

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**

**Riqualfica di Via del Vapore e della ex S.S.35 in Arquata Scrivia**

**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	N V 1 9 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-NV19-00-001-A00.DOC
-----------	---



<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-01-E-CV-RI-NV19-00-001-A00.DOC</p> <p style="text-align: right;">Foglio 3 di 12</p>

## INDICE

INDICE.....	3
1.   PREMESSA.....	4
2.   OTTEMPERANZA ALLE PRESCRIZIONI CIPE.....	4
3.   RISPONDENZA AL PROGETTO DEFINITIVO.....	4
4.   CARATTERISTICHE DEI CORSI D'ACQUA INTERFERENTI.....	4
5.   INQUADRAMENTO NORMATIVO E CRITERI PROGETTUALI.....	5
6.   INTERVENTI PREVISTI.....	6
7.   METODOLOGIA DI CALCOLO.....	6
7.1.   Verifiche idrauliche globali.....	7
7.2.   Verifiche puntuali.....	9
8.   VERIFICHE IDRAULICHE.....	10
8.1.   Portate di progetto.....	10
8.2.   Verifiche idrauliche.....	10

ALLEGATO A1 – PLANIMETRIA DI PROGETTO CON INDICAZIONE ATTRAVERSAMENTI

ALLEGATO A2 – VERIFICHE IDRAULICHE RIO CAMPORA

ALLEGATO A3 – VERIFICHE IDRAULICHE PUNTUALI

<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-NV19-00-001-A00.DOC</p> <p>Foglio 4 di 12</p>

## 1. PREMESSA

La presente relazione riporta il dimensionamento e le verifiche idrauliche del reticolo idrografico interferenze con le opere di Riqualifica di Via del Vapore e della Ex S.S.35 in Arquata Scrivia: esse sono rappresentate dal rio Campora e da 1 suo affluente minore.

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.

Gli interventi consistono sostanzialmente nell'adeguamento dei manufatti di attraversamento esistenti lungo il tracciato stradale.

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 sia di tipo globale per il Rio Campora che a carattere puntuale per il rio minore affluente, 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 tracciato stradale oggetto di verifica è caratterizzato dalla presenza di 2 interferenze con il reticolo idrografico di sinistra del torrente Scrivia di cui la più significativa è rappresentata dal rio Campora, chiamato anche rio Radimero.

Il bacino del rio Campora sotteso alla sezione di attraversamento della Via del Vapore ha una superficie pari a circa 1.60 km<sup>2</sup> e il suo territorio appartiene amministrativamente al Comune di Arquata Scrivia.

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.

La cima più alta è a quota 402 m s.l.m., all'estremità settentrionale del bacino; la sezione di chiusura, in corrispondenza della interferenza con la Via del Vapore, è prossima alla quota di 230 m s.l.m.  
L'asta principale del Rio Campora ha una lunghezza di circa 2.3 km, con una pendenza media pari al 4 % circa; la pendenza media dei versanti è pari al 20 % circa.

Il bacino risulta scarsamente urbanizzato, salvo nel tratto terminale in cui colletta anche parte delle acque della SS 35

La seconda interferenza con il reticolo idrografico minore è costituito da un impluvio affluente del Rio Campora.

La superficie del bacino sotteso di tale rio minore è pari a 4.5 ha circa.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	IG51-01-E-CV-RI-NV19-00-001-A00.DOC <span style="float: right;">Foglio 5 di 12</span>

Entrambi i corsi d'acqua non risultano inseriti nell'elenco delle acque pubbliche e l'indagine catastale ha evidenziato che non si tratta di corsi d'acqua pubblici.

## 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>).

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>IG51-01-E-CV-RI-NV19-00-001-A00.DOC</p> <p style="text-align: right;">Foglio 6 di 12</p>

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.

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

L'adeguamento di Via del Vapore costituisce uno dei principali interventi di sistemazione della viabilità di Arquata Scrivia e permetterà di collegare due delle quattro rotatorie in progetto previste sull'asse viario della ex SS 35 costituendo una variante di circa 1000 m alla stessa.

Gli interventi previsti ricalcano sostanzialmente l'attuale sedime stradale migliorandone l'assetto complessivo.

Su un totale di 2 attraversamenti in entrambi i casi non è verificata la condizione di deflusso della portata al colmo di piena, comprensiva del franco minimo richiesto.

Non risultano verificate la sezione di deflusso del rio Campora e del rio 2 che saranno sostituiti rispettivamente con uno scatolare di dimensioni pari a 6 m di larghezza e 5.5 m di altezza e con una tubazione Ø 1500.

L'intervento sul rio Campora prevede oltre alla sostituzione del manufatto di attraversamento, la realizzazione di muri d'argine a monte a valle per il raccordo con l'alveo esistente.

Per l'attraversamento N° 2 si prevede la posa di una condotta in c.a. di diametro pari a 1500 mm, in attraversamento della viabilità, per una lunghezza pari a circa 10m, con collegamento con il fosso esistente.

## 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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-RI-NV19-00-001-A00.DOC
	Foglio 7 di 12

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:

$$H_1 - H_2 = h_f + h_e$$

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:

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

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

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-RI-NV19-00-001-A00.DOC <span style="float: right;">Foglio 8 di 12</span>

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.

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<sup>3</sup>/s] è la portata defluita attraverso la luce di area  $A$  [m<sup>2</sup>],  $H$  [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<sup>3</sup>/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 scavalco del ponte (stramazzo) l'entità delle portate stramazze e defluite 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.



GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	
	IG51-01-E-CV-RI-NV19-00-001-A00.DOC	Foglio 9 di 12

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:

- 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  $Q$  [ $m^3/s$ ] è la portata,  $\chi$  [ $m^{1/2} s^{-1}$ ] il coefficiente di attrito,  $A$  [ $m^2$ ] 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  $n$  [ $m^{-1/3} s$ ] 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.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-RI-NV19-00-001-A00.DOC
	Foglio 10 di 12

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  $Q[m^3/s]$  è la portata,  $A[m^2]$  l'area e  $b[m]$  la larghezza del pelo libero,  $g[m/s^2]$  l'accelerazione di gravità. Nel caso di sezioni rettangolari è possibile calcolare direttamente la profondità critica  $Y_c[m]$  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,  $b_m [m]$  è la larghezza della sezione di monte e  $F_L$  è il valore del numero di Froude limite tabulato in funzione del rapporto di restringimento.

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

## 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  $35 m^3/s$ , mentre per il rio minore affluente del rio Campora si è utilizzato una portata di  $2.4 m^3/s$ .

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

#### Verifiche globali

Il calcolo del profilo è stato effettuato nella configurazione di stato attuale e di stato di progetto.

Lungo l'asta del corso d'acqua sono state individuate una serie di sezioni trasversali numerate dalla 1 alla 8, in funzione delle caratteristiche plano altimetriche del fondo e delle sponde (larghezza, pendenza, curve, presenza di manufatti ecc.).

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	IG51-01-E-CV-RI-NV19-00-001-A00.DOC <span style="float: right;">Foglio 11 di 12</span>

All'interno del modello di calcolo utilizzato le singole sezioni sono state integrate con una serie di sezioni intermedie, ottenute per interpolazione, con passo massimo di 10 m.

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.

Ai fini del calcolo è stato assunto un valore del coefficiente di scabrezza equivalente  $n$  pari a 0.03 corrispondente alla situazione di alveo naturale con presenza di ciottoli e ghiaia, sezioni di forma sostanzialmente regolare, presenza di ostruzioni in alveo quali pile di ponti, basamenti di tralicci ecc., scarsa presenza di vegetazione.

Le verifiche sono state effettuate con il valore di portata 200-ennale pari a  $35 \text{ m}^3/\text{s}$ , nell'ipotesi di sponde infinite qualora il livello di piena superi le quote di sommità arginali.

A favore di sicurezza si è preferito integrare i profili di rigurgito per la sola corrente lenta da valle verso monte, imponendo come condizione al contorno la profondità critica.

I risultati sono riassunti in forma numerica e grafica per ciascuna configurazione esaminata nei seguenti elaborati riportati in Allegato A2:

#### Stato attuale

- Planimetria con indicazione sezioni idrauliche scala 1:1000;
- Profilo di rigurgito in scala 1:1000/1:100;
- Tabelle riassuntive dei risultati

#### Stato di progetto

- Planimetria con indicazione sezioni idrauliche scala 1:1000;
- Profilo di rigurgito in scala 1:1000/1:100;
- Tabelle riassuntive dei risultati

#### Confronto attuale / progetto

- Profilo di rigurgito in scala 1:1000/1:100;
- 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 le due configurazioni esaminate.

#### Stato attuale

La portata 200-ennale è contenuta all'interno dell'alveo per il tratto di monte, mentre risulta esondabile il tratto a valle della sezione 4.

Il deflusso avviene con altezze medie del pelo libero comprese tra 2 m e 4 m e velocità comprese tra 1.1 e 3.8 m/s.

Il manufatto di attraversamento di Via del Vapore risulta fortemente insufficiente.

#### Stato di progetto

L'intervento previsto consiste nel rifacimento dell'attraversamento di Via del Vapore con uno scatolare delle dimensioni interne nette pari a 6.0 m x 5.5 m.

