - Profilo idraulico relativi a un evento di piena TR 100 e TR 200 anni, allo stato di progetto.

Come si osserva dal profilo i livelli sono contenuti all'interno del rio, anche nella parte terminale ove l'effetto di restringimento dato dalla tubazione induce fenomeni di rigurgito. Si rimanda al § 6.4 per ulteriori dettagli legati alla criticità del tratto terminale.

I risultati della modellazione idraulica sono interamente riportati in ALLEGATO 4.

6.4 VERIFICA IDRAULICA PRELIMINARE DEL TRATTO TERMINALE

Per la verifica idraulica del tratto terminale tombato, costituito da una sezione chiusa circolare di diametro interno ϕ 1000 mm, non oggetto di intervento nel presente progetto, si è fatto riferimento alla formula di Chézy. La verifica, oltre alla valutazione della capacità di deflusso della tubazione in relazione alle portate attese (ipotizzando che sia la sola portata liquida ad essere fatta defluire in conseguenza degli effetti della vasca in progetto), ha consentito di determinare, per i tempi di ritorno considerati, i livelli da imporre quali condizioni al contorno di valle per il modello di simulazione numerica idraulica.

La legge di Chézy si configura nel modo seguente:

$$Q_j = K_s \cdot A \cdot R^{2/3} \cdot i^{1/2}$$

avendo indicato con:

- Q la portata di progetto;
- K_s il coefficiente di Strickler;
- A l'area della sezione;
- R il raggio idraulico della sezione;
- i la pendenza longitudinale del tratto, pari al 2,5 %.



Progetto Esecutivo

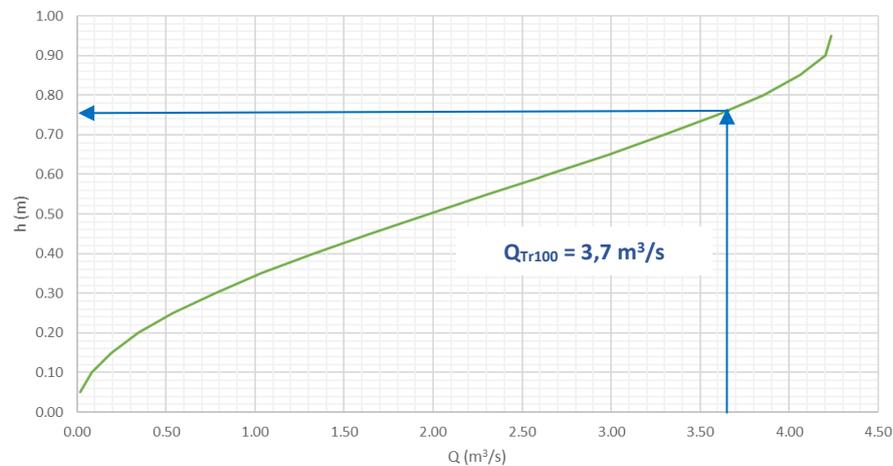


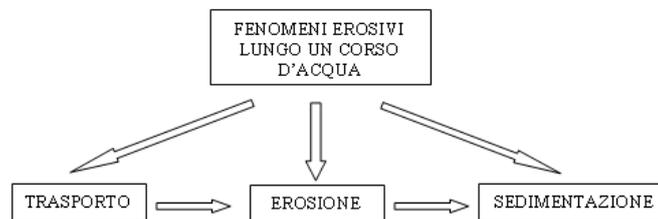
Figura 12 – Scala di deflusso stato attuale: tubazione ϕ 1000.

Come si osserva dalla scala di deflusso della tubazione, la portata con tempo di ritorno di 100 anni defluisce con una % di riempimento di circa il 75%, mentre per la portata duecentennale di $4,7 \text{ m}^3/\text{s}$ innescherebbe il deflusso in pressione.

6.5 VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI INDOTTI DA FENOMENI EROSIVI

Il passaggio della corrente nelle condizioni di massima piena sulle sponde e sul fondo del rio potrebbe indurre un'azione erosiva potenzialmente in grado di movimentare le particelle costituenti lo strato superficiale del materiale detritico che costituisce il fondo mobile.

La valutazione del fenomeno erosivo indotto può essere condotta con ragionevole approssimazione adottando la trattazione teorica relativa al trasporto solido in condizioni di moto uniforme. In via del tutto generale, il fenomeno può essere ricondotto alla successione di tre eventi distinti, secondo la seguente schematizzazione:



I fattori predominanti che caratterizzano ciascuno dei tre equilibri idrodinamici sono costituiti dalle caratteristiche cinematiche della corrente impattante e dalla granulometria del materiale costituente il fondo dell'alveo. Il regime idrodinamico della corrente può essere espresso attraverso il valore della velocità media nella sezione di deflusso, mentre la granulometria del materiale sottoposto all'azione erosiva viene caratterizzata con il valore del diametro medio delle particelle.



Progetto Esecutivo

Nella Figura 13 viene riportato il grafico proposto da Hjulström, che descrive il fenomeno erosivo di fondo per un corso d'acqua in funzione della velocità media della corrente e del diametro medio delle particelle costituenti l'alveo.

Le problematiche legate al trasporto solido si riflettono sul corretto dimensionamento delle scogliere e dei massi costituenti le stesse.

Per la verifica al trascinarsi del materiale costituente le difese in progetto, occorre considerare l'azione di trascinarsi della corrente e verificare la capacità di resistenza al deflusso dell'opera.

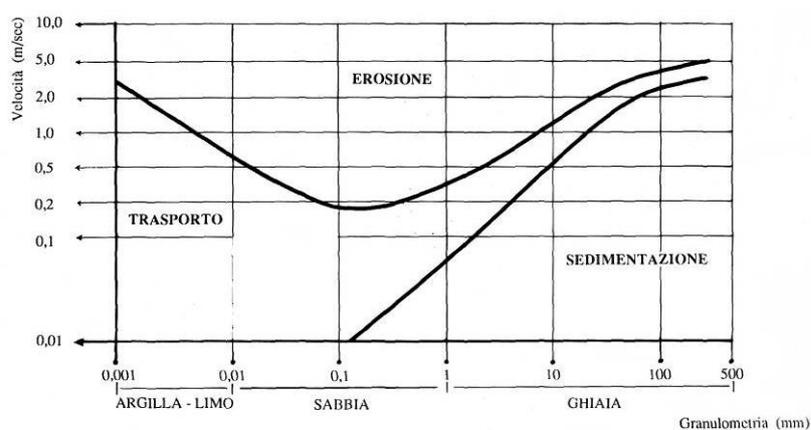


Figura 13 – Diagramma di Hjulström

Per l'analisi si possono utilizzare differenti metodologie di calcolo:

- analisi della condizione di moto incipiente, sulla base delle formulazioni di sforzo tangenziale critico proposte da Shield e poi modificate da diversi autori;
- formulazioni empiriche per le fondazioni di pietrame in scogliera tratte da “Bridge Scour”(Water Resources Publications, LLC, 2000) con particolare attenzione alla formulazione unificata proposta da Pilarczyk;
- formulazioni empiriche di Neill e Bogardi, funzioni delle caratteristiche idrodinamiche della corrente.

6.5.1 Verifica secondo l'analisi di moto incipiente

L'analisi della condizione di moto incipiente è affrontata sotto l'aspetto dinamico, prendendo in considerazione l'azione di trascinarsi esercitata dalla corrente sulle sponde dell'alveo. In particolare, la movimentazione del materiale sul fondo, come sulle sponde, è considerato un fenomeno dipendente dalla tensione di trascinarsi τ , il cui valore minimo τ_c perché abbia inizio il suo moto, individua appunto la condizione critica.

Lo sforzo tangenziale τ_0 esercitato dalla corrente sul materiale costituente la sponda può essere espresso come:

$$\tau_0 = \gamma \cdot R \cdot i$$



Progetto Esecutivo

dove:

- ✓ γ : peso specifico dell'acqua;
- ✓ R : raggio idraulico della sezione;
- ✓ i : pendenza del fondo alveo.

Il valore di τ_0 deve essere confrontato con lo sforzo tangenziale critico τ_c (condizione di equilibrio limite per il moto delle particelle solide): nel caso in cui $\tau_0 \geq \tau_c$ si instaura la condizione di moto incipiente e le particelle vengono movimentate.

