

GREENWAY DEL MELLA :**LOTTO1 - INTERVENTI PER LA MOBILITA' SOSTENIBILE -
REALIZZAZIONE PASSERELLA CICLOPEDONALE SUL FIUME MELLA E
PERCORSI CICLABILI DI COLLEGAMENTO***PNRR, Missione 5, Componente 2, Investimento 2.1 (M5.C2 - inv.2.1)*

("Investimenti in progetti di rigenerazione urbana volti a ridurre situazioni di emarginazione e degrado sociale").

**Finanziato
dall'Unione europea**
NextGenerationEU**CUP:** C87H22003320001**fase:** PROGETTO DEFINITIVO**committente:** **Comune di Brescia**

via Marconi 12 - 25128 Brescia

t: +39 0302978641

mobilita@comune.brescia.it - mobilitaetraffico@pec.comune.brescia.it

Settore Mobilità Eliminazione Barriere Architettoniche e Trasporto Pubblico

Responsabile di Settore: ing. Stefano Sbardella

RUP in fase di progettazione : geom. Michele Mombelli

progettista: **Brescia Infrastrutture s.r.l.**

Via Triumplina, n° 14 - 25123 Brescia

t: +39 030 3061400 f: +39 030 3061401

info@bresciainfrastrutture.it - www.bresciainfrastrutture.it

Direttore Tecnico Generale: ing. Alberto Merlini

Responsabile di progetto: arch. Stefano Bordoli

gruppo di progettazione: arch. Andrea Piu
arch. Paola Daleffe
arch. Stefano Morini
arch. Alessandro Facchi
geom. Francesco Penocchio

strutture: ing. Massimo Torquati

coordinatore della sicurezza
in fase di progettazione: ing. Pasqualina Clausiidraulica: ing. Enrico Corinaldesi
via Montello 83 - Brescia
mobile: +39 339 8876149
ingenricocorinaldesi@gmail.com**elaborato:** 87_TIC112 | D | 203 | II2.3 | 01 | P | Verifica di compatibilità idraulica**scala:** 1:200

revisione:	REVISIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	DESCRIZIONE
	00	08.03.2023	E. Corinaldesi	Stefano Bordoli	PRIMA EMISSIONE
	01	30.03.2023	E. Corinaldesi	Stefano Bordoli	SECONDA EMISSIONE
	-	-	-	-	-
	-	-	-	-	-

1. Premesse

La presente relazione è redatta al fine della verifica idrologico - idraulica delle sezioni idrauliche nel tratto di fiume Mella, a valle del ponte dell'autostrada A4, finalizzata ad appurare se l'intervento di realizzazione di una nuova passerella ciclo-pedonale, che congiunga il territorio comunale di Brescia con quello di Roncadelle, sia compatibile o meno con il regime delle acque.

Il tratto analizzato ha una lunghezza di circa 440 m., partendo da una sezione appena a monte dell'autostrada ed esteso per circa 120 m. a valle della sezione (n°3) dove è prevista la realizzazione della passerella.

Scopo del presente lavoro è, pertanto, verificare che in occasione dell'evento di piena considerato come indice ($T_r = 200$ anni) l'opera in progetto sia compatibile in ottemperanza a quanto indicato della Direttiva n°4 (P.A.I.), approvata con delibera del Comitato Istituzionale n°2 in data 11.05.1999 ed aggiornata con delibera n°10 del suddetto C.I. del 05.04.2006.

Tale Direttiva, all'Allegato n°1, richiede in sostanza quanto segue.

Fisso restando che la valutazione di compatibilità idraulica debba essere definita caso per caso ed in funzione della specificità del progetto, in linea generale si evidenzia che:

- a) Le opere previste in progetto non devono significativamente interferire sul profilo inviluppo di piena;
- b) Le stesse opere non devono ridurre la capacità di invaso dell'alveo;
- c) Va studiata l'interferenza di quanto previsto in progetto con le opere di difesa idrauliche esistenti (sponde ed argini);
- d) Le opere in progetto devono essere adeguatamente protette ed inserite nel sistema fluviale;
- e) Vanno evidenziate le modifiche indotte dalle opere in progetto sia sull'assetto morfologico piano altimetrico che su quello naturale e paesaggistico;
- f) Va, infine, verificata la condizione di sicurezza dell'intervento rispetto alla piena.

Nel caso in esame, come detto, si tratta di realizzare una passerella ciclo pedonale che collegherà la pista ciclabile che scorre lungo le due sponde arginali del fiume Mella.

L'opera da realizzare è rappresentata nella tavola grafica dell'**all.1**, a firma dello studio tecnico degli ingg. Gregorelli Ettore e Marco.

Trattasi di un manufatto in acciaio, della lunghezza di circa 45,00 m. e di larghezza massima di 4,35 m., posizionato sulla sez. n°3 identificata nel rilievo topografico riportato nella planimetria dell'**all.2**.

Il lavoro svolto si compone di diverse sezioni, poi analizzate nel dettaglio, che fanno capo a:

- l'analisi del bacino idrografico del fiume Mella;
- l'analisi idrologica con l'indicazione della portata al colmo per il tempo di ritorno $T_r = 200$ anni;

- la verifica idraulica delle sezioni trasversali del corso d'acqua al passaggio della suddetta portata $Q_{Tr} = 200$ anni.

2. Mappatura del rischio idraulico-caratterizzazione dell'alveo del fiume Mella

Il tratto di fiume in esame ricade cartograficamente nella sezione D6b1 della Carta Tecnica Regionale a scala 1:10.000 ed è ubicato ad una quota media di circa 125 m.s.l.m., come riportato nelle figure n°1 e n°2 seguenti.

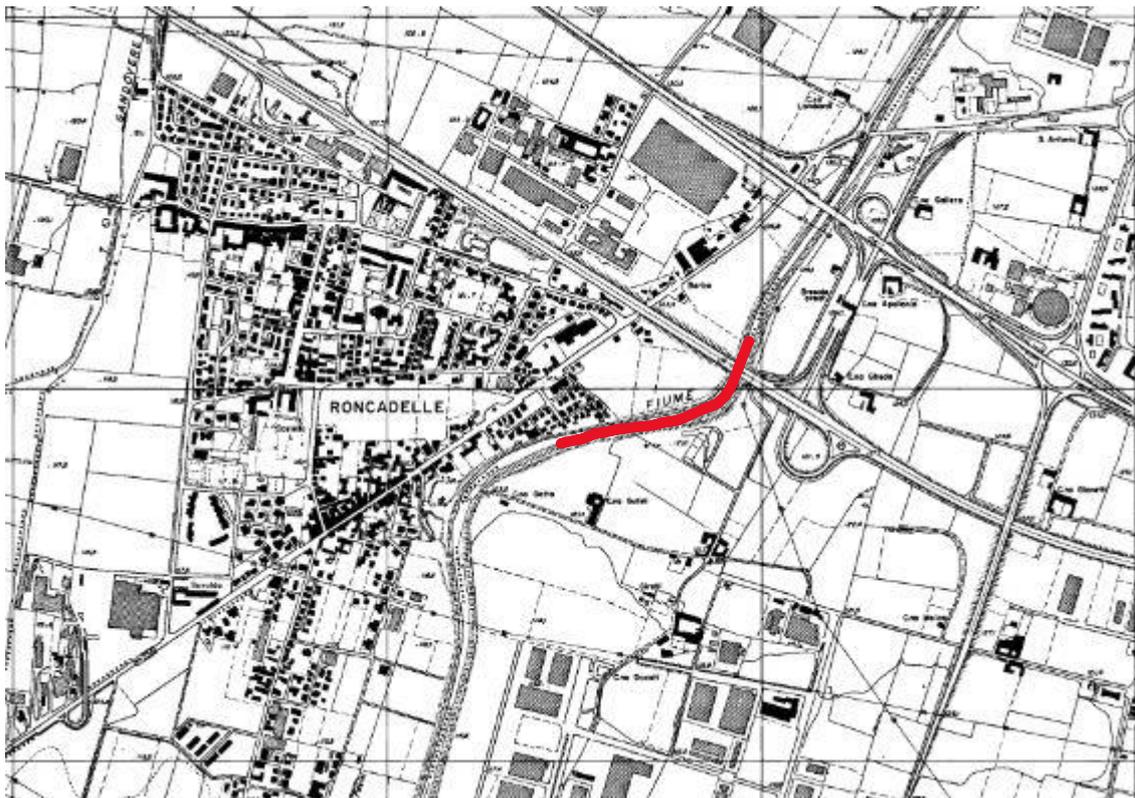


Fig. 1 – Estratto C.T.R. – sez. D6b1-tratto di fiume Mella verificato

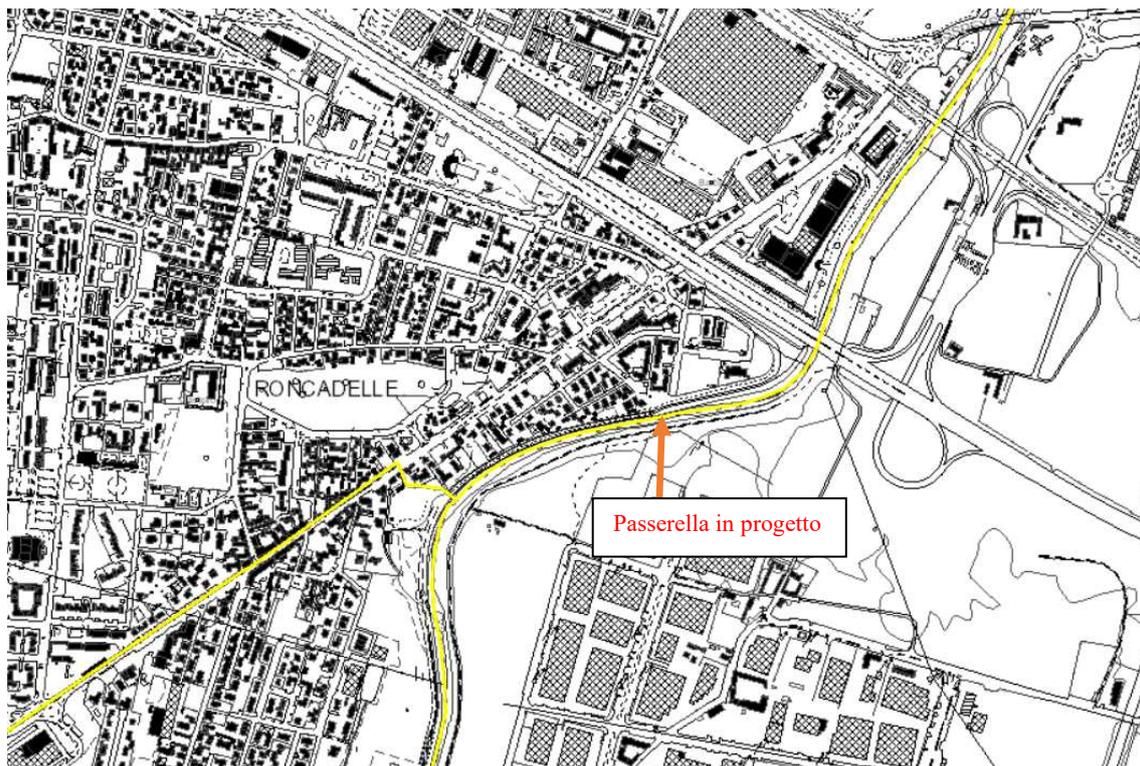


Fig. 2 – Tratto del fiume Mella con indicazione della sezione della passerella – base geografica geoportale Prov. di Brescia

La documentazione tecnica potutasi reperire ed inerente la mappatura del rischio idraulico è, di seguito, evidenziata:

Carta P.A.I. – P.G.R.A.

Si riferisce alla revisione 2022 ed è visualizzabile, di seguito, nelle figure n°3 e 4.



Fig. 3 – Estratto P.G.R.A. – revisione 2022 – mappa della pericolosità

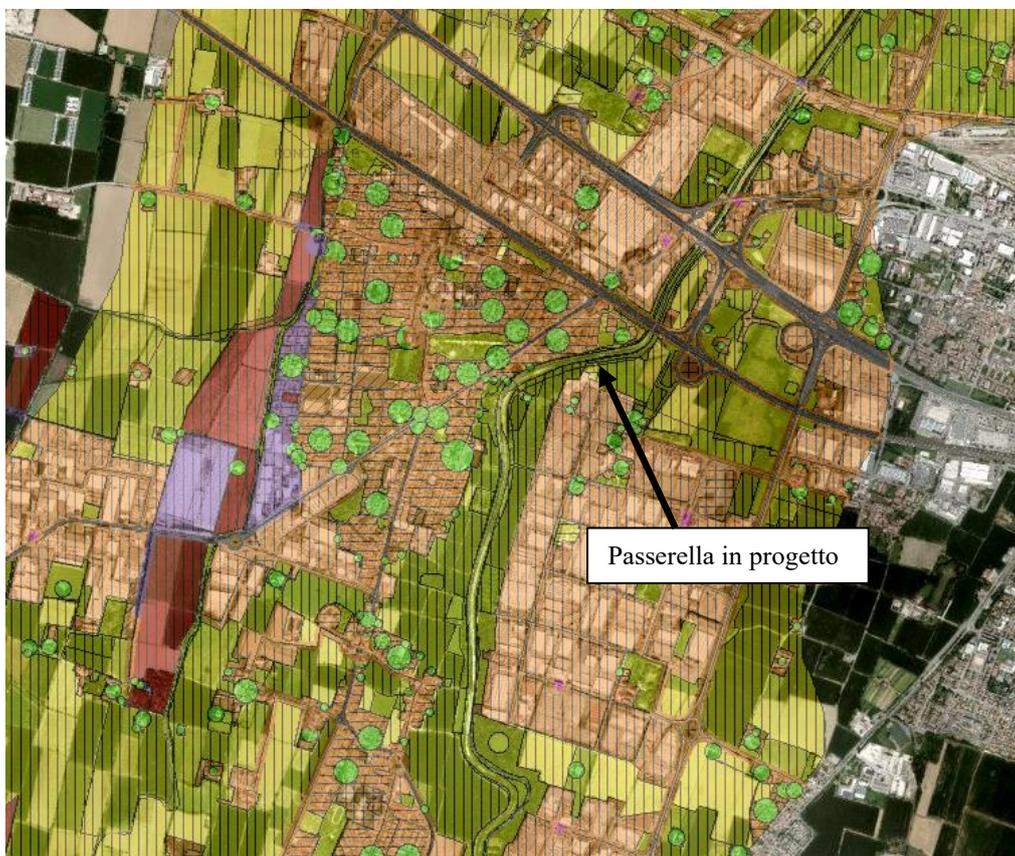


Fig. 4 – Estratto P.G.R.A. – revisione 2022 – mappa del rischio idraulico

Il punto in cui è pensata la passerella in progetto ricade in una zona interessata da possibili inondazioni per eventi pluviometrici rari (L); ciò corrisponde ad un episodio classificabile con un tempo di ritorno $T = 500$ anni.

Sotto il profilo del rischio idraulico la classificazione è R2 (medio), in destra idraulica (in territorio comunale di Roncadelle), mentre risulta fuori dalla perimetrazione del rischio in territorio comunale di Brescia (sinistra idraulica).

Il fiume Mella appartiene al Reticolo Idrico Principale di cui agli allegati “A” e “B” riportati nella D.G.R. 23.10.2015 n. 10/4229 ed è contrassegnato dalle sigle BS061 e n°143 (elenco AA.PP).

L’attività di polizia idraulica è esercitata dall’Agenzia Interregionale del fiume Po (nel tratto che va dal ponte di via Glisenti in comune di Villa Carcina sino alla confluenza nel fiume Oglio).

