INDICE

1.) PREMESSA 2
2.) INQUADRAMENTO TERRITORIALE DELL'AREA 3
2.1) Riferimenti cartografici 4
3.) ANALISI IDROLOGICA 8
3.1) Il Fiume Bormida di Mallare 8
3.2.) Determinazione portate di progetto 8
4.) VERIFICA IDRAULICA 11
4.1.) Profili idraulici per correnti in moto permanente 11
4.2.) Modellazione idraulica attraverso un ponte 15
4.2.1.) Calcoli in "Low Flow" 17
4.2.2.) Calcoli in" High Flow" 21
5.3.) Output della modellazione 24
5.) RISULTATI RELATIVI ALLE VERIFICHE IDRAULICHE 25
5.1) Confronto tra indagini in moto permanente e indagini Prov SV 27
5.2) Analisi dei risultati 30
6.) CONCLUSIONI 32

Allegati nel testo:

- Stralcio C.T.R. – scala 1:10.000;
- Perimetrazione quadro dissesti PAI – stralcio cartografico AdBPo;
- Variante al PRG Comune di Altare;
- Output verifica idraulica Hec-Ras;
- Documentazione fotografica.

1.) PREMESSA

Nel comune di Altare in Località Isolagrande, in sinistra orografica del Fiume Bormida di Mallare è presente un importante sito produttivo di proprietà di Vetreria Etrusca S.r.l.; è intenzione della committenza effettuare un ampliamento dello stabilimento esistente per la realizzazione di un nuovo forno fusorio e pertanto viene redatto uno studio idrologico-idraulico di dettaglio al fine di approfondire il quadro conoscitivo dell'area e valutare la compatibilità delle opere in progetto con i regimi di piena del corso d'acqua.

Con la presente, viene pertanto analizzato il regime idrologico ed idraulico del Fiume Bormida di Mallare in prossimità dello stabilimento oggetto di ampliamento con particolare considerazione alle portate di riferimento con tempo di ritorno di 50, 200 e 500 anni; dopo aver eseguito un rilievo topografico di dettaglio del tratto di interesse viene quindi allestito un modello numerico monodimensionale in condizioni di moto permanente finalizzato alla perimetrazione delle aree a rischio idraulico.

Il presente studio idraulico è redatto in conformità con quanto previsto nella ""*DIRETTIVA SULLA PIENA DI PROGETTO DA ASSUMERE PER LE PROGETTAZIONI E LE VERIFICHE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA*" approvata con deliberazione del Comitato Istituzionale n. 18 del 26 aprile 2001 e nel Regolamento Regionale n. 3 del 14 luglio 2011 "*REGOLAMENTO RECANTE DISPOSIZIONI IN MATERIA DI TUTELA DELLE AREE DI PERTINENZA DEI CORSI D'ACQUA".*

2.) INQUADRAMENTO TERRITORIALE DELL'AREA

L'area oggetto di intervento è ubicata in sinistra orografica del Fiume Bormida di Mallare in Località Isolagrande; si tratta di una zona localizzata in prossimità del confine amministrativo con il vicino comune di Mallare, a prevalente destinazione artigianale e produttiva. La sua ubicazione è meglio evidenziata nella figura sottostante nonché nello stralcio della Carta Tecnica Regionale riportati in allegato.



Figura 1: Individuazione area oggetto di indagine su foto satellitare.

L'area è caratterizzata da una morfologia pianeggiante compresa tra la rete viaria principale e il corso d'acqua, verso il quale l'area stessa è delimitata mediante muri perimetrali in cemento e sovrastante recinzione. L'alveo del corso d'acqua presenta, in tale tratto, andamento quasi rettilineo con naturale tendenza al deposito di materiale litoide costituito prevalentemente da ciottoli e ghiaia, particolarmente visibile in corrispondenza del ponte carrabile della rete viaria principale e localizzato a valle dell'area dello stabilimento; l'attraversamento è costituito da un impalcato in cemento a soletta piana sostenuto da spalle in alveo sempre in cemento e sorretto da una pila centrale di forma rettangolare rastremata alle estremità.

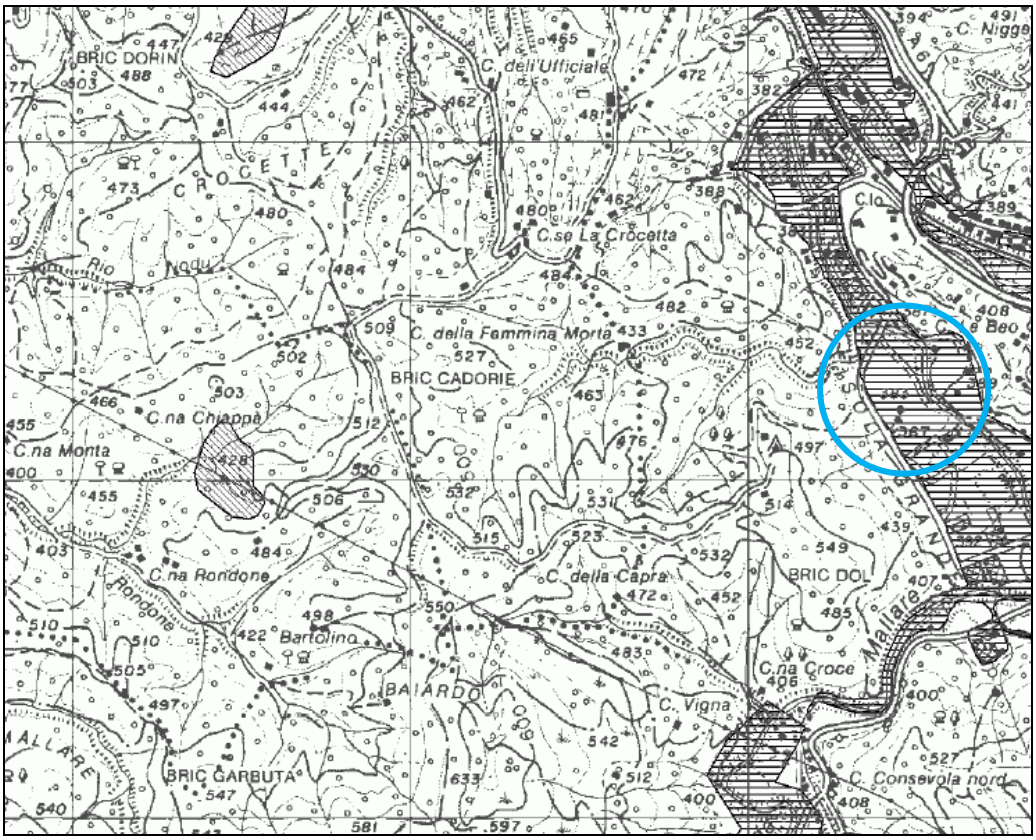
Si evidenzia inoltre la presenza, su entrambe le rive del'alveo inciso, di due difese spondali realizzate con scogliera in massi aventi funzione di protezione delle scarpate naturali del fiume dall'azione erosiva delle acque.

2.1) Riferimenti cartografici

Al fine di individuare eventuali situazioni di rischio presenti nell'area, è stato preliminarmente consultato il repertorio cartografico esistente, che precisa i vincoli pianificatori interferenti sulla zona indagata e ne specifica le possibili situazioni di pericolo; di seguito sono riportati gli stralci cartografici analizzati e le considerazioni in merito.

L'Autorità di Bacino del fiume Po mette a disposizione e consultabili on-line (al sito http://www.adbpo.it) tutta una serie di cartografie redatte in funzione della stesura del relativo PAI (Piano stralcio per l'Assetto idrologico redatto ai sensi della Legge n. 183 del 18 maggio 1989 e s.m.i.), con indicate le zone classificate come idraulicamente pericolose (vedi stralcio allegato). Per quanto concerne il quadro dei dissesti PAI, l'Atlante dei rischi idraulici ed idrogeologici (v. *Figura 2*) delimita un'area a pericolosità molto elevata (Ee) dovuta a esondazioni e dissesti morfologici di carattere torrentizio (Foglio 228 sez 1 – Cairo Montenotte).

Figura 2: estratto fuori scala del Piano stralcio per l'assetto idrogeologico (PAI deliberazione C.I. n. 18/2001) dell'Autorità di bacino del fiume Po con indicazione dell'area di indagine in celeste (Foglio 228 – sez. 1 – Cairo Montenotte).



Il comune di Altare ha adottato la variante al PRG per l'adeguamento parziale alla disciplina del PAI in applicazione dell'art. 18 comma 2 delle NTA del PAI stesso recependo lo "Studio delle fasce fluviali dei sottobacini del fiume Bormida di Spigno e del Fiume Bormida di Millesimo" svolto da Hydrodata S.p.a., ART s.r.l., INTECNO-DHI ed SGA – Genova per conto della Provincia di Savona. Tale variante è stata approvata con DGP n. 2011/5191 del 22/07/11.

Nel rispetto della DGR n. 1657 del 29/12/11 ed in particolare nella parte 2 art. 6 dell'allegato 1 che approva la mappatura delle aree a rischio idraulico, bacini padani ed i divieti e prescrizioni su tali aree in base ai vari tempi di ritorno, il Comune di Altare risulta essere uno dei comuni virtuosi (nell'ambito del versante padano) che ha concluso le procedure di recepimento delle perimetrazioni negli strumenti urbanistici comunali. Pertanto, ai sensi della DGR 1657/11 la mappatura di rischio idraulico risulta essere quella approvata con la DGP 2011/5191 del 22/07/11 sopracitata e riportata in appresso (v. *Figura 3*).

La cartografia seguente riporta uno stralcio fuori scala in cui si osserva in rosso un'area a pericolosità molto elevata (Ee), in giallo un'area a pericolosità elevata (Eb) ed in verde un'area a pericolosità media (Em). In sponda sinistra, l'area oggetto di indagine è interessata dagli eventi alluvionali catastrofici che si attestano al di sotto del dislivello

morfologico a margine della strada, mentre le piene duecentennali e cinquantennali parrebbero essere contenute nele sponde dell'alveo naturale del corso d'acqua; si evidenzia, in prossimità del ponte, un'ampliamento delle fasce inondabili dovuto ad una piccola area pianeggiante a quote inferiori rispetto all'area produttiva. In sponda destra non si rilevano elementi antropici aventi funzione di contenimento e difesa, pertanto, i deflussi, anche i più gravosi, si attestano in corrispondenza dei limiti geomorfologici naturali.

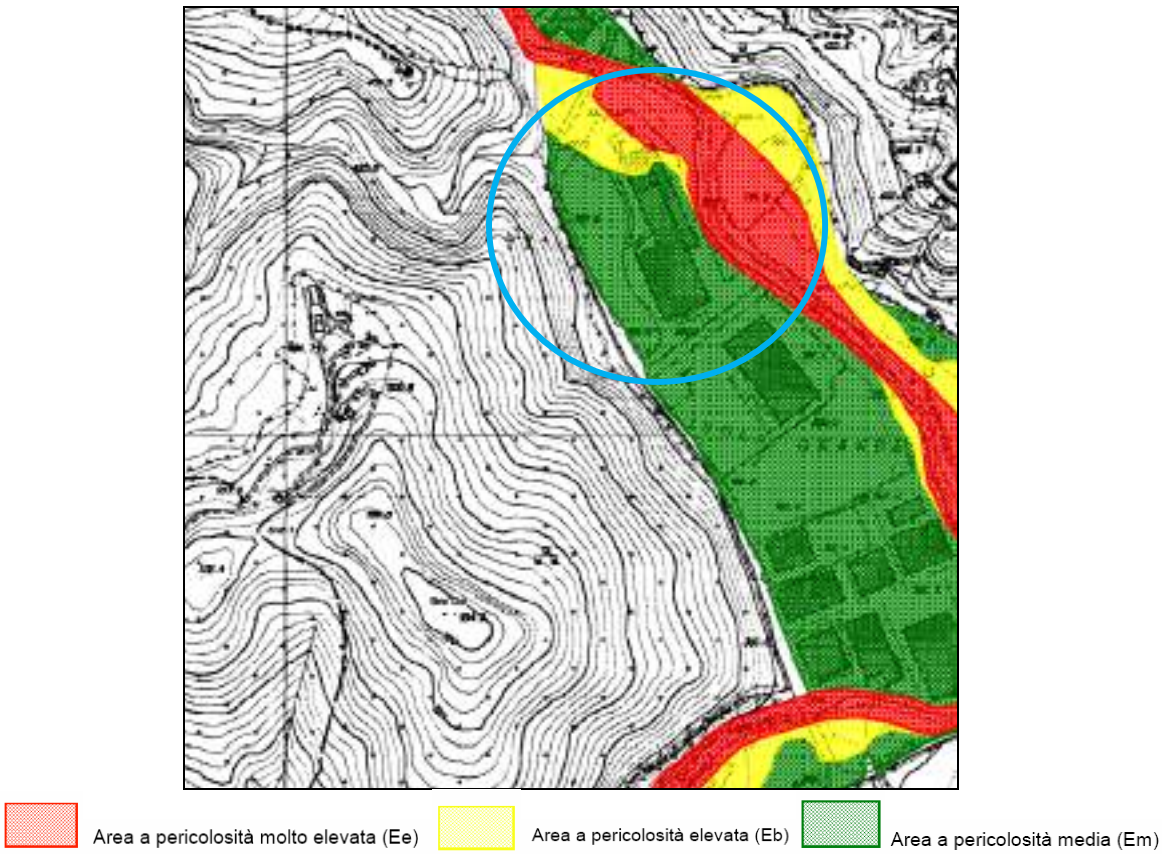
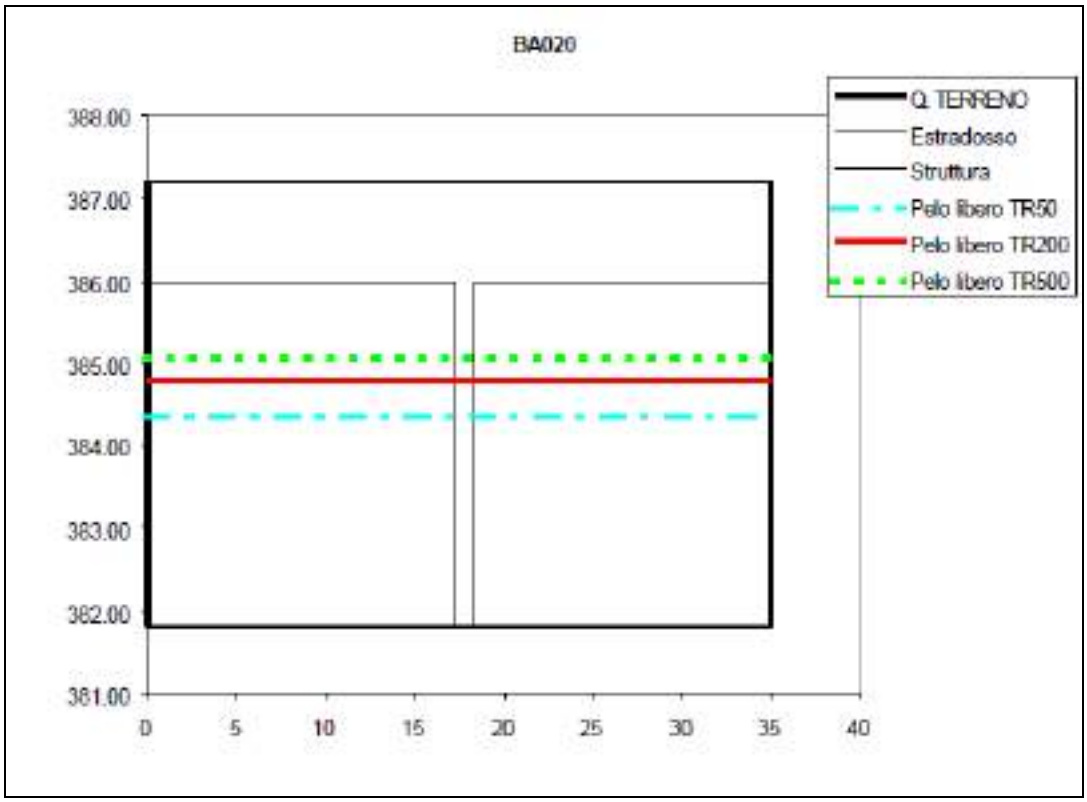


Figura 3: Perimetrazione aree in dissesto (fonte: Studio delle fasce fluviali dei sottobacini del Fiume Bormida di Spigno e del Fiume Bormida di Millesimo – Provincia di Savona)

Nell'ambito del suddetto studio sono state altresì censite le opere idrauliche interferenti con il corso d'acqua e ne è stata valutata la compatibilità idraulica. A tal fine l'attraversamento posto a valle del sito produttivo è stato rilevato ed identificato con il codice BA020 ed è stata avviata una simulazione numerica in assetto di moto vario a cui sono state associate le portate con Tr = 50 anni (Q_{50} = 206 m_3/s), con Tr = 200 anni (Q_{200} = 278 m_3/s) e con Tr = 500 anni (Q_{500} = 328 m_3/s). Dai risultati delle simulazioni, le cui evidenze sono riportate nel seguito, emerge che l'attraversamento consente il passaggio della portata duecentennale con un adeguato franco di sicurezza.

Trattandosi di una sezione nota in comune con il modello idraulico che verrà allestito nel seguito si è dunque ritenuto utile acquisire, nel prosieguo delle indagini, i risultati degli studi idrologico-idraulici effettuati, anche al fine di allestire e validare un modello numerico ben rappresentativo delle reali condizioni del tratto fluviale analizzato.



3.) ANALISI IDROLOGICA

3.1) Il Fiume Bormida di Mallare

Il corso d'acqua nasce dalle alture di transizione tra la catena alpina e quella appenninica, in corrispondenza dello spartiacque che separa il versante tirrenico da quello padano ed è caratterizzato, nel settore montano, da pendii molto acclivi con aree prevalentemente boscate ad elevato grado di naturalità, mentre il settore di fondovalle si presenta notevolmente antropizzato con numerosi centri abitati ed aree produttive che sono sorte sulle sue sponde e fino in confluenza.

Il Bormida di Mallare nasce alle pendici del Bric della Binella, sulle alture di Mallare, ad una quota di circa 750 m s.l.m. mentre le cime più elevate che costituiscono lo spartiacque raggiungono i 1386 m s.l.m. con il Monte Settepani; nella parte alta segue un percorso piuttosto tortuoso tra valli boscate e territori dalle caratteristiche decisamente montane che lo porta a lambire il centro cittadino di Mallare, dove, nei pressi del campo sportivo, si ha lo sbocco del Rio Biterno suo affluente di destra.

Da qui il Bormida prosegue il suo corso, per circa 6,5 km, attraversando l'area industriale di Mallare e costeggiando una vasta piana posta al di sotto della Località Olano (Mallare) seguendo poi un percorso caratterizzato da alcuni meandri fino a raggiungere la località Isolagrande, dove è localizzata l'area produttiva di Altare. In questa zona il corso d'acqua attraversa numerosi ponti che costituiscono le vie di accesso ai diversi stabilimenti presenti.

Il Bormida di Mallare prosegue poi il suo corso verso valle in un ambiente vallivo e maggiormente antropizzato costeggiando l'abitato di Bragno, per poi confluire, dopo aver percorso un bacino di circa 60 km^2, nel Bormida di Pallare che, immediatamente a valle della confluenza, prende il nome di Bormida di Spigno.

3.2.) Determinazione portate di progetto

Ai fini dell'allestimento del modello idraulico in moto permanente è necessario valutare le portate con tempo di ritorno di 50, 200 e 500 anni.

Nell'ambito dello "Studio delle fasce fluviali dei sottobacini del Fiume Bormida di Spigno e del Fiume Bormida di Millesimo" per conto della Provincia di Savona ed attualmente in fase di recepimento da parte dell'Autorità di Bacino del fiume Po, sono

state svolte indagini idrologiche ed idrauliche di dettaglio inerenti al tratto di corso d'acqua indagato.

La definizione della portata di piena è stata svolta inizialmente perimetrando il bacino idrografico chiuso in corrispondenza di differenti sezioni significative, determinandone i parametri morfologici con l'ausilio di una adeguato supporto cartografico.

L'analisi pluviometrica svolta sul bacino in esame deriva da quanto riportato nello "Studio delle fasce fluviali dei sottobacini del Fiume Bormida di Spigno e del Fiume Bormida di Millesimo*".* La procedura è stata stabilita per il settore ligure dei bacini del Fiume Bormida di Spigno e del Fiume Bormida di Millesimo al fine di risolvere il dualismo esistente nella valutazione delle portate di piena dei corsi d'acqua.

La Regione Liguria propone, infatti, l'utilizzo della procedura "CIMA" di regionalizzazione idrologica delle portate di piena, effettuata sulla base delle trasformazioni al suolo delle precipitazioni relative alle serie storiche delle stazioni pluviometriche presenti sul territorio Ligure e localizzate in massima parte sul versante tirrenico dell'Appennino.

L'Autorità di Bacino del Po indica invece una procedura di distribuzione spaziale delle piogge intense con il metodo di kriging, effettuata analizzando le stazioni pluviometriche storiche principalmente site nella parte piemontese di pianura del bacino.

Dato che il bacino del Fiume Bormida di Mallare è caratterizzato sia da un ampio settore montano di transizione tra le Alpi Marittime e gli Appennini che da un'altrettanto vasto settore di fondovalle moderatamente pianeggiante, l'utilizzo di una media aritmetica dei parametri diventa indispensabile per stimare nella maniera più corretta le portate di piena in quanto il metodo "CIMA" tende a sovrastimare i valori di portata derivanti dai settori di bacino di pianura mentre il metodo "Kriging" tende invece a sottostimare i contributi derivanti dai settori montani.

Per la determinazione dell'idrogramma di piena in una data sezione di chiusura è stato invece utilizzato il modello idrologico DriFt che ben si adatta alla modellazione di fenomeni di piena dove preponderante risulta l'apporto del bacino montano rispetto al settore vallivo.

Le portate di progetto ricavate mediante l'applicazione delle metodologie sopra esposte in corrispondenza della sezione di confluenza tra il Fiume Bormida di Mallare ed il Rio Biterno (sezione a valle della confluenza) ed in corrispondenza dell'immissione del Rio Cappelletta (sezione a monte della confluenza), la prima sita a monte e la seconda a valle dell'area indagata, sono riportate nella tabella seguente:

Tabella 1: valori delle portate al picco per il Fiume Bormida di Mallare (fonte: Studio Hydrodata)

Fiume Bormida di Mallare Q [m^3/s]	**Area [km^2]**	**T_R = 50 anni**	**T_R = 200 anni**	**T_R = 500 anni**
Valle Confluenza Mallare - Biterno	24.0	117	157	185
Monte Confluenza Mallare - Cappelletta	49.0	228	328	364

In particolare mediante il metodo proposto e per interpolazione si ricavano i valori, riportati nella tabella seguente, riferiti alla sezione localizzata in corrispondenza del Ponte BA020 a ridosso dell'area di indagine:

Tabella 2: Portate di progetto per il Fiume Bormida di Mallare in Località Isolagrande .- Altare

	T_R = 50 anni	**T_R = 200 anni**	**T_R = 500 anni**
Bormida Di Mallare Q [m^3/s]	206	278	328

I valori delle portate di riferimento, così come stimate nell'ambito dello "Studio delle fasce fluviali dei sottobacini del Fiume Bormida di Spigno e del Fiume Bormida di Millesimo", verranno pertanto utilizzate come portate di riferimento per le successive simulazioni idrauliche.

4.) VERIFICA IDRAULICA

Una volta determinate le portate di progetto, il passo successivo consiste nell'analisi idraulica del comportamento del corso d'acqua, ovvero nella determinazione dei livelli della superficie libera di deflusso e nella conseguente determinazione delle aree potenzialmente esondabili per fissati tempi di ritorno.

Lo studio del deflusso in condizioni di piena per il calcolo dei livelli nella sezione di interesse è stato effettuato con un modello matematico proposto da HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System) dipartimento della U.S. Army Corps of Engineers, Istitute for Water Resources, di recente realizzazione (la versione utilizzata è la 4.1.0).

