

**NUOVA LINEA TORINO LIONE - NOUVELLE LIGNE LYON TURIN
PARTE COMUNE ITALO-FRANCESE - PARTIE COMMUNE FRANCO-ITALIENNE**

**LOTTO COSTRUTTIVO 1 / LOT DE CONSTRUCTION 1
CANTIERE OPERATIVO 02C/CHANTIER DE CONSTRUCTION 02C
RILOCALIZZAZIONE DELL'AUTOPORTO DI SUSÀ
DEPLACEMENT DE L'AUTOPORTO DE SUSE
PROGETTO ESECUTIVO - ETUDES D'EXECUTION
CUP C11J05000030001 - CIG 682325367F**

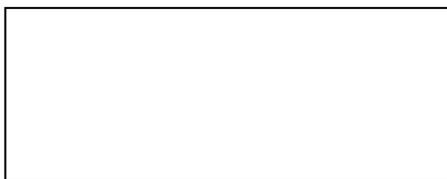
IDROLOGIA E IDRAULICA

RELAZIONE DI DIMENSIONAMENTO OPERE DI PRESIDIO IDRAULICO

Indice	Date/ Data	Modifications / Modifiche	Etabli par / Concepito da	Vérifié par / Controllato da	Autorisé par / Autorizzato da
0	30/04/2017	Première diffusion / Prima emissione	L. MARTINA (TEKNE DI MARTINA E ASS.)	L.BARBERIS (MUSINET Eng.)	F. D'AMBRA (MUSINET Eng.)
A	31/08/2017	Revisione a seguito commenti TELT Révision suite aux commentaires TELT	L. MARTINA (TEKNE DI MARTINA E ASS.)	L.BARBERIS (MUSINET Eng.)	F. D'AMBRA (MUSINET Eng.)
B	30/04/2018	Recepimento istruttoria validazione RINA Check	R. BOERO (MUSINET ENG.)	L.BARBERIS (MUSINET ENG.)	L.BARBERIS (MUSINET ENG.)

1	0	2	C	C	1	6	1	6	7	O	I	A	0	O	C
Lot Cos. Lot.Con.	Cantiere operativo/ Chantier de construction		Contratto/Contrat				Opera/Oeuvre			Tratto Tronçon	Parte Partie				

E	I	D	R	E	0	0	9	1	B
Fase Phase	Tipo documento Type de document		Oggetto Object		Numero documento Numéro de document			Indice Index	



SCALA / ÉCHELLE
-

I PROGETTISTI/LES DESIGNERS



Dott. Arch. Corrado GIOVANNETTI
Albo di Torino
N° 2736

L'APPALTATORE/L'ENTREPRENEUR

IL DIRETTORE DEI LAVORI/LE MAÎTRE D'ŒUVRE

SOMMAIRE / INDICE

1. INTRODUZIONE	3
2. VERIFICA SCARICATORE	4
2.1 Modello di calcolo	5
2.2 Definizione della geometria e dei parametri del modello.....	6
2.3 Esecuzione della simulazione	6
2.4 Analisi dei risultati.....	10
3. VERIFICA OPERE DI PROTEZIONE SPONDALE	12
3.1 Premessa	12
3.2 modalità di deflusso in piena	13
3.3 Definizione della geometria dell'alveo.....	14
3.4 condizioni al contorno	15
3.5 coefficiente di scabrezza.....	15
3.6 Definizione della portata di progetto	15
3.7 definizione dei livelli idrometrici	16
3.8 Verifica dei tiranti idrometrici in corrispondenza della difesa	17
3.9 Verifica difesa profonda	18
3.9.1 Determinazione della velocità critica di erosione	18
3.9.2 Determinazione del potenziale abbassamento del fondo alveo	18
3.9.3 Analisi dei risultati	20
4. ALLEGATO 1 – MODELLO HEC RAS DORA	21

LISTE DES FIGURES / INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 – planimetria di inquadramento del manufatto scaricatore (rif. Cod. OIA0_O_C_E_ID_PL_2033_0).....	4
Figura 2 – sezione tipo opera di difesa spondale	13
Figura 3 – planimetria di individuazione delle sezioni idrauliche su CTR.....	14
Figura 4 – planimetria di individuazione delle sezioni idrauliche su DTM.....	15

1. Introduzione

Il presente relazione di dimensionamento delle opere di presidio idraulico è relativa al progetto esecutivo delle opere connesse con la rilocalizzazione dell'autoporto di Susa, che si compone essenzialmente di:

- realizzazione del nuovo Autoporto in località San Didero, in adiacenza all'autostrada A32;
- realizzazione delle relative rampe e viabilità di raccordo tra l'autostrada, l'autoporto e la viabilità minore.
- Realizzazione dei fabbricati di servizio dell'autoporto.

Nel documento si è proceduto al dimensionamento idraulico ed alla verifica di:

- Manufatto scaricatore delle acque a monte dell'autoporto;
- opere di difesa idraulica delle fondazioni delle pile e della scarpata di sostegno del rilevato dell'A32

2. Verifica scaricatore

Detto collettore di scarico ha lo scopo di smaltire le acque di esondazione della Dora e del reticolo minore che tenderebbero ad accumularsi a monte del nuovo piazzale, in prossimità della rotonda di accesso.

Lo scaricatore è costituito da un'opera d'imbocco realizzata con un manufatto in c.a. e una tubazione in calcestruzzo armato con incastro a mezzo spessore e anello di tenuta in neoprene, del diametro di mm 1500. La tubazione avrà una lunghezza complessiva di circa 574 m, compreso l'attraversamento della A32 realizzato con la tecnica dello spingitubo.



Figura 1 – planimetria di inquadramento del manufatto scaricatore (rif. Cod. OIA0_O_C_E_ID_PL_2033_0)

2.1 Modello di calcolo

Autodesk Storm and Sanitary Analysis (SSA) è un pacchetto di modellazione avanzata per l'analisi e la progettazione di sistemi di drenaggio urbano delle acque piovane e delle fognature. Si basa sul motore di SWMM EPA a cui si aggiungono importanti funzioni di importazione, esportazione ed analisi che ne consentono la piena integrazione con ambienti CAD e GIS.

SSA è un modello di simulazione afflussi-deflussi dinamico, utilizzabile per singolo evento o per eventi a lungo termine (continua), può simulare sia la quantità che la qualità del deflusso dalle aree, prevalentemente urbane.

Il software offre la possibilità di compiere calcoli e simulazioni di tipo idraulico (grazie alla risoluzione e integrazione numerica in forma completa delle equazioni di De Saint Venant) su una rete di canali o condotte, sollecitata da fenomeni meteorici o da ingressi di natura diversa.

Le equazioni di De Saint Venant fanno riferimento all'equazione del moto (ovvero teorema di Bernoulli applicato alle correnti di moto vario) ed all'equazione di continuità applicata alle correnti.

$$\begin{cases} \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{u}{g} \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{1}{g} \frac{\partial u}{\partial t} = i - J \\ \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \end{cases}$$

Dove i termini corrispondono a:

Q portata

A area

u velocità

h altezza d'acqua

i gradiente idraulico

J cadente idraulica

Le equazioni di De Saint Venant per il moto vario (dipendente dal tempo) si basano su 3 ipotesi fondamentali:

- 1) Corrente gradualmente variata o lineare e quindi distribuzione idrostatica delle pressioni.
- 2) Ipotesi di sezioni trasversali piane e verticali e quindi piezometrica della corrente coincidente con il pelo libero.
- 3) Fluido incomprimibile (per l'acqua questo punto è sempre verificato tranne nel caso di colpo d'ariete).

Come detto il solutore SSA è in grado di risolvere in forma esatta il sistema di equazioni.

