

autostrade // per l'italia

NODO STRADALE E AUTOSTRADALE DI GENOVA

Adeguamento del sistema

A7 – A10 – A12

PROGETTO DEFINITIVO

DOCUMENTAZIONE GENERALE

INTERFERENZE IDROGRAFICHE – IDRAULICA

Relazione idrologica–idraulica Opere provvisorie

IL RESPONSABILE PROGETTAZIONE SPECIALISTICA Ing. Paolo De Paoli Ord. Ingg. Pavia N. 1739 RESPONSABILE UFFICIO IDR	IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE Ing. Orlando Mazza Ord. Ingg. Pavia N. 1498 RESPONSABILE AREA DI PROGETTO GENOVA	IL DIRETTORE TECNICO Ing. Maurizio Torreal Ord. Ingg. Milano N. 18492 RESPONSABILE FUNZIONE STP
---	--	---

WBS	RIFERIMENTO ELABORATO				DATA: FEBBRAIO 2011	REVISIONE	
	DIRETTORIO		FILE			n.	data
	codice commessa	N.Prog.	unità'	n. progressivo	01	Aprile 2011	
	11071204	IDR0002	2		02	Maggio 2012	
					SCALA: -		

 spea autostrade	Ingegneria europea	COORDINATORE OPERATIVO DI PROGETTO Ing. Ilaria Lavander	ELABORAZIONE GRAFICA A CURA DI :	
			ELABORAZIONE PROGETTUALE A CURA DI :	
CONSULENZA A CURA DI :		IL RESPONSABILE UFFICIO/UNITA'	Ing. Paolo De Paoli Ord. Ingg. Pavia N. 1739	

VISTO DEL COORDINATORE GENERALE SPEA DIREZIONE OPERATIVA PROGETTAZIONE ED ESECUZIONE LAVORI ASP1 Ing. Alberto Selleri	VISTO DEL COMMITTENTE  Ing. Giorgio Fabiani	VISTO DEL CONCEDENTE 
---	---	--

INDICE

1. PREMESSA	4
2. RIFERIMENTI NORMATIVI	4
2.1 Determinazione delle portate di piena di progetto	4
2.1.1 Tempo di corrivazione	7
2.1.2 Curve di possibilità pluviometrica di progetto	10
2.2 Schema di calcolo idraulico	11
2.3 Parametri di scabrezza	11
2.4 Franchi di sicurezza	12
3. INTERFERENZA CANTIERE INDUSTRIALE CI02	12
3.1 Analisi idrologica	12
3.2 Analisi idraulica	14
4. INTERFERENZA IMBOCCO GALLERIA BORGONUOVO LATO SAVONA	15
4.1 Analisi idrologica	15
4.2 Analisi idraulica	17
5. INTERFERENZA PIAZZALE SUL TORRENTE CERUSA	18
5.1 Analisi idrologica	18
5.2 Stato di progetto	18
6. INTERFERENZA GUADO SUL TORRENTE LEIRO	19
6.1 Analisi idrologica	19
6.2 Analisi idraulica	19
7. INTERFERENZA RIO AFFLUENTE DEL TORRENTE LEIRO	20
7.1 Analisi idrologica	20
7.2 Analisi idraulica	21
8. INTERFERENZA IMBOCCO GALLERIA MONTEROSSO LATO GENOVA	22
8.1 Analisi idrologica	22
8.2 Analisi idraulica	23
9. INTERFERENZA IMBOCCO GALLERIA TORBELLA OVEST	24
9.1 Analisi idrologica	24
9.2 Analisi idraulica	25
10. INTERFERENZA IMBOCCO GALLERIA MONTE SPERONE LATO EST - RIO ROVENA	25
10.1 Analisi idrologica	25
10.2 Analisi idraulica	27
11. CANTIERE INDUSTRIALE CI06	28
11.1 Analisi idrologica	28

11.2	Analisi idraulica	29
12.	INTERFERENZA GALLERIA MORO 1 TRATTO CON PROTESI STRUTTURALE	30
12.1	Analisi idrologica	30
12.2	Analisi idraulica dell'opera Protesi Strutturale	31
13.	INTERFERENZE TORRENTE POLCEVERA	32
13.1	Analisi idrologica	32
13.2	Costruzione e schematizzazione del modello idraulico	33
13.2.1	Stato attuale	33
13.2.2	Stato di cantierizzazione con la presenza delle opere provvisorie	36
13.3	Condizioni al contorno per le simulazioni di stato attuale e di cantierizzazione relative alla realizzazione dello Slurrydotto	36
13.4	Condizioni al contorno per le simulazioni di cantierizzazione relative alla realizzazione del viadotto dell'autostrada in progetto ubicato tra le sezioni 62 e 61	37
13.5	Coefficienti di resistenza distribuita	37
13.6	Verifica idraulica della situazione attuale con tempo di ritorno 200 anni	38
13.7	Verifica idraulica con tempo di ritorno 200 anni della situazione di cantierizzazione caratterizzata dalla presenza dello slurrydotto	43
13.8	Verifiche idrauliche con tempo di ritorno 10 e 100 anni della situazione di cantierizzazione funzionale alla realizzazione del viadotto dell'autostrada in progetto interferente con il nodo di confluenza dei torrenti Secca e Polcevera	49
13.8.1	Verifica idraulica con tempo di ritorno 10 anni nello stato attuale e con la presenza del cantiere	49
13.8.2	Verifica idraulica a tempo di ritorno 100 anni nello stato attuale e con la presenza del cantiere	54
13.9	Analisi dello scalzamento al piede delle fondazioni	58
13.9.1	Condizioni fisiche di riferimento	58
13.9.2	Metodologie applicate	59
13.9.3	Schematizzazione geometrica	63
13.9.4	Dati di input relativi al cantiere del viadotto strallato sul nodo di confluenza Secca in Polcevera	63
13.9.5	Analisi dei risultati relativi al cantiere del viadotto strallato	64
13.9.6	Dati di input relativi al cantiere dello slurrydotto	64
13.9.7	Analisi dei risultati relativi al cantiere dello slurrydotto	65
14.	VIABILITÀ DI SERVIZIO	66
14.1	Viabilità VS3	66
14.1.1	Analisi idrologica	66
14.1.2	Analisi idraulica dell'opera VS3-B1	67
14.1.3	Analisi idraulica dell'opera VS3-B2	68
14.2	Viabilità VS5	68
14.2.1	Analisi idrologica	68
14.2.2	Analisi idraulica dell'opera VS5-T1	70
14.2.3	Analisi idraulica dell'opera VS5-T2	70
14.2.4	Analisi idraulica dell'opera VS5-T3	70
14.3	Viabilità VS6	71

14.3.1	Analisi idrologica	71
14.3.2	Analisi idraulica dell'opera VS6	72
14.4	Viabilità VS7	73
14.4.1	Analisi idrologica	73
14.4.2	Analisi idraulica dell'opera VS7	74

ALLEGATO 1 - Descrizione del codice di calcolo HEC-RAS

1. PREMESSA

Oggetto della presente relazione è l'analisi idrologico-idraulica delle interferenze idrografiche del nodo stradale ed autostradale di Genova (Gronda di Ponente – Riqualificazione A10 e potenziamento A7 e A12), con riferimento alle opere provvisorie in progetto sia sull'Asse Principale, sia sulle Viabilità di Servizio che ai Campi-Cantieri.

Per l'analisi idrologico-idraulica delle opere definitive si rimanda invece all'elaborato IDR 0001.

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

Le interferenze idrografiche della gronda di Ponente ricadono negli ambiti di competenza dei seguenti Piani di Bacino redatti dalla Provincia di Genova:

- Piano di Bacino D.L. 180/98 – Ambito 12 e 13;
- Piano di Bacino del Torrente Varenna;
- Piano di Bacino del Torrente Polcevera;
- Piano di Bacino del Torrente Bisagno.

Con riferimento alle prescrizioni contenute nei suddetti Piani di Bacino, nel seguito vengono descritte le ipotesi generali di calcolo adottate sia nello studio idrologico che per le verifiche idrauliche degli interventi in progetto.

2.1 Determinazione delle portate di piena di progetto

Per tutti i corsi d'acqua superficiali interessati da un'opera in progetto è stato individuato il corrispondente bacino imbrifero sotteso a partire dalle seguenti cartografie di base disponibili:

- rilievo fotogrammetrico in scala 1:5.000 per i bacini più piccoli;
- CTR in scala 1:10.000 per i bacini maggiori.

Ove disponibili, si è fatto direttamente riferimento ai valori delle portate di piena di riferimento con tempo di ritorno di 50, 200 e 500 anni pubblicate sulle tabelle contenute nei Piani di Bacino sopra citati.

In relazione ad ogni singola opera si è deciso il tempo di ritorno da assumere per la definizione del valore della portata di piena di progetto, in funzione della natura del corso d'acqua interferente (principale o rio minore), dell'importanza e durata dell'opera in progetto, della durata del cantiere, del tipo di interferenza indotto localmente e del grado di rischio idraulico connesso alle infrastrutture presenti a valle.

Per quanto concerne le opere provvisorie, necessarie per la costruzione dei manufatti di attraversamento o delle sistemazioni dell'alveo, la Direttiva 2/99 dell'Autorità di Bacino del fiume Po (deliberazione 11 maggio 1999) stabilisce al paragrafo 4-8.3 – Condizioni fisiche di riferimento – che per le "fasi significative" di costruzione dell'opera, tenendo conto delle opere provvisorie eventualmente inserite, qualora comportino interazioni più severe con le condizioni di deflusso in piena rispetto alla condizione di opera realizzata [...] il

tempo di ritorno della piena da assumere per le valutazioni è quello la cui probabilità di essere raggiunta o superata una volta nel periodo temporale corrispondente alle fasi di costruzione non è superiore alla probabilità che ha la portata di progetto di essere raggiunta o superata una volta nel periodo di vita dell'opera.

Tale definizione richiama il concetto di "rischio idraulico", cioè la probabilità composta di non superamento che un determinato evento caratterizzato da tempo di ritorno assegnato, TR, si manifesti nel corso di un periodo temporale prefissato, N.

Lo sviluppo della formulazione di tempo di ritorno, associato alla probabilità composta per la quale l'evento si manifesti all'interno dell'orizzonte temporale stabilito, porta alla seguente formulazione del rischio idraulico:

$$R = 1 - \left(1 - \frac{1}{TR}\right)^N$$

nella quale:

R = rischio idraulico, inteso come probabilità di non superamento;

TR = tempo di ritorno dell'evento di riferimento (anni);

N = orizzonte temporale di riferimento (anni).

L'assunto della Direttiva sopracitata può essere interpretato nel modo seguente: il rischio idraulico associato all'interferenza prodotta dalle opere provvisorie nel periodo di installazione del cantiere (periodo di costruzione dell'opera) deve essere uguale al rischio idraulico che l'evento di progetto si manifesti nel corso della vita dell'opera.

Stabilite quindi le seguenti variabili:

TR = tempo di ritorno di progetto (anni);

V = durata dell'opera (anni);

c = durata di costruzione (anni);

T_{pr} = tempo di ritorno per la verifica delle opere provvisorie (anni);

l'assunto precedente si trasforma nella seguente eguaglianza:

$$1 - \left(1 - \frac{1}{T_{pr}}\right)^c = 1 - \left(1 - \frac{1}{TR}\right)^v$$

dalla quale si ricava T_{pr}:

$$T_{pr} = \frac{1}{1 - \left(1 - \frac{1}{TR}\right)^{\frac{v}{c}}}$$

Cautelativamente si è assunto per tutti i corsi d'acqua inferiori al 1° livello e comunque non fasciati un tempo di ritorno di verifica pari a 25 anni, valore estremamente cautelativo in rapporto alla effettiva durata dei cantieri.

Per le sezioni in cui non è specificatamente disponibile un valore di portata di piena di riferimento nei Piani di Bacino, sono stati conservativamente considerati i valori delle piene di assegnato tempo di ritorno individuati come validi nella sezione immediatamente a valle di quella considerata, nei casi in cui la porzione di bacino

residuo non risulti eccessiva. Altrimenti la portata è stata calcolata mediante l'utilizzo di un contributo unitario ricavato per interpolazione lineare tra quello di monte e quello di valle già definiti dal Piano, mediante l'applicazione della seguente formula:

$$Q_i = (A_m + dA) * [q_m - (q_m - q_v) / (A_v - A_m) * dA]$$

in cui:

$$q_m = Q_m / A_m;$$

$$q_v = Q_v / A_v;$$

$$dA = A_i - A_m;$$

Q_i, Q_m, Q_v = portata intermedia, di monte e di valle;

A_m, A_v, A_i = area scolante di monte, di valle ed intermedia;

q_m, q_v = contributi unitari di monte e di valle.

Nei casi in cui è risultato necessario determinare portate di piena di progetto corrispondenti a tempi di ritorno inferiori a 50 anni, sono stati estrapolati i valori di portata di riferimento dei Piani di Bacino con tempo di ritorno pari a 50, 200 e 500 anni.

L'estrapolazione è stata effettuata ricavando dalla distribuzione di Gumbel nella forma:

$$P(Q) = \exp(\exp(-\alpha \cdot (Q - \mu)))$$

la seguente relazione lineare:

$$\ln\left(\ln\left(\frac{TR}{TR-1}\right)\right) = -\alpha \cdot (Q - \mu)$$

dove Q è la portata, $P(Q) = \left(\frac{TR}{TR-1}\right)$, e α e μ sono i parametri della distribuzione che si ricavano facilmente con il metodo dei minimi quadrati.

Per i corsi d'acqua minori, privi di specifiche indicazioni di portata nei Piani di Bacino, si è assunta inizialmente come portata di piena di riferimento (a cui si è associato convenzionalmente un tempo di ritorno di 200 anni) quella calcolata utilizzando un contributo unitario pari a:

- 40 m³/s km² per bacini fino a 1 km²;
- 38 m³/s km² per bacini da 1 a 2 km²;
- 36 m³/s km² per bacini da 2 a 3 km²;
- 35 m³/s km² per bacini da 3 a 4 km²;
- 34 m³/s km² per bacini da 4 a 5 km²;
- 32 m³/s km² per bacini da 5 a 6 km²;
- 31 m³/s km² per bacini da 6 a 7 km²;
- 30 m³/s km² per bacini da 7 a 8 km².

Successivamente sono stati calcolati i valori di portata di assegnato tempo di ritorno mediante il metodo razionale (o cinematico), basato sulla determinazione indiretta delle portate in funzione delle precipitazioni, controllando che il valore della portata di piena con tempo di ritorno di 200 anni fosse uguale o prossimo al valore della piena di riferimento calcolato con il contributo specifico sopra definito.

Alle piene sintetiche calcolate con tale criterio si attribuisce implicitamente lo stesso tempo di ritorno delle precipitazioni che le hanno generate.

Per il calcolo delle portate di piena si è utilizzata pertanto la formula di Turazza:

$$Q = \frac{c \cdot h \cdot S}{3,6 \cdot t_c} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

dove:

S = superficie del bacino (km²);

c = coefficiente medio di deflusso del bacino;

h = altezza massima di precipitazione per una durata pari al tempo di corrivazione (mm), determinata mediante curva di possibilità pluviometrica;

t_c = tempo di corrivazione del bacino (ore).

I tempi di corrivazione e le altezze massime di precipitazione di assegnato tempo di ritorno sono state determinate come descritto nei paragrafi seguenti.

2.1.1 Tempo di corrivazione

Per la determinazione della precipitazione critica è necessario valutare il tempo di corrivazione utilizzando formule sperimentali e definendo un valore di riferimento in relazione alla letteratura tecnica sull'argomento e all'esperienza diretta in campo idrologico.

La determinazione del valore del tempo di corrivazione per i bacini di interesse è stata effettuata avvalendosi delle seguenti formule: Giandotti, Pezzoli, Ventura, Pasini e S.C.S.. Questi metodi necessitano, come dati di input, dei valori delle caratteristiche morfologiche, fisiografiche ed altimetriche dei bacini definiti alle corrispondenti sezioni di chiusura. Le grandezze considerate sono le seguenti:

- superficie S (km²);
- altitudine massima H_{max} (m s.m.);
- altitudine media H_{med} (m s.m.);
- quota della sezione di chiusura H_{min} (m s.m.);
- lunghezza dell'asta principale L (km);
- pendenza dell'asta principale i (m/m);
- pendenza dei versanti y (m/m);
- parametro CN (definito successivamente).

Vengono di seguito esposte le formule di calcolo del tempo di corrivazione espresso in ore, per ognuno dei metodi adottati.

Formula di Giandotti:

$$t_c = \frac{4 \cdot \sqrt{S} + 1,5 \cdot L}{0,8 \cdot \sqrt{H_{med} - H_{min}}}$$

Formula di Pezzoli:

$$t_c = 0,055 \cdot \frac{L}{\sqrt{i}}$$

Formula di Ventura:

$$t_c = 0,1272 \cdot \sqrt{\frac{S}{i}}$$

Formula di Pasini:

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

Formula S.C.S.:

$$t_c = 0,057 \cdot \frac{L^{0,8} \cdot (S' + 1)^{0,7}}{\sqrt{y}}$$

dove il parametro S' rappresenta la massima ritenzione del bacino, funzione del tipo e del grado di saturazione del terreno e dell'uso del suolo, la cui espressione risulta:

$$S' = \frac{1000}{CN} - 10$$

CN è il "Runoff Curve Number", coefficiente sperimentale che tiene conto delle caratteristiche del bacino classificate secondo i criteri stabiliti dal U.S. Soil Conservation Service (Department of Agriculture).

Il valore di CN si ricava con riferimento ai dati riportati nella Tabella 1 e nella Tabella 2 assegnando le seguenti condizioni: classe di appartenenza del suolo, tipo di copertura, destinazione d'uso del suolo e condizioni idrologiche.

Le classi di appartenenza del suolo nel metodo S.C.S. sono:

- A. Suoli ad alta permeabilità, costituiti da sabbie grossolane, silt calcarei non consolidati ed omogenei.
- B. Suoli a moderata permeabilità, costituiti da sabbie limose ed argillose.
- C. Suoli a medio-bassa permeabilità, costituiti da argille e limi, con contenuti organici.
- D. Suoli a bassa permeabilità, costituiti da argille plastiche, con livello piezometrico permanentemente alto.

La classificazione del tipo di copertura del complesso è condotta attraverso la stima di 3 fattori: la destinazione d'uso del suolo, il tipo di utilizzo e la condizione idrologica del suolo. Essi sono riassunti nella Tabella 2.

Il contenuto d'acqua del suolo in condizioni naturali ha un effetto significativo sia sul volume d'acqua in gioco sia sul deflusso superficiale. Sono distinte tre condizioni:

- condizione I : suoli asciutti.
- condizione II : suoli in condizioni medie.
- condizione III: suoli saturi.

I valori di CN ottenuti dalla Tabella 1 sono relativi a suoli in condizione II. Se si considerano differenti condizioni si può far riferimento alla Tabella 2.

Nei casi in cui le dimensioni dei bacini imbriferi risultano estremamente ridotte, le formule teoriche forniscono valori del tempo di corrivazione non realistici che tendono a sovrastimare eccessivamente le portate di piena: in tali casi si è considerato un valore minimo del tempo di corrivazione da introdurre nella formula razionale pari a 0,25 ore (15 minuti).

Runoff Curve Numbers for Hydrologic Soil-Cover Complexes
(Antecedent Moisture Condition II, and $I_a * 0.2 S$)

<u>Land Use Description/Treatment/Hydrologic Condition</u>		<u>Hydrologic Soil Group</u>			
		<u>A</u>	<u>B</u>	<u>C</u>	<u>D</u>
Residential:	Average Impervious				
1/8 acre or less		65	77	85	90
1/4 acre		38	61	75	83
1/3 acre		30	57	72	81
1/2 acre		25	54	70	80
1 acre		20	51	68	79
Paved parking lots, roofs, driveways, etc.			98	98	98
Streets and roads:					
paved with curbs and storm sewers			98	98	98
gravel			76	85	89
dirt			72	82	87
Commercial and business area (85% impervious)			89	92	94
Industrial districts (72% impervious)			81	88	91
Open Spaces, lawns, parks, golf courses, cemeteries, etc.					
good condition: grass cover on 75% or more of the area			39	61	74
fair condition: grass cover on 50% of the area			49	69	79
Fallow	Straight row	----	77	86	91
Row crops	Straight row	Poor	72	81	88
	Straight row	Good	67	78	85
	Contoured	Poor	70	79	84
	Contoured	Good	65	75	82
	Contoured & terraced	Poor	66	74	80
	Contoured & terraced	Good	62	71	78
Small grain	Straight row	Poor	65	76	84
		Good	63	75	83
	Contoured	Poor	63	74	82
		Good	61	75	81
	Contoured & terraced	Poor	61	72	79
		Good	59	70	78
Close - seeded legumes 4/ or rotation meadow	Straight row	Poor	66	77	85
	Straight row	Good	58	72	81
	Contoured	Poor	64	75	83
	Contoured	Good	55	69	78
	Contoured & terraced	Poor	63	73	80
	Contoured & terraced	Good	51	67	76
Pasture or range		Poor	68	79	86
		Fair	49	69	79
		Good	39	61	74
	Contoured	Poor	47	67	81
	Contoured	Fair	6	35	70
Meadow	Good	30	58	71	78
Woods or Forest land	Poor	45	66	77	83
	Fair	36	60	73	79
		Good	25	55	70
Farmsteads	----		74	82	86

Tabella 1 - Valori del coefficiente CN (Rif. Mc Cuen - S.C.S. Method).

CN FOR CONDITION II	CORRESPONDING CN FOR CONDITION	
	I	II
100	100	100
95	87	99
90	78	98
85	70	97
80	63	94
75	57	91
70	51	87
65	45	83
60	40	79
55	35	75
50	31	70
45	27	65
40	23	60
35	19	55
30	15	50
25	12	45
20	9	39
15	7	33
10	4	26
5	2	17
0	0	0

Tabella 2 - Confronto fra i valori di CN nelle diverse condizioni idrologiche (Mc Cuen - SCS Method).

2.1.2 Curve di possibilità pluviometrica di progetto

Di seguito si riportano le curve di possibilità pluviometrica di assegnato tempo di ritorno considerate nel presente studio, ottenute mediante elaborazione probabilistica dei dati di precipitazione intensa della stazione di "Genova Università", situata c/o l'Università degli studi di Genova in Via Balbi, caratterizzata da una serie storica di 62 anni consecutivi, dal 1932 al 1993.

Per piogge con intervalli di durata inferiori all'ora

TR= 10 anni

TR= 25 anni

TR= 50 anni

TR= 100 anni

TR= 200 anni

$h = a t^{n1}$ (mm):

$h = 75,93 t^{0,553}$

$h = 91,31 t^{0,558}$

$h = 102,72 t^{0,551}$

$h = 114,05 t^{0,563}$

$h = 125,33 t^{0,565}$

Per piogge con intervalli di durata superiori all'ora

TR= 10 anni

TR= 25 anni

TR= 50 anni

TR= 100 anni

TR= 200 anni

$h = a t^{n2}$ (mm):

$h = 75,93 t^{0,416}$

$h = 91,31 t^{0,431}$

$h = 102,72 t^{0,438}$

$h = 114,05 t^{0,444}$

$h = 125,33 t^{0,449}$

2.2 Schema di calcolo idraulico

Le analisi idrauliche delle opere provvisorie in progetto di maggiore rilevanza sono state condotte applicando schemi di calcolo in moto permanente, visto il comportamento torrentizio dei corsi d'acqua interferenti, tale per cui vengono esclusi fenomeni di laminazione del colmo di piena; la schematizzazione inoltre risulta cautelativa dal punto di vista idraulico (nell'ottica del dimensionamento degli attraversamenti) escludendo fenomeni di coppia di piena in quanto le portate ed i livelli si propagano lungo l'asta fasati temporalmente (cioè coincidenti lungo l'asse tempo).

Le analisi idrauliche sono state condotte mediante la messa a punto ed applicazione di modelli idraulici monodimensionali basati sul codice di calcolo HEC RAS (vedi descrizione in allegato 1).

Per i corsi d'acqua minori la verifica idraulica è stata condotta applicando uno schema di calcolo idrodinamico locale tenuto conto dei modesti valori di portata di piena in gioco, delle caratteristiche morfologiche degli alvei, poco definite in termini geometrici e spesso riconducibili a semplici incisioni e della semplicità delle opere provvisorie in progetto.

Il calcolo è avvenuto utilizzando come schematizzazione di base quella di moto uniforme, applicando la formulazione proposta da Chezy nel seguito riportata:

$$Q = \chi * \Omega * (R * i_f)^{0.5}$$
$$\chi = c * R^{(1/6)}$$

in cui:

c = coefficiente di resistenza distribuita secondo Gauckler – Strickler ($m^{1/3}s^{-1}$);

Ω = area bagnata della sezione idraulica (m^2);

R = raggio idraulico (m);

i_f = pendenza del fondo (m/m).

Sulla base dei dati geometrici dell'attraversamento (sezione trasversale e pendenza di fondo) e delle caratteristiche geometriche dell'alveo a monte e a valle di esso, sono state eseguite le verifiche idrauliche relative alle opere provvisorie in progetto.

2.3 Parametri di scabrezza

Malgrado il Regolamento Regionale non disciplini la metodologia di verifica delle opere provvisorie presenti durante la cantierizzazione utile alla realizzazione dell'autostrada in progetto, in sede di assunzione dei parametri di scabrezza utilizzati nelle verifiche idrauliche si è fatto riferimento comunque ai valori prescritti dal succitato Regolamento e indicati nella Tabella 3.

Descrizione corso d'acqua	Coefficienti di scabrezza di Gauckler-Strickler Ks (m ^{1/3} s ⁻¹)
Tratti di corsi d'acqua naturali con salti, rocce o vegetazione anche arbustiva-arborea in alveo	25-30
Corsi d'acqua naturali con vegetazione e movimento di materiale sul fondo	30-35
Tratti urbanizzati di corsi d'acqua naturali con argini cementati (e/o platee in buono stato)	35-40
Corsi d'acqua con fondo e argini totalmente cementati in ottimo stato ed assenza di manufatti (tubi, cavi, ecc..) o discontinuità interferenti con le acque	40-45

Tabella 3 – Coefficienti di scabrezza prescritti all'interno del Regolamento Regionale N.3 del 14 luglio 2011.

2.4 Franchi di sicurezza

Le verifiche idrauliche delle opere provvisorie hanno considerato l'opera adeguata se riempita in linea generale per valori prossimi all'85% di riempimento della sua sezione; va specificato tuttavia che il criterio di dimensionamento delle opere provvisorie è quello di "immediata rimozione dei rilevati accessori alla presenza del cantiere" se sormontati, in modo da non generare anomalie di deflusso lungo l'asta a valle, non aggravando in questo modo le condizioni di deflusso rispetto allo stato attuale.

3. INTERFERENZA CANTIERE INDUSTRIALE CI02

3.1 Analisi idrologica

Nel Piano di Bacino D.L. 180/98 – Ambito 12 e 13 vengono definiti i seguenti valori di portata di piena del rio Vesima alla confluenza in mare ($S = 1,846 \text{ km}^2$):

- TR = 50 anni: 39 m³/s;
- TR = 200 anni: 56 m³/s;
- TR = 500 anni: 68 m³/s.

Il bacino imbrifero del rio Vesima interferente con il cantiere industriale CI02 (vedi Figura 1) presenta invece una superficie $S = 1,143 \text{ km}^2$.