Il programma simula il deflusso della corrente secondo un modello monodimensionale, determinando il profilo di corrente in funzione delle condizioni al contorno imposte nelle sezioni di ingresso e di uscita del tratto modellato, delle caratteristiche dell'alveo, e della presenza di ingombri od ostacoli (ponti, tombini, pile in alveo, ecc.).

I dati di cui necessita sono fondamentalmente di due tipi:

- dati di tipo geometrico:
  - coordinate verticali ed orizzontali delle varie sezioni dell'alveo ordinate a partire da monte verso valle;
  - distanza tra una sezione e la successiva;
  - posizione e geometria di eventuali argini, ponti, sfioratori, traverse fluviali e luci di deflusso;
  - coefficienti di contrazione ed espansione della corrente;
  - coefficiente di scabrezza di Manning variabile secondo i diversi tratti della sezione considerata.
- dati di tipo idraulico:
  - valori di portata;
  - tipo di moto (corrente lenta, corrente veloce o regime misto);
  - condizioni al contorno scelte a seconda del problema in esame e dei dati storici di cui si dispone.

4.1.) Profili idraulici per correnti in moto permanente

La procedura di calcolo è basata sulla soluzione dell'equazione dell'energia espressa monodimensionalmente (eq. 4.1). La perdita di energia (eq. 4.2) è valutata

attraverso gli attriti (equazione di Manning (eq. 4.3)) e attraverso la contrazione o l'espansione del flusso (coefficienti moltiplicati per il gradiente di velocità tra una sezione e quella successiva).

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2 \cdot g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2 \cdot g} + h_e \qquad \text{(eq. 4.1)}$$

dove:

Y_1, Y_2 = profondità dell'acqua nella sezione;
Z_1, Z_2 = altezza sul livello del mare del canale principale;
V_1, V_2 = velocità media;
α_1, α_2 = coefficienti di peso per la velocità;
g = accelerazione di gravità;
h_e = carico di energia perso (eq. 4.2).

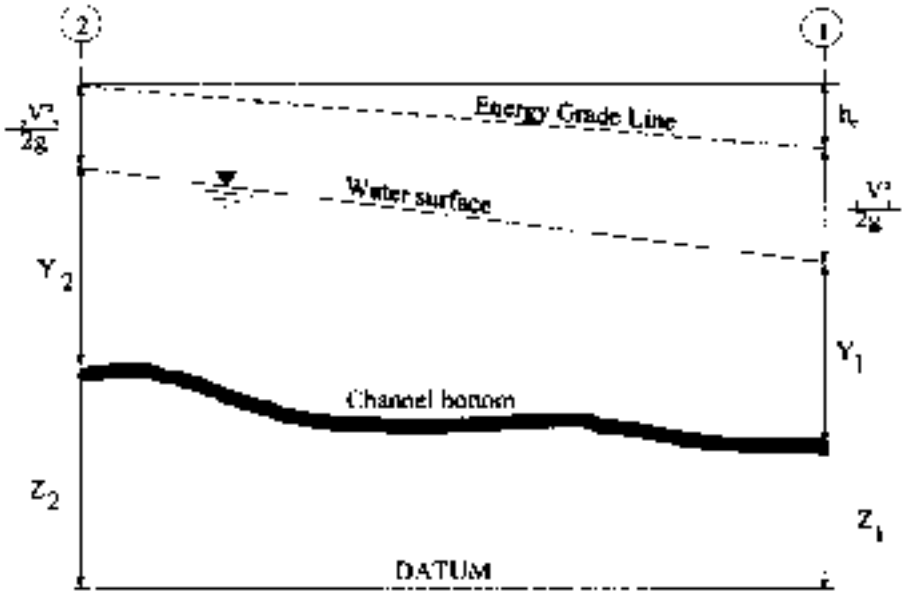


Figura 4:: Rappresentazione dei termini nell'equazione dell'energia

$$h_e = L \cdot \overline{S_f} + C \cdot \left| \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2 \cdot g} - \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2 \cdot g} \right| \qquad \text{(eq. 4.2)}$$

dove:

L = portata unitaria (pesata sulla lunghezza del tratto di torrente o di canale in studio);

$\overline{S_f}$ = perdite di energia dovute all'attrito (valutabile attraverso diversi metodi a seconda della condizione morfologica del bacino e della tipologia di corrente in esame);
C = coefficiente di contrazione/espansione.

Le perdite di energia dovute all'attrito sono valutabili nella forma più generale possibile attraverso il rapporto $\overline{S_f} = \left(\frac{Q}{K}\right)^2$ dove con K si indica il flusso d'acqua nelle diverse aree della sezione fluviale (flusso nel canale principale, flusso nell'area di piena ordinaria, flusso nell'area golenale, ecc.); dall'equazione di Manning:

$$K = \frac{1.486}{n} \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}} \qquad \text{(eq. 4.3)}$$

dove:

A = area di flusso,
R = raggio idraulico (area/perimetro bagnato),
n = coefficiente di scabrezza di Manning.

Tali parametri vanno specificati per ogni tipo di area in cui viene suddivisa la sezione.

In situazioni dove il profilo della superficie dell'acqua varia in modo molto rapido (i.e.: risalti idraulici, confluenze costituite da un angolo molto grande tra la direzione di flusso del fiume/canale principale e l'affluente, corrente veloce in prossimità di ponti o di infrastrutture idrauliche, ecc…) si utilizza l'equazione del momento (eq. 4.6) al posto di quella del bilancio energetico. Tale equazione è derivata dalla seconda legge della dinamica dei corpi di Newton:

$$\sum F_x = m \cdot a \qquad \text{(eq. 4.4)}$$

Applicando l'equazione (4.4) ad un corpo d'acqua compreso fra due sezioni 1 e 2, l'espressione precedente diventa:

$$P_2 - P_1 + W_x - F_f = Q \cdot \rho \cdot \Delta V_x \qquad \text{(eq. 4.5)}$$

dove:

$P = \gamma \cdot A \cdot \overline{Y}$ pressione idrostatica in prossimità delle sezioni 1 e 2;

γ = peso specifico dell'acqua;

$\overline{Y}$ = profondità dell'acqua misurata dalla superficie al centro del canale principale;

$W_x = \gamma \cdot \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) \cdot L \cdot S_0$ forza peso dell'acqua calcolata nella direzione X di deflusso tra le sezioni 1 e 2;

Q = portata;

$\rho = \frac{\gamma}{g}$ densità dell'acqua;

$\Delta V_x = \left(\beta_1 \cdot V_1 - \beta_2 \cdot V_2 \right)$ gradiente di velocità fra le due sezioni lungo la direzione longitudinale X;

β = coefficiente di momento che tiene conto della variazione di distribuzione delle velocità in canali irregolari.

F_f = forza esterna di attrito dalla sezione 2 alla sezione 1 calcolata con la formula $F_f = \tau \cdot \overline{P} \cdot L$ tenendo conto che la tensione di taglio è $\tau = \gamma \cdot \overline{R} \cdot \overline{S}_f$ dove $\overline{\mathrm{P}}$ e $\overline{\mathrm{R}}$ sono rispettivamente il perimetro bagnato mediato fra le due sezioni e il raggio idraulico medio.

Sostituendo alle forze interne ed esterne le loro note espressioni si ottiene l'equazione del momento:

$$\frac{Q_2 \cdot \beta_2}{g \cdot A_2} + A_2 \cdot \overline{Y}_2 + \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) \cdot L \cdot S_0 - \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) \cdot L \cdot \overline{S}_f = \frac{Q_1 \cdot \beta_1}{g \cdot A_1} + A_1 \cdot \overline{Y}_1 \qquad \text{(eq. 4.6)}$$

Nella figura che segue sono schematizzate le forze esterne e quelle interne che agiscono sul sistema "acqua" tra due sezioni successive.

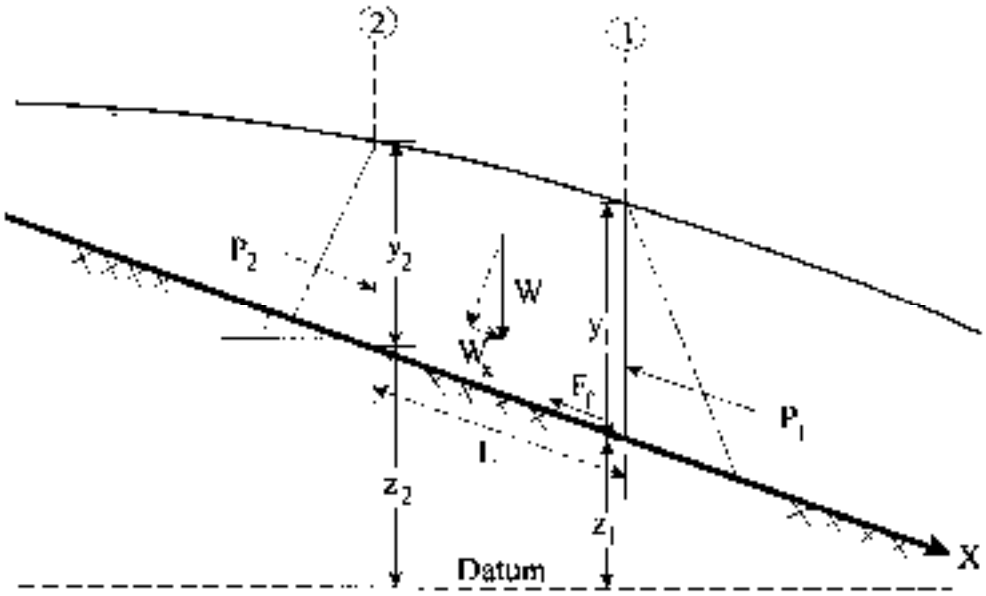


Figura 5: Applicazione del principio del momento

Nei calcoli si può inoltre considerare l'effetto di diversi tipi di ostruzioni al flusso dell'acqua come per esempio ponti, stramazzi, traverse, luci di deflusso e altre strutture impermeabili che occupano l'alveo. Generalmente l'obiettivo principale dell'applicazione di questo tipo di studio è costituito dalla ricerca delle aree esondabili ma si possono eseguire anche studi relativi all'effetto che eventuali argini o mutamenti morfologici dell'alveo hanno sul profilo della corrente.

4.2.) Modellazione idraulica attraverso un ponte

L'approccio di HEC RAS al problema della dinamica fluviale attraverso un ponte consiste nel calcolo delle perdite di energia totale da parte del fluido all'uscita dal ponte, dove generalmente si riscontra un'espansione del fluido, all'attraversamento di esso ed in ingresso, dove, invece, si riscontra una contrazione del fluido.

Per semplicità, nel seguito, si indica con routine il processo di calcolo precedentemente indicato.

La routine utilizza quattro sezioni per il calcolo della perdita di energia della massa fluida attraverso l'infrastruttura (vedi figura seguente). È necessario che le sezioni 4 e 1 siano inserite come dati geometrici di input mentre le restanti sono generate automaticamente dal programma.

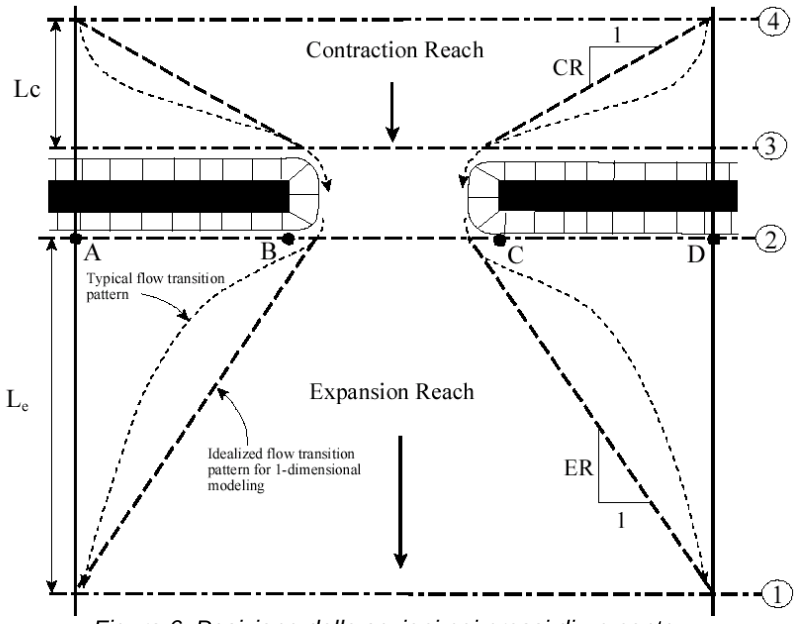


Figura 6: Posizione delle sezioni nei pressi di un ponte.

		$n_{ob} / n_{c=1}$	$n_{ob} / n_{c=2}$	$n_{ob} / n_{c=4}$
b/B = 0.10	S = 1 ft/mile	1.4 – 3.6	1.3 – 3.0	1.2 – 2.1
	5 ft/mile	1.0 – 2.5	0.8 – 2.0	0.8 – 2.0
	10 ft/mile	1.0 – 2.2	0.8 – 2.0	0.8 – 2.0
b/B = 0.25	S = 1 ft/mile	1.6 – 3.0	1.4 – 2.5	1.2 – 2.0
	5 ft/mile	1.5 – 2.5	1.3 – 2.0	1.3 – 2.0
	10 ft/mile	1.5 – 2.0	1.3 – 2.0	1.3 – 2.0
b/B = 0.50	S = 1 ft/mile	1.4 – 2.6	1.3 – 1.9	1.2 – 1.4
	5 ft/mile	1.3 – 2.1	1.2 – 1.6	1.0 – 1.4
	10 ft/mile	1.3 – 2.0	1.2 – 1.5	1.0 – 1.4

Valori del rapporto di espansione ER.

La tabella precedente fornisce un suggerimento sulla distanza dal ponte cui effettuare il rilievo topografico della sezione a valle:

b = lunghezza totale della luce libera del ponte ($\overline{BC}$ in fig.8),

B = lunghezza totale del ponte ($\overline{AD}$ in fig. 8),

S = pendenza dell'alveo,

n_{ob} = scabrezza di Manning nella zona di esondazione,

n_c = scabrezza di Manning nel canale principale.

Nella routine la scabrezza di Manning è utilizzata per il calcolo delle perdite energetiche dovute agli attriti, ogni altra perdita di energia è calcolata attraverso coefficienti che rappresentano la variazione del carico cinetico della corrente fra una

sezione e quella adiacente. Generalmente, ad un aumento di velocità corrisponde una contrazione della corrente, viceversa in caso di rallentamento. Di seguito si forniscono alcuni valori tipici dei coefficienti di contrazione ed espansione in caso di moto in corrente lenta:

	Contrazione	Espansione
Nessuna perdita calcolata	0	0
Perdite graduali	0.1	0.3
Perdite in sezioni tipiche di ponti	0.3	0.5
Perdite localizzate	0.6	0.8

4.2.1.) Calcoli in “Low Flow”

Questo tipo di routine funziona quando il flusso del fiume attraverso il ponte è a “canale completamente aperto”, ovvero quando l’altezza d’acqua massima non raggiunge la corda più bassa del ponte. In caso di moto in corrente lenta, il programma esegue una iterazione di calcoli utilizzando la formula del momento, descritta in precedenza, applicata ad un’altezza d’acqua pari a quella critica, per definire in quale classe di flusso ci si trova:

Classe A: il momento nella sezione a valle del ponte è maggiore di quello calcolato relativamente all’altezza critica attraverso il ponte;

Classe B: il momento nella sezione a valle del ponte è minore di quello calcolato relativamente all’altezza critica attraverso il ponte (si riscontra un fenomeno di risalto idraulico);

Classe C: il profilo che si riscontra attraverso il ponte è interamente supercritico (corrente localmente veloce).

Nel caso di flussi in classe A le perdite di energia tra le sezioni 4 e 3 e tra le sezioni 2 e 1 sono calcolati con le tecniche descritte in precedenza per analizzare gli effetti degli attriti e della contrazione o espansione del flusso. Tra le sezioni 3 e 2 le perdite di energia si possono calcolare mediante quattro diverse formule:

Equazione dell’energia,

Bilancio del momento,

Equazione di Yarnell,

Metodo FHWA WSPRO.

Si può scegliere di utilizzare uno solo di questi metodi oppure tutti insieme. Nel secondo caso HEC RAS consente di visualizzare un risultato per volta oppure solamente quello che fornisce un contenuto energetico maggiore.

L'equazione dell'energia utilizzata è la stessa descritta in precedenza per una normale sezione; in questo caso viene sottratta dall'area bagnata e dal perimetro bagnato la parte di alveo ostruita dal ponte.

Il bilancio del momento è eseguito in tre passi:

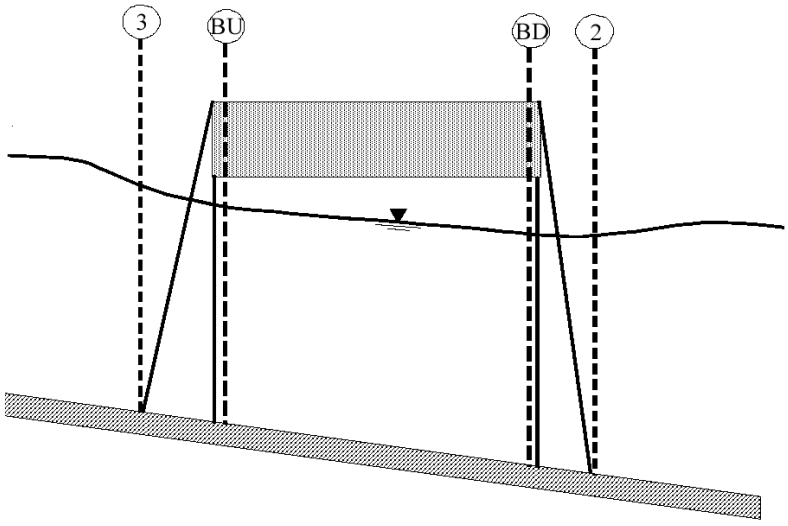


Figura 7: Sezioni adiacenti e interne al ponte.

Il primo passo consiste nel calcolare il bilancio del momento tra la sezione 2 e la sezione BD (vedi fig. 7) utilizzando la seguente formula:

$$A_{BD} \cdot \overline{Y}_{BD} + \frac{\beta_{BD} \cdot Q_{BD}^2}{g \cdot A_{BD}} = A_2 \cdot \overline{Y}_2 + \frac{\beta_2 \cdot Q_2^2}{g \cdot A_2} - A_{p_{BD}} \cdot \overline{Y}_{p_{BD}} + F_f - W_x$$

dove:

A_2, A_{BD} = area di flusso libero alla sezione 2 e alla BD, rispettivamente;

$A_{p_{BD}}$ = area di ostruzione della pila del ponte dal lato verso valle;

$\overline{Y}_2$, $\overline{Y}_{BD}$ = distanza verticale dalla superficie dell'acqua al baricentro dell'area bagnata A_2 e A_{BD}, rispettivamente;

$\overline{Y}_{p_{BD}}$ = distanza verticale dalla superficie dell'acqua al baricentro dell'area bagnata della pila dal lato verso valle;

β_2, β_{BD} = coefficiente di momento che tiene conto della variazione di distribuzione delle velocità rispettivamente alla sezione 2 e alla sezione BD;

Q_2, Q_{BD} = portata;

g = accelerazione di gravità;

F_f = forza esterna dovuta all'attrito, per unità di peso di acqua;

W_x = forza dovuta al peso dell'acqua nella direzione del flusso, per unità di peso di acqua.

Il secondo passo è costituito da un bilancio del momento fra le sezioni BD e BU (vedi fig. 7):

$$A_{BU} \cdot \overline{Y}_{BU} + \frac{\beta_{BU} \cdot Q_{BU}^2}{g \cdot A_{BU}} = A_{BD} \cdot \overline{Y}_{BD} + \frac{\beta_{BD} \cdot Q_{BD}^2}{g \cdot A_{BD}} + F_f - W_x$$

Il passo finale è un bilancio di momento tra le sezioni BU e 3):

$$A_3 \cdot \overline{Y}_3 + \frac{\beta_3 \cdot Q_3^2}{g \cdot A_3} = A_{BU} \cdot \overline{Y}_{BU} + \frac{\beta_{BU} \cdot Q_{BU}^2}{g \cdot A_{BU}} - A_{p_{BU}} \cdot \overline{Y}_{p_{BU}} + \frac{1}{2} \cdot C_D \cdot \frac{A_{p_{BU}} \cdot Q_3^2}{g \cdot A_3^2} + F_f - W_x$$

dove:

CD = coefficiente di erosione dovuto al flusso attorno alle pile del ponte; alcuni valori tipici si possono riscontrare nella tabella seguente:

Pier Shape	**Drag Coefficient C_D**
Circular pier	1.20
Elongated piers with semi-circular ends	1.33
Elliptical piers with 2:1 length to width	0.60
Elliptical piers with 4:1 length to width	0.32
Elliptical piers with 8:1 length to width	0.29
Square nose piers	2.00
Triangular nose with 30 degree angle	1.00
Triangular nose with 60 degree angle	1.39
Triangular nose with 90 degree angle	1.60
Triangular nose with 120 degree angle	1.72

Valori dei coefficienti di erosione a seconda della forma delle pile.

L'equazione di Yarnell è utilizzata per prevedere come varia la superficie dell'acqua dalla sezione 2, a valle, alla sezione 3, a monte; essa si basa su un metodo empirico, frutto di circa 2600 esperienze di laboratorio. I parametri utilizzati come variabili sono la forma, lo spessore, la lunghezza e l'angolo dei pilastri, nonché la velocità del flusso d'acqua. L'equazione risulta:

$$H_{3-2} = 2 \cdot K \cdot (K + 10 \cdot \omega - 0.6) \cdot (\alpha + 15 \cdot \alpha^4) \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

dove:

H_{3-2} = differenza di altezza d'acqua dalla sezione 3 alla 2;

K = coefficiente di Yarnell dovuto alla forma delle pile (vedi tabella);

ω = rapporto tra l'altezza cinetica e la profondità dell'acqua alla sezione 2;

α = rapporto tra l'area di ostruzione dei pilastri e il totale dell'area libera alla sezione 2;

V_2 = velocità a valle della sezione 2.

Pier Shape	**Yarnell K Coefficient**
Semi-circular nose and tail	0.90
Twin-cylinder piers with connecting diaphragm	0.95
Twin-cylinder piers without diaphragm	1.05
90 degree triangular nose and tail	1.05
Square nose and tail	1.25
Ten pile trestle bent	2.50

Coefficienti di Yarnell a seconda della forma delle pile

Tale metodo non è risultato sensibile alla forma delle arcate e delle spalle del ponte né al suo spessore.

Il metodo FHWA WSPRO è risultato un'applicazione ottimizzata dell'equazione della conservazione dell'energia per HEC RAS.

4.2.2.) Calcoli in" High Flow"

In questo caso la corrente lambisce o supera l'altezza della corda più bassa del ponte. Per svolgere i calcoli si utilizzano equazioni di conservazione dell'energia oppure formule di moti in pressione o di stramazzi. Poiché il metodo relativo all'equazione di conservazione dell'energia è già stato esaminato in precedenza, si evidenziano in questa sede le altre due metodologie.

Nel caso di moti in pressione si possono verificare due situazioni: una in cui solo il profilo di corrente a monte entra in contatto con la corda bassa del ponte, l'altro in cui il moto è in pressione per tutta la larghezza del ponte.

Se il moto non è interamente in pressione si utilizza la formula seguente:

$$Q = C_d \cdot A_{BU} \cdot \left[Y_3 - \frac{Z}{2} + \frac{\alpha_3 \cdot V_3^2}{2 \cdot g} \right]^{\frac{1}{2}}$$

dove:

Q = portata totale;

C_d = coefficiente di portata per il fluido in pressione;

A_{BU} = area libera dovuta all'apertura del ponte alla sezione BU;

Y_3 = altezza dell'acqua alla sezione 3;

Z = distanza verticale dalla corda inferiore del ponte al fondo del canale principale alla sezione BU.

