

COMUNE DI VALLERMOSA

Spazio in bianco per apposizione di autorizzazioni o firme

PROGETTO DEFINITIVO RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA

PROGETTAZIONE DELL'INTERVENTO DI DEMOLIZIONE E
RICOSTRUZIONE DI UN PONTE (PONTE A)
NEL RIO GORA MANNA A MARGINE DEL CENTRO
ABITATO - CUP H91B19000640002 - CIG 8370870473

Allegato - Versione - Data - ID - U.

Allegato N.01
Versione: 1
07/02/2022

ID-Utente: 4236mIV1

Committente

**Comune
di
Vallermosa**

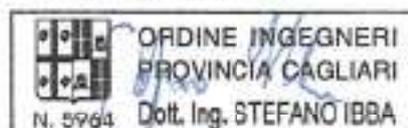
Società di Ingegneria

DEARIS

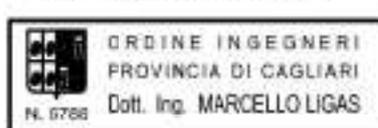
www.dearis.org
studiodearis@gmail.com
dearis@pec.it
Via Bottecchi 126, 09045, Quarto S.E.
Via Roma 41, 07100, Sassari
PIVA 03677550927

RTP

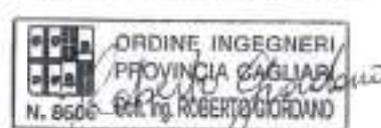
Dott. Ing. Stefano Ibba



Dott. Ing. Marcello Ligas



Dott. Ing. Roberto Giordano



1	Premessa.....	2
2	Inquadramento dell'area di intervento.....	2
3	Descrizione dello stato attuale.....	4
4	Interventi in progetto.....	8
4.1	Opere di difesa spondale.....	9
4.2	Opere di attraversamento.....	10
5	Inquadramento delle opere nei Piani di Settore idrogeologico.....	11
5.1	Piano stralcio di assetto idrogeologico.....	11
5.2	Piano Stralcio delle Fasce Fluviali.....	13
6	Analisi idrologica.....	14
6.1	Individuazione del bacino idrografico.....	14
6.2	Stima della portata di piena.....	16
6.2.1	Metodo razionale.....	17
6.2.1.1	Valutazione del tempo di corrivazione.....	19
6.2.1.2	Valutazione del coefficiente ARF.....	21
6.2.1.3	Altezze di pioggia.....	21
6.2.1.4	Valutazione del coefficiente di deflusso Φ	26
6.2.2	Calcolo delle portate di piena.....	30
6.3	Comparazione dei risultati.....	30
7	Analisi idraulica.....	31
7.1	Il codice di calcolo HEC RAS.....	31
7.2	Componenti idrauliche dell'analisi.....	32
7.3	I calcoli idraulici.....	33
7.4	Perdite di carico.....	34
7.5	Sezioni interpolate.....	37
7.6	Ponti e attraversamenti in sezioni chiuse.....	37
7.7	Determinazione del profilo di moto permanente.....	38
7.8	Dati di input e risultati delle simulazioni.....	39
7.8.1	Valori di portata adottati.....	40
7.8.2	Condizioni al contorno.....	41
7.9	Risultati modellazione idraulica in ambiente hec-ras.....	41
7.10	Risultati simulazione stato attuale.....	42
7.11	Risultati simulazione stato di progetto.....	69
8	Franco idraulico.....	96
8.1	Verifica franco di sicurezza sulle opere di attraversamento.....	96
8.2	Verifica franco di sicurezza sulle opere di adeguamento della sezione idraulica.....	100
9	Definizione della pericolosità idraulica H_i	103

1 Premessa

Con determinazione del responsabile del Servizio tecnico n.163 (reg. gen. n.462) del 28/09/2020 è stato affidato l'incarico di “Progettazione dell'intervento di demolizione e ricostruzione di un ponte (Ponte A) nel Rio Gora Manna a margine del centro abitato – CUP H91B19000640002 - CIG 8370870473” all'operatore economico costituito dal raggruppamento temporaneo RTI DEARIS srls (legale rappresentante Ing. Stefano Ibba), Ing. Marcello Ligas, Ing. Roberto Giordano.

La procedura di affidamento ha per oggetto il servizio di progettazione (nelle tre fasi: progetto di fattibilità tecnica ed economica, progettazione definitiva, ivi inclusi lo studio di compatibilità idraulica dell'intervento e la relazione paesaggistica, e progettazione esecutiva comprensiva del piano di sicurezza e coordinamento) dell'intervento in oggetto.

2 Inquadramento dell'area di intervento

Il Comune di Vallermosa sorge in una valle alluvionale lungo i margini orientali del gruppo montuoso del Monte Linas (altezza massima 1236 m), a 70 m sul livello del mare e ai piedi del monte Cuccurdoni Mannu, alto 910 m.

L'infrastruttura oggetto dell'intervento è ubicata nella strada comunale prolungamento della via Kennedy che conduce verso il sito archeologico denominato Matzanni e lungo il tracciato sono presenti numerose abitazioni ed aziende. L'infrastruttura consente l'attraversamento del Rio Gora Manna.

I riferimenti cartografici sono i seguenti:

- Foglio 556 “ASSEMINI” dell'I.G.M.I. [scala 1:50.000]
- Sez. 556-IV “SILIQUA” dell'I.G.M.I. [scala 1:25.000]
- Sez. 556-020 “VALLERMOSA” della C.T.R. [scala 1:10.000]

Le coordinate Gauss Boaga del baricentro dell'opera sono: 4.357.289,26 N 1.481.870,06 E

Si riporta di seguito l'inquadramento dell'area di intervento

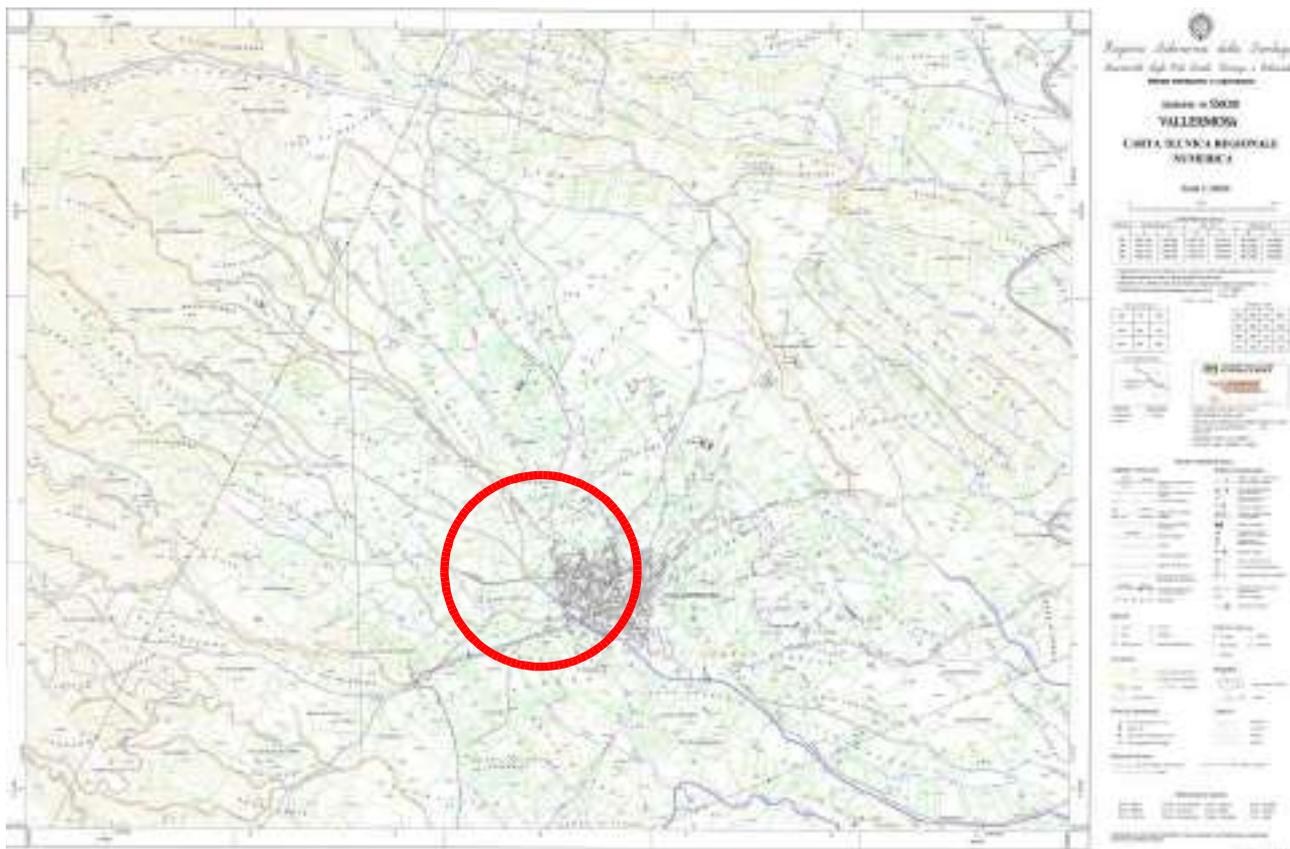


Illustrazione 1: Inquadramento dell'area di intervento su CTR

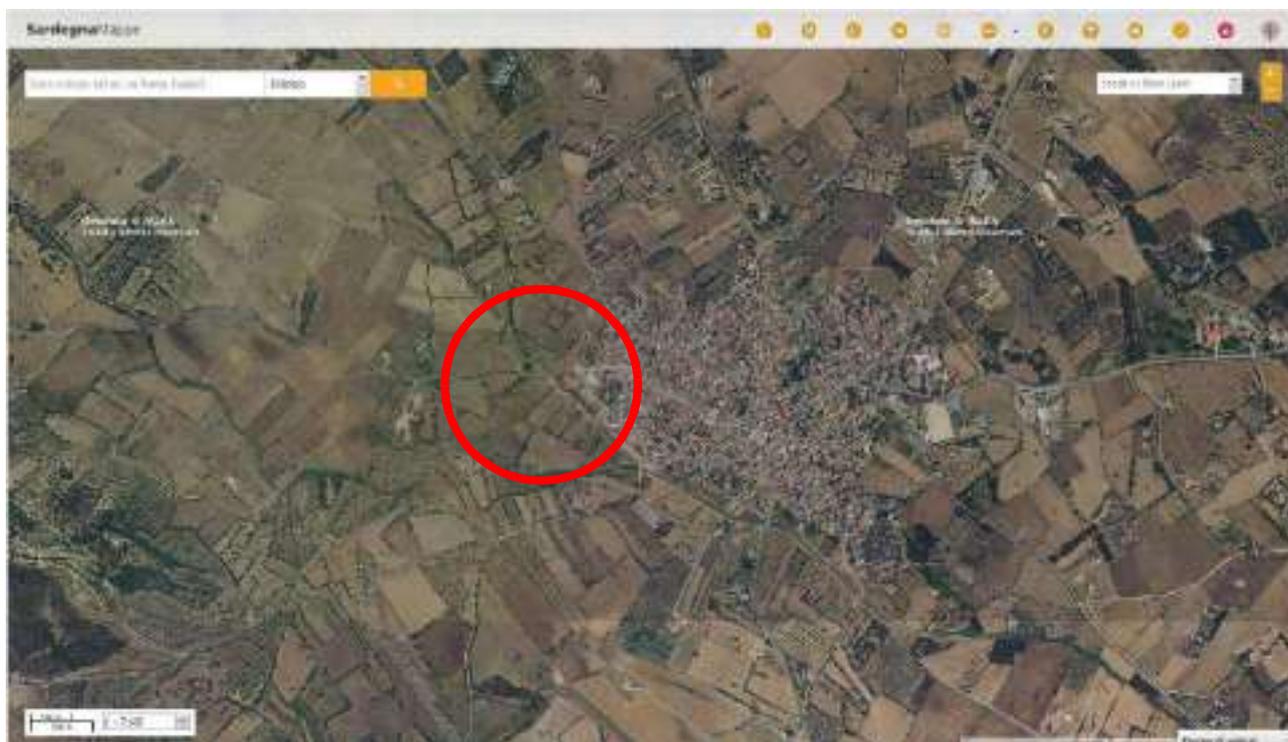


Illustrazione 2: Inquadramento dell'area di su ortofoto 2019 (www.sardegnaigeoportale.it)

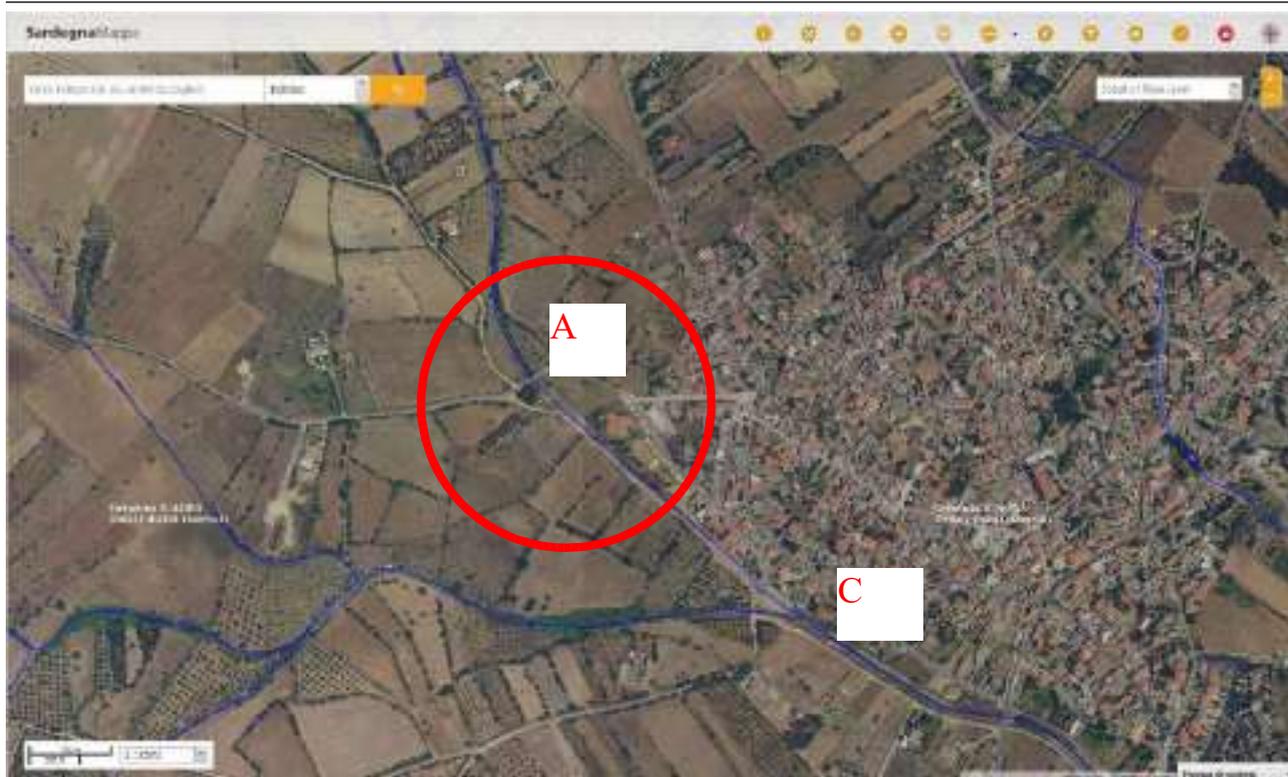


Illustrazione 3: inquadramento dei corsi d'acqua che insistono nell'areale di intervento (www.sardegnaeopoitale.it)

3 Descrizione dello stato attuale

Il rio Gora Manna, in corrispondenza dell'abitato di Vallermosa, interferisce con il reticolo stradale in due punti, individuati nella Illustrazione 3 precedente con le lettere A e C. Il ponte C è già stato realizzato a seguito dell'esecuzione delle opere previste nel progetto di *"Ricostruzione e riqualificazione di n. 2 ponti lungo il rio Gora Manna all'interno del centro abitato di Vallermosa e riadeguamento del tratto di alveo compreso tra essi - Lotto Uno: Demolizione e ricostruzione del ponte sul Riu Gora Manna e adeguamento localizzato della sezione idraulica dell'alveo"*. Il progetto, redatto dall'ing Sandro Catta, in sintesi ha previsto la realizzazione del ponte C e un adeguamento parziale dell'alveo nel tratto più prossimo al ponte.

Il ponte A rappresenta la sezione di chiusura del sub bacino avente una estensione di circa 5,700 kmq. Da una verifica fatta sulle perimetrazioni individuate dagli studi redatti ai sensi dell'art. 8 comma 2 delle NTA del PAI (approvati con Delibera del Comitato Istituzionale n. 7 del 17/05/2016), appare abbastanza evidente come il ponte A, allo stato attuale, presenti delle forti criticità idrauliche. Si veda in proposito il paragrafo Piano stralcio di assetto idrogeologico successivo.

Sono stati condotti accurati rilievi topografici lungo gran parte dell'alveo. Il tratto di corso d'acqua rilevato si sviluppa per una lunghezza totale di circa 1.300 metri ed è interessato dalla presenza di 4 ponti, indicati nella Illustrazione 4 che segue con le lettere dalla A alla D.



Illustrazione 4: Posizione dei ponti e delle soglie

Il fondo dell'alveo del settore a monte del ponte A (Rio Gora Manna), è caratterizzato da una sistemazione naturale affiancata ad una sponda, a ridosso del ponte, in mattonelle regolari di cemento.

Nel settore centrale, tra il Ponte A ed il rivestimento realizzato nei pressi del ponte C, a seguito della realizzazione dei lavori del Lotto 1, si ha un letto di materiale cementizio nel tratto iniziale, sistemazione naturale nel tratto centrale e cemento a ridosso del ponte A.



Illustrazione 5: Sistemazione dell'alveo nel tratto a monte



Illustrazione 6: Particolare rivestimento a ridosso del ponte A



Illustrazione 7: Sistemazione dell'alveo sotto il ponte A



Illustrazione 8: Sistemazione oltre il ponte A

La larghezza dell'alveo risulta mediamente costante fino al raggiungimento dell'area interessata dagli interventi di cui al Lotto 1.

In corrispondenza del ponte oggetto di intervento è stato eseguito, lato monte, un rilievo speditivo dei prospetti; il rilievo è stato quindi appoggiato sull'immagine relativa, geometricamente raddrizzata con software dedicato.



Illustrazione 9: Ponte A

4 Interventi in progetto

L'intervento in progetto va ad integrare le opere eseguite in corrispondenza del Ponte C a valle. Queste consistono in una pluralità di lavorazioni, schematizzate nel seguente elenco:

1. Demolizione del ponte A e ricostruzione dello stesso con prefabbricati articolati costituiti da più corpi in calcestruzzo collegati tra loro da tondini di acciaio che costituiscono l'armatura principale della struttura finita. Il ponte A sarà realizzato con soluzione a due elementi prefabbricati e 10 metri di campata.
2. risagomatura e rivestimento della sezione idraulica dell'alveo del Rio Gora Manna con una sezione costante di dimensioni base di 5 m, sponde inclinate a 45° ed altezza adeguata in funzione del rispetto del franco idraulico. La sezione verrà

rivestita con pietrame con giunti stilati con additivi colorati simili alle sponde naturali per garantire la mitigazione dell'impatto ambientale;

3. Raccordo del canale, a partire dalla fine del tratto risagomato e rivestito, attraverso risagomatura della sezione e regolarizzazione delle pendenze del fondo dell'alveo, sino ad arrivare alla sezione attuale.

Nella presente progettazione, oltre all'adeguamento del ponte A, è oggetto di interesse, data la natura del finanziamento, una limitata porzione dell'alveo in corrispondenza del ponte A.

Lo sviluppo è stato studiato attraverso una modellazione idraulica, descritta nel paragrafo Analisi idraulica seguente, al fine di valutare l'andamento della corrente tra i due tratti sistemati.

Nel Rio Gora Manna già oggetto di intervento, fondo e sponde sono stati realizzati in pietra allettata con malta cementizia. Al fine di garantire continuità tra gli interventi, sia idraulica che paesaggistica, sarà mantenuta tale modalità costruttiva, anche nell'estensione della sezione di imbocco al nuovo ponte, nel rispetto dei franchi idraulici della sezione di piena valutata sui 200 anni. Tale aspetto verrà trattato nel paragrafo Franco idraulico.

In corrispondenza dell'attraversamento sono previsti fondo e pareti in calcestruzzo liscio.

4.1 Opere di difesa spondale

Secondo lo schema utilizzato negli interventi di adeguamento del ponte C di cui al più volte citato Lotto 1, la sezione trapezia è composta, per la parte sommersa dalle portate bicentinarie, da massi allettati con malta cementizia, e nella restante parte in terra rivestita da geotessile inerbito.

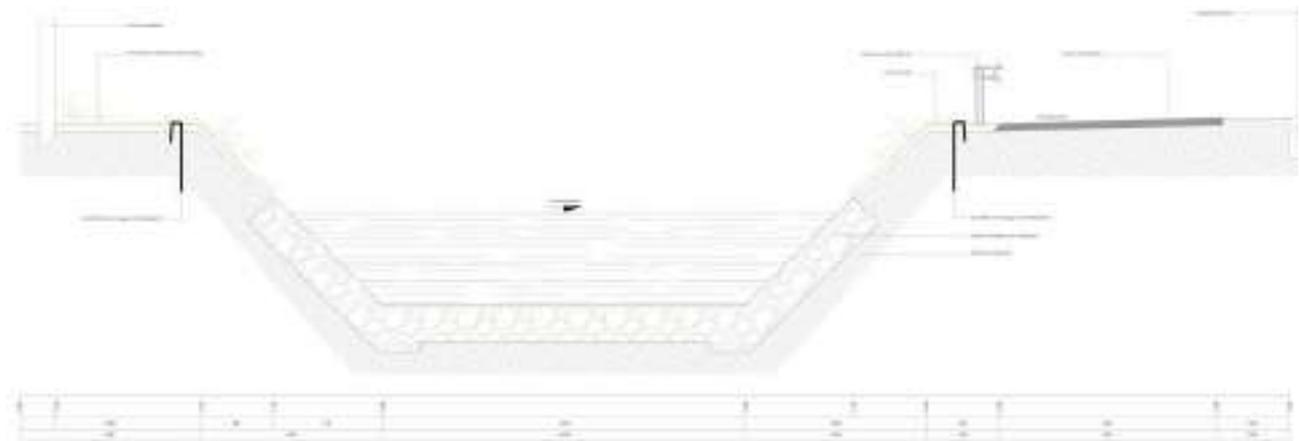


Illustrazione 10: Estratto dal progetto esecutivo del I Lotto (ponte C) – tavola 11

La diversa sporgenza dei sassi è stata data per conferire alla superficie una scabrezza che favorisce la turbolenza e la perdita di energia della corrente.

La scelta delle protezioni spondali adottata nel primo lotto, che ricorre alla tipologia in massi e pietre cementati, è necessaria data la limitata distanza dall'alveo, prevalentemente in sinistra idraulica, e il centro edificato.

4.2 Opere di attraversamento

Per omogeneizzarsi alle opere già realizzate, la soluzione scelta per l'opera di attraversamento risulta simile a quella del ponte C realizzato, progettato utilizzando strutture prefabbricate.

La soluzione di progetto prevede una particolare geometria che garantisce l'esatto posizionamento reciproco delle varie parti e rapida operazione di posa in opera del manufatto.

La struttura sarà costituita da una successione di archi prefabbricati in cemento armato uguali fra loro, posati su due cordoli di fondazione anch'essi in cemento armato. Ogni arco è costituito da due elementi prefabbricati che, a montaggio ultimato, costituiscono ciascuno un ritto, una trave inclinata sull'orizzontale di 45° e una trave orizzontale.

I vari elementi prefabbricati che costituiscono la struttura sono posati in opera affiancati, quasi a contatto tra loro. L'armatura è in parte inserita all'interno degli elementi prefabbricati, in parte posata in opera negli appositi vani fra un prefabbricato e l'altro e nelle articolazioni. Successivamente i prefabbricati sono solidarizzati tra loro con un getto di calcestruzzo in opera che congloba le armature aggiuntive in opera e rende la struttura monolitica.

I prefabbricati sono costruiti in modo da formare delle cerniere statiche nel collegamento alla fondazione; mentre il collegamento centrale fra i due semiarchi è reso monolitico dai getti in opera e dalle armature integrative. Sulla struttura è situata una soletta collaborante gettata in opera.

La trasmissione degli sforzi tra un arco prefabbricato ed il successivo avviene sia sull'intero sviluppo dell'arco nel suo intero spessore, sia tramite apposite travi trasversali in cemento armato localizzate negli spigoli tra le varie falde.

Le cerniere laterali, situate alla base dei montanti verticali, collegano il piede del prefabbricato, opportunamente profilato, e il getto di sigillatura solidale alla fondazione.

Ne risulta una struttura di celere realizzazione, protetta dalla corrosione del terreno, durevole nel tempo.

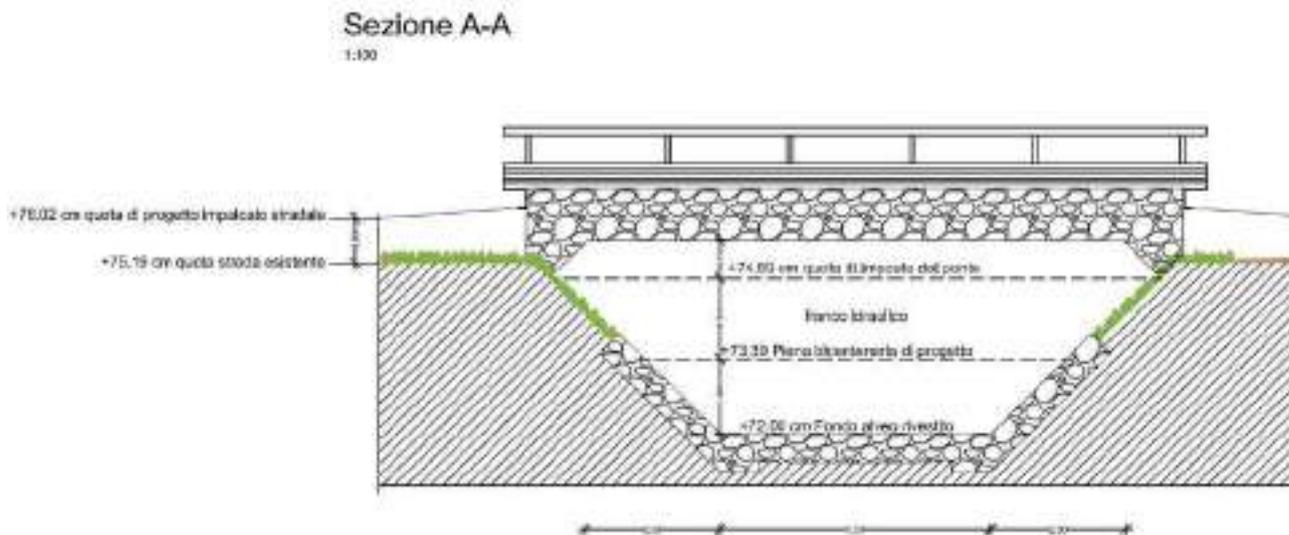


Illustrazione 11: Sezione schematica dell'attraversamento

5 Inquadramento delle opere nei Piani di Settore idrogeologico

5.1 Piano stralcio di assetto idrogeologico

Il Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) del bacino unico della Regione Sardegna è stato redatto in conformità con quanto stabilito dalla Legge 183/89: "Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo"; dal D.L. 180/98: "Misure urgenti per la prevenzione del rischio idrogeologico ed a favore delle zone colpite da disastri franosi nella regione Campania", convertito con modificazioni dalla L.267/98; decreto legge 12.10.2000, n. 279, "Interventi urgenti per le aree a rischio idrogeologico molto elevato e in materia di protezione civile, nonché a favore i zone colpite da calamità naturali", convertito con modificazioni dalla legge 11.12.2000, n. 365.

Il PAI ha la finalità di garantire nel territorio della Regione Sardegna adeguati livelli di sicurezza di fronte al verificarsi di eventi idrogeologici di rilievo. Attraverso il piano sono state individuate le aree con diversi livelli di pericolosità idraulica e con pericolosità da frana, al fine di bloccare la nascita di nuove situazioni di rischio, controllare quelle esistenti allo scopo di non consentire l'incremento del rischio stesso; ed eliminare o ridurre le

condizioni di rischio attuali. Il PAI si occupa delle opere finalizzate alla regolazione dei corsi d'acqua del reticolo principale e secondario, al controllo delle piene, alla migliore gestione degli invasi, puntando contestualmente alla valorizzazione della naturalità delle regioni fluviali; si occupa della redazione dei programmi di manutenzione dei sistemi di difesa esistenti e di monitoraggio per controllare l'evoluzione dei dissesti.

Il Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico, P.A.I., (Interventi sulla rete idrografica e sui versanti, L. 18 Maggio 1989, n. 183, art. 17, comma 6 ter D.L. 180/98 e successive modifiche ed integrazioni) prevede una serie di limitazioni sulla pianificazione per le aree a pericolo di frana e/o di inondazione e di tutele e limitazioni sulle aree a rischio di frana e/o di inondazione.

I territori su cui ricade l'intervento in progetto ricade all'interno del Bacino n.7 Flumendosa-Campidano-Cixerri. Dall'analisi della cartografia regionale del PAI, risulta che il territorio delle aree di intervento è interessato da perimetrazioni di pericolo di inondabilità, determinate a seguito dell'approvazione degli studi di dettaglio, redatti ai sensi dell'art. 8 comma 2 delle NTA del PAI. Tali studi, approvati con Delibera del Comitato Istituzionale n. 7 del 17/05/2016, hanno definito le le aree di pericolosità.

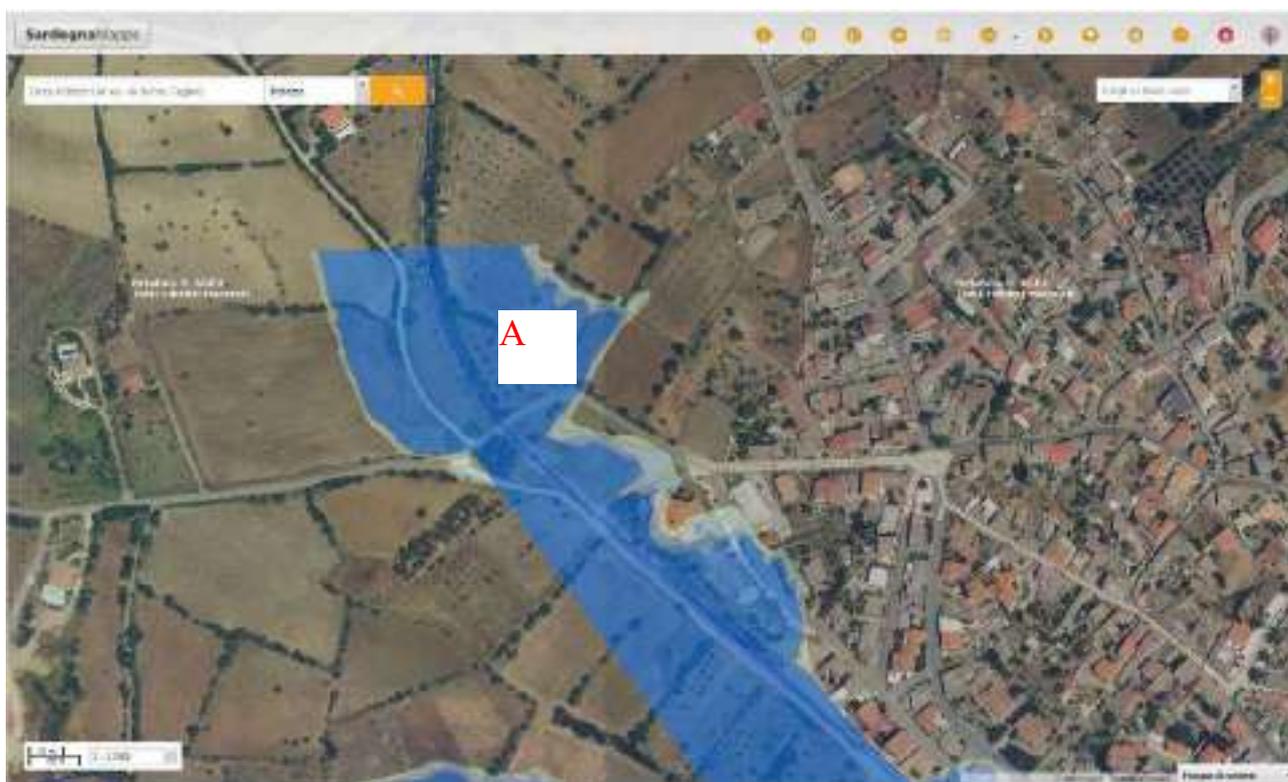


Illustrazione 11: Stralcio dello studio art. 8 comma 2 del PAI (www.sardegnageoportale.it)

5.2 Piano Stralcio delle Fasce Fluviali

Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF) è redatto ai sensi dell'art. 17, comma 6 della legge 19 maggio 1989 n. 183, quale Piano Stralcio del Piano di Bacino Regionale relativo ai settori funzionali individuati dall'art. 17, comma 3 della L. 18 maggio 1989, n. 183.

Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali ha valore di Piano territoriale di settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo, mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso riguardanti le fasce fluviali.

Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali costituisce un approfondimento ed una integrazione necessaria al Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.) in quanto è lo strumento per la delimitazione delle regioni fluviali funzionale a consentire, attraverso la programmazione di azioni (opere, vincoli, direttive), il conseguimento di un assetto fisico del corso d'acqua compatibile con la sicurezza idraulica, l'uso della risorsa idrica, l'uso del suolo (ai fini insediativi, agricoli ed industriali) e la salvaguardia delle componenti naturali ed ambientali. Nel piano stralcio delle fasce fluviali l'intervento è compreso nel bacino idrografico n.7 Flumendosa-Campidano-Cixerri,

Dall'analisi della cartografia regionale del PSFF, l'area oggetto di intervento non è soggetta a perimetrazioni del PSFF.

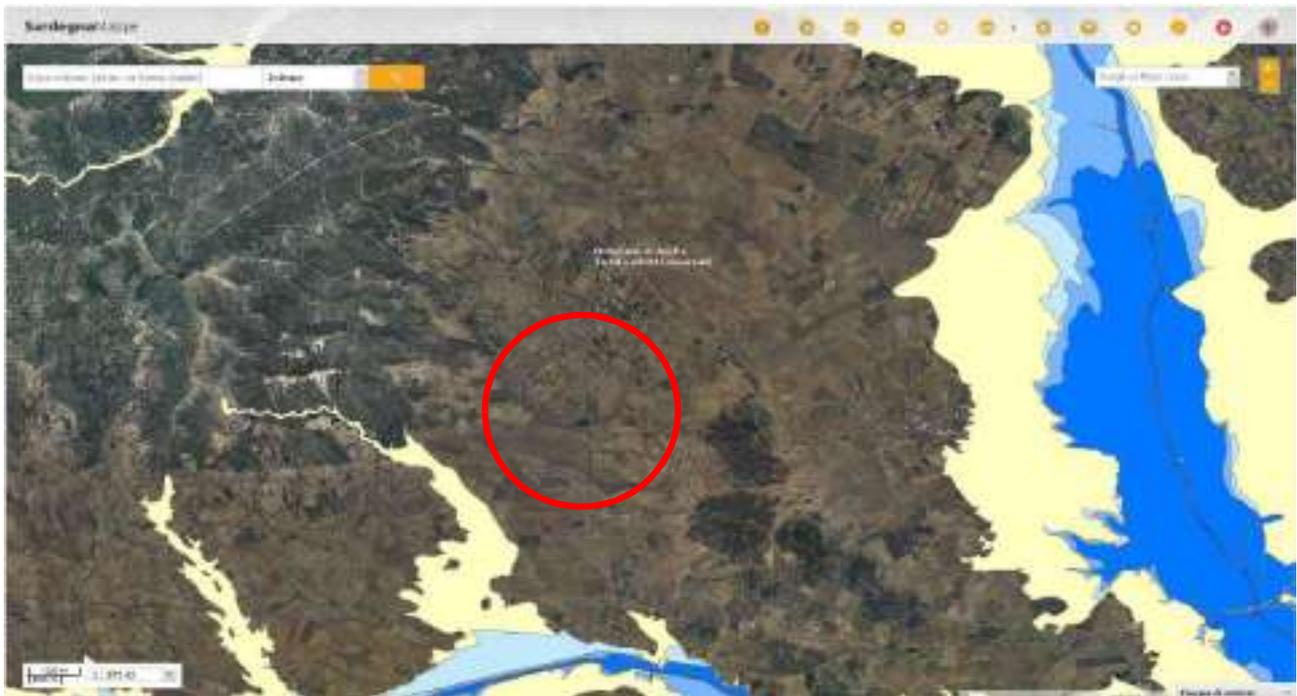


Illustrazione 12: Stralcio del Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (www.sardegnaeoportale.it)

6 Analisi idrologica

Lo studio idrologico ha l'obiettivo di effettuare la stima delle portate che affluiscono nel rio Gora Manna, in corrispondenza del ponte A, oggetto di intervento.

Lo studio di seguito riportato verrà poi confrontato con i valori determinati nelle analisi idrologiche eseguite nel Lotto 1.

6.1 Individuazione del bacino idrografico

Per eseguire lo studio idrologico è necessario dapprima determinare il reticolo idrografico presente nella zona e il bacino idrografico del corso d'acqua in analisi.

L'individuazione delle linee di displuvio in un ambito non urbanizzato è realizzabile sulla base della sola informazione orografica;

La definizione e il tracciamento di un bacino idrografico è sempre relativa a una sezione di chiusura del bacino, posta sul corso d'acqua. Fissata la sezione di chiusura, si definisce il bacino idrografico come la superficie topografica dalla quale le acque di pioggia, defluendo naturalmente, passano per la sezione di chiusura scelta.

Il comportamento idrologico di un bacino è chiaramente influenzato dalla sua morfologia. Le caratteristiche geomorfiche possono essere distinte in planimetriche e orografiche: le prime esprimono le dimensioni geometriche orizzontali (per es. l'estensione e il perimetro), la forma, l'organizzazione e lo sviluppo del reticolo fluviale, mentre le seconde esprimono il rilievo (per es. l'altezza media) e le pendenze (sia dei versanti che delle aste fluviali).

La sezione di chiusura nel caso specifico è stata posta a valle dell'attraversamento denominato ponte A, posto sulla via Kennedy.

Nell'immagine di cui al seguito si riporta il bacino idrografico in studio e in tabella le relative grandezze morfometriche.

*Illustrazione 13: Individuazione bacino idrografico*

Caratteristiche morfometriche del Bacino del rio Gora Manna

Parametri	Simbolo	Valore	[U.M]
<u>Bacino</u>			
Superficie	S	5.680	Kmq
Perimetro	P	14.800	Km
Altezza massima	Hmax	401.047	m
Altezza minima	Ho	74.877	m
Altezza media	Hm	130.164	m
Pendenza media	i_{versante}	0.121	m/m
Pendenza media	i_{versante}	12.104	%
Indice di forma di Horton	H_f	0.205	-
Indice di circolarità	R_c	0.326	-
Indice di compattezza di Gravelius	R_u	1.752	-
Indice di allungamento	R_a	0.511	-
<u>Asta</u>			
Lunghezza	L	5.266	Km
Pendenza media	im	0.026	m/m
Pendenza media	im	2.550	%

6.2 Stima della portata di piena

I metodi di stima della portata di piena Q di assegnato tempo di ritorno T_r , cioè del numero medio di anni che occorre attendere affinché si abbia una portata pari o maggiore di Q , dipendono da vari fattori, primi fra tutti la disponibilità di dati osservati e la copertura spaziale della rete idrometeorologica. In relazione ai dati disponibili, la letteratura evidenzia diverse metodologie che possono essere raccolte in due grandi sottoinsiemi: la prima è nota sotto la generale definizione di Metodi Diretti, cioè elaborano le misure di portata disponibili per il bacino in studio o per bacini idrologicamente simili, la seconda come Metodi Indiretti, fanno ricorso indirettamente dalla precipitazione meteorica tramite trasformazione afflussi-deflussi e a equazioni che permettono di ottenere la sola portata al colmo (metodi empirici, metodo razionale).

I primi prescindono dall'esame dell'influenza che i diversi fattori morfologici e climatici hanno sulla formazione dei deflussi di piena e si fondano sull'analisi probabilistica di una o più serie storiche di misura di portate di piena.

I secondi, invece, consentono la valutazione della portata di massima piena sulla base di parametri morfometrici del bacino imbrifero o sull'impostazione di un bilancio idrologico relativo all'evento di piena, in cui figura la precipitazione a cui è imputabile l'evento stesso. Tale metodologia stima la portata al colmo a partire dalla precipitazione, nell'ipotesi che la

frequenza di accadimento di quest'ultima caratterizza quella della portata al colmo.

Tra le metodologie usualmente adottate per la valutazione delle portate di piena, per la Sardegna, ci si può limitare a considerare tre tipi di approccio:

- quello empirico basato sulla curva di inviluppo dei massimi eventi osservati, proposto da Sirchia ed aggiornato a fine anni '60 da Fassò;
- quello a fondamento razionale, basato su una schematizzazione, in genere semplificata, del processo di trasformazione afflussi-deflussi, che nella sua usuale formulazione per la Sardegna utilizza le curve di possibilità pluviometrica fornite da Cao e altri, e recentemente aggiornate;
- il modello probabilistico regionale per la valutazione delle portate di piena basato sulla distribuzione probabilistica Log-Normale e Two Components Extreme Values applicati ai dati massimi annuali di portata al colmo. La prima metodologia fu introdotta dal Lazzari nel 1967, mentre la seconda, in base a studi più recenti, interpreta i fenomeni di piena con la distribuzione TCEV nella quale la probabilità di non superamento è data dalla miscellanea di due distribuzioni esponenziali.

Nel contesto di cui trattasi, considerata la dimensione delle superfici del bacino, si esclude l'applicazione delle metodologie dirette basate sulla regionalizzazione della distribuzione probabilistica della portata al colmo, per preferire i metodi indiretti basati sulla distribuzione probabilistica della precipitazione massima annua di assegnata durata. Si ritiene che, nella fattispecie, la stima della portata di piena debba essere determinata con il metodo a fondamento razionale, TCEV.

6.2.1 Metodo razionale

Il metodo razionale è l'espressione di un modello deterministico elementare a fondamento cinematico. Nell'applicazione del metodo si attribuisce implicitamente all'evento di piena la stessa probabilità dell'evento di pioggia e quindi il medesimo tempo di ritorno. La valutazione della portata di piena di assegnato tempo di ritorno, sulla base di uno schematico bilancio idrologico, è data dalla seguente relazione:

$$Q = \frac{\Phi \cdot ARF \cdot S \cdot H(Tc)}{3.6 \cdot Tc}$$

nella quale:

- F è il coefficiente di deflusso e rappresenta l'aliquota di precipitazione che, in

occasione dell'evento meteorico, scorre in superficie;

- ARF (Areal Reduction Factor) è il coefficiente di ragguaglio delle piogge all'area ed esprime il rapporto tra l'altezza di pioggia media su tutto il bacino e l'altezza di pioggia in un punto al suo interno, valutati a parità di durata e di tempo di ritorno;
- S è la superficie del bacino, espressa in Km²;
- T_c è il tempo di corrivazione, espresso in ore;
- H è l'altezza di precipitazione che cade in un punto del bacino per una durata pari a T_c per un assegnato tempo di ritorno, espressa in mm;
- 3.6 è un fattore di conversione delle unità di misura che permette di ottenere la portata in m³/s.

Per un bacino che ha un tempo di corrivazione pari a T_c ed un diagramma aree-tempi lineare, nel quale cade una pioggia netta di intensità uniforme per una durata pari a t, il modello cinematico indica una portata di piena pari a:

$$Q_{\max} = A i_N t/T_c = A h_N/T_c = A F ARF h_P/T_c = (A F ARF/T_c) h_P \quad (\text{se } t < T_c)$$

$$Q_{\max} = A i_N = A F ARF i_P = (A F ARF) i_P \quad (\text{se } t > T_c)$$

Le due espressioni indicano che per durate minori del tempo di corrivazione, la portata massima è proporzionale (col coefficiente A F ARF/T_c), all'altezza di precipitazione h_P, mentre per durate maggiori del tempo di corrivazione, la portata massima è proporzionale (col coefficiente A F ARF), all'intensità di precipitazione i_P.

Trascurando la dipendenza di F e ARF dalla durata della precipitazione, che è meno marcata rispetto a quella che presentano h_P e i_P, poiché all'aumentare della durata della pioggia, l'altezza di pioggia h_P aumenta, mentre l'intensità di precipitazione i_P diminuisce, il valore della durata della precipitazione per cui si ha la portata massima è pari al tempo di corrivazione T_c, come mostrato nella *Illustrazione 14* seguente:

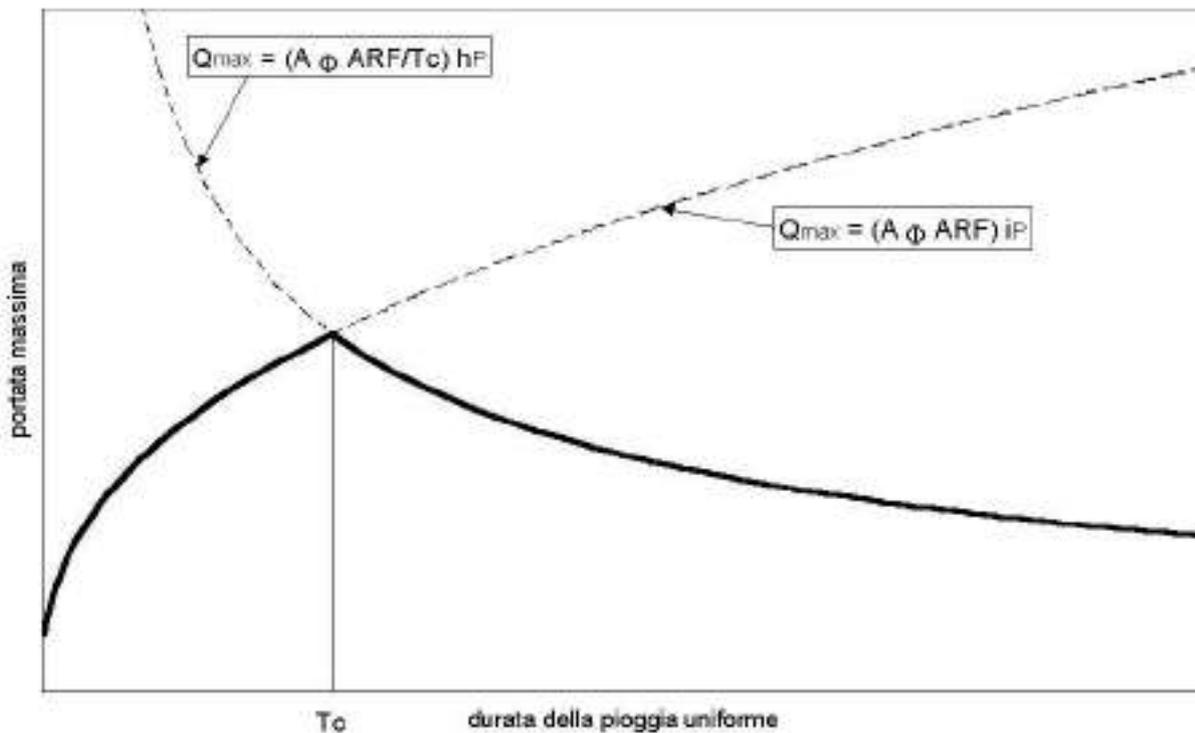


Illustrazione 14: Valore della portata massima nella sezione terminale del bacino al variare della durata di una precipitazione uniforme, a parità di ARF e F.

Si dimostra così che, utilizzando il modello di corrivazione con ietogramma di pioggia netta uniforme, la durata della precipitazione per cui si ha la massima portata è pari al tempo di corrivazione del bacino.

6.2.1.1 Valutazione del tempo di corrivazione

Il tempo di corrivazione del bacino T_c è invece il tempo necessario alla goccia di pioggia, che cade nel punto idraulicamente più lontano, per raggiungere la sezione di chiusura del bacino.

Per la valutazione del tempo di corrivazione sono presenti, in letteratura, numerose espressioni empiriche, fra le quali sembrano particolarmente adatte alla Sardegna le seguenti:

Formula di Viparelli

$$T_c = \frac{L}{3.6 \cdot v}$$

dove:

- L è la lunghezza dell'asta principale, espressa in Km;
- v è una velocità media di scorrimento che in ambito urbano si può ritenere pari a

1.5 m/s;

Formula di Giandotti

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_m - H_o}}$$

dove:

- S è la superficie del bacino, espressa in Km²;
- L è la lunghezza dell'asta principale, espressa in Km;
- H_m è la quota media del bacino, espressa in m s.l.m.;
- H_o è la quota della sezione di chiusura, espressa in m s.l.m.

Formula di Ventura

$$T_c = \frac{0.127\sqrt{S}}{\sqrt{i_m}}$$

dove:

- S è la superficie del bacino, espressa in Km²;
- i_m è la pendenza media dell'asta principale.

Formula di Pasini

$$T_c = \frac{0.127\sqrt{S}}{\sqrt{i_m}}$$

dove:

- S è la superficie del bacino, espressa in Km²;
- L è la lunghezza dell'asta principale, espressa in Km;
- i_m è la pendenza media dell'asta principale.

Le espressioni empiriche precedenti forniscono, per il medesimo bacino, risultati spesso discordanti e comunque, caratterizzati da ampi margini di incertezza. Recenti analisi sono volte alla ricerca di un metodo di stima del tempo di corrivazione dei bacini dell'Isola in base alle caratteristiche dei tracciati idrometrografici. Sulla base dell'analisi di correlazione multipla per i valori relativi a 18 stazioni, per quali si disponeva di una base dati sufficiente, si è ricavata la relazione:

Formula VAPI-Sardegna

$$T_c = 0.212 \cdot S^{0.231} \cdot \left(\frac{H_m}{J_m} \right)^{0.289}$$

dove:

- S è la superficie del bacino, espressa in Km²;
- H_m è la quota media del bacino, espressa in m s.l.m.;
- j_m è la pendenza dell'asta principale.

Si riportano di seguito le stime dei tempi di corrivazione calcolati per bacini in esame:

Tempi di corrivazione	
[ore]	
SCS	1.338
Ventura	1.898
Giandotti	2.931
Viparelli	1.463
Pasini	2.099
VAPI	3.734

Per il calcolo della portata di piena è stato adottato, per i bacini in studio, il tempo di corrivazione calcolato con il metodo SCS.