Caratterizzazione dell’alveo

Con il fine di analizzare nel dettaglio il tratto d’alveo del corso d’acqua e per lo scopo descritto in premessa, come detto, è stato eseguito un rilievo topografico di campagna restituito, poi, in planimetria (**All. n°2**).

Da tale rilievo sono state estratte le sezioni trasversali (in numero complessivo di 8 - **All. n°3**).

3. Bacino idrografico del fiume Mella

Con riferimento allo studio idrologico-idraulico allegato al P.G.T. comunale di Brescia, redatto nell’anno 2018, si riporta una sintesi della caratterizzazione del bacino idrografico.

Il Fiume Mella trae origine dal Monte Crestoso, in alta Valle Trompia, a quota 2.214 m.s.l.m. e, dopo aver percorso circa 104 Km., confluisce nel fiume Oglio in territorio comunale di Seniga.

Il corso d’acqua è caratterizzato da un bacino montano, chiuso alla sezione del ponte della Stocchetta, a nord del Comune di Brescia, che misura un’estensione di circa 311,00 kmq. ed ha un’altitudine media di 928 m.s.l.m. (cfr. fig.5 seguente).

BACINO del MELLA
dalle origini al
ponte di STOCCHETTA (Brescia)

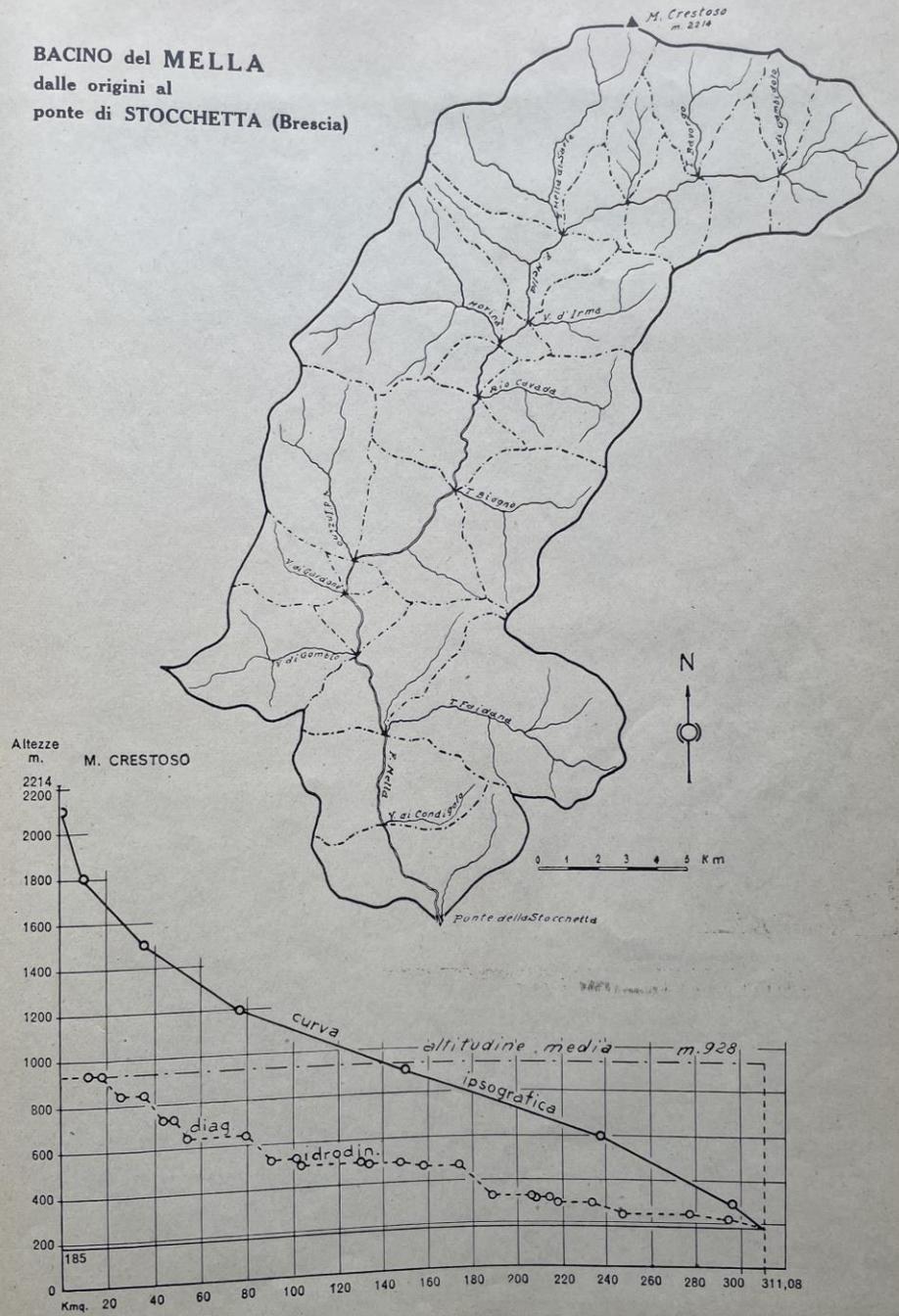


Fig. 5 – Estratto Statistica delle Aree dei bacini idrografici-Ufficio Idrografico italiano di Milano

Il bacino imbrifero montano è interamente compreso nel territorio della Provincia di Brescia, fra i bacini del Sebino ad Ovest, della Valle Camonica a Nord e della Valle Sabbia ad Est.

Le maggiori quote del bacino si riscontrano lungo lo spartiacque al confine con il bacino della Valle Camonica, ove superano di poco i 2000 metri di quota.

La rete idrografica si compone di un gran numero di convalli, come riportato nella fig.5 tra le quali le maggiori sono quelle dei Torrenti Mella di Sarle e di Zerlo (26,25 km²), Valle Morina (26,55

km²), Valle di Inzino (17,85 km²), e Valle di Gombio (15,10 km²), affluenti di destra e delle Valli di Marmentino (13,60 km²), di Lodrino (16,10 km²), e del Torrente Faidana (30,20 km²), affluenti di sinistra.

Il regime pluviometrico che interessa il bacino idrografico è di tipo Subcontinentale alpino, caratterizzato da due periodi annuali di massima precipitazione, in primavera ed in autunno, e due minimi, in inverno ed in estate.

Non si trovano nel bacino ghiacciai o nevai perenni, né invasi rilevanti che possano influire sulla formazione dei deflussi.

Le precipitazioni nevose, alle quote maggiori, non sono in genere rilevanti, per cui il disgelo primaverile, anche se rapido, non produce di per sé eventi di piena preoccupanti.

Sono invece particolarmente temibili gli eventi piovosi di breve durata e forte intensità; alcuni di essi, in passato, hanno prodotto repentine ondate di piena, con conseguenti diffusi allagamenti e rotture di argini ed opere idrauliche, lungo tutto il corso del fiume Mella.

Dalle origini al Ponte Stocchetta, il fiume Mella percorre complessivamente circa 44 km.; la sezione di chiusura del bacino montano è posta a quota 185 m.s.l.m.

Dal punto di vista geologico, la parte settentrionale del bacino è caratterizzata dalla presenza di rocce metamorfiche e scistose (Micascisti del Maniva), notevolmente fratturate ed alterate in superficie.

Sul basamento cristallino si trovano le formazioni di rocce sedimentarie, a volte anche notevolmente estese, la cui permeabilità varia a seconda del litotipo.

Complessivamente, la parte settentrionale del bacino presenta bassa permeabilità la quale, unita alla forte acclività dei versanti, produce eventi di piena significativi negli affluenti del fiume Mella in occasione di piogge intense, specialmente se persistenti, a causa della rapida saturazione dei micascisti.

La parte mediana del bacino montano, fino a Gardone Val Trompia, è caratterizzata dall'affioramento di formazioni rocciose diverse, fra le quali prevalgono quelle calcaree e dolomitiche. I depositi superficiali sono diffusi, costituiti da falde e conoidi di detrito.

In questa zona la permeabilità del bacino è mediamente alta e la morfologia è caratterizzata dalla presenza di valli incise e profonde, con versanti ripidi, per effetto della resistenza della roccia agli agenti endogeni.

La parte bassa del bacino presenta rocce calcaree, calcareo-marnose e silicee stratificate. La permeabilità, variabile a seconda del litotipo, è complessivamente media, mentre il reticolo idrografico è ben sviluppato.

Dalla località Stocchetta il Mella inizia il percorso di pianura, della lunghezza complessiva di circa 60 km fino alla foce nell'Oglio, in comune di Seniga.

In territorio comunale di Brescia, il fiume Mella riceve l'apporto delle acque del torrente Garza, mediante il canale scolmatore Garza-Mella in loc. Crocevia Nave, costruito agli inizi degli anni '60 del secolo scorso al fine di salvaguardare la città di Brescia dalle piene dello stesso torrente Garza.

Tale canale scolmatore ha una capacità di portata di circa 90 mc/sec.

Il tratto del fiume Mella che attraversa a città di Brescia (ad ovest) e fino al tratto che interessa il presente studio, riceve diversi apporti di colatori e fognature di drenaggio del bacino urbano.

Partendo dal ponte della Stocchetta, inizialmente il fiume segue il confine con il Comune di Collebeato, fino alla località Pendolina, per la lunghezza di circa 1,8 Km, successivamente scorre interamente nel territorio comunale di Brescia, fino al ponte della Ferrovia Brescia – Iseo, per la lunghezza di circa 3,8 Km, oltre il quale, per i successivi 6,0 Km, fino alla località Fornaci, delimita il confine con i Comuni di Roncadelle e Castelmella.

Le sezioni idrauliche di interesse per il presente lavoro, rilevate da A.I.P.O. ed inserite nello Studio di Fattibilità dell'AdBPo, sono identificate con le sigle 058.02-058.01P-058.

La regione fluviale del Mella, nel tronco d'interesse per il Comune di Brescia, dalla Stocchetta alle Fornaci, si limita ad una configurazione di alveo inciso monocursale, privo di golene e zone d'espansione per le acque. Esso è dotato di argini in frodo, sui quali le vie alzaie consentono ovunque il transito pedonale e solo localmente, per brevi tratti, anche il transito carraio.

L'andamento planimetrico vede l'alternarsi di tratti rettilinei a curve regolari ad ampio raggio.

Le sezioni trasversali hanno ampiezza variabile dai 40 ai 50 metri. L'alveo presenta generalmente fondo regolare e piano, con qualche accumulo consistente di materiale alluvionale solamente in corrispondenza degli slarghi, presso i ponti o le cascate e nelle zone interne delle curve. L'ossatura del fondo e degli accumuli è costituita da ciottoli e sassi di medie e grosse dimensioni nel deposito fine.

Gli argini sono dotati di difese radenti, originariamente costituite da mantellate di ciottoli a formazione di un rivestimento continuo delle superfici delle scarpate, sostenute al piede da muri d'unghia in calcestruzzo, localmente ma diffusamente sostituite, nel corso del tempo, da rivestimenti e scogliere di fondazione in massi di pietrame, lungo i tratti oggetto di numerosi interventi di consolidamento e di ripresa delle corrosioni.

Il bacino del fiume Mella è caratterizzato dai seguenti parametri morfometrici principali.

- Superficie del bacino idrografico alla sezione di chiusura di interesse stimabile in circa 370 Km². (bacino montano chiuso al ponte della Stocchetta, sommato a quello del torrente Garza a crocevia Nave, oltre al bacino residuo di pianura in territorio comunale di Brescia).

- Lunghezza dell'asta principale (alla sezione di chiusura che interessa la passerella ciclo-pedonale) $\approx 53,0$ Km.
- Altitudine massima = 2.214 m.s.l.m. (Monte Crestoso)
- Altitudine della sezione di chiusura ≈ 125 m.s.l.m.

4. Componente idrologica

Sempre con riferimento allo Studio idrologico-idraulico allegato al P.G.T. comunale di Brescia, si è assunto il dato di piena per le successive verifiche idrauliche sul corpo d'acqua e nel tratto di interesse, richiamando i contenuti dello “*Studio di fattibilità della sistemazione idraulica del fiume Oglio nel tratto da Sonico alla confluenza in Po e del suo affluente Cherio dal lago di Endine alla confluenza, del fiume Mella da Brozzo alla confluenza in Oglio, del fiume Garza dalla confluenza Valle del Loc alla confluenza in Chiese e del fiume Chiese da Gavardo alla confluenza in Oglio*”, predisposto dall'Autorità di Bacino, come di seguito riportato.

Il tempo di ritorno della piena di riferimento è pari a 200 anni, come già stabilito per la delimitazione della Fascia A del PAI e la mappatura delle aree di allagamento per alluvioni poco frequenti (aree P2/M) della Direttiva Alluvioni.

Ci si riferisce allo schema idrologico contenuto nella relazione descrittiva dell'attività del Fiume Mella all'interno dello Studio di fattibilità (elaborato n. 3.2.2.2/2/1R) ed agli idrogrammi dell'elaborato 3.1.2.1/1/1R - 3.2.2.1/1/1R – allegato 5 “Relazione descrittiva dell'attività di definizione delle portate di piena di riferimento” del medesimo “Studio”.

Come condizione al contorno di monte, in corrispondenza della sezione n°8, che corrisponde circa con quella rilevata da A.I.P.O. (058.01.P), si applica l'idrogramma $T_r = 200$ anni relativo al tronco “ME-4” (da Brescia a Castel Mella).

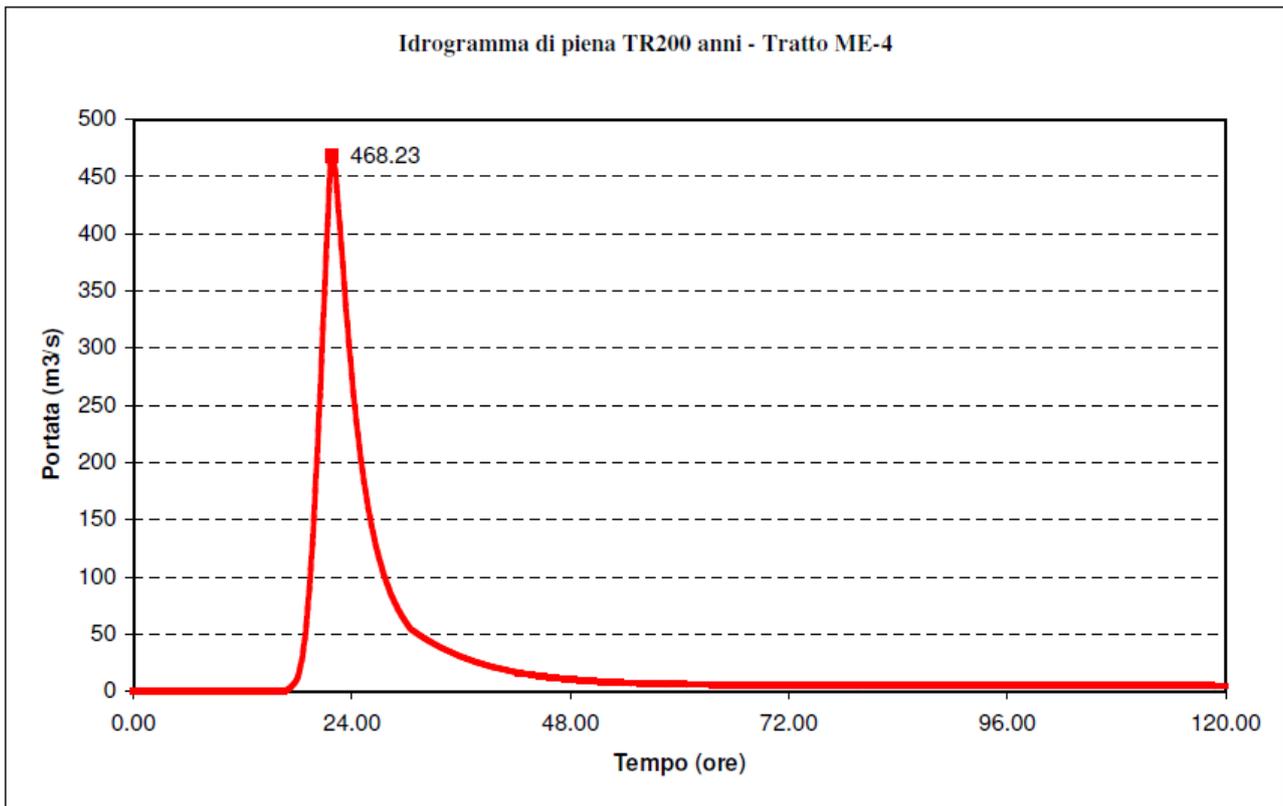


Fig. 6 – Estratto dell'idrogramma di piena dallo "Studio di fattibilità della sistemazione idraulica....." (AdbPo)

Tempo di corrivazione del fiume Mella

La stima del tempo di corrivazione del bacino del fiume Mella, definito come il tempo impiegato dalla pioggia per scorrere superficialmente dal punto di afflusso idraulicamente più lontano del bacino idrografico alla sezione di chiusura dello stesso presa in esame, è stata condotta mediante l'applicazione della formula di Giandotti che ha la seguente espressione:

$$T_c = 4\sqrt{S} + 1,5 * L / 0,80\sqrt{H_m - H_c}$$

con:

T_c = tempo di corrivazione, espresso in ore

S = superficie del bacino, espressa in Km².

