

COMMITTENTE:



ALTA SORVEGLIANZA:



GENERAL CONTRACTOR:



## INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01

### TRATTA A.V. /A.C. TERZO VALICO DEI GIOVI PROGETTO ESECUTIVO

#### Pozzo cascina Radimero – Cantiere Fresa

#### Relazione Idraulica

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI
Consorzio <b>Cociv</b> Ing. G. Guagnozzi	

COMMESSA	LOTTO	FASE	ENTE	TIPO DOC.	OPERA/DISCIPLINA	PROGR.	REV.
I G 5 1	0 1	E	C V	R I	G A 1 U 0 0	0 0 1	A

Progettazione :

Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	IL PROGETTISTA
A00	Prima emissione	ITEC engineering 	17/09/2012	Ing. F. Colla 	19/09/2012	E. Pagani 	21/09/2012	Ing. E. Ghislandi 

n. Elab.:

File: IG51-01-E-CV-RI-GA1U-00-001-A00

CUP: F81H92000000008



<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 	
	<p>ig51-01-e-cv-ri-ga1u-00-001-a00</p>	<p>Foglio 3 di 15</p>

## INDICE

INDICE.....	3
1.   PREMESSA .....	5
2.   OTTEMPERANZA ALLE PRESCRIZIONI CIPE .....	5
3.   RISPONDENZA AL PROGETTO DEFINITIVO .....	5
4.   CARATTERISTICHE DEI CORSI D'ACQUA INTERFERENTI .....	5
5.   INQUADRAMENTO NORMATIVO E CRITERI PROGETTUALI .....	6
6.   INTERVENTI PREVISTI .....	7
7.   METODOLOGIA DI CALCOLO.....	8
7.1.   Verifiche idrauliche globali .....	8
7.2.   Verifiche puntuali .....	11
7.3.   Analisi dei fenomeni di erosione .....	12
8.   VERIFICHE IDRAULICHE .....	13
8.1.   Portate di progetto .....	13
8.2.   Verifiche idrauliche.....	13
8.3.   Calcolo dell'erosione e dimensionamento delle opere di protezione .....	14
9.   VERIFICHE TERRE ARMATE.....	14

ALLEGATO A1 –VERIFICHE IDRAULICHE

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



ig51-01-e-cv-ri-ga1u-00-001-a00

Foglio  
4 di 15

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	ig51-01-e-cv-ri-ga1u-00-001-a00
	Foglio 5 di 15

## 1. PREMESSA

La presente relazione riporta il dimensionamento e le verifiche idrauliche relative alle interferenze con il cantiere pozzo fresa in località cascina Radimero: esse sono rappresentate dal rio Campora e da tre suoi affluenti minori.

Il progetto prevede in particolare la deviazione del rio Campora e dei corsi d'acqua minori all'esterno del cantiere.

Lo studio è finalizzato alla dimensionamento della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua interferenti nell'ambito del progetto esecutivo Tratta A.V./A.C. Milano-Genova Terzo valico dei Giovi.

La normativa idraulica di riferimento è costituita dal Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) approvato dall'Autorità di Bacino del Fiume Po con DPCM del 24/5/01, pubblicato sulla G.U. n 183 del 8/8/01.

Le verifiche e il dimensionamento idraulico delle opere sono state condotte mediante verifiche idrauliche a carattere puntuale con la portata 200-ennale in accordo, cautelativamente, con la normativa di Piano.

## 2. OTTEMPERANZA ALLE PRESCRIZIONI CIPE

In fase di approvazione del Progetto Definitivo del Terzo valico dei Giovi – linea AV/AC Milano-Genova – con delibera CIPE 80/2006 non sono presenti prescrizioni specifiche relative all'intervento oggetto della presente relazione.

## 3. RISPONDENZA AL PROGETTO DEFINITIVO

Il progetto esecutivo oggetto della presente relazione risponde a quanto previsto nel precedente livello di progettazione definitiva; in questa ulteriore fase sono stati sviluppati gli elaborati conformemente al livello progettuale esecutivo per fornire i necessari elementi di dettaglio.

## 4. CARATTERISTICHE DEI CORSI D'ACQUA INTERFERENTI

Il cantiere fresa nella zona Cascina Radimero è caratterizzato dall' interferenza con il rio Campora e con tre suoi affluenti minori di sinistra.

Il bacino idrografico di appartenenza è quello del torrente Scrivia, di cui il rio Campora è affluente di sinistra.

L'area complessiva sottesa alla sezione di interferenza con il cantiere è di circa 1.1 km<sup>2</sup>; il suo territorio appartiene amministrativamente al Comune di Arquata Scrivia.

Il bacino presenta una forma irregolare con sviluppo massimo in direzione SO-NE e risulta scarsamente urbanizzato. La cima più alta del bacino è a quota 402 m s.l.m, situato all'estremità meridionale del bacino; la quota media del bacino risulta essere pari a 300 m s.l.m. Il bacino del Rio Campora è delimitato ad E ed a N dal torrente Scrivia e da suoi affluenti minori, ad O dal bacino del Fosso Pradella e a S dal bacino del torrente Neirone, affluente di destra del torrente Lemme. Il bacino risulta scarsamente urbanizzato.

La pendenza media del fondo alveo nel tratto in esame è pari a circa il 2%, mentre la pendenza nel tratto di monte è pari a circa il 6%.

L'asta principale ha una lunghezza di circa 1.7 km, e pendenza media pari al 6% circa.

Il bacino risulta scarsamente urbanizzato.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	ig51-01-e-cv-ri-ga1u-00-001-a00 <span style="float: right;">Foglio 6 di 15</span>

## 5. INQUADRAMENTO NORMATIVO E CRITERI PROGETTUALI

La normativa idraulica di riferimento per il versante padano è costituita dal Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI), adottato con delibera di Comitato Istituzionale n. 18 del 26 aprile 2001 ed approvato con DPCM del 24 maggio 2001, pubblicato sulla G.U. n 183 del 8/8/01.

Il PAI è sovraordinato a tutti gli altri strumenti di pianificazione territoriale ed urbanistica vigenti e costituisce la norma a cui attenersi per l'esecuzione di opere e infrastrutture che interferiscano con il reticolo idrografico.

Esso fornisce i valori delle portate di piena da assumere alla base delle verifiche idrauliche per alcune sezioni significative del reticolo idrografico padano; fornisce altresì le indicazioni per il calcolo delle portate di piena nelle sezioni non indagate sulla base delle curve di probabilità pluviometrica per assegnato periodo di ritorno elaborate per tutto il territorio di competenza.

Il PAI contiene inoltre i criteri a cui attenersi per il dimensionamento delle opere in funzione della tipologia e dei vincoli esistenti.

I criteri adottati nel dimensionamento idraulico delle opere tengono conto delle norme di attuazione del PAI e degli indirizzi e delle indicazioni emerse nel corso dei colloqui con il competente Ufficio provinciale del Genio Civile di Alessandria della Regione Piemonte.

Da un punto di vista generale, per quanto riguarda la viabilità, si distinguono i casi di adeguamento della viabilità esistente e di realizzazione di nuova viabilità.

Nei casi in cui l'adeguamento della viabilità esistente, pur se a raso, si limita ad un semplice intervento di manutenzione senza interferenze con l'attuale assetto idraulico dell'alveo e delle aree adiacenti, non è prevista alcuna sistemazione idraulica, anche se l'intervento dovesse ricadere in area inondabile.

Nei casi in cui tale adeguamento comporti invece la realizzazione di opere interferenti con il corso d'acqua e/o con le sponde (muri di sostegno, argini, sbalzi ecc.), e nei casi di realizzazione di nuovi tratti di viabilità e/o nuovi attraversamenti, l'intervento previsto, pur nel rispetto dei vincoli imposti dalla progettazione stradale, è stato comunque orientato a garantire il deflusso della portata 200-ennale in condizioni di sicurezza lungo tutto il tronco del corso d'acqua interessato, anche attraverso una nuova sistemazione dell'alveo e delle sponde.