Il deflusso avviene con altezze medie del pelo libero comprese tra 2 m e 2.6 m e velocità comprese tra 2.7 e 3.7 m/s.

Il manufatto di attraversamento di Via del Vapore risulta verificato con oltre un metro di franco.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	IG51-01-E-CV-RI-NV19-00-001-A00.DOC <table border="1" data-bbox="1420 235 1532 286"> <tr> <td>Foglio 12 di 12</td> </tr> </table>	Foglio 12 di 12
Foglio 12 di 12		

### **Verifiche puntuali**

Nelle verifiche idrauliche a carattere puntuale è stato assunto un valore  $n [m^{-1/3}s]$  del coefficiente dimensionale di scabrezza pari a 0.02 per le opere in calcestruzzo e 0.03 per gli alvei naturali regolari in terra o rivestiti con pareti di cemento solo in parte intonacate o con muratura irregolare, con depositi al fondo.

Sono stati assunti idraulicamente adeguati le tubazioni con un rapporto d'invaso inferiore a 0.75 e i manufatti con un franco superiore a 0.5 m rispetto all'intradosso.

In tabella "Verifiche idrauliche" dell'allegato A3, per ciascun attraversamento sono indicate la tipologia, le caratteristiche geometriche attuali, la portata, l'altezza di moto uniforme, il rapporto d'invaso, la velocità e il numero di Froude; nella stessa tabella sono riportati i risultati delle verifiche idrauliche.

Ù  
 Nei casi in cui la verifica idraulica non risulta soddisfatta sono altresì indicati la tipologia e le dimensioni del nuovo attraversamento. In questa fase si è proceduto nel dimensionamento delle nuove opere imponendo una pendenza analoga a quella dei manufatti attuali.

Nello stesso allegato A3 sono riportate le scale di deflusso per il rio 2 (affluente minore del Rio Campora) sia per lo stato attuale che per lo stato di progetto.

Il manufatto di attraversamento del Rio 2, che non risulta verificato, sarà sostituito con una tubazione Ø 1500.

Assumendo una pendenza minima del 1% ed una scabrezza pari a  $0.02 m^{-1/3} s$  per la condotta in progetto in cemento, presenta un'altezza di 0.77 m, un grado di riempimento di 0.53, velocità di 2.67 m/s e numero di Froude pari a 1.08 ed un franco idraulico di 0.73 m.

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA

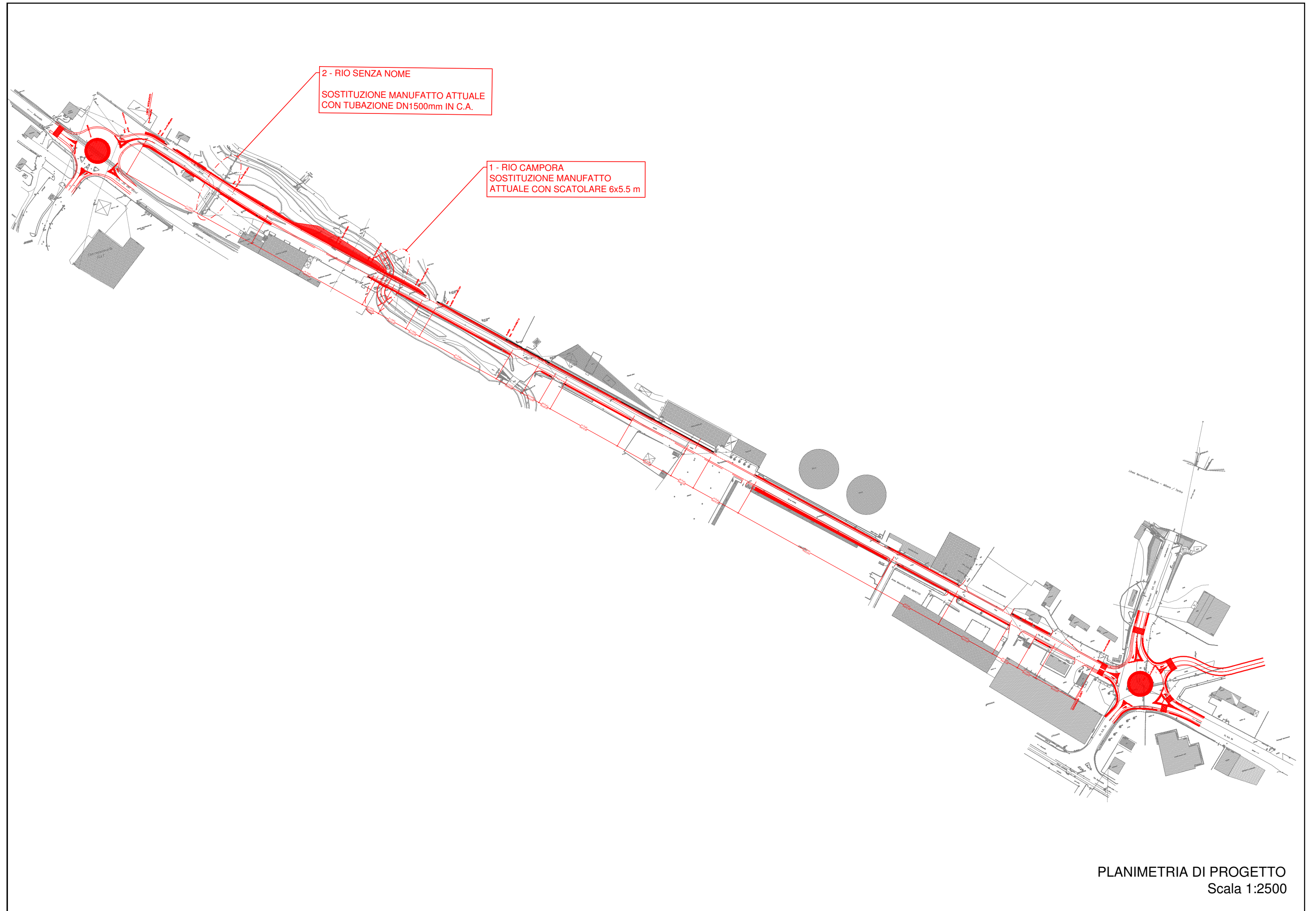


ig51-01-e-cv-ri-nv19-00-001-a00.doc

Foglio

## ALLEGATO A1

### PLANIMETRIE DI PROGETTO CON INDICAZIONE ATTRAVERSAMENTI



2 - RIO SENZA NOME  
SOSTITUZIONE MANUFATTO ATTUALE  
CON TUBAZIONE DN1500mm IN C.A.

1 - RIO CAMPORA  
SOSTITUZIONE MANUFATTO  
ATTUALE CON SCATOLARE 6x5.5 m

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



ig51-01-e-cv-ri-nv19-00-001-a00.doc

Foglio

## ALLEGATO A2

### VERIFICHE IDRAULICHE RIO CAMPORA

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Costruttori Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	ig51-01-e-cv-ri-nv19-00-001-a00.doc
	Foglio

## ELENCO ELABORATI ALLEGATO A2

### ■ Stato attuale

- Planimetria con indicazione sezioni idrauliche scala 1:1000;
- Profilo di rigurgito in scala 1:1000/1:100;
- Tabelle riassuntive dei risultati

### ■ Stato di progetto

- Planimetria con indicazione sezioni idrauliche scala 1:1000;
- Profilo di rigurgito in scala 1:1000/1:100;
- Tabelle riassuntive dei risultati





