Committente:

Città Metropolitana di Genova
Direzione Territorio e mobilità

Titolo:

Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica, secondo il nuovo codice degli appalti (D.Lgs 36/2023), degli interventi di messa in sicurezza idraulica (demolizione e ricostruzione) del ponte n. 1240, SP 26 della Valgraveglia, km 3+538, nel comune di Ne. CIG: B93A6AC50D CUP: D47H23000680001

Oggetto:
Relazione Idraulica e allegati

Gruppo di lavoro

Ing.	D. Guerrieri	Geol.	C. Frediani
Ing.	R. Sguazzino	Arch.	G. Fiasella
Arch.	L. Corsini	Geom.	V. Spalierno
Arch.	J.M. Grinovero	Dot.sa	G. Carrodano
Ing.	M. Altilia	Ing.	D. Loria
Geom.	M. Bozzolo	Ing.	G. Sciarpa

Livello di progetto: FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

Nome File: P007-26-F-RE-IDR-001-A

Codice progetto: P007-26

Elaborato n°: IDR-001

Firme:



Rev:	Modifiche / Revisioni	Data	Redatto	Controllato	Approvato
A	PRIMA EMISSIONE	29/06/2026	DLR	LCO	DGU
B	SECONDA EMISSIONE	13/07/2026	DLR	LCO	DGU
C	TERZA EMISSIONE	31/08/2026	LBE	LCO	DGU

19038 SARZANA (SP) - Via B.P.U. Muccini, 54A - T. +39 0187 610532
16121 GENOVA (GE) - Via Fieschi 9, VIII Piano - T. +39 010 5959690
P. iva 01236860118 - N. CCIAA 01236860118 - REA CCIA SP112013
Cap. Soc. €100.000 i.v. - info@itec-engineering.it

È vietata a norma di legge la riproduzione, anche parziale, non autorizzata di questo documento

INDICE

1 PREMESSA 1

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE 3

3 INTERVENTI LUNGO L'ASTA DEL TORRENTE CHIESANUOVA 6

3.1 INTERVENTI REALIZZATI: 7

3.1.1 Lotto 2 stralcio 1 e 2 8

3.1.2 Lotto 3 stralcio 1 e interventi di completamento 9

3.2 INTERVENTI DI PROGETTO 10

3.2.1 Movimentazione fondo alveo e rifacimento delle sezioni idrauliche 10

4 VERIFICHE IDRAULICHE 11

4.1 PORTATE DI RIFERIMENTO 11

4.2 METODOLOGIA DI CALCOLO 11

4.3 PARAMETRI DI CALCOLO E CONFIGURAZIONE DI VERIFICA 11

4.4 RISULTATI 12

4.4.1 Configurazione di stato attuale 12

4.4.2 Configurazione di progetto 14

5 ANALISI CONFLUENZA CON T. GRAVEGLIA 16

5.1 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE CONFLUENZA CON T. GRAVEGLIA 24

Allegati:

ALLEGATO A: ALLEGATO IDRAULICO

Appendici:

APPENDICE 1: SOFTWARE DI CALCOLO HEC-RAS 6.6

1 PREMESSA

Il presente elaborato fa parte del progetto di Fattibilità Tecnico Economica degli interventi di messa in sicurezza idraulica (demolizione e ricostruzione) del ponte n. 1240, SP 26 della Valgraveglia, km 3+538, nel comune di Ne.

La necessità del presente progetto nasce a seguito dell'ispezione visiva del 04/06/2024 effettuata da Città Metropolitana di Genova, in qualità di proprietario, concessionario ed ente vigilante della SP 26, nel corso della quale sono state riscontrate criticità idrauliche riconducibili allo stato di conservazione del ponte sul torrente Chiesanuova.

Di conseguenza, seguito di tale sopralluogo, è stata affidata allo scrivente la redazione del progetto di messa in sicurezza generale dell'area. L'intervento prevede il rifacimento dell'impalcato, il consolidamento delle spalle e delle relative fondazioni, nonché la messa in sicurezza idraulica dell'ultimo tratto tombinato del rio Chiesanuova.



Figura 1-1: Area oggetto di intervento - veduta aerea con indicazione area di intervento



Figura 1-2: Area oggetto di intervento - veduta aerea con indicazione area di intervento

Dal punto di vista idraulico, nel tratto terminale del torrente sono stati recentemente eseguiti alcuni interventi di sistemazione commissionati dal Comune di Ne.

Gli interventi in progetto costituiscono un'ulteriore attuazione di quanto previsto nello *Studio di fattibilità idraulica per la sistemazione del tratto terminale del torrente Chiesanuova*, redatto dalla scrivente nel dicembre 2019. Tale studio individuava e suddivideva in lotti funzionali gli interventi di sistemazione idraulica relativi al tratto compreso tra il campo sportivo e la confluenza con il torrente Graveglia.

Gli interventi sono stati progettati al fine di garantire il corretto smaltimento della portata con tempo di ritorno pari a 200 anni, nel rispetto, per quanto possibile, dei vincoli urbanistici e viabilistici esistenti e assicurando al contempo la salvaguardia delle opere presenti.

Il progetto, attualmente realizzato, prevedeva in linea generale l'ampliamento della sezione del canale esistente a monte dell'area oggetto di intervento e il ripristino del collegamento tra le due sponde mediante la realizzazione di un nuovo ponte, ubicato circa 200 m a monte della stessa area.

La presente relazione contiene la descrizione e i risultati delle verifiche idrauliche effettuate per la configurazione di progetto comprendente il rifacimento del ponte n. 1240, SP 26 della Valgraveglia, il consolidamento delle spalle e delle relative fondazioni, nonché la messa in sicurezza idraulica dell'ultimo tratto tombinato del rio Chiesanuova.

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il torrente Chiesanuova è un affluente di sponda sinistra del torrente Graveglia in cui confluisce in prossimità dell'edificio comunale di Ne in località Chiesanuova.

Nella figura seguente sono riportati i limiti di bacino del torrente che alla sezione di confluenza con il torrente Graveglia (sezione CH0) sottende un bacino di circa 10.3 Km^2.

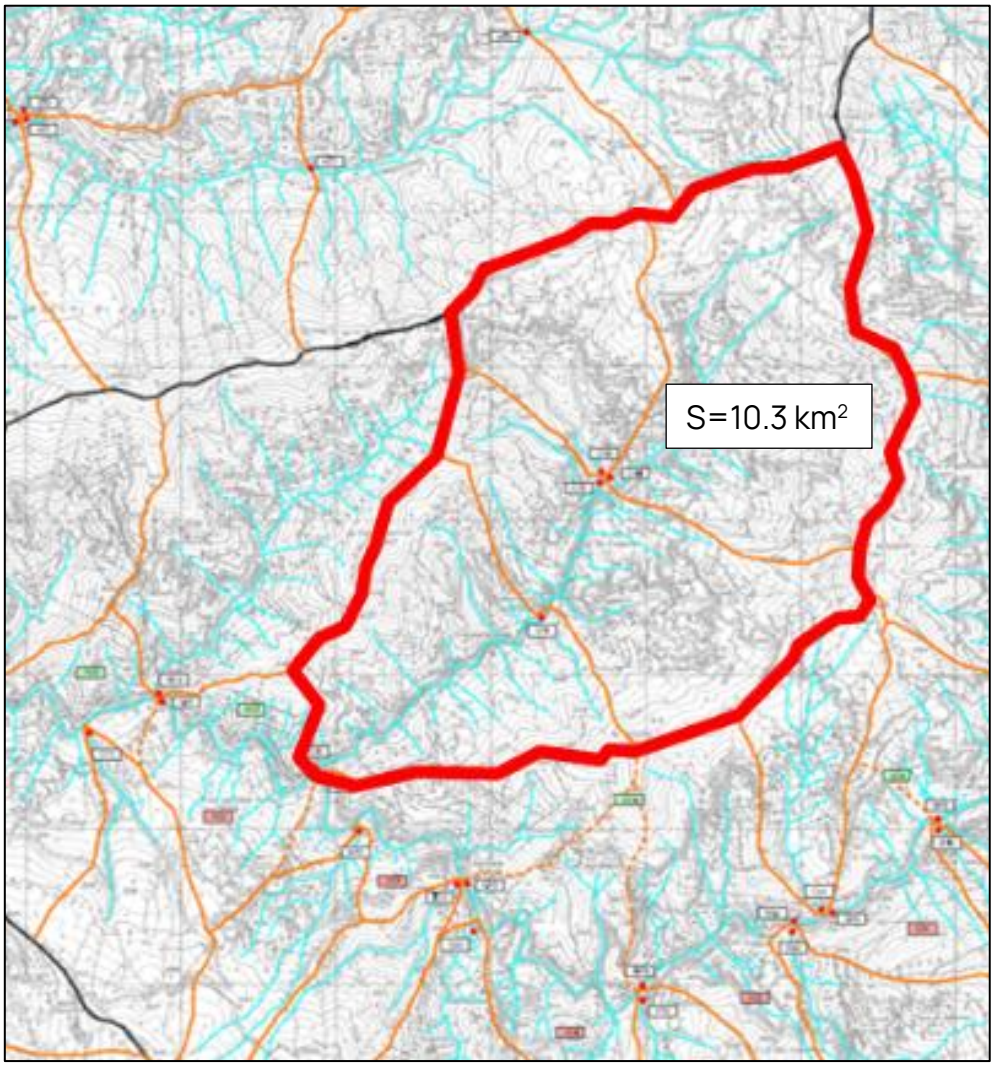


Figura 2-1: Inquadramento territoriale bacino idrografico T. Chiesanuova

Il bacino è caratterizzato da un'asta principale di lunghezza di circa 5 km, una pendenza media del 12% e un orientamento prevalente NE-SO.

Il corso d'acqua scorre a cielo aperto in alveo naturale in aree prevalentemente boschive ed è confinato da rilievi elevati mediamente da 600-700 m s.l.m.

Il tratto oggetto di intervento è costituito dal tronco terminale del torrente Chiesanuova, compreso tra l'inizio del tratto tombinato, attualmente utilizzato come sede viaria e area di parcheggio, e la sezione di sbocco nel torrente Graveglia.

Nelle figure seguenti è evidenziata l'area oggetto di studio su ortofoto e su CTR regionale.



Figura 2-2: Inquadramento su ortofoto area di intervento

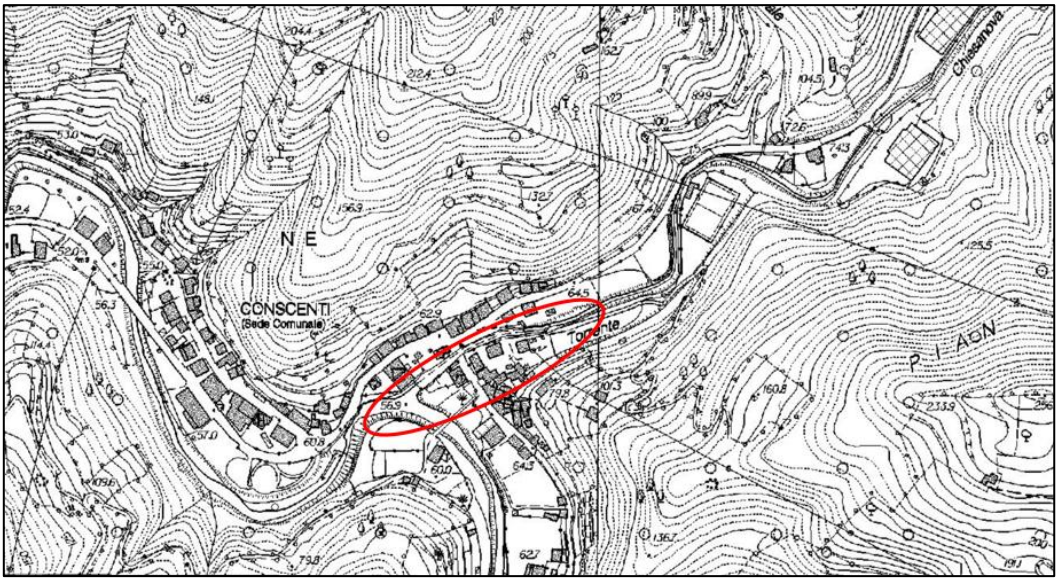


Figura 2-3: Inquadramento su CTR area di intervento

Infine, nell'immagine seguente si effettua un inquadramento catastale dell'area di intervento dove si evince che il torrente Chiesanuova presenta sedime demaniale

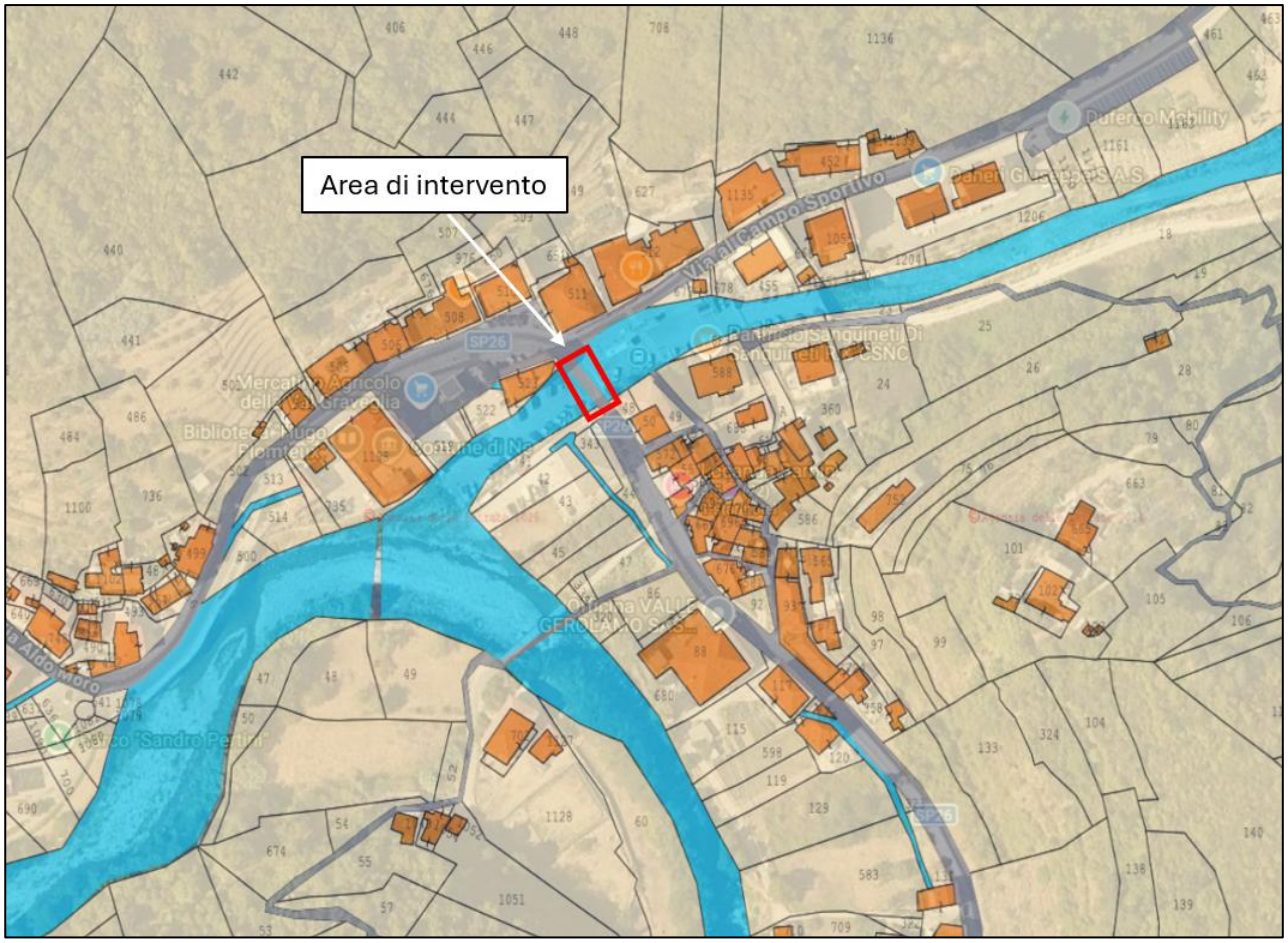


Figura 2-4: Inquadramento catastale area di intervento

3 INTERVENTI LUNGO L'ASTA DEL TORRENTE CHIESANUOVA

Di seguito si riporta una breve descrizione dell'iter progettuale degli interventi di sistemazione idraulica del tratto terminale del torrente Chiesanuova all'interno del quale si inserisce il presente progetto di rifacimento del nuovo ponte n. 1240, SP 26 della Valgraveglia.

La progettazione del nuovo impalcato con spessore minore, unito alla riprofilatura prevista delle spalle miglioreranno il deflusso della sezione di piena come previsto anche da studio di sistemazione complessiva del 2019 che analizzava, mediante modello idraulico bidimensionale, gli effetti di mitigazione del rischio idraulico in funzione della realizzazione dei singoli lotti funzionali:

- Lotto 1: tratto terminale coperto (lunghezza 140 m circa);
- Lotto 2: tratto compreso tra il campo da bocce e la sezione di imbocco della copertura (lunghezza 200 m circa);
- Lotto 3: tratto a monte del campo da bocce (lunghezza 220 m circa)

Dei tre lotti il Lotto 2 e il Lotto 3, di competenza del Comune di Ne, sono stati realizzati o parzialmente realizzati mentre il Lotto 1, che prevedeva la demolizione della struttura del vecchio ponte della strada provinciale inglobata nella tombinatura, e la sua sostituzione con un nuovo tratto di scatolare di dimensioni analoghe ai tratti di monte e di valle è oggetto della presente progettazione.

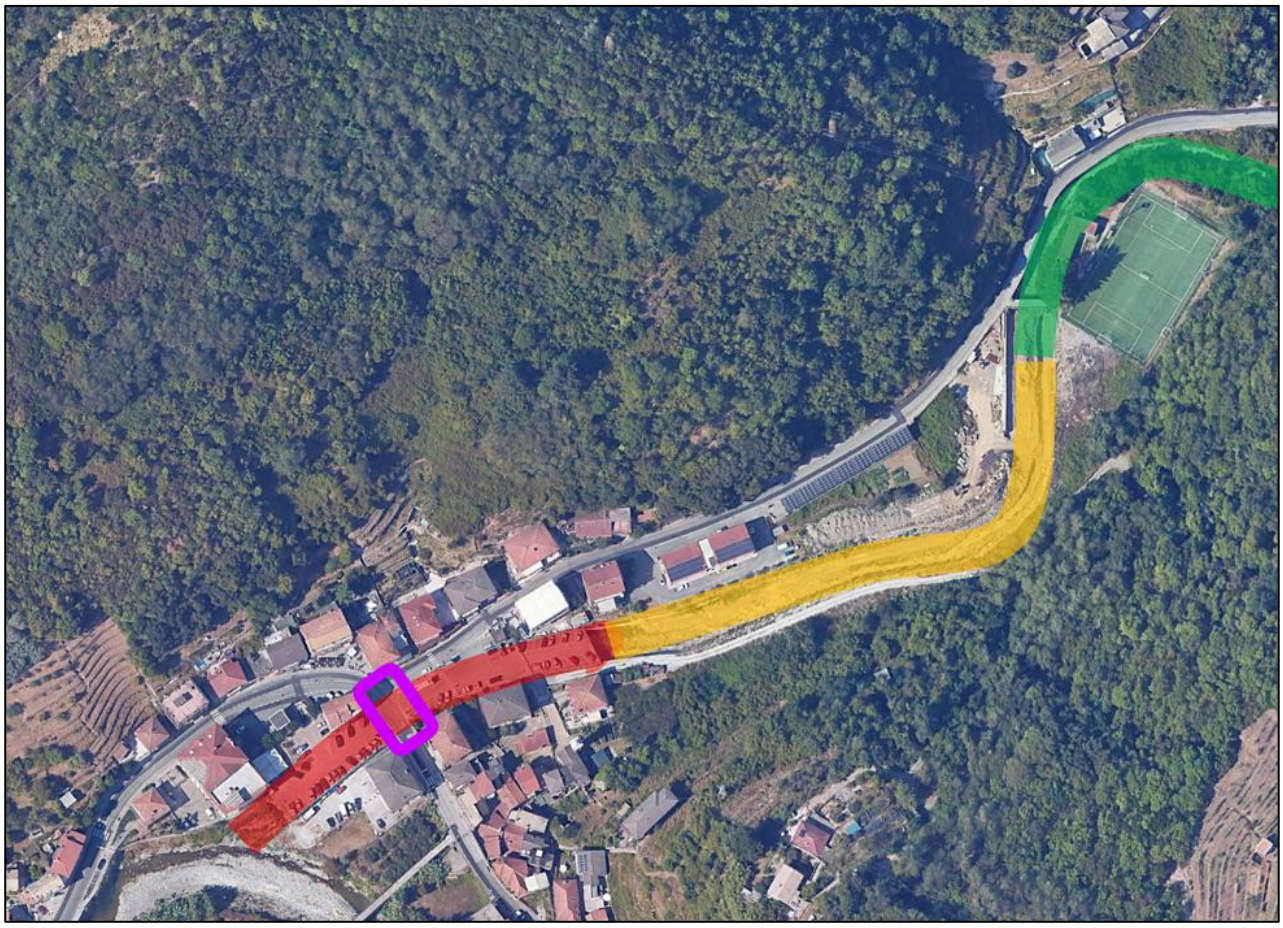


Figura 3-1:foto aerea con indicato in rosso il lotto 1, in giallo il lotto 2 e in verde il lotto 3 con cerchiato in viola l'area di intervento

3.1 INTERVENTI REALIZZATI:

Gli interventi già realizzati nell'area interessata dalla presente progettazione, ubicata nel tratto terminale del torrente Chiesanuova, sono stati eseguiti in attuazione delle previsioni contenute nel progetto esecutivo *"Sistemazione idraulica del tratto terminale del torrente Garibaldo – Lotto 2 Stralcio 1 e 2 Lotto 3 Stralcio 1"*, finanziato nell'ambito del Piano degli investimenti a valere sulle risorse di cui all'art. 1, comma 1028, della Legge 30 dicembre 2018, n. 145 – Annualità 2021, e della relativa relazione idraulica redatta dalla scrivente.

Tali opere, unitamente ai successivi interventi di completamento, costituiscono l'insieme degli interventi di sistemazione idraulica ad oggi realizzati lungo il tratto terminale del torrente Chiesanuova e rappresentano il quadro di riferimento per le valutazioni e le verifiche sviluppate nell'ambito della presente progettazione.

3.1.1 Lotto 2 stralcio 1 e 2

Il Lotto 2, articolato nei due stralci funzionali 1 e 2, ha rappresentato il primo insieme organico di interventi di adeguamento idraulico del tratto terminale del torrente.

Gli interventi hanno interessato principalmente il tratto compreso tra il campo sportivo e l'imbocco della tombinatura esistente, area caratterizzata da condizioni di deflusso critiche e da sezioni idrauliche insufficienti rispetto alle portate di progetto.

Le opere realizzate comprendono:

- la realizzazione di muri d'argine in calcestruzzo armato a protezione delle sponde in prossimità delle aree urbanizzate;
- la costruzione di difese spondali in scogliera di massi ciclopici, finalizzate alla stabilizzazione dell'alveo e alla dissipazione dell'energia della corrente;
- la regolarizzazione e riprofilatura del fondo alveo, con adeguamento delle pendenze longitudinali alle condizioni di progetto;
- interventi locali di allargamento della sezione idraulica nei punti maggiormente critici.

Nell'immagine seguente si riporta un inquadramento degli interventi previsti in corrispondenza di entrambi gli stralci del Lotto 2

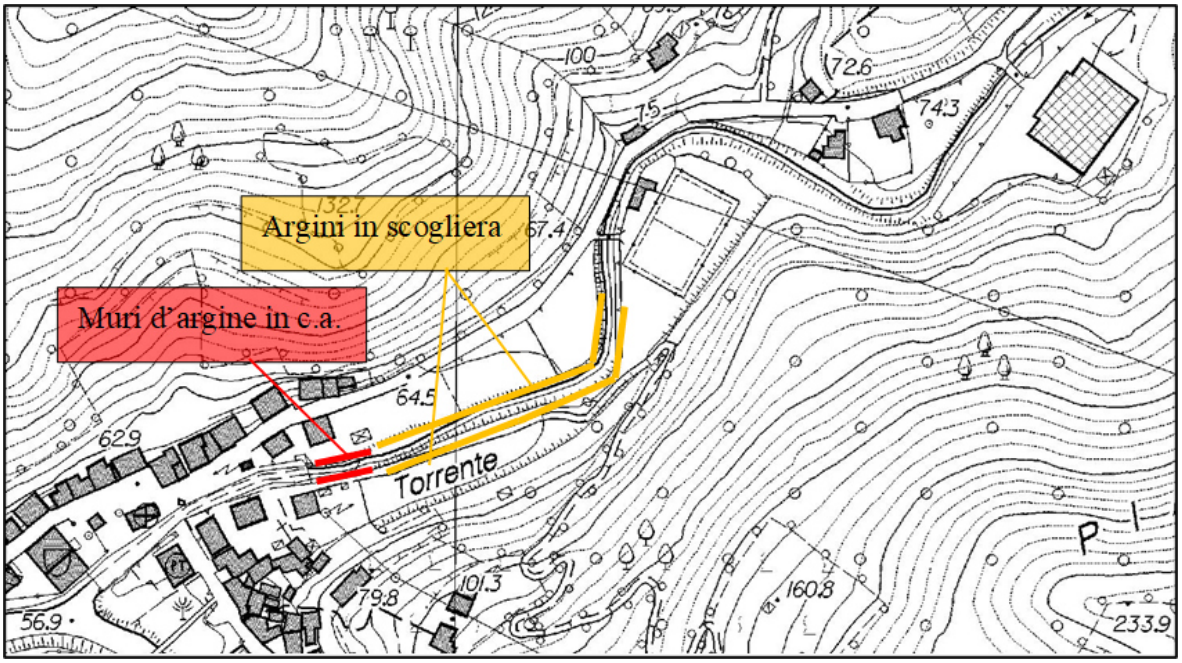


Figura 3-2: Interventi Lotto 2 stralcio 1 e 2

3.1.2 Lotto 3 stralcio 1 e interventi di completamento

Il Lotto 3 – Stralcio 1, unitamente agli interventi di completamento successivamente eseguiti, ha riguardato l'adeguamento e la sistemazione del tratto a monte dell'area del campo sportivo, garantendo la continuità funzionale con gli interventi già realizzati nel Lotto 2.

Gli interventi hanno previsto:

- realizzazione e completamento delle opere di difesa spondale in scogliera e opere di contenimento localizzate;
- sistemazione delle interferenze con infrastrutture viarie e aree limitrofe;
- raccordo morfologico e idraulico tra le diverse sezioni di intervento;
- completamento delle opere residue previste dal Lotto 3, al fine di garantire la configurazione finale di progetto.

Nell'ambito di tale insieme di interventi è stato inoltre realizzato il nuovo ponte di attraversamento del torrente, ubicato circa 200 m a monte dell'area di intervento, in sostituzione del precedente manufatto, con conseguente miglioramento delle condizioni di deflusso e riduzione delle interferenze idrauliche. Nell'immagine seguente si riportano gli interventi realizzati a termine della realizzazione del Lotto 3

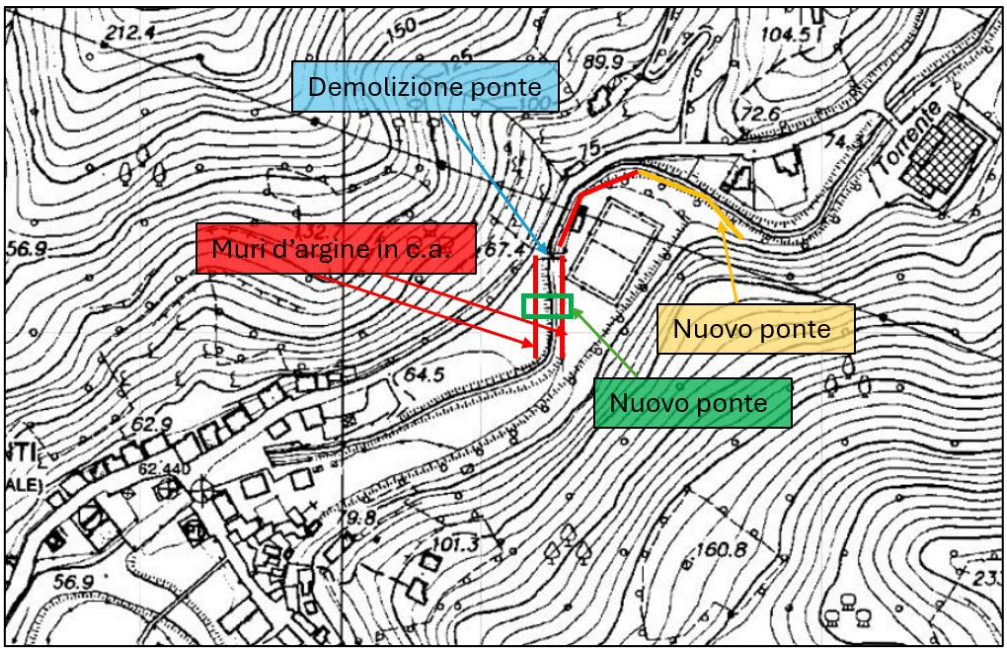


Figura 3-3: Interventi Lotto 3 stralcio 1 ed interventi di completamento

Nel loro complesso, gli interventi del Lotto 3 e delle opere di completamento hanno consentito il raggiungimento della configurazione finale prevista dallo studio di fattibilità, assicurando una maggiore uniformità delle condizioni di deflusso lungo l'intero tratto terminale del corso d'acqua.

3.2 INTERVENTI DI PROGETTO

Gli interventi sono stati studiati al fine di garantire lo smaltimento della portata 50-ennale e 200-ennale nel rispetto, per quanto possibile, dei vincoli urbanistici e viabilistici presenti e della salvaguardia delle strutture esistenti.

Con riferimento alla numerazione delle sezioni di rilievo utilizzate nelle verifiche idrauliche gli interventi sono suddivisibili nelle seguenti tipologie:

- Movimentazione materiale fondo alveo e rifacimento delle sezioni idrauliche tra le sezioni 72.04 e 190 per una lunghezza complessiva di circa 120 m
- Realizzazione di un nuovo impalcato in sostituzione dell'impalcato esistente n. 1240 della SP 26. L'intervento prevede la riduzione dello spessore strutturale dell'impalcato, con passaggio da un'altezza pari a 1,40 m a 0,80 m.
- Rifacimento del tratto di tombinatura in corrispondenza al ponte di progetto tra le sezioni 92.98 e 86.89 con modifica planimetrica dell'andamento del tracciato al finalizzato ai lavori di sostruzione del nuovo implacato

3.2.1 Movimentazione fondo alveo e rifacimento delle sezioni idrauliche

È previsto un intervento di movimentazione del materiale del fondo alveo tra le sezioni 190 e 72.04, adottando una pendenza longitudinale coerente con l'attuale configurazione del corso d'acqua, pari a circa l'1,3%.

Come anticipato in precedenza, oltre a tale movimentazione dell'alveo, è previsto il rifacimento delle medesime sezioni idrauliche al fine di regolarizzarne la geometria e incrementarne la capacità di deflusso. Le sezioni di progetto saranno pertanto realizzate con geometria rettangolare, caratterizzate da una larghezza media pari a 12,7 m e da un'altezza media pari a 4,0 m.

Per una più dettagliata descrizione della geometria e delle caratteristiche delle sezioni di progetto si rimanda all'Allegato A della presente relazione, nel quale sono riportate tutte le sezioni di progetto.

4 VERIFICHE IDRAULICHE

4.1 PORTATE DI RIFERIMENTO

Le portate assunte come riferimento nel presente studio sono quelle riportate nel Piano di Bacino Ambito 16 per il tratto a monte della confluenza col torrente Graveglia (sezione di chiusura CH0) che risultano pari a:

Q_{50} = 163 m³/s Q_{200} = 208 m³/s

4.2 METODOLOGIA DI CALCOLO

Le verifiche idrauliche sono state effettuate con il software di calcolo Hec-Ras 6.6.

Il software consente il calcolo dell'andamento dei profili di rigurgito in moto permanente gradualmente variato in alvei naturali o canali artificiali e la valutazione degli effetti sulla corrente dovuti all'interazione con ponti, tombinature, briglie, stramazzi, aree golenali ecc.

La metodologia è riportata più in dettaglio nell'Appendice 1 allegata alla presente relazione.

4.3 PARAMETRI DI CALCOLO E CONFIGURAZIONE DI VERIFICA

È stato effettuato il calcolo del profilo di rigurgito in moto permanente gradualmente variato del tratto del torrente Chiesanuova per una lunghezza di circa 190 m.

Le informazioni di carattere topografico sono state desunte da un rilievo in sito eseguito nei primi mesi del 2026 da parte della scrivente.

Ai fini del calcolo sono è stato assunto un valore del parametro di scabrezza di Manning pari a n=0.033 corrispondente secondo quanto indicato nelle norme di Piano, a corsi d'acqua naturali con vegetazione e movimento di materiale sul fondo

Lungo l'intero tratto sono state individuate una serie di sezioni trasversali in funzione delle caratteristiche geometriche e morfologiche dell'alveo (larghezza, pendenza, curve, presenza di manufatti ecc.), numerate da 10 fino a 190 dalla sezione di valle verso quella di monte secondo la loro distanza progressiva dalla sezione di valle.

Infine, nell'ambito delle verifiche idrauliche, le sezioni in corrispondenza del nuovo ponte di progetto sono state modellate, in via cautelativa, considerando un impalcato orizzontale anziché dotato della prevista pendenza trasversale. Quest'ultima sarà infatti realizzata unicamente per assicurare il corretto raccordo con l'andamento plano-altimetrico della SP 26 in corrispondenza dell'opera di progetto. Tale assunzione risulta pertanto conservativa ai fini della verifica idraulica.

Il profilo è stato integrato per entrambe le condizioni di corrente lenta (Fr < 1), imponendo quali condizioni al contorno la profondità di moto uniforme nella sezione di monte (sez. 190) e la profondità critica alla confluenza con il torrente Graveglia nella sezione di valle (sez. 10).

I calcoli sono stati effettuati nell'ipotesi di sponde infinite, senza considerare cioè eventuali porte di esondazione.

In conclusione, nel seguito della presente, si riportano i risultati relativi alle tre seguenti configurazioni:

1. Configurazione di stato attuale
2. Configurazione stato di progetto

4.4 RISULTATI

Di seguito si riportano sinteticamente i risultati delle verifiche che sono riassunti in forma numerica e grafica nell'Allegato A.

4.4.1 Configurazione di stato attuale

Portata 50-ennale

Il deflusso della portata 50- avviene con alternanza di correnti lente e veloci lungo il tratto modellato con numeri di Froude compresi tra 0.7 e 1.9. La profondità media del pelo libero risulta pari a circa 2.5 m, mentre la velocità media della corrente è pari a circa 5,1 m/s.

All'interno del tratto tombinato, la portata risulta completamente contenuta entro gli argini e al di sotto dell'intradosso della tombinatura, garantendo un franco minimo di circa 1,0 m in corrispondenza della sezione 85.54, ubicata immediatamente a valle del ponte oggetto di intervento.

La linea dei carichi si mantiene generalmente al di sotto delle sommità arginali lungo l'intero tratto analizzato; tuttavia, si osservano superamenti localizzati in corrispondenza del ponte sulla strada provinciale SP26, oggetto dell'intervento, nonché in corrispondenza delle sezioni 130 e 140.

Portata 200-ennale

Il deflusso della portata 200-ennale avviene con alternanza di correnti lente e veloci, caratterizzate da valori del numero di Froude compresi tra 0.7 e 1.9. La profondità media del pelo libero risulta pari a circa 3.3 m, mentre la velocità della corrente varia tra 4.2 m/s e 7.8 m/s, con un valore medio di circa 5.6 m/s.

Nel tratto tombinato, la portata non risulta completamente contenuta entro gli argini e al di sotto dell'intradosso della tombinatura. In corrispondenza del ponte sulla strada provinciale SP26, infatti, il deflusso della portata 200-ennale determina il raggiungimento dell'intradosso della tombinatura, con conseguente instaurarsi di condizioni di moto in pressione.

Nelle restanti sezioni, la portata 200-ennale risulta invece contenuta sia all'interno degli argini sia della tombinatura, mantenendo un franco minimo pari a circa 0.30 m in corrispondenza della sezione 140 e un franco massimo pari a circa 2.29 m in corrispondenza della sezione 70.9.

La linea dei carichi risulta tuttavia superiore alle quote delle sommità arginali e/o dell'intradosso della tombinatura lungo il tratto analizzato, non mantenendosi pertanto completamente contenuta all'interno delle opere di confinamento idraulico.

4.4.2 Configurazione di progetto

Portata 50-ennale

La configurazione di progetto induce un sostanziale miglioramento relativo al deflusso della portata 50-ennale rispetto alla condizione di stato attuale.

Anche per lo stato di progetto la portata 50-ennale presenta un'alternanza di correnti lenti e veloci con numeri di Froude compresi tra 0.8 e 2. . La profondità media del pelo libero risulta pari a circa 2.2 m, mentre la velocità media della corrente rimane immutata con un valore pari a circa 5.1 m/s.

All'interno del tratto tombinato, la portata risulta completamente contenuta entro gli argini e al di sotto dell'intradosso della tombinatura, garantendo un franco minimo di 1.5 m in corrispondenza della sezione 94.73, ubicata immediatamente a monte del ponte oggetto di intervento.

La linea dei carichi si mantiene è sempre contenuta all'interno delle sezioni idrauliche e della quota di intradosso del tratto tombinato, anche in corrispondenza del ponte di progetto.

