

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

Nuova viabilità di Accesso al Cantiere Pk 1+180

Relazione Idraulica

GENERAL CONTRACTOR	DIRETTORE DEI LAVORI
Consorzio Cociv 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 0 5 0 0	0 0 1	B

Progettazione :								IL PROGETTISTA
Rev	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Progettista Integratore	Data	
A00	Prima emissione	ITEC engineering <i>OTF</i>	23/05/2012	Ing. F. Colla <i>FF</i>	29/05/2012	E. Pagani <i>EP</i>	31/05/2012	
B00	Revisione progettuale	ITEC engineering <i>OTF</i>	08/10/2012	Ing. F. Colla <i>FF</i>	10/10/2012	E. Pagani <i>EP</i>	12/10/2012	

n. Elab.:	File: IG51-01-E-CV-RI-NV05-00-001-B00
-----------	---------------------------------------

CUP: F81H92000000008

<p>GENERAL CONTRACTOR</p> 	<p>ALTA SORVEGLIANZA</p> 
	<p>ig51-01-e-cv-ri-nv05-00-001-b00</p> <p style="text-align: right;">Foglio 3 di 13</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.....	6
6. INTERVENTI PREVISTI.....	7
7. METODOLOGIA DI CALCOLO.....	7
7.1. Verifiche idrauliche globali	7
7.2. Dimensionamento opere di protezione	10
8. VERIFICHE IDRAULICHE	10
8.1. Portate di progetto	10
8.2. Verifiche idrauliche.....	10
8.3. Dimensionamento delle opere di protezione.....	13

ALLEGATO A 1 – VERIFICHE IDRAULICHE

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	ig51-01-e-cv-ri-nv05-00-001-b00 Foglio 4 di 13

1. PREMESSA

La presente relazione riporta le verifiche idrauliche di un tratto della lunghezza complessiva di circa 70 m del torrente Trasta a monte della confluenza con il torrente Ciliegia, e di un tratto della lunghezza complessiva di circa 130 m del torrente Ciliegia, a monte della confluenza con il torrente Trasta, di cui è affluente di sinistra; i corsi d'acqua appartengono al bacino del torrente Polcevera, in Provincia di Genova.

Lo studio è finalizzato al dimensionamento e alla verifica di compatibilità idraulica degli interventi connessi alla viabilità provvisoria di accesso al cantiere operativo alla progressiva km 1+180 nell'ambito del progetto esecutivo Tratta A.V./A.C. Milano-Genova Terzo valico dei Giovi.

Le verifiche sono state condotte attraverso il calcolo del profilo di rigurgito in moto permanente gradualmente variato di un tratto del torrente Trasta e di un tratto del torrente Ciliegia nella configurazione attuale dell'alveo e nello stato di progetto, con la portata di massima piena 200-ennale rispettivamente pari a 42 m²/s e a 65 m³/s, in accordo con le norme del Piano di Bacino del torrente Polcevera.

La normativa idraulica di riferimento è costituita dal *Piano di Bacino Stralcio per la difesa idrogeologica, geomorfologica, per la salvaguardia della rete idrografica e per la compatibilità delle attività estrattive del torrente Polcevera*, approvato con DCP n. 14 del 2/04/03 e con DCP n. 38 del 30/09/2004 e s.m.i.

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 sono state indicate nella parte 1° le prescrizioni del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti.

In relazione alle opere previste nel progetto definitivo della nuova viabilità di cantiere in corrispondenza della progressiva Pk 1+180 al capitolo 1 – Viabilità, punto g) veniva sottolineata l'approvazione dell'allargamento del ponte esistente nonostante l'opera non rispettasse il franco di sicurezza previsto nel Piano di Bacino.

3. RISPONDEZZA AL PROGETTO DEFINITIVO

Il progetto esecutivo oggetto della presente relazione presenta alcune modifiche rispetto al progetto definitivo approvato.

In fase di indagini propedeutiche alla stesura del progetto esecutivo è stata definita una soluzione migliorativa rispetto a quanto previsto nel precedente livello di progettazione.

In particolare nel progetto definitivo si prevedeva l'allargamento temporaneo del ponte esistente a valle ed a monte con una struttura in carpenteria metallica. Nel presente progetto esecutivo in alternativa a questa soluzione si prevede la realizzazione di un nuovo ponte ubicato circa 5 m a monte del ponte esistente e la successiva demolizione del ponte esistente. Tale soluzione risulta migliorativa degli aspetti idraulici rispetto allo stato attuale ed alla soluzione prevista nel precedente livello di progettazione.

4. CARATTERISTICHE DEI CORSI D'ACQUA INTERFERENTI

Il rio Trasta è un affluente di destra del torrente Polcevera, all'altezza di Bolzaneto, in comune di Genova.

L'area complessiva sottesa alla confluenza con il torrente Ciliegia è di circa 1.1 km²; il suo territorio appartiene amministrativamente al Comune di Genova.

Il bacino presenta una forma allungata assimilabile ad un rettangolo orientato con il lato più lungo in direzione NO-SE; esso è delimitato a N dal bacino del torrente Ciliegia, a O dal bacino del torrente Chiaravagna e a S da bacini minori subaffluenti del torrente Polcevera.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	ig51-01-e-cv-ri-nv05-00-001-b00 Foglio 5 di 13

La cima più alta è rappresentata dal Bric del Teiolo, a quota 660 m s.l.m., all'estremità nord-occidentale del bacino.

Il reticolo idrografico di superficie è caratterizzato dalla presenza di un'asta principale e da una serie di affluenti minori su entrambe le sponde che incidono il versante in direzione perpendicolare all'asta principale. Quest'ultima ha una lunghezza di circa 2.0 km, con una pendenza media pari al 25% circa, la pendenza media dei versanti è del 50% circa.

Il bacino risulta scarsamente urbanizzato.

Il tronco d'alveo oggetto di verifica è costituito da un tratto del torrente Trasta a monte della confluenza con il torrente Ciliegia, per una lunghezza complessiva di circa 70 m.

Esso presenta un andamento sostanzialmente rettilineo in direzione SO-NE; le sezioni sono per la maggior parte di forma regolare assimilabile alla trapezia con larghezze al fondo variabili tra 2 m e 3 m circa.

Le sponde risultano naturali e la pendenza media del fondo alveo è pari al 4 % circa. Il tratto è caratterizzato dalla presenza di una viabilità vicinale in sponda sinistra.

La zona non risulta indagata dal Piano di Bacino.

Il rio Ciliegia è un affluente di sinistra del torrente Trasta, sul versante destro del bacino del torrente Polcevera, all'altezza di Bolzaneto, in comune di Genova.

L'area complessiva sottesa alla confluenza con il torrente Trasta è di circa 1.7 km²; il suo territorio appartiene amministrativamente al Comune di Genova.

Il bacino presenta una forma allungata assimilabile ad un rettangolo orientato con il lato più lungo in direzione NO-SE; esso è delimitato a N dal bacino del rio Mulinassi, a O dal bacino del torrente Chiaravagna e a S da bacini minori subaffluenti del torrente Polcevera.

La cima più alta è rappresentata dal Bric del Teiolo, a quota 660 m s.l.m., all'estremità occidentale del bacino.

Il reticolo idrografico di superficie è caratterizzato dalla presenza di un'asta principale e da una serie di affluenti minori su entrambe le sponde che incidono il versante in direzione perpendicolare all'asta principale. Quest'ultima ha una lunghezza di circa 2.0 km, con una pendenza media pari al 25% circa, la pendenza media dei versanti è del 50% circa.

Il bacino risulta scarsamente urbanizzato.

Il tronco d'alveo oggetto di verifica è costituito da un tratto del torrente Ciliegia a monte della confluenza con il torrente Trasta, per una lunghezza complessiva di circa 130 m.

Esso presenta un andamento sostanzialmente rettilineo in direzione NO-SE; le sezioni sono per la maggior parte di forma regolare assimilabile alla rettangolare con larghezze al fondo variabili tra 8 m e 16 m circa.

Le sponde risultano interamente arginate con murature di altezza compresa tra 5 m e 6 m circa.

La pendenza media del fondo alveo è pari al 6 % circa.

Nel tratto è presente un manufatto di attraversamento ubicato immediatamente a monte della confluenza con il torrente Trasta, costituito da un ponte carrabile della lunghezza di circa 8 m, realizzato con struttura ad arco, con un'altezza libera di deflusso in mezzera di circa 2.3 m.

Il tratto è caratterizzato dalla presenza di una viabilità in sponda destra.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	ig51-01-e-cv-ri-nv05-00-001-b00 Foglio 6 di 13

La zona non risulta indagata dal Piano di Bacino.

5. INQUADRAMENTO NORMATIVO E CRITERI PROGETTUALI

La normativa idraulica di riferimento è costituita dal *Piano di Bacino Stralcio per la difesa idrogeologica, geomorfologica, per la salvaguardia della rete idrografica e per la compatibilità delle attività estrattive del torrente Polcevera*, approvato con DCP n. 14 del 2/04/03 e con DCP n. 38 del 30/09/2004 e s.m.i..

Il Piano di Bacino 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.

I torrenti Trasta e Ciliegia sono inseriti tra i corsi d'acqua significativi nella Carta del reticolo idrografico principale allegata al Piano; essi non risultano tuttavia tra i tratti d'alveo indagati e non sono state individuate le fasce di inondabilità.

Il Piano distingue quattro fasce di inondabilità di cui tre in funzione del tempo di ritorno: la fascia A che individua le aree inondabili al verificarsi dell'evento di piena con portata corrispondente a periodo di ritorno $T \leq 50$ anni, la fascia B che individua le aree esterne alle precedenti per $T \leq 200$ anni e la fascia C per $T \leq 500$ anni.

La fascia C* individua invece le aree storicamente inondate, anche se non indagate, esterne alla fascia C, derivanti dalla DGR 594/01 opportunamente modificate e aggiornate.

I criteri adottati nel dimensionamento idraulico delle opere tengono conto delle norme di attuazione del Piano di Bacino, degli indirizzi e delle indicazioni emerse nel corso dei colloqui con gli uffici competenti della Provincia di Genova nonché delle raccomandazioni contenute nella L.R.38/98.

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

Nei casi in cui l'adeguamento della viabilità e/o dei parcheggi 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 parcheggi, 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.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	ig51-01-e-cv-ri-nv05-00-001-b00 Foglio 7 di 13

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 Km²) 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 Km²).

Per le interferenze della nuova viabilità con i corsi d'acqua sono stati assunti i seguenti franchi di sicurezza minimi rispetto al deflusso della portata di piena 200-ennale: 0.5 m rispetto al piano viabile nel caso di strada a raso, 0.5 m rispetto alla quota di imposta di un'eventuale struttura a sbalzo.

Nel caso di nuovi attraversamenti dei corsi d'acqua significativi si è preferito, ove possibile, l'adozione di struttura a campata unica senza ingombri in alveo; salvo casi particolari specificatamente indicati nei Piani di bacino, il franco rispetto all'intradosso è stato assunto cautelativamente pari a 1.5 m, con un minimo di 1 m nel caso più favorevole di bacino sistemato a monte e di condizioni di deflusso più regolari.

6. INTERVENTI PREVISTI

Gli interventi previsti nell'ambito della nuova viabilità di accesso al cantiere alla progressiva km 1+180 riguardano sostanzialmente:

- realizzazione del nuovo ponte carrabile sul rio Ciliegia
- demolizione del ponte ad arco esistente sul rio Ciliegia
- realizzazione di una protezione spondale in gabbioni nel tratto terminale del torrente Trasta.

Il nuovo ponte con spalle con micropali ed impalcato realizzato con elementi prefabbricati di spessore pari a circa 0.5 m, presenta estradosso a quota variabile tra 49.3 e 48.3 m s.l.m., tale da permettere il raccordo con l'attuale piano viabile, e intradosso a quota variabile tra 47.85 e 48.7 m s.l.m..

Il ponte esistente ad arco posto in corrispondenza della confluenza tra il rio Ciliegia ed il rio Trasta verrà demolito in seguito alla realizzazione della nuova opera di attraversamento e del suo raccordo con la viabilità esistente, al fine di eliminare un fattore di rigurgito della corrente.

7. METODOLOGIA DI CALCOLO

7.1. Verifiche idrauliche globali

Le verifiche idrauliche di tipo globale sono state effettuate mediante l'ausilio di un *software*¹ 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:

$$h_f = j_f \cdot L$$

¹. 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-nv05-00-001-b00 Foglio 8 di 13

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

Il calcolo di j_r 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 β 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 α_1 e α_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 $Q[m^3/s]$ 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.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	ig51-01-e-cv-ri-nv05-00-001-b00 Foglio 9 di 13

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

$$Q = C \cdot L \cdot H^2$$

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 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.

La metodologia di calcolo è applicabile al caso specifico di due rami che confluiscono in un terzo della confluenza di un affluente nel corso d'acqua principale secondo un angolo di incidenza α 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 α_{1-2} e α_{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.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	ig51-01-e-cv-ri-nv05-00-001-b00 Foglio 10 di 13

7.2. Dimensionamento opere di protezione

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 $k=5^2$.

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.

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.

8. VERIFICHE IDRAULICHE

8.1. Portate di progetto

Con riferimento alla Relazione idrologica, al quale si rimanda per ogni indicazione di dettaglio circa la metodologia di analisi e di calcolo adottata, le verifiche idrauliche globali del rio Ciliegia sono state effettuate con i seguenti valori di portata:

- rio Ciliegia a monte della confluenza con il torrente Trasta Q= 65 m³/s.
- torrente Trasta a monte della confluenza con il rio Ciliegia Q= 42 m³/s

8.2. Verifiche idrauliche

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.

² 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-nv05-00-001-b00 Foglio 11 di 13

Torrente Trasta

È stato eseguito il calcolo del profilo di rigurgito in moto permanente gradualmente variato di un tratto del torrente Trasta della lunghezza di circa 70 m a monte della confluenza con il rio Ciliegia.

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.

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.).

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 i valori di portata 200-ennale, 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 condizioni al contorno la profondità critica.