La componente deflusso opera su un insieme di sottobacini che ricevono precipitazioni e generano il deflusso ed i carichi inquinanti.

La funzione di routing simula il transito del deflusso attraverso un sistema di tubi, canali, dispositivi di stoccaggio, trattamento, pompe e regolatori. Viene considerata la quantità e la

qualità del deflusso generato all'interno di ogni sottobacino e la portata del flusso e la qualità dell'acqua in ogni tubo e canale, durante un periodo di simulazione comprendente più fasi temporali.

2.2 Definizione della geometria e dei parametri del modello

La geometria e le caratteristiche dei materiali sono state importate direttamente dal modello di progetto, realizzato in Autodesk Civil3D. La tubazione di scarico sarà realizzata in cls Ø1500 mm, con pendenza media pari a 0.5% e scabrezza (n di Manning) pari a 0.013.

E' stato inoltre imposto, a livello di modello idraulico, un tratto di canale a cielo aperto per simulare il manufatto di imbocco.

La portata che il canale scaricatore deve smaltire è stata calcolata in 4.53 mc/s, per i dettagli sulla metodologia di calcolo si rimanda alla "relazione idrologica e di compatibilità idraulica". (elab. OIA0_O_C_E_ID_RE_0090_0)

Il livello della Dora, in corrispondenza della piena duecentennale, è stato calcolato mediante la realizzazione di un modello idraulico di dettaglio in corrispondenza del tratto interessato dalle opere in progetto. Detto valore è pari a 402.51 m slm. (paragrafo 3.3 del presente documento)

2.3 Metodo di calcolo per la modellazione idraulica

I metodi di calcolo adottati per l'analisi idraulica della rete sono:

- Kinematic Wave: Il metodo risolve l'equazione di continuità, insieme ad una forma semplificata dell'equazione di momento in ogni canale o tubazione. L'equazione di momento richiede che la pendenza del pelo libero si uguale alla pendenza del fondo scorrevole.
- Hydrodynamic: il metodo risolve l'equazione di flusso monodimensionale di De Saint Venant e produce un risultato maggiormente accurato, di contro necessita di lunghi tempi di elaborazione e minor stabilità del modello numerico per geometrie complesse.

Il metodo Kinematic wave è stato adottato per lo Scenario 1, in cui lo sbocco in Dora risulta non sommerso; il metodo hydrodynamic è stato, invece, impiegato nello scenario 2, ove in cui è stato necessario valutare l'effetto di un carico idraulico a valle del sistema, come nel caso di sbocco sommerso.

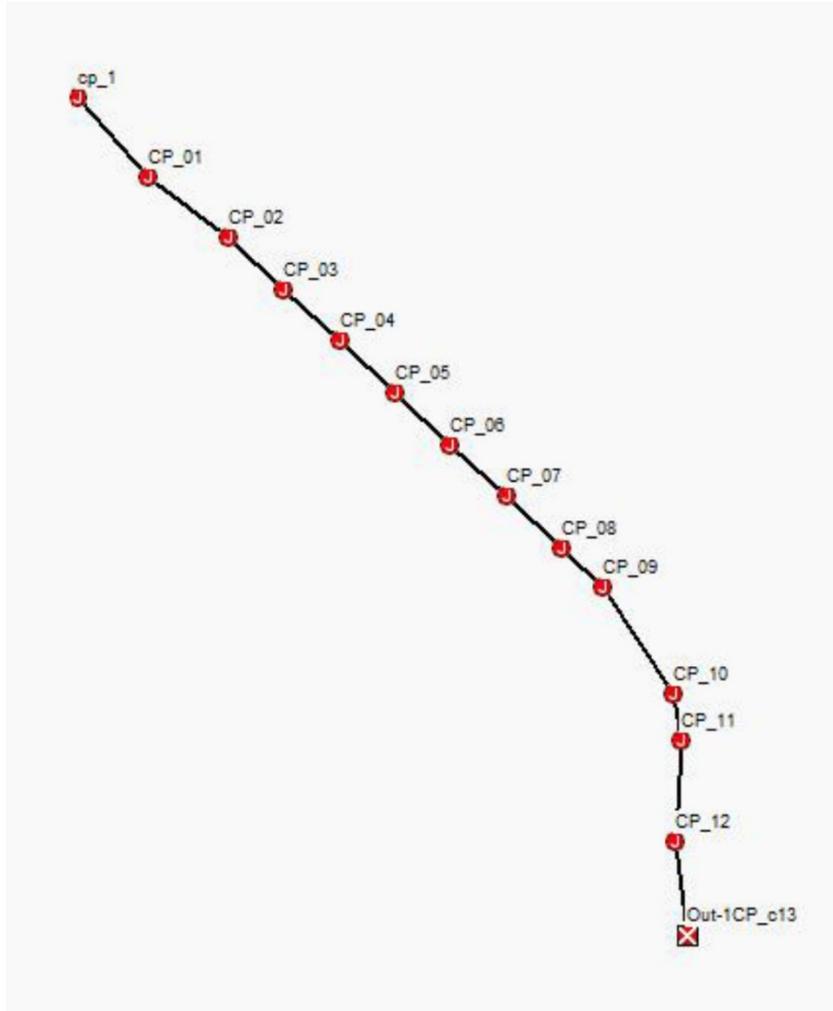
2.4 Esecuzione della simulazione

Per la valutazione della reale efficienza del manufatto le analisi sono state condotte secondo due diversi scenari:

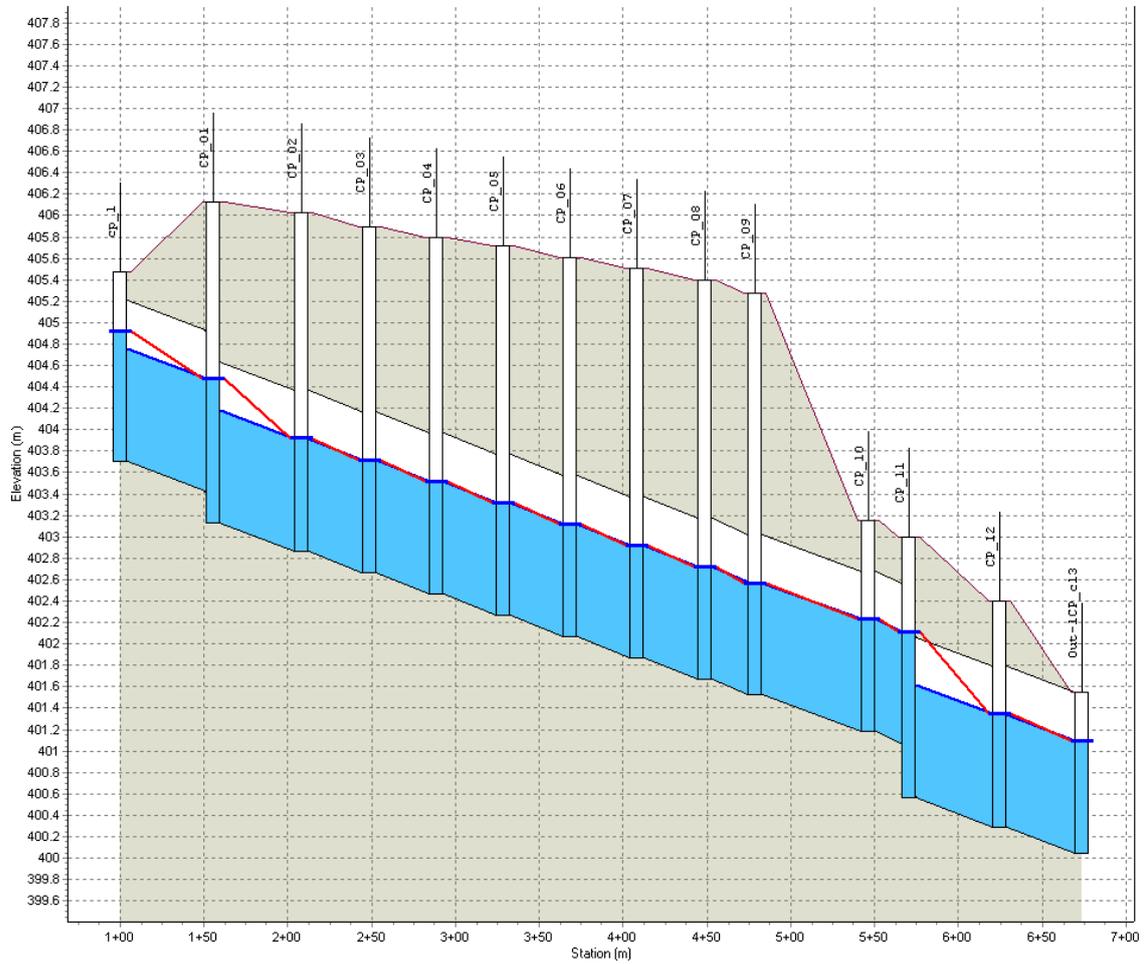
- scenario 1: smaltimento della portata di progetto e scarico in dora libero (metodo Kinematic wave)
- scenario 2: concomitanza smaltimento della portata di progetto e livello di Dora con livello tr200 (metodo Hydrodynamic)