Nell'immagine seguente si riporta il confronto tra i profili di stato attuale e di progetto della configurazione 50-ennale

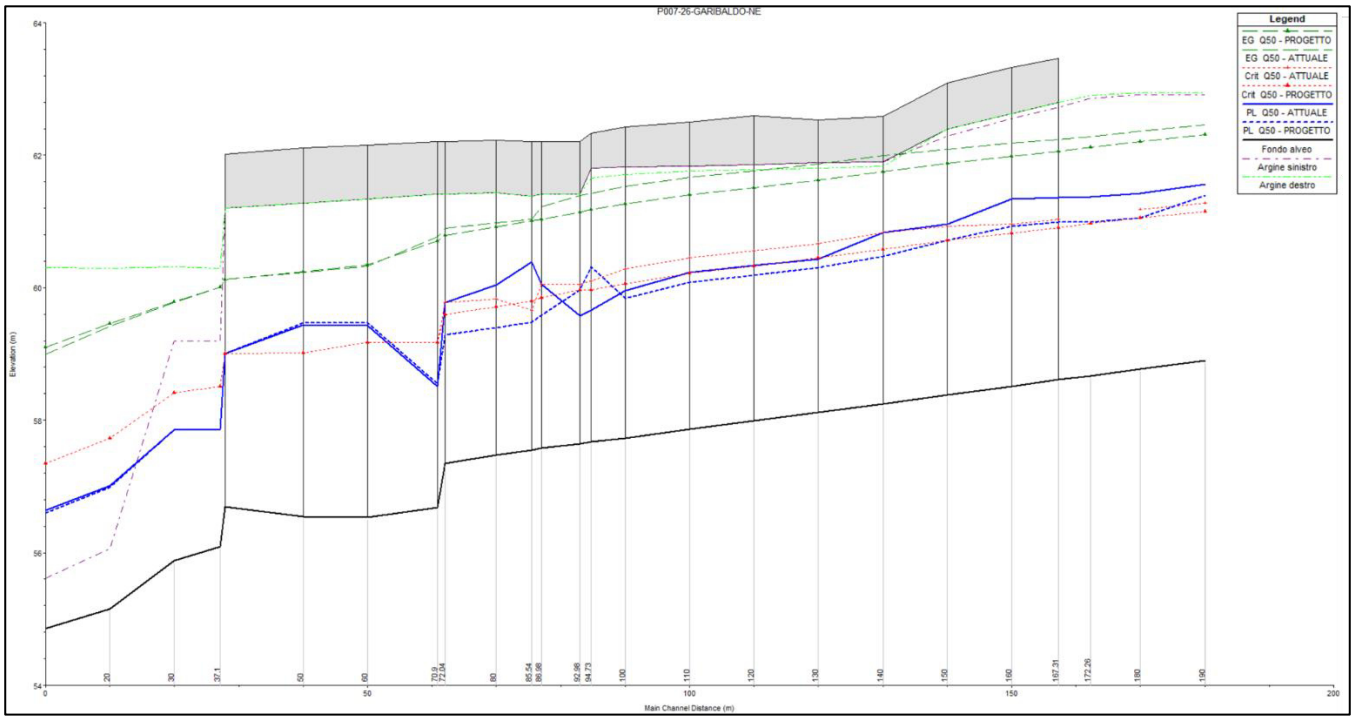


Figura 4-1: Confronto profilo di stato attuale e di progetto Q_{50}

Portata 200-ennale

Anche per la portata 200-ennale, gli interventi di progetto inducono un miglioramento del deflusso di tale portata.

Il deflusso della corrente presenta sempre un alternarsi di corrente lenta e veloce con numeri di Froude compresi tra 0.8 e 2.0. La profondità media del pelo libero risulta pari a circa 3.0 m, mentre la velocità media della corrente raggiunge i 5.7 m/s.

All'interno del tratto tombinato, la portata risulta completamente contenuta entro gli argini e al di sotto dell'intradosso della tombinatura, garantendo un franco minimo di 0.5 m in corrispondenza della sezione 94.73, ubicata immediatamente a monte del ponte oggetto di intervento, ed un franco massimo pari a 2.1 m.

La linea dei carichi supera le quote delle sommità arginali e dell'intradosso della tombinatura.

Come per il caso precedente si riporta nel seguito il confronto tra i due profili di stato attuale e di progetto relativi al deflusso della portata 200-ennale

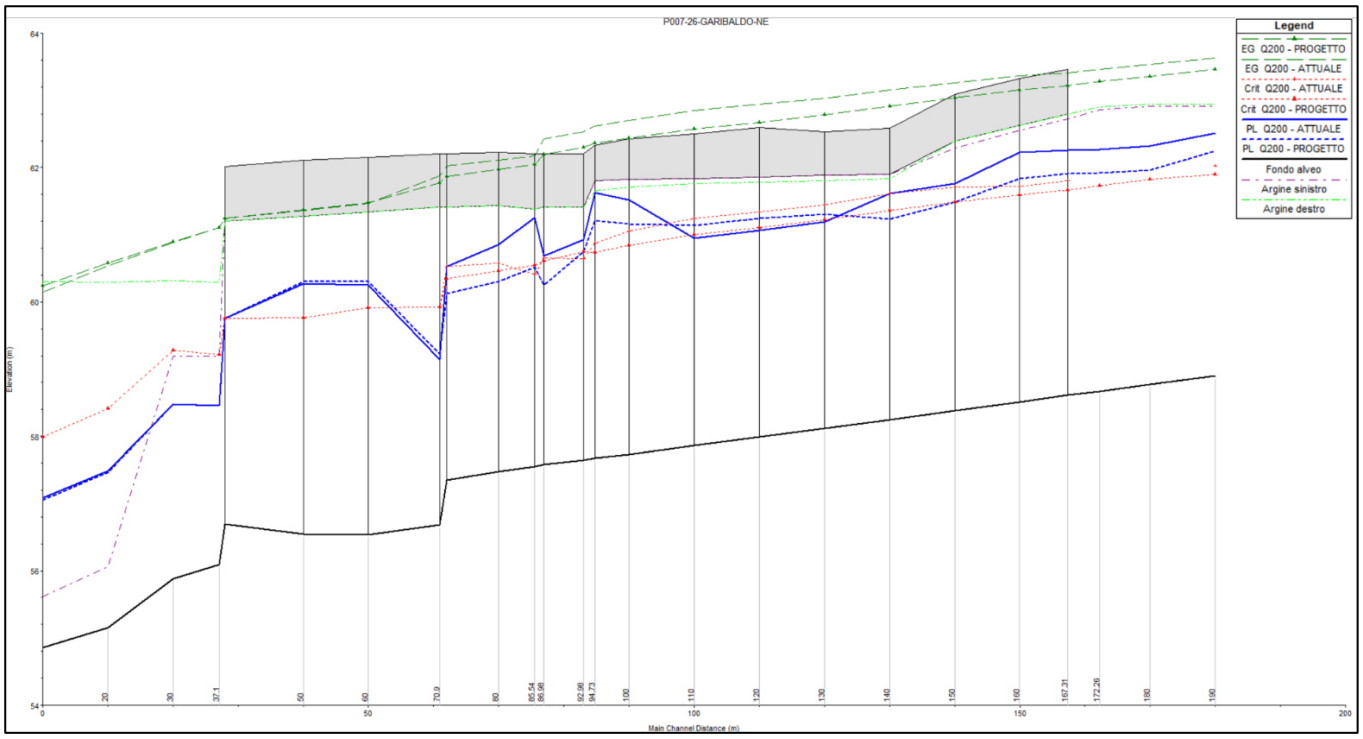


Figura 4-2: : Confronto profilo di stato attuale e di progetto Q_{200}

5 ANALISI CONFLUENZA CON T. GRAVEGLIA

In aggiunta alle analisi finora svolte, si è ritenuto opportuno effettuare un'ulteriore verifica, in conformità con quanto riportato nello studio idraulico redatto dalla scrivente nel 2019, considerando, in corrispondenza della sezione di valle, una condizione al contorno determinata dal rigurgito indotto dalla confluenza con il torrente Graveglia.

Tale verifica è stata effettuata allo scopo di valutare gli effetti degli interventi di progetto precedentemente descritti anche nell'ipotesi di una condizione al contorno di valle più cautelativa rispetto a quella adottata nelle verifiche idrauliche precedenti, nelle quali era stata assunta la profondità critica della corrente.

La verifica è stata pertanto condotta considerando separatamente gli eventi di piena con tempo di ritorno pari a 50 e 200 anni, determinando, per ciascuna configurazione, la corrispondente quota del pelo libero nella sezione di valle del torrente Chiesanuova.

Di seguito si riporta la descrizione della metodologia di calcolo e i risultati della risoluzione del nodo di confluenza tra i torrenti Graveglia e Chiesanuova, con le quote del pelo libero risultanti nella sezione di valle del torrente Chiesanuova.

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

In particolare, occorre individuare 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 della confluenza di un affluente nel corso d'acqua principale secondo un angolo d'incidenza α rispetto alla direttrice principale di deflusso.

Il volume di controllo è individuato da una sezione posta a monte della confluenza (individuata dal pedice m) ed una posta a valle (pedice v), a distanza L tra loro.

Nell'ipotesi di confluenza di un affluente nel corso d'acqua principale secondo un angolo di incidenza α rispetto alla direttrice principale di deflusso, proiettando l'equazione secondo l'asse del corso d'acqua principale, vale la relazione:

$$(my+mq)_v = (my+mq)_m + (W-F_f)_{m-v} + (my+mq)_a \cdot \cos\alpha + (W-F_f)_{a-v}$$

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.

I calcoli sono stati eseguiti per semplicità con riferimento alla configurazione che prevede la portata di piena nella sezione di valle del corso d'acqua principale (torrente Graveglia) e nell'affluente (torrente Chiesanuova).

La geometria delle sezioni è stata ricavata dal rilievo topografico di dettaglio effettuato nell'ambito del progetto. Il calcolo è stato effettuato per semplicità assumendo sezioni rettangolari equivalenti.

La quota del pelo libero nella sezione di valle del torrente Chiesanuova è stata determinata a partire dalle verifiche idrauliche del torrente Graveglia, contenute nel Piano di Bacino del fiume Entella. Tali analisi indicano, in corrispondenza della sezione GR-33 (posta a valle della confluenza con il Chiesanuova), portate con tempo di ritorno di 50 e 200 anni pari rispettivamente a 650 m^3/s e 802 m^3/s

Nella figura seguente è riportato lo schema planimetrico della confluenza adottato nel calcolo.

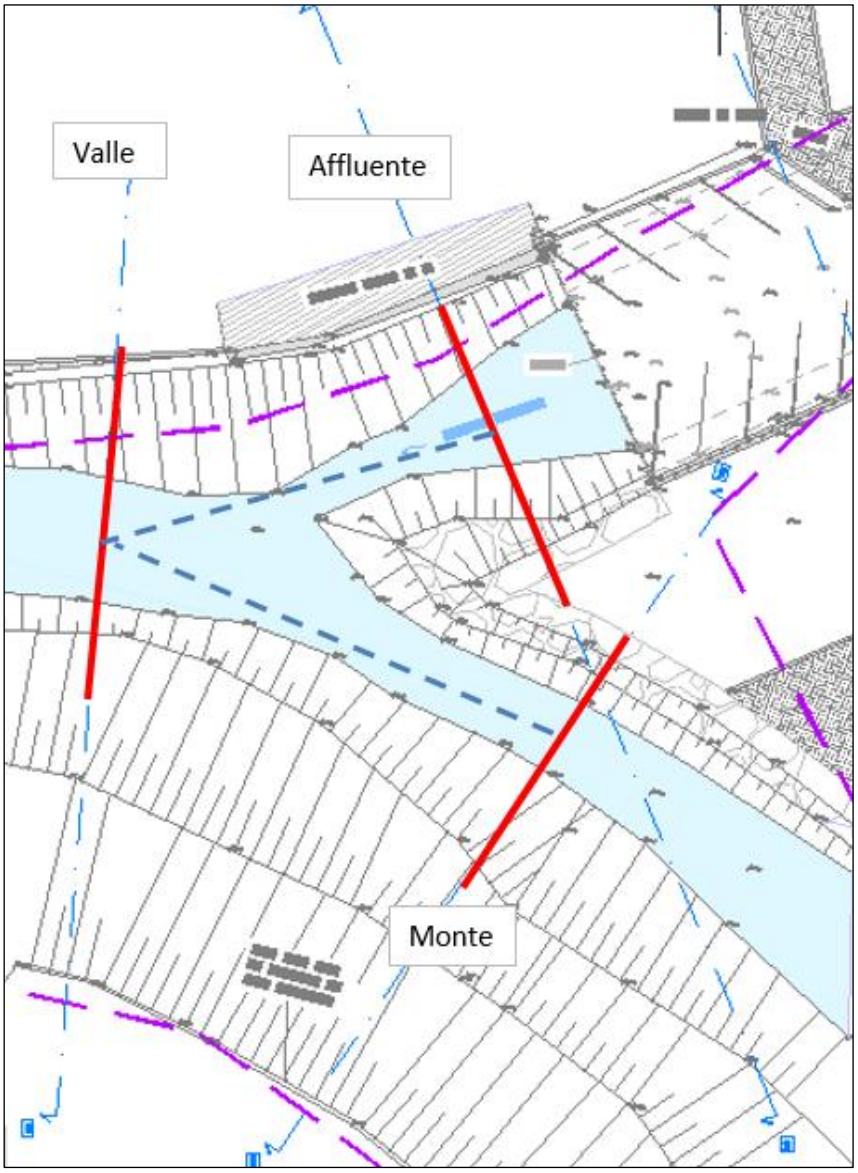


Figura 5-1: Schema confluenza T. Chiesanuova – T. Graveglia

A partire da questi valori, sono state calcolate le quote del pelo libero della sezione di valle imponendo il deflusso delle portate di progetto del torrente Chiesanuova (Q_{50}= 160 m^3/s e Q_{200}= 208 m^3/s) come sintetizzato nelle tabelle seguenti.

Calcolo nodo di confluenza								
Corso d'acqua principale:	Graveglia							
Affluente:	Garibaldo			Caratteristiche della corrente	lenta	Monte	Valle	Affluente
Portata di monte [mc/s]	Qm=	490		Altezza pelo libero [m]	Y=	4.540	3.86	4.33
Portata di valle [mc/s]	Qv=	650		Quota pelo libero [m s.l.m.]	Zpl=	60.87	59.92	60.87
Portata affluente [mc/s]	Qa=	160						
				Velocità media [m/s]	V=	3.74	5.02	2.52
Larghezza di monte [m]	Bm=	28.9		Carico specifico [m]	E=	5.25	5.14	4.65
Larghezza di valle [m]	Bv=	33.6		Carico totale [m s.l.m.]	H=	61.58	61.20	61.19
Larghezza affluente [m]	Ba=	14.7						
				Numero di Froude	Fr=	0.56	0.82	0.39
Quota fondo monte [m s.l.m.]	Zm=	56.33		Spinta specifica [Kg*mc/Kg]	S=	484.26	582.46	178.61
Quota fondo valle [m s.l.m.]	Zv=	56.06						
Quota fondo affluente [m s.l.m.]	Za=	56.54		Area [mq]	A=	131.07	129.58	63.52
				Perimetro bagnato [m]	P=	37.95	41.29	23.33
Lunghezza tronco [m]	L=	25		Raggio idraulico [m]	R=	3.45	3.14	2.72
Pendenza tronco	if=	0.0108						
Scabrezza [m ^-1/3 s]	n=	0.033		Pendenza motrice [m/m]	J=	0.00292	0.00596	0.00182
Angolo di incidenza [gradi]	alfa=	35						

Tabella I: risoluzione nodo di confluenza – Q50

Calcolo nodo di confluenza								
Corso d'acqua principale:	Graveglia							
Affluente:	Garibaldo			Caratteristiche della corrente:	lenta	Monte	Valle	Affluente
Portata di monte [mc/s]	Qm=	594		Altezza pelo libero [m]	Y=	5.230	4.29	5.02
Portata di valle [mc/s]	Qv=	802		Quota pelo libero [m s.l.m.]	Zpl=	61.56	60.35	61.56
Portata affluente [mc/s]	Qa=	208						
				Velocità media [m/s]	V=	3.93	5.57	2.82
Larghezza di monte [m]	Bm=	28.9		Carico specifico [m]	E=	6.02	5.87	5.43
Larghezza di valle [m]	Bv=	33.6		Carico totale [m s.l.m.]	H=	62.35	61.93	61.97
Larghezza affluente [m]	Ba=	14.7						
				Numero di Froude	Fr=	0.55	0.86	0.40
Quota fondo monte [m s.l.m.]	Zm=	56.33		Spinta specifica [Kg*mc/Kg]	S=	633.05	764.18	244.73
Quota fondo valle [m s.l.m.]	Zv=	56.06						
Quota fondo affluente [m s.l.m.]	Za=	56.54		Area [mq]	A=	150.99	144.02	73.64
				Perimetro bagnato [m]	P=	39.33	42.15	24.71
Lunghezza tronco [m]	L=	25		Raggio idraulico [m]	R=	3.84	3.42	2.98
Pendenza tronco	if=	0.0108						
Scabrezza [m ^-1/3 s]	n=	0.033		Pendenza motrice [m/m]	J=	0.00280	0.00656	0.00203
Angolo di incidenza [gradi]	alfa=	35						

Tabella II: risoluzione nodo di confluenza – Q200

I risultati della risoluzione del nodo di confluenza hanno fornito quote di rigurgito pari a 60,87 m s.l.m. per l'evento con tempo di ritorno di 50 anni e 61,56 m s.l.m. per l'evento con tempo di ritorno di 200 anni.

Tali valori sono stati quindi assunti quali condizioni al contorno di valle per la successiva simulazione dei profili idraulici, al fine di verificare l'effetto del rigurgito generato dalla confluenza sulle condizioni di deflusso del tratto oggetto di intervento.

Nella tabella seguente sono riportate le quote del pelo libero relative agli eventi di piena con tempo di ritorno pari a 50 e 200 anni, ottenute dalla risoluzione del nodo di

confluenza tra il torrente Graveglia e il torrente Garibaldo e utilizzate per la definizione delle condizioni al contorno di valle adottate nella presente verifica:

Q50 confluenza	
Quota pelo libero [m.s.l.m.]	60.87
Q200 confluenza	
Quota pelo libero [m.s.l.m.]	61.56

Tabella III

Per quanto riguarda la condizione al contorno di monte invece si è optato per impostare, come per le analisi mostrate in precedenza, la profondità di moto uniforme.

Nel seguito si riportano i risultati della modellazione considerando ambedue le condizioni di stato attuale e di progetto precedentemente analizzate.

Portata 50-ennale

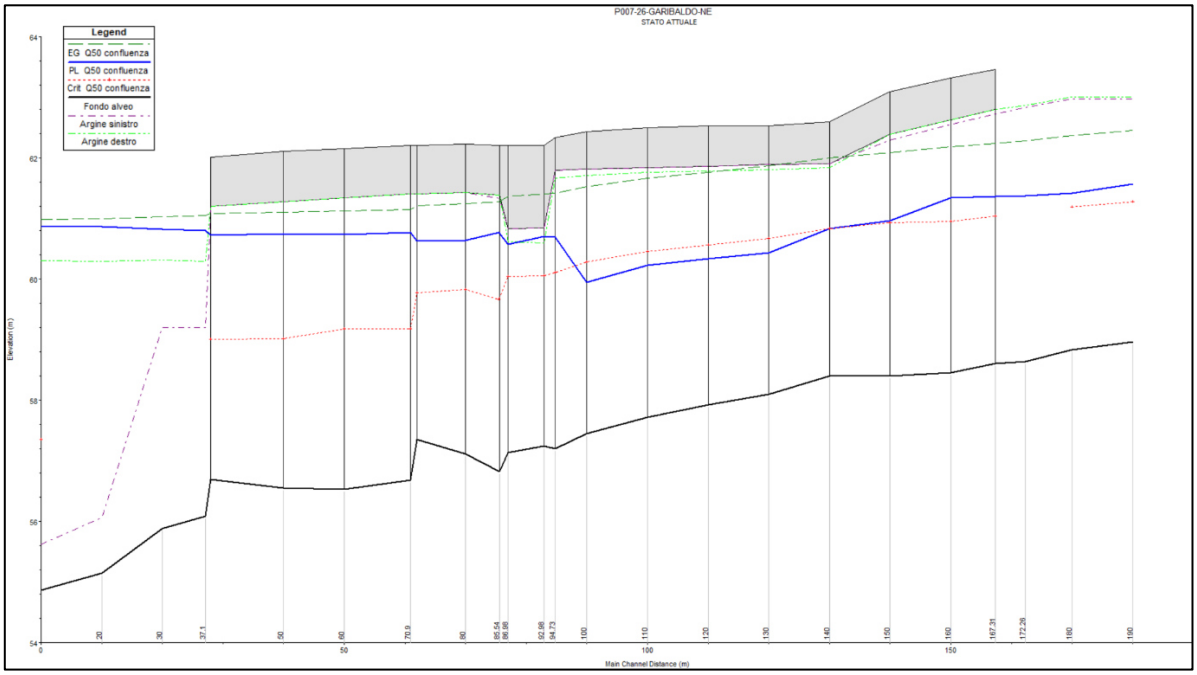


Figura 5-2: Condizione di stato attuale – Q_{50}

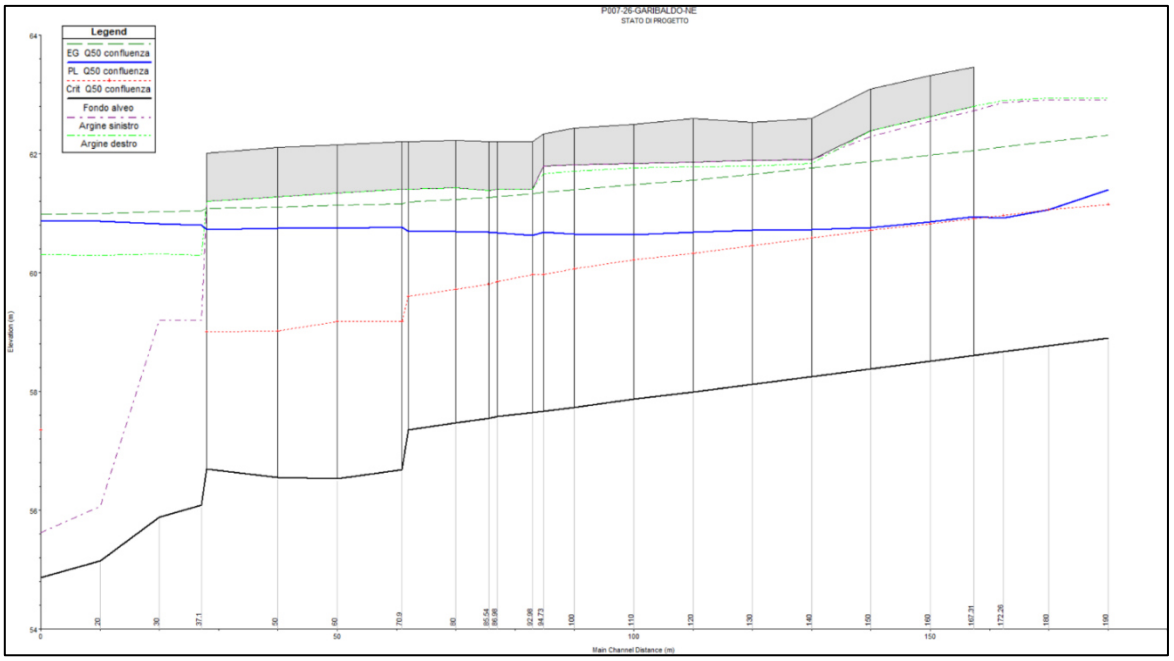


Figura 5-3: Condizione di progetto – Q_{50}

Dalle immagini esposte si evince che, per il deflusso della portata con tempo di ritorno pari a 50 anni, sia nello stato attuale sia nello stato di progetto, il pelo libero risulta sempre contenuto all'interno delle sezioni idrauliche. In entrambe le configurazioni vengono pertanto garantite adeguate condizioni di franco idraulico, con un valore minimo pari a 0.4 m nello stato di progetto, in corrispondenza della sezione 37.92, e pari a 0.3 m nello stato attuale, in corrispondenza della sezione 86.98, localizzata presso il ponte oggetto di intervento.

Inoltre, per la condizione di progetto si evince che la linea dei carichi risulta essere sempre contenuta all'interno delle sezioni idrauliche

Infine, il confronto tra lo stato attuale e lo stato di progetto evidenzia pertanto un miglioramento delle condizioni di deflusso della portata con tempo di ritorno pari a 50 anni, anche in relazione agli effetti del rigurgito indotto dalla confluenza del torrente Garibaldo con il torrente Graveglia.

Gli interventi previsti a progetto determinano infatti un generale miglioramento delle condizioni di deflusso all'interno del tratto considerato, garantendo il contenimento del pelo libero e della linea dei carichi all'interno delle sezioni idrauliche.

Portata 200-ennale

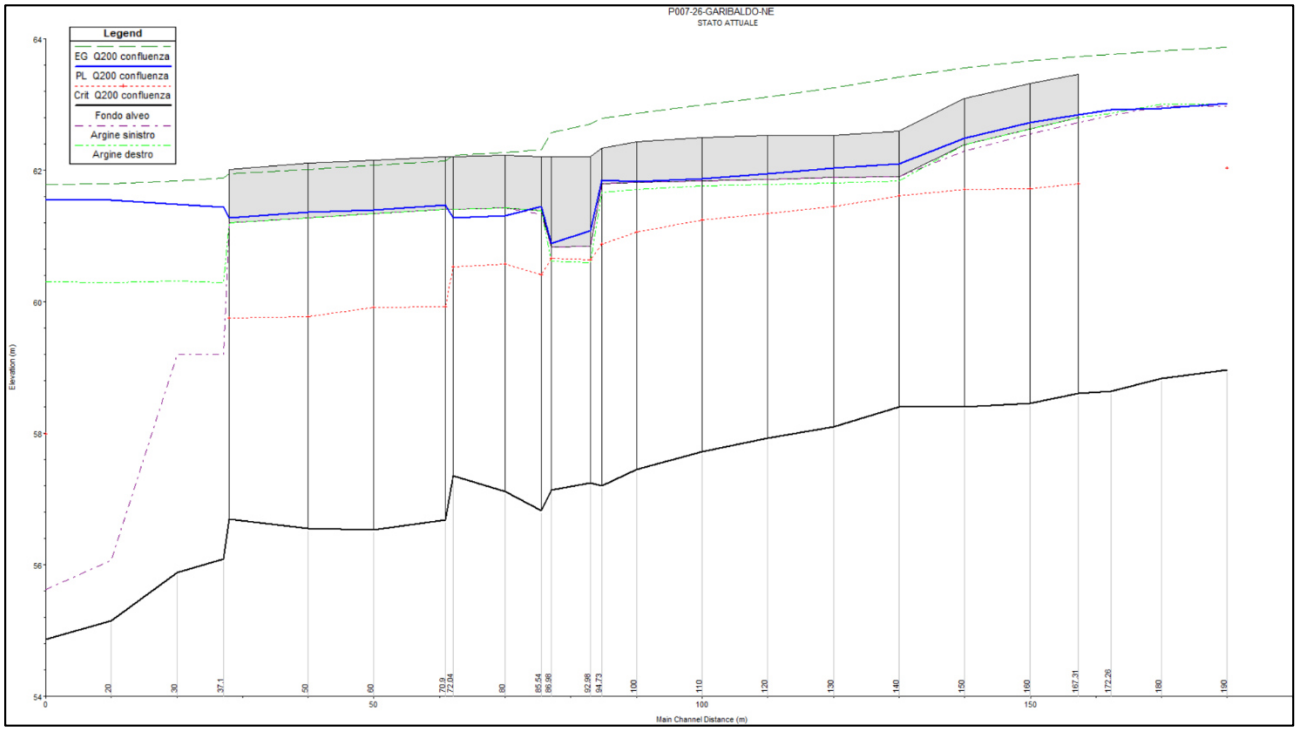


Figura 5-4: Condizione di stato attuale – Q_{200}

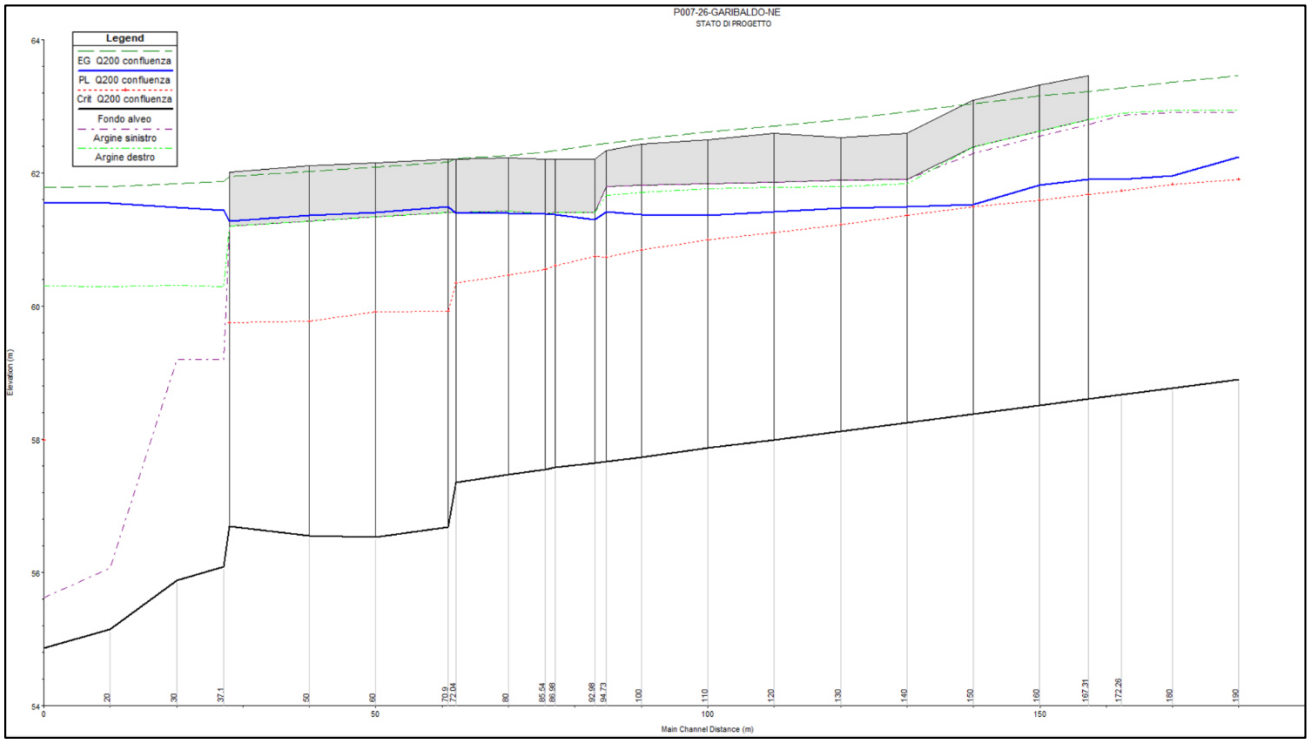


Figura 5-5: Condizione di progetto - – Q_{200}

A differenza del caso precedentemente analizzato, per la portata con tempo di ritorno 200-ennale le configurazioni relative allo stato attuale e allo stato di progetto evidenziano differenze sostanziali dal punto di vista del comportamento idraulico, con condizioni significativamente più favorevoli nella configurazione di progetto.

Nella configurazione di stato attuale, il pelo libero raggiunge e supera l'intradosso della tombinatura lungo l'intero tratto tombinato, determinando condizioni di moto in pressione e l'assenza di franco idraulico. Inoltre, la presenza del ponte sulla strada provinciale SP26 induce un marcato effetto di rigurgito che si propaga verso monte, interessando anche le sezioni appartenenti al tratto tombinato oggetto di precedenti interventi.

Nella configurazione di progetto si osserva invece un significativo miglioramento delle condizioni di deflusso. Il funzionamento in pressione della tombinatura risulta infatti limitato alle sezioni comprese tra le progressive 85.54 e 37.1, mentre gli effetti di rigurgito si attenuano progressivamente fino a esaurirsi in corrispondenza della sezione 100.

A differenza di quanto riscontrato nello stato attuale, nelle sezioni poste a monte della tombinatura non si verificano apprezzabili incrementi del livello idrico e il pelo libero permane contenuto all'interno delle sezioni idrauliche, senza determinare condizioni di criticità.

Per entrambe le configurazioni analizzate, la linea dei carichi risulta tuttavia superiore alle quote degli argini.

5.1 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE CONFLUENZA CON T. GRAVEGLIA

Alla luce dei risultati ottenuti dalle simulazioni precedentemente illustrate, si è verificato che la realizzazione degli interventi di progetto determina un generale miglioramento delle condizioni di deflusso, sia considerando il solo deflusso delle portate 50-ennali e 200-ennali del torrente Chiesanuova relative alla risoluzione del nodo di confluenza con il torrente Graveglia.

Le simulazioni hanno evidenziato che, per il deflusso della portata con tempo di ritorno pari a 50 anni, sebbene non si rilevino modifiche significative in termini di quota del pelo libero, gli interventi di progetto determinano una sensibile riduzione della linea dei carichi totali, che risulta contenuta all'interno degli argini del torrente Chiesanuova per l'intero tratto analizzato.

La simulazione relativa al deflusso della portata con tempo di ritorno pari a 200 anni ha invece evidenziato risultati significativamente differenti rispetto a quanto riscontrato per l'evento con tempo di ritorno di 50 anni.

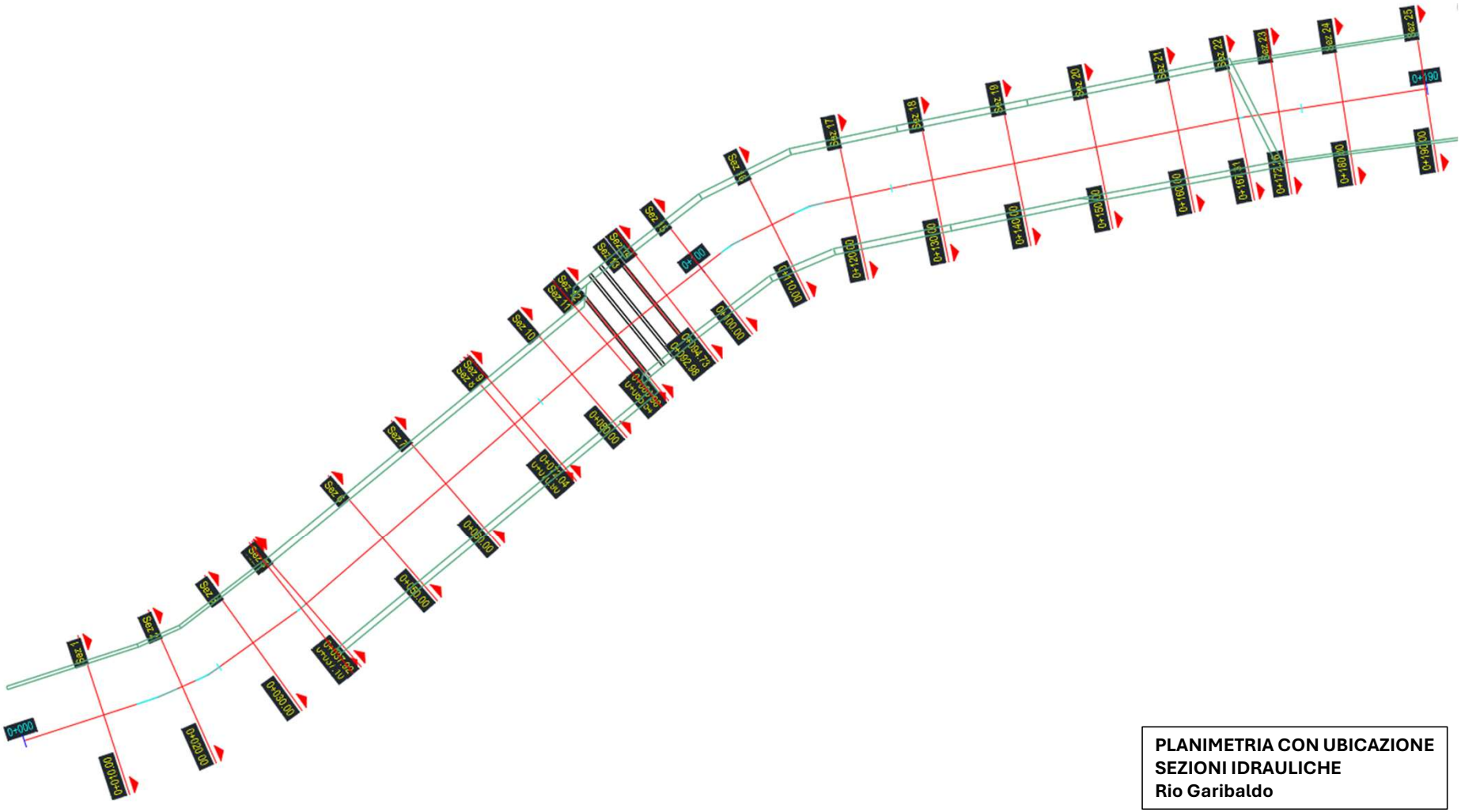
Difatti, come mostrato nella Figura 5-4 e nella Figura 5-5, a seguito della realizzazione degli interventi di progetto, in conformità con quanto evidenziato nella modellazione idraulica redatta dalla scrivente nel 2019, si osserva una significativa riduzione degli effetti indotti dalla confluenza con il torrente Graveglia. Tali effetti risultano infatti progressivamente attenuati fino a esaurirsi a una distanza di circa 100 m dal punto di confluenza tra i due corsi d'acqua.

Nella configurazione dello stato attuale, al contrario, l'intero tratto tombinato risulta caratterizzato da condizioni di deflusso in pressione e gli effetti del rigurgito indotto dalla confluenza non si esauriscono nemmeno in corrispondenza del tratto posto a monte della tombinatura, dove si rilevano inoltre condizioni di superamento delle opere di contenimento.

Nel complesso, i risultati ottenuti confermano pertanto l'efficacia degli interventi di progetto nel migliorare le condizioni di deflusso del torrente Chiesanuova, sia in termini di riduzione della linea dei carichi totali sia in relazione alla limitazione della propagazione verso monte degli effetti di rigurgito indotti dalla confluenza con il torrente Graveglia.