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

Stato attuale

- Profilo di rigurgito in scala 1:5000/1:500
- Tabelle riassuntive dei risultati.

Stato di progetto

- Profilo di rigurgito in scala 1:5000/1:500
- Tabelle riassuntive dei risultati.

Confronto stato attuale / progetto

- Profilo di rigurgito in scala 1:5000/1:500
- Sezioni trasversali di calcolo in scala 1:150/1:100 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

Il deflusso avviene con altezze medie del pelo libero comprese tra 2.1 m e 2.7 m e velocità comprese tra 2.9 e 4.2 m/s.

La strada vicinale in sponda sinistra risulta inondabile tra la sezione 8 e la sezione 3.

Stato di progetto

Gli interventi previsti nell'ambito del progetto della nuova viabilità non modificano sostanzialmente l'attuale assetto idraulico del corso d'acqua: il profilo idraulico risulta del tutto simile a quello dello stato attuale.

GENERAL CONTRACTOR  Consorzio Collegamenti Integrati Veloci	ALTA SORVEGLIANZA  GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE
	ig51-01-e-cv-ri-nv05-00-001-b00
	Foglio 12 di 13

Rio Ciliegia

È stato eseguito il calcolo del profilo di rigurgito in moto permanente gradualmente variato di un tratto del rio Ciliegia della lunghezza di circa 130 m a monte della confluenza con il torrente Trasta

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

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 7.1, in funzione delle caratteristiche piano altimetriche del fondo e delle sponde (larghezza, pendenza, curve, presenza di manufatti ecc.).

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 i valori di portata 200-ennale, 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 di valle il livello ottenuto risolvendo la confluenza tra il torrente Trasta e il rio Ciliegia eguagliando le spinte nell'ipotesi cautelativa di innesto perpendicolare.

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

Stato attuale

- Profilo di rigurgito in scala 1:1000/1:100
- Tabelle riassuntive dei risultati.

Stato di progetto

- Profilo di rigurgito in scala 1:1000/1:100
- Tabelle riassuntive dei risultati.

Confronto stato attuale / progetto

- Profilo di rigurgito in scala 1:1000/1:100
- Sezioni trasversali di calcolo in scala 1:100/1:100 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

Le sezioni dalla 4 alla 7 costituiscono sezioni di controllo con transizione attraverso lo stato critico.

Il deflusso avviene con altezze medie del pelo libero comprese tra 1.4 m e 2.8 m e velocità comprese tra 2.7 e 4.1 m/s.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 	
	ig51-01-e-cv-ri-nv05-00-001-b00	Foglio 13 di 13

Il ponte esistente nei pressi della confluenza risulta idraulicamente insufficiente: il deflusso della portata di piena avviene con livelli prossimi alla messa in pressione.

Non si evidenziano zone di esondazione nel tratto a monte.

Stato di progetto

Le sezioni dalla 3 alla 7 costituiscono sezioni di controllo con transizione attraverso lo stato critico.

Il deflusso avviene con altezze medie del pelo libero comprese tra 1.4 m e 2.8 m e velocità comprese tra 2.7 e 4.2 m/s.

In corrispondenza del nuovo ponte il deflusso della portata di piena avviene con livelli che garantiscono il mantenimento di un franco idraulico medio pari a 0.4 m nella sezione di valle e pari a 0.6 m nella sezione di monte.

Come si evince dal profilo di confronto tra lo stato attuale e lo stato di progetto, la rimozione del ponte di valle comporta l'eliminazione del rigurgito che allo stato attuale si verifica in tra le sezioni 2.2 e 2.5.

Questo intervento di sostituzione del ponte attuale permette di migliorare la situazione idraulica del tratto terminale del rio Ciliegia, in particolare in corrispondenza del nuovo ponte la quota del pelo libero si abbassa di quasi 50 cm.

8.3. Dimensionamento delle opere di protezione

Tutte le opere di protezione al fondo e spondali previste lungo il torrente Trasta verranno realizzate con strutture elastiche quali massi naturali e/o gabbioni.

Con riferimento a quanto riportato al paragrafo 5.2, assumendo cautelativamente un valore della velocità critica pari alla velocità massima del tratto, pari a circa 4.2 m/s, risulta:
 $d=(4.2/5)^2 = 0.7$ m, cui corrisponde un peso del singolo masso di circa 0.5 tonnellate.

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.

GENERAL CONTRACTOR 	ALTA SORVEGLIANZA 
	ig51-01-e-cv-ri-nv05-00-001-b00

ALLEGATO A1
VERIFICHE IDRAULICHE



ELENCO ELABORATI

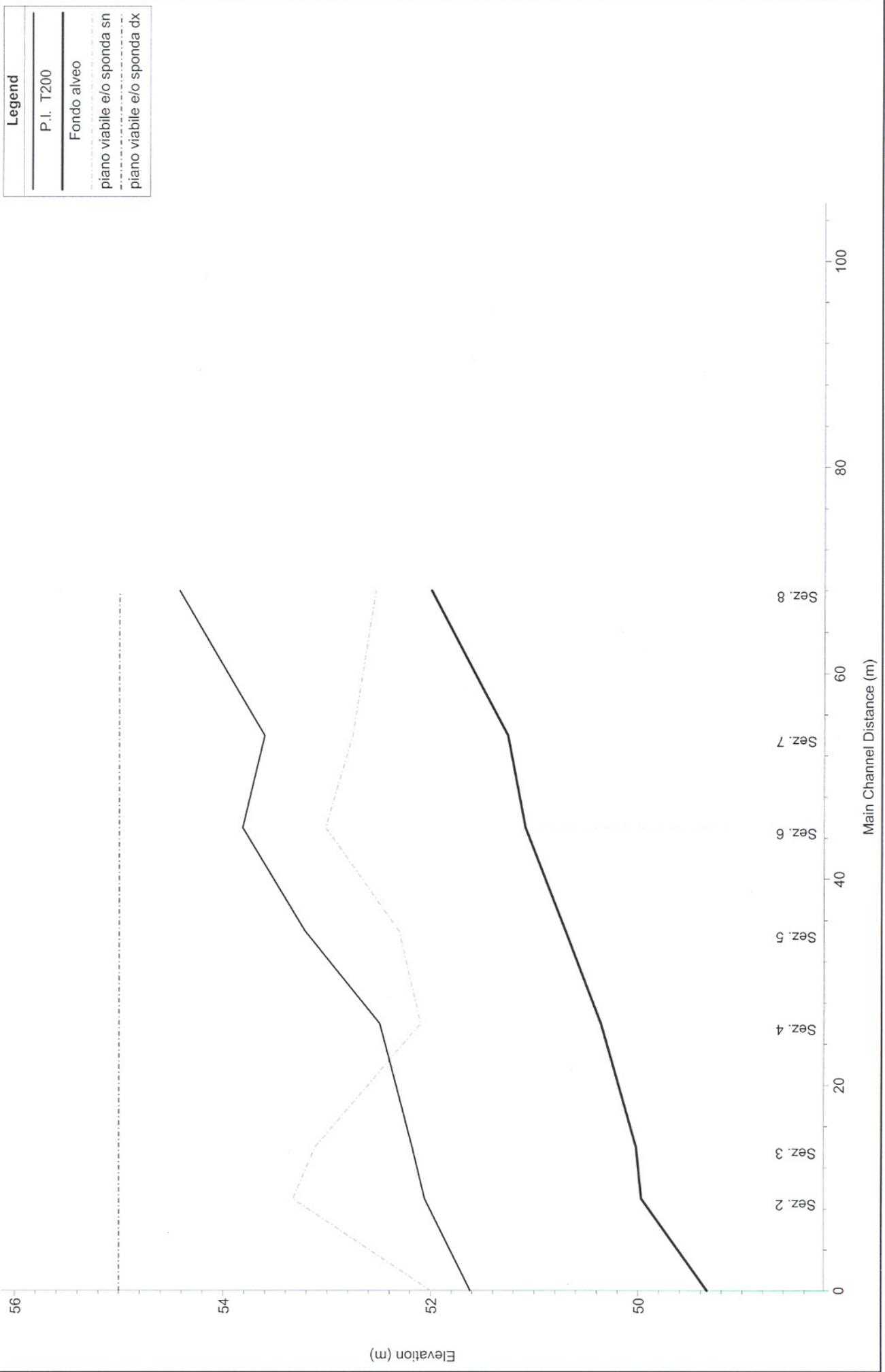
Rio Trasta

- Stato attuale
 - Profilo di rigurgito
 - Tabella riassuntiva dei risultati
- Stato di progetto
 - Profilo di rigurgito
 - Tabella riassuntiva dei risultati
- Confronto stato attuale / progetto
 - Profilo di rigurgito
 - Sezioni trasversali di calcolo

Rio Ciliegia

- Stato attuale
 - Profilo di rigurgito
 - Tabella riassuntiva dei risultati
- Stato di progetto
 - Profilo di rigurgito
 - Tabella riassuntiva dei risultati
- Confronto stato attuale / progetto
 - Profilo di rigurgito
 - Sezioni trasversali di calcolo

t. Trasta Stato attuale - Q = 42 m³/s



56

54

52

50

0

Elevation (m)

Sez. 2
Sez. 3
Sez. 4
Sez. 5
Sez. 6
Sez. 7
Sez. 8

Main Channel Distance (m)

100

80

60

40

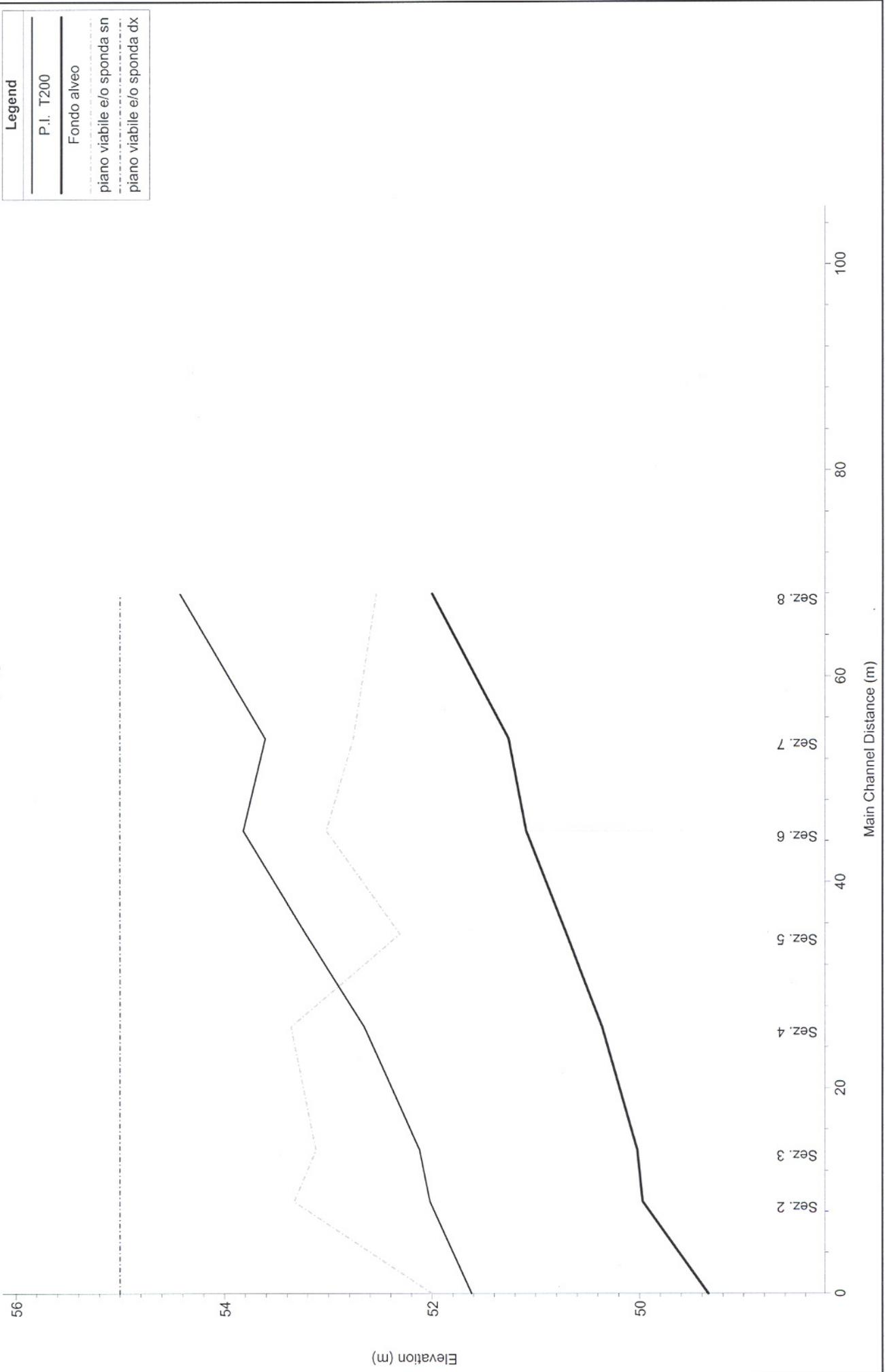
20

1 cm Horiz. = 5 m 1 cm Vert. = 0.5 m

HEC-RAS Plan: att River: trasta Reach: trasta Profile: T200

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
trasta	8	68.00	42.00	52.00	52.54	55.00	54.43	2.43	1.77	4.17	10.06	5.70	55.31	1.00
trasta	7	54.00	42.00	51.26	52.76	55.00	53.61	2.35	1.61	4.01	10.48	6.51	54.43	1.01
trasta	6	45.00	42.00	51.09	53.02	55.00	53.82	2.73	1.95	2.88	14.58	7.49	54.24	0.66
trasta	5	35.00	42.00	50.70	52.31	55.00	53.22	2.52	1.78	4.21	9.96	5.59	54.12	1.01
trasta	4	26.00	42.00	50.36	52.10	55.00	52.50	2.14	1.46	3.80	11.05	7.59	53.23	1.01
trasta	3	14.00	42.00	50.02	53.12	55.00	52.18	2.16	1.36	3.65	11.50	8.49	52.86	1.00
trasta	2	9.00	42.00	49.97	53.33	55.00	52.06	2.09	1.31	3.59	11.69	8.89	52.72	1.00
trasta	1		42.00	49.34	52.00	55.00	51.62	2.28	1.44	3.77	11.15	7.75	52.34	1.00