Si è, inoltre, impostato un tempo di simulazione pari all'ora, al fine di eliminare gli effetti iniziali di riempimento della condotta.

Planimetria del modello di calcolo



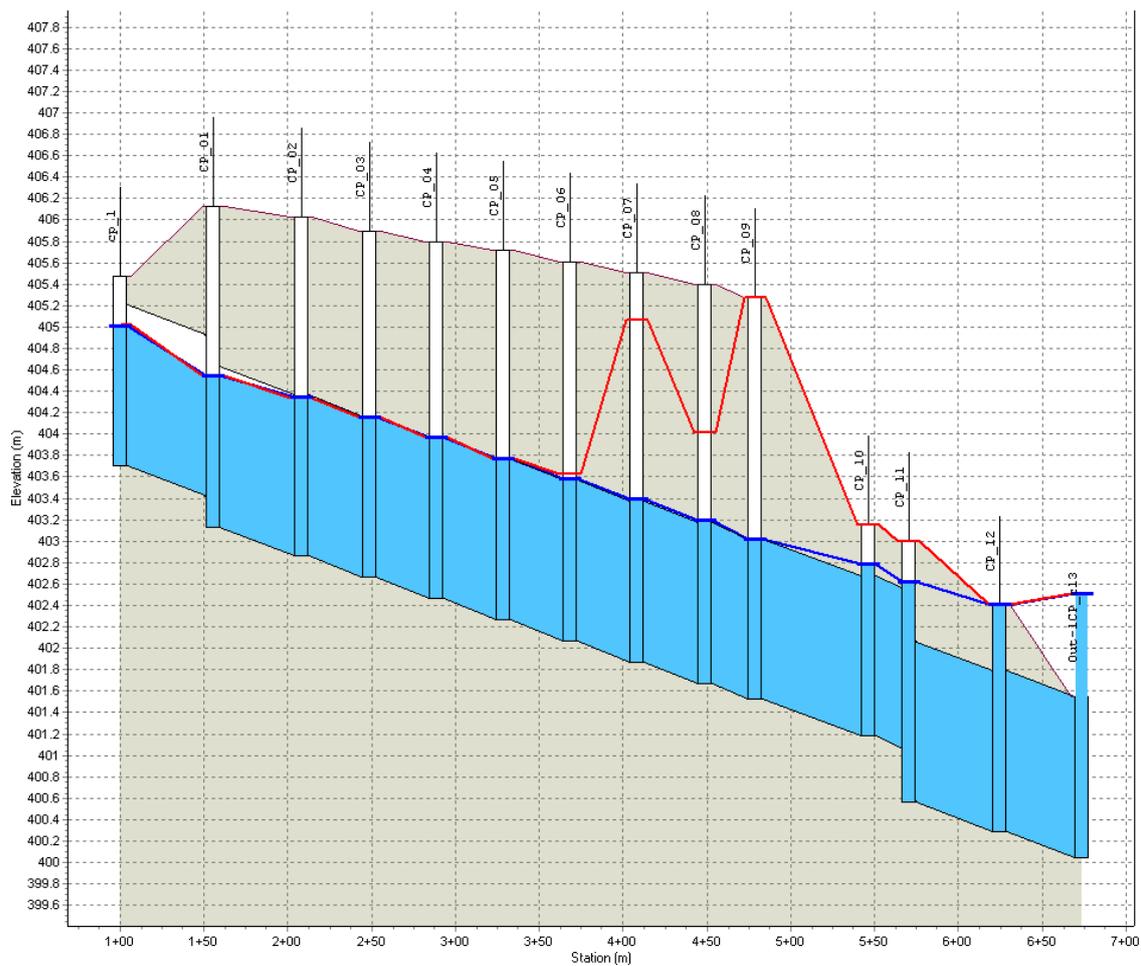
Scenario 1



pozzetto	Quota testa	Quota fondo	Quota massima acqua
cp_1	405.47	403.71	404.92
CP 01	406.13	403.13	404.48
CP 02	406.03	402.87	403.92
CP 03	405.89	402.67	403.72
CP 04	405.79	402.47	403.52
CP 05	405.71	402.27	403.32
CP 06	405.61	402.07	403.12
CP 07	405.51	401.87	402.92
CP 08	405.39	401.67	402.72
CP 09	405.28	401.52	402.57
CP 10	403.15	401.18	402.23
CP 11	403	400.56	402.11
CP 12	402.41	400.29	401.35
Out-ICP_c13		400.04	401.09

tubazione	lunghezza	diametro (m)	pendenza (m/m)	quota fondo ingresso	quota fondo uscita	portata massima (mc/s)	vel. Massima (m/s)	profondità massima pelo libero	Riempimento massimo %
CP c1	55.25	1.5	0.005	403.71	403.43	4.53	3.43	1.05	70
CP c2	53.17	1.5	0.005	403.13	402.87	4.53	3.43	1.05	70
CP c3	40	1.5	0.005	402.87	402.67	4.53	3.43	1.05	70
CP c4	40	1.5	0.005	402.67	402.47	4.53	3.43	1.05	70
CP c5	40	1.5	0.005	402.47	402.27	4.53	3.43	1.05	70
CP c6	40	1.5	0.005	402.27	402.07	4.53	3.43	1.05	70
CP c7	40	1.5	0.005	402.07	401.87	4.53	3.43	1.05	70
CP c8	40	1.5	0.005	401.87	401.67	4.53	3.42	1.05	70
CP c9	30	1.5	0.005	401.67	401.52	4.53	3.42	1.05	70
CP c10	67.97	1.5	0.005	401.52	401.18	4.53	3.43	1.05	70
CP c11	23.97	1.5	0.005	401.18	401.06	4.53	3.43	1.05	70
CP c12	54.04	1.5	0.005	400.56	400.29	4.53	3.42	1.05	70
CP c13	49.29	1.5	0.005	400.29	400.04	4.53	3.44	1.05	70