L = lunghezza dell'asta fluviale principale, estesa sino allo spartiacque, espressa in km. (alla sezione di chiusura presa in esame).

H_m = altitudine media del bacino, espressa in m.s.l.m.

H_c = altitudine della sezione di chiusura, espressa in m.s.l.m.

Risulta:

T_c (fiume Mella alla sezione della passerella) $\approx 7,0$ ore.

5. Verifiche idrauliche-predisposizione del modello

Costruzione dello schema del corso d'acqua

Mediante uso del software HEC-RAS è stato costruito lo schema del tratto di fiume Mella, unitamente alle relative sezioni trasversali rilevate con strumento topografico.

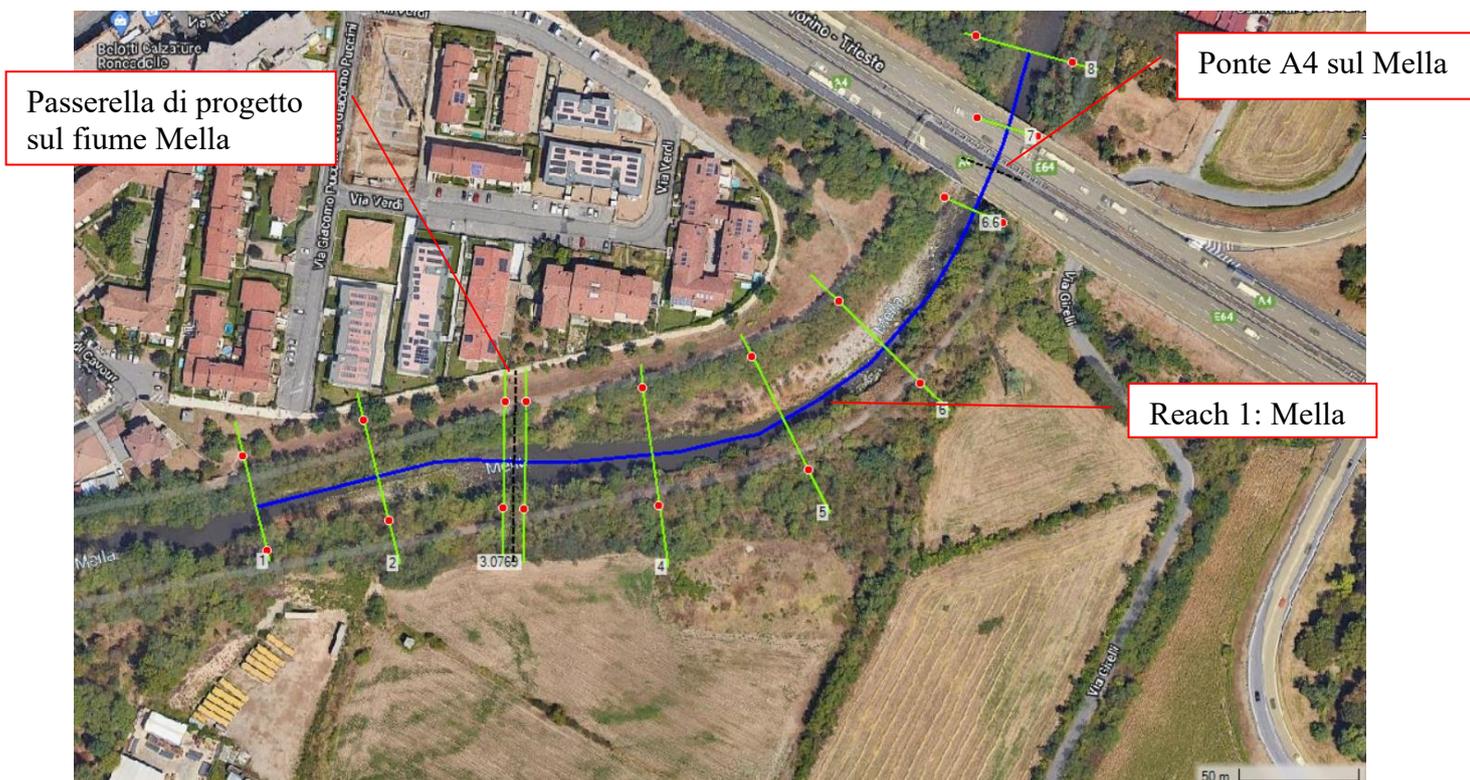


Fig. 7 – Schema idraulico del tratto verificato con modello Hec-Ras (sezioni di rilievo)



Fig. 8 – Schema idraulico del tratto verificato con modello Hec-Ras (sezioni interpolate per il calcolo)

Si sono, per migliorare l'affidabilità e la stabilità del modello, inserite sezioni aggiuntive a quelle già rilevate; le stesse sono state posizionate tra loro ad una distanza di circa mediamente 15 m.

Tali sezioni aggiuntive ("interpolated cross section") sono state immesse grazie ad un'applicazione del software HEC-RAS che permette un'interpolazione automatica delle sezioni. Questa operazione restituisce i dati geometrici di sezioni collocate lungo l'alveo in posizioni intermedie tra quelle già inserite.

Caratteristiche geometriche e di resistenza idraulica delle sezioni trasversali

Dopo aver completato lo schema del corpo idrico e prima di effettuare l'operazione di interpolazione, sono state definite le caratteristiche geometriche e di resistenza idraulica delle sezioni.

Si riporta, in figura 9, la rappresentazione grafica esemplificativa di una sezione definita nel modello.

Sono stati inseriti manualmente i dati geometrici delle sezioni dei tratti di fiume oggetto d'interesse, per le quali si disponeva dei risultati del rilievo topografico. In particolare, per ogni sezione sono state specificate le coordinate X-Y ("Station-Elevation") per poter rappresentare la sezione per punti, da sinistra a destra guardando verso valle.

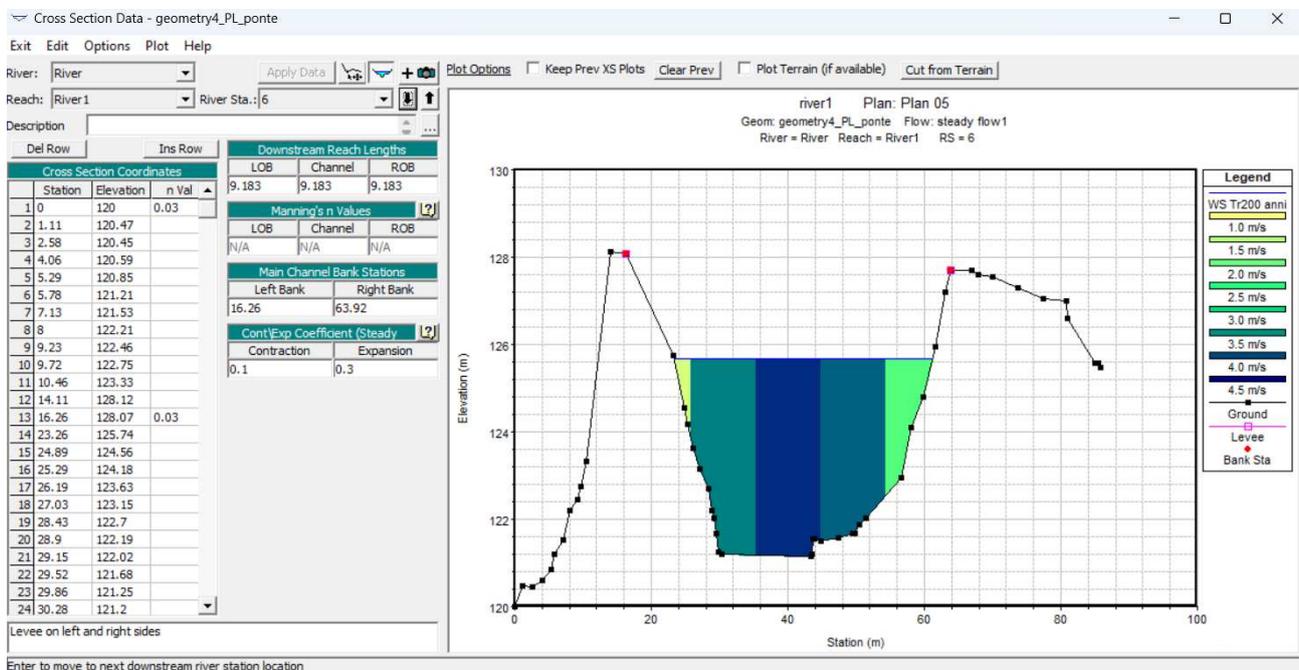


Fig. 9 – Geometria della sezione n°6

Le distanze che ciascuna sezione ha rispetto alla successiva immediatamente a valle, sono identificate nella finestra del programma denominata "Downstream Reach Lengths" e sono state

specificate, oltre che per il canale principale (Channel), anche per la golena di sinistra (“Left OverBank – LOB”) e per la golena di destra (“Right OverBank – ROB”).

Per ciascuna sezione trasversale del corpo idrico è possibile identificare l’alveo di magra mediante il posizionamento di punti che lo delimitano (denominati “Bank Station”); nel caso in esame è stata fatta una scelta in funzione della valutazione dell’alveo attivo.

Per quanto riguarda le caratteristiche di resistenza idraulica della sezione è stato indicato un indice di resistenza (indice n di Manning) per il canale di magra e per ciascuna delle sponde costante e pari ad $n = 0,03 \text{ s/m}^{1/3}$ lungo tutto l’alveo inciso.

Portata di progetto

Si è considerato un solo scenario di piena per il tronco fluviale rilevato, che è quello corrispondente alla piena con $T_r = 200$ anni.

In sicurezza si è arrotondata la piena $Q = 468 \text{ mc/sec.}$, di cui all’idrogramma ME-4, a $Q_{\text{verifica}} = 480 \text{ mc/sec.}$

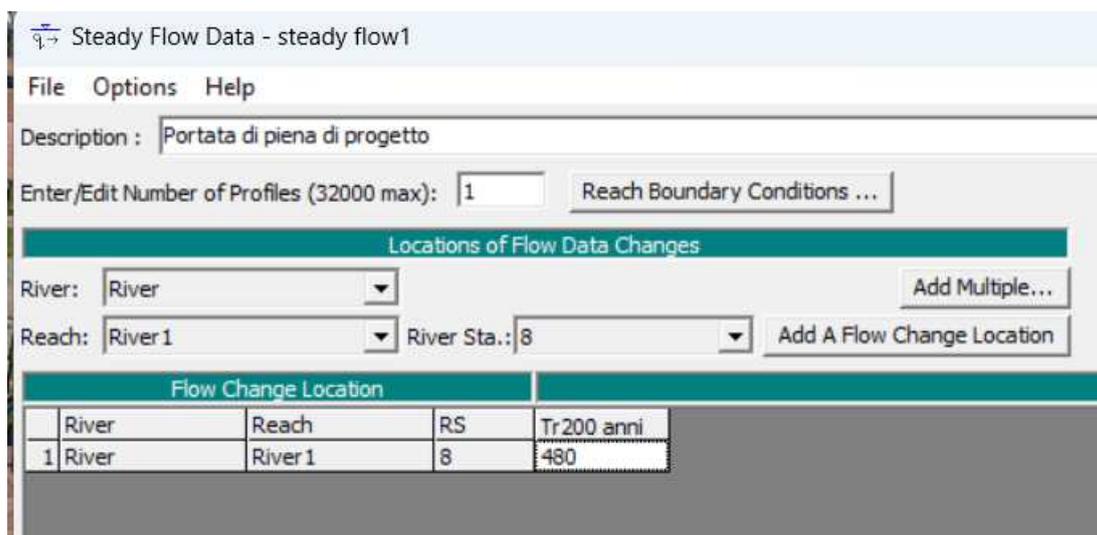


Fig. 10 – Configurazione idraulica scenario di piena

Condizioni al contorno

Nel tratto a valle del fiume Mella si è ipotizzato il moto uniforme della corrente generato dalla pendenza effettiva del fondo alveo di valle e cioè pari a $i_0 = 0,004 \text{ m/m}$.

Length:	440.33	X (m)	Y (m)
Area:	0.00	1	-0.37 119.66
<u>Measure Line Extents</u>		2	439.96 121.81
Delta X:	440.33		
Delta Y:	2.14		
dy/dx:	0.00486		
Copy coordinates to clipboard			

Fig. 11 – Condizioni al contorno

6. Simulazione in regime di moto stazionario

Basi teoriche del moto stazionario

È stata svolta un'analisi in regime di moto stazionario considerando “stazionario” ogni tratto di fiume caratterizzato da portata costante.

Il profilo della corrente monodimensionale e gradualmente variata lungo canali naturali o artificiali viene ricostruito sulla base dell'equazione dell'energia; l'energia posseduta dalla corrente in una determinata sezione è pari a quella che aveva nella sezione più a monte a meno delle perdite concentrate e distribuite:

$$Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Z_1 + Y_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

dove:

- Z_1 e Z_2 sono le quote geodetiche più basse del fondo alveo in corrispondenza della sezione 1 e della sezione 2 nel canale principale (*main channel invert*);
- Y_1 e Y_2 sono i tiranti idrici in corrispondenza della sezione 1 e della sezione 2 (*depth of water at cross section*);
- V_1 e V_2 sono le velocità medie in corrispondenza della sezione 1 e della sezione 2 (*average velocities*);
- α_1 e α_2 sono i coefficienti di ragguaglio dell'altezza cinetica in corrispondenza della sezione 1 e della sezione 2 (*velocity weighting coefficients*);
- g è l'accelerazione di gravità;
- h_e sono le perdite di carico continue e concentrate tra la sezione 1 e la sezione 2 (*energy head loss*).