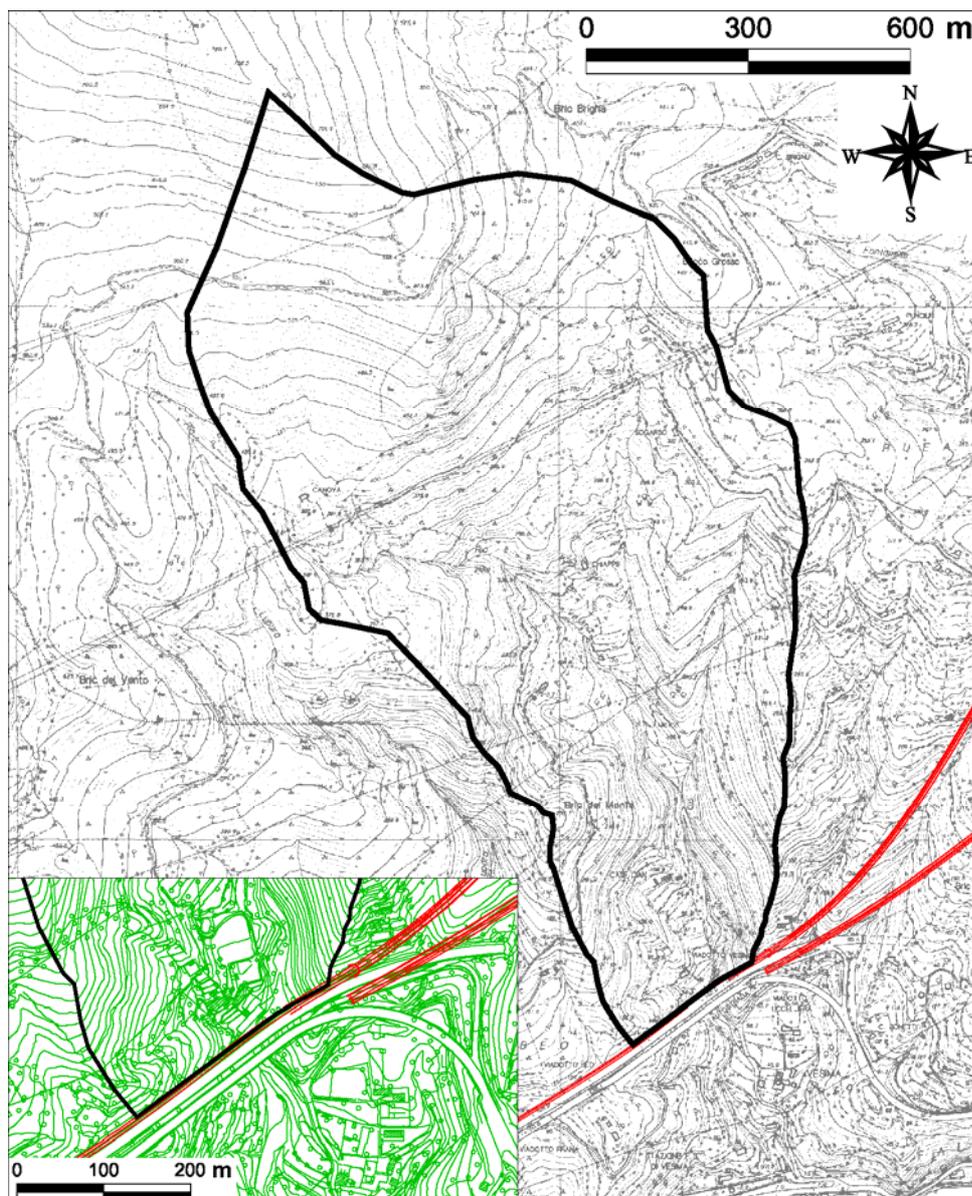


Figura 1 – Bacino imbrifero del rio interferente con il cantiere industriale CI02.

Per i bacini aventi superficie minore di 2 km², la portata di massima piena associata a diversi periodi di ritorno è stata calcolata nel Piano di Bacino adottando un contributo unitario, funzione del tipo di bacino e della sua posizione geografica, pari a quello ottenuto con riferimento a superfici scolanti aventi un'area drenata pari a 2 km², secondo la seguente formula:

$$Q_T = K_T \cdot A \cdot U_{A=2} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

nella quale:

A = superficie del bacino (km²);

$U_{A=2}$ = contributo unitario per area pari a 2 km² (m³/s km²), in funzione della longitudine del baricentro del bacino e del CN medio del metodo SCS;

K_T = fattore di frequenza, illustrato nella tabella seguente:

Tempo di ritorno	KT
5 anni	1,295
10 anni	1,788
30 anni	2,900
50 anni	3,470
100 anni	4,250
200 anni	5,020

Note le portate di assegnato TR del rio Vesima alla confluenza in mare è stato possibile ricavare il parametro $U_{A=2} = 6,043 \text{ m}^3/\text{s km}^2$, e successivamente calcolare le portate di assegnato TR alla sezione di interesse in corrispondenza dell'area di cantiere CI02.

Tempo di ritorno (anni)	Q confluenza in mare (m^3/s)	Q cantiere CI02 (m^3/s)
5	15	9
10	20	13
30	33	20
50	39	24
100	48	30
200	56	35

Tabella 4 – Portate di assegnato tempo di ritorno del rio Vesima.

Interpolando i valori in tabella con la formula di Gumbel si ottengono per **TR=25 anni** i seguenti valori di portata:

- confluenza in mare $Q=31 \text{ m}^3/\text{s}$;
- cantiere CI02 $Q=19 \text{ m}^3/\text{s}$.

3.2 Analisi idraulica

La tombinatura provvisoria del rio Vesima in corrispondenza dell'area di cantiere CI02 (cfr. IDR0102) è realizzata mediante una tubazione tipo ARMCO T200 – R6 di lunghezza 87,10 m, caratterizzata da una sezione ribassata con luce di 3,72 m e freccia di 2,66 m, che nel tratto intermedio presenta una pendenza di fondo minima pari al 6,0%.

Nella Figura 2 è riportata la scala di deflusso in moto uniforme di tale tubazione, per la quale si è considerato un coefficiente di scabrezza di Strickler pari a $33 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$.

Nella Tabella 5 seguente sono indicate le altezze di moto uniforme e i franchi di sicurezza corrispondenti ai vari tempi di ritorno considerati: il manufatto risulta abbondantemente verificato e pertanto garantisce un ampio grado di sicurezza nei confronti delle infrastrutture presenti a valle delle opere in progetto.

TR (anni)	Q (m ³ /s)	Yu (m)	Franco (m)
5	9	0,70	1,96
10	13	0,85	1,81
25	19	1,05	1,61
30	20	1,10	1,56
50	24	1,20	1,46
100	30	1,37	1,29
200	35	1,50	1,16

Tabella 5 – Altezze di moto uniforme e franchi di sicurezza per i vari tempi di ritorno considerati.

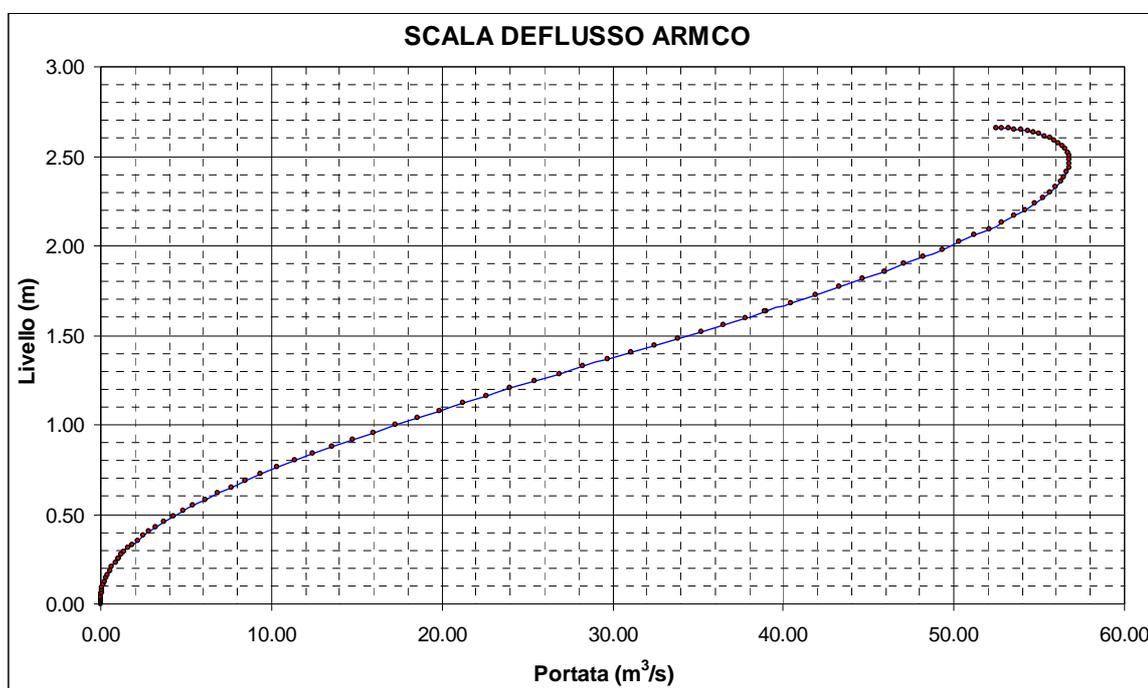


Figura 2 – Scala di deflusso in moto uniforme della tubazione tipo ARMCO prevista.

4. INTERFERENZA IMBOCCO GALLERIA BORGONUOVO LATO SAVONA

4.1 Analisi idrologica

Il bacino imbrifero del rio interferente con l'imbocco della galleria Borgonuovo lato Savona (vedi Figura 3 – Bacino 1) ha una superficie $S = 0,19 \text{ km}^2$. Il bacino imbrifero del rio in sinistra orografica nel quale scarica la deviazione provvisoria del rio interferente (Bacino 2) ha invece una superficie $S = 0,14 \text{ km}^2$.

Considerando un contributo specifico di $40 \text{ m}^3/\text{s km}^2$ si ottengono le seguenti portate di piena di riferimento con tempo di ritorno 200 anni:

Bacino 1: QTR200 = $7,6 \text{ m}^3/\text{s}$;

Bacino 2: QTR200 = $5,6 \text{ m}^3/\text{s}$.

I parametri fisiografici dei bacini in esame sono quelli indicati nel prospetto seguente e in particolare: la superficie del bacino (S); la lunghezza (L) e la pendenza (i) dell'asta principale; la quota massima (Hmax), minima (Hmin) e media (Hmed) del bacino; la pendenza dei versanti (y).

Denominazione Bacino	S (km ²)	Hmax (m s.m.)	Hmed (m s.m.)	Hmin (m s.m.)	L (km)	i (%)	y (%)
Bacino 1	0,190	375	240	96	1,050	15	45
Bacino 2	0,140	339	220	95	0,830	14	43

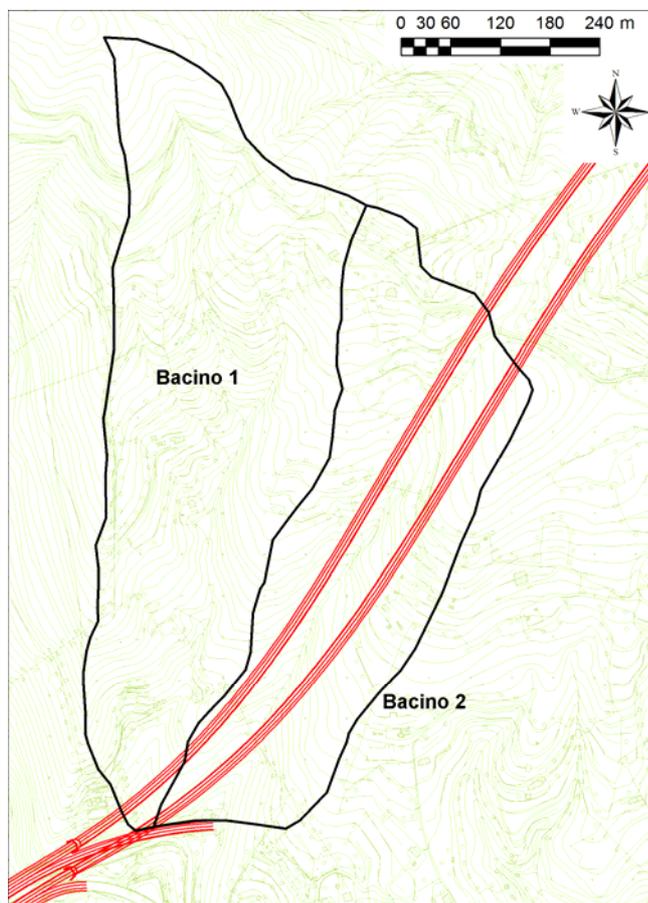


Figura 3 – Bacino imbrifero del rio interferente con l'imbocco della galleria Borgonuovo lato Savona (Bacino 1) e bacino imbrifero del suo affluente in sinistra orografica (Bacino 2).

Nel prospetto seguente sono invece indicati i valori del tempo di corrivazione calcolati con le varie formule considerate, avendo adottato inoltre per il parametro CN un valore pari a 75.

Bacino	GIANDOTTI	S.C.S.	VENTURA	PEZZOLI	PASINI
Bacino 1	0,35	0,25	0,14	0,15	0,16
Bacino 2	0,31	0,21	0,13	0,12	0,14

Assumendo un valore medio di calcolo del tempo di corrivazione pari a **0,27** ore per entrambi i bacini, applicando la formula razionale si ottengono i valori di portata di piena di assegnato tempo di ritorno indicati nella Tabella 6 seguente.

Tempo di ritorno (anni)	Q – Bacino 1 (m ³ /s)	Q – Bacino 2 (m ³ /s)
10	4,7	3,4
25	5,6	4,1
50	6,3	4,7
100	6,9	5,1
200	7,6	5,6

Tabella 6 – Portate di assegnato tempo di ritorno del rio interferente con l'imbocco della galleria Borgonuovo lato Savona e del suo affluente in sinistra orografica.

4.2 Analisi idraulica

La presente verifica idraulica riguarda la sistemazione in fase di cantiere del rio localizzato in corrispondenza dell'imbocco della galleria Borgonuovo lato Savona; data la permanenza limitata del cantiere essa è stata eseguita per tempo di ritorno 25 anni. la sistemazione è costituita da più tratti tubazione tipo ARMCO T100 – C10 di diametro pari a 2,0 m la cui pendenza minima è dell'1% cfr. (IDR0103);

La verifica idraulica è stata eseguita per il tratto più critico a pendenza pari all'1% considerando la portata di progetto (TR25) pari a 5,60 m³/s.

Il calcolo è stato eseguito secondo la schematizzazione idrodinamica di moto uniforme utilizzando la formulazione di Chezy e assumendo una scabrezza di 34 m^{1/3}s⁻¹ così come indicato dalle ditte costruttrici delle tubazioni; la portata (nel tratto all'1% di diametro 2,00 m) defluisce riempiendo la tubazione per una quantità pari al 70%, generando un tirante idrico di 1,40 m con una velocità di 2,40 m/s; il franco rispetto all'intradosso tubo è pari a 0,60 m.

Poiché in fase di cantiere l'invalveazione del rio interferente scarica nel rio affluente in sinistra orografica a monte del manufatto di attraversamento dell'autostrada esistente costituito da uno scatolare in c.a. di dimensioni 3,00x3,00 m, è stata condotta una verifica di compatibilità idraulica considerando cautelativamente la somma aritmetica delle portate al colmo con tempo di ritorno 25 anni dei due rii, pari a 9,7 m³/s.

La condizione più critica è quella di imbocco del manufatto: applicando la formula dello stramazzo a larga soglia sulla larghezza del manufatto pari a 3,0 m e con la portata di 9,7 m³/s, risulta un carico idraulico di 1,53 m e pertanto un franco di sicurezza pari a 1,47 m. Il manufatto di attraversamento esistente è realizzato a gradonata e pendenze di fondo elevate che pertanto garantiscono il deflusso dell'evento con tempo di ritorno 25 anni in condizioni di sicurezza.

5. INTERFERENZA PIAZZALE SUL TORRENTE CERUSA

In sponda destra del torrente Cerusa, in prossimità della località Filanda, è prevista la realizzazione di un piazzale al servizio dei mezzi di cantiere utili alla realizzazione dell'autostrada in progetto (cfr. IDR0133). Tale opera ha carattere provvisorio e sarà pertanto completamente rimossa al termine dei lavori di cantierizzazione del cunicolo di drenaggio della galleria Borgonuovo. Il piazzale in analisi non interferisce con le piene a tempo di ritorno 50 anni del torrente Cerusa, poiché esterno all'alveo inciso del corso d'acqua e non interessabile da allagamenti; infatti dai dati di modello idraulico di simulazione desunti dal PAI, nel tratto compreso tra le sezioni 26 e 18 la piena a tempo di ritorno 50 anni è sempre contenuta nell'alveo inciso.

5.1 Analisi idrologica

Le portate di riferimento sono state desunte dai Piano di Bacino stralcio per la tutela dal Rischio Idrogeologico (Ambiti Regionali di Bacino 12 e 13).

Le portate definite dal Piano e simulate attraverso il modello sono le seguenti:

- TR = 50 anni: 271 m³/s;
- TR = 200 anni: 416 m³/s;
- TR = 500 anni: 544 m³/s;

5.2 Stato di progetto

A differenza dei corsi d'acqua minori, su cui sono state eseguite verifiche per tempo di ritorno 25 anni, nel caso dell'area di cantiere in destra Cerusa si sono consultati i risultati di modello idraulico prodotti dal PAI per tempo di ritorno 50 anni, utilizzando quindi un coefficiente di sicurezza per la valutazione del rischio di esondazione molto cautelativo.

Come già detto in precedenza il piazzale di cantiere non è interessabile da inondazione per tempo di ritorno 50 anni, infatti nel tratto sez.26-18 la piena è totalmente contenuta in alveo inciso con abbondante franco rispetto alle sponde. Il cantiere nel limitato periodo di permanenza (1-1.5 anni) in destra Cerusa non interferirà in alcun modo con piene a tempo di ritorno non superiore a 50 anni.

La sezione 23.1 del PAI, corrispondente a quella in prossimità della quale verrà impiantato il piazzale di cantiere, riporta un livello a tempo di ritorno 50 anni pari a 12.91 m s.m.

6. INTERFERENZA GUADO SUL TORRENTE LEIRO

6.1 Analisi idrologica

Nel Piano di Bacino D.L. 180/98 – Ambito 12 e 13 vengono definiti i seguenti valori di portata di piena del torrente Leiro alla confluenza in mare ($S = 27 \text{ km}^2$):

- TR = 50 anni: 362 m³/s;
- TR = 200 anni: 453 m³/s;
- TR = 500 anni: 521 m³/s.

Il bacino imbrifero del torrente Leiro sotteso dal guado in progetto presenta una superficie $S = 26,5 \text{ km}^2$, pertanto circa coincidente con quella indicata nel Piano di Bacino per la sezione di confluenza in mare.

Estrapolando i valori di portata su indicati mediante la distribuzione di Gumbel per i tempi di ritorno inferiori si ottengono le portate indicate nella Tabella 7.

Tempo di ritorno (anni)	Q (m ³ /s)
2	150
5	220
10	267
25	313
50	362
100	415
200	521

Tabella 7 – Portate di assegnato tempo di ritorno del torrente Leiro alla sezione del guado in progetto.

6.2 Analisi idraulica

La presente verifica idraulica riguarda la determinazione della massima capacità di portata defluibile attraverso il guado previsto sul torrente Leiro durante la fase di cantiere in corrispondenza dell'area di progetto Voltri; il guado viene realizzato prevedendo nell'alveo del torrente una batteria di tubazioni di tipo ARMCO T100-C/3 di diametro 1,2 m e pendenza pari all'1% (cfr. IDR0109). La lunghezza delle tubazioni è pari a 6 m suddivisa in due tronconi da 3 m ciascuno in modo da non perturbare in caso di rimozione durante eventi di piena il deflusso a valle del cantiere (viene in questo modo evitata la probabilità di occlusione di campate di manufatti di attraversamento).

La verifica idraulica è stata finalizzata a determinare la massima capacità di portata dell'opera prevista che è molto inferiore alle portate di piena di assegnato tempo di ritorno, anche minimo, transitanti nel corso d'acqua.

Il calcolo è stato eseguito secondo la schematizzazione idrodinamica di moto uniforme utilizzando la formulazione di Chezy e assumendo una scabrezza di $34 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ così come indicato dalle ditte costruttrici delle

tubazioni; la portata massima smaltibile dall'opera risulta pari a circa 9,0 m³/s; in occasione del verificarsi di una portata di piena anche non particolarmente gravosa (TR = 2-5 anni) l'opera verrà rimossa dalle acque non aggravando le condizioni di deflusso del tratto di corso d'acqua; infatti la struttura è stata progettata per essere asportata dalla corrente di piena in caso di sormonto.

7. INTERFERENZA RIO AFFLUENTE DEL TORRENTE LEIRO

7.1 Analisi idrologica

Il bacino imbrifero del rio affluente del torrente Leiro (vedi Figura 4) ha una superficie $S = 0,091 \text{ km}^2$.

Considerando un contributo specifico di 40 m³/s km² si ottiene la portata di piena di riferimento con tempo di ritorno 200 anni:

$$Q_{\text{progetto}} = 3,7 \text{ m}^3/\text{s}.$$

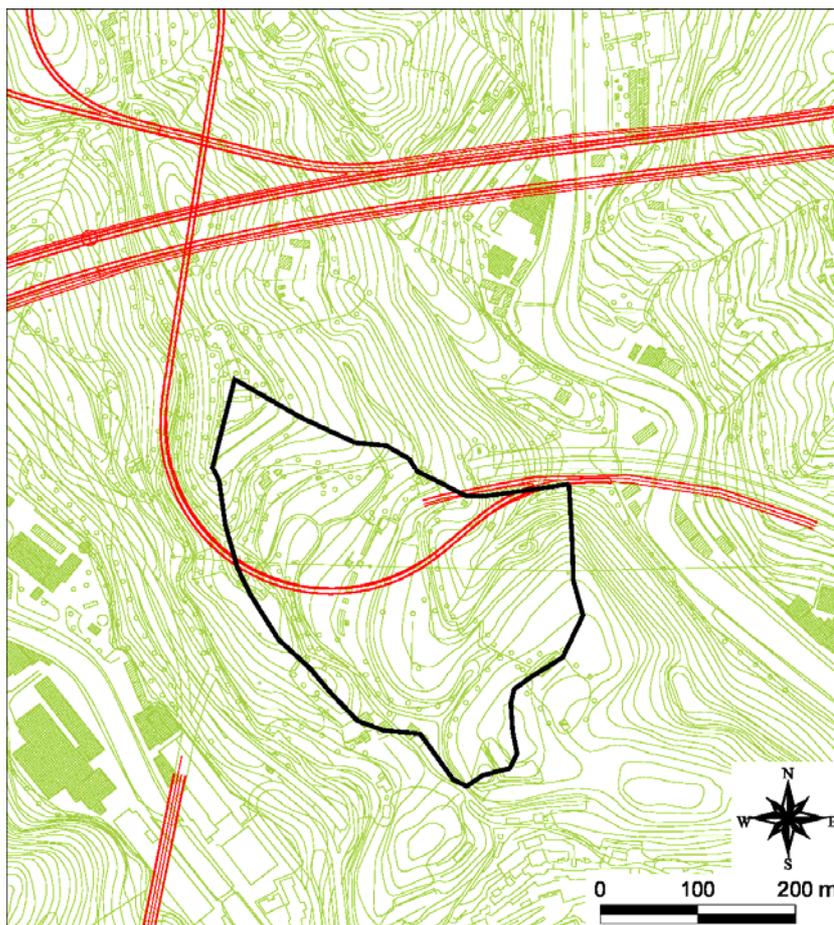


Figura 4 – Bacino imbrifero del rio affluente del torrente Leiro.

I parametri fisiografici del bacino in esame sono quelli indicati nel prospetto seguente e in particolare: la superficie del bacino (S); la lunghezza (L) e la pendenza (i) dell'asta principale; la quota massima (Hmax), minima (Hmin) e media (Hmed) del bacino; la pendenza dei versanti (y).

S (km ²)	Hmax (m s.m.)	Hmed (m s.m.)	Hmin (m s.m.)	L (km)	i (%)	y (%)
0,091	170	100	20	0,505	25	30

Nel prospetto seguente sono invece indicati i valori del tempo di corrivazione calcolati con le varie formule considerate, avendo adottato inoltre per il parametro CN un valore pari a 75.

GIANDOTTI	S.C.S.	VENTURA	PEZZOLI	PASINI
0,27	0,17	0,08	0,06	0,08

Assumendo un valore medio di calcolo del tempo di corrivazione pari a **0,26** ore, applicando la formula razionale si ottengono i valori di portata di piena di assegnato tempo di ritorno indicati nella Tabella 8 seguente.

Tempo di ritorno (anni)	Q (m ³ /s)
10	2,3
25	2,7
50	3,1
100	3,4
200	3,7

Tabella 8 – Portate di assegnato tempo di ritorno del rio affluente del torrente Leiro.

7.2 Analisi idraulica

La presente verifica idraulica riguarda la sistemazione in fase di cantiere del rio affluente del torrente Leiro; data la permanenza limitata del cantiere essa è stata eseguita per tempo di ritorno 25 anni. La sistemazione provvisoria del rio prevede un intervento di tombamento tramite tubazione tipo ARMCO T100/ C6 di diametro 1,6 m per una lunghezza complessiva di circa 54,0 m (cfr. IDR0129).

La verifica idraulica è stata eseguita per il tratto più critico a pendenza minima pari al 12% considerando la portata di progetto (TR25) pari a 2,70 m³/s.

Il calcolo è stato eseguito secondo la schematizzazione idrodinamica di moto uniforme utilizzando la formulazione di Chezy e assumendo una scabrezza di 34 m^{1/3}s⁻¹ così come indicato dalle ditte costruttrici delle tubazioni; la portata (nel tratto al 12%) defluisce riempiendo la tubazione per una quantità pari al 31%, generando un tirante idrico di 0,50 m con una velocità di 5,1 m/s; il franco rispetto all'intradosso tubo è pari a 1,10 m.

8. INTERFERENZA IMBOCCO GALLERIA MONTEROSSO LATO GENOVA

8.1 Analisi idrologica

Il bacino imbrifero del rio (denominato Ronco) interferente con l'imbocco della galleria Monterosso lato Genova (vedi Figura 5) ha una superficie $S = 0,18 \text{ km}^2$.

Considerando un contributo specifico di $40 \text{ m}^3/\text{s km}^2$ si ottiene la portata di piena di riferimento con tempo di ritorno 200 anni:

$$Q_{TR200} = 7,2 \text{ m}^3/\text{s}.$$

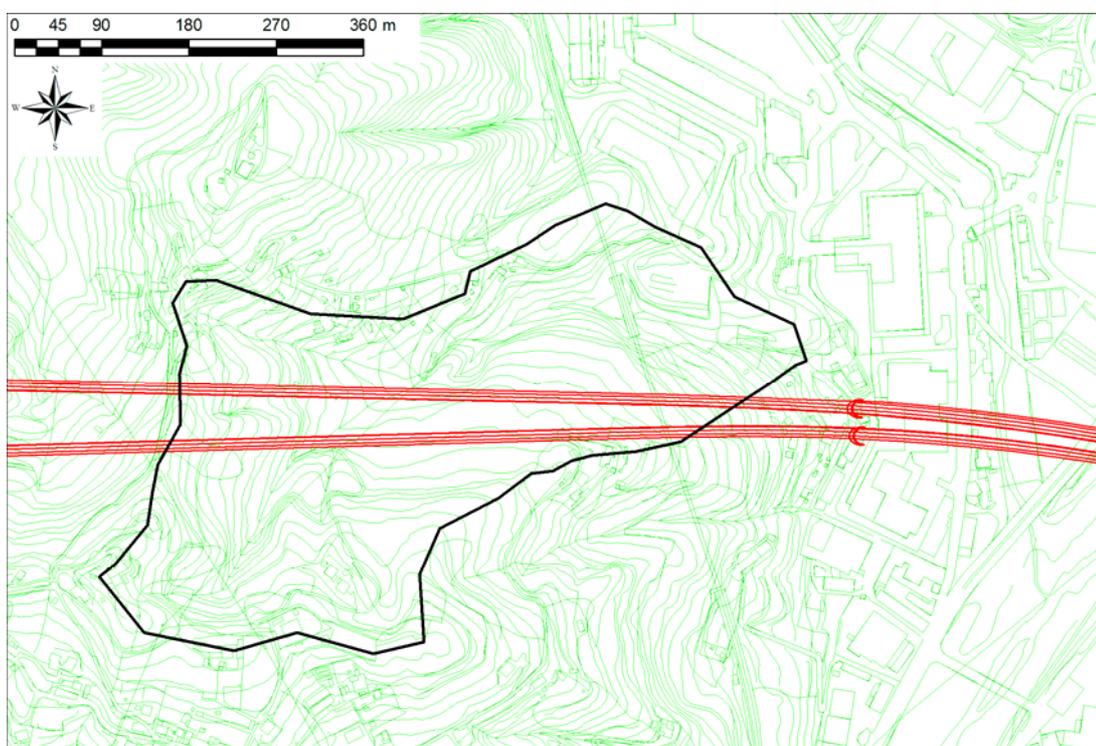


Figura 5 – Bacino imbrifero del rio interferente con l'imbocco della galleria Monterosso lato Genova.

I parametri fisiografici del bacino in esame sono quelli indicati nel prospetto seguente e in particolare: la superficie del bacino (S); la lunghezza (L) e la pendenza (i) dell'asta principale; la quota massima (H_{max}), minima (H_{min}) e media (H_{med}) del bacino; la pendenza dei versanti (y).