ALLEGATO A

ALLEGATO IDRAULICO



PLANIMETRIA CON UBICAZIONE SEZIONI IDRAULICHE
Rio Garibaldo

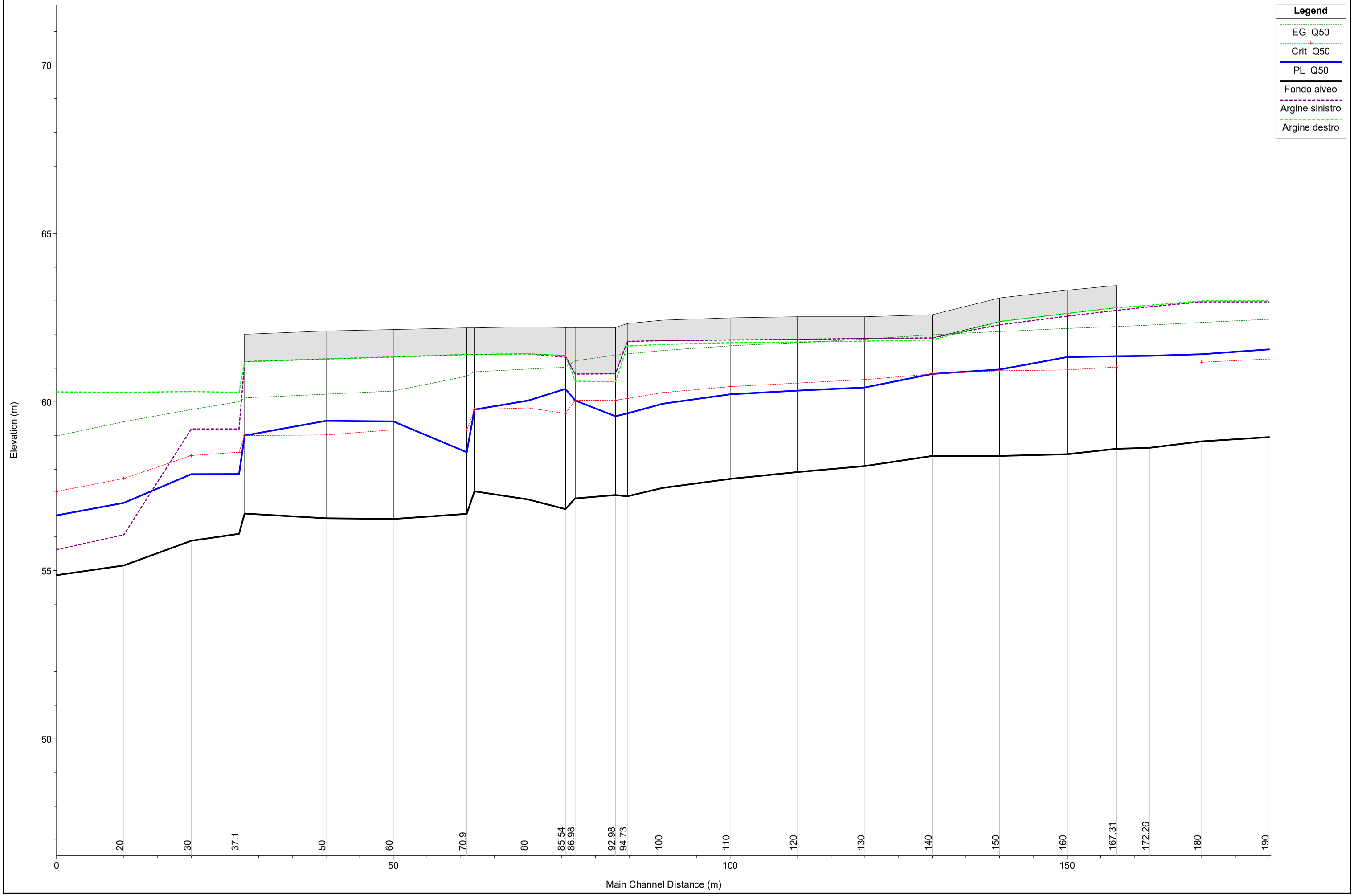
STATO ATTUALE

HEC-RAS Plan: ATTUALE River: GARIBALDO Reach: GARIBALDO Profile: Q50

Reach	River Sta	Profile	Cum Ch Len	Q Total	Min Ch El	LOB Elev	ROB Elev	W.S. Elev	Max Chl Dpth	Hydr Depth	E.G. Elev	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m)	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m2)	(m)	
GARIBALDO	190	Q50	180.00	135.00	58.96	62.97	63.00	61.56	2.60	2.53	62.46	4.18	32.27	12.74	0.84
GARIBALDO	180	Q50	170.00	135.00	58.83	62.97	63.00	61.42	2.59	2.52	62.36	4.31	31.36	12.45	0.87
GARIBALDO	172.26	Q50	162.26	135.00	58.64	62.83	62.87	61.37	2.73	2.57	62.28	4.23	31.90	12.41	0.84
GARIBALDO	167.31	Q50	157.31	135.00	58.61	62.72	62.80	61.36	2.75	2.61	62.24	4.16	32.49	12.46	0.82
GARIBALDO	160	Q50	150.00	135.00	58.45	62.55	62.63	61.34	2.89	2.69	62.19	4.08	33.08	12.29	0.79
GARIBALDO	150	Q50	140.00	135.00	58.40	62.29	62.39	60.96	2.56	2.37	62.09	4.70	28.72	12.13	0.98
GARIBALDO	140	Q50	130.00	135.00	58.40	61.90	61.84	60.83	2.43	2.32	62.00	4.78	28.26	12.17	1.00
GARIBALDO	130	Q50	120.00	135.00	58.10	61.89	61.81	60.43	2.33	2.10	61.87	5.30	25.46	12.14	1.17
GARIBALDO	120	Q50	110.00	135.00	57.92	61.86	61.78	60.34	2.42	2.11	61.76	5.28	25.55	12.08	1.16
GARIBALDO	110	Q50	100.00	135.00	57.72	61.84	61.76	60.23	2.51	2.12	61.67	5.31	25.41	11.99	1.17
GARIBALDO	100	Q50	90.00	135.00	57.45	61.82	61.71	59.95	2.50	2.01	61.53	5.56	24.28	12.11	1.25
GARIBALDO	94.73	Q50	84.73	135.00	57.20	61.80	61.66	59.66	2.46	1.85	61.43	5.88	22.94	12.38	1.38
GARIBALDO	92.98	Q50	82.98	135.00	57.24	60.84	60.60	59.58	2.34	1.80	61.39	5.97	22.62	12.57	1.42
GARIBALDO	86.98	Q50	76.98	135.00	57.14	60.83	60.62	60.05	2.91	2.36	61.22	4.81	28.09	11.91	1.00
GARIBALDO	85.54	Q50	75.54	135.00	56.82	61.33	61.38	60.39	3.57	2.98	61.03	3.54	38.09	12.79	0.66
GARIBALDO	80	Q50	70.00	135.00	57.11	61.43	61.43	60.04	2.93	2.45	60.98	4.28	31.57	12.86	0.87
GARIBALDO	72.04	Q50	62.04	135.00	57.35	61.41	61.41	59.78	2.43	2.25	60.90	4.69	28.80	12.83	1.00
GARIBALDO	70.9	Q50	60.90	135.00	56.68	61.41	61.41	58.51	1.83	1.58	60.77	6.65	20.29	12.83	1.69
GARIBALDO	60	Q50	50.00	135.00	56.53	61.34	61.34	59.42	2.89	2.49	60.33	4.21	32.03	12.88	0.85
GARIBALDO	50	Q50	40.00	135.00	56.55	61.28	61.28	59.44	2.89	2.66	60.23	3.94	34.28	12.91	0.77
GARIBALDO	37.92	Q50	27.92	135.00	56.69	61.20	61.20	59.00	2.31	2.23	60.12	4.68	28.84	12.94	1.00
GARIBALDO	37.1	Q50	27.10	135.00	56.09	59.20	60.29	57.86	1.77	1.59	60.01	6.49	20.81	13.12	1.65
GARIBALDO	30	Q50	20.00	135.00	55.88	59.20	60.31	57.86	1.98	1.71	59.78	6.14	22.00	12.88	1.50
GARIBALDO	20	Q50	10.00	135.00	55.15	56.06	60.29	57.01	1.86	1.31	59.41	6.87	19.65	14.99	1.92
GARIBALDO	10	Q50		135.00	54.86	55.62	60.30	56.64	1.78	1.31	58.99	6.80	19.86	15.14	1.89

P007-26-GARIBALDO-NE

STATO ATTUALE



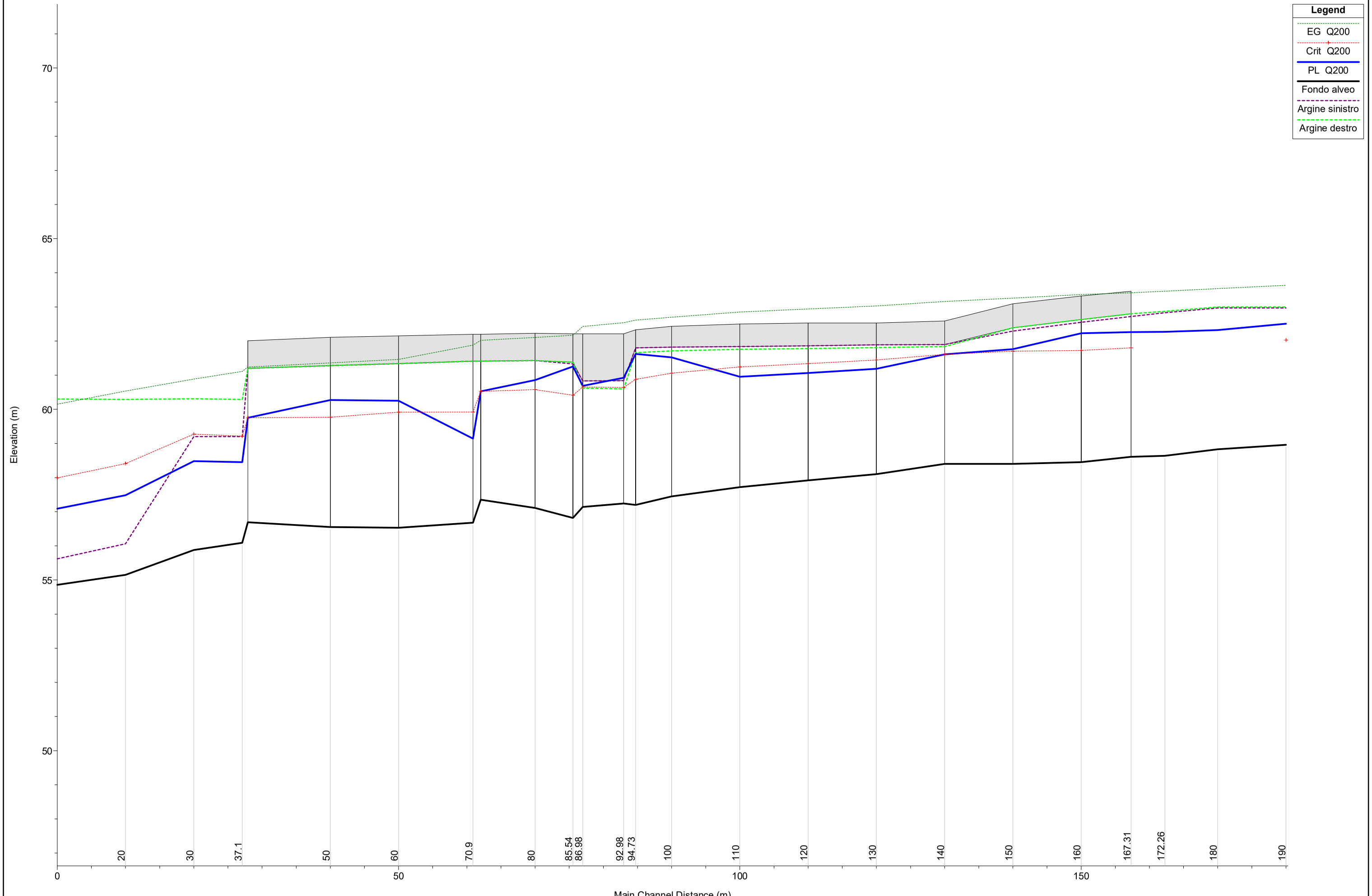
1 cm Horiz. = 5 m 1 cm Vert. = 1 m

HEC-RAS Plan: ATTUALE River: GARIBALDO Reach: GARIBALDO Profile: Q200

Reach	River Sta	Profile	Cum Ch Len	Q Total	Min Ch El	LOB Elev	ROB Elev	W.S. Elev	Max Chl Dpth	Hydr Depth	E.G. Elev	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m)	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m2)	(m)	
GARIBALDO	190	Q200	180.00	208.00	58.96	62.97	63.00	62.51	3.55	3.48	63.63	4.69	44.31	12.75	0.80
GARIBALDO	180	Q200	170.00	208.00	58.83	62.97	63.00	62.32	3.49	3.42	63.54	4.89	42.58	12.46	0.84
GARIBALDO	172.26	Q200	162.26	208.00	58.64	62.83	62.87	62.27	3.63	3.47	63.46	4.83	43.10	12.43	0.83
GARIBALDO	167.31	Q200	157.31	208.00	58.61	62.72	62.80	62.26	3.65	3.50	63.41	4.75	43.76	12.48	0.81
GARIBALDO	160	Q200	150.00	208.00	58.45	62.55	62.63	62.23	3.78	3.58	63.36	4.72	44.03	12.30	0.80
GARIBALDO	150	Q200	140.00	208.00	58.40	62.29	62.39	61.76	3.36	3.16	63.26	5.42	38.39	12.14	0.97
GARIBALDO	140	Q200	130.00	208.00	58.40	61.90	61.84	61.61	3.21	3.09	63.16	5.52	37.71	12.19	1.00
GARIBALDO	130	Q200	120.00	208.00	58.10	61.89	61.81	61.19	3.09	2.85	63.03	6.01	34.59	12.15	1.14
GARIBALDO	120	Q200	110.00	208.00	57.92	61.86	61.78	61.06	3.14	2.84	62.94	6.07	34.29	12.09	1.15
GARIBALDO	110	Q200	100.00	208.00	57.72	61.84	61.76	60.95	3.23	2.84	62.85	6.10	34.10	12.00	1.16
GARIBALDO	100	Q200	90.00	208.00	57.45	61.82	61.71	61.52	4.07	3.57	62.70	4.80	43.31	12.12	0.81
GARIBALDO	94.73	Q200	84.73	208.00	57.20	61.80	61.66	61.62	4.42	3.81	62.61	4.40	47.23	12.39	0.72
GARIBALDO	92.98	Q200	82.98	208.00	57.24	60.84	60.60	60.92	3.68		62.54	5.62	36.99		0.94
GARIBALDO	86.98	Q200	76.98	208.00	57.14	60.83	60.62	60.69	3.55	4.34	62.43	5.85	35.58	8.20	0.99
GARIBALDO	85.54	Q200	75.54	208.00	56.82	61.33	61.38	61.26	4.44	3.84	62.17	4.23	49.15	12.79	0.69
GARIBALDO	80	Q200	70.00	208.00	57.11	61.43	61.43	60.86	3.75	3.26	62.11	4.95	42.05	12.88	0.87
GARIBALDO	72.04	Q200	62.04	208.00	57.35	61.41	61.41	60.53	3.18	2.99	62.02	5.41	38.42	12.83	1.00
GARIBALDO	70.9	Q200	60.90	208.00	56.68	61.41	61.41	59.14	2.46	2.21	61.88	7.33	28.36	12.83	1.57
GARIBALDO	60	Q200	50.00	208.00	56.53	61.34	61.34	60.25	3.72	3.32	61.46	4.87	42.72	12.88	0.85
GARIBALDO	50	Q200	40.00	208.00	56.55	61.28	61.28	60.27	3.72	3.48	61.36	4.62	45.00	12.92	0.79
GARIBALDO	37.92	Q200	27.92	208.00	56.69	61.20	61.20	59.75	3.06	2.98	61.24	5.40	38.53	12.94	1.00
GARIBALDO	37.1	Q200	27.10	208.00	56.09	59.20	60.29	58.45	2.36	2.07	61.11	7.22	28.81	13.92	1.60
GARIBALDO	30	Q200	20.00	208.00	55.88	59.20	60.31	58.48	2.60	2.21	60.89	6.87	30.27	13.68	1.48
GARIBALDO	20	Q200	10.00	208.00	55.15	56.06	60.29	57.48	2.33	1.74	60.53	7.73	26.90	15.49	1.87
GARIBALDO	10	Q200		208.00	54.86	55.62	60.30	57.09	2.23	1.70	60.15	7.75	26.84	15.83	1.90