6.2.1.2 Valutazione del coefficiente ARF

Il coefficiente ARF (coefficiente di ragguglio delle piogge all'area) dipende dalla durata della precipitazione e alla superficie del bacino; esso può essere stimato facendo ricorso a diverse formulazioni tra cui quella usata nel VAPI Sardegna che fa riferimento al Flood Studies Report - Wallingford Institute, UK 1977:

per S < 20 km²

$$ARF = 1 - (0.0394 \cdot S^{0.354}) \cdot Tc^{(-0.40 + 0.0208 \cdot (4.6 - \ln(S)))}$$

per S > 20 km²

$$ARF = 1 - (0.0394 \cdot S^{0.354}) \cdot Tc^{(-0.40 + 0.003832 \cdot (4.6 - \ln(S)))}$$

dove

- T_c è il tempo di corrivazione, espresso in ore;
- S è la superficie del bacino, espressa in Km².

6.2.1.3 Altezze di pioggia.

In corrispondenza del tempo di corrivazione assunto, per ciascun bacino idrografico in studio, è possibile determinare l'altezza di pioggia da utilizzare per l'applicazione della formula razionale, facendo ricorso alla curva di possibilità pluviometrica di Deidda, Piga,

Sechi.

Curva di possibilità pluviometrica di Deidda-Piga-Sechi.

L'altezza di pioggia $H(\tau)$ è data dalla curva di possibilità pluviometrica, calibrata nel 1997:

$$H(Tc) = (a_1 \cdot a_2) \cdot \tau^{(n_1+n_2)}$$

dove i coefficienti a_1 e n_1 si possono determinare in funzione della pioggia indice giornaliera h_g , dipendente dalla posizione geografica del bacino.

$$a_1 = h_g / (0.886.24 n_1)$$

$$n_1 = -0.493 + 0.476 \log h_g$$

I coefficienti a_2 e n_2 si determinano con le relazioni seguenti per differenti tempi di ritorno Tr , durata dell'evento meteorico delle sottozone di appartenenza:

– per tempi di ritorno $Tr \leq 10$ anni

– per la sottozona 1:

$$a_2 = 0.66105 + 0.85994 \log Tr$$

$$n_2 = -1.3558 \cdot 10^{-4} - 1.3660 \cdot 10^{-2} \log Tr$$

– per la sottozona 2:

$$a_2 = 0.64767 + 0.89360 \log Tr$$

$$n_2 = -6.0189 \cdot 10^{-3} + 3.2950 \cdot 10^{-4} \log Tr$$

– per la sottozona 3:

$$a_2 = 0.62408 + 0.95234 \log Tr$$

$$n_2 = -2.5392 \cdot 10^{-2} + 4.7188 \cdot 10^{-2} \log Tr$$

– per tempi di ritorno $Tr > 10$ anni

per la sottozona 1:

$$a_2 = 0.46378 + 1.0386 \log Tr$$

$$n_2 = -0.18449 + 0.23032 \log Tr - 3.3330 \cdot 10^{-2} (\log T)^2 \quad (\text{per } t \leq 1 \text{ ora})$$

$$n_2 = -1.0563 \cdot 10^{-2} - 7.9034 \cdot 10^{-3} \log Tr \quad (\text{per } t \geq 1 \text{ ora})$$

per la sottozona 2:

$$a_2 = 0.44182 + 1.0817 \log Tr$$

$$n_2 = -0.18676 + 0.24310 \log Tr - 3.5453 \cdot 10^{-2} (\log Tr)^2 \quad (\text{per } t \leq 1 \text{ ora})$$

$$n_2 = -5.6593 \cdot 10^{-3} - 4.0872 \cdot 10^{-3} \log Tr \quad (\text{per } t \geq 1 \text{ ora})$$

per la sottozona 3:

$$a_2 = 0.41273 + 1.1370 \log Tr$$

$$n_2 = -0.19055 + 0.25937 \log Tr - 3.8160 \cdot 10^{-2} (\log Tr)^2 \quad (\text{per } t \leq 1 \text{ ora})$$

$$n_2 = 1.5878 \cdot 10^{-2} + 7.6250 \cdot 10^{-3} \log Tr \quad (\text{per } t \geq 1 \text{ ora})$$

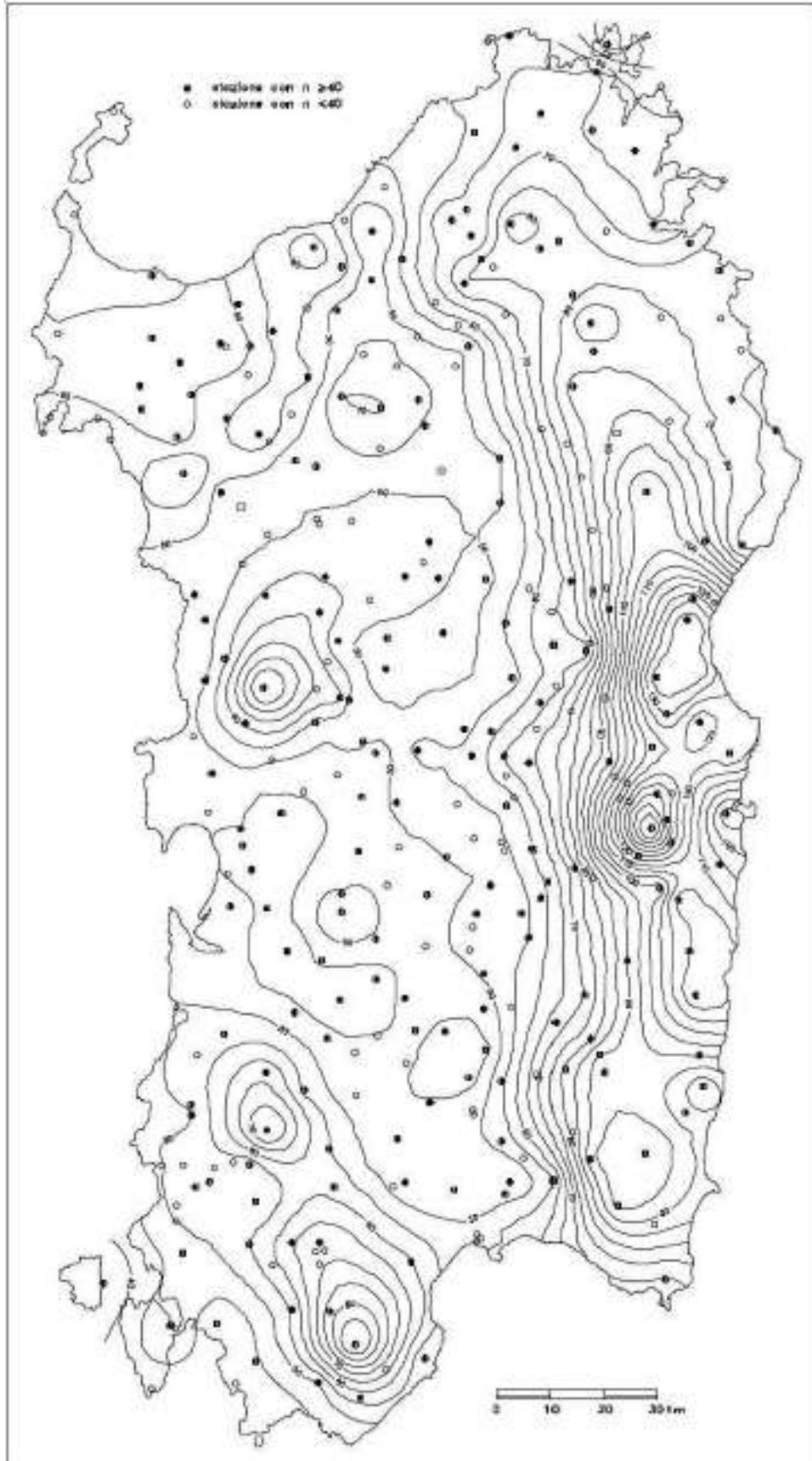
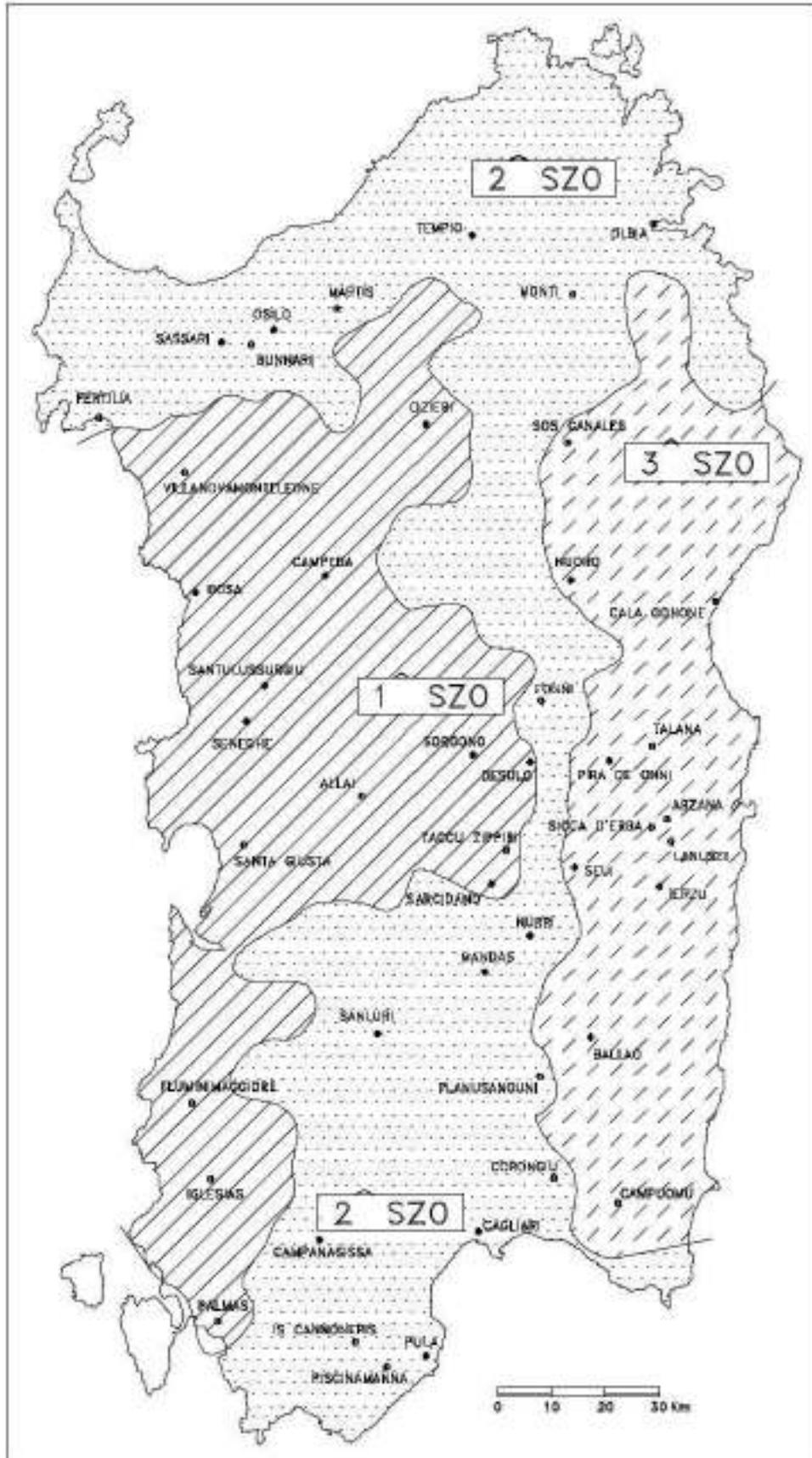


Illustrazione 15: Carta delle piogge indice giornaliera

*Illustrazione 16: Carta delle sottozone*

6.2.1.4 Valutazione del coefficiente di deflusso Φ

Nell'applicazione della formula razionale, merita particolare attenzione la valutazione del coefficiente di deflusso, che viene definito come rapporto tra il volume d'acqua defluito attraverso la sezione terminale del bacino e il volume d'acqua caduto per precipitazione all'interno di tutto il bacino, ossia rappresenta il rapporto tra pioggia netta e pioggia totale. Esso dipende dalla copertura vegetale, dalle caratteristiche del suolo e dalle relative condizioni iniziali di umidità diverse, in generale, da evento a evento.

In assenza di informazioni specifiche è possibile:

- valutare Φ per diversi tipi di superficie, in funzione della pendenza i e del tempo di ritorno Tr della precipitazione, attraverso la Tabella della normativa tecnica della città di Austin (Texas, USA) (Chow e altri, 1988)

	2	5	10	50	100	200	500	1000	10000
asfalto	0.73	0.77	0.81	0.90	0.95	0.97	1.00	1.00	1.00
calcestruzzo, tetti	0.75	0.80	0.83	0.92	0.97	0.98	1.00	1.00	1.00
coltivazioni (i=0-2%)	0.31	0.34	0.36	0.43	0.47	0.51	0.57	0.61	0.75
coltivazioni (i=0-2%)	0.35	0.38	0.41	0.48	0.51	0.55	0.60	0.64	0.76
coltivazioni (i>7%)	0.39	0.42	0.44	0.51	0.54	0.57	0.61	0.64	0.74
pascoli (i=0-2%)	0.25	0.28	0.30	0.37	0.41	0.46	0.53	0.58	0.74
pascoli (i=0-2%)	0.33	0.36	0.38	0.45	0.49	0.53	0.58	0.62	0.75
pascoli (i>7%)	0.37	0.40	0.42	0.49	0.53	0.56	0.60	0.63	0.74
boschi (i=0-2%)	0.22	0.25	0.28	0.35	0.39	0.43	0.48	0.52	0.65
boschi (i=0-2%)	0.31	0.34	0.36	0.43	0.47	0.51	0.56	0.60	0.73
boschi (>7%)	0.35	0.39	0.41	0.48	0.52	0.55	0.58	0.61	0.72

- valutare Φ attraverso la formula di Harolds che pone:

$$\phi = \phi_{100} (Tr / 100)^{0.2}$$

dove Φ è il coefficiente di deflusso relativo ad un generico tempo di ritorno Tr e Φ_{100} è il coefficiente di deflusso relativo a un tempo di ritorno di 100 anni. I valori di Φ_{100} , in funzione del tipo di terreno e della vegetazione, possono essere desunti dalla tabella seguente.

tipo di terreno	bassa densità vegetale	alta densità vegetale
impermeabile	0.85	0.77
debolmente permeabile	0.7	0.6
permeabile	0.55	0.5

- valutare Φ ricorrendo al metodo del Curve Number, elaborato dal Soil Conservation Service dove:

con

$$\Phi = \frac{(H - 0.2 \cdot S)^2}{H \cdot (H + 0.8 \cdot S)}$$

$$S = 254 \cdot \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

Il valore di CN è legato alle caratteristiche del terreno e della copertura vegetale.

L'applicazione di questo metodo presuppone, oltre alla conoscenza della precipitazione totale H, la stima del massimo volume invasabile nel suolo S che, teoricamente, può assumere tutti i valori positivi compresi tra 0 (superficie perfettamente impermeabile) e infinito (nessuna formazione di deflusso superficiale).

La valutazione di S, presuppone la stima del parametro CN, denominato Curve Number, che assume valori compresi tra 100 e 0. Il CN da un'indicazione dell'attitudine del bacino esaminato a produrre deflusso e si stima, sulla base dei valori riportati nella Tabella di cui al seguito, in relazione alle caratteristiche idrologiche dei suoli e di copertura vegetale presenti nel bacino. La stima del CN presuppone inizialmente la determinazione del gruppo idrologico di ciascun suolo ricadente nel bacino e, all'interno di ciascun gruppo, l'individuazione di aree omogenee per destinazione d'uso, sistemazione e condizione idrica. A ciascuna area omogenea, di nota superficie, viene attribuito l'appropriato CN; il valore di CN dell'intero bacino si ottiene come media pesata, con peso la superficie, dei valori stimati per le singole aree omogenee.

Il metodo tiene anche conto delle condizioni di umidità del suolo antecedente all'inizio dell'evento AMC (Antecedent Moisture Condition). La definizione di AMC richiede la determinazione della precipitazione totale caduta dei cinque giorni precedenti l'evento in esame.

Nel caso si ricada nella condizione AMCI (secca) o in quella AMCII (umida) devono essere utilizzati i valori di CN corretti, utilizzando le seguenti formule di conversione:

$$CN(I) = \frac{4.2 \cdot CN(II)}{10 - 0.058 \cdot CN(II)}$$

$$CN(III) = \frac{23 \cdot CN(II)}{10 + 0.13 \cdot CN(II)}$$

USO DEL SUOLO	TIPO DI DRENAGGIO	CONDIZIONI IDROLOGICHE	TIPO DI TERRENO			
			A	B	C	D
<i>Terreno Residenziale</i>						
Zone urbane	85% impermeabile	qualsiasi	89	92	94	95
Zone industriali	72% impermeabile	--	81	88	91	93
Case a schiera	65% impermeabile	--	77	85	90	92
Ville isolate	25% impermeabile	--	54	70	80	85
Parcheggi	100% impermeabile	--	98	98	98	98
Parchi	75% a verde	--	39	71	74	80
Strade pavimentate	Con canette e fognatura	--	98	98	98	98
Strade in macadam	---	--	76	85	89	91
Strade sterrate	---	--	72	82	87	89
<i>Terreno Agricolo</i>						
Prato stabile	---	qualsiasi	77	86	91	94
Seminativo	Solchi a ritocchino	Cattive	65	76	84	88
Seminativo	Solchi a ritocchino	Buone	63	75	83	87
Seminativo	Solchi a traversochino	Cattive	63	74	82	85
Seminativo	Solchi a traversochino	Buone	61	73	81	84
Seminativo	Terrazzato	Cattive	61	72	79	82
Seminativo	Terrazzato	Buone	59	70	78	81
Pascolo	---	Cattive	68	79	86	89
Pascolo	---	Discrete	49	69	79	84
Pascolo	---	Buone	39	71	64	80
Erbaio	---	qualsiasi	30	58	71	78
Terreno boschivo	---	Cattive	45	66	77	83
Terreno boschivo	---	Discrete	36	60	73	79
Terreno boschivo	---	Buone	25	55	70	77

Valori del CN in funzione delle caratteristiche idrologiche dei suoli e di copertura vegetale e per condizioni medie di umidità antecedenti l'evento (AMCII).

Classe	Valori di CN corrispondenti alle diverse classi AMC										
I	100	78	63	51	40	31	22	15	9	4	0
II	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
III	100	96	91	85	78	70	60	50	37	22	0

Tabella di conversione per AMC I e III.

Gruppo	TIPO DI TERRENO
A	Suolo con alta capacità di infiltrazione, anche se già bagnato. Principalmente sabbia e ghiaia, con strati profondi e ben drenati.
B	Suolo con moderata capacità di infiltrazione allorché risultano bagnati. Moderato drenaggio profondo. Tessitura da moderatamente fine a moderatamente grossolana.
C	Suolo con piccola capacità di infiltrazione allorché risultano bagnati. Solitamente presentano uno strato che impedisce il drenaggio verticale o possiedono una tessitura da moderatamente fine a fina.
D	Suolo con molto piccola capacità di infiltrazione. Principalmente argille con alto potenziale di rigonfiamento; suoli con livello di falda alto e permanente; suoli con strati argillosi in superficie; suoli poco profondi su strati impermeabili o semi-impermeabili.

Caratteristiche dei gruppi di suolo.

Si determina il valore del CN per il bacino idrografico in studio.

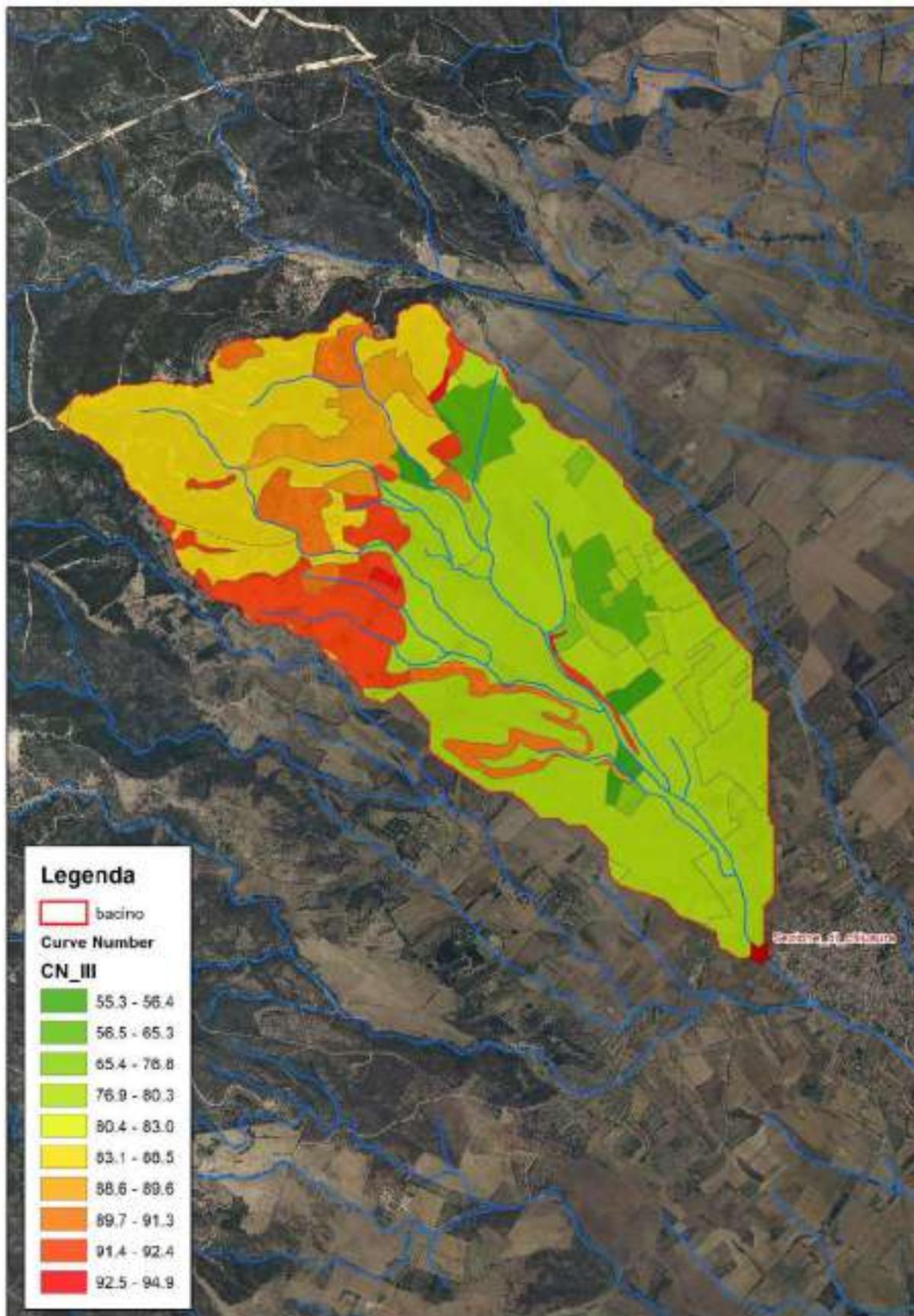


Illustrazione 17: Carta del Curve Number (CNIII)

Il valore del Curve Number assunto per il bacino in esame è pari a:

CN II	68.420
CN III	83.287

6.2.2 Calcolo delle portate di piena.

Al fine di giungere alla determinazione delle portate di piena corrispondenti ai diversi tempi di ritorno sono stati ricavati i parametri di seguito riepilogati:

Metodologia utilizzata	Metodo indiretto TCEV		
Dati di input	Simbolo	Valore	[U.M.]
Tempo di corrivazione	Tp = Tc	1.338	Ore (SCS)
Superficie del bacino	S	5.680	Kmq
Sottozona omogenea	SZO	2	-
Pioggia indice giornaliera	µg	60	mm
Coefficiente di riduzione areale	ARF	0.935	-
Curve Number	CN II	68.420	-
Curve Number	CN III	83.286	-
Fattore di ritenzione iniziale	fs	50.971	mm
Capacità di massimo assorbimento del bacino	Ia	10.194	mm

Tempi di corrivazione		Q50 anni	Q 100 anni	Q 200 anni	Q 500 anni
SCS	1.338	22.216	28.526	35.169	44.351
Ventura	1.898	19.879	25.184	30.721	38.313
Giandotti	2.931	16.987	21.211	25.579	31.518
Viparelli	1.463	21.627	27.669	34.016	42.769
Pasini	2.099	19.202	24.240	29.486	36.664
VAPI	3.734	15.436	19.136	22.945	28.102

6.3 Comparazione dei risultati

Le analisi fin qua condotte portano alla determinazione delle portate riportate nella tabella precedente.

Tali analisi, condotta secondo le prescrizioni normative e le indicazioni procedurali attuali, porta alla determinazione di portate di piena inferiori rispetto a quelle utilizzate nell'analisi idrologica a corredo del progetto del Lotto I.

Al fine di rendere comunque confrontabili le analisi idrauliche presenti nel progetto definitivo – esecutivo del Lotto 1 e quelle riportate nel paragrafo Analisi idraulica successivo, pur essendo certi della correttezza delle analisi fin qua condotte, la

modellazione idraulica verrà condotta con le portate utilizzate nel Lotto I, di seguito riportate:

Bacino	Q T=50	Q T=100	Q T=200	Q T=500
n. 1 Rio Gora Manna	33.59	38.827	47.42	55.764
n. 2 Rio Carras	56.783	66.658	80.727	96.941
n. 3 Rio Linus	83.3	98.024	117.54	138.337

7 Analisi idraulica

L'analisi idraulica delle opere in progetto, ha lo scopo di determinare i profili di corrente relativi ai quattro tempi di ritorno per i quali sono state calcolate le portate di piena nell'ambito dello studio idrologico sopra descritto.

Lo studio viene redatto a conferma di quanto riportato all'interno dello studio idraulico redatto in fase di progettazione del primo lotto.

Al fine del dimensionamento dell'opera in progetto, si calcola il Franco idraulico, così come disciplinato dall'art. 5.1.2.3 delle NTC 2018 e dall'articolo 21 delle NTA del PAI. Si veda, in proposito, il paragrafo Franco idraulico successivo.

7.1 Il codice di calcolo HEC RAS

HEC RAS è un codice sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center dell'U.S. Army Corps of Engineers. Il software è in grado di analizzare e risolvere i calcoli legati al tracciamento del profilo idrico di un corso d'acqua in regime di moto permanente e/o in regime di moto vario, nonché le problematiche legate al trasporto solido.

In ciascuna di queste tre tipologie di studio il programma è in grado di utilizzare sia le proprietà intrinseche del terreno (in particolare in termini di coefficiente di scabrezza di Manning), sia le proprietà geometriche della sezione del corso d'acqua.

7.2 Componenti idrauliche dell'analisi

Questa componente del sistema di modellazione è da utilizzare per il calcolo della superficie idrica di correnti gradualmente variate. Il sistema può analizzare una rete di canali o un singolo corso d'acqua. Per l'analisi del moto, HEC RAS richiede la portata nota su ogni ramo (o parte di esso), inoltre è necessario definire le condizioni al contorno a monte (che saranno valide per una corrente veloce) e a valle (che saranno valide per una corrente lenta) dei rami unitamente alle caratteristiche delle confluenze; il software permette di imporre una corrente lenta, un regime di corrente veloce ovvero di determinare autonomamente il profilo della corrente in regime misto.

Le condizioni al contorno utilizzabili sono:

- altezza nota del pelo libero;
- passaggio per l'altezza critica;
- altezza di moto uniforme (per una particolare pendenza assegnata);
- scala delle portate.

La procedura di calcolo è basata sulla risoluzione dell'equazione monodimensionale dell'energia, in cui le perdite di carico sono valutate tramite il coefficiente di scabrezza di Manning. È possibile valutare i fenomeni di contrazione e allargamento della corrente tramite opportuni coefficienti di contrazione/espansione allorquando si abbiano variazioni di sezione in corti tratti. Nei casi in cui la corrente non dovesse essere gradualmente variata, viene utilizzata l'equazione del momento della quantità di moto (automaticamente, con l'opzione "regime misto", nei passaggi da corrente veloce a lenta, o su opzione nelle confluenze).

Il punto di partenza è l'input della geometria del sistema, costituito dal corso d'acqua principale e da tutti gli affluenti, le sezioni trasversali, tutte le interferenze (qualsiasi variazione di sezione e/o la sua ostruzione). Ogni sezione, di un determinato ramo del corso d'acqua, è identificata univocamente da un numero positivo, crescente nel verso opposto a quello di scorrimento della corrente (quindi da valle verso monte). In generale ognuna di queste sezioni è suddivisa in tre porzioni che in prima istanza possono essere pensate come la savanella centrale (main channel) e le due aree golenali adiacenti (left overbank e right overbank). Tale suddivisione consente di ripartire la corrente in tre porzioni, considerando, per ognuna, velocità, portata e scabrezza diverse, ma con pari energia totale.

Una volta completato l'input geometrico dei dati, occorre fornire i valori di portata da mettere in conto nelle sezioni. Nei casi di moto permanente il valore della portata Q è

costante nel tempo, e sarà possibile fornire un valore di Q per ciascuna sezione, o, più semplicemente, si può inserire il valore solo nelle sezioni che hanno un cambiamento di portata. Nei casi di moto vario è possibile fornire un idrogramma con portata variabile col passo temporale desiderato.

I risultati ottenuti tramite il calcolo possono essere visualizzati graficamente, quali ad esempio l'andamento del profilo longitudinale con l'indicazione del fondo del corso d'acqua, l'altezza critica, l'altezza di moto uniforme, la quota del pelo libero, l'altezza totale e tutte le altre grandezze che servono a descrivere compiutamente il moto.

Ovviamente le stesse grandezze possono essere ricavate in forma tabellare sezione per sezione.

7.3 I calcoli idraulici

La metodologia utilizzata per la valutazione delle grandezze idrauliche che regolano il moto della corrente è il Metodo II descritto in "Backwater Curves in River Channels" EM 1110-2-1409 (USACE 1959). Le grandezze idrauliche fondamentali, che intervengono nei processi che determinano il profilo della corrente e i fenomeni legati al trasporto solido, sono la velocità della corrente, l'altezza del pelo libero, l'energia totale e il suo gradiente.

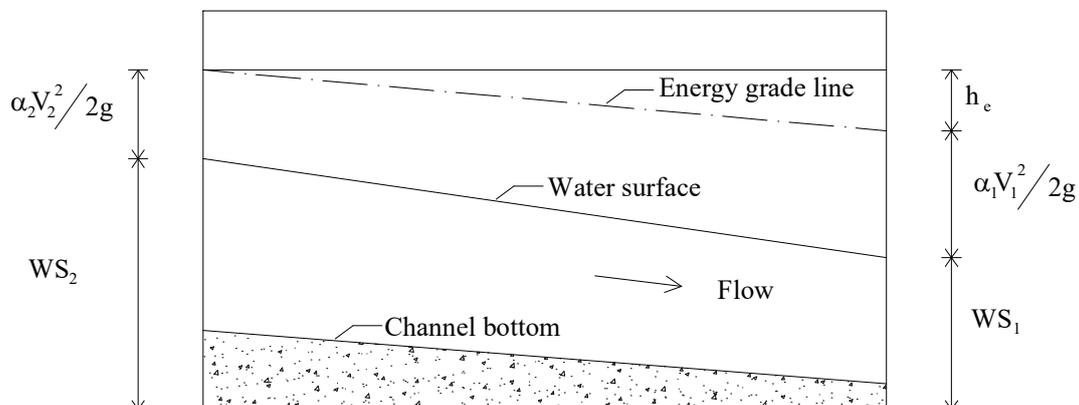


Illustrazione 18: Carichi idraulici in due sezioni di calcolo consecutive

Nella *Illustrazione 18* di cui sopra sono messe in evidenza le grandezze che compaiono nell'equazione[1] (equazione di bilancio dell'energia).

[1]

$$Ws_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Ws_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

in cui si hanno:

- g: accelerazione di gravità;
- h_e : perdita di energia;
- V_1, V_2 : velocità media, riferita all'area della sezione bagnata, e relativa alla portata data;
- Ws_1, Ws_2 : quota del pelo libero della corrente (per il dato valore di portata) rispetto uno zero convenzionale;
- α_1, α_2 : coefficienti di ragguaglio delle potenze cinetiche (o coeff. di Coriolis);

L'input della geometria del sistema svolge un ruolo determinante proprio perché tramite la definizione di questa avviene il calcolo del profilo di corrente. Occorre quindi fornire al programma le sezioni trasversali del fiume e le distanze relative tra queste.

7.4 Perdite di carico

La perdita di carico " h_e " è data dalla somma di due componenti:

$$h_e = h_f + h_o$$

dove

- h_f : perdita di energia per attrito (calcolate tramite il Metodo II descritto in "Backwater Curves in River Channels");
- h_o : perdita di energia legata alla forma della sezione (perdite dovute alla contrazione o all'allargamento della sezione).

Perdite per attrito

Come già scritto, la sezione trasversale è suddivisa in porzioni aventi analoghe proprietà idrauliche nella direzione del flusso, ciascuna di queste è suddivisa in sub-sezioni ed in ciascuna di esse le perdite per attrito sono calcolate tramite la relazione

[2]

$$h_f = \left(\frac{Q}{K}\right)^2$$

in cui:

[3]

$$K = \sum_{j=1}^{N_{SS}} \frac{1}{n_j} \frac{\frac{A_{2j}+A_{1j}}{2} \left(\frac{R_{2j}+R_{1j}}{2}\right)^{2/3}}{\sqrt{L_j}}$$

- A_{1j} , A_{2j} : aree delle sezioni, normali al flusso, rispettivamente di valle e di monte;
- N_{SS} : numero totale di sub-sezioni in cui è suddivisa una sezione;
- K : total conveyance del tratto compreso tra le due sezioni
- L_j : distanza tra le j esime sub-sezioni;
- n_j : coeff. di scabrezza di Manning tra le j esime sub-sezioni;
- Q : portata;
- R_{1j} , R_{2j} : raggi idraulici delle corrispondenti sezioni.

Perdite per contrazione ed espansione

Le perdite per contrazione ed espansione della corrente sono valutate tramite l'equazione [4] riportata di seguito:

[4]

$$h_0 = c_L \left(\frac{a_2 V_2^2}{2g} - \frac{a_1 V_1^2}{2g} \right)$$

dove:

- c_L è il coefficiente di contrazione (positivo) o espansione (negativo).

Ogni sezione descritta da un numero N di punti è suddivisa, come già detto in precedenza in tre "porzioni" (left overbank, main channel, right overbank).

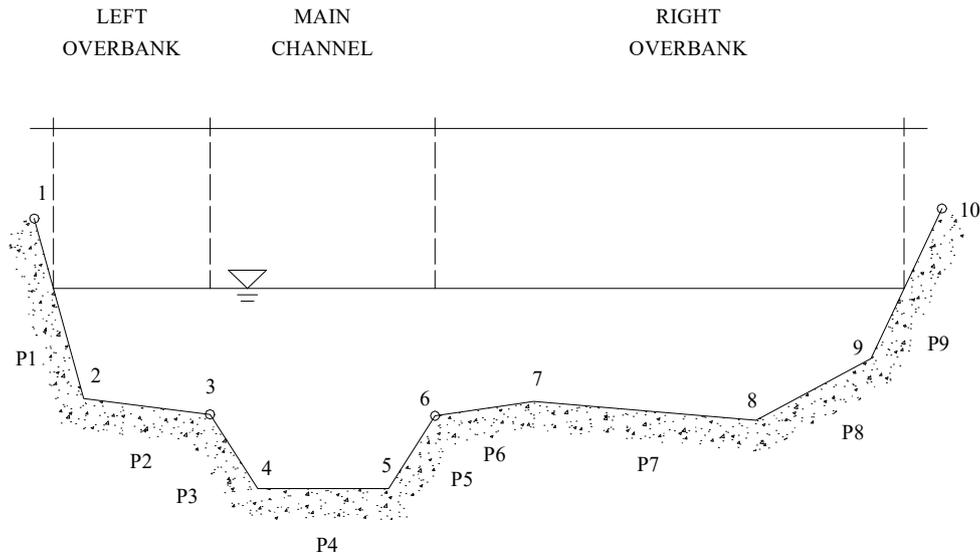


Illustrazione 19: Suddivisione della sezione in 3 componenti

Ogni porzione è ulteriormente suddivisa in sub-section.

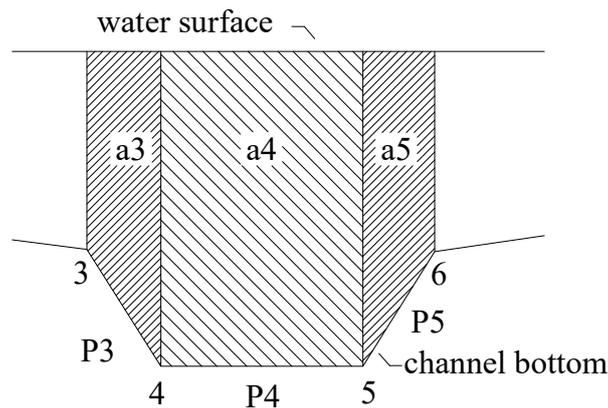


Illustrazione 20: Scomposizione di una componente della sezione in sub-sezioni

Ad esempio, l'area corrispondente al main channel è data dalla sommatoria delle aree delle sub-section che la compongono secondo quanto riportato nella *Illustrazione 20*

$$A_j = a_3 + a_4 + a_5 \quad [5]$$

così come

$$P_j = p_3 + p_4 + p_5 \quad [6]$$

in cui P è il contorno bagnato della sezione.

Il raggio idraulico del main channel è calcolato come rapporto tra le somme delle aree A_k e la somma dei contorni bagnati P_k delle singole sub-section tramite la relazione:

[7]

$$R_j = \frac{A_j}{P_j} = \frac{\sum A_k}{\sum P_k}$$

dove A_j , P_j ed R_j sono rispettivamente l'area, il contorno bagnato ed il raggio idraulico della j -esima sub-section.

Il coefficiente di Coriolis α che tiene conto della distribuzione della distribuzione della velocità all'interno della sezione trasversale, viene calcolato tramite la relazione:

[8]

$$\alpha = \frac{\sum_{j=1}^{NSS} \left(\frac{K_j^3}{A_j} \right)}{\frac{K^3}{A^2}}$$

7.5 Sezioni interpolate

Talvolta è necessario interpolare le sezioni per un tratto in cui la definizione della geometria non sia stata sufficientemente dettagliata. Questo accade soprattutto per evitare che venga valutata, ad esempio, una forte perdita di energia per un allargamento e/o restringimento che nella realtà è graduale e non istantaneo come può accadere tra due sezioni non interpolate.

7.6 Ponti e attraversamenti in sezioni chiuse

Particolare attenzione merita la presenza di eventuali ponti e/o attraversamenti all'interno di sezioni chiuse (scatolari, circolari, ovoidali etc.).

Per ciò che riguarda la perdita di energia, questa viene suddivisa in tre componenti:

- nella sezione di valle si ha perdita di energia per "brusco allargamento" della corrente fluida;
- nella sezione intermedia, la quale può essere modellata in maniera da ridurre i fenomeni turbolenti;
- nella sezione di monte in cui viene ad aversi una contrazione della corrente e la conseguente formazione di moti vorticosi.

Per rendere definito il problema occorre fornire 4 sezioni, due delle quali rispettivamente a

monte e a valle dell'interferenza in cui siano trascurabili i fenomeni dovuti alla contrazione della corrente (Illustrazione 22, sezioni 4 e 1), le altre due immediatamente a monte e a valle del manufatto (sezioni 2 e 3), in queste è necessario imporre un'area inefficace.

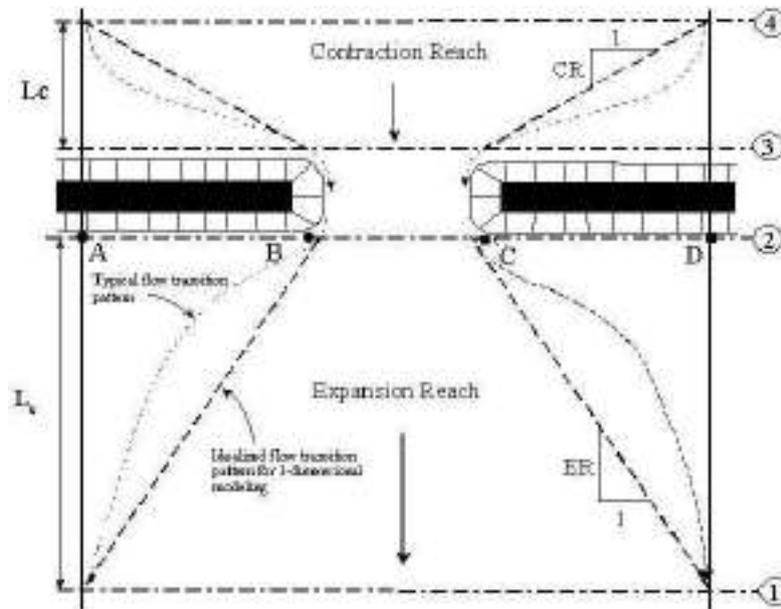


Illustrazione 22: Geometria di un passaggio ristretto

Le metodologie utilizzate per attribuire i valori a L_c ed L_e sono diffusamente dibattute in "Flow Transitions in Bridge Backwater Analysis" (RD-42 HEC, 1995).

HEC RAS offre diverse possibilità di risolvere il problema, richiamate di volta in volta dall'utente; per i casi più frequenti nella pratica sono da preferirsi l'equazione di bilancio dell'energia, l'equazione di bilancio del momento della quantità di moto e talvolta l'equazione di Yarnell.

7.7 Determinazione del profilo di moto permanente

Il calcolo è stato effettuato sulla base dei seguenti elementi:

- il profilo della corrente è stato valutato considerando un moto permanente per tronchi omogenei chiusi alle sezioni di interesse. Rispetto alle reali condizioni del moto, che in generale presenta variazioni di portata nel tempo, si avranno delle differenze, tuttavia, l'involuppo dei massimi livelli idrici riscontrabili in un transitorio di

portata variabile non sono, in generale, superiori dei livelli idrici riscontrabili in moto permanente, ovviamente per la data portata assunta;

- la portata è stata considerata costante lungo i diversi tratti omogenei dei reticoli idrografici studiati, con incrementi in corrispondenza delle confluenze;
- Le perdite di carico sono state valutate con la consueta espressione di Chezy e valutazione del coefficiente c mediante la formula di Manning.

Per la stima del coefficiente di scabrezza n è possibile utilizzare la formula di Cowan che, prende in considerazione i diversi fattori che influenzano tale parametro:

$$n = (n_{\text{veget}} + n_{\text{superf}} + n_{\text{restr/allarg}} + n_{\text{irregolar}} + n_{\text{ostruzioni}}) m_{\text{curve}}$$

dove:

- n è il coefficiente di Manning complessivo
- n_i sono i contributi dovuti a vari parametri descrittivi delle condizioni dell'alveo o delle superfici di scorrimento.

Nei casi in esame si pone il coefficiente di Manning pari a:

- $n = 0.020$ - sezioni rivestite in pietra (da sez. 557 a sez. 411 e da sez. 152 a sez. 74);
- $n = 0.030 \div 0.035$ - sezioni in terra;

7.8 Dati di input e risultati delle simulazioni

Sezioni trasversali

I primi dati da inserire nel modello sono: l'andamento planimetrico del corso d'acqua e le sezioni trasversali più significative. La scelta di queste ultime è basata sulla necessità di suddividere l'asta in tratti omogenei per caratteristiche idrauliche.

Localizzazione planimetrica dei corsi d'acqua

Il reticolo idrografico introdotto in Hec Ras e la localizzazione delle sezioni utilizzate per la simulazione idraulica, sono riportati nella seguente immagine:



Illustrazione 22: Localizzazione sezioni nel corso d'acqua analizzato

7.8.1 Valori di portata adottati

Le verifiche sono state effettuate per valori di portata corrispondenti rispettivamente ai

tempi di ritorno di 50, 100, 200, 500 anni.

Si riportano nelle seguenti tabelle le stime delle portate di piena, determinate dalla considerazione riportate nel paragrafo Analisi idrologica con particolare riferimento al paragrafo Comparazione dei risultati.

Portata di progetto

Bacino	Q Tr50	Q Tr100	Q Tr200	Q Tr500
n. 1 Riu Gora Manna	33.59	38.827	47.42	55.764

7.8.2 Condizioni al contorno

Nel caso specifico, il codice di calcolo HEC-RAS è stato utilizzato in condizioni di moto permanente e i valori di portata al colmo applicati nelle simulazioni, che per definizione restano costanti nel tempo, sono stati definiti nell'ambito dell'analisi idrologica.

Per quanto attiene le condizioni al contorno da introdurre per la simulazione in moto permanente, per il corso d'acqua in studio, dato che si è deciso di procedere in regime misto di corrente, si è reso necessario definire le condizioni al contorno sia a monte che all'estremo di valle. Per quanto riguarda le condizioni a monte, è stata imposta l'altezza di moto uniforme, in quanto la simulazione si svolge in regime di corrente lenta.

A valle, invece, si è imposta la quota alla sezione del ponte C, ricavata dalla simulazione idraulica di progetto del Primo Lotto, al fine di rendere congruenti gli studi. Si è scelta la sezione del ponte realizzata con lo scopo di prendere come riferimento una sezione sufficientemente lontana all'area di intervento, con lo scopo di consentire alla corrente assestarsi.

Lo studio è stato condotto fino alla sezione 74, corrispondente alla sezione immediatamente a monte del ponte di recente realizzazione.

7.9 Risultati modellazione idraulica in ambiente hec-ras

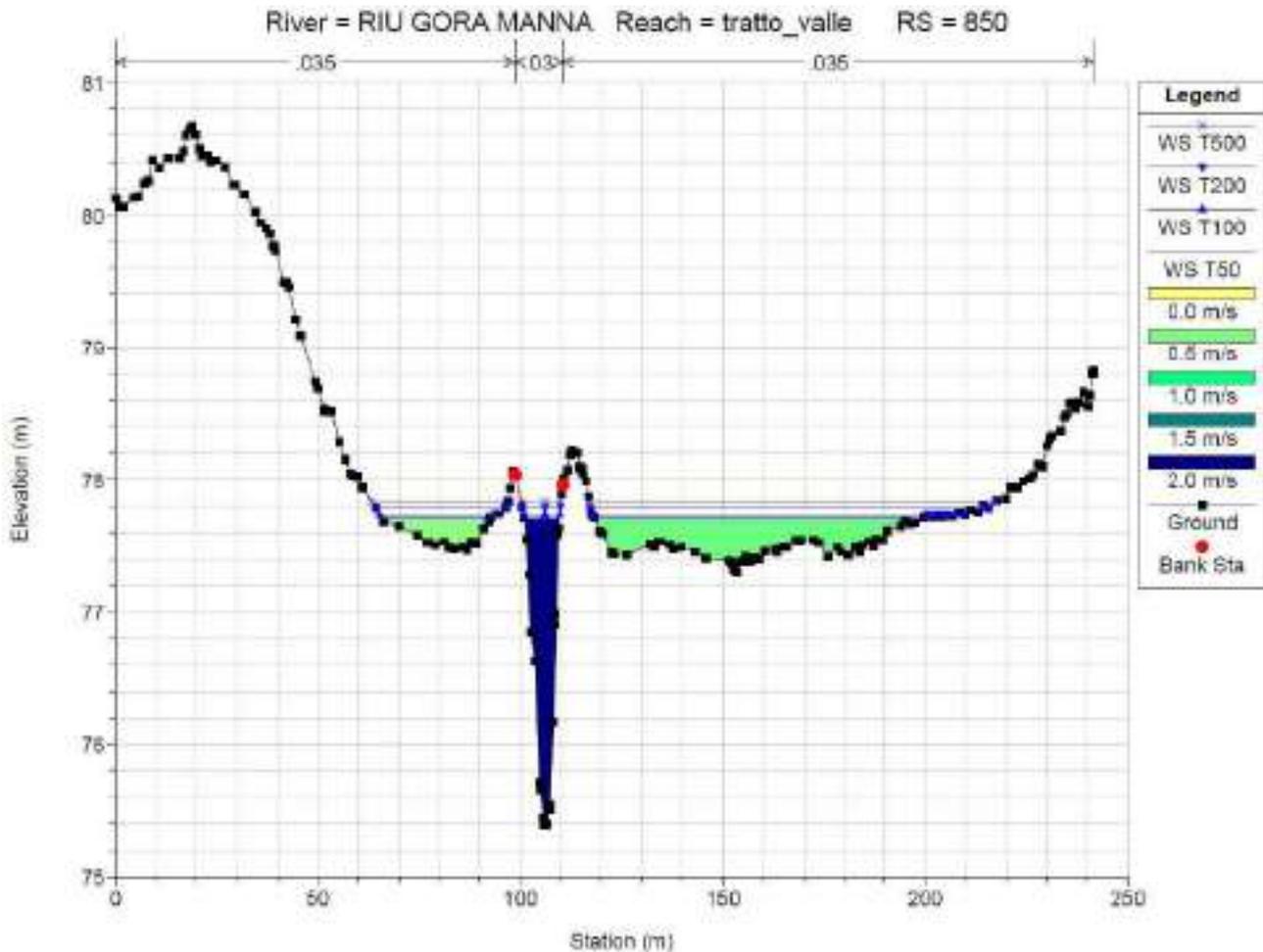
Di seguito verranno riportate per il bacino descritto nei precedenti paragrafi:

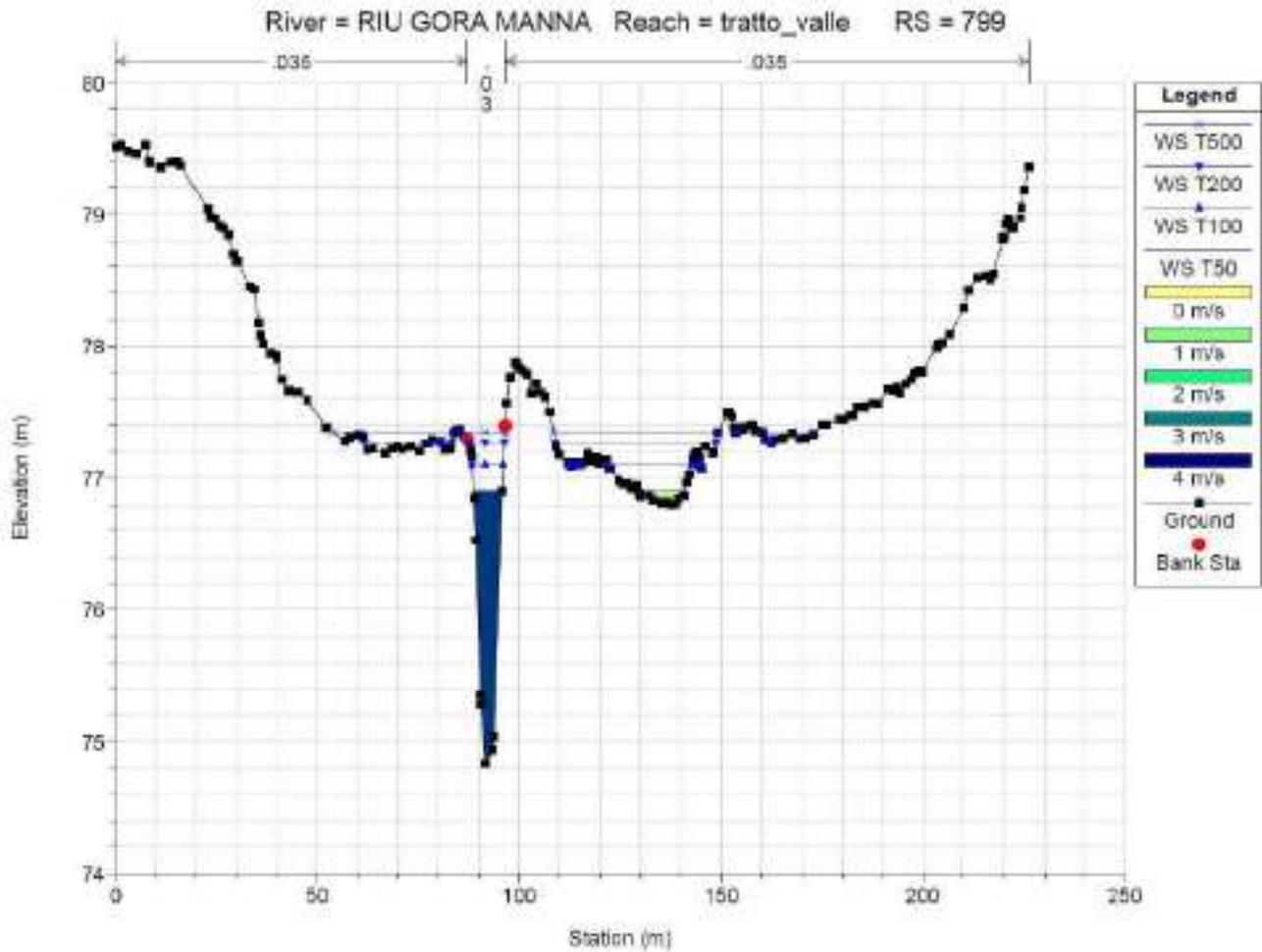
- Le sezioni idrauliche con i livelli idrici raggiunti per le portate corrispondenti ai vari tempi di ritorno;

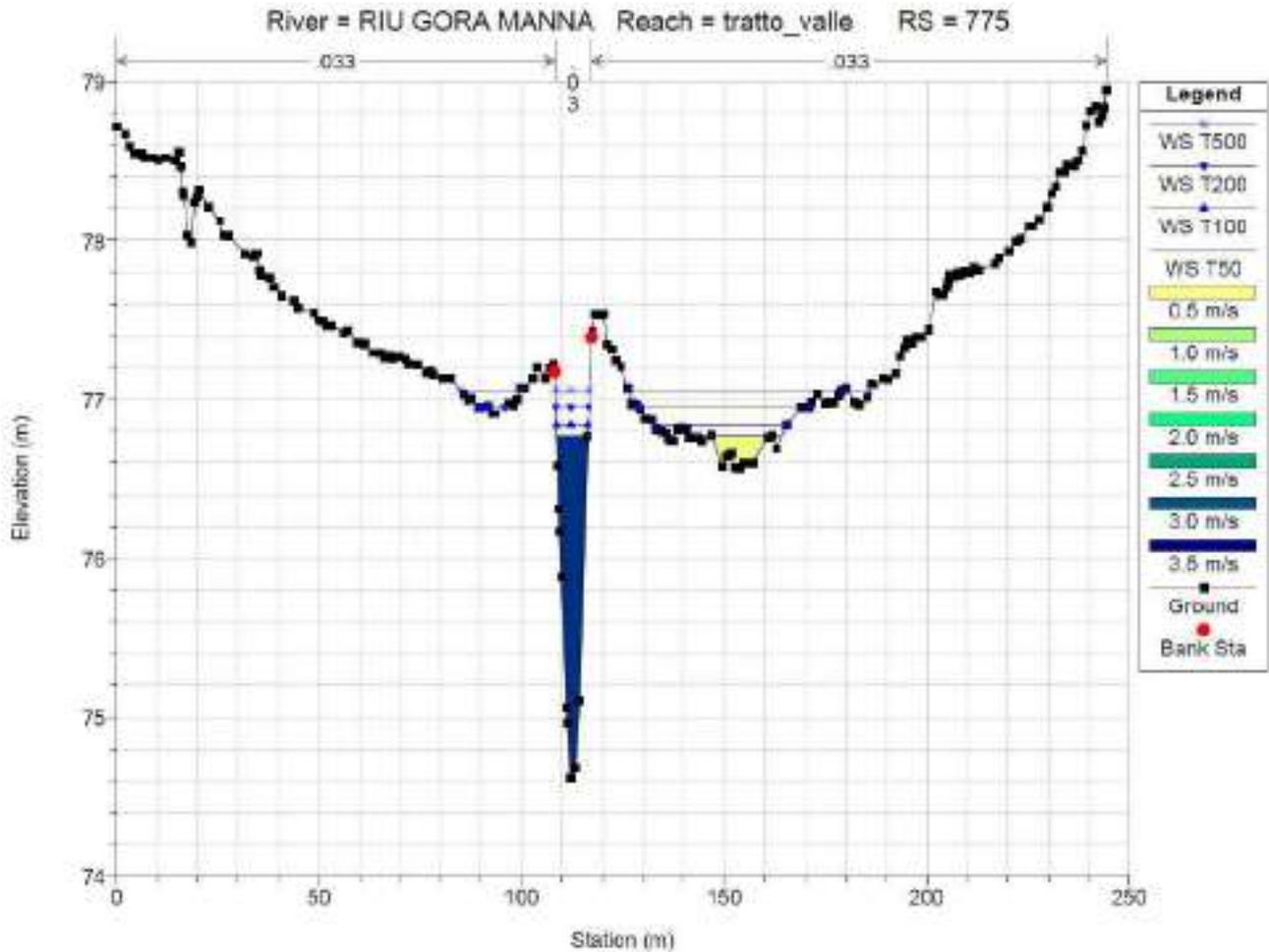
- Le principali grandezze idrauliche in forma tabellare, per ciascuna delle sezioni introdotte nel modello di simulazione.