S (km^2)	H_{max} (m s.m.)	H_{med} (m s.m.)	H_{min} (m s.m.)	L (km)	i (%)	y (%)
0,180	252	160	60	0,840	12	30

Nel prospetto seguente sono invece indicati i valori del tempo di corrivazione calcolati con le varie formule considerate, avendo adottato inoltre per il parametro CN un valore pari a 75.

GIANDOTTI	S.C.S.	VENTURA	PEZZOLI	PASINI
0,37	0,25	0,16	0,13	0,17

Assumendo un valore medio di calcolo del tempo di corrivazione pari a **0,27** ore, applicando la formula razionale si ottengono i valori di portata di piena di assegnato tempo di ritorno indicati nella Tabella 9 seguente.

Tempo di ritorno (anni)	Q (m ³ /s)
10	4,4
25	5,3
50	6,0
100	6,6
200	7,2

Tabella 9 – Portate di assegnato tempo di ritorno del rio interferente con l'imbocco della galleria Monterosso lato Genova.

8.2 Analisi idraulica

La presente verifica idraulica riguarda la sistemazione in fase di cantiere del rio Ronco localizzato in corrispondenza dell'imbocco della galleria Monterosso lato Genova; data la permanenza limitata del cantiere essa è stata eseguita per tempo di ritorno 25 anni. La sistemazione provvisoria del rio prevede un intervento di tombamento tramite tubazione tipo ARMCO T100/ C6 di diametro 1,6 m per una lunghezza complessiva di circa 135,0 m (cfr. IDR0112).

La verifica idraulica è stata eseguita per il tratto più critico a pendenza minima pari al 5% considerando la portata di progetto (TR25) pari a 5,30 m³/s.

Il calcolo è stato eseguito secondo la schematizzazione idrodinamica di moto uniforme utilizzando la formulazione di Chezy e assumendo una scabrezza di 34 m^{1/3}s⁻¹ così come indicato dalle ditte costruttrici delle tubazioni; la portata defluisce riempiendo la tubazione per una quantità pari al 83%, generando un tirante idrico di 1,33 m con una velocità di 2,97 m/s; il franco rispetto all'intradosso tubo è pari a 0,27 m.

9. INTERFERENZA IMBOCCO GALLERIA TORBELLA OVEST

9.1 Analisi idrologica

Il bacino imbrifero del rio affluente "ovest" in sinistra del torrente Torbella, interferente con l'imbocco della galleria Granarolo Nord, (vedi Figura 6) ha una superficie $S = 0,089 \text{ km}^2$.

Considerando un contributo specifico di $40 \text{ m}^3/\text{s km}^2$ si ottiene la portata di piena di riferimento con tempo di ritorno 200 anni:

$$Q_{TR200} = 3,6 \text{ m}^3/\text{s}.$$

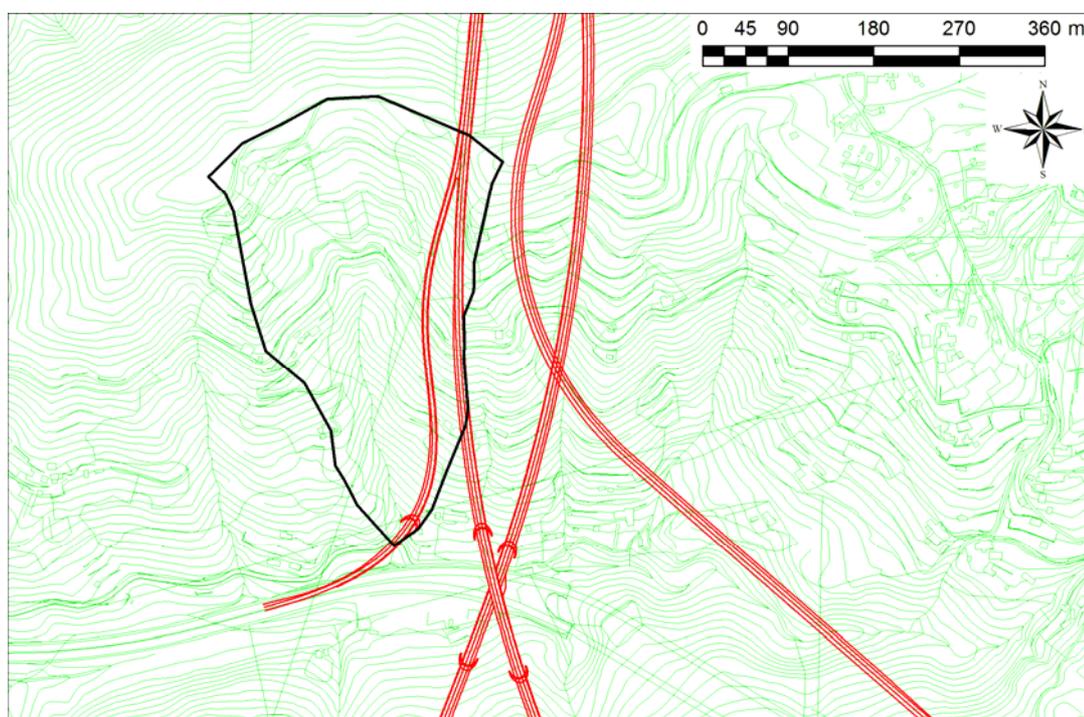


Figura 6 – Bacino imbrifero del rio affluente "ovest" in sinistra del torrente Torbella, interferente con l'imbocco della galleria Granarolo Nord.

I parametri fisiografici del bacino in esame sono quelli indicati nel prospetto seguente e in particolare: la superficie del bacino (S); la lunghezza (L) e la pendenza (i) dell'asta principale; la quota massima (Hmax), minima (Hmin) e media (Hmed) del bacino; la pendenza dei versanti (y).

S (km ²)	Hmax (m s.m.)	Hmed (m s.m.)	Hmin (m s.m.)	L (km)	i (%)	y (%)
0,089	331	240	110	0,520	35	52

Nel prospetto seguente sono invece indicati i valori del tempo di corrivazione calcolati con le varie formule considerate, avendo adottato inoltre per il parametro CN un valore pari a 75.

GIANDOTTI	S.C.S.	VENTURA	PEZZOLI	PASINI
0,22	0,13	0,06	0,05	0,07

Assumendo un valore minimo di calcolo del tempo di corrivazione pari a **0,26** ore, applicando la formula razionale si ottengono i valori di portata di piena di assegnato tempo di ritorno indicati nella Tabella 10 seguente.

Tempo di ritorno (anni)	Q (m ³ /s)
10	2,2
25	2,7
50	3,0
100	3,3
200	3,6

Tabella 10 – Portate di assegnato tempo di ritorno del rio affluente “ovest” in sinistra del torrente Torbella, interferente con l’imbocco della galleria Granarolo Nord.

9.2 Analisi idraulica

La presente verifica idraulica riguarda la sistemazione in fase di cantiere del rio localizzato in corrispondenza dell’imbocco della galleria Torbella Ovest; data la permanenza limitata del cantiere essa è stata eseguita per tempo di ritorno 25 anni. La sistemazione del rio prevede la sua nuova sistemazione tramite tubazione tipo ARMCO T100 – C/6 di diametro 1,6 m per una lunghezza complessiva di circa 148,4 m (cfr. IDR0119).

La verifica idraulica è stata eseguita per il tratto più critico a pendenza pari al 3,0% considerando la portata di progetto (TR25) pari a 2,70 m³/s.

Il calcolo è stato eseguito secondo la schematizzazione idrodinamica di moto uniforme utilizzando la formulazione di Chezy e assumendo una scabrezza di 34 m^{1/3}s⁻¹ così come indicato dalle ditte costruttrici delle tubazioni; la portata defluisce riempiendo la tubazione per una quantità pari al 48%, generando un tirante idrico di 0,77 m con una velocità di 2,87 m/s; il franco rispetto all’intradosso tubo è pari a 0,83 m.

10. INTERFERENZA IMBOCCO GALLERIA MONTE SPERONE LATO EST - RIO ROVENA

10.1 Analisi idrologica

Il bacino imbrifero del rio Rovena ha una superficie $S = 0,56$ km² mentre il bacino imbrifero del fosso di scarico della ferrovia Genova-Casella (vedi Figura 7) ha una superficie $S = 0,037$ km².

Considerando un contributo specifico di $40 \text{ m}^3/\text{s km}^2$ si ottiene per il rio Rovena la portata di piena di riferimento con tempo di ritorno 200 anni:

$$Q_{TR200} = 22,4 \text{ m}^3/\text{s};$$

I parametri fisiografici del bacino in esame sono quelli indicati nel prospetto seguente e in particolare: la superficie del bacino (S); la lunghezza (L) e la pendenza (i) dell'asta principale; la quota massima (Hmax), minima (Hmin) e media (Hmed) del bacino; la pendenza dei versanti (y).

S (km ²)	Hmax (m s.m.)	Hmed (m s.m.)	Hmin (m s.m.)	L (km)	i (%)	y (%)
0,560	508	290	132	1,170	25	60

Nel prospetto seguente sono invece indicati i valori del tempo di corrivazione calcolati con le varie formule considerate, avendo adottato inoltre per il parametro CN un valore pari a 75.

GIANDOTTI	S.C.S.	VENTURA	PEZZOLI	PASINI
0,47	0,23	0,19	0,13	0,19

Assumendo un valore medio di calcolo del tempo di corrivazione pari a **0,27** ore, applicando la formula razionale si ottengono i valori di portata di piena di assegnato tempo di ritorno indicati nella Tabella 11 seguente.

Tempo di ritorno (anni)	Q (m ³ /s)
10	13,8
25	16,5
50	18,7
100	20,4
200	22,4

Tabella 11 – Portate di assegnato tempo di ritorno del rio Rovena.

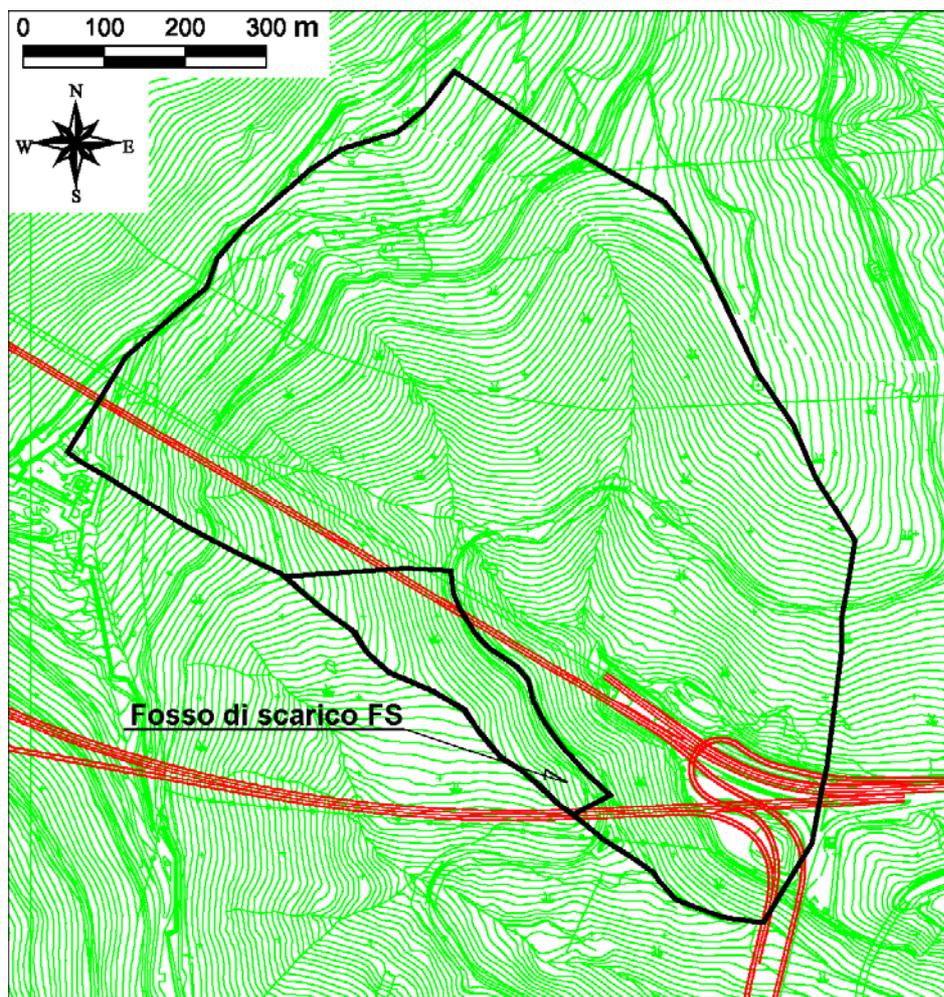


Figura 7 – Bacini imbriferi del rio Rovena e del fosso di scarico della ferrovia Genova-Casella.

10.2 Analisi idraulica

La presente verifica idraulica riguarda la sistemazione in fase di cantiere del rio Rovena localizzato in corrispondenza dell'imbocco della galleria monte Sperone lato Est (cfr. IDR0125); data la permanenza limitata del cantiere essa è stata eseguita per tempo di ritorno 25 anni. La sistemazione del rio prevede:

- un primo tratto di tubazione tipo ARMCO T200 – C/21 di diametro 3,07 m per una lunghezza complessiva di circa 60,0 m;
- un secondo tratto di tubazione tipo ARMCO T200 – C/21 di diametro 3,07 m, a valle del precedente che attraversa la viabilità di servizio denominata VS9, per una lunghezza complessiva di circa 16,6 m.

La verifica idraulica è stata eseguita per il tratto più critico a pendenza pari allo 0,6% considerando la portata di progetto (TR25) pari a 16,50 m³/s.

Il calcolo è stato eseguito secondo la schematizzazione idrodinamica di moto uniforme utilizzando la formulazione di Chezy e assumendo una scabrezza di $34 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$ così come indicato dalle ditte costruttrici delle tubazioni; la portata defluisce riempiendo la tubazione per una quantità pari al 84%, generando un tirante idrico di 2,58 m con una velocità di 2,51 m/s; il franco rispetto all'intradosso tubo è pari a 0,49 m.

11. CANTIERE INDUSTRIALE CI06

11.1 Analisi idrologica

Il bacino imbrifero del rio interferente con il cantiere industriale CI06 (vedi Figura 8), ha una superficie $S = 0,35 \text{ km}^2$.

Considerando un contributo specifico di $40 \text{ m}^3/\text{s km}^2$ si ottiene la portata di piena di riferimento con tempo di ritorno 200 anni:

$$Q_{TR200} = 14,0 \text{ m}^3/\text{s}.$$

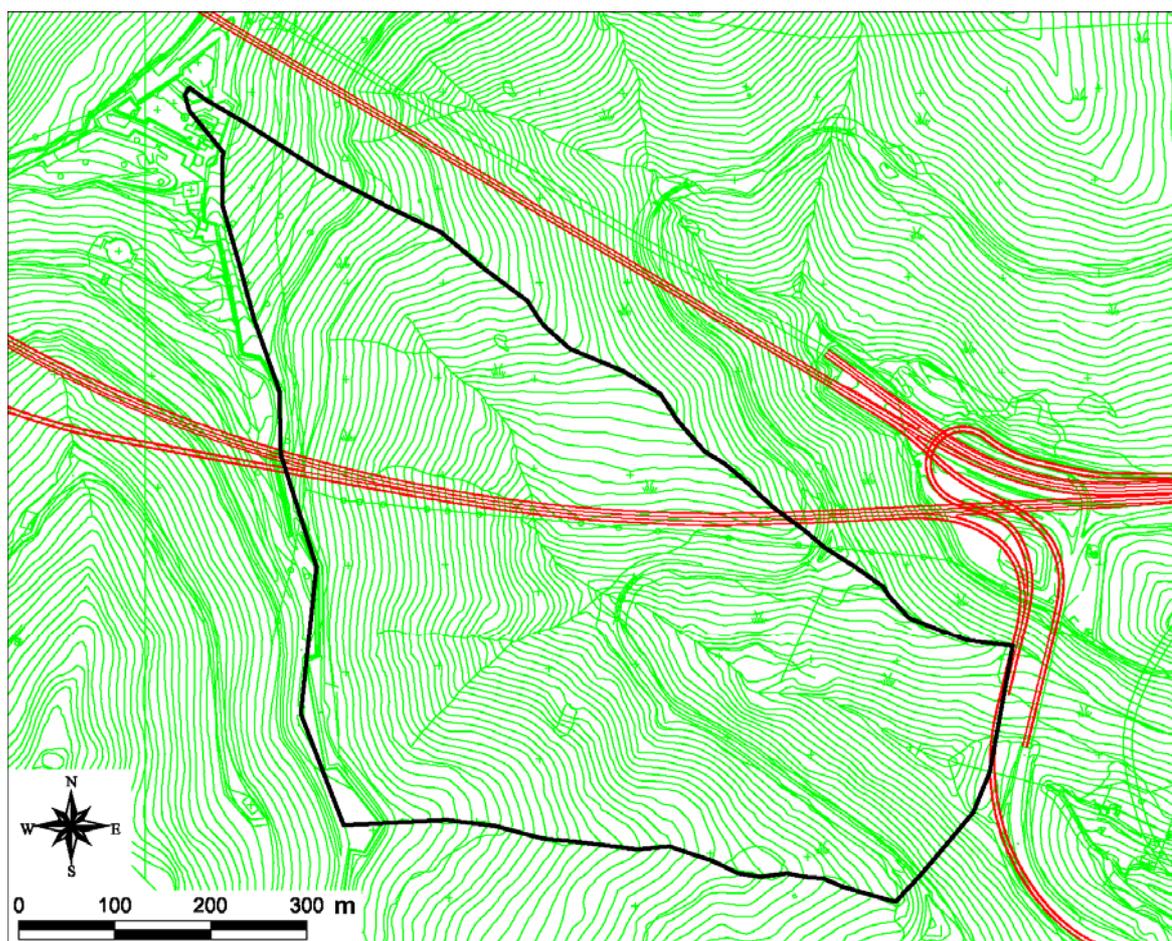


Figura 8 – Bacino imbrifero del rio interferente con il cantiere industriale CI06.

I parametri fisiografici del bacino in esame sono quelli indicati nel prospetto seguente e in particolare: la superficie del bacino (S); la lunghezza (L) e la pendenza (i) dell'asta principale; la quota massima (Hmax), minima (Hmin) e media (Hmed) del bacino; la pendenza dei versanti (y).

S (km ²)	Hmax (m s.m.)	Hmed (m s.m.)	Hmin (m s.m.)	L (km)	i (%)	y (%)
0,350	508	255	115	1,170	17	54

Nel prospetto seguente sono invece indicati i valori del tempo di corrivazione calcolati con le varie formule considerate, avendo adottato inoltre per il parametro CN un valore pari a 75.

GIANDOTTI	S.C.S.	VENTURA	PEZZOLI	PASINI
0,44	0,25	0,18	0,16	0,19

Assumendo un valore medio di calcolo del tempo di corrivazione pari a **0,27** ore, applicando la formula razionale si ottengono i valori di portata di piena di assegnato tempo di ritorno indicati nella Tabella 12 seguente.

Tempo di ritorno (anni)	Q (m ³ /s)
10	8,6
25	10,3
50	11,7
100	12,8
200	14,0

Tabella 12 – Portate di assegnato tempo di ritorno del rio interferente con il cantiere industriale CI06.

11.2 Analisi idraulica

La presente verifica idraulica riguarda la sistemazione in fase di cantiere del rio localizzato in corrispondenza del cantiere industriale denominato CI06; data la permanenza limitata del cantiere essa è stata eseguita per tempo di ritorno 25 anni. La sistemazione del rio prevede una tubazione tipo ARMCO T100 – C/6 di diametro 1,6 m per una lunghezza complessiva di circa 368,6 m (cfr. IDR0127).

La verifica idraulica è stata eseguita per il tratto più critico a pendenza pari al 7,0% considerando la portata di progetto (TR25) pari a 10,30 m³/s.

Il calcolo è stato eseguito secondo la schematizzazione idrodinamica di moto uniforme utilizzando la formulazione di Chezy e assumendo una scabrezza di 34 m^{1/3}s⁻¹ così come indicato dalle ditte costruttrici delle tubazioni; la portata (nel tratto al 7,0%) defluisce riempiendo la tubazione per una quantità pari al 87%, generando un tirante idrico di 1,40 m con una velocità di 5,53 m/s; il franco rispetto all'intradosso tubo è pari a 0,20 m.

12. INTERFERENZA GALLERIA MORO 1 TRATTO CON PROTESI STRUTTURALE

12.1 Analisi idrologica

Il bacino imbrifero del rio interferente con la Protesi Strutturale (vedi Figura 9), ha una superficie $S = 0,177$ km².

Considerando un contributo specifico di 40 m³/s km² si ottiene la portata di piena di riferimento con tempo di ritorno 200 anni:

$$Q_{TR200} = 7,1 \text{ m}^3/\text{s}.$$

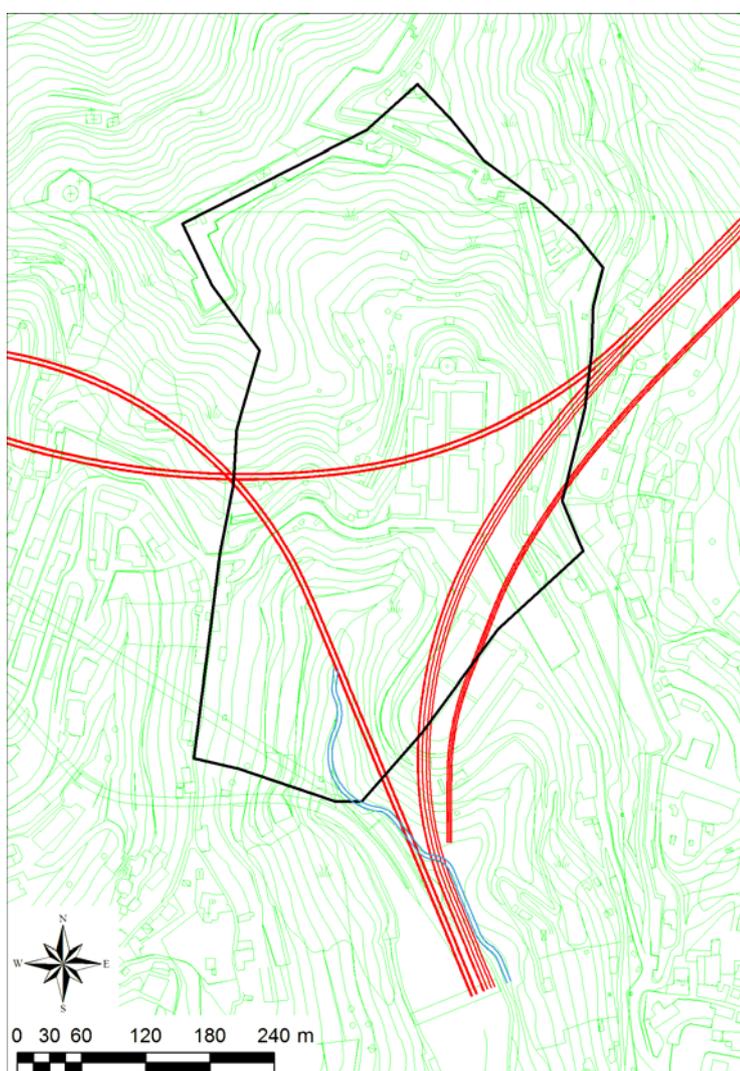


Figura 9 – Bacino imbrifero del rio interferente con la viabilità di servizio VS10.

I parametri fisiografici del bacino in esame sono quelli indicati nel prospetto seguente e in particolare: la superficie del bacino (S); la lunghezza (L) e la pendenza (i) dell'asta principale; la quota massima (Hmax), minima (Hmin) e media (Hmed) del bacino; la pendenza dei versanti (y).

S (km ²)	Hmax (m s.m.)	Hmed (m s.m.)	Hmin (m s.m.)	L (km)	i (%)	y (%)
0,177	240	150	65	0,700	10	23

Nel prospetto seguente sono invece indicati i valori del tempo di corrivazione calcolati con le varie formule considerate, avendo adottato inoltre per il parametro CN un valore pari a 75.

GIANDOTTI	S.C.S.	VENTURA	PEZZOLI	PASINI
0,37	0,25	0,17	0,12	0,17

Assumendo un valore medio di calcolo del tempo di corrivazione pari a **0,27** ore, applicando la formula razionale si ottengono i valori di portata di piena di assegnato tempo di ritorno indicati nella Tabella 13 seguente.

Tempo di ritorno (anni)	Q (m ³ /s)
10	4,4
25	5,2
50	5,9
100	6,5
200	7,1

Tabella 13 – Portate di assegnato tempo di ritorno del rio interferente con la Protesi Strutturale.

12.2 Analisi idraulica dell'opera Protesi Strutturale

La sistemazione del rio prevede una tubazione tipo ARMCO T100 – C/6 di diametro 1,6 m per una lunghezza complessiva di circa 266,1 m (cfr. IDR0123).

Si riportano nel seguito i parametri di calcolo e i risultati della verifica idraulica condotta:

- dimensioni D 1600 mm ARMCO
- pendenza min. 0,02 m/m
- materiale ondulato metallico
- scabrezza $34 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$
- portata progetto (TR25) $5,2 \text{ m}^3/\text{s}$
- altezza critica 1,17 m
- altezza moto uniforme 1,31 m
- franco sicurezza 0,29 m

13. INTERFERENZE TORRENTE POLCEVERA

13.1 Analisi idrologica

Nel Piano di Bacino del torrente Polcevera vengono definiti i valori di portata di piena del torrente Polcevera indicati nella Tabella 14. Nella stessa tabella sono anche indicate, per differenza tra i valori di monte e di valle, le portate residue in ingresso dagli affluenti.

Estrapolando tali valori di portata mediante la distribuzione di Gumbel per i tempi di ritorno inferiori o intermedi si ottengono le portate indicate nella Tabella 15.

Corso d'acqua	Tratto	Q TR50 (m ³ /s)	Q TR200 (m ³ /s)	Q TR500 (m ³ /s)
Polcevera	monte Secca	680	860	960
contributo Secca		448	587	683
Polcevera	monte Burba	1128	1447	1643
contributo Burba		137	175	204
Polcevera	monte Trasta	1265	1622	1847
contributo Trasta		29	35	39
Polcevera	monte Torbella-Fegino	1294	1657	1886
contributo Torbella - Fegino		83	106	120
Polcevera	valle Torbella-Fegino	1377	1763	2006

Tabella 14 – Portate di assegnato tempo di ritorno del torrente Polcevera e portate residue in ingresso dagli affluenti.

Corso d'acqua	Tratto	Q TR2 (m ³ /s)	Q TR5 (m ³ /s)	Q TR10 (m ³ /s)	Q TR25 (m ³ /s)	Q TR100 (m ³ /s)
Polcevera	monte Secca	250	390	480	597	770
contributo Secca		91	204	281	376	516
Polcevera	monte Burba	341	594	761	973	1286
contributo Burba		34	67	89	116	157
Polcevera	monte Trasta	375	661	850	1089	1443
contributo Trasta		14	19	22	26	32
Polcevera	monte Torbella-Fegino	389	680	872	1115	1475
contributo Torbella - Fegino		26	44	57	72	94
Polcevera	valle Torbella-Fegino	415	724	929	1187	1569

Tabella 15 – Portate con tempo di ritorno 2, 5, 10, 25 e 100 anni del torrente Polcevera e portate residue in ingresso dagli affluenti.

13.2 Costruzione e schematizzazione del modello idraulico

13.2.1 Stato attuale

La geometria del torrente Polcevera è stata descritta sulla base del rilievo topografico eseguito appositamente per il presente progetto, nel novembre 2010.

Esso è composto da 63 sezioni trasversali che descrivono geometricamente il corso d'acqua per un'estensione complessiva di circa 7022 m, a partire dalla confluenza del torrente Secca fino alla foce nel Mar Ligure; le sezioni di rilievo rappresentano geometricamente in modo completo il corso d'acqua nello stato attuale, in termini di alveo di piena, opere idrauliche e manufatti di attraversamento.

Il fondo del corso d'acqua nel tratto oggetto di indagine è fissato altimetricamente da 11 briglie, localizzate quasi sempre immediatamente a valle degli attraversamenti viari e ferroviari presenti; tali strutture sono schematizzate nel modello come "stramazzi in linea" (inline structure) e sono in grado di simulare idrodinamicamente il deflusso attraverso una qualsivoglia tipologia di stramazzo se a soglia fissa, oppure come luce sottobattente nell'ipotesi di operazioni di regolazione tramite paratoie.