P007-26-GARIBALDO-NE

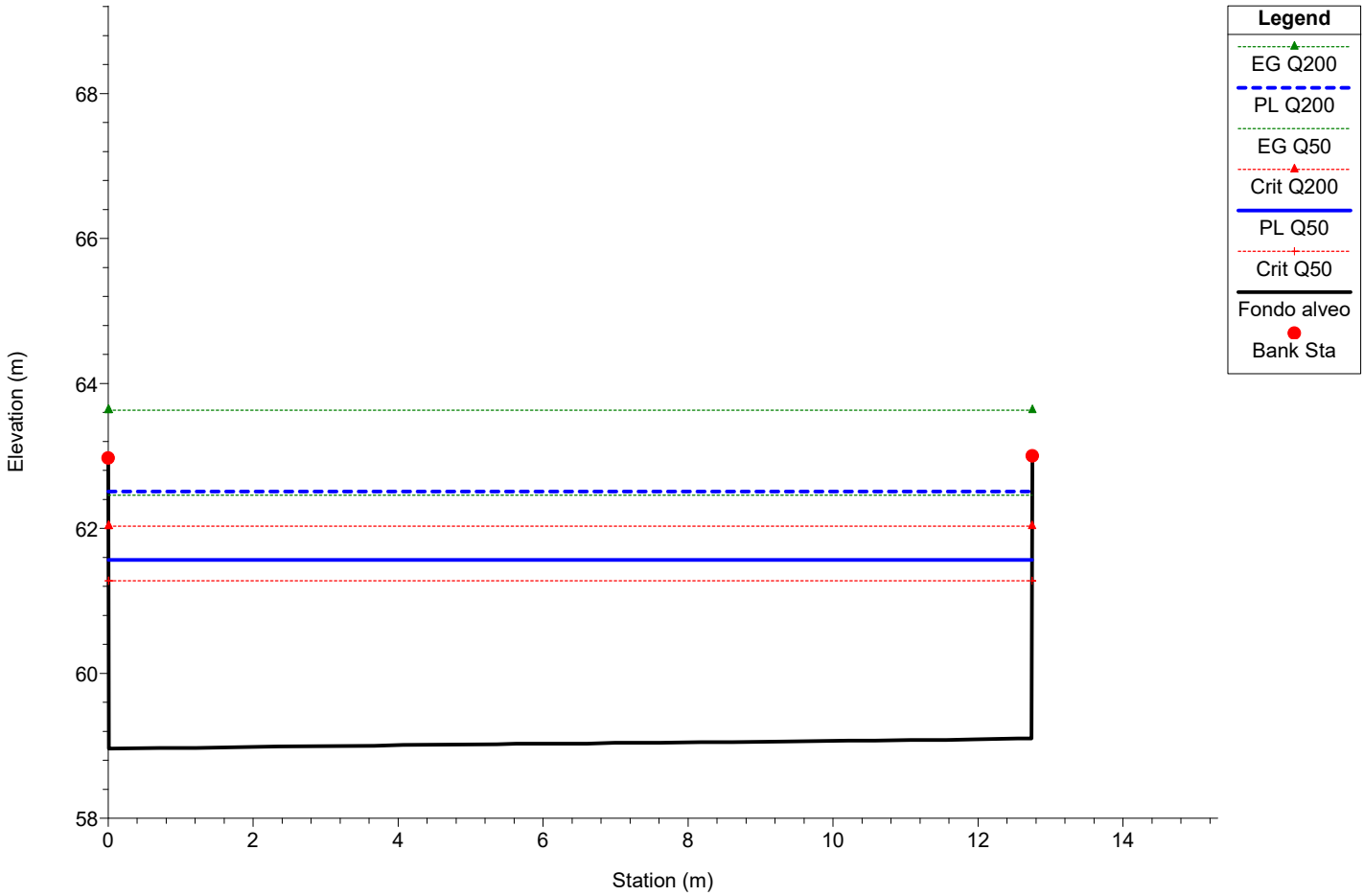
STATO ATTUALE



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

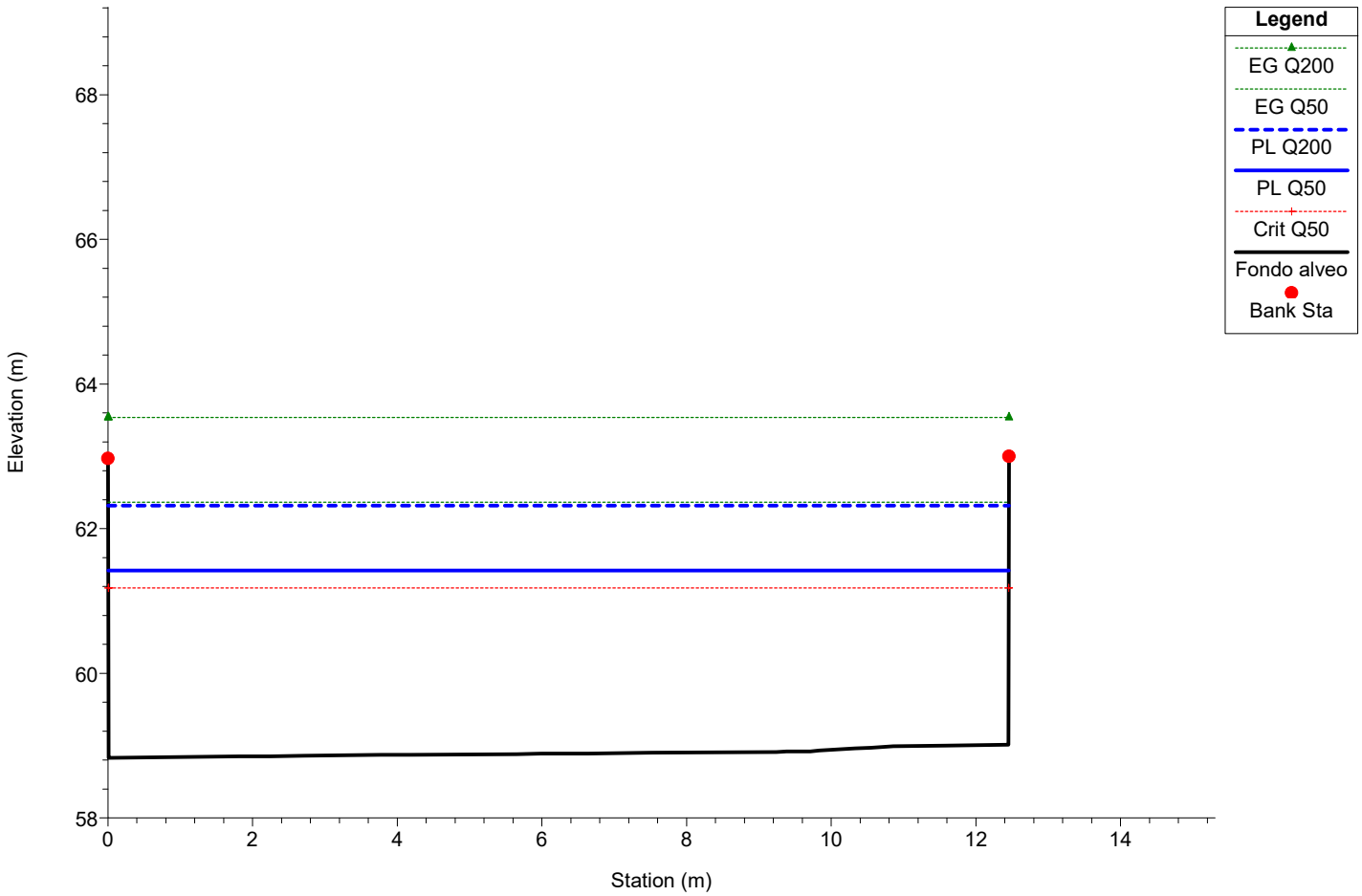
P007-26-GARIBALDO-NE

RS = 190 STATO ATTUALE



P007-26-GARIBALDO-NE

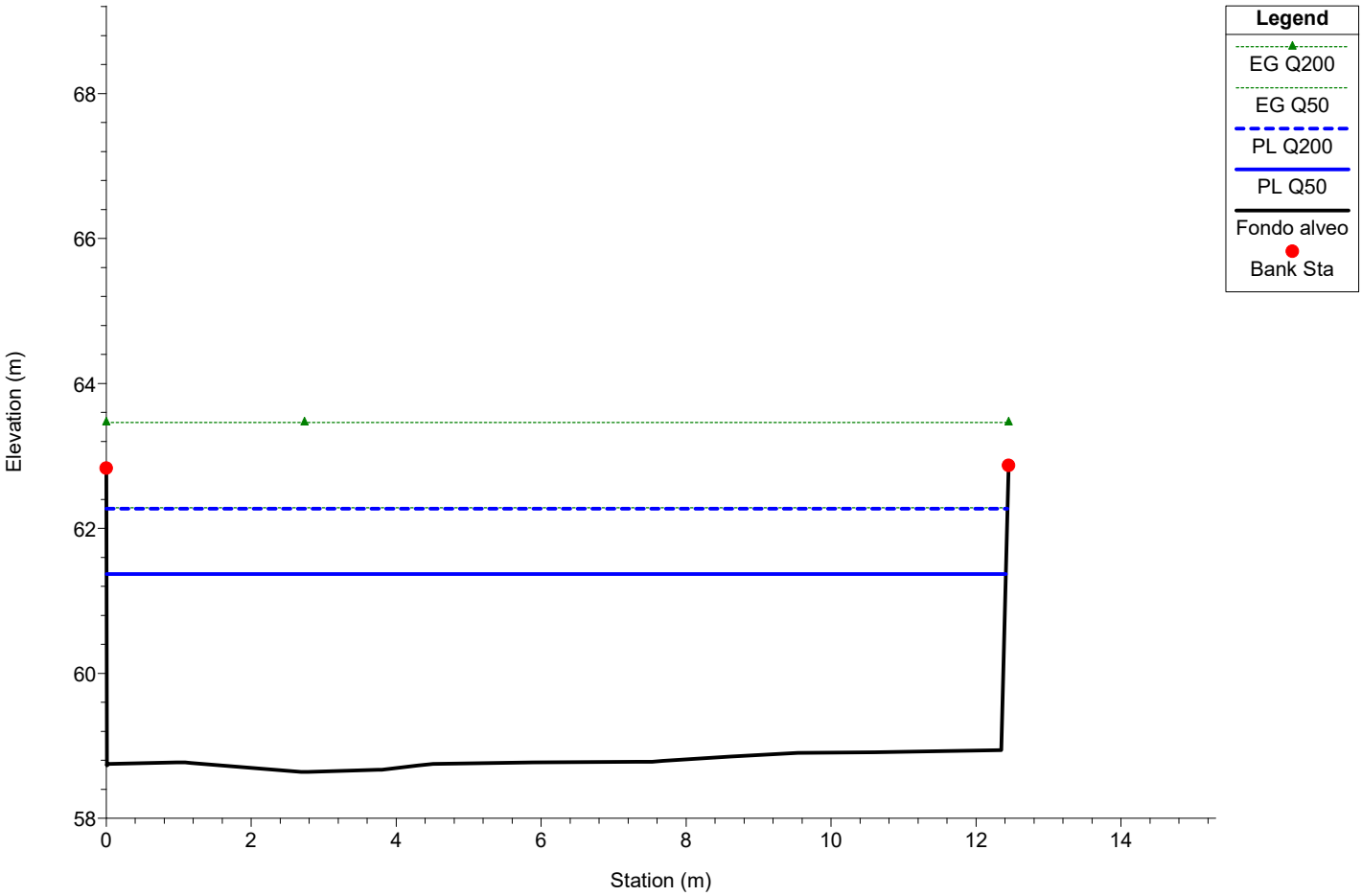
RS = 180 STATO ATTUALE



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

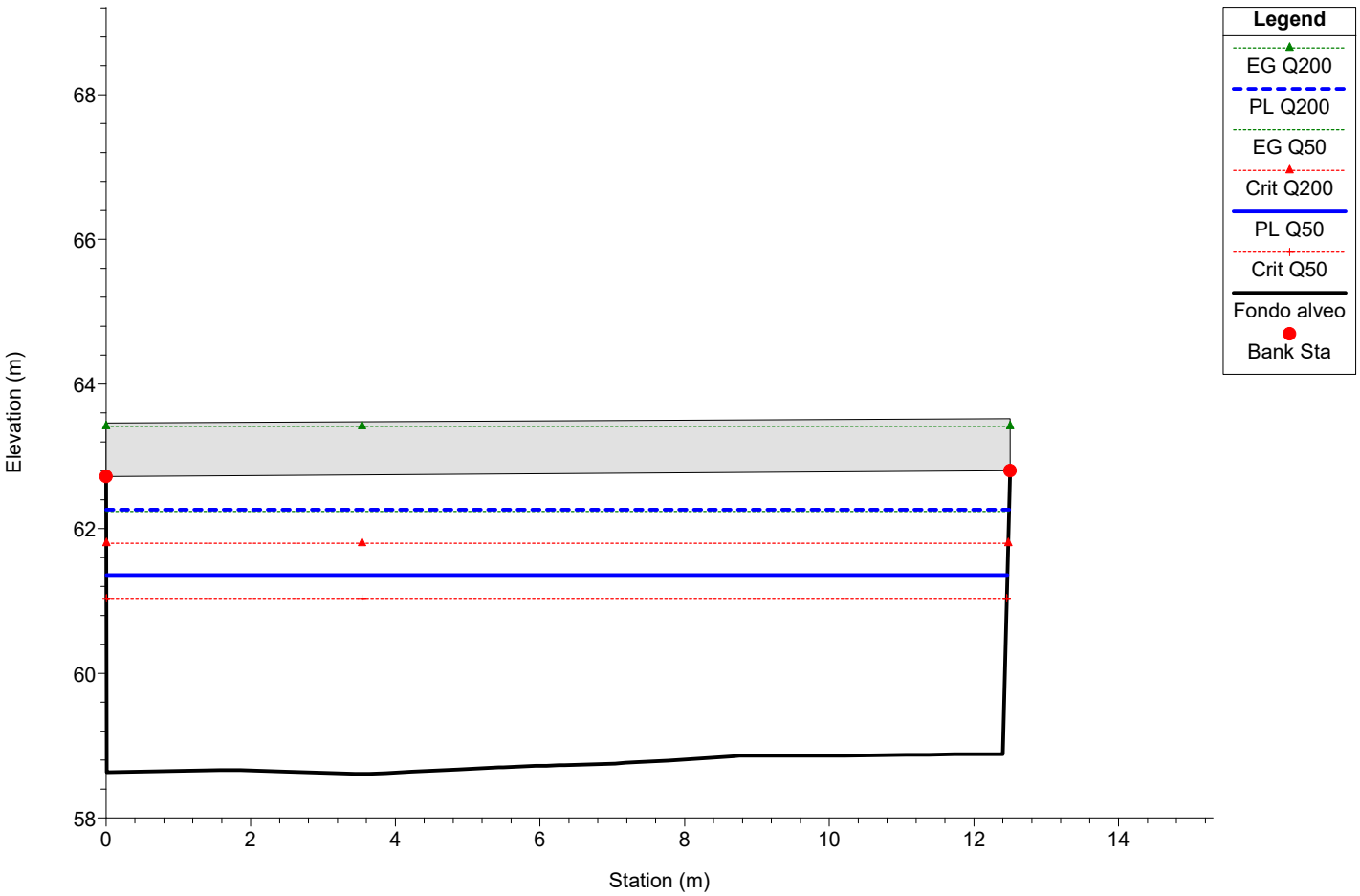
P007-26-GARIBALDO-NE

RS = 172.26 STATO ATTUALE



P007-26-GARIBALDO-NE

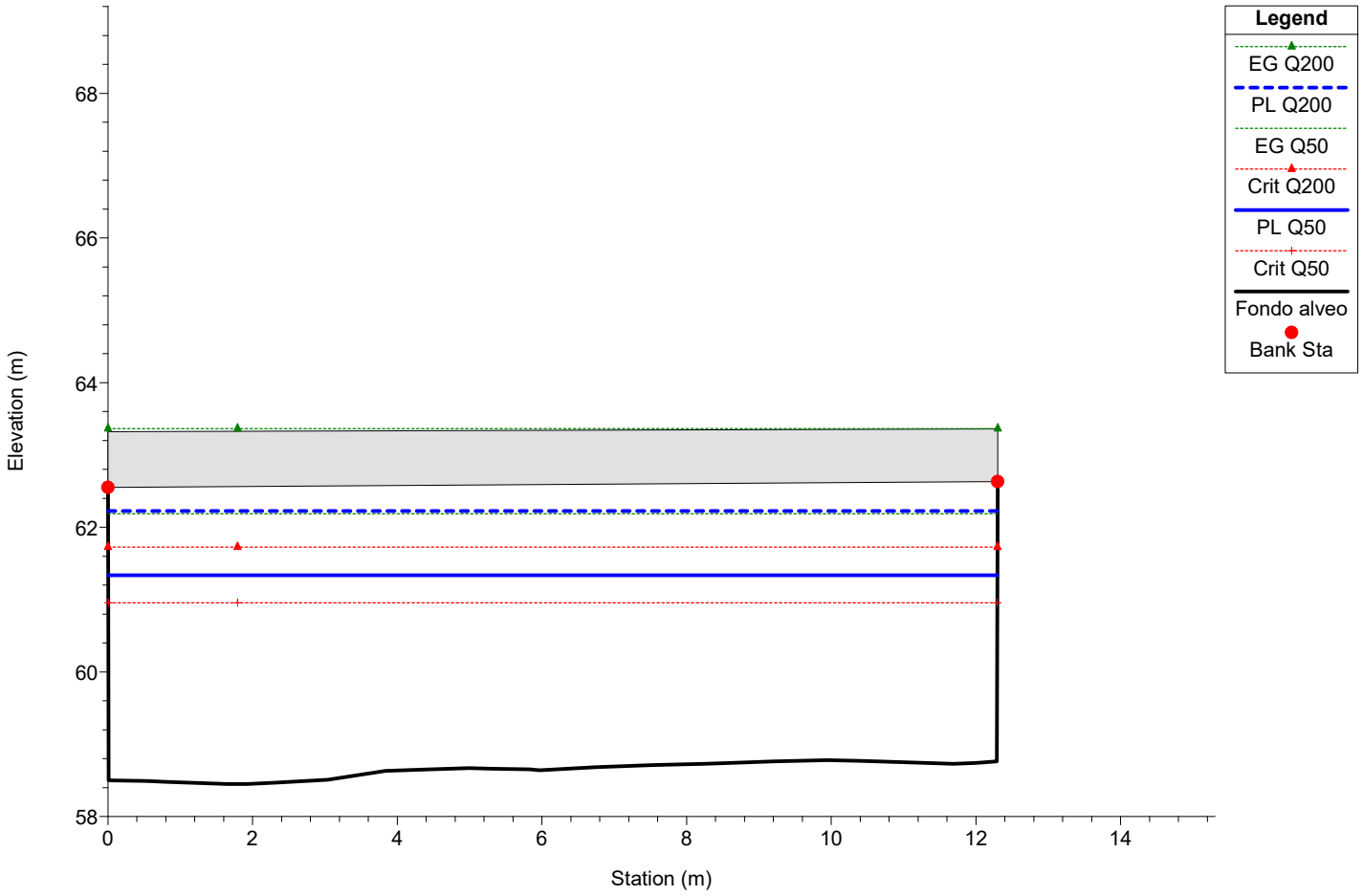
RS = 167.31 STATO ATTUALE



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

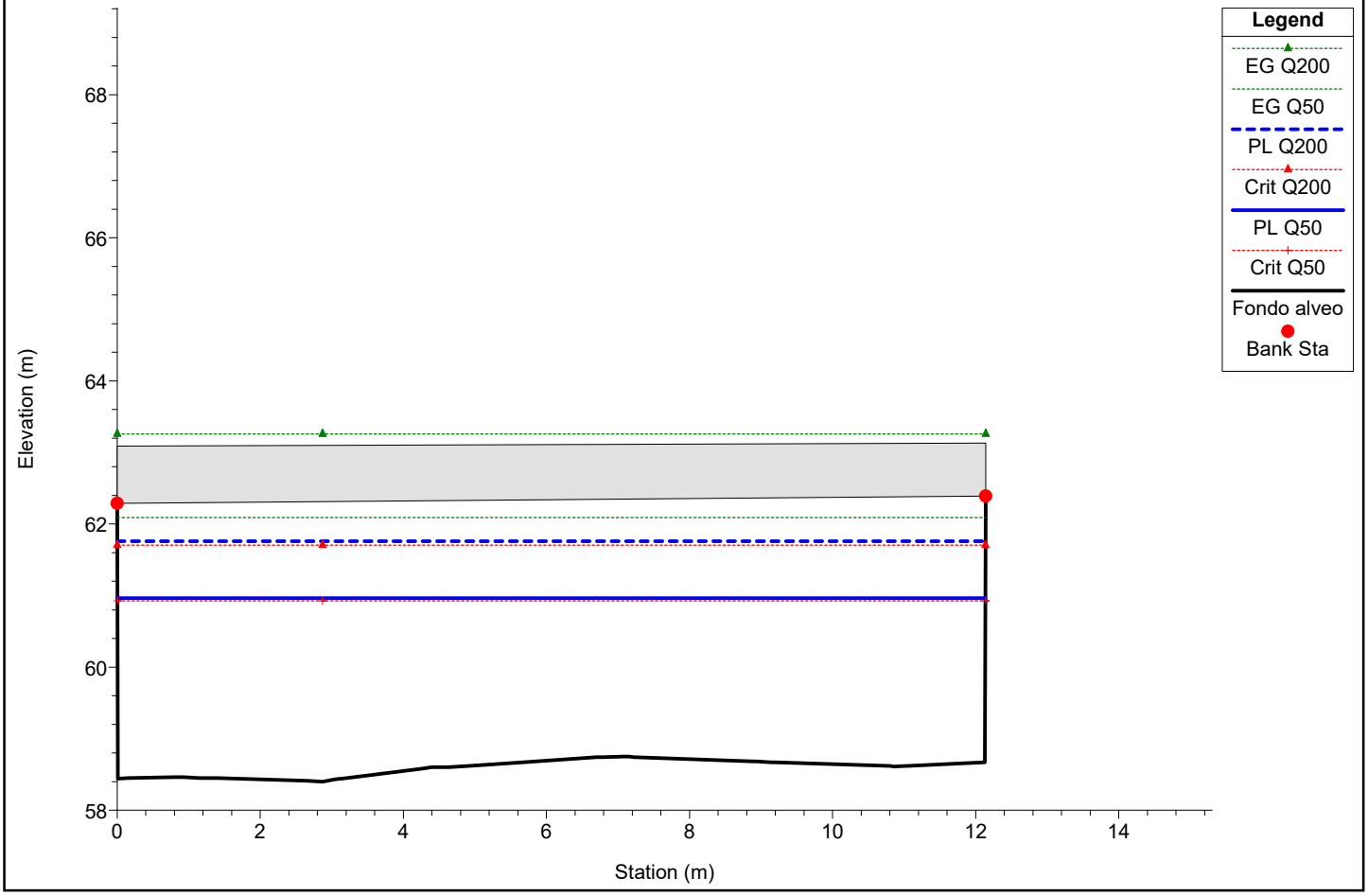
P007-26-GARIBALDO-NE

RS = 160 STATO ATTUALE



P007-26-GARIBALDO-NE

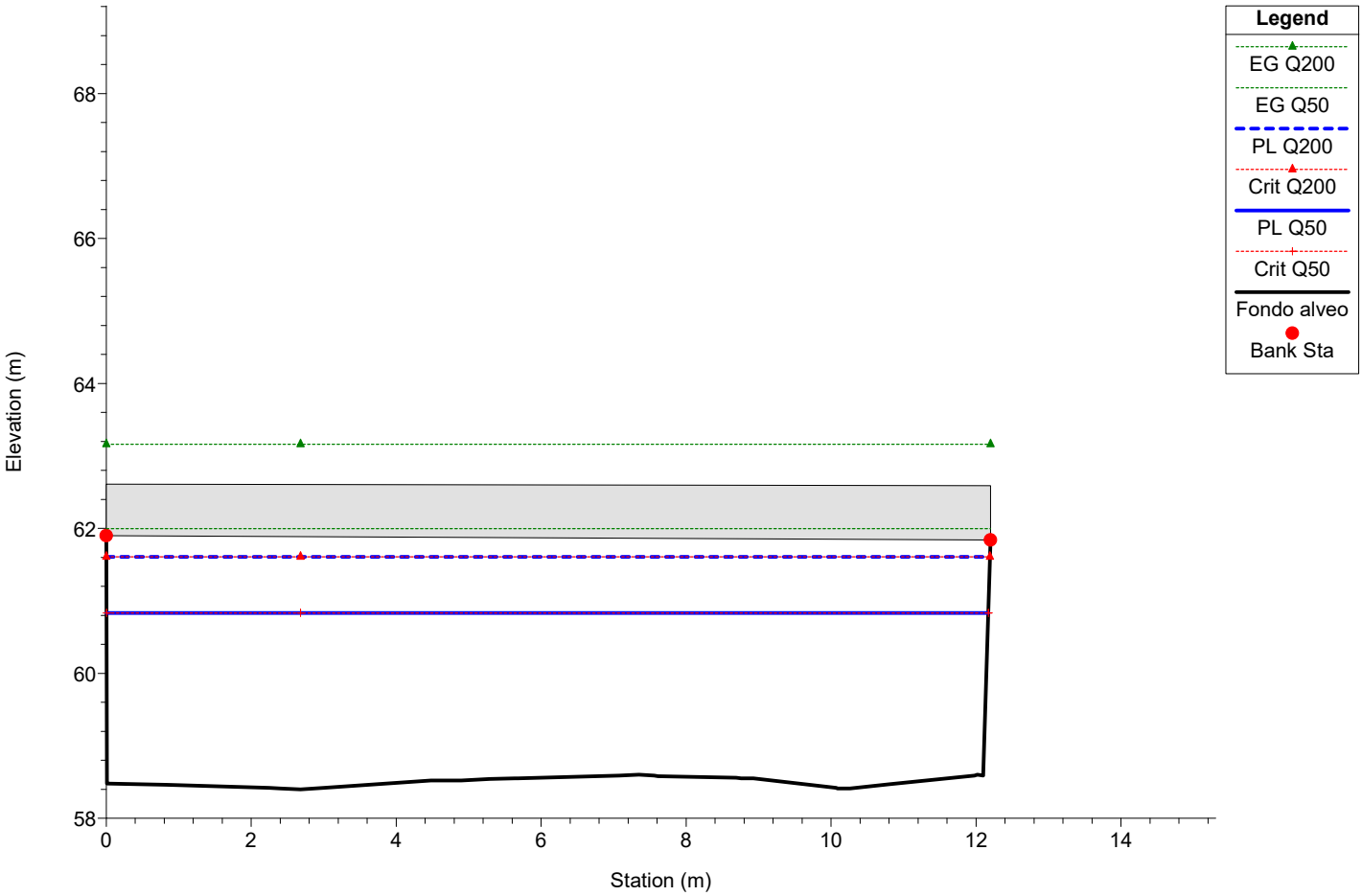
RS = 150 STATO ATTUALE



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

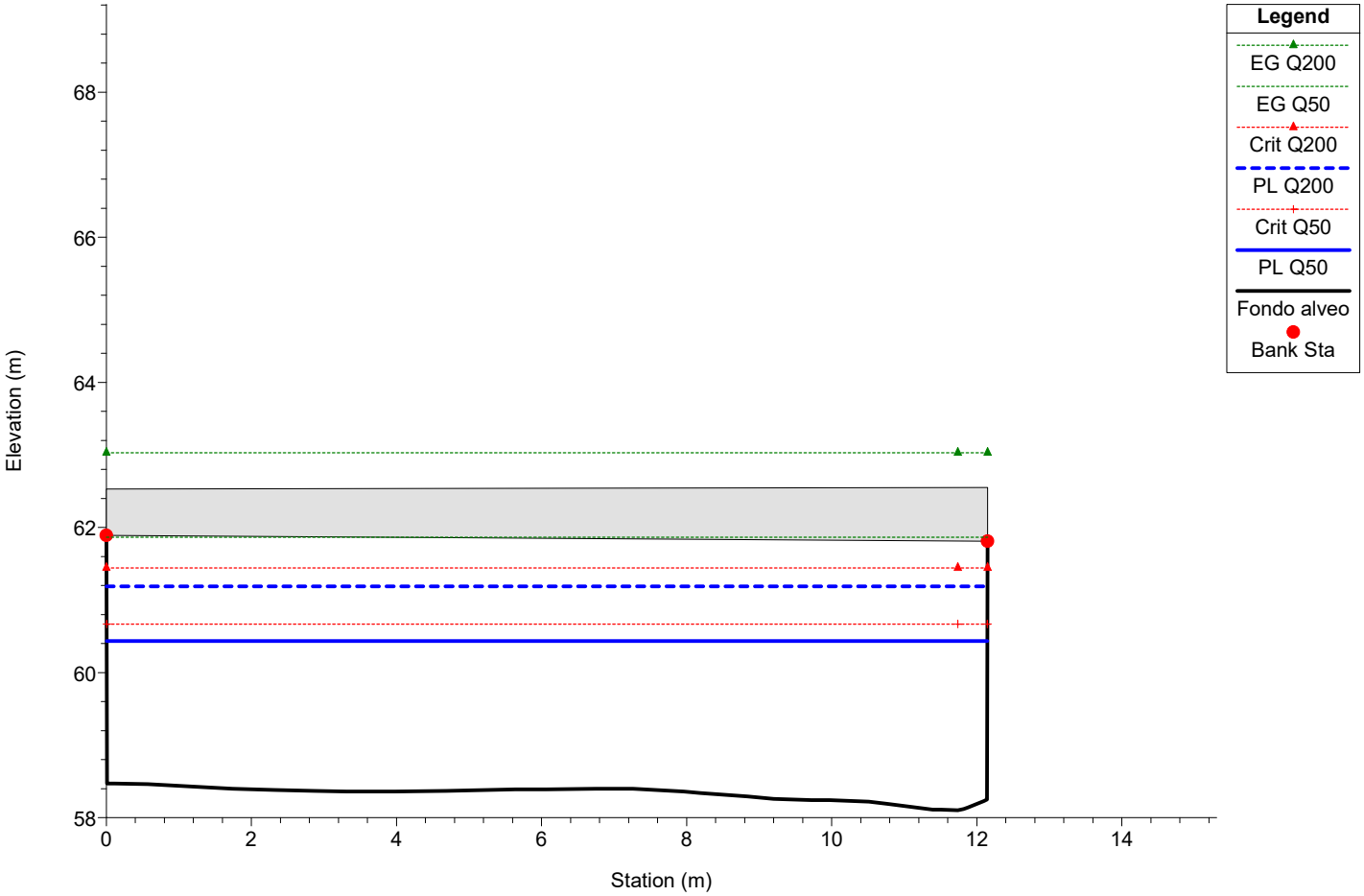
P007-26-GARIBALDO-NE

RS = 140 STATO ATTUALE



P007-26-GARIBALDO-NE

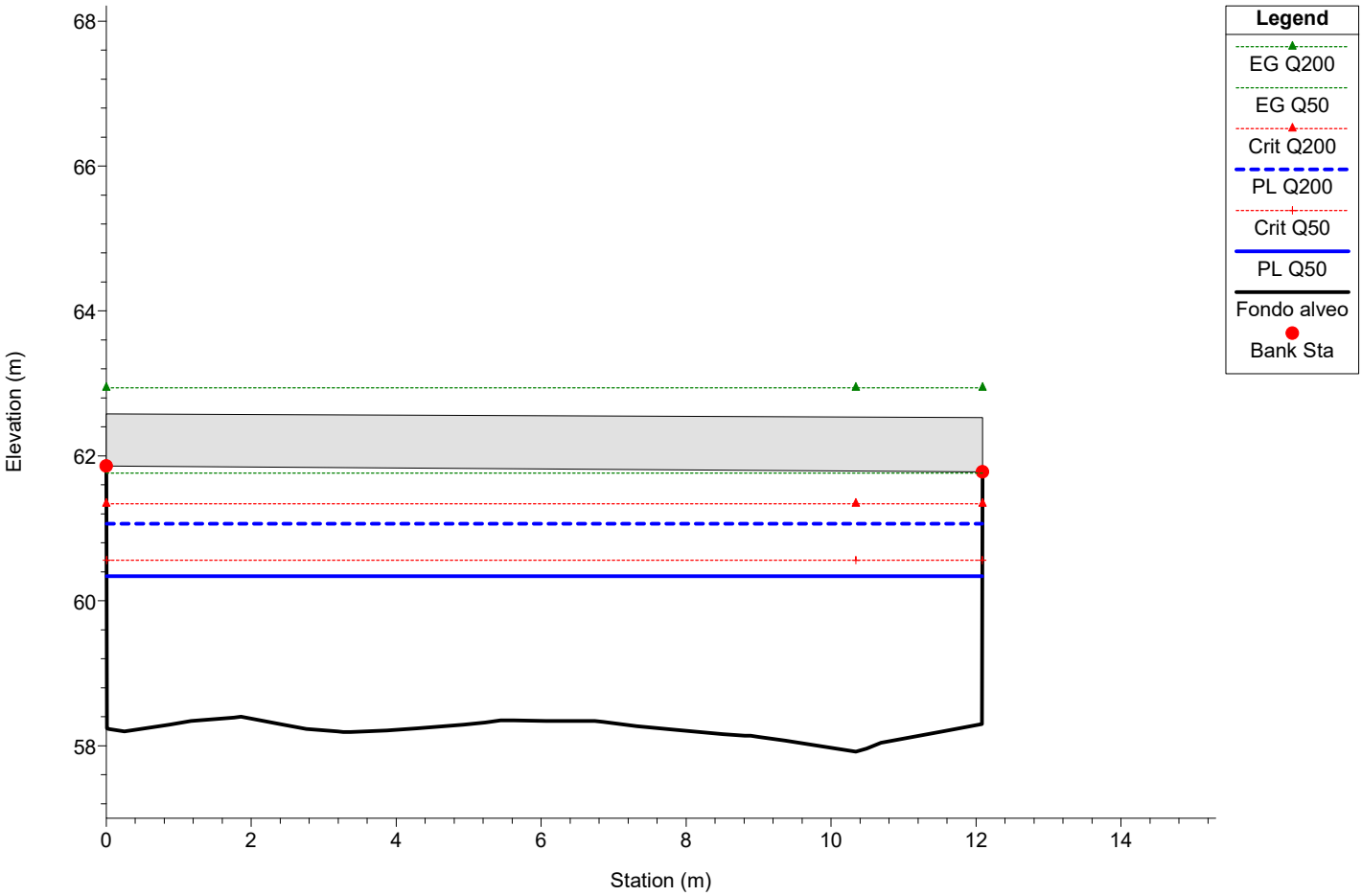
RS = 130 STATO ATTUALE



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

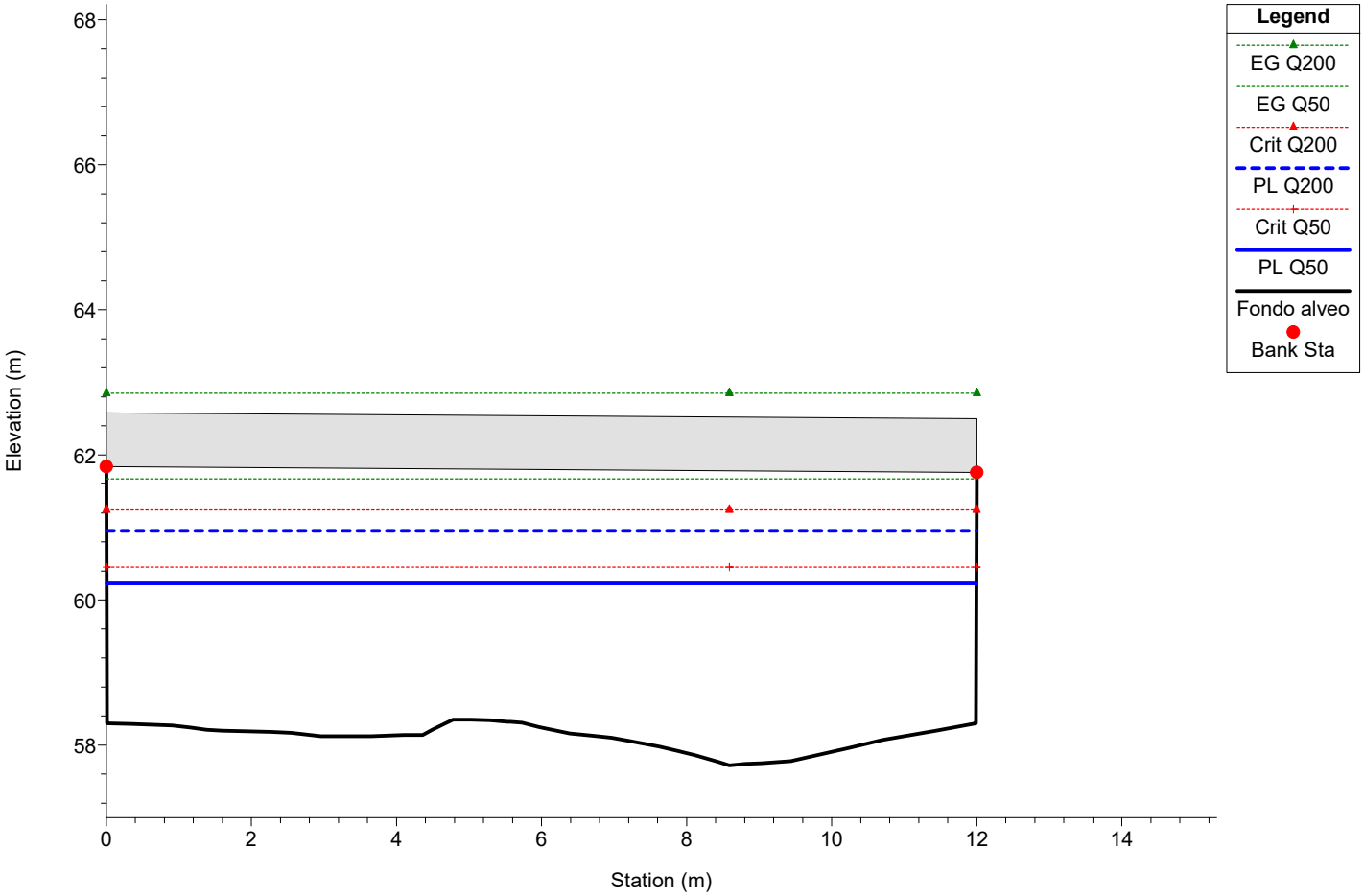
P007-26-GARIBALDO-NE

RS = 120 STATO ATTUALE



P007-26-GARIBALDO-NE

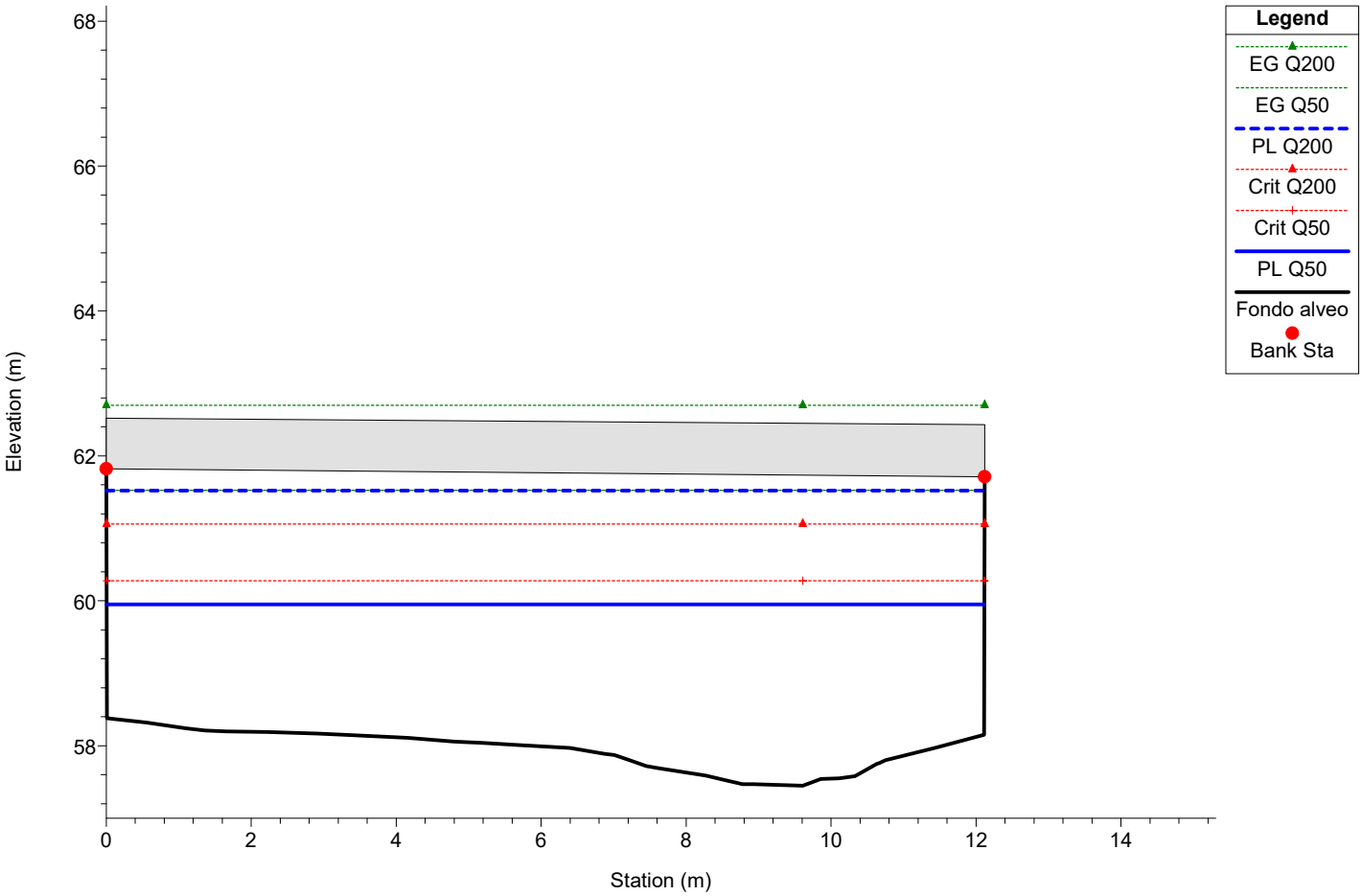
RS = 110 STATO ATTUALE



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

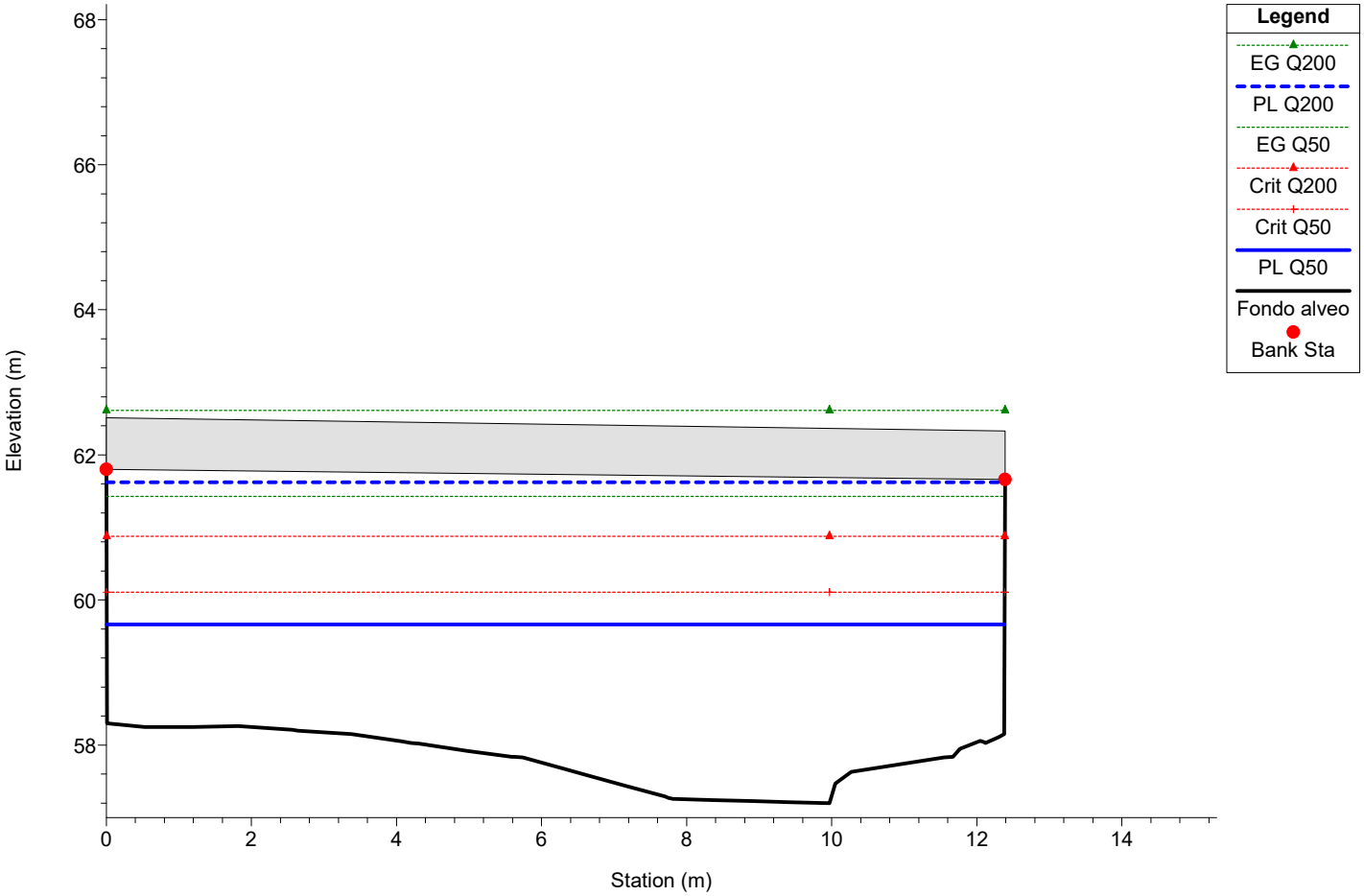
P007-26-GARIBALDO-NE

RS = 100 STATO ATTUALE



P007-26-GARIBALDO-NE

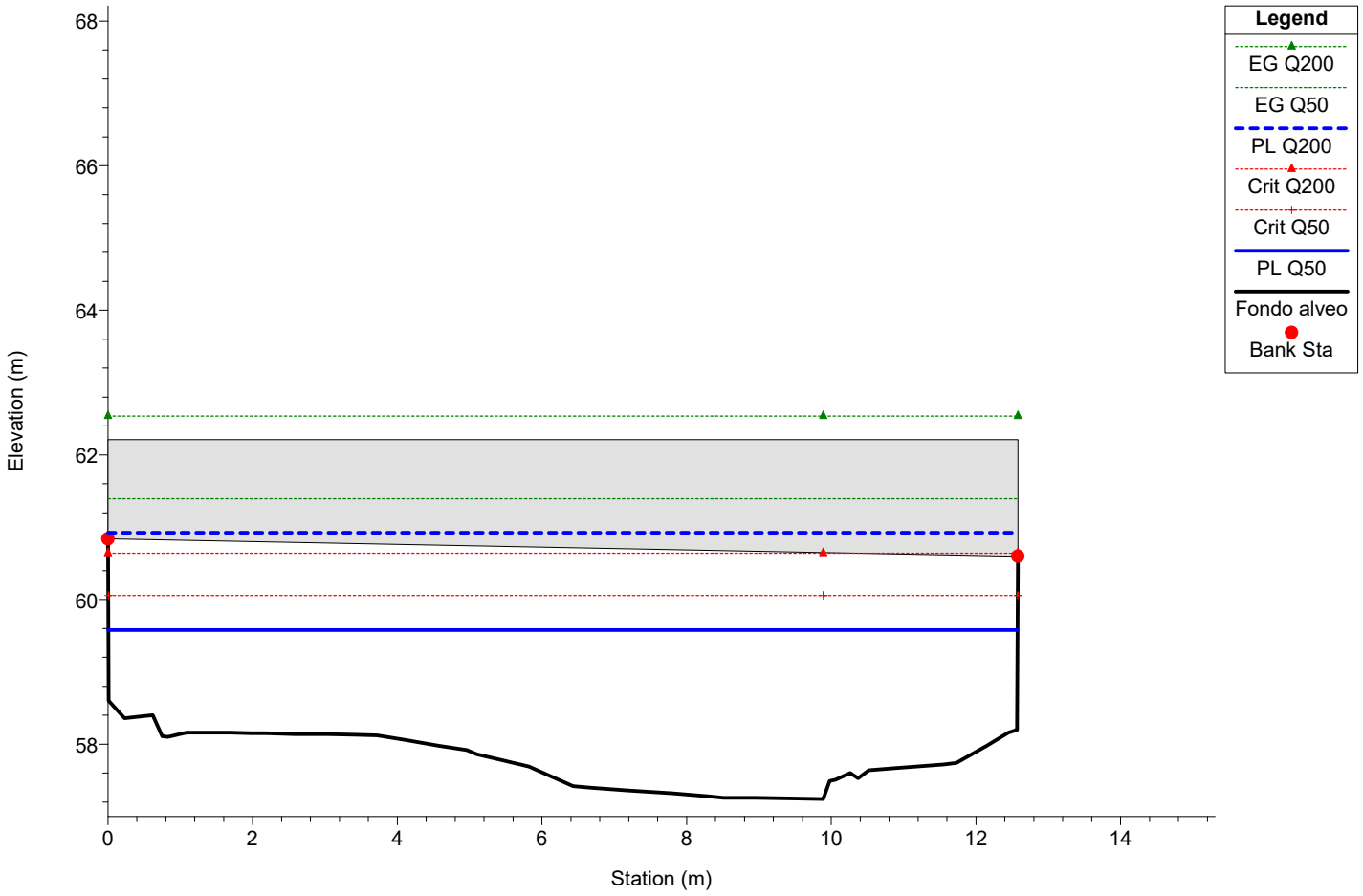
RS = 94.73 STATO ATTUALE



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

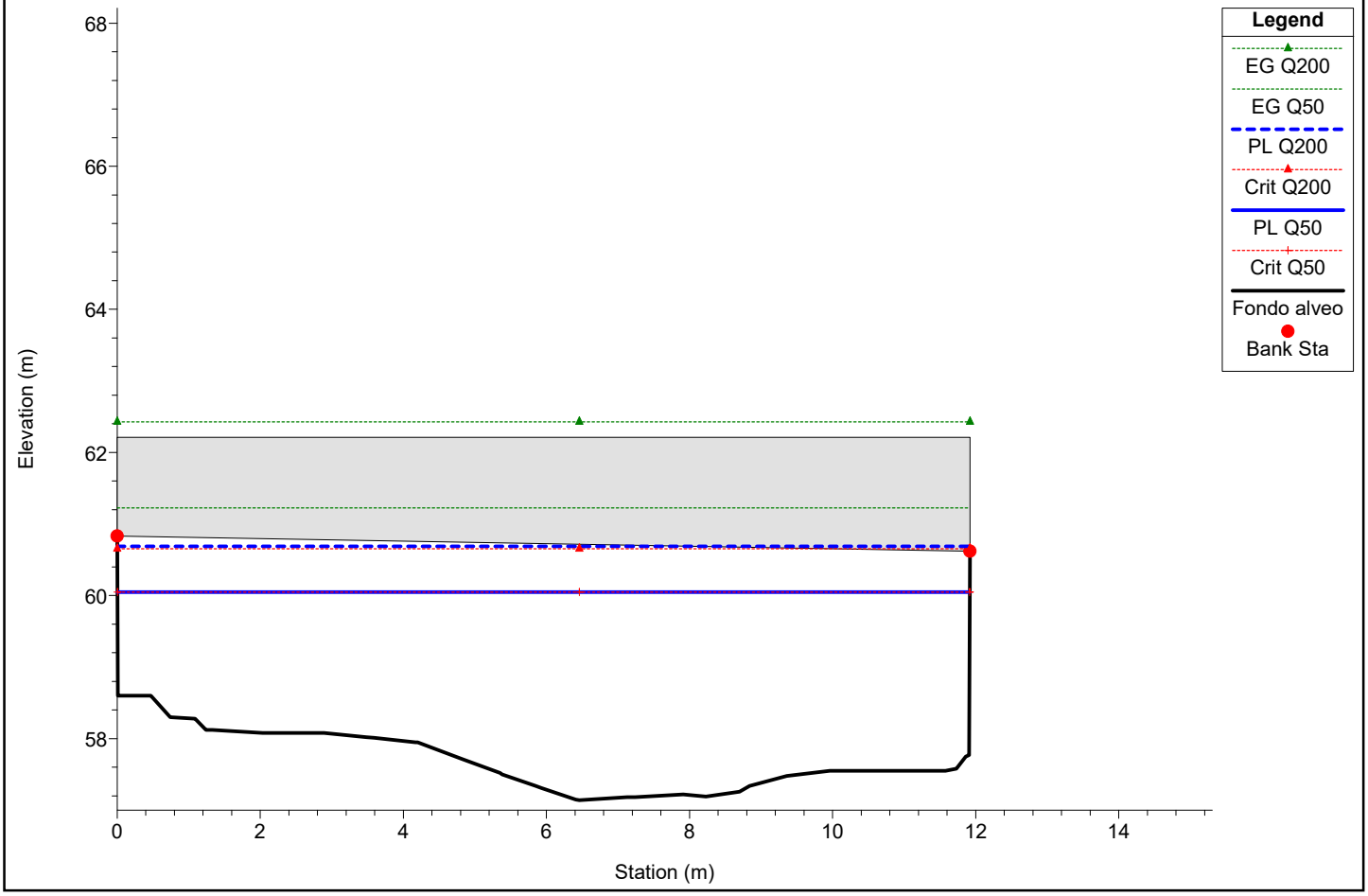
P007-26-GARIBALDO-NE

RS = 92.98 STATO ATTUALE



P007-26-GARIBALDO-NE

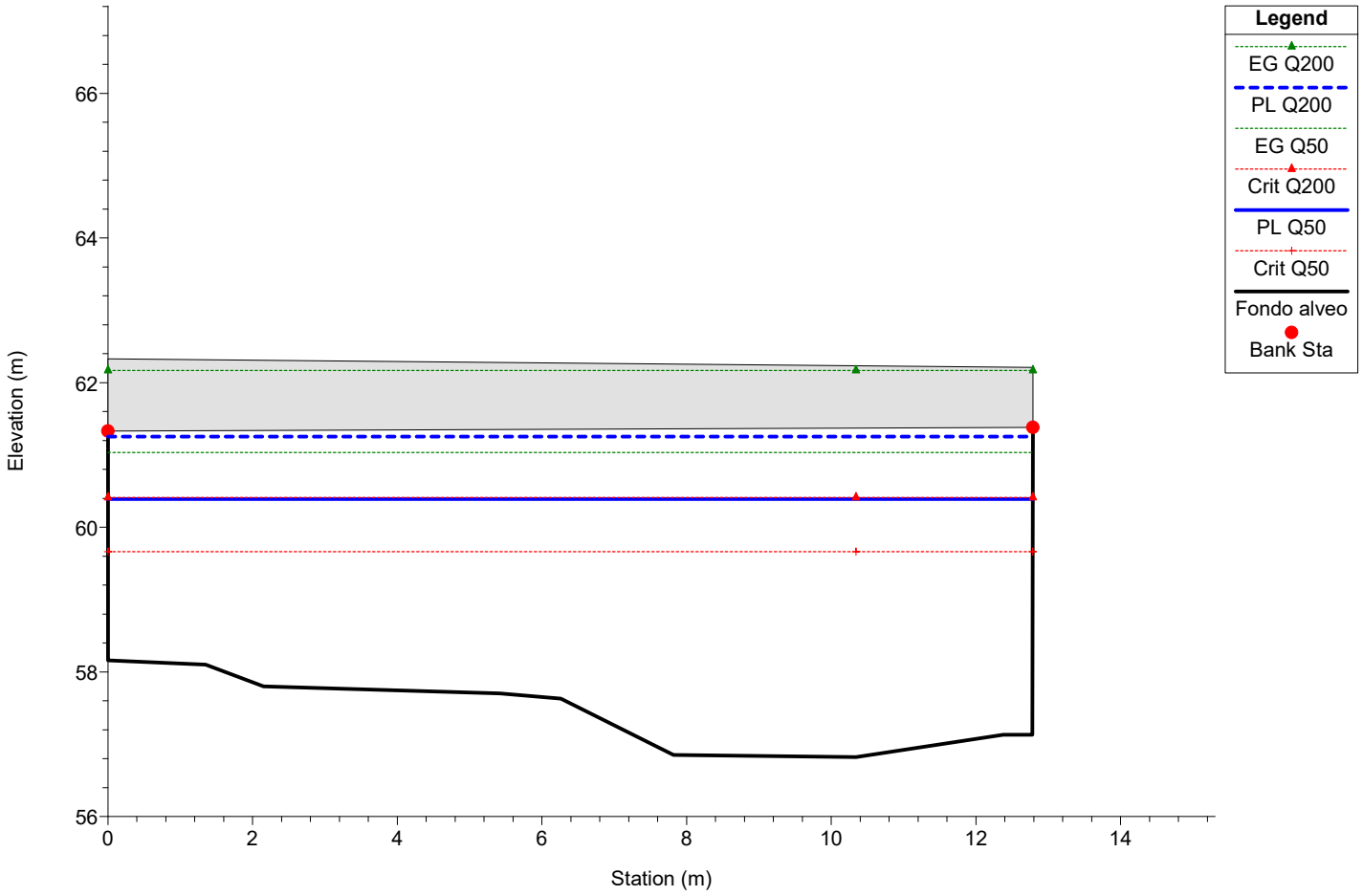
RS = 86.98 STATO ATTUALE



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

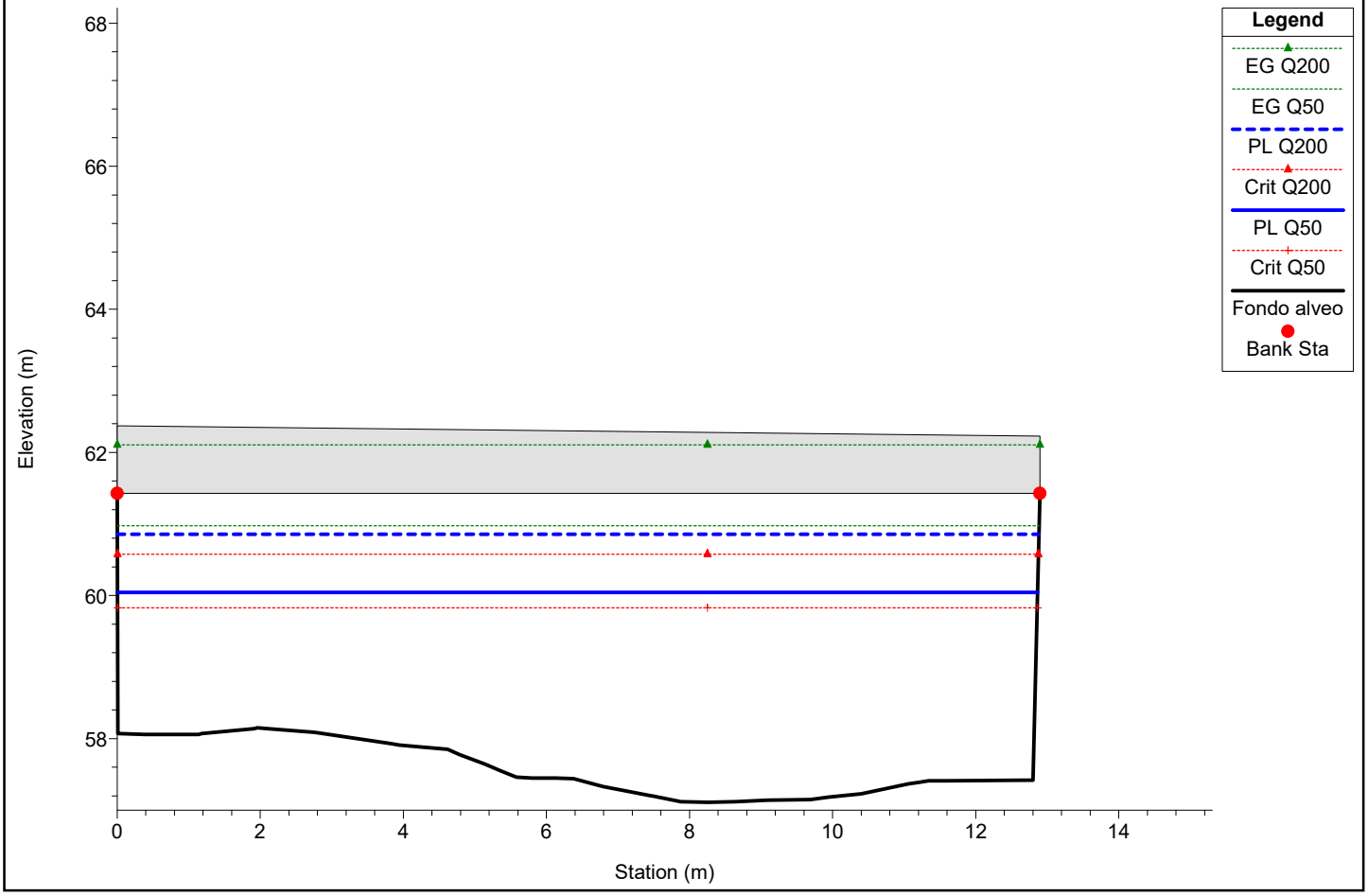
P007-26-GARIBALDO-NE

RS = 85.54 STATO ATTUALE



P007-26-GARIBALDO-NE

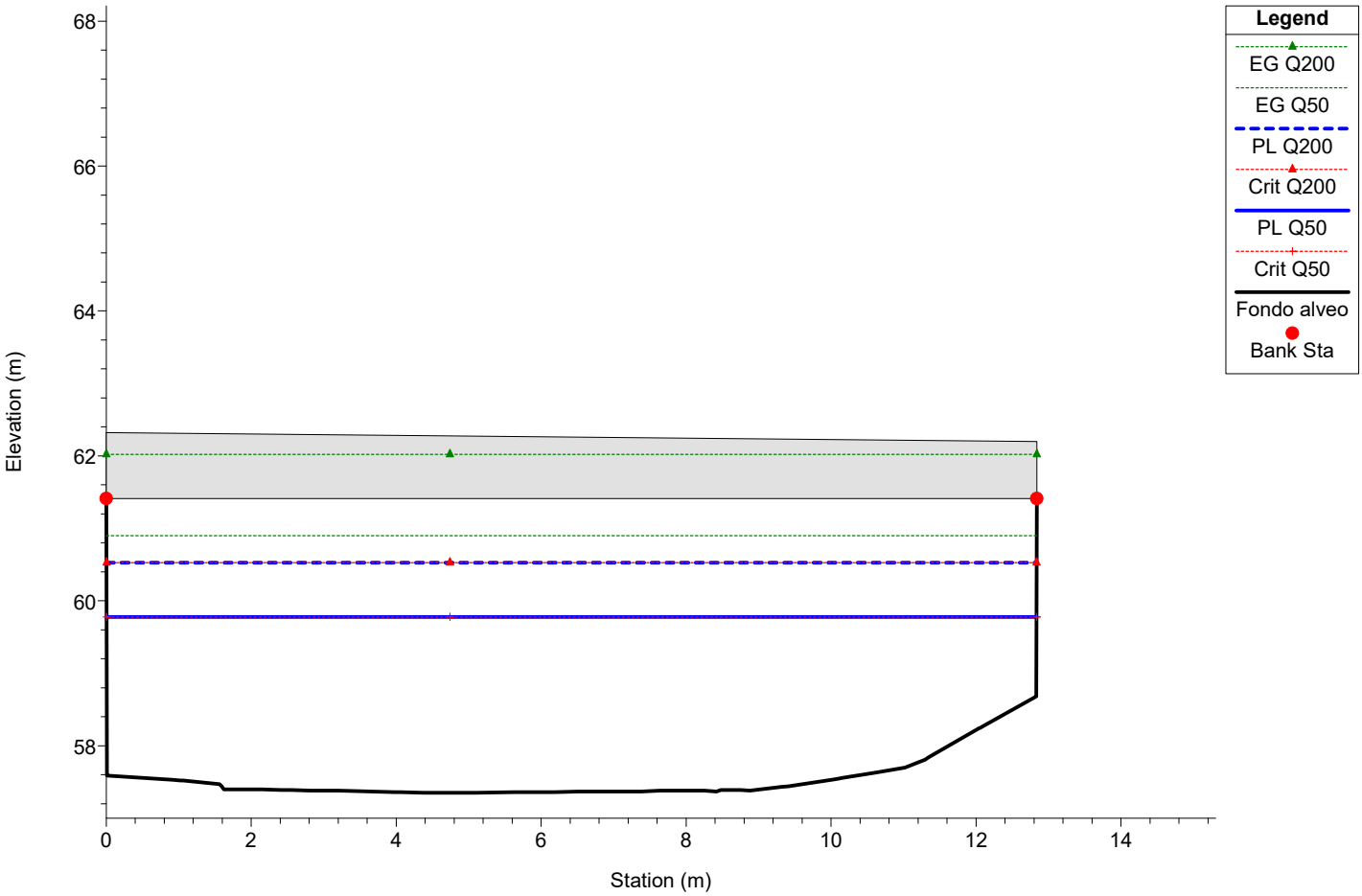
RS = 80 STATO ATTUALE



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

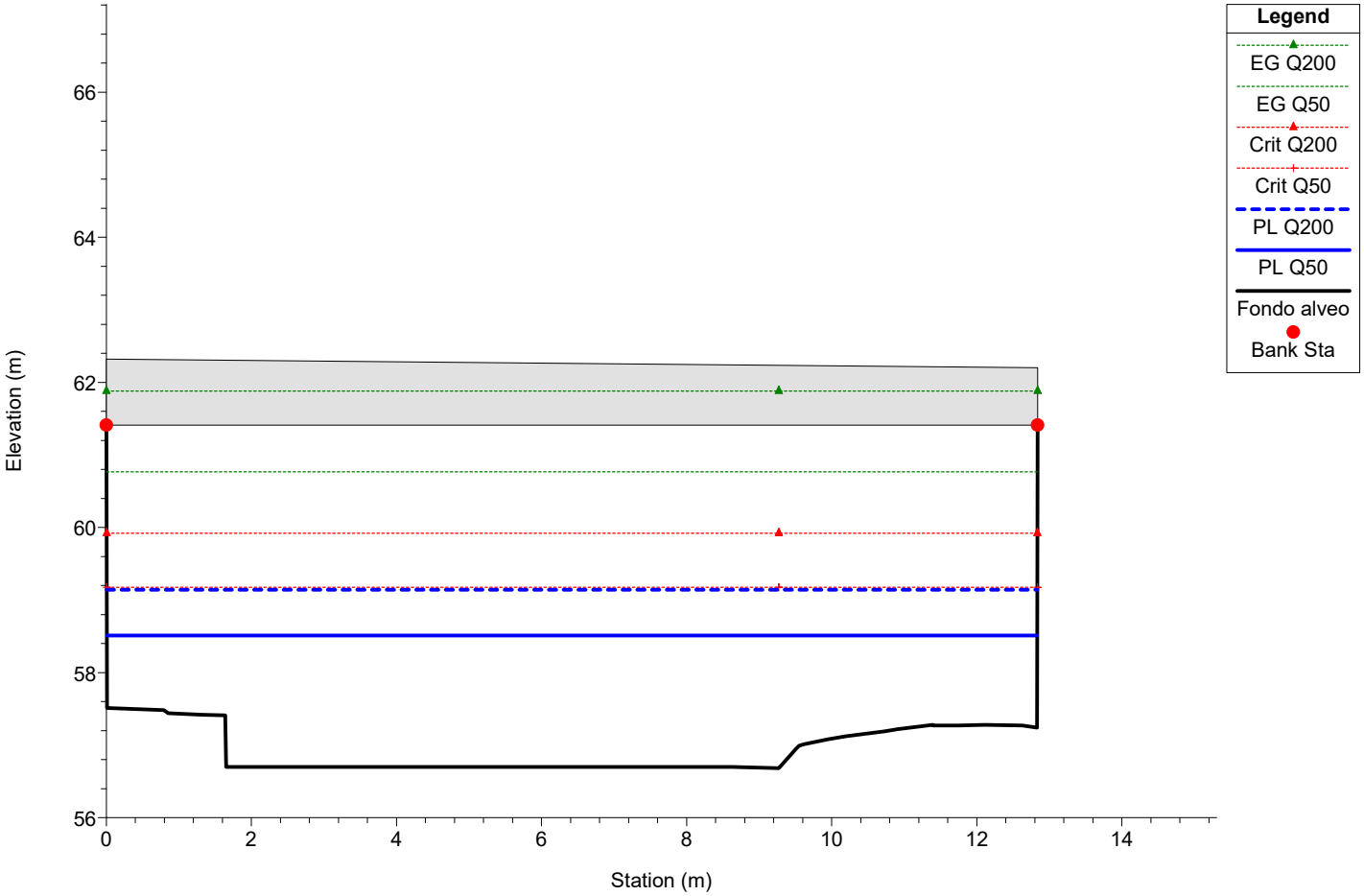
P007-26-GARIBALDO-NE

RS = 72.04 STATO ATTUALE



P007-26-GARIBALDO-NE

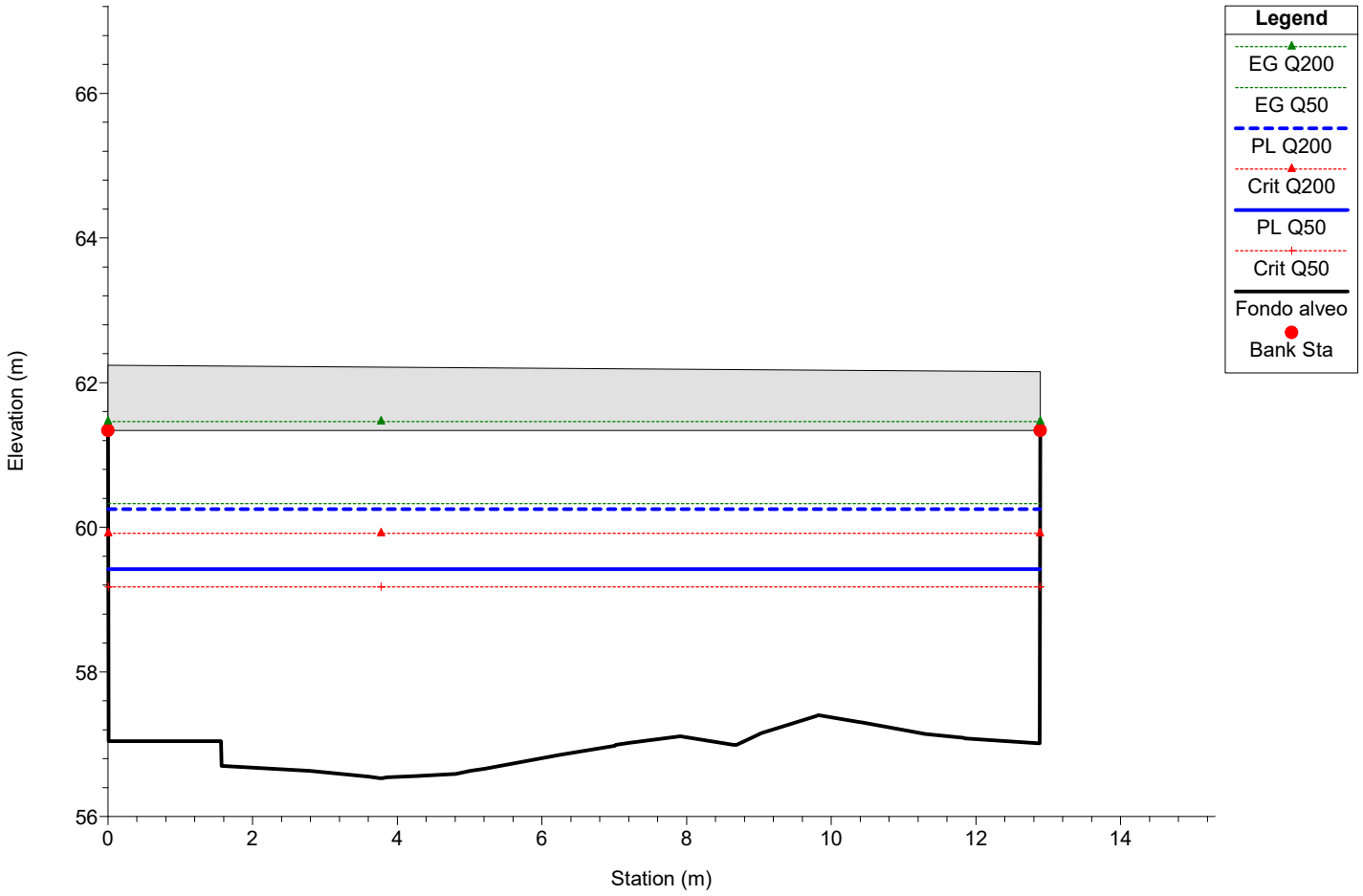
RS = 70.9 STATO ATTUALE



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

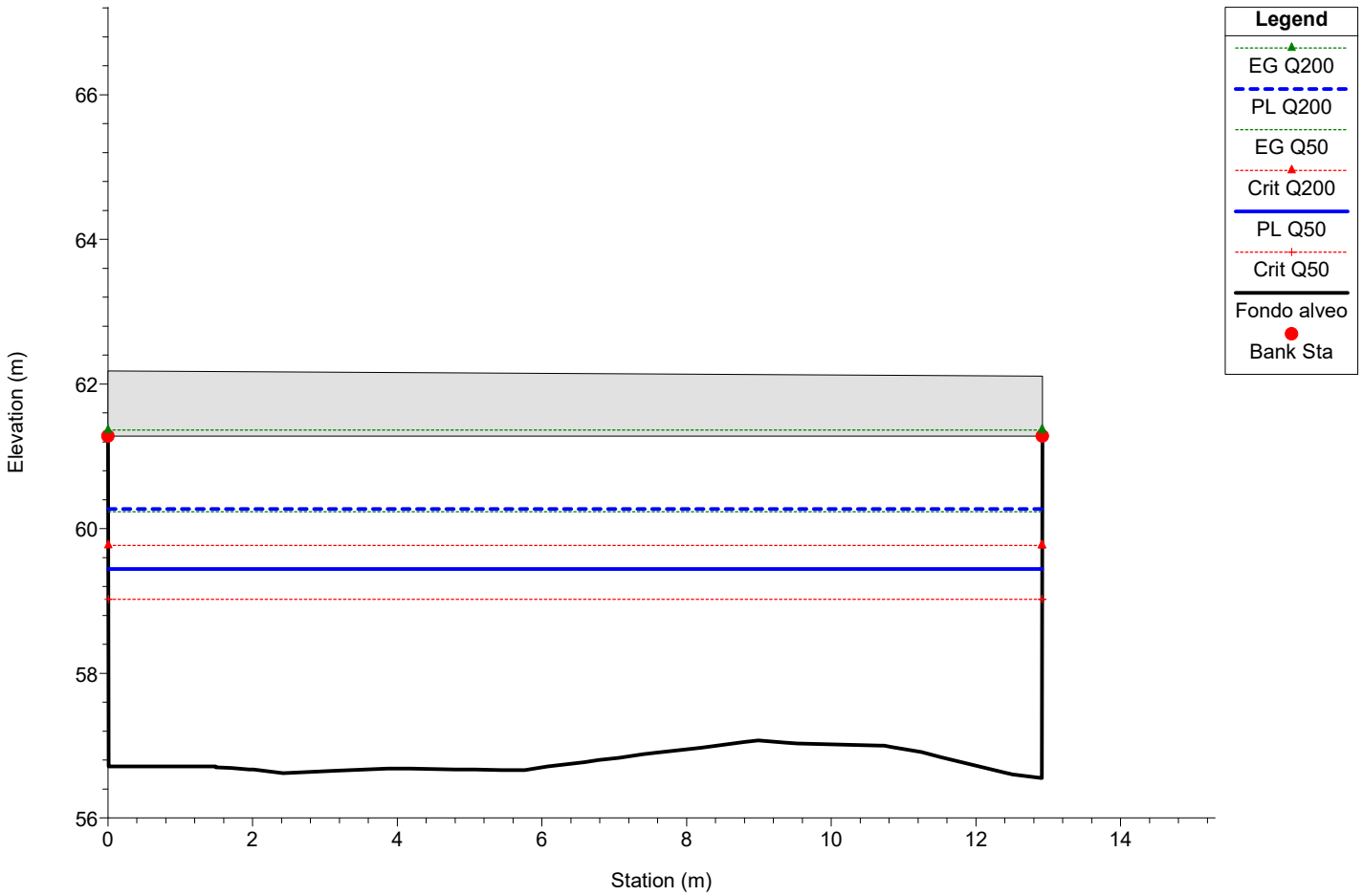
P007-26-GARIBALDO-NE

RS = 60 STATO ATTUALE



P007-26-GARIBALDO-NE

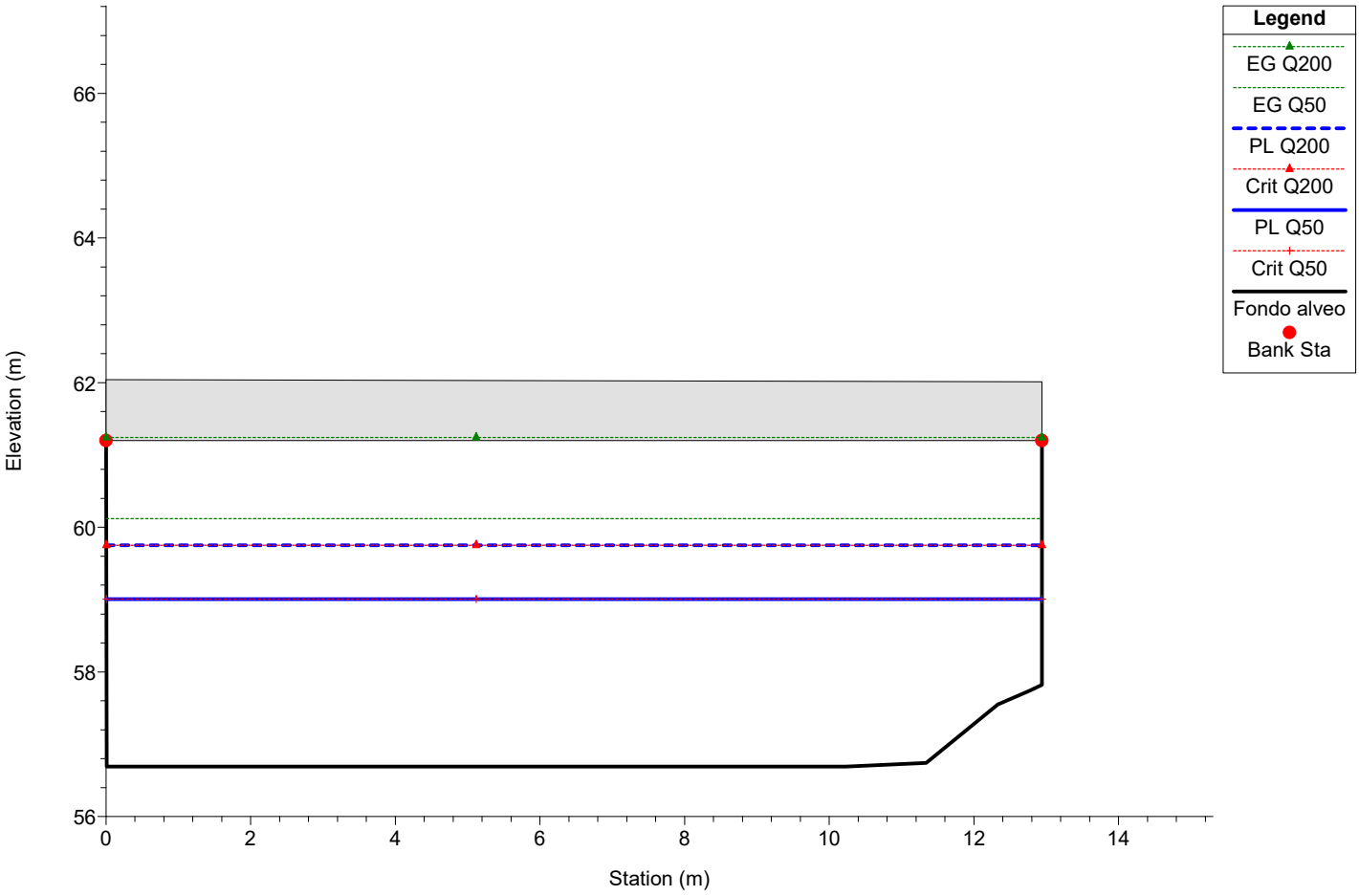
RS = 50 STATO ATTUALE



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

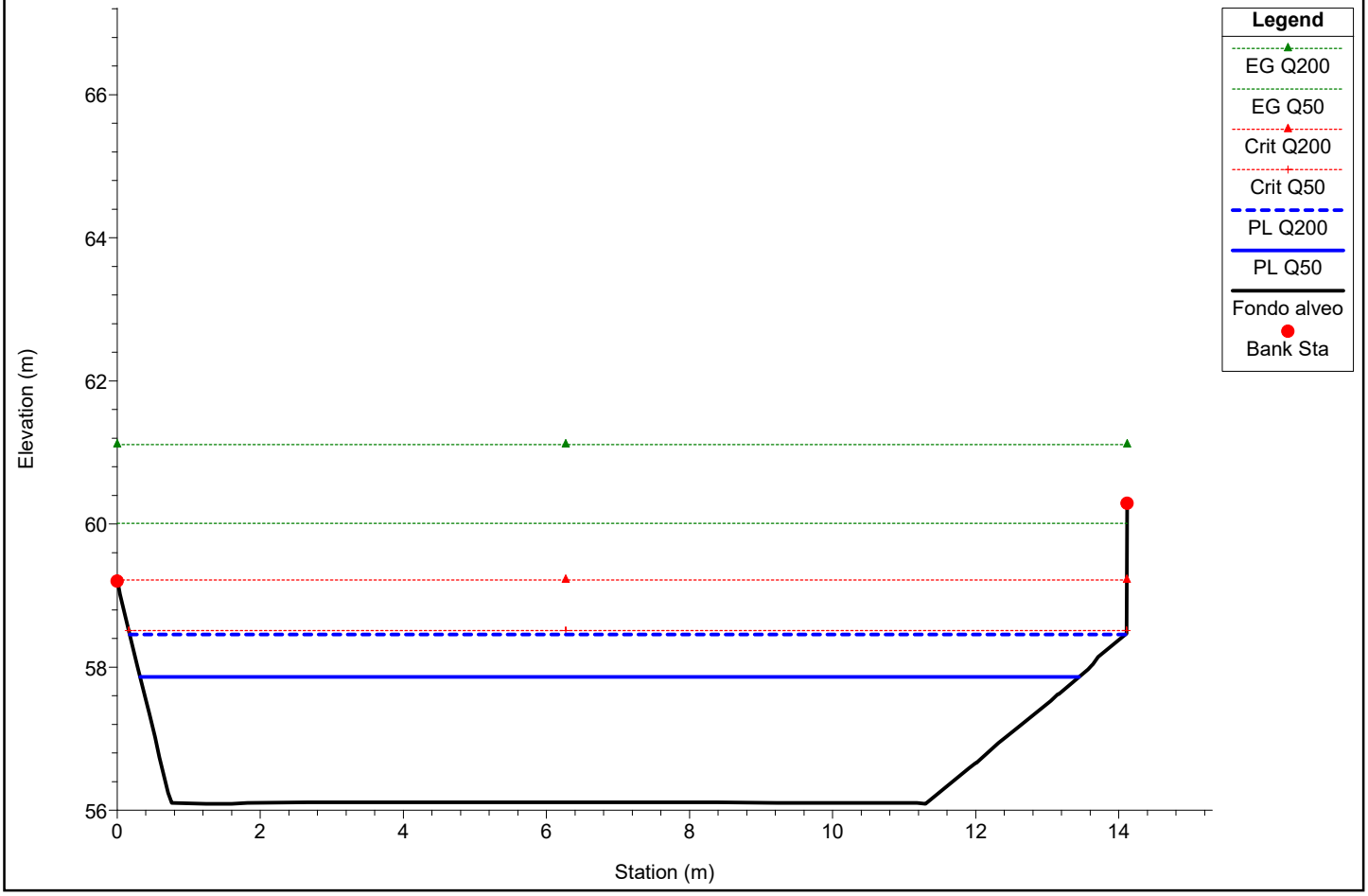
P007-26-GARIBALDO-NE

RS = 37.92 STATO ATTUALE



P007-26-GARIBALDO-NE

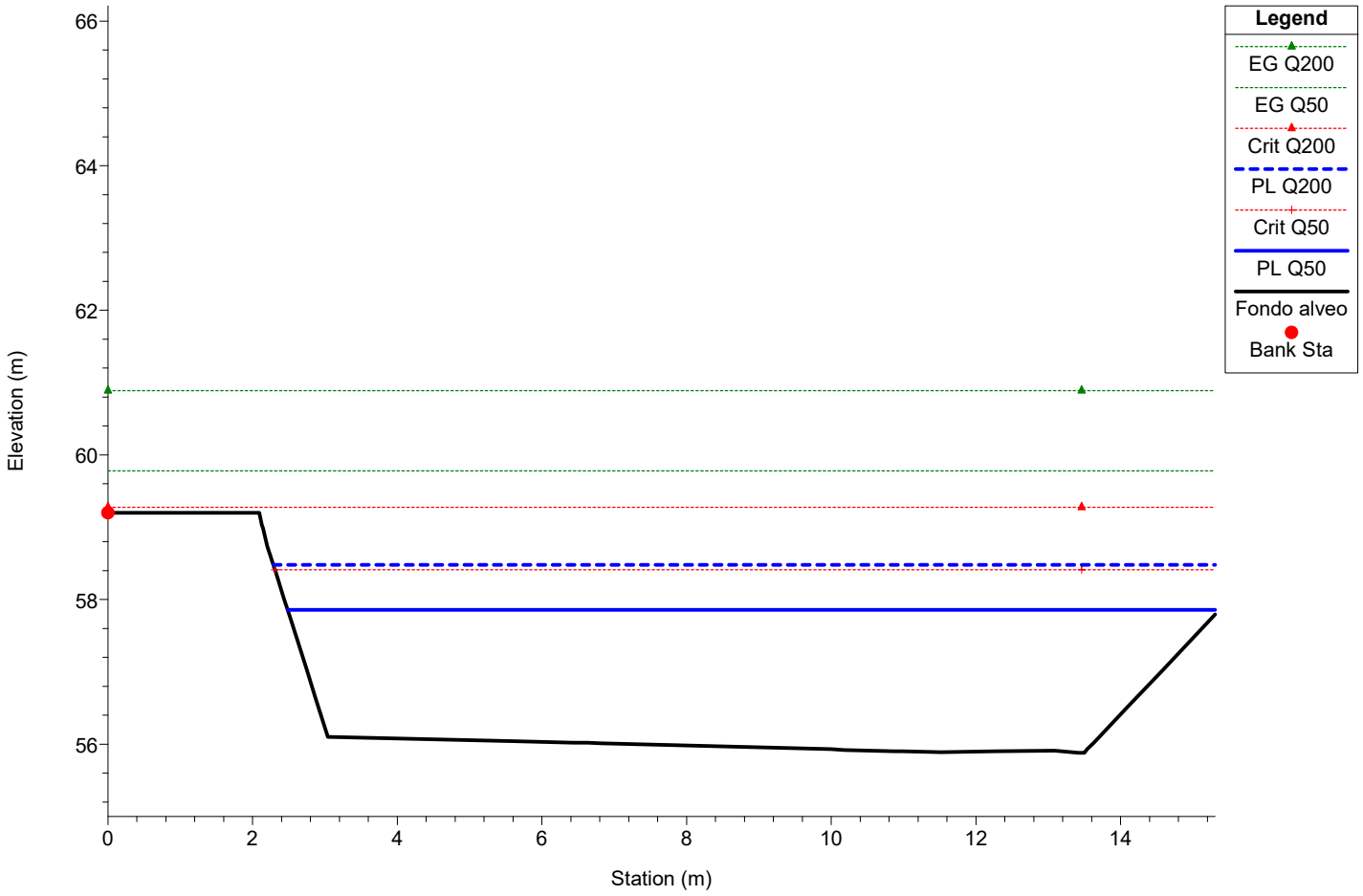
RS = 37.1 STATO ATTUALE



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

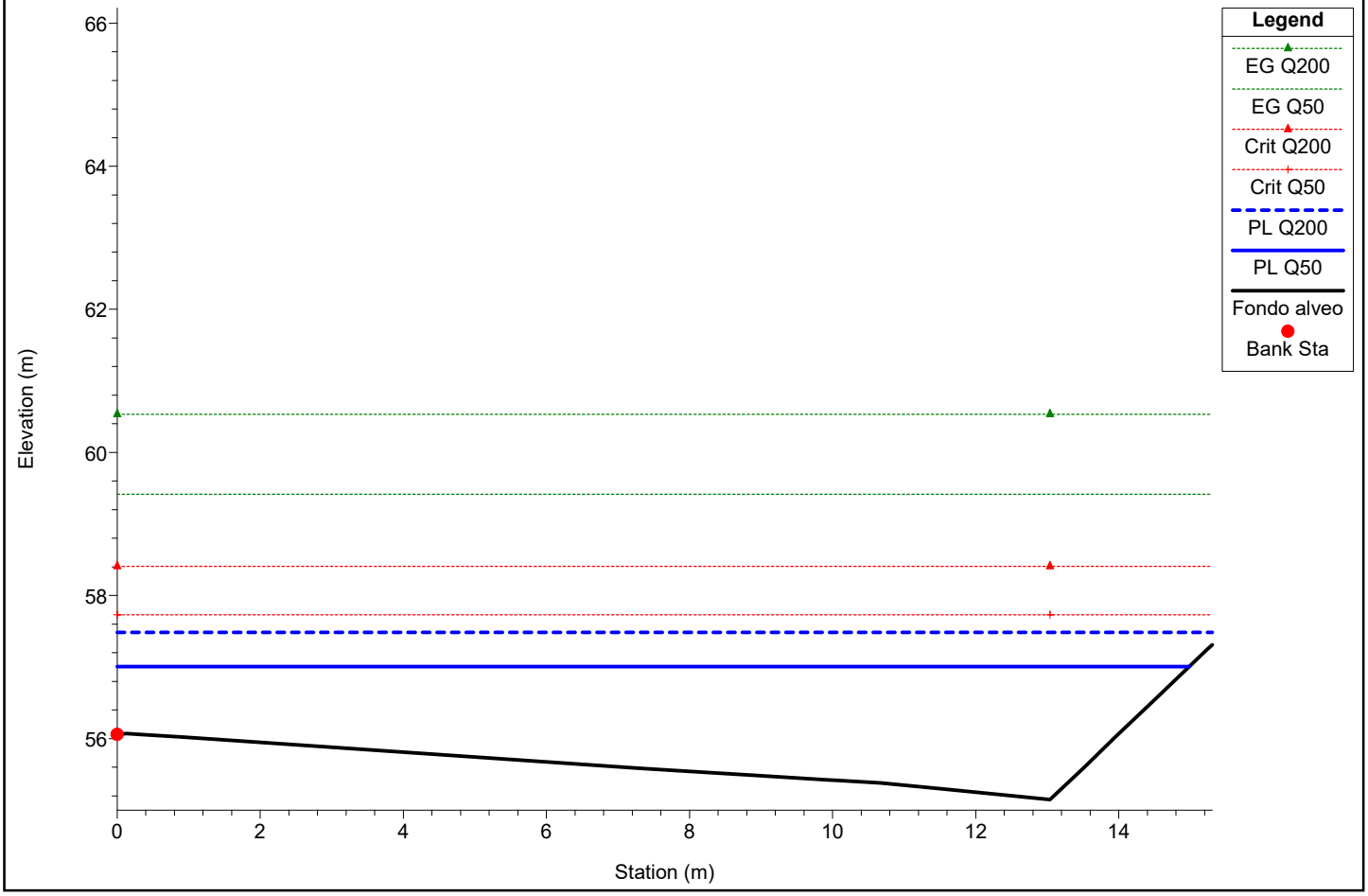
P007-26-GARIBALDO-NE

RS = 30 STATO ATTUALE



P007-26-GARIBALDO-NE

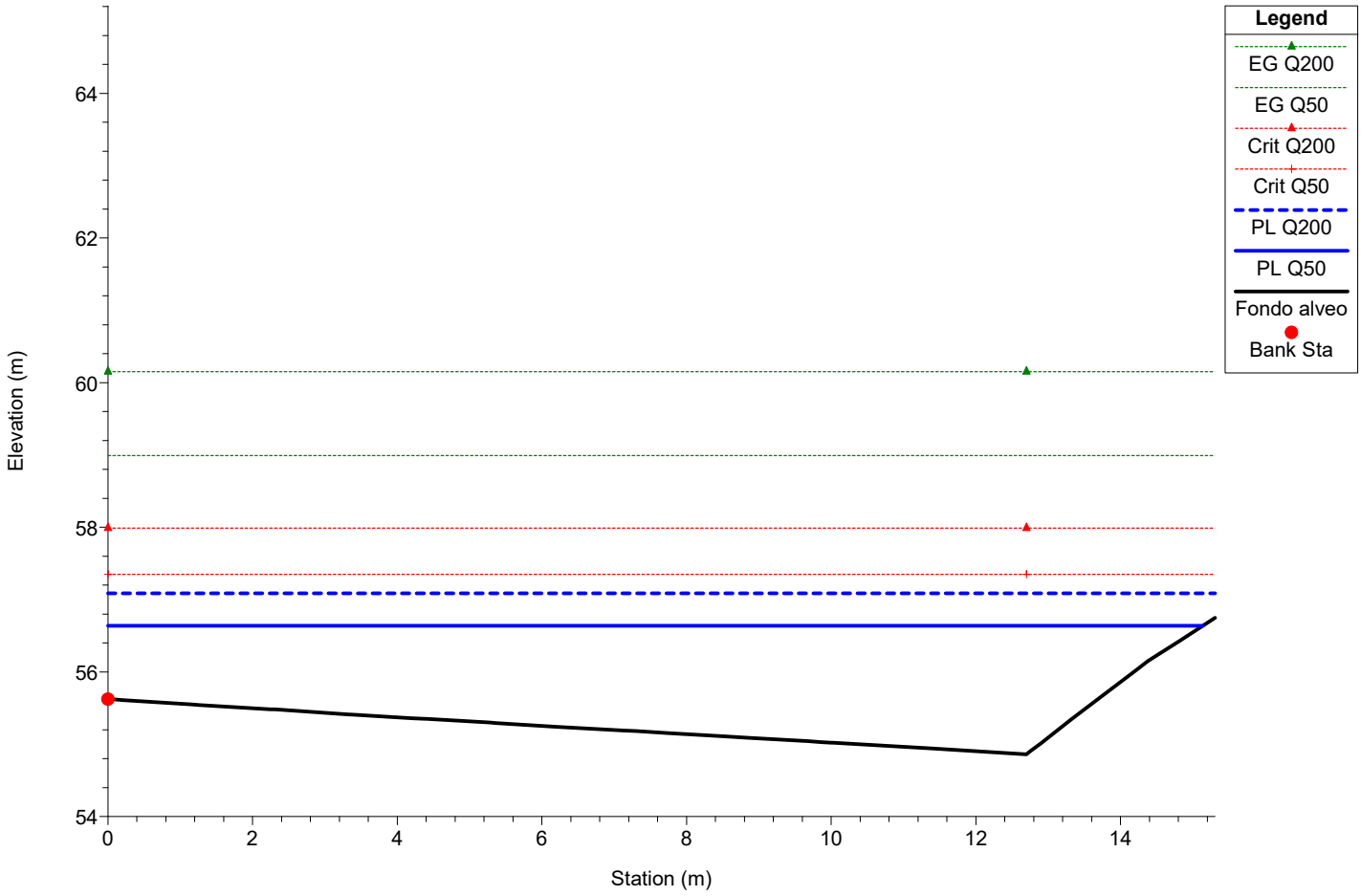