Lo sforzo tangenziale τ_0 esercitato dalla corrente sul materiale costituente il fondo dell'alveo può essere espresso come:

$$\tau_0 = \gamma \cdot h \cdot i$$

dove:

- γ : peso specifico dell'acqua;
- h : altezza idrica della corrente in moto uniforme;
- i : pendenza del fondo alveo.

Il valore di τ_0 deve essere confrontato con lo sforzo tangenziale critico τ_c (condizione di equilibrio limite per il moto delle particelle solide): nel caso in cui $\tau_0 \geq \tau_c$ si instaura la condizione di moto incipiente e le particelle costituenti il fondo alveo (o in questo caso degli elementi costituenti la scogliera) vengono movimentate.

Nella condizione idraulica di micro-scabrezza (ovvero per tiranti idrici molto maggiori del diametro caratteristico delle particelle), il legame funzionale che esprime la tensione τ_c è:

$$\frac{\tau_c}{(\gamma_s - \gamma) \cdot d} = f(\text{Re}^*)$$

dove Re^* rappresenta il numero di Reynolds della corrente di fondo. La relazione precedente è stata ricavata da Shields (1936) ed è stata esplicitata dallo stesso autore attraverso un abaco (abaco di Shields). La funzione $f(\text{Re}^*)$ rappresenta un parametro adimensionale (parametro di Shields) dipendente dalle caratteristiche dei granuli, nonché ovviamente dal valore del numero di Re^* relativo alla velocità di attrito u^* .

In letteratura sono disponibili diverse formulazioni per la valutazione del parametro τ_c :

- Shields-Krey (1936), sviluppata per regimi di moto turbolento e in condizioni di $d \ll h$:

$$\frac{\tau_c}{(\gamma_s - \gamma) \cdot d} = 0,06$$

- Zeller (1963), relativa a miscugli omogenei esclusivamente in regime turbolento:

$$\frac{\tau_c}{(\gamma_s - \gamma) \cdot d} = 0,047$$



Progetto Esecutivo

- Armanini (1990), applicabile per valori del diametro d confrontabili con il tirante idrico della corrente h (condizioni di sommergenza bassa):

$$\frac{\tau_c}{(\gamma_s - \gamma) \cdot d} = 0,06 \cdot \left[1 + 0,67 \left(\frac{d}{h} \right)^{0,5} \right]$$

- Egiazaroff (1950), applicabile per miscugli non omogenei in regime esclusivamente turbolento:

$$\frac{\tau_c}{(\gamma_s - \gamma) \cdot d} = \frac{0,1}{\left[\text{Log} \left(19 \frac{d}{d_{50}} \right) \right]^2}$$

- Kalinske, espressione che considera un fattore di compattezza del materiale rappresentante un effetto di mutuo incastro delle particelle

$$\frac{\tau_c}{(\gamma_s - \gamma) \cdot d} = 0,116$$

Per il dimensionamento degli elementi costituenti la scogliera, la formulazione che meglio approssima le condizioni in esame è quella di Armanini, rappresentativa del mutuo incastro delle particelle.

Considerando i valori di battenti e velocità che si instaurano in alveo in corrispondenza delle sezioni del modello, ed il valore della pendenza di fondo medio del tratto di alveo, si determina l'azione di trascinamento della corrente (sforzo tangenziale) τ_0 come di seguito riportato:

Tabella 7 - Sforzo tangenziale di trascinamento e sforzo tangenziale critico calcolati per ciascun intervento in progetto.

INTERVENTO	Sforzo tangenziale	Sforzo tangenziale critico
	kg/m ²	kg/m ²
<i>Rivodora – Rio della Piassa</i>	59	79

Ipotesizzando un diametro equivalente degli elementi costituenti la scogliera di 70 cm, si rileva come il valore dello sforzo tangenziale critico τ_c in grado di movimentare suddetti massi debba essere pari a circa 80 kg/m², valore superiore alla τ_0 calcolata: la verifica al trascinamento risulta avere esito positivo.

6.5.2 Metodologia proposta da Pilarczyk (1997)

La stabilità delle opere con massi non cementati è comunemente espressa in termini di numero di stabilità N_{sc} :

$$N_{sc} = \frac{v_{rc}^2}{g(S_s - 1)d_r}$$



Progetto Esecutivo

dove:

- v_{rc} è la velocità critica di trascinamento del masso;
- d_r la dimensione del masso della difesa;
- S_s il peso specifico dei massi.

Esprimendo la v_{rc} con l'equazione di Manning-Strickler e la funzione di Shields; per materiale grossolano ($d_r > 6$ mm) θ_c è posta pari a 0,056 e si ha:

$$N_{sc} = 3.29 \left(\frac{d_r}{y} \right)^{-0.33}$$

I fattori principali per il dimensionamento delle opere sono la dimensione dei massi, la forma dei massi, le caratteristiche di turbolenza che presenta la corrente, la velocità di deflusso ed il battente idraulico, oltre ovviamente alla pendenza del fondo alveo. Tra tutte le formule esistenti in letteratura, la letteratura moderna (Melville B. W, 2000) consiglia di utilizzare quella più recente di Pilarczyk (1997):

$$d_n = \frac{1}{S_s - 1} \cdot \phi_c \cdot K_t \cdot \frac{0,035}{\theta_c} \cdot \frac{K_h}{K_{sl}} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

dove: d_n è il diametro caratteristico del materiale costituente la scogliera; θ_c il *critical shear stress*, pari a 0,035 per strutture in massi; ϕ_c è lo *stability factor*, che nel caso di protezioni continue ha un valore variabile tra 0,5 e 0,75; K_t è il *turbulence factor* pari a 1,00 nel caso di fiumi; K_h è il velocity profile factor dato da:

$$K_h = \left(1 + \frac{y}{d_n} \right)^{-0.2}$$

e K_{sl} è il bank slope factor, che nel caso in esame può essere assunto pari a 0,7 nel caso in esame.

Come accennato precedentemente, la Formulazione Unificata di Pilarczyk, combina numerose formulazioni empiriche per misure di protezione degli alvei.

Il dimensionamento dei massi della scogliera secondo la formulazione di Pilarczyk è stato condotto considerando i parametri riportati nella tabella seguente.

Tabella 8 – Valori del diametro caratteristico dei massi della scogliera secondo la formulazione Unificata di Pilarczyk.

INTERVENTO	Peso specifico materiale	Peso specifico acqua	Altezza media dell'acqua	Diametro del materiale costituente la scogliera	Velocità media della corrente	Numero di Froude	Carico critico	Fattore di stabilità	Fattori di forma delle difese		
	γ_s	γ	h	d_n	v	F_r	θ_c	ϕ_c	K_t	K_{sl}	K_h
	kg/m ³	kg/m ³	m	m	m/s	-	-	-	-	-	-
RIO PISSA	2600	1000	0,9	0,7	4,3	1,7	0,035	0,75	1	0,56	0,85



Progetto Esecutivo

Come si evidenzia dalla Tabella 8 si ha la verifica al trascinamento dei massi delle scogliere previste secondo la Formulazione Unificata di Pilarczyk per elementi caratterizzati da 70 cm di diametro equivalente.

Nel seguito si riportano ad integrazione i valori dei diametri caratteristici dei massi della scogliera calcolati secondo le formulazioni empiriche descritte in precedenza, mettendo in evidenza il valore medio dei risultati ottenuti, calcolato come media corretta offerta dalle differenti formulazioni (scartando ossia i valori poco realistici o poco cautelativi).

Tabella 9 - Valori del diametro caratteristico dei massi della scogliera secondo le formulazioni empiriche proposte prima della pubblicazione della Formulazione Unificata di Pilarczyk (valori in metri).

INTERVENTO	Isbash (1936)	Neill (1967)	Austrroads 1994	Pilarczyk 1997	MEDIA CORRETTA
RIO PISSA	0,5	0,6	0,9	0,8	0,7

Come si evidenzia dalla Tabella 9 si ha la verifica al trascinamento dei massi delle scogliere previste secondo le formulazioni empiriche per diametri degli elementi pari a circa 0,7 m di diametro.