Nel tratto simulato sono presenti inoltre 16 attraversamenti interferenti con l'asta del Polcevera; essi sono simulati analizzando tutte le possibili condizioni di deflusso attraverso la struttura, tenendo conto cioè della possibilità che la corrente non venga in contatto con l'intradosso del ponte (Low flow) oppure che il moto avvenga tramite contatto o sormonto dell'intradosso del ponte (Pressure/Weir flow).

Tutte le sezioni di rilievo eseguite in direzione non ortogonale alla direzione di deflusso sono state ruotate rispetto all'asse del corso d'acqua in modo da ottenere la reale capacità di deflusso di ciascuna di esse; le sezioni localizzate in corrispondenza di strutture sono state duplicate per esigenze modellistiche.

In tutto il tratto il torrente Polcevera è canalizzato tra le opere di contenimento dei livelli esistenti, costituite da muri arginali in cls; nel modello essi sono stati considerati come punti insormontabili dai livelli idrici.

Di seguito (Tabella 16) si riporta il profilo longitudinale del modello di stato attuale in cui sono rappresentate le sezioni trasversali utilizzate, caratterizzandole in termini di progressiva metrica, quota di fondo (thalweg) e di sommità dei muri arginali. Le righe della tabella evidenziate in grigetto indicano la presenza di una struttura di attraversamento o di controllo del fondo alveo.

Progressiva (m)	Sezione modello (-)	Sommità sponda Sx (m s.m.)	Sommità sponda Dx (m s.m.)	Quota fondo alveo (m s.m.)
0,00	63.00	56,52	54,41	48,19
6,06	62.00	56,53	54,46	46,17
183,98	61.00	52,89	52,89	44,86
324,04	60.00	53,65	49,85	43,97
462,52	59.20	51,57	48,94	43,39
	59.15			
477,52	59.10	51,57	48,94	43,39
626,26	58.00	47,16	47,32	42,73
752,19	57.00	47,24	47,02	41,48

Progressiva (m)	Sezione modello (-)	Sommità sponda Sx (m s.m.)	Sommità sponda Dx (m s.m.)	Quota fondo alveo (m s.m.)
852,67	56.00	48,36	47,85	41,09
872,67	55.30	47,37	46,78	41,24
	55.25			
887,67	55.20	47,37	46,78	41,24
1023,68	55.00	47,34	48,25	40,98
	54.80			
1033,13	54.00	47,34	48,25	37,56
1064,30	53.00	48,19	47,69	37,45
1199,45	52.20	47,17	47,90	35,86
	52.15			
1209,45	52.10	47,17	47,90	35,86
1302,24	51.00	46,96	45,62	36,04
1313,32	50.20	44,16	46,29	36,19
	50.15			
1319,32	50.10	44,16	46,29	33,73
1328,04	49.20	42,15	41,65	33,73
	49.15			
1334,04	49.10	42,15	41,65	33,73
1345,29	48.20	41,28	46,42	33,44
	48.15			
1347,29	48.10	41,28	46,42	32,46
1484,56	47.00	43,54	38,99	31,54
1635,43	46.00	37,70	41,94	31,84
	45.80			
1649,73	45.00	37,70	41,94	30,14
1762,69	44.00	40,65	37,91	29,62
1900,43	43.00	35,45	36,93	28,95
2032,53	42.20	35,06	36,75	28,51
	42.15			
2052,53	42.10	35,06	36,75	28,51
2071,91	41.00	36,55	35,20	28,33
2141,29	40.00	34,33	34,37	28,22
	39.50			
2145,55	39.00	34,33	34,37	27,64
2285,34	38.20	33,46	33,36	26,39
	38.15			
2300,34	38.10	33,46	33,36	26,39
2310,09	37.00	33,52	33,25	26,26
2349,51	36.00	33,18	33,10	26,10
2362,75	35.20	33,07	34,15	27,07
2365,75	35.10	33,07	34,15	26,67
2466,09	34.00	31,46	31,75	24,26
2591,15	33.00	31,12	31,03	23,03
2739,91	32.20	30,59	30,78	23,01
	32.15			
2745,91	32.10	30,59	30,78	23,01
2918,81	31.20	29,16	28,69	22,55
	31.15			
2921,81	31.10	29,16	28,69	21,54
2938,29	30.00	28,57	28,96	21,85
3058,30	29.00	27,95	28,41	20,83

Progressiva (m)	Sezione modello (-)	Sommità sponda Sx (m s.m.)	Sommità sponda Dx (m s.m.)	Quota fondo alveo (m s.m.)
3326,28	28.00	28,34	27,48	19,38
3341,15	27.00	28,20	27,35	18,52
3523,51	26.20	25,84	26,48	16,63
	26.15			
3547,29	26.10	25,84	26,48	16,63
3627,15	25.20	31,42	24,76	16,11
	25.15			
3646,13	25.10	31,42	24,76	16,11
3727,14	24.20	23,78	24,58	15,93
	24.15			
3741,28	24.10	23,78	24,58	15,93
3879,21	23.00	23,95	22,34	14,39
4030,92	22.20	21,91	22,17	13,39
	22.15			
4058,32	22.10	21,91	22,17	13,39
4078,05	21.00	20,00	18,36	13,86
4086,04	20.00	19,98	19,00	13,06
4283,79	19.00	19,54	18,13	11,46
4531,53	18.00	17,41	16,89	10,04
4725,70	17.00	16,02	16,04	8,38
4920,52	16.20	15,06	14,02	7,73
	16.15			
4926,76	16.10	15,06	14,02	7,73
5040,50	15.00	15,45	14,56	7,05
5251,17	14.00	13,10	13,20	5,75
5407,02	13.00	11,58	11,80	4,64
5574,93	12.20	11,70	11,06	4,62
	12.15			
5592,86	12.10	11,70	11,06	4,62
5774,64	11.00	10,17	10,28	3,20
5977,40	10.00	9,60	9,41	1,90
6092,28	9.00	12,89	9,14	1,86
6246,91	8.00	12,55	8,77	1,47
6418,04	7.20	9,81	9,33	0,84
	7.15			
6462,21	7.10	9,81	9,33	0,84
6475,95	6.00	5,93	6,01	0,66
6484,36	5.00	5,97	5,20	0,33
6586,19	4.00	4,68	4,50	-0,67
6711,34	3.20	3,93	4,84	-0,55
	3.15			
6734,39	3.10	3,93	4,84	-0,55
6835,03	2.00	1,90	1,90	-1,43
7021,66	1.00	1,20	1,30	-3,05

Tabella 16 - Profilo longitudinale del torrente Polcevera nello stato attuale.

13.2.2 Stato di cantierizzazione con la presenza delle opere provvisionali

La schematizzazione geometrica del modello per le varie fasi di cantierizzazione fa riferimento alle sezioni di rilievo elencate nella Tabella 16, in cui rimangono inalterate sia le quote dei muri arginali che del fondo alveo; rispetto al modello di stato attuale sono invece stati inseriti (nelle sezioni interessate) gli ingombri delle opere provvisionali per le varie fasi di cantierizzazione. In particolare le fasi di cantierizzazione schematizzate sono le seguenti:

- realizzazione dello SLURRYDOTTO: questa fase rappresenta la realizzazione in sponda destra dei condotti di smaltimento dei fanghi reflui generati dalla realizzazione delle gallerie; tali condotti sono presenti in alveo a partire dalla sezione 59.2 (ponte Ratto) fino alla sezione dell'ultimo ponte prima della foce in mare (sez.3.1). La struttura dello slurrydotto è stata rappresentata cautelativamente nel modello diminuendo la larghezza della sezione di deflusso in destra idraulica rispetto allo stato attuale di una quantità pari a 3 m (misurati a partire dalla base del muro arginale esistente destro) introducendo nel modello un setto verticale insormontabile dalla piena. Tale struttura rimarrà in alveo per un periodo di tempo pari ad almeno 5 anni e se ne è valutata l'interferenza idraulica rispetto alla portata con tempo di ritorno 200 anni;
- realizzazione del VIADOTTO STRALLATO in progetto ubicato tra le sezioni 61 e 62: le opere provvisionali sono costituite da due coppie di pile di diametro pari a 9,0 m allineate longitudinalmente tra di loro che ricadono in alveo del Polcevera; per la loro schematizzazione idraulica nel modello sono state considerate come appartenenti ad un ponte a 3 campate di altezza tale da non interferire con i livelli idrometrici del corso d'acqua. Di tale struttura si è valutata l'interferenza idraulica:
 - rispetto alla portata a tempo di ritorno 10 anni al fine del dimensionamento in quota dell'estradosso della pila in cls su cui poggia una struttura a traliccio funzionale alla realizzazione dell'impalcato del viadotto; tale struttura non dovrà essere intercettata dai livelli di piena per tempi di ritorno superiori o uguali a 10 anni;
 - rispetto alla portata TR100 anni al fine quantificare il rischio di esondazione indotto nei confronti del territorio limitrofo (città di Genova).

13.3 Condizioni al contorno per le simulazioni di stato attuale e di cantierizzazione relative alla realizzazione dello Slurrydotto

Le simulazioni per portata con tempo di ritorno 200 anni, che rappresentano il Polcevera nello stato attuale e con la presenza dello slurrydotto in alveo a ridosso della sponda destra, sono state eseguite introducendo nel modello numerico le seguenti condizioni al contorno:

- portata di piena per TR200 di valore al colmo costante pari a $860,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ imposta in entrata nel modello alla progressiva 0,0 m (sez. 63);
- portata di piena per TR200 di valore al colmo costante pari a $1447,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ imposta nella sezione 61 del modello alla progressiva 183,98 m, in relazione dell'apporto del torrente Secca;
- portata di piena per TR200 di valore al colmo costante pari a $1622,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ imposta nella sezione 59.2 del modello alla progressiva 462,52 m, in relazione dell'apporto del torrente Burba;
- portata di piena per TR200 di valore al colmo costante pari a $1657,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ imposta nella sezione 40 del modello alla progressiva 2141,29 m, in relazione dell'apporto del torrente Trasta;

- portata di piena per TR200 di valore al colmo costante pari a $1763,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ imposta nella sezione 19 del modello alla progressiva 4283,79 m, in relazione dell'apporto dei torrenti Torbella e Fegino;
- livello idrico di medio mare pari a 0,00 m s.m. nella sezione 1 alla progressiva 7021,66 m, in corrispondenza della foce in mar Ligure.

13.4 Condizioni al contorno per le simulazioni di cantierizzazione relative alla realizzazione del viadotto dell'autostrada in progetto ubicato tra le sezioni 62 e 61

Data l'interferenza a carattere locale del cantiere utile alla costruzione del viadotto dell'autostrada in progetto si è limitato il tratto di modello tra le sez.56 e 63.

Gli scenari di piena analizzati con tempo di ritorno di 10 e di 100 anni hanno richiesto l'introduzione delle seguenti condizioni al contorno:

PIENA CON TEMPO DI RITORNO 10 ANNI

- portata di piena per TR10 di valore al colmo costante pari a $480,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ imposta in entrata nel modello alla progressiva 0,0 m (sez. 63);
- portata di piena per TR10 di valore al colmo costante pari a $761,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ imposta nella sezione 61 del modello alla progressiva 183,98 m, in relazione dell'apporto del torrente Secca;
- portata di piena per TR10 di valore al colmo costante pari a $850,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ imposta nella sezione 59.2 del modello alla progressiva 462,52 m, in relazione dell'apporto del torrente Burba;
- scala di deflusso imposta nella sez.56 alla progressiva 852,67 m.

PIENA CON TEMPO DI RITORNO 100 ANNI

- portata di piena per TR100 di valore al colmo costante pari a $770,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ imposta in entrata nel modello alla progressiva 0,0 m (sez. 63);
- portata di piena per TR100 di valore al colmo costante pari a $1286,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ imposta nella sezione 61 del modello alla progressiva 183,98 m, in relazione dell'apporto del torrente Secca;
- portata di piena per TR100 di valore al colmo costante pari a $1443,0 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ imposta nella sezione 59.2 del modello alla progressiva 462,52 m, in relazione dell'apporto del torrente Burba;
- scala di deflusso imposta nella sez.56 alla progressiva 852,67 m.

13.5 Coefficienti di resistenza distribuita

I valori di resistenza distribuita assunti nel modello, per tutti gli scenari di piena analizzati, sono congruenti e coerenti con quelli utilizzati nelle simulazioni redatte a supporto della redazione del Piano di bacino del Polcevera. In particolare il profilo idrometrico risultante dalla simulazione con TR = 200 anni per la situazione attuale è stato confrontato con quello del succitato Piano di bacino; il confronto ha mostrato piena coerenza tra i risultati con differenze minime di livello tra i due modelli.

Per l'alveo di piena si è assunta una scabrezza media di Strickler di valore pari a:

- $25 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ ($0,04 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ secondo l'espressione di Manning) nel tratto compreso tra le sez.63 e 56;

- $30 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ ($0,033 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ secondo l'espressione di Manning) nel tratto tra le sez.56 e 1.

Per i manufatti di attraversamento, si è assunta in corrispondenza delle sole spalle e pile una scabrezza di circa $45 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ ($0,022 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ secondo l'espressione di Manning).

13.6 Verifica idraulica della situazione attuale con tempo di ritorno 200 anni

La simulazione dello stato attuale del torrente Polcevera ha analizzato la propagazione della portata con tempo di ritorno 200 anni nel tratto compreso da poco a monte del nodo di confluenza del Secca e la foce in mar Ligure.

Tale simulazione ha avuto i seguenti obiettivi:

- confronto di congruenza e coerenza tra i risultati del presente Studio con quelli determinati dal Piano di bacino del Polcevera; il modello eseguito, è risultato congruente rispetto a quello del Piano, presentando degli scostamenti di livello massimi intorno a 0,1- 0,2 m e confermando le aree sondabili definite all'interno del Piano di bacino stesso;
- analizzare l'interferenza della fase di cantierizzazione in cui viene realizzato lo slurrydotto, in termini di sovrizzo del livello idrometrico rispetto al profilo di piena prevista dal Piano di bacino.

La simulazione dello stato attuale ha mostrato che esistono aree a rischio di esondazione localizzate sia in destra che in sinistra idraulica in corrispondenza di Ponte Ratto (sez.59 e 58) e nel tratto terminale del Polcevera prima della sua confluenza nel mar Ligure (tra le sez. 5 e 1). Tali considerazioni sono coerenti con quanto riportato nel Piano di bacino del Polcevera.

Di seguito (Tabella 17 e Figura 10) si riportano i risultati della simulazione duecentennale rispettivamente in forma tabulare e grafica, che illustrano il profilo idrometrico del corso d'acqua.

Progr. (m)	Sezione modello (-)	Sommità sponda Sx (m s.m.)	Sommità sponda Dx (m s.m.)	Portata (m3/s)	Quota fondo alveo (m s.m.)	Quota idrometrica (m s.m.)	Altezza critica (m s.m.)	Carico totale (m s.m.)	Pendenza carico totale (m/m)	Velocità (m/s)	Area deflusso (m2)	Larghezza sup. libera (m)	Froude (-)	Franco sponda Sx (m)	Franco sponda Dx (m)
0,00	63,00	56,52	54,41	860,00	48,19	51,14	50,99	52,29	0,010	4,75	181,14	66,73	0,92	5,38	3,27
6,06	62,00	56,53	54,46	860,00	46,17	51,11	49,59	51,63	0,003	3,18	270,61	67,52	0,51	5,42	3,35
183,98	61,00	52,89	52,89	1447,00	44,86	49,83	49,02	50,67	0,005	4,05	357,57	99,66	0,68	3,06	3,06
324,04	60,00	53,65	49,85	1447,00	43,97	49,62	48,07	50,03	0,002	3,17	525,19	138,76	0,46	4,03	0,23
462,52	59,20	51,57	48,94	1622,00	43,39	49,27	47,27	49,75	0,002	3,05	532,85	112,12	0,44	2,30	-0,33
	59,15														
477,52	59,10	51,57	48,94	1622,00	43,39	47,79	47,27	48,78	0,007	4,42	366,62	110,91	0,78	3,78	1,15
626,26	58,00	47,16	47,32	1622,00	42,73	47,08	46,09	47,78	0,004	3,72	439,71	123,26	0,62	0,08	0,24
752,19	57,00	47,24	47,02	1622,00	41,48	46,47	45,56	47,22	0,005	3,84	422,14	117,32	0,65	0,77	0,55
852,67	56,00	48,36	47,85	1622,00	41,09	46,12	44,88	46,80	0,004	3,64	445,33	110,53	0,58	2,24	1,73
872,67	55,30	47,37	46,78	1622,00	41,24	45,80	44,96	46,71	0,003	4,22	384,77	101,04	0,69	1,57	0,98
	55,25														
887,67	55,20	47,37	46,78	1622,00	41,24	45,34	44,96	46,51	0,004	4,79	338,55	100,52	0,83	2,03	1,44
1023,68	55,00	47,34	48,25	1622,00	40,98	44,91	44,20	45,91	0,003	4,44	365,18	97,11	0,73	2,43	3,34
	54,80														
1033,13	54,00	47,34	48,25	1622,00	37,56	43,03	41,80	43,81	0,002	3,89	416,65	97,11	0,60	4,31	5,22
1064,30	53,00	48,19	47,69	1622,00	37,45	43,06	41,23	43,71	0,001	3,57	453,84	90,13	0,51	5,13	4,63
1199,45	52,20	47,17	47,90	1622,00	35,86	42,60	40,68	43,47	0,002	4,15	390,72	67,36	0,55	4,57	5,30
	52,15														
1209,45	52,10	47,17	47,90	1622,00	35,86	39,79	40,68	43,05	0,014	8,00	202,72	66,69	1,46	7,38	8,11
1302,24	51,00	46,96	45,62	1622,00	36,04	40,82	40,39	42,46	0,005	5,67	286,31	64,41	0,86	6,14	4,80
1313,32	50,20	44,16	46,29	1622,00	36,19	40,36	40,36	42,36	0,006	6,26	259,13	64,97	1,00	3,80	5,93
	50,15														
1319,32	50,10	44,16	46,29	1622,00	33,73	39,74	37,78	40,64	0,002	4,20	386,12	65,16	0,55	4,42	6,55
1328,04	49,20	42,15	41,65	1622,00	33,73	39,68	37,86	40,61	0,002	4,28	379,07	65,85	0,57	2,47	1,97
	49,15														
1334,04	49,10	42,15	41,65	1622,00	33,73	38,93	37,86	40,16	0,003	4,91	330,07	65,65	0,70	3,22	2,72
1345,29	48,20	41,28	46,42	1622,00	33,44	38,99	37,56	40,04	0,002	4,55	356,33	66,76	0,63	2,29	7,43
	48,15														
1347,29	48,10	41,28	46,42	1622,00	32,46	37,83	36,87	39,10	0,003	5,00	324,51	66,49	0,72	3,45	8,59
1484,56	47,00	43,54	38,99	1622,00	31,54	36,65	36,65	38,46	0,006	5,95	272,42	75,40	1,00	6,89	2,34
1635,43	46,00	37,70	41,94	1622,00	31,84	35,80	35,69	37,46	0,006	5,70	284,33	77,78	0,95	1,90	6,14
	45,80														
1649,73	45,00	37,70	41,94	1622,00	30,14	34,97	34,30	36,23	0,004	4,97	326,50	77,56	0,77	2,73	6,97
1762,69	44,00	40,65	37,91	1622,00	29,62	34,65	33,89	35,81	0,003	4,76	340,67	81,15	0,74	6,00	3,26

Progr. (m)	Sezione modello (-)	Sommità sponda Sx (m s.m.)	Sommità sponda Dx (m s.m.)	Portata (m3/s)	Quota fondo alveo (m s.m.)	Quota idrometrica (m s.m.)	Altezza critica (m s.m.)	Carico totale (m s.m.)	Pendenza carico totale (m/m)	Velocità (m/s)	Area deflusso (m2)	Larghezza sup. libera (m)	Froude (-)	Franco sponda Sx (m)	Franco sponda Dx (m)
1900,43	43.00	35,45	36,93	1622,00	28,95	33,57	33,41	35,20	0,005	5,65	286,91	77,67	0,94	1,88	3,36
2032,53	42.20	35,06	36,75	1622,00	28,51	33,57	32,40	34,54	0,002	4,37	370,96	80,05	0,65	1,49	3,18
	42.15														
2052,53	42.10	35,06	36,75	1622,00	28,51	33,27	32,40	34,38	0,003	4,67	347,49	79,94	0,71	1,79	3,48
2071,91	41.00	36,55	35,20	1622,00	28,33	33,24	32,07	34,25	0,003	4,45	364,84	77,41	0,65	3,31	1,96
2141,29	40.00	34,33	34,37	1657,00	28,22	32,39	32,06	33,95	0,005	5,54	299,22	74,48	0,88	1,94	1,98
	39.50														
2145,55	39.00	34,33	34,37	1657,00	27,64	32,39	31,43	33,56	0,003	4,79	345,65	74,48	0,71	1,94	1,98
2285,34	38.20	33,46	33,36	1657,00	26,39	32,53	30,19	33,13	0,001	3,42	483,81	84,87	0,46	0,93	0,83
	38.15														
2300,34	38.10	33,46	33,36	1657,00	26,39	31,83	30,19	32,61	0,002	3,90	424,33	84,65	0,56	1,63	1,53
2310,09	37.00	33,52	33,25	1657,00	26,26	31,82	30,01	32,58	0,002	3,84	431,29	82,02	0,53	1,70	1,43
2349,51	36.00	33,18	33,10	1657,00	26,10	31,82	29,68	32,49	0,001	3,64	455,70	81,43	0,49	1,36	1,28
2362,75	35.20	33,07	34,15	1657,00	27,07	30,65	30,65	32,36	0,006	5,79	286,22	83,88	1,00	2,42	3,50
2365,75	35.10	33,07	34,15	1657,00	26,67	29,57	30,25	32,24	0,009	7,24	228,82	82,68	1,39	3,50	4,58
2466,09	34.00	31,46	31,75	1657,00	24,26	29,43	28,53	30,62	0,007	4,84	345,14	76,11	0,72	2,03	2,32
2591,15	33.00	31,12	31,03	1657,00	23,03	28,28	28,05	29,97	0,004	5,75	288,24	71,52	0,91	2,84	2,75
2739,91	32.20	30,59	30,78	1657,00	23,01	27,98	27,44	29,42	0,003	5,32	311,67	72,49	0,82	2,61	2,80
	32.15														
2745,91	32.10	30,59	30,78	1657,00	23,01	27,09	27,44	29,38	0,006	6,70	247,36	72,22	1,16	3,50	3,69
2918,81	31.20	29,16	28,69	1657,00	22,55	26,96	26,53	28,50	0,003	5,49	301,59	71,43	0,85	2,20	1,73
	31.15														
2921,81	31.10	29,16	28,69	1657,00	21,54	26,96	25,77	28,07	0,002	4,66	355,30	71,43	0,67	2,20	1,73
2938,29	30.00	28,57	28,96	1657,00	21,85	26,04	26,04	27,94	0,004	6,11	271,22	71,29	1,00	2,53	2,92
3058,30	29.00	27,95	28,41	1657,00	20,83	24,72	25,21	27,23	0,007	7,03	235,68	70,67	1,23	3,23	3,69
3326,28	28.00	28,34	27,48	1657,00	19,38	23,65	23,58	25,48	0,006	5,99	276,83	71,66	0,97	4,69	3,83
3341,15	27.00	28,20	27,35	1657,00	18,52	23,59	22,70	24,84	0,003	4,95	334,69	71,74	0,73	4,61	3,76
3523,51	26.20	25,84	26,48	1657,00	16,63	23,43	19,83	23,66	0,000	2,15	769,99	124,90	0,28	2,41	3,05
	26.15														
3547,29	26.10	25,84	26,48	1657,00	16,63	22,94	19,83	23,22	0,001	2,34	709,20	124,53	0,31	2,90	3,54
3627,15	25.20	31,42	24,76	1657,00	16,11	22,59	20,15	23,09	0,001	3,14	528,19	95,01	0,42	8,83	2,17
	25.15														
3646,13	25.10	31,42	24,76	1657,00	16,11	22,52	20,15	23,04	0,001	3,18	521,67	94,98	0,43	8,90	2,24
3727,14	24.20	23,78	24,58	1657,00	15,93	21,15	20,34	22,60	0,004	5,35	309,71	62,52	0,77	2,63	3,43
	24.15														

Progr. (m)	Sezione modello (-)	Sommità sponda Sx (m s.m.)	Sommità sponda Dx (m s.m.)	Portata (m3/s)	Quota fondo alveo (m s.m.)	Quota idrometrica (m s.m.)	Altezza critica (m s.m.)	Carico totale (m s.m.)	Pendenza carico totale (m/m)	Velocità (m/s)	Area deflusso (m2)	Larghezza sup. libera (m)	Froude (-)	Franco sponda Sx (m)	Franco sponda Dx (m)
3741,28	24.10	23,78	24,58	1657,00	15,93	19,98	20,34	22,47	0,009	6,99	237,03	62,52	1,15	3,80	4,60
3879,21	23.00	23,95	22,34	1657,00	14,39	20,67	19,21	21,73	0,002	4,56	363,16	67,25	0,63	3,28	1,67
4030,92	22.20	21,91	22,17	1657,00	13,39	20,70	18,22	21,36	0,001	3,65	473,86	77,96	0,46	1,21	1,47
	22.15														
4058,32	22.10	21,91	22,17	1657,00	13,39	17,02	18,22	20,98	0,019	8,82	189,57	76,44	1,66	4,89	5,15
4078,05	21.00	20,00	18,36	1657,00	13,86	16,32	17,56	20,52	0,026	9,08	182,48	79,65	1,91	3,68	2,04
4086,04	20.00	19,98	19,00	1657,00	13,06	15,65	17,00	20,25	0,031	9,50	174,37	79,34	2,05	4,33	3,35
4283,79	19.00	19,54	18,13	1763,00	11,46	16,40	15,94	18,00	0,004	5,60	315,05	70,97	0,85	3,14	1,73
4531,53	18.00	17,41	16,89	1763,00	10,04	14,67	14,67	16,66	0,006	6,24	282,33	71,01	1,00	2,74	2,22
4725,70	17.00	16,02	16,04	1763,00	8,38	13,85	13,37	15,44	0,004	5,60	315,09	70,73	0,85	2,17	2,19
4920,52	16.20	15,06	14,02	1763,00	7,73	13,49	12,27	14,65	0,003	4,78	368,87	71,11	0,67	1,57	0,53
	16.15														
4926,76	16.10	15,06	14,02	1763,00	7,73	12,82	12,27	14,36	0,003	5,49	321,29	71,07	0,82	2,24	1,20
5040,50	15.00	15,45	14,56	1763,00	7,05	11,92	11,92	13,91	0,004	6,25	281,86	70,73	1,00	3,53	2,64
5251,17	14.00	13,10	13,20	1763,00	5,75	10,25	10,68	12,75	0,006	7,00	251,70	70,80	1,19	2,85	2,95
5407,02	13.00	11,58	11,80	1763,00	4,64	10,20	9,80	11,85	0,003	5,69	309,83	70,66	0,87	1,38	1,60
5574,93	12.20	11,70	11,06	1763,00	4,62	10,10	8,91	11,30	0,002	4,85	367,35	70,93	0,68	1,60	0,96
	12.15														
5592,86	12.10	11,70	11,06	1763,00	4,62	8,65	8,91	10,95	0,005	6,73	264,50	70,68	1,11	3,05	2,41
5774,64	11.00	10,17	10,28	1763,00	3,20	7,59	7,90	9,93	0,006	6,77	260,39	70,69	1,13	2,58	2,69
5977,40	10.00	9,60	9,41	1763,00	1,90	7,80	6,67	9,00	0,002	4,84	364,55	71,86	0,69	1,80	1,61
6092,28	9.00	12,89	9,14	1763,00	1,86	7,53	6,46	8,76	0,002	4,91	358,76	71,39	0,70	5,36	1,61
6246,91	8.00	12,55	8,77	1763,00	1,47	7,19	6,23	8,36	0,003	4,81	366,78	78,65	0,71	5,36	1,58
6418,04	7.20	9,81	9,33	1763,00	0,84	7,20	5,12	7,83	0,002	3,51	502,44	99,75	0,50	2,61	2,13
	7.15														
6462,21	7.10	9,81	9,33	1763,00	0,84	5,60		6,90	0,005	5,05	349,17	93,88	0,84	4,21	3,73
6475,95	6.00	5,93	6,01	1763,00	0,66	5,58	4,74	6,81	0,003	4,91	358,88	79,04	0,74	0,35	0,43
6484,36	5.00	5,97	5,20	1763,00	0,33	5,67	4,50	6,74	0,003	4,58	384,87	79,82	0,66	0,30	-0,47
6586,19	4.00	4,68	4,50	1763,00	-0,67	5,51	3,99	6,46	0,002	4,31	409,72	78,60	0,60	-0,83	-1,01
6711,34	3.20	3,93	4,84	1763,00	-0,55	5,24	3,84	6,17	0,002	4,28	414,43	86,28	0,61	-1,31	-0,40
	3.15														
6734,39	3.10	3,93	4,84	1763,00	-0,55	3,42	3,84	5,74	0,010	6,74	261,49	82,25	1,21	0,51	1,42
6835,03	2.00	1,90	1,90	1763,00	-1,43	2,97	2,97	4,78	0,006	5,95	296,07	82,31	1,00	-1,07	-1,07
7021,66	1.00	1,20	1,30	1763,00	-3,05	0,98	1,35	3,22	0,009	6,64	265,43	82,00	1,18	0,22	0,32

Tabella 17 – Profilo idrometrico per tempo di ritorno 200 anni del torrente Polcevera nello stato attuale.