Scenario 2



pozzetto	Quota testa	Quota fondo	Quota massima acqua
cp 1	405.47	403.71	405.02
CP 01	406.13	403.13	404.54
CP 02	406.03	402.87	404.34
CP 03	405.89	402.67	404.16
CP 04	405.79	402.47	403.97
CP 05	405.71	402.27	403.77
CP 06	405.61	402.07	403.63
CP 07	405.51	401.87	405.07
CP 08	405.39	401.67	404.01
CP 09	405.28	401.52	405.28
CP 10	403.15	401.18	403.15
CP 11	403	400.56	403
CP 12	402.41	400.29	402.41
Out-ICP c13		400.04	402.51

tubazione	lunghezza	diametro (m)	pendenza (m/m)	quota fondo ingresso	quota fondo uscita	portata massima (l/s)	vel. Massima (m/s)	profondità massima pelo libero	Riempimento massimo %
CP c1	55.25	1.5	0.005	403.71	403.43	2.83	2.12	1.21	81
CP c2	53.17	1.5	0.005	403.13	402.87	2.85	2.7	1.44	96
CP c3	40	1.5	0.005	402.87	402.67	2.81	2.49	1.48	99
CP c4	40	1.5	0.005	402.67	402.47	2.81	2.49	1.49	99
CP c5	40	1.5	0.005	402.47	402.27	2.81	2.47	1.5	100
CP c6	40	1.5	0.005	402.27	402.07	2.81	2.42	1.5	100
CP c7	40	1.5	0.005	402.07	401.87	2.81	2.28	1.5	100
CP c8	40	1.5	0.005	401.87	401.67	2.81	1.59	1.5	100
CP c9	30	1.5	0.005	401.67	401.52	2.81	1.59	1.5	100
CP c10	67.97	1.5	0.005	401.52	401.18	2.81	1.59	1.5	100
CP c11	23.97	1.5	0.005	401.18	401.06	3.09	2.45	1.5	100
CP c12	54.04	1.5	0.005	400.56	400.29	4.04	2.45	1.5	100
CP c13	49.29	1.5	0.005	400.29	400.04	5.77	3.27	1.5	100

2.5 Analisi dei risultati

Scenario 1

Il sistema risulta in grado di far defluire una portata pari a 5.42 mc/s, contro una portata di progetto pari a 4.53 mc/s, con un riempimento della tubazione fino a 1050 mm, pari al 70% della luce libera, ed una velocità attesa media di circa 3.43 m/s.

La quota del pelo libero, in corrispondenza dello sbocco, risulta pari a 401.09 m slm.

Dall'analisi delle risultanze del modello si evince che il manufatto risulta verificato per la portata di progetto e rispetta la condizione di riempimento massimo pari al 70%.

Scenario 2

Anche in questo scenario il sistema risulta in grado di smaltire la portata di progetto, con le seguenti modalità:

- il pozzetto 12, già posizionato a valle del rilevato autostradale e quindi in area esondabile, risulta soggetto a fenomeni di fuoriuscita d'acqua;
- Le tubazioni, fino al pozzetto 2 lavorano in pressione, senza tuttavia fenomeni di fuoriuscita d'acqua dai pozzetti.

Detti punti non rappresentano una criticità per il sistema in quanto il pozzetto 12 è posto in area soggetta al deflusso di piena ed il resto del sistema risulta funzionare senza portare ad allagamenti nella zona dell'autoporto.

Il sistema risulta quindi verificato e correttamente funzionante anche in queste condizioni.

3. Verifica opere di protezione spondale

3.1 Premessa

Le nuove opere, in particolar modo le rampe di raccordo tra l'autoporto e la sede stradale dell'A32, sono collocate in fregio alla sponda sinistra della Dora Riparia in un tratto ove, in base alla morfologia dell'alveo, la corrente risulta direzionata verso le opere stesse. Risulta dunque necessario proteggere il rilevato e le fondazioni delle pile delle rampe dall'azione erosiva del corso d'acqua.

Le opere di difesa idraulica del fiume Dora Riparia saranno essenzialmente costituite da una difesa profonda, realizzata con colonne di terreno consolidate del diametro di cm 80 circa, per una lunghezza di ml 658,58. L'inclinazione sulla verticale sarà di circa 30° e la lunghezza del trattamento scalare al fine di mantenere il più possibile inalterato il sistema di comunicazione tra le acque di falda e le acque superficiali.

Tali colonne verranno realizzate con la tecnica del consolidamento mediante iniezioni di malta cementizia, eseguito il trattamento colonnare verrà inserito un troncone costituito da uno spezzone di tubo per micropalo della lunghezza di ml 2,00 per il collegamento della colonna al cordolo di ripartizione di testa, realizzata in cemento armato.

Tale trave avrà le dimensioni di mt 1,00x1,00 e sarà posizionata incassata rispetto al terreno attuale esternamente ai rilevati autostradali

Sopra la trave di collegamento il rilevato dell'autostrada verrà rivestito con una protezione costituita da un materasso reno dello spessore di cm 30 per una lunghezza di ml 3,00.

SEZIONE

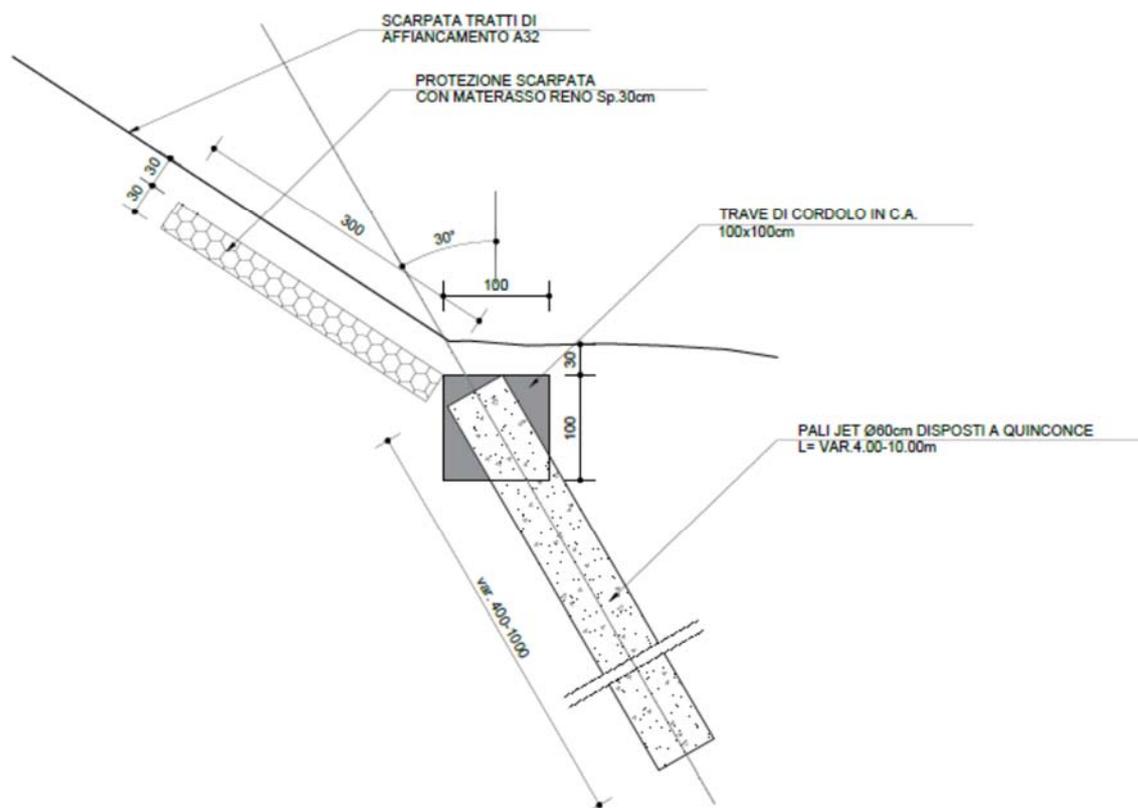


Figura 2 – sezione tipo opera di difesa spondale

La scelta di adottare un'opera di difesa così realizzata è dovuta alle seguenti esigenze:

- necessità di proteggere il rilevato di sostegno dell'A32 dall'erosione determinata dalla divagazione delle acque della Dora Riparia;
- necessità di proteggere le fondazioni delle pile dal potenziale abbassamento del fondo alveo dovuto all'erosione

A tal fine, come detto, l'opera è costituita da

- una protezione antierosiva del rilevato tra gli svincoli, realizzata in materassi Reno appoggiati al rilevato stesso;
- una difesa profonda in colonne di terreno consolidato, lungo tutto lo sviluppo degli svincoli e del tratto di rilevato compreso con la finalità di evitare, in caso di abbassamento del fondo e conseguente erosione della sponda esposta il cedimento o il sottoscalzamento delle fondazioni.