### ■ Confronto attuale / progetto

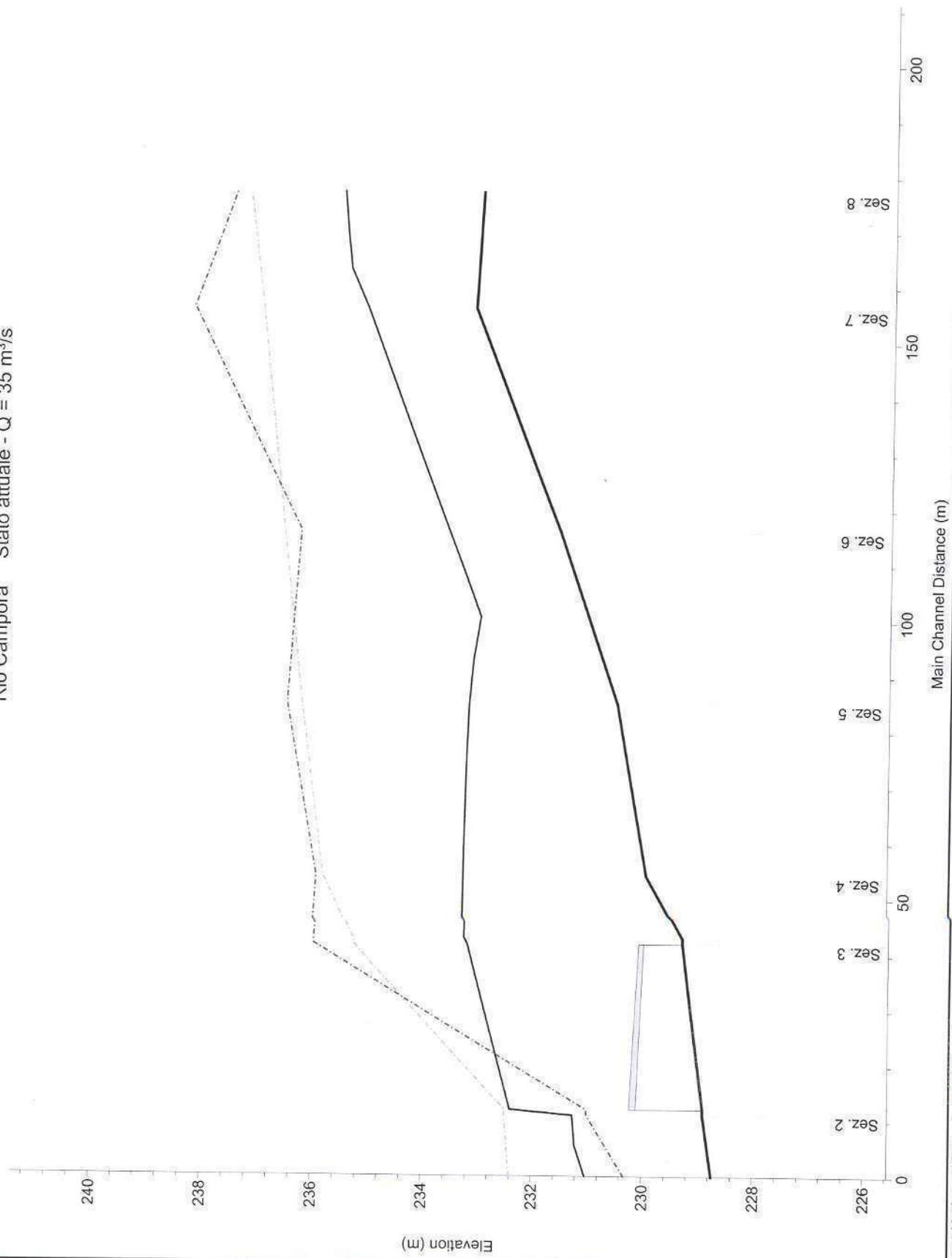
- Profilo di rigurgito in scala 1:1000/1:100;
- Sezioni trasversali di calcolo in scala 1:200/1:100 con l'indicazione delle quote del pelo libero.





Rio Campora Stato attuale - Q = 35 m<sup>3</sup>/s

Legend	
	P.I. T200
	Fondo alveo
	piano viabile e/o sponda sn
	piano viabile e/o sponda dx







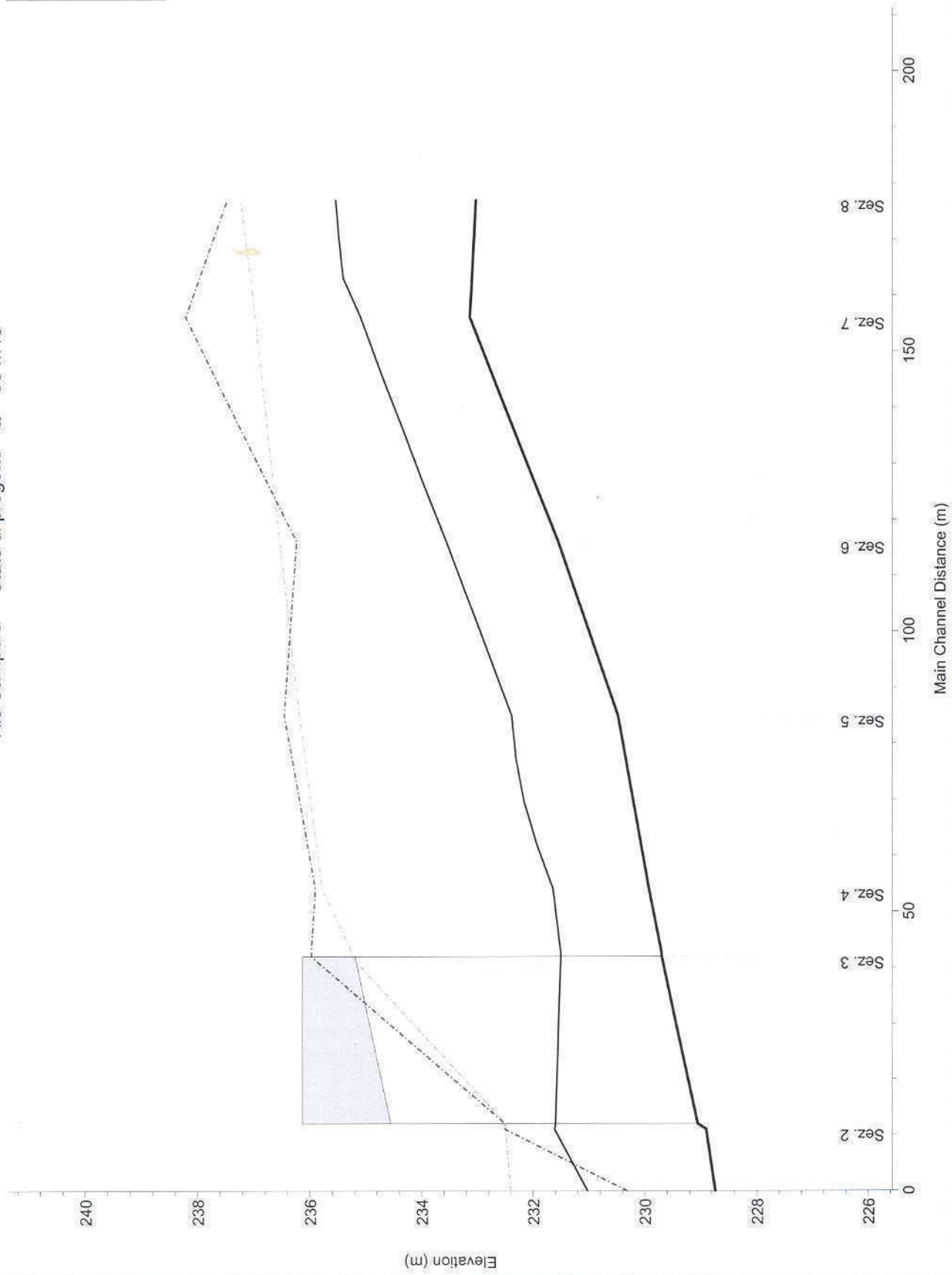
1 cm Horiz. = 10 m 1 cm Vert. = 1 m

Reach	River Sta	Cum Ch Len (m)	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	LOB Elev (m)	ROB Elev (m)	W.S. Elev (m)	Max Chl Dpth (m)	Hydr Depth (m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	E.G. Elev (m)	Froude # Chl
rio campora	8	177.00	35.00	233.03	237.24	237.48	235.54	2.51	1.78	2.82	12.43	7.00	235.94	0.67
rio campora	7	156.00	35.00	233.14	236.98	238.22	235.10	1.96	1.36	3.67	9.53	7.02	235.79	1.01
rio campora	6	116.00	35.00	231.55	236.54	236.24	233.56	2.01	1.39	3.71	9.43	6.76	234.27	1.00
rio campora	5	85.00	35.00	230.48	236.19	236.46	233.16	2.68	1.81	2.25	15.54	8.58	233.42	0.53
rio campora	4	54.00	35.00	229.92	235.78	235.90	233.24	3.32	2.11	1.30	26.90	12.72	233.33	0.29
rio campora	3.1	43.00	35.00	229.29	235.26	235.97	233.25	3.96	2.48	1.12	31.13	12.57	233.31	0.23
rio campora	3	42.00	35.00	229.29	229.29	229.74	233.19	3.90	1.88	1.50	23.36	12.44	233.31	0.25
rio campora	2.1	12.00	35.00	228.90	229.15	228.90	232.39	3.49	1.39	3.69	9.49	6.82	233.08	0.64
rio campora	2	11.00	35.00	228.90	232.49	231.00	231.25	2.35	1.72	3.46	10.13	5.89	231.86	0.84
rio campora	1		35.00	228.74	232.40	230.32	231.02	2.28	1.42	3.77	9.29	6.55	231.75	1.01



Rio Campora Stato di progetto - Q = 35 m<sup>3</sup>/s

Legend	
	P.I. T200
	Sezioni
	piano viabile e/o sponda sn
	piano viabile e/o sponda dx