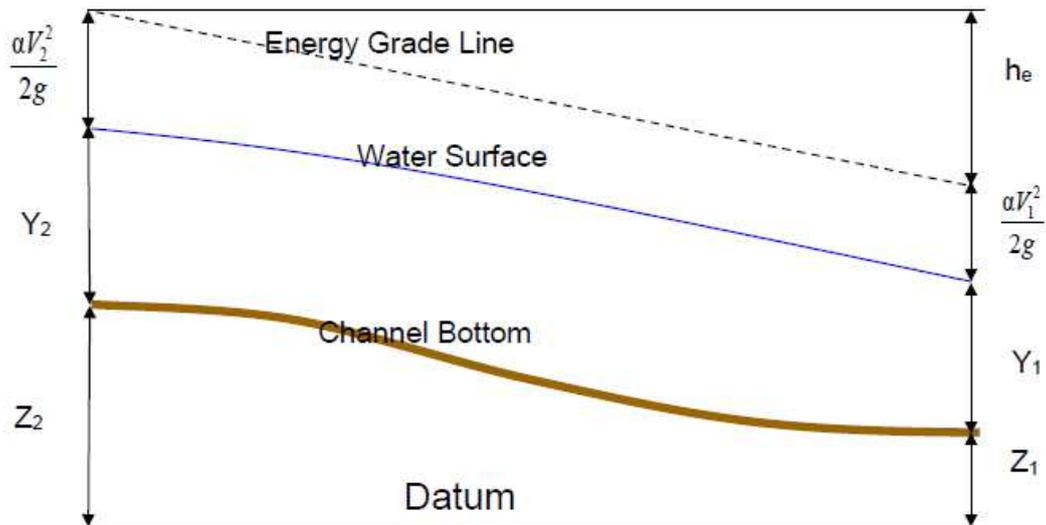


Fig. 12 – Rappresentazione dei termini dell'equazione dell'energia tratta dal manuale Hec-Ras

Il termine che esprime la perdita di carico (h_e) tra una sezione trasversale e quella consecutiva dipende dalle perdite continue dovute all'attrito, alle pareti e sul fondo del canale, oltre che alle perdite localizzate di imbocco e sbocco, a loro volta determinate dalla variazione della geometria delle sezioni trasversali lungo il corso d'acqua:

$$h_e = LS_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

dove:

- L è la lunghezza media del tratto compreso tra la sezione 1 e la sezione 2;
- S_f è la pendenza della linea dell'energia;
- C è il coefficiente di espansione o contrazione.

L'equazione dell'energia viene risolta con un metodo di calcolo noto come “*procedura standard step*”. Il metodo prevede di stimare inizialmente l'altezza della corrente nella sezione a monte (a valle se si tratta di corrente veloce) di una sezione nota; con il valore stimato è possibile valutare in prima approssimazione le perdite di energia e risolvere l'equazione dell'energia per calcolare l'altezza della corrente della sezione di monte (di valle se si tratta di corrente veloce). Quest'ultima viene quindi confrontata col valore che era stato assunto in fase iniziale e, se dalla comparazione la differenza tra i due valori è minore o uguale di 0,003 m (o se è stata raggiunta la tolleranza stabilita

dall'utente), si può affermare di aver trovato il nuovo tirante idrico. In caso contrario il procedimento descritto verrà ripetuto in maniera iterativa fino al soddisfacimento della condizione precedentemente specificata. Alla seconda iterazione il valore iniziale dell'altezza della corrente a monte viene corretto per considerare il 70% dell'errore compiuto nella prima iterazione.

Quando la corrente attraversa uno stato critico l'equazione dell'energia non è più applicabile perché il passaggio da corrente lenta a corrente veloce (o viceversa) è una variazione rapida e quindi non vale più l'ipotesi di corrente gradualmente variata. Questa situazione si verifica quando c'è un significativo cambio di pendenza del canale, in corrispondenza di ponti o altre strutture idrauliche come le traverse ed in presenza di nodi idraulici (*junction*). In alcuni casi vengono usate le apposite equazioni (come quelle per gli stramazzi), mentre in altri casi è necessario considerare l'equazione del moto (equazione globale dell'equilibrio dinamico) applicata ad un volume di controllo compreso tra la sezione 1 e la sezione 2:

$$P_2 - P_1 + W_x - F_f = Q\rho\Delta V_x$$

dove:

- P_1 e P_2 sono le forze di superficie in corrispondenza della sezione 1 e della sezione 2 nel canale principale (*hydrologic pressure force*);
- W_x è la forza peso del volume di controllo in direzione x (*force due to the weight of water*);
- F_f è la forza d'attrito tra la sezione 1 e la sezione 2 (*force due to the external friction losses*);
- Q è la portata (*discharge*);
- ρ è la densità dell'acqua (*density of water*);
- ΔV_x è la variazione di velocità dalla sezione 2 alla sezione 1, in direzione x (*change of velocity*).

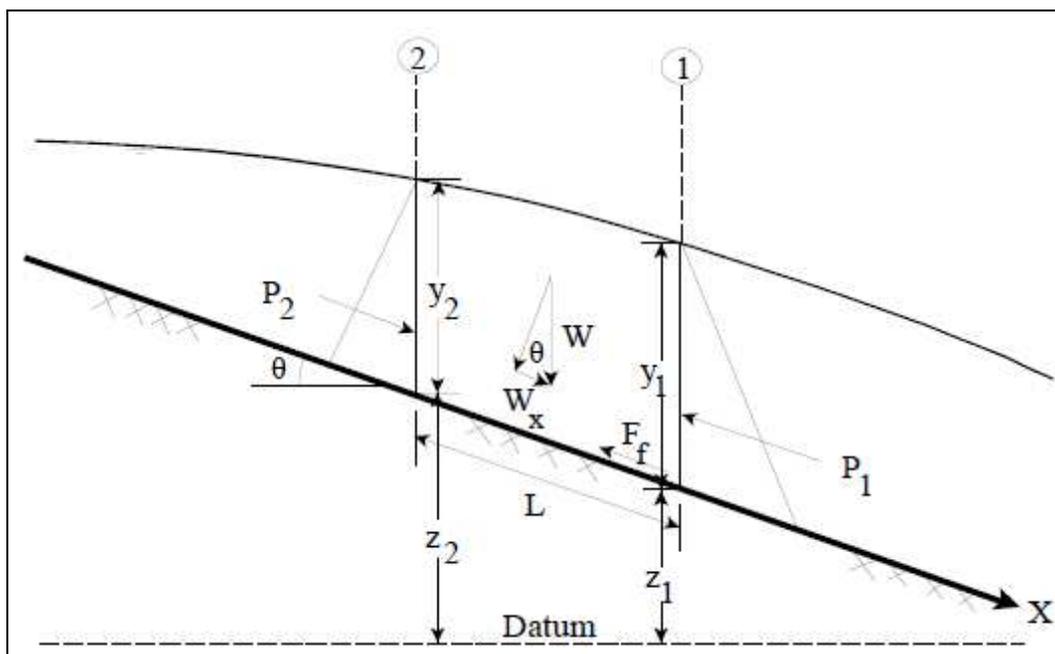


Fig. 13 – Applicazione dell'equazione globale dell'equilibrio dinamico tratta dal manuale Hec-Ras

Infine, vengono di seguito elencati i limiti che stanno alla base del codice di calcolo in una simulazione in regime di moto stazionario:

- flusso stazionario;
- flusso gradualmente variato (ad eccezione dei punti in corrispondenza di strutture idrauliche e di passaggio di corrente da veloce a lenta o da lenta a veloce, dove si ricorre all'equazione del moto o ad altre equazioni);
- flusso monodimensionale;
- pendenza del canale non superiore a 1:10.

Calcolo idraulico – Profilo del pelo libero

Nelle tabelle e grafici riportati in allegato sono riepilogate le quote del profilo del pelo libero della piena risultanti dal calcolo.

Viene presentato in forma grafica il profilo longitudinale di assegnato tempo di ritorno ed in forma tabellare le principali grandezze idrauliche relative ad ogni sezione di calcolo:

- l'identificativo della sezione;
- il valore della portata al colmo;
- la quota di fondo alveo;
- il livello della corrente;
- la profondità della corrente;
- il livello energetico;
- la velocità media sulla sezione;

- l'area della sezione bagnata;
- la larghezza della sezione;
- il numero di Froude complessivo.

Il modello è stato realizzato utilizzando la versione 6.2 del software HEC-RAS, sviluppato dal Centro d'ingegneria idrologica del corpo degli ingegneri statunitense (US Army Corps of Engineers) per effettuare studi idrodinamici monodimensionali di reti di canali naturali e artificiali.

Il Sistema Informativo Geografico QGIS si è rivelato uno strumento indispensabile per poter ricostruire i tratti dei corpi idrici studiati, unitamente alle relative sezioni trasversali, in un ambiente georeferenziato con il fine di poterli poi inserire nel software HEC-RAS mantenendo tale georeferenziazione.

I ponti

Il tratto di corpo idrico in prossimità di un ponte ("Bridge") deve essere descritto con particolare attenzione nello schema monodimensionale se comporta una non trascurabile contrazione e successiva espansione della corrente.

Il Centro di ingegneria idrologica del corpo degli ingegneri statunitense ha svolto un'approfondita ricerca per valutare correttamente la lunghezza del tratto interessato dalla contrazione della corrente, di quello interessato dall'espansione, nonché dei coefficienti di espansione e contrazione.

Una sintesi di questa attività di ricerca è riportata nel manuale teorico di HEC-RAS (Hydraulic Reference Manual, February 2016).

L'algoritmo di calcolo divide in tre parti le perdite di energia dovute alla presenza di ponti: perdite di energia a monte del ponte, dove si verifica un restringimento della corrente, a valle del ponte, dove la corrente si espande, ed infine in corrispondenza del ponte stesso.

Le perdite di carico dovute all'espansione e alla contrazione della corrente sono legate alla variazione di velocità tra due sezioni consecutive; in particolare, quando ha luogo una contrazione a monte del ponte, la velocità aumenta, mentre quando si verifica un'espansione a valle del ponte, la velocità diminuisce.

Il modello idrodinamico dei tratti con ponti rappresenta il funzionamento del sistema sia per basse che per alte portate, sia per luci a battente che per luci a stramazzo, sulla base di un bilancio energetico.

Per quanto riguarda il deflusso dallo stramazzo costituito dall'impalcato del ponte, la portata viene calcolata in base alla classica equazione per luci a stramazzo, con un valore da assegnare alla

costante che rappresenta il prodotto tra il coefficiente di efflusso (per stramazzi in parete larga è 0,385) e la costante $(2g)^{1/2}$.

Per avere una modellazione corretta, è necessario inserire nello schema del fiume quattro sezioni in prossimità di ciascun ponte.

La prima sezione deve essere posizionata sufficientemente a valle del ponte, in modo tale da non risentire della presenza del ponte stesso.

La distanza del ponte dalla prima sezione dipende da molteplici fattori e il manuale di HEC-RAS mette a disposizione una tabella per la sua determinazione sulla base della pendenza media del tratto, del rapporto di restringimento della sezione e del rapporto tra gli indici di scabrezza delle sponde e del canale principale.

Un valore intermedio del rapporto di espansione indicato in tabella è compreso tra 1,5 e 2: è sufficiente moltiplicare questo valore per la lunghezza media di ostruzione operata dal ponte per ottenere la lunghezza necessaria per l'espansione completa della corrente.

Nel caso in esame, la sezione di valle è stata posizionata sufficientemente lontano dal ponte, in modo tale da permettere l'espansione completa della corrente.

La seconda e la terza sezione vanno rispettivamente collocate a breve distanza dal ponte a valle e a monte e descrivono l'andamento naturale del terreno al di fuori della struttura.

Quando viene inserito un ponte, il software HEC-RAS aggiunge automaticamente allo schema del tracciato del fiume due sezioni all'interno di tale struttura.

Pertanto la geometria del ponte risulterà dalla combinazione della seconda e della terza sezione e dalla geometria del ponte stesso.

Inoltre, se necessario, come nel caso oggetto di studio, è possibile specificare due geometrie differenti del ponte sulle sue facce di monte e di valle.

La quarta sezione va posta a monte del ponte, a distanza sufficiente per poter ritenere i filetti di corrente ancora paralleli.

Va tenuto presente che normalmente lo spazio richiesto per i processi di contrazione della corrente è minore rispetto a quello necessario per la sua espansione.

Anche in questo caso, la distanza del ponte da quest'ultima sezione dipende da più fattori, tra i quali si ricorda la forma della contrazione e la velocità del flusso d'acqua.

Mediamente si può ritenere che la lunghezza necessaria per la contrazione completa della corrente sia pari alla lunghezza media di ostruzione operata dal ponte.

Nel caso in esame, la sezione di monte è stata posizionata sufficientemente lontano dal ponte, in modo tale da garantire la contrazione completa della corrente.

In figura 14 è riportato uno schema rappresentativo dei fenomeni di contrazione e di espansione che si verificano rispettivamente a monte ed a valle del ponte.

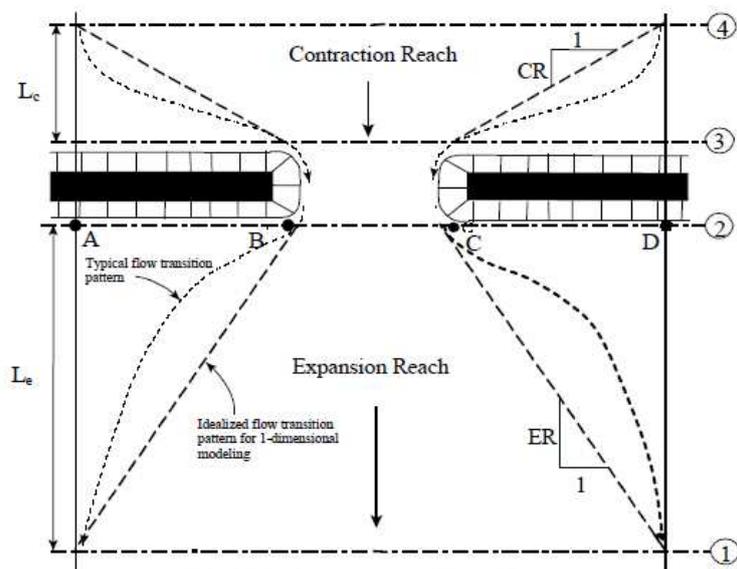


Fig. 14 – Schematizzazione, nel modello Hec-Ras, dei fenomeni di contrazione ed espansione in prossimità di un ponte con evidenziate le quattro sezioni di riferimento

Nel caso oggetto di studio è stato inserito il ponte esistente dell'autostrada A4, ubicato a monte della prevista passerella ciclo pedonale in progetto, così come risultante dal rilievo topografico.

È stato così possibile, come mostrato in figura, disegnare la geometria del ponte inserendo i seguenti dati richiesti dal programma: coordinate in direzione X ("Station") della sezione dell'alveo rilevata in corrispondenza del ponte e rispettive quote d'intradosso ("Low chord") ed estradosso ("High chord") dello stesso; distanza tra il ponte e la sezione di monte ("Distance"); coefficiente di efflusso per luce a stramazzo ("Weir Coef"); larghezza del ponte ("Width") e forma dello stramazzo ("Weir Crest Shape").

Non sono state introdotte le pile del ponte poiché non presenti nel caso in esame.

Effetto di curva

Nel caso di un corso d'acqua in curva, il moto presenta velocità maggiori all'intradosso rispetto all'estradosso. In alcuni casi, ed in particolare nelle correnti supercritiche (o veloci), questo aumento di velocità è rilevante e trascurarlo, nella verifica idraulica dell'alveo e delle sponde, può essere non insignificante.

Si deve quindi tener conto di alcuni aspetti del carattere bidimensionale del moto.