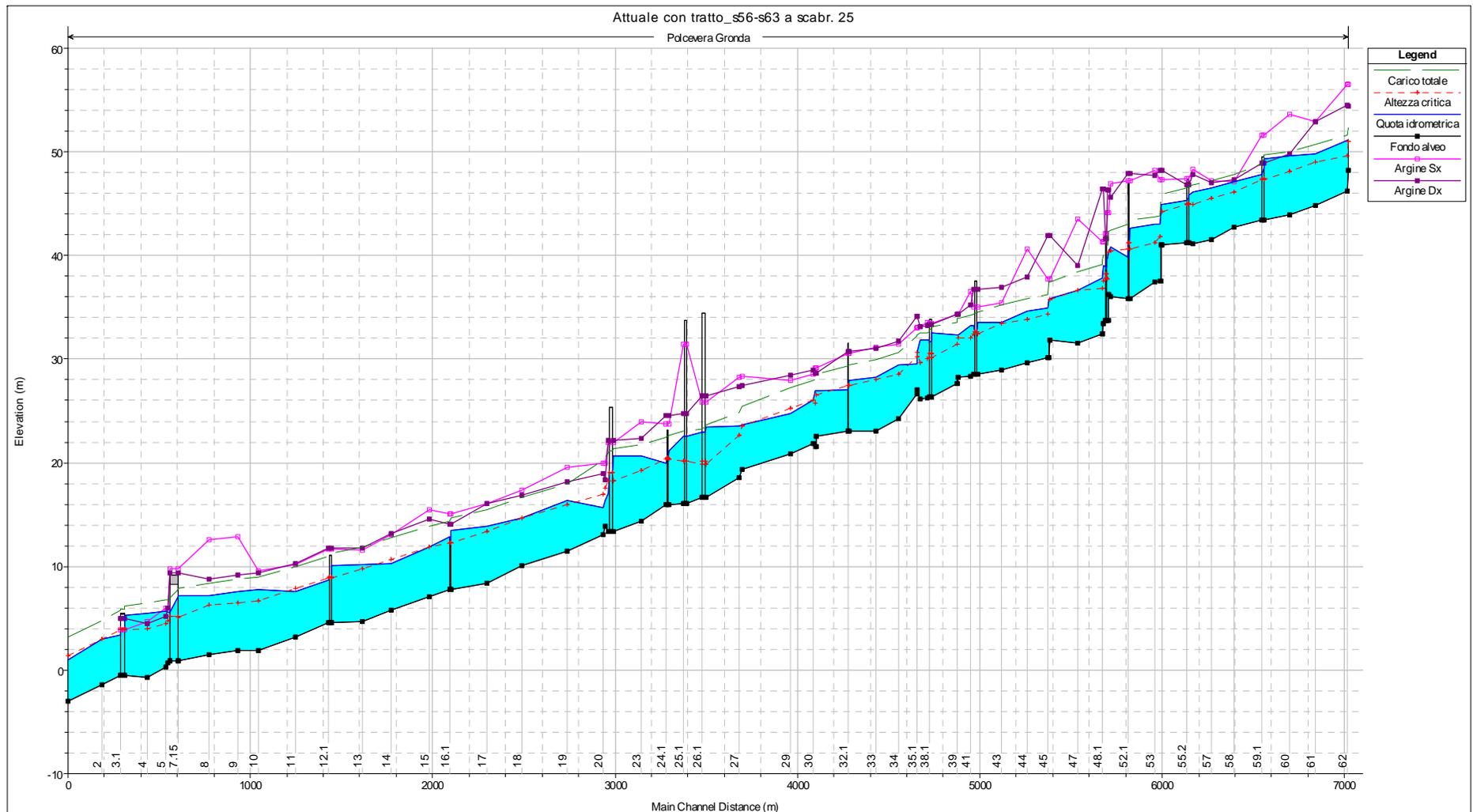


Figura 10 – Profilo idrometrico a tempo di ritorno 200 anni per il torrente Polcevera nello stato attuale.

13.7 Verifica idraulica con tempo di ritorno 200 anni della situazione di cantierizzazione caratterizzata dalla presenza dello slurrydotto

Questa fase rappresenta la realizzazione in sponda destra dei condotti di smaltimento dei fanghi reflui generati dalla realizzazione delle gallerie; tali condotti sono presenti in alveo a partire dalla sezione 59.2 (ponte Ratto) fino alla sezione dell'ultimo ponte prima della foce in mare (sez.3.1).

La struttura che ospita le tubazioni di smaltimento dei fanghi è stata rappresentata nel modello diminuendo la larghezza della sezione di deflusso in destra idraulica rispetto allo stato attuale di una quantità pari a 3 m (misurati a partire dalla base del muro arginale esistente destro) introducendo nel modello un setto verticale insormontabile dalla piena. Tale configurazione è molto cautelativa rispetto all'ingombro planimetrico occupato dallo slurrydotto.

La simulazione eseguita è quella con tempo di ritorno 200 anni, dato il lungo periodo di permanenza della struttura in alveo; si è quindi confrontato il profilo idrometrico di questa fase di cantiere con quello di stato attuale al fine di valutare l'incremento dei livelli idrici generato dalla presenza della struttura nell'alveo del Polcevera.

Tale confronto (riscontrabile nella colonna denominata "rigurgito indotto" della seguente Tabella 18) ha mostrato che lo slurrydotto induce innalzamenti di livello modesti rispetto al profilo di stato attuale: in particolare l'incremento dei livelli è quantificabile in un intervallo compreso tra 0.00 e 0.30 m, in alcuni casi (sezioni di valle delle strutture) si assiste addirittura ad un decremento di livello per effetto della contrazione della corrente attraverso la struttura.

Di seguito (Tabella 18 e Figura 11) si riportano i risultati della simulazione duecentennale rispettivamente in forma tabulare e grafica che illustrano il profilo idrometrico del corso d'acqua.

Progr. (m)	Sezione modello (-)	Sommità sponda Sx (m s.m.)	Sommità sponda Dx (m s.m.)	Portata (m3/s)	Quota fondo alveo (m s.m.)	Quota idrometrica (m s.m.)	Altezza critica (m s.m.)	Carico totale (m s.m.)	Pendenza carico totale (m/m)	Velocità (m/s)	Area deflusso (m2)	Larghezza superficie libera (m)	Froude (-)	Rigurgito indotto (m)	Franco sponda Sx (m)	Franco sponda Dx (m)
0,00	63,00	56,52	54,41	860,00	48,19	51,12	50,99	52,29	0,010	4,78	180,05	66,72	0,93	-0,02	5,40	3,29
6,06	62,00	56,53	54,46	860,00	46,17	51,09	49,59	51,61	0,003	3,19	269,48	67,51	0,51	-0,02	5,44	3,37
183,98	61,00	52,89	52,89	1447,00	44,86	49,92	49,02	50,71	0,005	3,95	366,10	99,68	0,66	0,09	2,97	2,97
324,04	60,00	53,65	49,85	1447,00	43,97	49,73	48,07	50,12	0,002	3,07	541,10	138,79	0,44	0,11	3,92	0,12
462,52	59,20	51,57	48,94	1622,00	43,39	49,37	47,31	49,85	0,002	3,06	531,33	109,12	0,44	0,10	2,20	-0,43
	59,15															
477,52	59,10	51,57	48,94	1622,00	43,39	47,85	47,31	48,85	0,007	4,44	365,53	107,92	0,77	0,06	3,72	1,09
626,26	58,00	47,16	47,32	1622,00	42,73	47,15	46,13	47,86	0,004	3,72	439,45	120,27	0,61	0,07	0,01	0,17
752,19	57,00	47,24	47,02	1622,00	41,48	46,54	45,62	47,31	0,005	3,88	418,00	114,43	0,65	0,07	0,70	0,48
852,67	56,00	48,36	47,85	1622,00	41,09	46,19	44,93	46,87	0,004	3,67	442,27	107,78	0,58	0,07	2,17	1,66
872,67	55,30	47,37	46,78	1622,00	41,24	45,86	45,00	46,78	0,003	4,25	381,97	101,04	0,69	0,06	1,51	0,92
	55,25															
887,67	55,20	47,37	46,78	1622,00	41,24	45,39	45,00	46,58	0,004	4,83	335,71	97,52	0,83	0,05	1,98	1,39
1023,68	55,00	47,34	48,25	1622,00	40,98	44,96	44,24	45,99	0,003	4,50	360,66	94,11	0,73	0,05	2,38	3,29
	54,80															
1033,13	54,00	47,34	48,25	1622,00	37,56	43,21	41,80	43,95	0,002	3,81	425,65	94,11	0,57	0,18	4,13	5,04
1064,30	53,00	48,19	47,69	1622,00	37,45	43,23	41,27	43,87	0,001	3,54	458,19	87,71	0,49	0,17	4,96	4,46
1199,45	52,20	47,17	47,90	1622,00	35,86	42,74	40,74	43,63	0,002	4,18	388,13	64,91	0,55	0,14	4,43	5,16
	52,15															
1209,45	52,10	47,17	47,90	1622,00	35,86	39,82	40,74	43,19	0,015	8,13	199,46	64,50	1,48	0,03	7,35	8,08
1302,24	51,00	46,96	45,62	1622,00	36,04	40,91	40,47	42,59	0,005	5,75	282,25	61,92	0,86	0,09	6,05	4,71
1313,32	50,20	44,16	46,29	1622,00	36,19	40,45	40,45	42,49	0,006	6,33	256,13	62,65	1,00	0,09	3,71	5,84
	50,15															
1319,32	50,10	44,16	46,29	1622,00	33,73	39,81	37,86	40,75	0,002	4,29	377,94	62,75	0,56	0,07	4,35	6,48
1328,04	49,20	42,15	41,65	1622,00	33,73	39,80	37,90	40,74	0,002	4,29	379,01	65,89	0,56	0,12	2,35	1,85
	49,15															
1334,04	49,10	42,15	41,65	1622,00	33,73	39,06	37,90	40,29	0,003	4,91	330,42	65,68	0,69	0,13	3,09	2,59
1345,29	48,20	41,28	46,42	1622,00	33,44	39,10	37,64	40,18	0,002	4,61	352,07	64,37	0,63	0,11	2,18	7,32
	48,15															
1347,29	48,10	41,28	46,42	1622,00	32,46	37,82	36,93	39,17	0,003	5,15	314,87	64,18	0,74	-0,01	3,46	8,60
1484,56	47,00	43,54	38,99	1622,00	31,54	36,74	36,68	38,53	0,006	5,93	273,74	73,08	0,98	0,09	6,80	2,25
1635,43	46,00	37,70	41,94	1622,00	31,84	35,78	35,78	37,60	0,006	5,99	270,96	74,18	1,00	-0,02	1,92	6,16
	45,80															
1649,73	45,00	37,70	41,94	1622,00	30,14	35,06	34,43	36,39	0,004	5,11	317,33	73,92	0,79	0,09	2,64	6,88

Progr. (m)	Sezione modello (-)	Sommità sponda Sx (m s.m.)	Sommità sponda Dx (m s.m.)	Portata (m3/s)	Quota fondo alveo (m s.m.)	Quota idrometrica (m s.m.)	Altezza critica (m s.m.)	Carico totale (m s.m.)	Pendenza carico totale (m/m)	Velocità (m/s)	Area deflusso (m2)	Larghezza superficie libera (m)	Froude (-)	Rigurgito indotto (m)	Franco sponda Sx (m)	Franco sponda Dx (m)
1762,69	44,00	40,65	37,91	1622,00	29,62	34,80	33,97	35,95	0,003	4,76	343,24	81,21	0,72	0,15	5,85	3,11
1900,43	43,00	35,45	36,93	1622,00	28,95	33,66	33,47	35,35	0,005	5,76	281,63	71,85	0,93	0,09	1,79	3,27
2032,53	42,20	35,06	36,75	1622,00	28,51	33,69	32,46	34,68	0,002	4,42	367,18	76,49	0,64	0,12	1,37	3,06
	42,15															
2052,53	42,10	35,06	36,75	1622,00	28,51	33,41	32,46	34,53	0,003	4,69	345,51	76,43	0,70	0,14	1,65	3,34
2071,91	41,00	36,55	35,20	1622,00	28,33	33,37	32,17	34,41	0,003	4,53	357,77	73,48	0,66	0,13	3,18	1,83
2141,29	40,00	34,33	34,37	1657,00	28,22	32,54	32,17	34,12	0,005	5,57	297,58	71,32	0,87	0,15	1,79	1,83
	39,50															
2145,55	39,00	34,33	34,37	1657,00	27,64	32,54	31,54	33,73	0,003	4,84	342,29	71,32	0,71	0,15	1,79	1,83
2285,34	38,20	33,46	33,36	1657,00	26,45	32,72	30,32	33,30	0,001	3,39	489,52	84,96	0,45	0,19	0,74	0,64
	38,15															
2300,34	38,10	33,46	33,36	1657,00	26,45	31,98	30,32	32,75	0,002	3,88	427,07	84,72	0,55	0,15	1,48	1,38
2310,09	37,00	33,52	33,25	1657,00	26,27	31,94	30,11	32,72	0,002	3,92	422,80	78,37	0,54	0,12	1,58	1,31
2349,51	36,00	33,18	33,10	1657,00	26,10	31,93	29,78	32,64	0,002	3,72	445,18	81,48	0,51	0,11	1,25	1,17
2362,75	35,20	33,07	34,15	1657,00	27,07	30,74	30,74	32,50	0,006	5,87	282,34	80,32	1,00	0,09	2,33	3,41
2365,75	35,10	33,07	34,15	1657,00	26,67	29,65	30,34	32,38	0,009	7,32	226,37	79,26	1,38	0,08	3,42	4,50
2466,09	34,00	31,46	31,75	1657,00	24,26	29,62	28,53	30,72	0,006	4,64	360,06	76,15	0,68	0,19	1,84	2,13
2591,15	33,00	31,12	31,03	1657,00	23,03	28,41	28,11	30,10	0,003	5,77	287,42	68,43	0,90	0,13	2,71	2,62
2739,91	32,20	30,59	30,78	1657,00	23,01	28,09	27,52	29,57	0,003	5,38	307,92	69,34	0,82	0,11	2,50	2,69
	32,15															
2745,91	32,10	30,59	30,78	1657,00	23,01	27,16	27,52	29,52	0,006	6,81	243,16	69,17	1,16	0,07	3,43	3,62
2918,81	31,20	29,16	28,69	1657,00	22,55	27,08	26,64	28,67	0,003	5,59	296,42	68,05	0,85	0,12	2,08	1,61
	31,15															
2921,81	31,10	29,16	28,69	1657,00	21,54	27,08	25,85	28,22	0,002	4,73	350,15	68,05	0,67	0,12	2,08	1,61
2938,29	30,00	28,57	28,96	1657,00	21,85	26,13	26,13	28,09	0,004	6,20	267,23	68,29	1,00	0,09	2,44	2,83
3058,30	29,00	27,95	28,41	1657,00	20,83	24,84	25,36	27,39	0,007	7,07	234,44	67,57	1,21	0,12	3,11	3,57
3326,28	28,00	28,34	27,48	1657,00	19,38	23,82	23,70	25,66	0,006	6,01	275,63	71,69	0,98	0,17	4,52	3,66
3341,15	27,00	28,20	27,35	1657,00	18,58	23,75	22,81	25,02	0,003	4,99	332,04	71,84	0,74	0,16	4,45	3,60
3523,51	26,20	25,84	26,48	1657,00	16,63	23,60	19,83	23,82	0,000	2,09	791,53	125,03	0,27	0,17	2,24	2,88
	26,15															
3547,29	26,10	25,84	26,48	1657,00	16,63	23,16	19,83	23,41	0,000	2,25	736,31	124,69	0,30	0,22	2,68	3,32
3627,15	25,20	31,42	24,76	1657,00	16,11	22,84	20,15	23,30	0,001	3,00	552,35	95,09	0,40	0,25	8,58	1,92
	25,15															
3646,13	25,10	31,42	24,76	1657,00	16,11	22,78	20,15	23,25	0,001	3,03	546,70	95,07	0,40	0,26	8,64	1,98

Progr. (m)	Sezione modello (-)	Sommità sponda Sx (m s.m.)	Sommità sponda Dx (m s.m.)	Portata (m3/s)	Quota fondo alveo (m s.m.)	Quota idrometrica (m s.m.)	Altezza critica (m s.m.)	Carico totale (m s.m.)	Pendenza carico totale (m/m)	Velocità (m/s)	Area deflusso (m2)	Larghezza superficie libera (m)	Froude (-)	Rigurgito indotto (m)	Franco sponda Sx (m)	Franco sponda Dx (m)
3727,14	24.20	23,78	24,58	1657,00	15,93	21,31	20,47	22,81	0,004	5,42	305,50	59,52	0,76	0,16	2,47	3,27
	24.15															
3741,28	24.10	23,78	24,58	1657,00	15,93	20,08	20,47	22,67	0,009	7,13	232,49	59,52	1,15	0,10	3,70	4,50
3879,21	23.00	23,95	22,34	1657,00	14,39	20,97	19,28	21,99	0,002	4,47	370,34	67,33	0,61	0,30	2,98	1,37
4030,92	22.20	21,91	22,17	1657,00	13,39	20,97	18,33	21,61	0,001	3,63	474,35	74,97	0,44	0,27	0,94	1,20
	22.15															
4058,32	22.10	21,91	22,17	1657,00	13,39	17,09	18,33	21,21	0,021	9,01	186,07	73,91	1,68	0,07	4,82	5,08
4078,05	21.00	20,00	18,36	1657,00	13,86	16,36	17,65	20,72	0,027	9,25	179,12	76,62	1,93	0,04	3,64	2,00
4086,04	20.00	19,98	19,00	1657,00	13,06	15,68	17,07	20,45	0,031	9,68	171,26	76,41	2,06	0,03	4,30	3,32
4283,79	19.00	19,54	18,13	1763,00	11,46	16,50	16,04	18,16	0,005	5,72	308,42	67,74	0,86	0,10	3,04	1,63
4531,53	18.00	17,41	16,89	1763,00	10,04	14,76	14,76	16,80	0,006	6,34	278,29	68,06	1,00	0,09	2,65	2,13
4725,70	17.00	16,02	16,04	1763,00	8,38	14,05	13,46	15,62	0,004	5,55	317,82	67,77	0,82	0,20	1,97	1,99
4920,52	16.20	15,06	14,02	1763,00	7,73	13,77	12,32	14,87	0,002	4,65	379,31	71,11	0,64	0,28	1,29	0,25
	16.15															
4926,76	16.10	15,06	14,02	1763,00	7,73	13,03	12,32	14,50	0,003	5,37	328,17	68,91	0,79	0,21	2,03	0,99
5040,50	15.00	15,45	14,56	1763,00	7,05	12,02	12,02	14,06	0,004	6,34	277,97	67,75	1,00	0,10	3,43	2,54
5251,17	14.00	13,10	13,20	1763,00	5,75	10,43	10,87	12,93	0,006	6,99	252,07	67,45	1,15	0,18	2,67	2,77
5407,02	13.00	11,58	11,80	1763,00	4,64	10,33	9,90	12,01	0,003	5,75	306,53	67,60	0,86	0,13	1,25	1,47
5574,93	12.20	11,70	11,06	1763,00	4,62	10,24	9,00	11,46	0,002	4,91	363,09	67,95	0,68	0,14	1,46	0,82
	12.15															
5592,86	12.10	11,70	11,06	1763,00	4,62	8,72	9,00	11,10	0,006	6,84	260,35	67,84	1,11	0,07	2,98	2,34
5774,64	11.00	10,17	10,28	1763,00	3,20	7,69	7,99	10,08	0,006	6,84	257,73	67,70	1,12	0,1	2,48	2,59
5977,40	10.00	9,60	9,41	1763,00	1,90	7,84	6,75	9,10	0,002	4,97	354,54	68,94	0,70	0,04	1,76	1,57
6092,28	9.00	12,89	9,14	1763,00	1,86	7,50	6,55	8,84	0,002	5,13	343,61	68,42	0,73	-0,03	5,39	1,64
6246,91	8.00	12,55	8,77	1763,00	1,52	6,93	6,36	8,37	0,004	5,33	330,58	75,60	0,81	-0,26	5,62	1,84
6418,04	7.20	9,81	9,33	1763,00	0,84	7,02	5,12	7,71	0,002	3,66	481,13	95,21	0,52	-0,18	2,79	2,31
	7.15															
6462,21	7.10	9,81	9,33	1763,00	0,84	5,81		6,98	0,004	4,80	367,54	92,48	0,77	0,21	4,00	3,52
6475,95	6.00	5,93	6,01	1763,00	0,66	5,53	4,81	6,88	0,004	5,13	343,39	76,11	0,77	-0,05	0,40	0,48
6484,36	5.00	5,97	5,20	1763,00	0,33	5,63	4,59	6,79	0,003	4,77	369,86	79,81	0,70	-0,04	0,34	-0,43
6586,19	4.00	4,68	4,50	1763,00	-0,67	5,48	4,07	6,48	0,002	4,43	397,99	78,60	0,63	-0,03	-0,80	-0,98
6711,34	3.20	3,93	4,84	1763,00	-0,55	5,24	3,84	6,17	0,002	4,28	414,43	86,28	0,61	0	-1,31	-0,40
	3.15															
6734,39	3.10	3,93	4,84	1763,00	-0,55	3,42	3,84	5,74	0,010	6,74	261,49	82,25	1,21	0	0,51	1,42

Progr. (m)	Sezione modello (-)	Sommità sponda Sx (m s.m.)	Sommità sponda Dx (m s.m.)	Portata (m3/s)	Quota fondo alveo (m s.m.)	Quota idrometrica (m s.m.)	Altezza critica (m s.m.)	Carico totale (m s.m.)	Pendenza carico totale (m/m)	Velocità (m/s)	Area deflusso (m2)	Larghezza superficie libera (m)	Froude (-)	Rigurgito indotto (m)	Franco sponda Sx (m)	Franco sponda Dx (m)
6835,03	2,00	1,90	1,90	1763,00	-1,43	2,97	2,97	4,78	0,006	5,95	296,07	82,31	1,00	0	-1,07	-1,07
7021,66	1,00	1,20	1,30	1763,00	-3,05	0,98	1,35	3,22	0,009	6,64	265,43	82,00	1,18	0	0,22	0,32

Tabella 18 – Profilo idrometrico per tempo di ritorno 200 anni del torrente Polcevera nella situazione di cantierizzazione “presenza dello slurrydotto”.

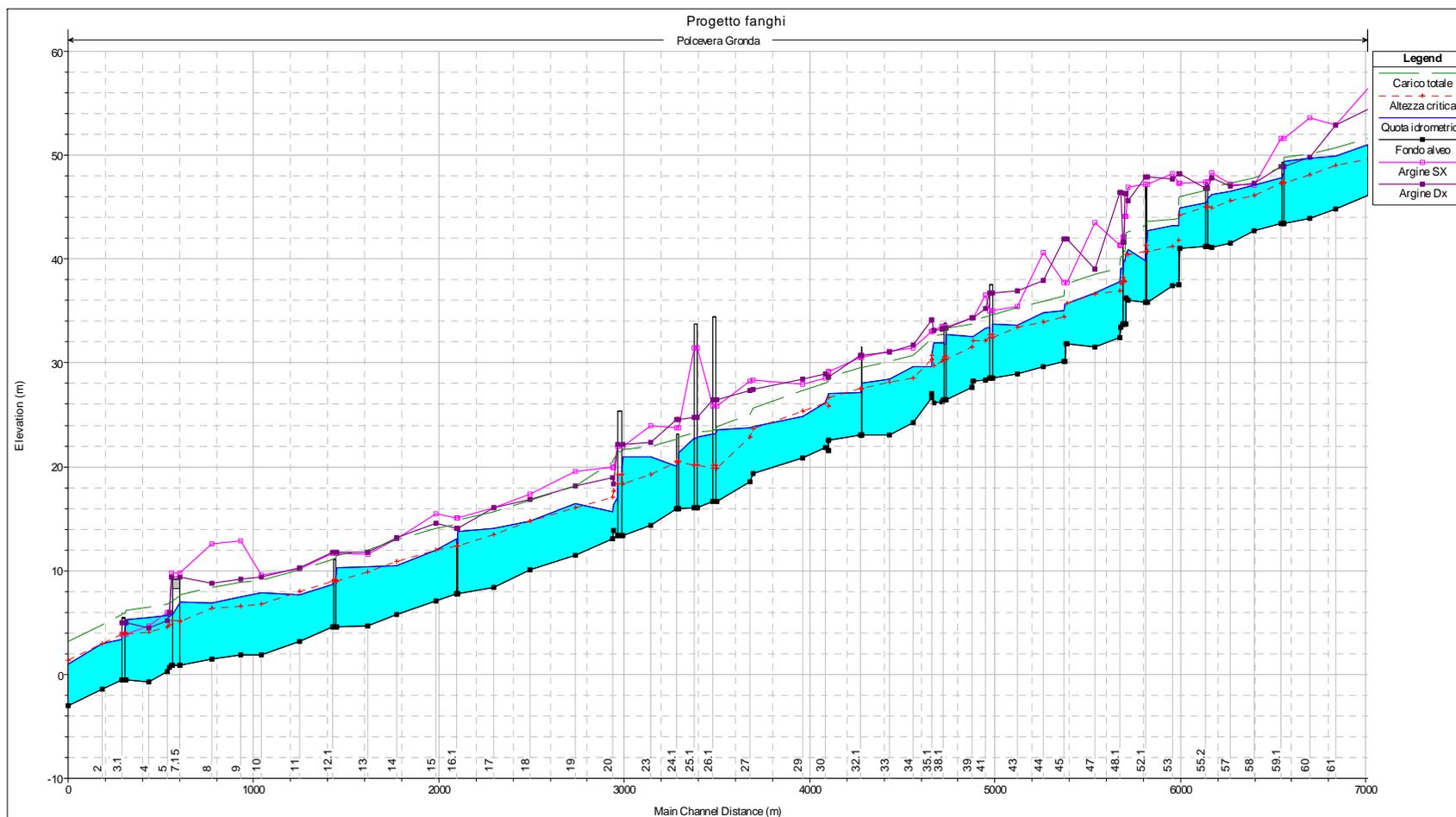


Figura 11 – Profilo idrometrico con tempo di ritorno 200 anni per il torrente Polcevera nella situazione di cantierizzazione “presenza dello slurrydotto”.

13.8 Verifiche idrauliche con tempo di ritorno 10 e 100 anni della situazione di cantierizzazione funzionale alla realizzazione del viadotto dell'autostrada in progetto interferente con il nodo di confluenza dei torrenti Secca e Polcevera

L'autostrada in progetto attraversa il torrente Polcevera in corrispondenza del nodo di confluenza del torrente Secca; la tipologia di attraversamento è costituita da un viadotto strallato che non presenta quindi pile interferenti con il deflusso di piena del Polcevera.

La realizzazione del viadotto tuttavia richiederà la costruzione di due coppie di pile di diametro 9,0 m (allineate longitudinalmente) nell'alveo del torrente Polcevera; la parte di diametro 9,0 m costituisce il basamento su cui si appoggerà una struttura a traliccio funzionale alla realizzazione dell'impalcato del viadotto in progetto.

Le verifiche idrauliche sono state eseguite modellizzando il tratto d'alveo di piena che si estende tra le sezioni 63 e 56, dato l'effetto localizzato che il cantiere esercita sul corso d'acqua; in particolare la coppia di pile presenti in alveo sono state schematizzate nel modello come appartenenti ad un ponte a 3 campate avente l'intradosso a quota molto elevata, non raggiungibile dai livelli idrometrici. Le pile non sono orientate nella direzione di deflusso di piena del Polcevera e pertanto, se proiettate nella direzione ortogonale al deflusso, acquisiscono una dimensione di ingombro pari a 14,0 m.