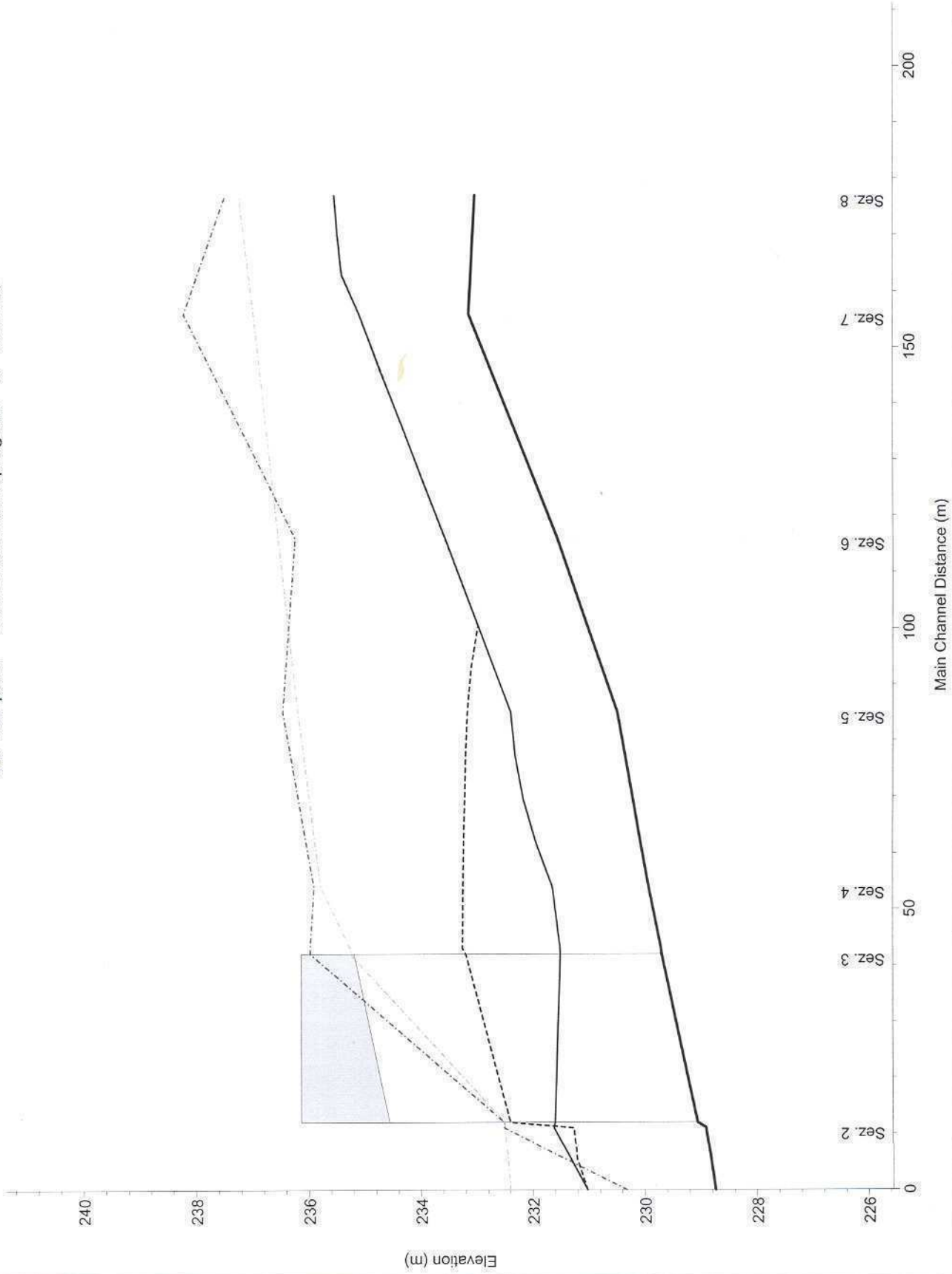


1 cm Horiz. = 10 m 1 cm Vert. = 1 m

Reach	River Sta	Cum Ch Len (m)	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	LOB Elev (m)	ROB Elev (m)	W.S. Elev (m)	Max Chl Dpth (m)	Hydr Depth (m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	E.G. Elev. (m)	Froude # Chl
rio campora	8	177.00	35.00	233.03	237.24	237.48	235.54	2.51	1.78	2.81	12.45	7.01	235.95	0.67
rio campora	7	156.00	35.00	233.14	236.98	238.22	235.10	1.96	1.36	3.67	9.53	7.02	235.79	1.01
rio campora	6	116.00	35.00	231.55	236.54	236.24	233.56	2.01	1.39	3.72	9.40	6.75	234.27	1.01
rio campora	5	85.00	35.00	230.48	236.19	236.46	232.39	1.91	1.36	3.68	9.50	6.96	233.08	1.01
rio campora	4	54.00	35.00	229.92	235.78	235.90	231.64	1.72	1.22	3.47	10.10	8.27	232.25	1.00
rio campora	3.1	43.00	35.00	229.70	235.26	235.97	231.50	1.80	1.80	3.23	10.82	6.00	232.04	0.77
rio campora	3	42.00	35.00	229.69	229.69	229.69	231.50	1.81	1.81	3.22	10.86	6.00	232.03	0.77
rio campora	2.1	12.00	35.00	229.05	229.05	234.55	231.59	2.54	2.54	2.29	15.25	6.00	231.86	0.46
rio campora	2	11.00	35.00	228.90	232.49	232.50	231.61	2.71	2.71	2.15	16.28	6.00	231.85	0.42
rio campora	1		35.00	228.74	232.40	230.32	231.02	2.28	1.42	3.77	9.29	6.55	231.75	1.01

Rio Campora Confronto attuale/progetto - Q = 35 m<sup>3</sup>/s

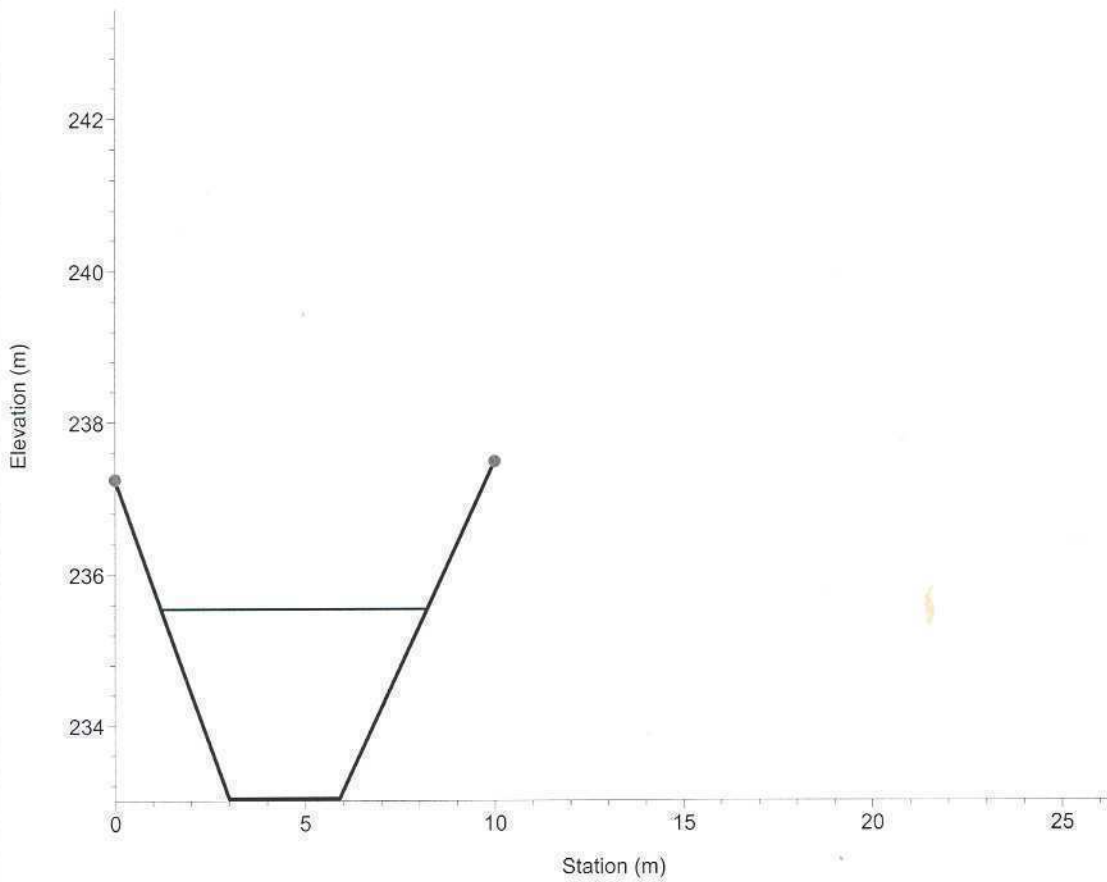
Legend	
—	P.I. T200 - progetto
- - -	P.I. T200 - attuale
—	fondo alveo
—	piano viabile e/o sponda sn
- - -	piano viabile e/o sponda dx