Nel caso di correnti lente, si applica la relazione

$$\Delta y = \frac{V^2 \cdot b}{g \cdot r_m}$$

dove:

Δy = massimo dislivello tra estradosso ed intradosso

V = velocità media nella sezione immediatamente a monte dell'inizio della curva

b = larghezza della sezione

r_m = raggio medio di curvatura

g = accelerazione di gravità

La sopraelevazione Δy sul lato esterno rispetto a quello interno in una corrente lenta è illustrato nella Figura 15 sottostante, in cui si considera, a titolo esemplificativo, una curva circolare di 90°:

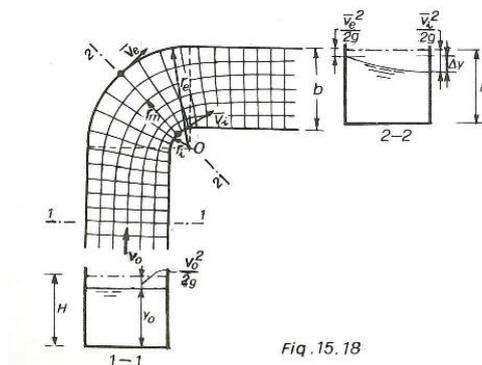


Fig. 15 – Sopraelevazione Δy sul lato esterno rispetto a quello interno di una curva circolare di 90° in corrente lenta

(fonte: Ghetti A., "Idraulica" seconda edizione, edizioni libreria Cortina Padova, 1987)

Infine è possibile calcolare la quota idrometrica all'estradosso (a) e all'intradosso (b) della curva con le seguenti relazioni:

$$h_{est} = h + \Delta y/2 \quad (a)$$

$$h_{int} = h - \Delta y/2 \quad (b)$$

Per il caso in esame le porzioni di alveo soggette a tale fenomeno sono quelle identificate comprese fra la n°3 e la n°6.

I risultati ottenuti compendiano valori massimi, nel tratto in curva esaminato, inferiori ad $h = 0,15$ m. e pertanto poco significativi rispetto all'altezza idrometrica della corrente.

Simulazione in regime di moto stazionario: inserimento dei parametri per la simulazione

La ricostruzione del profilo di moto permanente viene operata dal modello HEC-RAS in una delle seguenti tre ipotesi alternative:

- i) correnti veloci (supercritical flow),
- ii) correnti lente (subcritical flow)
- iii) correnti lente e veloci (mixed flow).

In questo caso è stata considerata la terza ipotesi in modo da fornire informazioni sufficienti per la ricostruzione sia dei profili di correnti lente che di quelli per correnti veloci.

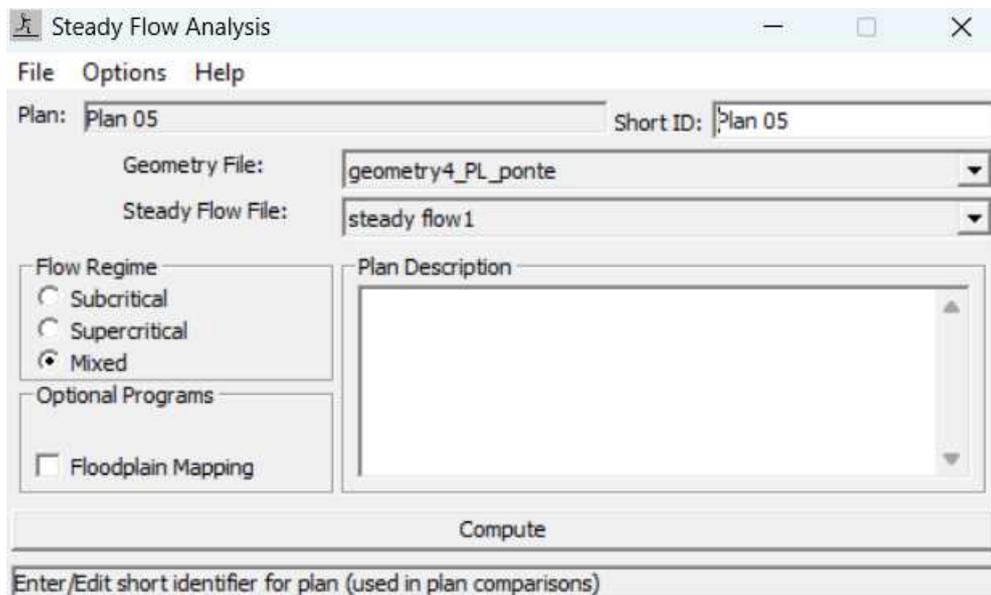


Fig. 16 Finestra del modello per avviare la simulazione nell'ipotesi di correnti lente e veloci ("Mixed")

Risultati

In Appendice A è riportata la tabella dei risultati con il seguente significato dei simboli:

- portata (“Q Total”); punto del terreno a quota più bassa del fondo alveo espresso in m.s.l.m. (“Min Ch El”); altezza del pelo libero della corrente espresso in m.s.l.m. (“W.S. Elev”); altezza del tirante critico della corrente espresso in m.s.l.m. (“Crit W.S.”); energia posseduta dalla corrente espressa in m.s.l.m. (“E.G. Elev”); pendenza della linea dell’energia (“E.G. Slope”); velocità (“Vel Chnl”); area bagnata (“Flow Area”); larghezza della corrente in superficie (“Top Width”) e numero di Froude (“Froude # Chl”).

Il profilo costruito è riferito alla piena $Q = 480$ mc/sec. ed è, di seguito, visualizzabile graficamente.

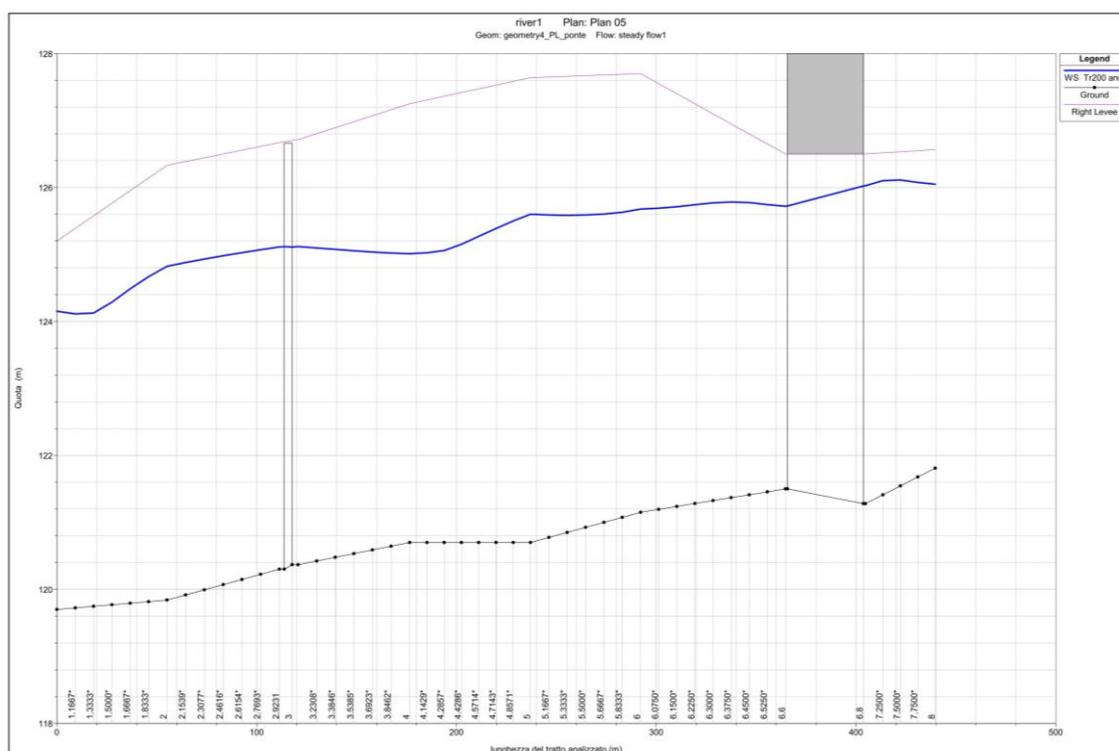


Fig. 17 - Profilo longitudinale fiume Mella tratto sezz. 1- 8

7. Conclusioni

Le analisi e verifiche di dettaglio eseguite permettono di sintetizzare le conclusioni alle quali il presente lavoro è pervenuto in relazione alla compatibilità idraulica dell’intervento edilizio previsto da realizzare.

La zona dove dovrà sorgere la passerella è cartografata dal P.G.R.A. come soggetta ad allagamento per piene con tempi di ritorno associati ad eventi rari ($T_r = 500$ anni) ed è classificata a rischio idraulico medio (R2) solo in destra idraulica.

I sopralluoghi eseguiti e la visione congiunta delle mappe di allagamento e dei risultati ottenuti dal calcolo idraulico portano a poter affermare che, con riferimento a quanto indicato dalla Direttiva

n°4 (P.A.I.), approvata con delibera del Comitato Istituzionale n°2 in data 11.05.1999 ed aggiornata con delibera n°10 del suddetto C.I. del 05.04.2006:

- a) La piena di riferimento adottata ($T_r = 200$ anni) transita nella sezione dove è prevista la realizzazione della passerella con un congruo franco di sicurezza ($f=1,72$ m.) e quindi tale da ritenere l'intervento sicuro rispetto alle piene fluviali anche di carattere eccezionale;
- b) L'opera prevista in progetto non interferisce in alcun modo sul profilo involuppo di piena.
- c) La passerella ciclo pedonale si attesta a quote superiori alla maggiore delle due quote arginali esistenti e pertanto viene ad essere scongiurata una riduzione della capacità di invaso dell'alveo; i dadi di fondazione del futuro manufatto sono impostati esternamente al paramento interno dell'argine ed immorsati completamente nel corpo arginale.

Per quanto sopra analizzato ed argomentato si ritiene l'intervento in progetto compatibile con il regime idraulico del corso d'acqua.

Brescia, li aprile 2023

Il tecnico incaricato

Dott. ing. Enrico Corinaldesi



ALLEGATI:

- All. n°1 – Particolari costruttivi passerella in progetto
- All. n°2 – Planimetria di rilievo topografico fiume Mella
- All. n°3 – Sezioni trasversali fiume Mella

Appendice A

Tabulati di calcolo

Sezioni Hec-Ras

Profilo longitudinale Hec-Ras

APPENDICE A

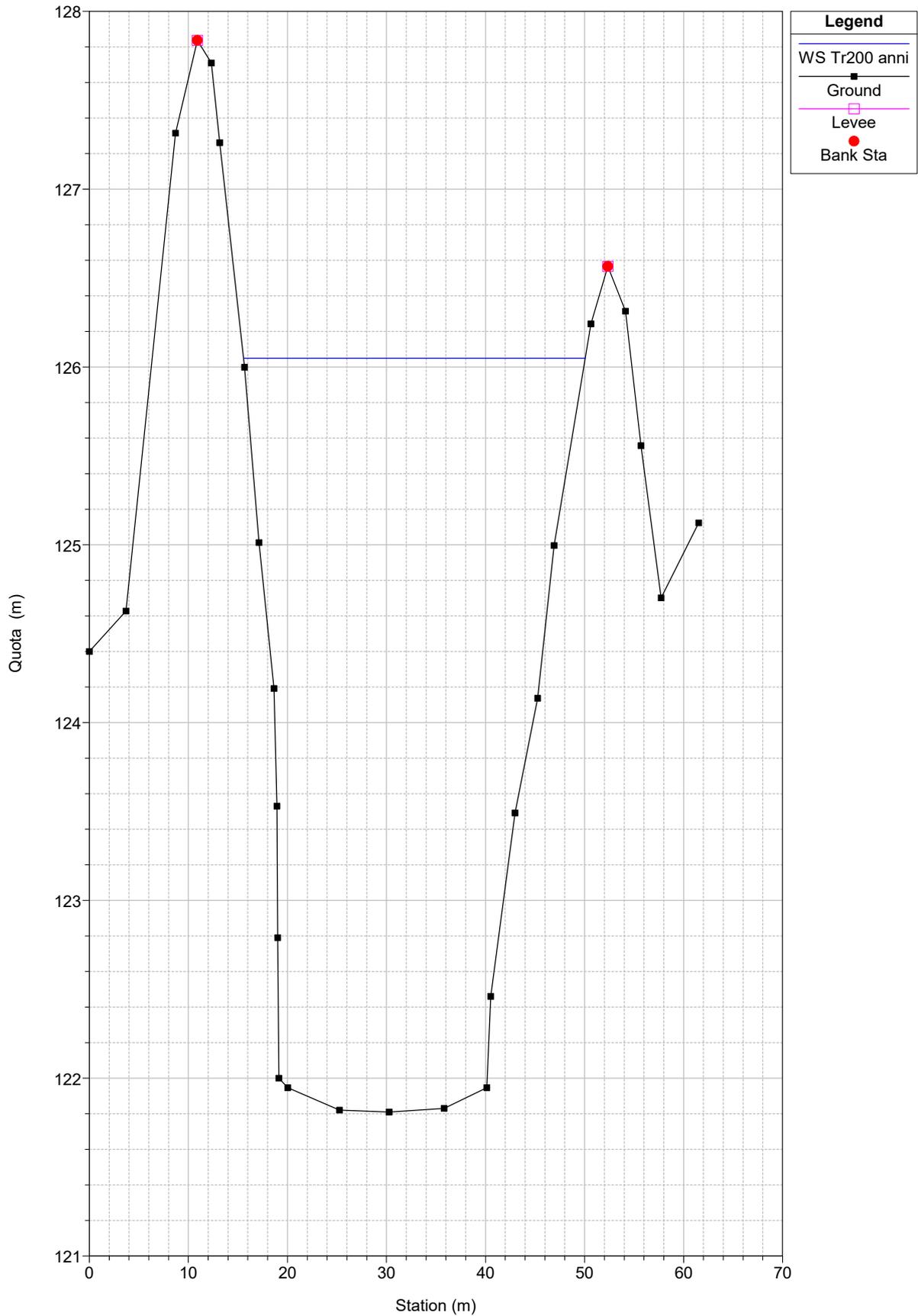
HEC-RAS Plan: Plan 05 River: River Reach: River1 Profile: Tr200 anni

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
River1	8	Tr200 anni	480.00	121.81	126.05	125.45	127.01	0.004039	4.34	110.60	34.49	0.77
River1	7	Tr200 anni	480.00	121.28	126.03	124.81	126.83	0.002772	3.97	120.77	27.87	0.61
River1	6.8	Bridge										
River1	6.6	Tr200 anni	480.00	121.50	125.72	124.88	126.68	0.003663	4.35	110.30	27.87	0.70
River1	6	Tr200 anni	480.00	121.15	125.68	124.68	126.37	0.002598	3.69	130.00	37.90	0.64
River1	5	Tr200 anni	480.00	120.70	125.60	124.42	126.19	0.002176	3.39	141.57	41.04	0.58
River1	4	Tr200 anni	480.00	120.70	125.01	124.48	125.93	0.004012	4.23	113.39	37.24	0.77
River1	3.0769	Tr200 anni	480.00	120.37	125.12	123.66	125.66	0.001778	3.25	147.53	39.38	0.54
River1	3	Bridge										
River1	2.9231	Tr200 anni	480.00	120.30	125.11	123.58	125.64	0.001693	3.20	149.80	39.36	0.52
River1	2	Tr200 anni	480.00	119.84	124.82	123.66	125.51	0.002407	3.66	131.07	36.51	0.62
River1	1	Tr200 anni	480.00	119.70	124.15	123.60	125.18	0.004001	4.49	106.83	32.06	0.79