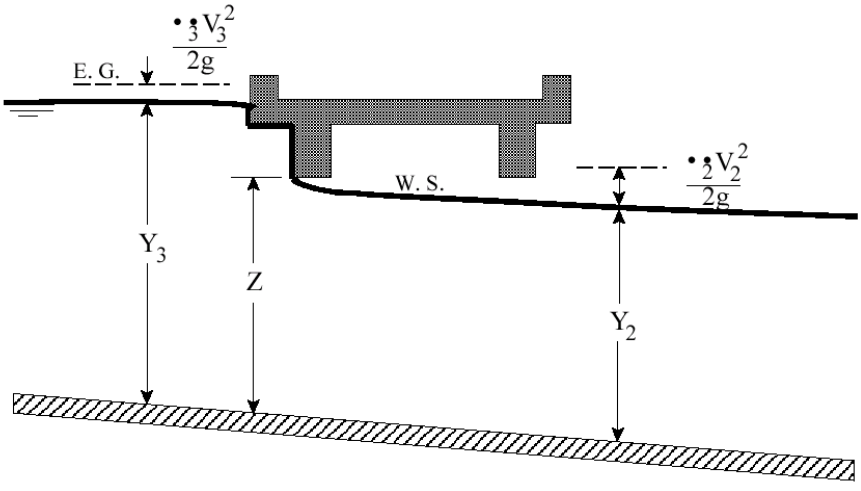
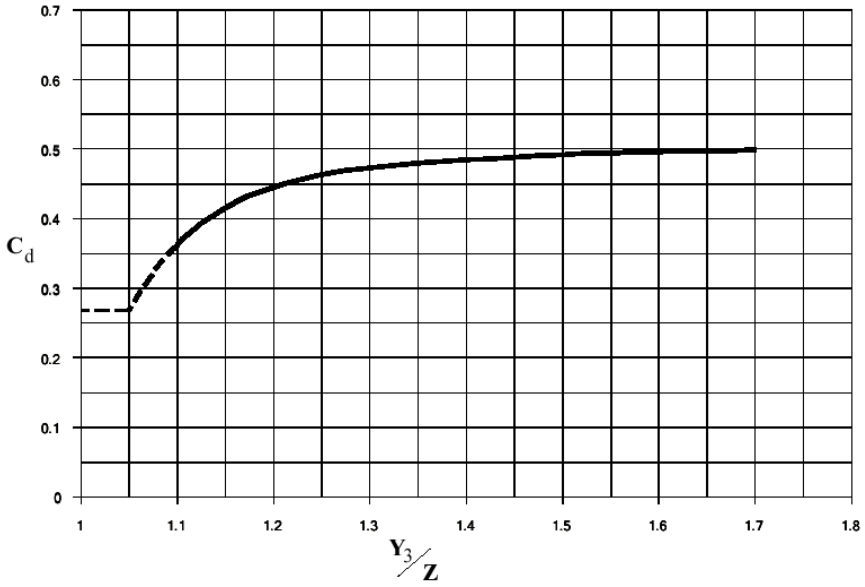


Figura 8: Esempio di flusso non interamente in pressione



Coefficiente di portata per flussi non interamente in pressione

Come si può vedere si può diagrammare la relazione che lega il parametro Cd al rapporto Y3/Z. Esiste inoltre un intervallo di valori in cui il moto non è ben definito ovvero per Y3/Z = 1.0 ÷ 1.1; in tale intervallo l'equazione precedente non vale.

Per moti interamente in pressione si adotta la seguente formula:

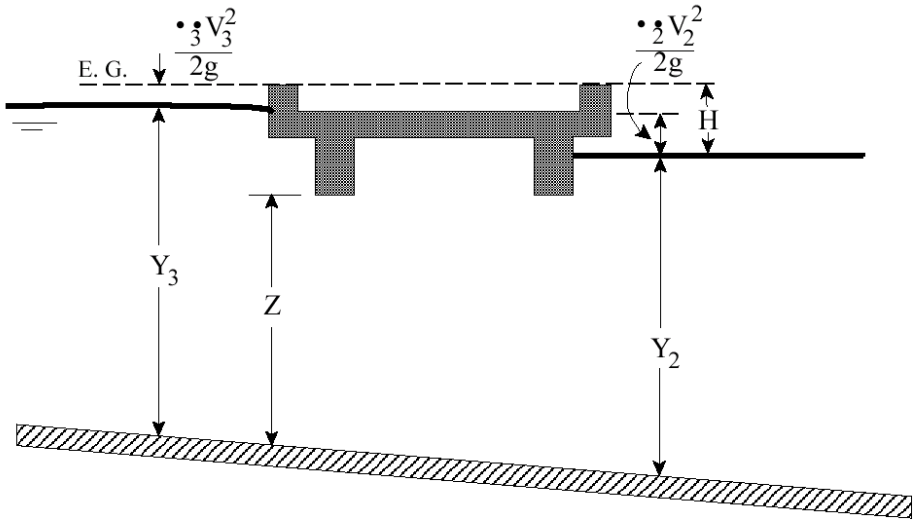
$$Q = C \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

dove:

C = coefficiente di portata per moti in pressione a tubo pieno;

H = differenza tra il gradiente di energia a monte e la quota della superficie dell'acqua a valle;

A = area dell'apertura del ponte.



Esempio di flusso in pressione "a tubo pieno".

Generalmente il coefficiente di portata assume valore C = 0.8, ma l'intervallo di variazione di tale parametro è tra 0.7 e 0.9. Quando si sceglie di utilizzare tale metodologia di calcolo, il programma compara la risposta di questa con i risultati ottenuti tramite il metodo "Low Flow"; si utilizza poi quello che dà la risposta più alta.

Nel caso in cui il flusso superi la corda superiore del ponte si utilizza il procedimento relativo al calcolo per gli stramazzi:

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

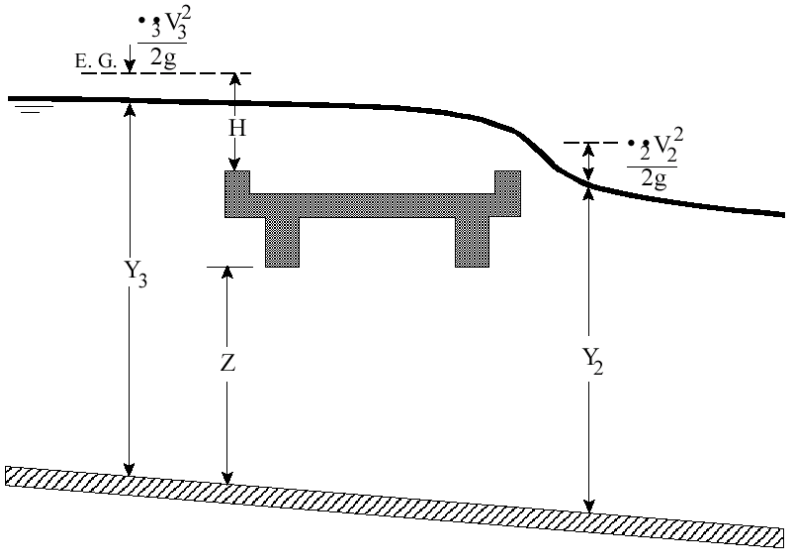
dove:

Q = portata totale del flusso sopra lo stramazzo;

C = coefficiente di portata per moti a stramazzo;

L = lunghezza totale dello stramazzo;

H = differenza di carico tra monte e centro dello stramazzo.



Esempio di ponte con flusso in pressione e stramazzo.

Il coefficiente C varia tra 1.38 e 1.71 e, in caso di alveo pulito, dipende principalmente dall'altezza d'acqua che si crea sopra lo stramazzo. Nel caso di canale ostruito da alberi, resti di vecchi ponti o immondizia, il valore di C diminuisce. Nel caso di stramazzi su ponti (stramazzo rettangolare) è consigliabile utilizzare C = 1.44. Nel caso di canali costruiti sotto terrapieni di strade si adotta un coefficiente tipico di sezioni trapezioidali pari cioè a C = 1.66.

4.3.) Output della modellazione

Il modello restituisce in *output* il disegno della traccia schematica bidimensionale del sistema fluviale o di canali che si sta indagando, il disegno delle sezioni trasversali, grafici indicanti la tipologia del profilo della corrente sia in direzione longitudinale sia trasversale (solo per le sezioni) rispetto al flusso della corrente e la scala delle portate.

I grafici delle sezioni riportano indicazioni relative all'altezza d'acqua corrispondente ad un certo tempo di ritorno, i limiti di ciò che si può considerare alveo principale, i valori di scabrezza utilizzati (e la variazione trasversale di essi), il nome del fiume/torrente indagato, il nome del ramo (tratto superiore, inferiore, ecc.) in esame e l'identificativo della sezione.

È possibile inoltre leggere i risultati sotto forma di tabelle in cui sono indicati i valori della velocità della corrente nelle varie aree in cui è stata divisa una sezione, le altezze idrometriche, le perdite di energia tra una sezione e quella successiva ed altri parametri idraulici.

5.) RISULTATI RELATIVI ALLE VERIFICHE IDRAULICHE

Lo studio idraulico in moto permanente è stato articolato essenzialmente in tre fasi:

1. caratterizzazione della geometria del corso d'acqua e della morfologia delle aree limitrofe ad esso;
2. applicazione del modello idraulico per la simulazione del moto della corrente in alveo e per la valutazione delle caratteristiche idrauliche in occasione delle portate stimate dall'indagine idrologica (per TR = 50, 200 e 500 anni);
3. mappatura e perimetrazione delle aree inondabili.

La base degli input geometrici per l'utilizzo di HEC RAS proviene dal rilievo topografico di dettaglio eseguito lungo il Fiume Bormida di Mallare in un tratto esteso circa 700 m in corrispondenza dell'area oggetto di indagine e fino a valle del ponte mediante il tracciamento di n. 22 sezioni fluviali con particolare attenzione alla sponda sinistra dove è ubicata l'area di proprietà della committenza.

A seguito di un intervento di pulizia in alveo che ha comportato lo sfalcio della vegetazione arbustiva ivi presente, è stato possibile eseguire un ulteriore approfondimento del piano quotato integrando le sezioni topografiche ed inserendo le difese spondali e le scogliere in massi che inizialmente non era stato possibile raggiungere mediante rilievo strumentale proprio a causa della presenza di piante e cespugli, fornendo così un quadro particolarmente dettagliato del tratto di corso d'acqua oggetto di indagine.

La struttura di attraversamento è stata rilevata in ogni sua parte ed è stata inserita nel modello di calcolo, riproducendone gli ingombri delle spalle e della pila in alveo, sia al fine di valutarne gli eventuali effetti sui profili idraulici a monte e sia per fornire un utile strumento alla validazione del modello numerico allestito.

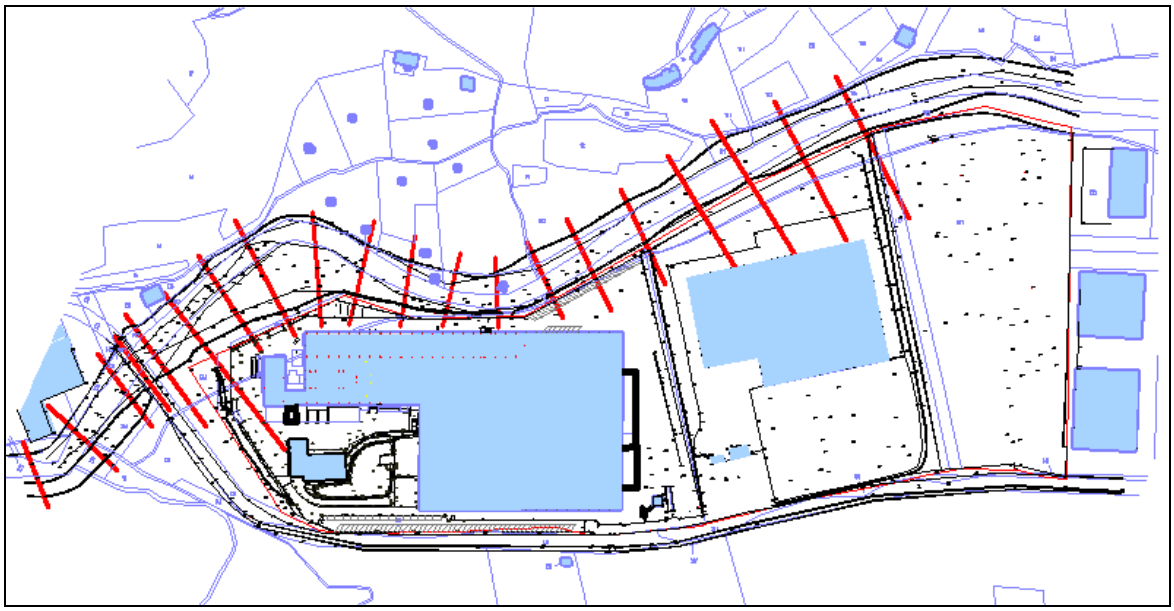


Figura 9: planimetria con sezioni desunte da rilievo topografico di dettaglio – stralcio fuori scala

Il tratto indagato ha andamento prevalentemente rettilineo in direzione SE-NW la cui pendenza d'alveo, è pari a circa 0.4%; il modello HEC RAS è stato implementato con le portate aventi T_R 50 – 200 e 500 anni fornite nell'ambito dello "Studio delle fasce fluviali dei sottobacini del Fiume Bormida di Spigno e del Fiume Bormida di Millesimo" svolto per conto della Provincia di Savona.

L'alveo inciso risulta caratterizzato prevalentemente da ghiaia e ciottoli, mentre sulle sponde cresce una vegetazione spontanea costituita da zone erbose ed arbustive; si rileva in alcuni tratti dell'alveo la presenza di deposito localizzato di materiale litoide. La scabrezza delle sezioni, definita attraverso il coefficiente di Manning (n), è stata differenziata tra alveo inciso e golena, per tenere conto delle inevitabili differenze, tra le aree soggette a deflusso permanente o comunque frequente, e quelle che vengono interessate dalla corrente solo in occasione delle piene maggiori. Nel calcolo sono stati assunti i valori seguenti:

n = 0,030 $s/m^{-1/3}$per l'alveo inciso

n = 0,040 $s/m^{-1/3}$ per la golena e gli argini

Le verifiche lungo il Fiume Bormida di Mallare sono state condotte utilizzando un modello (HEC-RAS) in cui il moto lungo il corso d'acqua è stato schematizzato come monodimensionale, in regime di moto permanente ed in condizioni di corrente lenta, con fondo fisso, imponendo come condizioni al contorno di monte e di valle la pendenza del pelo libero in condizioni di moto uniforme pari a 0.004.

L'utilizzo di HEC-RAS, dettato principalmente dall'estrema affidabilità del codice stesso, ha consentito di determinare, sezione per sezione e per le portate di piena di

riferimento, le caratteristiche della corrente: livello idrico, condizioni di moto, distribuzione delle velocità, velocità media, ecc. così come riportate negli allegati alla presente.

Per quanto attiene all'aspetto cartografico di perimetrazione delle aree inondabili, una delle differenze basilari tra la modellistica relativa al deflusso delle portate di piena negli alvei fluviali e quella relativa ai processi di inondazione consiste nella diversa dimensionalità dei due fenomeni, in quanto il fenomeno di inondazione richiede evidentemente una descrizione bidimensionale. Può essere tuttavia possibile un approccio di tipo semplificato, partendo da una schematizzazione del moto della corrente in alveo come lungo una sola direzione.

In una prima fase pertanto si determinano i livelli idrici nell'alveo con un modello monodimensionale ed in una seconda fase si estendono le quote idriche alle aree circostanti mediante considerazioni di tipo morfologico, utilizzando come dati topografici di base le sezioni trasversali implementate nel modello idraulico e la cartografia delle aree limitrofe al corso d'acqua.

5.1) Confronto tra indagini in moto permanente e indagini Prov SV

AI fini dell'approfondimento delle condizioni di rischio idraulico dell'area vengono confrontati i risultati delle indagini ottenute con quelli riportati nell'ambito della perimetrazione delle aree esondabili desumibili dallo Studio svolto su incarico della Provincia di Savona; tale procedura consente di avere un riferimento per valutare l'accuratezza del modello così allestito. Occorre precisare tuttavia che l'analisi idraulica in moto permanente monodimensionale (HEC RAS) è stata svolta utilizzando un maggior numero di sezioni topografiche rilevate sul terreno incrementando in tal modo il livello di dettaglio e l'accuratezza della simulazione.

Nel tratto di F. Bormida indagato è possibile pertanto rilevare la presenza di una sezione facilmente ed univocamente individuabile comune per entrambe le indagini e corrispondente all'attraversamento stradale che percorre Località Isolagrande; essa viene identificata con il codice BA020 nell'ambito dello studio svolto su incarico della Provincia di Savona ed è individuata dalla numerazione progressiva n. 3.5.della sezione rilevata nell'ambito del presente studio idraulico.

La quota altimetrica del rilievo topografico di dettaglio risulta congrua con quella che emerge dall'analisi svolta su incarico della Provincia di Savona, presentando in particolare una quota di intradosso pari a 386.00 m s.l.m. ed una quota all'estradosso di 387.20; tale aspetto rende quindi confrontabili i due differenti modelli numerici.

Nell'analisi idraulica svolta per conto della Prov. di Savona sono state effettuate le simulazioni dei deflussi in condizioni di moto vario mediante schematizzazione con il codice di calcolo MIKE11 del DHI (Danish Hydraulic Institute Water & Environment), mentre le simulazione svolte per la presente indagine ha schematizzato il corso d'acqua in moto permanente; per le piene di riferimento (Tr 50, 200 e 500 anni) le figure e la tabella seguenti ne riportano i risultati.

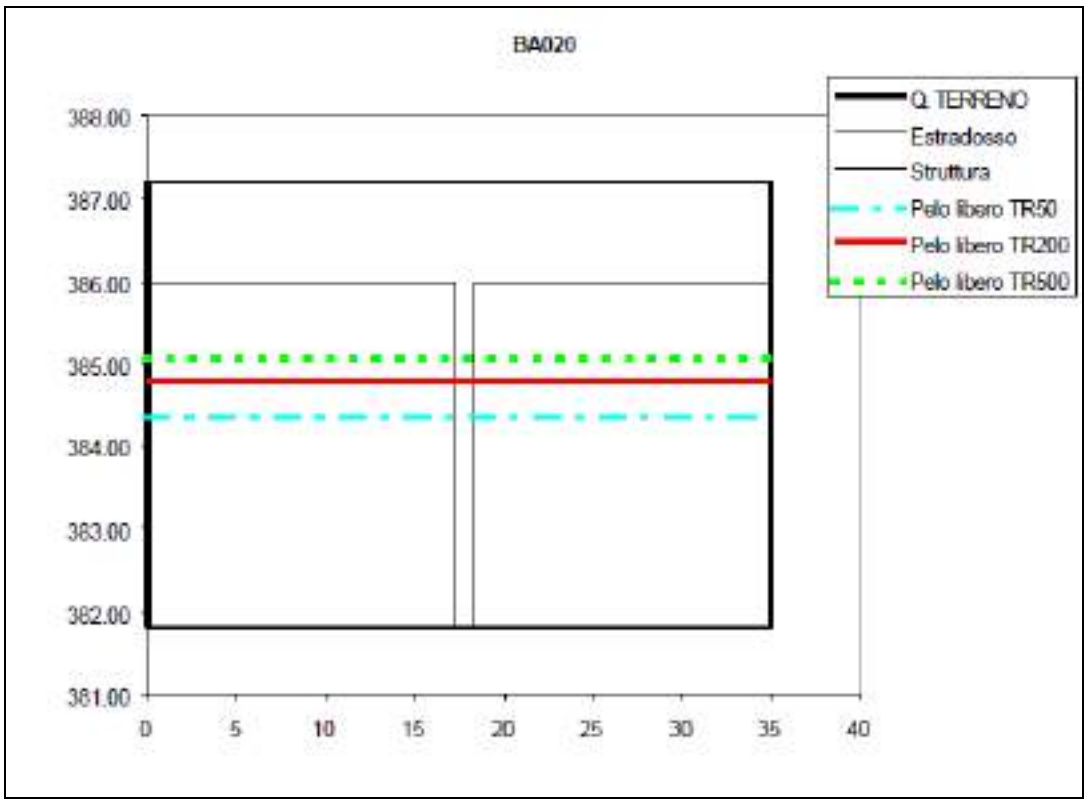


Figura 10: output della simulazione idraulica per la Sez. n. BA020 Prov SV

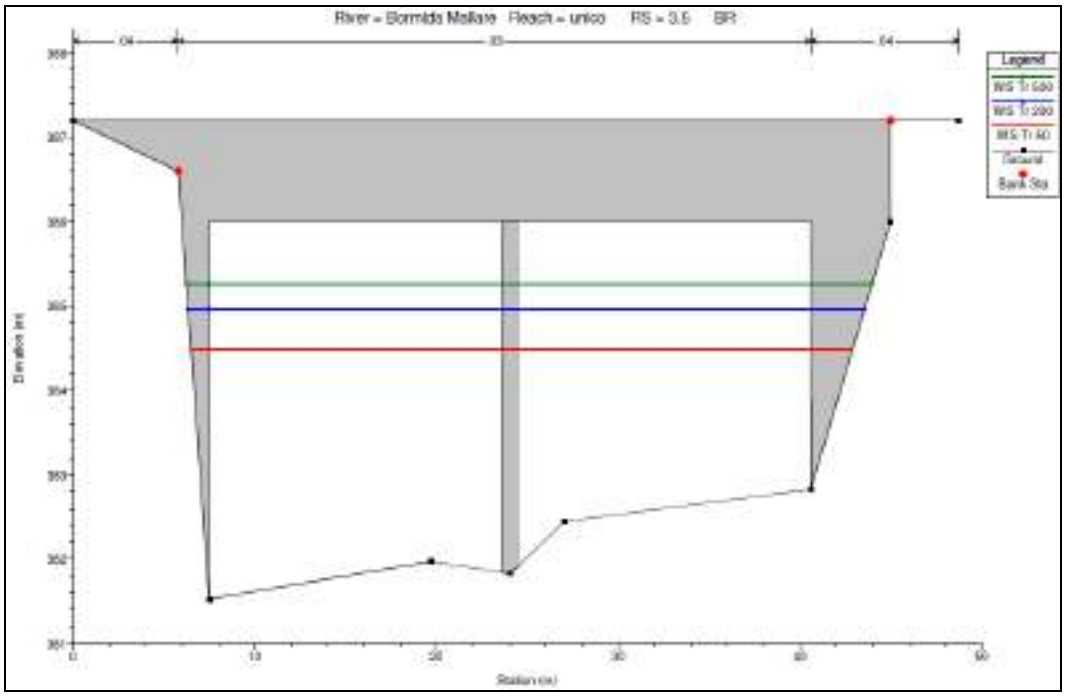


Figura 11: output della simulazione idraulica per la Sez. n. 3.5 - HEC RAS

Tabella 3: Confronto tra i risultati delle verifiche idrauliche effettuate con MIKE11 (sez. BA020) e verifiche idrauliche svolte con HEC RAS (sez. 3.5)

Sezione n.	**Quota fondo [m slm]**	**Portata [m^3/s]**	**Quota p. libero [m slm]**	**Tirante idrico [m]**	**Area di deflusso [m^2]**	**Largh. Sezione liquida [m]**	**Froude nr**
Tr = 50 anni							
BA020	381.80	206	384.40	2.60	90.86	35.00	0.42
3.5	381.53	206	384.50	2.97	74.86	32.29	0.51
Tr = 200 anni							
BA020	381.80	278	384.79	2.99	104.51	35.00	0.44
3.5	381.53	278	384.96	3.43	89.93	32.29	0.53
Tr = 500 anni							
BA020	381.80	328	385.12	3.32	116.31	35.00	0.44
3.5	381.53	328	385.26	3.73	99.53	32.29	0.54

Dalle osservazioni svolte, risulta una sostanziale conformità tra i due modelli di simulazione, con livelli di piena compatibili con l'infrastruttura del ponte che si differenziano di pochi centimetri e che garantiscono la compatibilità dell'infrastruttura ed il rispetto del franco idraulico sulla piena duecentennale (Studio Prov. Savona franco idraulico = 1.29 m – verifica HEC-RAS franco idraulico = 1.04 m)

5.2) Analisi dei risultati

Dalle verifiche idrauliche svolte e come si evince dai risultati di calcolo allegati alla presente, lungo tutto il tratto di Fiume Bormida di Mallare indagato emerge che, in sponda sinistra, i livelli di piena cinquantennali e duecentennali si attestano al di sotto del limite rappresentato dal muro di recinzione in cemento armato che delimita la proprietà "Vetreria Etrusca S.r.l." e risultano altresì essere contenuti al di sotto della scogliera in massi esistente.