t. Trasta Stato di progetto - Q = 42 m³/s

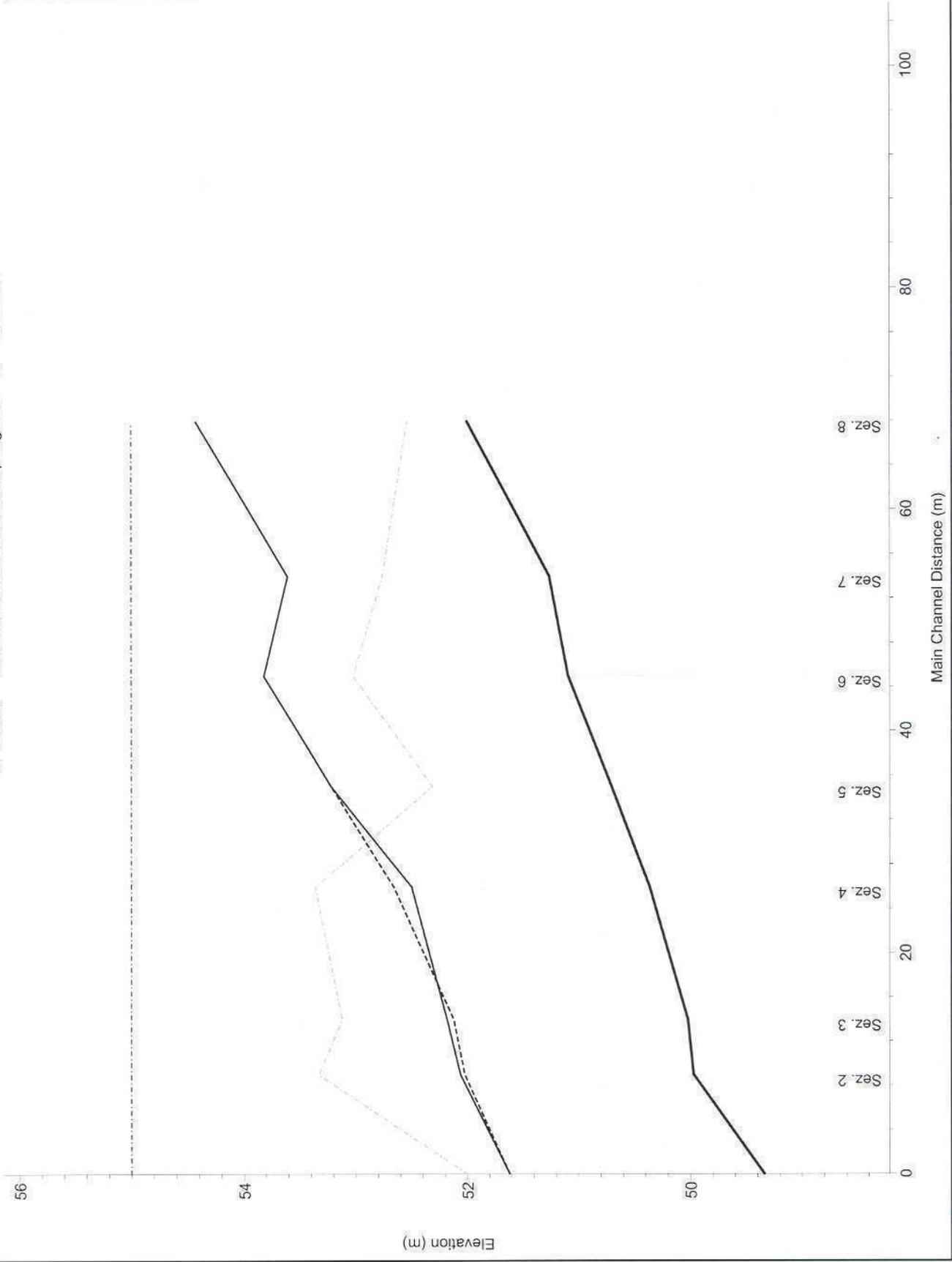


1 cm Horiz. = 5 m 1 cm Vert. = 0.5 m

HEC-RAS Plan: progetto River: trasta Reach: trasta Profile: T200

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
trasta	8	68.00	42.00	52.00	52.54	55.00	54.43	2.43	1.77	4.17	10.06	5.70	55.31	1.00
trasta	7	54.00	42.00	51.26	52.76	55.00	53.61	2.35	1.61	4.01	10.48	6.51	54.43	1.01
trasta	6	45.00	42.00	51.09	53.02	55.00	53.82	2.73	1.95	2.88	14.58	7.49	54.24	0.66
trasta	5	35.00	42.00	50.70	52.31	55.00	53.22	2.52	1.78	4.21	9.96	5.59	54.12	1.01
trasta	4	26.00	42.00	50.36	53.36	55.00	52.66	2.30	1.46	3.81	11.01	7.55	53.40	1.01
trasta	3	14.00	42.00	50.02	53.12	55.00	52.12	2.10	1.41	3.73	11.26	7.97	52.83	1.00
trasta	2	9.00	42.00	49.97	53.33	55.00	52.02	2.05	1.40	3.74	11.24	8.03	52.73	1.01
trasta	1		42.00	49.34	52.00	55.00	51.62	2.28	1.44	3.77	11.15	7.75	52.34	1.00

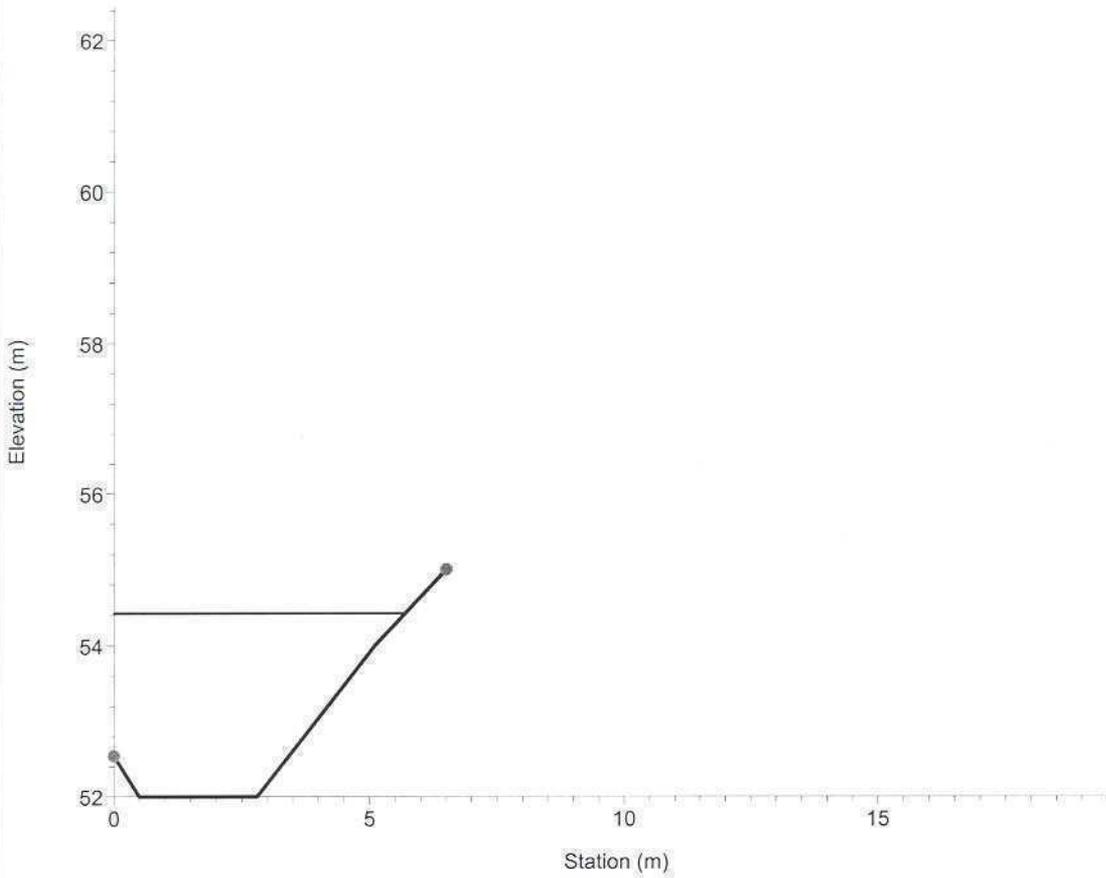
t. Trasta Confronto stato attuale/progetto - Q = 42 m³/s



1 cm Horiz. = 5 m 1 cm Vert. = 0.5 m

t. Trasta

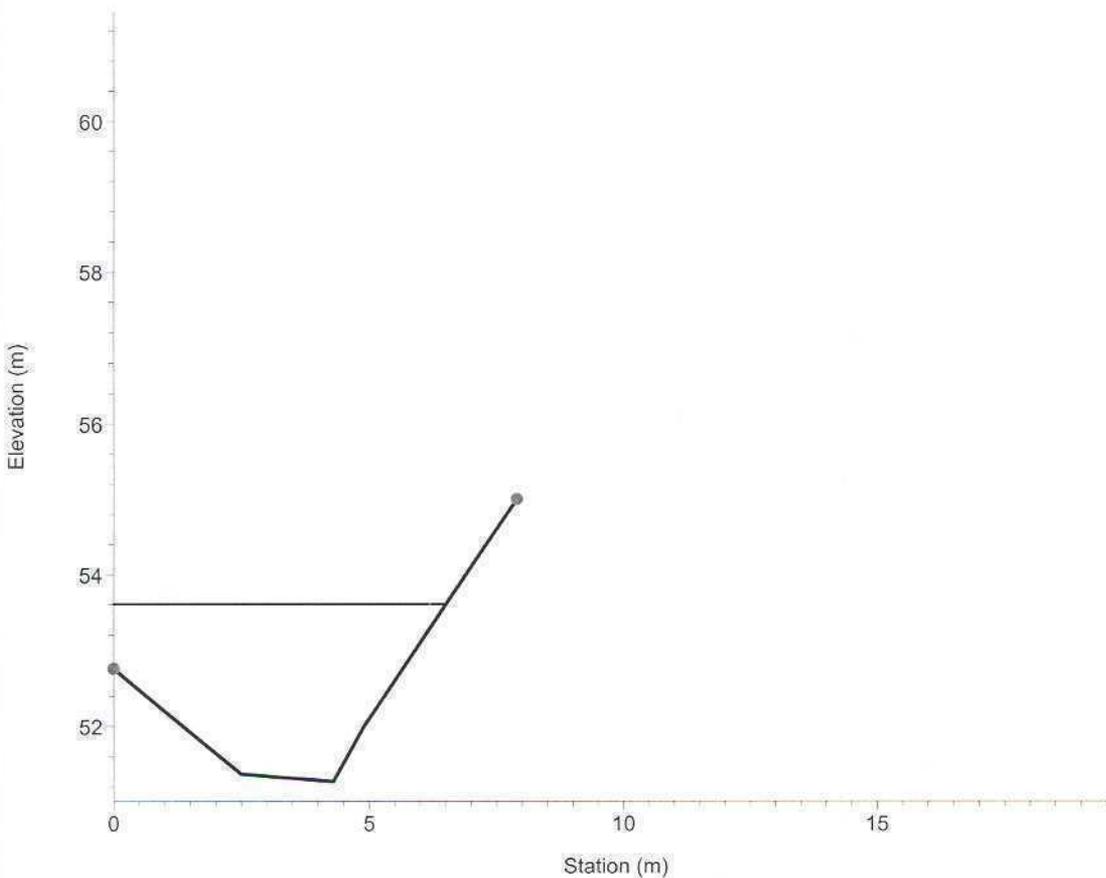
Sez. 8 Confronto stato attuale/progetto - Q = 42 m³/s