6.5.3 Formulazioni empiriche di Neill e Bogardi

Una ulteriore metodologia di indagine considera l'azione di trascinamento della corrente e la capacità di resistenza al deflusso del medesimo.

La determinazione quantitativa del fenomeno erosivo lungo l'alveo di un corso d'acqua può quindi essere affrontata facendo riferimento allo studio della condizione di moto incipiente, ovvero della condizione di equilibrio limite di una particella solida sottoposta all'azione di trascinamento di una corrente.

Tale condizione può essere risolta ricorrendo a equazioni di equilibrio, in cui compaiono i valori critici delle variabili del moto: in particolare, si fa riferimento alla velocità critica della corrente V_c , definita come il valore medio della velocità della corrente che discrimina lo stato fisico di moto delle particelle solide costituenti l'alveo fluviale.

In letteratura sono presenti diversi approcci per la valutazione della velocità critica di trascinamento, sostanzialmente riconducibili a due tipologie. Quello assunto alla base delle seguenti analisi fornisce una relazione analitica che, sebbene semplificata, permette di tenere in considerazione anche le caratteristiche idrodinamiche della corrente. Seguendo l'approccio analitico, è possibile ottenere un legame funzionale tra la velocità critica della corrente, le caratteristiche fisiche del materiale (peso specifico e diametro medio caratteristico) e le caratteristiche idrodinamiche (viscosità dell'acqua, altezza della corrente). Tralasciando la trattazione analitica del problema, l'espressione finale della velocità critica della corrente V_c può essere espressa mediante la seguente espressione analitica proposta da Neill nel 1967:

$$V_c = \left[2,5g \frac{(\gamma_s - \gamma)}{\gamma} \right]^{0,5} h^{0,1} d^{0,4}$$



Progetto Esecutivo

dove:

- γ_s = peso specifico delle degli elementi lapidei costituenti la scogliera;
- γ = peso specifico dell'acqua;
- h = altezza idrica della corrente in moto uniforme;
- d = diametro medio delle particelle costituenti la scogliera.

Una seconda formulazione per il calcolo della velocità critica della corrente V_c è quella proposta da Bogardi, sintetizzando le esperienze condotte da differenti autori.

$$V_c = 6.84 \cdot h^{0.095} \cdot d^{0.405}$$

Considerando i valori dei battenti e delle velocità rappresentativi delle condizioni in corrispondenza della sezione principale di flusso si determina la dimensione media dei massi da impiegare per la realizzazione dell'intervento (Tabella 10).

Tabella 10 – Verifica del diametro delle scogliere secondo le metodologie di Neill e Bogardi.

Vc Neill (m/s)	Diametri degli elementi delle scogliere (m)	Velocità di flusso (m/s)	VERIFICA	Vc Bogardi (m/s)	Diametri degli elementi delle scogliere (m)	Velocità di flusso (m/s)	VERIFICA
2.5	0.1	3.23	EROSIONE	2.7	0.1	5.00	EROSIONE
3.3	0.2	3.23	STABILE	3.6	0.2	5.00	EROSIONE
3.9	0.3	3.23	STABILE	4.2	0.3	5.00	EROSIONE
4.3	0.4	3.23	STABILE	4.7	0.4	5.00	EROSIONE
4.7	0.5	3.23	STABILE	5.2	0.5	5.00	STABILE

Come si evidenzia dalla Tabella 10, secondo le formulazioni di Neill e Bogardi la verifica dei massi previsti per il dimensionamento delle scogliere con diametri caratteristici di circa 70 cm di diametro è ampiamente verificata.

6.5.4 Conclusioni

Alla luce dell'analisi condotta è possibile concludere che si ritiene opportuno prevedere che la scogliera sia costituita da massi di dimensioni ciclopiche di diametro equivalente almeno pari a 70 cm (cubo equivalente $L=0,65-0,70$ m). In questo caso, per le condizioni idrodinamiche considerate, si garantisce la stabilità dei massi costituenti la scogliera anche nel caso in cui per qualsiasi ragione si dovessero manifestare problematiche di mancato incastro tra i singoli massi.



REGIONE PIEMONTE – Città Metropolitana di Torino
Comune di Baldissero Torinese

“Lavori di messa in sicurezza dell'alveo e relative sponde del Rio della Pissa a Rivodora insistenti su particelle di proprietà comunale”.

Progetto Esecutivo



ALLEGATI



REGIONE PIEMONTE – Città Metropolitana di Torino
Comune di Baldissero Torinese

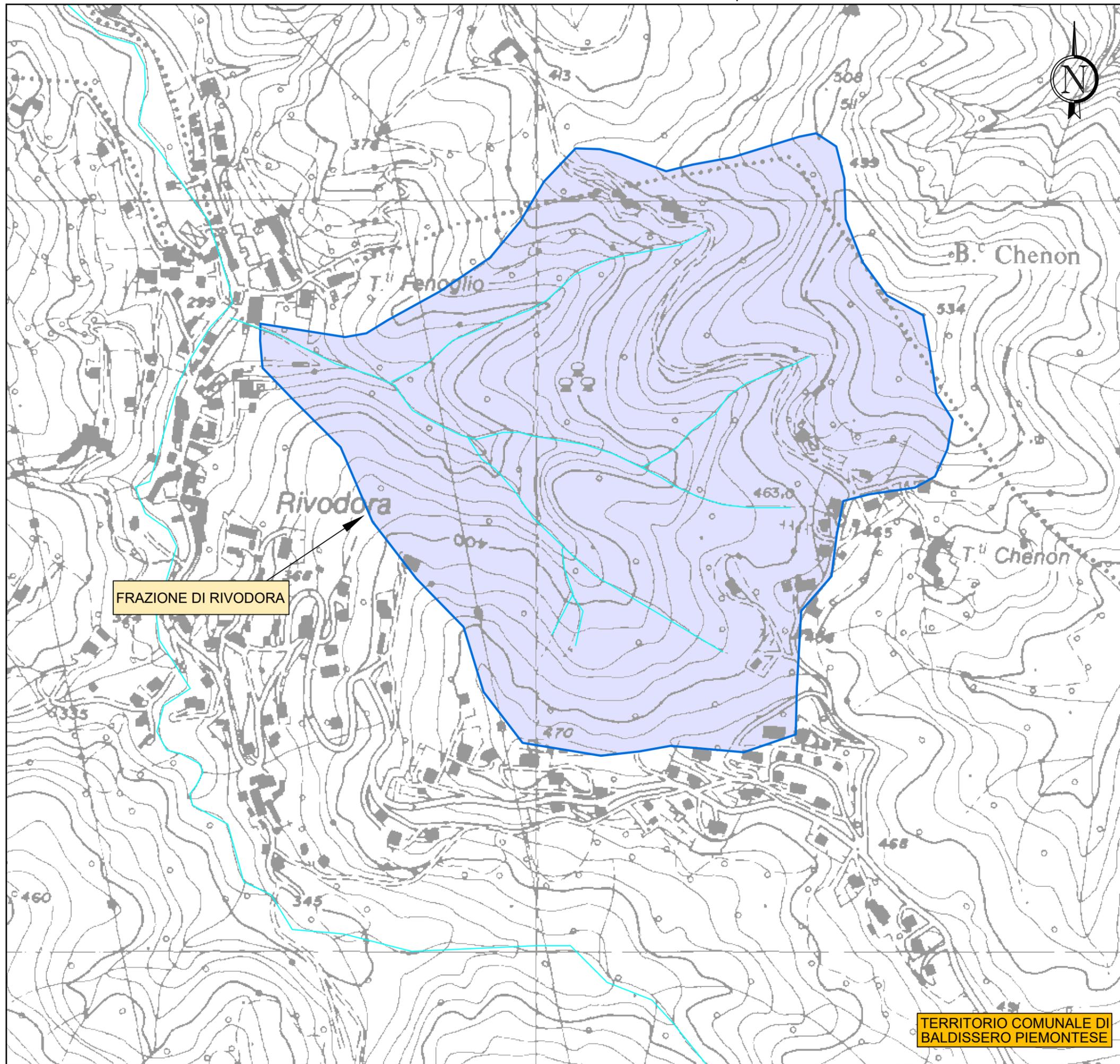
“Lavori di messa in sicurezza dell'alveo e relative sponde del Rio della Pissa a Rivodora insistenti su particelle di proprietà comunale”.