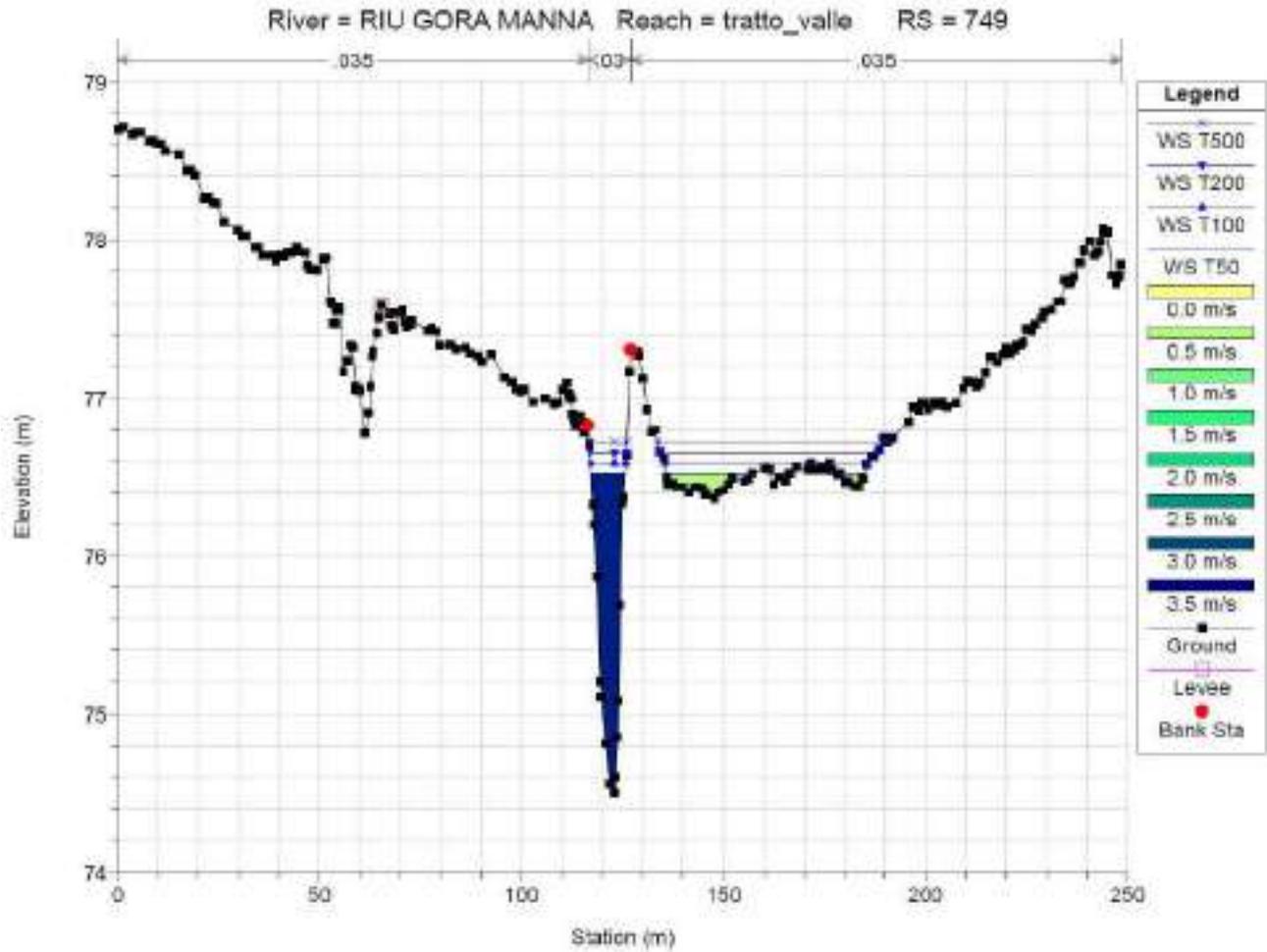
7.10 Risultati simulazione stato attuale

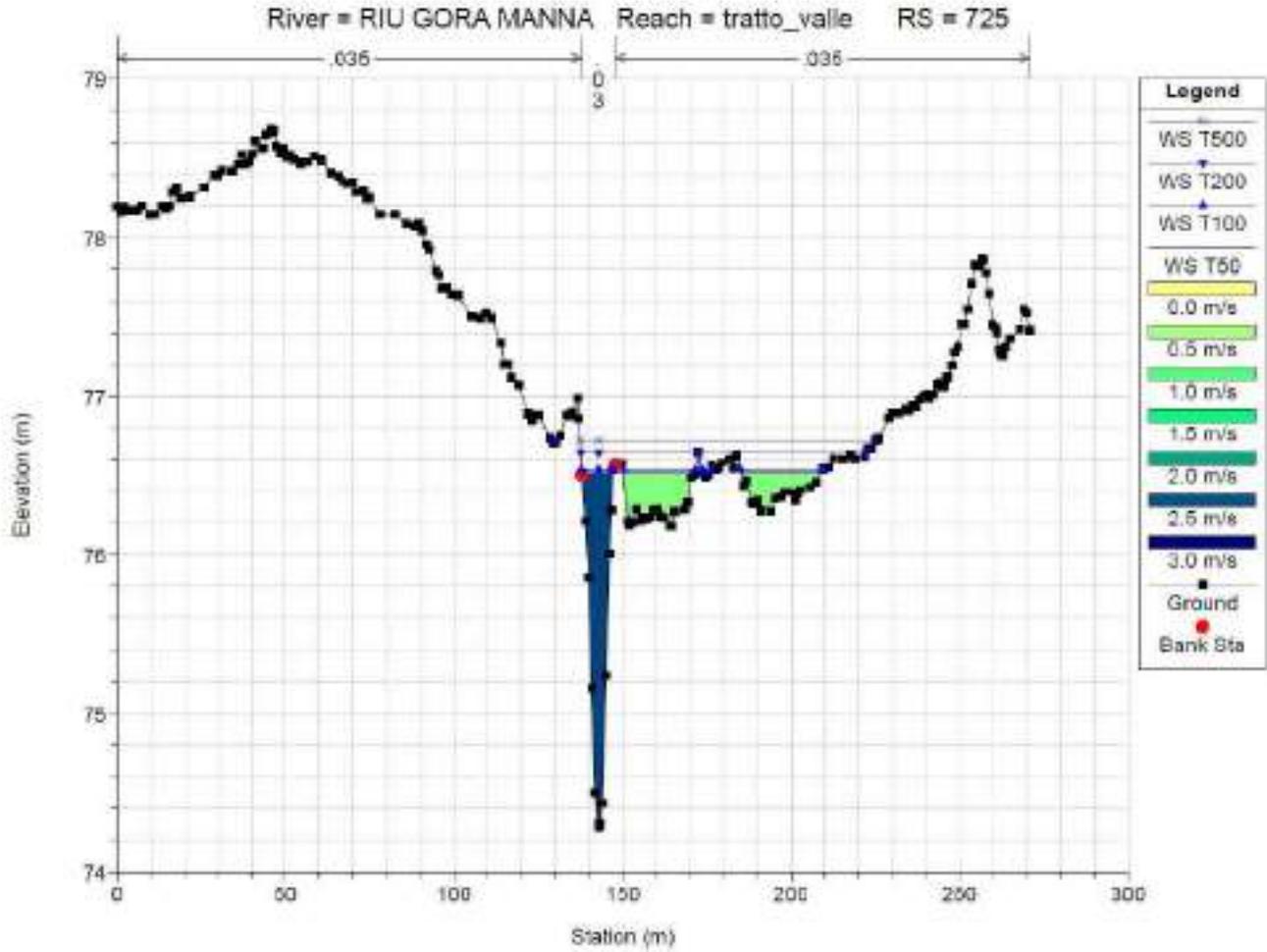
Nel presente paragrafo si riportano gli output al modello idraulico realizzato con Hec-Ras (sezioni, profilo e tabelle riepilogative) dello stato attuale, determinate secondo quanto illustrato nei paragrafi precedenti.