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

t. Trasta

Sez. 7 Confronto stato attuale/progetto - Q = 42 m³/s

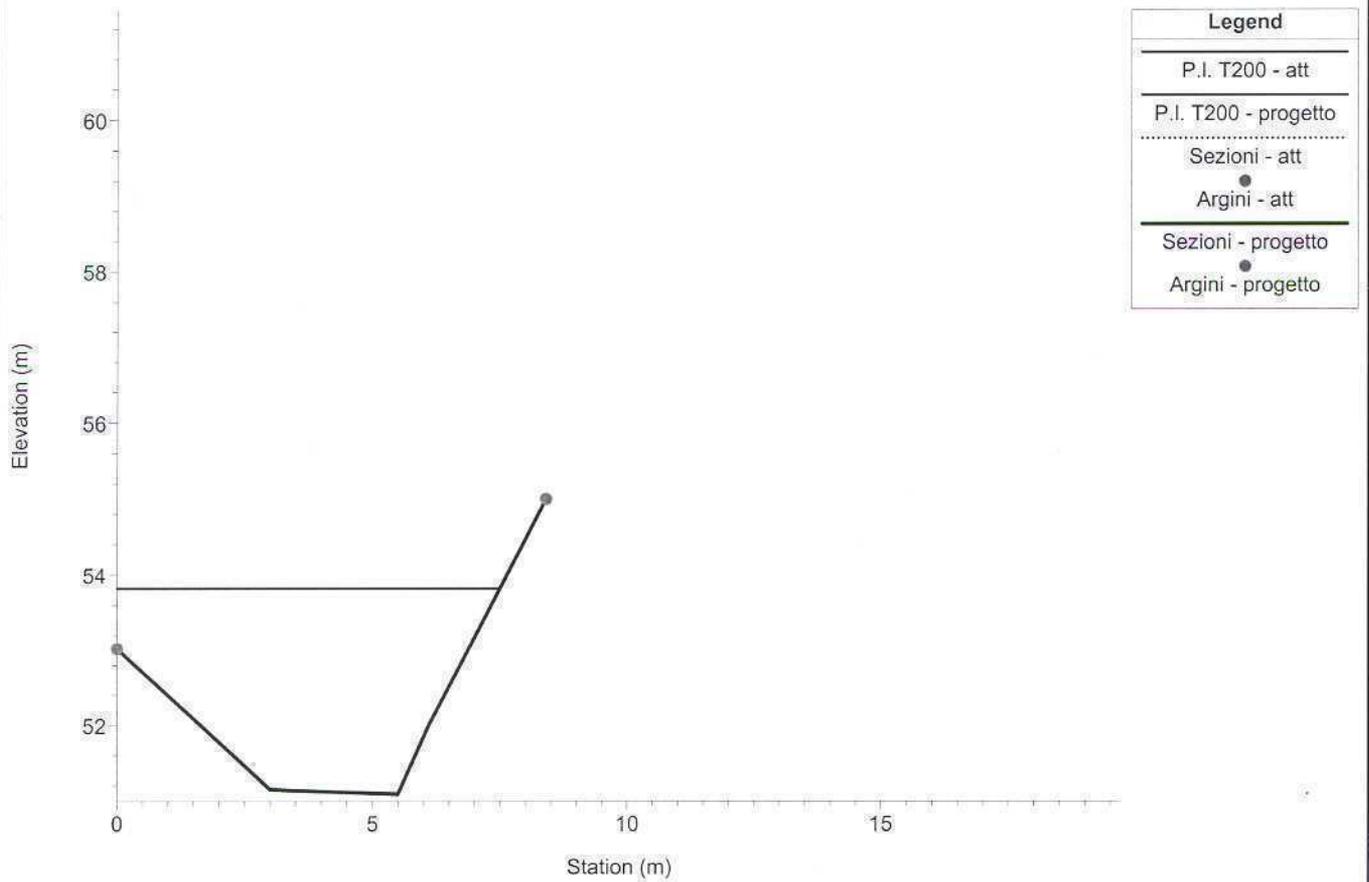


Legend	
—	P.I. T200 - att
—	P.I. T200 - progetto
⋯	Sezioni - att
●	Argini - att
—	Sezioni - progetto
●	Argini - progetto

1 cm Horiz. = 1.5 m 1 cm Vert. = 1 m

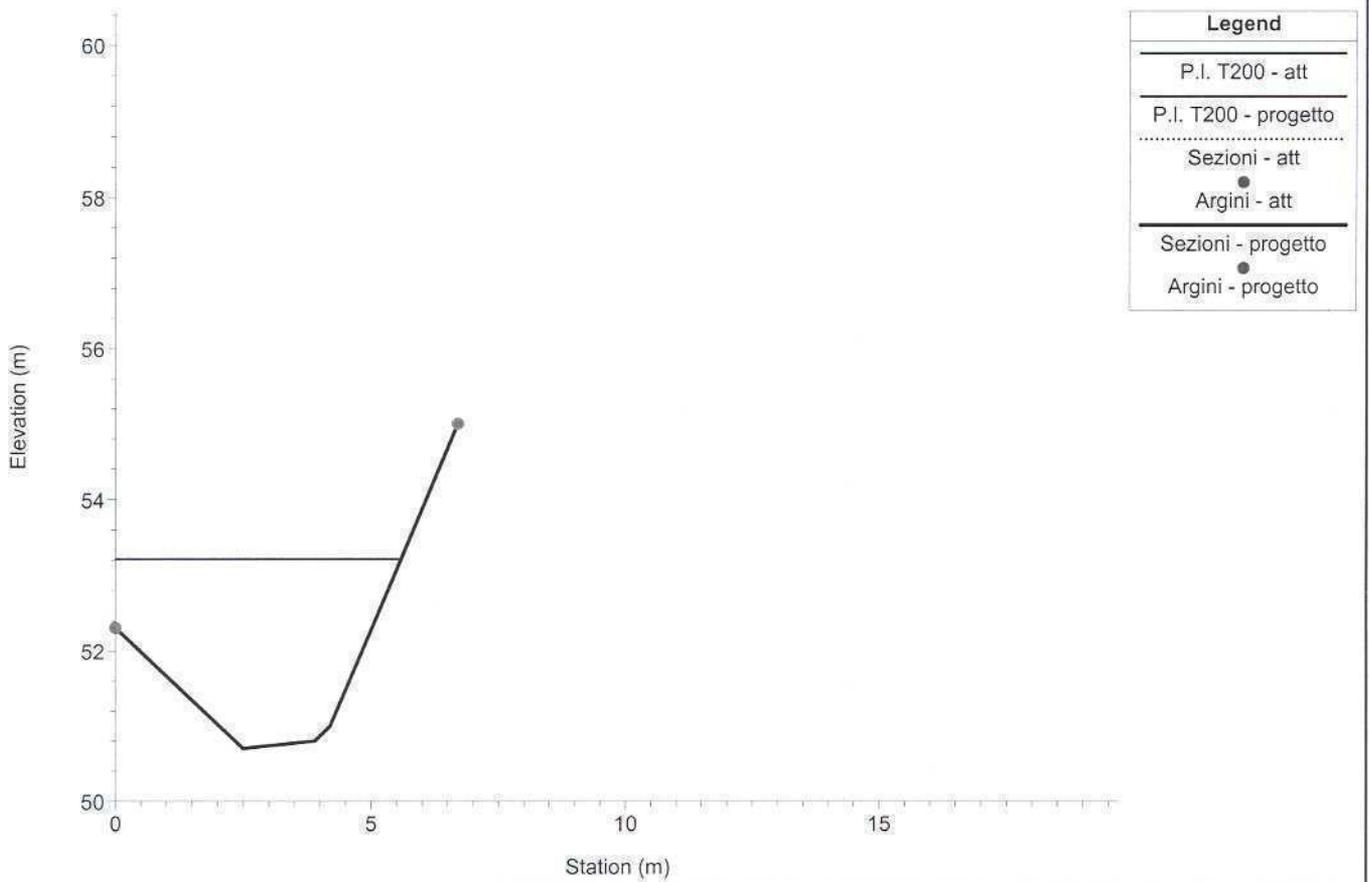
t. Trasta

Sez. 6 Confronto stato attuale/progetto - Q = 42 m³/s



t. Trasta

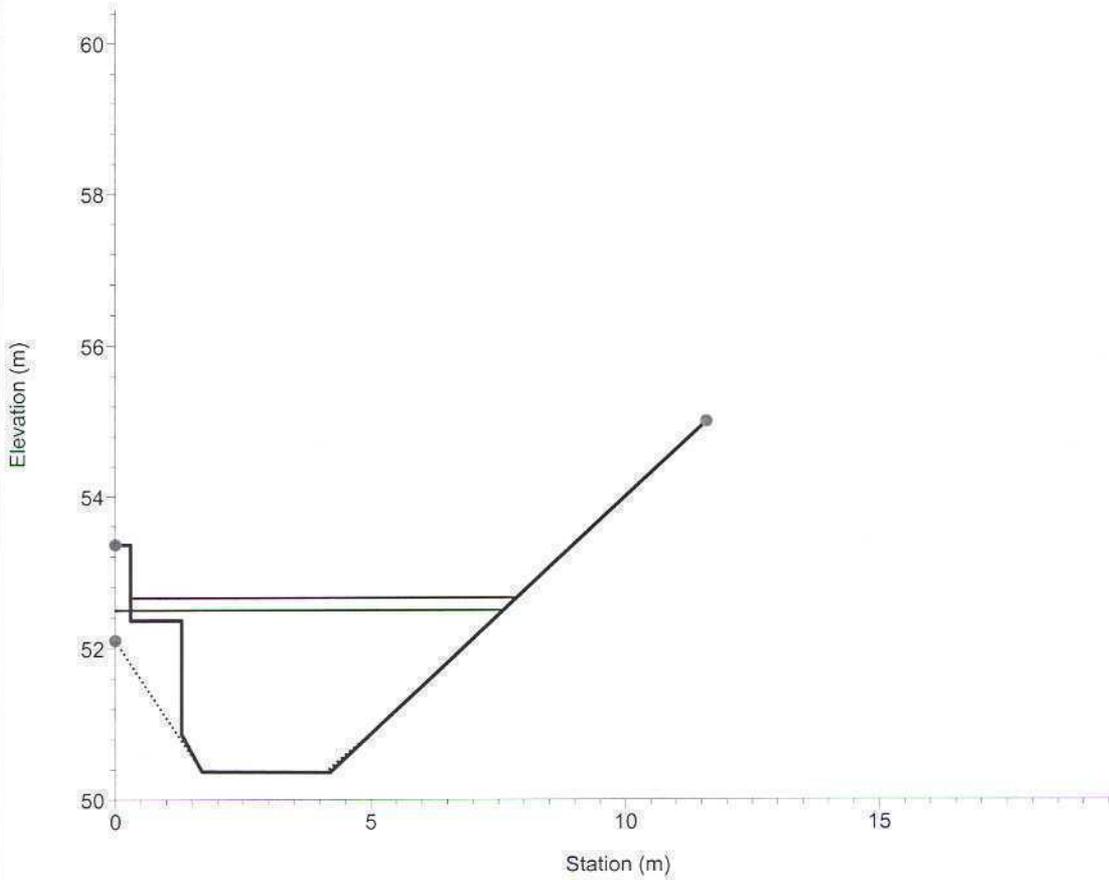
Sez. 5 Confronto stato attuale/progetto - Q = 42 m³/s



1 cm Horiz. = 1.5 m 1 cm Vert. = 1 m

t. Trasta

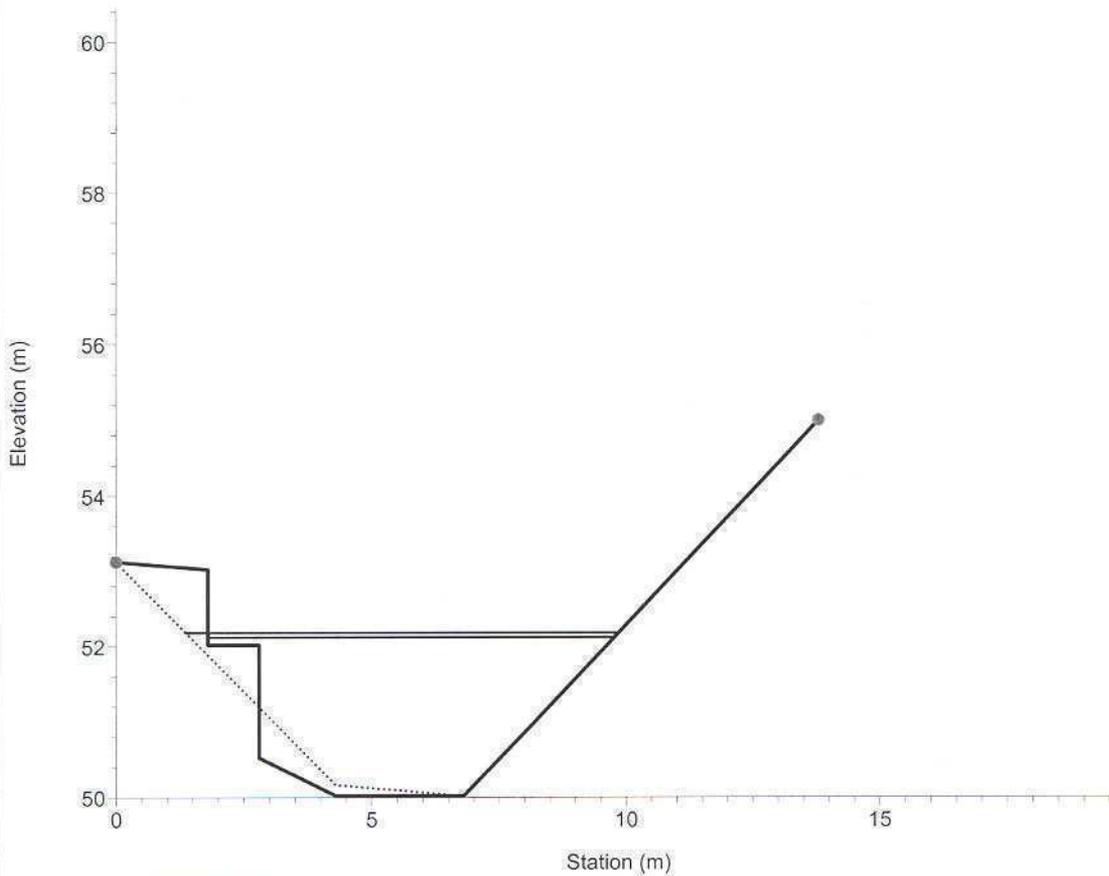
Sez. 4 Confronto stato attuale/progetto - Q = 42 m³/s