L'opera così definita permette di risolvere le problematiche evidenziate ed, essendo completamente interrata, di non andare ad influire sugli aspetti paesaggistici e sulla morfologia dell'alveo, non alterando dunque il regime delle acque.

Nei paragrafi successivi si procederà alla verifica idraulica dei manufatti in progetto relativamente a:

- adeguatezza delle opere di protezione spondale in materassi metallici, in riferimento ai tiranti idrometrici previsti;
- verifica dell'adeguatezza della difesa profonda in relazione alla capacità erosiva del corso d'acqua.

3.2 modalità di deflusso in piena

Per la definizione dei livelli idrometrici e dei diversi parametri utili alla valutazione dell'adeguatezza delle opere in condizioni di piena si è scelto di realizzare un modello matematico di moto permanente in corrispondenza del tratto interessato, che consente di considerare la variazione graduale delle sezioni d'alveo e la presenza di manufatti, restringimenti e rapide variazioni di sezione.

La determinazione del profilo di moto permanente è realizzata utilizzando il codice HECRAS "River Analysis System" Versione 5.0.3 (U.S. Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center).

Il calcolo del profilo idraulico della corrente avviene in condizioni di moto unidimensionale a portata costante, mediante la risoluzione delle equazioni di bilancio energetico; il codice applicato consente anche di calcolare rapide variazioni di profilo (dovute alla presenza d'ostacoli al deflusso, restringimenti di sezione, traverse, ponti ecc..) ed i passaggi di stato di una corrente.

Le elaborazioni relative al rio in esame sono riportate in allegato al termine della relazione. il significato dei dati riportati nelle tabelle risulta il seguente:

River Sta = codice della sezione d'elaborazione. La numerazione procede in ordine decrescente da monte a valle.

Qtotal = portata di calcolo

Min Ch El	=	quota di fondo alveo
W.S. Elev.	=	altezza idrometrica calcolata
E.G. Slope	=	pendenza motrice
Vel Chnl	=	velocità di deflusso
Froude # Chl	=	numero di Froude della corrente
Area	=	sezione interessata dal deflusso
Top Width	=	larghezza pelo libero in sommità
Lenght Chnl	=	distanza tra le sezioni

3.3 Definizione della geometria dell'alveo

Per la definizione della geometria del modello di calcolo si è fatto riferimento alle seguenti fonti di dati:

- DTM derivante da rilievo LIDAR della Regione Piemonte per le sezioni che non interessano le opere in progetto
- Integrazione del rilievo LIDAR con i dati di progetto per le sezioni che interessano le opere

Di seguito si riporta la planimetria di individuazione delle sezioni su base CTR.