In riferimento alla portata duecentennale, il suddetto muro di recinzione risulta inoltre consentire il rispetto del franco minimo imposto dalle vigenti normative, che risulta superiore al metro per tutte le sezioni analizzate, e risulta altresì contenere il carico cinetico caratteristico della corrente; per quanto concerne la piena cinquecentennale, essa risulta contenuta comunque al di sotto delle aree di proprietà sulle quali insiste il fabbricato produttivo, ma risulta opportuno confermare la perimetrazione fino al limite rappresentato dal dislivello morfologico in corrispondenza della strada, anche in ragione del fatto che a monte del tratto indagato il corso d'acqua presenta un ampio meandro nel quale il Fiume modifica la sua direzione di scorrimento da SW-NE a SE-NW. Tutto il settore interno all'ansa risulta quindi maggiormente soggetto ad esondazioni e pertanto viene cautelativamente ricompreso nella fascia a pericolosità media corrispondente alle piene cinquecentennali; inoltre la presenza della rete viaria, a causa della ridotta resistenza che oppone al deflusso della piena ed all'assenza di ostacoli, potrebbe costituire una agevole via per il propagarsi delle piene catastrofiche verso i settori localizzati più a valle.

Per quanto concerne l'attraversamento con ponte carrabile esistente, esso risulta compatibile con i deflussi duecentennali del Fiume Bormida di Mallare nel rispetto del franco minimo imposto nonchè con la quota raggiunta dal carico cinetico (E.G.) sia per la sezione di monte che per quella di valle. Anche le spalle del ponte, benché interessate dal deflusso, non rappresentano un significativo restringimento di sezione.

Per quanto riguarda la sponda destra, essa non è stata oggetto di indagini di dettaglio ma si rileva un'ampia area golenale (sezz dalla 16 alla 7) a quote inferiori rispetto a quelle in sinistra orografica e dove le piene con differenti tempi di ritorno possono espandersi fino al raggiungimento delle scarpate naturali; anche in questo caso la perimetrazione cinquecentennale risulta maggiormente cautelativa rispetto a quanto emerso nelle verifiche di dettaglio privilegiando, per la delimitazione delle piene più gravose, un criterio geomorfologico.

A valle del ponte sono state tracciate alcune sezione al fine di fornire completezza all'allestimento del modello numerico, tuttavia vi sono sezioni in cui i dati topografici non raggiungono i limiti morfologici di contenimento delle piene; tale aspetto peraltro non inficia i risultati nella modellazione in moto permanente con HEC-RAS in quanto, qualora la sezione non risulti sufficientemente estesa da intersecare i livelli del pelo libero, il codice di calcolo cautelativamente genera un limite fittizio verticale in corrispondenza dell'estremo della sezione. A valle dell'attraversamento è possibile comunque rilevare in sponda sinistra una piccola area golenale dove le piene possono espandersi liberamente, mentre in sponda destra i livelli idrici risultano delimitati dal muro di contenimento esistente.

La perimetrazione proposta nel presente studio idraulico conferma sostanzialmente le previsioni della variante al PRG in adeguamento al PAI approvato, costituente, per quanto detto, la mappatura delle aree inondabili di riferimento. Le aree indagate sono state tuttavia ricomprese nella perimetrazione a pericolosità media, corrispondente alle piene più gravose con tempo di ritorno cinquecentennale, anche in ragione della particolare morfologia della zona ed in virtù del fatto che i deflussi potranno presumibilmente essere caratterizzati da bassi tiranti idrici e ridotte velocità, aspetti tali da classificare come "moderato" il rischio idraulico dell'area. Lo studio di maggior dettaglio ha però consentito di dimostrare che le piene cinquantennali e duecentennali risultano contenute dalle arginature presenti e dalle sponde naturali dell'alveo. Le aree indagate sono state infatti ricomprese nella perimetrazione a pericolosità media, corrispondente alle piene più gravose con tempo di ritorno cinquecentennale, anche in ragione della particolare morfologia della zona ed in virtù del fatto che i deflussi potranno presumibilmente essere caratterizzati da bassi tiranti idrici e ridotte velocità, aspetti tali da classificare come "moderato" il rischio idraulico dell'area.

Per quanto concerne gli aspetti di eventuale miglioramento idraulico del territorio si rileva la continua necessità di effettuare regolare manutenzione lungo l'alveo inciso, limitando la presenza di vegetazione arbustiva in alveo e controllando i settori maggiormente soggetti a deposito di materiale litoide; si ravvisa infine la necessità di svolgere interventi di pulizia dell'alveo e dell'attraversamento stradale dai detriti trasportati dalla corrente in particolare a seguito di importanti eventi meteorici, al fine di eliminare i restringimenti e le parziali occlusioni delle sezioni di deflusso che potrebbero costituire ostacoli al naturale deflusso della piena, con conseguente aggravio del rischio idraulico dell'area.

6.) CONCLUSIONI

Nel comune di Altare in Località Isolagrande, in sinistra orografica del Fiume Bormida di Mallare è presente un importante sito produttivo di proprietà di Vetreria Etrusca S.r.l.; è intenzione della committenza effettuare un ampliamento dello stabilimento esistente per la realizzazione di un nuovo forno fusorio e pertanto viene redatto uno studio idrologico-idraulico di dettaglio al fine di dimostrare la compatibilità dell'opera con il regime idraulico dell'area.

Dopo aver analizzato il regime idrologico del Fiume Bormida di Mallare al fine di fornire un inquadramento generale del territorio, le portate di riferimento per la simulazione idraulica con tempo di ritorno di 50, 200 e 500 anni sono state desunte in accordo con i valori emersi nell'ambito dello "Studio delle fasce fluviali dei sottobacini del Fiume Bormida di Spigno e del Fiume Bormida di Millesimo" svolto per conto della Provincia di Savona e recepito dal Comune di Altare.

E stato poi eseguito un rilievo topografico di dettaglio nel tratto di Fiume Bormida di Mallare in corrispondenza del quale è ubicata l'area produttiva, successivamente integrato a seguito di un intervento di pulizia in alveo che ha consentito di migliorare l'accuratezza delle misure strumentali e sulla base del quale sono state tracciate le sezioni topografiche; è stato quindi allestito un modello numerico monodimensionale in condizioni di moto permanente che è stato validato confrontando i livelli idrici per una sezione nota a conferma dell'accuratezza del codice di calcolo utilizzato.

Alla luce dei risultati delle verifiche svolte, si ritiene che l'area sulla quale sorgerà il futuro ampliamento risulta essere interessata dalle sole piene cinquecentennali mentre i limiti di esondabilità di piene con probabilità di ricorrenza di duecentennali e cinquantennali risultano essere contenute al di sotto del muro in cemento che delimita l'area produttiva, nel rispetto del minimo franco previsto da normativa. In riferimento alla perimetrazione esplicitata nell'ambito dello "Studio delle fasce fluviali dei sottobacini del Fiume Bormida di Spigno e del Fiume Bormida di Millesimo", che come illustrato nelle premesse, è stato recepito dall'adeguamento del PRG alla disciplina del PAI in applicazione dell'art. 18 comma 2 delle NTA del PAI stessi e rispetto al quale si è validato il modello di dettaglio allestito nel presente studio, si rileva una sostanziale riconferma delle delimitazioni proposte, anche in ragione del fatto che il rilievo topografico ha mostrato un maggiore dettaglio dell'area indagata consentendo di attestare le piene di riferimento al di sotto del muro di delimitazione dell'area. La fascia a pericolosità media, relativa alle piene cinquecentennali comunque è stata estesa fino al limite del dislivello morfologico naturale in corrispondenza della rete viaria che attraversa Località

Isolagrande anche sulla base di un criterio geomorfologico che evidenzia come l'area produttiva sia localizzata all'interno di un meandro molto pronunciato e pertanto maggiormente soggetta ad essere interessata dalle piene.

L'unica infrastruttura interferente con i deflussi, ovvero il ponte presente a valle dell'area di indagine, risulta, inoltre, avere dimensioni ed ubicazione tali da non provocare particolari ostruzioni o restringimenti dell'alveo e, non generare condizioni di aggravio del rischio idraulico dell'area.

A fine di mantenere adeguate le sezioni d'alveo allo smaltimento delle piene si rileva, infine, la continua necessità di effettuare regolare manutenzione, in particolare dopo eventi meteorici rilevanti, limitando la presenza di vegetazione arbustiva in alveo e controllando i settori maggiormente soggetti a deposito di materiale litoide e di detriti trasportati dalla corrente.

Si ritiene, pertanto, che l'intervento di ampliamento dello stabilimento "Vetreria Etrusca Srl" per la realizzazione di un nuovo forno fusorio sia compatibile con la perimetrazione delle aree di rischio idraulico.

ALLEGATI

STRALCIO CTR

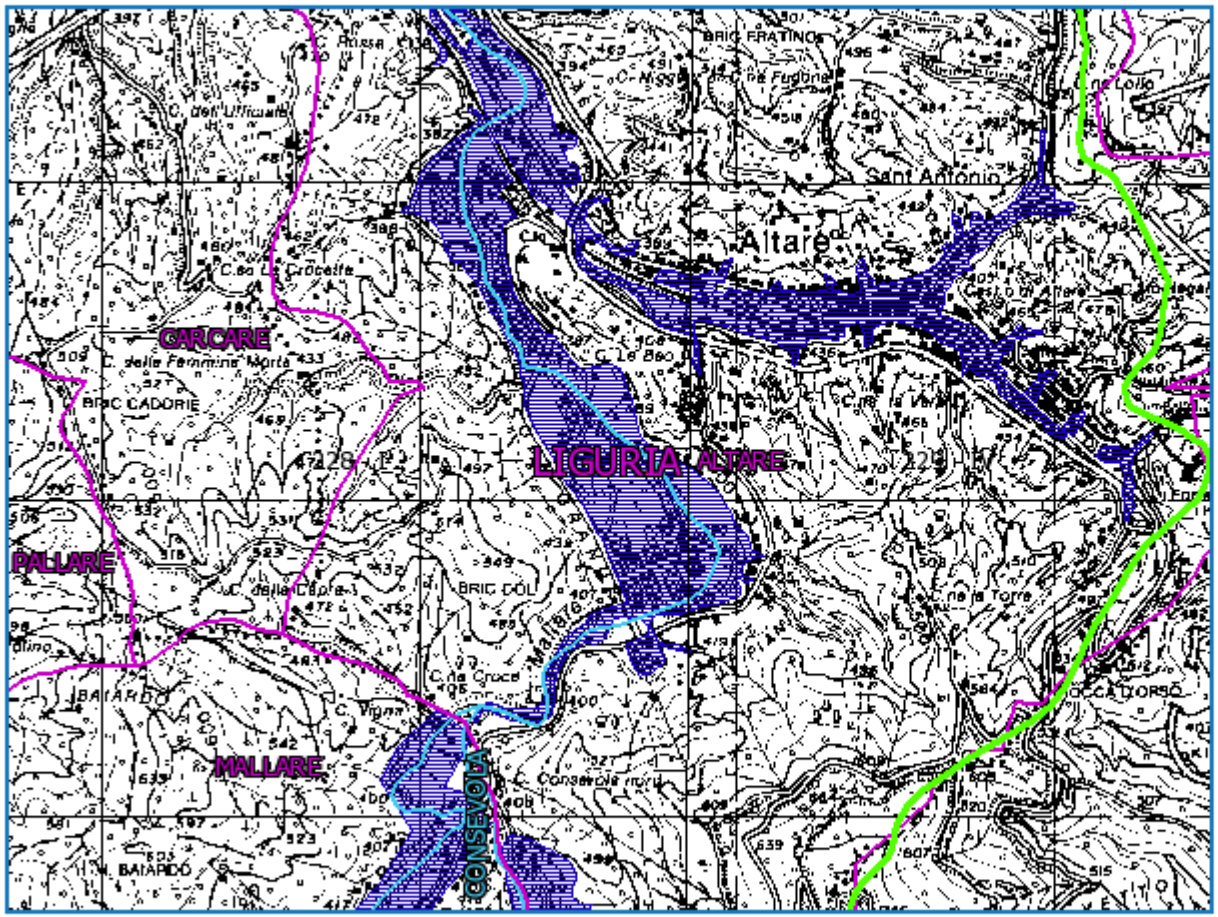
- SCALA 1:10000 -

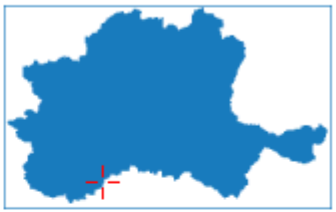

VISPA
FIUME BORMIDA
C. ROSSA
C. LE GREPPE
C. DELL'UFFICIALE
CASE LA POCETTA
C. FEMMINA MORTA
Bric Caderia
Bric Muscio
Bric Capra
Rio della Capra
Monte Baiardo
C. CECCHINO
NAVE
C. CONSERVOLA NORD
C. CASELLO DI ALTARE
C. GAMBARE
C. NIGGE
C. SOLAVINO
C. PELLEGRINO
C. ISOLA DEL PERO
CASTELLARO
Bric Dol
ISOLA GRANDE
MALLARE
STABILIMENTO ACQUE MINERALI
CASCINA CROCE
PEIRANO
BAIARDO
BALZO

PERIMETRAZIONE QUADRO DISSESTI PAI

Autorità di bacino del fiume Po

Bacino di rilievo nazionale

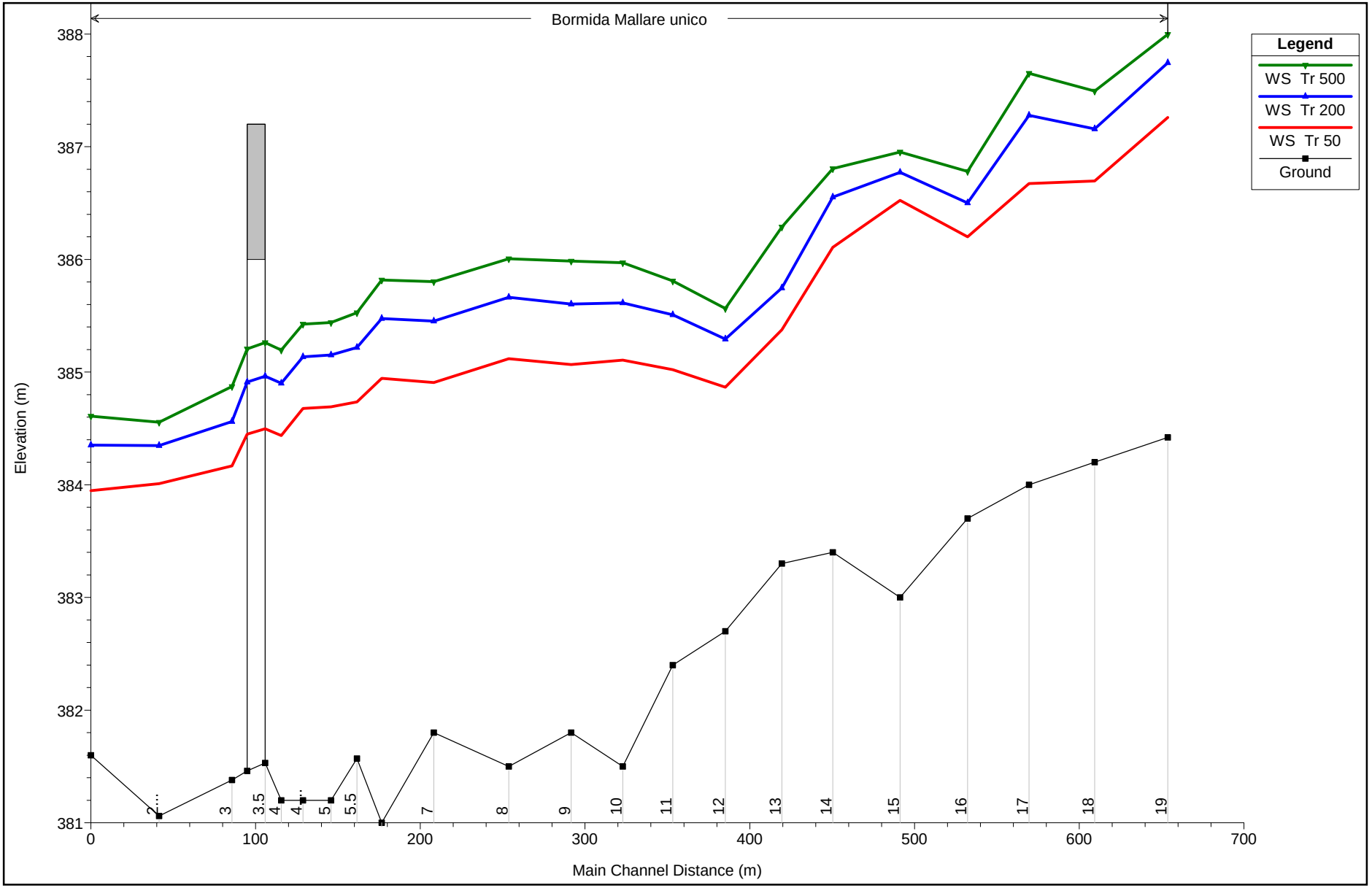


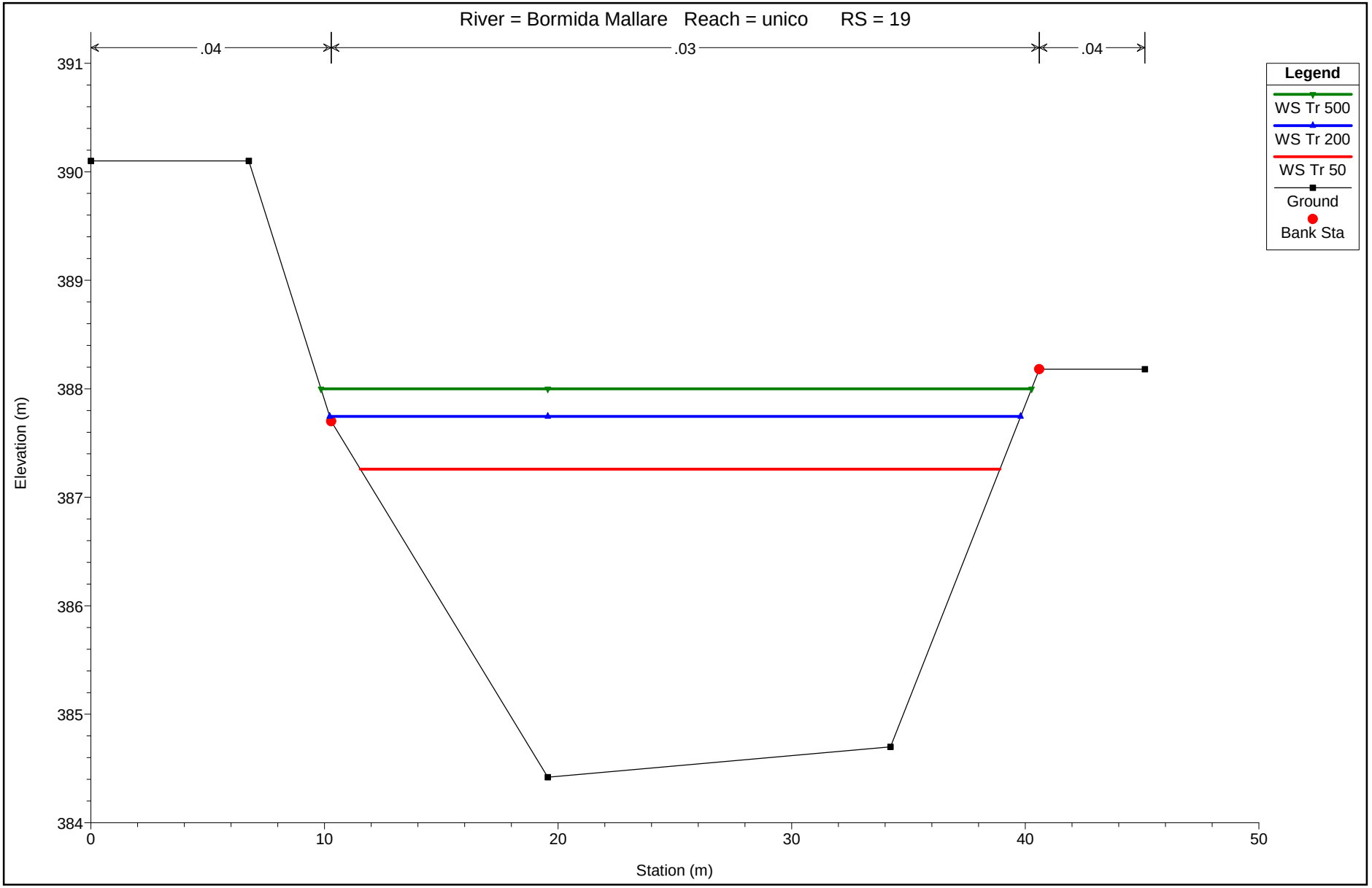


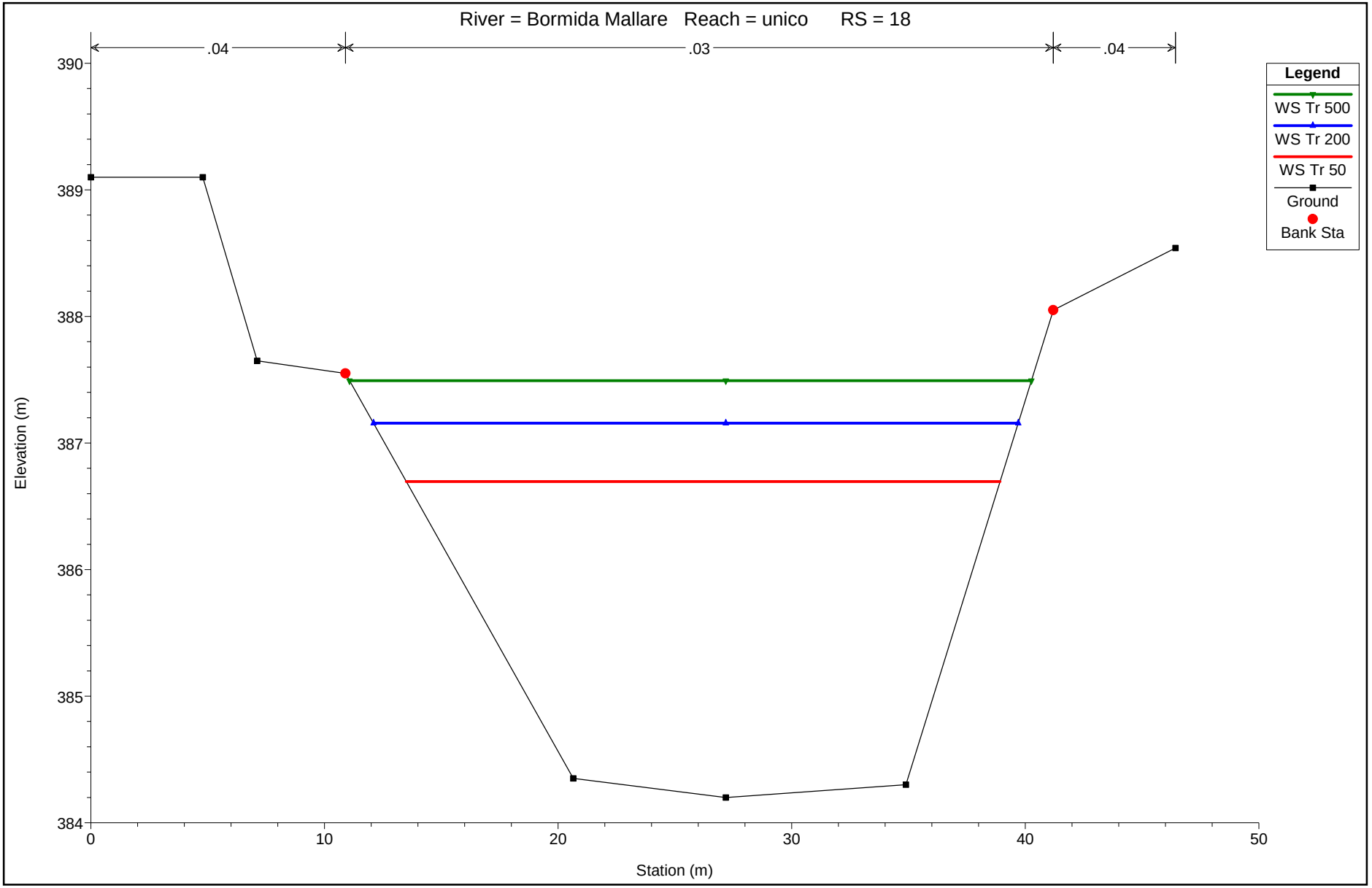
Reticolo Cartografico 1:25.000
Limite del bacino del Po
Regioni
Comuni
Corsi d'acqua
pericolo molto elevato (Ee)