La struttura di cantiere schematizzata idraulicamente come sopra descritto è stata inserita tra le sezioni 62 e 61 di rilievo, in particolare la sezione 61 costituisce il filo di valle della struttura provvisoria inserita nel modello mentre la sezione 61.1 il filo di monte.

Le simulazioni sono state eseguite per tempi di ritorno di 10 e 100 anni funzionali rispettivamente al dimensionamento in quota dell'estradosso delle pile stesse ed a valutare il rischio idraulico indotto dal cantiere sul territorio urbanizzato circostante.

13.8.1 Verifica idraulica con tempo di ritorno 10 anni nello stato attuale e con la presenza del cantiere

Oltre a determinare la quota di progetto dell'estradosso delle coppie di pilastri in modo da non essere sommergibile, tale simulazione ha analizzato anche l'interferenza del cantiere rispetto al corso d'acqua.

Sono state quindi eseguite due simulazioni ante (stato attuale) e post realizzazione del cantiere.

La simulazione di stato attuale per tempo di ritorno 10 anni mostra che il tratto non è soggetto ad alcun rischio di esondazione; si osserva un franco di sicurezza minimo in sinistra subito a valle del ponte Ratto (sez.58) pari a 1,30 m ed in destra a monte dello stesso ponte Ratto (1,32 m). Nel tratto tra le sezioni 61 e 62 il franco di sicurezza è variabile da 4,50 m a circa 6,90 m.

La realizzazione del cantiere induce a monte di esso (sez 61.10) un innalzamento di livello pari a 0,58 m che si esaurisce completamente nella sez.62; il franco idraulico di sicurezza rispetto alle sommità arginali nella sezione 61.1 rimane comunque superiore a 3,80 m e pertanto il cantiere non induce alcun rischio di esondazione.

La quota a cui dovrà essere fissato l'estradosso di ciascun pilastro non deve essere inferiore a 49,11 m s.m.

Di seguito si riportano i risultati delle simulazioni rispettivamente in forma tabulare (Tabella 19 e Tabella 20) e grafica (Figura 12 e Figura 13) che illustrano il profilo idrometrico del corso d'acqua nella situazione attuale e di cantierizzazione per tempo di ritorno 10 anni.

Progr. (m)	Sezione modello (-)	Sommità sponda Sx (m s.m.)	Sommità sponda Dx (m s.m.)	Portata (m3/s)	Quota fondo alveo (m s.m.)	Quota idrometrica (m s.m.)	Altezza critica (m s.m.)	Carico totale (m s.m.)	Pendenza carico totale (m/m)	Velocità (m/s)	Area deflusso (m2)	Larghezza superficie libera (m)	Froude (-)	Franco sponda Sx (m)	Franco sponda Dx (m)
0,00	63,00	56,52	54,41	480,00	48,19	50,15	50,15	51,03	0,013	4,16	115,34	65,27	1,00	6,37	4,26
6,06	62,00	56,53	54,46	480,00	46,17	49,65	48,69	50,04	0,003	2,77	173,43	64,62	0,54	6,88	4,81
173,98	61,10	53,09	52,98	761,00	44,86	48,53	48,03	49,11	0,006	3,42	227,68	99,28	0,69	4,56	4,45
183,98	61,00	52,89	52,89	761,00	44,86	48,36	48,03	49,04	0,007	3,69	210,81	99,23	0,77	4,53	4,53
324,04	60,00	53,65	49,85	761,00	43,97	47,96	47,12	48,29	0,003	2,65	300,74	128,72	0,53	5,69	1,89
462,52	59,20	51,57	48,94	850,00	43,39	47,62	46,29	47,93	0,002	2,44	348,38	110,87	0,44	3,95	1,32
	59,15														
477,52	59,10	51,57	48,94	850,00	43,39	46,55	46,29	47,25	0,009	3,71	229,13	110,66	0,82	5,02	2,39
626,26	58,00	47,16	47,32	850,00	42,73	45,86	45,13	46,30	0,004	2,93	290,25	120,25	0,59	1,30	1,46
752,19	57,00	47,24	47,02	850,00	41,48	45,23	44,62	45,71	0,005	3,08	276,16	116,94	0,64	2,01	1,79
852,67	56,00	48,36	47,85	850,00	41,09	44,90	43,90	45,28	0,003	2,74	310,63	110,28	0,52	3,46	2,95

Tabella 19 – Profilo idrometrico per tempo di ritorno 10 anni del torrente Polcevera nella situazione attuale.

Progr. (m)	Sezione modello (-)	Sommità sponda Sx (m s.m.)	Sommità sponda Dx (m s.m.)	Portata (m3/s)	Quota fondo alveo (m s.m.)	Quota idrometrica (m s.m.)	Altezza critica (m s.m.)	Carico totale (m s.m.)	Pendenza carico totale (m/m)	Velocità (m/s)	Area deflusso (m2)	Larghezza superficie libera (m)	Froude (-)	Franco sponda Sx (m)	Franco sponda Dx (m)	Rigurgito indotto (m)
0,00	63,00	56,52	54,41	480,00	48,19	50,15	50,15	51,03	0,01	4,16	115,27	65,26	1,00	6,37	4,26	0,00
6,06	62,00	56,53	54,46	480,00	46,17	49,65	48,69	50,02	0,00	2,80	171,19	64,51	0,55	6,88	4,81	0,00
173,98	61,10	53,09	52,98	761,00	44,86	49,11	48,03	49,48	0,00	2,73	285,95	99,45	0,50	3,98	3,87	0,58
	61,05															
183,98	61,00	52,89	52,89	761,00	44,86	47,49	48,03	49,30	0,03	5,97	128,27	91,61	1,58	5,40	5,40	-
324,04	60,00	53,65	49,85	761,00	43,97	47,96	47,11	48,29	0,00	2,66	300,63	128,71	0,53	5,69	1,89	-
462,52	59,20	51,57	48,94	850,00	43,39	47,62	46,29	47,92	0,00	2,44	348,24	110,87	0,44	3,95	1,32	-
	59,15															
477,52	59,10	51,57	48,94	850,00	43,39	46,55		47,25	0,01	3,71	229,13	110,66	0,82	5,02	2,39	-
626,26	58,00	47,16	47,32	850,00	42,73	45,86		46,30	0,00	2,93	290,25	120,25	0,59	1,30	1,46	-
752,19	57,00	47,24	47,02	850,00	41,48	45,23		45,71	0,01	3,08	276,16	116,94	0,64	2,01	1,79	-
852,67	56,00	48,36	47,85	850,00	41,09	44,90	43,90	45,28	0,00	2,74	310,63	110,28	0,52	3,46	2,95	-

Tabella 20 – Profilo idrometrico per tempo di ritorno 10 anni del torrente Polcevera nella situazione di cantierizzazione del viadotto strallato.

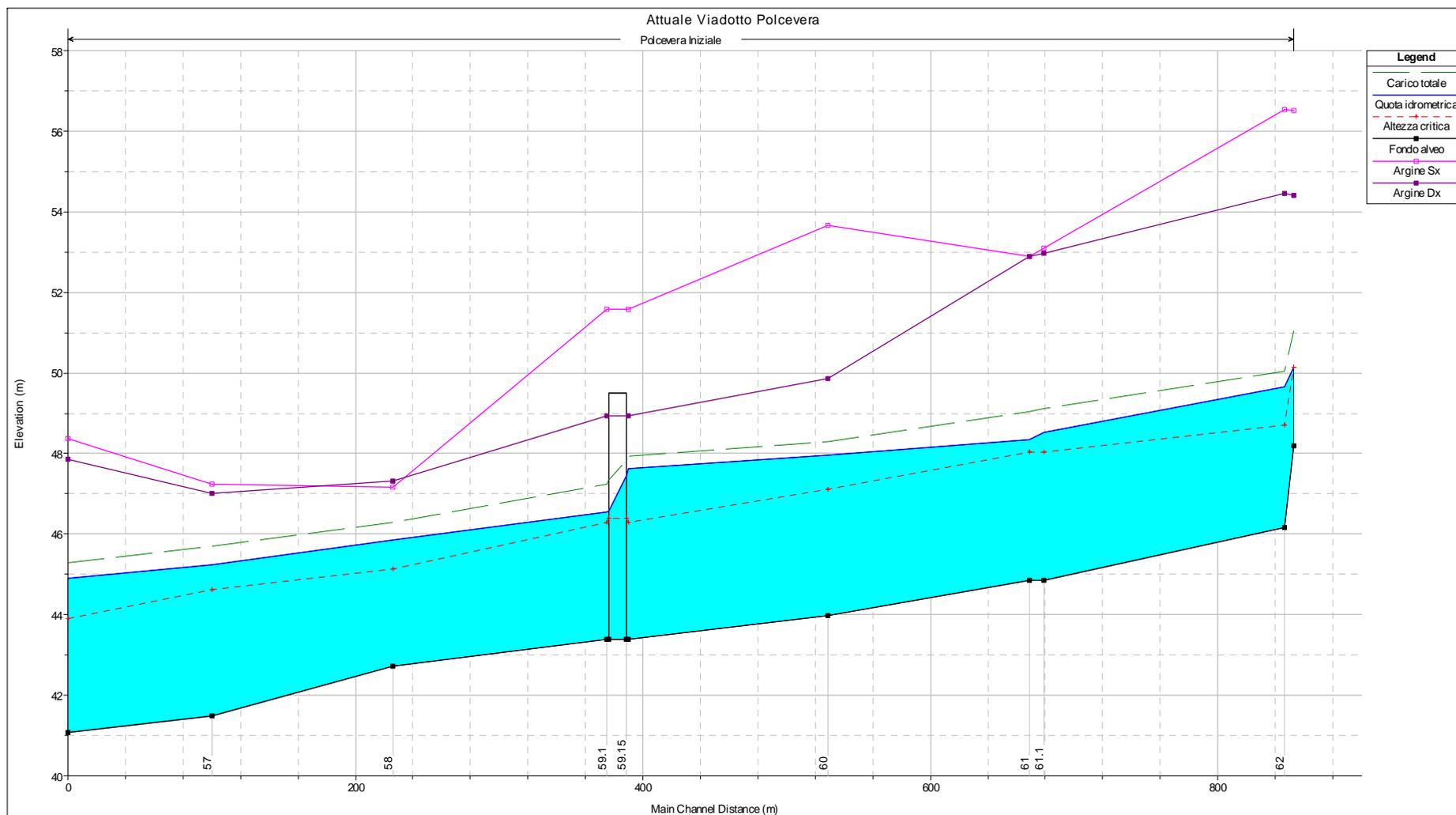


Figura 12 – Profilo idrometrico per tempo di ritorno 10 anni del torrente Polcevera nella situazione attuale.

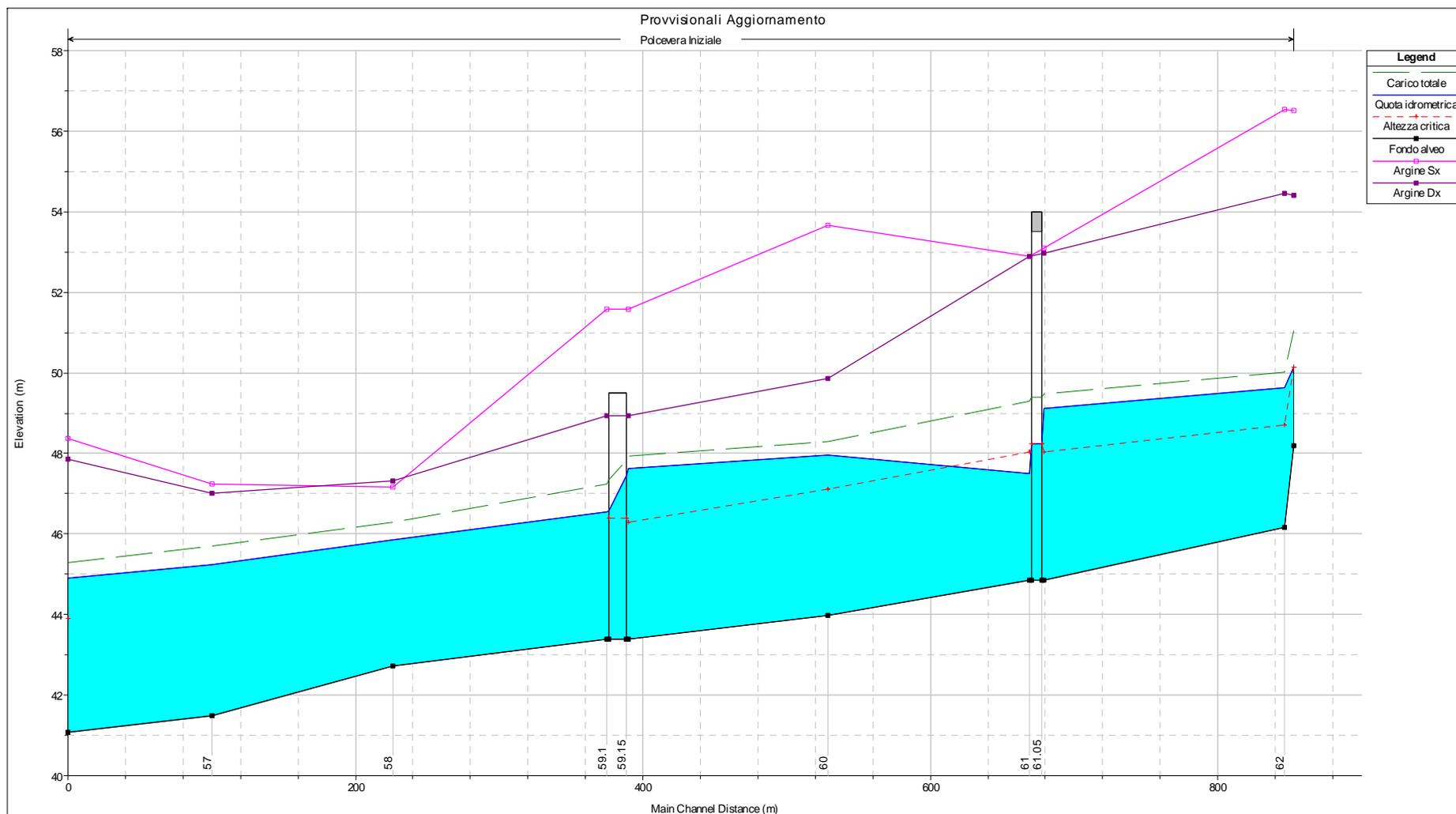


Figura 13 – Profilo idrometrico per tempo di ritorno 10 anni del torrente Polcevera nella situazione di cantierizzazione del viadotto strallato.

13.8.2 Verifica idraulica a tempo di ritorno 100 anni nello stato attuale e con la presenza del cantiere

Tale simulazione è stata eseguita esclusivamente per determinare il rischio idraulico di esondazione indotto dal cantiere sul territorio limitrofo (città di Genova).

Sono state quindi eseguite due simulazioni ante (stato attuale) e post realizzazione del cantiere.

La simulazione di stato attuale per tempo di ritorno 100 anni mostra che la piena centennale sormonta l'argine destro nella sezione 59.2 localizzata a monte di ponte Ratto (comunque a valle delle pile provvisorie del viadotto in progetto); si osserva inoltre un franco di sicurezza minimo in sinistra subito a valle del ponte Ratto (sez.58) pari a 0,35 m. Nel tratto tra le sezioni 61 e 62 (ove è posizionato il viadotto in progetto) il franco di sicurezza si attesta intorno a 3,40 m.

La realizzazione del cantiere induce a monte di esso (sez 61.10) un innalzamento di livello pari a 0,91 m che si smorza progressivamente procedendo verso monte e tale da risultare pari a 0,15 m nella sez.63 ; il franco idraulico di sicurezza rispetto alle sommità arginali nella sezione 61.1 rimane comunque superiore a 2,50 m e pertanto il cantiere non induce alcun rischio di esondazione per il territorio ubicato a monte.

Di seguito si riportano i risultati delle simulazioni rispettivamente in forma tabulare (Tabella 21 e Tabella 22) e grafica (Figura 14 e Figura 15) che illustrano il profilo idrometrico del corso d'acqua nella situazione attuale e di cantierizzazione per tempo di ritorno pari a 100 anni.

Progr. (m)	Sezione modello (-)	Sommità sponda Sx (m s.m.)	Sommità sponda Dx (m s.m.)	Portata (m3/s)	Quota fondo alveo (m s.m.)	Quota idrometrica (m s.m.)	Altezza critica (m s.m.)	Carico totale (m s.m.)	Pendenza carico totale (m/m)	Velocità (m/s)	Area deflusso (m2)	Larghezza superficie libera (m)	Froude (-)	Franco sponda Sx (m)	Franco sponda Dx (m)
0,00	63.00	56,52	54,41	770,00	48,19	50,80	50,80	52,00	0,012	4,85	158,74	66,57	1,00	5,72	3,61
6,06	62.00	56,53	54,46	770,00	46,17	50,76	49,39	51,26	0,003	3,12	247,03	67,36	0,52	5,77	3,70
173,98	61.10	53,09	52,98	1286,00	44,86	49,55	48,84	50,35	0,005	4,01	329,66	99,58	0,68	3,54	3,43
	61.05														
183,98	61.00	52,89	52,89	1286,00	44,86	49,43	48,84	50,29	0,005	4,16	317,89	99,54	0,72	3,46	3,46
324,04	60.00	53,65	49,85	1286,00	43,97	49,33	47,80	49,71	0,002	2,82	485,68	138,67	0,45	4,32	0,52
462,52	59.20	51,57	48,94	1443,00	43,39	49,00	47,06	49,42	0,002	2,88	502,17	112,12	0,43	2,57	-0,06
	59.15														
477,52	59.10	51,57	48,94	1443,00	43,39	47,39	47,06	48,41	0,008	4,47	322,46	110,83	0,84	4,18	1,55
626,26	58.00	47,16	47,32	1443,00	42,73	46,81	45,88	47,46	0,004	3,58	406,54	123,24	0,62	0,35	0,51
752,19	57.00	47,24	47,02	1443,00	41,48	46,19	45,36	46,89	0,005	3,71	388,73	117,23	0,65	1,05	0,83
852,67	56.00	48,36	47,85	1443,00	41,09	45,83	44,68	46,45	0,004	3,49	413,27	110,47	0,58	2,53	2,02

Tabella 21 – Profilo idrometrico per tempo di ritorno 100 anni del torrente Polcevera nella situazione attuale.

Progr. (m)	Sezione modello (-)	Sommità sponda Sx (m s.m.)	Sommità sponda Dx (m s.m.)	Portata (m3/s)	Quota fondo alveo (m s.m.)	Quota idrometrica (m s.m.)	Altezza critica (m s.m.)	Carico totale (m s.m.)	Pendenza carico totale (m/m)	Velocità (m/s)	Area deflusso (m2)	Larghezza superficie libera (m)	Froude (-)	Franco sponda Sx (m)	Franco sponda Dx (m)	Rigurgito indotto (m)
0,00	63.00	56,52	54,41	770,00	48,19	50,95	50,80	52,01	0,01	4,57	168,46	66,64	0,92	5,57	3,46	0,15
6,06	62.00	56,53	54,46	770,00	46,17	50,92	49,39	51,38	0,00	2,99	257,87	67,43	0,49	5,61	3,54	0,16
173,98	61.10	53,09	52,98	1286,00	44,86	50,46	48,84	50,96	0,00	3,14	422,04	99,84	0,47	2,63	2,52	0,91
	61.05															
183,98	61.00	52,89	52,89	1286,00	44,86	48,04	48,84	50,71	0,03	7,27	179,77	96,84	1,64	4,85	4,85	-
324,04	60.00	53,65	49,85	1286,00	43,97	49,33	47,79	49,70	0,00	2,83	484,80	138,67	0,45	4,32	0,52	-
462,52	59.20	51,57	48,94	1443,00	43,39	49,00	47,06	49,42	0,00	2,88	502,25	112,12	0,43	2,57	-0,06	-
	59.15															
477,52	59.10	51,57	48,94	1443,00	43,39	47,39		48,41	0,01	4,47	322,46	110,83	0,84	4,18	1,55	-
626,26	58.00	47,16	47,32	1443,00	42,73	46,81		47,46	0,00	3,58	406,54	123,24	0,62	0,35	0,51	-
752,19	57.00	47,24	47,02	1443,00	41,48	46,19		46,89	0,00	3,71	388,73	117,23	0,65	1,05	0,83	-
852,67	56.00	48,36	47,85	1443,00	41,09	45,83	44,67	46,45	0,00	3,49	413,27	110,47	0,58	2,53	2,02	-

Tabella 22 – Profilo idrometrico per tempo di ritorno 100 anni del torrente Polcevera nella situazione di cantierizzazione del viadotto strallato.

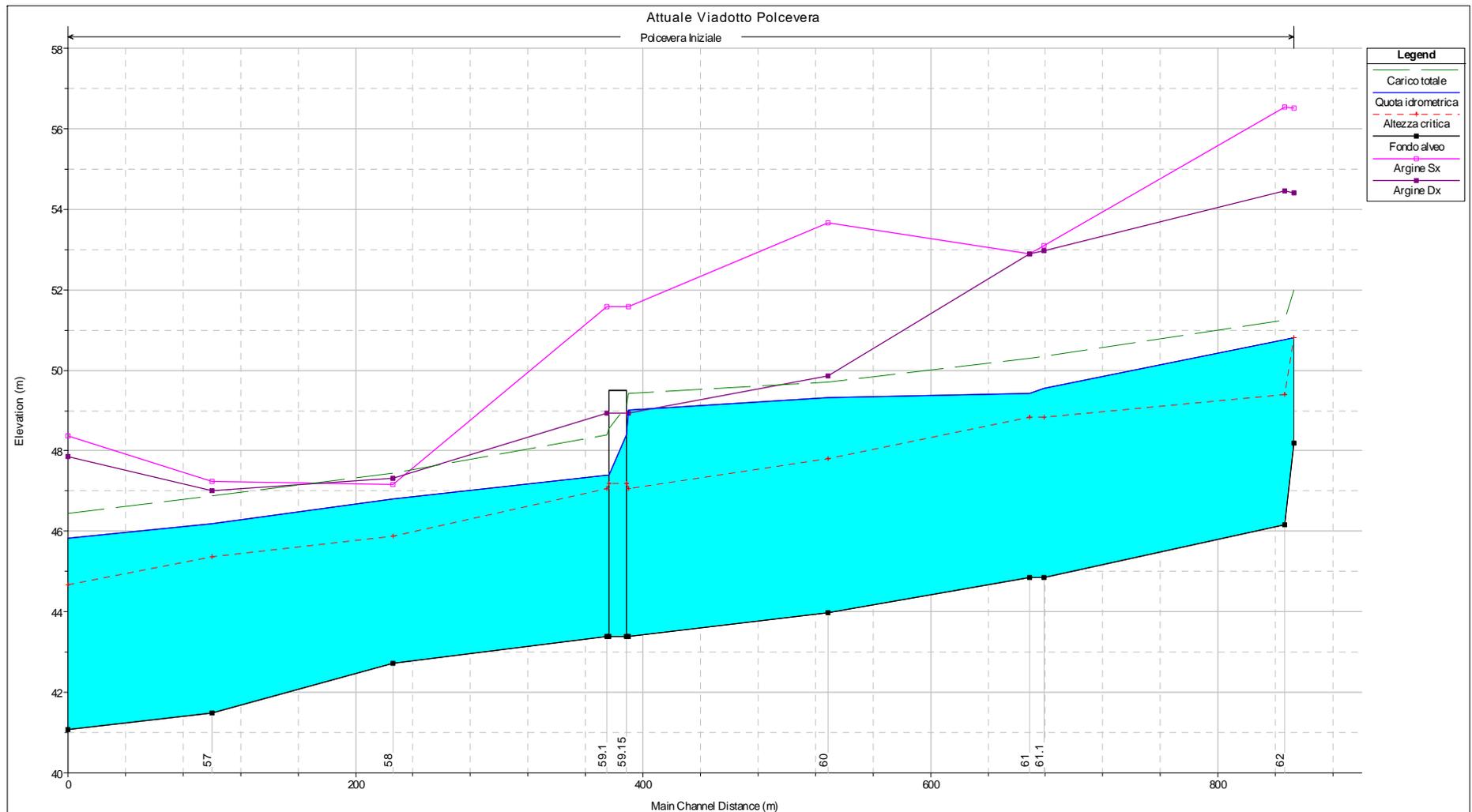


Figura 14 – Profilo idrometrico per tempo di ritorno 100 anni del torrente Polcevera nella situazione attuale.

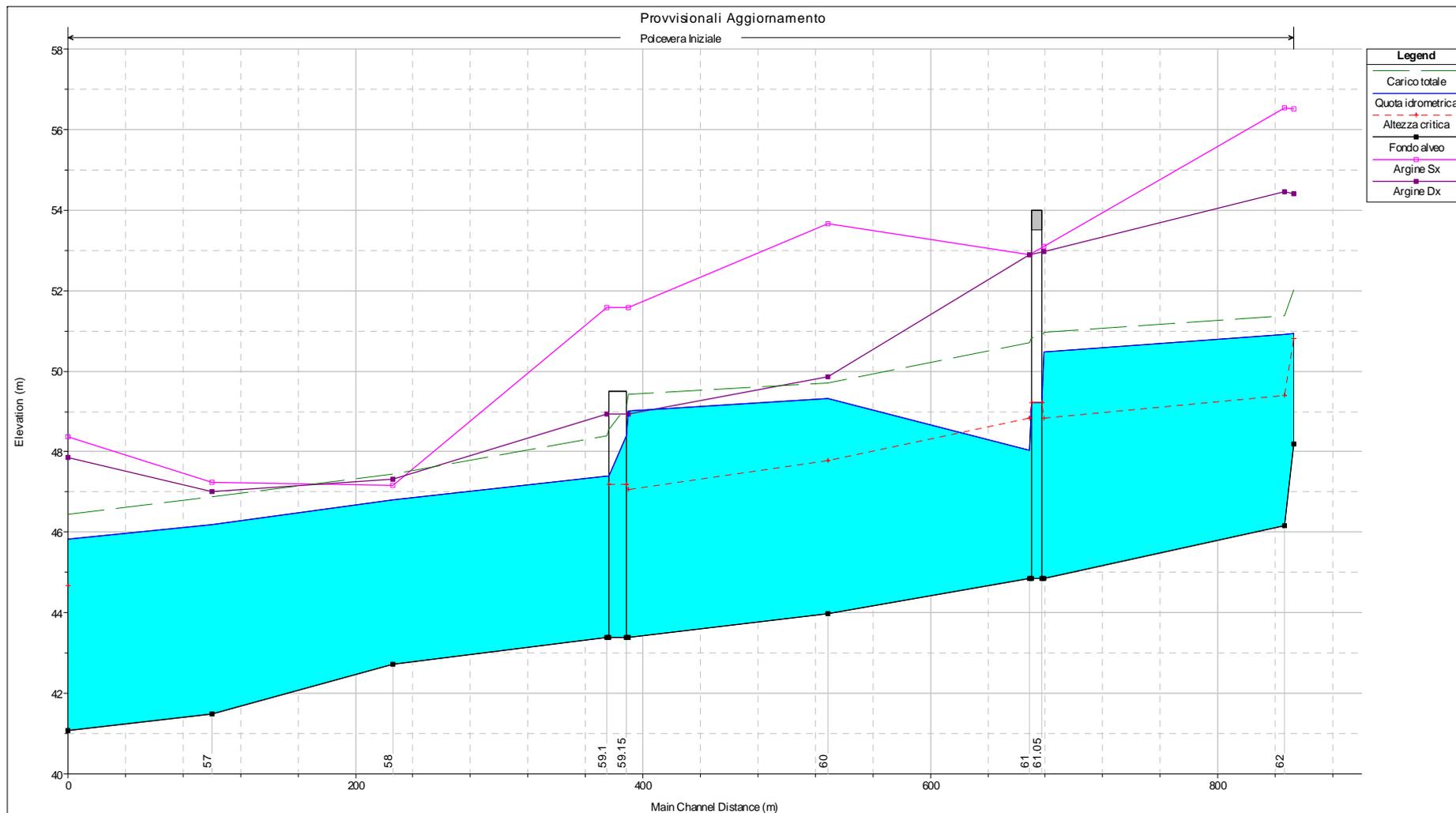


Figura 15 – Profilo idrometrico per tempo di ritorno 100 anni del torrente Polcevera nella situazione di cantierizzazione del viadotto strallato.