Da un punto di vista generale le sistemazioni idrauliche sono limitate allo stretto necessario alla funzionalità dell'opera nel rispetto dell'attuale configurazione dei corsi d'acqua interferenti; si è verificato che gli interventi non comportassero in nessun caso restringimenti di alveo e non inducessero in generale effetti peggiorativi sul regime idraulico del corso d'acqua, con particolare riferimento agli effetti indotti sulla sponda opposta.

Al fine di preservare le opere dai possibili fenomeni erosivi della corrente, le fondazioni dei muri d'argine e delle opere in alveo in genere quali briglie, spalle e pile dei ponti, sono impostate ad una quota adeguatamente inferiore alla quota minima del fondo alveo (Talweg) e, quando necessario, protette con strutture elastiche quali scogliere di massi naturali, materassi tipo "Reno" o gabbioni, mantenendo per quanto possibile la naturalità dell'alveo e delle sponde.

Lungo i tratti di viabilità di cui è previsto l'adeguamento è stata effettuata la verifica idraulica dei manufatti di attraversamento esistenti al fine di individuare quelli ritenuti sufficienti al deflusso della portata 200-ennale, che possono pertanto essere mantenuti, e quelli di cui è opportuno prevedere il rifacimento perché insufficienti.

Il criterio adottato è quello di un franco minimo di 0.5 m rispetto all'intradosso per ponti, ponticelli e scatolari per i corsi d'acqua significativi (con superficie del bacino sotteso superiore a 0.2 Km<sup>2</sup>) e di un rapporto d'invaso inferiore a 0.75 per i manufatti di attraversamento dei corsi d'acqua minori (superficie del bacino inferiore a 0.2 Km<sup>2</sup>).

Nel caso di nuova viabilità a raso è stato adottato ovunque un franco rispetto al deflusso della portata di piena 200-ennale di 1.0 m rispetto al piano viabile anche in presenza di un'eventuale struttura a sbalzo.

<p>GENERAL CONTRACTOR</p>  <p>CODIV Consorzio Collegamenti Integrati Veloci</p>	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p>  <p>ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>
	<p>ig51-01-e-cv-ri-ga1u-00-001-a00</p> <p>Foglio 7 di 15</p>

Nel caso di nuovi attraversamenti dei corsi d'acqua significativi si è preferito anche in questo caso, ove possibile, l'adozione di struttura a campata unica senza ingombri in alveo; il franco minimo rispetto all'intradosso è stato assunto pari a 1.0 m e comunque non inferiore alla metà del carico cinetico della corrente; in accordo a quanto indicato nel P.A.I. tale valore deve essere assicurato per almeno 2/3 della luce quando l'intradosso del ponte non sia orizzontale e comunque per almeno 40 m nel caso di luci superiori a tale valore; nel caso di ponti e ponticelli si è assunto comunque un valore minimo dell'altezza libera di 2 m; per gli scatolari si è assunta una dimensione minima di 2x2 m.

Per i corsi d'acqua secondari, in mancanza di specifiche indicazioni contenute nel P.A.I. o fornite direttamente dagli Uffici tecnici competenti, si è assunta quale dimensione minima dei manufatti di attraversamento una tubazione Ø 1000.

## 6. INTERVENTI PREVISTI

Il progetto del cantiere e del pozzo di servizio in loc. cascina Radimero interferisce con l'attuale corso del rio Campora pertanto si prevede la sua deviazione all'esterno dell'area di cantiere.

Il nuovo tratto di alveo del rio Campora viene realizzato con sezione trapezia in massi naturali con base minore pari a 4 m e altezza pari a 2 m e con pendenza del fondo alveo pari a 1.5%, la sistemazione dell'alveo principale ha lunghezza totale pari a circa 350 m. Nel tratto finale la sistemazione viene prevista anche per il tratto di alveo attuale del Radimero cui l'alveo a progetto si raccorda.

In corrispondenza della strada di accesso al cantiere viene realizzato uno scatolare di larghezza pari a 4 m e altezza pari a 4 m.

La deviazione del rio rispetto al suo alveo attuale comporta la realizzazione di un rilevato con terre armate atto a garantire la stabilità del versante a valle di un tratto di viabilità minore esistente. Il tracciato della strada pubblica vicinale non viene modificato dagli interventi a progetto, a meno di uno spostamento provvisorio in fase di cantiere.

Per quanto riguarda la cantierizzazione si prevedono indicativamente 5 fasi:

1. realizzazione del raccordo di valle:
  - a. operazioni di scavo nel tratto centrale della sistemazione idraulica per la preparazione dell'area occupata dalla deviazione del rio Campora e realizzazione del rilevato in terre rinforzate; in tale fase si rende necessario uno spostamento temporaneo della strada sterrata presente in sponda destra
  - b. posa tombino in corrispondenza del futuro attraversamento della viabilità di cantiere, ricollocazione e sistemazione strada sterrata
  - c. posa di massi naturali e sagomatura del nuovo alveo nel tratto centrale della sistemazione
2. realizzazione del raccordo di valle:
  - a. arginatura provvisoria con materiale sciolto facilmente trasportabile dalla corrente longitudinale all'alveo del r. Campora con spostamento dell'alveo di magra del Campora lungo la sponda sinistra esistente; la quota di sommità dell'arginatura provvisoria sarà al massimo pari a quella della sponda esistente in sinistra in modo da non comportare un aumento del rischio idraulico su tale sponda in caso di piena
  - b. operazioni di movimento terre sponda destra
  - c. realizzazione di protezione di fondo alveo e spondale con massi naturali lungo la sponda destra del raccordo con l'alveo esistente
  - d. spostamento dell'alveo di magra in sponda destra
  - e. operazioni di movimento terre sponda sinistra
  - f. realizzazione di protezione di fondo alveo e spondale con massi naturali lungo la sponda sinistra del raccordo con l'alveo esistente
  - g. rimozione di materiale sciolto utilizzato per arginature provvisorie
3. realizzazione del raccordo di monte:
  - a. arginatura provvisoria con materiale sciolto facilmente trasportabile dalla corrente longitudinale all'alveo del r. Campora con spostamento dell'alveo di magra del Campora lungo la sponda

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	ig51-01-e-cv-ri-ga1u-00-001-a00 <span style="float: right;">Foglio 8 di 15</span>

- sinistra esistente, la portata defluirà lungo il'alveo esistente; la quota di sommità dell'arginatura provvisoria sarà al massimo pari a quella della sponda esistente in sinistra in modo da non comportare un aumento del rischio idraulico su tale sponda in caso di piena
- b. operazioni di movimento terre sponda destra
  - c. realizzazione di protezione di fondo alveo e spondale con massi naturali lungo la sponda destra del raccordo con l'alveo esistente a monte
  - d. spostamento dell'alveo di magra in sponda destra, l'alveo di magra verrà deviato lungo la nuova sistemazione del rio Campora
  - e. operazioni di movimento terre sponda sinistra
  - f. realizzazione di protezione di fondo alveo e spondale lungo la sponda sinistra del raccordo con l'alveo esistente
4. rimozione di materiale sciolto utilizzato per arginature provvisorie e riempimento alveo attuale
  5. realizzazione della sistemazione mediante collocazione di massi naturali del raccordo con l'alveo esistente di monte del r. Campora

## 7. METODOLOGIA DI CALCOLO

Le verifiche idrauliche dei vari tronchi d'alveo esaminati sono state condotte secondo due tipi d'approccio, uno a carattere più esteso, riferito al tratto d'alveo nel suo insieme, e l'altro a carattere locale, riferito ad un singolo manufatto o una singola sezione.

Le verifiche di tipo esteso hanno riguardato i tratti dei corsi d'acqua di maggior rilevanza per i quali si disponeva di un rilievo sufficientemente esteso dell'asta.

Le verifiche di tipo locale hanno riguardato singole sezioni in prossimità di ponti e tombinature lungo i tratti medio vallivi dei corsi d'acqua minori e lungo i tratti dei rivi principali per i quali non sia stato possibile effettuare altri tipi di verifiche.