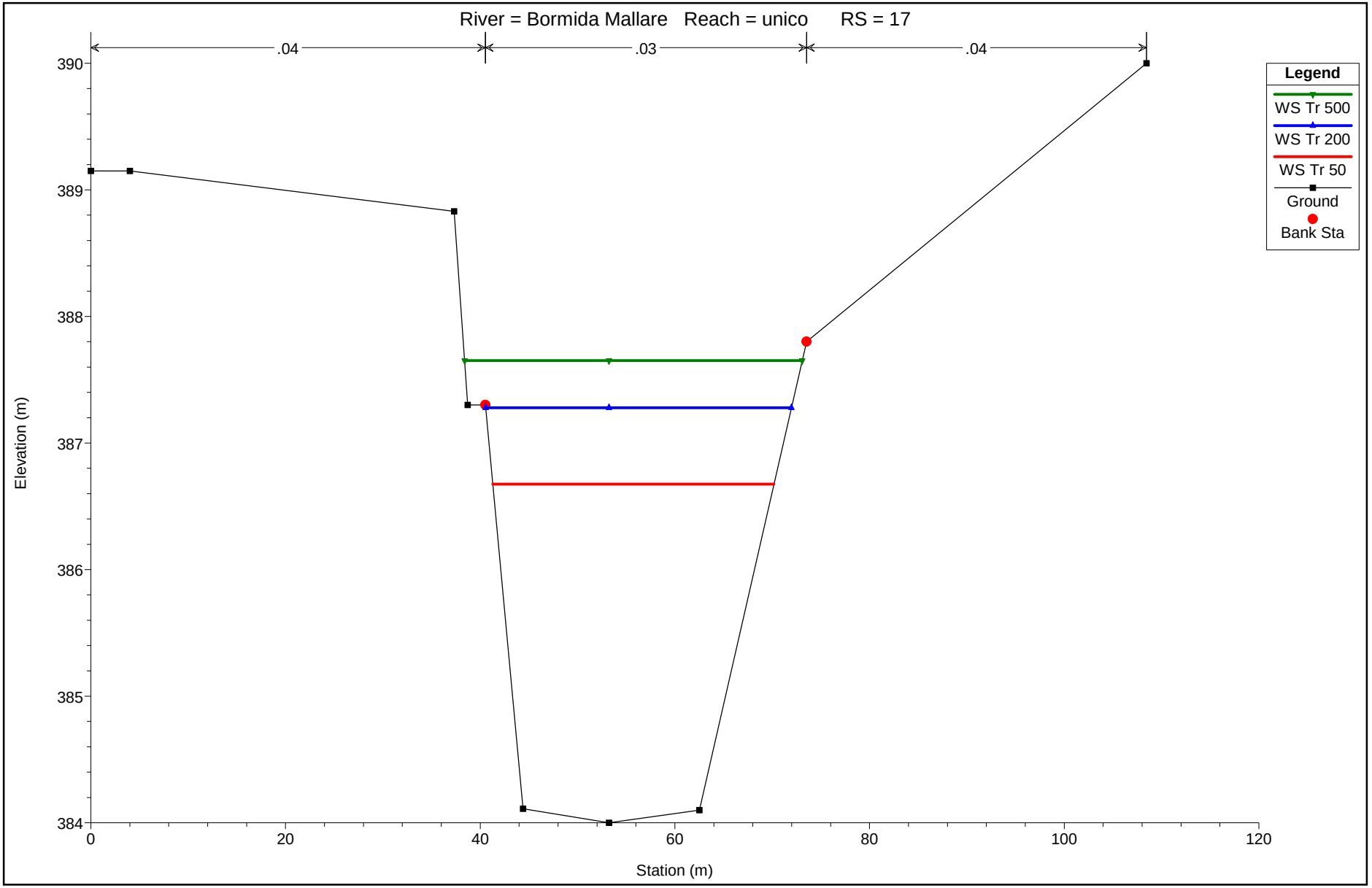
VARIANTE PRG
COMUNE DI ALTARE

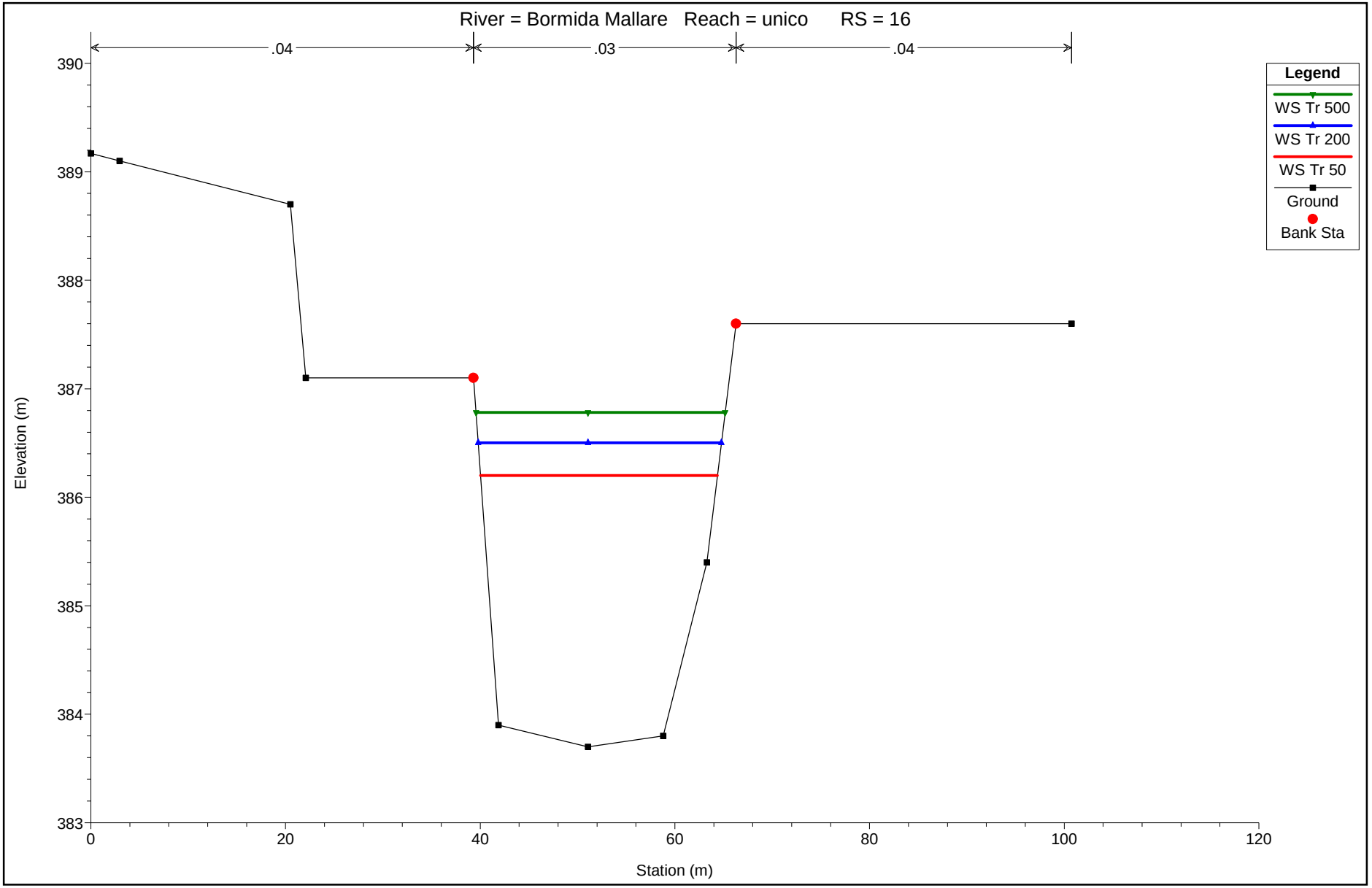
OUTPUT VERIFICA IDRAULICA HEC-RAS

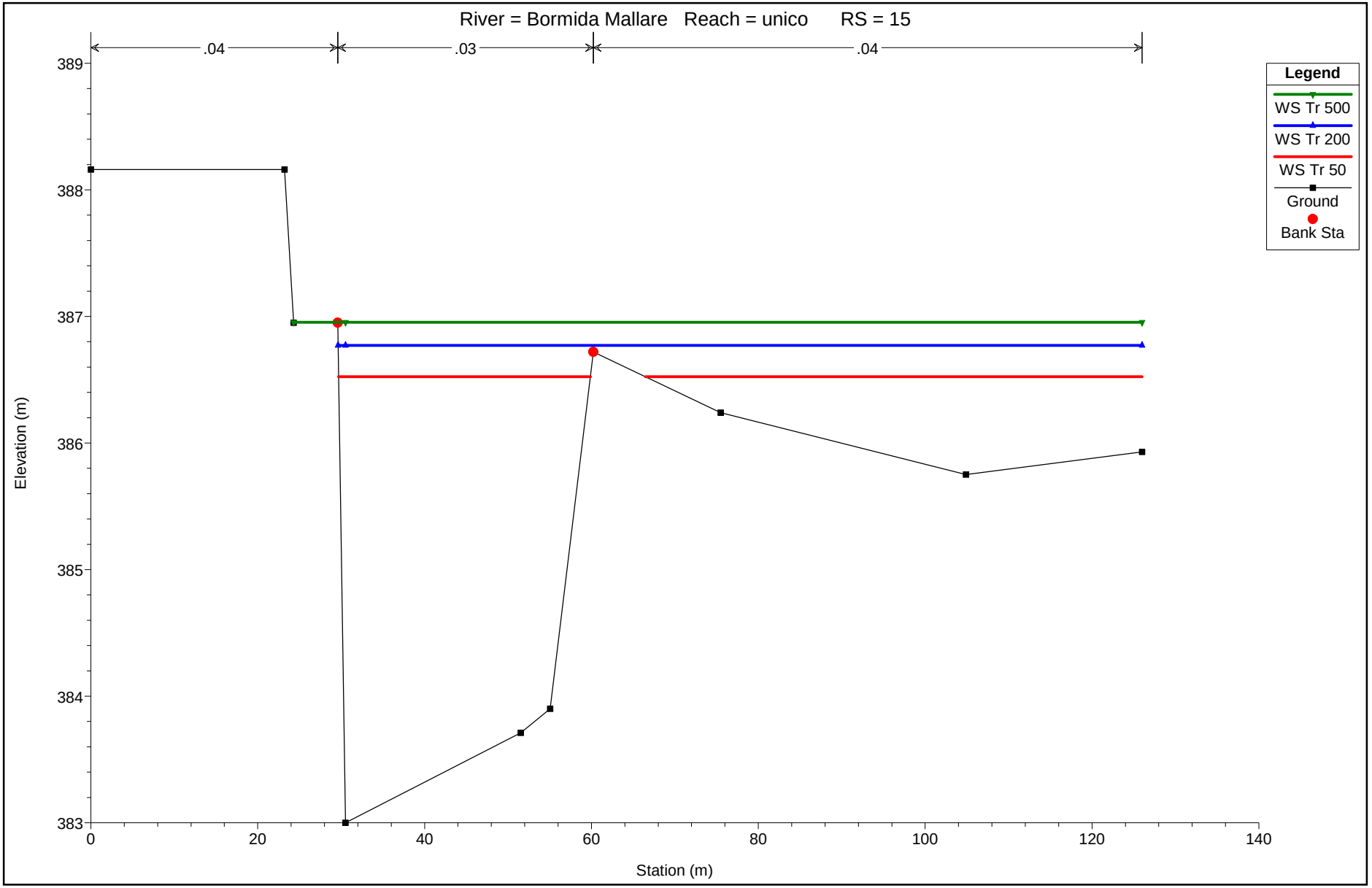

Bormida Mallare unico
Legend
WS Tr 500
WS Tr 200
WS Tr 50
Ground
Elevation (m)
Main Channel Distance (m)
388
387
386
385
384
383
382
381
0
100
200
300
400
500
600
700
2...
3
3.5
4
4...
5
5.5
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19

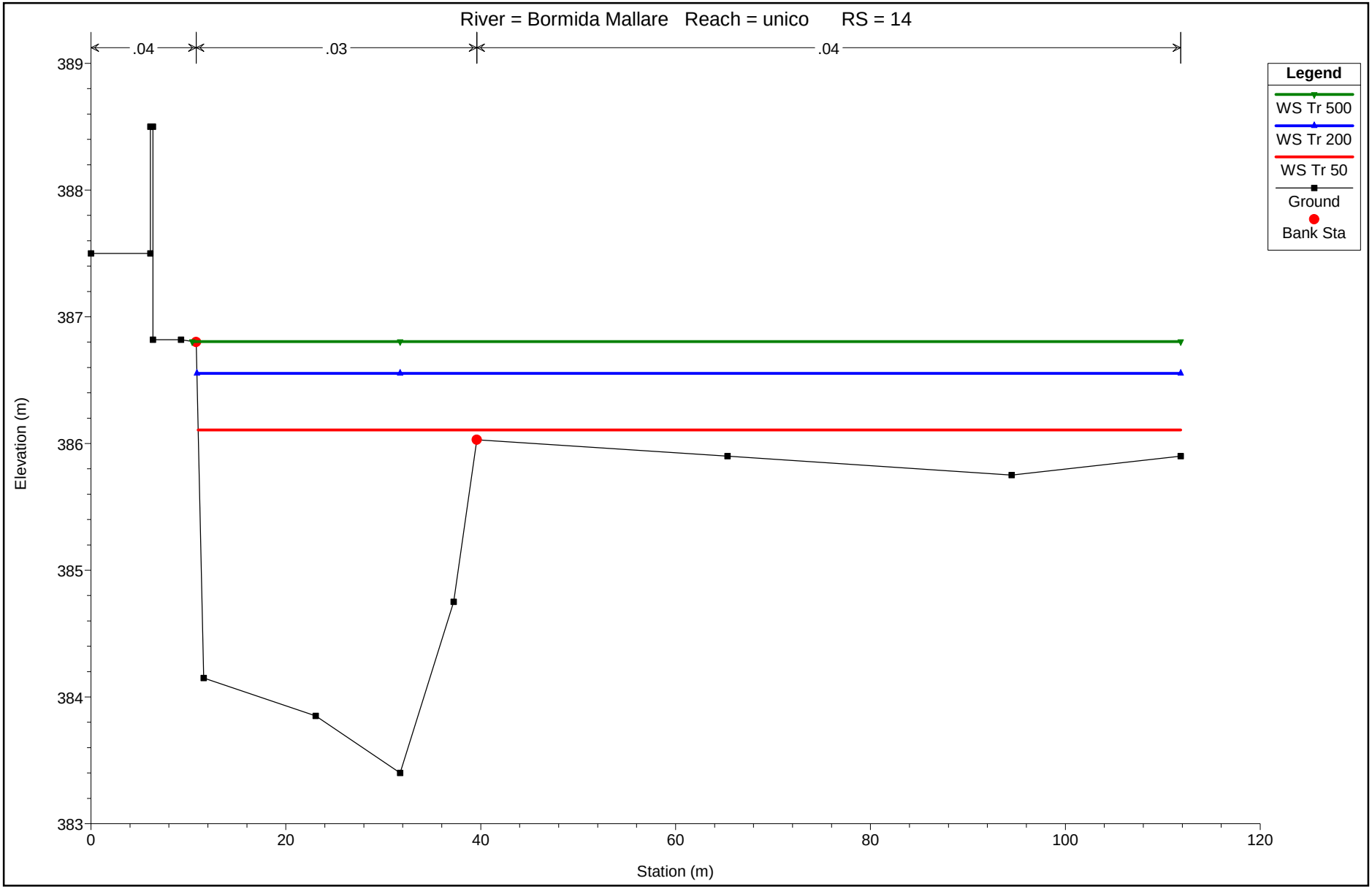

River = Bormida Mallare Reach = unico RS = 19
.04
.03
.04
Legend
WS Tr 500
WS Tr 200
WS Tr 50
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
391
390
389
388
387
386
385
384
0
10
20
30
40
50
Station (m)

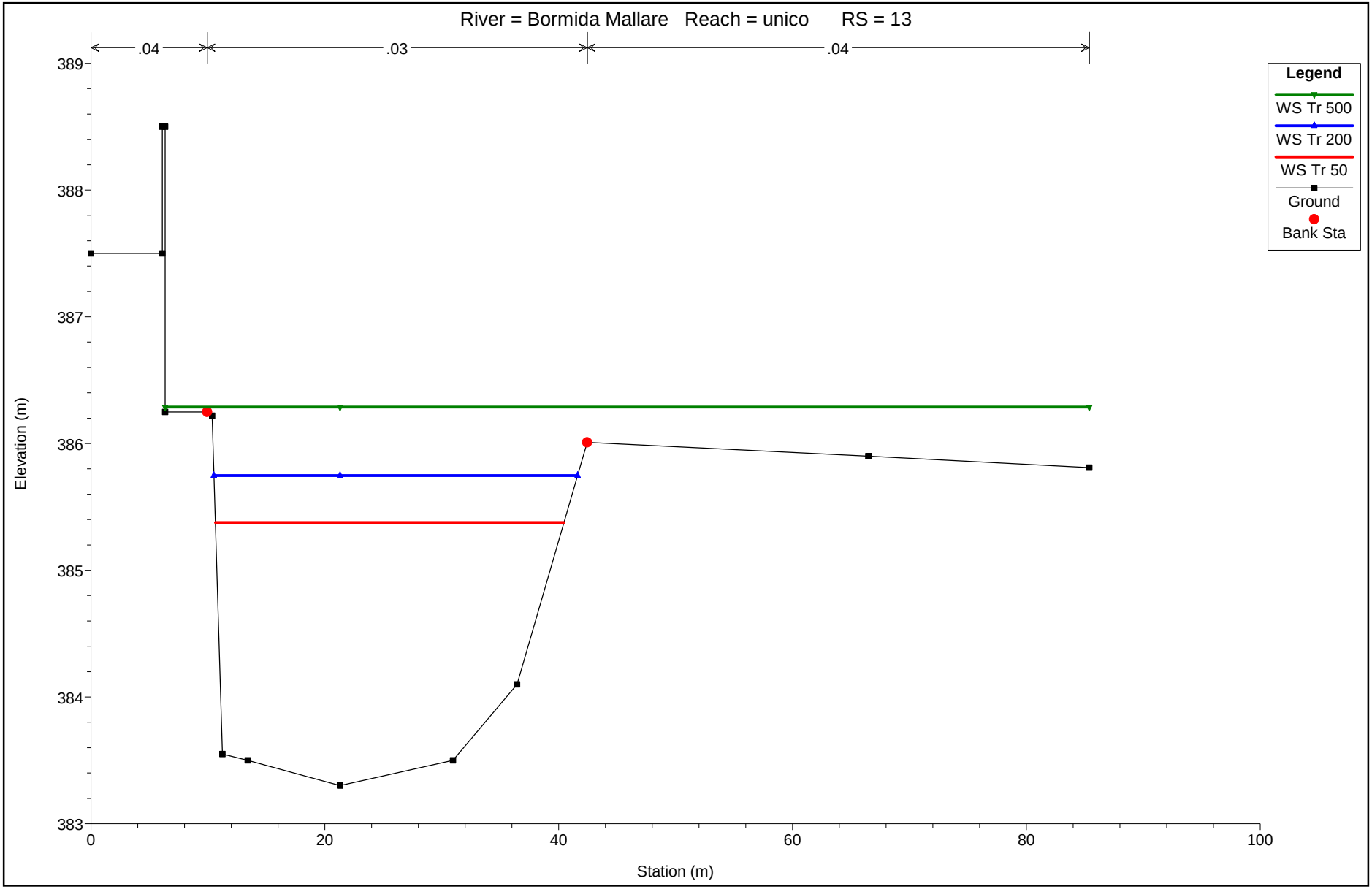

River = Bormida Mallare Reach = unico RS = 18
.04
.03
.04
Legend
WS Tr 500
WS Tr 200
WS Tr 50
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
390
389
388
387
386
385
384
0
10
20
30
40
50
Station (m)

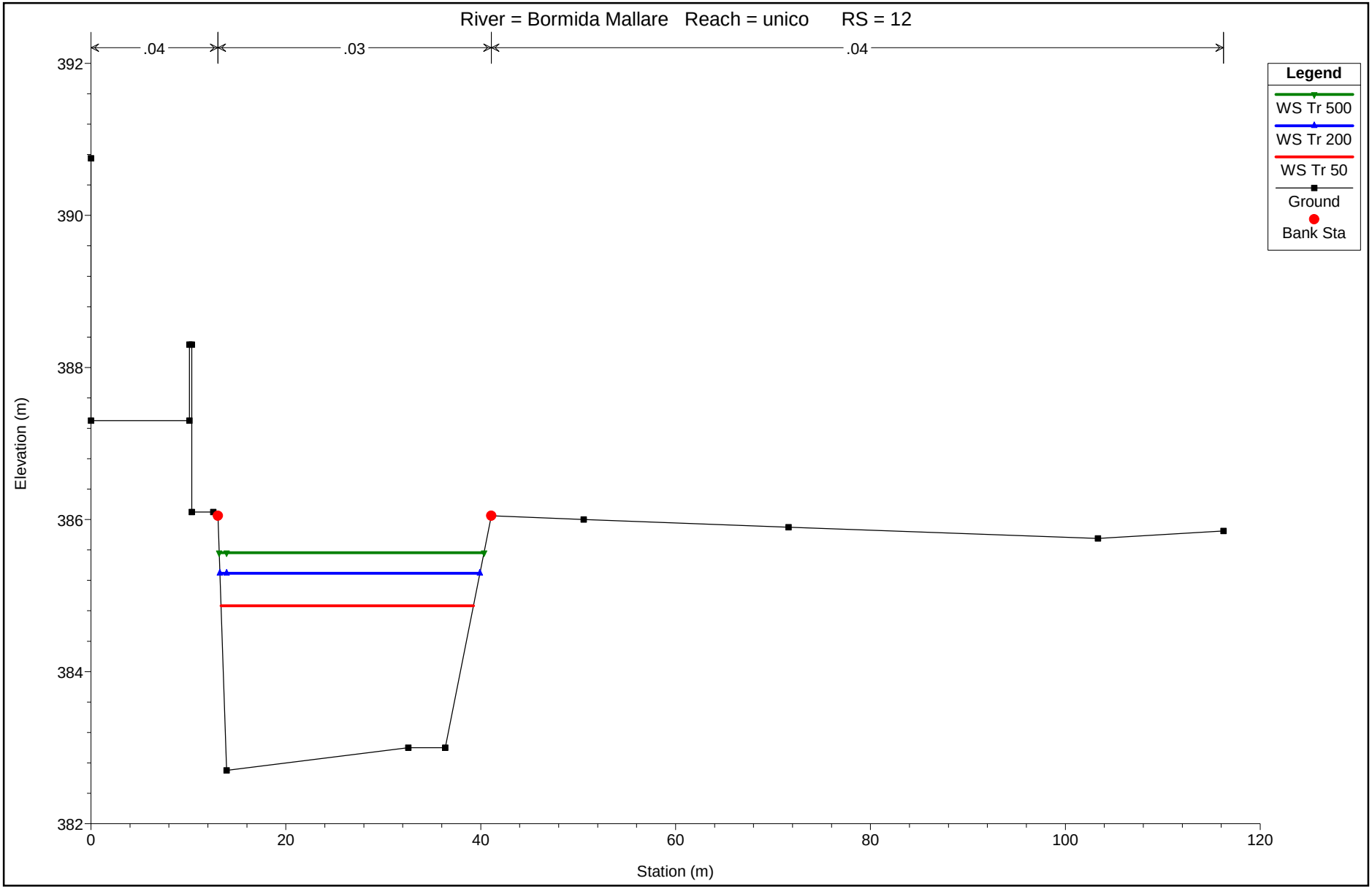

River = Bormida Mallare Reach = unico RS = 17
.04
.03
.04
Legend
WS Tr 500
WS Tr 200
WS Tr 50
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
390
389
388
387
386
385
384
0
20
40
60
80
100
120
Station (m)