RS = 20 STATO ATTUALE



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

P007-26-GARIBALDO-NE

RS = 10 STATO ATTUALE



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

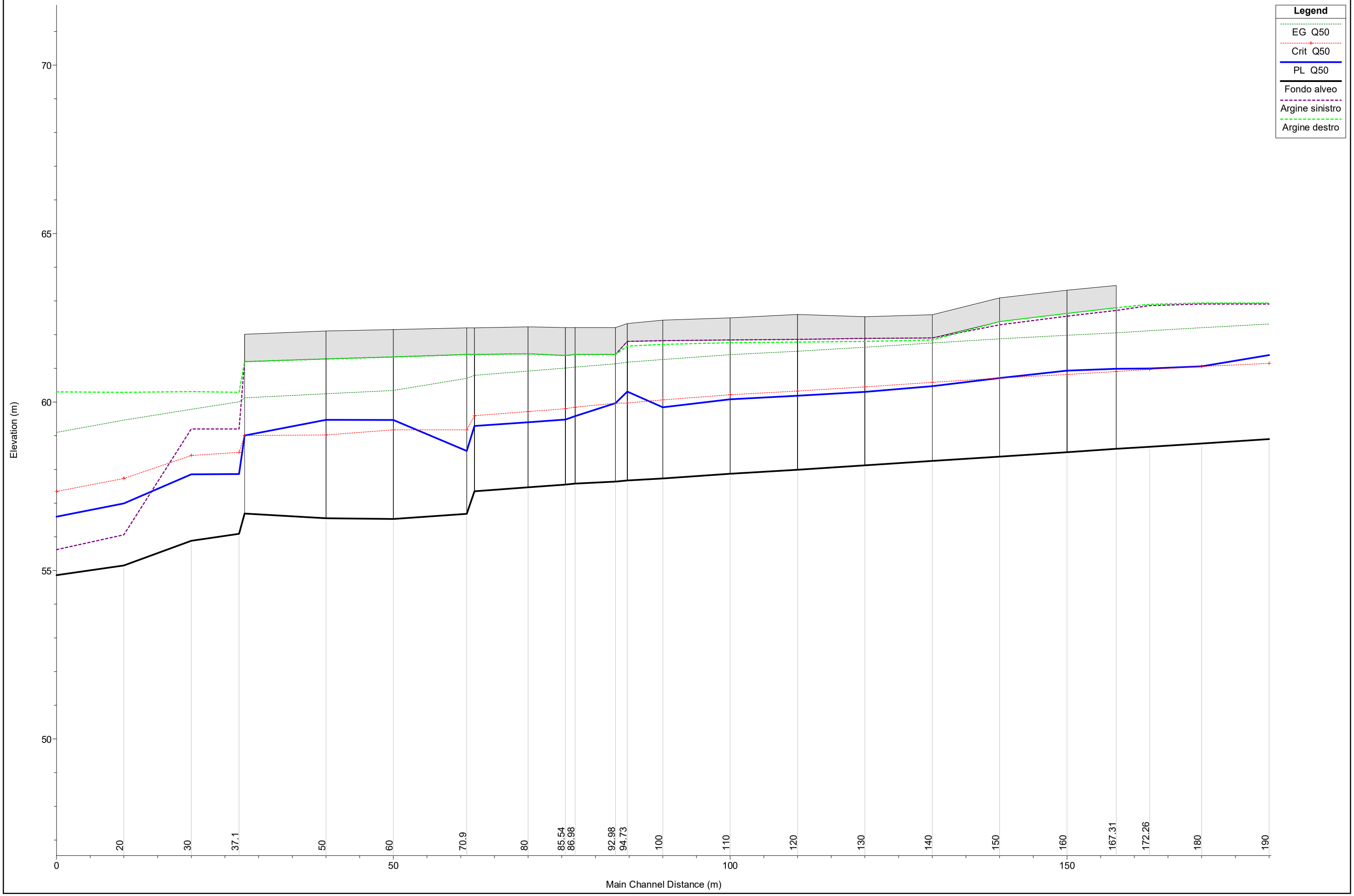
STATO DI PROGETTO

HEC-RAS Plan: PROGETTO River: GARIBALDO Reach: GARIBALDO Profile: Q50

Reach	River Sta	Profile	Cum Ch Len	Q Total	Min Ch El	LOB Elev	ROB Elev	W.S. Elev	Max Chl Dpth	Hydr Depth	E.G. Elev	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m)	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m2)	(m)	
GARIBALDO	190	Q50	180.00	135.00	58.90	62.91	62.94	61.39	2.49	2.49	62.31	4.25	31.76	12.74	0.86
GARIBALDO	180	Q50	170.00	135.00	58.77	62.91	62.94	61.06	2.29	2.29	62.20	4.74	28.47	12.45	1.00
GARIBALDO	172.26	Q50	162.26	135.00	58.67	62.86	62.90	60.99	2.32	2.32	62.12	4.70	28.75	12.40	0.98
GARIBALDO	167.31	Q50	157.31	135.00	58.61	62.72	62.80	60.99	2.38	2.37	62.05	4.57	29.54	12.45	0.95
GARIBALDO	160	Q50	150.00	135.00	58.51	62.55	62.63	60.93	2.42	2.42	61.98	4.54	29.75	12.29	0.93
GARIBALDO	150	Q50	140.00	135.00	58.38	62.29	62.39	60.71	2.33	2.33	61.87	4.78	28.26	12.13	1.00
GARIBALDO	140	Q50	130.00	135.00	58.25	61.90	61.84	60.47	2.22	2.21	61.75	5.01	26.93	12.16	1.08
GARIBALDO	130	Q50	120.00	135.00	58.12	61.89	61.81	60.30	2.18	2.18	61.63	5.10	26.49	12.14	1.10
GARIBALDO	120	Q50	110.00	135.00	57.99	61.86	61.78	60.19	2.20	2.20	61.51	5.09	26.55	12.08	1.10
GARIBALDO	110	Q50	100.00	135.00	57.87	61.84	61.76	60.08	2.21	2.21	61.40	5.09	26.51	11.99	1.09
GARIBALDO	100	Q50	90.00	135.00	57.73	61.82	61.71	59.84	2.11	2.11	61.26	5.28	25.57	12.11	1.16
GARIBALDO	94.73	Q50	84.73	135.00	57.67	61.80	61.66	60.31	2.64	2.64	61.18	4.13	32.69	12.38	0.81
GARIBALDO	92.98	Q50	82.98	135.00	57.64	61.41	61.41	59.97	2.33	2.33	61.14	4.79	28.18	12.12	1.00
GARIBALDO	86.98	Q50	76.98	135.00	57.58	61.41	61.41	59.58	2.00	2.00	61.04	5.34	25.27	12.63	1.21
GARIBALDO	85.54	Q50	75.54	135.00	57.55	61.33	61.38	59.48	1.93	1.93	61.01	5.48	24.65	12.79	1.26
GARIBALDO	80	Q50	70.00	135.00	57.47	61.43	61.43	59.40	1.93	1.92	60.92	5.46	24.72	12.84	1.26
GARIBALDO	72.04	Q50	62.04	135.00	57.35	61.41	61.41	59.29	1.94	1.94	60.79	5.43	24.88	12.83	1.24
GARIBALDO	70.9	Q50	60.90	135.00	56.68	61.41	61.41	58.55	1.87	1.62	60.70	6.50	20.77	12.83	1.63
GARIBALDO	60	Q50	50.00	135.00	56.53	61.34	61.34	59.47	2.94	2.53	60.34	4.14	32.61	12.88	0.83
GARIBALDO	50	Q50	40.00	135.00	56.55	61.28	61.28	59.47	2.92	2.68	60.25	3.90	34.65	12.91	0.76
GARIBALDO	37.92	Q50	27.92	135.00	56.69	61.20	61.20	59.00	2.31	2.23	60.12	4.68	28.84	12.94	1.00
GARIBALDO	37.1	Q50	27.10	135.00	56.09	59.20	60.29	57.86	1.77	1.59	60.01	6.48	20.82	13.12	1.64
GARIBALDO	30	Q50	20.00	135.00	55.88	59.20	60.31	57.85	1.97	1.70	59.79	6.16	21.93	12.88	1.51
GARIBALDO	20	Q50	10.00	135.00	55.15	56.06	60.29	56.99	1.84	1.29	59.46	6.97	19.38	14.97	1.95