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

t. Trasta

Sez. 3 Confronto stato attuale/progetto - Q = 42 m³/s

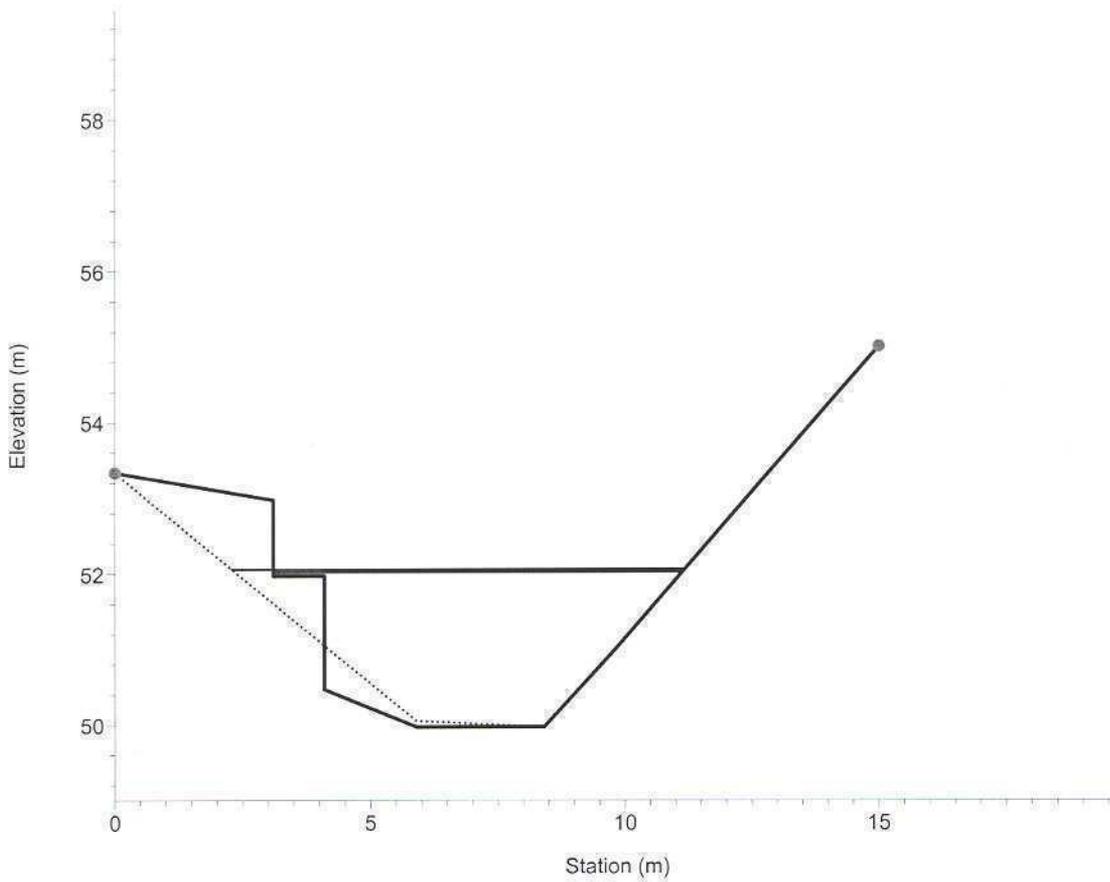


Legend	
⋯	P.I. T200 - att
—	P.I. T200 - progetto
⋯	Sezioni - att
●	Argini - att
—	Sezioni - progetto
●	Argini - progetto

1 cm Horiz. = 1.5 m 1 cm Vert. = 1 m

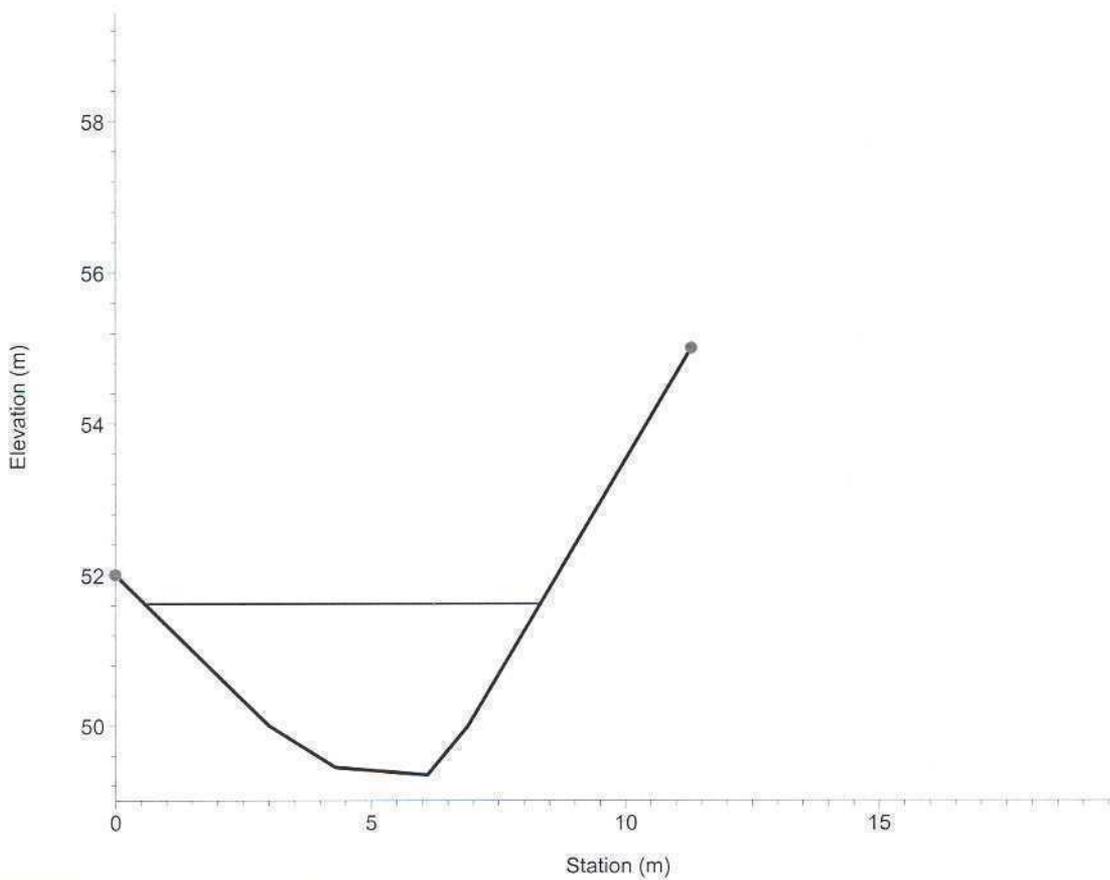
t. Trasta

Sez. 2 Confronto stato attuale/progetto - Q = 42 m³/s



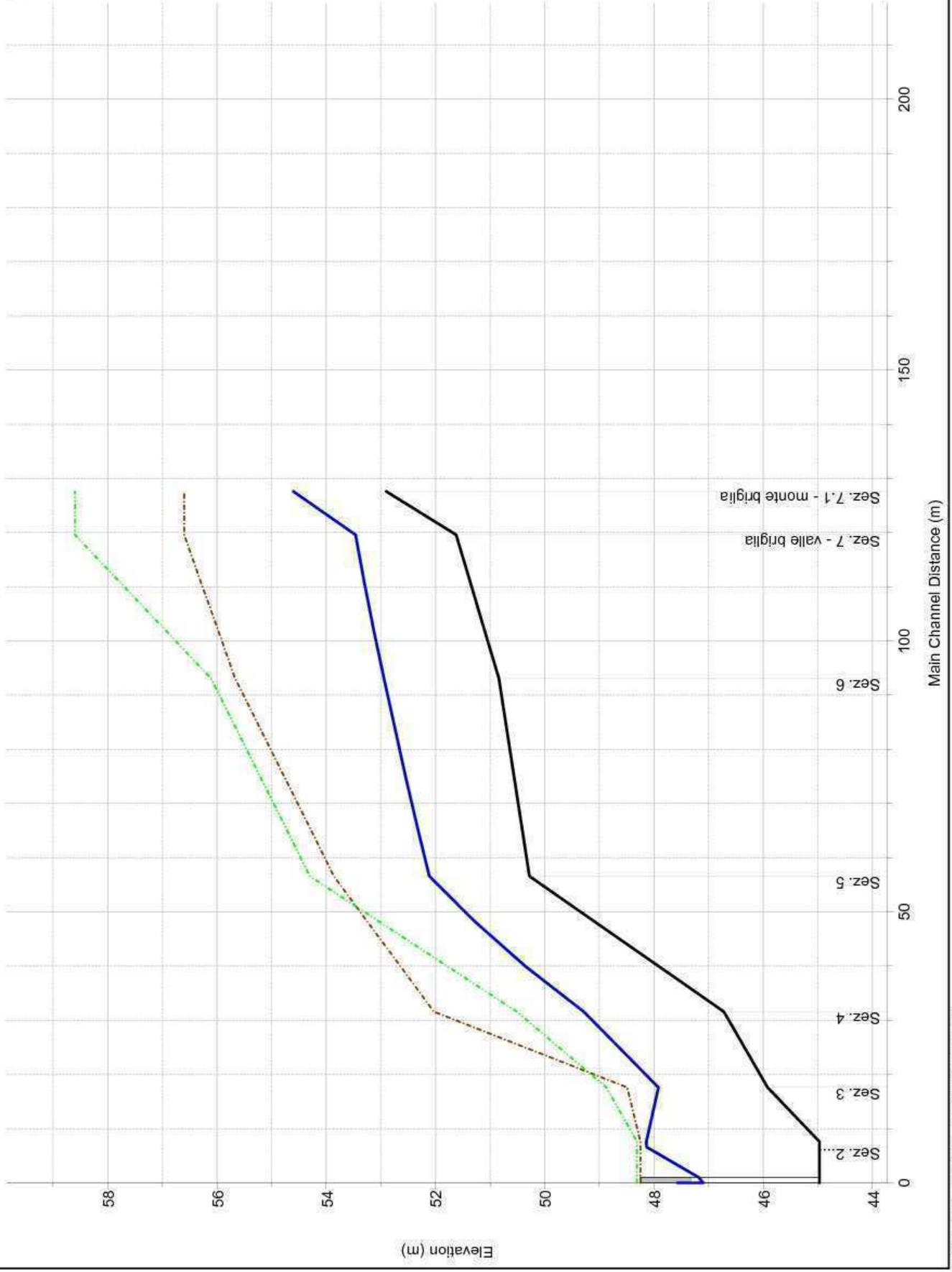
t. Trasta

Sez. 1 Confronto stato attuale/progetto - Q = 42 m³/s



1 cm Horiz. = 1.5 m 1 cm Vert. = 1 m

rio-Ciliegia Stato attuale

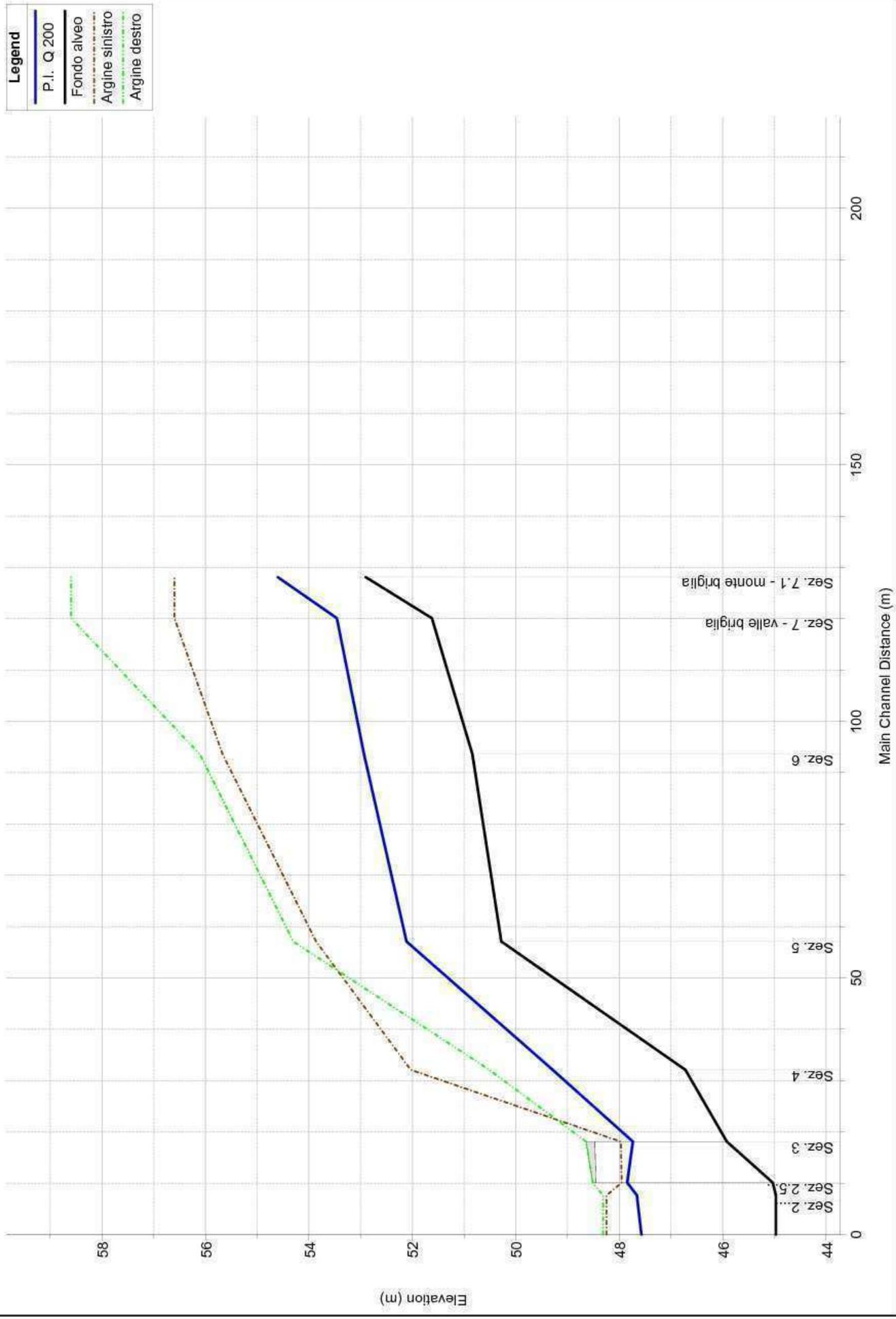


1 cm Horiz. = 10 m 1 cm Vert. = 1 m

HEC-RAS Plan: attuale River: trastia Reach: trastia Profile: Q 200

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)	Hydr Depth (m)	Max Chl Dpth (m)	E.G. Elev (m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
trastia	2		65.00	44.97	48.25	48.31	47.57	2.28	2.60	48.15	3.37	19.28	8.45	0.71
trastia	2.05	Bridge												
trastia	2.1	6.60	65.00	44.97	48.25	48.31	48.13	2.84	3.16	48.50	2.71	24.02	8.45	0.51
trastia	2.2	7.60	65.00	44.97	48.25	48.31	48.14	2.85	3.17	48.51	2.70	24.07	8.45	0.51
trastia	3	17.60	65.00	45.92	48.49	48.87	47.92	2.00	2.00	48.67	3.85	16.87	8.45	0.87
trastia	4	31.60	65.00	46.72	52.03	50.51	49.29	1.72	2.57	50.15	4.13	15.74	9.14	1.00
trastia	5	56.60	65.00	50.28	53.86	54.30	52.11	1.58	1.83	52.91	3.94	16.48	10.40	1.00
trastia	6	93.10	65.00	50.84	55.67	56.11	52.94	1.42	2.10	53.66	3.74	17.36	12.20	1.00
trastia	7	119.60	65.00	51.62	56.60	58.60	53.46	1.55	1.84	54.24	3.90	16.65	10.75	1.00
trastia	7.1	127.60	65.00	52.90	56.60	58.60	54.60	1.51	1.70	55.36	3.85	16.89	11.20	1.00