Per quanto riguarda le caratteristiche dimensionali dell'alveo e dei manufatti con esso interferenti, si è fatto riferimento ad una serie di rilievi topografici, effettuati nell'ambito dell'attività di indagine propedeutica alla progettazione definitiva degli interventi.

I rilievi di dettaglio sono stati integrati, ove necessario, con la cartografica tecnica disponibile e con una serie di rilievi diretti in sito effettuati nel corso dei sopralluoghi di ricognizione

Si è anche provveduto alla verifica dei fenomeni di erosione in alveo dovuta alla presenza di elementi rigidi o ad elementi di protezione delle sponde e del fondo alveo.

### 7.1. Verifiche idrauliche globali

Le verifiche idrauliche di tipo globale sono state effettuate mediante l'ausilio di un *software*<sup>1</sup> per il calcolo dell'andamento dei profili di rigurgito in moto permanente gradualmente variato in alvei naturali o canali artificiali che consente anche la valutazione degli effetti sulla corrente dovuti all'interazione con ponti, tombinature, briglie, stramazzi, aree golenali, ecc.

La determinazione del profilo teorico è ottenuta tramite l'applicazione del cosiddetto *Standard step method* che si basa sulla semplice equazione mono-dimensionale del contenuto energetico della corrente:

$$H_1 - H_2 = h_f + h_e$$

<sup>1</sup>. HEC-RAS, Haestad Methods Inc. - Waterbury USA

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	ig51-01-e-cv-ri-ga1u-00-001-a00 <span style="float: right;">Foglio 9 di 15</span>

dove  $H_1[m]$  ed  $H_2[m]$  sono i carichi totali della corrente nelle sezioni di monte e di valle del tronco d'alveo considerato,  $h_f[m]$  sono le perdite di carico dovute all'attrito del fondo e delle sponde, mentre  $h_e[m]$  è un termine che tiene conto degli effetti dovuti alla non cilindricità della corrente.

In particolare  $h_f$  dipende principalmente dalla scabrezza del tratto d'alveo considerato ed è esprimibile come:

$$h_f = j_f \cdot L$$

con  $j_f$  pendenza motrice nel tratto di lunghezza  $L[m]$ .

Il calcolo di  $j_f$  è effettuabile con diverse formulazioni, in funzione della pendenza motrice  $J$  in corrispondenza delle sezioni d'inizio e fine di ciascun tratto.

Il calcolo del termine  $J$  nella singola sezione è effettuato mediante la:

$$J = \left[ \frac{Q}{K} \right]^2$$

dove  $Q[m^3/s]$  è la portata di calcolo e  $K$  (denominato *conveyance*) è ricavabile attraverso la seguente espressione:

$$K = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}}$$

dove  $A[m^2]$  l'area della sezione liquida,  $R[m]$  il raggio idraulico e  $n[m^{-1/3} s]$  è il parametro rappresentativo della scabrezza del fondo e delle sponde di Manning.

Il termine  $h_e$  dipende invece dalla variazione del carico cinetico della corrente tra le sezioni 1 e 2 dovuta al cambio di geometria delle sezioni stesse ed è a sua volta esprimibile come:

$$h_e = \beta \cdot \left| \alpha_1 \cdot \frac{V_1^2}{2 \cdot g} - \alpha_2 \cdot \frac{V_2^2}{2 \cdot g} \right|$$

dove  $\beta$  è un coefficiente di contrazione o espansione dipendente dalle condizioni geometriche del tratto considerato,  $V_1$  e  $V_2 [m/s]$  sono i valori delle velocità medie agli estremi del tronco e  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$  sono i coefficienti correttivi dell'energia cinetica.

Il modello consente di suddividere la sezione in più zone in cui assegnare un valore diverso del parametro  $n$  di scabrezza; in particolare è possibile individuare tre zone principali: quella centrale dell'alveo inciso (denominata *main channel*) e due zone laterali golenali (denominate *right and left overbanks*).

Il programma consente la simulazione del deflusso attraverso ponti e tombature (*culvert*) mediante la loro schematizzazione geometrica (impalcato, pile, setti, ecc.).

La procedura di calcolo utilizzata consente di simulare il deflusso a pelo libero al di sotto dell'impalcato, il deflusso in pressione al di sotto dell'impalcato e la combinazione del deflusso in pressione e del deflusso con scavalco dell'impalcato stesso (funzionamento a stramazzo).

Per il deflusso a pelo libero il modello consente la scelta fra diversi metodi di calcolo quali il metodo del bilancio energetico (*Standard step method*), il metodo dei momenti (*Momentum Balance*), la formula di Yarnell per correnti lente.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	ig51-01-e-cv-ri-ga1u-00-001-a00 <span style="float: right;">Foglio 10 di 15</span>

Il funzionamento in pressione è simulato mediante la formulazione propria dell'efflusso da luce:

$$Q = C \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

dove  $Q[m^3/s]$  è la portata defluita attraverso la luce di area  $A[m^2]$ ,  $H[m]$  è il dislivello tra il carico totale di monte ed il pelo libero a valle e  $C$  è il cosiddetto coefficiente di efflusso.

Il programma prevede la messa in pressione della struttura quando, secondo la scelta dell'utente, il carico totale o la quota del pelo libero risultano superiori alla quota dell'intradosso dell'impalcato.

Il funzionamento a stramazzo è simulato attraverso la formulazione standard

$$Q = C \cdot L \cdot H^{\frac{3}{2}}$$

dove  $Q[m^3/s]$  è la portata defluita sulla soglia di larghezza  $L[m]$  e  $H[m]$  è il dislivello tra il carico totale di monte e la quota della soglia e  $C$  è il coefficiente di efflusso, variabile in funzione del tipo di stramazzo e del carico sopra la soglia.

Nel caso di funzionamento combinato di moto in pressione con scavalamento del ponte (stramazzo) l'entità delle portate stramazzeanti e defluenti al di sotto dell'impalcato viene determinata attraverso una procedura iterativa combinando le equazioni che regolano i due fenomeni.

La verifica del nodo di confluenza è eseguita mediante l'applicazione del teorema della quantità di moto.

In particolare è stato individuato un volume di controllo definito dalla superficie di contorno del tratto in esame in cui è applicabile la relazione generale:

$$F_e + G = M_u - M_e$$

dove  $F_e$  è la risultante delle forze di superficie (spinta idrostatica e attrito del fondo e delle pareti) agenti dall'esterno sul volume di controllo,  $G$  è la risultante delle forze di massa (in genere la forza peso),  $M_u$  ed  $M_e$  le quantità di moto delle masse che nell'unità di tempo entrano ed escono dal volume di controllo.

La metodologia di calcolo è applicabile al caso specifico di due rami che confluiscono in un terzo ella confluenza di un affluente nel corso d'acqua principale secondo un angolo di incidenza  $\alpha$  rispetto alla direttrice principale di deflusso.

Il volume di controllo è individuato dalle due sezioni poste a monte della confluenza (individuate dai pedici 1 e 2 rispettivamente) ed una posta a valle (pedice 3).

Proiettando l'equazione della quantità di moto secondo l'asse del corso d'acqua di valle, che forma un angolo  $\alpha_{1-2}$  e  $\alpha_{1-3}$  con gli assi dei due corsi d'acqua a monte, vale la relazione:

$$(my + mq)_3 = (my + mq)_1 \cdot \cos \alpha_{1-3} + (W - F_f)_{1-3} + (my + mq)_{2-3} \cdot \cos \alpha_{2-3} + (W - F_f)_{2-3}$$

avendo indicato con:

$my = A \cdot Y =$  prodotto dell'area per la distanza verticale tra il pelo libero e il centro di gravità delle sezioni di deflusso.

$$mq = \frac{Q^2}{g \cdot A}$$

$F_f =$  forza dovuta all'attrito sul fondo e sulle pareti.

$W_x =$  forza peso nella direzione del flusso.