13.9 Analisi dello scalzamento al piede delle fondazioni

Lo scalzamento delle pile dei ponti è un complesso fenomeno idraulico legato al trasporto solido e all'erosibilità del materiale di fondo alveo.

Causa dell'erosione del fondo è il "vortice a ferro di cavallo" che si forma attorno alla pila per l'effetto localizzato della presenza di un ostacolo nella corrente idrica.

La dimensione del vortice e la massima profondità dell'erosione sono strettamente dipendenti dalle caratteristiche idrauliche della corrente, dalla forma geometrica dell'ostacolo e dalle caratteristiche del materiale di fondo alveo.

Il fenomeno di scalzamento è progressivo nel tempo ed è soggetto ad un'alternanza di condizioni di erosione e di deposito di materiale nella buca al piede della pila, determinata dal regime idrologico cui è soggetto il corso d'acqua e quindi dal manifestarsi di eventi caratterizzati da portate di entità differente.

La profondità massima che viene calcolata attraverso le formule rappresenta una condizione ultima di equilibrio cui tende il fenomeno: per tale motivo risulta sufficientemente cautelativo fare riferimento a condizioni idrodinamiche della corrente che abbiano probabilità di manifestarsi pari a quelle dell'evento di piena di progetto.

Sulla base di un'approfondita indagine di letteratura sulle formule empiriche ed i metodi di calcolo più diffusamente adottati per il calcolo della massima profondità di erosione prevedibile al piede delle pile dei ponti, sono stati scelti ed utilizzati i metodi di Yaroslavtziev, Holmes e Breusers.

Rispetto ad una copiosa parte di formulazioni riportate in letteratura che spesso legano il massimo scalzamento solamente alle dimensioni trasversali dell'ostacolo in alveo, le formule adottate tengono conto sia delle caratteristiche idrodinamiche di deflusso della corrente di piena di riferimento, che della granulometria del materiale di fondo, che dello sviluppo longitudinale delle opere di fondazione.

13.9.1 Condizioni fisiche di riferimento

Lo sviluppo del fenomeno di erosione al piede delle pile dei ponti è continuo nel tempo seguendo un trend di evoluzione temporale fortemente dipendente dalla variabilità delle condizioni idrologiche di contorno.

L'assegnazione di una portata di calcolo di riferimento risulta quindi problematica in quanto si tratta di assegnare una condizione sufficientemente cautelativa ma che al tempo stesso non abbia bassissima probabilità di manifestarsi.

La portata massima al colmo è un evento che si manifesta istantaneamente nel corso d'acqua, o almeno per il tempo di persistenza del colmo che è comunque una caratteristica idrologica molto differente da bacino a

bacino dipendendo dalla fenomenologia di formazione dell'onda di piena: per queste caratteristiche non risulterebbe quindi teoricamente adeguata al calcolo dello scalzamento.

I fenomeni di erosione in alveo sono comandati, secondo l'accezione scientifica attuale, da un valore di portata, detto "dominante", che è quello che determina la massima movimentazione di materiale di fondo nel tempo.

Tale valore della portata (che ad esempio per corsi d'acqua con caratteristiche idrologiche pedemontane corrisponde generalmente al valore del deflusso che ha mediamente persistenza in alveo per un quarto dell'anno, cioè la portata di morbida Q91 sulla scala di durata delle portate) non tiene però in conto l'effetto di scalzamento prodotto da eventi puntuali nel tempo particolarmente gravosi.

In definitiva, al fine di fare riferimento ad una condizione idrologica sufficientemente gravosa ma non tale da corrispondere ad un eccesso di cautela nel sovradimensionamento delle opere, si è adottata come condizione idraulica di riferimento per il calcolo dello scalzamento quella prodotta dal transito in condizioni stazionarie della portata di piena di progetto a tempo di ritorno 200 anni.

Di seguito si descrivono le formulazioni utilizzate per la valutazione dello scavo potenziale intorno alle fondazioni degli attraversamenti considerati.

13.9.2 Metodologie applicate

Formula di Breusers

La formula di Breusers è una delle espressioni recenti più diffusamente applicate nell'ingegneria per la valutazione dell'erosione localizzata al piede delle pile.

In effetti l'impostazione del metodo di calcolo e la dipendenza del fenomeno da una serie ben definita di caratteristiche idrauliche, geometriche e sedimentologiche del sito rappresentano lo stato più avanzato della pratica di calcolo, rimanendo i singoli parametri che determinano lo scalzamento oggetto di continue revisioni alla luce di nuovi risultati su sperimentazioni modellistiche di laboratorio e di nuovi dati di campo.

La formula proposta da Breusers è la seguente:

$$d_s = 2 \cdot b \cdot \tanh\left(\frac{Y_0}{b}\right) \cdot f_1 \cdot f_2 \cdot f_3 \cdot f_4, \quad [1]$$

nella quale:

d_s = profondità di scalzamento a partire dal fondo alveo medio locale;

Y_0 = profondità media della corrente indisturbata;

b = larghezza della pila;

f_1 = parametro che tiene conto della capacità erosiva della corrente in rapporto alla velocità critica di trasporto:

$f_1 = f(U/U_c)$:

$f_1 = 0$ per $U/U_c < 0.5$;

$f_1 = 2(U/U_c) - 1$ per $0.5 < U/U_c < 1.0$;

$$f_1 = 1 \quad \text{per } U/U_c > 1.0; \quad [2]$$

U= velocità della corrente indisturbata;

U_c= velocità critica della corrente:

$$U_c = 5 \cdot \sqrt{D}; \quad [3]$$

D= diametro caratteristico del materiale;

f₂= parametro che tiene conto della forma della pila:

f₂ = f(pila):

$$f_2 = 1 \quad \text{per pila circolare;}$$

$$f_2 = 0.75 \quad \text{per pila sagomata idraulicamente;}$$

$$f_2 = 1.30 \quad \text{per pila rettangolare;} \quad [4]$$

f₃= parametro di forma della pila:

$$f_3 = f(l/b, \alpha); \quad [5]$$

f₄= parametro che tiene conto dell' "effetto gruppo" e cioè della mutua vicinanza tra le pile attraverso il rapporto tra la larghezza della singola pila e l'interasse (da Elliot e Baker):

f₄ = f(x/b):

$$f_4 = 1 + \frac{1.79}{\left(\frac{x}{b} - 1\right)^{0.695}} \quad \text{per } x/b < 4;$$

$$f_4 = 2.95 - 0.278 \cdot \left(\frac{x}{b}\right) \quad \text{per } 4 < x/b < 7;$$

$$f_4 = 1 \quad \text{per } x/b > 7; \quad [6]$$

Il parametro f₃ è dato da un diagramma riportato in bibliografia da diversi Autori: per angolo di attacco della corrente nullo ($\alpha=0$) il parametro f₃ vale 1.

Formula di Holmes

Holmes, elaborando i dati del rilevamento diretto dello scalzamento di 36 ponti crollati in Nuova Zelanda, è pervenuto alla seguente formula:

$$H_s = H_{sl} + d_{s0}, \quad [7]$$

nella quale:

H_s= profondità di scalzamento valutata dalla quota di pelo libero della piena di riferimento;

H_{sl}= profondità dello scalzamento medio del fondo in corrispondenza della pila dovuto all'erosione generalizzata del fondo;

d_{s0}= profondità dell'erosione localizzata ai piedi della pila a partire dalla quota prodotta da H_{sl}.

Il termine H_{sl} è il maggiore tra i valori forniti dalle due seguenti espressioni:

$$H_{sl} = Y_0 \quad [8]$$

$$H_{sl} = y_r \cdot \frac{V_{o'}}{\left(\sqrt{g \cdot A/B} \cdot K_H\right)} \quad [9]$$

nelle quali:

Y₀= profondità della corrente di piena indisturbata;

y_r= differenza tra il livello idrico medio ed il livello di piena;

A= area della sezione trasversale della corrente indisturbata;

B= larghezza della sezione trasversale;

$V_{0'}$ = velocità caratteristica della corrente in piena:

$$V_{0'} = \frac{Q}{A} \cdot \left[\frac{Y_0}{\frac{A}{B}} \right]^{2/3} \cdot C_H ; \quad [10]$$

Q= portata di piena di calcolo;

C_H = parametro che vale 1,2 per correnti convergenti e 1,0 negli altri casi;

K_H = parametro che rappresenta la capacità di trasporto della corrente:

$$K_H = \sqrt{\frac{B}{B_r}} , \text{ nella quale:} \quad [11]$$

$$B_r = 4.85 \cdot \sqrt{Q} . \quad [12]$$

Il termine H_{sl} diventa efficace solamente quando si manifesta un reale e consistente abbassamento generalizzato del fondo, cioè quando:

$$\left(\frac{y_r \cdot V_{0'}}{\left(\sqrt{g} \cdot \frac{A}{B} \cdot K_H \right)} \right) - Y_0 > 0 . \quad [13]$$

Il termine d_{so} è dato dalla seguente espressione:

$$d_{so} = 0.8 \cdot \sqrt{(V_{0'} \cdot b)} , \quad [14]$$

nella quale:

b= dimensione trasversale caratteristica della pila, data dall'espressione:

$$b = b' \cdot f_3 ; \quad [15]$$

b'= larghezza della pila;

l= lunghezza della pila;

α = angolo di attacco della corrente;

f3= parametro di forma della pila:

$$f_3 = f(l/b , \alpha) . \quad [16]$$

Il parametro f3 è dato da un diagramma riportato in bibliografia da diversi Autori: per angolo di attacco della corrente nullo ($\alpha=0$) il parametro f3 vale 1.

Nell'applicazione sistematica della formula, al fine di assumere condizioni cautelative di verifica, si è considerato sempre un valore di y_r pari ad Y_0 , considerando totalmente l'effetto della piena di riferimento.

Formula di Yaroslavtziev

Yaroslavtziev, elaborando numerosi dati di scalzamento raccolti nell'ex Unione Sovietica, è pervenuto ad una formula avente la seguente espressione:

$$S = K_v \cdot K_f \cdot (e + K_h) \cdot \frac{v_0^2}{g} - 30 \cdot D85 \quad [17]$$

nella quale:

S= profondità di scalzamento a partire dal fondo alveo medio locale;

K_v = funzione del rapporto tra il termine cinetico della corrente e la larghezza efficace della pila:

$$K_v = f\left(\frac{v_0^2}{g \cdot bl}\right); \quad [18]$$

K_h = funzione del rapporto tra l'altezza media della corrente e la larghezza efficace della pila:

$$K_h = f\left(\frac{Y_0}{bl}\right); \quad [19]$$

K_f = funzione del rapporto di forma della pila (lunghezza divisa per la larghezza) e dell'angolo di attacco della corrente:

$$K_f = f\left(\frac{l}{b}, \alpha\right) \quad [20]$$

v_0 = velocità della corrente di piena;

Y_0 = altezza d'acqua della corrente di piena sul fondo naturale di riferimento;

b = larghezza della pila;

l = lunghezza della pila;

α = angolo di attacco della corrente;

bl = larghezza efficace della pila:

$$bl = (l-b) \sin \alpha + b \quad [21]$$

e = parametro che assume valore 1,0 per pile in alveo e 0,6 per pile in golena;

D85= dimensione caratteristica del materiale di fondo.

Per l'applicazione sistematica della formula è stato necessario interpolare linearmente, mediante procedura automatica di calcolo, tra i valori della tabella di Yaroslavtziev che rappresentano l'espressione di K_f [20], e monomizzare le espressioni di K_v [18] e di K_h [19] a partire dai grafici riportati nella pubblicazione originale dell'autore¹.

L'espressione [18] è riportata in un diagramma con asse delle ordinate logaritmico ed asse delle ascisse parabolico del terzo ordine; la forma monomia risulta la seguente:

$$K_v = 10^{\left[-0.283 \left(\frac{v_0^2}{g \cdot bl}\right)^{\frac{1}{3}} + 0.024\right]} \quad [22]$$

L'espressione [19] è riportata in un diagramma semilogaritmico sull'asse delle ordinate; la forma monomia risulta la seguente:

$$K_h = 10^{\left[-0.281 \left(\frac{Y_0}{bl}\right) + 0.096\right]} \quad [23]$$

¹ da MAGINI, R. & REMEDIA, G. "Fondazioni in alvei mobili. Scalzamento localizzato per sistemi di pile e tecniche di fondazione", XX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Padova, 1986.

L'applicazione del metodo di calcolo è stato effettuato sia in riferimento alla forma completa dell'espressione [17], sia tralasciando da tale espressione il secondo termine, dipendente dal diametro caratteristico del materiale, che determina una consistente riduzione della quota di scavo; in via cautelativa si è poi dichiarato il valore di scalzamento più elevato ottenuto dall'applicazione di entrambe le espressioni.

13.9.3 Schematizzazione geometrica

I calcoli dello scalzamento al piede delle fondazioni sono stati eseguiti per le strutture provvisorie legate ai seguenti cantieri:

- realizzazione del viadotto strallato sul nodo di confluenza Secca in Polcevera, in cui si è valutato lo scavo intorno alle pile (accoppiate di diametro 9,0 m) sia per la piena con tempo di ritorno 10 anni che per quella con tempo di ritorno 100 anni;
- realizzazione dello slurrydotto per il quale si è valutato lo scalzamento indotto dalla piena duecentennale calcolato per la sezione d'alveo più sollecitata.

L'applicazione delle tre formule sopra descritte ha richiesto l'introduzione di una serie di parametri geometrici ed idraulici rispettivamente relativi alla conformazione delle pile e alle condizioni di deflusso idrico nella sezione d'alveo in corrispondenza di ciascuna opera.

13.9.4 Dati di input relativi al cantiere del viadotto strallato sul nodo di confluenza Secca in Polcevera

Per quanto riguarda le caratteristiche geometriche delle pile sono state utilizzate le seguenti dimensioni:

- pile singole circolari di diametro pari a 9,00 m;
- interasse pile pari a 75,0 m.

Per le grandezze idrauliche caratterizzanti il deflusso nella sezione d'alveo in corrispondenza del viadotto sono stati assunti i valori risultanti dalle verifiche idrauliche nello stato di cantierizzazione.

Con riferimento alla simulazione TR=10 anni sono stati utilizzati i seguenti valori:

- portata di riferimento: 761 m³/s;
- livello idrico: 49,11 m s.m.;
- altezza d'acqua: 4,25 m;
- velocità media della corrente: 2,70 m/s;
- area bagnata della sezione: 285,95 m²;
- larghezza pelo libero: 99,45 m.

Con riferimento alla simulazione TR=100 anni sono stati utilizzati i seguenti valori:

- portata di riferimento: 1286 m³/s;
- livello idrico: 50,46 m s.m.;
- altezza d'acqua: 5,60 m;
- velocità media della corrente: 3,10 m/s;
- area bagnata della sezione: 422,00 m²;

- larghezza pelo libero: 99,80 m.

Infine, per quanto riguarda la granulometria del materiale di fondo alveo, si è considerato un diametro medio pari a 0,01 m.

13.9.5 Analisi dei risultati relativi al cantiere del viadotto strallato

Il calcolo dello scalzamento al piede è stato eseguito a partire da una quota di fondo alveo medio teorico corrispondente a 45,00 m s.m.; il valore di scavo più probabile per erosione, da adottare per il dimensionamento delle opere di difesa delle fondazioni esistenti, è stato assunto pari a quello risultante dalla media dei valori ottenuti applicando le tre formulazioni sopra descritte.

I risultati di scalzamento al piede considerando la portata con tempo di ritorno 10 anni sono i seguenti:

- Breusers $d_s = 7,92$ m;
- Holmes $d_s = 4,94$ m;
- Yaroslavtziev $d_s = 5,69$ m.

Lo scalzamento medio risulta pari a **6,18** m.

I risultati di scalzamento al piede considerando portata con tempo di ritorno 100 anni sono i seguenti:

- Breusers $d_s = 9,95$ m;
- Holmes $d_s = 10,96$ m;
- Yaroslavtziev $d_s = 7,20$ m.

Lo scalzamento medio risulta pari a **9,37** m.

Lo scalzamento medio di progetto da adottare nel dimensionamento delle fondazioni risulta:

- pari a circa **6,0 m** per piene con TR=10 anni; pertanto in riferimento alla quota di fondo alveo medio teorico assunta pari a **45,00 m s.m.** la quota massima teorica di scalzamento da assumere nei calcoli di dimensionamento delle opere in progetto è di circa **39,00 m s.m.**;
- pari a circa **9,0 m** per piene a TR=100 anni; pertanto in riferimento alla quota di fondo alveo medio teorico assunta pari a **45,00 m s.m.** la quota massima teorica di scalzamento da assumere nei calcoli di dimensionamento delle opere in progetto è di circa **36,00 m s.m.**.

13.9.6 Dati di input relativi al cantiere dello slurrydotto

Per quanto riguarda le caratteristiche geometriche delle pile che sostengono la struttura ospitante le tubazioni di smaltimento dei fanghi sono state utilizzate le seguenti dimensioni: pile singole circolari di diametro pari a 0,40 m.

Per le grandezze idrauliche caratterizzanti il deflusso nella sezione d'alveo in corrispondenza dello slurrydotto sono stati assunti i valori risultanti dalla verifica idraulica nello stato di cantierizzazione relativamente alla sezione più sollecitata (sez.52.20) caratterizzata da valori massimi di tirante e velocità in alveo.

Per le grandezze idrauliche caratterizzanti il deflusso nella sezione d'alveo in corrispondenza della sez.52.20 sono stati assunti i valori risultanti dalla verifica idraulica per tempo di ritorno 200 anni nello stato di cantierizzazione. Con riferimento a tale simulazione sono stati utilizzati i seguenti valori:

- portata di riferimento: 1622 m³/s;
- livello idrico: 42,74 m s.m.;
- altezza d'acqua: 6,88 m;
- velocità media della corrente: 4,20 m/s;
- area bagnata della sezione: 388,13 m²;
- larghezza pelo libero: 64,91 m.

Infine, per quanto riguarda la granulometria del materiale di fondo alveo, si è considerato un diametro medio pari a 0,01 m.

13.9.7 Analisi dei risultati relativi al cantiere dello slurrydotto

Il calcolo dello scalzamento al piede è stato eseguito a partire da una quota di fondo alveo medio teorico corrispondente a 35,90 m s.m.; il valore di scavo più probabile per erosione, da adottare per il dimensionamento delle opere di difesa delle fondazioni esistenti, è stato assunto pari a quello risultante dalla media dei valori ottenuti applicando le 3 formulazioni sopra descritte.

I risultati di scalzamento al piede sono i seguenti:

- Breusers $d_s = 0.80$ m;
- Holmes $d_s = 0.97$ m;
- Yaroslavtziev $d_s = 1.61$ m.

Come scalzamento di progetto si assume pertanto un valore pari a 1.0 m.

14. VIABILITÀ DI SERVIZIO

14.1 Viabilità VS3

14.1.1 Analisi idrologica

I bacini imbriferi dei rii interferenti con la viabilità di servizio VS3 (vedi Figura 16) hanno le seguenti superfici:

VS3-B1: S = 0,044 km².

VS3-B2: S = 0,042 km².

Considerando un contributo specifico di 40 m³/s km² si ottengono le seguenti portate di piena di riferimento con tempo di ritorno 200 anni:

VS3-B1: QTR200 = 1,8 m³/s.

VS3-B2: QTR200 = 1,7 m³/s.

Per le interferenze con la viabilità definitiva (VS3-A1 e VS3-A2) si rimanda all'elaborato IDR 0001.

I parametri fisiografici dei bacini in esame sono quelli indicati nel prospetto seguente e in particolare: la superficie del bacino (S); la lunghezza (L) e la pendenza (i) dell'asta principale; la quota massima (Hmax), minima (Hmin) e media (Hmed) del bacino; la pendenza dei versanti (y).

BACINO	S (km ²)	Hmax (m s.m.)	Hmed (m s.m.)	Hmin (m s.m.)	L (km)	i (%)	y (%)
VS3-B1	0,044	235	140	87	0,310	35	60
VS3-B2	0,042	265	150	90	0,420	35	60

Nel prospetto seguente sono invece indicati i valori del tempo di corrivazione calcolati con le varie formule considerate, avendo adottato inoltre per il parametro CN un valore pari a 75.

BACINO	GIANDOTTI	S.C.S.	VENTURA	PEZZOLI	PASINI
VS3-B1	0,22	0,08	0,05	0,03	0,04
VS3-B2	0,23	0,10	0,04	0,04	0,05

Assumendo un valore minimo di calcolo del tempo di corrivazione pari a 0,25 ore, applicando la formula razionale si ottengono i valori di portata di piena di assegnato tempo di ritorno indicati nella Tabella 23 seguente.

Tempo di ritorno (anni)	Q VS3-B1 (m ³ /s)	Q VS3-B2 (m ³ /s)
10	1,1	1,1
25	1,3	1,3
50	1,5	1,5
100	1,7	1,6
200	1,8	1,7

Tabella 23 – Portate di assegnato tempo di ritorno dei rii interferenti con la viabilità di servizio VS3.

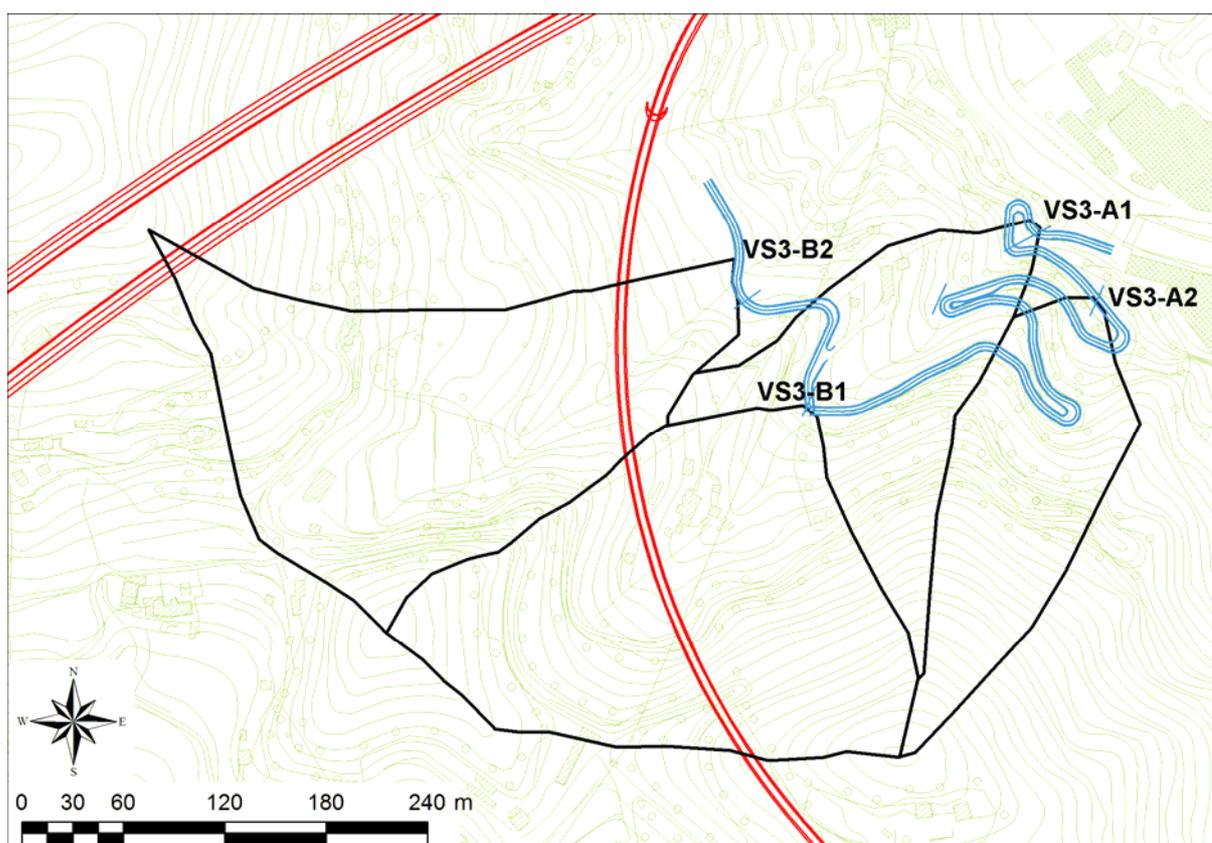


Figura 16 – Bacini imbriferi dei rii interferenti con la viabilità di servizio VS3.

14.1.2 Analisi idraulica dell'opera VS3-B1

Si riportano nel seguito i parametri di calcolo e i risultati della verifica idraulica condotta:

- dimensioni D 1600 mm ARMCO
- pendenza min. 0,01 m/m
- materiale ondulato metallico
- scabrezza $34 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$
- portata progetto (TR25) $1,3 \text{ m}^3/\text{s}$

- altezza critica 0,58 m
- altezza moto uniforme 0,65 m
- franco sicurezza 0,95 m

14.1.3 Analisi idraulica dell'opera VS3-B2

Si riportano nel seguito i parametri di calcolo e i risultati della verifica idraulica condotta:

- dimensioni D 1600 mm ARMCO
- pendenza min. 0,4186 m/m
- materiale ondulato metallico
- scabrezza $34 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$
- portata progetto (TR25) $1,3 \text{ m}^3/\text{s}$
- altezza critica 0,58 m
- altezza moto uniforme 0,26 m
- franco sicurezza 1,34 m

14.2 Viabilità VS5

14.2.1 Analisi idrologica

Il bacini imbriferi dei rii interferenti con la viabilità di servizio VS5 (vedi Figura 17) hanno le seguenti superfici:

VS5-T1:	S = 0,028 km ² ;
VS5-T2:	S = 0,032 km ² .
VS5-T3:	S = 0,009 km ² .

Considerando un contributo specifico di $40 \text{ m}^3/\text{s km}^2$ si ottengono le seguenti portate di piena di riferimento con tempo di ritorno 200 anni:

VS5-T1:	QTR200 = 1,2 m ³ /s;
VS5-T2:	QTR200 = 1,3 m ³ /s.
VS5-T3:	QTR200 = 0,4 m ³ /s.

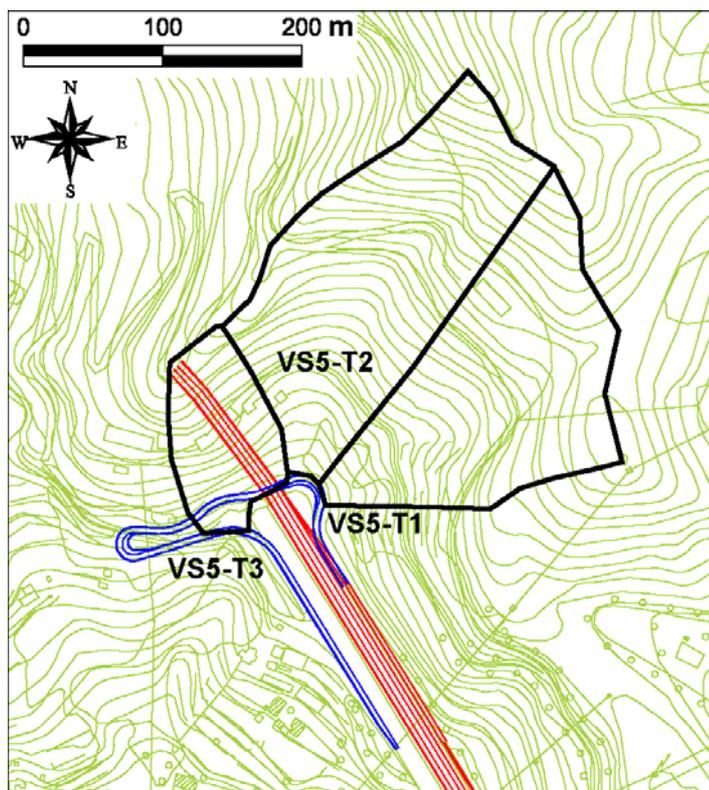


Figura 17 – Bacini imbriferi dei rii interferenti con la viabilità di servizio VS5.

I parametri fisiografici dei bacini in esame sono quelli indicati nel prospetto seguente e in particolare: la superficie del bacino (S); la lunghezza (L) e la pendenza (i) dell'asta principale; la quota massima (Hmax), minima (Hmin) e media (Hmed) del bacino; la pendenza dei versanti (y).

BACINO	S (km ²)	Hmax (m s.m.)	Hmed (m s.m.)	Hmin (m s.m.)	L (km)	i (%)	y (%)
VS5-T1	0,028	261	195	115	0,323	40	52
VS5-T2	0,032	280	195	115	0,337	40	52
VS5-T3	0,009	187	140	100	0,158	40	52

Nel prospetto seguente sono invece indicati i valori del tempo di corrivazione calcolati con le varie formule considerate, avendo adottato inoltre per il parametro CN un valore pari a 75.