rio-Ciliegia Plan: progetto+demolizione

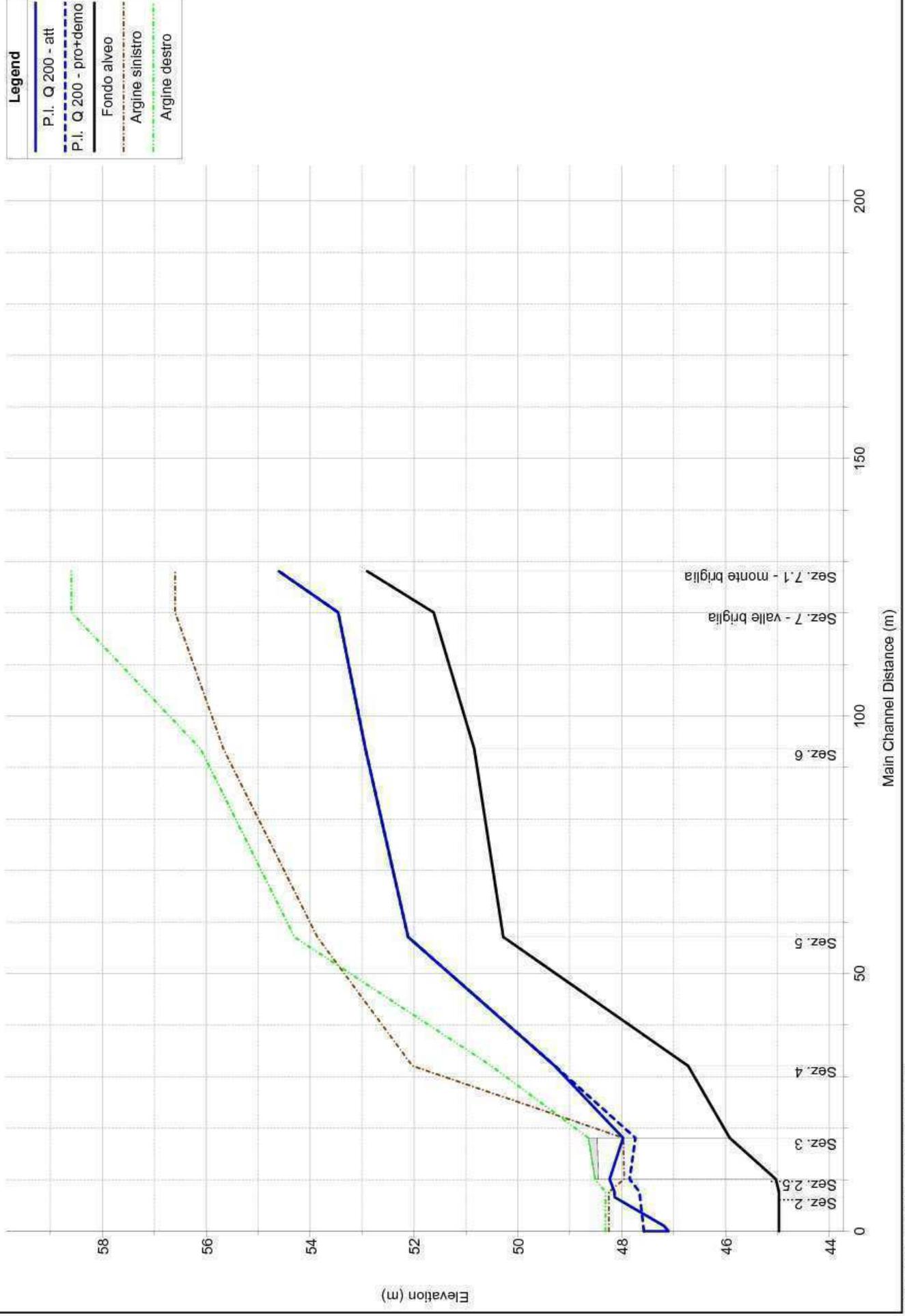


1 cm Horiz. = 10 m 1 cm Vert. = 1 m

HEC-RAS Plan: pro+demo River: trasta Reach: trasta Profile: Q 200

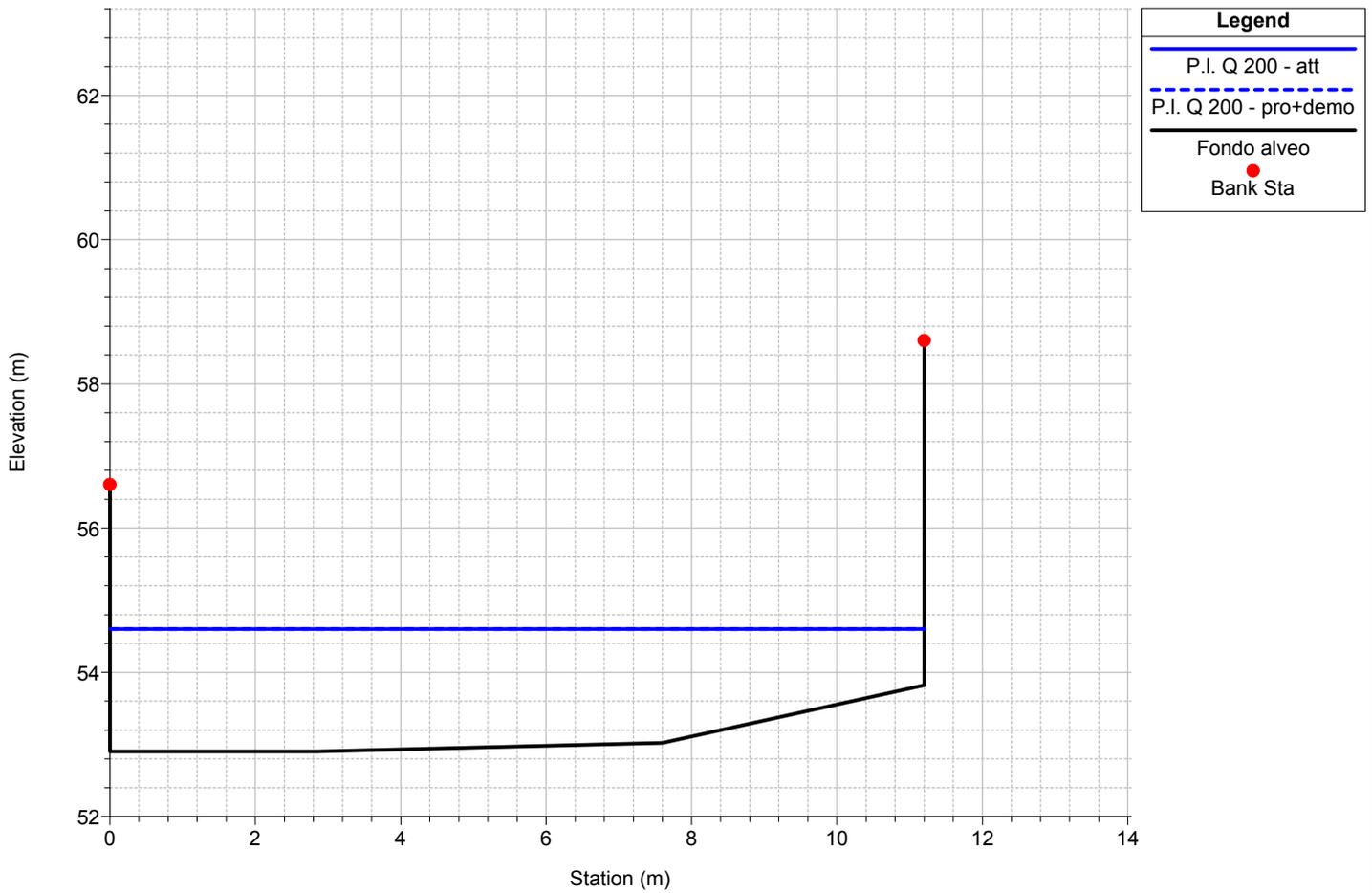
Reach	River Sta	Cum Ch Len (m)	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	LOB Elev (m)	ROB Elev (m)	W.S. Elev (m)	Hydr Depth (m)	Max Chl Dpth (m)	E.G. Elev (m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
trasta	2		65.00	44.97	48.25	48.31	47.57	2.28	2.60	48.15	3.37	19.28	8.45	0.71
trasta	2.1	6.60	65.00	44.97	48.25	48.31	47.65	2.36	2.68	48.19	3.26	19.94	8.45	0.68
trasta	2.2	7.60	65.00	44.97	48.25	48.31	47.66	2.37	2.69	48.19	3.25	20.01	8.45	0.67
trasta	2.5	10.10	65.00	45.03	47.95	48.51	47.84	2.81	2.81	48.22	2.72	23.93	8.50	0.52
trasta	3	18.10	65.00	45.92	47.97	48.64	47.73	1.81	1.81	48.64	4.22	15.42	8.50	1.00
trasta	4	32.10	65.00	46.72	52.03	50.51	49.29	1.72	2.57	50.15	4.12	15.76	9.14	1.00
trasta	5	57.10	65.00	50.28	53.86	54.30	52.11	1.58	1.83	52.91	3.94	16.48	10.40	1.00
trasta	6	93.60	65.00	50.84	55.67	56.11	52.93	1.42	2.09	53.66	3.76	17.27	12.20	1.01
trasta	7	120.10	65.00	51.62	56.60	58.60	53.46	1.55	1.84	54.24	3.91	16.61	10.75	1.00
trasta	7.1	128.10	65.00	52.90	56.60	58.60	54.60	1.51	1.70	55.36	3.85	16.89	11.20	1.00