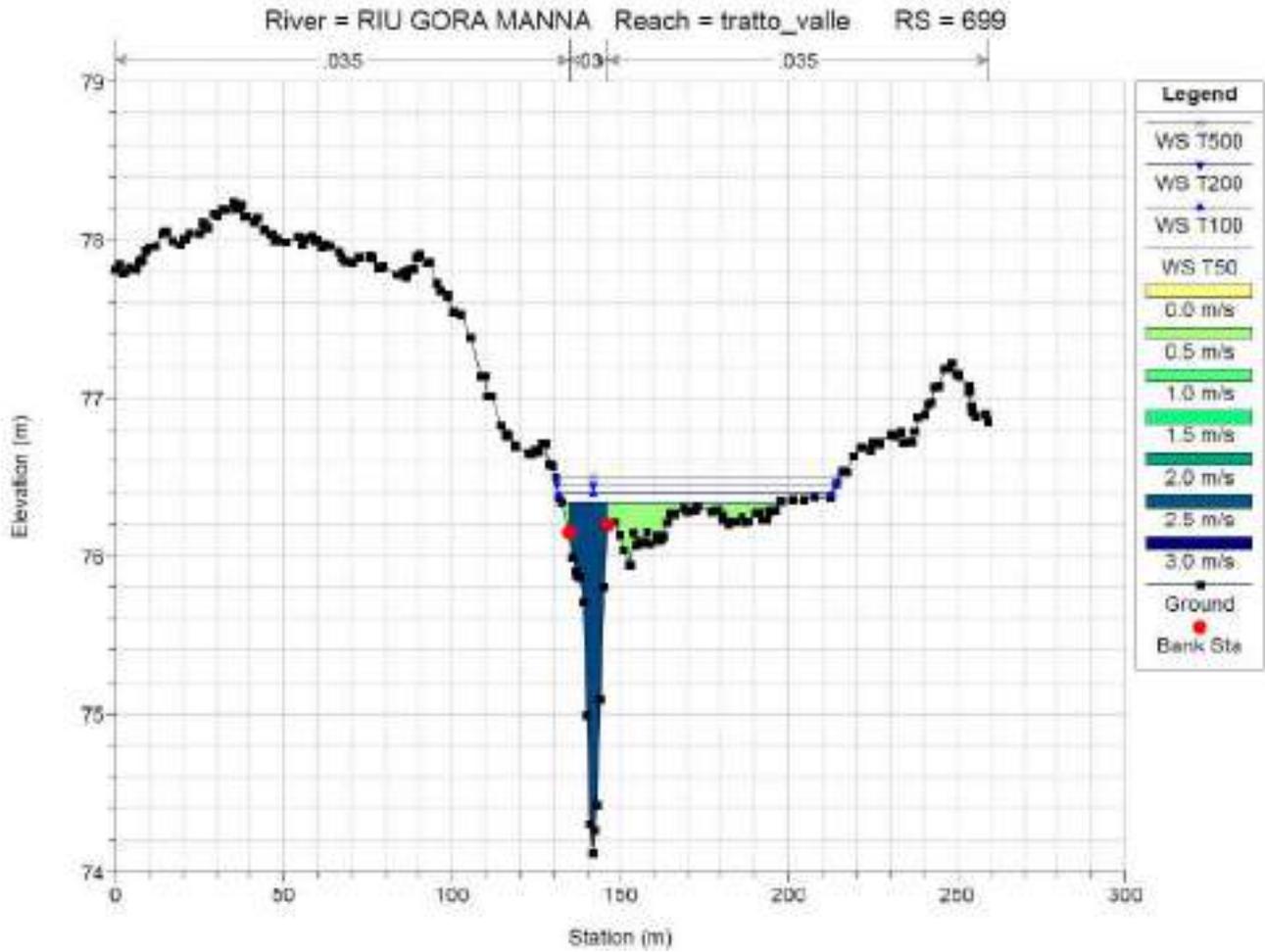


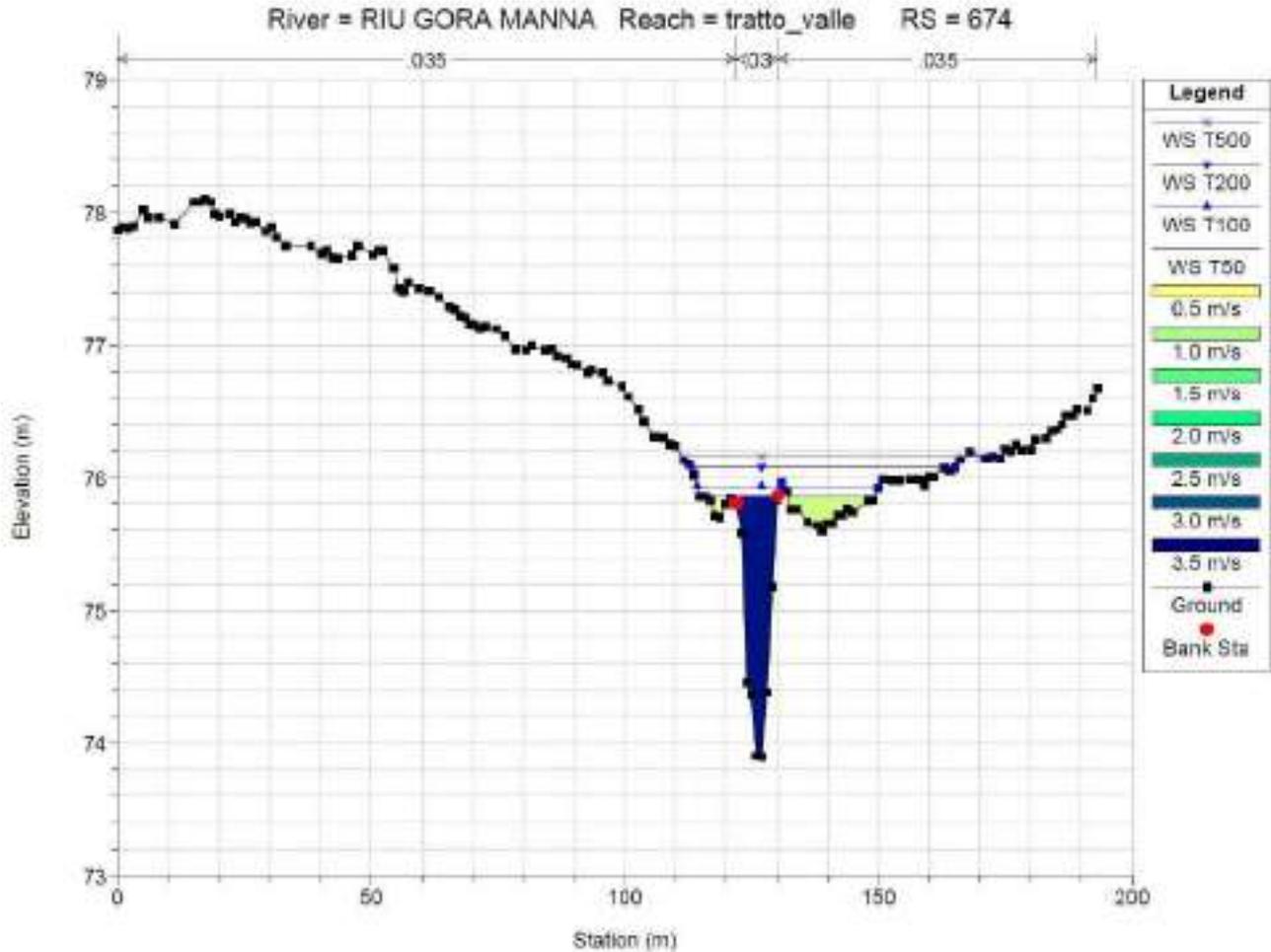


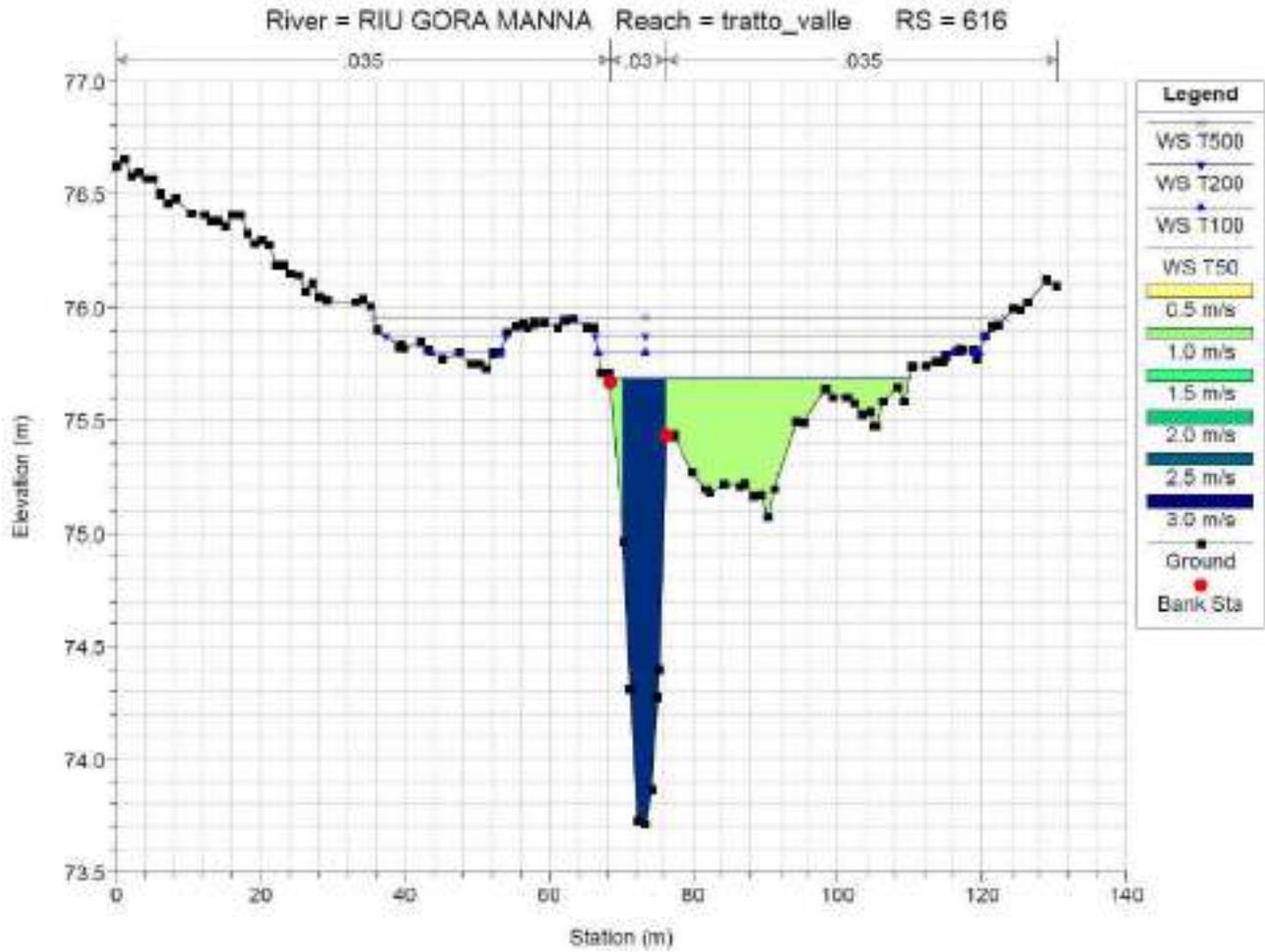


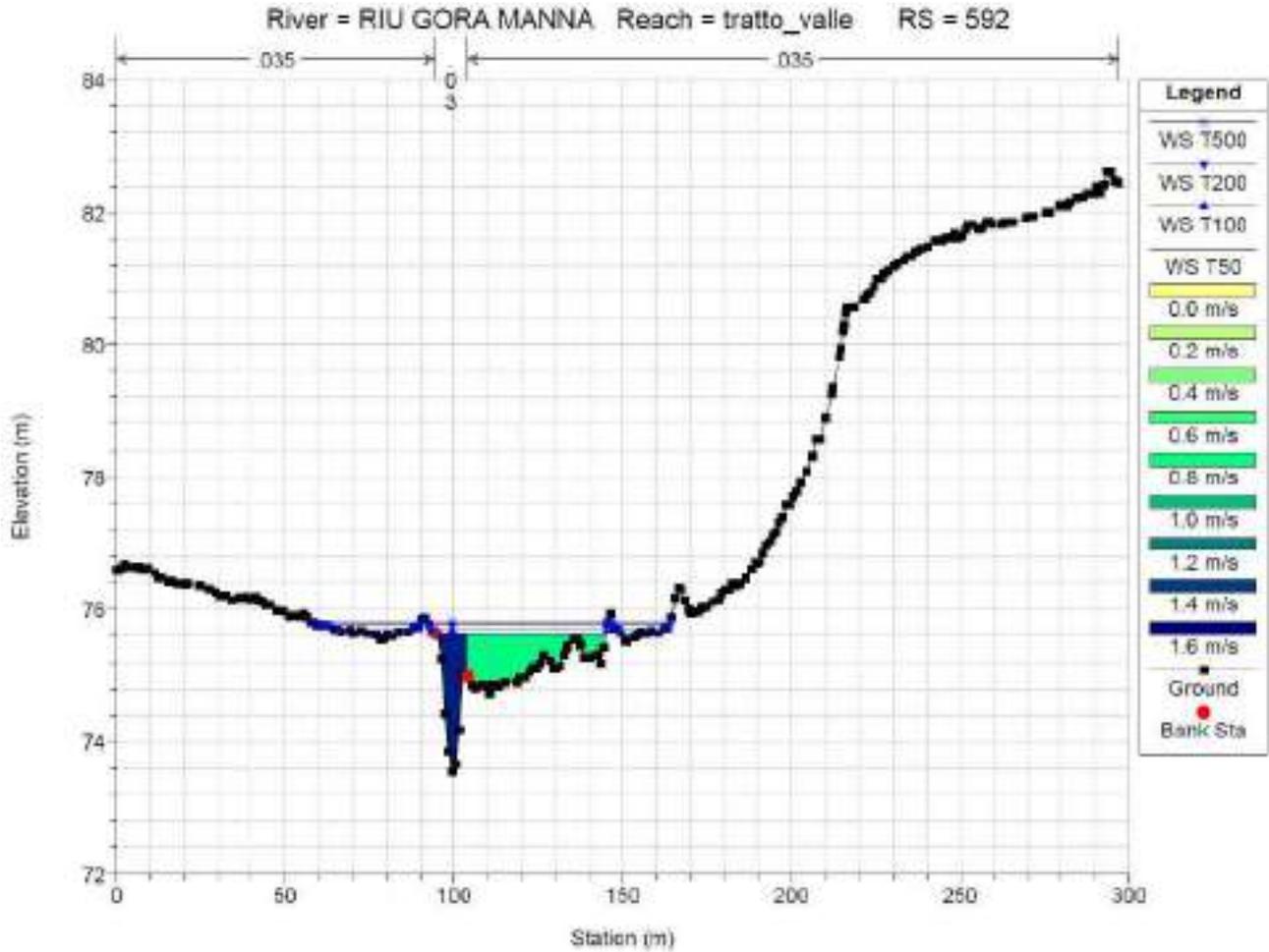


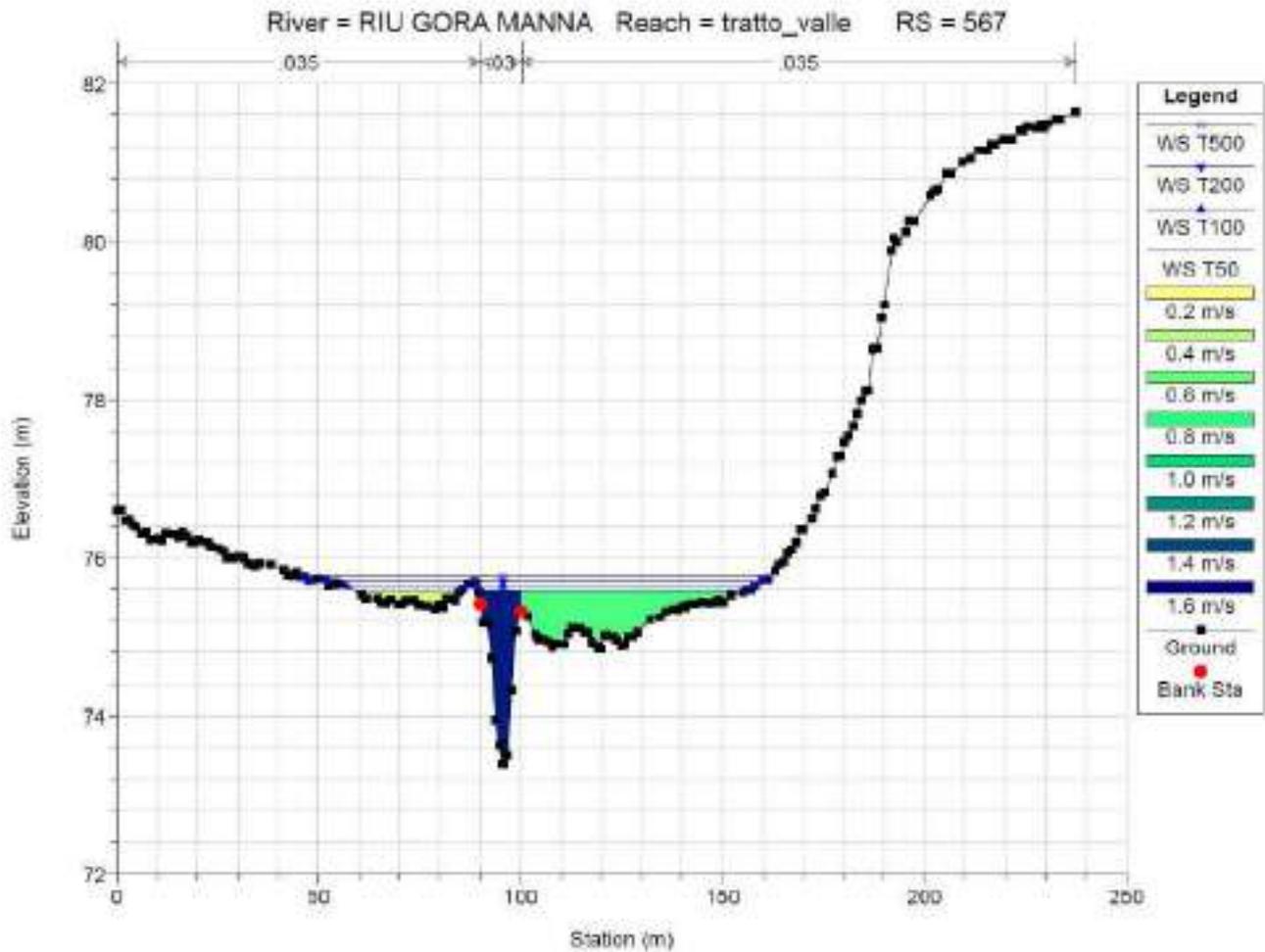


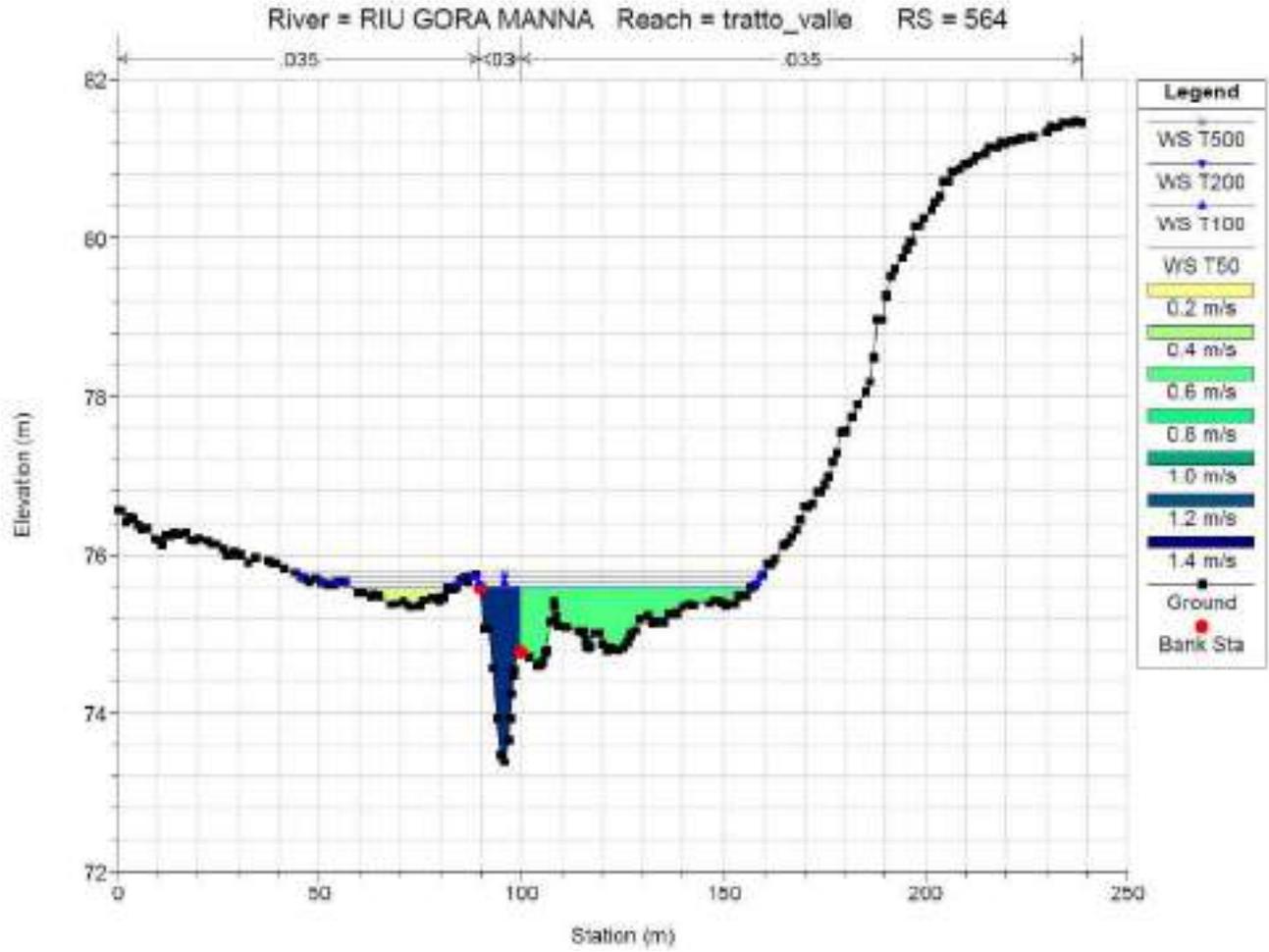


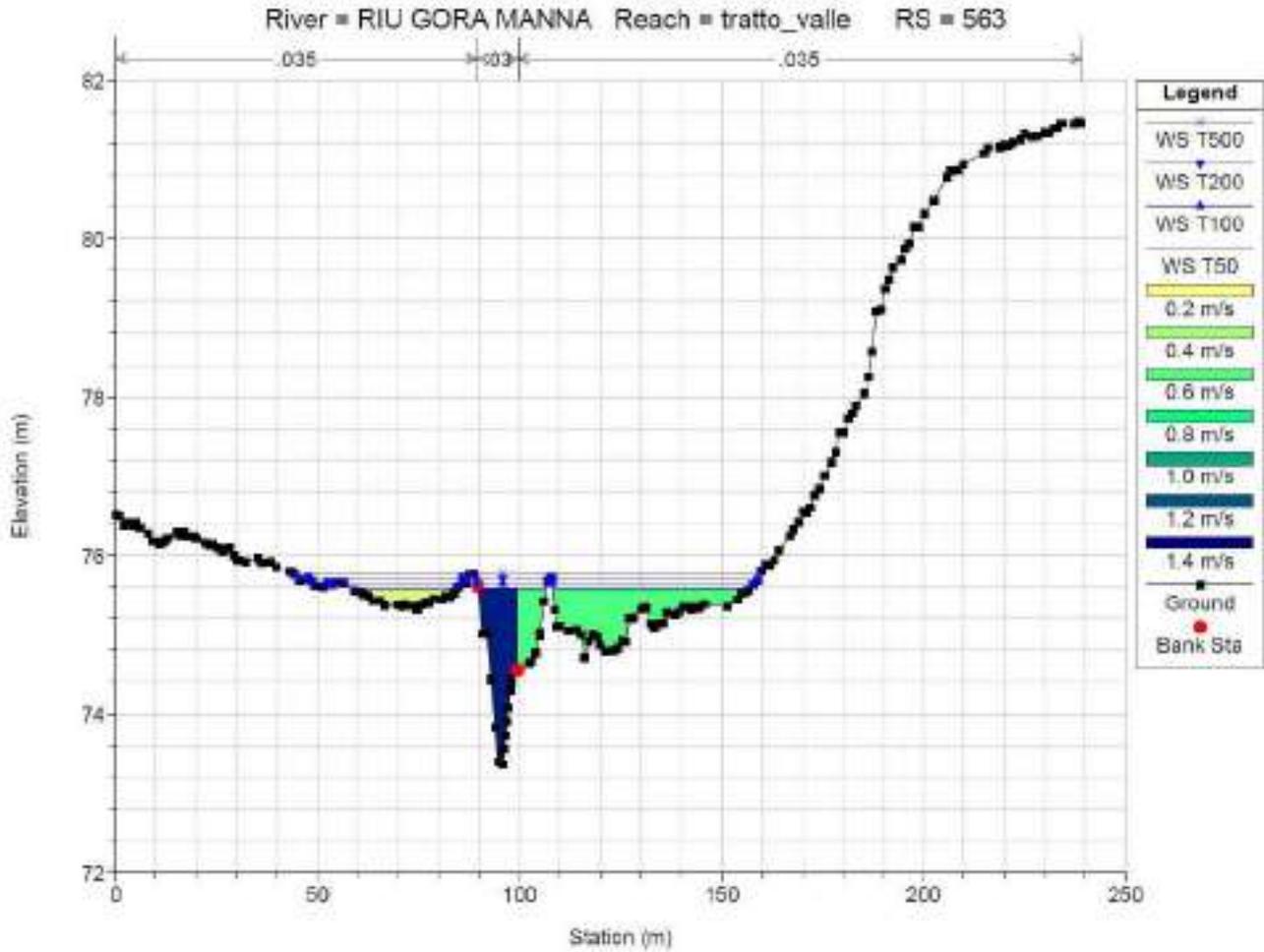


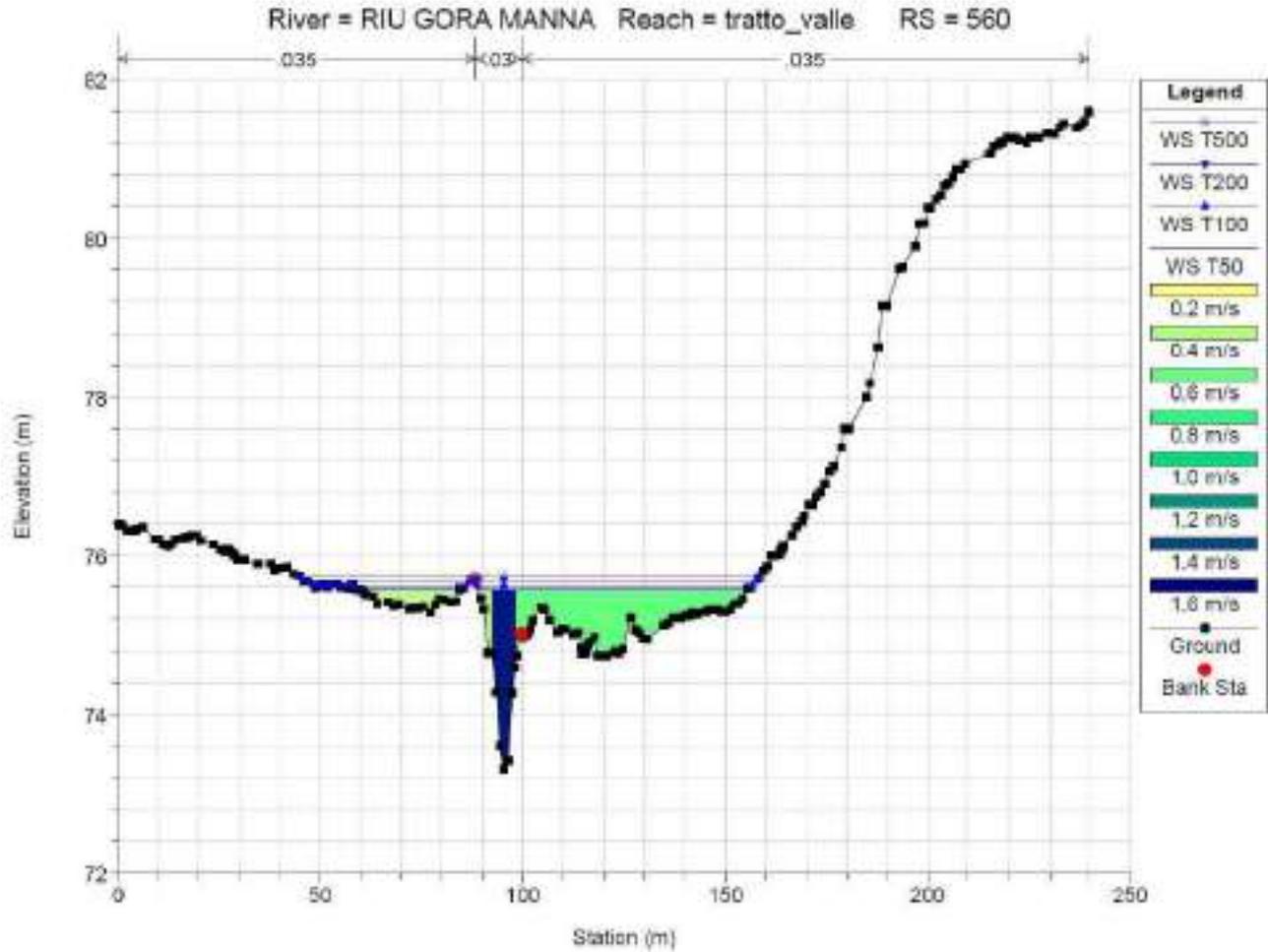


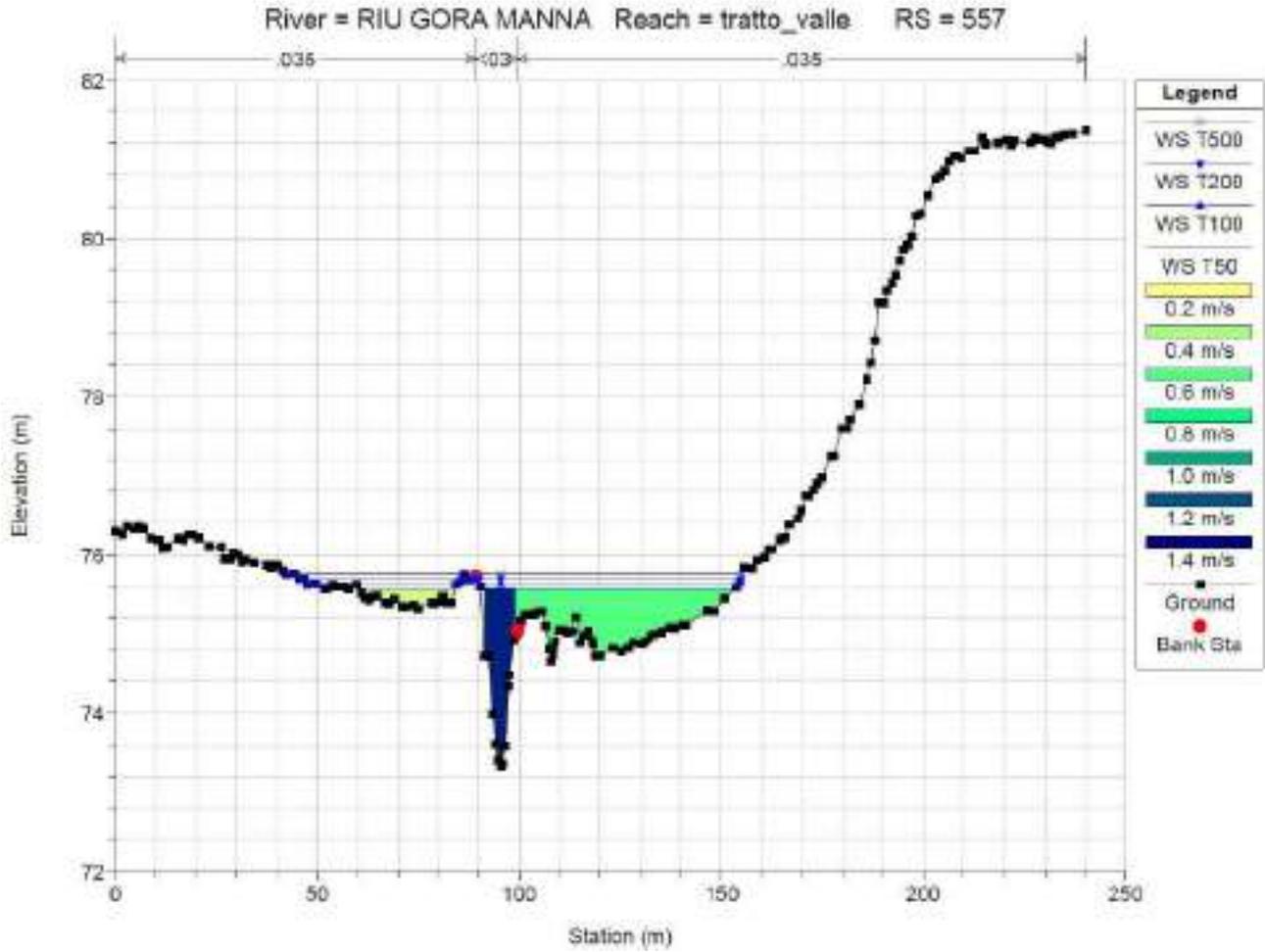


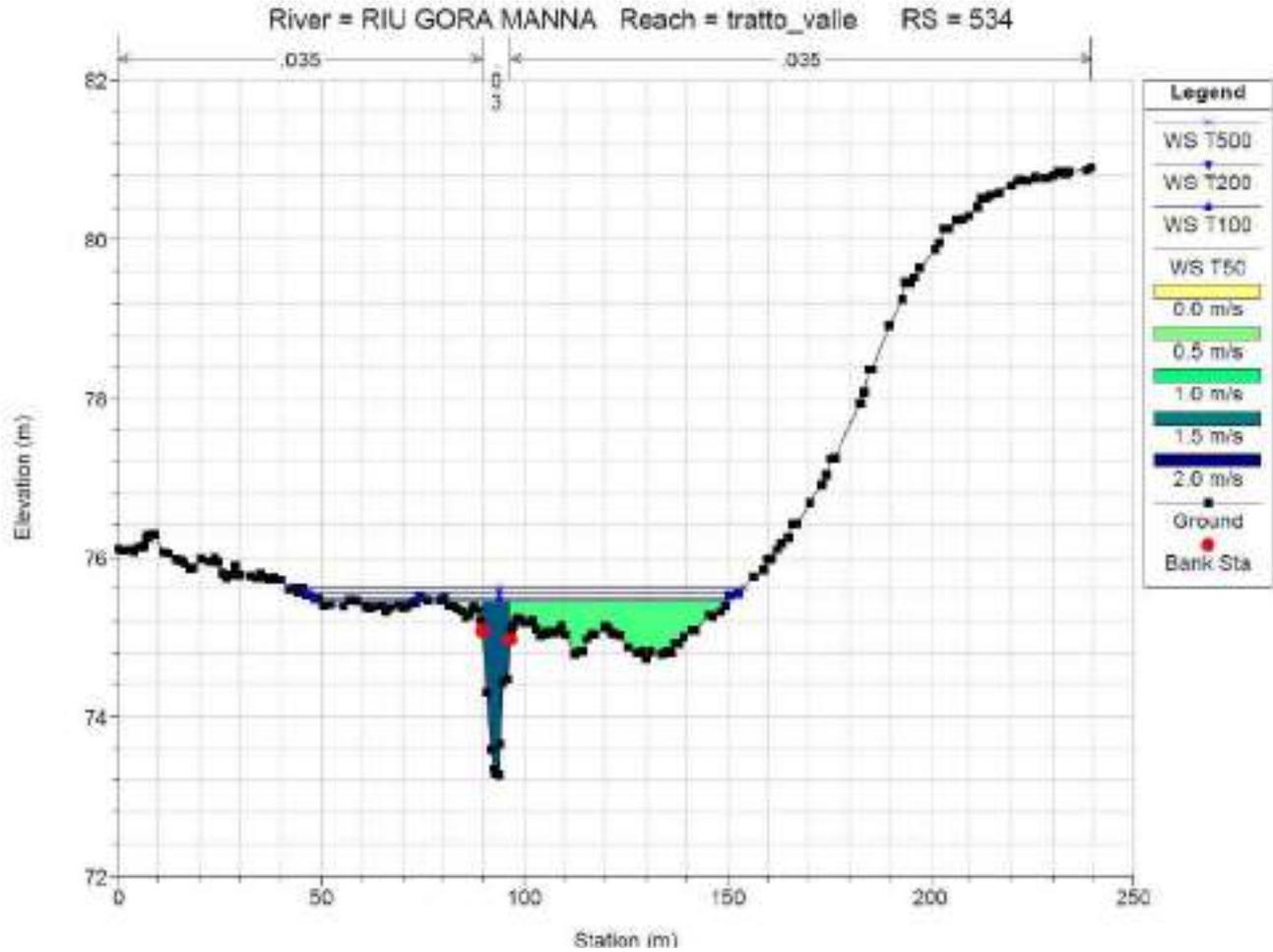


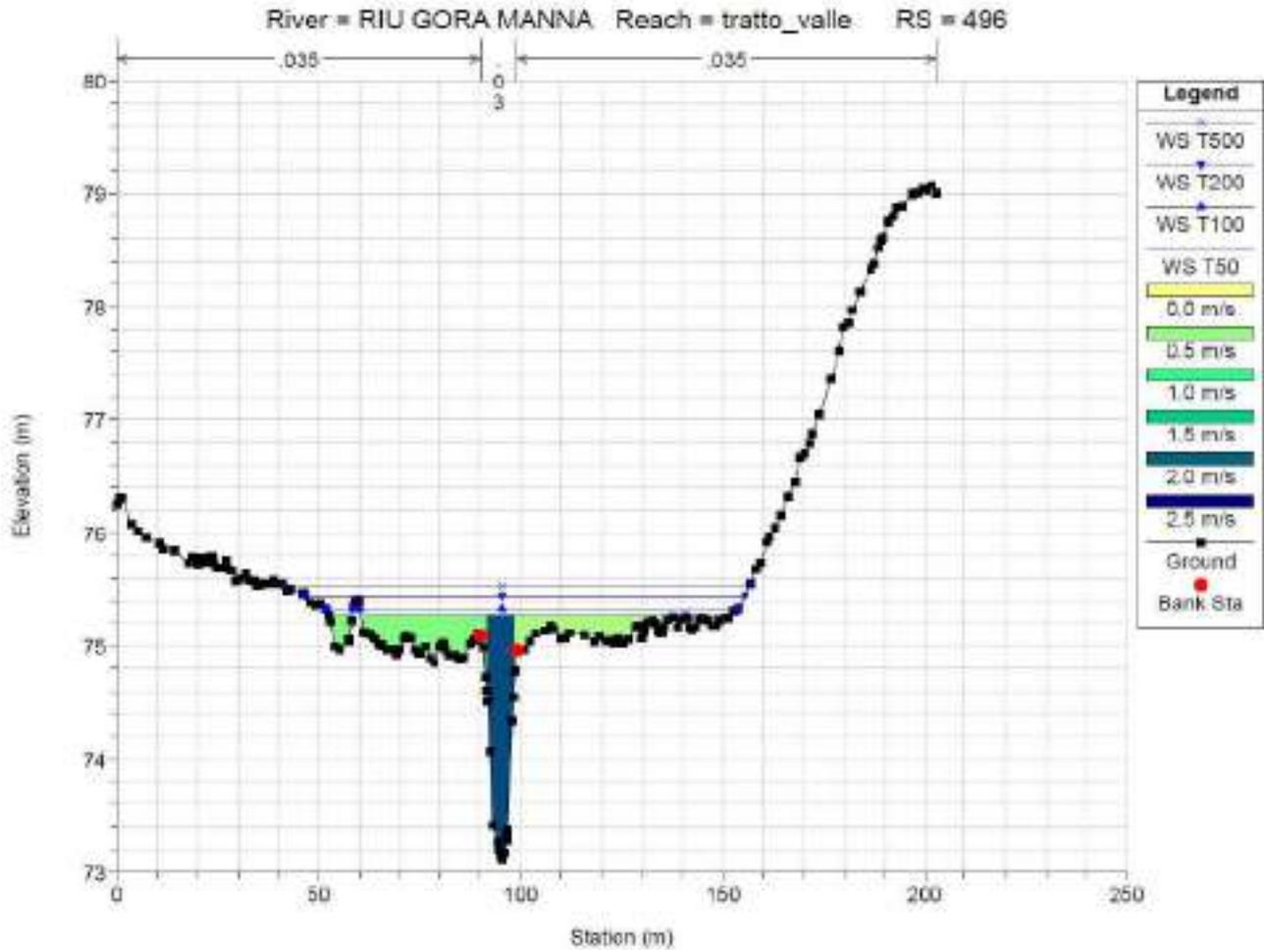


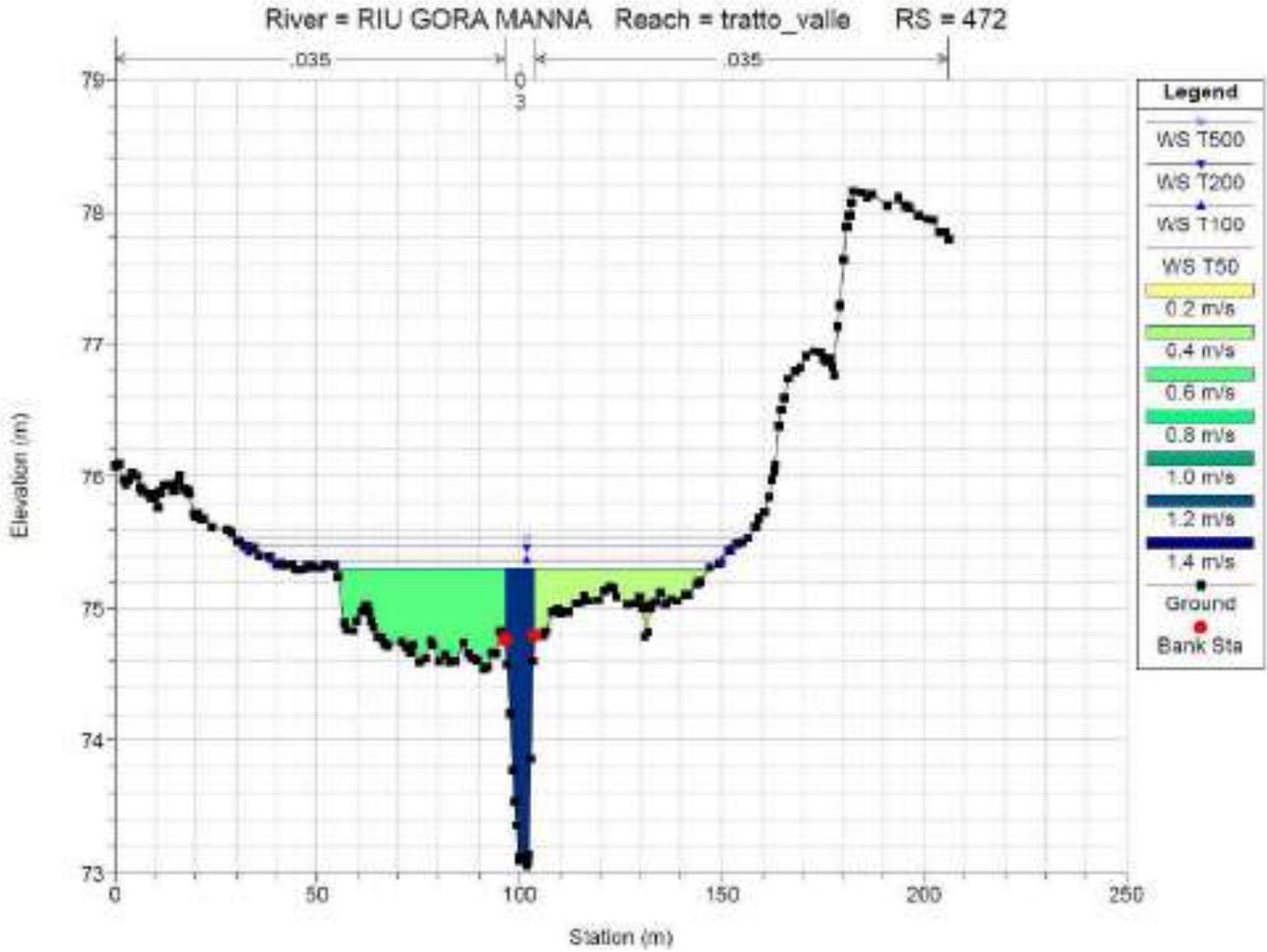


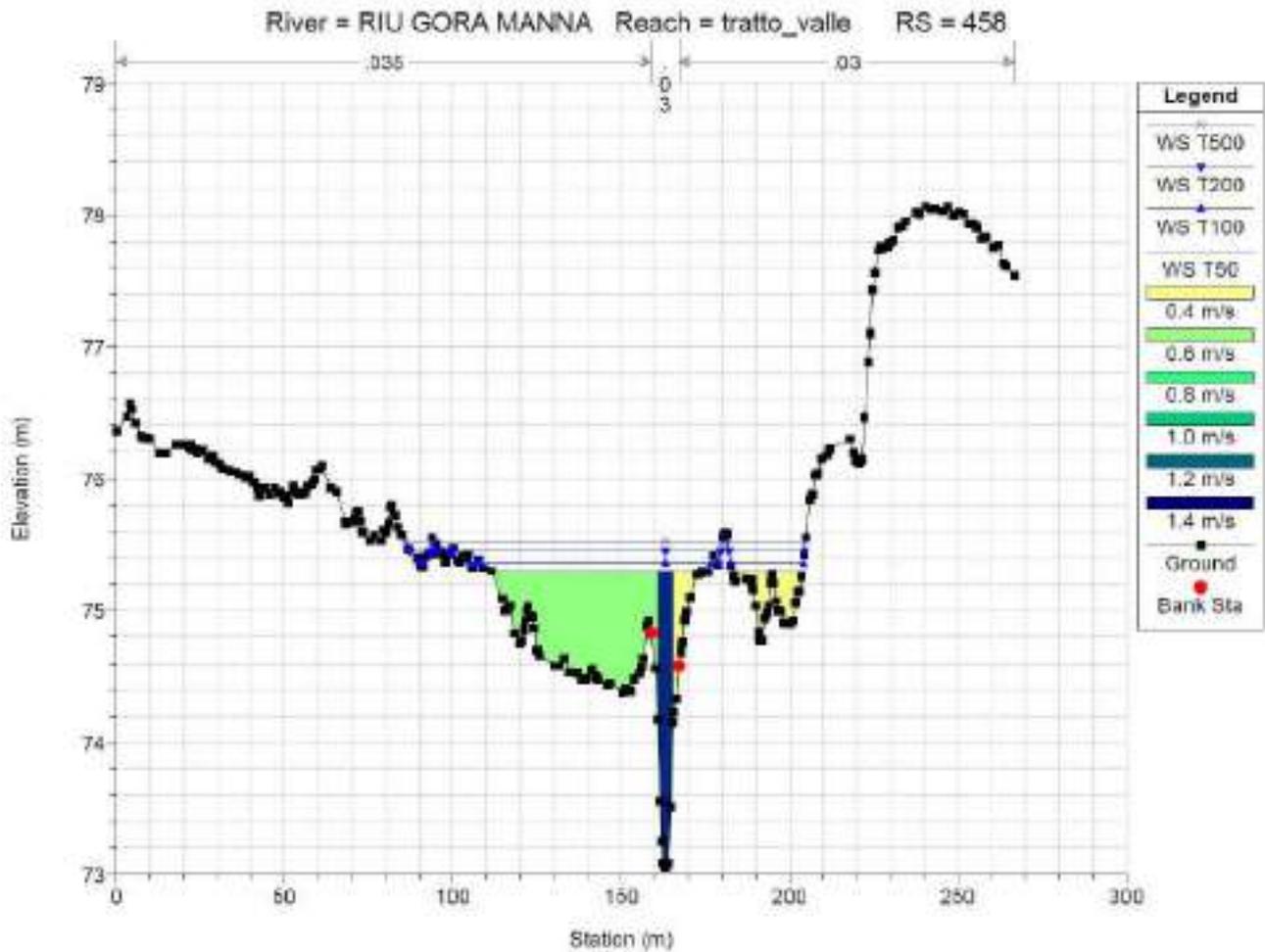


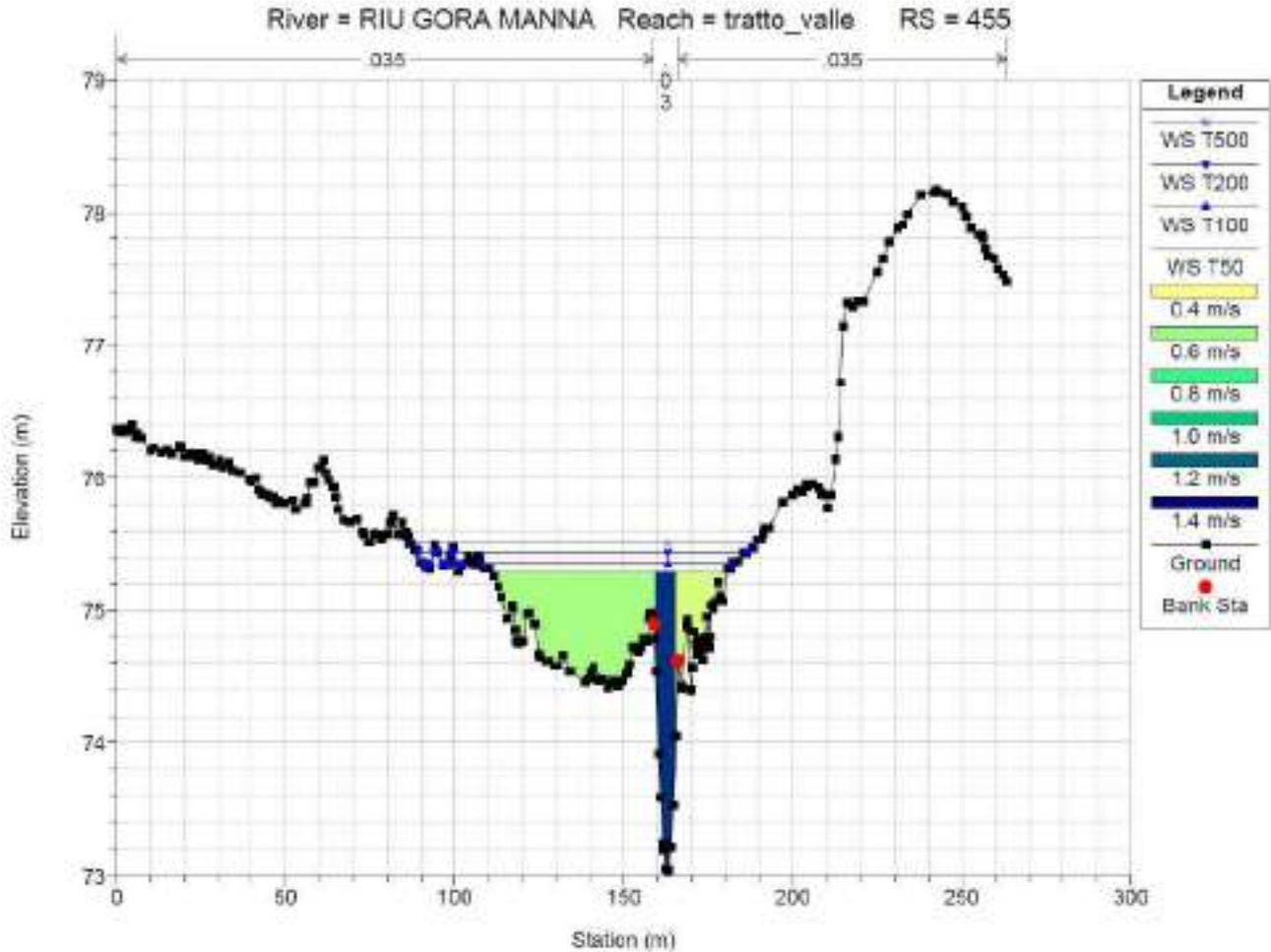


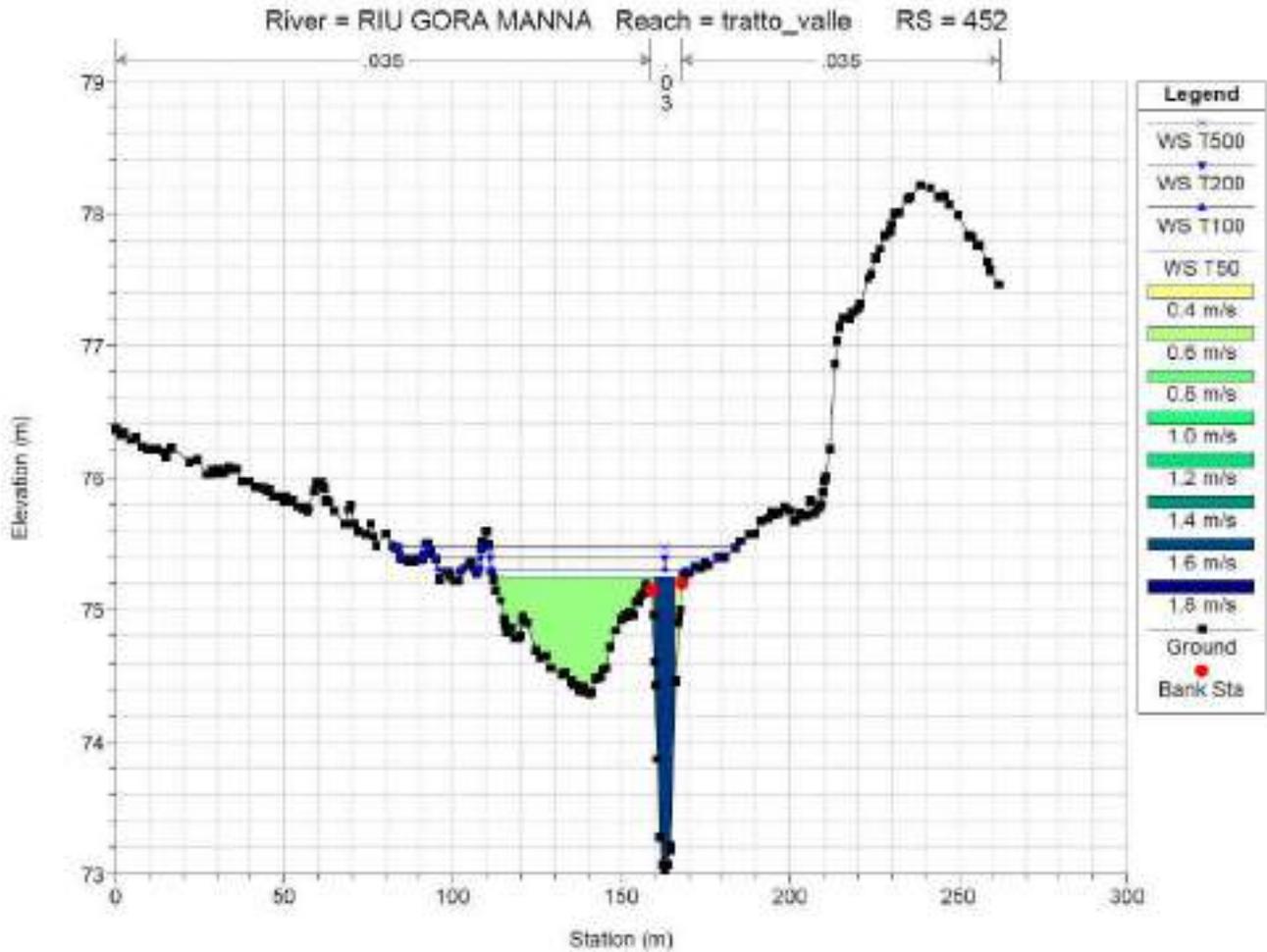


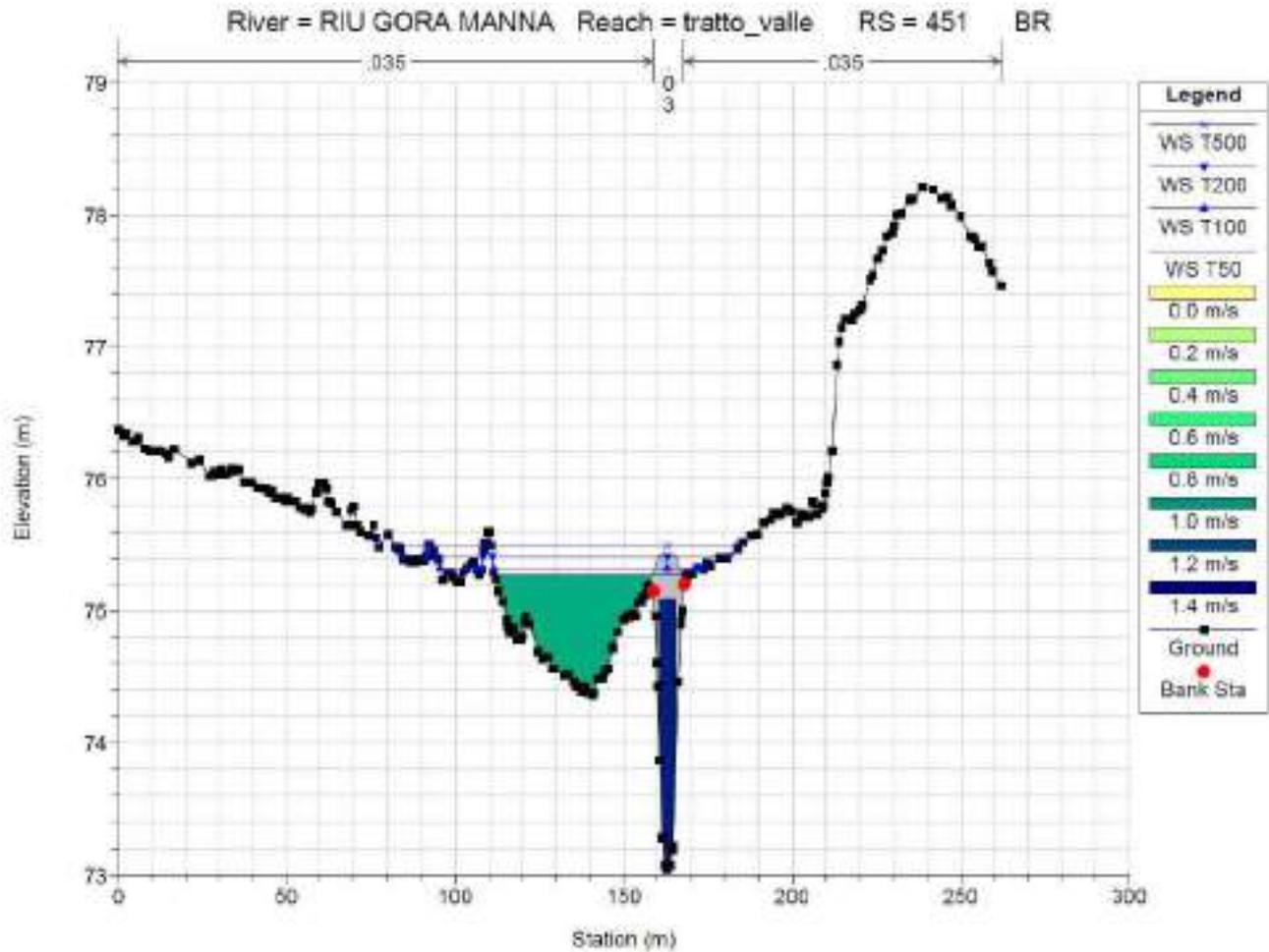


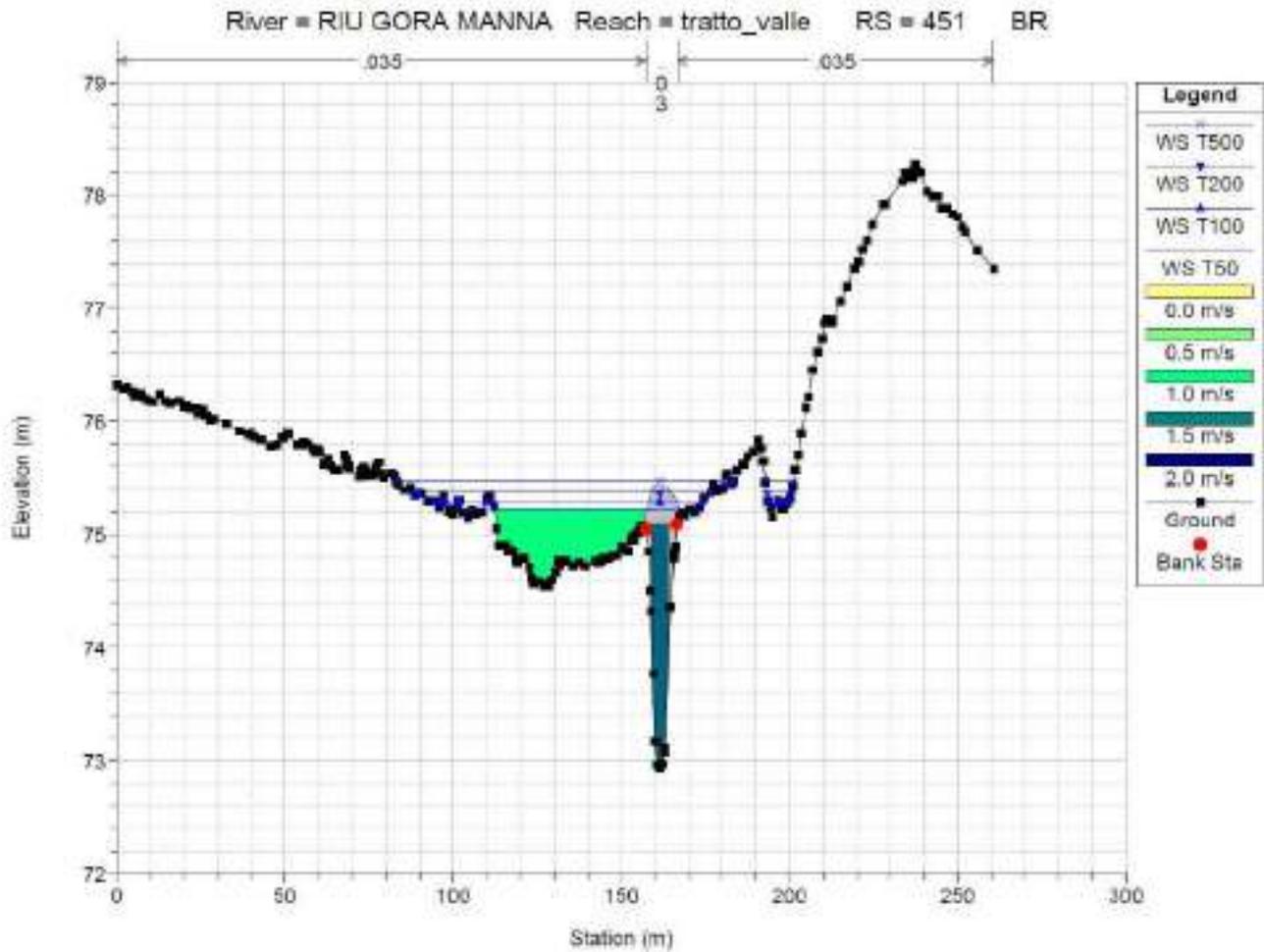


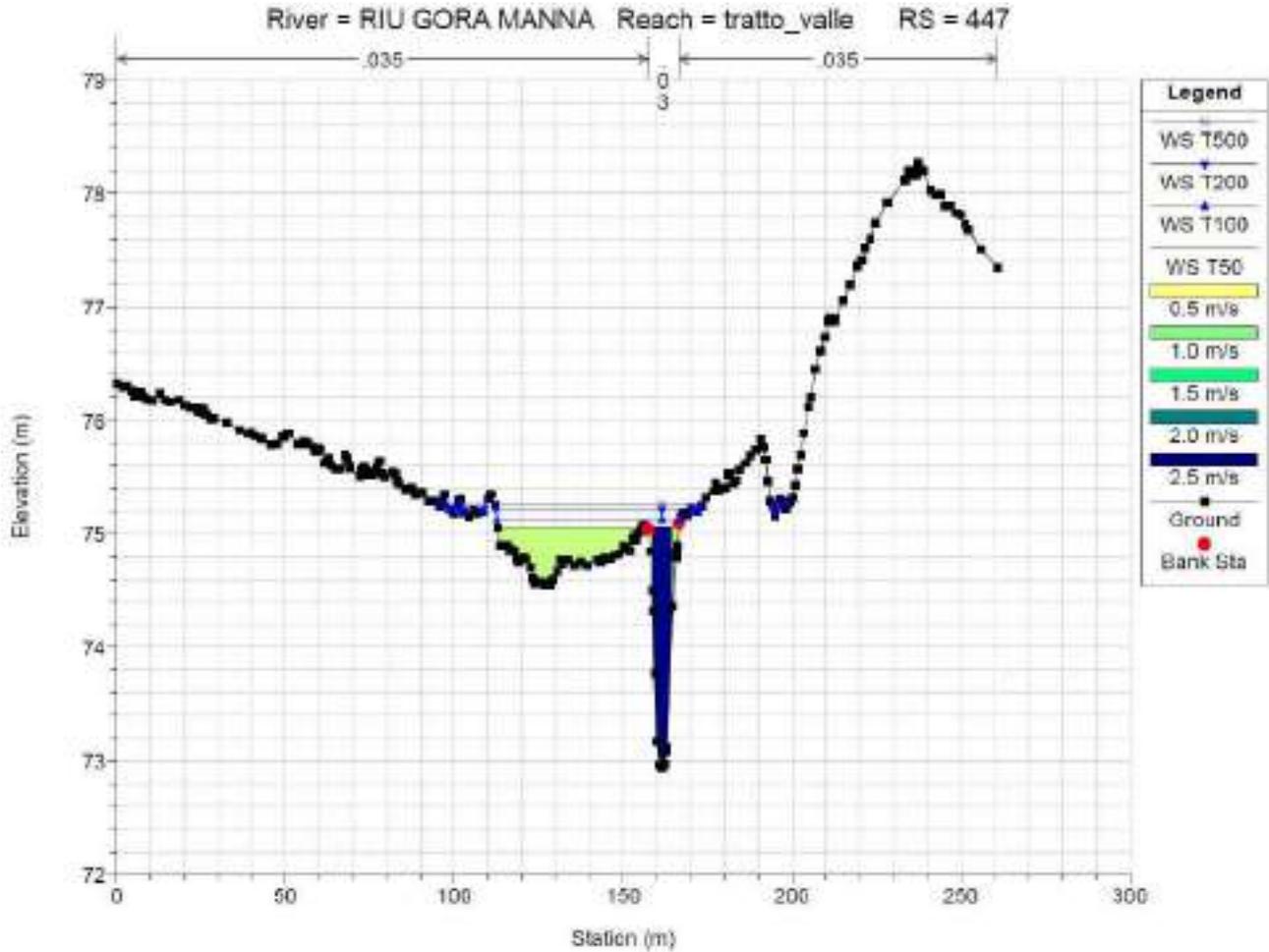


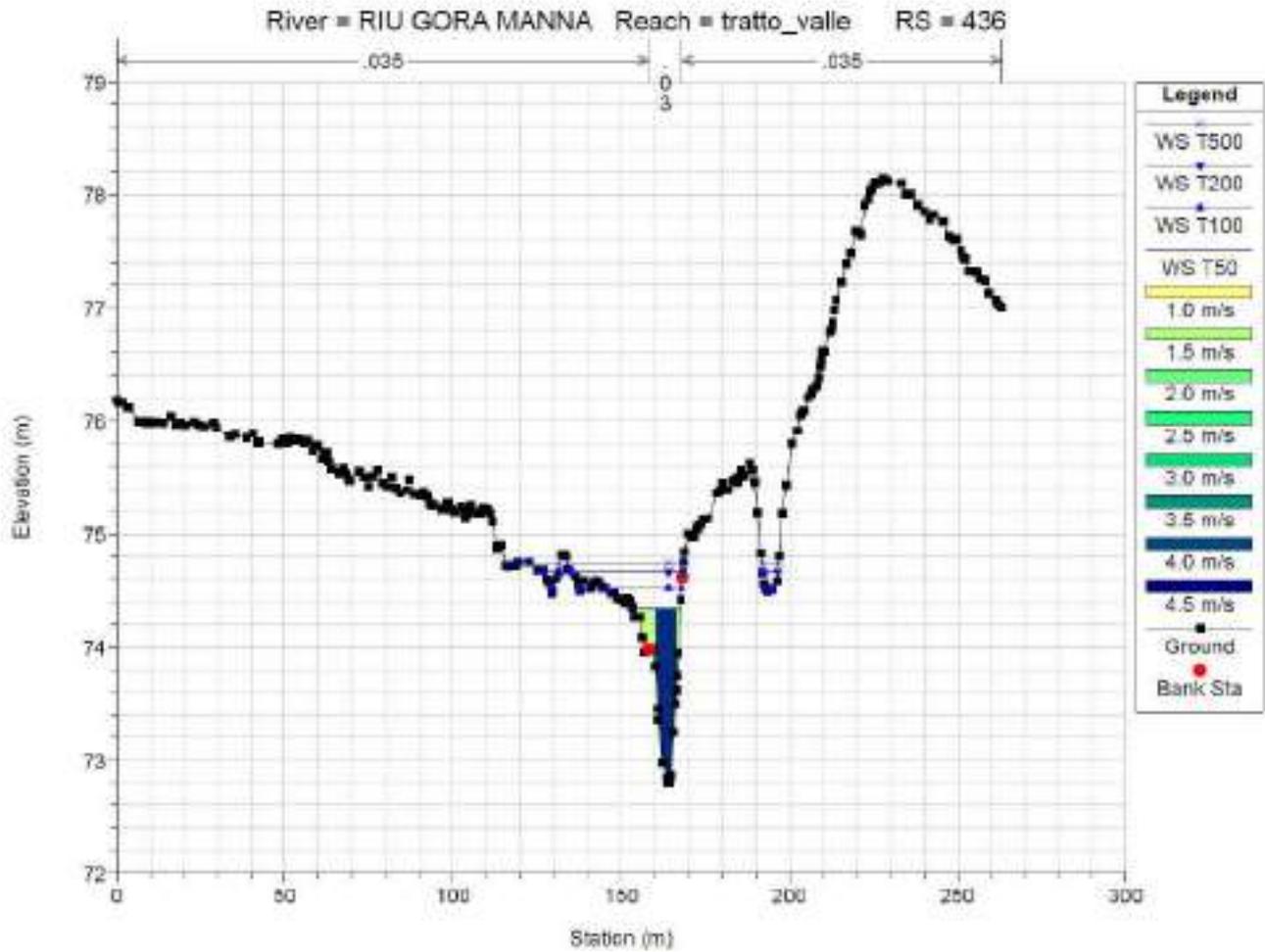