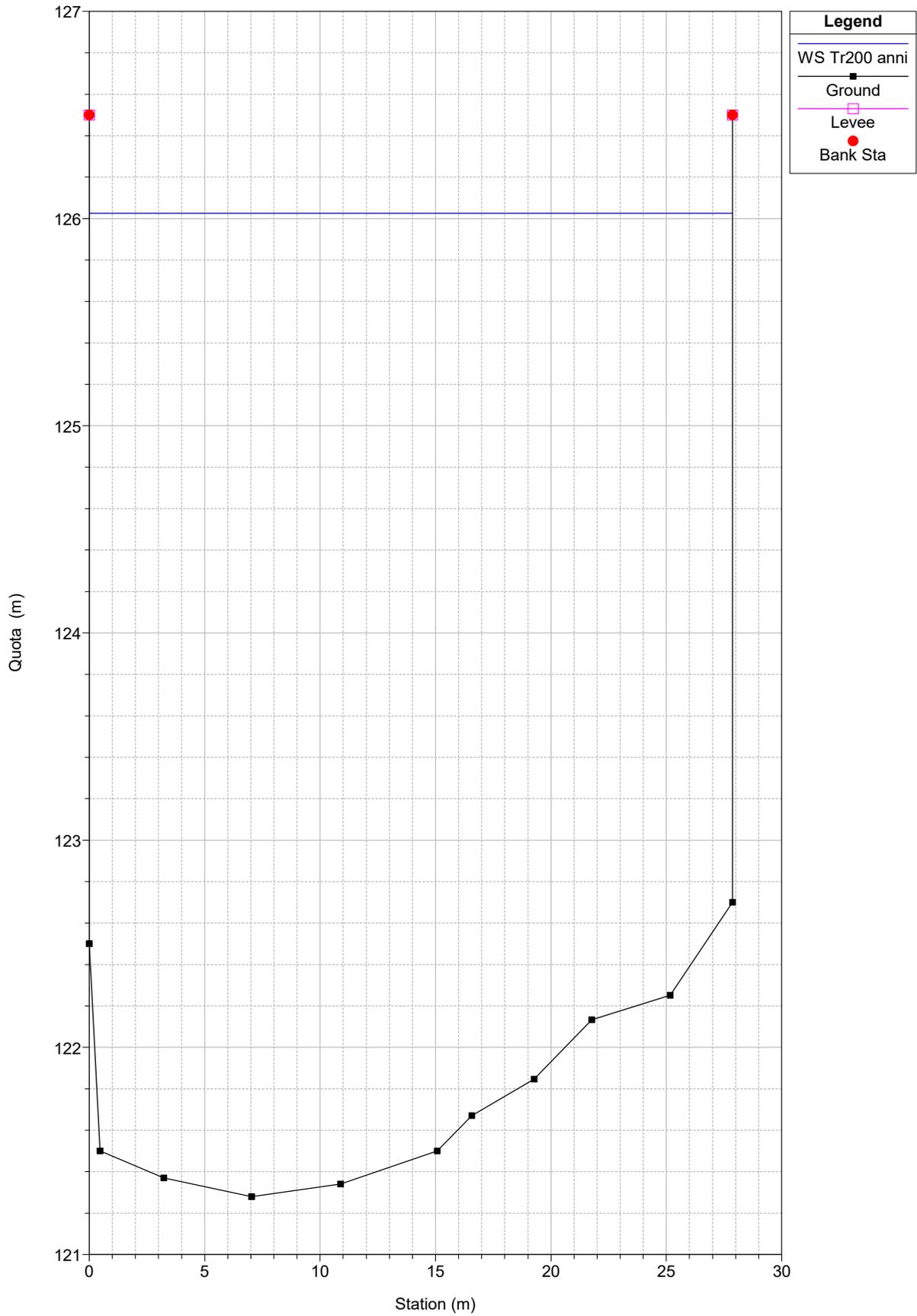
HEC-RAS Plan: Plan 05 River: River Reach: River1 Profile: Tr200 anni

Reach	River Sta	Profile	E.G. Elev (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	Frctn Loss (m)	C & E Loss (m)	Top Width (m)	Q Left (m3/s)	Q Channel (m3/s)	Q Right (m3/s)	Vel Chnl (m/s)
River1	7	Tr200 anni	126.83	126.03	124.81	0.00	0.00	27.87		480.00		3.97
River1	6.8 BR U	Tr200 anni	126.83	126.02	124.81	0.12	0.02	27.87		480.00		3.98
River1	6.8 BR D	Tr200 anni	126.69	125.72	124.88	0.00	0.00	27.87		480.00		4.35
River1	6.6	Tr200 anni	126.68	125.72	124.88	0.03	0.06	27.87		480.00		4.35
River1	3.0769	Tr200 anni	125.66	125.12	123.66	0.01	0.00	39.38		480.00		3.25
River1	3 BR U	Tr200 anni	125.65	125.11	123.67	0.01	0.01	39.36		480.00		3.26
River1	3 BR D	Tr200 anni	125.64	125.12	123.59	0.00	0.00	39.38		480.00		3.20
River1	2.9231	Tr200 anni	125.64	125.11	123.58	0.02	0.00	39.36		480.00		3.20

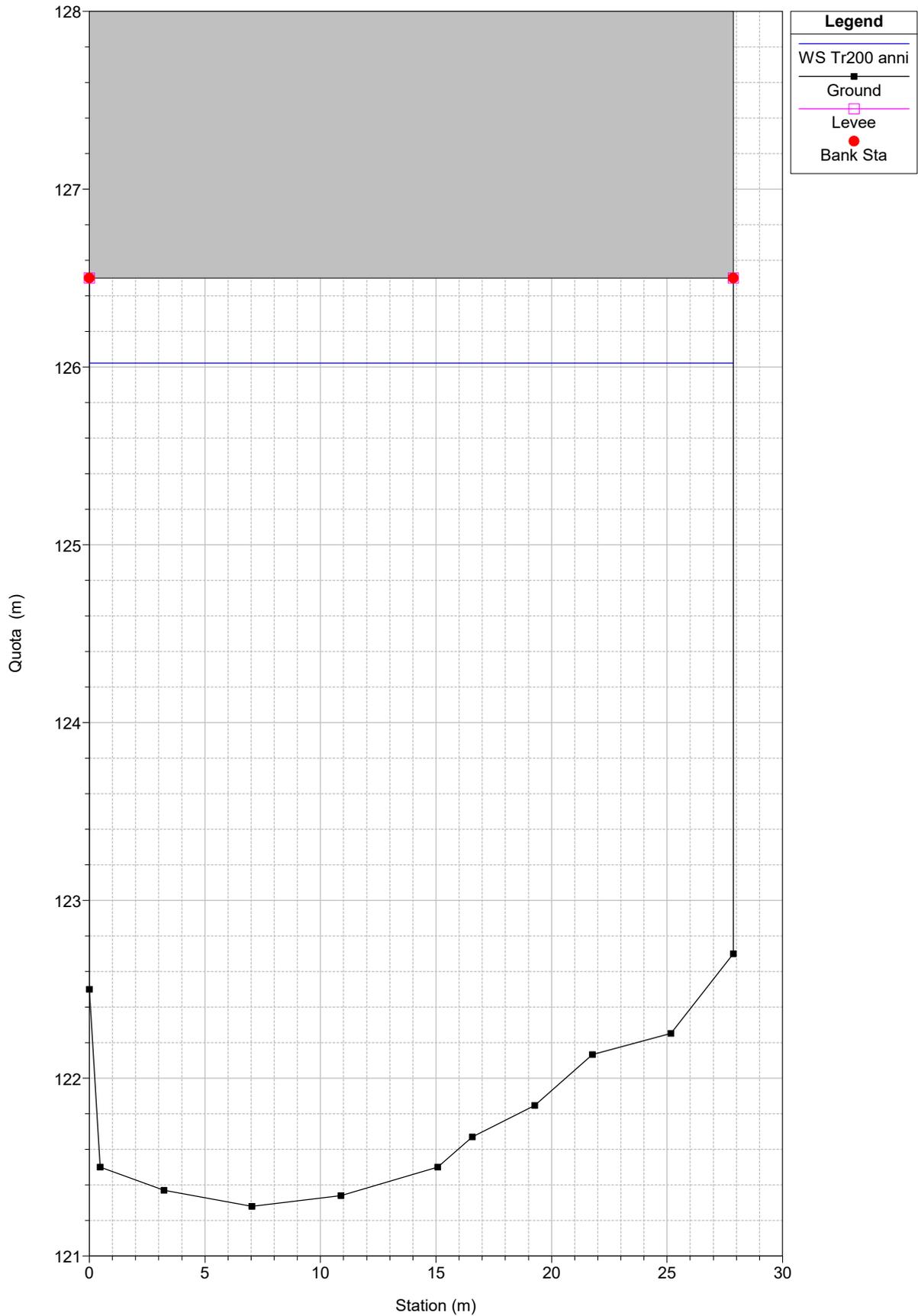
river1 Plan: Plan 05
Geom: geometry4_PL_ponte Flow: steady flow1
River = River Reach = River1 RS = 8



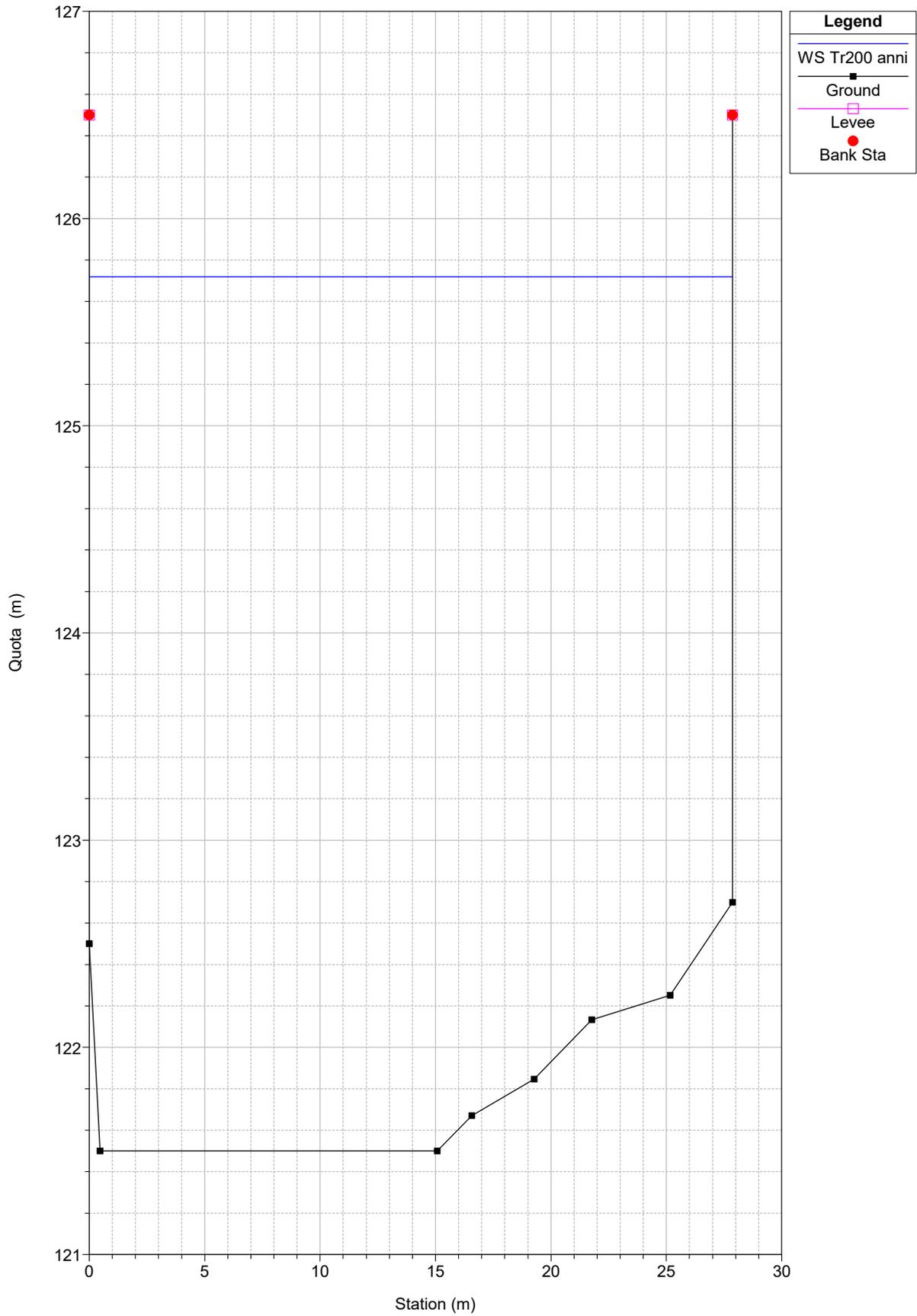
river1 Plan: Plan 05
Geom: geometry4_PL_ponte Flow: steady flow1
River = River Reach = River1 RS = 7



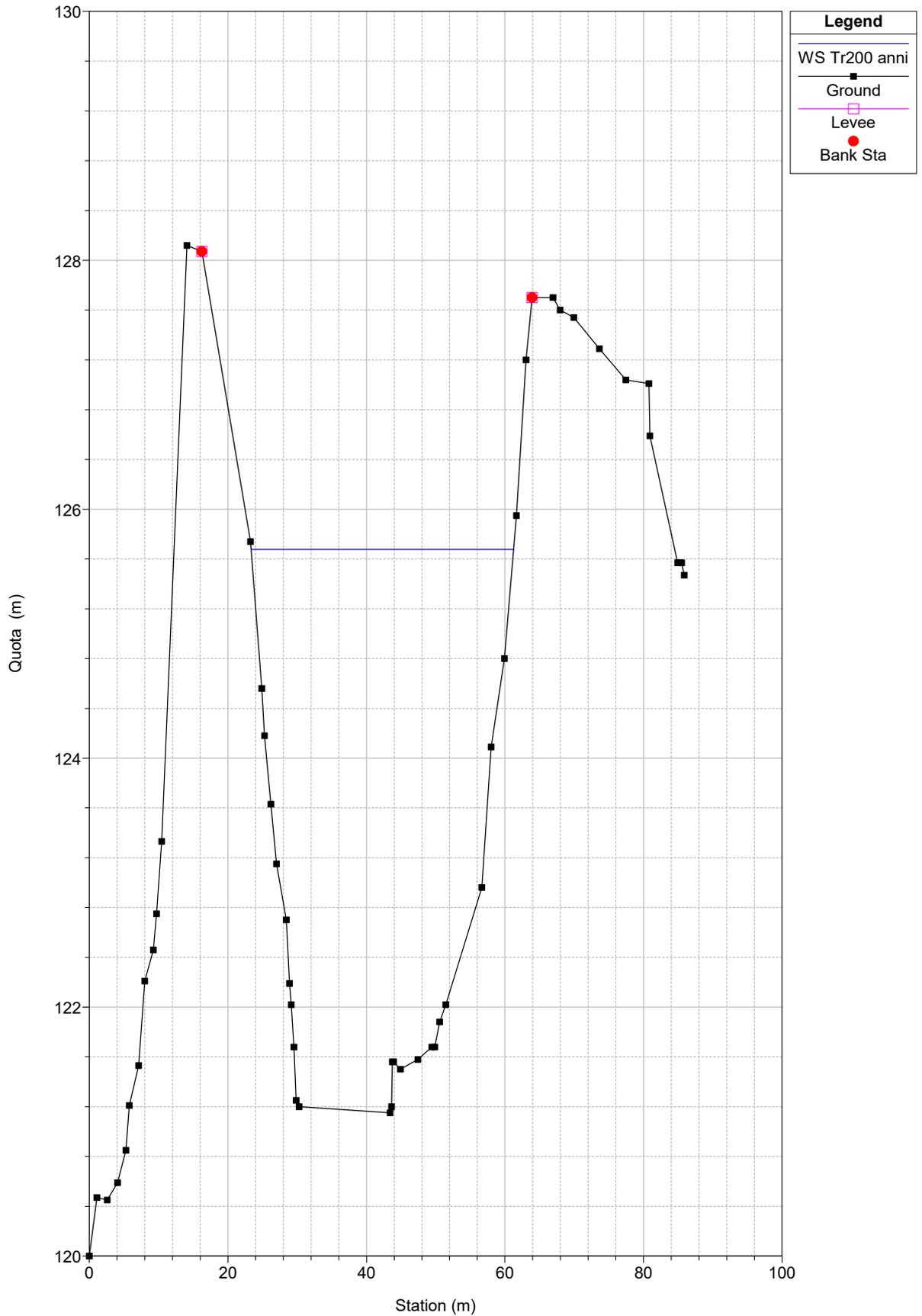
river1 Plan: Plan 05
Geom: geometry4_PL_ponte Flow: steady flow1
River = River Reach = River1 RS = 6.8 BR