rio-Ciliegia Confronto stato attuale - progetto

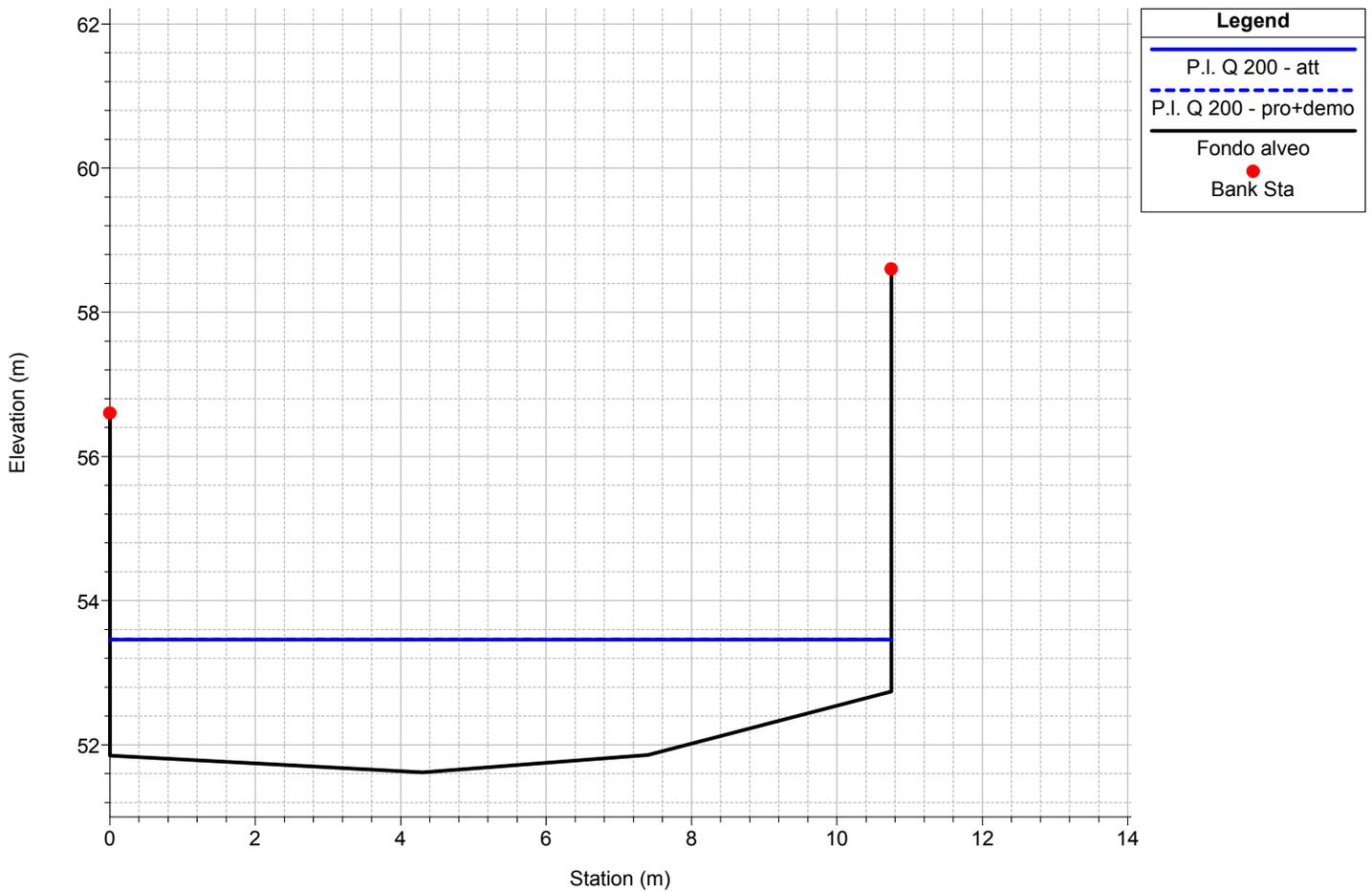


1 cm Horiz. = 10 m 1 cm Vert. = 1 m

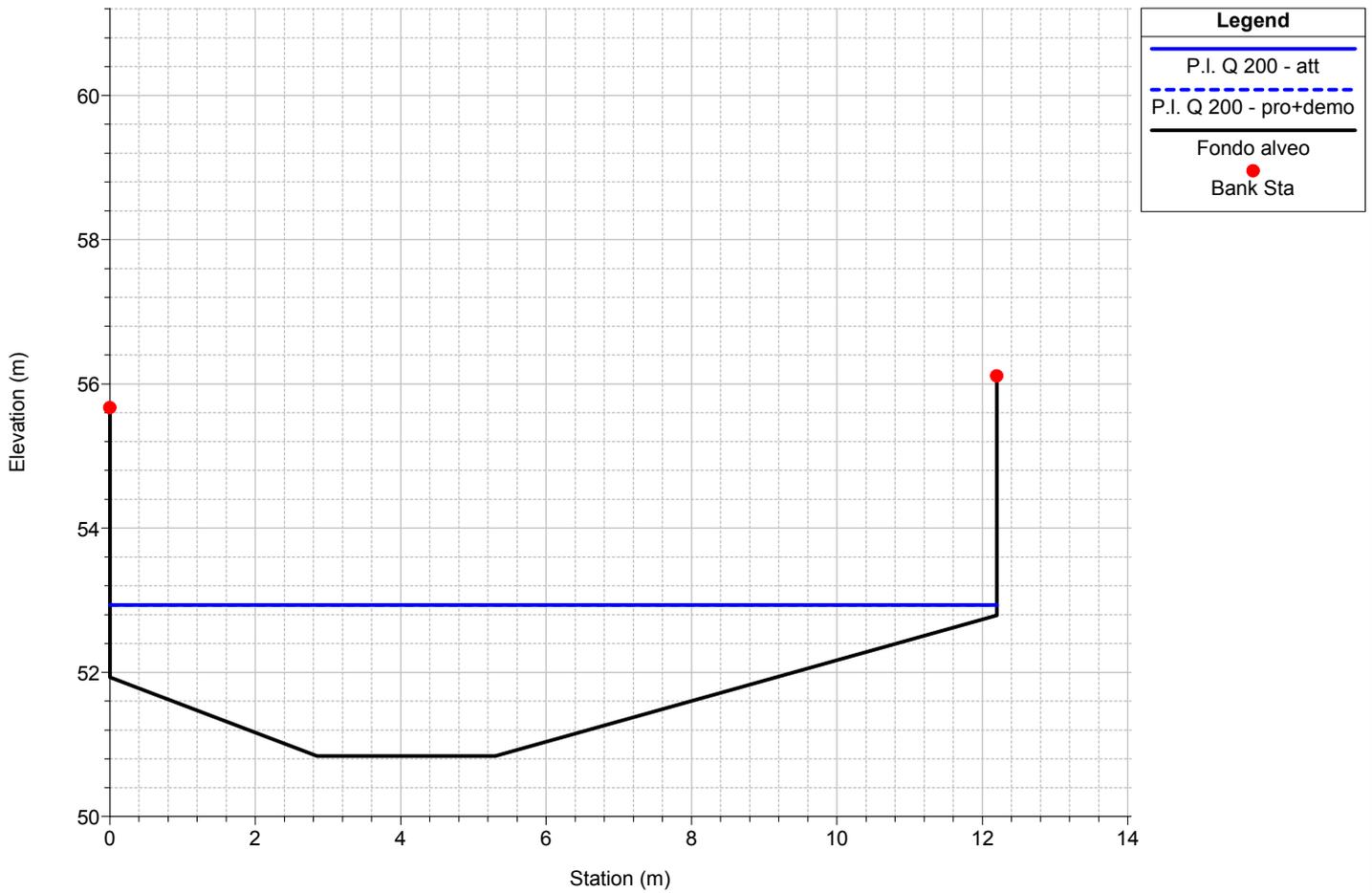
rio-Ciliegia
RS = 7.1 Confronto stato attuale - progetto



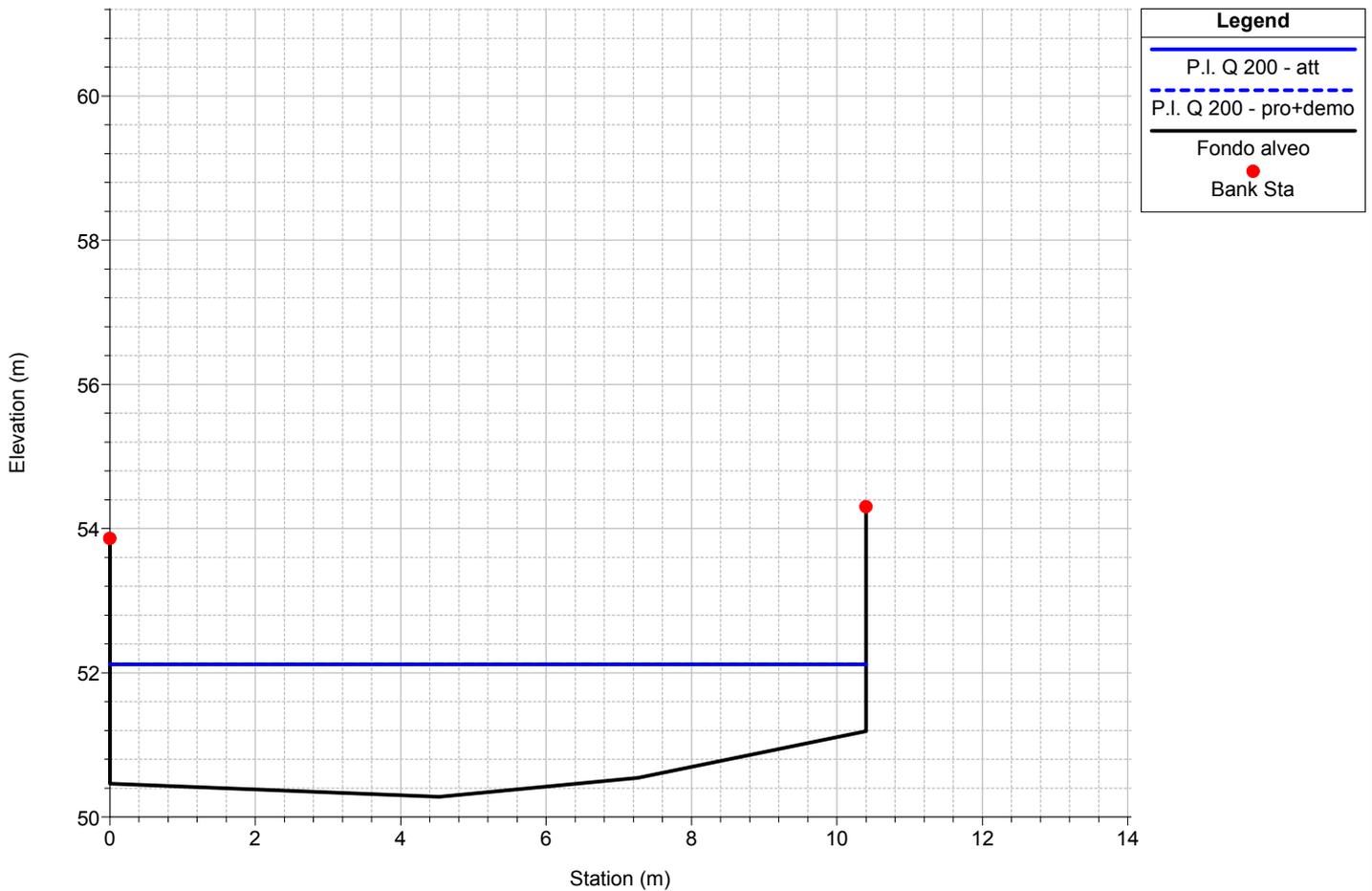
rio-Ciliegia
RS = 7 Confronto stato attuale - progetto



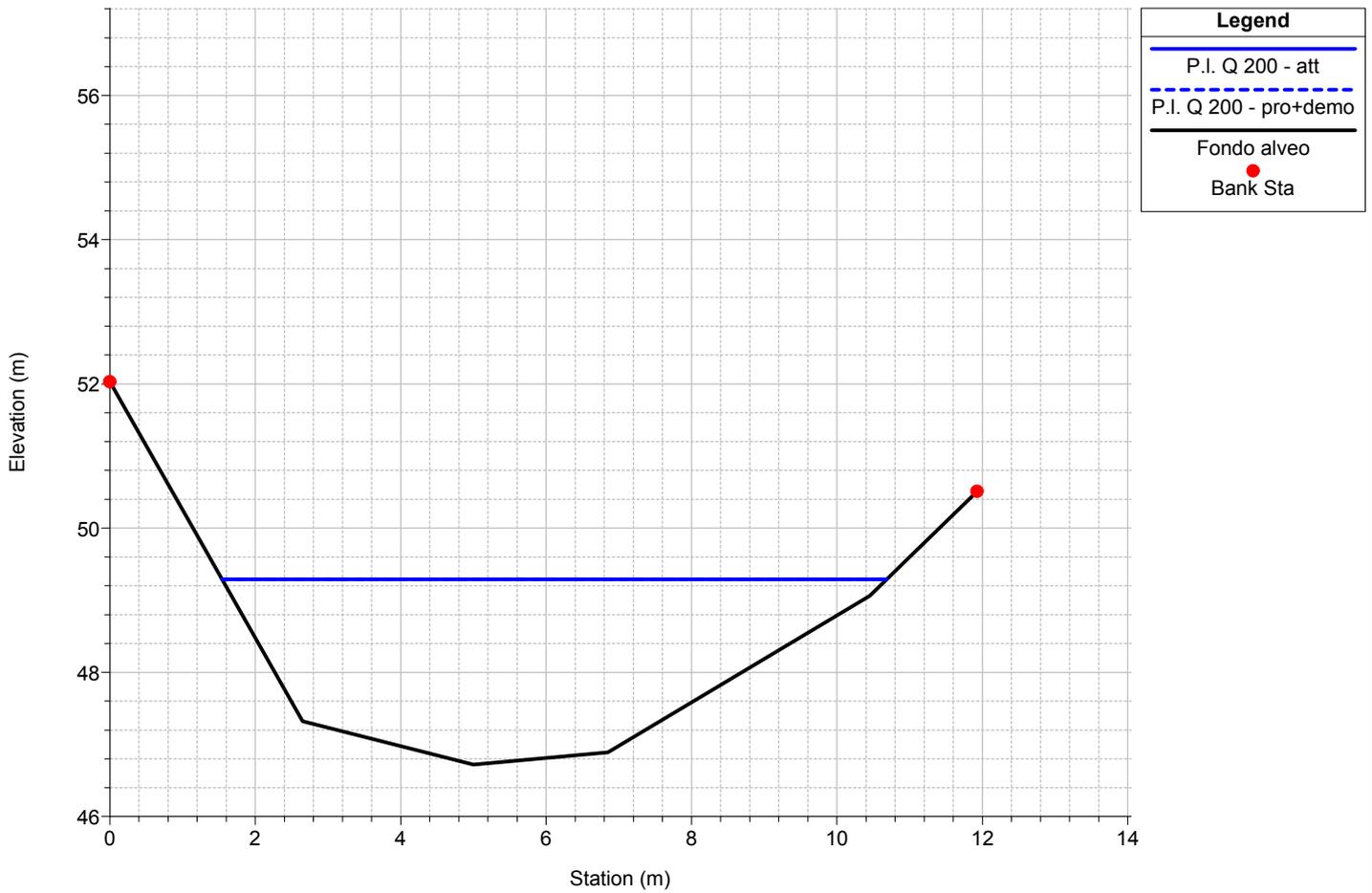
rio-Ciliegia
RS = 6 Confronto stato attuale - progetto