Progetto Esecutivo



ALLEGATO 1

– Carta del bacino –



ALLEGATO 1:
PLANIMETRIA DI BACINO

Base carta: C.T.R. 1:10.000
Scala: 1:5.000

FRAZIONE DI RIVODORA

TERRITORIO COMUNALE DI
BALDISSERO PIEMONTESE



REGIONE PIEMONTE – Città Metropolitana di Torino
Comune di Baldissero Torinese

“Lavori di messa in sicurezza dell'alveo e relative sponde del Rio della Pissa a Rivodora insistenti su particelle di proprietà comunale”.

Progetto Esecutivo



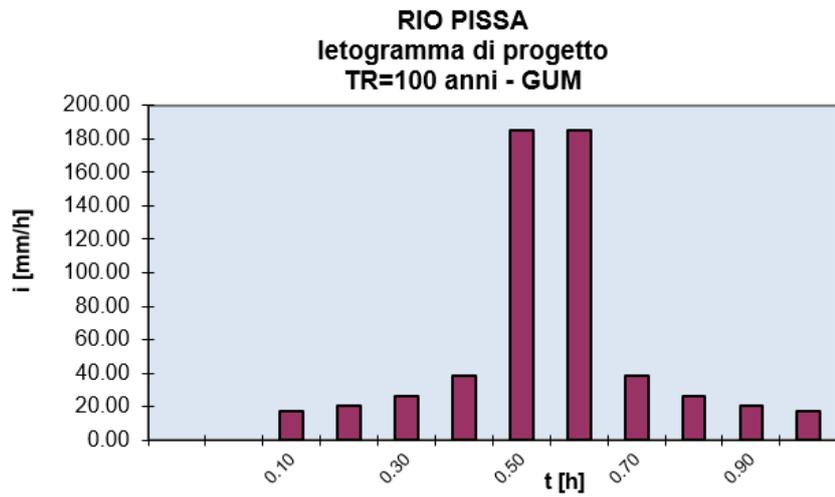
ALLEGATO 2

– Ietogrammi di progetto per differenti tempi di ritorno

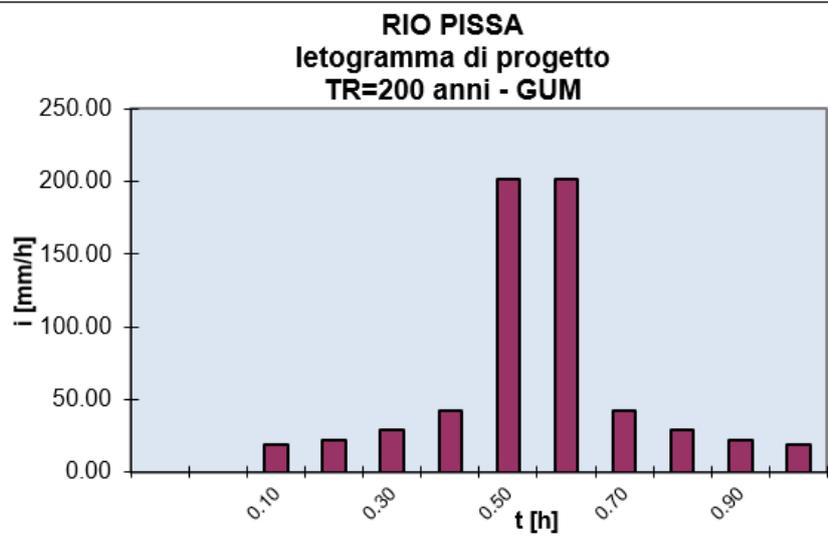


Progetto Esecutivo

h pioggia (cumulata) (mm)	i pioggia (mm/h)	h parziale i per HMS (mm/5min)
0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00
0.00	17.07	0.00
0.00	20.53	0.00
0.00	26.32	0.00
0.00	38.75	0.00
28.81	185.41	28.81
47.35	185.41	18.54
51.22	38.75	3.87
53.85	26.32	2.63
55.91	20.53	2.05
57.61	17.07	1.71



h pioggia (cumulata) (mm)	i pioggia (mm/h)	h parziale i per HMS (mm/5min)
0.00	0.00	0.00
0.00	0.00	0.00
0.00	18.59	0.00
0.00	22.35	0.00
0.00	28.66	0.00
0.00	42.19	0.00
31.38	201.98	31.38
51.58	201.98	20.20
55.79	42.19	4.22
58.66	28.66	2.87
60.90	22.35	2.24
62.75	18.59	1.86





REGIONE PIEMONTE – Città Metropolitana di Torino
Comune di Baldissero Torinese

“Lavori di messa in sicurezza dell'alveo e relative sponde del Rio della Pissa a Rivodora insistenti su particelle di proprietà comunale”.