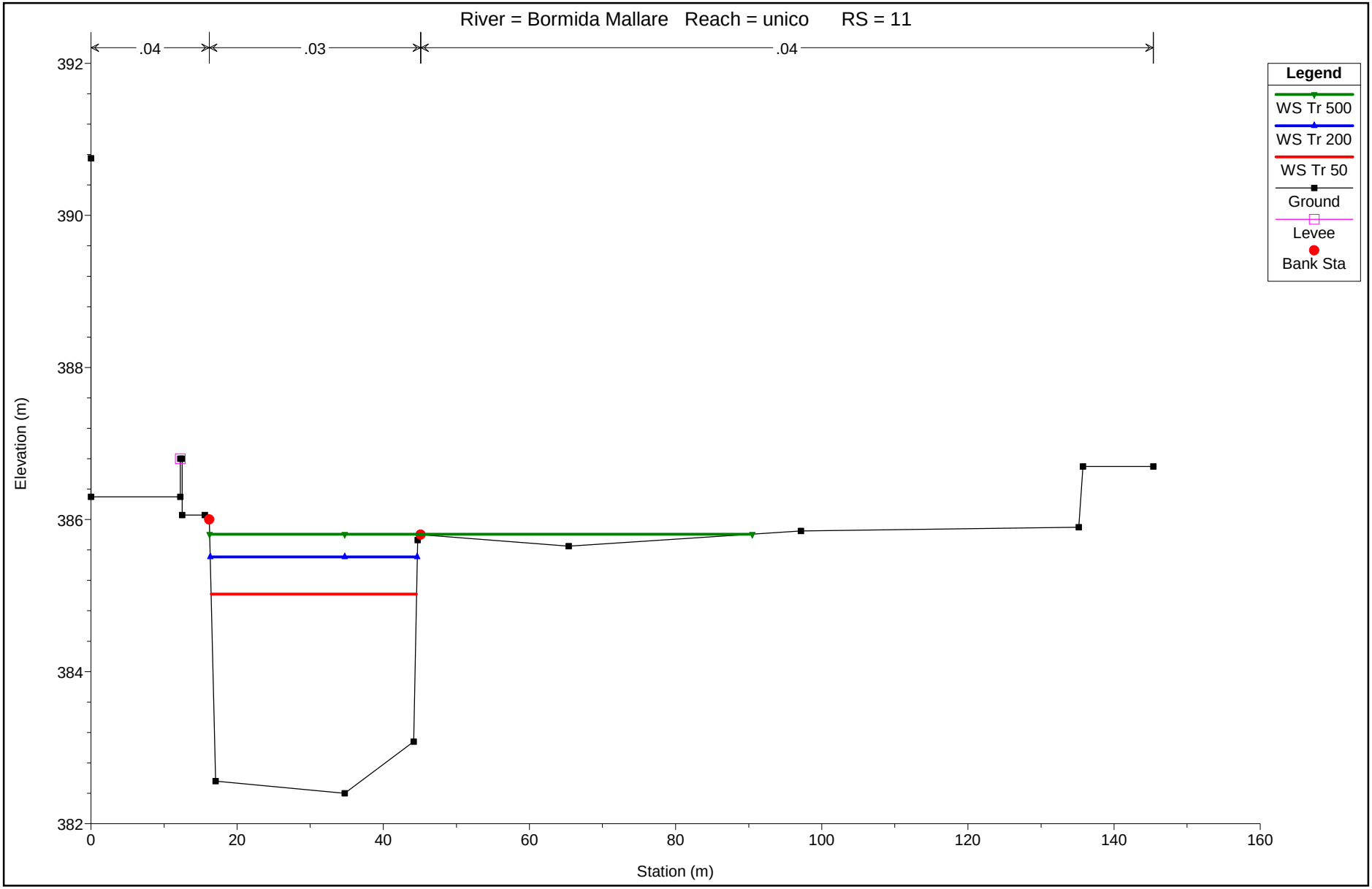

River = Bormida Mallare Reach = unico RS = 16
.04
.03
.04
Legend
WS Tr 500
WS Tr 200
WS Tr 50
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
390
389
388
387
386
385
384
383
0
20
40
60
80
100
120

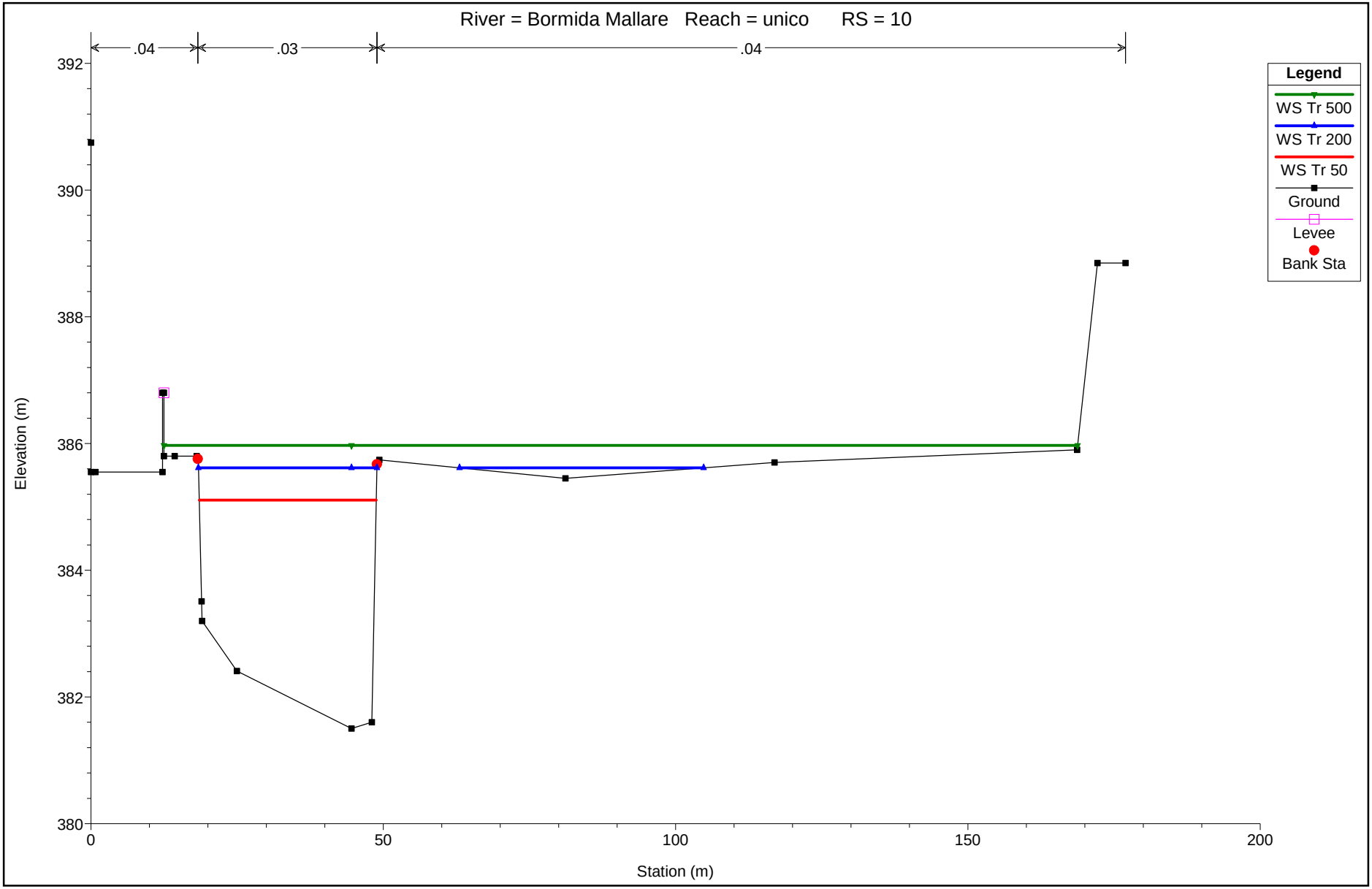

River = Bormida Mallare Reach = unico RS = 15
.04
.03
.04
Legend
WS Tr 500
WS Tr 200
WS Tr 50
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
389
388
387
386
385
384
383
0
20
40
60
80
100
120
140
Station (m)

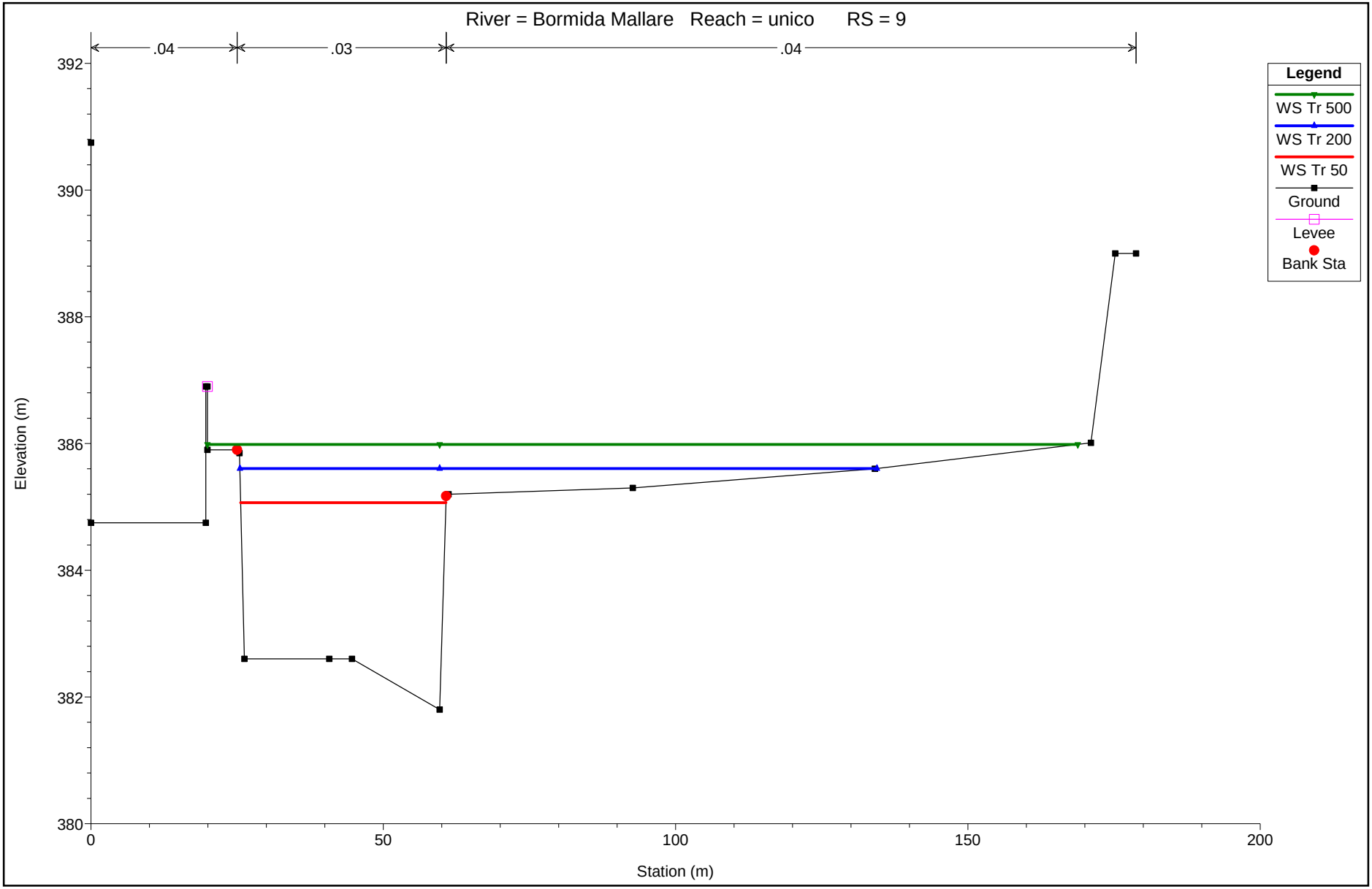

River = Bormida Mallare Reach = unico RS = 14
.04
.03
.04
Legend
WS Tr 500
WS Tr 200
WS Tr 50
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
389
388
387
386
385
384
383
0
20
40
60
80
100
120
Station (m)

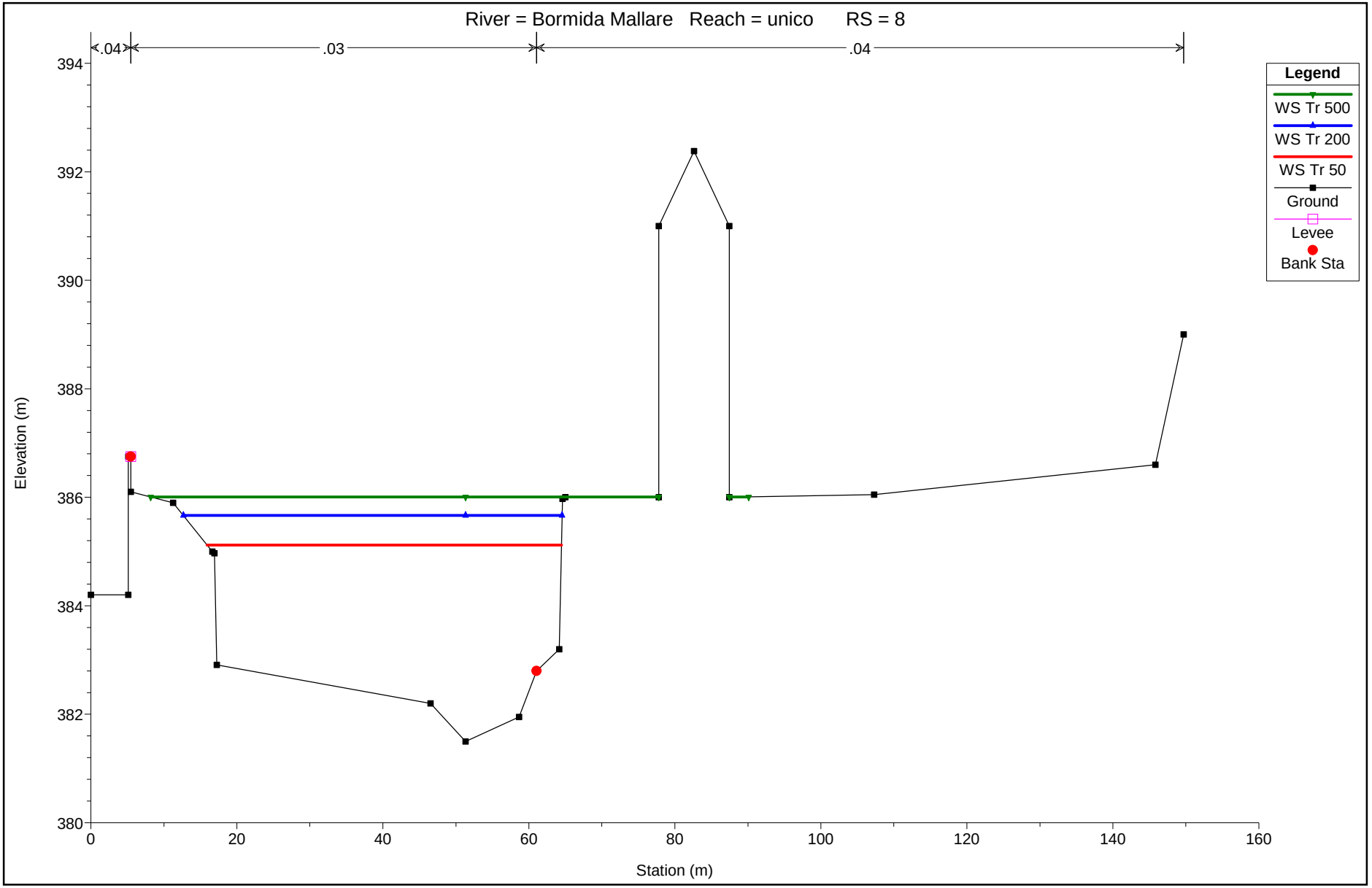

River = Bormida Mallare Reach = unico RS = 13
.04
.03
.04
Legend
WS Tr 500
WS Tr 200
WS Tr 50
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
389
388
387
386
385
384
383
0
20
40
60
80
100
Station (m)

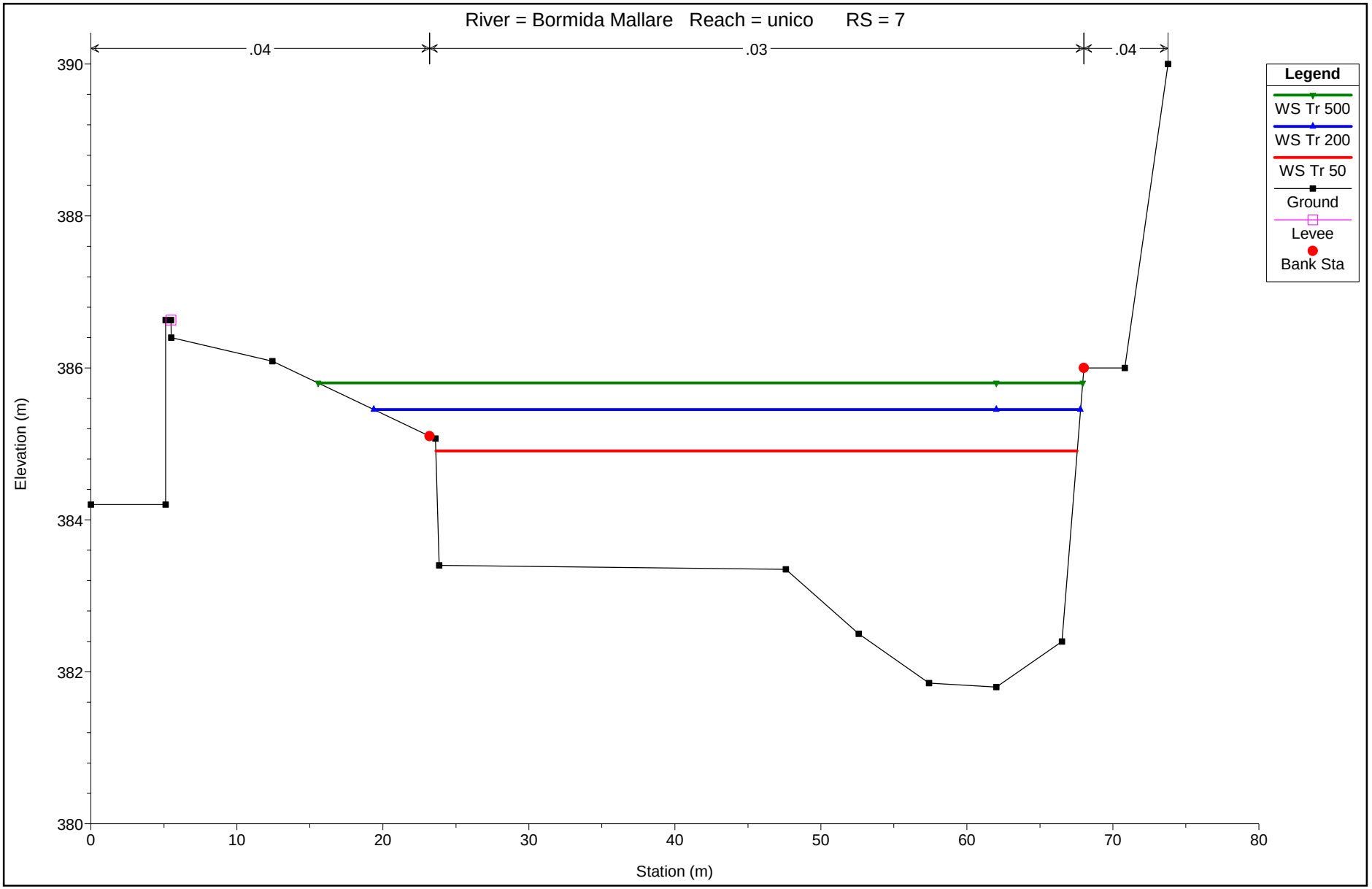

River = Bormida Mallare Reach = unico RS = 12
.04
.03
.04
Legend
WS Tr 500
WS Tr 200
WS Tr 50
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
392
390
388
386
384
382
0
20
40
60
80
100
120
Station (m)

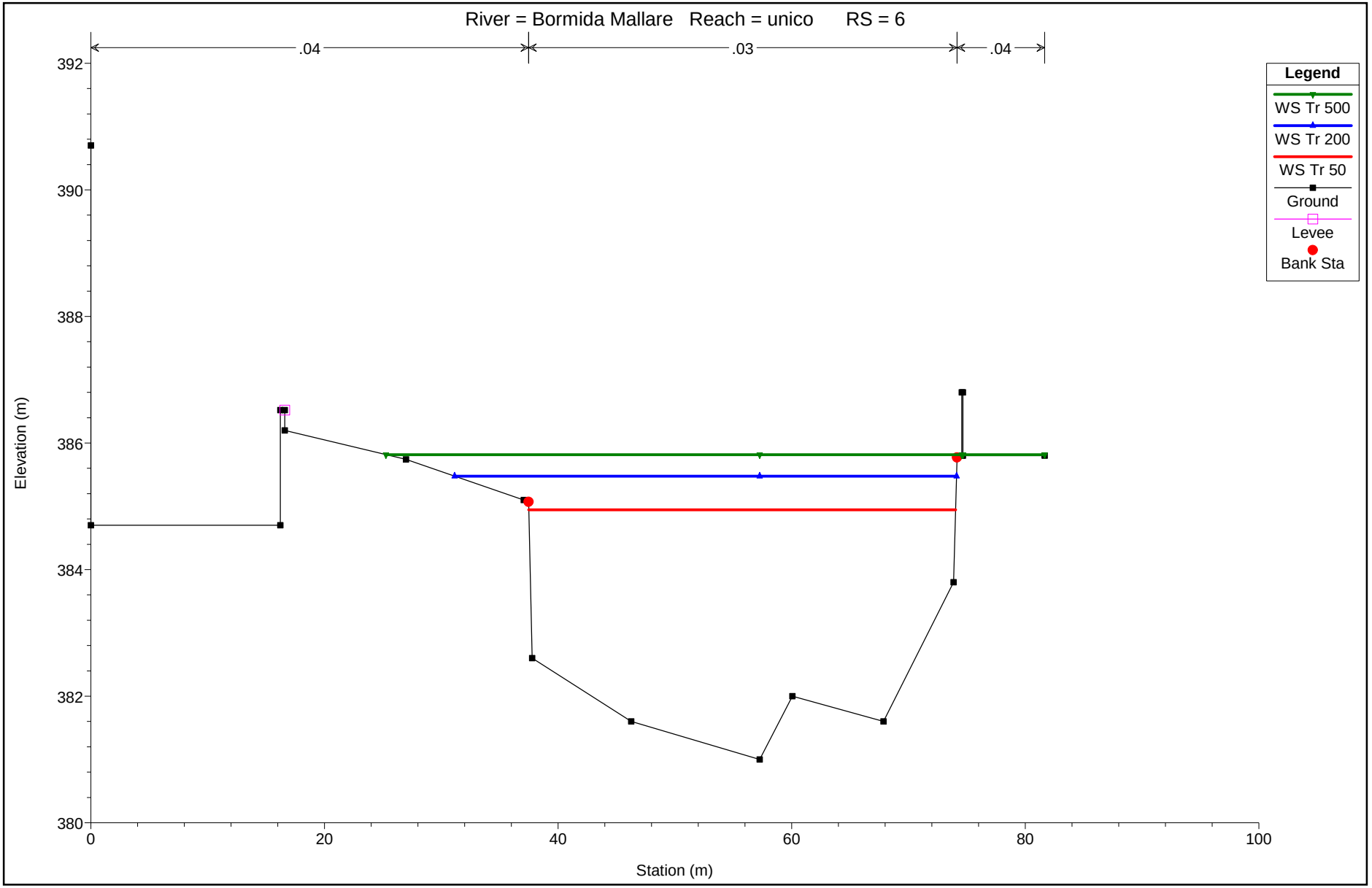

River = Bormida Mallare Reach = unico RS = 11
.04
.03
.04
Legend
WS Tr 500
WS Tr 200
WS Tr 50
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
392
390
388
386
384
382
0
20
40
60
80
100
120
140
160
Station (m)