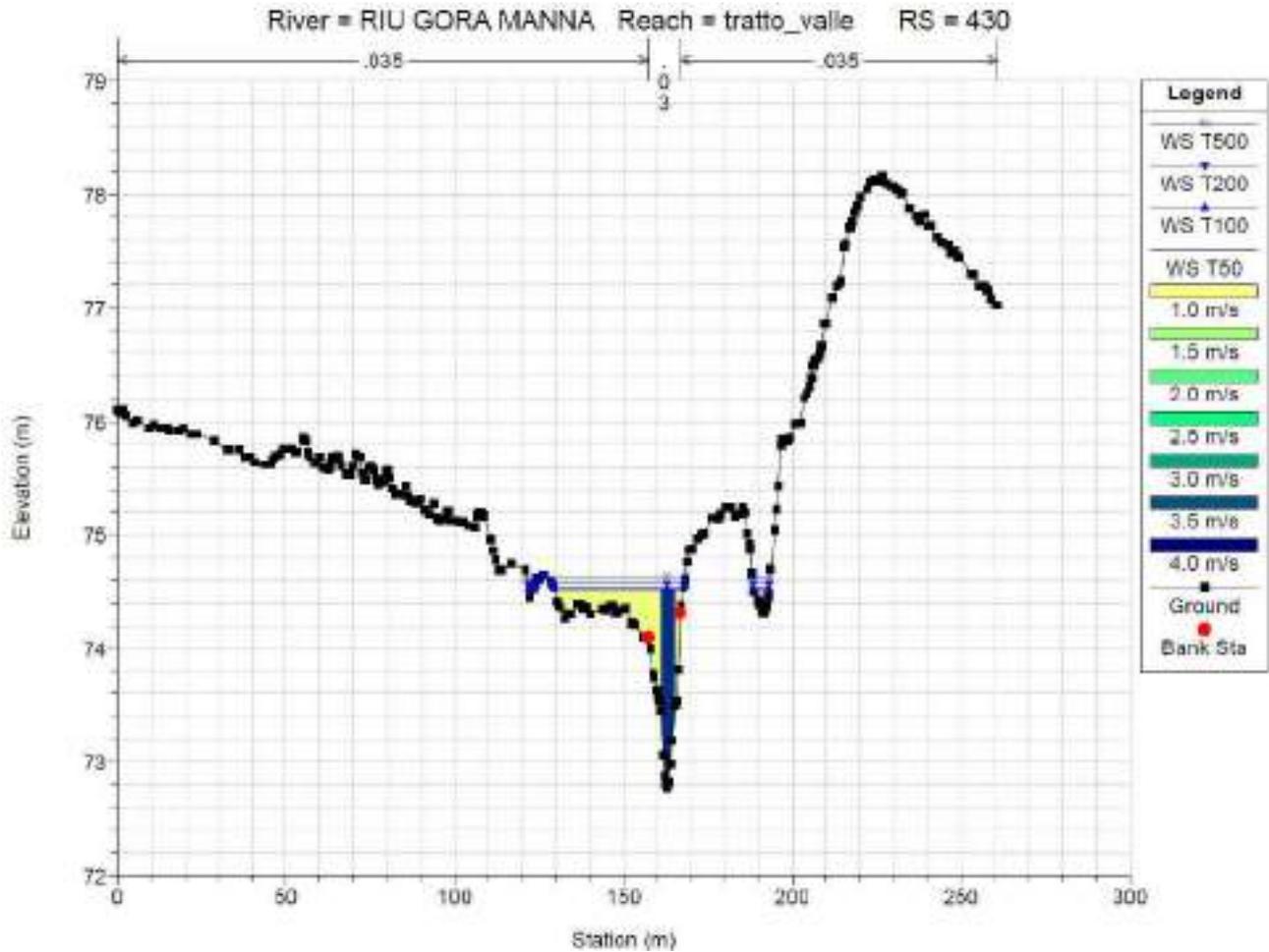


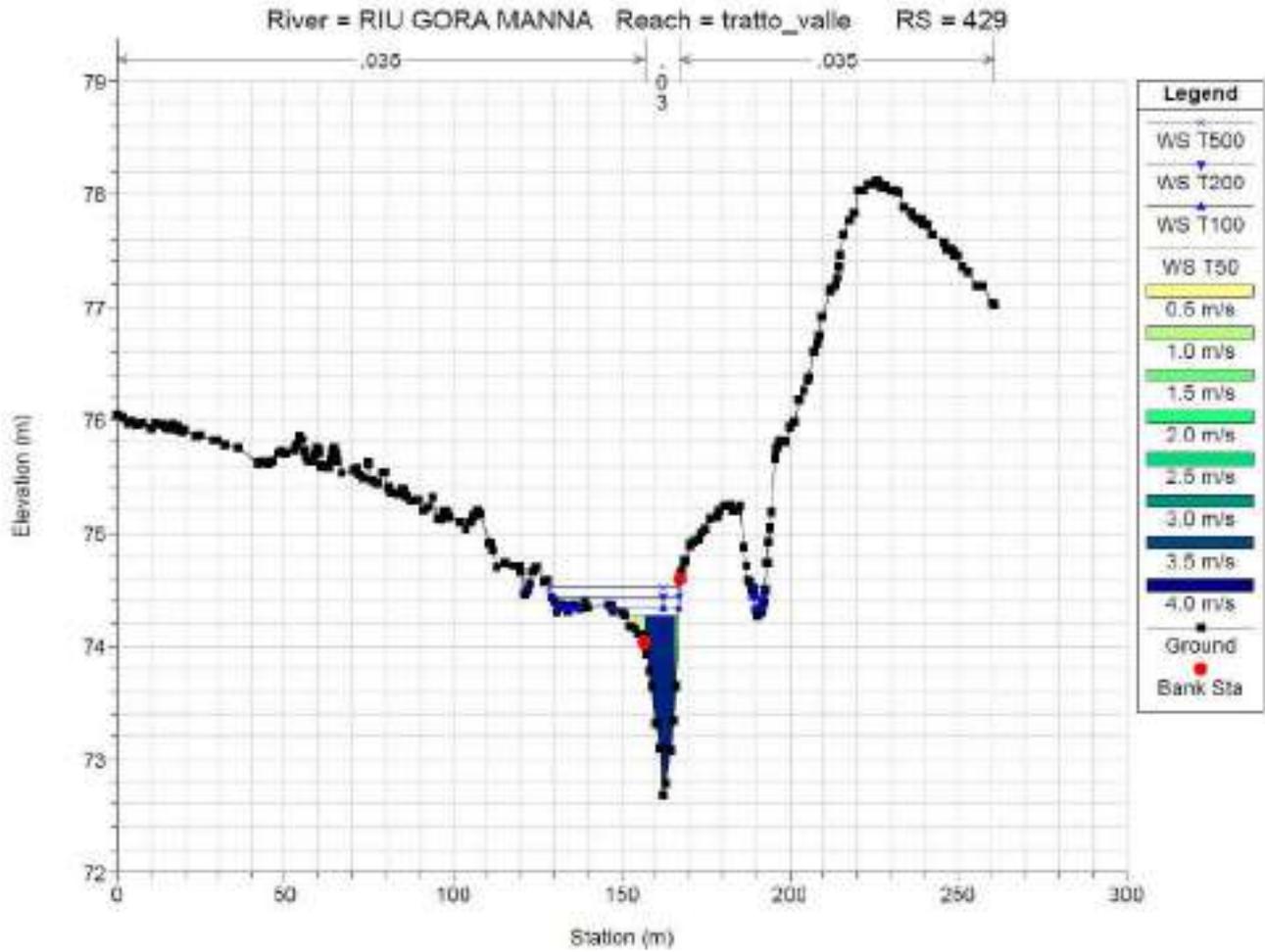


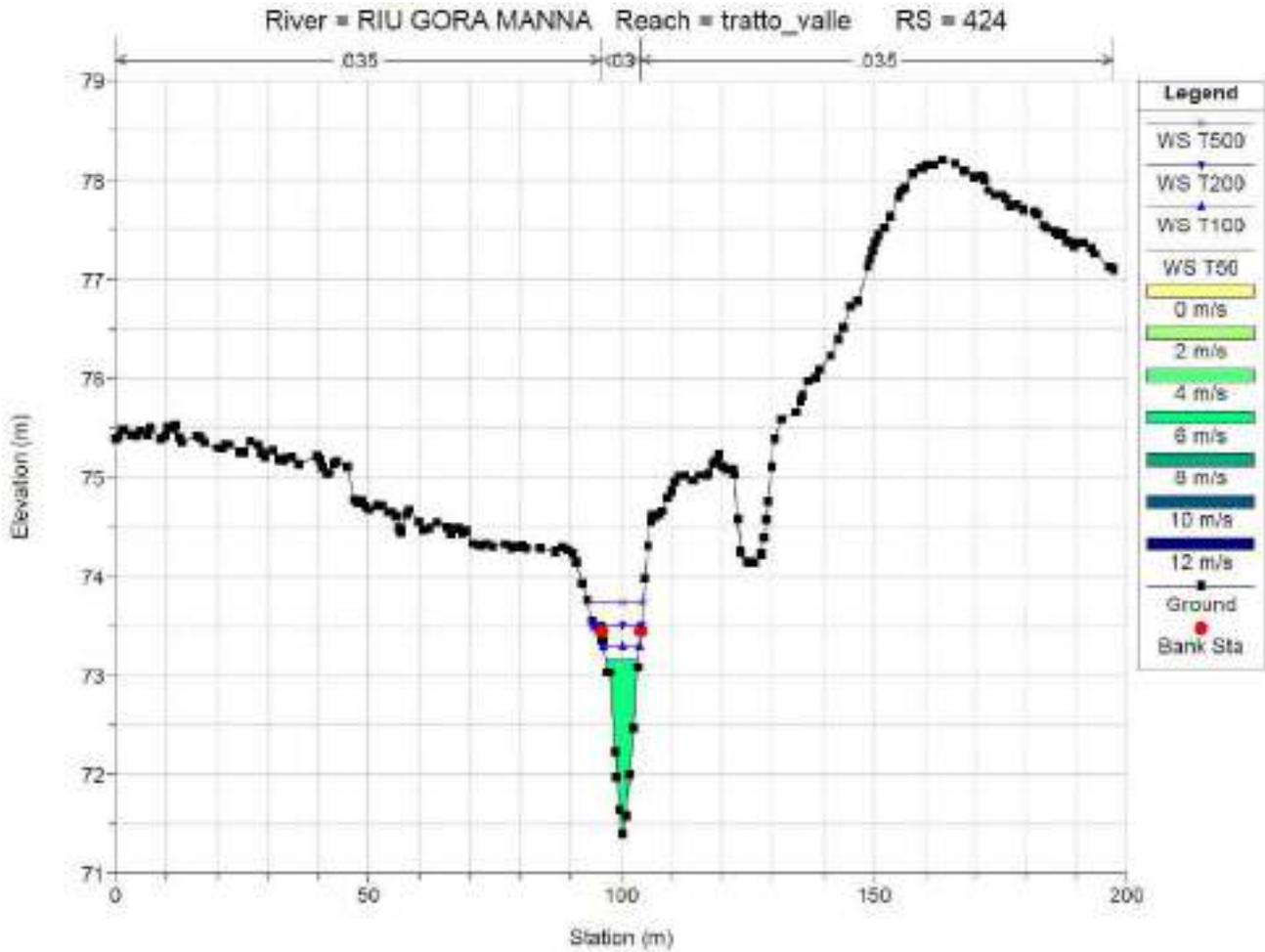


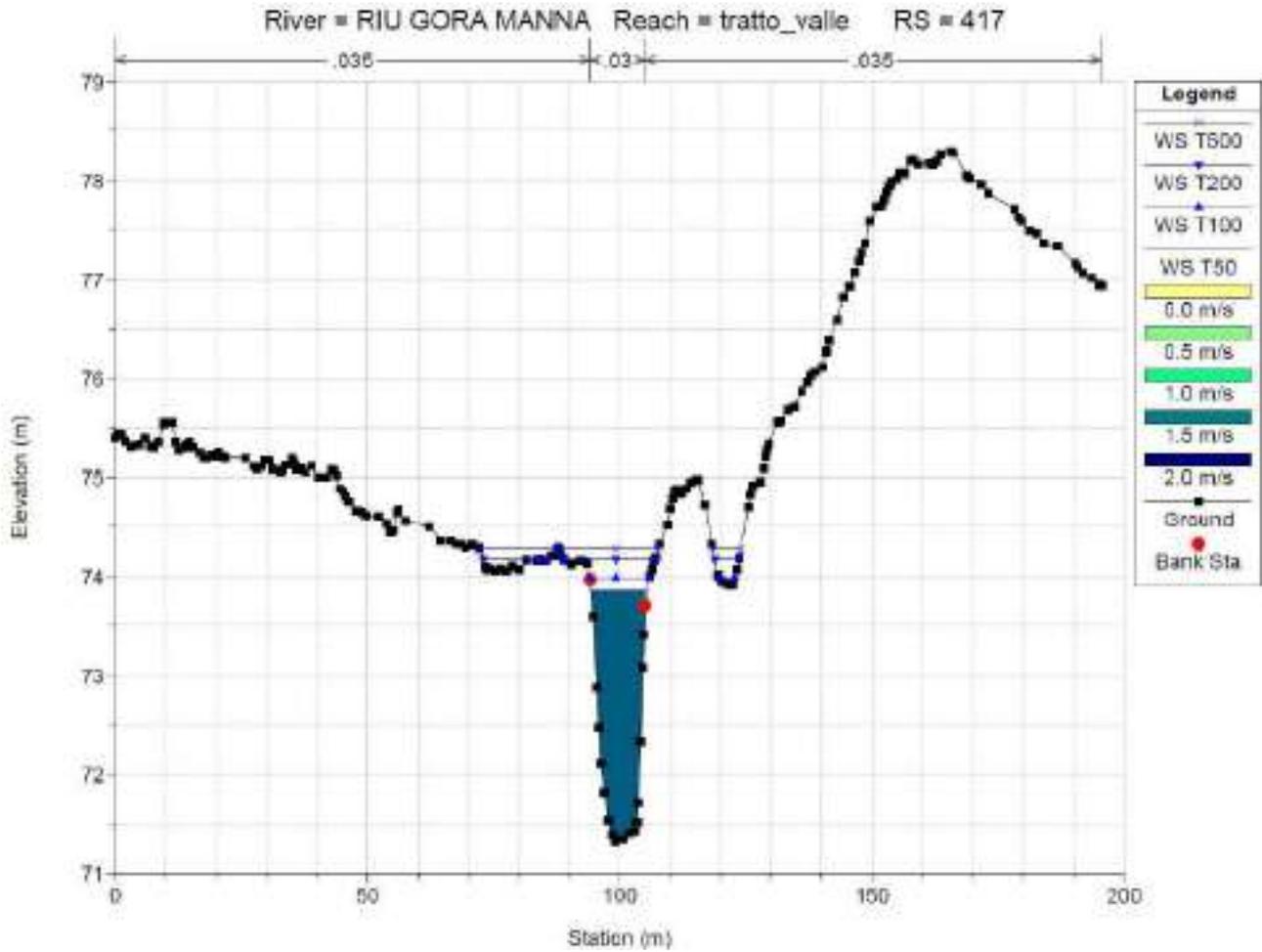


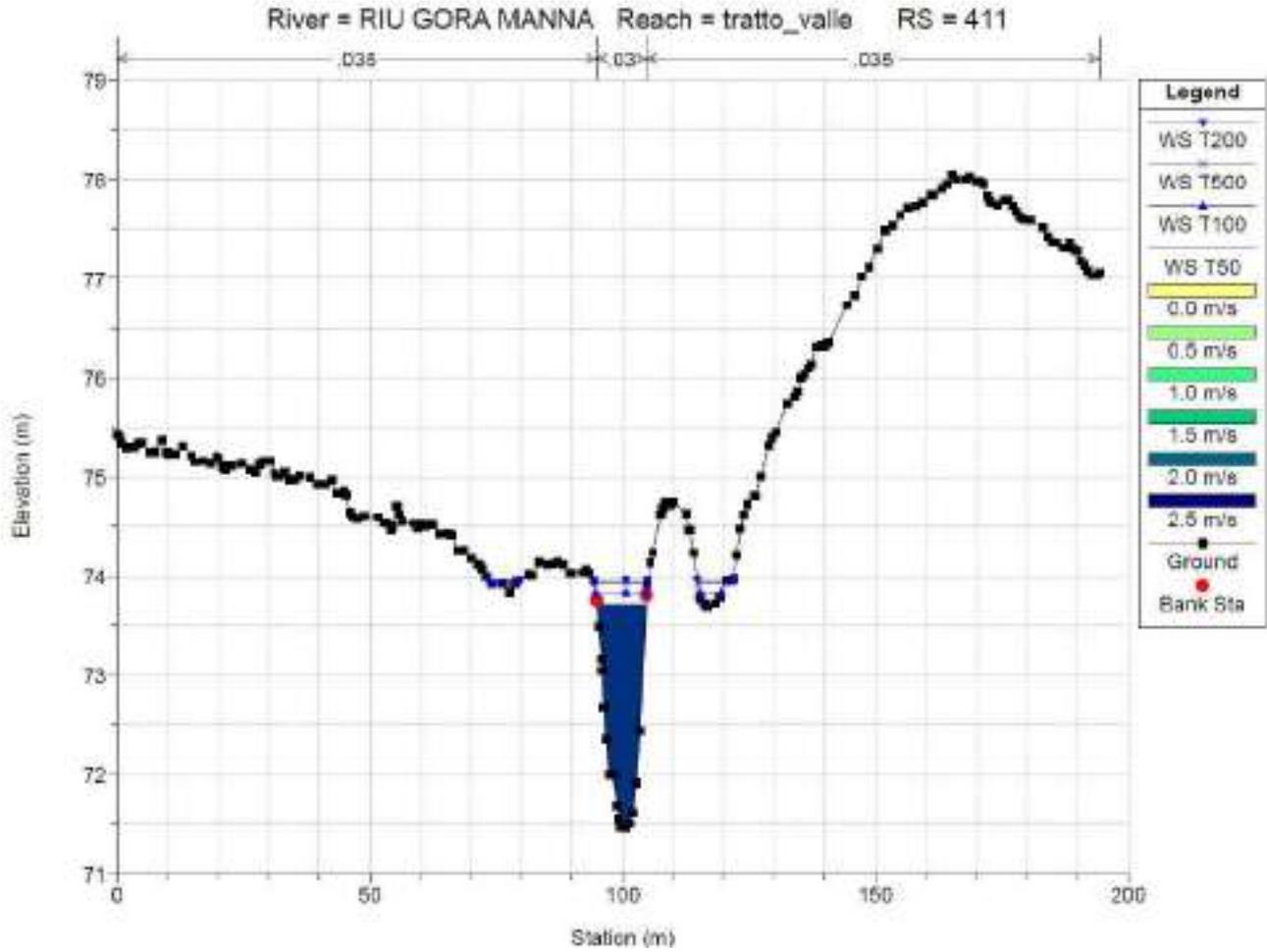


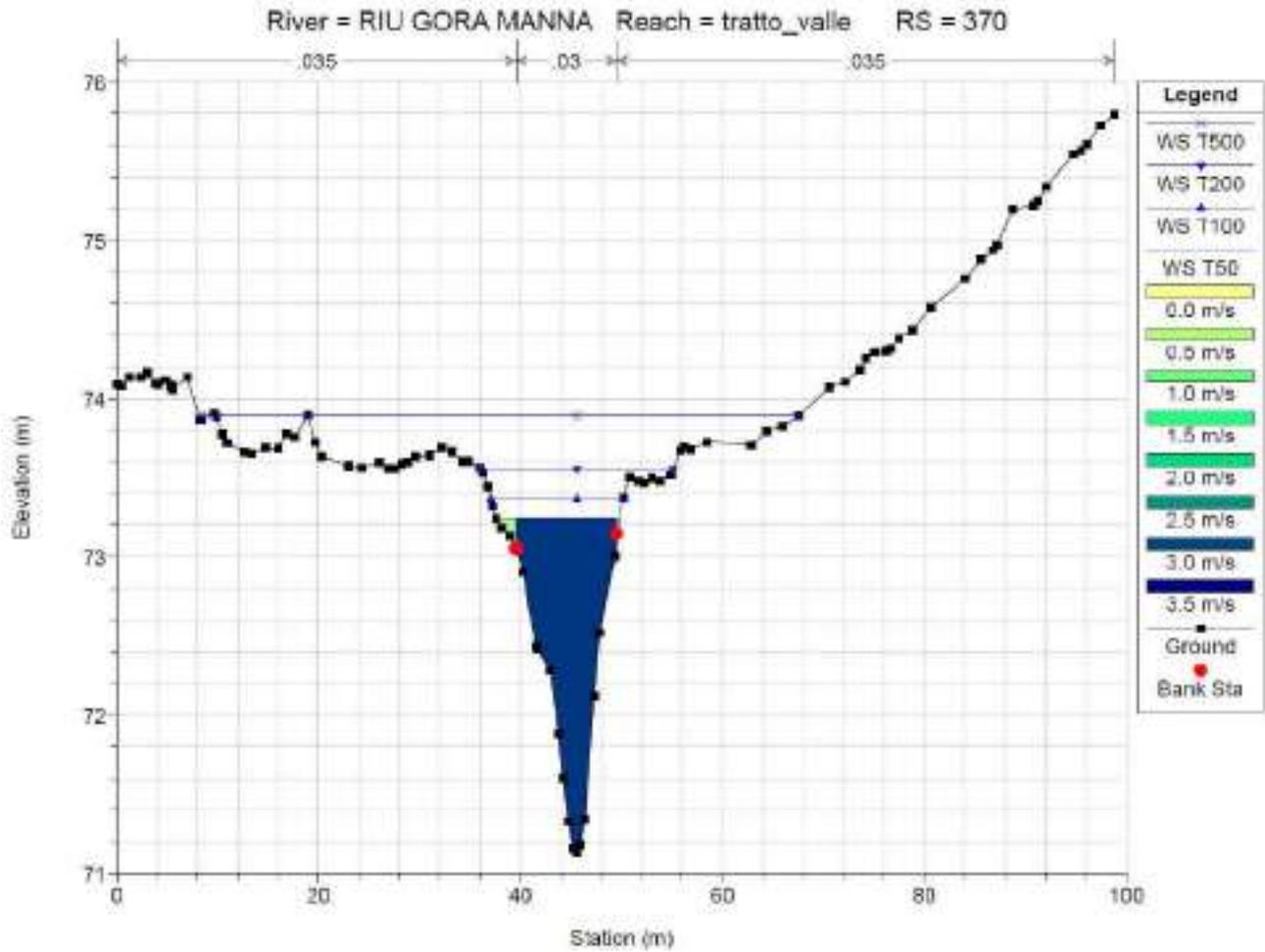


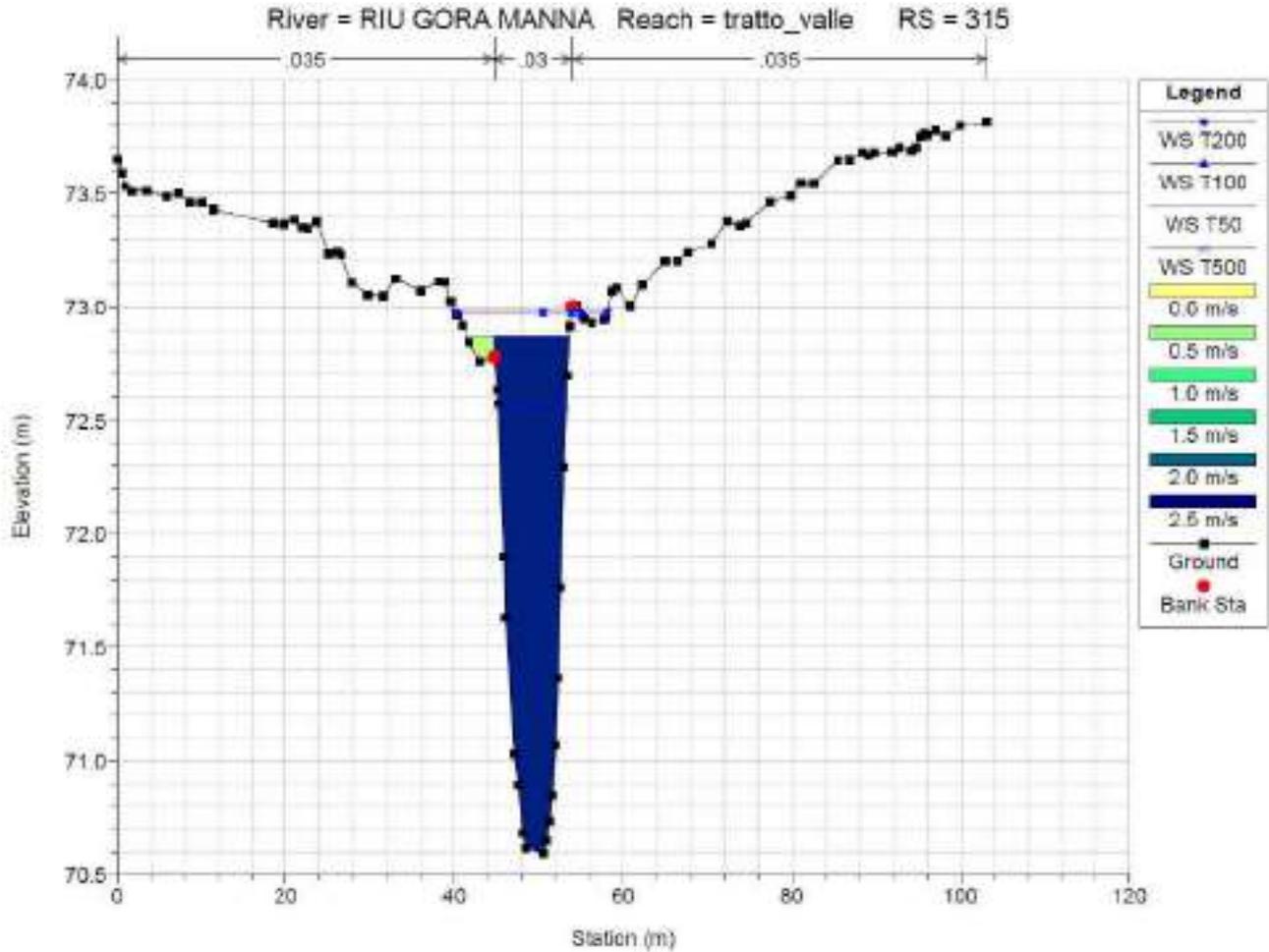


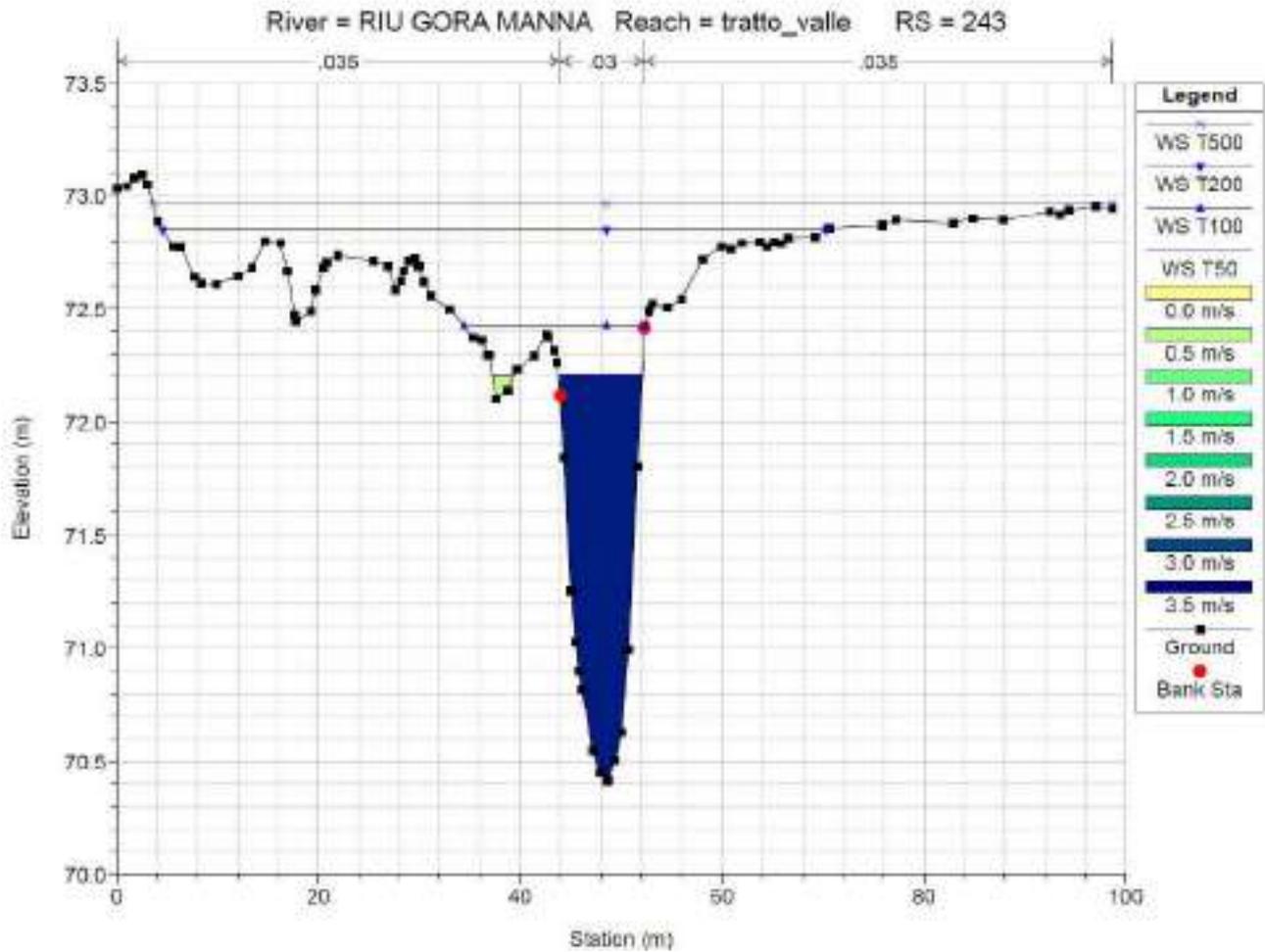


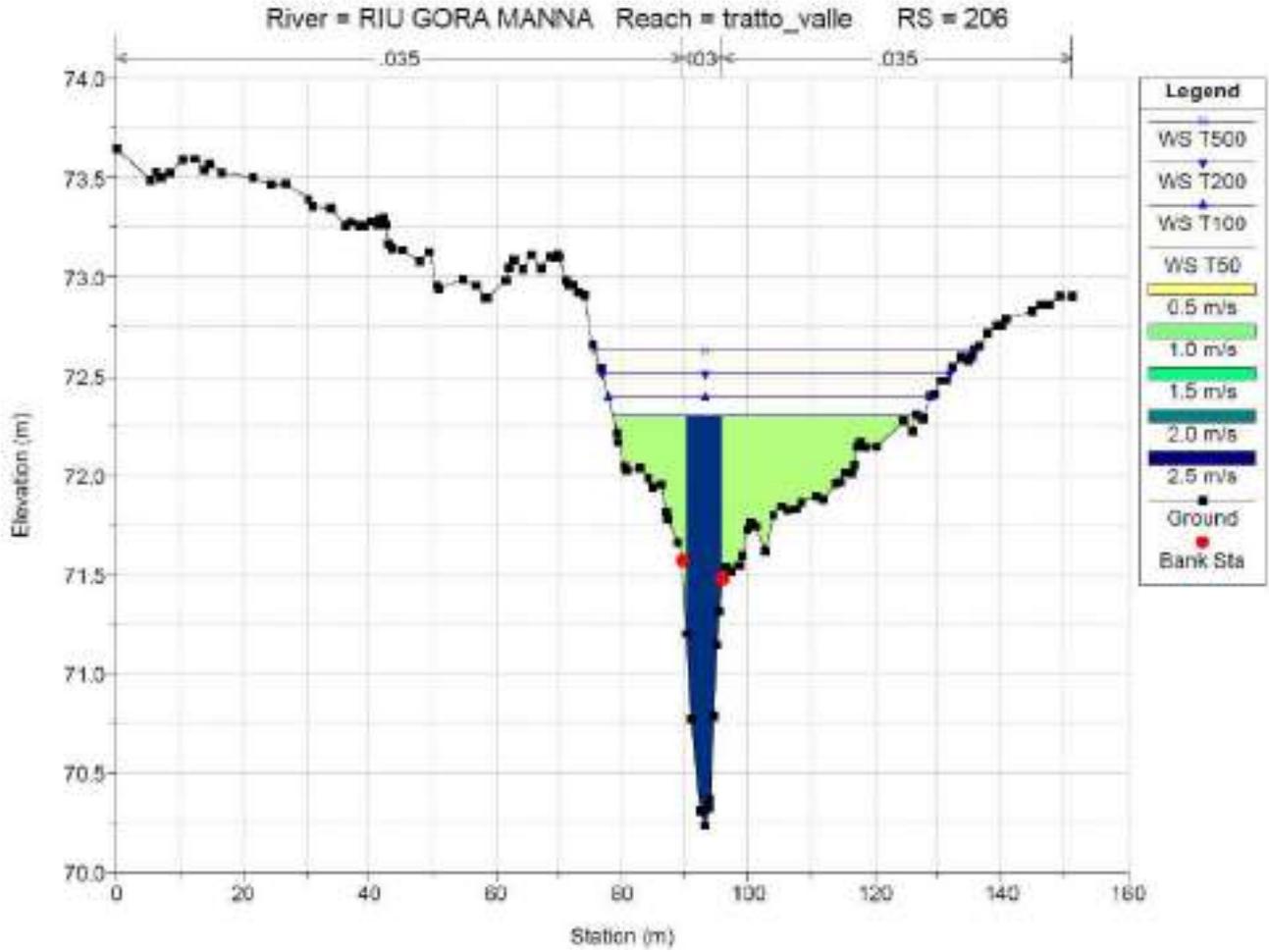


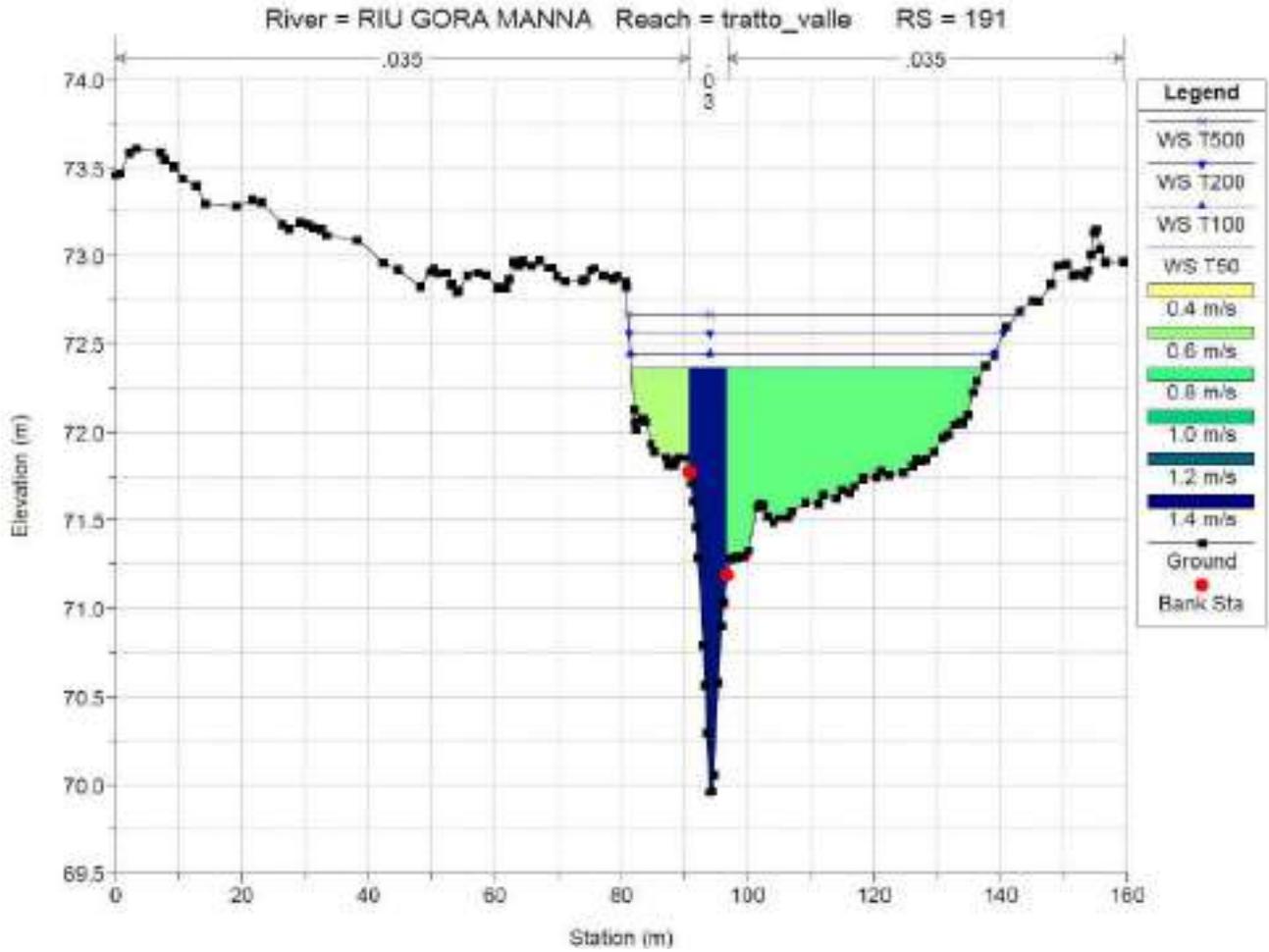


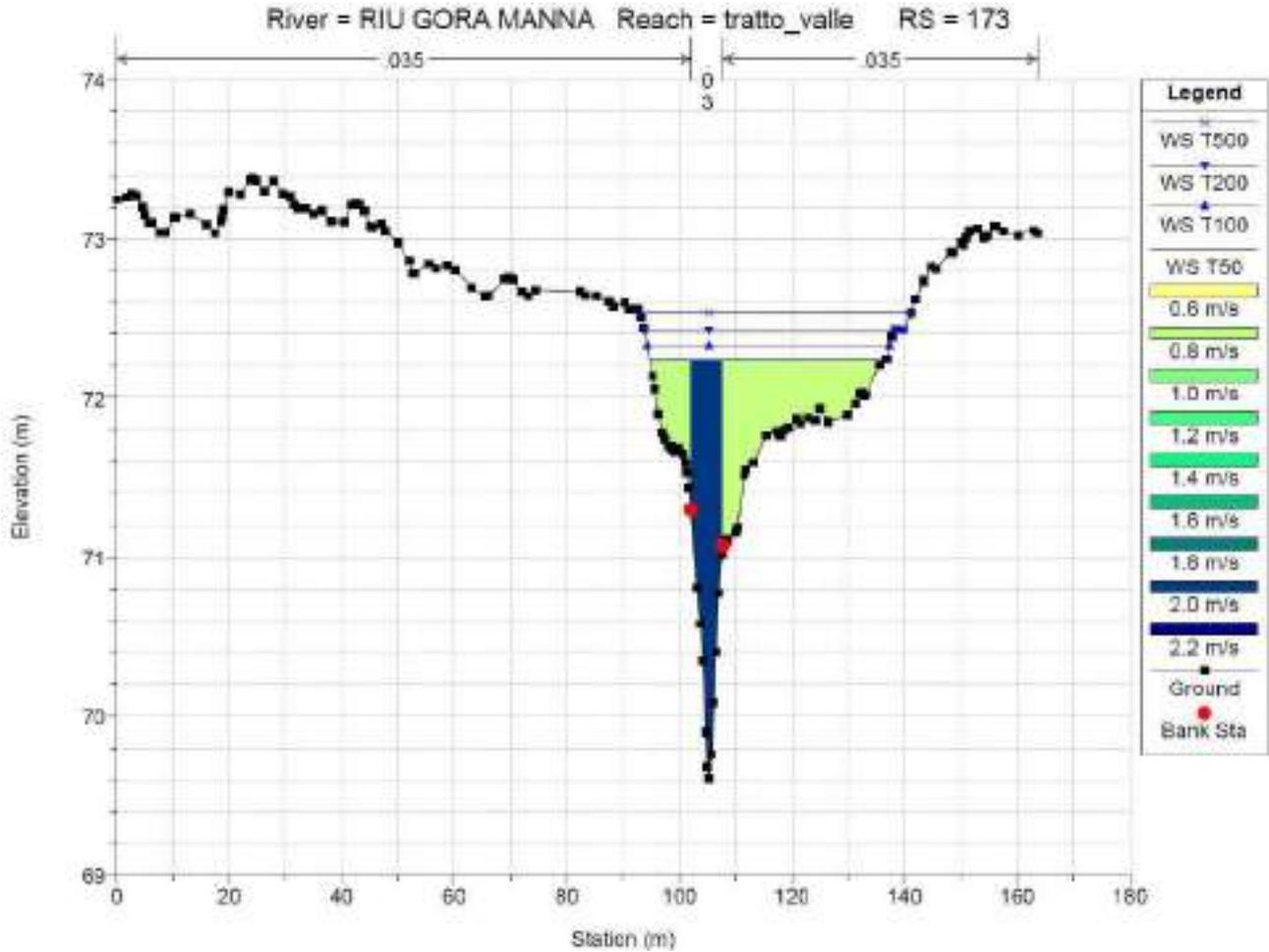


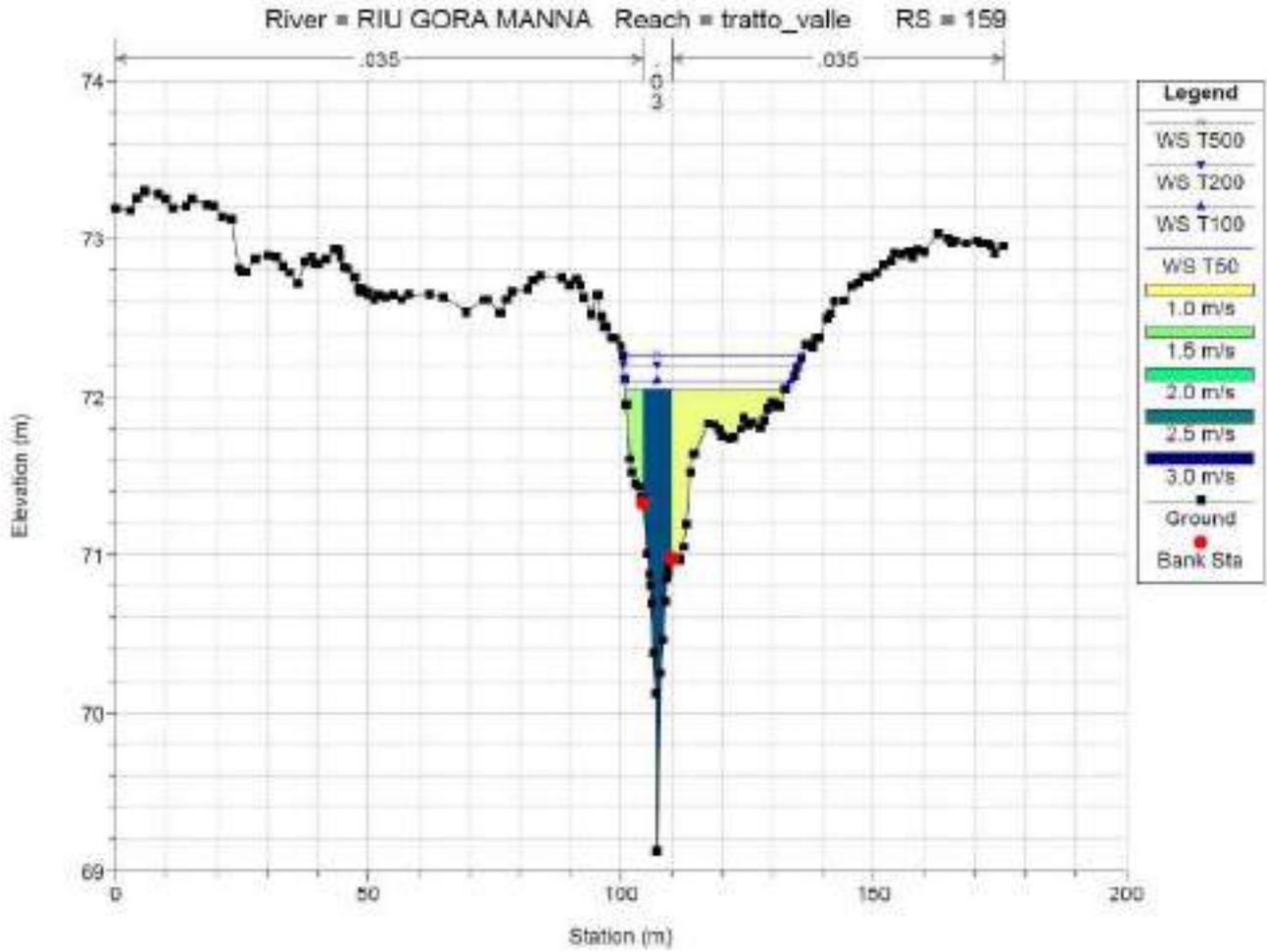


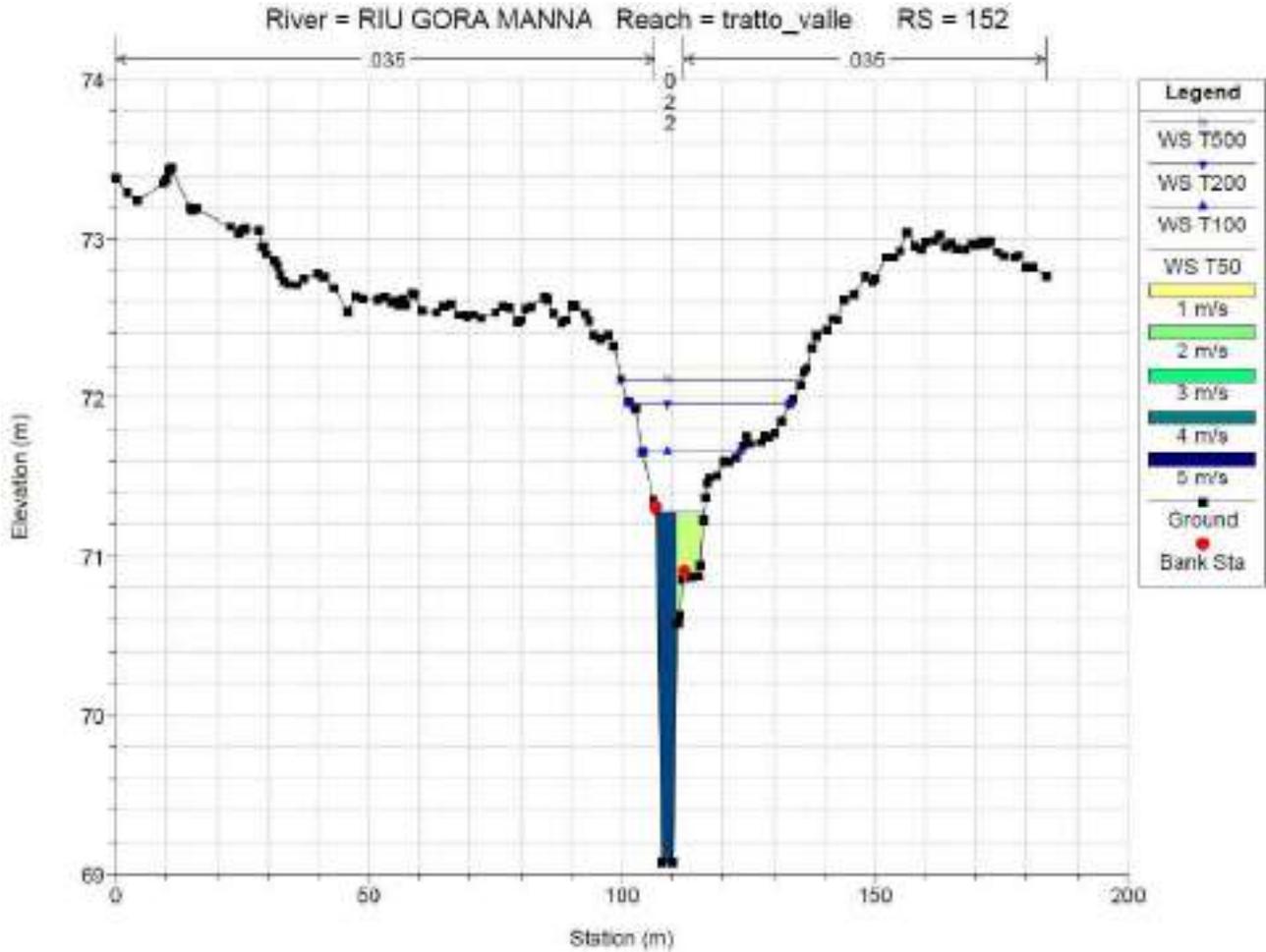


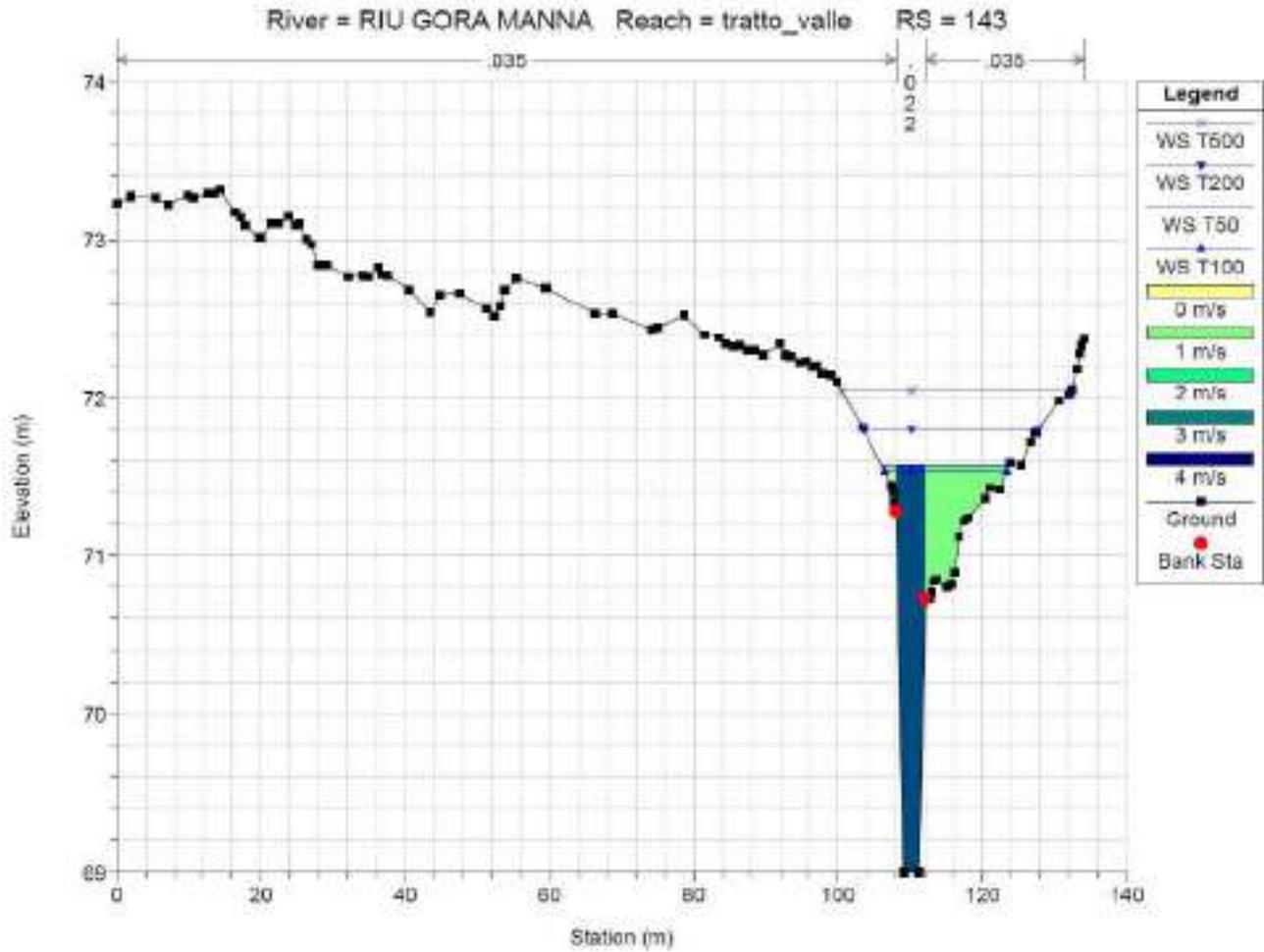


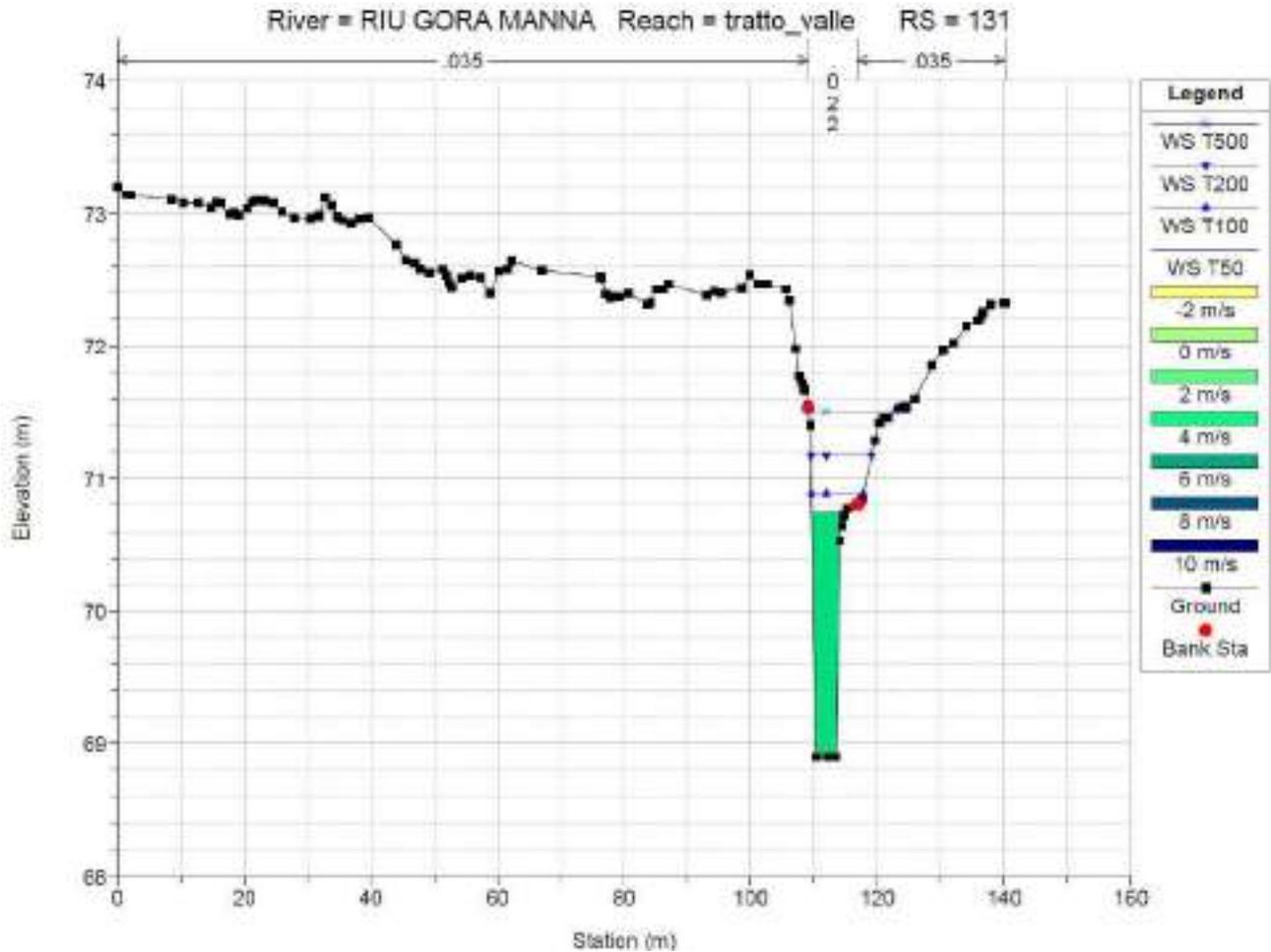


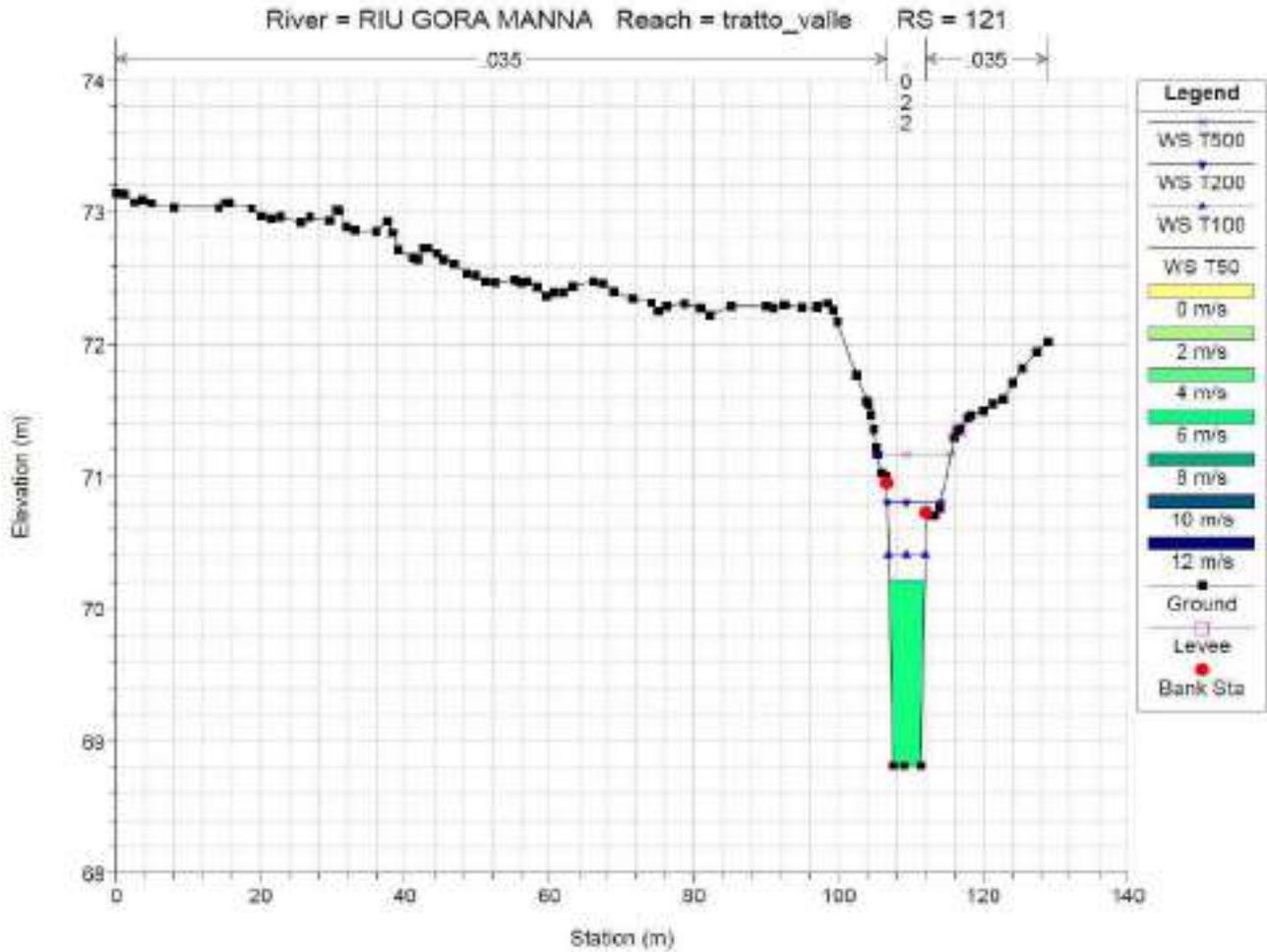


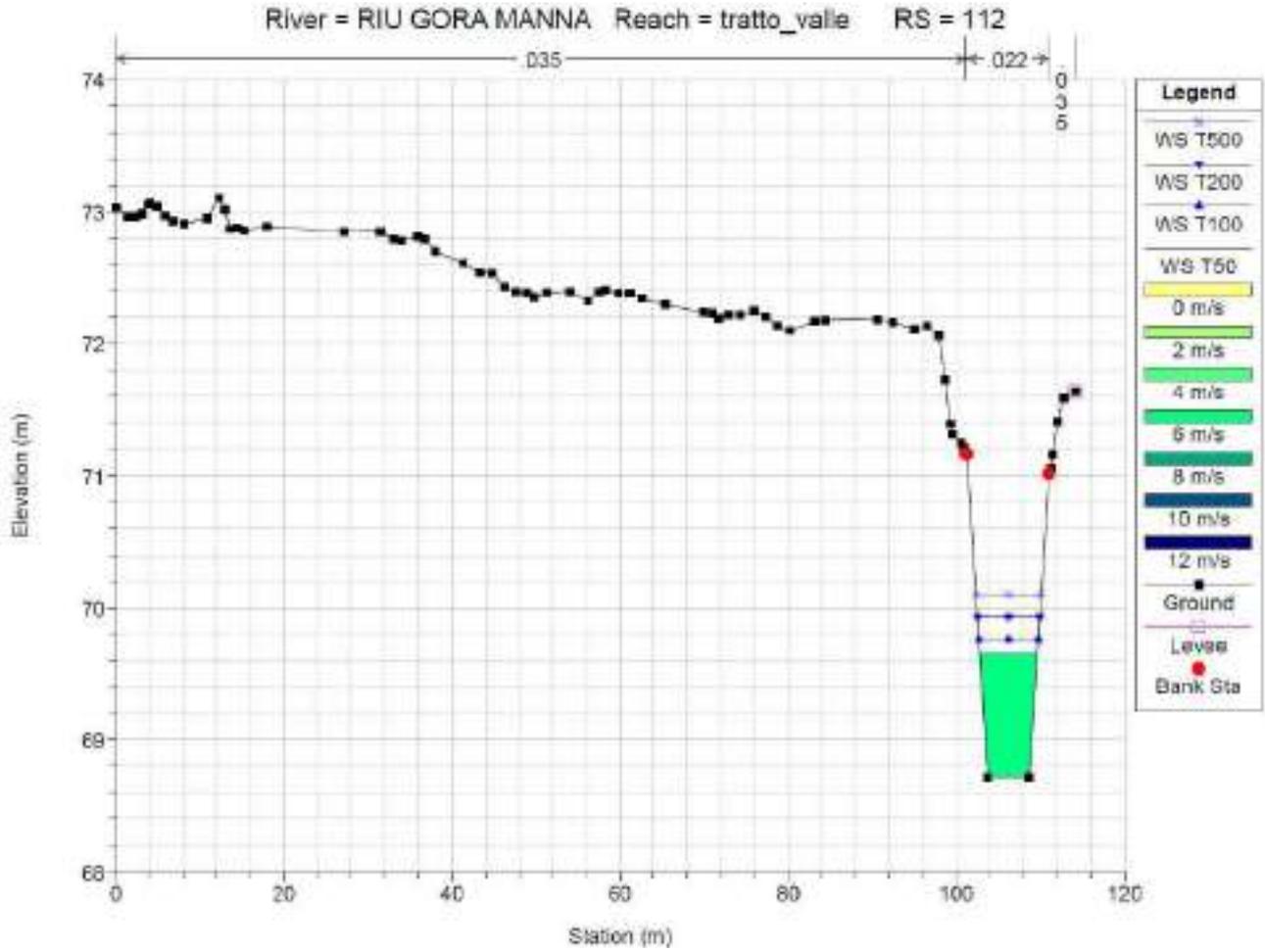


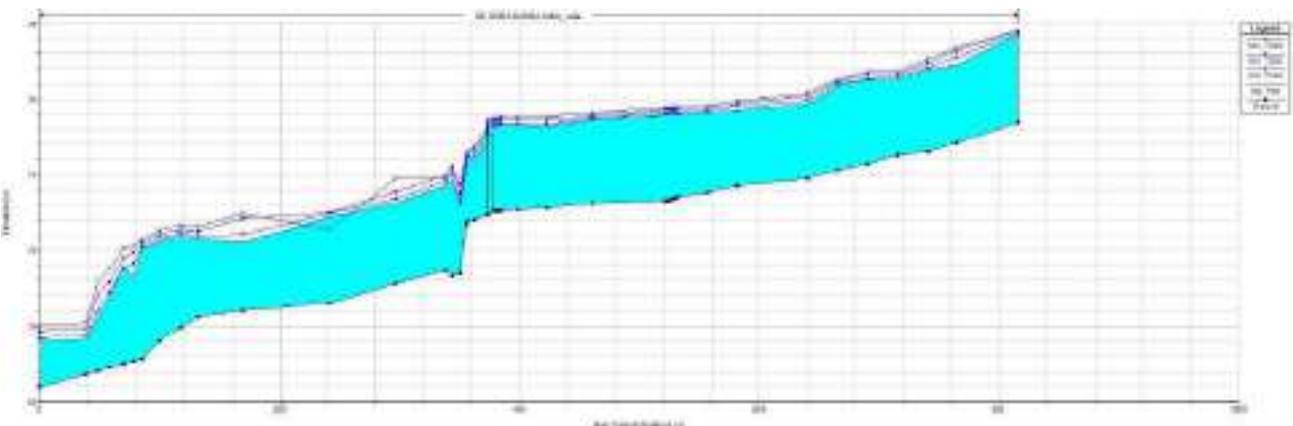
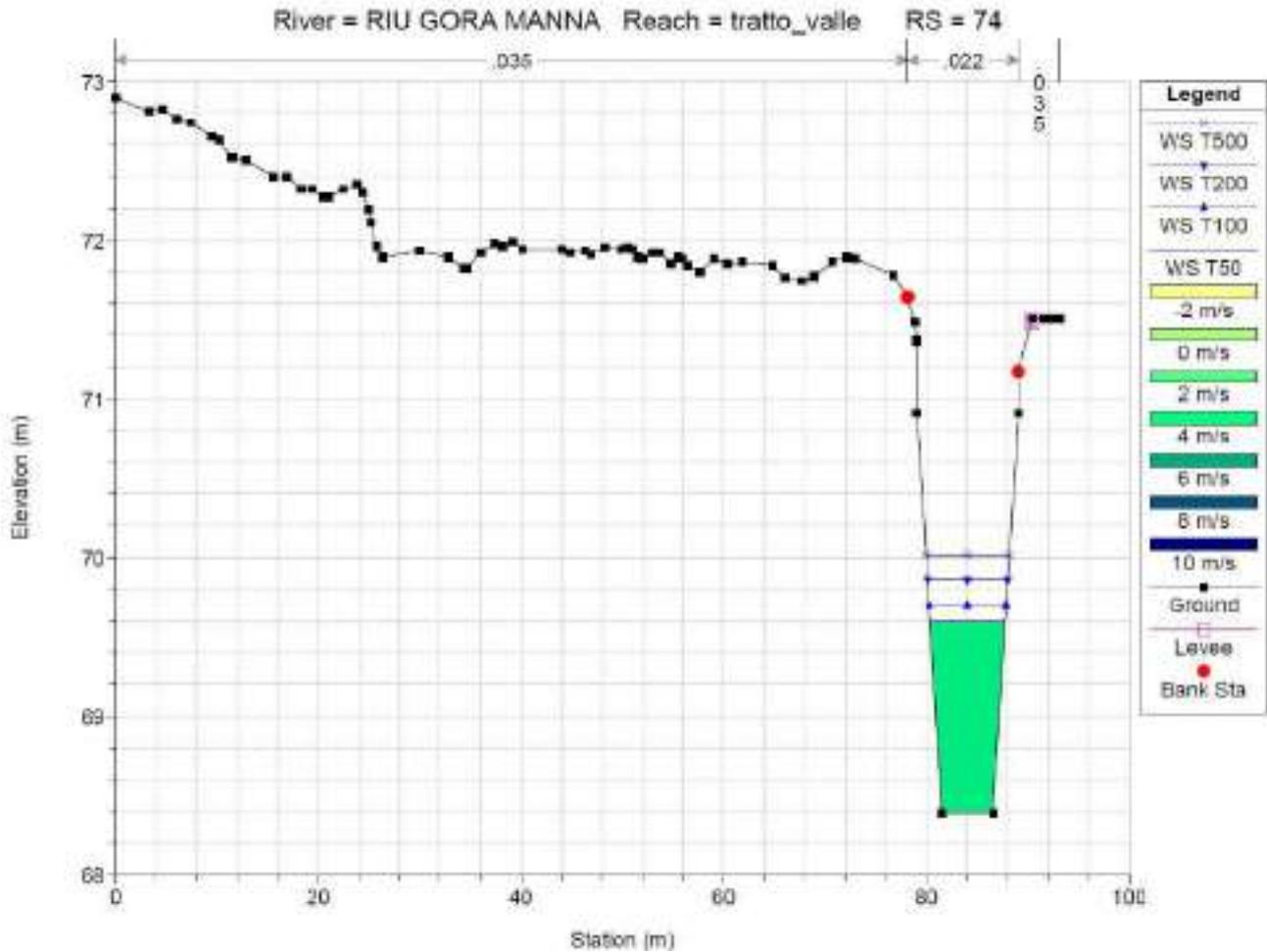