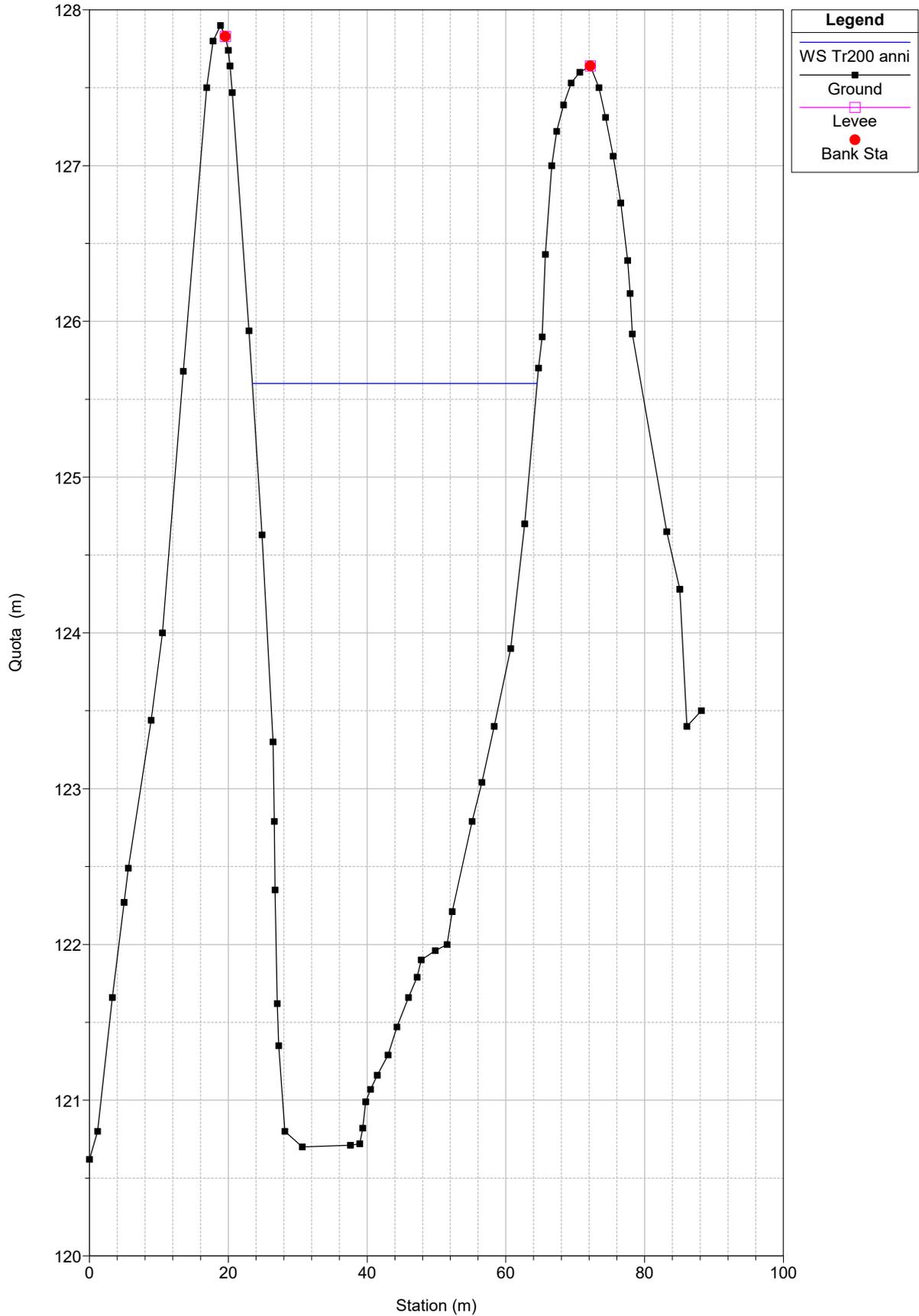
river1 Plan: Plan 05
Geom: geometry4_PL_ponte Flow: steady flow1
River = River Reach = River1 RS = 6.6



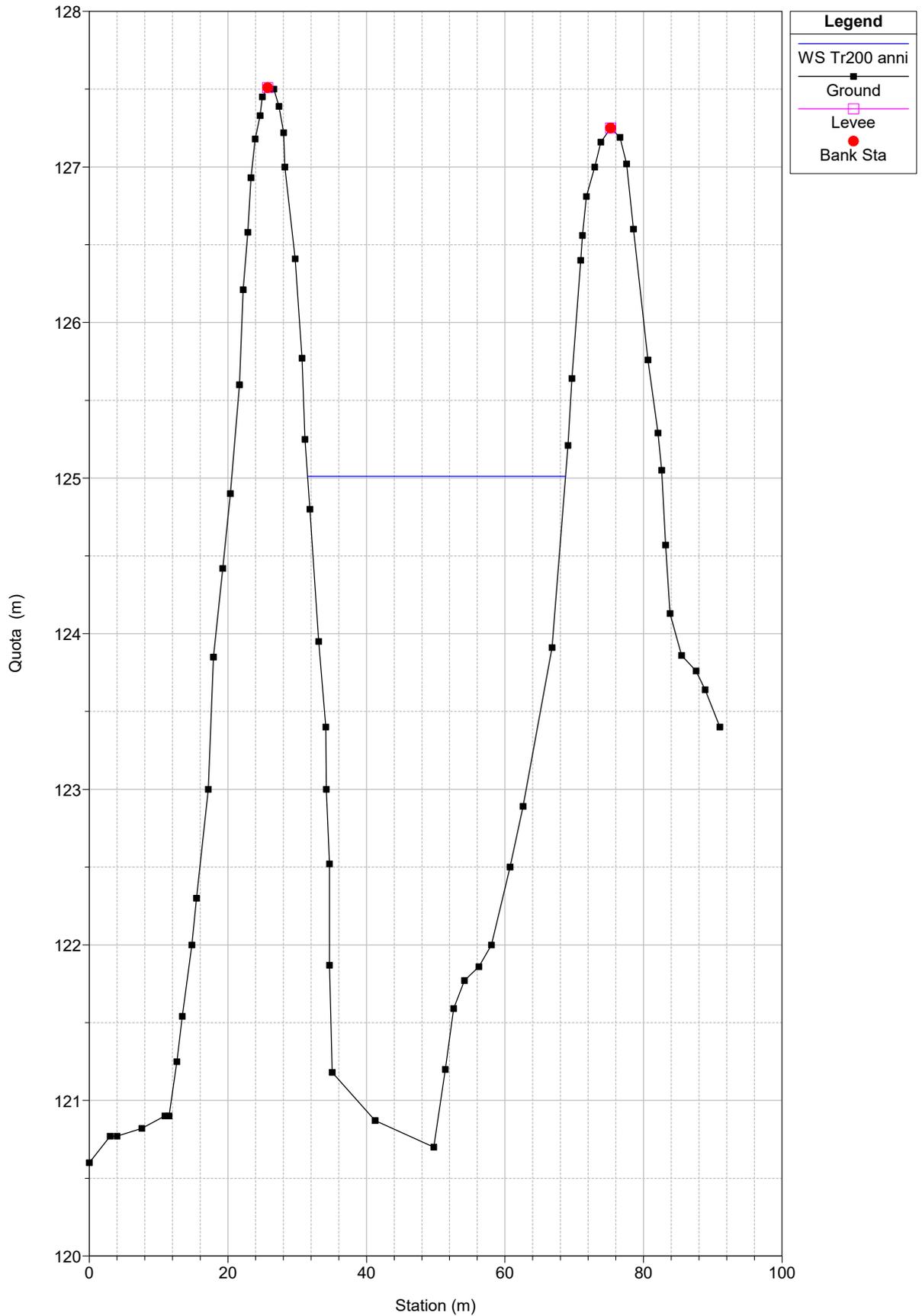
river1 Plan: Plan 05
Geom: geometry4_PL_ponte Flow: steady flow1
River = River Reach = River1 RS = 6



river1 Plan: Plan 05
Geom: geometry4_PL_ponte Flow: steady flow1
River = River Reach = River1 RS = 5

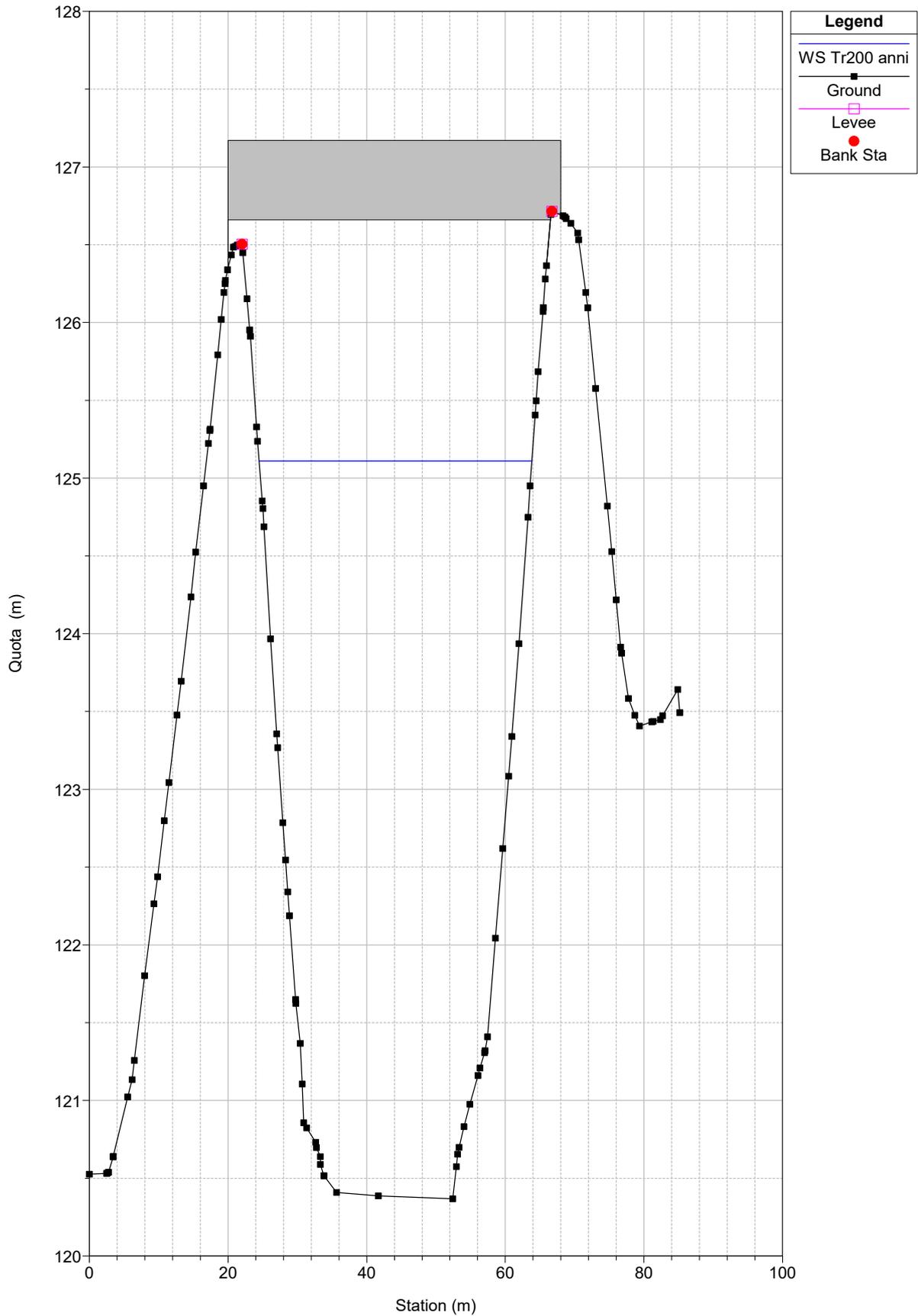


river1 Plan: Plan 05
Geom: geometry4_PL_ponte Flow: steady flow1
River = River Reach = River1 RS = 4



river1 Plan: Plan 05

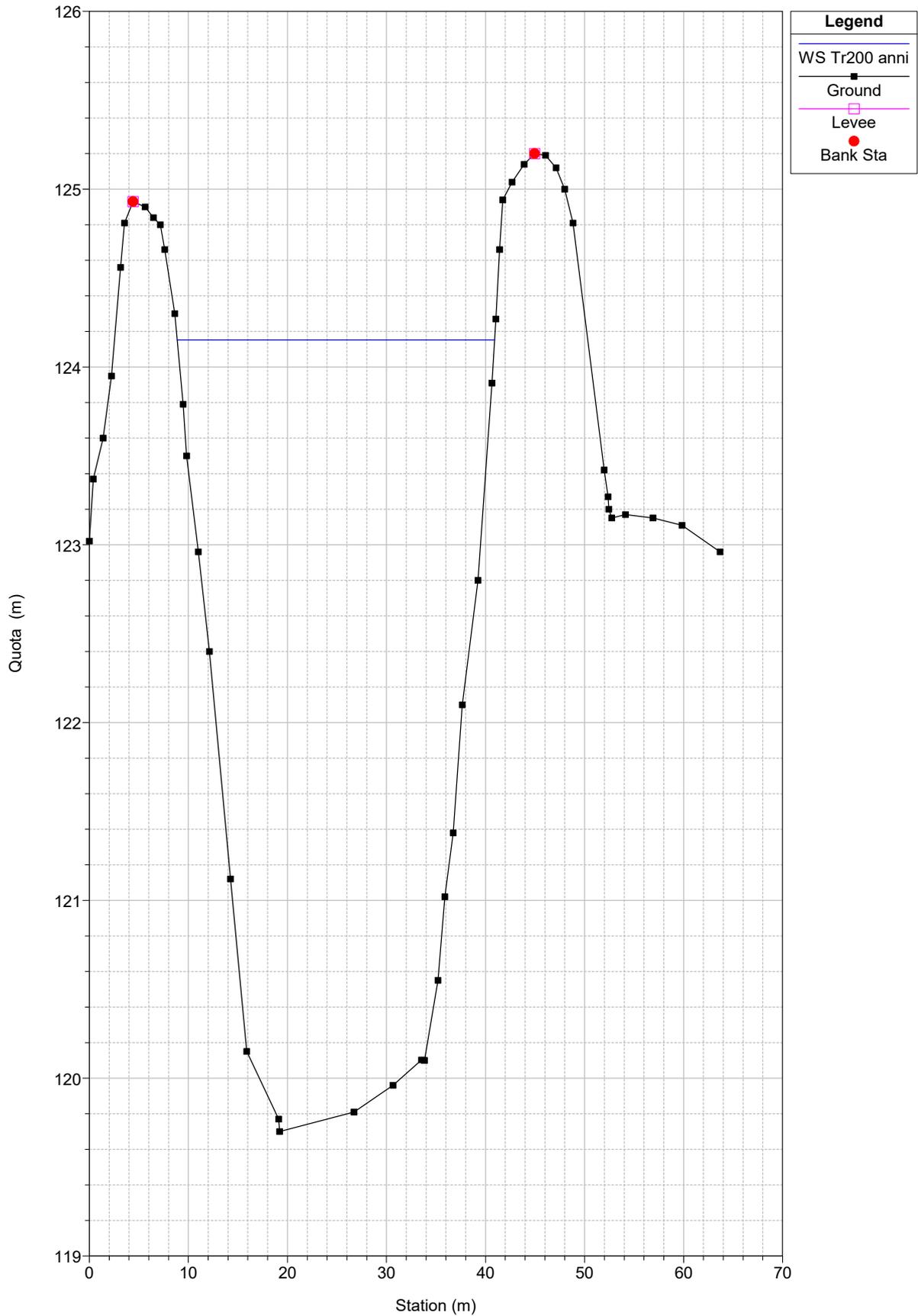
Geom: geometry4_PL_ponte Flow: steady flow1
River = River Reach = River1 RS = 3 BR