1 cm Horiz. = 10 m 1 cm Vert. = 1 m

### Rio Campora

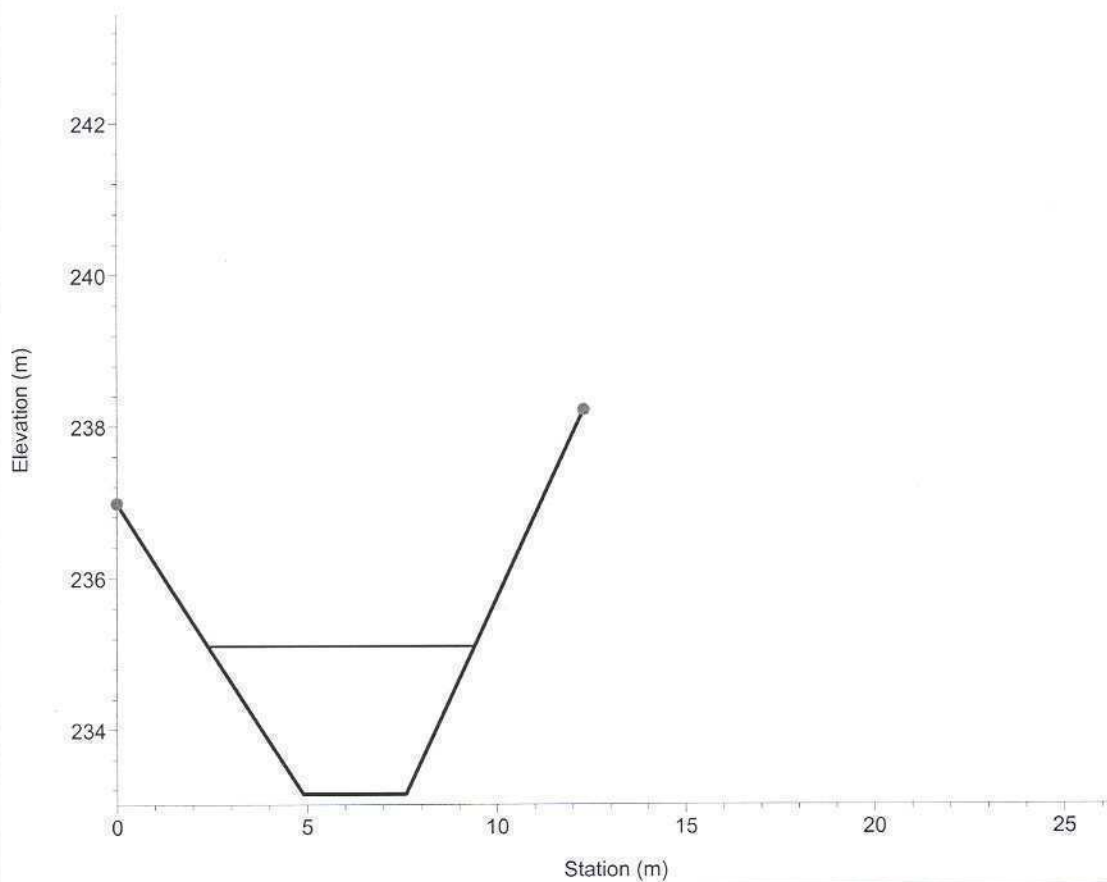
Sez. 8 Confronto attuale/progetto - Q = 35 m<sup>3</sup>/s



Legend	
—	P.I. T200 - progetto
⋯	P.I. T200 - attuale
—	Sezioni - attuale
●	Argini - attuale
—	Sezioni - progetto
●	Argini - progetto

### Rio Campora

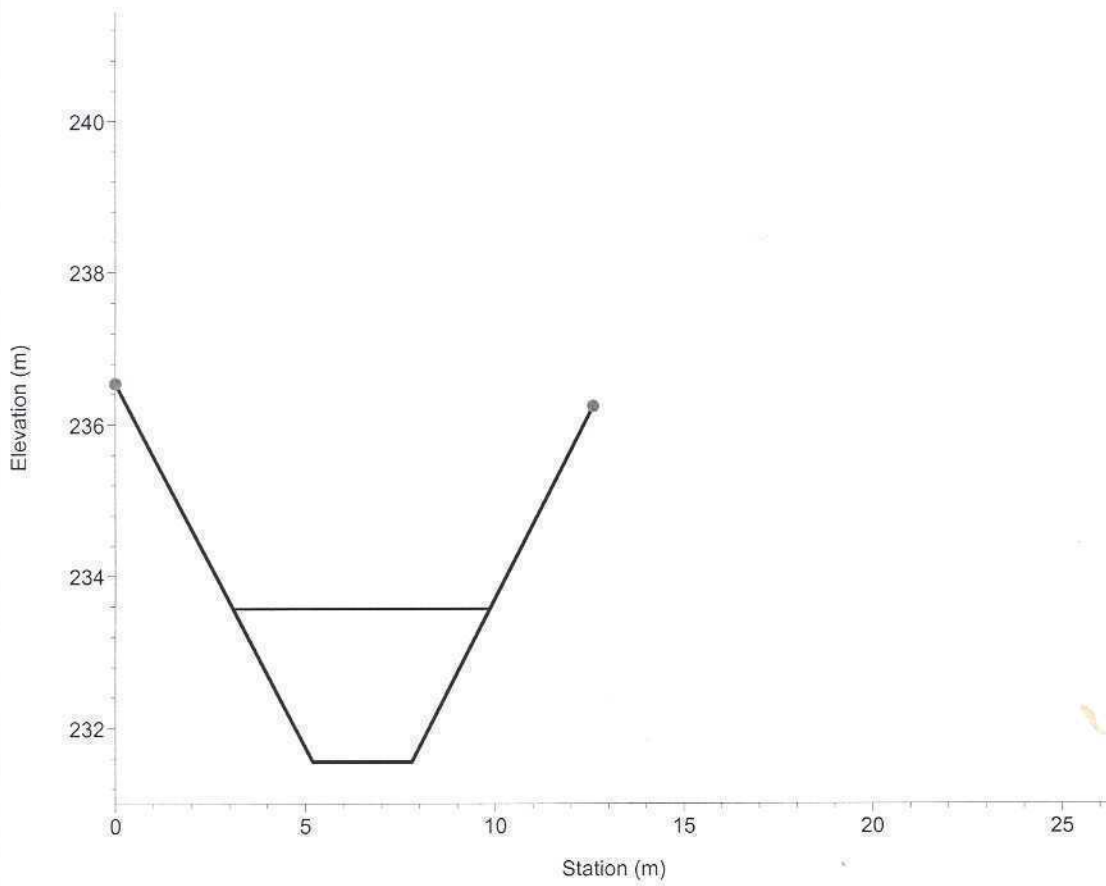
Sez. 7 Confronto attuale/progetto - Q = 35 m<sup>3</sup>/s



Legend	
⋯	P.I. T200 - attuale
—	P.I. T200 - progetto
⋯	Sezioni - attuale
●	Argini - attuale
—	Sezioni - progetto
●	Argini - progetto

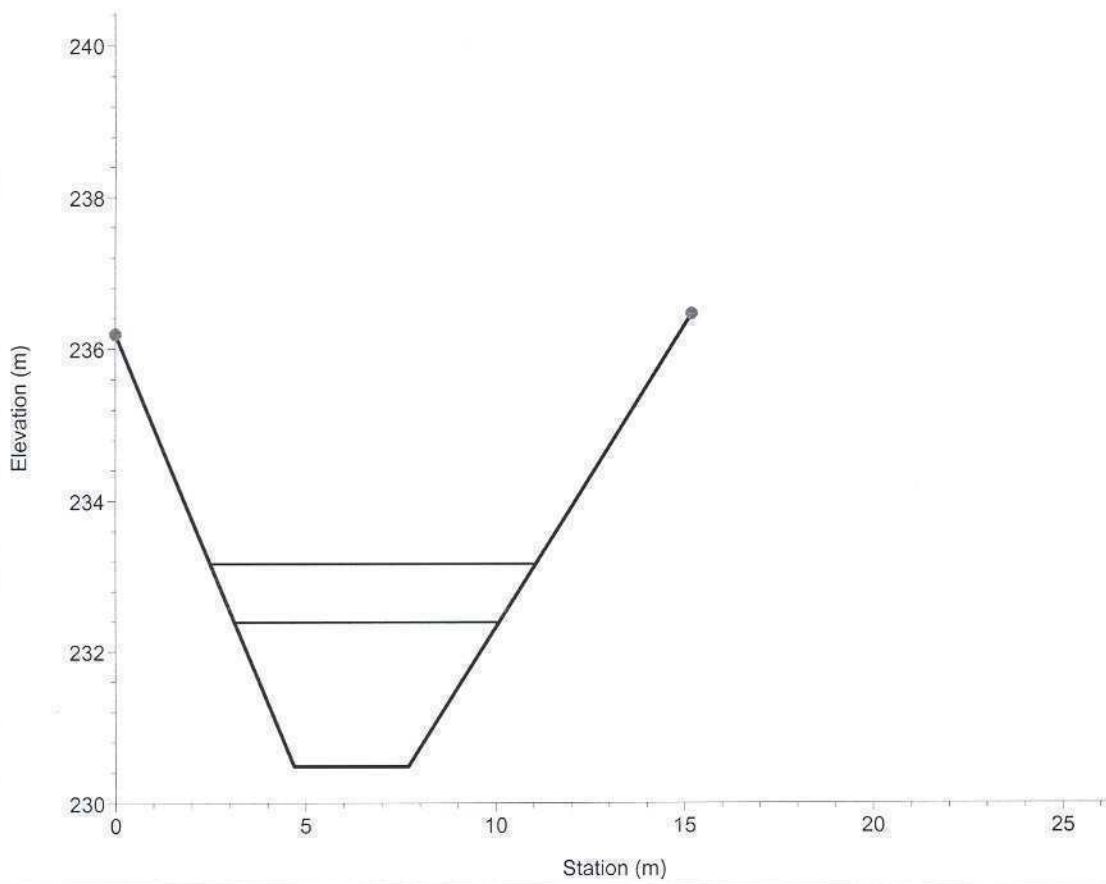


Rio Campora  
Sez. 6 Confronto attuale/progetto - Q = 35 m<sup>3</sup>/s



Legend	
—	P.I. T200 - attuale
—	P.I. T200 - progetto
⋯	Sezioni - attuale
●	Argini - attuale
—	Sezioni - progetto
●	Argini - progetto