Progetto Esecutivo

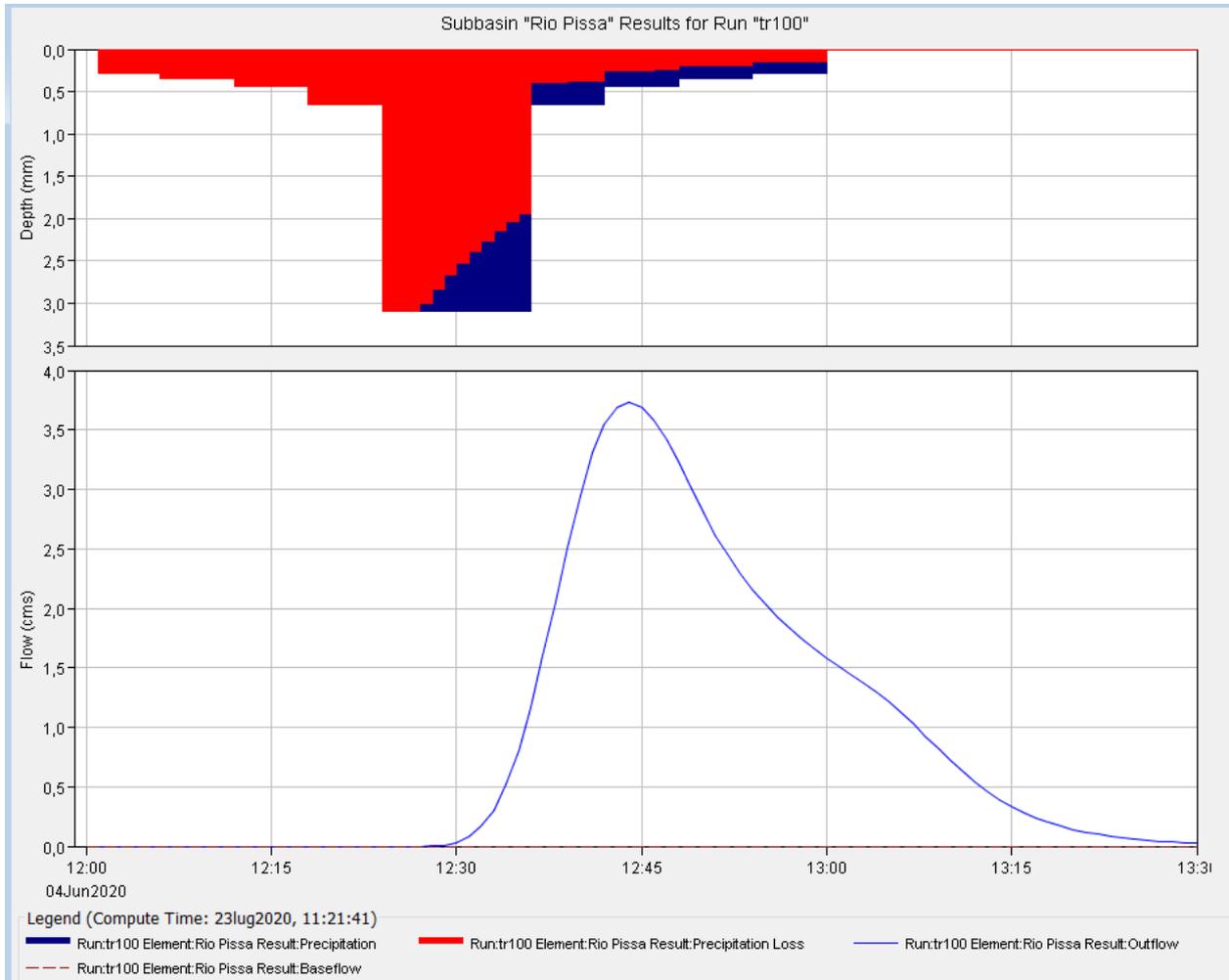


ALLEGATO 3

– Idrogrammi e debrisgrammi di progetto per differenti tempi di ritorno

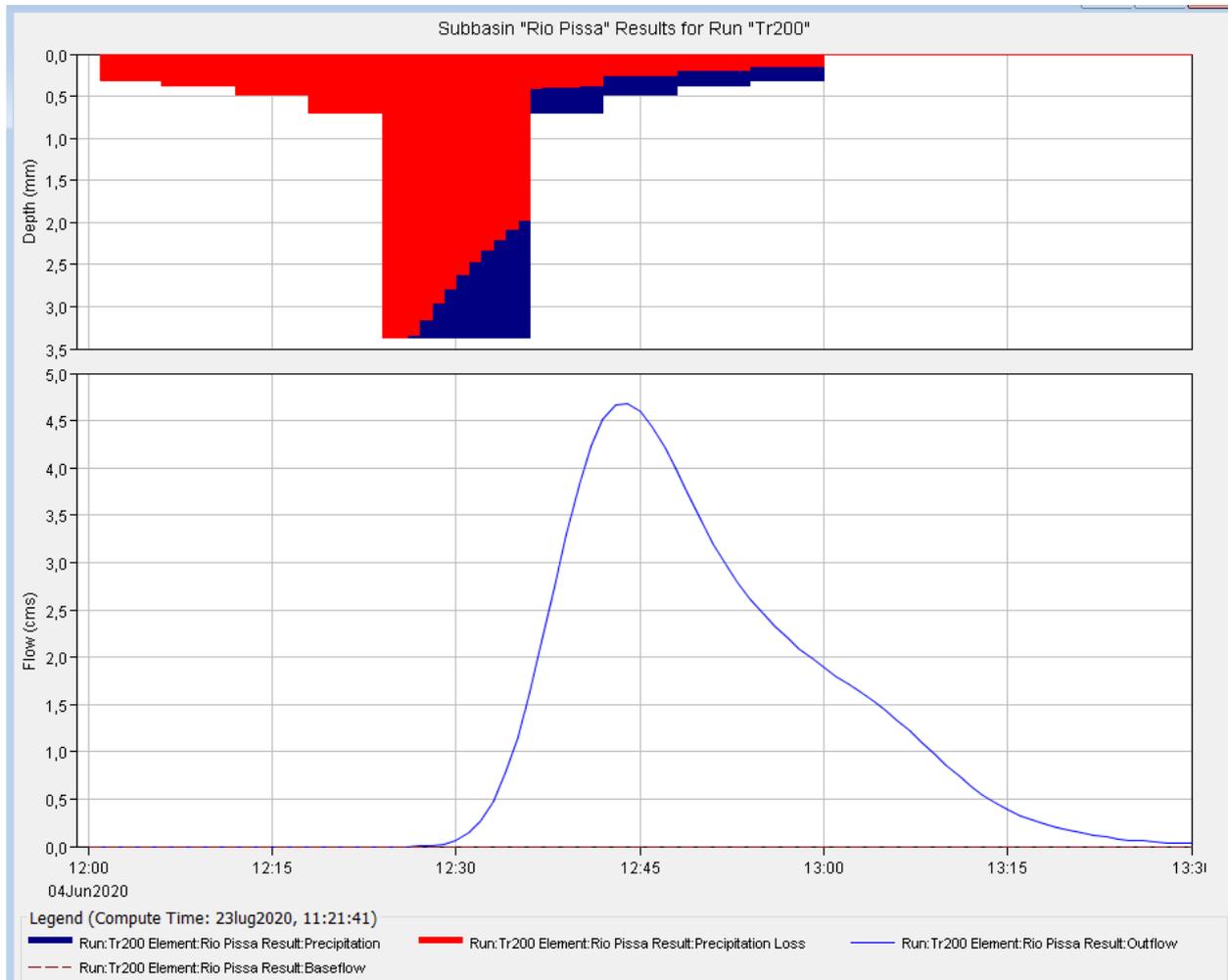


Progetto Esecutivo



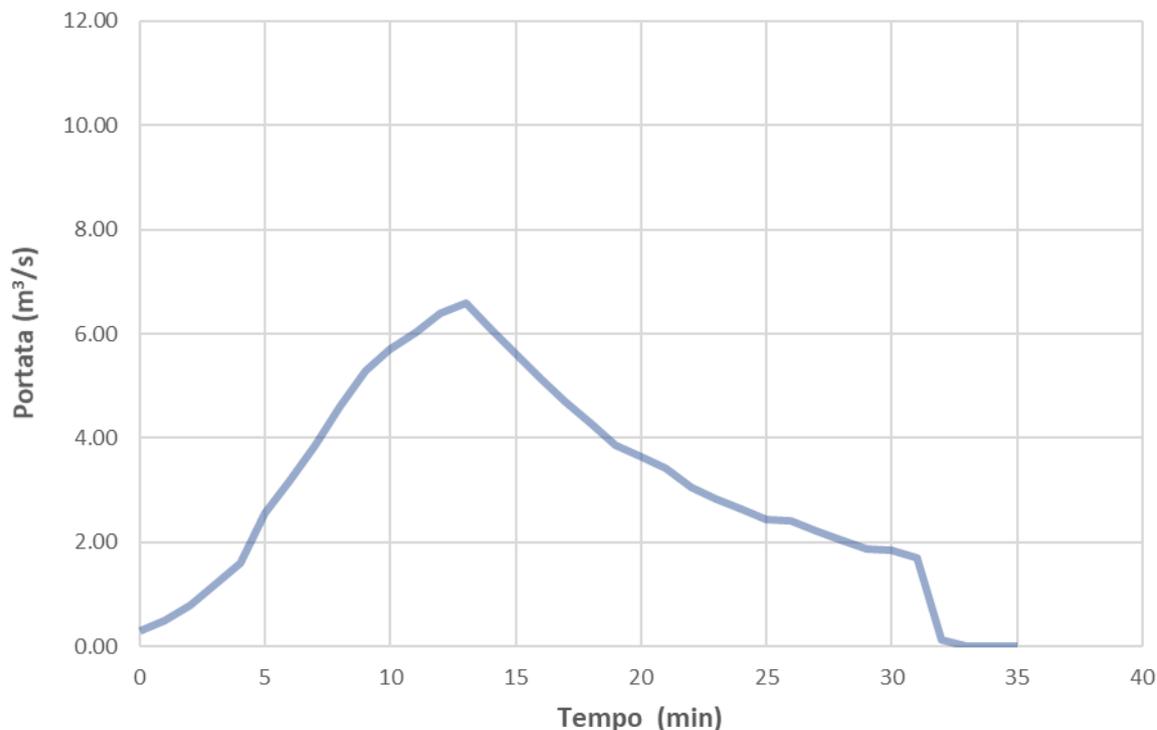


Progetto Esecutivo

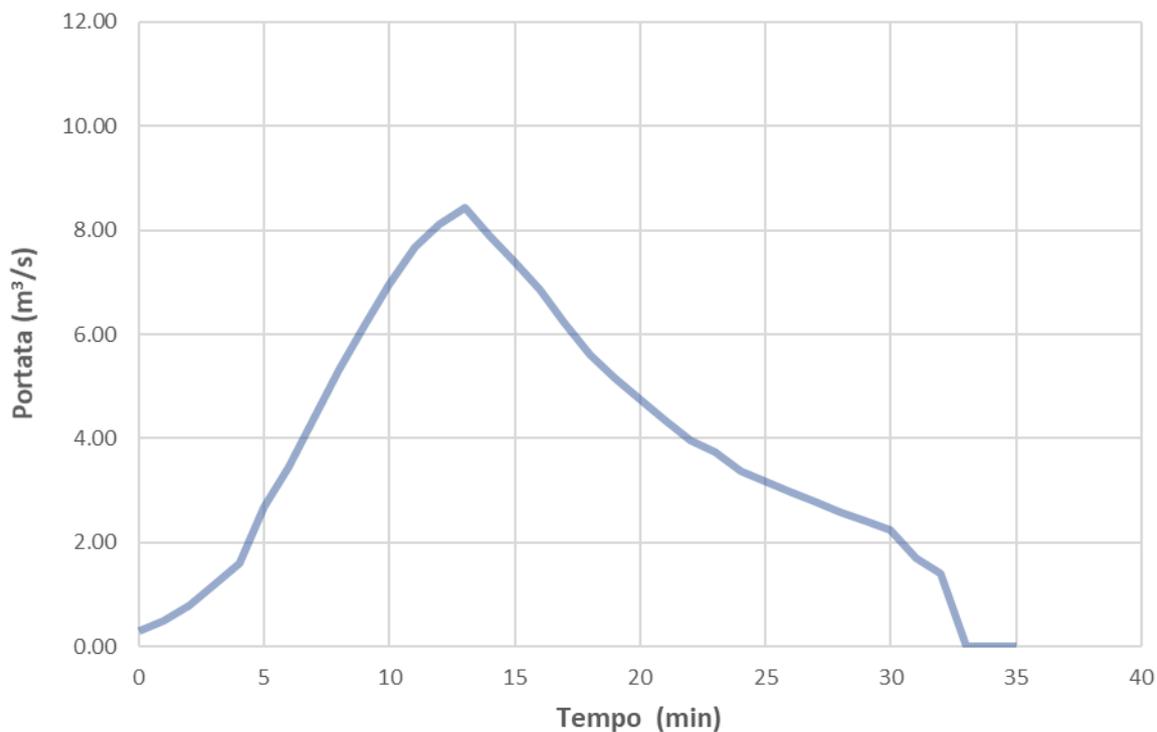




DEBRISGRAMMA - Tr 100



DEBRISGRAMMA - Tr 200





REGIONE PIEMONTE – Città Metropolitana di Torino
Comune di Baldissero Torinese