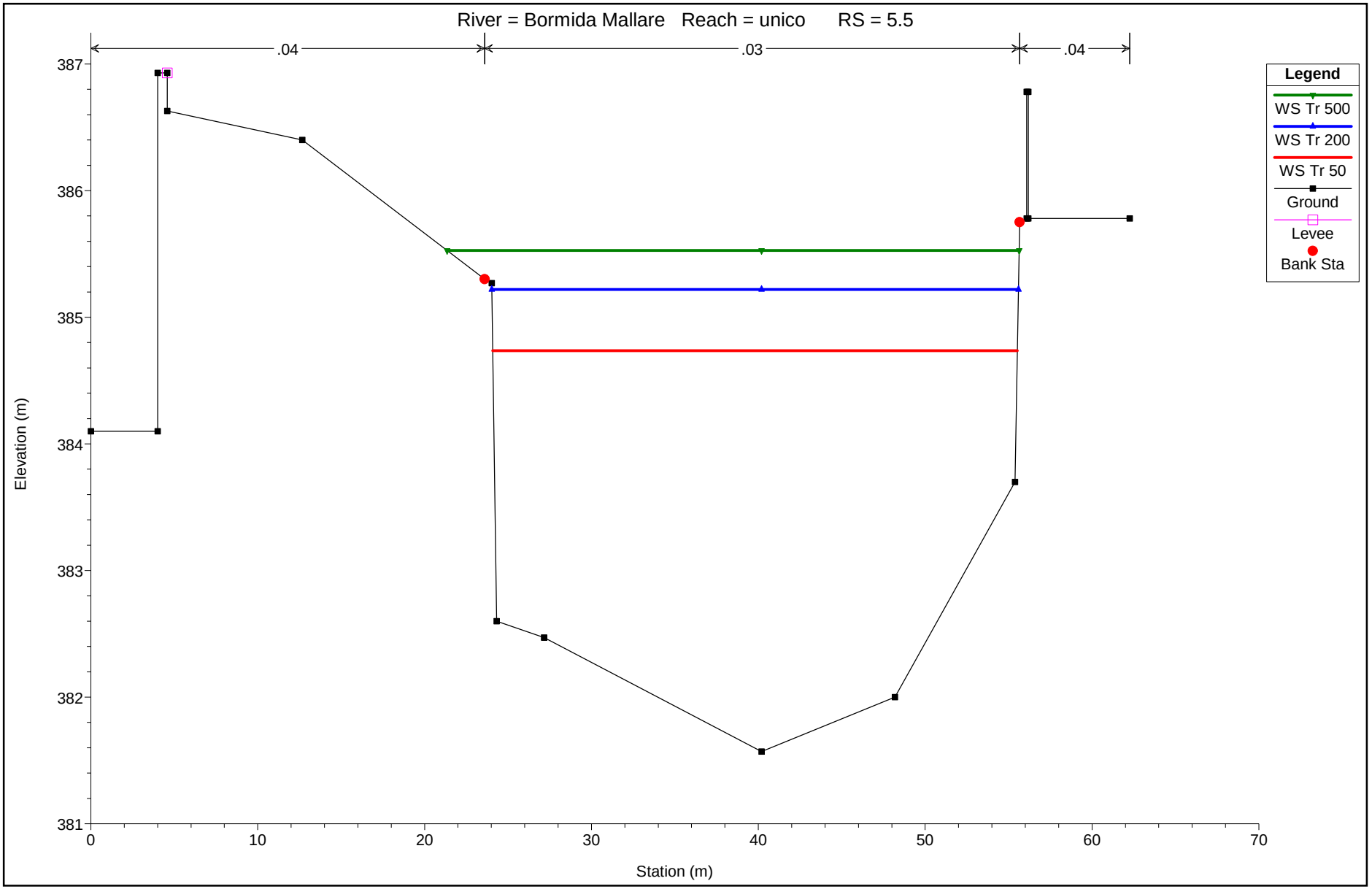

River = Bormida Mallare Reach = unico RS = 10
.04
.03
.04
Legend
WS Tr 500
WS Tr 200
WS Tr 50
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
392
390
388
386
384
382
380
0
50
100
150
200
Station (m)

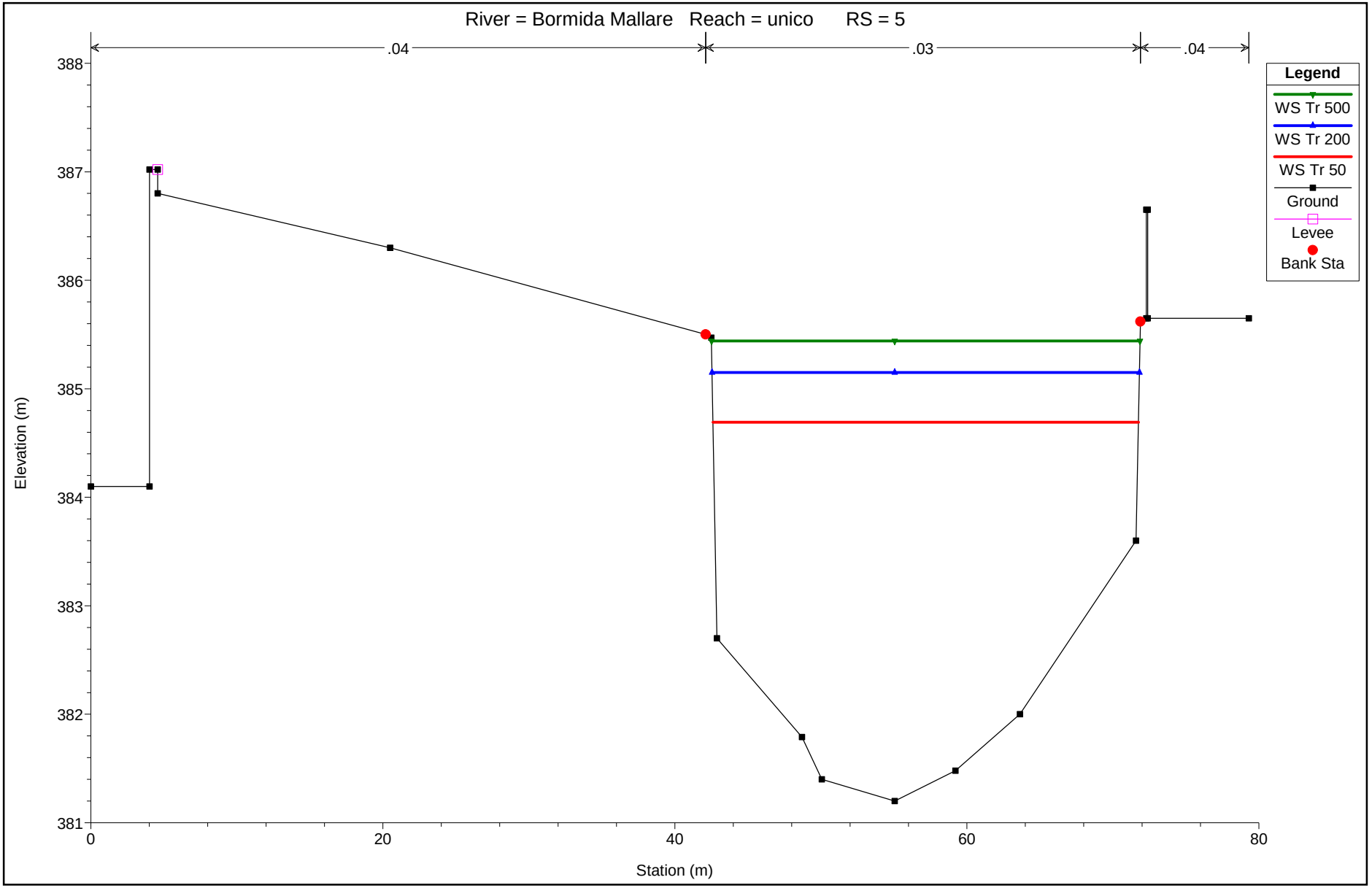

River = Bormida Mallare Reach = unico RS = 9
.04
.03
.04
Legend
WS Tr 500
WS Tr 200
WS Tr 50
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
392
390
388
386
384
382
380
0
50
100
150
200
Station (m)

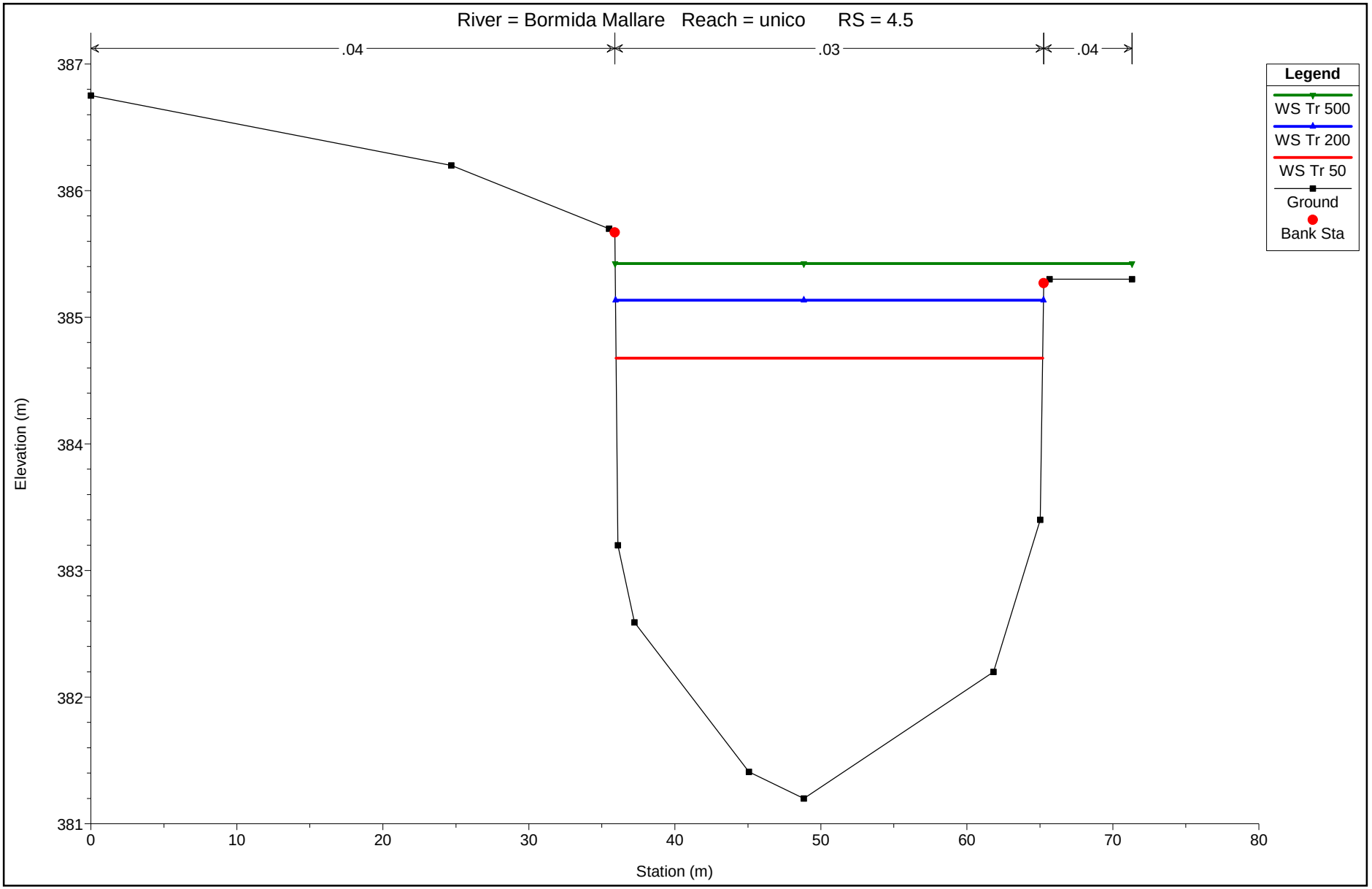

River = Bormida Mallare Reach = unico RS = 8
.04
.03
.04
Legend
WS Tr 500
WS Tr 200
WS Tr 50
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
394
392
390
388
386
384
382
380
0
20
40
60
80
100
120
140
160
Station (m)

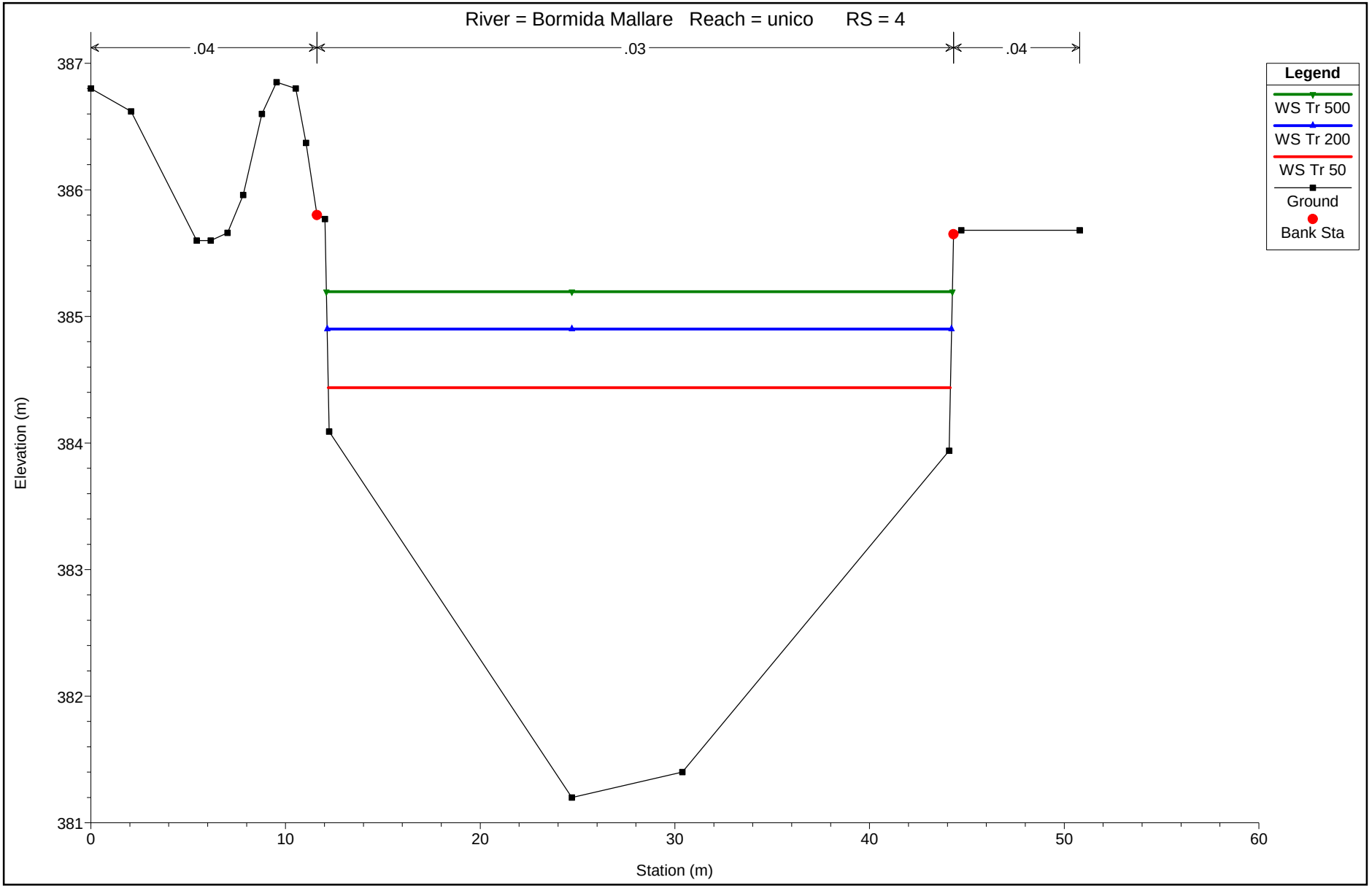

River = Bormida Mallare Reach = unico RS = 7
.04
.03
.04
Legend
WS Tr 500
WS Tr 200
WS Tr 50
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
390
388
386
384
382
380
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Station (m)

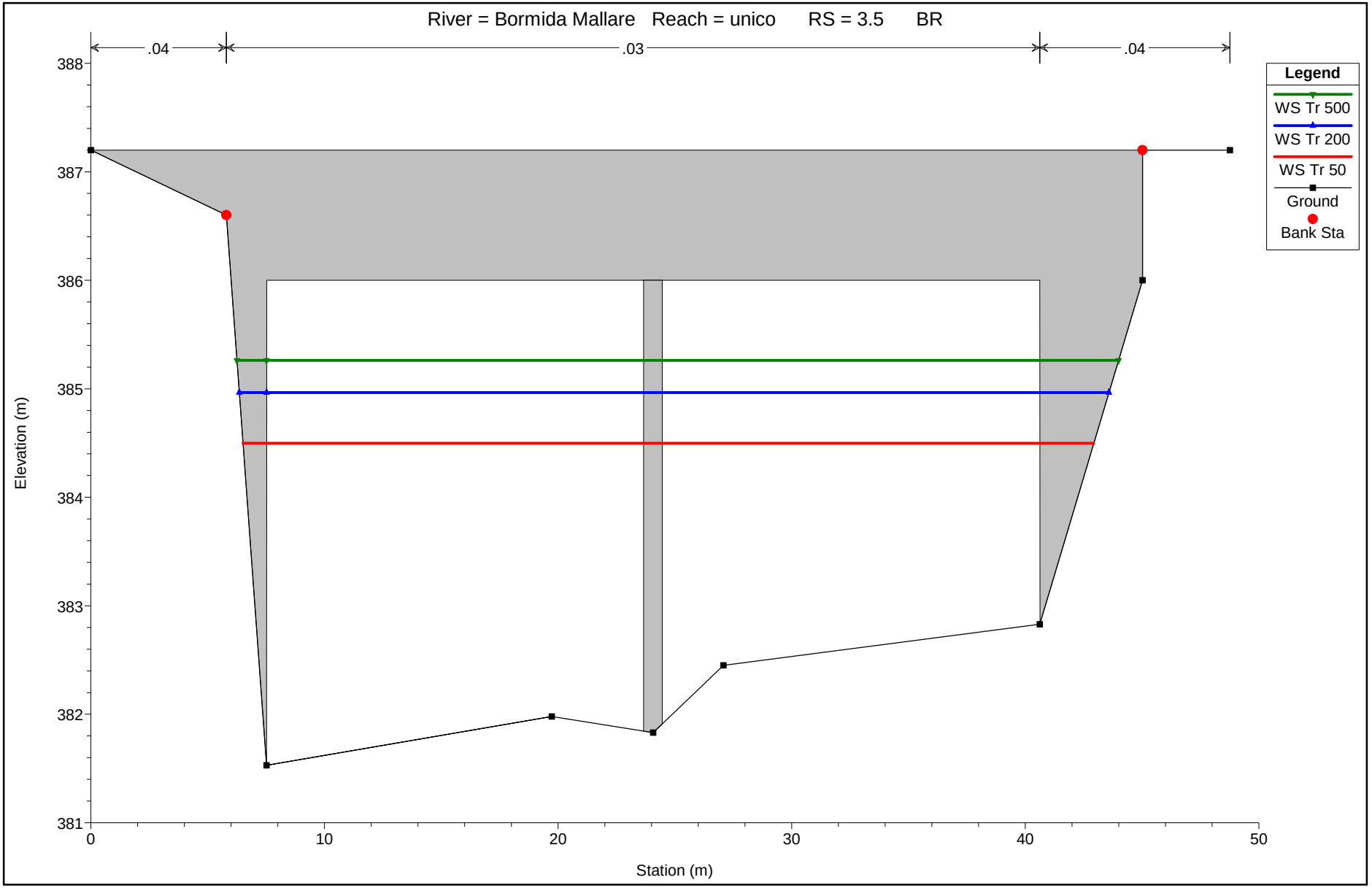

River = Bormida Mallare Reach = unico RS = 6
.04
.03
.04
Legend
WS Tr 500
WS Tr 200
WS Tr 50
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
392
390
388
386
384
382
380
0
20
40
60
80
100
Station (m)

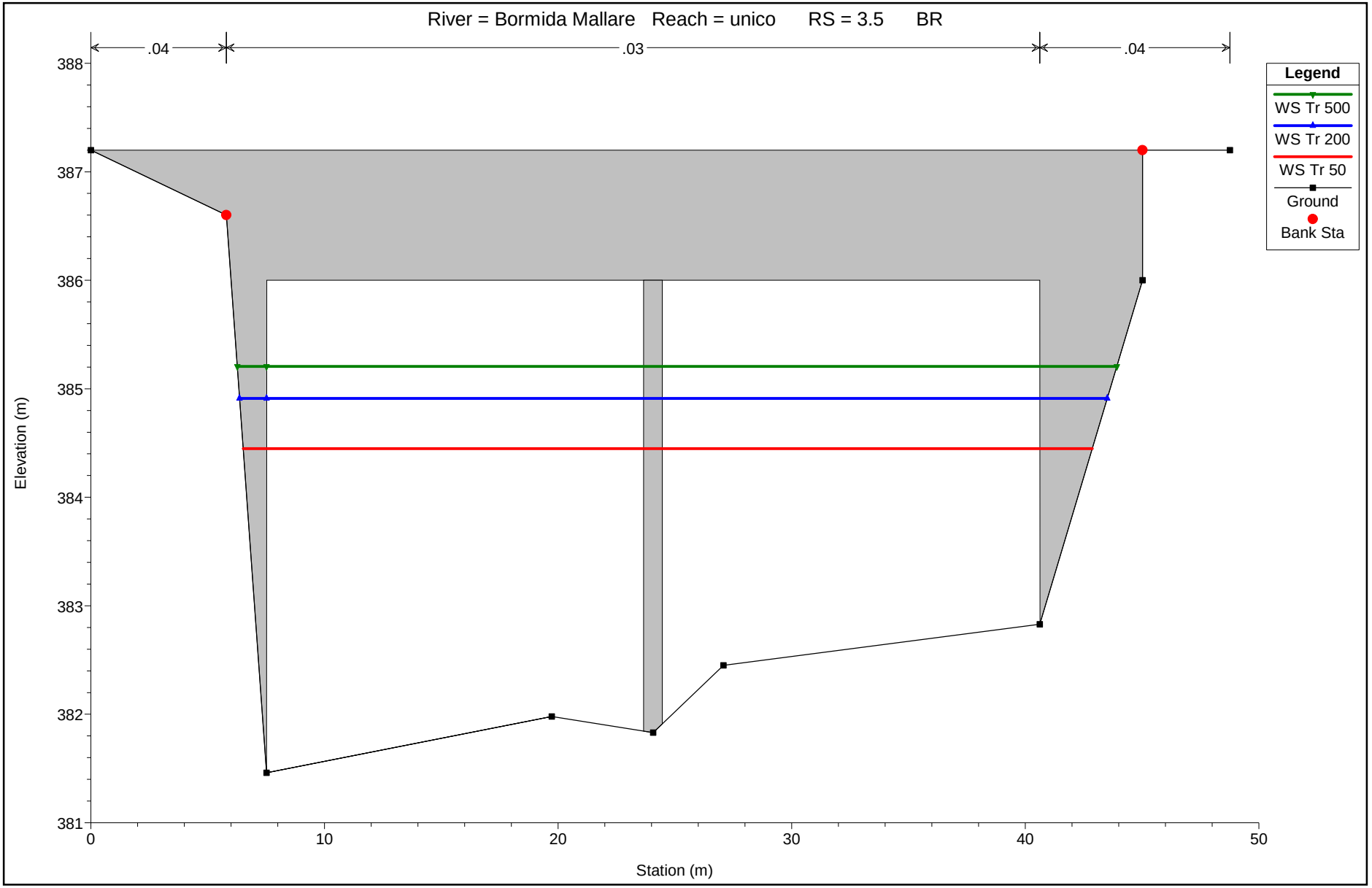

River = Bormida Mallare Reach = unico RS = 5.5
.04
.03
.04
Legend
WS Tr 500
WS Tr 200
WS Tr 50
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
387
386
385
384
383
382
381
0
10
20
30
40
50
60
70
Station (m)