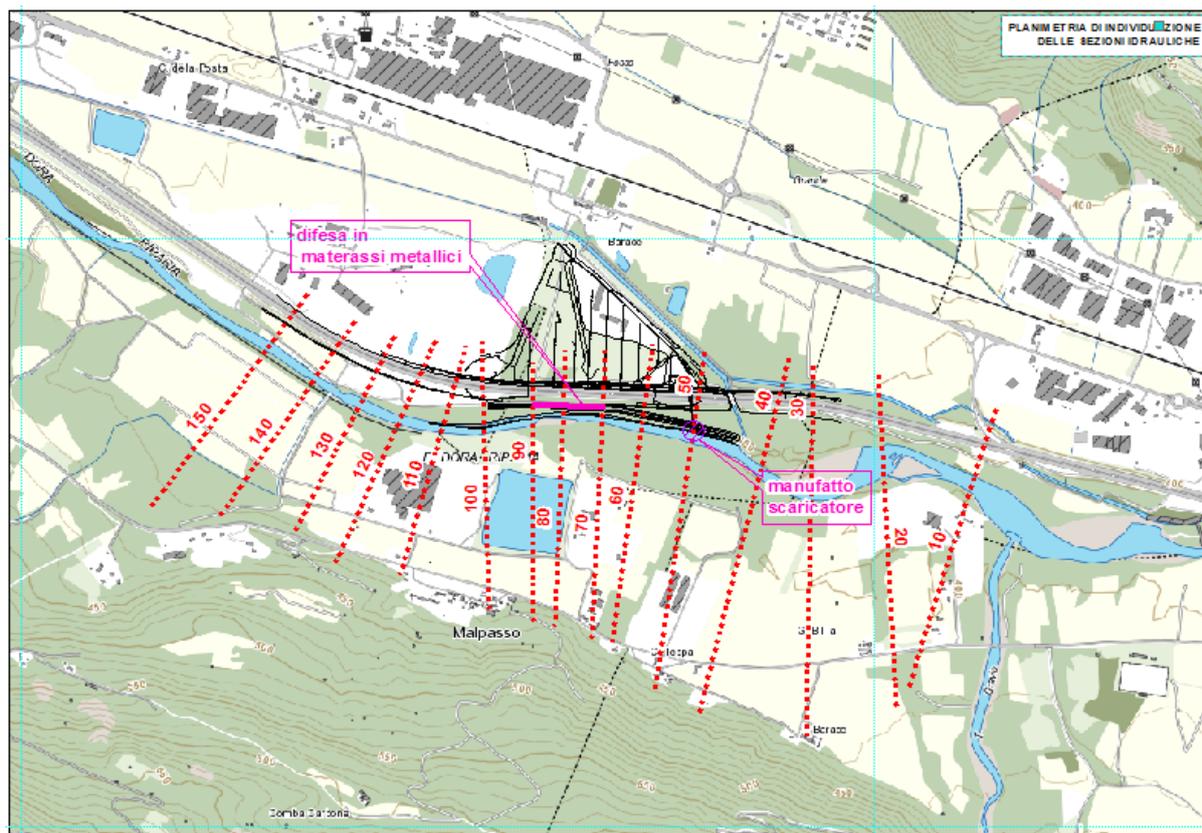


Figura 3 – planimetria di individuazione delle sezioni idrauliche su CTR

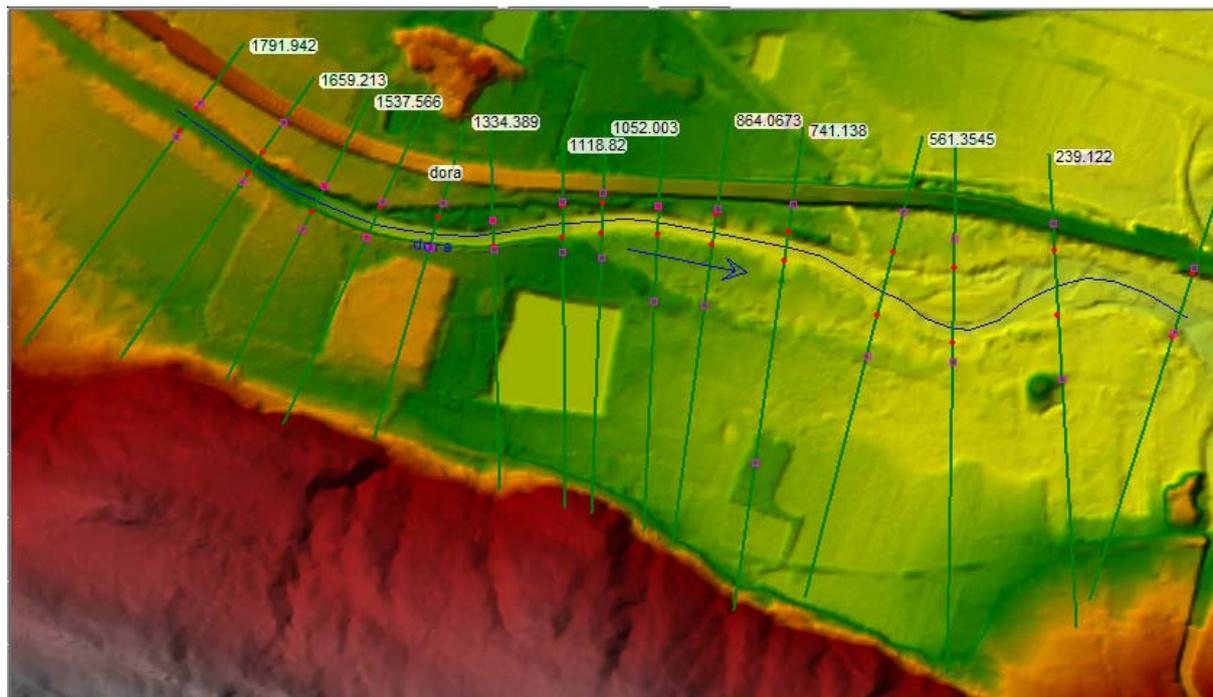


Figura 4 – planimetria di individuazione delle sezioni idrauliche su DTM

In particolare è stata adottata una corrispondenza tra le sezioni di modello e le sezioni dell’Autorità di Bacino, variante al PAI (deliberazione 19 luglio 2007):

sezione 10 → sez 88 PAI

sezione 89 → sez. 89 PAI

sezione 90 → sez 90 PAI

Le sezioni sono state estese per una lunghezza sufficiente a coprire l’intera superficie delle aree potenzialmente esondabili ed infittite in corrispondenza delle aree oggetto di intervento.

3.4 condizioni al contorno

Le ipotesi di calcolo relative alle condizioni al contorno introdotte nel modello di simulazione numerica di moto permanente sono le seguenti:

- portate al colmo costanti in tutto il tratto in corrispondenza ai tempi di ritorno indicati.
- altezze idrometriche utilizzate come condizioni iniziali nelle sezioni a monte ed a valle calcolate in condizioni di moto uniforme indisturbato.

3.5 coefficiente di scabrezza

Per quanto riguarda l’alveo inciso il coefficiente di scabrezza (n di Manning) è stato posto pari a $0.030 \text{ m}^{-1/3 \text{ s}}$ corrispondente ad una c di Strickler di $33 \text{ m}^{1/3 \text{ s}^{-1}}$ che, nella già citata direttiva sui criteri di compatibilità idraulica, corrisponde ad una condizione di corso d’acqua montano con fondo alveo con prevalenza di ghiaia e ciottoli, pochi grossi massi.

Per le aree di golena è stato adottato un valore di, 0.07 (n di Manning), rappresentativo di aree con vegetazione erbacea.

3.6 Definizione della portata di progetto

La verifica idraulica è stata effettuata in riferimento alla portata con tempo di ritorno duecentennale, pari a 533.33 mc/s in corrispondenza della sezione 90 di PAI come riportato nel citato studio.

3.7 definizione dei livelli idrometrici e dei parametri idraulici

E' stato realizzato un modello idraulico di moto permanente che ha individuato i livelli idrometrici attesi lungo il tratto di Dora analizzato, per uno sviluppo complessivo di circa 1775 m a cavallo dell'area di intervento.

Nella tabella seguente sono riportati, per ogni sezione del modello, i principali parametri ricavati dalla modellazione idraulica e finalizzati alla successiva verifica delle opere.

sezione	Note	Q di calcolo	quota fondo alveo	altezza idrometrica calcolata	altezza critica	quota linea energia	pendenza motrice	velocità di deflusso	num di Froude
		(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	
150	Sez 90 pai	533.33	405.48	409.19	408.45	409.82	0.00243	3.58	0.63
140		533.33	404.71	408.54	408.54	409.36	0.00481	4.3	0.86
130		533.33	403.34	405.92	406.59	408.22	0.01649	6.72	1.52
120		533.33	401.69	406.06	404.99	406.61	0.00208	3.26	0.58
110		533.33	401.5	405.78	405.02	406.37	0.00249	3.45	0.63
100		533.33	401.49	404.89	404.89	405.96	0.00591	4.66	0.94
90	Inizio difesa spondale	533.33	400.91	404.19	404.1	405.15	0.00571	4.34	0.92
80	Sez 89 pai	533.33	400.34	403.95	403.73	404.79	0.00421	4.14	0.81
70	Fine difesa spondale	533.33	400.22	403.71	403.52	404.37	0.00364	3.89	0.75
60		533.33	399.94	403.57	403.23	404	0.00283	3.27	0.66
50	Manufatto di scarico	533.33	399.69	402.51	402.51	403.46	0.00608	4.54	0.95
40		533.33	399.44	401.5	401.3	401.91	0.00502	3	0.8
30		533.33	398.72	400.88	400.67	401.27	0.00451	2.83	0.76
20		533.33	397.62	400.51	399.69	400.75	0.00159	2.19	0.48
10	Sez 88 pai	533.33	396.21	399.28	399.28	400.03	0.0077	3.84	1

3.8 Verifica dei tiranti idrometrici in corrispondenza della difesa

Di seguito si riporta la tabella di confronto tra le quote di testa della difesa in materassi reno ed i livelli idrometrici dell'evento di riferimento, ovvero la piena con tr200 come precedentemente calcolati.

Sezione idraulica	livello TR200 (m)	quota testa difesa antiersiva (m)	Franco (m)
90	404.19	405.61	1.42
80	403.95	405.44	1.49
70	403.71	405.21	1.50

L'elaborato grafico di riferimento OIA0_O_C_E_ID_PL_2024_0

Dall'analisi dei dati si evince che le quote di testa dell'opera di protezione in materassi metallici risultano superiori ai livelli dell'evento di riferimento, mediamente di un valore compreso tra 1.42 e 1.50 m circa, garantendo dunque un franco adeguato.

3.9 Verifica difesa profonda

3.9.1 Determinazione della velocità critica di erosione

La velocità critica oltre cui si può innescare un fenomeno erosivo, per materiale d'alveo con un peso specifico pari a 2650 kg/m³, si può calcolare con l'espressione:

$$V_c = 6,36 d^{1/6} D50^{1/3}$$

dove:

V_c = velocità critica (m/s),

d = profondità di corrente (m),

$D50$ = diametro medio del materiale d'alveo (m)

Al fine di valutare il potenziale erosivo del corso d'acqua nel tratto oggetto di intervento è stato effettuato il calcolo della velocità critica, comparata a quella calcolata dal modello HEC RAS, nelle sezioni dalla 50 alla 100, considerando un $D50$ pari a 13 mm.

sezione	Q di calcolo	quota fondo alveo	altezza idrometrica calcolata	pendenza motrice	profondità della corrente	D50	velocità critica	velocità di deflusso
	(m ³ /s)	(m)	(m)	(m/m)	(m)	(m)	(m/s)	(m/s)
100	533.33	401.49	404.89	0.00591	3.4	0.013	1.83	4.66
90	533.33	400.91	404.19	0.00571	3.28	0.013	1.82	4.34
80	533.33	400.34	403.95	0.00421	3.61	0.013	1.85	4.14
70	533.33	400.22	403.71	0.00364	3.49	0.013	1.84	3.89
60	533.33	399.94	403.57	0.00283	3.63	0.013	1.85	3.27
50	533.33	399.69	402.51	0.00608	2.82	0.013	1.78	4.54

Come si evince dalla tabella allegata sussistono le condizioni per cui, in corrispondenza delle opere in progetto si possa verificare l'erosione del fondo alveo in concomitanza con eventi di piena di portata duecentennale.