“Lavori di messa in sicurezza dell'alveo e relative sponde del Rio della Pissa a Rivodora insistenti su particelle di proprietà comunale”.

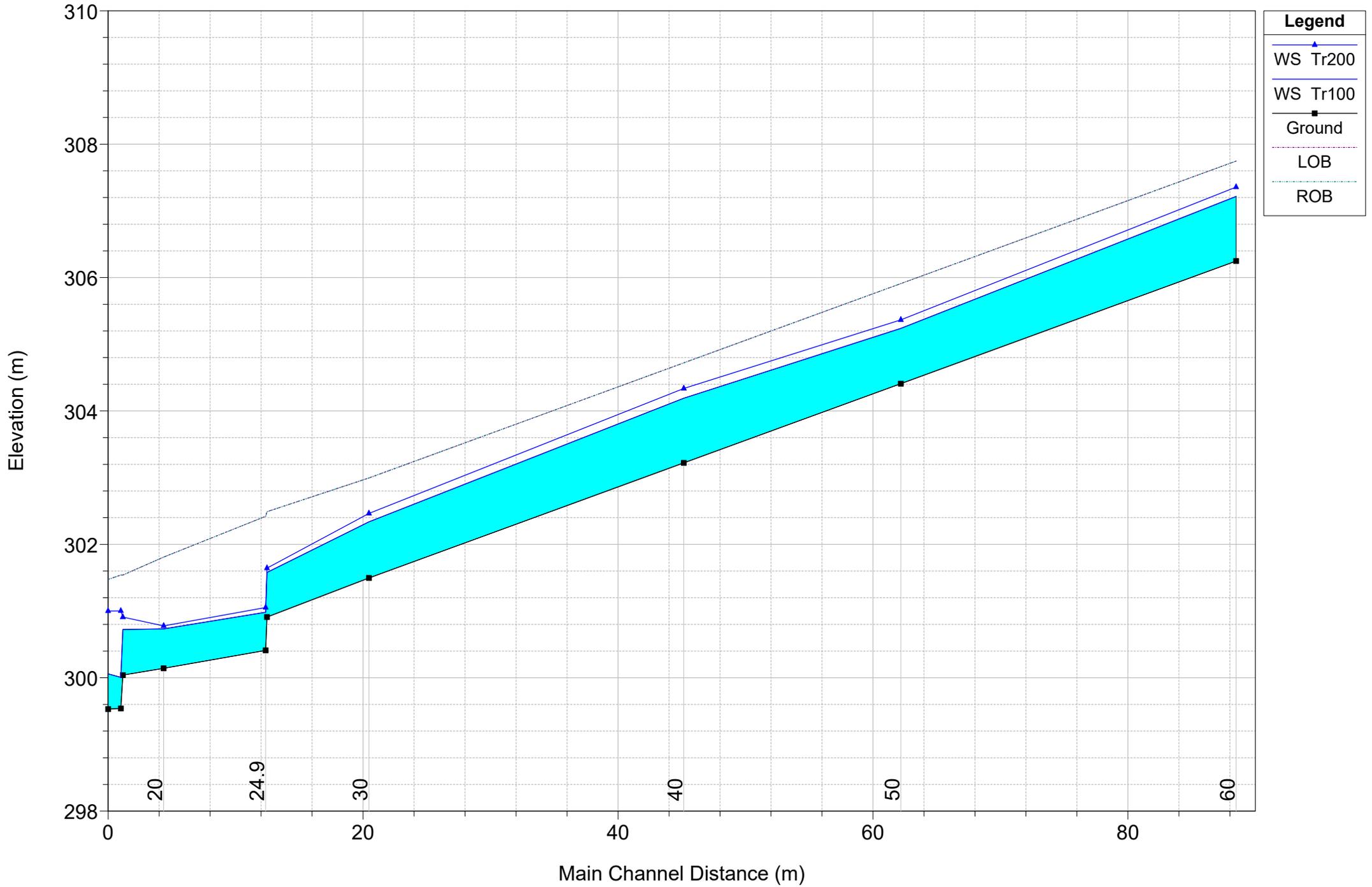
Progetto Esecutivo



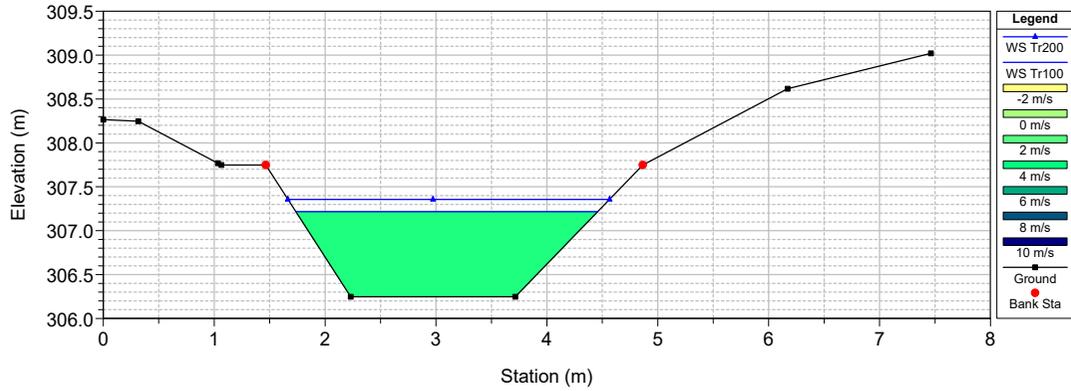
ALLEGATO 4

– Risultati delle simulazioni idrauliche con modello numerico

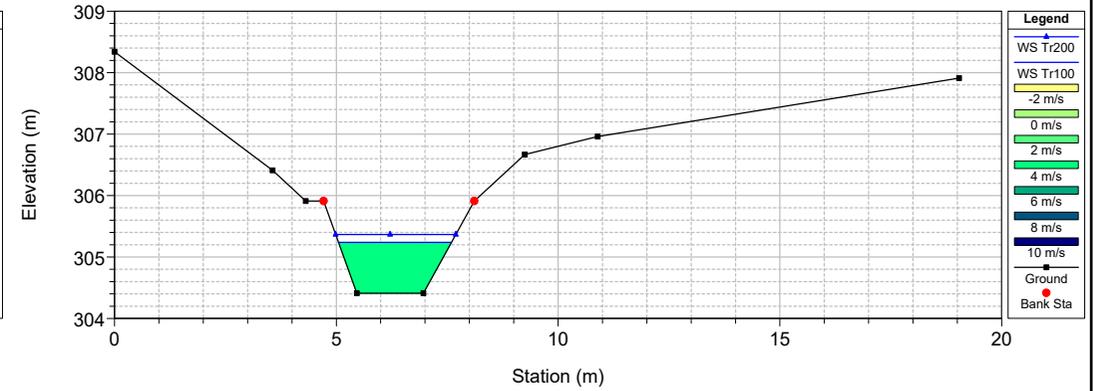
Rio della Pissa_esec Plan: progetto
Geom: Stato di progetto