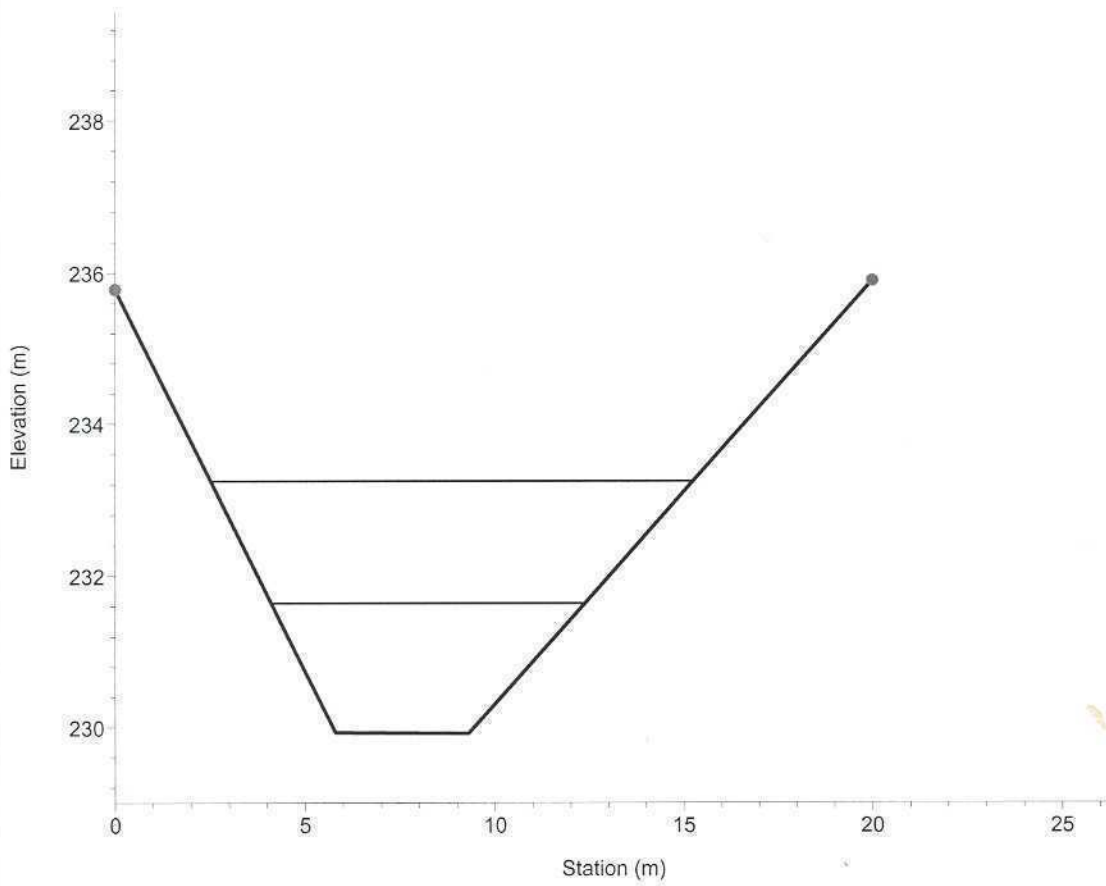
Rio Campora  
Sez. 5 Confronto attuale/progetto - Q = 35 m<sup>3</sup>/s



Legend	
—	P.I. T200 - attuale
—	P.I. T200 - progetto
⋯	Sezioni - attuale
●	Argini - attuale
—	Sezioni - progetto
●	Argini - progetto

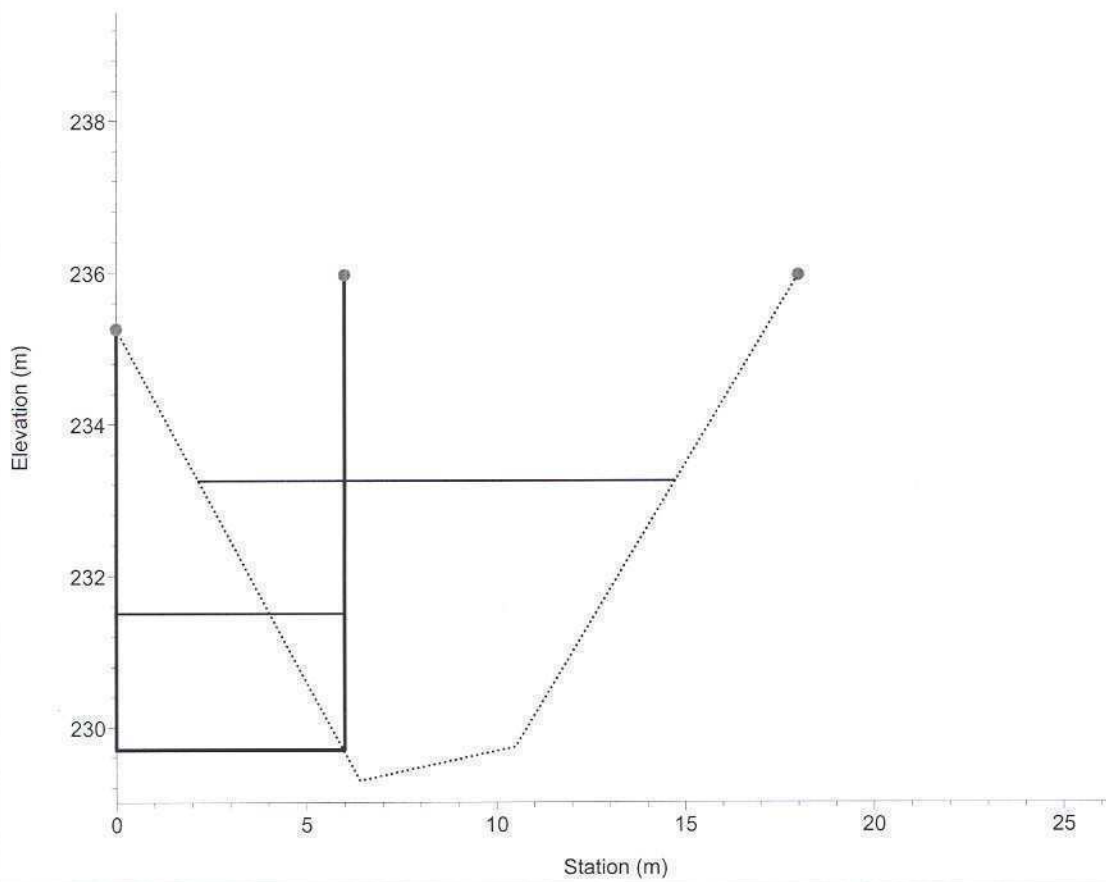
1 cm Horiz. = 2 m 1 cm Vert. = 1 m

Rio Campora  
Sez. 4 Confronto attuale/progetto - Q = 35 m<sup>3</sup>/s



Legend	
—	P.I. T200 - attuale
—	P.I. T200 - progetto
⋯	Sezioni - attuale
●	Argini - attuale
—	Sezioni - progetto
●	Argini - progetto

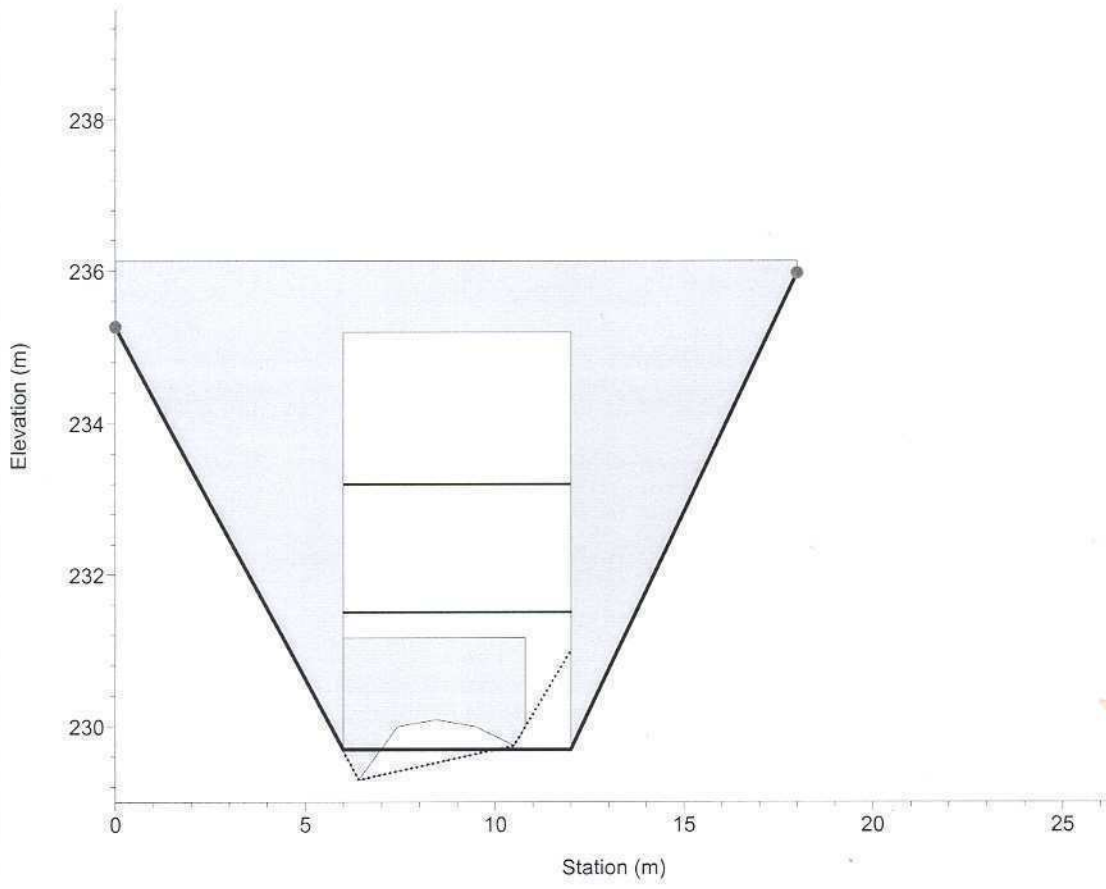
Rio Campora  
Sez. 3.1 Confronto attuale/progetto - Q = 35 m<sup>3</sup>/s