Ai fini della risoluzione dell'equazione dei momenti sono state fatte le seguenti assunzioni:

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>ig51-01-e-cv-ri-ga1u-00-001-a00</p> <p>Foglio 11 di 15</p>

- rigurgito in corrente lenta con profondità del pelo libero nota nella sezione di valle;
- uguaglianza tra le quote del pelo libero nelle sezioni di monte del corso d'acqua principale e in quella dell'affluente;
- calcolo delle componenti di attrito e del peso come media pesata dei valori tra le sezioni di monte del corso d'acqua principale, dell'affluente e di valle, in funzione delle portate e dell'angolo di incidenza.

## 7.2. Verifiche puntuali

Le verifiche idrauliche sono state condotte secondo un tipo d'approccio a carattere locale riferito ad un singolo manufatto o una singola sezione.

In assenza di variazioni significative della forma e delle dimensioni dell'alveo sono state determinate le caratteristiche della corrente in condizioni di moto uniforme mediante la formulazione di Chezy:

$$Q = \chi \cdot A \cdot \sqrt{R \cdot i_f}$$

dove Q [m<sup>3</sup>/s] è la portata,  $\chi$  [m<sup>1/2</sup> s<sup>-1</sup>] il coefficiente di attrito, A [m<sup>2</sup>] l'area della sezione liquida, R [m] il raggio idraulico,  $i_f$  la pendenza dell'alveo.

Le pendenze medie dell'alveo sono state calcolate sulla base dei rilievi di dettaglio o sulla base cartografica disponibile alle diverse scale.

Per il calcolo di  $\chi$  è stata adottata la formula di Manning:

$$\chi = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{1}{6}}$$

dove n [m<sup>-1/3</sup> s] è il coefficiente dimensionale di scabrezza definito in funzione della natura dell'alveo.

La determinazione della profondità di moto uniforme è stata effettuata per pendenze del fondo sino al 10%, considerato il valore limite per l'applicabilità del metodo.

In mancanza di informazioni sulla pendenza del fondo e in casi particolari quali ad esempio le tombature realizzate al di sotto di rilevati e/o discariche di materiali inerti, anche in presenza di pendenze significative, è stata comunque calcolata la profondità critica corrispondente al minimo contenuto energetico della corrente.

Le condizioni critiche sono state determinate imponendo uguale a 1 il numero di Froude della corrente:

$$\frac{Q}{A} = \sqrt{g \cdot \frac{A}{b}}$$

dove Q [m<sup>3</sup>/s] è la portata, A [m<sup>2</sup>] l'area e b [m] la larghezza del pelo libero, g [m/s<sup>2</sup>] l'accelerazione di gravità. Nel caso di sezioni rettangolari è possibile calcolare direttamente la profondità critica Y<sub>c</sub> [m] mediante la:

$$Y_c = \sqrt[3]{\frac{1}{g} \cdot \left(\frac{Q}{b}\right)^2}$$

In presenza di restringimenti dovuti alla particolare conformazione dell'alveo o alla presenza di manufatti artificiali, si è ipotizzato il moto con transizione attraverso lo stato critico all'interno della sezione ristretta ed è stata calcolata la profondità nella sezione di monte dovuta al rigurgito in corrente lenta.

Il calcolo è stato eseguito mediante l'utilizzo della formula di Marchi, valida per sezioni rettangolari:

$$Y_m = K \cdot \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g \cdot b_m^2 \cdot F_L^2}}$$

dove K è un fattore di forma, b<sub>m</sub> [m] è la larghezza della sezione di monte e F<sub>L</sub> è il valore del numero di Froude limite tabulato in funzione del rapporto di restringimento.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	ig51-01-e-cv-ri-ga1u-00-001-a00 <span style="float: right;">Foglio 12 di 15</span>

Il valore di K è stato assunto per tutte le verifiche uguale a 1.14, corrispondente alla situazione più sfavorevole di pile con fronti squadrati.

### 7.3. Analisi dei fenomeni di erosione

#### Erosioni in alveo

Ai fini della valutazione dell'erosione in alveo dovuta alla presenza di elementi rigidi (platee, fondazioni di argini, briglie ecc.) si fa riferimento al caso più significativo del deflusso attraverso una soglia a stramazzo (o briglia). Per la determinazione della massima profondità di erosione al piede si è fatto riferimento alla formula di Schoklitsch<sup>2</sup>, alla base di tutti i successivi studi di settore, espressa nella seguente forma:

$$y_s = 4.75 \cdot H^{0.2} \cdot q^{0.57} \cdot d_{90}^{-0.32} - y_0$$

dove  $H[m]$  è la differenza fra i peli liberi a monte e a valle della briglia,  $q[m^2/s]$  è la portata per unità di larghezza della briglia,  $d_{90}[mm]$  è il diametro del vaglio che consente il passaggio del 90% in peso del materiale che costituisce il fondo e  $y_0[m]$  è la profondità della corrente a valle della briglia.

#### Opere di protezione in massi naturali

Nei casi in cui sia necessario realizzare delle opere di protezione delle sponde o del fondo di un corso d'acqua con strutture permeabili, deformabili e isolate, quali le scogliere in pietrame sciolto, gabbioni, o materassi Reno, occorre determinare le condizioni di equilibrio del singolo masso soggetto alle forze idrodinamiche della corrente che tendono a metterlo in movimento.

Si tratta cioè di determinare le dimensioni minime del singolo masso, e conseguentemente il suo peso, in grado di garantire le condizioni di stabilità in presenza di una corrente caratterizzata da una velocità media  $v$ .

Le formule di uso più comune, derivate dagli studi di Shields sul trasporto solido, definiscono la velocità critica  $v_{cr}$  che dà luogo al moto in funzione del diametro equivalente  $d$  della particella immersa nella corrente secondo la seguente espressione

$$v_{cr} = k \cdot d^{0.5}$$

con  $v_{cr}$  espresso in m/s e  $d$  in metri.

Il coefficiente  $k$  assume valori variabili fra 4 e 8; nella comune pratica progettuale si assume per  $k=5^3$ .

Quando  $k$  supera il valore di 8 si determinano le condizioni di movimento del singolo masso: pertanto, per il dimensionamento di massi cementati sul fondo dell'alveo, cautelativamente si assume un valore di  $k$  pari a 8.

Assumendo come velocità critica la velocità della corrente e risolvendo l'espressione secondo  $d$ , si ottiene la dimensione minima del masso da utilizzare nel caso esaminato.

La velocità che interessa è quella al fondo: nel caso in cui il battente idrico sia molto maggiore della dimensione del materiale la velocità al fondo può essere assunta pari al 75% della velocità media; nel caso in cui invece la dimensione del materiale sia confrontabile con la profondità della corrente è bene assumere come velocità al fondo la velocità media.

<sup>2</sup> A.Schoklitsch: Kolkbildung unter Überfallstrahlen, Die Wassewirtschaft (1932)

A. Schoklitsch: Stauraumverlandung und Kolkabwehr, Julius Springer, Wien (1935)

<sup>3</sup> L. Da Deppo-C. Datei-P. Salandin: Sistemazione dei corsi d'acqua, Cortina edizioni, Padova 1997.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	ig51-01-e-cv-ri-ga1u-00-001-a00 <span style="float: right;">Foglio 13 di 15</span>

Analogamente alle soluzioni con massi naturali, sarà possibile fare ricorso a sistemi di gabbioni di dimensioni tali da garantire i pesi corrispondenti ai dimensionamenti precedentemente indicati, privilegiando la dimensione standard 1.0x1.0x2.0 m o materassi reno di spessore pari a 0.5 m.

## 8. VERIFICHE IDRAULICHE

### 8.1. Portate di progetto

Con riferimento allo Studio Idrologico al quale si rimanda per ogni indicazione di dettaglio circa la metodologia di analisi e di calcolo adottata, per il rio Campora la portata con tempo di ritorno 200 anni utilizzata nelle verifiche idrauliche è pari a 28.2 m<sup>3</sup>/s.

Per i corsi d'acqua minori interferenti, la portata di progetto è stata determinata applicando la formula razionale come previsto dal PAI: i risultati sono riportati nella Relazione idrologica.