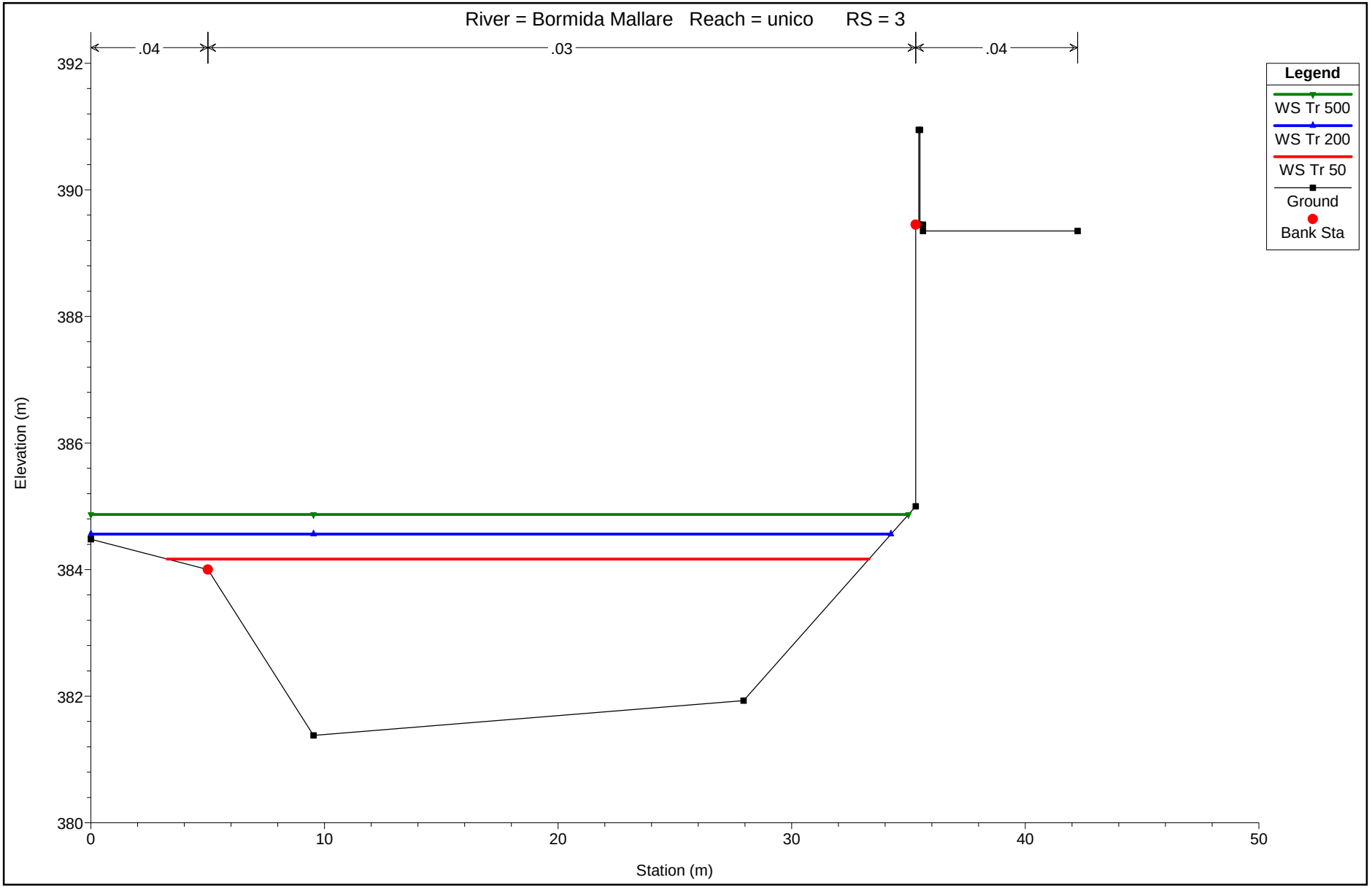

River = Bormida Mallare Reach = unico RS = 5
.04
.03
.04
Legend
WS Tr 500
WS Tr 200
WS Tr 50
Ground
Levee
Bank Sta
Elevation (m)
388
387
386
385
384
383
382
381
0
20
40
60
80
Station (m)

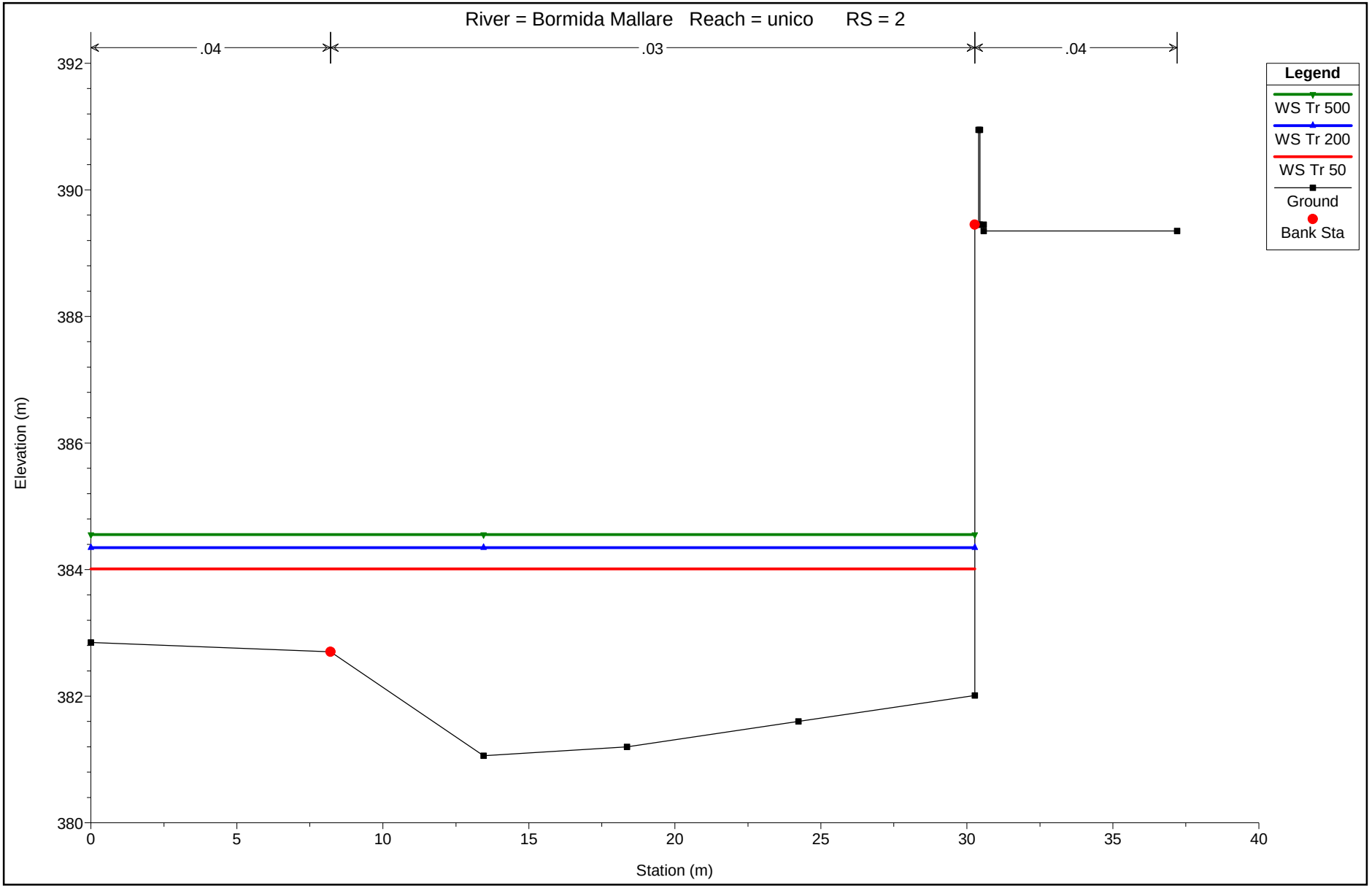

River = Bormida Mallare Reach = unico RS = 4.5
.04
.03
.04
Legend
WS Tr 500
WS Tr 200
WS Tr 50
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
387
386
385
384
383
382
381
0
10
20
30
40
50
60
70
80
Station (m)

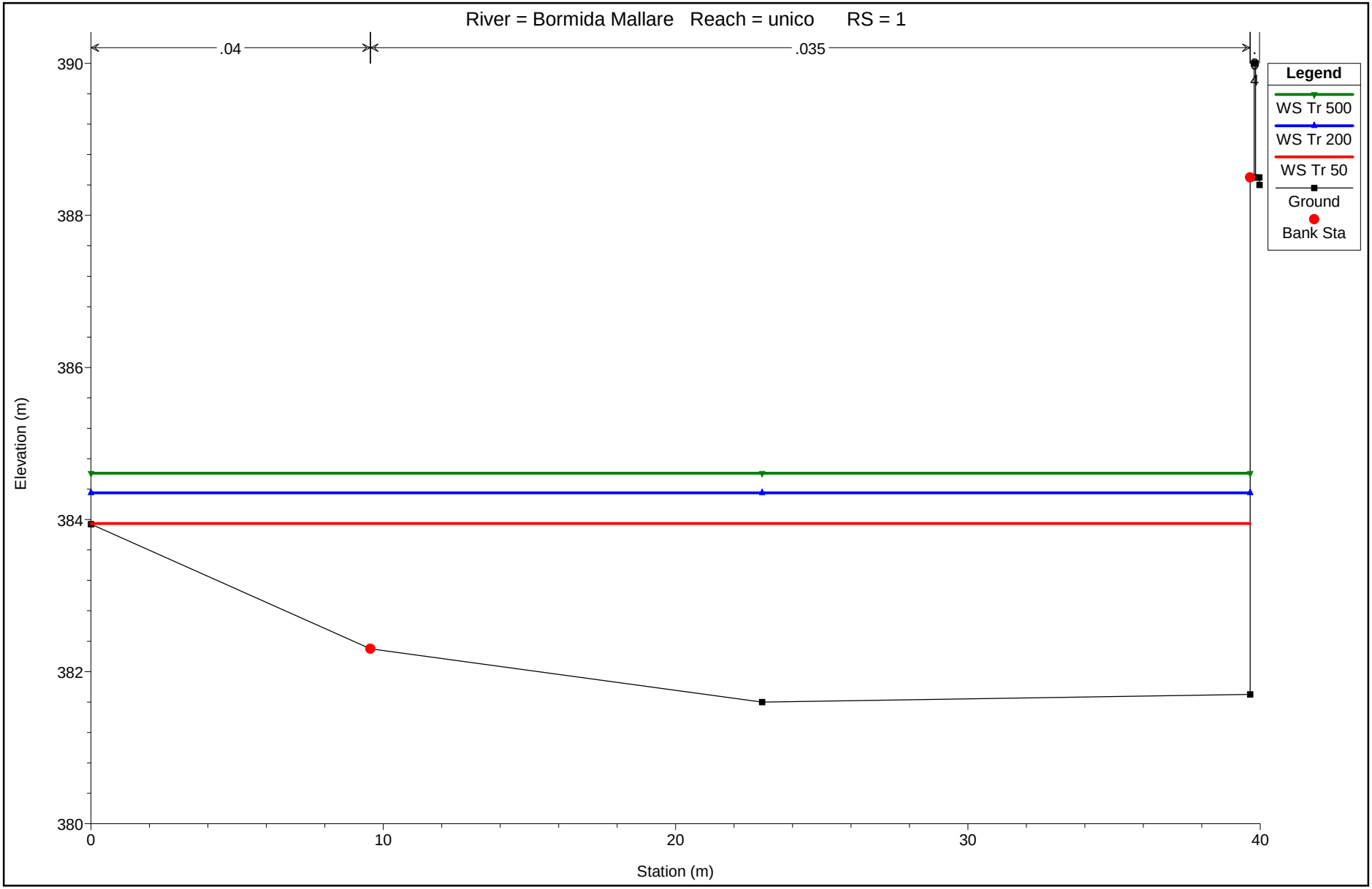

River = Bormida Mallare Reach = unico RS = 4
.04
.03
.04
Legend
WS Tr 500
WS Tr 200
WS Tr 50
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
387
386
385
384
383
382
381
0
10
20
30
40
50
60


River = Bormida Mallare Reach = unico RS = 3.5 BR
.04
.03
.04
Legend
WS Tr 500
WS Tr 200
WS Tr 50
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
388
387
386
385
384
383
382
381
0
10
20
30
40
50


River = Bormida Mallare Reach = unico RS = 3.5 BR
.04
.03
.04
Legend
WS Tr 500
WS Tr 200
WS Tr 50
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
Station (m)
388
387
386
385
384
383
382
381
0
10
20
30
40
50


River = Bormida Mallare Reach = unico RS = 3
.04
.03
.04
Legend
WS Tr 500
WS Tr 200
WS Tr 50
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
392
390
388
386
384
382
380
0
10
20
30
40
50
Station (m)


River = Bormida Mallare Reach = unico RS = 2
.04
.03
.04
Legend
WS Tr 500
WS Tr 200
WS Tr 50
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
392
390
388
386
384
382
380
0
5
10
15
20
25
30
35
40
Station (m)


River = Bormida Mallare Reach = unico RS = 1
.04
.035
.1
4
Legend
WS Tr 500
WS Tr 200
WS Tr 50
Ground
Bank Sta
Elevation (m)
390
388
386
384
382
380
0
10
20
30
40
Station (m)

HEC-RAS Plan: Plan 09 River: Bormida Mallare Reach: unico

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
unico	19	Tr 50	206.00	384.42	387.26	386.92	387.93	0.004670	3.61	57.00	27.38	0.80
unico	19	Tr 200	278.00	384.42	387.75	387.37	388.53	0.004578	3.92	70.83	29.58	0.81
unico	19	Tr 500	328.00	384.42	388.00	387.66	388.89	0.004652	4.18	78.44	30.42	0.83
unico	18	Tr 50	206.00	384.20	386.70	386.70	387.64	0.007556	4.30	47.87	25.42	1.00
unico	18	Tr 200	278.00	384.20	387.16	387.16	388.25	0.007228	4.62	60.11	27.60	1.00
unico	18	Tr 500	328.00	384.20	387.49	387.44	388.62	0.006657	4.71	69.66	29.19	0.97
unico	17	Tr 50	206.00	384.00	386.67		387.25	0.003948	3.36	61.36	28.89	0.74
unico	17	Tr 200	278.00	384.00	387.28		387.90	0.003405	3.49	79.60	31.42	0.70
unico	17	Tr 500	328.00	384.00	387.65		388.30	0.003115	3.58	92.20	34.70	0.68
unico	16	Tr 50	206.00	383.70	386.20	386.04	387.04	0.006092	4.06	50.70	24.33	0.90
unico	16	Tr 200	278.00	383.70	386.50	386.50	387.67	0.007350	4.78	58.15	24.98	1.00
unico	16	Tr 500	328.00	383.70	386.78	386.78	388.07	0.007269	5.03	65.22	25.59	1.01
unico	15	Tr 50	206.00	383.00	386.52		386.76	0.001329	2.23	115.24	89.73	0.43
unico	15	Tr 200	278.00	383.00	386.77		387.08	0.001675	2.62	138.48	96.38	0.48
unico	15	Tr 500	328.00	383.00	386.95		387.29	0.001767	2.79	156.06	101.70	0.50
unico	14	Tr 50	206.00	383.40	386.11	386.11	386.64	0.004091	3.31	75.97	100.85	0.73
unico	14	Tr 200	278.00	383.40	386.55	386.40	386.98	0.002924	3.16	120.96	100.99	0.64
unico	14	Tr 500	328.00	383.40	386.81	386.55	387.20	0.002554	3.13	146.40	101.47	0.60
unico	13	Tr 50	206.00	383.30	385.38	385.38	386.23	0.007966	4.08	50.45	29.82	1.00
unico	13	Tr 200	278.00	383.30	385.75	385.75	386.78	0.007908	4.50	61.75	31.11	1.02
unico	13	Tr 500	328.00	383.30	386.29	386.29	387.06	0.004753	3.97	95.25	79.03	0.81
unico	12	Tr 50	206.00	382.70	384.87	384.87	385.80	0.008117	4.29	48.03	25.92	1.01
unico	12	Tr 200	278.00	382.70	385.29	385.29	386.41	0.007771	4.69	59.25	26.70	1.01
unico	12	Tr 500	328.00	382.70	385.57	385.56	386.80	0.007594	4.93	66.59	27.19	1.00
unico	11	Tr 50	206.00	382.40	385.02	384.37	385.50	0.003046	3.05	67.54	28.11	0.63
unico	11	Tr 200	278.00	382.40	385.51	384.77	386.10	0.003119	3.42	81.28	28.33	0.64
unico	11	Tr 500	328.00	382.40	385.81	385.02	386.48	0.003218	3.64	93.48	74.25	0.66
unico	10	Tr 50	206.00	381.50	385.11	383.79	385.37	0.001338	2.30	89.68	30.29	0.43
unico	10	Tr 200	278.00	381.50	385.62	384.18	385.97	0.001484	2.64	108.61	72.28	0.45
unico	10	Tr 500	328.00	381.50	385.97	384.42	386.33	0.001378	2.70	152.01	156.28	0.44
unico	9	Tr 50	206.00	381.80	385.07	383.98	385.33	0.001516	2.27	90.90	35.11	0.45
unico	9	Tr 200	278.00	381.80	385.60	384.32	385.91	0.001434	2.47	127.53	108.96	0.45
unico	9	Tr 500	328.00	381.80	385.99	384.55	386.26	0.001214	2.43	176.10	148.88	0.42
unico	8	Tr 50	206.00	381.50	385.12	383.64	385.25	0.000671	1.63	129.61	48.55	0.32
unico	8	Tr 200	278.00	381.50	385.66	383.92	385.83	0.000711	1.82	156.96	51.88	0.33
unico	8	Tr 500	328.00	381.50	386.01	384.10	386.20	0.000794	1.96	175.33	72.29	0.35
unico	7	Tr 50	206.00	381.80	384.91	384.21	385.19	0.002162	2.35	87.73	43.93	0.53
unico	7	Tr 200	278.00	381.80	385.45	384.51	385.77	0.001803	2.48	112.61	48.42	0.50
unico	7	Tr 500	328.00	381.80	385.80	384.69	386.13	0.001631	2.56	130.21	52.36	0.48
unico	6	Tr 50	206.00	381.00	384.95	383.31	385.12	0.000771	1.83	112.33	36.55	0.33
unico	6	Tr 200	278.00	381.00	385.48	383.67	385.70	0.000841	2.11	133.04	42.97	0.35
unico	6	Tr 500	328.00	381.00	385.82	383.88	386.08	0.000867	2.26	148.74	56.31	0.36
unico	5.5	Tr 50	206.00	381.57	384.74	383.85	385.08	0.002015	2.60	79.14	31.45	0.52
unico	5.5	Tr 200	278.00	381.57	385.22	384.21	385.66	0.002119	2.95	94.36	31.57	0.54
unico	5.5	Tr 500	328.00	381.57	385.53	384.45	386.03	0.002181	3.15	104.46	34.29	0.56
unico	5	Tr 50	206.00	381.20	384.69	383.74	385.05	0.001945	2.65	77.77	29.15	0.52
unico	5	Tr 200	278.00	381.20	385.15	384.12	385.62	0.002164	3.05	91.20	29.28	0.55
unico	5	Tr 500	328.00	381.20	385.44	384.36	385.99	0.002292	3.29	99.68	29.36	0.57
unico	4.5	Tr 50	206.00	381.20	384.68		385.01	0.001731	2.56	80.59	29.22	0.49
unico	4.5	Tr 200	278.00	381.20	385.14		385.58	0.001959	2.96	94.00	29.32	0.53
unico	4.5	Tr 500	328.00	381.20	385.42		385.95	0.002077	3.20	103.25	35.40	0.55
unico	4	Tr 50	206.00	381.20	384.44	384.03	384.96	0.003820	3.20	64.39	31.96	0.72
unico	4	Tr 200	278.00	381.20	384.90	384.38	385.53	0.003618	3.51	79.21	32.07	0.71
unico	4	Tr 500	328.00	381.20	385.20	384.62	385.89	0.003536	3.70	88.69	32.15	0.71
unico	3.5		Bridge									
unico	3	Tr 50	206.00	381.38	384.17		384.79	0.004358	3.49	59.09	30.05	0.77
unico	3	Tr 200	278.00	381.38	384.56	384.24	385.35	0.004590	3.94	71.85	34.25	0.81
unico	3	Tr 500	328.00	381.38	384.87		385.71	0.004326	4.08	82.65	35.00	0.80
unico	2	Tr 50	206.00	381.06	384.01		384.60	0.003845	3.51	64.06	30.27	0.72
unico	2	Tr 200	278.00	381.06	384.35		385.14	0.004488	4.10	74.33	30.27	0.78
unico	2	Tr 500	328.00	381.06	384.56		385.50	0.004903	4.47	80.57	30.27	0.83
unico	1	Tr 50	206.00	381.60	383.95	383.46	384.38	0.004301	2.99	73.08	39.66	0.65

HEC-RAS Plan: Plan 09 River: Bormida Mallare Reach: unico (Continued)

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
unico	1	Tr 200	278.00	381.60	384.35	383.82	384.88	0.004303	3.32	89.05	39.66	0.66
unico	1	Tr 500	328.00	381.60	384.61	384.07	385.20	0.004301	3.52	99.24	39.66	0.67

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



***Foto 1**: Fiume Bormida di Mallare*



***Foto 2**: Fiume Bormida di Mallare ripreso da valle verso monte*



***Foto 3**: Fiume Bormida di Mallare ripreso da monte verso valle*



***Foto 4**: Attraversamento di Loc Isolagrande sul Fiume Bormida di Mallare*



***Foto 5**: Attraversamento di Loc. Isolagrande visto da monte verso valle*



***Foto 6**: Attraversamento di Loc Isolagrande – sezione di valle*



***Foto 7**: Particolare scogliera esistente in sponda sinistra*



***Foto 8**: Particolare difesa spondale esistente in sponda destra*



***Foto 9**: Tratto di Fiume Bormida in corrispondenza dello stabilimento "Vetreria Etrusca"*



***Foto 10**: Tratto a monte dell'attraversamento di Loc. Isolagrande*



***Foto 11**: Tratto a monte dell'attraversamento – particolare della sponda sinistra*



***Foto 12**: Tratto a monte dell'attraversamento – particolare della sponda destra*

Documento firmato da:
LEANDRO GIORGIO
27.03.2023 10:01:13 UTC