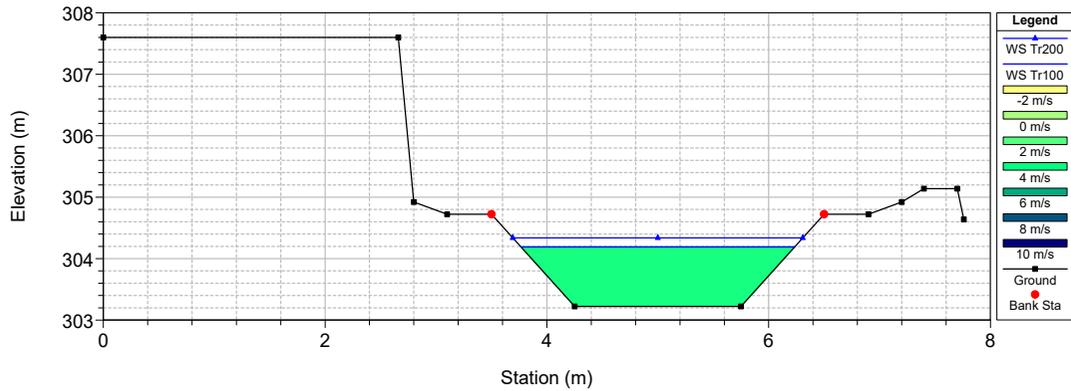
Rio della Pissa_esec Plan: progetto
Geom: Stato di progetto
River = RIO DELLA PISSA Reach = Tratto terminale RS = 60



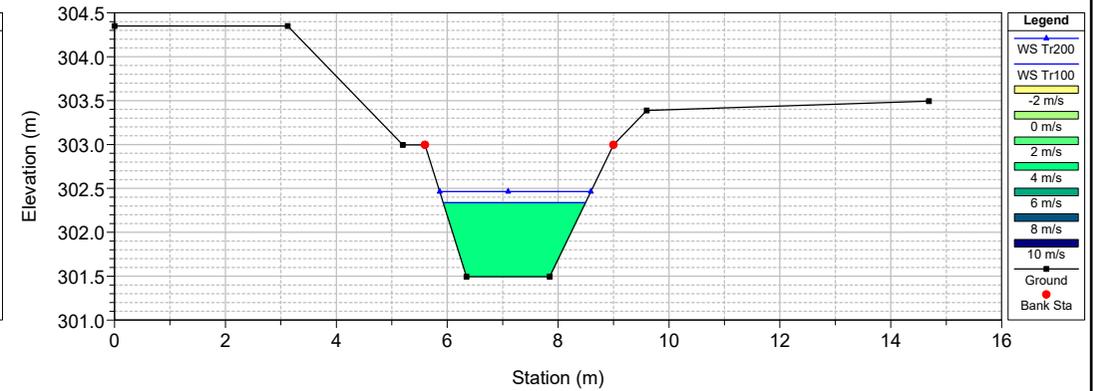
Rio della Pissa_esec Plan: progetto
Geom: Stato di progetto
River = RIO DELLA PISSA Reach = Tratto terminale RS = 50



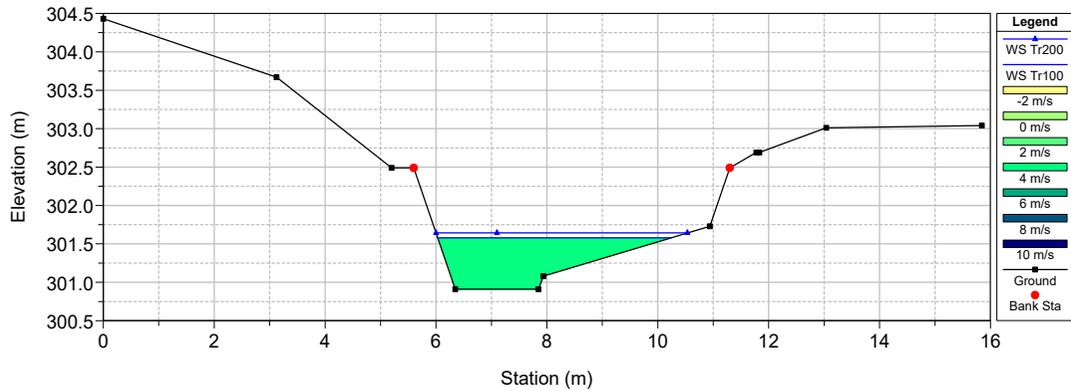
Rio della Pissa_esec Plan: progetto
Geom: Stato di progetto
River = RIO DELLA PISSA Reach = Tratto terminale RS = 40



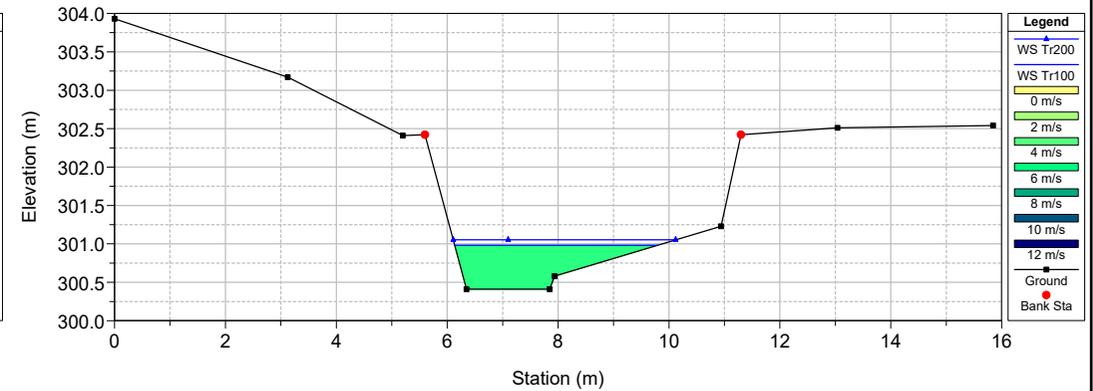
Rio della Pissa_esec Plan: progetto
Geom: Stato di progetto
River = RIO DELLA PISSA Reach = Tratto terminale RS = 30



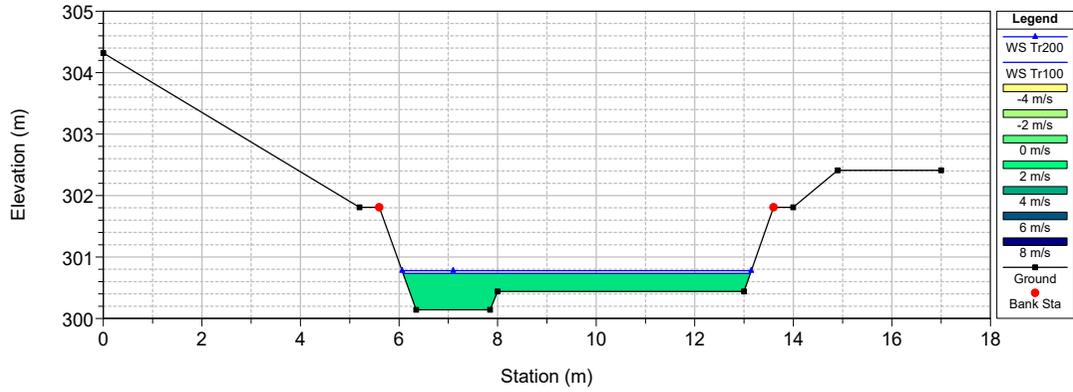
Rio della Pissa_esec Plan: progetto
Geom: Stato di progetto
River = RIO DELLA PISSA Reach = Tratto terminale RS = 25