GARIBALDO	10	Q50		135.00	54.86	55.62	60.30	56.60	1.74	1.28	59.10	7.01	19.27	15.08	1.98

P007-26-GARIBALDO-NE

STATO DI PROGETTO



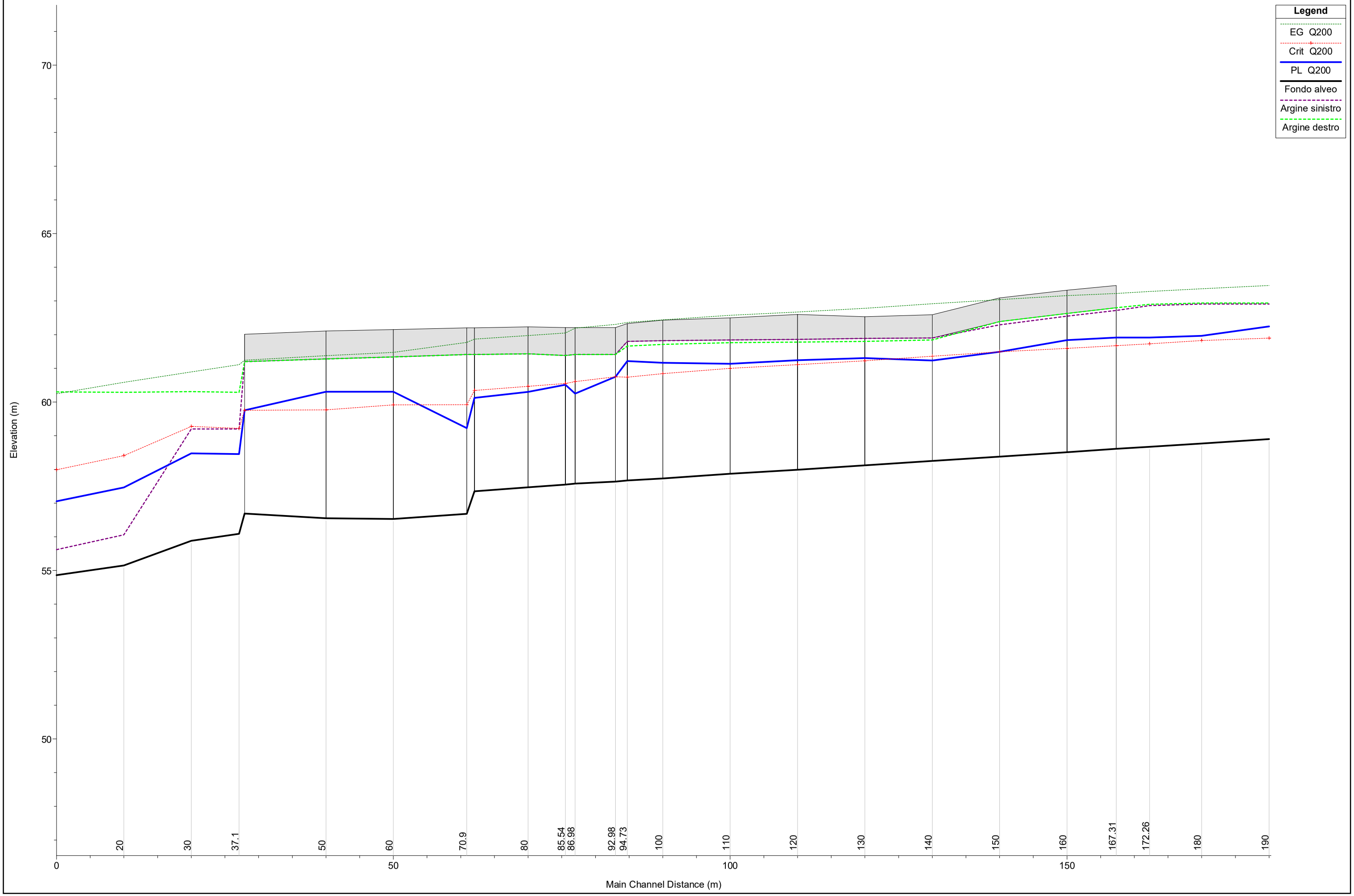
1 cm Horiz. = 5 m 1 cm Vert. = 1 m

HEC-RAS Plan: PROGETTO River: GARIBALDO Reach: GARIBALDO Profile: Q200

Reach	River Sta	Profile	Cum Ch Len	Q Total	Min Ch El	LOB Elev	ROB Elev	W.S. Elev	Max Chl Dpth	Hydr Depth	E.G. Elev	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m)	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m2)	(m)	
GARIBALDO	190	Q200	180.00	208.00	58.90	62.91	62.94	62.24	3.34	3.34	63.46	4.89	42.58	12.75	0.85
GARIBALDO	180	Q200	170.00	208.00	58.77	62.91	62.94	61.96	3.19	3.19	63.36	5.23	39.76	12.46	0.94
GARIBALDO	172.26	Q200	162.26	208.00	58.67	62.86	62.90	61.92	3.25	3.23	63.28	5.18	40.18	12.42	0.92
GARIBALDO	167.31	Q200	157.31	208.00	58.61	62.72	62.80	61.91	3.30	3.29	63.22	5.06	41.08	12.48	0.89
GARIBALDO	160	Q200	150.00	208.00	58.51	62.55	62.63	61.84	3.33	3.33	63.16	5.08	40.91	12.30	0.89
GARIBALDO	150	Q200	140.00	208.00	58.38	62.29	62.39	61.49	3.11	3.11	63.04	5.52	37.71	12.14	1.00
GARIBALDO	140	Q200	130.00	208.00	58.25	61.90	61.84	61.23	2.98	2.97	62.92	5.75	36.17	12.18	1.07
GARIBALDO	130	Q200	120.00	208.00	58.12	61.89	61.81	61.31	3.19	3.18	62.78	5.38	38.66	12.15	0.96
GARIBALDO	120	Q200	110.00	208.00	57.99	61.86	61.78	61.24	3.25	3.25	62.67	5.29	39.28	12.09	0.94
GARIBALDO	110	Q200	100.00	208.00	57.87	61.84	61.76	61.14	3.27	3.26	62.57	5.31	39.15	12.00	0.94
GARIBALDO	100	Q200	90.00	208.00	57.73	61.82	61.71	61.16	3.43	3.43	62.44	5.00	41.58	12.12	0.86
GARIBALDO	94.73	Q200	84.73	208.00	57.67	61.80	61.66	61.22	3.55	3.54	62.36	4.74	43.90	12.39	0.80
GARIBALDO	92.98	Q200	82.98	208.00	57.64	61.41	61.41	60.75	3.11	3.11	62.30	5.52	37.66	12.12	1.00
GARIBALDO	86.98	Q200	76.98	208.00	57.58	61.41	61.41	60.25	2.67	2.67	62.19	6.17	33.73	12.63	1.21
GARIBALDO	85.54	Q200	75.54	208.00	57.55	61.33	61.38	60.51	2.96	2.96	62.05	5.49	37.89	12.79	1.02
GARIBALDO	80	Q200	70.00	208.00	57.47	61.43	61.43	60.30	2.83	2.82	61.97	5.73	36.31	12.87	1.09
GARIBALDO	72.04	Q200	62.04	208.00	57.35	61.41	61.41	60.12	2.77	2.77	61.87	5.85	35.55	12.83	1.12
GARIBALDO	70.9	Q200	60.90	208.00	56.68	61.41	61.41	59.22	2.54	2.30	61.77	7.06	29.45	12.83	1.49
GARIBALDO	60	Q200	50.00	208.00	56.53	61.34	61.34	60.30	3.77	3.37	61.48	4.79	43.38	12.89	0.83
GARIBALDO	50	Q200	40.00	208.00	56.55	61.28	61.28	60.31	3.76	3.52	61.38	4.58	45.44	12.92	0.78
GARIBALDO	37.92	Q200	27.92	208.00	56.69	61.20	61.20	59.75	3.06	2.98	61.24	5.40	38.53	12.94	1.00
GARIBALDO	37.1	Q200	27.10	208.00	56.09	59.20	60.29	58.45	2.36	2.07	61.11	7.22	28.82	13.92	1.60
GARIBALDO	30	Q200	20.00	208.00	55.88	59.20	60.31	58.48	2.60	2.21	60.89	6.89	30.19	13.67	1.48
GARIBALDO	20	Q200	10.00	208.00	55.15	56.06	60.29	57.46	2.31	1.72	60.58	7.82	26.60	15.47	1.90
GARIBALDO	10	Q200		208.00	54.86	55.62	60.30	57.05	2.19	1.67	60.24	7.91	26.29	15.77	1.96