Legend	
—	P.I. T200 - attuale
—	P.I. T200 - progetto
⋯	Sezioni - attuale
●	Argini - attuale
—	Sezioni - progetto
●	Argini - progetto

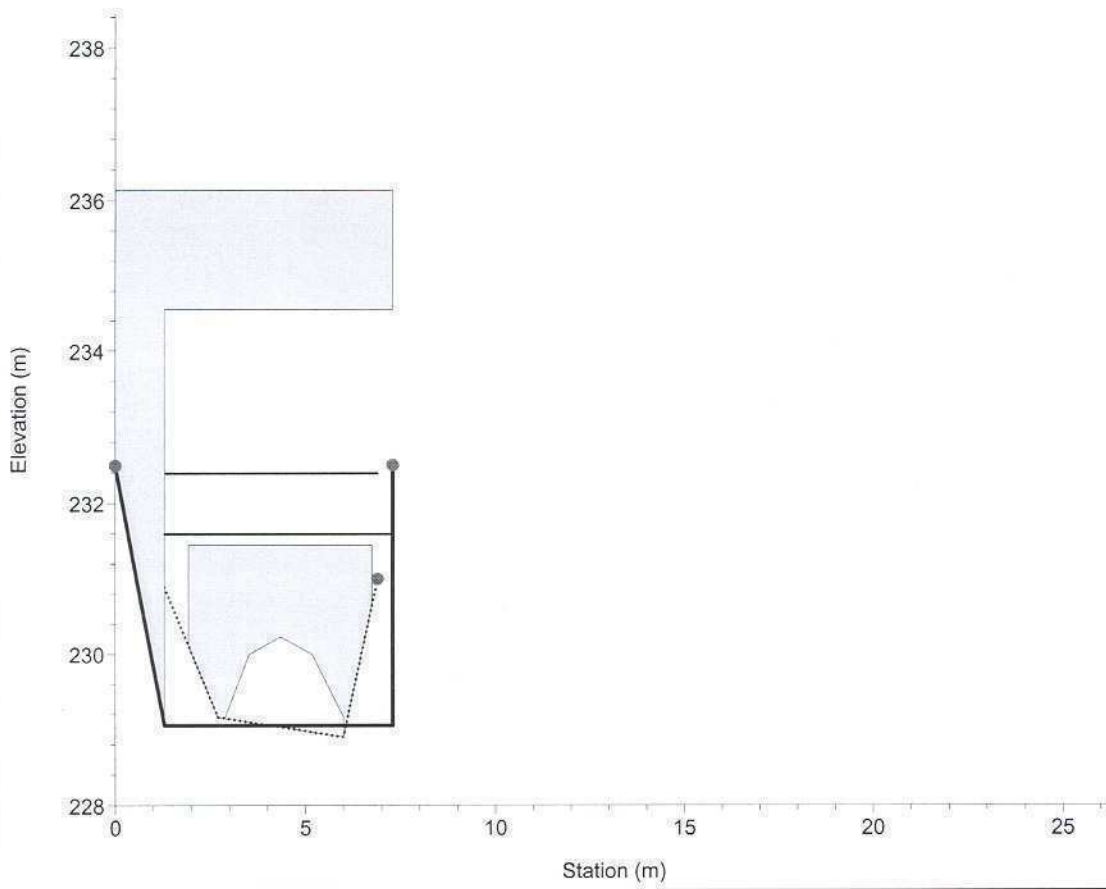
1 cm Horiz. = 2 m 1 cm Vert. = 1 m

Rio Campora  
Sez. 3 Confronto attuale/progetto - Q = 35 m<sup>3</sup>/s



Legend	
—	P.I. T200 - attuale
—	P.I. T200 - progetto
■	- attuale
⋯	Sezioni - attuale
●	Argini - attuale
■	- progetto
—	Sezioni - progetto
⋯	- progetto
●	Argini - progetto

Rio Campora  
Sez. 2.1 Confronto attuale/progetto - Q = 35 m<sup>3</sup>/s

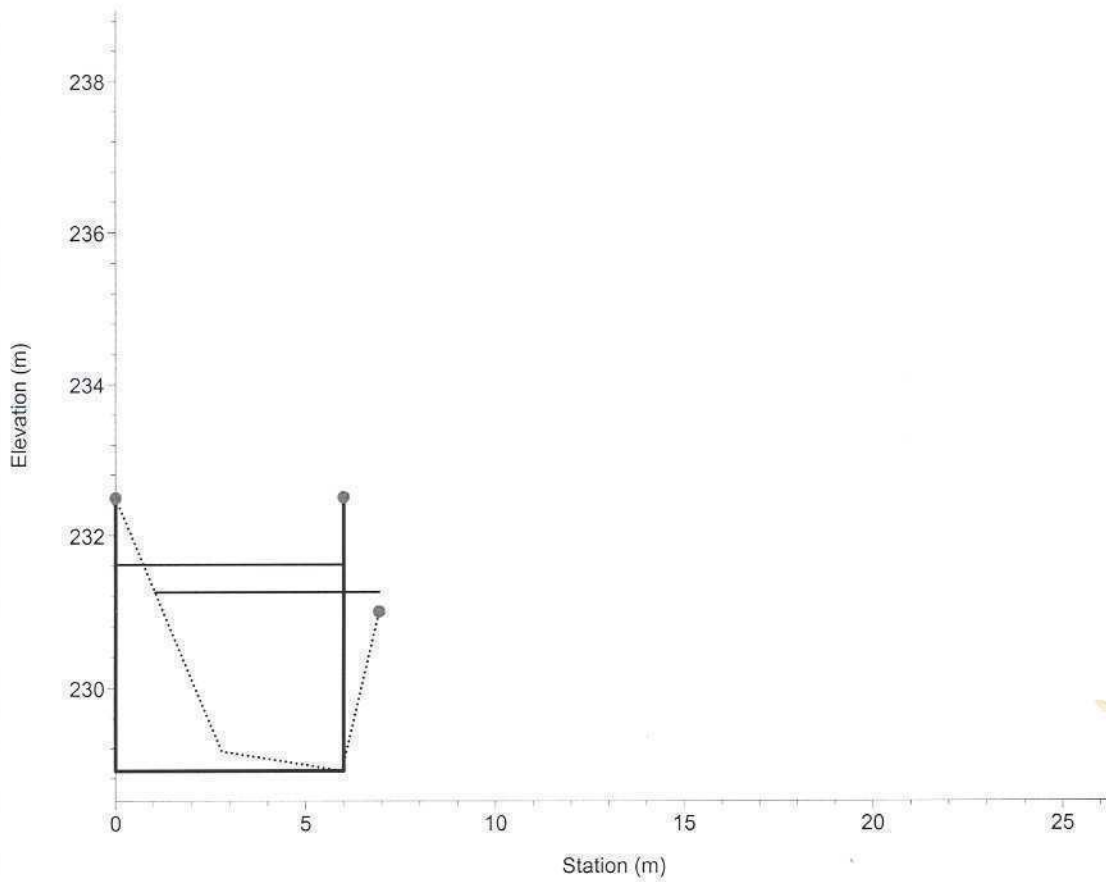


Legend	
—	P.I. T200 - attuale
—	P.I. T200 - progetto
■	- attuale
⋯	Sezioni - attuale
●	Argini - attuale
■	- progetto
—	Sezioni - progetto
⋯	- progetto
●	Argini - progetto