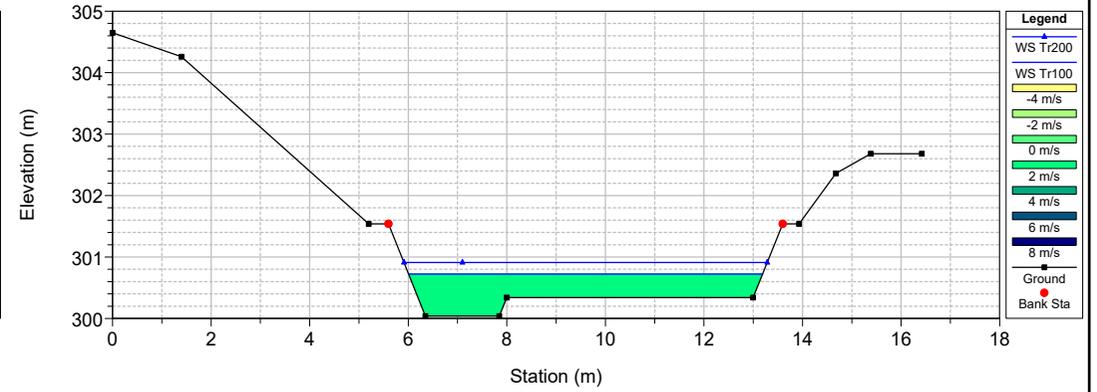
Rio della Pissa_esec Plan: progetto
Geom: Stato di progetto
River = RIO DELLA PISSA Reach = Tratto terminale RS = 24.9



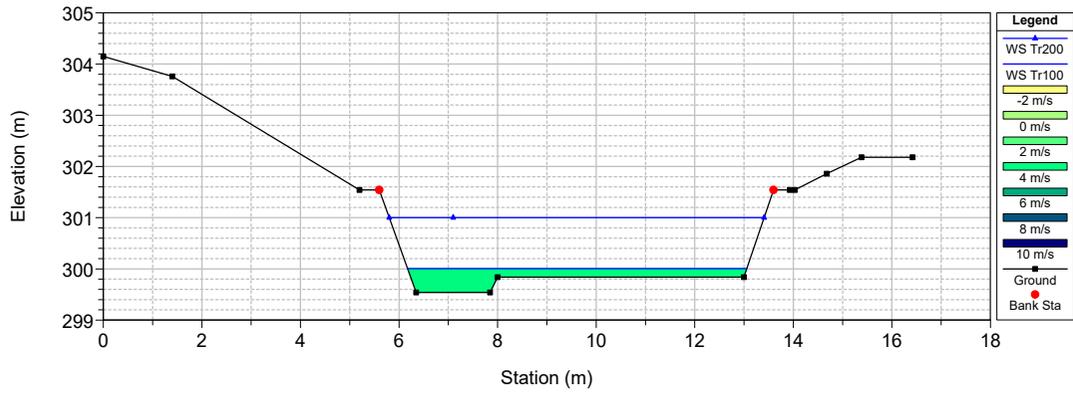
Rio della Pissa_eseC Plan: progetto
 Geom: Stato di progetto
 River = RIO DELLA PISSA Reach = Tratto terminale RS = 20



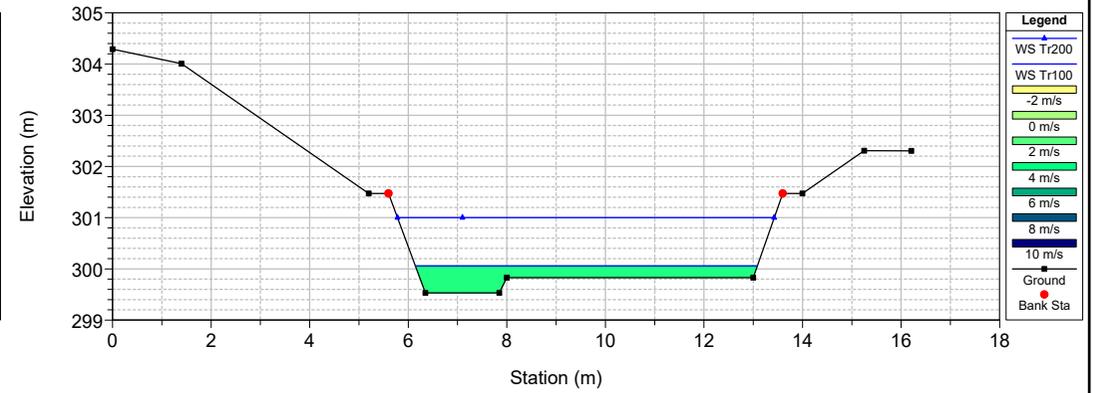
Rio della Pissa_eseC Plan: progetto
 Geom: Stato di progetto
 River = RIO DELLA PISSA Reach = Tratto terminale RS = 12.6



Rio della Pissa_eseC Plan: progetto
 Geom: Stato di progetto
 River = RIO DELLA PISSA Reach = Tratto terminale RS = 12.5



Rio della Pissa_eseC Plan: progetto
 Geom: Stato di progetto
 River = RIO DELLA PISSA Reach = Tratto terminale RS = 10



Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Tratto terminale	60	Tr100	6.70	306.25	307.22	307.33	307.77	0.050066	3.29	2.04	2.72	1.21
Tratto terminale	60	Tr200	8.50	306.25	307.36	307.48	307.98	0.050074	3.50	2.43	2.90	1.22
Tratto terminale	50	Tr100	6.70	304.41	305.24	305.49	306.05	0.085190	3.99	1.68	2.55	1.57
Tratto terminale	50	Tr200	8.50	304.41	305.37	305.65	306.28	0.083530	4.22	2.01	2.71	1.57
Tratto terminale	40	Tr100	6.70	303.22	304.19	304.33	304.81	0.057847	3.48	1.93	2.47	1.26
Tratto terminale	40	Tr200	8.50	303.22	304.34	304.50	305.04	0.058070	3.70	2.30	2.62	1.26
Tratto terminale	30	Tr100	6.70	301.50	302.34	302.57	303.12	0.080480	3.91	1.71	2.57	1.53
Tratto terminale	30	Tr200	8.50	301.50	302.46	302.73	303.34	0.080023	4.16	2.04	2.73	1.53
Tratto terminale	25	Tr100	6.70	300.91	301.58	301.81	302.34	0.117145	3.87	1.73	4.21	1.92
Tratto terminale	25	Tr200	8.50	300.91	301.64	301.91	302.55	0.126330	4.22	2.01	4.53	2.02
Tratto terminale	24.9	Tr100	6.70	300.41	300.98	301.31	302.27	0.235956	5.03	1.33	3.66	2.66
Tratto terminale	24.9	Tr200	8.50	300.41	301.05	301.41	302.48	0.231395	5.29	1.61	4.01	2.67
Tratto terminale	20	Tr100	6.70	300.14	300.73	300.83	301.10	0.065044	2.66	2.52	7.04	1.42
Tratto terminale	20	Tr200	8.50	300.14	300.78	300.90	301.24	0.072389	3.01	2.82	7.08	1.52
Tratto terminale	12.6	Tr100	6.70	300.04	300.72	300.72	300.95	0.031045	2.11	3.18	7.18	1.01
Tratto terminale	12.6	Tr200	8.50	300.04	300.91	300.80	301.09	0.016296	1.87	4.54	7.37	0.76
Tratto terminale	12.5	Tr100	6.70	299.54	300.01	300.23	300.87	0.264660	4.12	1.63	6.88	2.71
Tratto terminale	12.5	Tr200	8.50	299.54	301.00		301.05	0.002102	0.96	8.84	7.61	0.29
Tratto terminale	10	Tr100	6.70	299.53	300.06	300.22	300.60	0.123688	3.26	2.06	6.94	1.91
Tratto terminale	10	Tr200	8.50	299.53	301.00	300.30	301.05	0.002045	0.95	8.92	7.64	0.28