Reach	River Sta	Profile	Q.Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
tratto_valle	850	T50	33.59	75.39	77.7	77.7	77.84	0.003236	2	31.78	116.09	0.57
tratto_valle	850	T100	38.83	75.39	77.73	77.73	77.88	0.003618	2.12	35.11	123.35	0.6
tratto_valle	850	T200	47.42	75.39	77.8	77.8	77.93	0.003674	2.13	43.89	140.03	0.61

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
tratto_valle	850	T500	55.76	75.39	77.84	77.84	77.97	0.003904	2.19	49.8	144.35	0.63
tratto_valle	799	T50	33.59	74.83	76.9	77.11	77.53	0.009837	3.53	10.13	18.55	0.98
tratto_valle	799	T100	38.83	74.83	77.1	77.35	77.59	0.007607	3.23	15.09	29.96	0.87
tratto_valle	799	T200	47.42	74.83	77.27	77.37	77.66	0.006814	3.05	23.32	68.68	0.83
tratto_valle	799	T500	55.76	74.83	77.35	77.46	77.68	0.007609	2.99	29.42	95.55	0.87
tratto_valle	775	T50	33.59	74.62	76.77	76.99	77.28	0.007972	3.21	12.17	32.41	0.9
tratto_valle	775	T100	38.83	74.62	76.84	77.07	77.39	0.008607	3.39	14.68	40.65	0.93
tratto_valle	775	T200	47.42	74.62	76.95	77.17	77.47	0.008359	3.44	19.95	55.5	0.93
tratto_valle	775	T500	55.76	74.62	77.06	77.22	77.49	0.007507	3.33	27.11	81.08	0.88
tratto_valle	749	T50	33.59	74.51	76.52	76.74	77.05	0.009376	3.28	12.12	41.13	0.97
tratto_valle	749	T100	38.83	74.51	76.58	76.79	77.15	0.010137	3.45	15.18	58.79	1.01
tratto_valle	749	T200	47.42	74.51	76.66	76.86	77.22	0.010667	3.6	19.73	63.03	1.04
tratto_valle	749	T500	55.76	74.51	76.72	76.91	77.25	0.010541	3.64	23.99	64.98	1.04
tratto_valle	725	T50	33.59	74.28	76.51	76.57	76.8	0.005847	2.59	18.83	56.14	0.77
tratto_valle	725	T100	38.83	74.28	76.54	76.66	76.87	0.006898	2.85	20.24	58.19	0.84
tratto_valle	725	T200	47.42	74.28	76.65	76.73	76.93	0.006412	2.78	28.09	84.68	0.81
tratto_valle	725	T500	55.76	74.28	76.72	76.79	76.98	0.005902	2.77	34.54	89.72	0.79
tratto_valle	699	T50	33.59	74.12	76.33	76.44	76.64	0.006712	2.58	18.09	64.98	0.82
tratto_valle	699	T100	38.83	74.12	76.39	76.47	76.69	0.006606	2.66	22.26	81.11	0.82
tratto_valle	699	T200	47.42	74.12	76.45	76.55	76.76	0.006842	2.8	27.01	82.79	0.85
tratto_valle	699	T500	55.76	74.12	76.5	76.59	76.82	0.007023	2.92	31.14	84.45	0.86
tratto_valle	674	T50	33.59	73.9	75.86	76.09	76.41	0.010435	3.38	12.09	31.5	1.01
tratto_valle	674	T100	38.83	73.9	75.94	76.14	76.48	0.009782	3.43	14.92	35.44	0.99
tratto_valle	674	T200	47.42	73.9	76.08	76.25	76.56	0.008376	3.4	20.98	51.99	0.93
tratto_valle	674	T500	55.76	73.9	76.16	76.34	76.62	0.007973	3.45	25.38	59.61	0.92
tratto_valle	616	T50	33.59	73.71	75.68	75.71	75.98	0.004949	2.77	19.11	41.59	0.73
tratto_valle	616	T100	38.83	73.71	75.8	75.81	76.05	0.004137	2.66	24.59	59.4	0.67
tratto_valle	616	T200	47.42	73.71	75.87	75.9	76.15	0.004537	2.87	29.36	70.57	0.71
tratto_valle	616	T500	55.76	73.71	75.95	75.99	76.22	0.004472	2.94	35.64	87.52	0.71
tratto_valle	592	T50	33.59	73.54	75.63	75.38	75.7	0.002014	1.5	32.5	64.34	0.45
tratto_valle	592	T100	38.83	73.54	75.69	75.42	75.76	0.00216	1.53	36.61	86.35	0.47
tratto_valle	592	T200	47.42	73.54	75.76	75.5	75.84	0.002243	1.63	43.3	96.67	0.48
tratto_valle	592	T500	55.76	73.54	75.82	75.62	75.91	0.002283	1.7	49.77	104.15	0.49
tratto_valle	567	T50	33.59	73.4	75.58		75.65	0.002007	1.52	36.73	92.36	0.46

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
tratto_valle	567	T100	38.83	73.4	75.63		75.71	0.002005	1.57	41.75	97.7	0.46
tratto_valle	567	T200	47.42	73.4	75.71		75.79	0.002015	1.64	49.44	108.23	0.46
tratto_valle	567	T500	55.76	73.4	75.77		75.85	0.002014	1.69	56.86	116.64	0.47
tratto_valle	564	T50	33.59	73.38	75.59		75.64	0.001267	1.29	43.15	93.64	0.37
tratto_valle	564	T100	38.83	73.38	75.64		75.7	0.0013	1.34	48.13	100.18	0.38
tratto_valle	564	T200	47.42	73.38	75.72		75.77	0.001373	1.43	55.93	112.59	0.39
tratto_valle	564	T500	55.76	73.38	75.78		75.84	0.001392	1.49	63.41	116.31	0.4
tratto_valle	563	T50	33.59	73.37	75.59		75.64	0.001261	1.33	42.02	92.16	0.37
tratto_valle	563	T100	38.83	73.37	75.64		75.69	0.001318	1.38	46.99	99.5	0.38
tratto_valle	563	T200	47.42	73.37	75.71		75.77	0.001425	1.49	54.58	111.59	0.4
tratto_valle	563	T500	55.76	73.37	75.77		75.84	0.001488	1.57	61.76	115.74	0.41
tratto_valle	560	T50	33.59	73.31	75.57		75.63	0.001296	1.53	41.95	90.3	0.38
tratto_valle	560	T100	38.83	73.31	75.62		75.69	0.001362	1.6	46.79	101.73	0.39
tratto_valle	560	T200	47.42	73.31	75.7		75.77	0.001443	1.7	54.78	112.13	0.41
tratto_valle	560	T500	55.76	73.31	75.76		75.83	0.001479	1.76	62.13	114.7	0.42
tratto_valle	557	T50	33.59	73.32	75.58		75.63	0.001082	1.32	44.15	88.15	0.35
tratto_valle	557	T100	38.83	73.32	75.63		75.68	0.001162	1.4	48.79	99.03	0.36
tratto_valle	557	T200	47.42	73.32	75.7		75.76	0.001241	1.49	56.27	106.06	0.38
tratto_valle	557	T500	55.76	73.32	75.76		75.83	0.001299	1.57	63.16	111.62	0.39
tratto_valle	534	T50	33.59	73.26	75.46		75.54	0.001892	1.66	35.57	91.23	0.44
tratto_valle	534	T100	38.83	73.26	75.5		75.59	0.002041	1.75	39.55	102.26	0.46
tratto_valle	534	T200	47.42	73.26	75.56		75.66	0.00227	1.9	45.7	106.88	0.49
tratto_valle	534	T500	55.76	73.26	75.62		75.72	0.002245	1.94	52.96	112.31	0.49
tratto_valle	496	T50	33.59	73.12	75.28	75.28	75.45	0.002539	2.13	29.55	97.74	0.53
tratto_valle	496	T100	38.83	73.12	75.33	75.31	75.49	0.002539	2.17	34.65	100.5	0.53
tratto_valle	496	T200	47.42	73.12	75.45		75.57	0.002031	2.04	47.31	109.01	0.48
tratto_valle	496	T500	55.76	73.12	75.53		75.64	0.001881	2.02	56.61	115.2	0.47
tratto_valle	472	T50	33.59	73.06	75.31	75.01	75.35	0.000952	1.28	46.97	97.35	0.32
tratto_valle	472	T100	38.83	73.06	75.36		75.42	0.001109	1.42	53.15	111.34	0.35
tratto_valle	472	T200	47.42	73.06	75.46		75.51	0.001062	1.44	64.37	120.06	0.35
tratto_valle	472	T500	55.76	73.06	75.54		75.59	0.001053	1.48	73.8	126.98	0.35
tratto_valle	458	T50	33.59	73.05	75.3		75.34	0.000857	1.32	47.6	84.87	0.31
tratto_valle	458	T100	38.83	73.05	75.36		75.4	0.000916	1.39	52.93	93.09	0.32
tratto_valle	458	T200	47.42	73.05	75.45		75.5	0.000991	1.5	62.42	111.32	0.34
tratto_valle	458	T500	55.76	73.05	75.52		75.57	0.001029	1.56	70.92	116.6	0.35

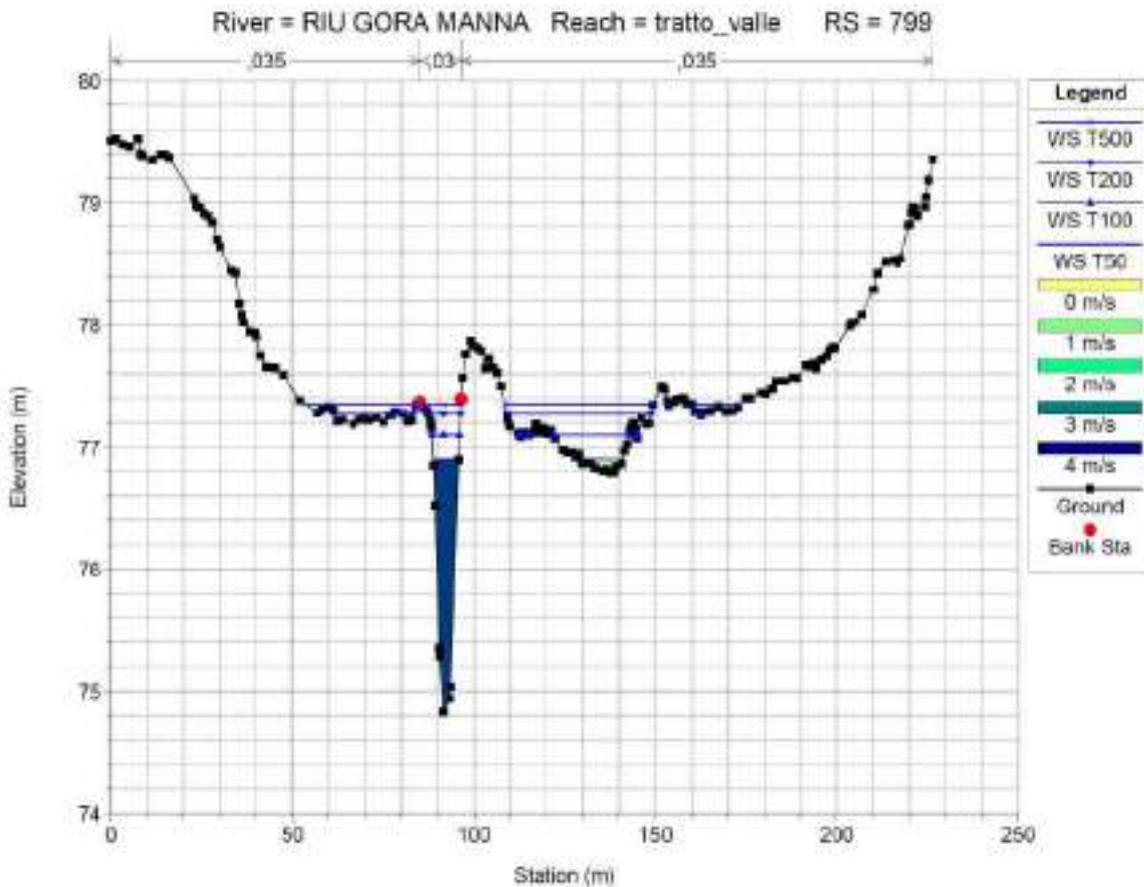
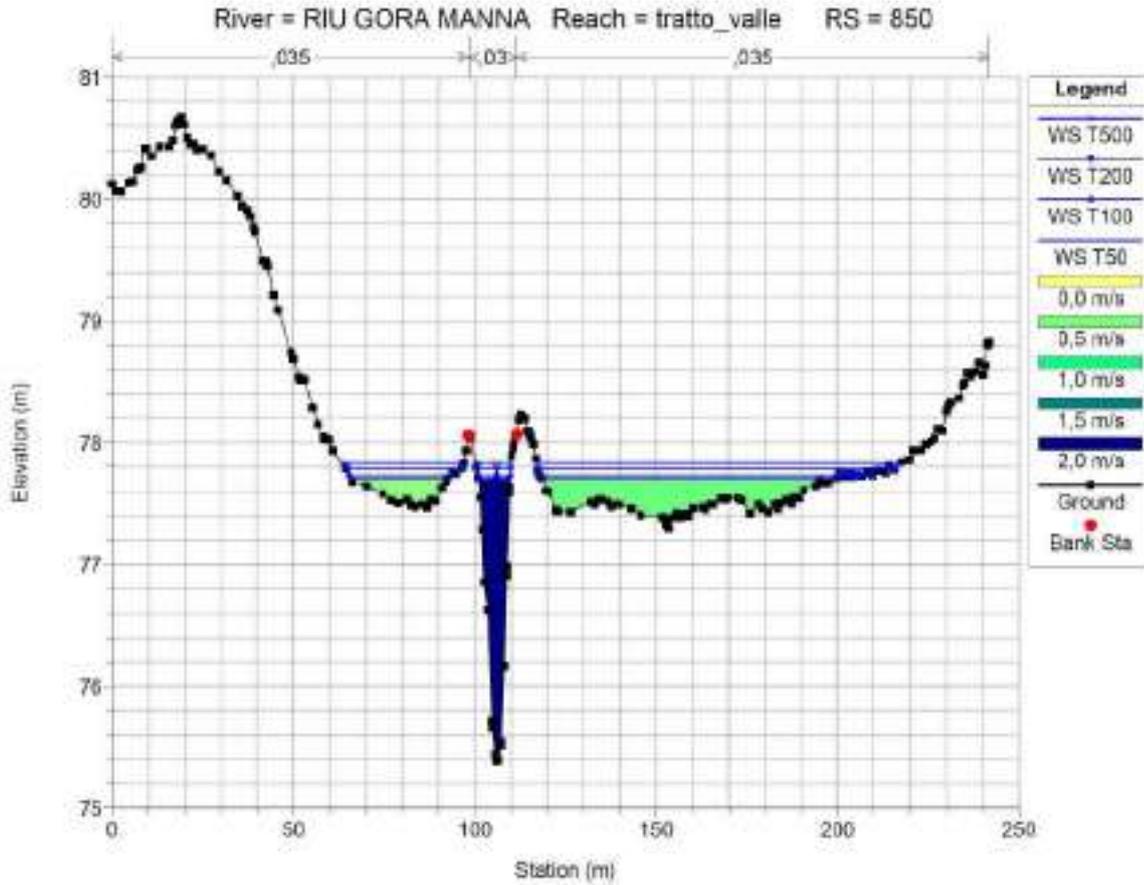
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
tratto_valle	455	T50	33.59	73.03	75.29		75.34	0.000813	1.3	46.74	70.04	0.31
tratto_valle	455	T100	38.83	73.03	75.35		75.4	0.000893	1.4	50.96	80.07	0.33
tratto_valle	455	T200	47.42	73.03	75.44		75.49	0.001051	1.56	58.55	95.38	0.36
tratto_valle	455	T500	55.76	73.03	75.5		75.57	0.001223	1.72	65.14	102.29	0.39
tratto_valle	452	T50	33.59	73.04	75.25	74.96	75.33	0.001437	1.65	35.15	59.83	0.4
tratto_valle	452	T100	38.83	73.04	75.3	75.05	75.39	0.00154	1.74	38.66	67.96	0.42
tratto_valle	452	T200	47.42	73.04	75.4	75.11	75.49	0.001591	1.83	45.6	87.2	0.43
tratto_valle	452	T500	55.76	73.04	75.47	75.21	75.56	0.001638	1.9	52.47	97.81	0.44
tratto_valle	451		Bridge									
tratto_valle	447	T50	33.59	72.93	75.06	75.06	75.29	0.003369	2.48	23.09	52.29	0.61
tratto_valle	447	T100	38.83	72.93	75.13	75.13	75.35	0.003335	2.54	26.73	54.22	0.61
tratto_valle	447	T200	47.42	72.93	75.21	75.21	75.44	0.003422	2.65	31.85	68.43	0.62
tratto_valle	447	T500	55.76	72.93	75.26	75.26	75.52	0.003859	2.87	35.3	76.09	0.67
tratto_valle	436	T50	33.59	72.8	74.35	74.72	75.16	0.013607	4.19	9.57	14.37	1.23
tratto_valle	436	T100	38.83	72.8	74.52	74.79	75.24	0.01048	4.03	12.79	27.03	1.1
tratto_valle	436	T200	47.42	72.8	74.66	74.9	75.34	0.009331	4.07	18.02	42.31	1.06
tratto_valle	436	T500	55.76	72.8	74.74	74.99	75.41	0.009281	4.2	21.74	52.15	1.06
tratto_valle	430	T50	33.59	72.77	74.52	74.68	75	0.008328	3.71	16.39	44.39	0.99
tratto_valle	430	T100	38.83	72.77	74.52	74.73	75.15	0.010946	4.26	16.53	44.52	1.13
tratto_valle	430	T200	47.42	72.77	74.58	74.84	75.27	0.012273	4.63	19	46.56	1.21
tratto_valle	430	T500	55.76	72.77	74.64	74.9	75.35	0.01258	4.81	22.02	51.62	1.23
tratto_valle	429	T50	33.59	72.68	74.27	74.56	74.97	0.014254	3.75	9.64	15.62	1.23
tratto_valle	429	T100	38.83	72.68	74.33	74.63	75.12	0.015006	4.01	10.85	24.12	1.27
tratto_valle	429	T200	47.42	72.68	74.44	74.64	75.25	0.01422	4.18	14.84	41.07	1.26
tratto_valle	429	T500	55.76	72.68	74.52	74.83	75.33	0.013831	4.3	18.06	44.23	1.26
tratto_valle	424	T50	33.59	71.39	73.16	73.7	74.77	0.038192	5.62	5.98	6.43	1.86
tratto_valle	424	T100	38.83	71.39	73.29	73.83	74.93	0.036732	5.68	6.84	7.07	1.84
tratto_valle	424	T200	47.42	71.39	73.51	74.05	75.08	0.029347	5.54	8.58	9.17	1.69
tratto_valle	424	T500	55.76	71.39	73.73	74.18	75.18	0.021516	5.36	10.82	10.89	1.49
tratto_valle	417	T50	33.59	71.32	73.86	72.75	73.99	0.001266	1.64	20.53	11.13	0.38
tratto_valle	417	T100	38.83	71.32	73.99	72.88	74.15	0.001385	1.77	22.17	14.62	0.4
tratto_valle	417	T200	47.42	71.32	74.17	73.08	74.36	0.001513	1.96	26.12	35.4	0.42
tratto_valle	417	T500	55.76	71.32	74.28	73.25	74.5	0.001703	2.15	30.25	40.58	0.45

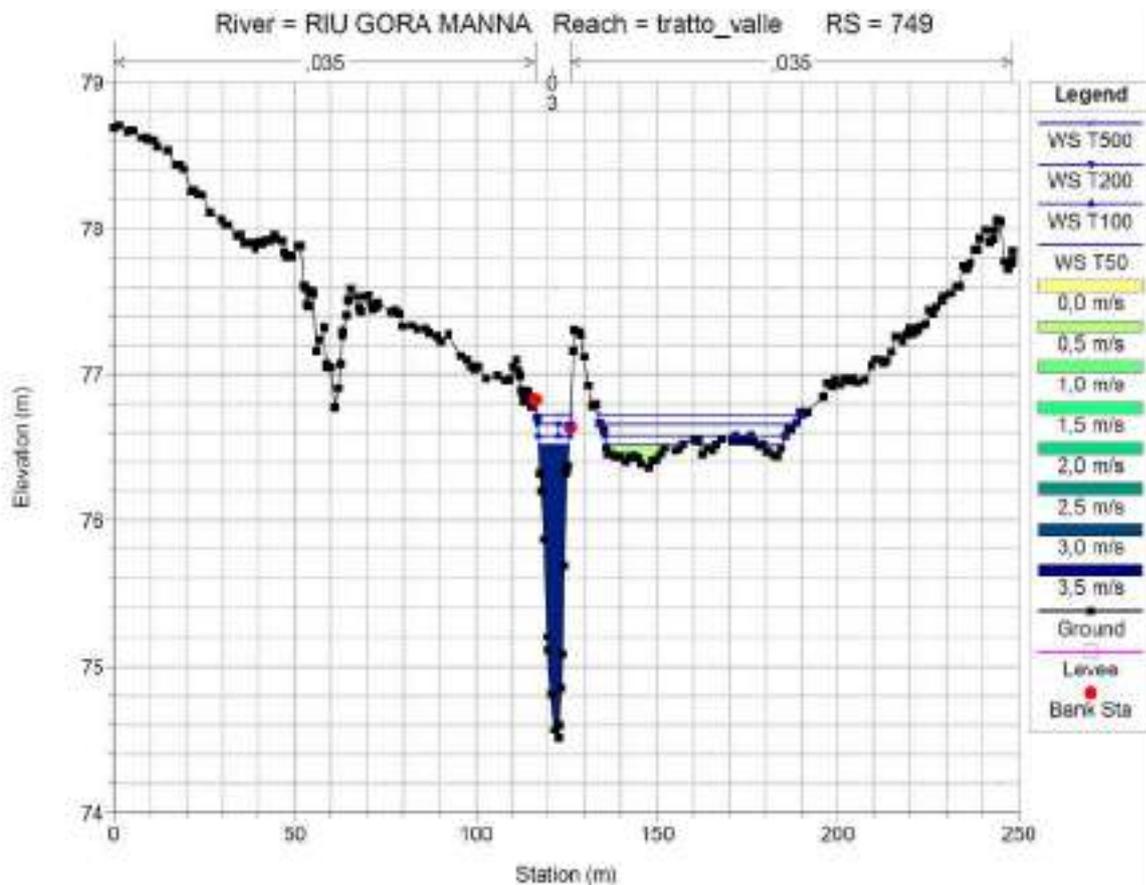
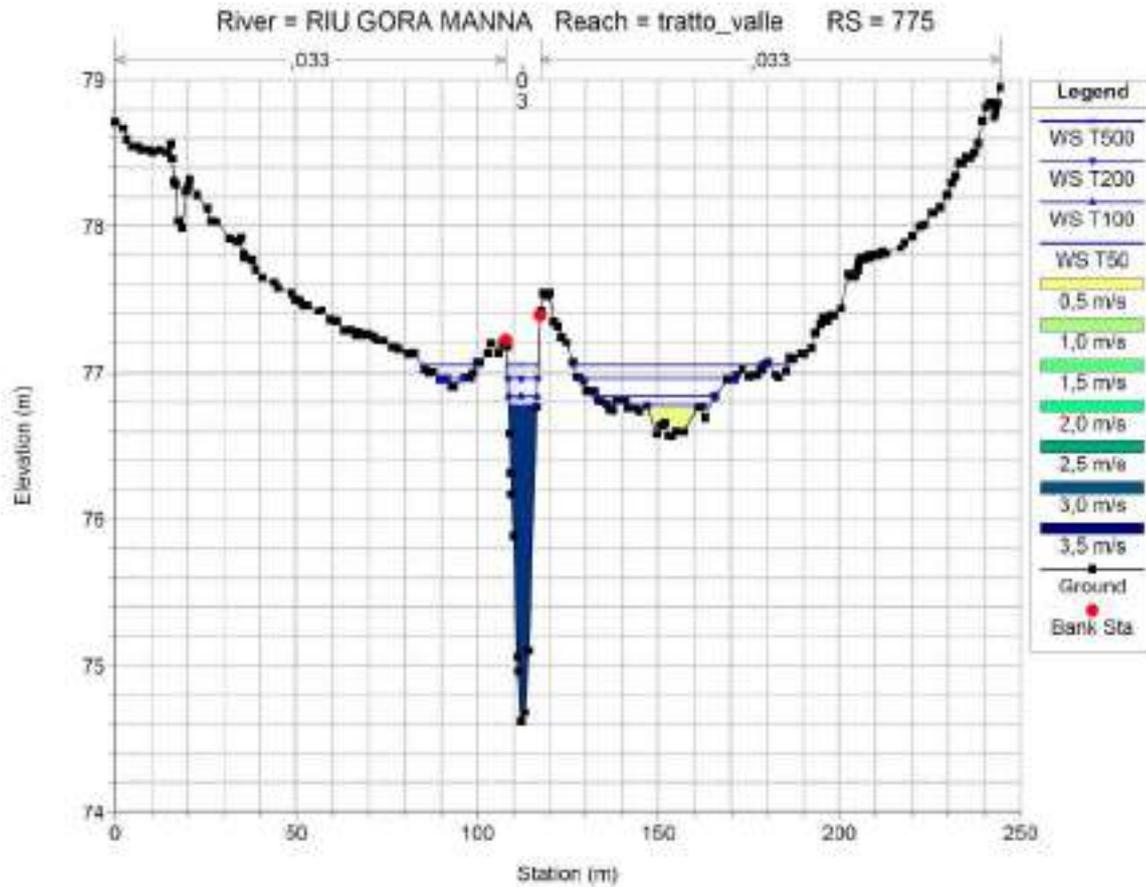
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
tratto_valle	411	T50	33.59	71.46	73.71		73.97	0.00311	2.26	14.88	11.03	0.58
tratto_valle	411	T100	38.83	71.46	73.82		74.12	0.003349	2.42	16.35	14.38	0.61
tratto_valle	411	T200	47.42	71.46	73.97	73.47	74.33	0.003618	2.67	19.13	24.82	0.64
tratto_valle	411	T500	55.76	71.46	73.92	73.66	74.46	0.005621	3.26	17.91	18.79	0.79
tratto_valle	370	T50	33.59	71.13	73.25	73.25	73.74	0.009086	3.13	10.9	12.26	0.97
tratto_valle	370	T100	38.83	71.13	73.36	73.36	73.89	0.008449	3.23	12.39	13.11	0.95
tratto_valle	370	T200	47.42	71.13	73.55	73.55	74.11	0.007386	3.34	15.34	19.05	0.91
tratto_valle	370	T500	55.76	71.13	73.89	73.89	74.21	0.003662	2.72	29.67	58.35	0.66
tratto_valle	315	T50	33.59	70.59	72.87	72.29	73.15	0.00332	2.35	14.55	12.26	0.59
tratto_valle	315	T100	38.83	70.59	72.97	72.44	73.3	0.00373	2.55	15.84	16.74	0.63
tratto_valle	315	T200	47.42	70.59	72.98	72.67	73.46	0.005428	3.08	16.08	17.23	0.77
tratto_valle	315	T500	55.76	70.59	72.55	72.94	73.75	0.016073	4.83	11.54	8.02	1.29
tratto_valle	243	T50	33.59	70.41	72.21	72.18	72.76	0.008554	3.31	10.29	10.53	0.94
tratto_valle	243	T100	38.83	70.41	72.42	72.42	72.93	0.006658	3.18	13.35	17.96	0.85
tratto_valle	243	T200	47.42	70.41	72.85	72.85	73.12	0.002951	2.52	29.13	65.77	0.59
tratto_valle	243	T500	55.76	70.41	72.96	72.96	73.2	0.002649	2.48	38.69	95.13	0.56
tratto_valle	206	T50	33.59	70.23	72.3		72.48	0.002869	2.31	25	48.64	0.58
tratto_valle	206	T100	38.83	70.23	72.39	72.3	72.56	0.002569	2.27	29.79	50.86	0.56
tratto_valle	206	T200	47.42	70.23	72.51	72.39	72.67	0.002436	2.31	36.12	54.9	0.55
tratto_valle	206	T500	55.76	70.23	72.63	72.44	72.78	0.002294	2.34	42.63	59.99	0.54
tratto_valle	191	T50	33.59	69.96	72.36		72.41	0.001111	1.36	39.66	55.81	0.35
tratto_valle	191	T100	38.83	69.96	72.45		72.5	0.001095	1.4	44.35	57.57	0.35
tratto_valle	191	T200	47.42	69.96	72.56		72.62	0.001101	1.47	50.97	59.17	0.35
tratto_valle	191	T500	55.76	69.96	72.67		72.73	0.001093	1.52	57.5	61.48	0.36
tratto_valle	173	T50	33.59	69.6	72.24		72.38	0.002069	2.03	26.94	41.95	0.48
tratto_valle	173	T100	38.83	69.6	72.33		72.46	0.002019	2.06	30.63	43.09	0.48
tratto_valle	173	T200	47.42	69.6	72.43		72.58	0.002106	2.19	35.29	45.44	0.5
tratto_valle	173	T500	55.76	69.6	72.53		72.69	0.002176	2.3	40.1	48.34	0.51
tratto_valle	159	T50	33.59	69.13	72.05	72.05	72.32	0.005655	2.69	18.14	31.59	0.71
tratto_valle	159	T100	38.83	69.13	72.1	72.1	72.4	0.006178	2.88	19.79	32.81	0.75
tratto_valle	159	T200	47.42	69.13	72.2	72.2	72.52	0.006178	3.01	23.32	34.59	0.75
tratto_valle	159	T500	55.76	69.13	72.27	72.27	72.62	0.006821	3.24	25.52	35.69	0.8
tratto_valle	152	T50	33.59	69.07	71.28	71.59	72.21	0.008471	4.46	9.03	9.37	1.08
tratto_valle	152	T100	38.83	69.07	71.66	71.92	72.33	0.005165	3.91	13.94	19.2	0.88
tratto_valle	152	T200	47.42	69.07	71.96	72.06	72.47	0.003649	3.61	21.95	31.42	0.76

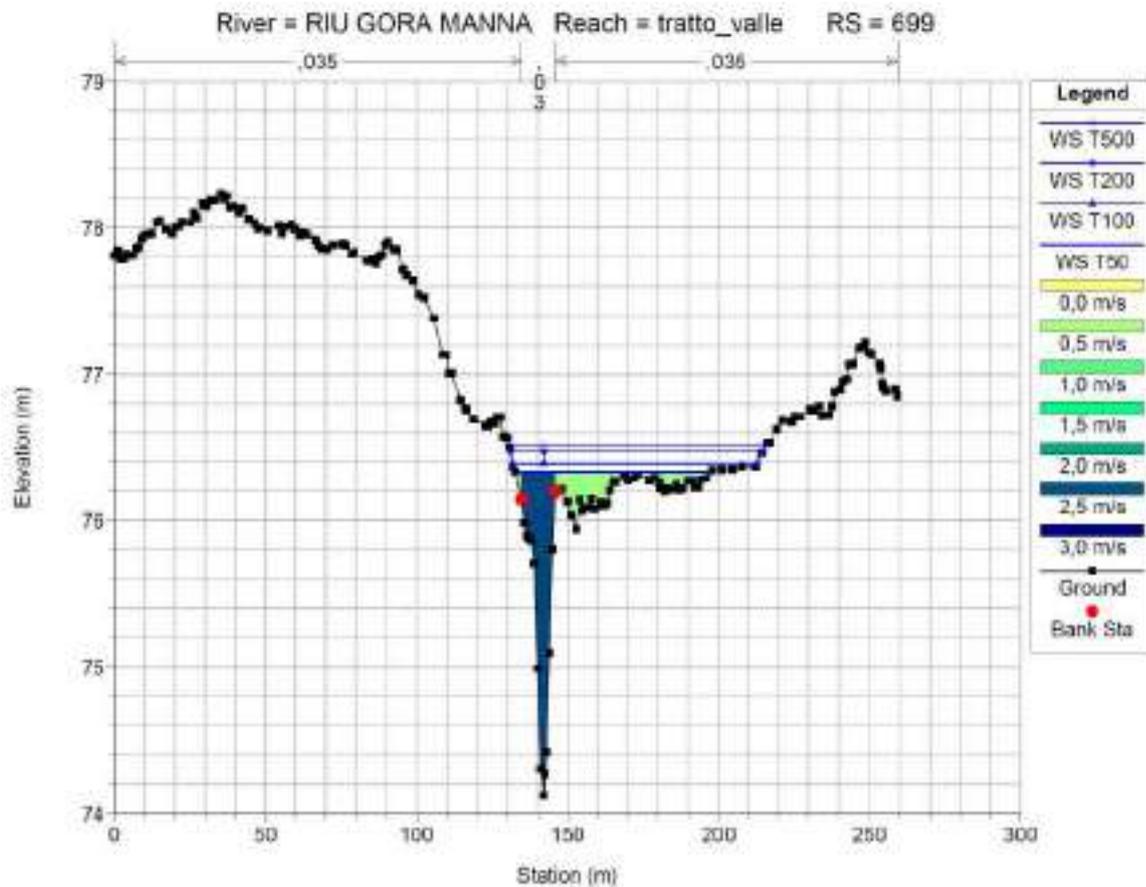
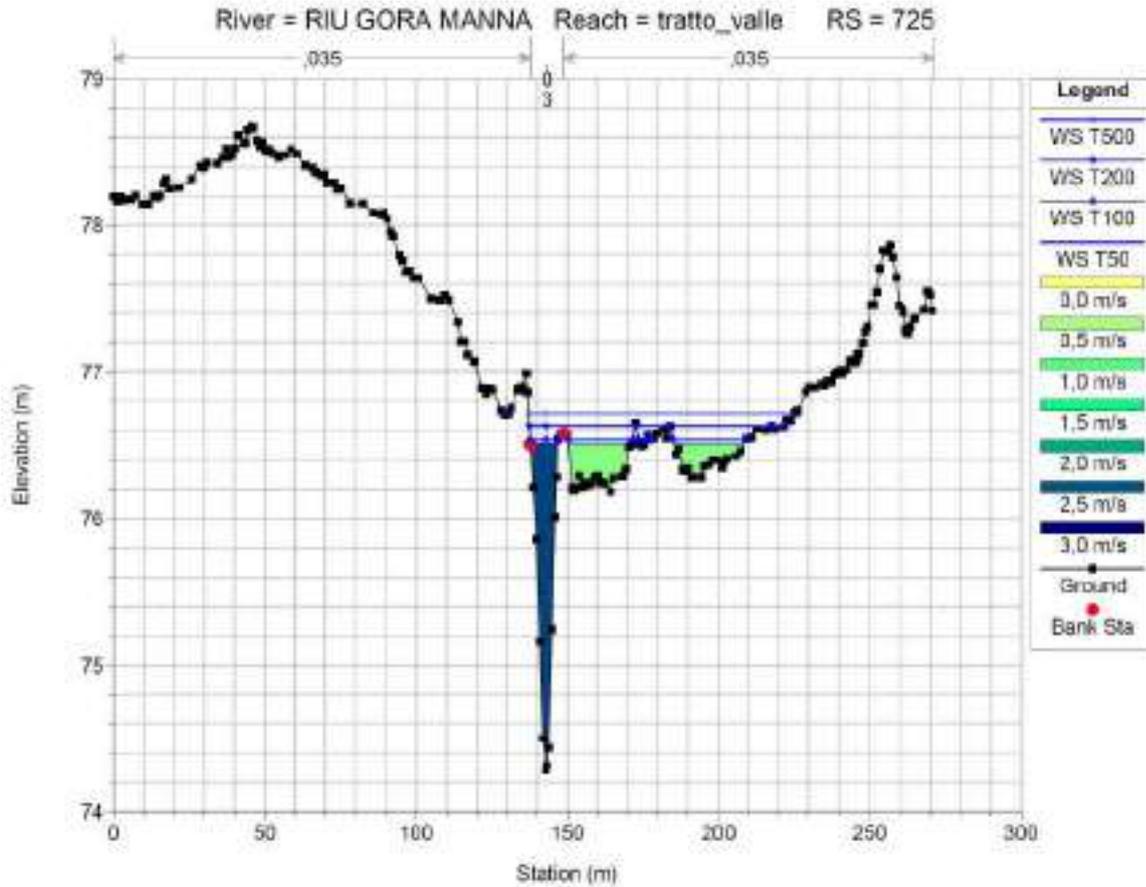
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
tratto_valle	152	T500	55.76	69.07	72.12	72.19	72.58	0.003351	3.61	27.17	35.78	0.73
tratto_valle	143	T50	33.59	69	71.57	71.57	72.08	0.004024	3.4	13.52	17.71	0.76
tratto_valle	143	T100	38.83	69	71.53	71.76	72.27	0.005909	4.07	12.86	16.97	0.92
tratto_valle	143	T200	47.42	69	71.8	71.94	72.42	0.004594	3.91	18.53	24.27	0.83
tratto_valle	143	T500	55.76	69	72.05	72.1	72.55	0.003599	3.7	25.33	31.82	0.74
tratto_valle	131	T50	33.59	68.9	70.74	71.12	71.93	0.012931	4.83	6.96	5.32	1.35
tratto_valle	131	T100	38.83	68.9	70.88	71.27	72.12	0.015326	4.92	7.93	8.05	1.5
tratto_valle	131	T200	47.42	68.9	71.17	71.44	72.29	0.010703	4.71	10.46	9.54	1.28
tratto_valle	131	T500	55.76	68.9	71.51	71.78	72.45	0.007318	4.35	14.06	13.55	1.09
tratto_valle	121	T50	33.59	68.81	70.21	70.67	71.75	0.016828	5.49	6.12	4.93	1.57
tratto_valle	121	T100	38.83	68.81	70.41	70.92	71.94	0.01492	5.48	7.09	5.08	1.48
tratto_valle	121	T200	47.42	68.81	70.8	71.23	72.16	0.010759	5.16	9.34	7.45	1.26
tratto_valle	121	T500	55.76	68.81	71.17	71.35	72.35	0.007611	4.87	12.46	10.11	1.09
tratto_valle	112	T50	33.59	68.72	69.66	70.22	71.51	0.02687	6.03	5.57	6.88	2.14
tratto_valle	112	T100	38.83	68.72	69.76	70.35	71.71	0.025256	6.18	6.28	7.08	2.09
tratto_valle	112	T200	47.42	68.72	69.93	70.56	71.95	0.022151	6.28	7.55	7.43	1.99
tratto_valle	112	T500	55.76	68.72	70.1	70.74	72.15	0.019725	6.34	8.8	7.76	1.9
tratto_valle	74	T50	33.59	68.39	69.59	69.89	70.63	0.011461	4.5	7.46	7.39	1.43
tratto_valle	74	T100	38.83	68.39	69.69	70.02	70.84	0.011684	4.73	8.2	7.59	1.45
tratto_valle	74	T200	47.42	68.39	69.86	70.23	71.13	0.011524	5	9.48	7.91	1.46
tratto_valle	74	T500	55.76	68.39	70.01	70.42	71.39	0.011226	5.2	10.73	8.22	1.45

7.11 Risultati simulazione stato di progetto

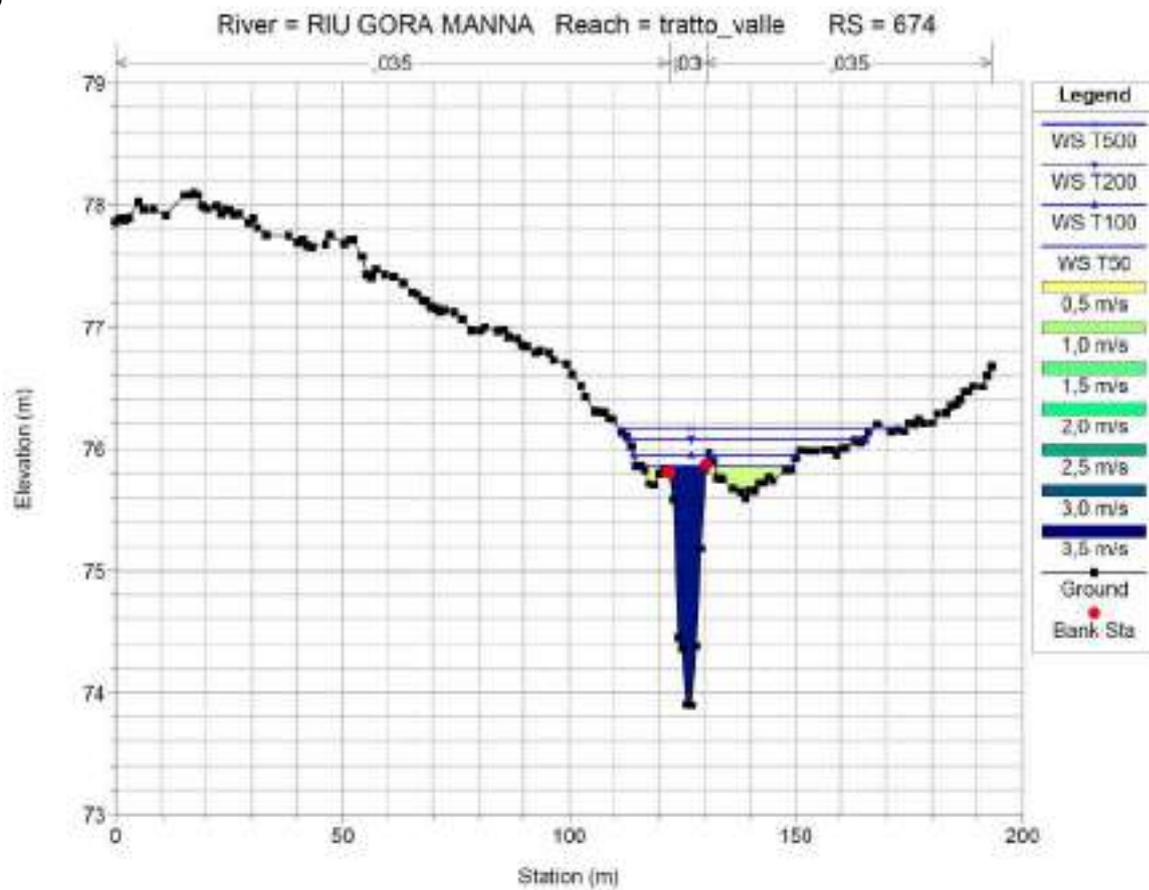
Di seguito si riportano gli output della modellazione idraulica predisposta per gli interventi in progetto: sezioni, profilo idraulico e tabelle riepilogative delle sezioni e del ponte.