### 8.2. Verifiche idrauliche

Le verifiche idrauliche del rio Campora nel tratto adiacente al cantiere CA20 oggetto di sistemazione sono state condotte attraverso il calcolo del profilo di rigurgito in moto permanente gradualmente variato nella configurazione di stato di progetto.

Le informazioni di carattere topografico ai fini della verifica sono state desunte da un rilievo plano-altimetrico dell'alveo e delle aree adiacenti eseguito nell'ambito del progetto generale.

Lungo l'asta del corso d'acqua sono state individuate 6 sezioni in funzione delle caratteristiche plano-altimetriche del fondo.

Nelle sezioni di calcolo del profilo quale quota di riferimento della sommità degli argini è stata assunta, quando presente, quella del piano viabile delle strade adiacenti.

Le verifiche sono state effettuate nell'ipotesi di sponde infinite qualora il livello di piena superi le quote di sommità arginali.

Ai fini del calcolo è stato assunto un valore del coefficiente di scabrezza equivalente  $n$  pari a 0.025 corrispondente alla situazione di alveo regolare rivestito in massi naturali.

A favore di sicurezza si è preferito integrare il profilo di rigurgito per la sola corrente lenta da valle verso monte, imponendo come condizione al contorno la profondità critica nella sezione di valle assunta come sezione di controllo.

I risultati sono riassunti in forma numerica e grafica nei seguenti elaborati riportati in Allegato A1:

Stato di progetto:

- Schema planimetrico dell'alveo con l'indicazione delle sezioni idrauliche di calcolo
- Profilo di rigurgito in scala 1:1500/1:100;
- Tabelle riassuntive dei risultati;
- Sezioni trasversali di calcolo in scala 1:200/1:100 con l'indicazione delle quote del pelo libero.

Di seguito si riporta una descrizione dei risultati delle verifiche per i tratti esaminati.

Il deflusso avviene con altezze medie del pelo libero comprese tra 1.4 e 2.3 m e velocità comprese tra 1.6 e 4.1 m/s.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	ig51-01-e-cv-ri-ga1u-00-001-a00 <span style="float: right;">Foglio 14 di 15</span>

Il franco rispetto all'intradosso del tombino in corrispondenza della nuova viabilità di cantiere è pari a 2.3 m, mentre nel tratto di cui si prevede la sistemazione dell'alveo con massi naturali il franco minimo è maggiore di 0.5 m.

### 8.3. Calcolo dell'erosione e dimensionamento delle opere di protezione

Nel tratto di alveo oggetto di sistemazione è prevista la realizzazioni di opere di protezione al fondo e spondali.

Tutte le opere verranno realizzate con strutture elastiche in massi naturali.

Con riferimento a quanto riportato al paragrafo 7.3 sono stati dimensionati i massi da utilizzare per la sistemazione del rio Carbonasca.

Assumendo quale valore della velocità critica la velocità massima del tratto, pari a circa 5 m/s, risulta:

- $d=(5/5)^2 = 1.0 \text{ m}$

cui corrisponde un peso del singolo masso di circa 1.4 tonnellate.

Pertanto le protezioni al fondo verranno realizzate con massi naturali di seconda categoria di peso compreso fra 1 e 3 tonnellate.

## 9. VERIFICHE TERRE ARMATE

La nuova sede del r. Campora sarà realizzata in continuità alla strada pubblica vicinale, pertanto si rende necessario prevedere alcune opere a sostegno di quest'ultima. A protezione della strada esistente sarà collocata una barriera di tipo H2, avente uno sviluppo di circa 168 m.

La sistemazione della porzione del versante sottostante la viabilità sarà attuata mediante la realizzazione di opere di sostegno in terre armate di altezza 5,20 m e larghezza 4,00 m.

Il terreno di risulta dagli scavi è ritenuto idoneo come riempimento delle terre rinforzate, si ottiene così un basso impatto ambientale.

Si prevedono rinforzi tipo *FAST-TER 70° - 8/2, 7P-0,75*

Lunghezza	=	4.00 [m]
Interasse	=	0.75 [m]
Risolto	=	0.65 [m]

In accordo con quanto imposto del DM Infrastrutture 14 gennaio 2008, sono state prese in considerazione le seguenti azioni elementari di calcolo:

1) G1 – Carichi permanenti (g<sub>fav</sub>=1.00 - g<sub>sfav</sub>=1.30).

Pesi di volume dei terreni saturi: 18.00÷19.00 kN/m<sup>3</sup>.

2) Q – Sovraccarico variabile (g<sub>fav</sub>=0.00 - g<sub>sfav</sub>=1.50):

Carico applicato sul terreno: 20.00 kN/m<sup>2</sup>.

Azione sismica allo SLV, valutata secondo le indicazioni dei par. 3.2 e 7.11.6.2 del DM Infrastrutture 14 gennaio 2008.

Considerando categoria di sottosuolo C e classe topografica T1 si ha:

Accelerazione [m/s<sup>2</sup>] : Orizzontale = 0.27 Verticale = -0.14

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>ig51-01-e-cv-ri-ga1u-00-001-a00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 15 di 15</p>

I parametri fisico – meccanici assunti in sede di progetto, concernenti la caratterizzazione geologica del sito, possono essere così riassunti:

Materiale artificiale recente: alluvioni, ghiaiose, sabbiose, argillose con modesta alterazione superficiale

Peso di volume saturo: 19.00 kN/m<sup>3</sup>

Angolo di attrito interno: 30°.

Coesione drenata: 0 kPa.

La stabilità locale del complesso opera – terreno è stata verificata impiegando un metodo pseudo-statico e le superfici critiche di scorrimento sono state ricercate col metodo di Bishop.

Con riferimento alle analisi strutturali svolte in modo automatico dai codici di calcolo, si è avuto cura di verificare la correttezza della modellazione effettuata.

Le verifiche di stabilità di rottura interna condotte secondo l'approccio 1, variando i criteri di ricerca delle curve di rottura, risultano soddisfatte:

1° caso: Coefficiente di sicurezza minimo calcolato 1.353 > 1.1

2° caso: Coefficiente di sicurezza minimo calcolato 1.318 > 1.1

3° caso: Coefficiente di sicurezza minimo calcolato 1.478 > 1.1

La verifica di stabilità globale (opera/terreno) condotta secondo l'approccio 1 risulta soddisfatta:

Coefficiente di sicurezza minimo calcolato 1.116 > 1.1

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



ig51-01-e-cv-ri-ga1u-00-001-a00

**ALLEGATO A1**  
**VERIFICHE IDRAULICHE**

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	ig51-01-e-cv-ri-ga1u-00-001-a00