3.9.2 Determinazione del potenziale abbassamento del fondo alveo

Per la stima della profondità di escavazione si è scelto di adottare la formula di Ikeda (1984) dedotta su base sperimentale:

$$S = 0.75 \cdot h \cdot \left(\frac{B}{d_{84}} \right)^{-0.45} \cdot \psi(B/h)$$

Dove:

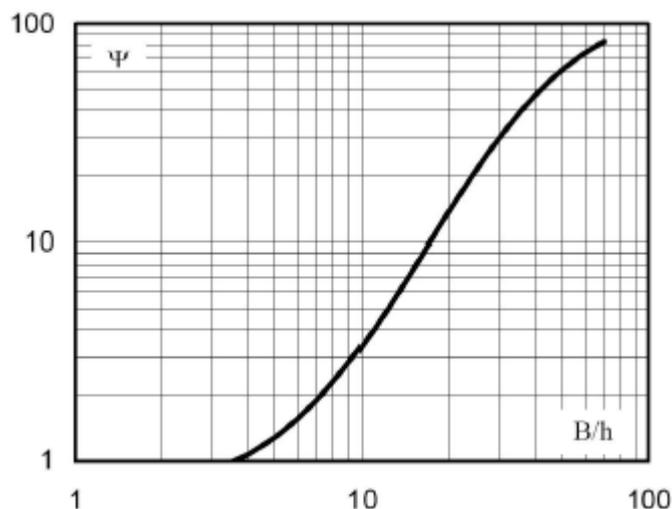
S: profondità di scavo

h: profondità media della corrente

B: larghezza media della sezione

D84: diametro del materiale d'alveo da curva granulometrica

ψ : parametro desunto da abaco



I dati geometrici sono stati desunti dal modello monodimensionale, considerando la sezione effettivamente interessata dalla piena duecentennale, mentre per il d84 è stato assunto un valore pari a 30 mm.

Sostituendo, nella seguente tabella, si ottengono i seguenti valori della profondità di scavo per il tratto in oggetto.

Sezione idraulica	Area bagnata (mq)	Raggio idraulico (m)	Profondità media corrente (m) (h)	Larghezza sezione (m) (B)	B/h	Ψ	D84 (m)	Profondità di scavo fondo alveo
100	110.08	2.45	1.87	58.87	31	30	0.03	1.39
90	121.56	2.27	1.8	67.53	38	45	0.03	1.88
80	122.88	2.65	1.86	66.06	36	43	0.03	1.88
70	115.89	2.69	1.5	77.26	52	60	0.03	1.97
60	127.38	2.51	1.65	77.2	47	54	0.03	1.95
50	104.89	2.31	1.89	55.5	29	30	0.03	1.44

Da cui si desume una profondità di scavo media, per il tratto centrale dell'area di intervento, di 1.92 m. Si ritiene tale valore cautelativo, anche in considerazione della presenza, circa 1400 m a valle del tratto in oggetto, di una traversa che tende a stabilizzare il profilo di fondo alveo.

3.9.3 Analisi dei risultati

In base a quanto calcolato nei paragrafi precedenti il potenziale abbassamento del fondo alveo, in corrispondenza dell'evento di riferimento (piena tr200), risulta essere pari, mediamente, a 1.92m.

Questo valore può essere, inoltre, considerato cautelativo in quanto la capacità erosiva lungo le sponde risulta attenuata rispetto a quella valutata per il canale principale, a causa della minor velocità del flusso di corrente, inoltre il calcolo non considera la presenza, circa 1400 m a valle, di una traversa che mitiga il potenziale fenomeno di erosione.

Nella tabella seguente si procede a verificare che la quota di fondo dei pali della difesa profonda, ovvero la quota fino alla quale questa risulta efficace, risulti inferiore alla quota potenziale del fondo alveo in occasione del fenomeno di erosione di fondo sopra calcolato.

Sezione idraulica	quota fondo alveo (m)	profondità di scavo fondo alveo (m)	quota potenziale fondo alveo scavato (m)	quota testa trave di collegamento (m)	quota fondo difesa profonda (m)	Franco (m) (quota max scavo - quota fondo difesa)
100	401.49	1.39	400.10	404.7	395.89	4.21
90	400.91	1.88	399.03	403.98	395.17	3.86
80	400.34	1.88	398.46	403.79	394.98	3.48
70	400.22	1.97	398.25	403.56	394.75	3.50
60	399.94	1.95	397.99	402.93	394.12	3.87
50	399.69	1.44	398.25	401.22	392.41	5.84

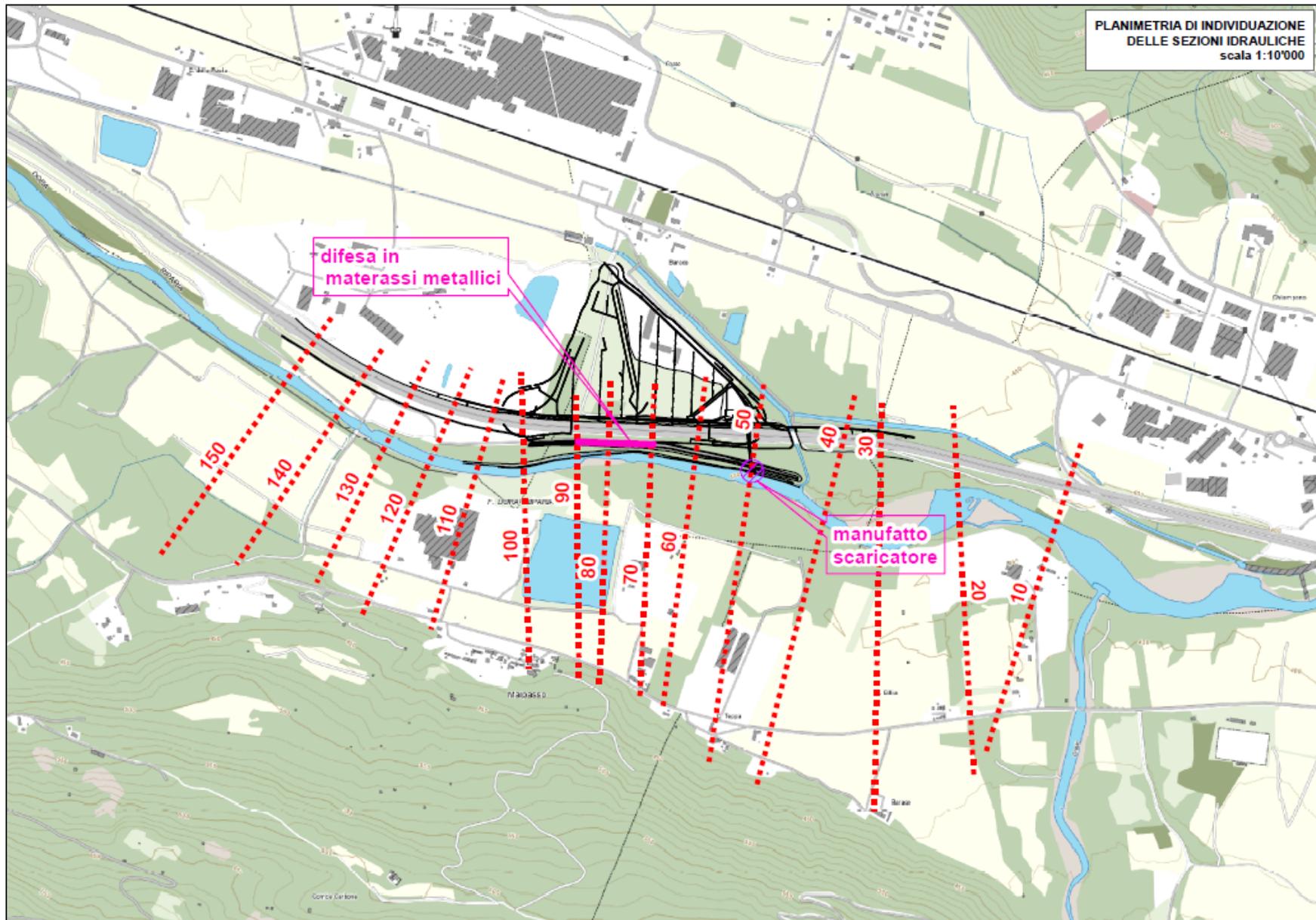
L'elaborato grafico di riferimento è OIA0_O_C_E_ID_PL_2024_0