P007-26-GARIBALDO-NE

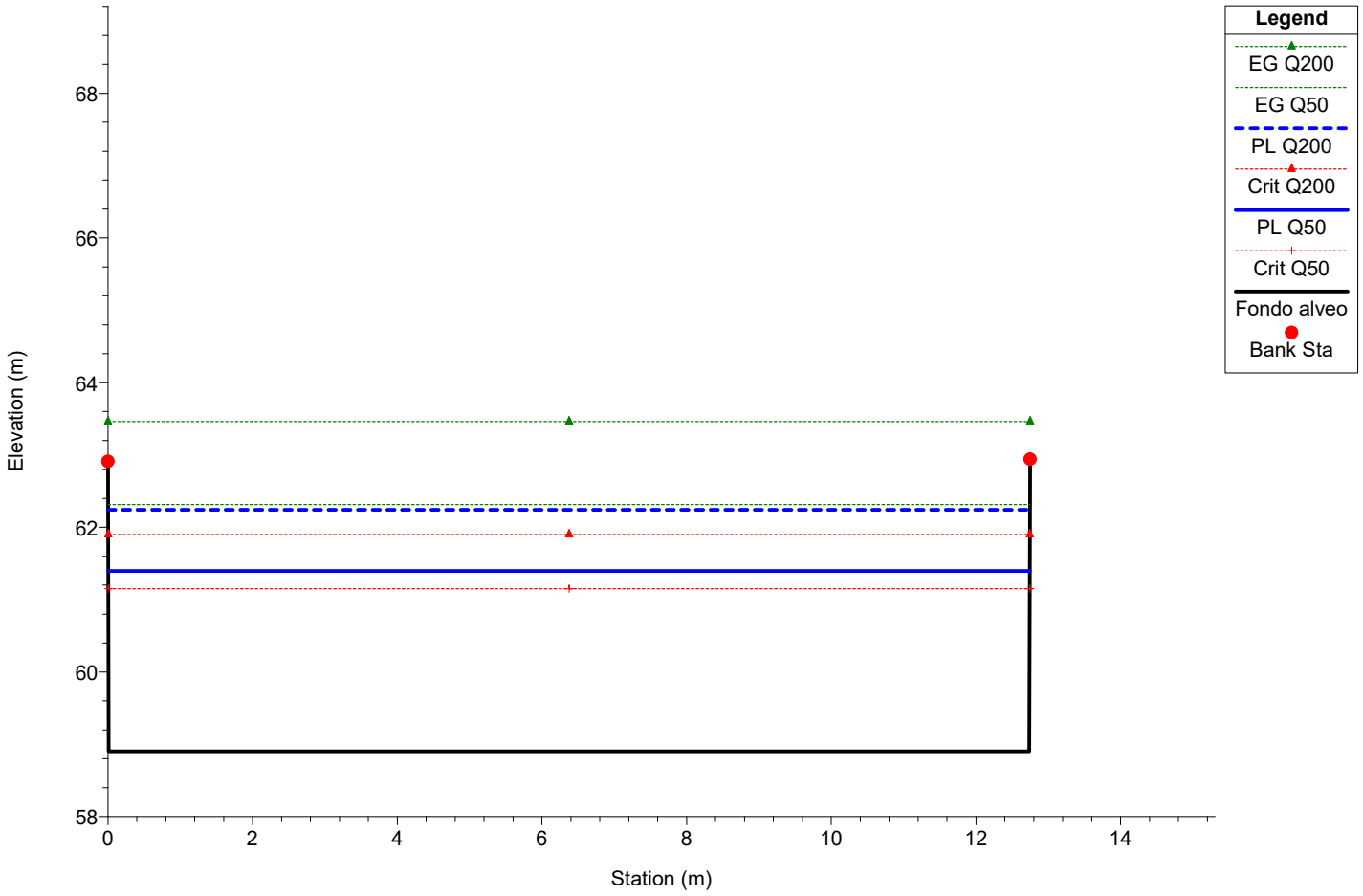
STATO DI PROGETTO



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

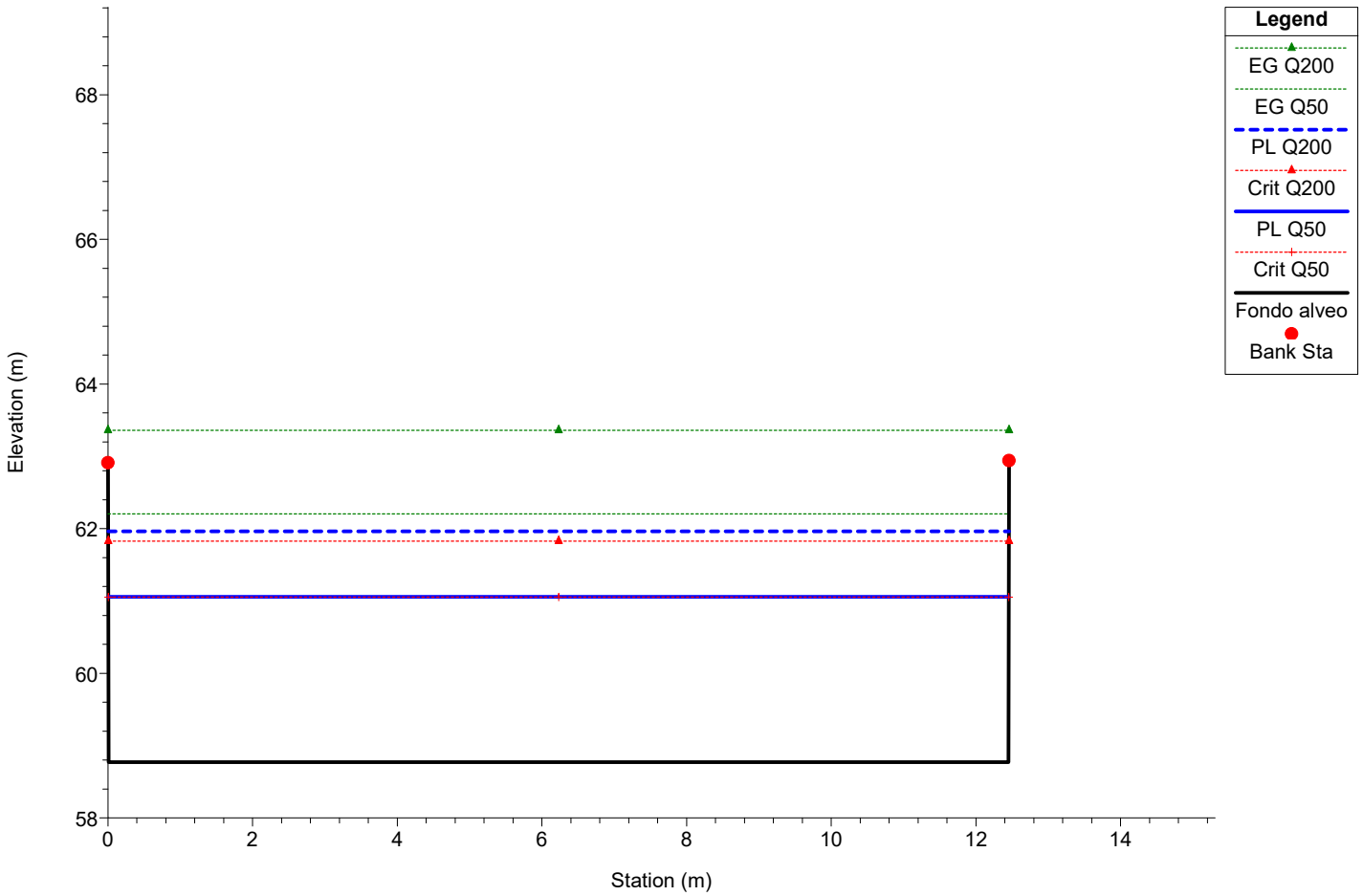
P007-26-GARIBALDO-NE

RS = 190 STATO DI PROGETTO



P007-26-GARIBALDO-NE

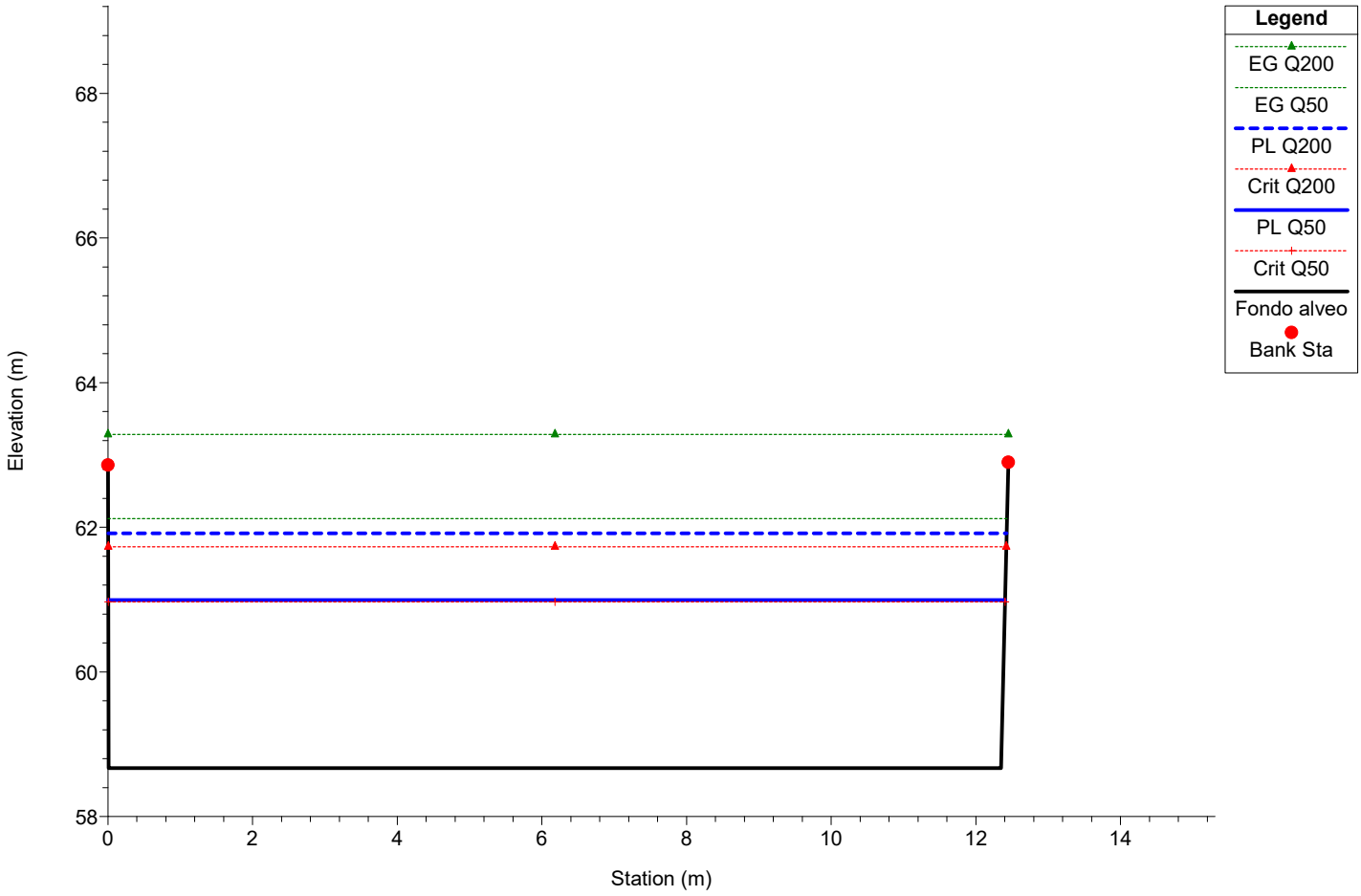
RS = 180 STATO DI PROGETTO



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

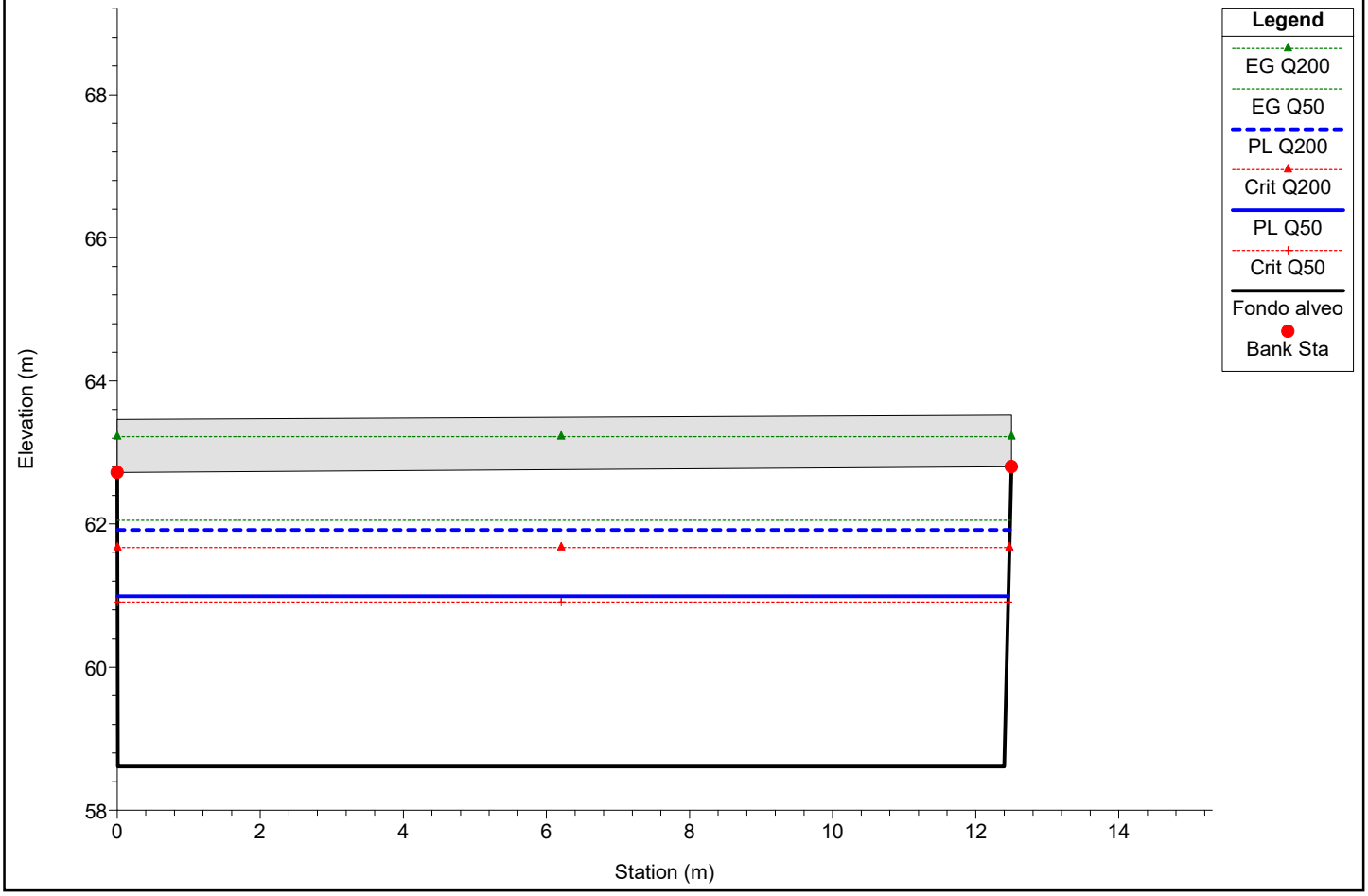
P007-26-GARIBALDO-NE

RS = 172.26 STATO DI PROGETTO



P007-26-GARIBALDO-NE

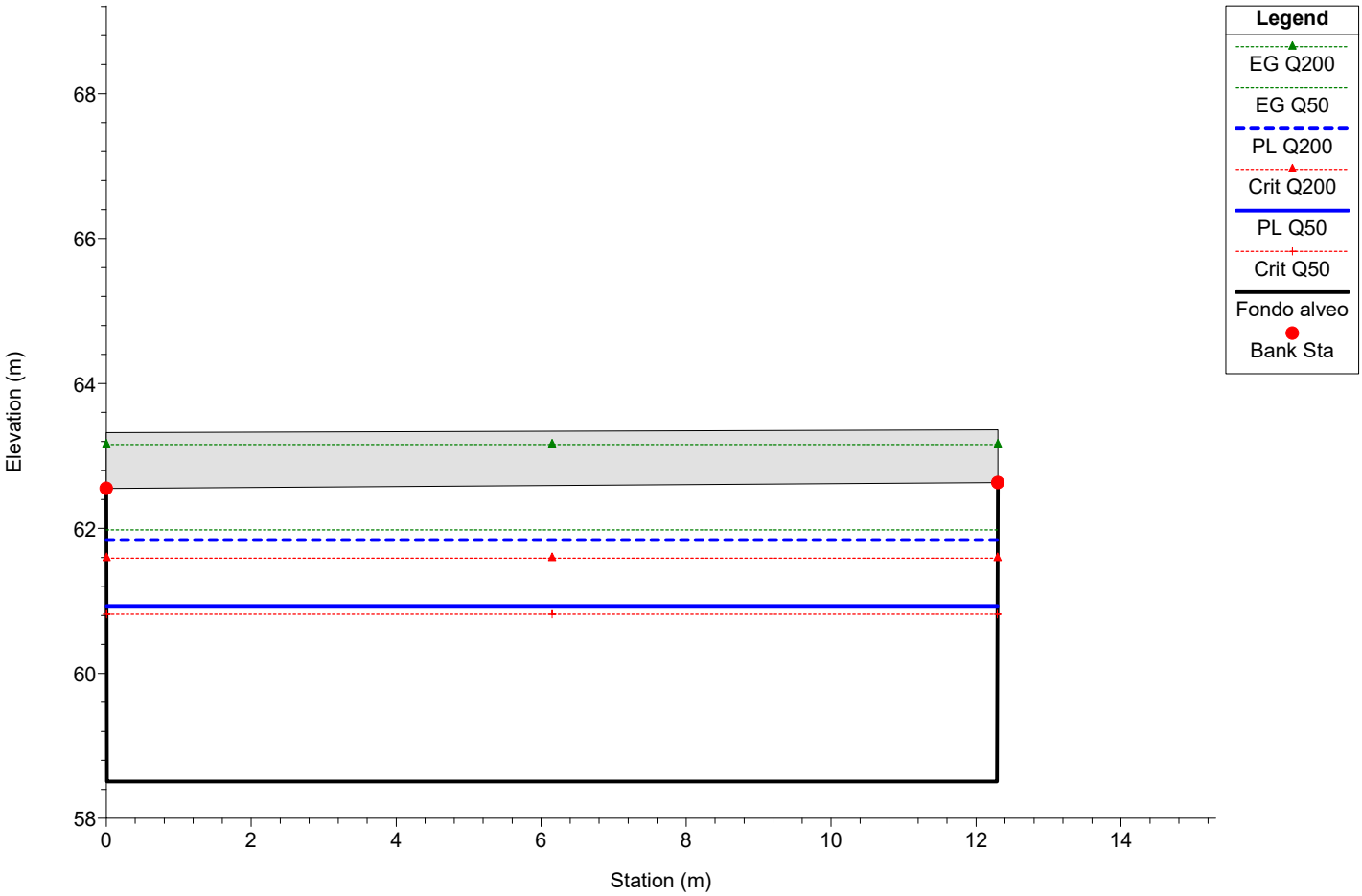
RS = 167.31 STATO DI PROGETTO



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

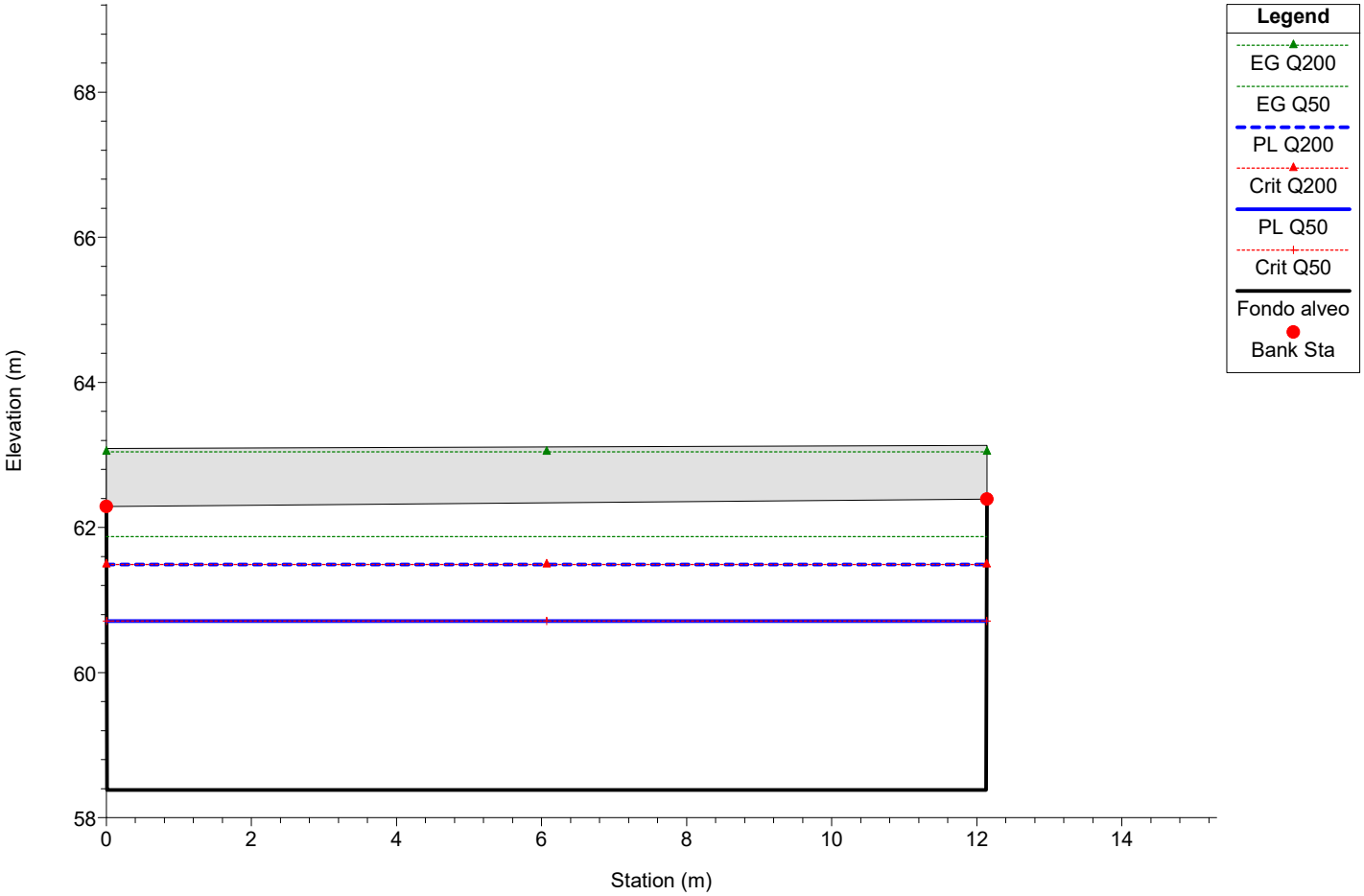
P007-26-GARIBALDO-NE

RS = 160 STATO DI PROGETTO



P007-26-GARIBALDO-NE

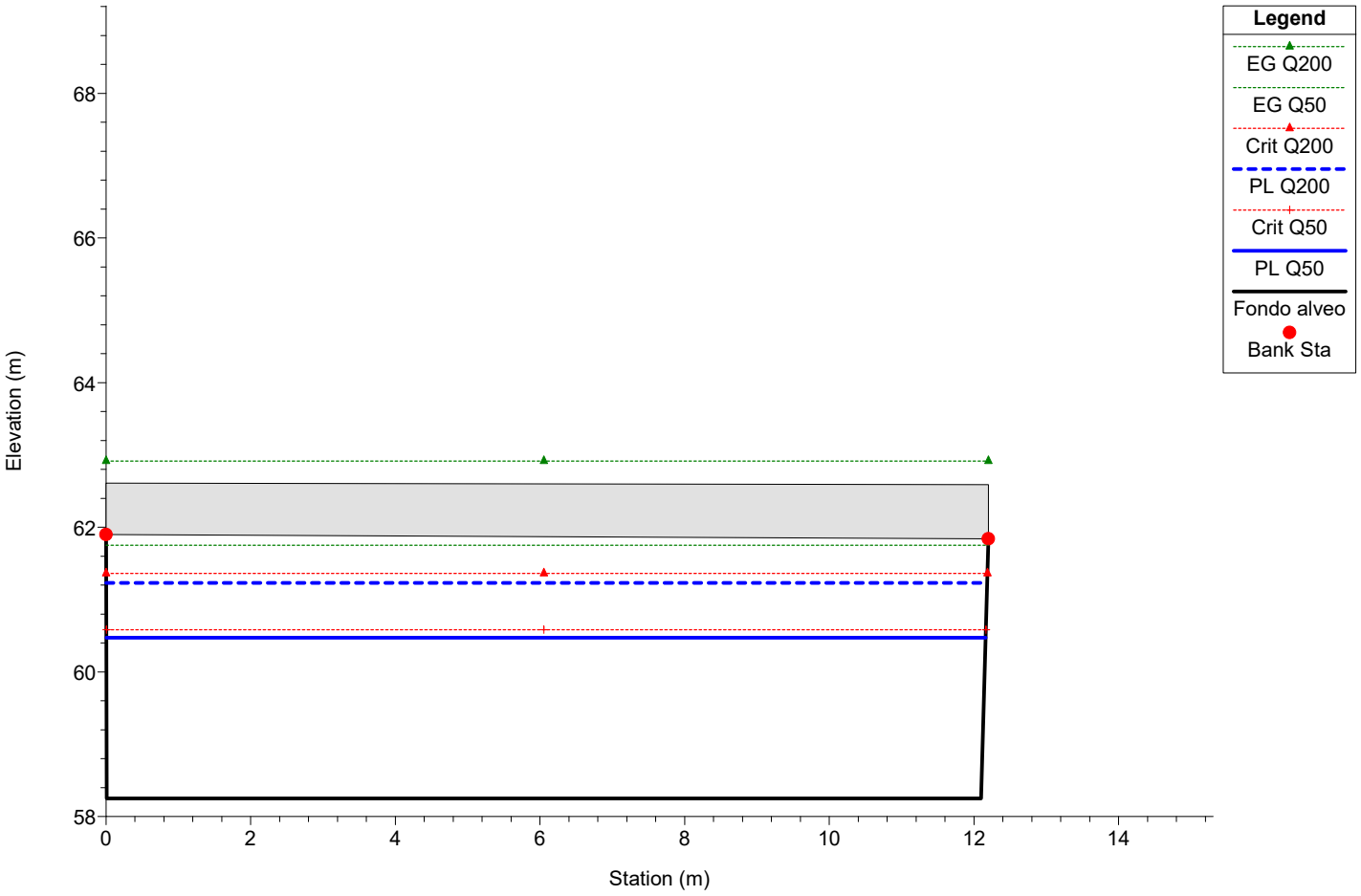
RS = 150 STATO DI PROGETTO



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

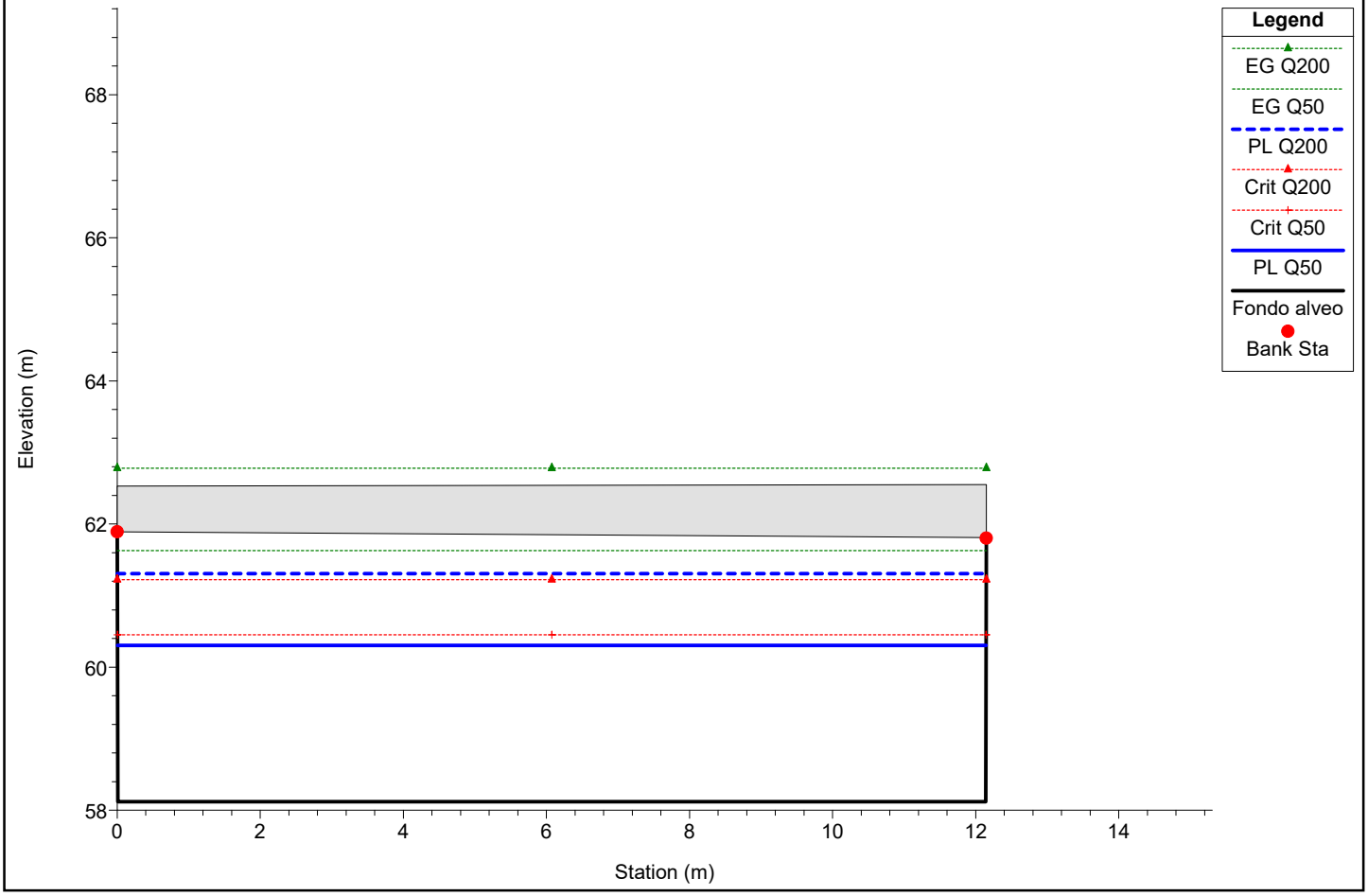
P007-26-GARIBALDO-NE

RS = 140 STATO DI PROGETTO



P007-26-GARIBALDO-NE

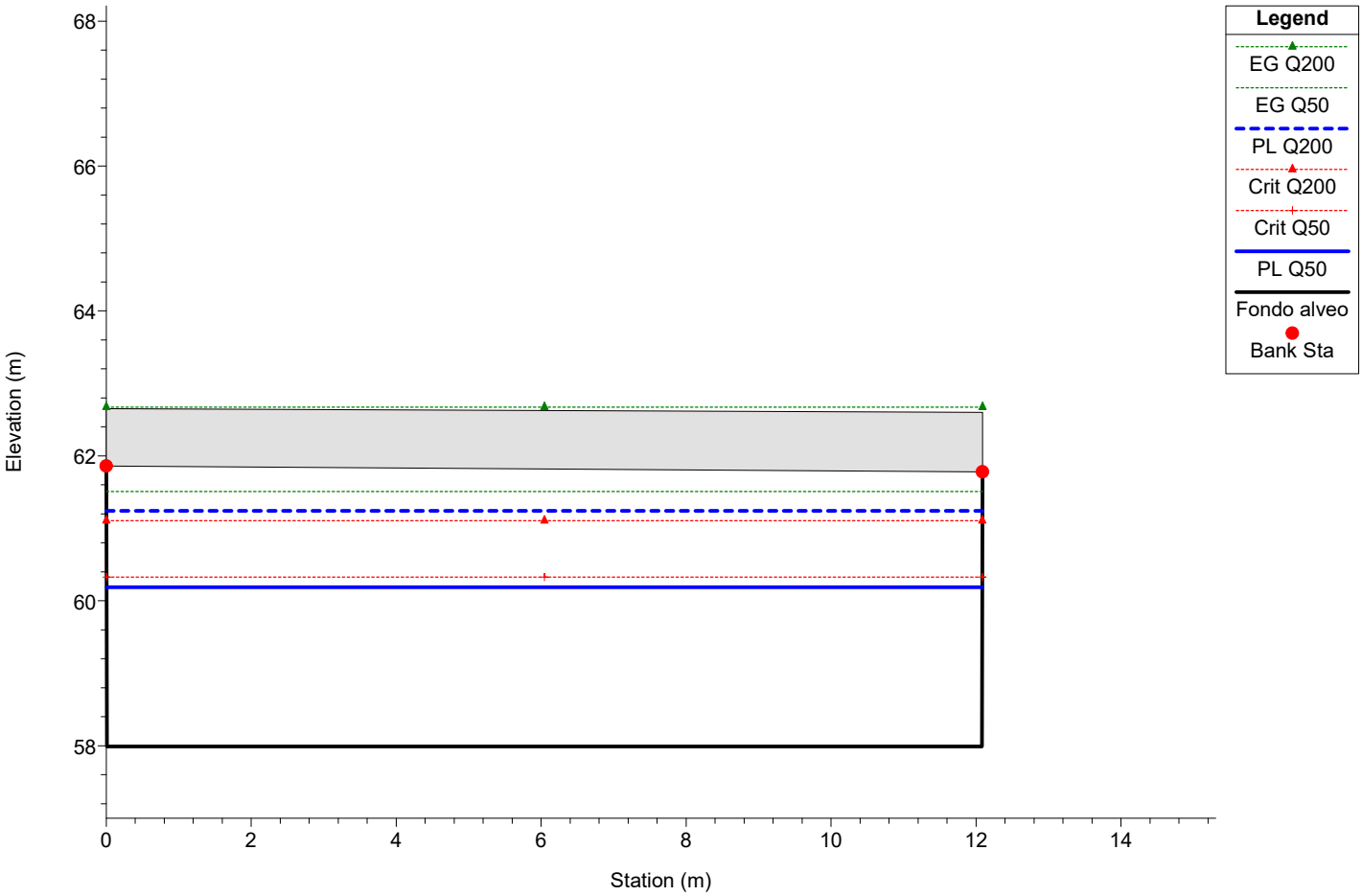
RS = 130 STATO DI PROGETTO



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

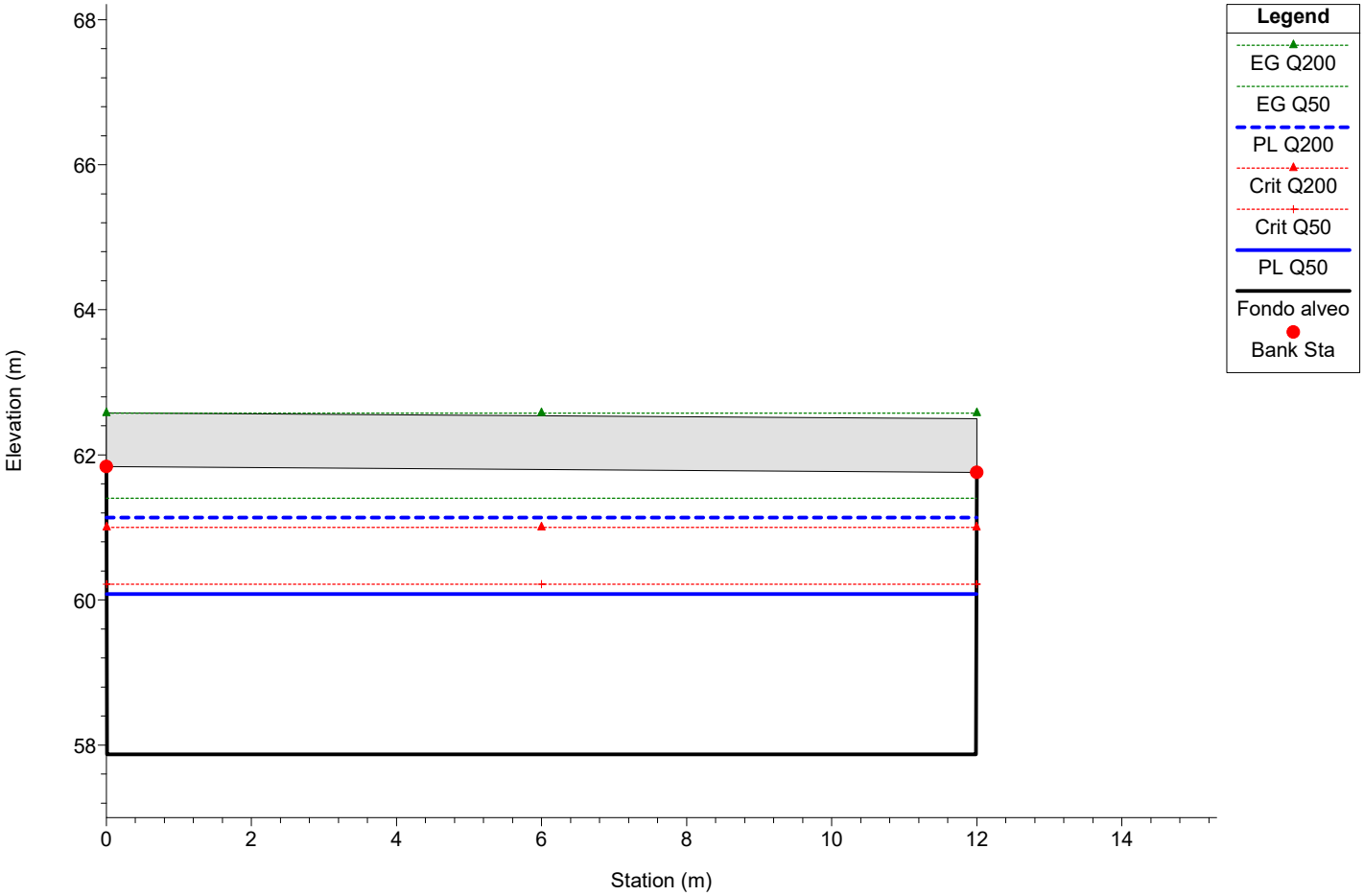
P007-26-GARIBALDO-NE

RS = 120 STATO DI PROGETTO



P007-26-GARIBALDO-NE

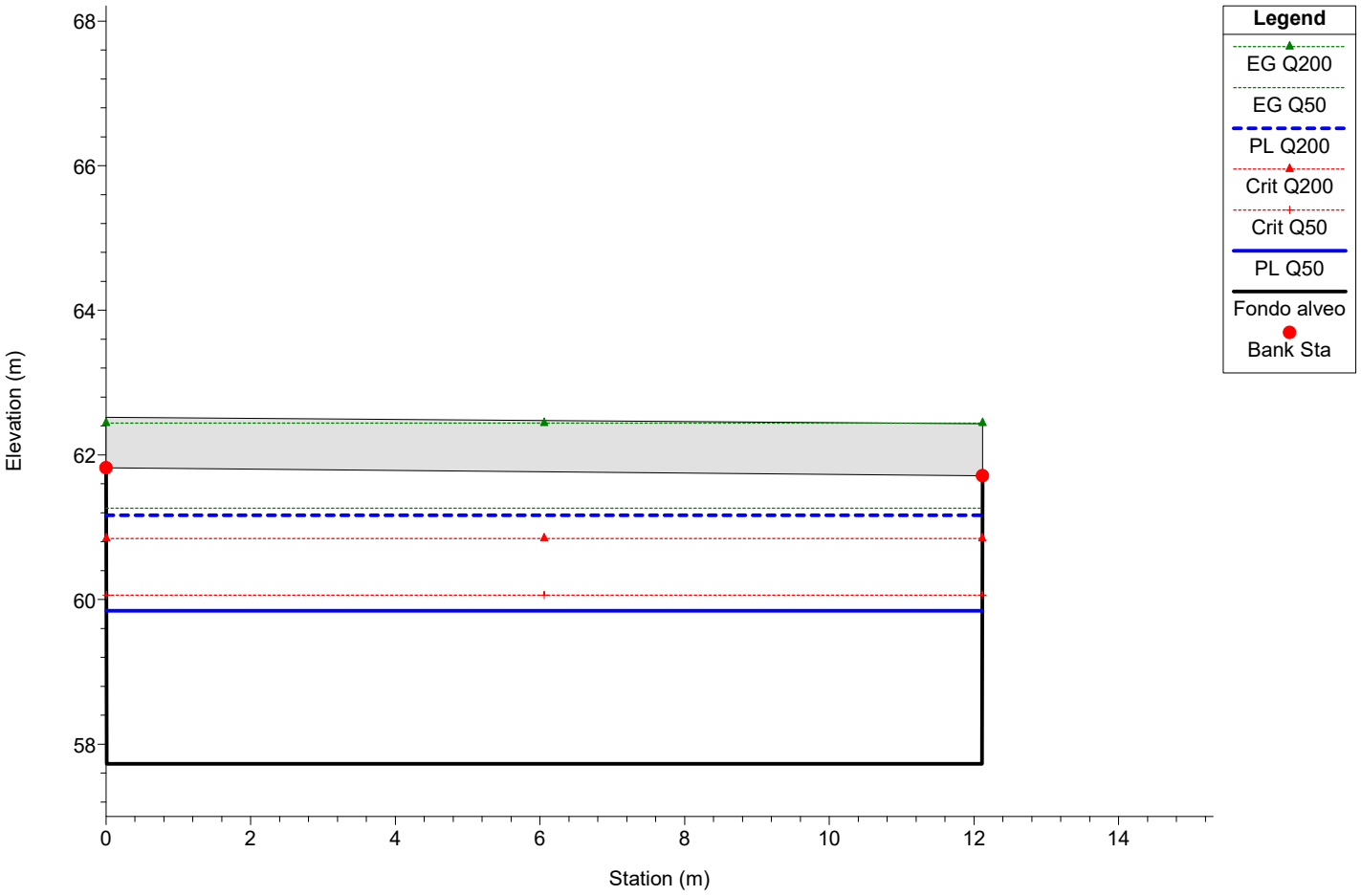
RS = 110 STATO DI PROGETTO



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

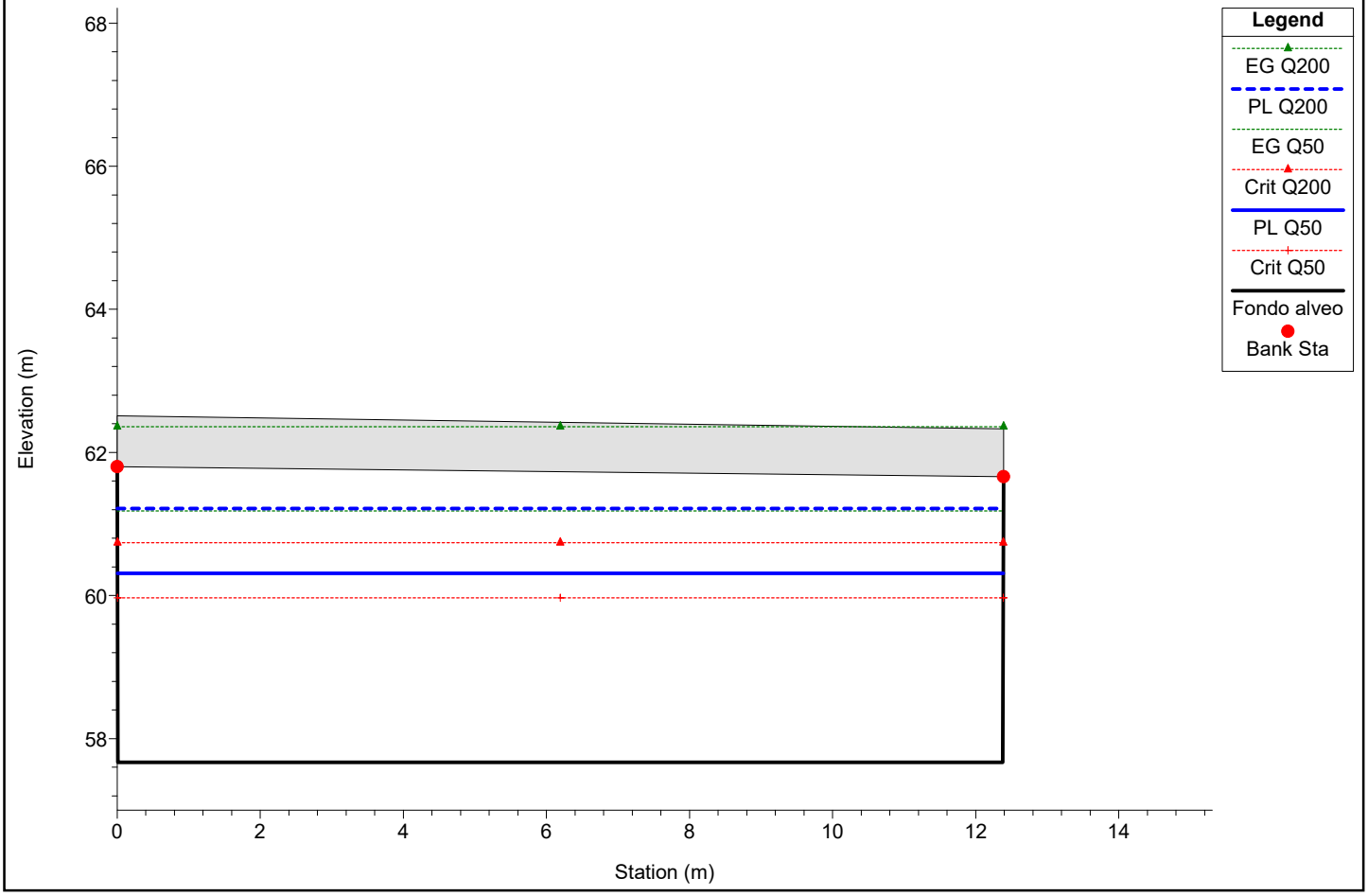
P007-26-GARIBALDO-NE

RS = 100 STATO DI PROGETTO



P007-26-GARIBALDO-NE

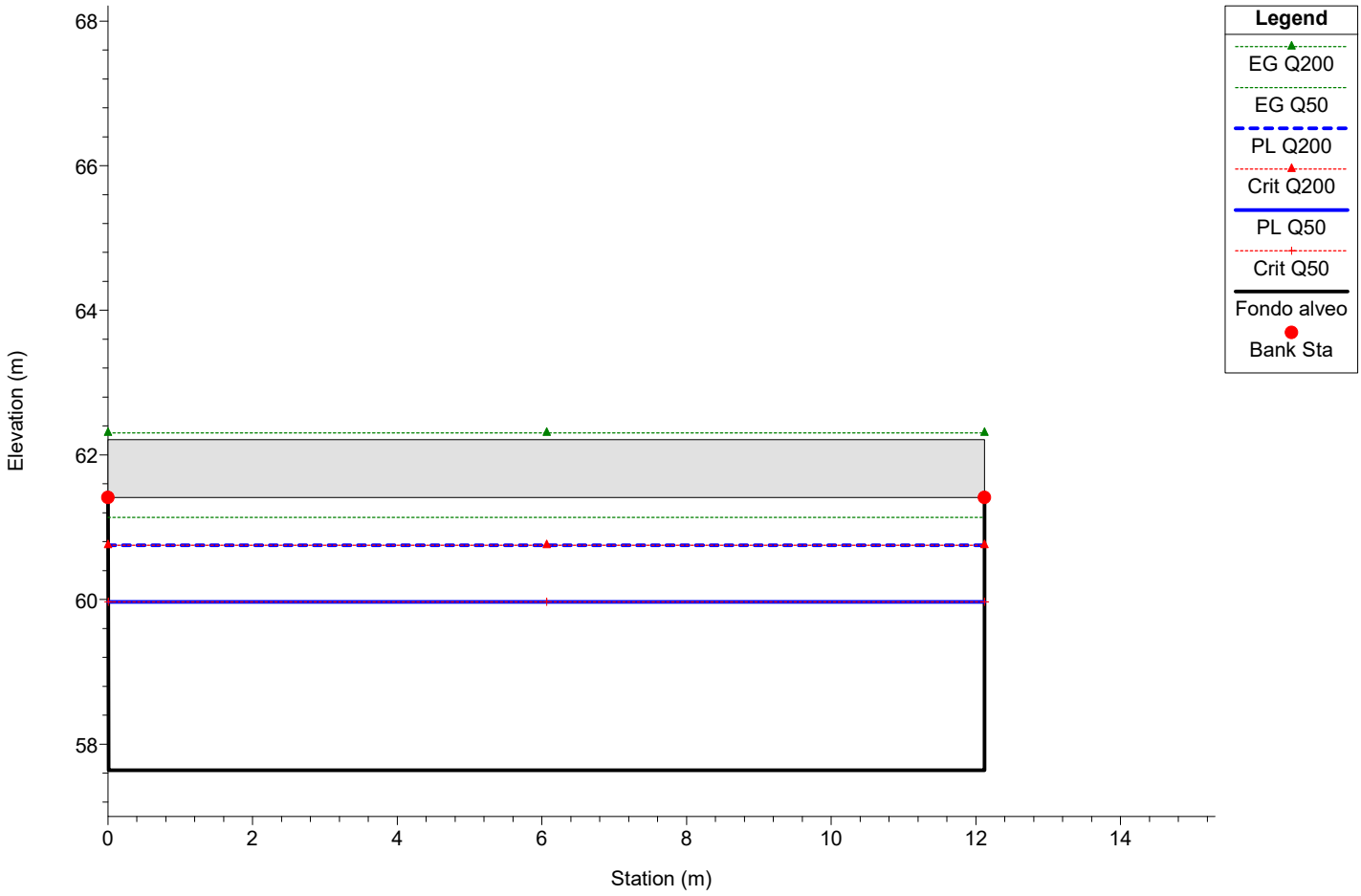
RS = 94.73 STATO DI PROGETTO



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

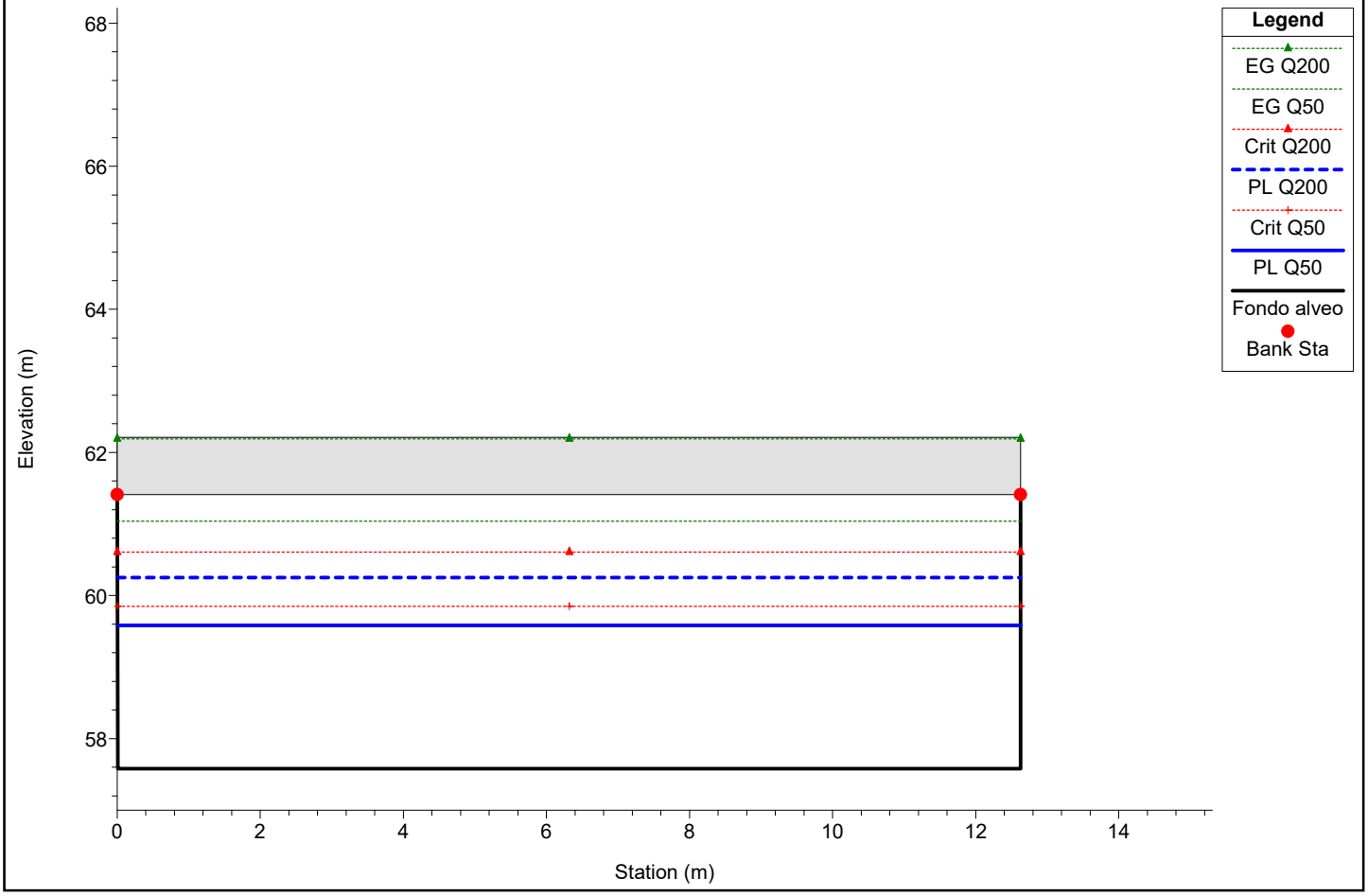
P007-26-GARIBALDO-NE

RS = 92.98 STATO DI PROGETTO



P007-26-GARIBALDO-NE

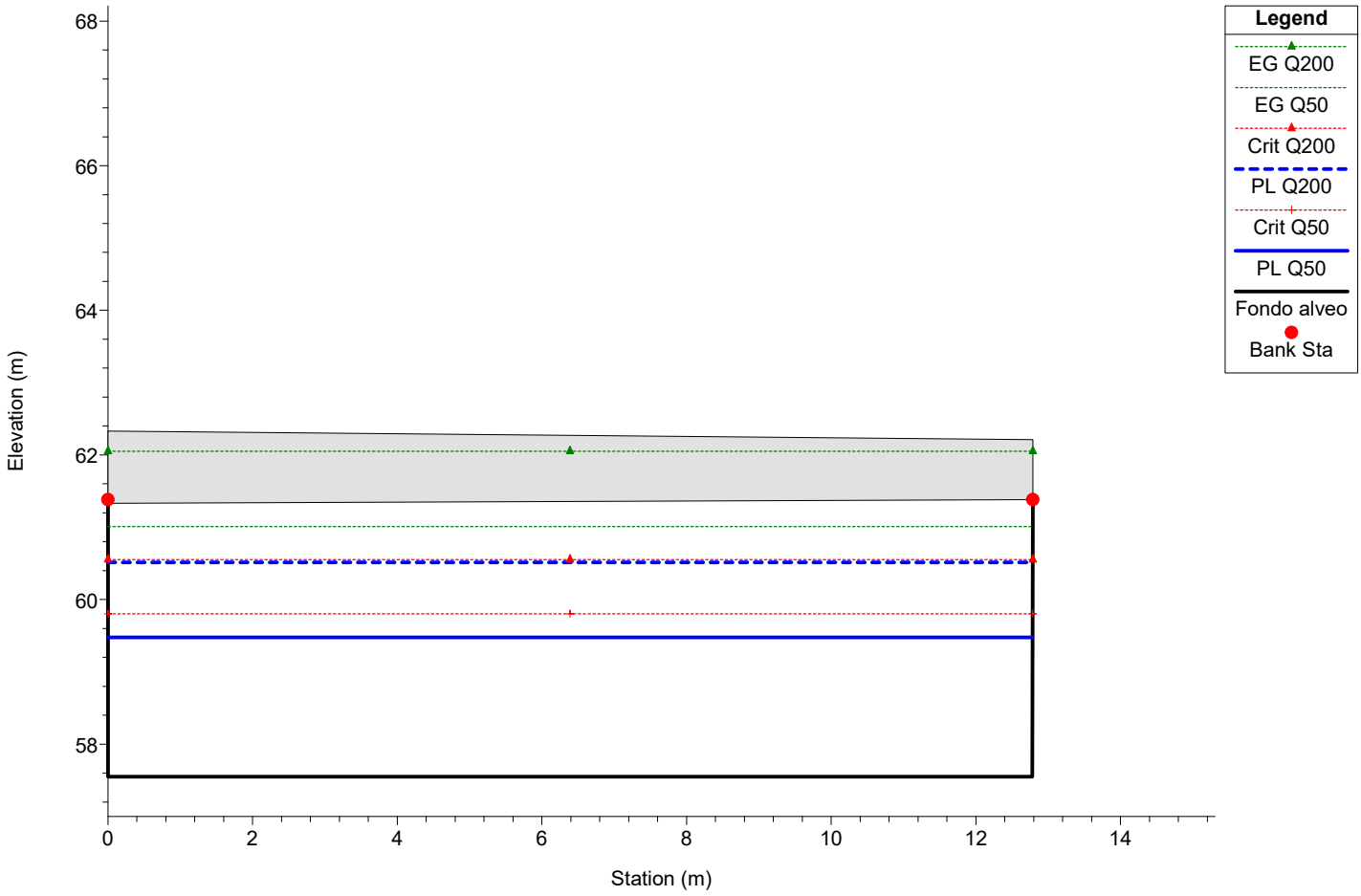
RS = 86.98 STATO DI PROGETTO



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

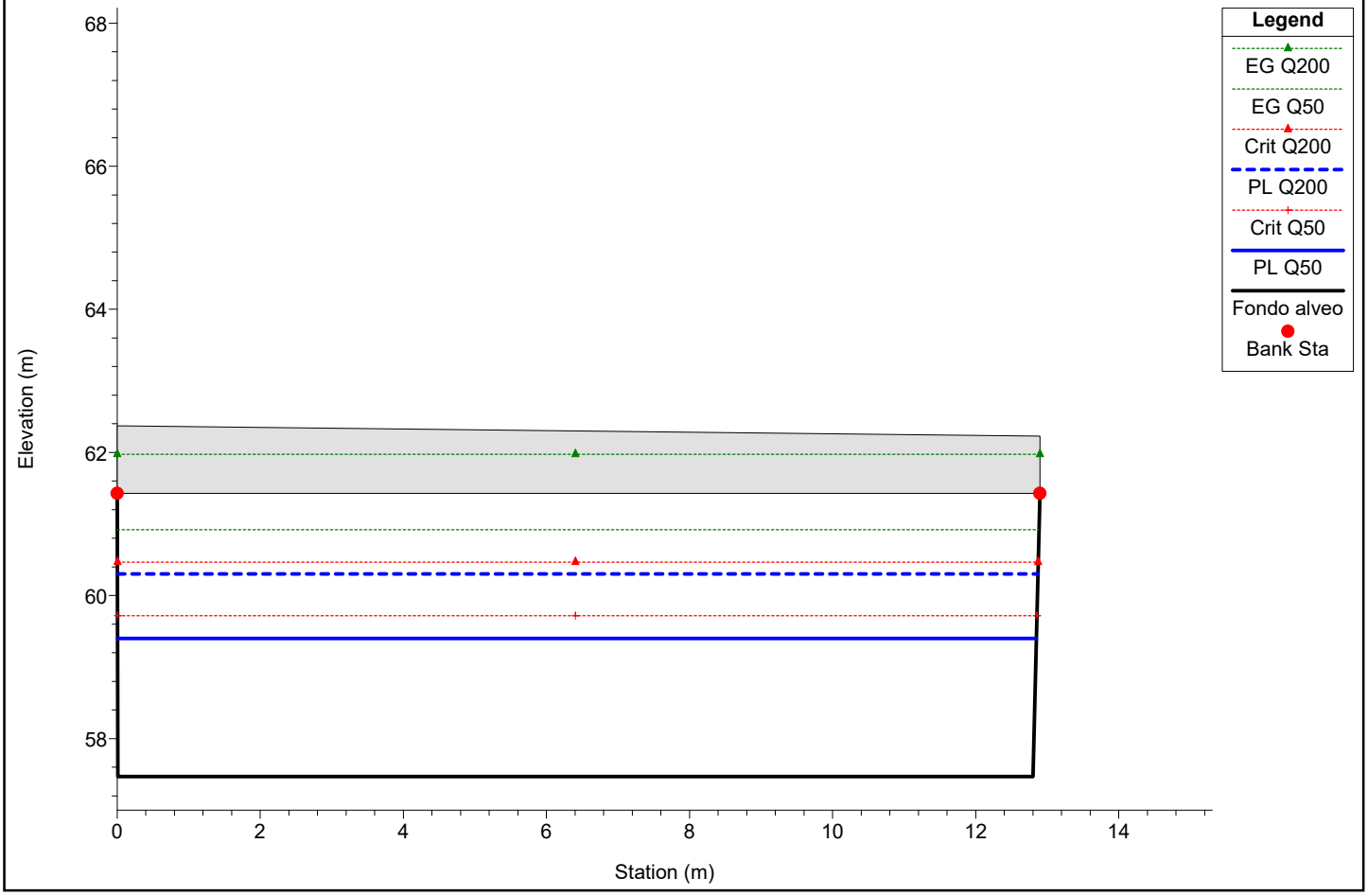
P007-26-GARIBALDO-NE

RS = 85.54 STATO DI PROGETTO



P007-26-GARIBALDO-NE

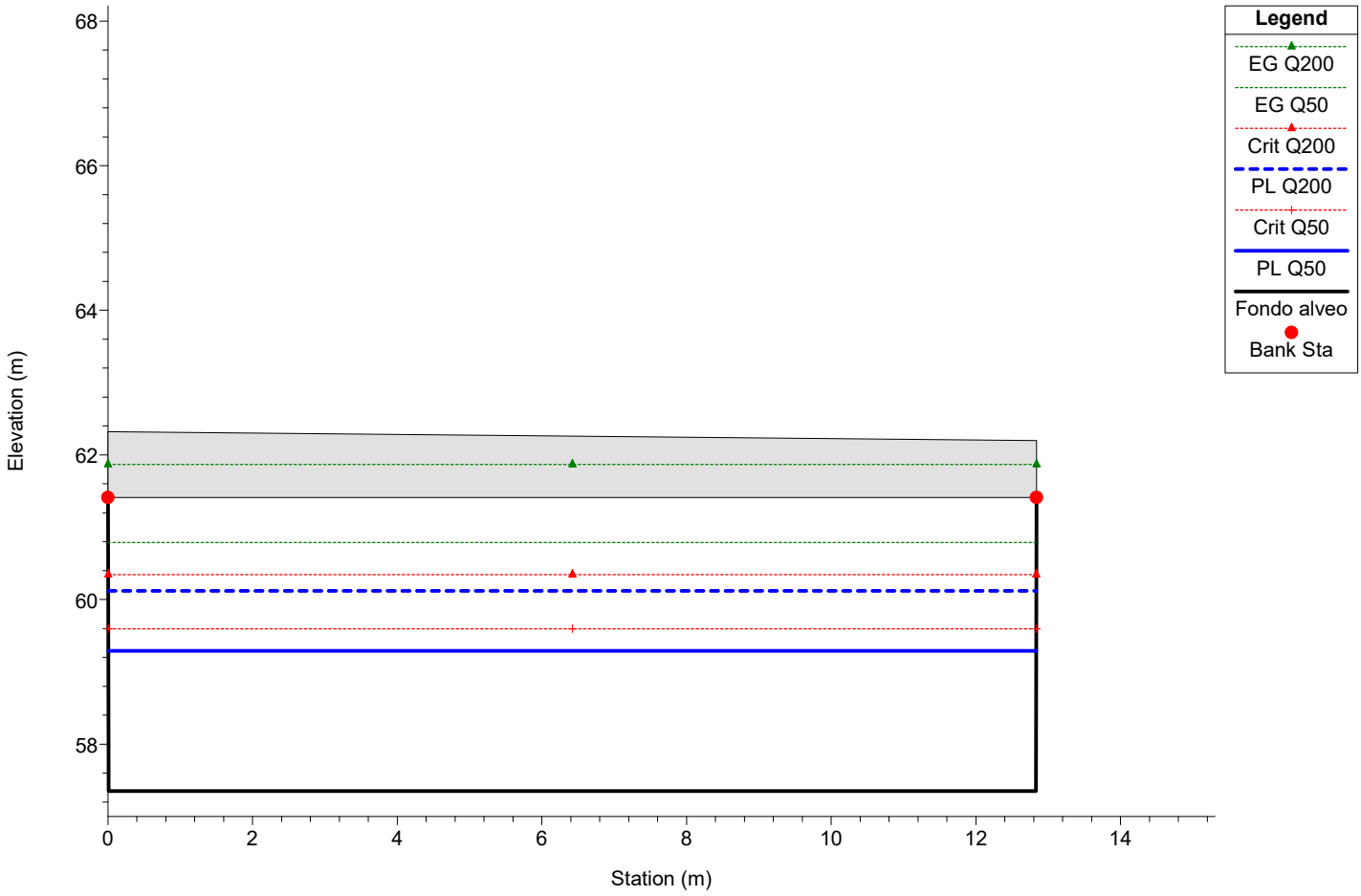
RS = 80 STATO DI PROGETTO



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

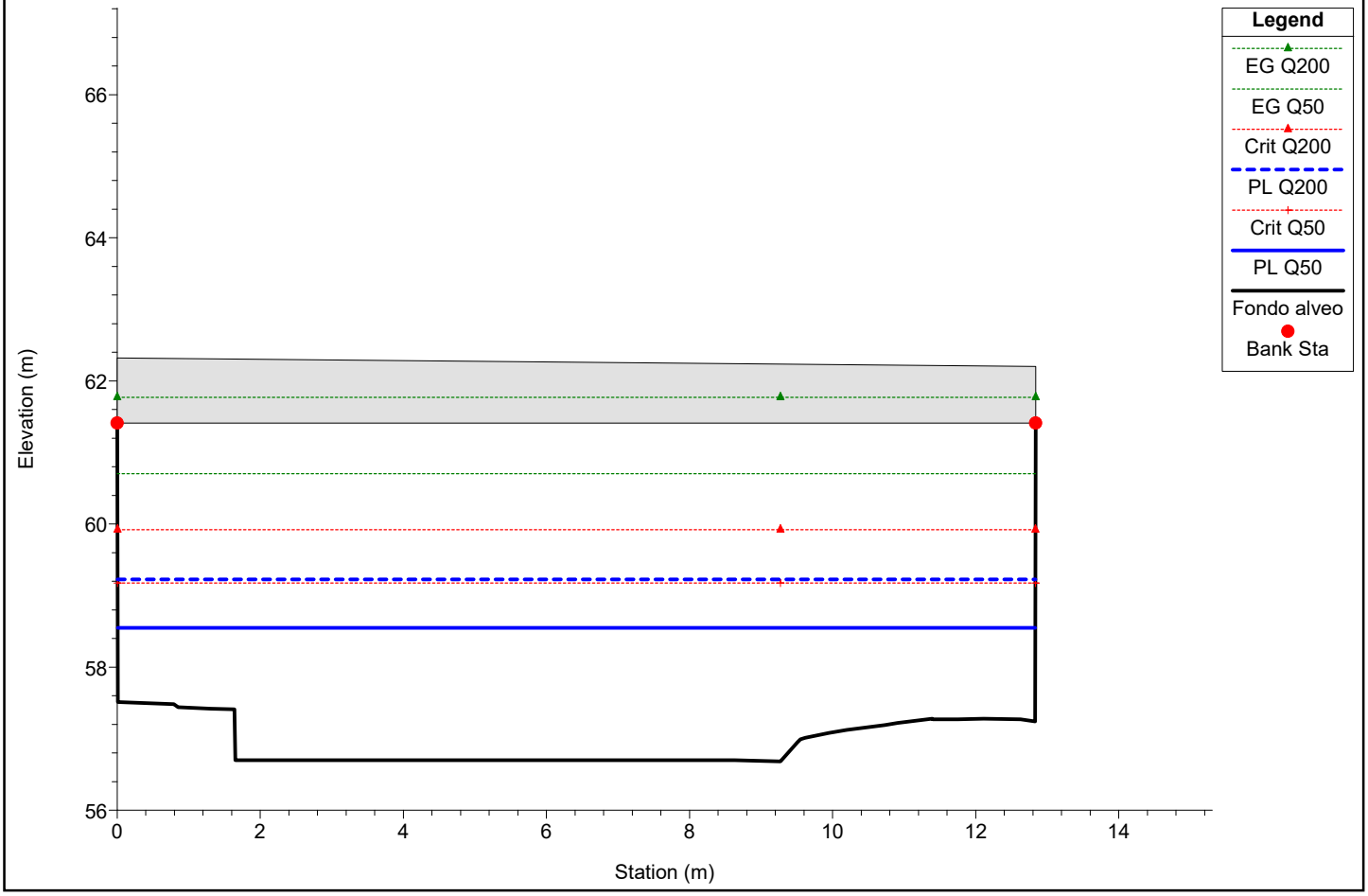
P007-26-GARIBALDO-NE

RS = 72.04 STATO DI PROGETTO



P007-26-GARIBALDO-NE

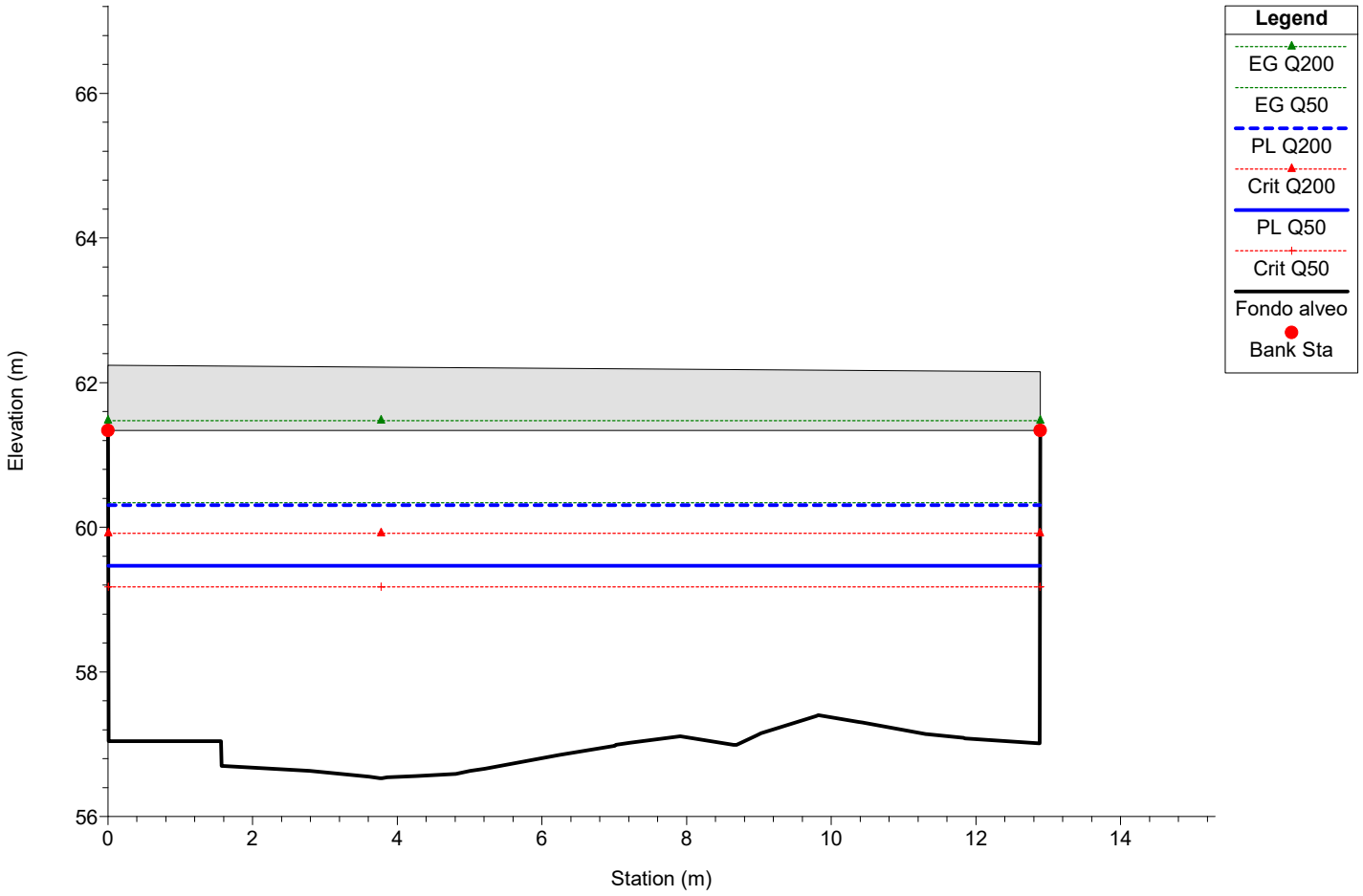
RS = 70.9 STATO DI PROGETTO



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