## ELENCO ELABORATI

### Verifiche globali

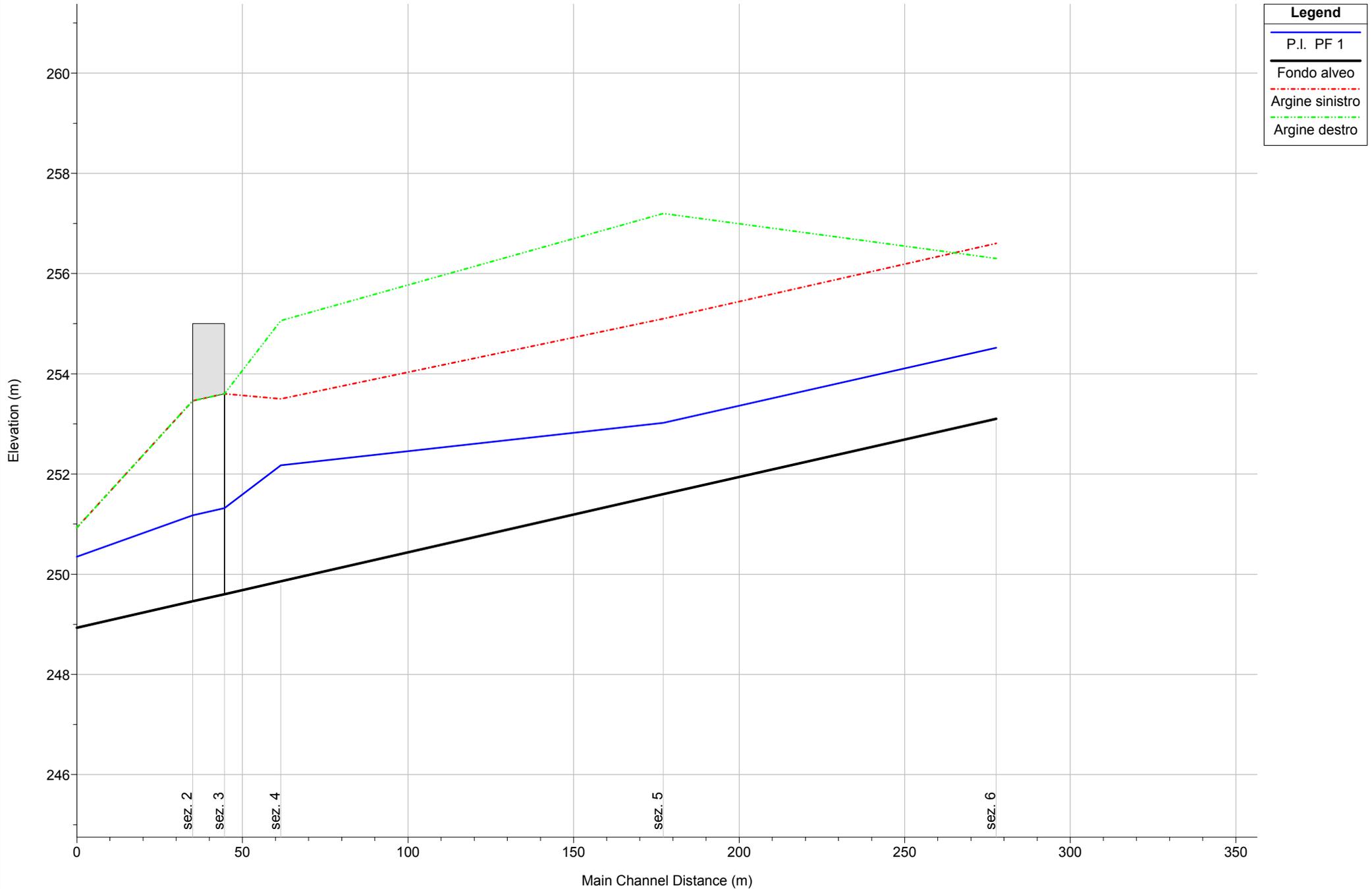
- **Stato di progetto:**
  - **Schema planimetrico dell'alveo con l'indicazione delle sezioni idrauliche di calcolo**
  - **Profilo di rigurgito in scala 1:1500/1:100;**
  - **Tabelle riassuntive dei risultati;**
  - **Sezioni trasversali di calcolo in scala 1:200/1:100**

AREA CANTIERE PER REALIZZAZIONE POZZO CASCINA RADIMERO



PLANIMETRIA CON INDICAZIONE  
DELLE SEZIONI IDRAULICHE  
Scala 1:1000

CAMPORA Q200 = 28.2 m³/s



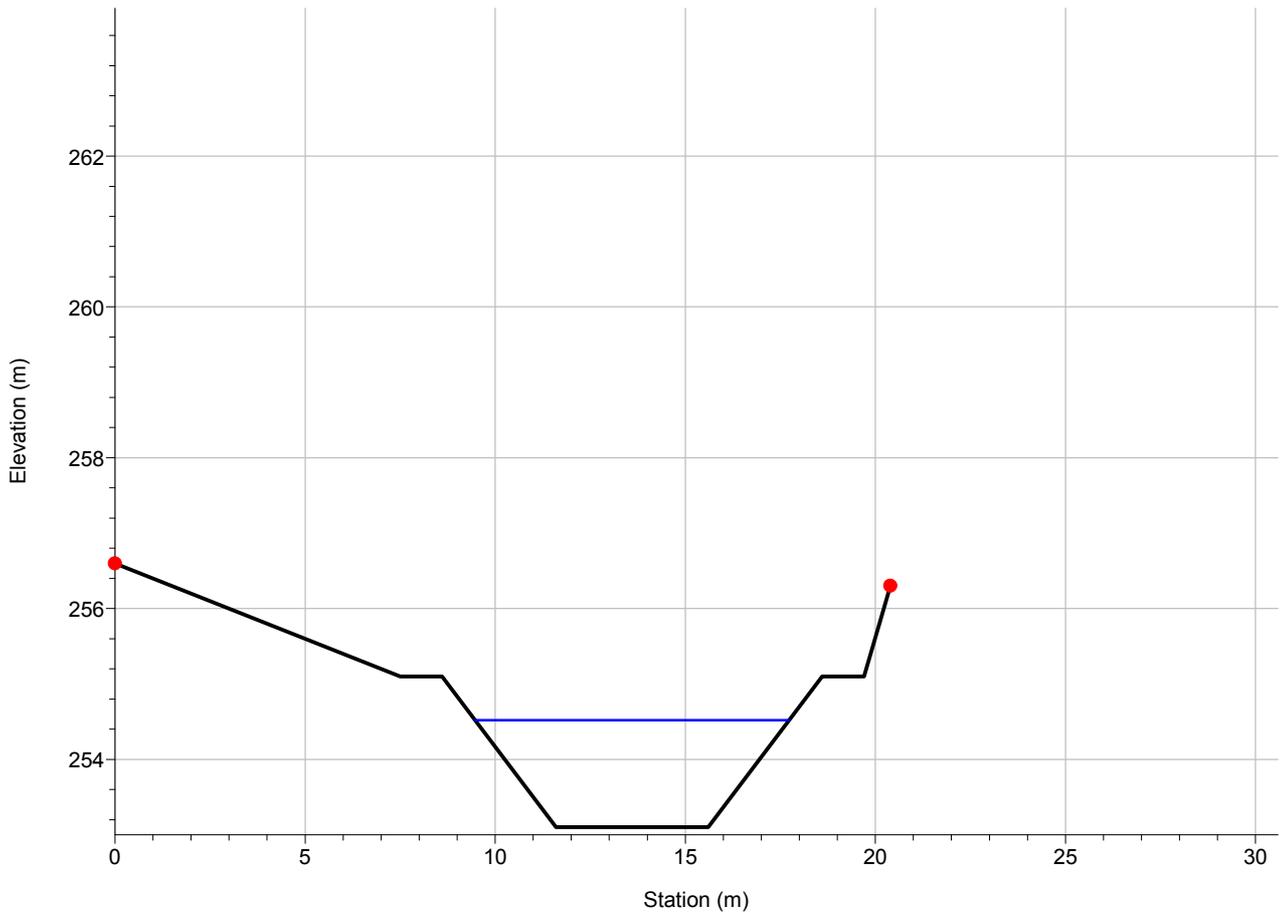
1 cm Horiz. = 15 m 1 cm Vert. = 1 m

HEC-RAS Plan: CAMP-PROG River: CAMPORA Reach: CAMPORA Profile: PF 1

Reach	River Sta	Profile	Cum Ch Len (m)	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	LOB Elev (m)	ROB Elev (m)	W.S. Elev (m)	Hydr Depth (m)	Max Chl Dpth (m)	E.G. Elev (m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
CAMPORA	6	PF 1	277.60	28.20	253.10	256.60	256.30	254.52	1.05	1.42	255.05	3.24	8.71	8.26	1.01
CAMPORA	5	PF 1	177.10	28.20	251.60	255.10	257.20	253.02	1.05	1.42	253.55	3.24	8.71	8.26	1.01
CAMPORA	4	PF 1	61.60	28.20	249.86	253.50	255.06	252.17	1.32	2.31	252.30	1.56	18.13	13.72	0.43
CAMPORA	3	PF 1	44.60	28.20	249.60	253.60	253.60	251.32	1.72	1.72	252.18	4.10	6.87	4.00	1.00
CAMPORA	2	PF 1	35.00	28.20	249.46	253.46	253.46	251.18	1.72	1.72	252.04	4.11	6.86	4.00	1.00
CAMPORA	1	PF 1		28.20	248.93	250.93	250.93	250.35	1.05	1.42	250.88	3.24	8.71	8.26	1.01