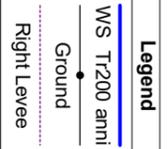
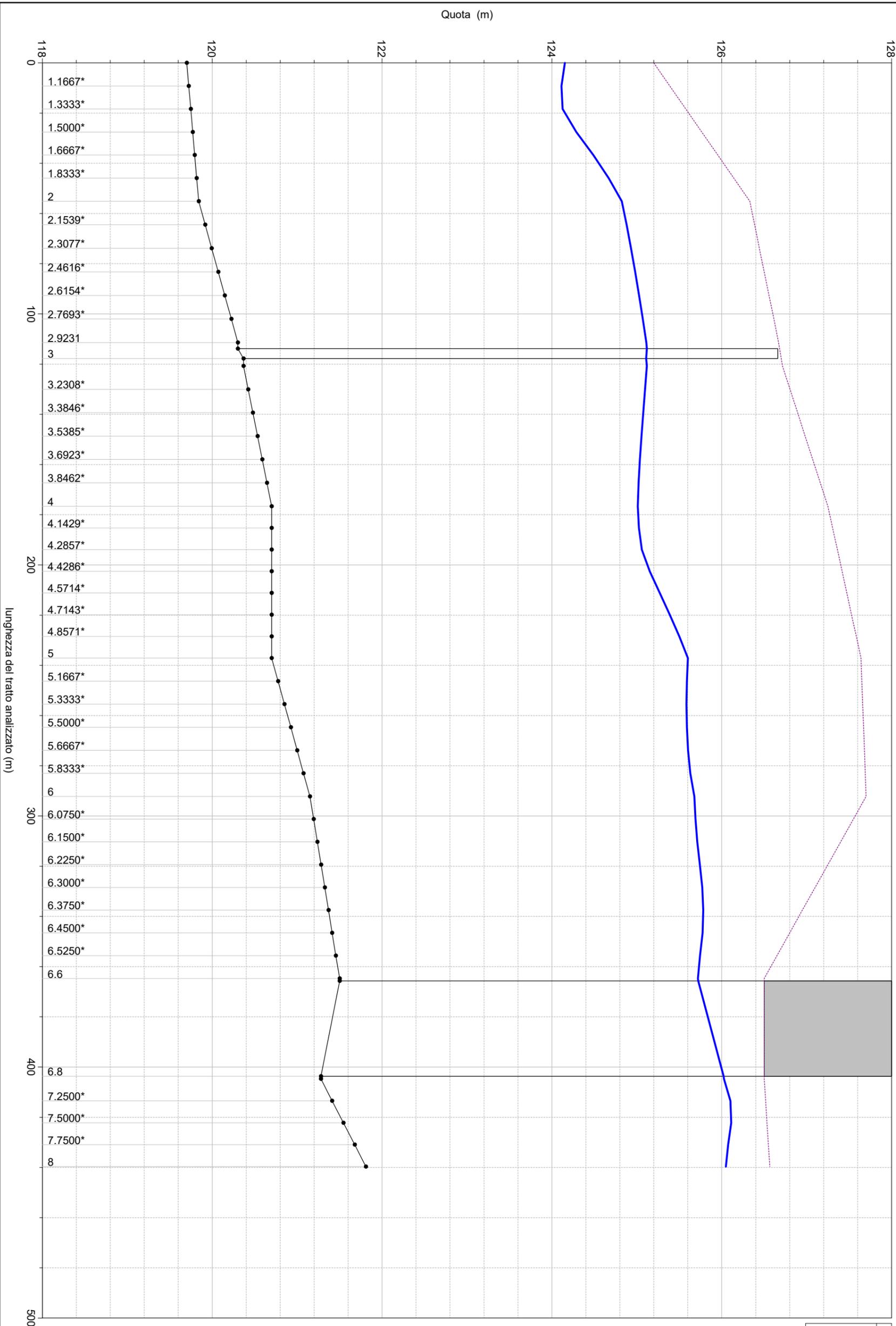


river1 Plan: Plan 05
Geom: geometry4_PL_ponte Flow: steady flow1
River = River Reach = River1 RS = 2

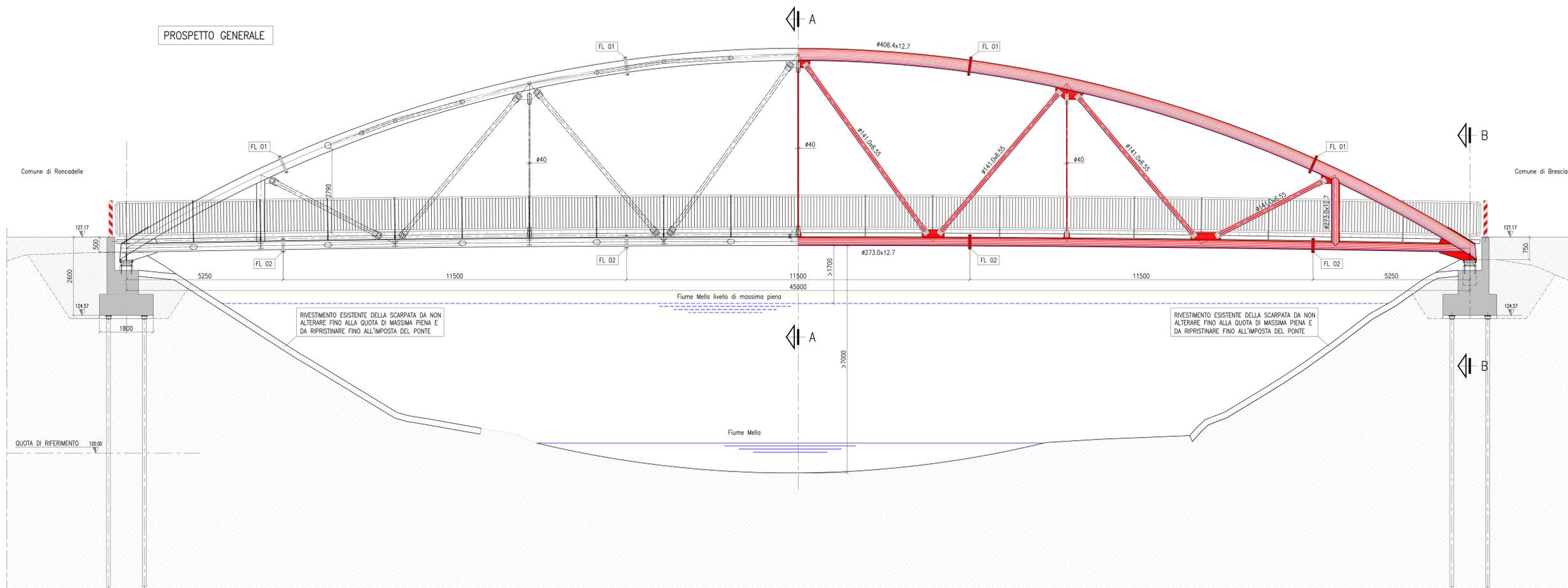


river1 Plan: Plan 05
Geom: geometry4_PL_ponte Flow: steady flow1
River = River Reach = River1 RS = 1





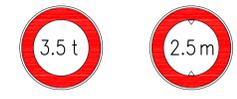
PROSPETTO GENERALE



NB.: SUL MANUFATTO DOVRA' ESSERE APPLICATO IL SEGUENTE CONTRASSEGNO PERMANENTE, CHIARAMENTE VISIBILE

400
200

PONTE PEDONALE
D.M. 17.01.2018
Anno di costruzione: 2023
Luce tra gli appoggi: 45m
Carico variabile: 500kg/m²
Autorezza di sovracc: 3.5t

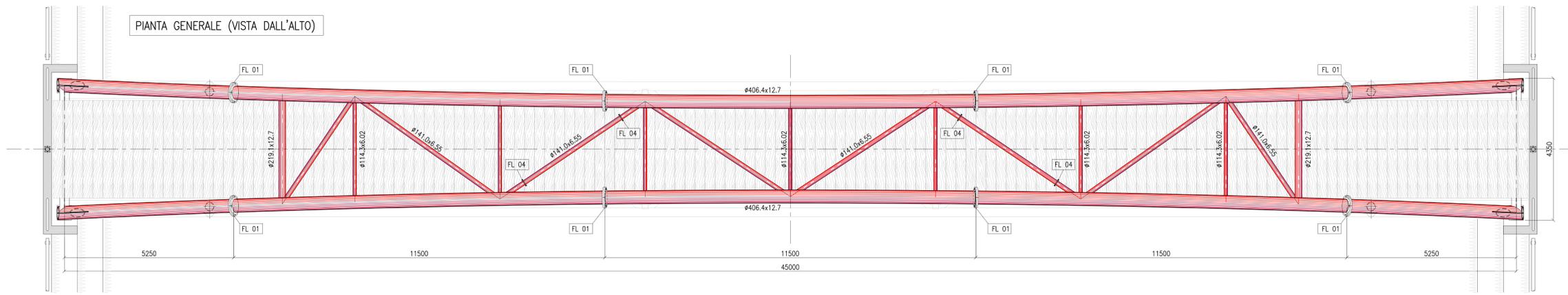


PRESCRIZIONI SUI MATERIALI

- VEDI ALLEGATO "RELAZIONE SUI MATERIALI"
- ACCIAIO S275 JR** escluso piastre di spessore > 20mm S275 J2
- Conformi alle norme armonizzate UNI EN 10025 (per i laminati), UNI EN 10210 (per i tubi senza asola), UNI EN 10219-1 (per i tubi saldati), recenti Marcatura CE.
- Per i prodotti per cui non sia applicabile Marcatura CE si rimanda punto B 8.11.1 D.M. 17.01.2018 (MTC)
 - PRODOTTO MARCATO CE** secondo UNI EN 1090-1 EN 1090-2 classe di esecuzione EXC2
 - SALDATURE** ad arco elettrico secondo UNI EN ISO 4063:2011
- Saldature, nei procedimenti semi automatici o manuali: qualifica UNI EN ISO 9606:2017, saldatori procedimenti automatici UNI EN ISO 14732:2017
- Procedimento di saldatura qualificato secondo UNI EN ISO 15614-1:2017
- Tutti gli elementi a contatto, se non diversamente specificato, devono essere tra loro collegati con saldatura continua di testa o d'angolo
- Ove non diversamente specificata la spessore delle saldature "a" e "c": per saldatura accessibile da un solo lato: 1.4 t per saldatura su due lati: 0.7 t
- Preparazione lembi da saldare secondo UNI EN ISO 9692-1:2005
- Esecuzione secondo UNI EN 1011-1:2009 ed UNI EN 1011-2:2005 per acciai ferritici ed UNI EN 1101-3:2005 per acciai inossidabili
 - TRATTAMENTO SUPERFICIALE**
- Pulizia meccanica superfici - sabbatura Sa2 1/2 (SSA)
- Pitturazione in officina:
a) Metallizzazione di zinco 99.9% ISO 2063 50 micron
b) Ciclo intermedio epossidico SB 100 micron
c) Ciclo di finitura poliuretano SB 60 micron
 - BULLONI** conformi norma armonizzata UNI EN 14399-1 recenti Marcatura CE zincati a caldo.
- Viti a testa esagonale larga per carpenteria classe 10.9 conformi UNI EN 14399 parti 3 e 4 e UNI EN ISO 898-1:2013
- Dadi classe 10 conformi UNI EN ISO 898-2:2012
- Rondelle durezza 300-370 HV
- Classe funzionale K1 e K2
- MOMENTO DI SERRAGGIO BULLONI: concordare con DL
 - SORVEGLIANZA E MANUTENZIONE STRUTTURE:** vedi PIANO DI MANUTENZIONE allegato alla DENUNCIA opere in cemento armato e carpenteria metallica

PARAPETTI IN ACCIAIO INOX AISI 304/EN 10088-1.4.301 CON TRATTAMENTO DI SABBATURA

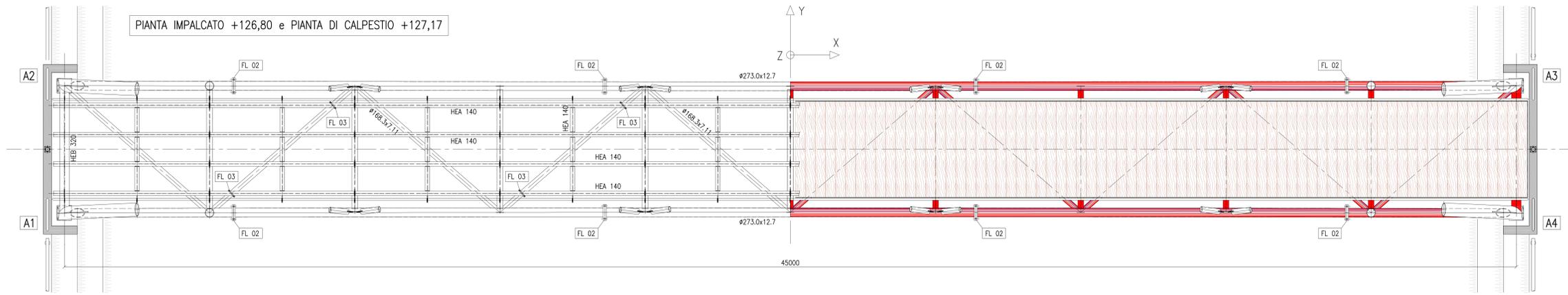
PIANTA GENERALE (VISTA DALL'ALTO)



Schema appoggi

- A1 fisso
- A2 libero X,Y
- A3 libero X,Y
- A4 libero X

PIANTA IMPALCATO +126,80 e PIANA DI CALPESTIO +127,17



ELENCO TAVOLE:

862.002-	SEZIONI TRASVERSALI - PARTICOLARI DI MONTAGGIO
862.003-	SCHEMA SVILUPPO ARCO NEL PIANO - PIANTE UNIFILARI
862.004-	PARTICOLARI DI MONTAGGIO
862.005-	PARAPETTI - BARRIERA - PALO PORTA TARGA
862.006-	PLINTI DI FONDAZIONE

1	14.02.23	EMMISSIONE CONFERENZA DEI SERVIZI	Dis.	Visto	C	R
Rev.	Data	Descrizione				

GREGORELLI Ingegneria
 PROGETTAZIONE STRUTTURALE
 Via Marconi, 45-25069 Villa Carlos (BS) Tel. 030983470-Fax 0309830210
 www.gregorelli-ingenieri.it e-mail: studio@gregorelli-ingenieri.it

Committente:
Brescia Infrastrutture S.r.l.

Descrizione lavoro:
PASSERELLA CICLOPEDONALE SUL FIUME MELLA TRA COMUNI DI RONCADELLE E BRESCIA

Descrizione tavola:
PROSPETTO E PIANTE

Il Progettista: La Direzione Lavori Il Costruttore:

TAV. 862.001
 Data: 14/02/23 File: 862001.dwg
 Scala: 1:50 Pagine: 862/22
 Composto da n. fogli

Revisori:	1	2	3	4	5	6
	1	1	1	1	1	1