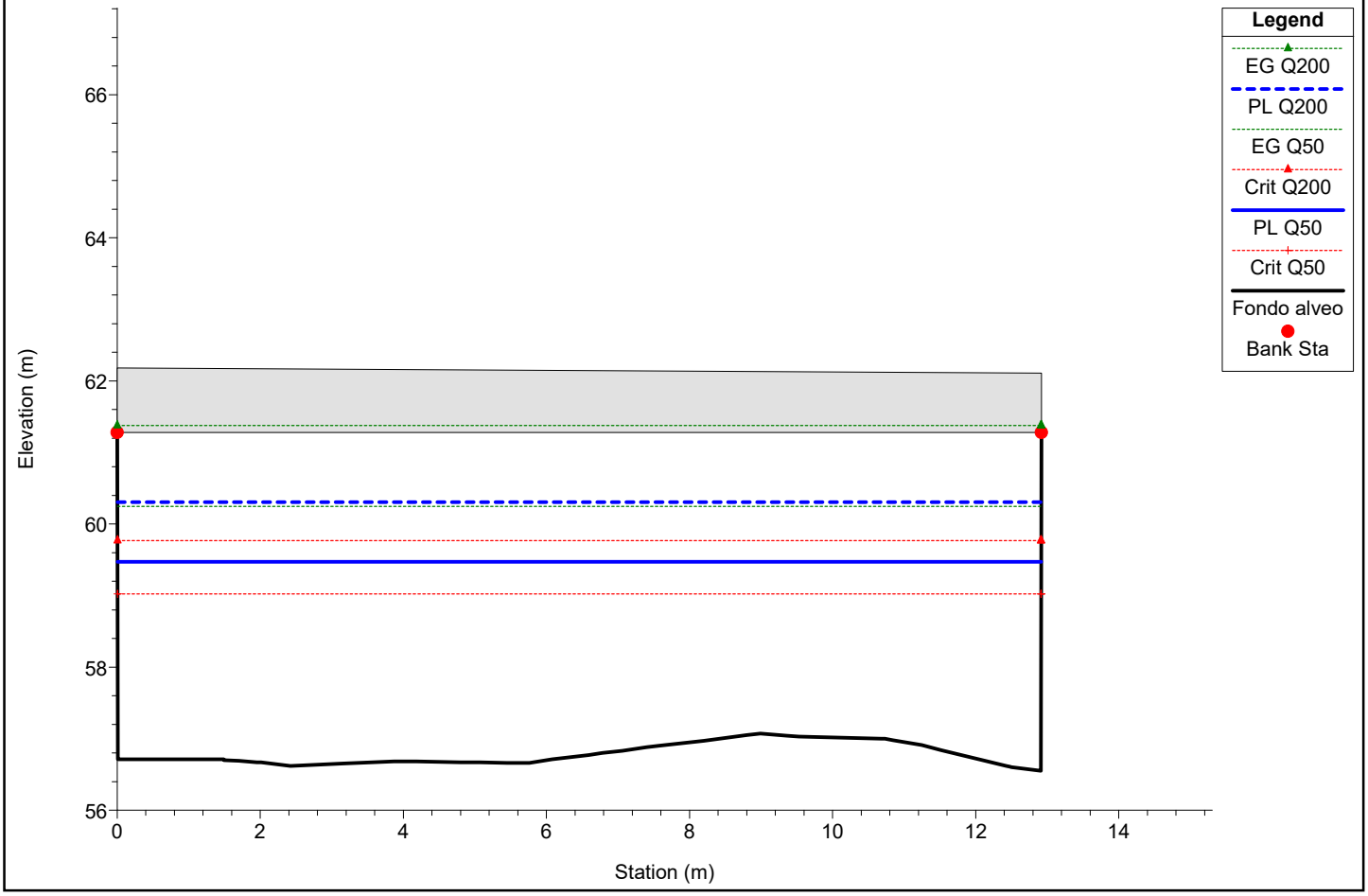
P007-26-GARIBALDO-NE

RS = 60 STATO DI PROGETTO



P007-26-GARIBALDO-NE

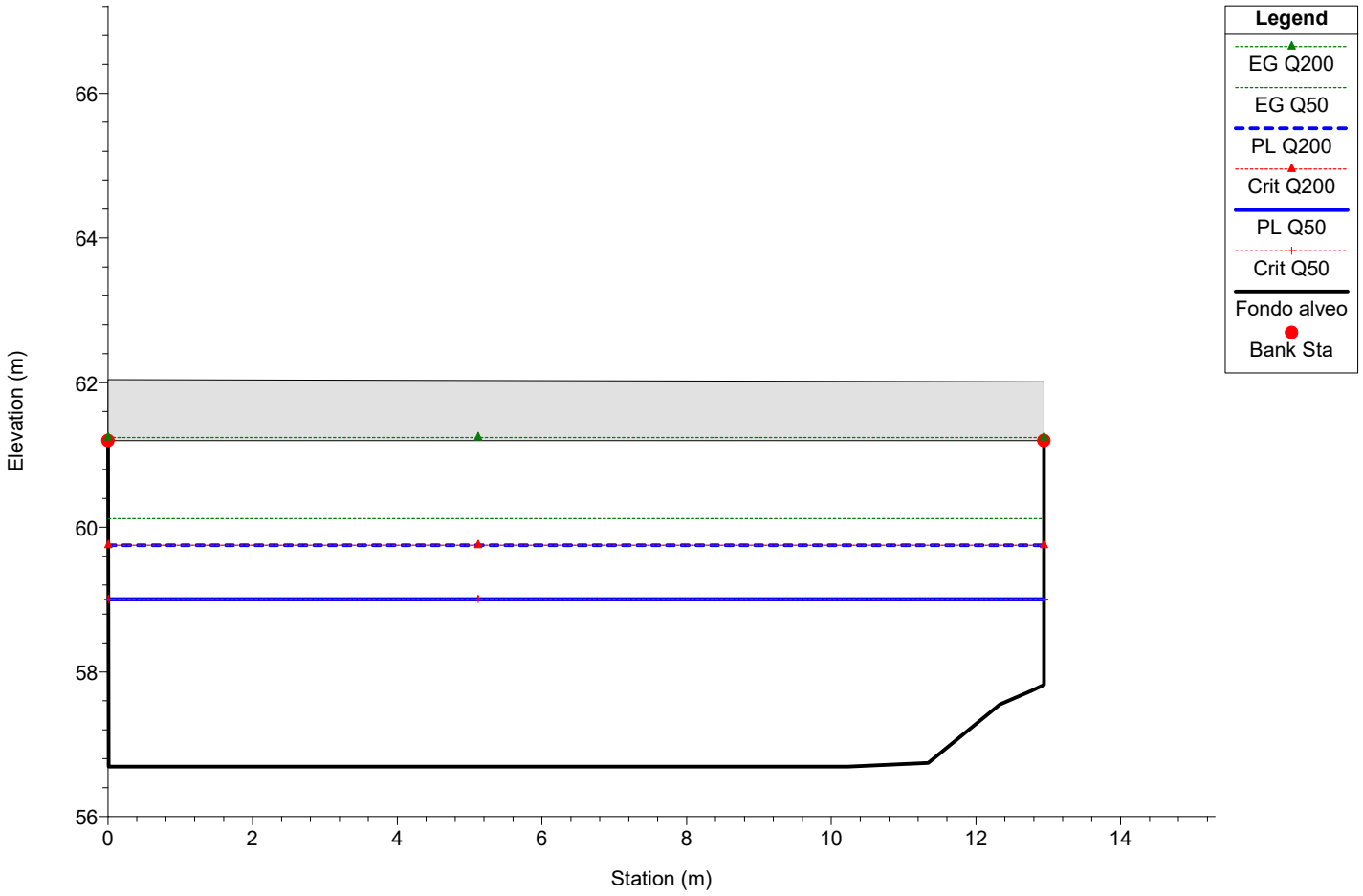
RS = 50 STATO DI PROGETTO



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

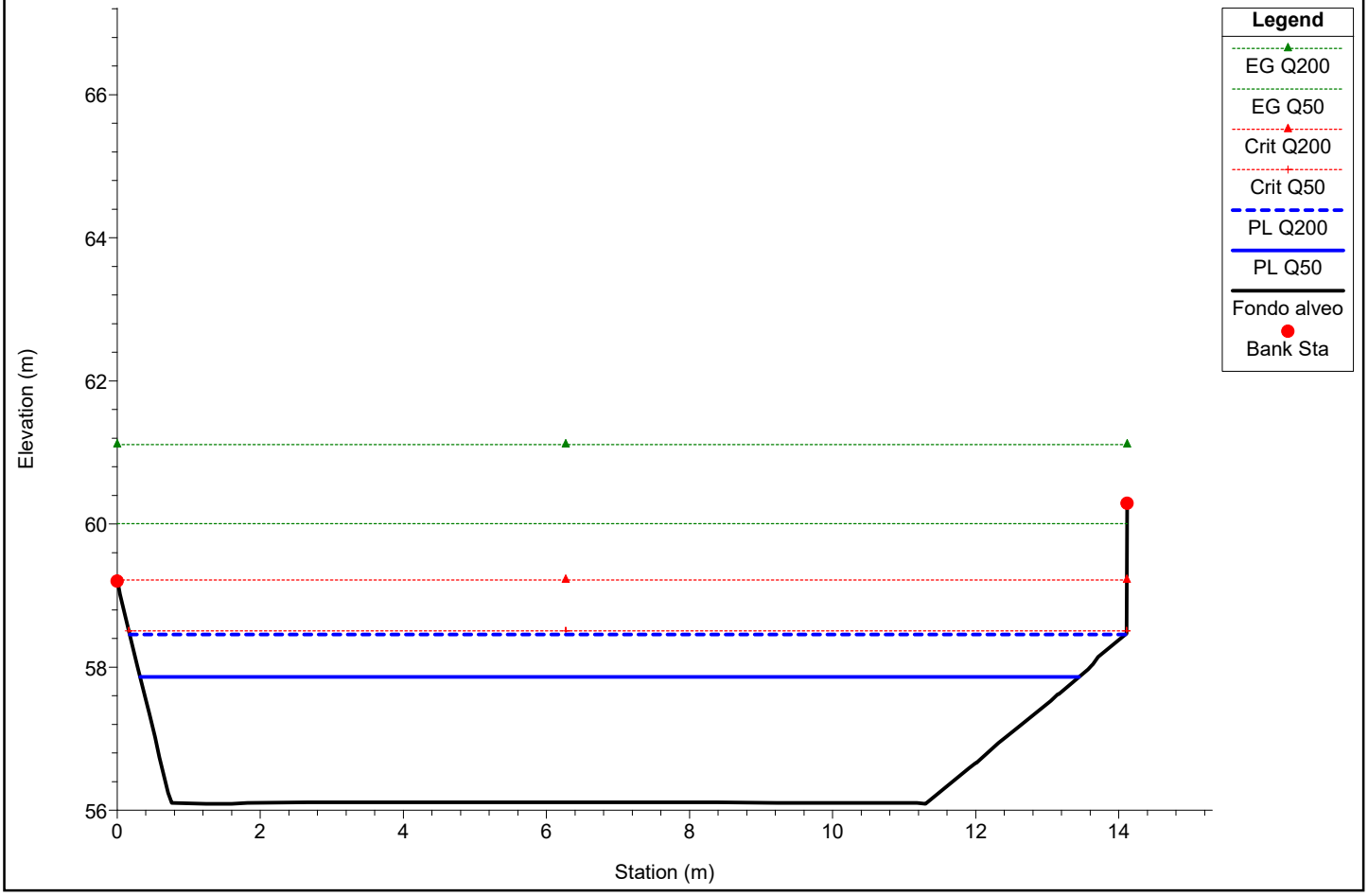
P007-26-GARIBALDO-NE

RS = 37.92 STATO DI PROGETTO



P007-26-GARIBALDO-NE

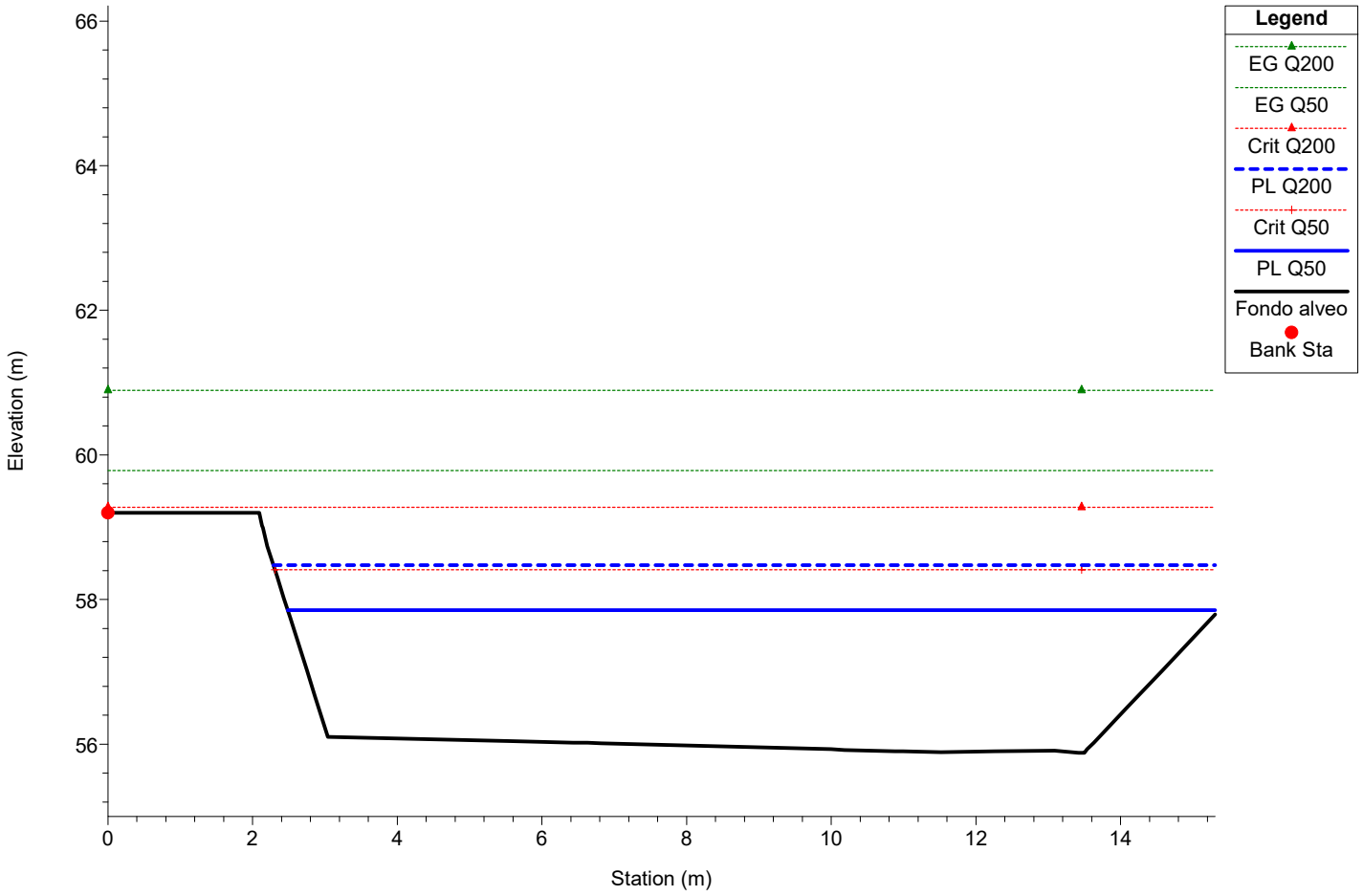
RS = 37.1 STATO DI PROGETTO



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

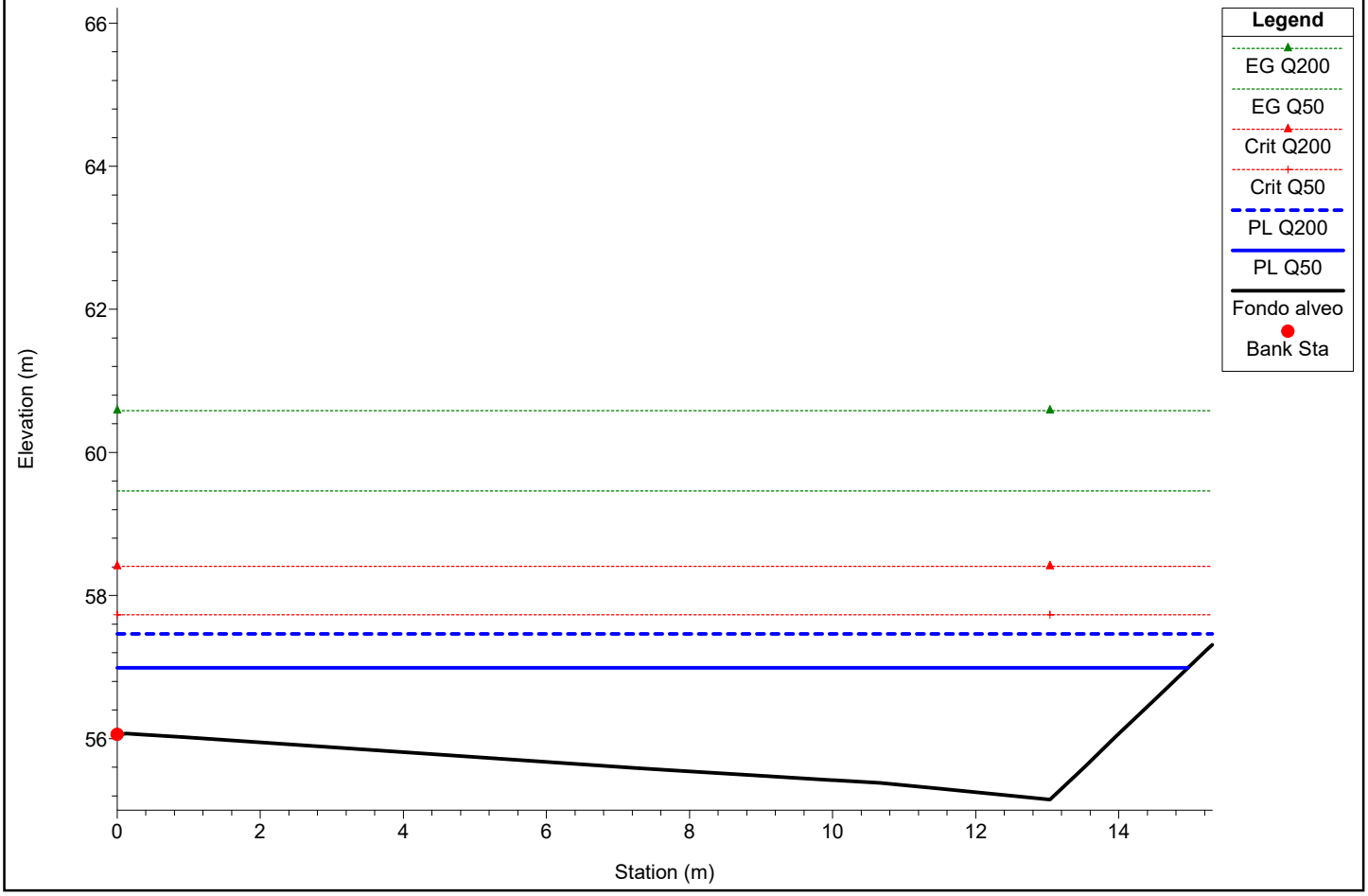
P007-26-GARIBALDO-NE

RS = 30 STATO DI PROGETTO



P007-26-GARIBALDO-NE

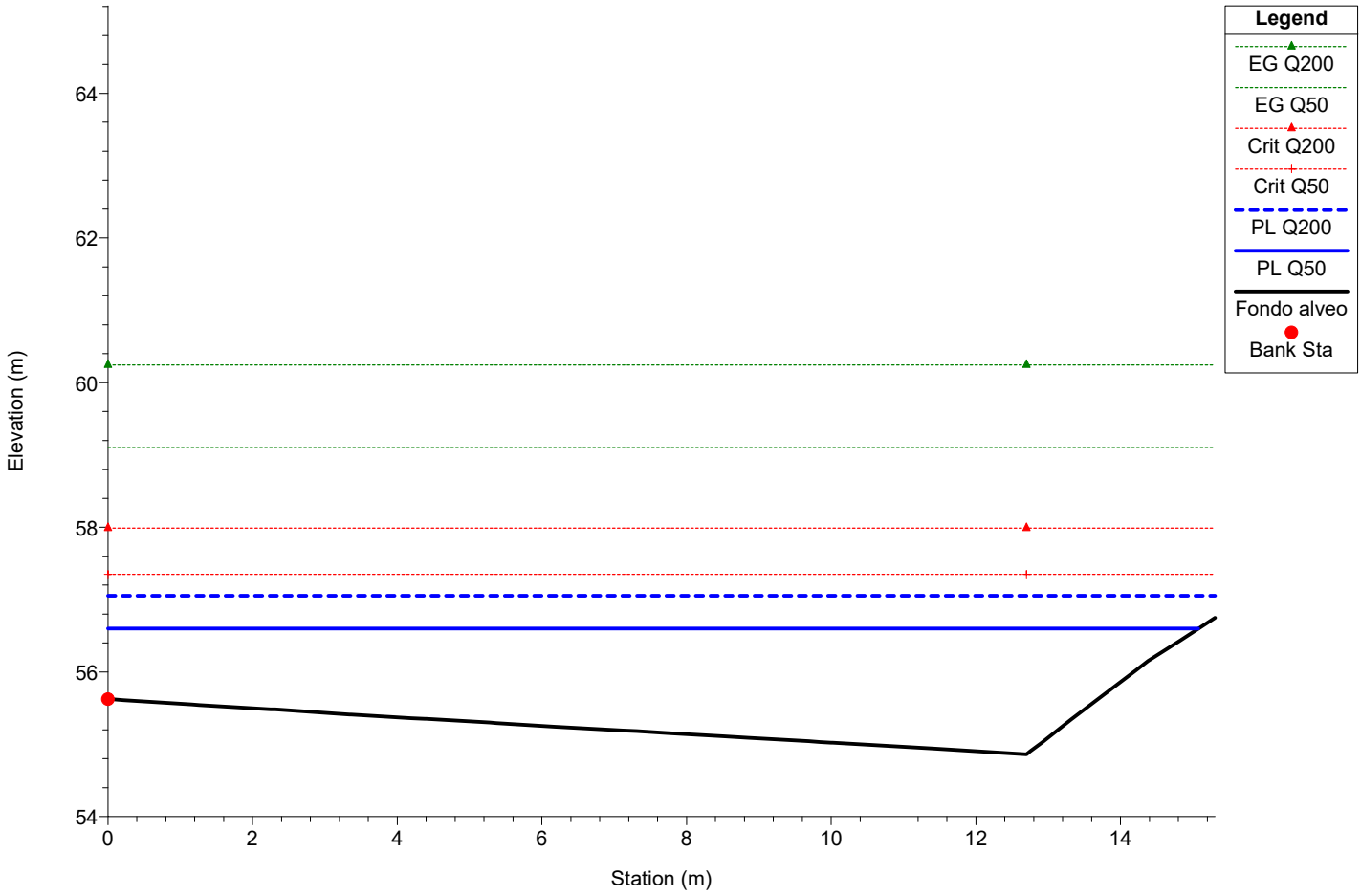
RS = 20 STATO DI PROGETTO



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

P007-26-GARIBALDO-NE

RS = 10 STATO DI PROGETTO



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

APPENDICE 1

SOFTWARE DI CALCOLO HEC-RAS 6.6

Il software di calcolo *Hec-Ras* della US Army Corps of Engineers consente il calcolo dell'andamento dei profili di rigurgito in moto permanente gradualmente variato in alvei naturali o canali artificiali e 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 valore del coefficiente n è determinato secondo la procedura sviluppata da Cowan selezionando le caratteristiche più rilevanti ai fini della quantificazione dell'indice di resistenza.

Il termine *he* 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 tombinature (*bridge* and *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 scavalcamento 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.

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 scavalcamento del ponte (stramazzo) l'entità delle portate stramazzanti e defluenti al di sotto dell'impalcato

viene determinata attraverso una procedura iterativa combinando le equazioni che regolano i due fenomeni.

Il modello consente inoltre il calcolo del funzionamento in pressione di coperture, scatolari, tombinature e della portata esondata lungo le sponde nei tratti a cielo aperto quando il livello superi le quote di sommità arginale (*lateral structure*).

Nel rispetto dell'equazione di continuità il programma fornisce in quest'ultimo caso per ciascuna configurazione di portata imposta da monte l'entità delle portate esondate per ciascuno stramazzo laterale e la portata residua di valle, con i rispettivi livelli.