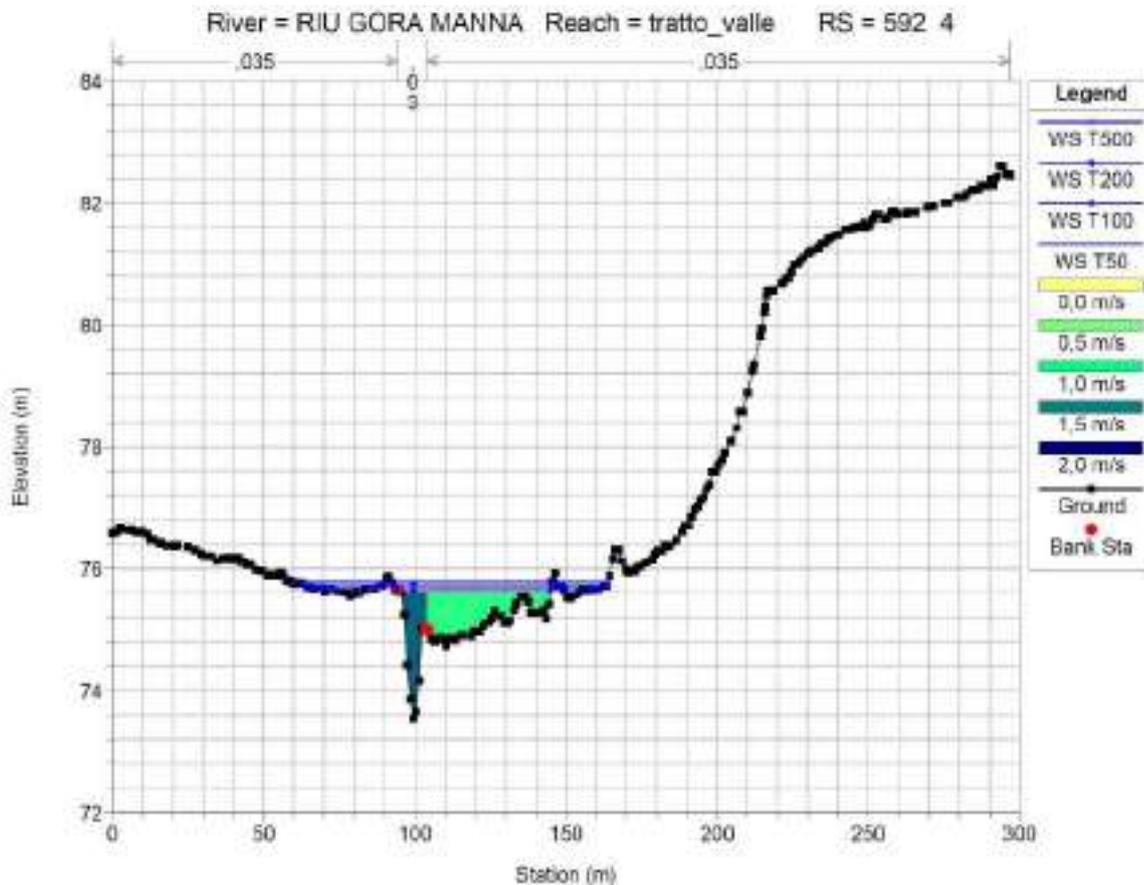
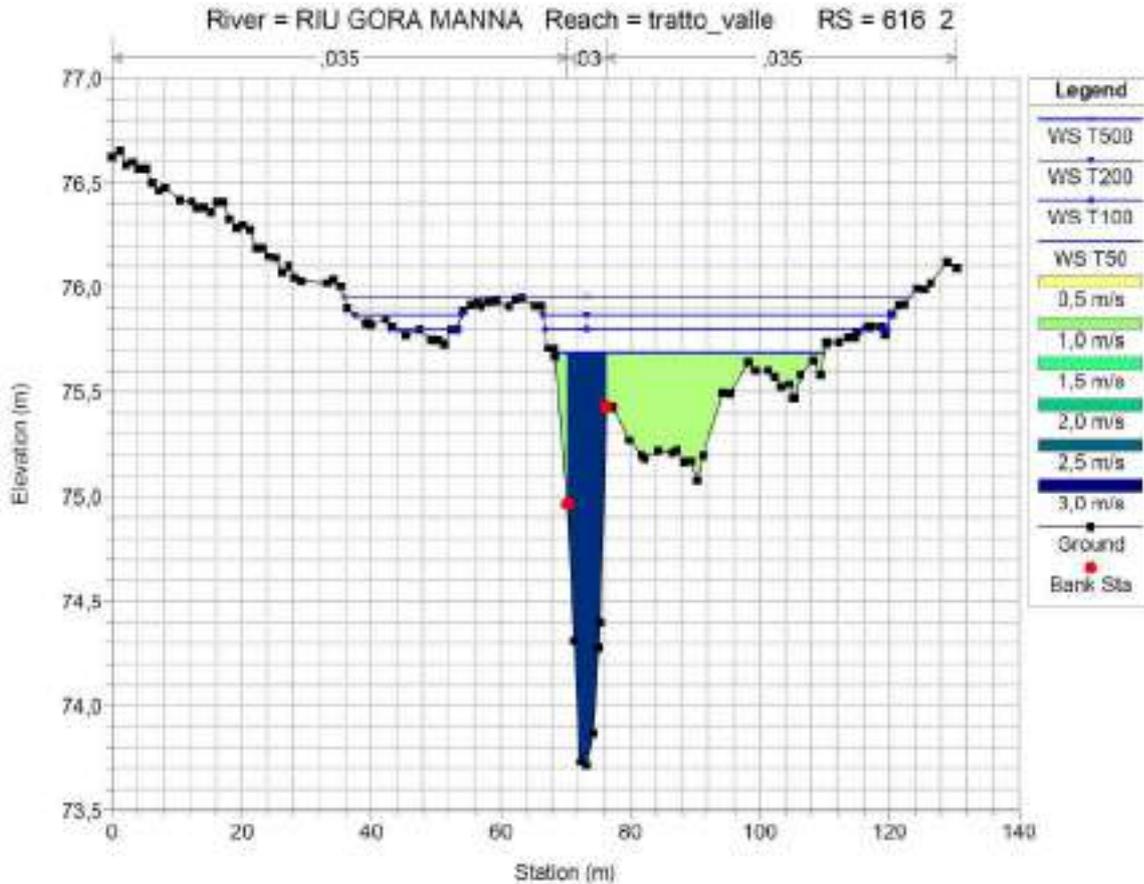


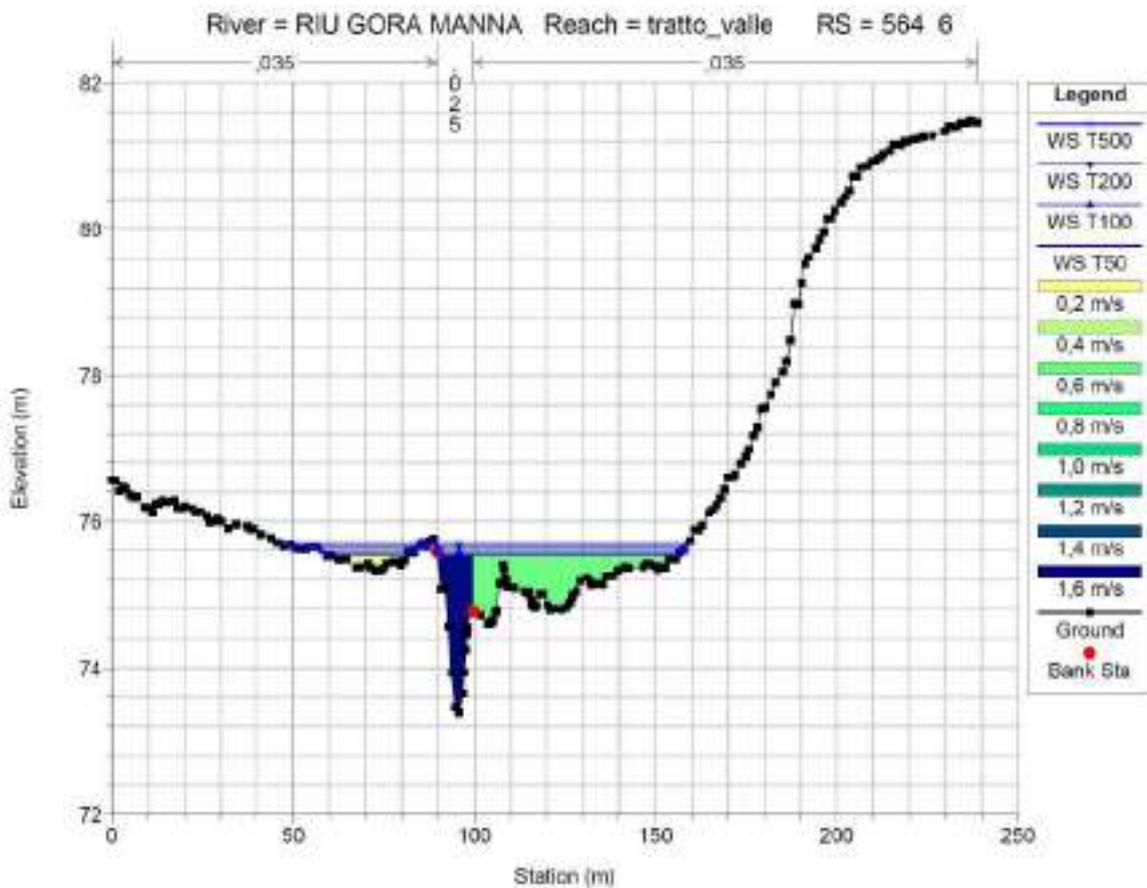
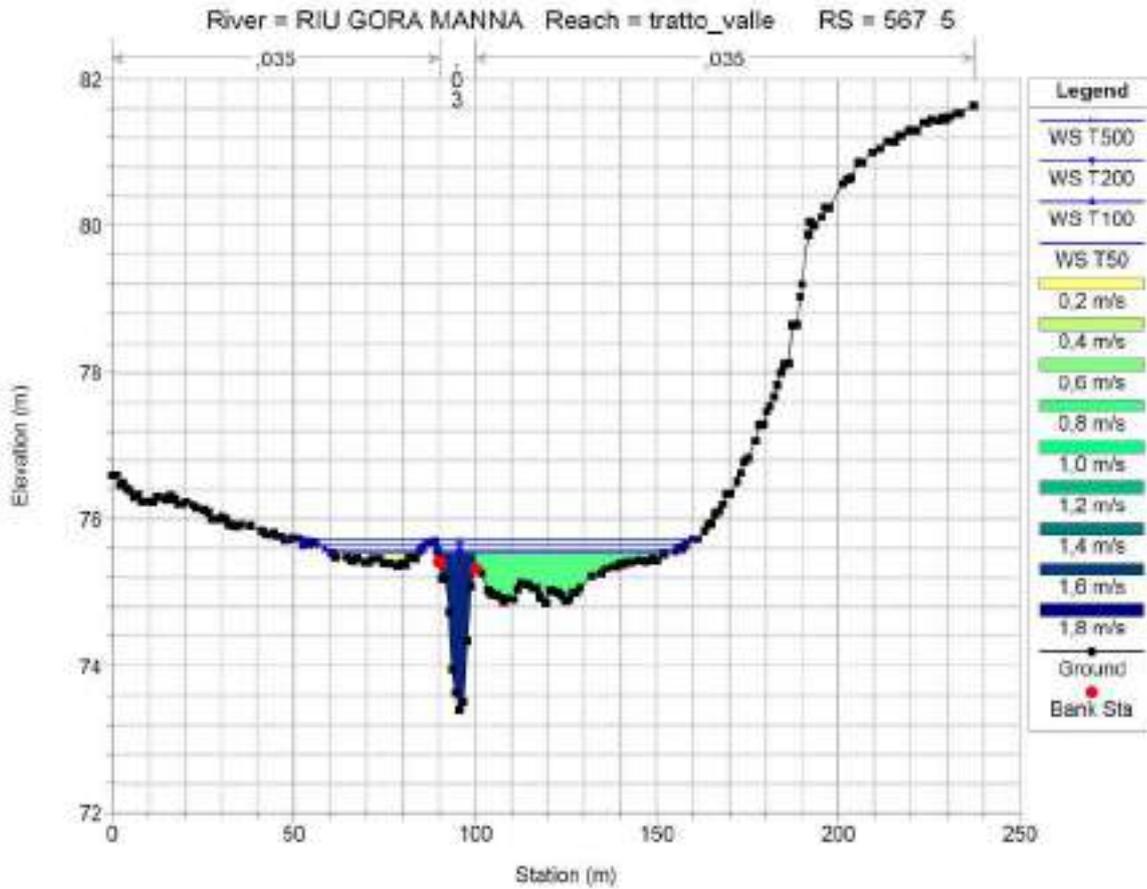


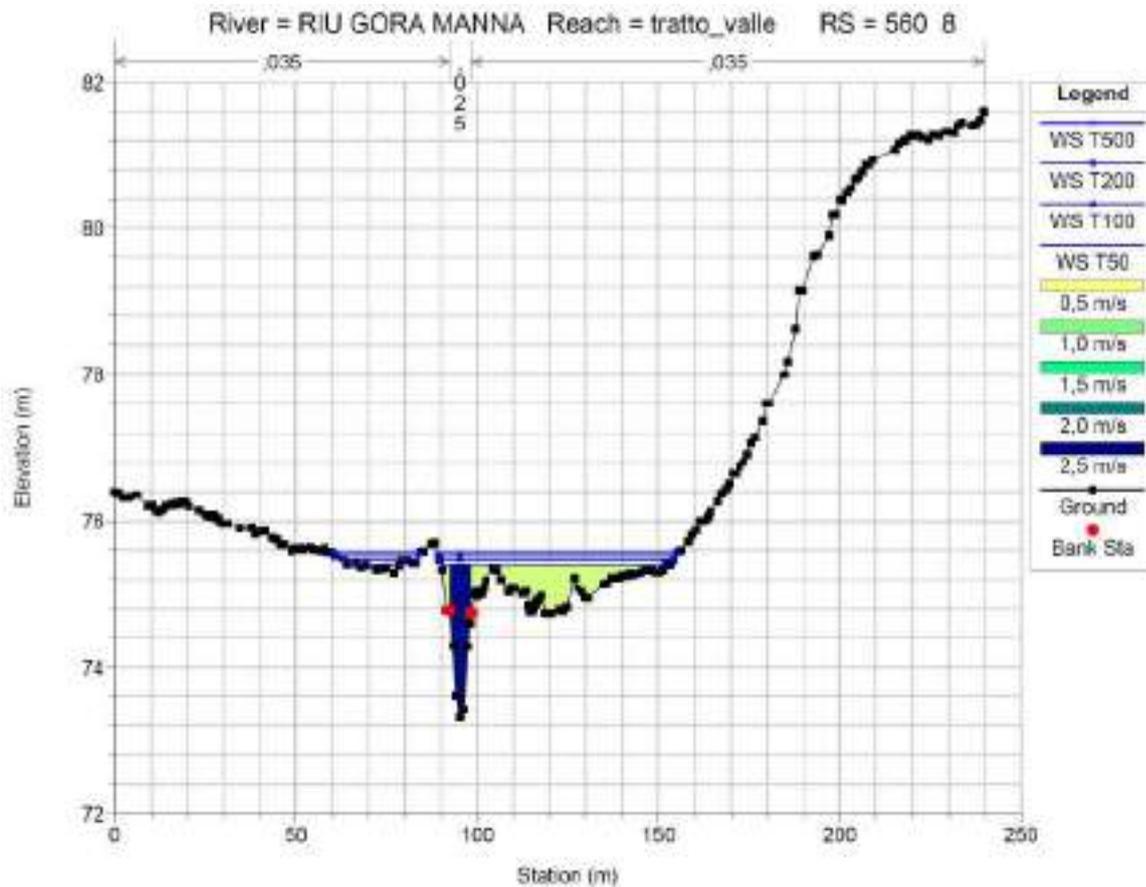
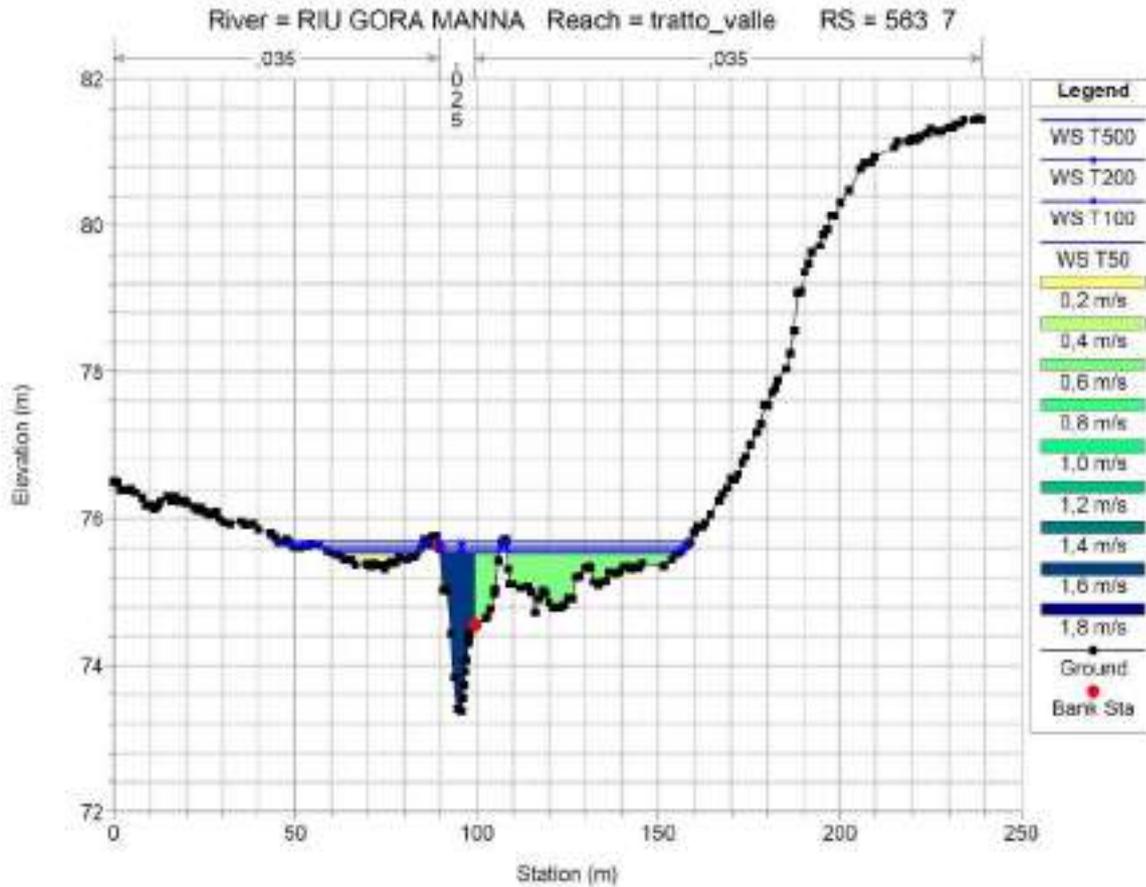


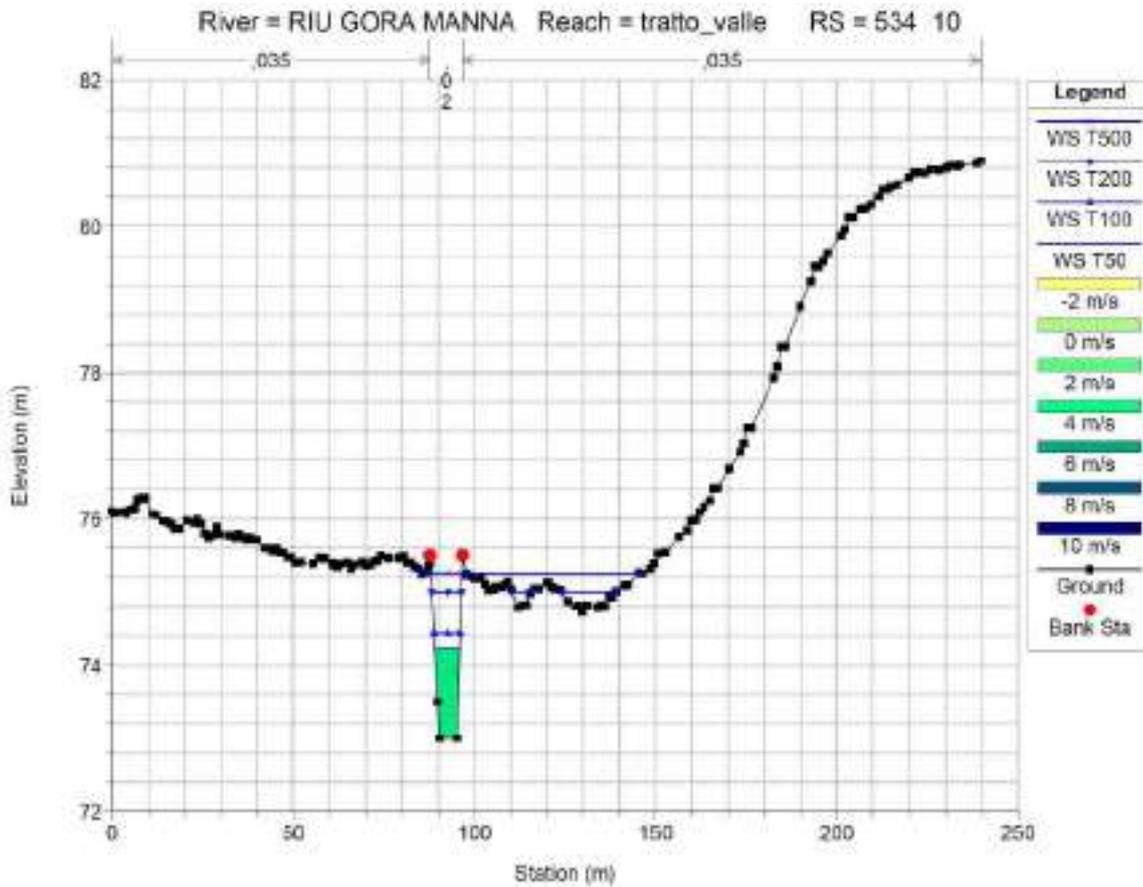
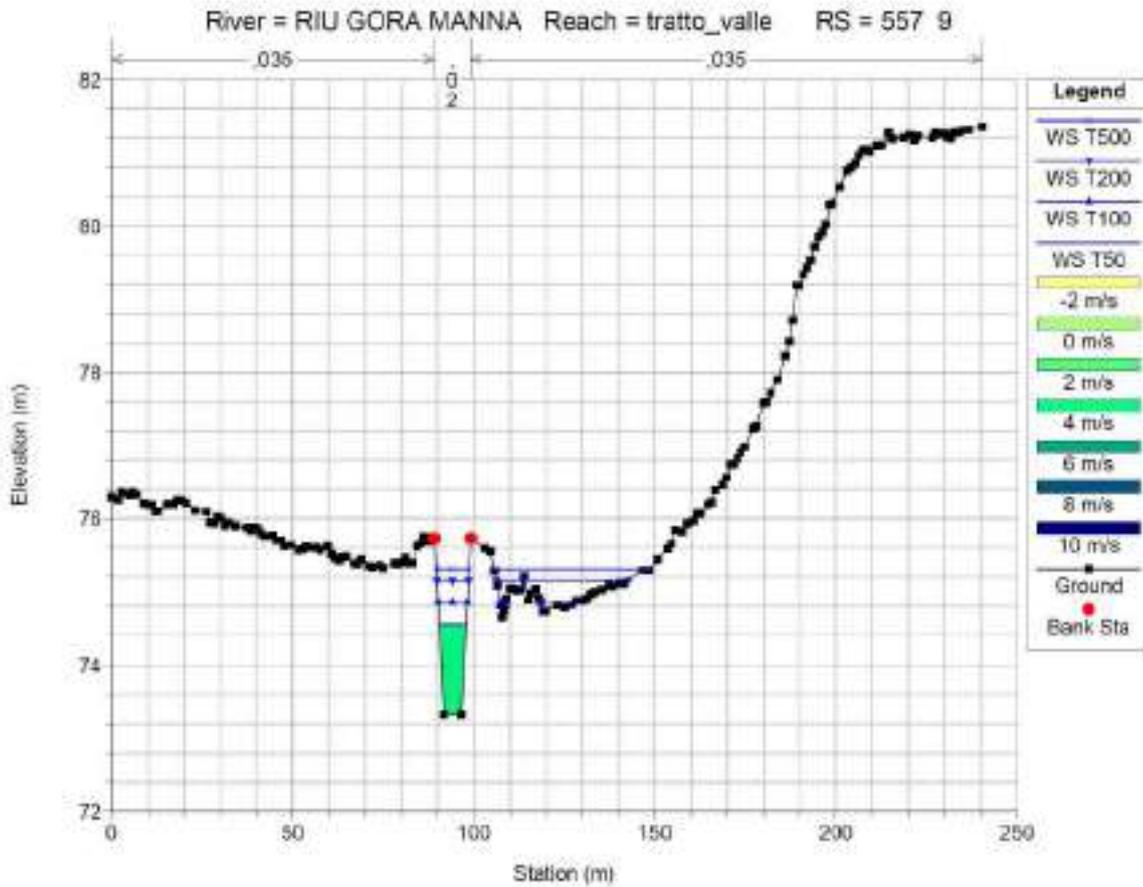
6

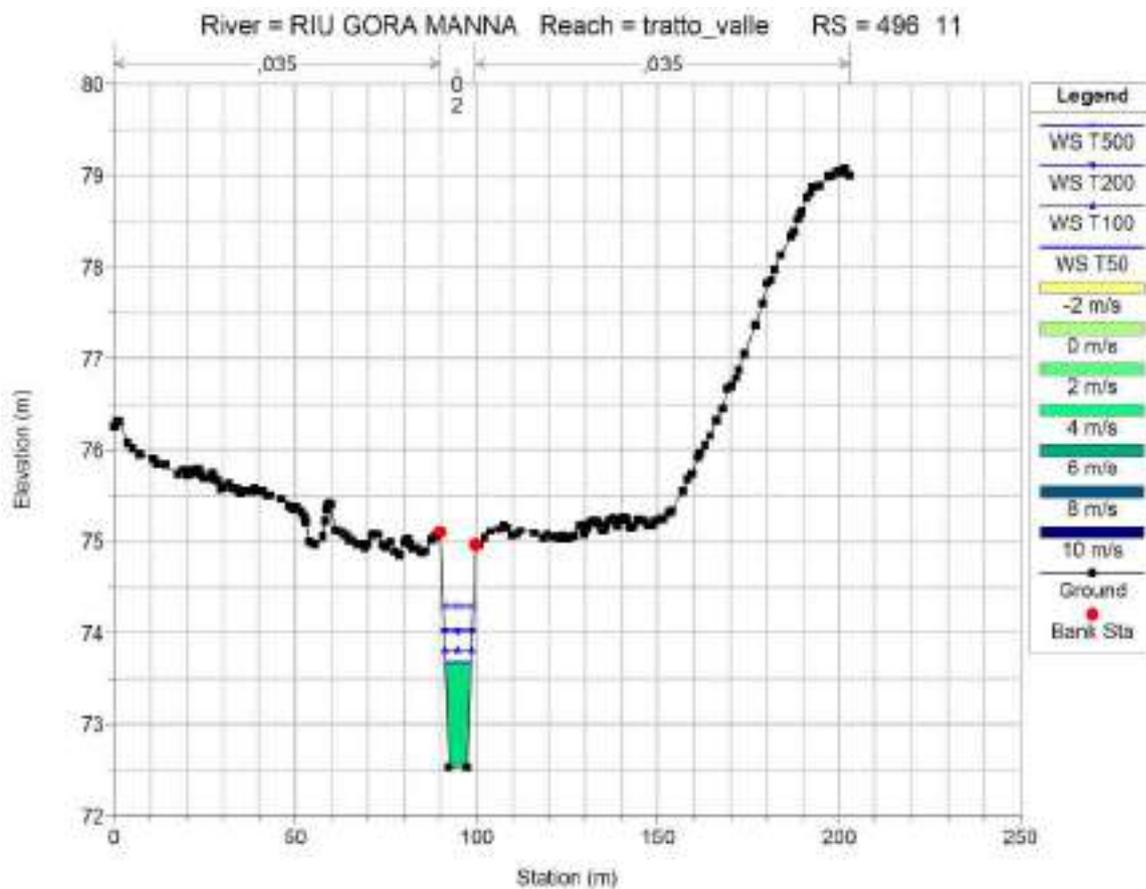
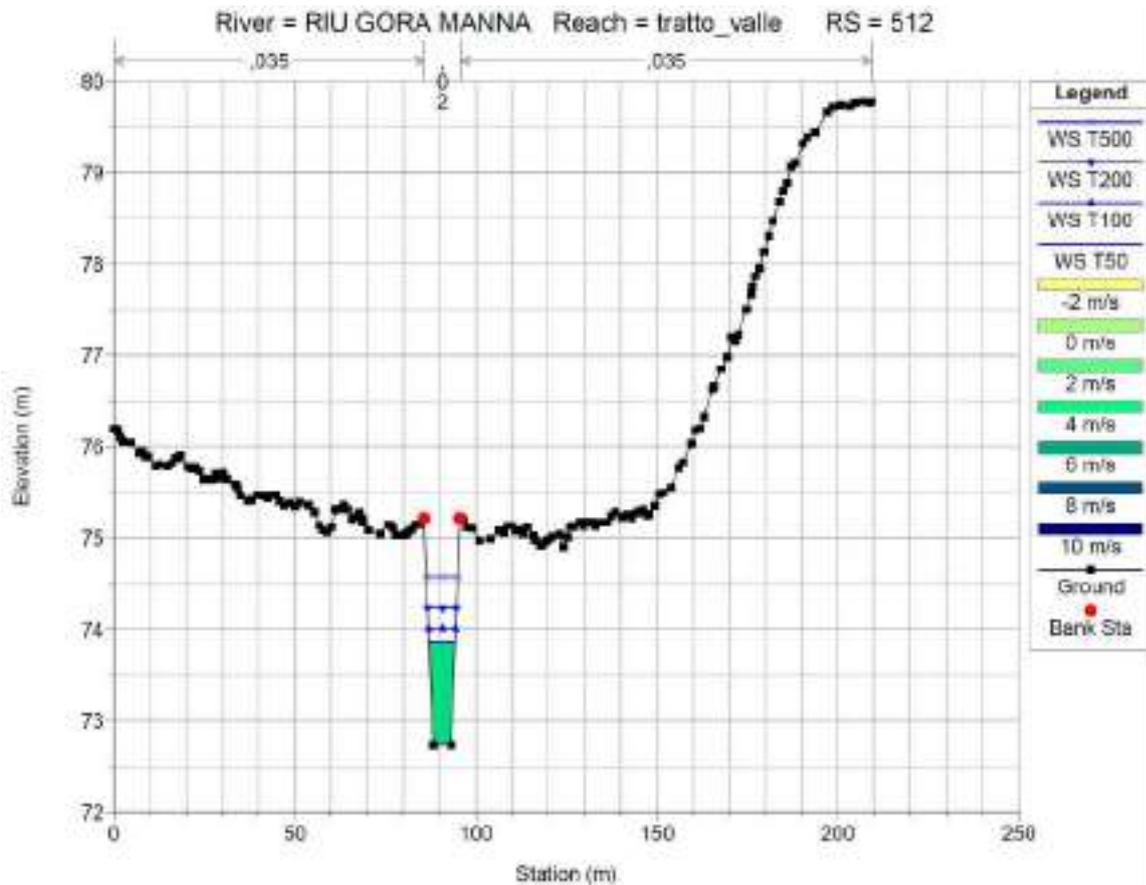


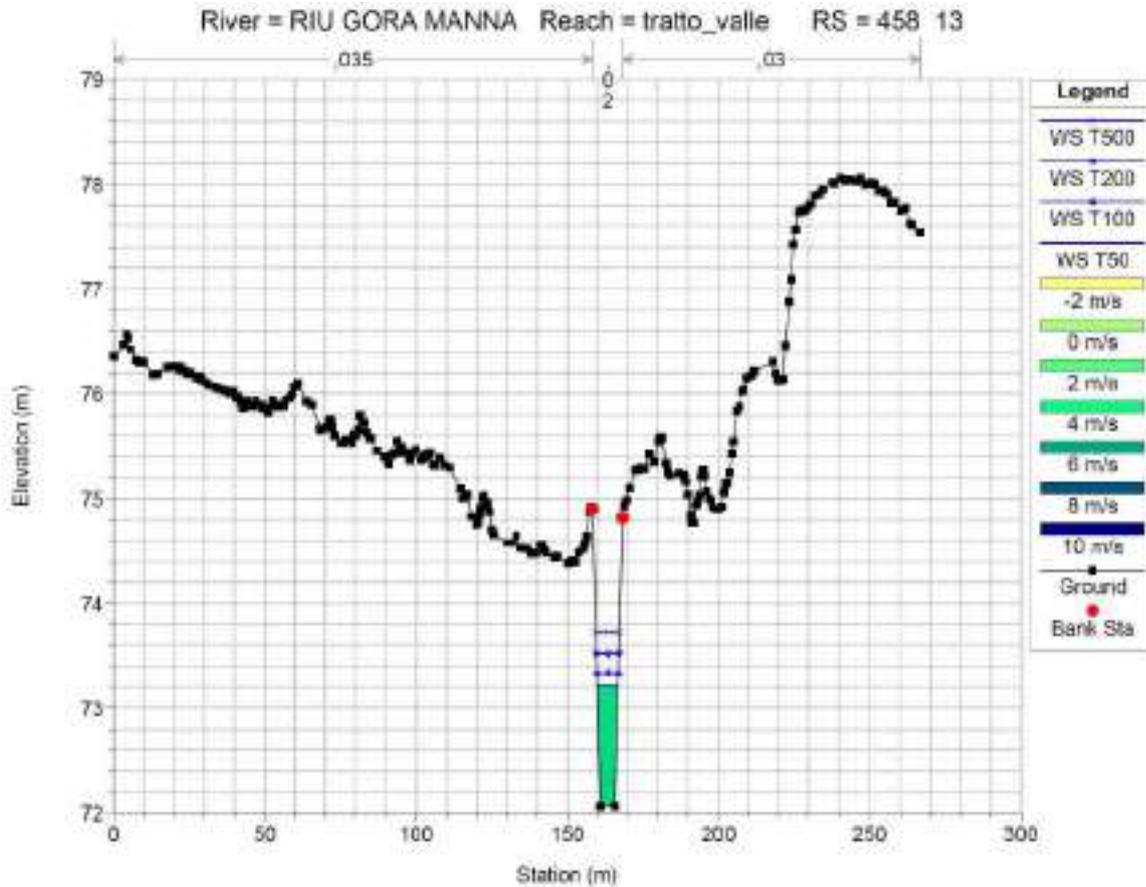
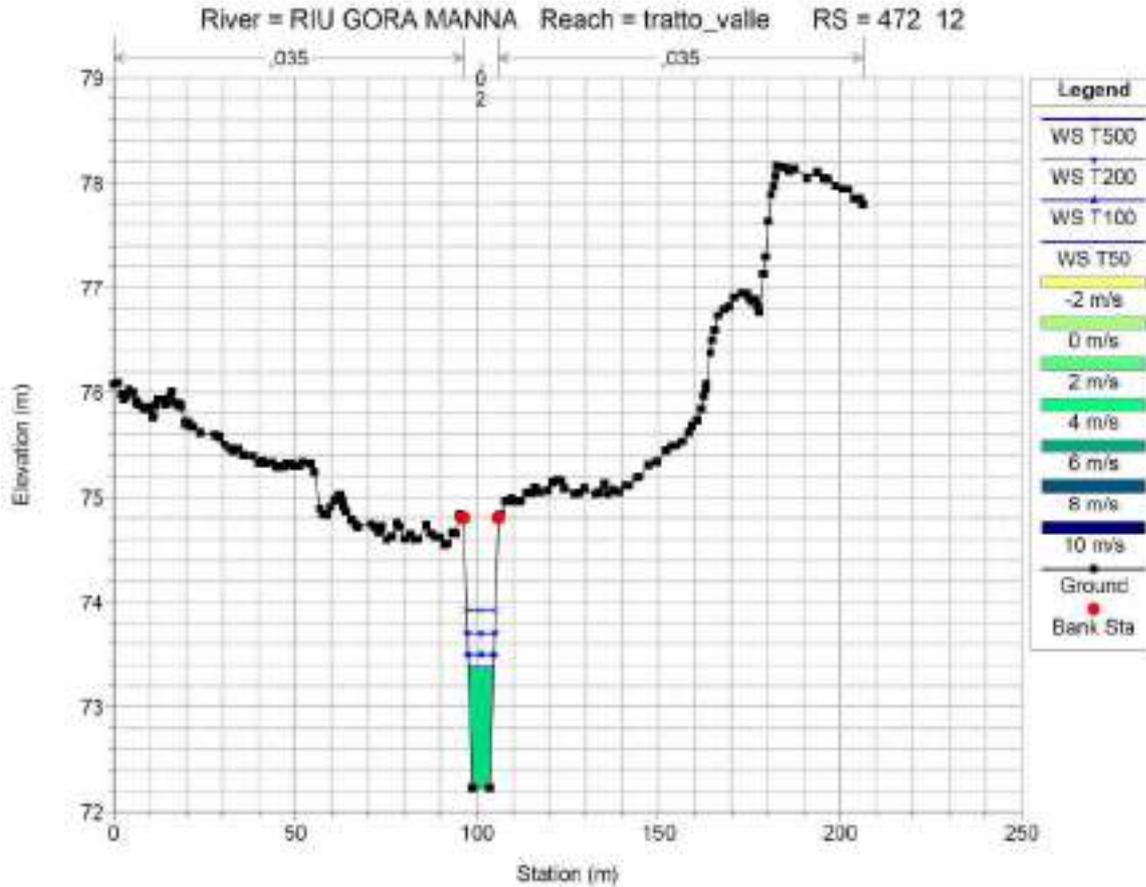


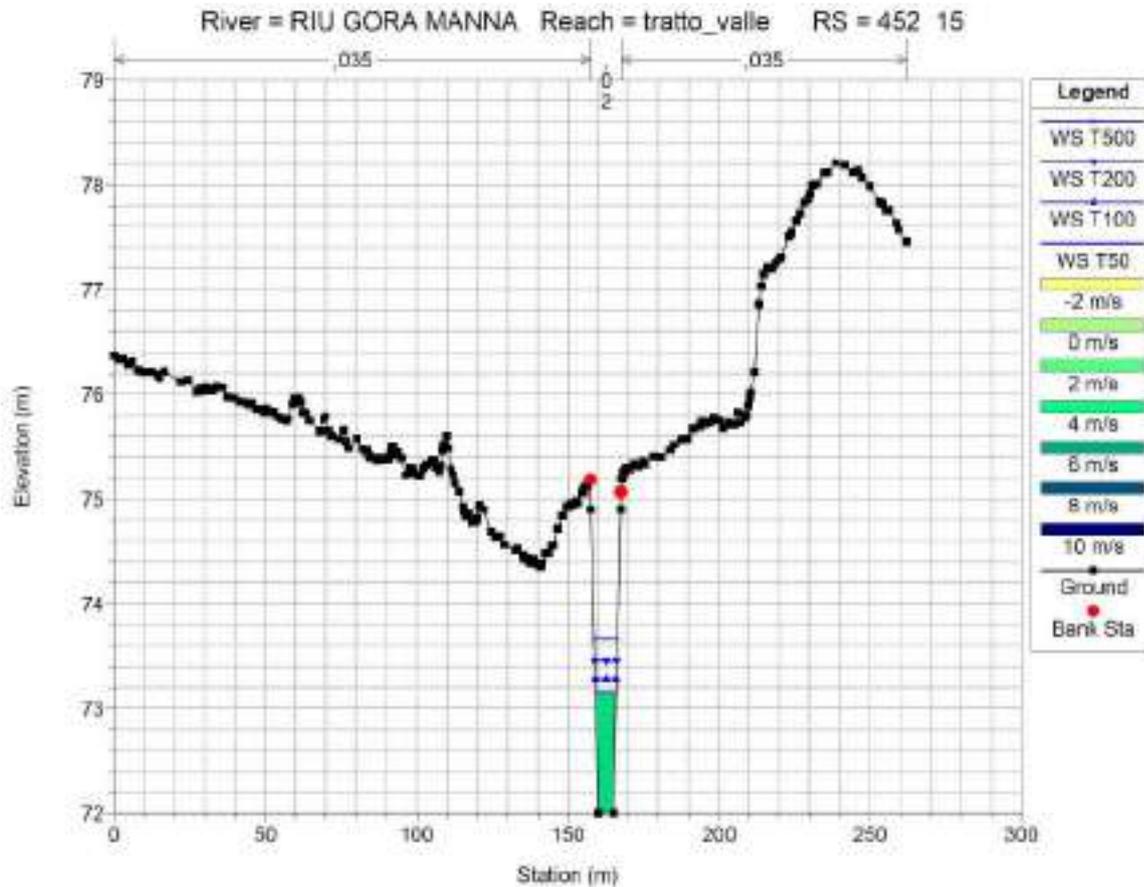
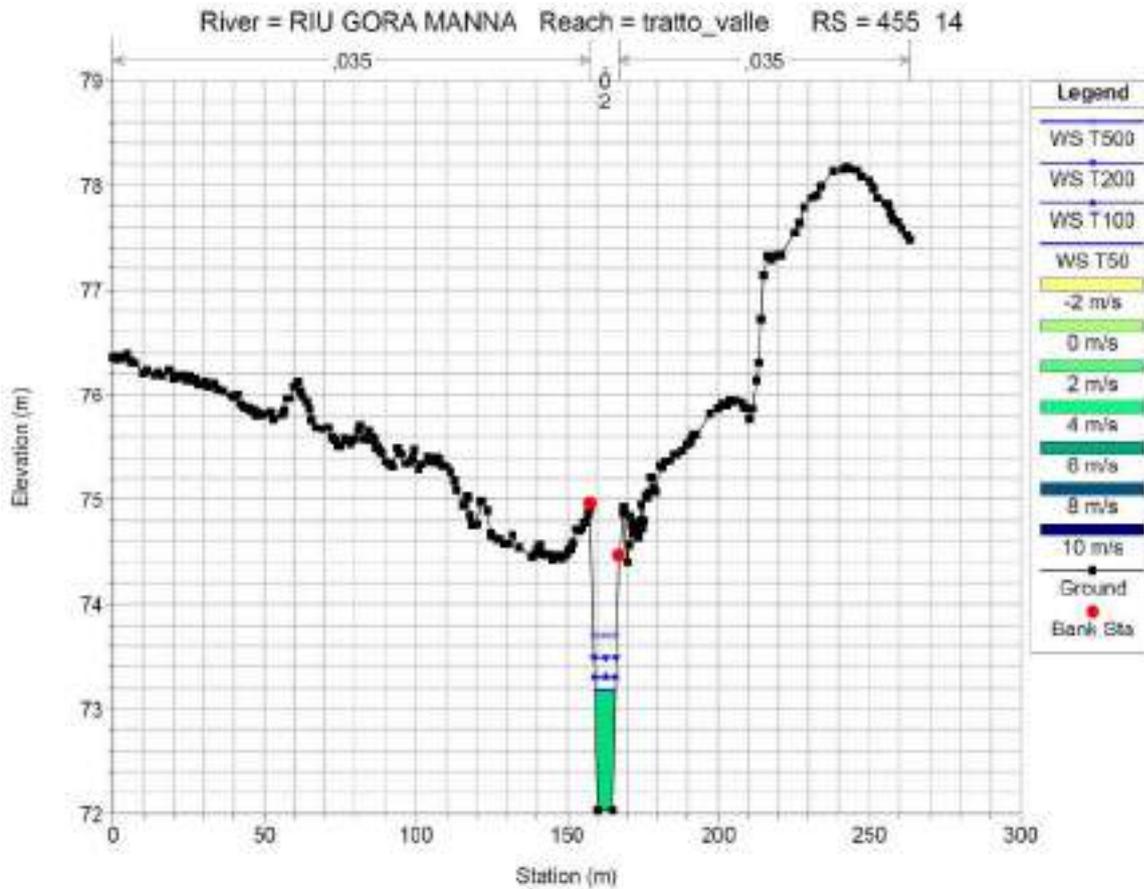


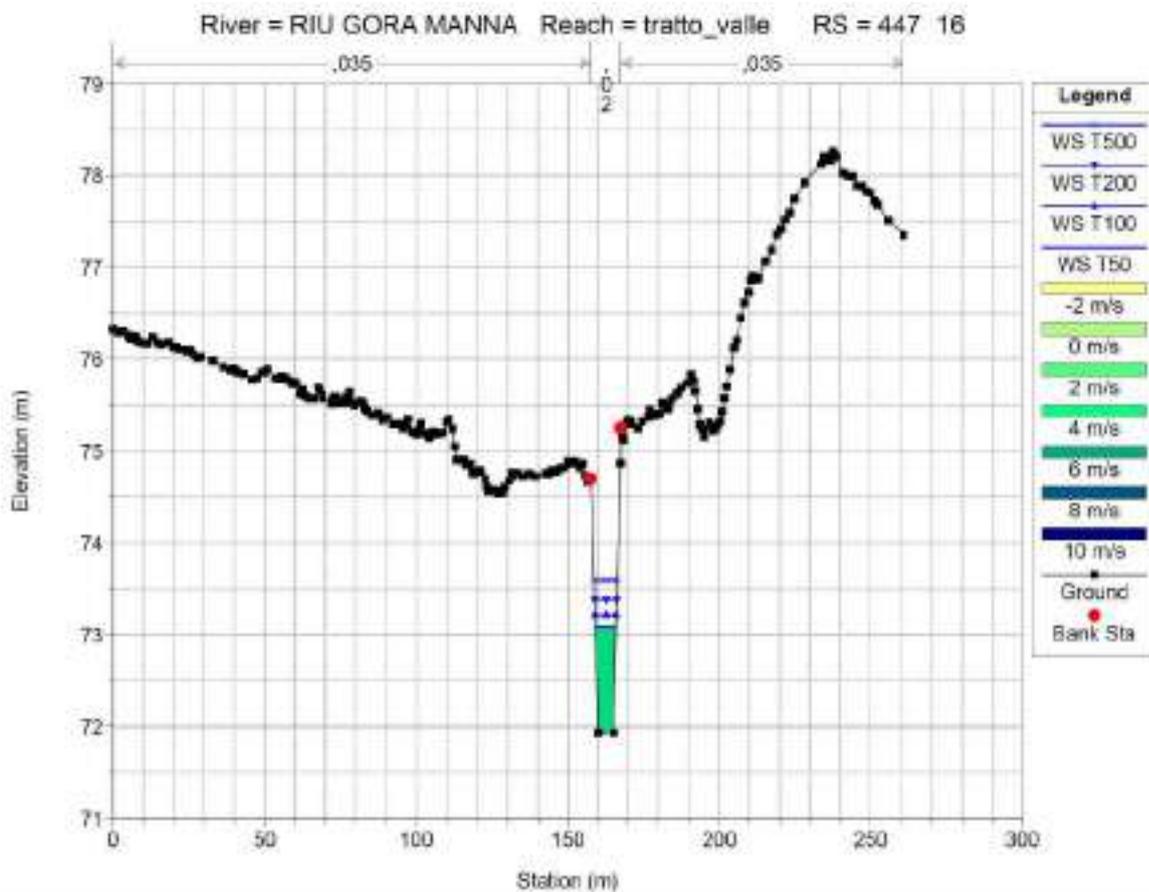
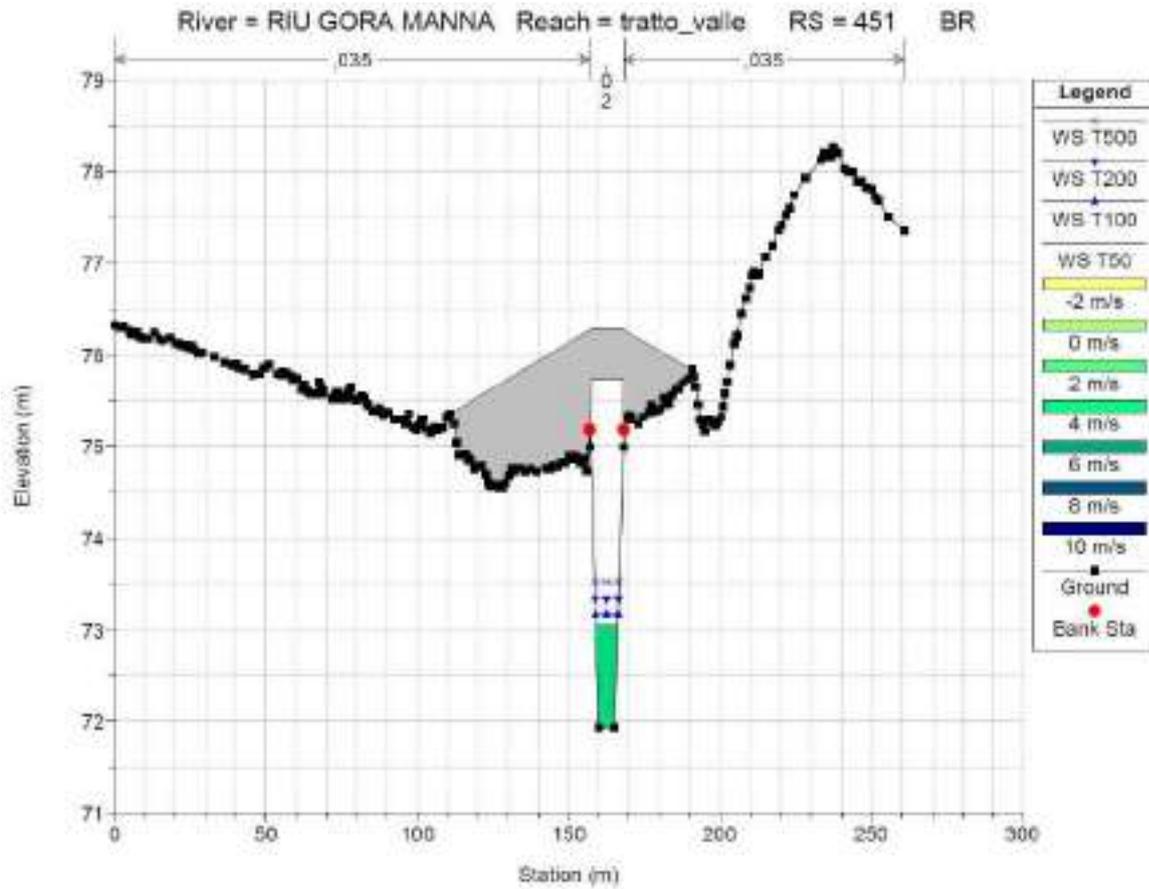


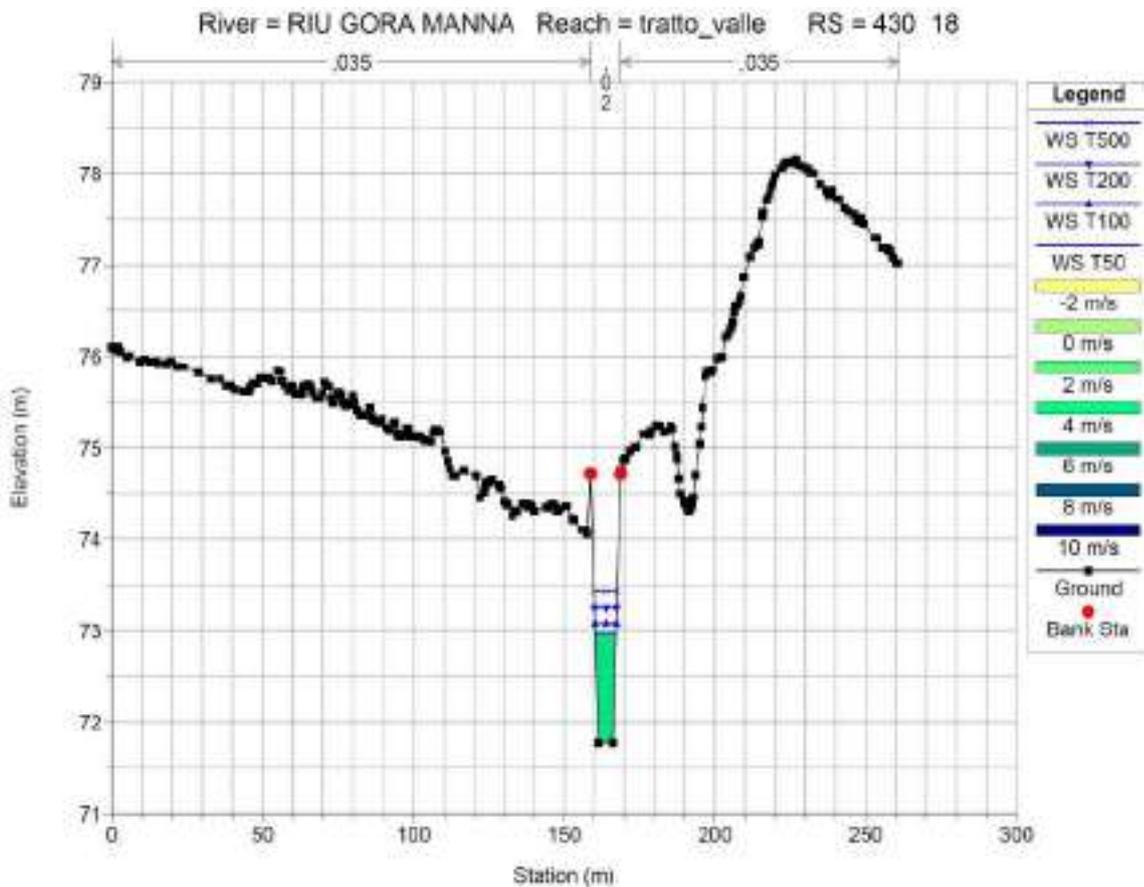
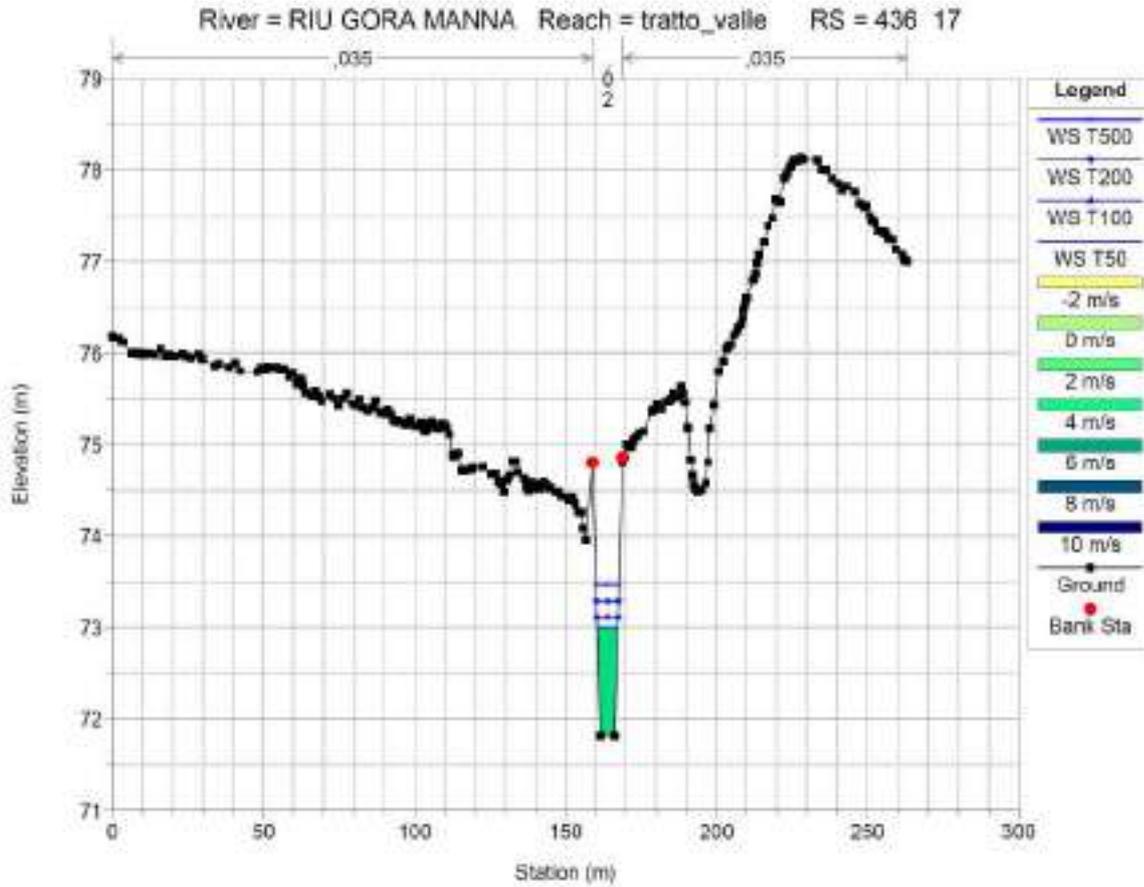