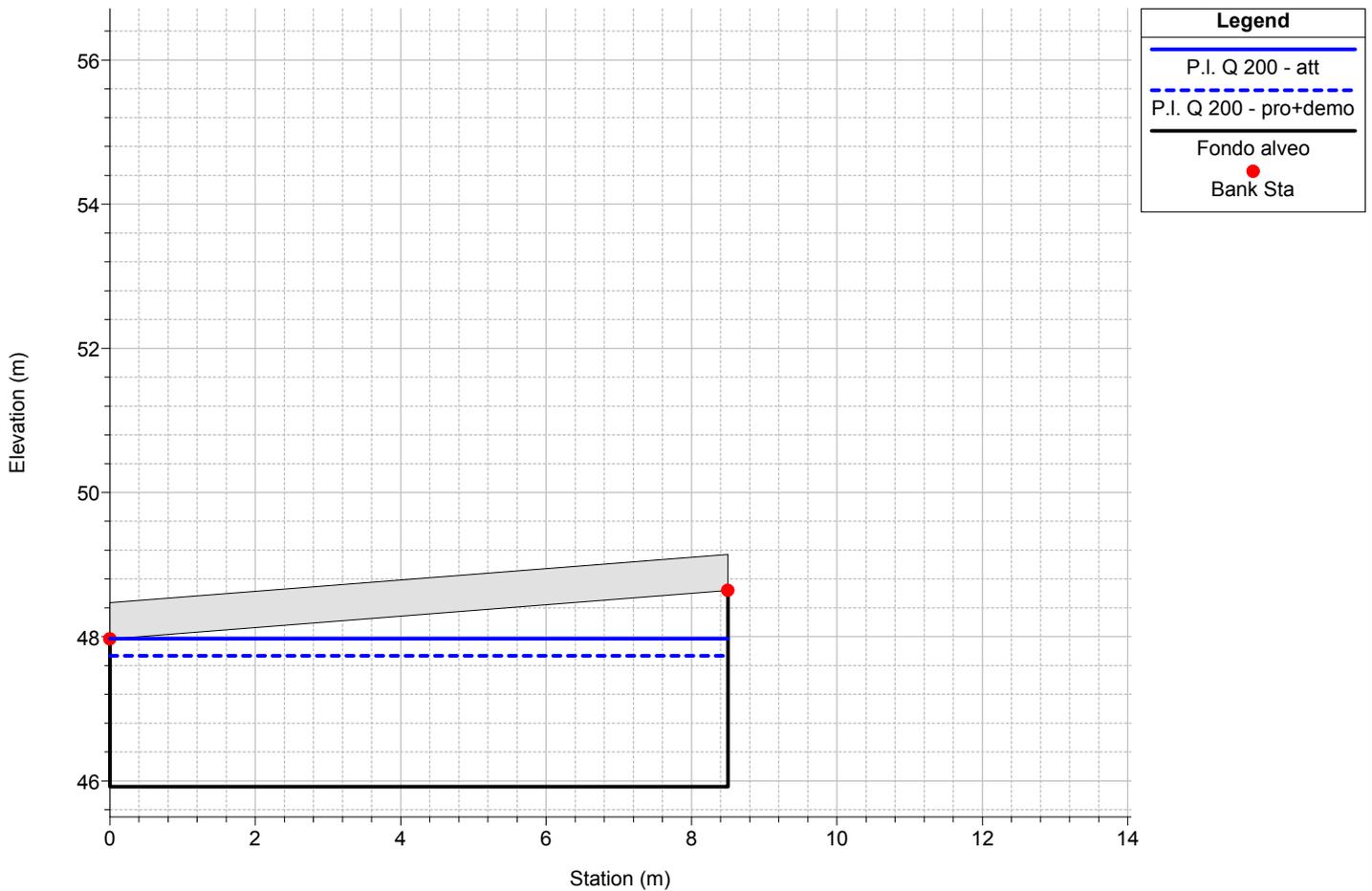
rio-Ciliegia
RS = 5 Confronto stato attuale - progetto



rio-Ciliegia
RS = 4 Confronto stato attuale - progetto

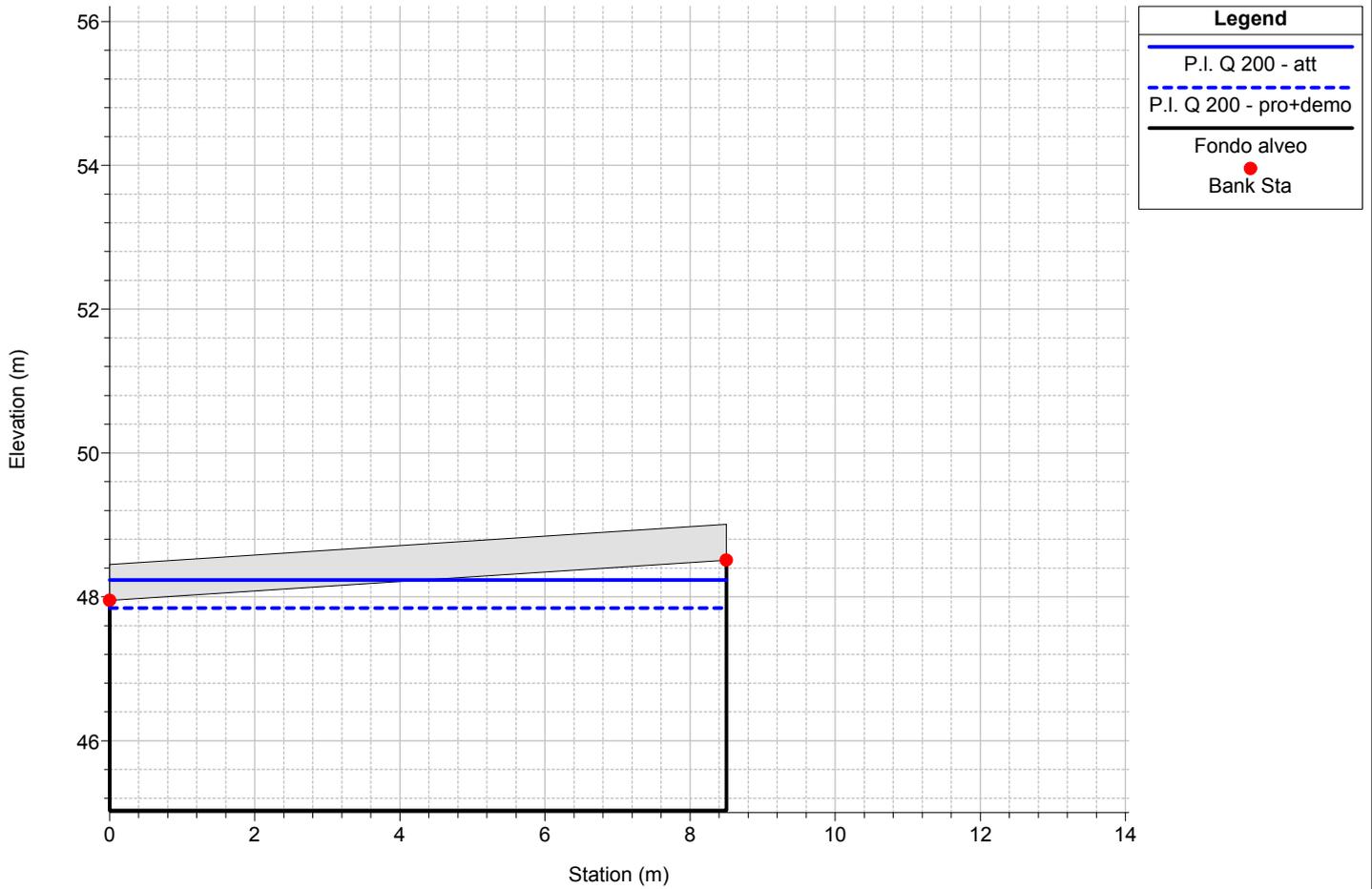


rio-Ciliegia
RS = 3 Confronto stato attuale - progetto

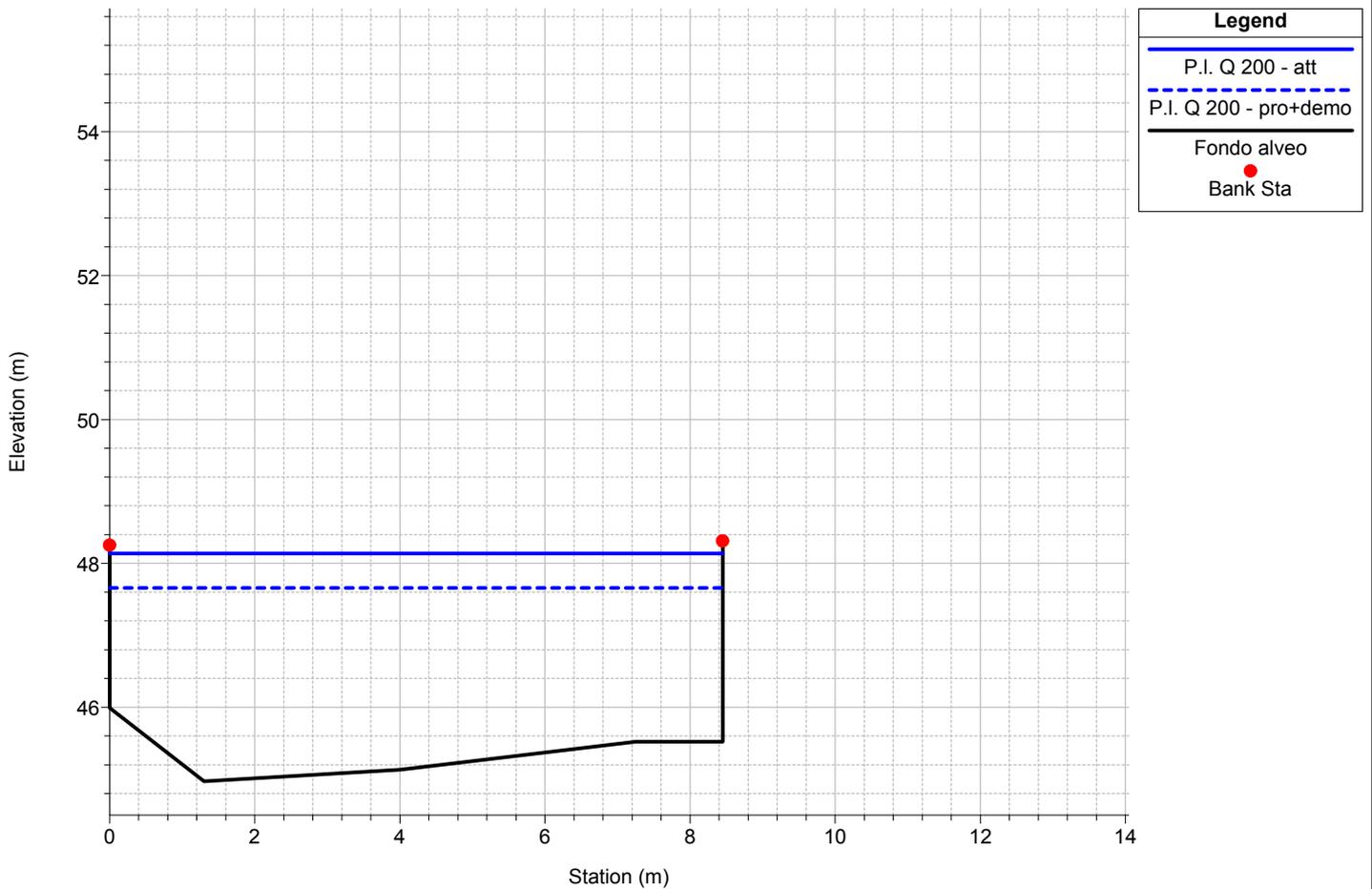


1 cm Horiz. = 1 m 1 cm Vert. = 1 m

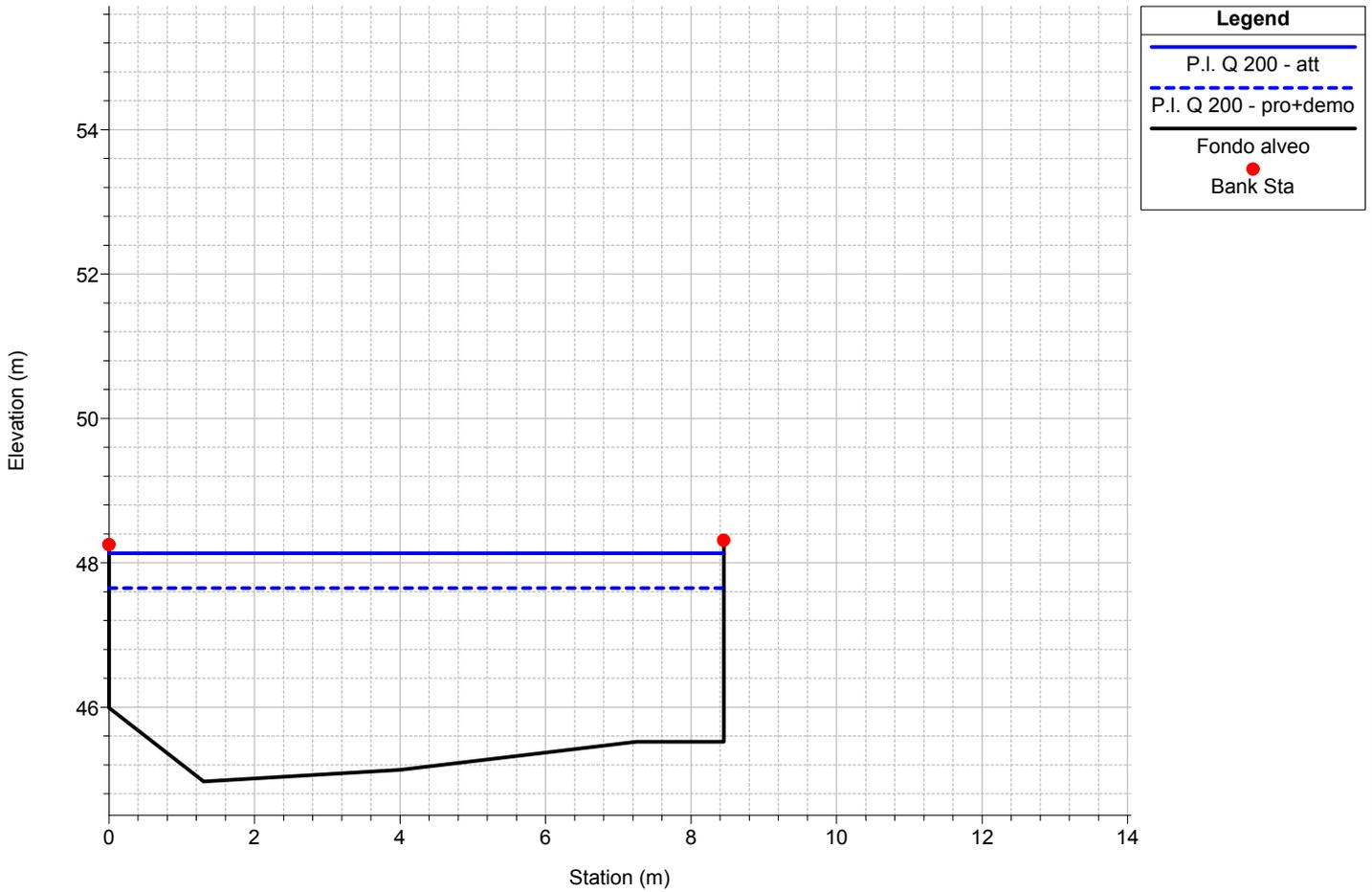
rio-Ciliegia
RS = 2.5 Confronto stato attuale - progetto



rio-Ciliegia
RS = 2.2 Confronto stato attuale - progetto



rio-Ciliegia
RS = 2.1 Confronto stato attuale - progetto



rio-Ciliegia
RS = 2 Confronto stato attuale - progetto