BACINO	GIANDOTTI	S.C.S.	VENTURA	PEZZOLI	PASINI
VS5-T1	0,16	0,09	0,03	0,03	0,04
VS5-T2	0,17	0,09	0,04	0,03	0,04
VS5-T3	0,12	0,05	0,02	0,01	0,02

Assumendo un valore minimo di calcolo del tempo di corrivazione pari a **0,25** ore, applicando la formula razionale si ottengono i valori di portata di piena di assegnato tempo di ritorno indicati nella Tabella 24 seguente.

Tempo di ritorno (anni)	Q VS5-T1 (m ³ /s)	Q VS5-T2 (m ³ /s)	Q VS5-T3 (m ³ /s)
10	0,71	0,82	0,23
25	0,85	0,97	0,27
50	0,97	1,11	0,31
100	1,06	1,21	0,34
200	1,16	1,32	0,37

Tabella 24 – Portate di assegnato tempo di ritorno dei rii interferenti con la viabilità di servizio VS3.

14.2.2 Analisi idraulica dell'opera VS5-T1

Si riportano nel seguito i parametri di calcolo e i risultati della verifica idraulica condotta:

- dimensioni D 1600 mm ARMCO
- pendenza min. 0,026 m/m
- materiale ondulato metallico
- scabrezza $34 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$
- portata progetto (TR25) 0,85 m³/s
- altezza critica 0,46 m
- altezza moto uniforme 0,42 m
- franco sicurezza 1,18 m

14.2.3 Analisi idraulica dell'opera VS5-T2

Si riportano nel seguito i parametri di calcolo e i risultati della verifica idraulica condotta:

- dimensioni D 1600 mm ARMCO
- pendenza min. 0,0875 m/m
- materiale ondulato metallico
- scabrezza $34 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$
- portata progetto (TR25) 0,97 m³/s
- altezza critica 0,50 m
- altezza moto uniforme 0,33 m
- franco sicurezza 1,27 m

14.2.4 Analisi idraulica dell'opera VS5-T3

Si riportano nel seguito i parametri di calcolo e i risultati della verifica idraulica condotta:

- dimensioni D 1600 mm ARMCO

- pendenza min. 0,1666 m/m
- materiale ondolato metallico
- scabrezza $34 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$
- portata progetto (TR25) $0,27 \text{ m}^3/\text{s}$
- altezza critica 0,26 m
- altezza moto uniforme 0,16 m
- franco sicurezza 1,44 m

14.3 Viabilità VS6

14.3.1 Analisi idrologica

Il bacino imbrifero del rio interferente con la viabilità di servizio VS6 (vedi Figura 18), ha una superficie $S = 0,021 \text{ km}^2$.

Considerando un contributo specifico di $40 \text{ m}^3/\text{s km}^2$ si ottiene la portata di piena di riferimento con tempo di ritorno 200 anni:

$$Q_{TR200} = 0,9 \text{ m}^3/\text{s}.$$

I parametri fisiografici del bacino in esame sono quelli indicati nel prospetto seguente e in particolare: la superficie del bacino (S); la lunghezza (L) e la pendenza (i) dell'asta principale; la quota massima (Hmax), minima (Hmin) e media (Hmed) del bacino; la pendenza dei versanti (y).

S (km ²)	Hmax (m s.m.)	Hmed (m s.m.)	Hmin (m s.m.)	L (km)	i (%)	y (%)
0,021	216	160	85	0,285	30	50

Nel prospetto seguente sono invece indicati i valori del tempo di corrivazione calcolati con le varie formule considerate, avendo adottato inoltre per il parametro CN un valore pari a 75.

GIANDOTTI	S.C.S.	VENTURA	PEZZOLI	PASINI
0,15	0,08	0,03	0,03	0,04

Assumendo un valore minimo di calcolo del tempo di corrivazione pari a 0,25 ore, applicando la formula razionale si ottengono i valori di portata di piena di assegnato tempo di ritorno indicati nella Tabella 25 seguente.

Tempo di ritorno (anni)	Q (m ³ /s)
10	0,54
25	0,64
50	0,73
100	0,79
200	0,90

Tabella 25 – Portate di assegnato tempo di ritorno del rio interferente con la viabilità di servizio VS6.

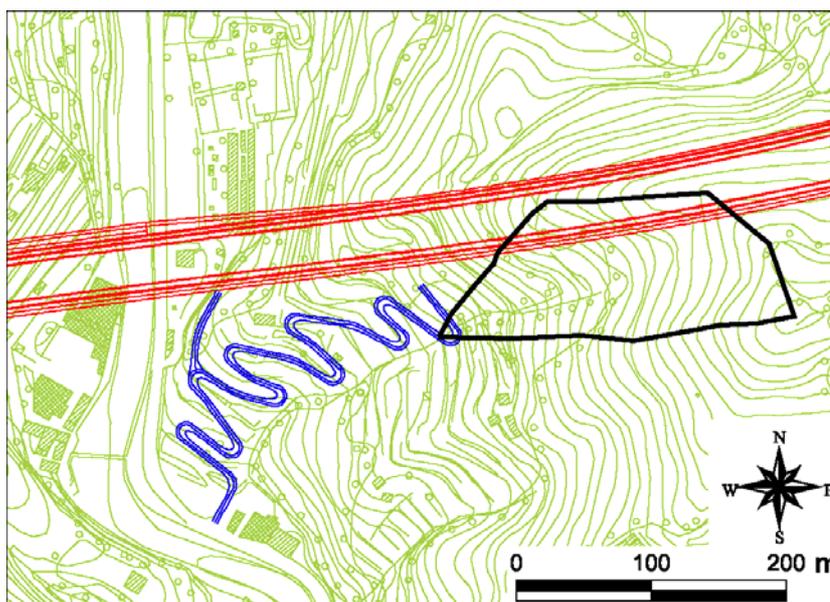


Figura 18 – Bacino imbrifero del rio interferente con la viabilità di servizio VS6.

14.3.2 Analisi idraulica dell'opera VS6

Si riportano nel seguito i parametri di calcolo e i risultati della verifica idraulica condotta:

- dimensioni D 1600 mm ARMCO
- pendenza min. 0,16 m/m
- materiale ondulato metallico
- scabrezza $34 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$
- portata progetto (TR25) $0,64 \text{ m}^3/\text{s}$
- altezza critica 0,39 m
- altezza moto uniforme 0,23 m
- franco sicurezza 1,37 m

14.4 Viabilità VS7

14.4.1 Analisi idrologica

Il bacino imbrifero del rio interferente con la viabilità di servizio VS7 (vedi Figura 19), ha una superficie $S = 0,325 \text{ km}^2$.

Considerando un contributo specifico di $40 \text{ m}^3/\text{s km}^2$ si ottiene la portata di piena di riferimento con tempo di ritorno 200 anni:

$$Q_{TR200} = 13,0 \text{ m}^3/\text{s}.$$

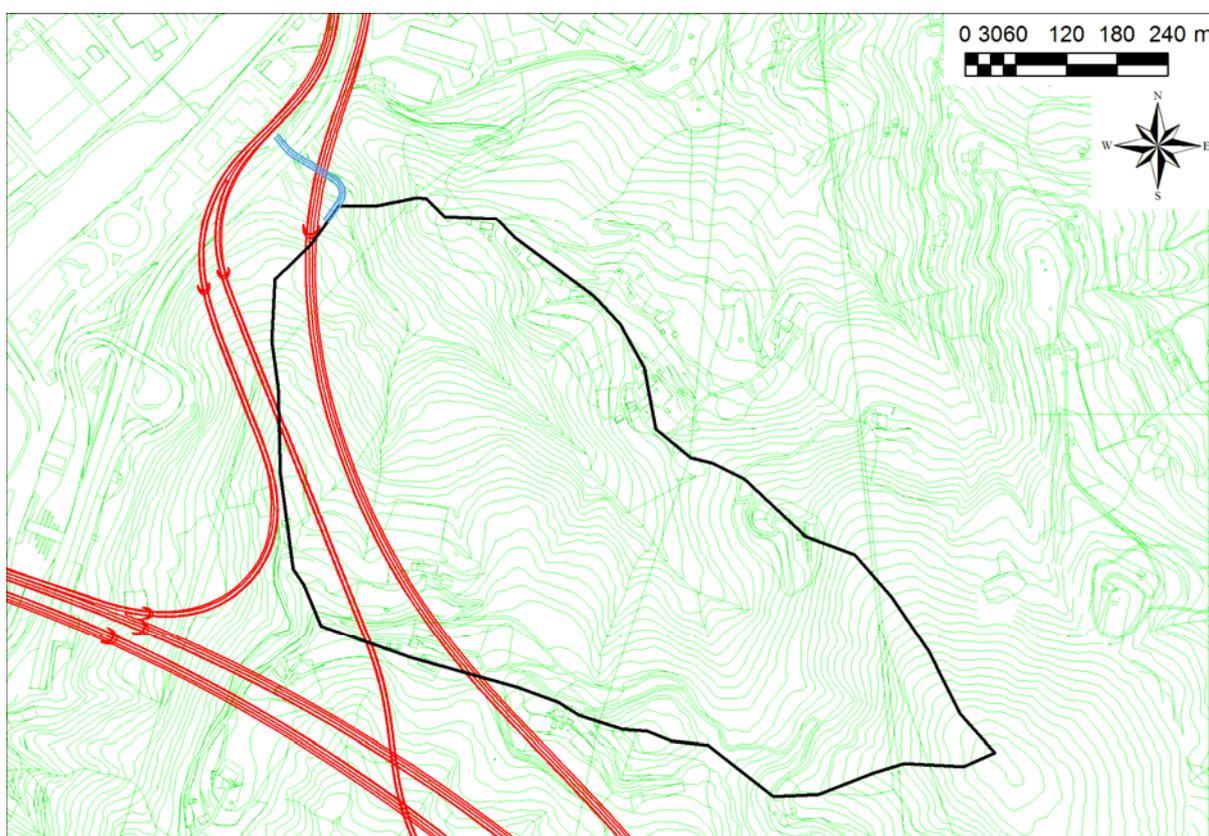


Figura 19 – Bacino imbrifero del rio interferente con la viabilità di servizio VS7.

I parametri fisiografici del bacino in esame sono quelli indicati nel prospetto seguente e in particolare: la superficie del bacino (S); la lunghezza (L) e la pendenza (i) dell'asta principale; la quota massima (H_{max}), minima (H_{min}) e media (H_{med}) del bacino; la pendenza dei versanti (y).

S (km^2)	H_{max} (m s.m.)	H_{med} (m s.m.)	H_{min} (m s.m.)	L (km)	i (%)	y (%)
0,325	340	175	60	1,100	19	42

Nel prospetto seguente sono invece indicati i valori del tempo di corrivazione calcolati con le varie formule considerate, avendo adottato inoltre per il parametro CN un valore pari a 75.

GIANDOTTI	S.C.S.	VENTURA	PEZZOLI	PASINI
0,46	0,26	0,17	0,14	0,18

Assumendo un valore medio di calcolo del tempo di corrivazione pari a **0,27** ore, applicando la formula razionale si ottengono i valori di portata di piena di assegnato tempo di ritorno indicati nella Tabella 26 seguente.

Tempo di ritorno (anni)	Q (m ³ /s)
10	8,0
25	9,6
50	10,9
100	11,9
200	13,0

Tabella 26 – Portate di assegnato tempo di ritorno del rio interferente con la viabilità di servizio VS7.

14.4.2 Analisi idraulica dell'opera VS7

Si riportano nel seguito i parametri di calcolo e i risultati della verifica idraulica condotta:

- dimensioni D 1600 mm ARMCO
- pendenza min. 0,073 m/m
- materiale ondulato metallico
- scabrezza $34 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$
- portata progetto (TR25) 9,6 m³/s
- altezza critica 1,49 m
- altezza moto uniforme 1,26 m
- franco sicurezza 0,34 m

ALLEGATO 1

Descrizione del codice di calcolo HEC-RAS

Il codice di calcolo HEC-RAS dell' U.S. Army Corps of Engineers consente di determinare il profilo idraulico, lungo un determinato tratto fluviale o canale artificiale, in condizioni di moto stazionario e vario.

Possono essere analizzate condizioni di moto in corrente lenta, condizioni di moto critiche e condizioni di regime misto.

Il codice di calcolo permette di descrivere in maniera dettagliata la geometria delle singole sezioni idrauliche, tenendo conto di scabrezze differenti non solo in diversi tratti del corso d'acqua, ma anche all'interno della stessa sezione, ad esempio per differenziare le zone golenali e il canale principale. Esso consente inoltre di modellizzare l'andamento meandriforme di un corso d'acqua, sia in ambito monodimensionale che quasi-2D, indicando differenti lunghezze del tratto che separa due sezioni adiacenti per la golenale in sponda sinistra, la golenale in sponda destra ed il canale principale.

Le ipotesi di base che caratterizzano il codice di calcolo sono:

- il moto della corrente è permanente e gradualmente variato;
- il deflusso della corrente è monodimensionale: le componenti della velocità nelle direzioni diverse da quella principale della corrente non vengono considerate; le equazioni utilizzate assumono che il carico totale è lo stesso per tutti i punti appartenenti ad una generica sezione;
- la pendenza del fondo alveo è limitata (inferiore a 1:10);
- la cadente è assunta costante tra due sezioni adiacenti;
- la geometria delle sezioni idrauliche è fissa.

Il programma di calcolo opera integrando le equazioni generali del moto secondo il metodo denominato nella letteratura anglosassone "Standard Step Method". Il processo di calcolo si sviluppa a seconda delle caratteristiche della corrente, lenta o veloce, dalla sezione estrema di valle o dalla sezione estrema di monte, dove vengono assegnate dall'utente le condizioni al contorno, e procede verso l'altro estremo.

In corrispondenza dei ponti o di eventuali canali a sezione chiusa, dove i meccanismi caratterizzanti il fenomeno sono più complessi, vengono utilizzati metodi di calcolo specifici.

L'equazione differenziale fondamentale del moto permanente, viene risolta nella seguente forma:

$$H_2 + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} = H_1 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + \Delta E \quad (1)$$

dove (si veda la figura 1):

- H_1, H_2 : quote assolute della superficie della corrente alle sezioni 1 e 2;
- v_1, v_2 : velocità medie della corrente (portata totale/area totale bagnata);
- α_1, α_2 : coefficienti di ragguglio della potenza cinetica (coefficienti di Coriolis);
- ΔE : perdita di carico tra le sezioni 2 e 1.

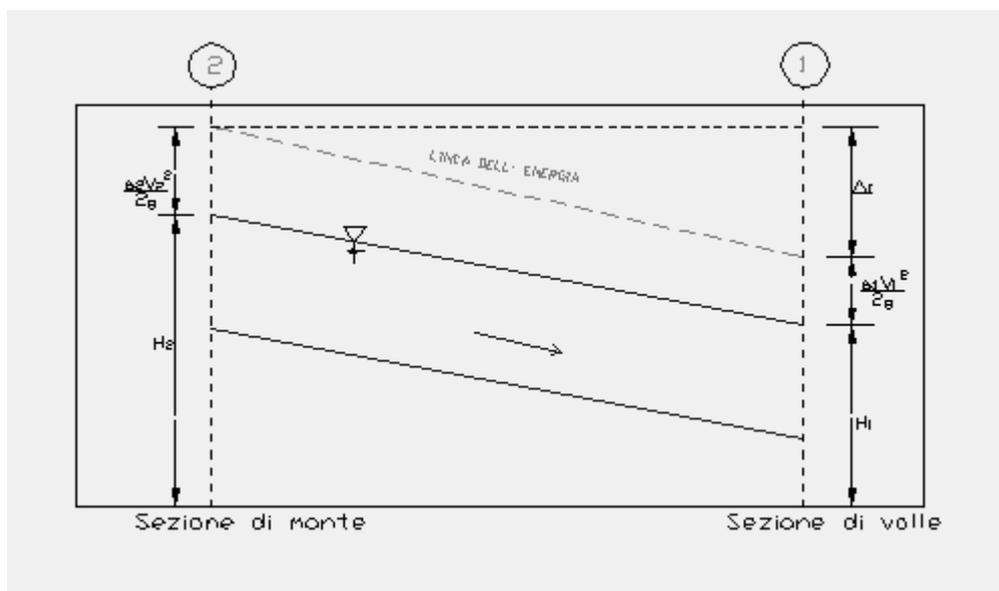


Figura 1: Grandezze presenti nell'equazione dell'energia.

La perdita di carico tra due sezioni è data dalla somma delle perdite distribuite lungo il tratto d'alveo compreso tra le due sezioni e le eventuali perdite dovute alla contrazione o alla espansione della corrente. L'espressione che permette il calcolo della perdita di carico risulta:

$$\Delta E = L \cdot J + C \cdot \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \quad (2)$$

dove:

- L : lunghezza del tratto d'alveo in esame;
- J : cadente piezometrica;
- C : coefficiente che tiene conto dei fenomeni di contrazione ed espansione della corrente.

La distanza L tra due successive sezioni viene valutata con la seguente espressione:

$$L = \frac{L_{gs} Q_{qs} + L_c Q_c + L_{gd} Q_{qd}}{Q_{qs} + Q_c + Q_{qd}} \quad (3)$$

dove:

- L_{gs} , L_{gd} , L_c : distanza percorsa dalla corrente rispettivamente in golena sinistra, destra e nel canale principale;
- Q_{gs} , Q_{gd} , Q_c : portate rispettivamente defluite alla sezione terminale in golena sinistra, destra e nel canale principale.

La cadente piezometrica può essere ricavata attraverso la seguente espressione:

$$J = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{k_1 + k_2} \right)^2 \quad (4)$$

essendo:

- Q_1, Q_2 : portata transitata rispettivamente alla sezione 1 e alla sezione 2;
- k_1, k_2 : capacità di deflusso (conveyance) totale rispettivamente associata alla sezione 1 e alla sezione 2.

La capacità di deflusso è calcolabile attraverso la seguente espressione:

$$k = \frac{1}{n} AR^{2/3} \quad (5)$$

essendo:

- n : coefficiente di Manning;
- A : area bagnata;
- R : raggio idraulico.

La capacità di deflusso complessiva di una determinata sezione è data dalla somma delle capacità di deflusso delle due golene e del canale principale. Ciascuna parte con cui si è idealmente suddivisa la sezione idraulica è infatti caratterizzata, una volta noto o ipotizzato il tirante idrico, da una determinata area bagnata e raggio idraulico; da qui la possibilità di applicare la (5) per calcolare la capacità di deflusso per la golena in sponda destra, sinistra e per il canale principale.

Il coefficiente di ragguglio della potenza cinetica (coefficiente di Coriolis) viene calcolato attraverso la seguente espressione:

$$\alpha = \left(\frac{k_{gs}^3}{A_{gs}^2} + \frac{k_c^3}{A_c^2} + \frac{k_{gd}^3}{A_{gd}^2} \right) \frac{A_t^2}{k_t^3} \quad (6)$$

dove:

- A_t, A_{gs}, A_{gd}, A_c : rispettivamente area totale bagnata della sezione, area bagnata in golena destra, in golena sinistra e nel canale principale;
- k_t, k_{gs}, k_{gd}, k_c : rispettivamente capacità di deflusso della sezione nel suo complesso, per la golena sinistra, la golena destra e per il canale principale.

Il coefficiente C viene introdotto per tenere in conto delle perdite energetiche dovute ai fenomeni di espansione o di contrazione della corrente. Esso viene definito dall'utente, sezione per sezione, in funzione delle caratteristiche del fenomeno di transizione. I valori tipici di tale coefficiente vengono indicati nella tabella 1.

Descrizione	Coefficiente di contrazione	Coefficiente di espansione
Nessuna perdita per contrazione o espansione	0,0	0,0
Transizione graduale	0,1	0,3
Ponti	0,3	0,5
Transizioni molto brusche	0,6	0,8

Tabella 1 - Valori tipici del coefficiente C.

La risoluzione delle equazioni (1) e (2) attraverso un procedimento iterativo permette di determinare l'andamento del profilo idrico in moto permanente una volta assegnate le caratteristiche geometriche e fisiche dell'alveo e le condizioni ai limiti del problema.

Il processo di risoluzione è volto essenzialmente ad individuare quel tirante idrico (nella sezione in cui esso non risulta già noto o calcolato in precedenza) che permette di verificare il bilancio energetico, espresso dalla (1), a meno di una tolleranza prefissata e ritenuta soddisfacente dall'utente. Per i dettagli di calcolo si rinvia alla documentazione del codice di calcolo.

Nei casi in cui si verifica il passaggio attraverso lo stato critico, l'equazione dell'energia (1) non può essere applicata in quanto la transizione tra moto in corrente lenta e moto in corrente veloce e viceversa non rispetta le ipotesi di moto gradualmente variato. Ciò può, ad esempio, verificarsi in seguito a elevati cambi di pendenza o alla presenza di forti restringimenti della sezione idraulica. In questi casi il codice di calcolo permette di risolvere il problema utilizzando o delle formule empiriche oppure l'equazione del momento.

In particolare l'equazione del momento può essere applicata, nel codice di calcolo HEC-RAS in tre differenti situazioni:

- presenza di un risalto idraulico;
- condizioni di deflusso attraverso un ponte senza che si generi un processo di moto in pressione;
- immissione di una corrente in un'altra corrente.

Senza entrare nei particolari, per i quali si rimanda alla letteratura specializzata ed al manuale scientifico del codice di calcolo, è qui il caso solo di riportare l'equazione del momento applicata ad una determinata massa d'acqua compresa tra due sezioni distinte 1 e 2:

$$P_1 - P_2 + W_x - F_f = Q \cdot \rho \cdot \Delta V_x \quad (7)$$

dove (vedi figura 2):

- P_i : forza legata alla pressione idrostatica agente sulle sezioni 1 e 2;
- W_x : forza peso proiettata nella direzione del moto;
- F_f : forza legata agli attriti;
- Q : portata;
- ρ : densità dell'acqua;
- ΔV_x : variazione di velocità nella direzione del moto.

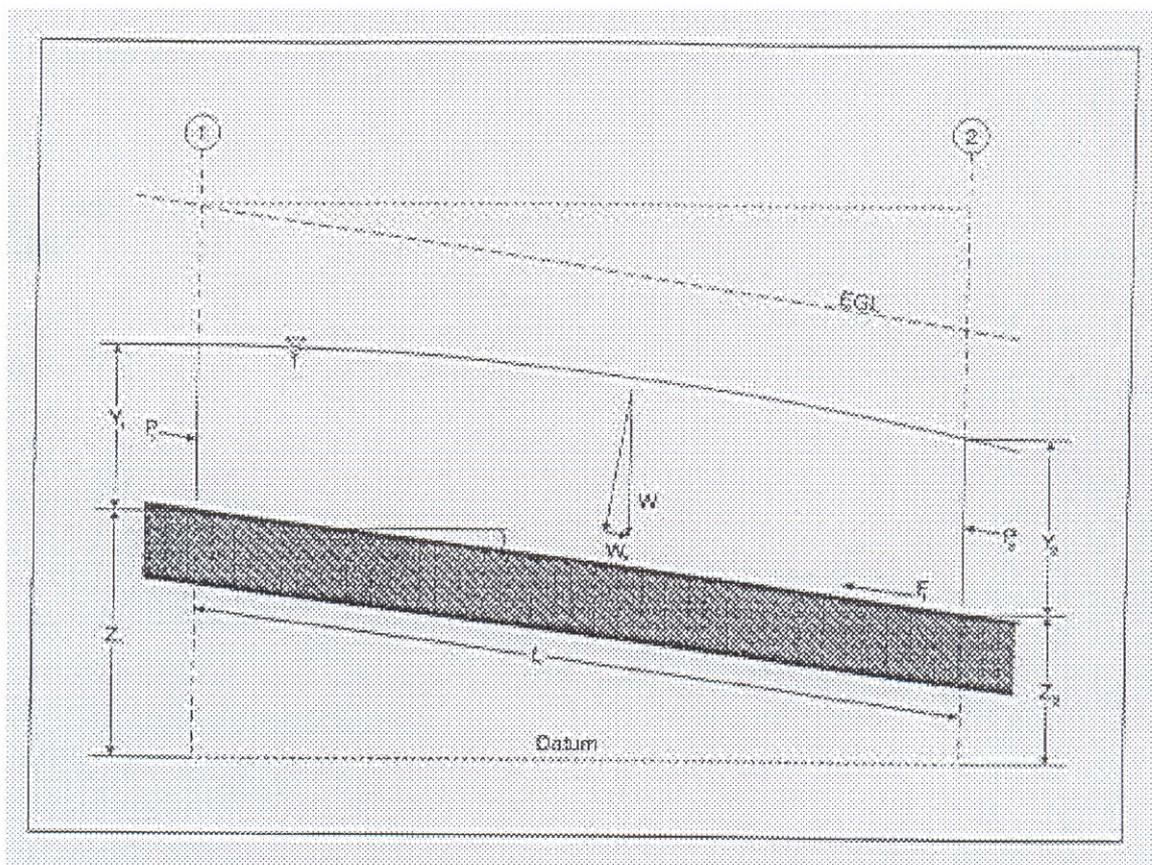


Figura 2 - Elementi caratteristici dell'equazione del momento.

In corrispondenza dei ponti, dove i meccanismi caratterizzanti il fenomeno sono più complessi, vengono utilizzati metodi di calcolo specifici. Il codice di calcolo permette di considerare l'intera gamma di condizioni che possono generarsi in un processo di deflusso attraverso un ponte. Tali condizioni sono di seguito riportate:

- la corrente non viene in contatto con l'intradosso del ponte (Low flow);
- la corrente viene in contatto con l'intradosso del ponte (Pressure/Weir flow).

La prima condizione a sua volta prevede i seguenti casi:

- la corrente si mantiene lenta durante l'attraversamento del ponte (Class A low flow);
- la corrente transita attraverso la profondità critica (Class B low flow);
- la corrente si mantiene veloce durante l'attraversamento del ponte (Class C low flow).

La seconda condizione prevede a sua volta i seguenti casi:

- il ponte risulta in pressione (Pressure flow);
- il ponte viene sormontato (Pressure and Weir flow).

Le perdite energetiche caratteristiche del deflusso attraverso la struttura comprendono:

- le perdite che si sviluppano nei tratti immediatamente a monte e a valle del manufatto; tali perdite sono dovute essenzialmente ai processi di contrazione ed espansione della corrente;

- le perdite che si generano proprio nel processo di deflusso attraverso la struttura.

In funzione delle condizioni di deflusso che vengono a crearsi, si applicano metodi di calcolo differenti per valutare le perdite di carico e quindi l'andamento del profilo idraulico nell'intorno della struttura.

Il codice di calcolo permette di risolvere i problemi relativi al deflusso di portata anche attraverso i tombini. La risoluzione di tali problemi si fonda sull'approccio teorico proposto nella letteratura specializzata (cfr. *"Open Channel Hydraulics"*, V.T.Chow).

Il tipo di deflusso attraverso un tombino può essere catalogato come deflusso con sezione di controllo presso l'imbocco (in seguito **"inlet control"**) o con sezione di controllo presso l'uscita (**"outlet control"**).

Nel caso di **"inlet control"** la capacità del tombino dipende dal carico idraulico alla sezione di approccio, dalla geometria della sezione di ingresso, dal tipo di imbocco. La scabrezza del tombino, la sua lunghezza e pendenza, le condizioni idrauliche del ricettore di valle non sono elementi determinanti in grado di influenzare la capacità di deflusso.

Nel caso di **"outlet control"** gli elementi determinanti per fissare la capacità idraulica del tombino sono, oltre a quelli caratteristici del caso precedente, la lunghezza, la pendenza e la scabrezza del tombino e le caratteristiche idrauliche del ricettore di valle.

Il codice di calcolo risolve generalmente il problema calcolando, per la portata fissata dall'utente, il tirante idrico nella sezione di approccio al tombino utilizzando sia le equazioni adatte ai casi di **"inlet control"** sia quelle per i casi di **"outlet control"**. Si assume quindi che la soluzione sia quella cui è associato il massimo tirante idrico.

Nei casi di **"inlet control"** il tirante idrico a monte del tombino viene calcolato schematizzando il moto della corrente come quello che si genera sotto una paratoia a battente. Nei casi di **"outlet control"** il tirante idrico a monte del tombino viene calcolato a partire dal tirante idrico alla sezione di sbocco del tombino e considerando le perdite energetiche concentrate e distribuite che si determinano nel processo di deflusso.