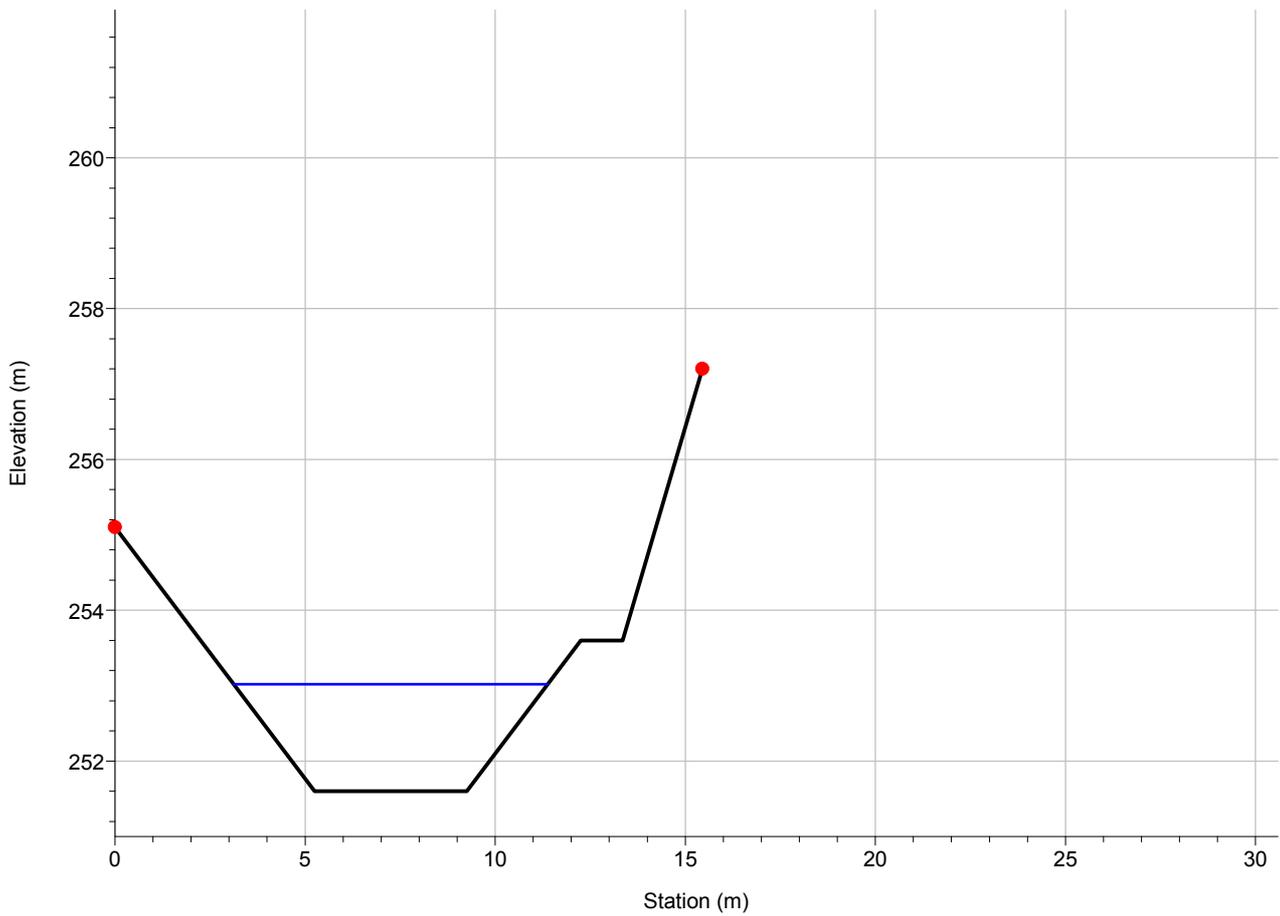
### CAMPORA

River = CAMPORA Reach = CAMPORA sez. 6 Q200 =28.2 m³/s



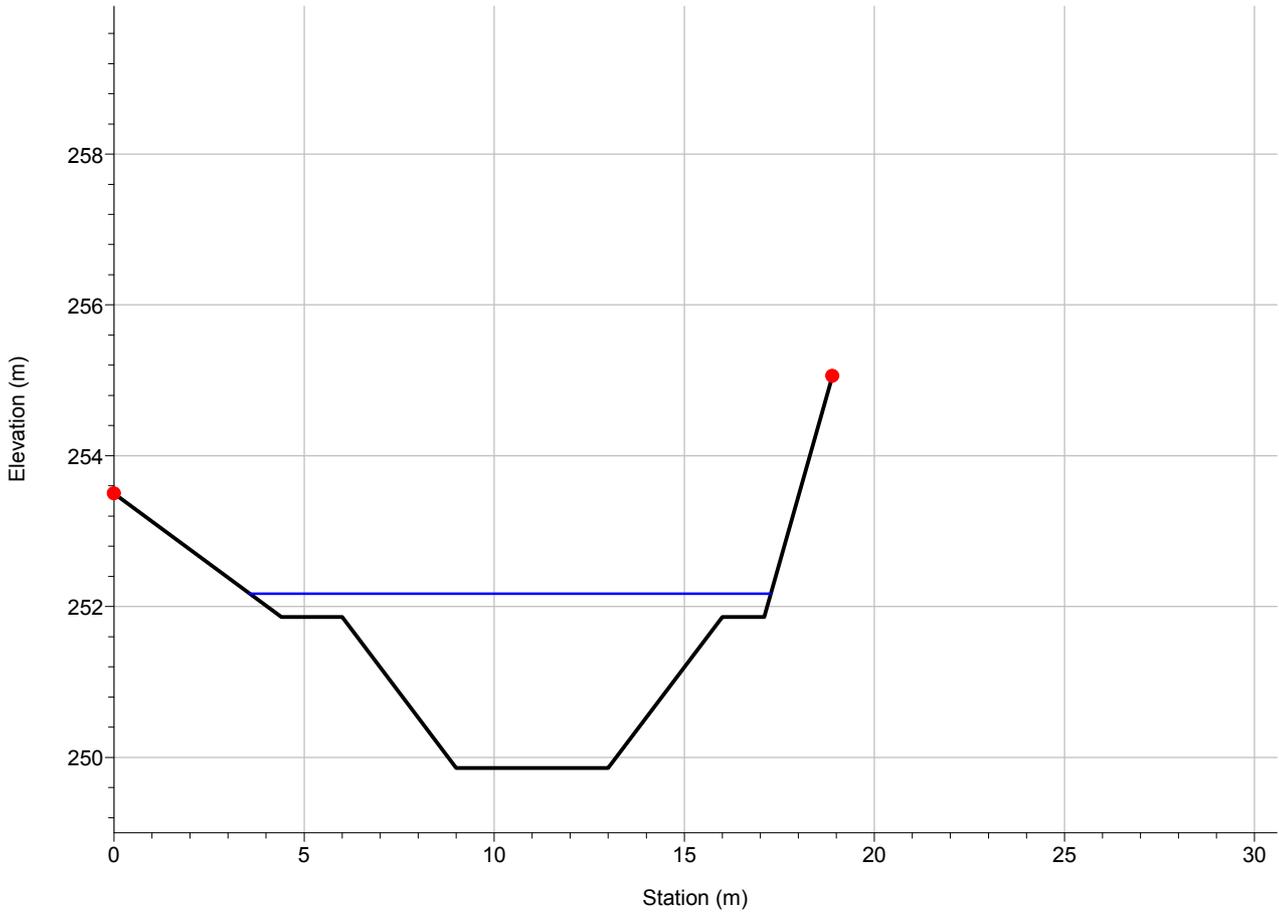
### CAMPORA

River = CAMPORA Reach = CAMPORA sez. 5 Q200 =28.2 m³/s



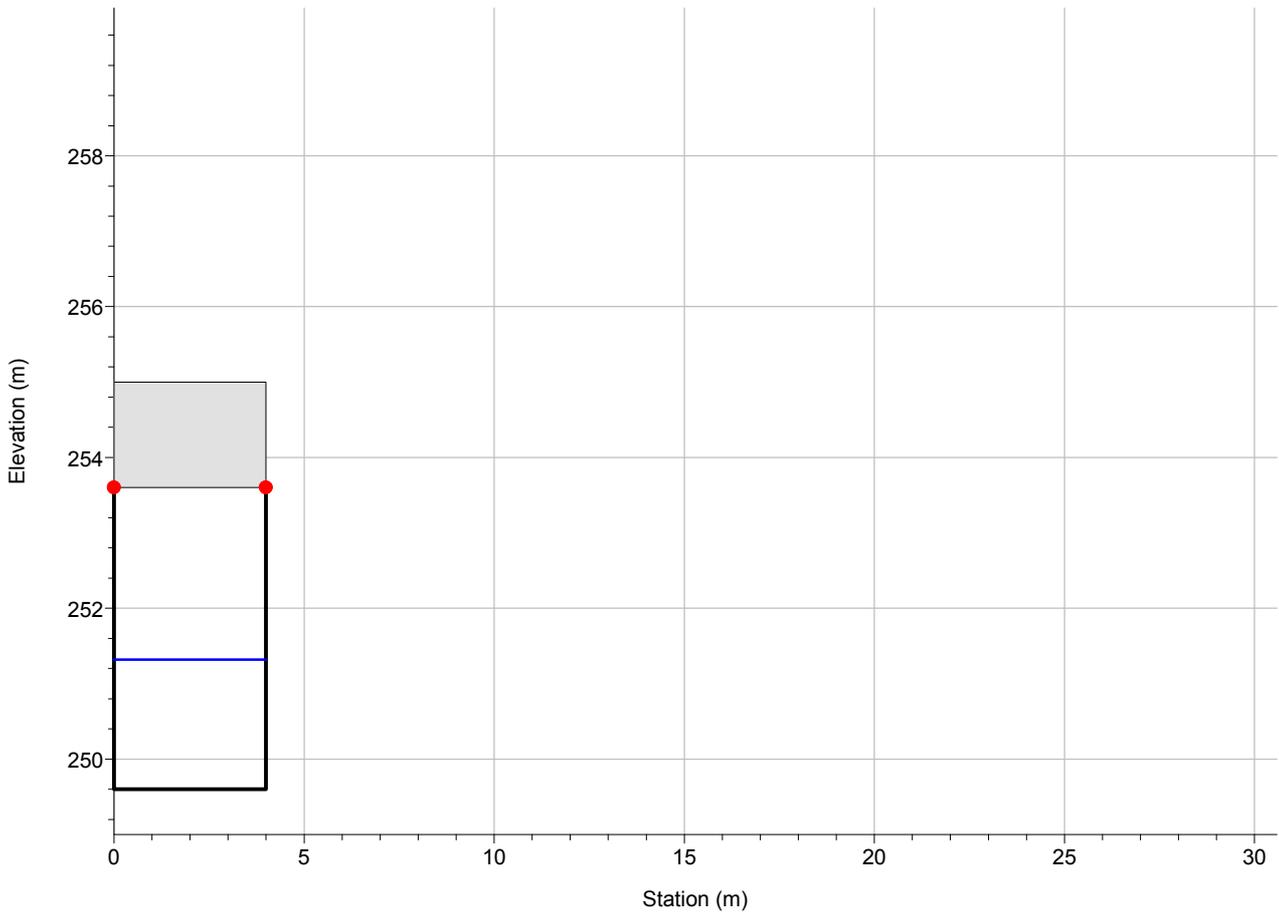