1 cm Horiz. = 2 m 1 cm Vert. = 1 m

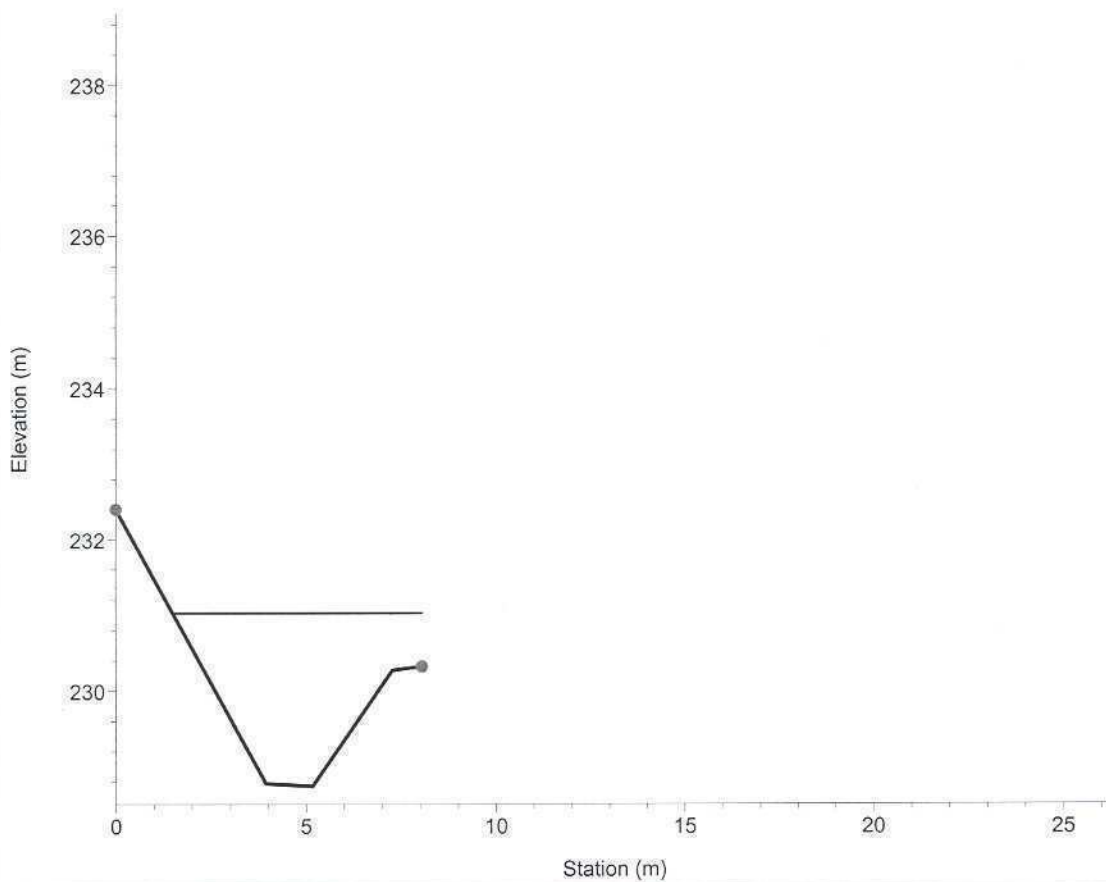
### Rio Campora

Sez. 2 Confronto attuale/progetto - Q = 35 m<sup>3</sup>/s



### Rio Campora

Sez. 1 Confronto attuale/progetto - Q = 35 m<sup>3</sup>/s



1 cm Horiz. = 2 m 1 cm Vert. = 1 m

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



ig51-01-e-cv-ri-nv19-00-001-a00.doc

Foglio

**ALLEGATO A3**  
**VERIFICHE IDRAULICHE PUNTUALI**

GENERAL CONTRACTOR



ALTA SORVEGLIANZA



ig51-01-e-cv-ri-nv19-00-001-a00.doc

Foglio

### ELENCO ELABORATI ALLEGATO A3

- Verifiche idrauliche
- Scale di deflusso

**Verifica idraulica Riqualifica di Via del Vapore e della ex-SS 35 in Comune di Arquata Scrivia**

**Tabella: Verifica idraulica attraversamenti**

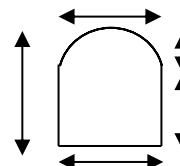
N° Attraversamento Fosso	Portata progetto Q [m³/s]	Tipologia e forma	Geometria esistente				Verifica idraulica				Verificato	Intervento
			Base B [m]	Altezza H [m]	Diametro D [m]	Pendenza if [m/m]	Altezza uniforme Y <sub>u</sub> [m]	Rapporto d'invaso	Velocità v [m/s]	Numero di Froude		
1 Rio Campora ATTUALE	35.0	Semicircolare			3	0.010	-	-	-	-	NO	Scatolare 6 x 5.5 m if 0.01
2 ATTUALE	2.40	Scatolare con volta	0.9	0.6	0.45	0.010	-	-	-	-	NO	DN 1500 if 0.01
2 PROGETO	2.40	Tubazione in cemento			1.5	0.010	0.770	0.53	2.67	1.08	SI	

**Riqualifica di Via del Vapore e della ex-SS 35 in Comune di Arquata Scrivia**

**Tabella : Scala di deflusso sezione rettangolare-semicircolare**

**Attraversamento 2 Stato attuale**

Larghezza	L	=	0.9	m
Altezza parte rettangolare	H	=	0.6	m
Raggio parte superiore	R	=	0.45	m
Coeff. di scabrezza di Manning	n	=	0.03	m <sup>1/3</sup> s <sup>-1</sup>
pendenza fondo	if	=	0.01	m/m



Altezza pelo libero	Rapporto d'invaso	Perimetro bagnato	Area	Raggio idraulico	Larghezza pelo libero	Coefficiente di Chezy	Portata	Velocità	Carico cinetico	Carico specifico	Numero di Froude	Angolo al centro
Y [m]	Y/Htot [-]	P [m]	A [mq]	R [m]	b [m]	C [-]	Q [m3/s]	V [m/s]	Hc [m]	H [m]	Fr [-]	[rad]
0.00	0.00	0.90	0.00	0.00	0.90	1.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	
0.10	0.10	1.10	0.09	0.08	0.90	7.01	0.06	0.63	0.02	0.12	0.63	
0.20	0.19	1.30	0.18	0.14	0.90	7.65	0.16	0.89	0.04	0.24	0.64	
0.30	0.29	1.50	0.27	0.18	0.90	8.00	0.29	1.06	0.06	0.36	0.62	
0.40	0.38	1.70	0.36	0.21	0.90	8.22	0.43	1.18	0.07	0.47	0.60	
0.50	0.48	1.90	0.45	0.24	0.90	8.37	0.57	1.28	0.08	0.58	0.58	
0.60	0.57	2.10	0.54	0.26	0.90	8.49	0.73	1.35	0.09	0.69	0.56	3.14
0.70	0.67	2.30	0.63	0.27	0.90	8.57	0.88	1.40	0.10	0.80	0.54	3.59
0.80	0.76	2.51	0.71	0.28	0.90	8.63	1.03	1.44	0.11	0.91	0.51	4.06
0.90	0.86	2.76	0.79	0.29	0.67	8.64	1.14	1.45	0.11	1.01	0.43	4.60
0.95	0.90	2.90	0.82	0.28	0.57	8.62	1.18	1.43	0.10	1.05	0.38	4.92
1.00	0.95	3.09	0.84	0.27	0.41	8.57	1.19	1.40	0.10	1.10	0.31	5.33
1.05	1.00	3.51	0.86	0.24	0.00	8.41	1.12	1.30	0.09	1.14	0.02	6.28



**Riqualificazione di Via del Vapore e della S.S. 35 in Arquata Scrivia**

**Tabella : Scala di deflusso sezione circolare**

**Attraversamento 2 Stato di progetto**

**Diametro interno DN 1500**

Raggio R = 0.75 m  
 Scabrezza n = 0.02  
 pendenza fondo if = 0.01 m/m

Altezza pelo libero Y [m]	Rapporto d'invaso Y/D [-]	Angolo al centro alfa [rad]	Perimetro bagnato P [m]	Area A [mq]	Raggio idraulico R [m]	Larghezza pelo libero b [m]	Portata Q [m <sup>3</sup> /s]	Velocità V [m/s]	Carico cinetico Hc [m]	Carico specifico H [m]	Numero di Froude Fr [-]
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.10
0.10	0.07	1.04	0.78	0.05	0.06	0.75	0.04	0.80	0.033	0.133	0.99
0.20	0.13	1.50	1.12	0.14	0.12	1.02	0.18	1.25	0.080	0.280	1.08
0.30	0.20	1.85	1.39	0.25	0.18	1.20	0.40	1.60	0.130	0.430	1.12
0.40	0.27	2.17	1.63	0.38	0.23	1.33	0.71	1.89	0.182	0.582	1.13
0.50	0.33	2.46	1.85	0.52	0.28	1.41	1.10	2.14	0.233	0.733	1.13
0.60	0.40	2.74	2.05	0.66	0.32	1.47	1.55	2.35	0.280	0.880	1.12
0.70	0.47	3.01	2.26	0.81	0.36	1.50	2.04	2.52	0.324	1.024	1.10
0.77	0.51	3.19	2.40	0.91	0.38	1.50	2.40	2.63	0.352	1.122	1.08
0.80	0.53	3.28	2.46	0.96	0.39	1.50	2.56	2.67	0.363	1.163	1.07
1.00	0.67	3.82	2.87	1.25	0.44	1.41	3.60	2.88	0.422	1.422	0.98
1.12	0.75	4.17	3.13	1.42	0.45	1.30	4.17	2.95	0.442	1.562	0.90
1.22	0.81	4.50	3.37	1.54	0.46	1.17	4.56	2.96	0.448	1.668	0.82
1.32	0.88	4.87	3.65	1.65	0.45	0.97	4.84	2.94	0.441	1.761	0.72
1.42	0.95	5.35	4.01	1.73	0.43	0.67	4.94	2.85	0.415	1.835	0.57
1.50	1.00	6.28	4.71	1.77	0.38	0.00	4.59	2.60	0.345	1.845	0.00