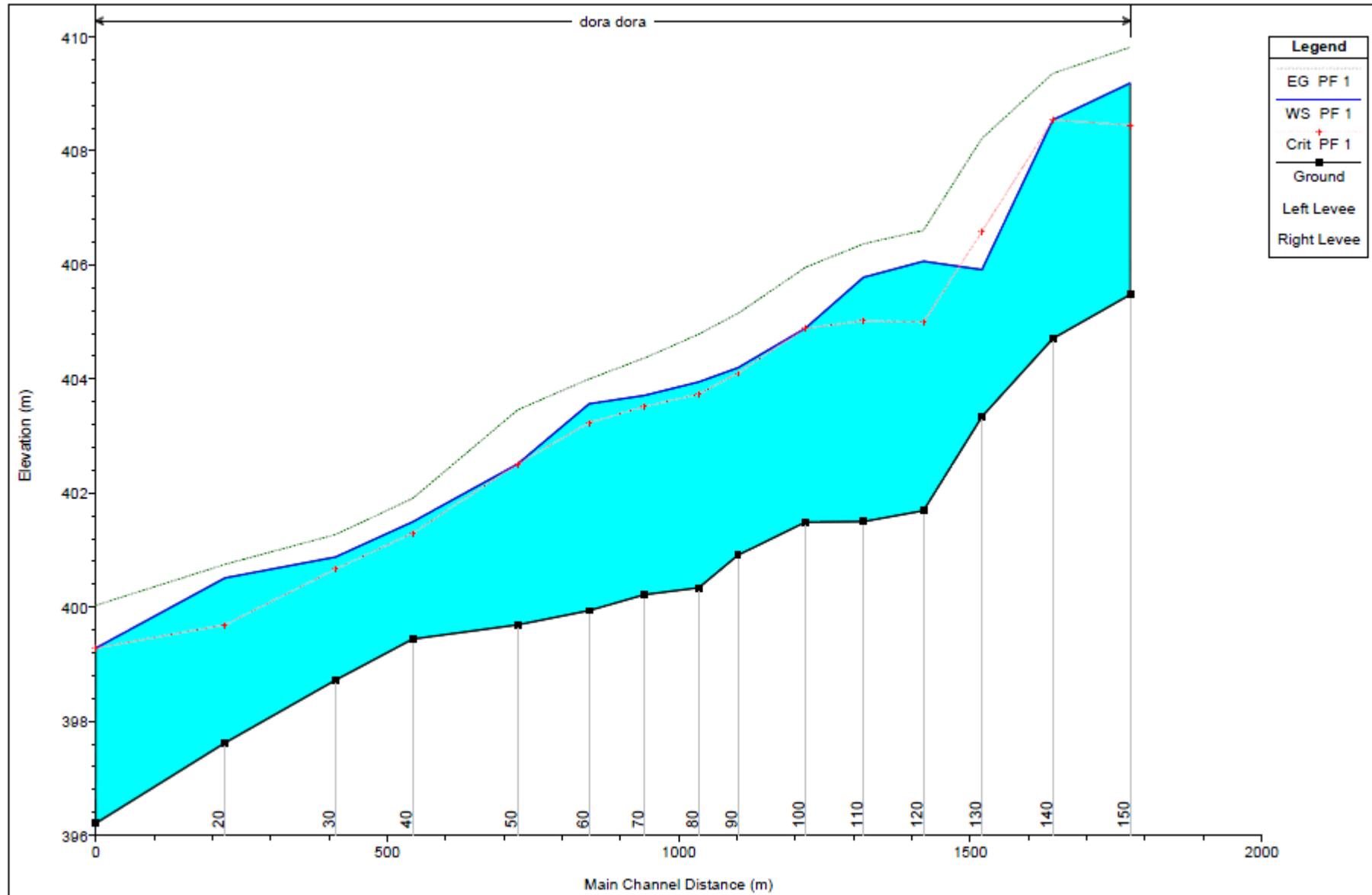
si possono dunque fare le seguenti considerazioni

- La difesa si approfondisce, rispetto alla quota di massimo scavo del fondo alveo, di un valore compreso tra 3.50 e 5.84 m;
- Il valore di scavo calcolato risulta cautelativo per le sponde in quanto riferito al canale centrale, mentre la difesa, interrata lungo la sponda, risente in misura minore del fenomeno;
- il fenomeno, valutato dal punto di vista numerico, risulta nella realtà attenuato dalla traversa presente a valle;

Tutto ciò premesso si ritiene che le opere in progetto siano da considerarsi verificate rispetto alla capacità erosiva del corso d'acqua con riferimento alla piena duecentennale.

4. Allegato 1 – modello HEC RAS Dora





sez.	Q Total (Tr200)	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
150	533.33	405.48	409.19	408.45	409.82	0.002425	3.58	168.08	422.06	0.63
140	533.33	404.71	408.54	408.54	409.36	0.004808	4.3	186.91	458.11	0.86
130	533.33	403.34	405.92	406.59	408.22	0.016493	6.72	79.43	40.58	1.52
120	533.33	401.69	406.06	404.99	406.61	0.002081	3.26	164.57	54.17	0.58
110	533.33	401.5	405.78	405.02	406.37	0.002494	3.45	171.56	66.56	0.63
100	533.33	401.49	404.89	404.89	405.96	0.005905	4.66	131	69.93	0.94
90	533.33	400.91	404.19	404.1	405.15	0.005706	4.34	129.71	72.05	0.92
80	533.33	400.34	403.95	403.73	404.79	0.00421	4.14	152.56	82.07	0.81
70	533.33	400.22	403.71	403.52	404.37	0.003637	3.89	213.09	141.75	0.75
60	533.33	399.94	403.57	403.23	404	0.002827	3.27	258.54	524.48	0.66
50	533.33	399.69	402.51	402.51	403.46	0.006079	4.54	147.97	339.46	0.95
40	533.33	399.44	401.5	401.3	401.91	0.005015	3	224.62	230.03	0.8
30	533.33	398.72	400.88	400.67	401.27	0.004511	2.83	214.59	199.77	0.76
20	533.33	397.62	400.51	399.69	400.75	0.001592	2.19	281.92	208.98	0.48
10	533.33	396.21	399.28	399.28	400.03	0.007701	3.84	138.88	91.68	1