### CAMPORA

River = CAMPORA Reach = CAMPORA sez. 4 Q200 =28.2 m³/s



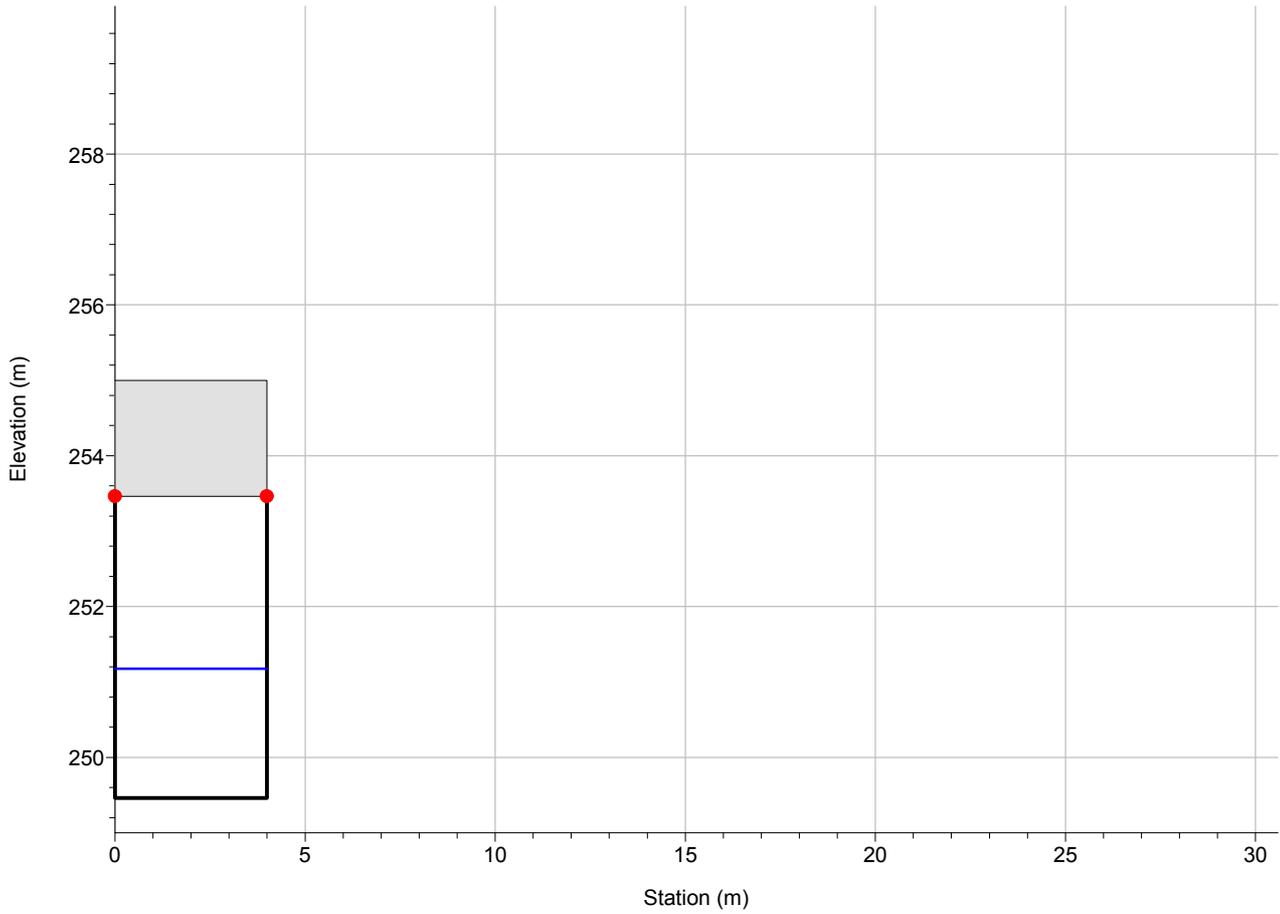
### CAMPORA

River = CAMPORA Reach = CAMPORA sez. 3 Q200 =28.2 m³/s



### CAMPORA

River = CAMPORA Reach = CAMPORA sez. 2 Q200 =28.2 m³/s



### CAMPORA

River = CAMPORA Reach = CAMPORA sez. 1 Q200 =28.2 m³/s