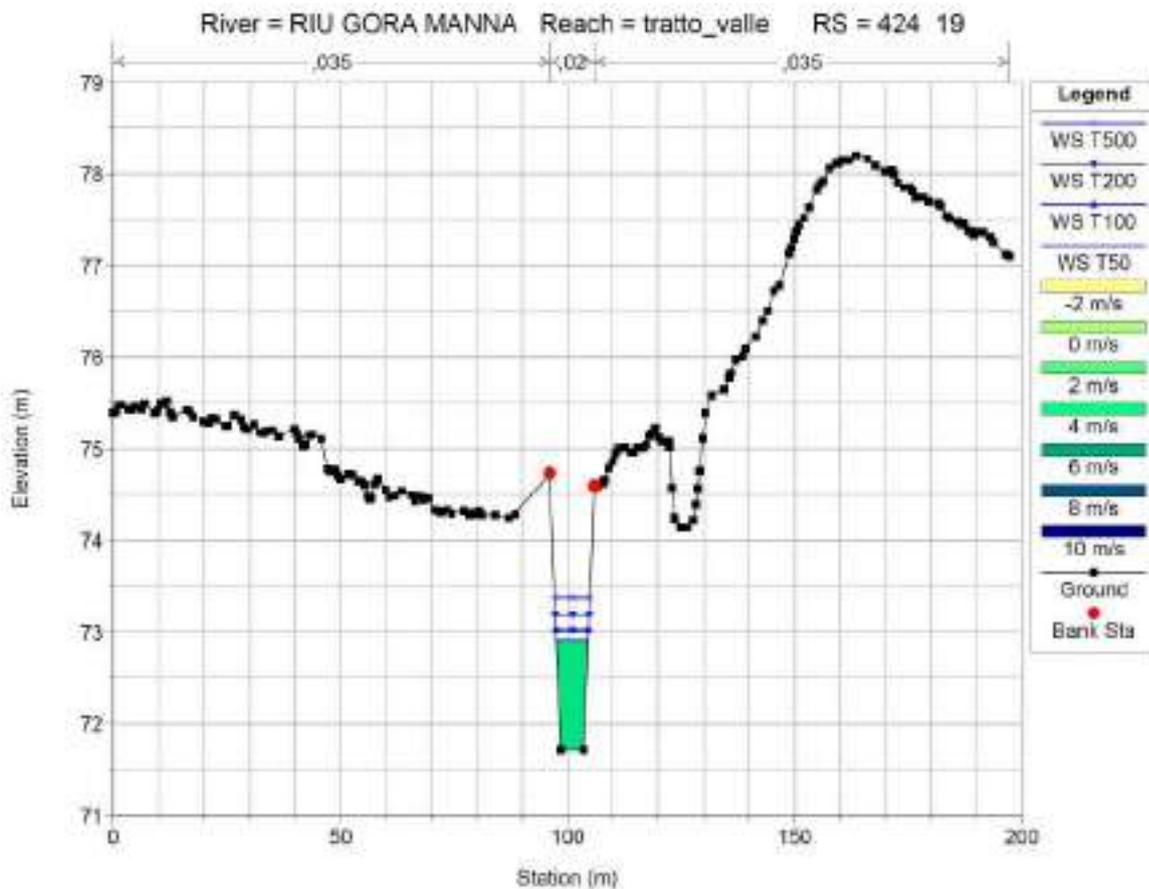
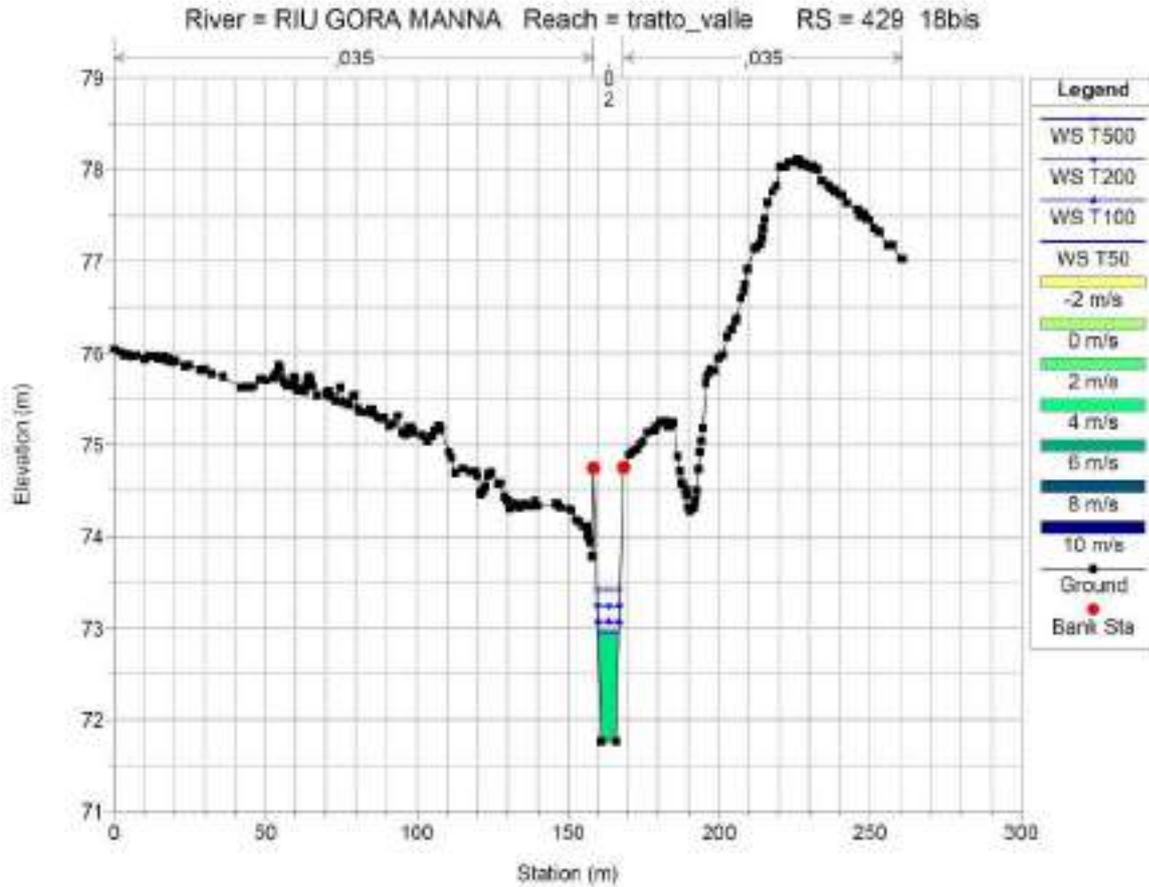


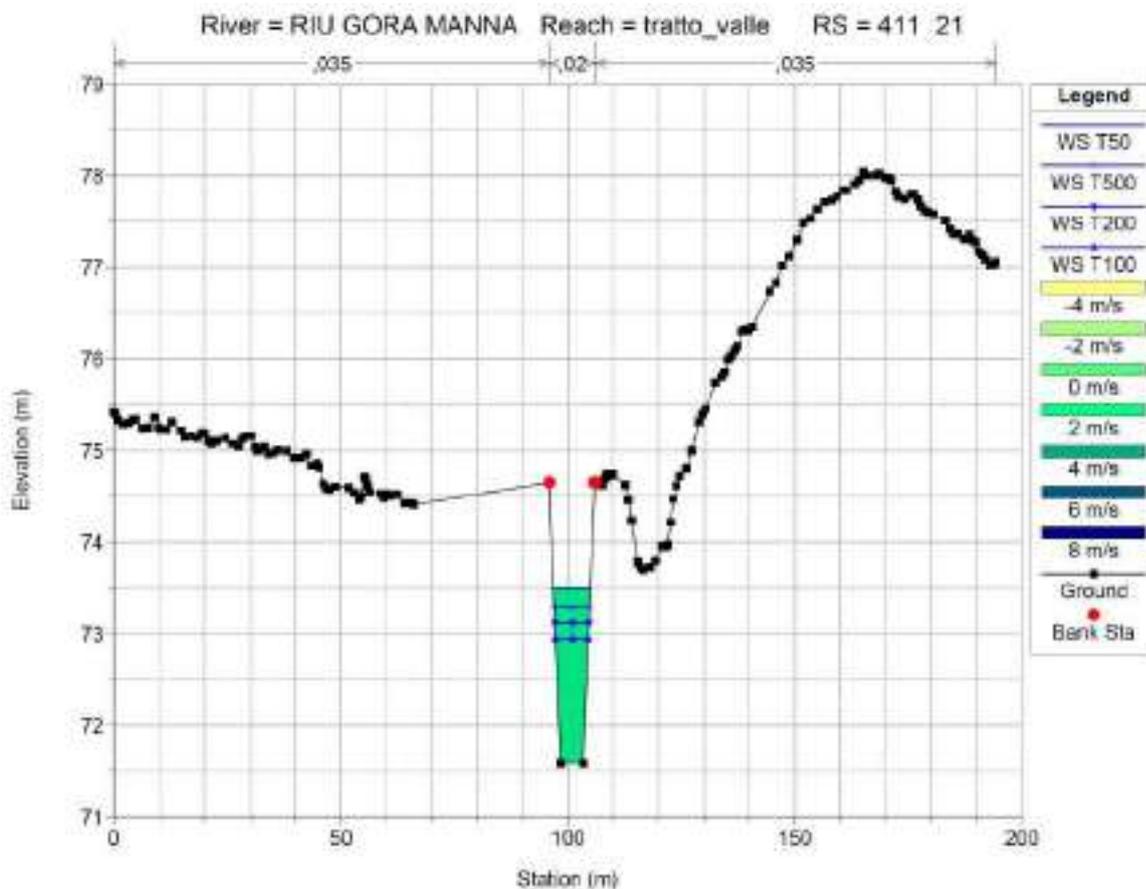
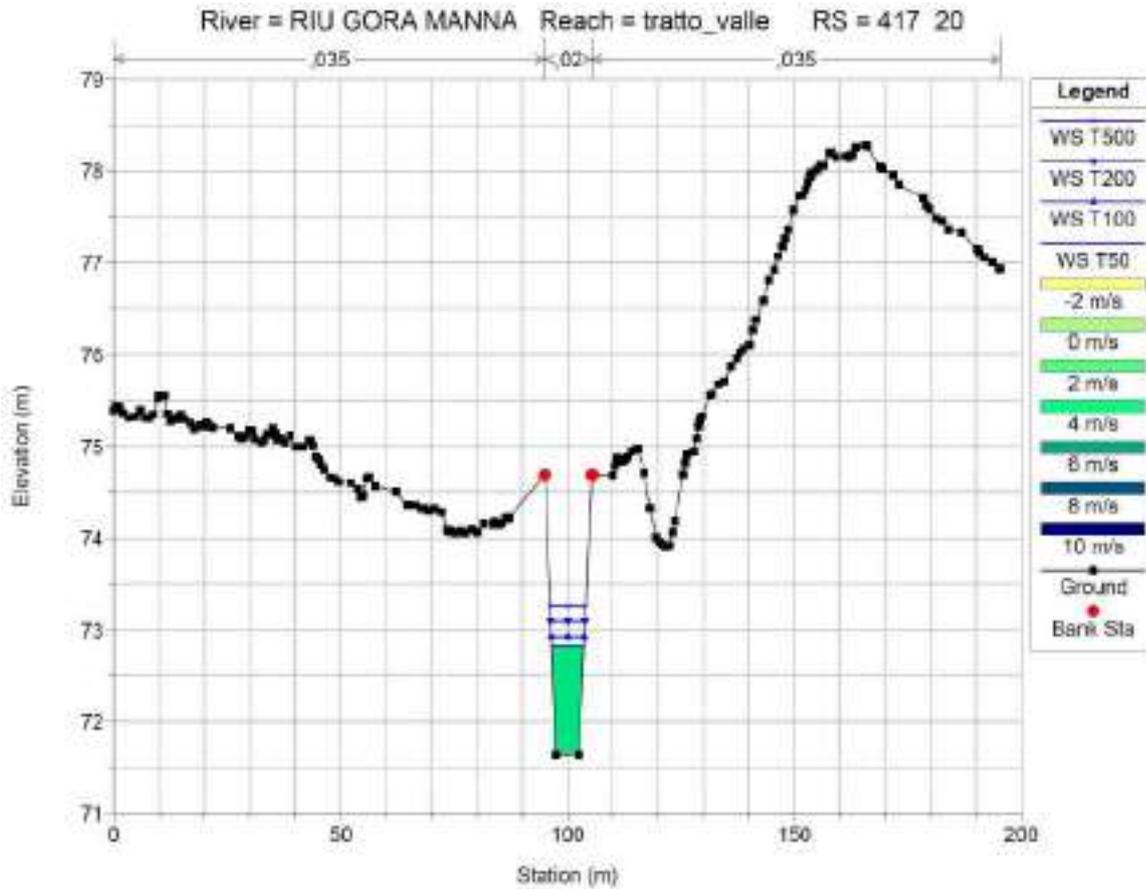


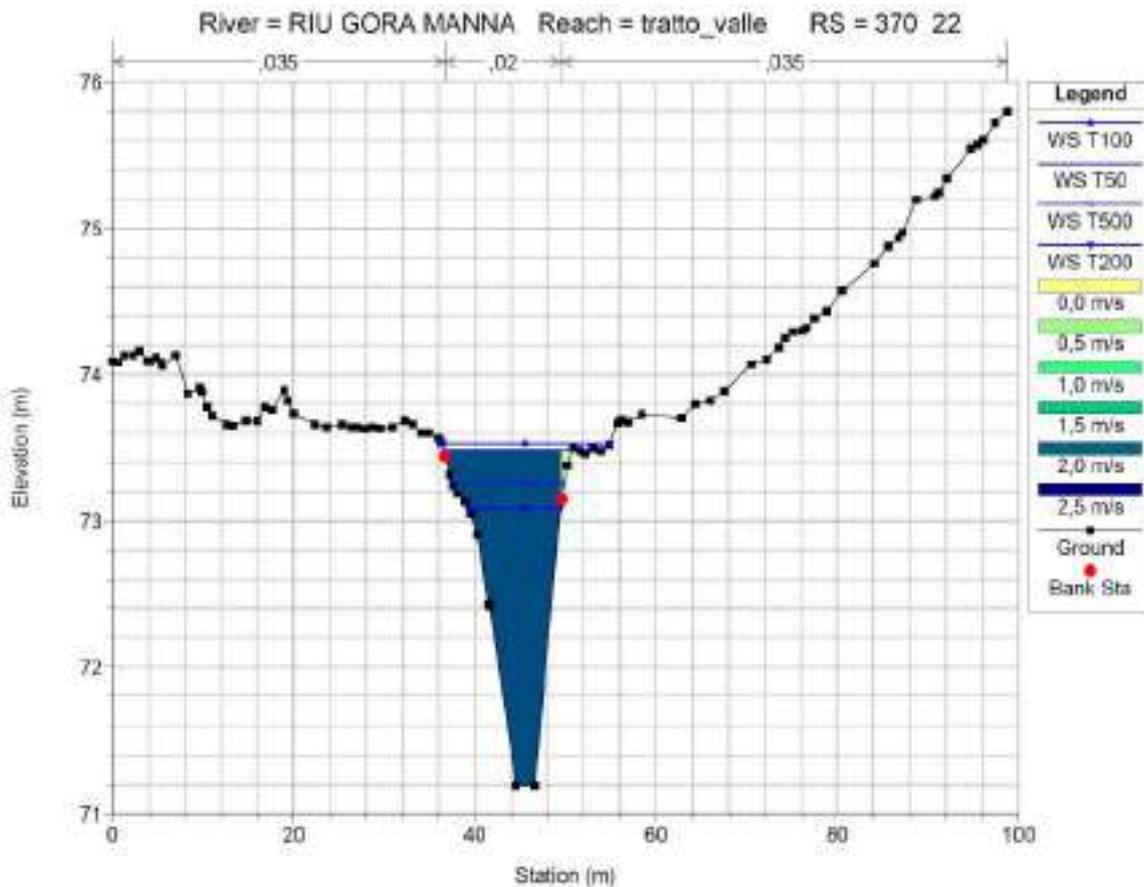
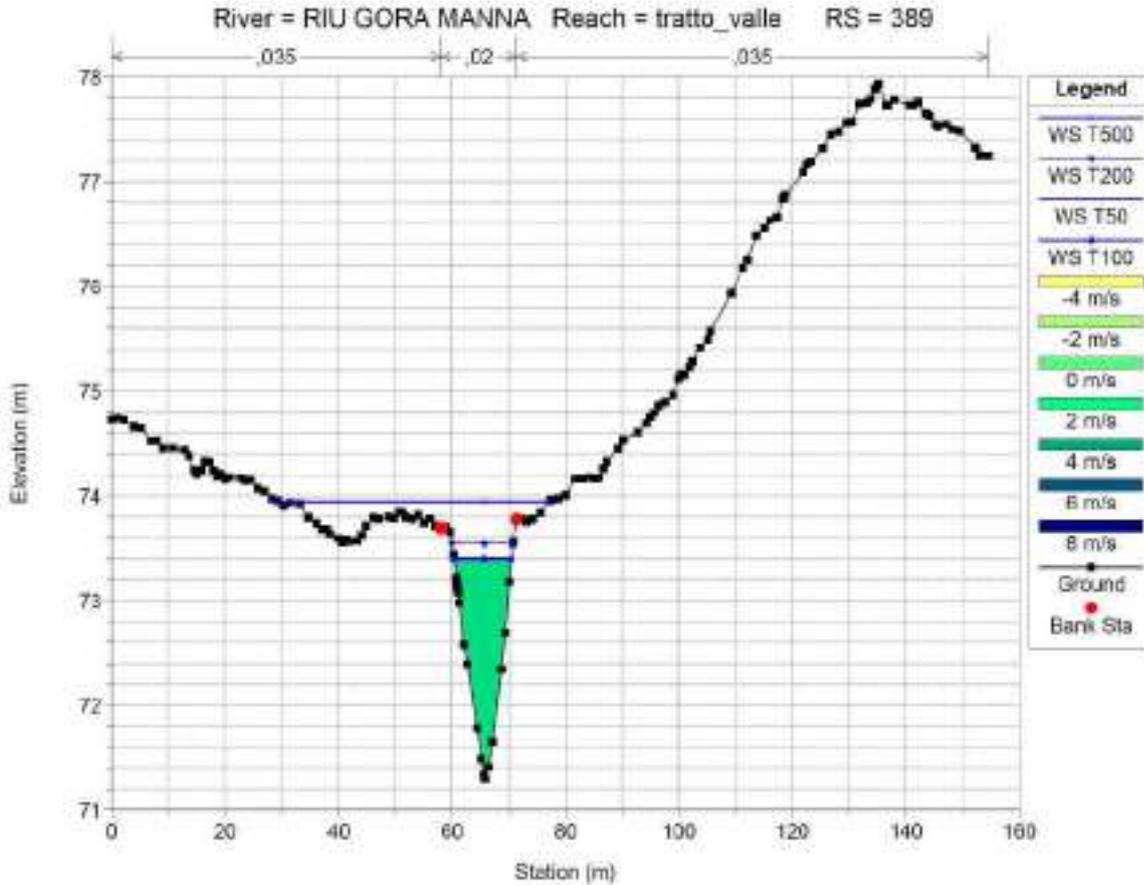


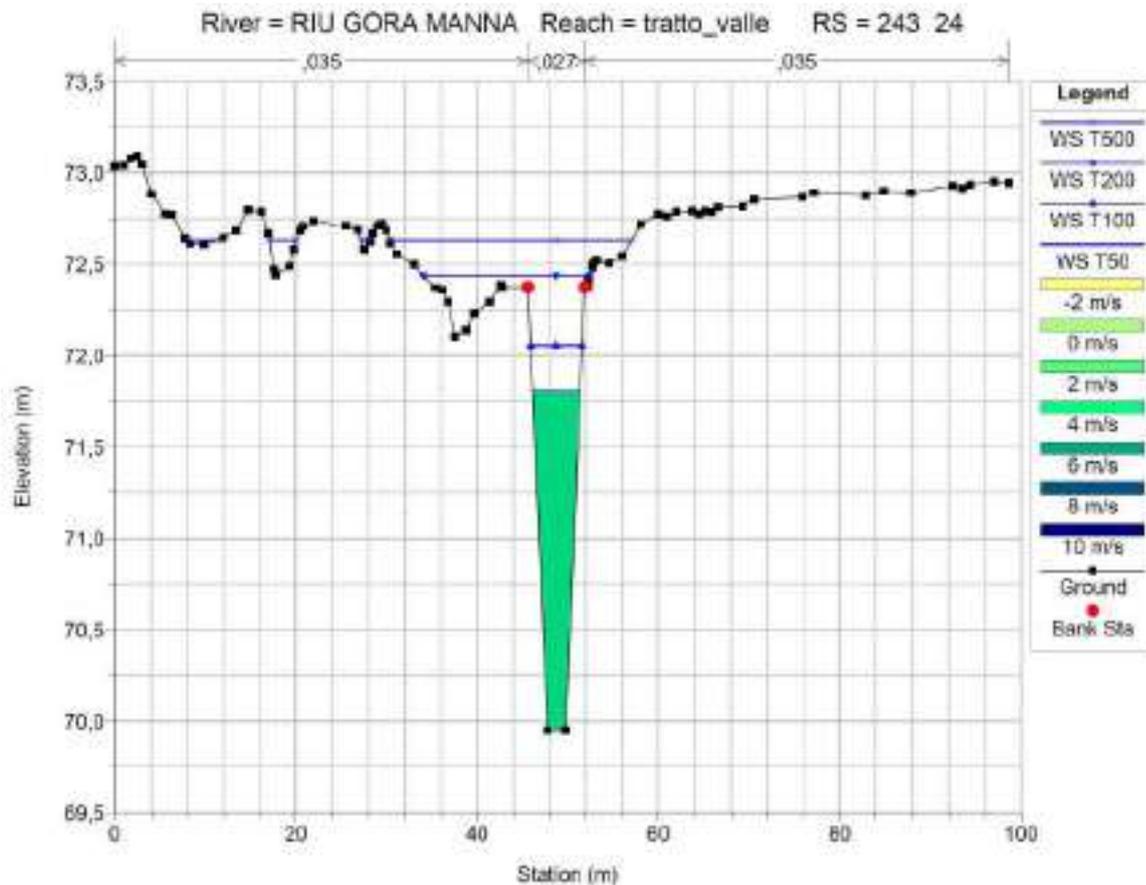
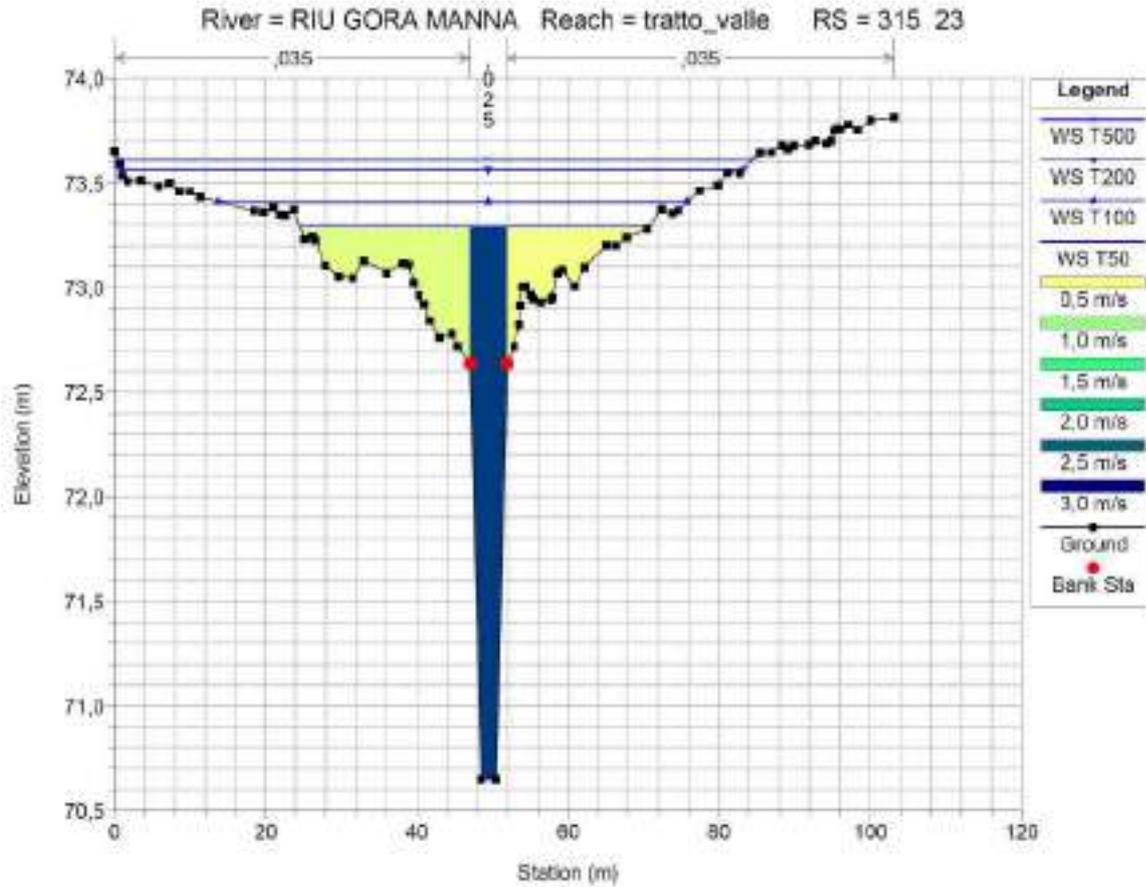


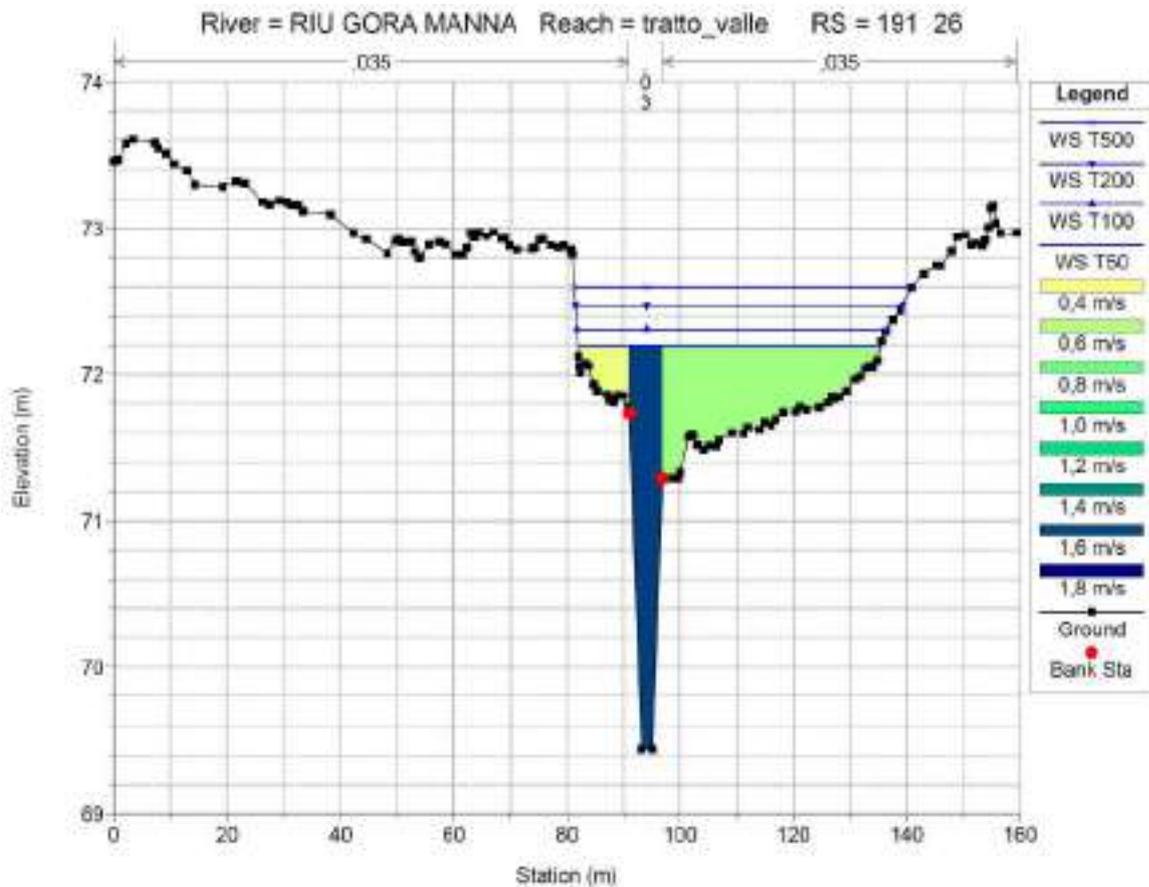
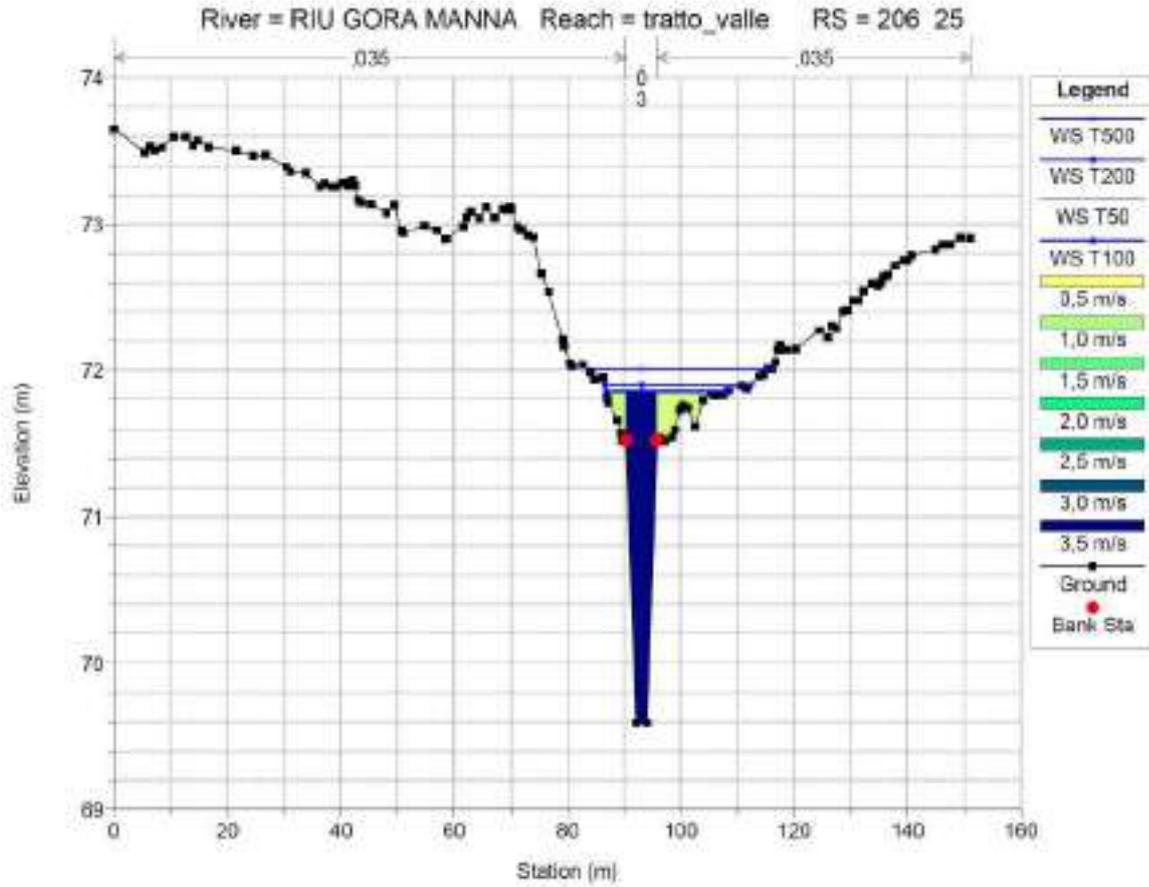


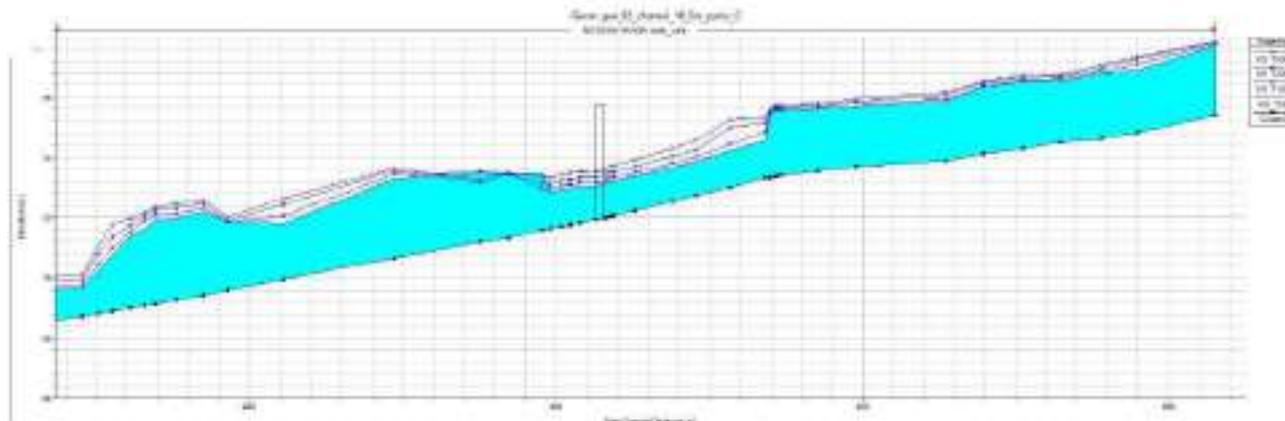












Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slo- pe (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Wid- th (m)	Froude # Chl
tratto valle	850	T50	33,59	75,39	77,7	77,7	77,84	0,003235	2	31,78	116,09	0,57
tratto valle	850	T100	38,83	75,39	77,73	77,73	77,88	0,003605	2,11	35,17	123,64	0,6
tratto valle	850	T200	47,42	75,39	77,79	77,79	77,94	0,003879	2,19	42,78	138,8	0,62
tratto valle	850	T500	55,76	75,39	77,84	77,84	77,97	0,003927	2,2	49,67	144,28	0,63
tratto valle	799	T50	33,59	74,83	76,9	77,11	77,53	0,009816	3,53	10,16	18,59	0,98
tratto valle	799	T100	38,83	74,83	77,1	77,35	77,59	0,007623	3,24	15,09	29,97	0,87
tratto valle	799	T200	47,42	74,83	77,28	77,37	77,66	0,006746	3,03	23,57	69,76	0,82
tratto valle	799	T500	55,76	74,83	77,35	77,46	77,68	0,007604	2,99	29,47	95,67	0,87
tratto valle	775	T50	33,59	74,62	76,77	76,99	77,28	0,007929	3,2	12,23	32,73	0,89
tratto valle	775	T100	38,83	74,62	76,84	77,08	77,39	0,008618	3,39	14,67	40,66	0,93
tratto valle	775	T200	47,42	74,62	76,96	77,17	77,46	0,0083	3,43	20,05	56,49	0,92
tratto valle	775	T500	55,76	74,62	77,06	77,22	77,49	0,007502	3,33	27,14	81,15	0,88
tratto valle	749	T50	33,59	74,51	76,52	76,74	77,05	0,009347	3,28	12,15	41,25	0,97
tratto valle	749	T100	38,83	74,51	76,58	76,79	77,14	0,010107	3,45	15,14	58,69	1,01
tratto valle	749	T200	47,42	74,51	76,66	76,86	77,22	0,010548	3,59	19,8	63,09	1,04
tratto valle	749	T500	55,76	74,51	76,72	76,91	77,25	0,010333	3,64	24,06	65,05	1,03
tratto valle	725	T50	33,59	74,28	76,51	76,6	76,8	0,005846	2,59	18,82	56,12	0,77
tratto valle	725	T100	38,83	74,28	76,54	76,62	76,87	0,006843	2,83	20,36	58,41	0,83
tratto valle	725	T200	47,42	74,28	76,63	76,72	76,92	0,007341	2,78	26,84	84,02	0,86
tratto valle	725	T500	55,76	74,28	76,71	76,78	76,97	0,006447	2,74	34,01	89,18	0,82
tratto valle	699	T50	33,59	74,12	76,33	76,44	76,64	0,006714	2,58	18,09	64,99	0,82
tratto valle	699	T100	38,83	74,12	76,39	76,47	76,69	0,006581	2,65	22,31	81,13	0,82
tratto valle	699	T200	47,42	74,12	76,47	76,55	76,74	0,006068	2,67	28,65	83,41	0,8

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
			(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
tratto valle	699	T500	55,76	74,12	76,51	76,59	76,8	0,00635	2,81	32,62	85,17	0,82
tratto valle	674	T50	33,59	73,9	75,86	76,09	76,41	0,010431	3,38	12,09	31,51	1,01
tratto valle	674	T100	38,83	73,9	75,94	76,14	76,48	0,00977	3,42	14,93	35,45	0,99
tratto valle	674	T200	47,42	73,9	76,08	76,25	76,55	0,008177	3,37	21,24	52,14	0,92
tratto valle	674	T500	55,76	73,9	76,16	76,34	76,62	0,007815	3,42	25,65	60,17	0,91
tratto valle	616	T50	33,59	73,71	75,68	75,71	75,98	0,004951	2,77	19,12	41,59	0,73
tratto valle	616	T100	38,83	73,71	75,8	75,81	76,05	0,004139	2,66	24,6	59,43	0,67
tratto valle	616	T200	47,42	73,71	75,87	75,9	76,15	0,004568	2,88	29,27	70,5	0,71
tratto valle	616	T500	55,76	73,71	75,96	75,99	76,22	0,004424	2,93	35,85	87,6	0,71
tratto valle	592	T50	33,59	73,54	75,61	75,38	75,69	0,0022	1,6	31,03	57,43	0,48
tratto valle	592	T100	38,83	73,54	75,66	75,42	75,74	0,002416	1,6	34,72	80,76	0,5
tratto valle	592	T200	47,42	73,54	75,73	75,5	75,82	0,002619	1,73	40,34	93,43	0,52
tratto valle	592	T500	55,76	73,54	75,79	75,62	75,89	0,002723	1,82	45,97	100,75	0,54
tratto valle	567	T50	33,59	73,4	75,54		75,63	0,002562	1,67	32,76	87,05	0,51
tratto valle	567	T100	38,83	73,4	75,59		75,68	0,002599	1,74	37,24	92,91	0,52
tratto valle	567	T200	47,42	73,4	75,65		75,75	0,002679	1,83	43,71	99,51	0,53
tratto valle	567	T500	55,76	73,4	75,72		75,82	0,002693	1,9	50,14	109,27	0,54
tratto valle	564	T50	33,59	73,38	75,54		75,62	0,001356	1,57	38,5	88,78	0,46
tratto valle	564	T100	38,83	73,38	75,59		75,67	0,001429	1,64	42,95	93,48	0,47
tratto valle	564	T200	47,42	73,38	75,65		75,74	0,001565	1,78	49,07	101,63	0,5
tratto valle	564	T500	55,76	73,38	75,71		75,81	0,001672	1,89	55,17	112,15	0,52
tratto valle	563	T50	33,59	73,37	75,53		75,61	0,001352	1,62	36,94	87,32	0,46
tratto valle	563	T100	38,83	73,37	75,58		75,67	0,001455	1,71	41,11	91,51	0,48
tratto valle	563	T200	47,42	73,37	75,64		75,74	0,001636	1,85	47,09	99,81	0,51
tratto valle	563	T500	55,76	73,37	75,69		75,81	0,001788	1,98	52,8	109,11	0,54
tratto valle	560	T50	33,59	73,31	75,4	75,4	75,6	0,002673	2,44	27,04	73,67	0,65
tratto valle	560	T100	38,83	73,31	75,47	75,47	75,65	0,002503	2,44	32,65	85,04	0,63
tratto valle	560	T200	47,42	73,31	75,53	75,53	75,73	0,002691	2,6	38,16	88,68	0,66
tratto valle	560	T500	55,76	73,31	75,57	75,57	75,79	0,003036	2,81	41,81	90,24	0,7
tratto valle	557	T50	33,59	73,32	74,56	74,97	75,51	0,008518	4,32	7,77	7,57	1,36
tratto valle	557	T100	38,83	73,32	74,86	75,19	75,59	0,005244	3,8	10,95	18,89	1,09
tratto valle	557	T200	47,42	73,32	75,15	75,33	75,68	0,003489	3,39	20,24	44,55	0,9
tratto valle	557	T500	55,76	73,32	75,31	75,44	75,76	0,002936	3,25	27,97	52,32	0,83
tratto valle	534	T50	33,59	73	74,23	74,53	75,29	0,009656	4,58	7,34	6,96	1,42

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)	
tratto valle	534	T100	38,83	73	74,44	74,66	75,42	0,007525	4,38	8,86	7,3	1,27
tratto valle	534	T200	47,42	73	75	75,24	75,6	0,003427	3,48	16,26	28,42	0,88
tratto valle	534	T500	55,76	73	75,26	75,38	75,7	0,002485	3,15	27,96	57,26	0,75
tratto valle	512	T50	33,59	72,73	73,86	74,22	75,05	0,011591	4,82	6,97	7,28	1,57
tratto valle	512	T100	38,83	72,73	74	74,36	75,2	0,010371	4,85	8,01	7,57	1,51
tratto valle	512	T200	47,42	72,73	74,24	74,56	75,43	0,008674	4,83	9,81	8,03	1,4
tratto valle	512	T500	55,76	72,73	74,58	74,75	75,56	0,005835	4,4	12,67	8,72	1,17
tratto valle	496	T50	33,59	72,53	73,68	74,03	74,86	0,011484	4,82	6,96	7,17	1,56
tratto valle	496	T100	38,83	72,53	73,81	74,17	75,03	0,010569	4,9	7,92	7,42	1,51
tratto valle	496	T200	47,42	72,53	74,02	74,38	75,28	0,009232	4,96	9,56	7,82	1,43
tratto valle	496	T500	55,76	72,53	74,29	74,56	75,44	0,00718	4,76	11,72	8,33	1,28
tratto valle	472	T50	33,59	72,23	73,38	73,74	74,58	0,01158	4,85	6,92	7,04	1,56
tratto valle	472	T100	38,83	72,23	73,5	73,88	74,77	0,010984	4,98	7,79	7,26	1,54
tratto valle	472	T200	47,42	72,23	73,7	74,09	75,04	0,009983	5,12	9,26	7,61	1,48
tratto valle	472	T500	55,76	72,23	73,92	74,27	75,24	0,008588	5,09	10,95	7,99	1,39
tratto valle	458	T50	33,59	72,06	73,21	73,57	74,42	0,011621	4,87	6,9	6,99	1,56
tratto valle	458	T100	38,83	72,06	73,33	73,71	74,61	0,011139	5,01	7,74	7,2	1,54
tratto valle	458	T200	47,42	72,06	73,52	73,92	74,89	0,010334	5,19	9,14	7,53	1,5
tratto valle	458	T500	55,76	72,06	73,72	74,11	75,11	0,009114	5,21	10,71	7,88	1,43
tratto valle	455	T50	33,59	72,03	73,19	73,54	74,39	0,011521	4,86	6,92	6,97	1,56
tratto valle	455	T100	38,83	72,03	73,3	73,68	74,58	0,011061	5,01	7,76	7,18	1,54
tratto valle	455	T200	47,42	72,03	73,49	73,89	74,86	0,010284	5,18	9,15	7,5	1,5
tratto valle	455	T500	55,76	72,03	73,7	74,08	75,08	0,009068	5,2	10,72	7,85	1,42
tratto valle	452	T50	33,59	72	73,12	73,49	74,35	0,012305	4,92	6,82	7,23	1,62
tratto valle	452	T100	38,83	72	73,23	73,63	74,55	0,011903	5,09	7,63	7,45	1,61
tratto valle	452	T200	47,42	72	73,4	73,83	74,83	0,011206	5,29	8,96	7,8	1,58
tratto valle	452	T500	55,76	72	73,58	74,02	75,04	0,010089	5,35	10,42	8,17	1,51
tratto valle	451		Bridge									
tratto valle	447	T50	33,59	71,93	73,05	73,43	74,28	0,012226	4,92	6,83	7,19	1,61
tratto valle	447	T100	38,83	71,93	73,16	73,56	74,48	0,011893	5,1	7,62	7,4	1,6
tratto valle	447	T200	47,42	71,93	73,34	73,77	74,76	0,011114	5,29	8,97	7,75	1,57
tratto valle	447	T500	55,76	71,93	73,52	73,95	74,98	0,010118	5,36	10,4	8,1	1,51
tratto valle	436	T50	33,59	71,82	73,02	73,34	74,13	0,010201	4,66	7,21	7,01	1,47
tratto valle	436	T100	38,83	71,82	73,14	73,48	74,33	0,009963	4,83	8,04	7,21	1,46

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)	
tratto valle	436	T200	47,42	71,82	73,33	73,69	74,61	0,009329	5,01	9,46	7,53	1,43
tratto valle	436	T500	55,76	71,82	73,54	73,88	74,83	0,008298	5,05	11,05	7,88	1,36
tratto valle	430	T50	33,59	71,77	72,98	73,29	74,06	0,009846	4,6	7,3	7,04	1,44
tratto valle	430	T100	38,83	71,77	73,1	73,43	74,26	0,009681	4,78	8,12	7,23	1,44
tratto valle	430	T200	47,42	71,77	73,28	73,64	74,56	0,009242	5	9,49	7,54	1,42
tratto valle	430	T500	55,76	71,77	73,49	73,83	74,78	0,008287	5,04	11,06	7,89	1,36
tratto valle	429	T50	33,59	71,76	72,97	73,28	74,05	0,009838	4,6	7,3	7,03	1,44
tratto valle	429	T100	38,83	71,76	73,09	73,42	74,26	0,009673	4,78	8,12	7,22	1,44
tratto valle	429	T200	47,42	71,76	73,27	73,63	74,55	0,009231	5	9,49	7,53	1,42
tratto valle	429	T500	55,76	71,76	73,48	73,82	74,77	0,00827	5,04	11,06	7,87	1,36
tratto valle	424	T50	33,59	71,71	72,93	73,23	74,01	0,009796	4,6	7,3	7	1,44
tratto valle	424	T100	38,83	71,71	73,04	73,37	74,21	0,009677	4,79	8,11	7,19	1,44
tratto valle	424	T200	47,42	71,71	73,23	73,58	74,5	0,009201	4,99	9,49	7,5	1,42
tratto valle	424	T500	55,76	71,71	73,43	73,77	74,73	0,008321	5,05	11,03	7,83	1,36
tratto valle	417	T50	33,59	71,64	72,83	73,15	73,93	0,010145	4,64	7,25	7,13	1,47
tratto valle	417	T100	38,83	71,64	72,94	73,29	74,13	0,010053	4,83	8,04	7,33	1,47
tratto valle	417	T200	47,42	71,64	73,12	73,5	74,43	0,009722	5,07	9,35	7,64	1,46
tratto valle	417	T500	55,76	71,64	73,31	73,68	74,66	0,00894	5,16	10,8	7,98	1,42
tratto valle	411	T50	33,59	71,59	73,46	73,11	73,85	0,002264	2,75	12,22	8,06	0,71
tratto valle	411	T100	38,83	71,59	72,96	73,25	74,06	0,00888	4,65	8,35	7,23	1,38
tratto valle	411	T200	47,42	71,59	73,14	73,46	74,35	0,008533	4,87	9,75	7,54	1,37
tratto valle	411	T500	55,76	71,59	73,35	73,64	74,58	0,007676	4,91	11,35	7,88	1,31
tratto valle	389	T50	33,59	71,3	73,45		73,78	0,00217	2,57	13,09	10,23	0,72
tratto valle	389	T100	38,83	71,3	73,46	73,27	73,9	0,002797	2,92	13,28	10,33	0,82
tratto valle	389	T200	47,42	71,3	73,45	73,47	74,12	0,004294	3,61	13,13	10,25	1,02
tratto valle	389	T500	55,76	71,3	73,5	73,85	74,35	0,005402	4,09	13,63	10,5	1,15
tratto valle	370	T50	33,59	71,19	73,48		73,72	0,001534	2,13	15,91	16,22	0,62
tratto valle	370	T100	38,83	71,19	73,53	73,19	73,81	0,001835	2,39	16,64	18,65	0,68
tratto valle	370	T200	47,42	71,19	73,15	73,36	74	0,006838	4,07	11,64	10,99	1,26
tratto valle	370	T500	55,76	71,19	73,25	73,52	74,22	0,007759	4,36	12,8	12,3	1,35
tratto valle	315	T50	33,59	70,65	73,29	73,29	73,6	0,002779	2,71	20,55	46,15	0,6
tratto valle	315	T100	38,83	70,65	73,41	73,41	73,69	0,002576	2,71	26,77	62,18	0,59
tratto valle	315	T200	47,42	70,65	73,56	73,56	73,79	0,002217	2,63	37,96	82,45	0,55
tratto valle	315	T500	55,76	70,65	73,62	73,62	73,86	0,002419	2,79	42,67	84,43	0,58

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
			(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m)	
tratto valle	243	T50	33,59	69,95	71,8	72,23	73,08	0,018976	5	6,72	5,25	1,41
tratto valle	243	T100	38,83	69,95	72,06	72,67	73,23	0,015428	4,8	8,09	5,69	1,28
tratto valle	243	T200	47,42	69,95	72,44	72,94	73,42	0,010871	4,44	12,02	18,34	1,1
tratto valle	243	T500	55,76	69,95	72,63	73,02	73,5	0,008949	4,33	16,9	34,09	1,01
tratto valle	206	T50	33,59	69,59	71,86	72,08	72,44	0,007859	3,46	11,8	21,64	0,86
tratto valle	206	T100	38,83	69,59	71,85	72,17	72,64	0,010812	4,04	11,58	21,3	1
tratto valle	206	T200	47,42	69,59	71,9	72,3	72,95	0,014129	4,71	12,7	25,85	1,15
tratto valle	206	T500	55,76	69,59	72,01	72,39	73,07	0,013922	4,87	15,84	32,03	1,16
tratto valle	191	T50	33,59	69,44	72,19	71,91	72,28	0,001289	1,62	34,29	53,55	0,36
tratto valle	191	T100	38,83	69,44	72,31	71,99	72,39	0,001141	1,58	40,56	54,88	0,34
tratto valle	191	T200	47,42	69,44	72,47	72,11	72,54	0,00103	1,58	49,58	57,91	0,33
tratto valle	191	T500	55,76	69,44	72,6	72,17	72,67	0,000984	1,6	57	59,68	0,32

Plan: plan_geo_10 RIU GORA MANNA tratto valle RS: 451 Profile: T200				
E.G. US (m)	74,83	Element	Inside BR US	Inside BR DS
W.S. US (m)	73,40	E.G. Elev (m)	74,82	74,78
Q Total (m ³ /s)	47,42	W.S. Elev (m)	73,39	73,34
Q Bridge (m ³ /s)	47,42	Crit W.S. (m)	73,64	73,78
Q Weir (m ³ /s)		Max Chl Dpth (m)	1,40	1,41
Weir Sta Lft (m)		Vel Total (m/s)	5,29	5,29
Weir Sta Rgt (m)		Flow Area (m ²)	8,96	8,97
Weir Submorg		Froude # Chl	1,58	1,57
Weir Max Depth (m)		Specif Force (m ³)	31,41	31,42
Min El Weir Flow (m)	75,22	Hydr Depth (m)	1,15	1,16
Min El Pts (m)	75,74	W.P. Total (m)	8,96	8,94
Delta EG (m)	0,07	Conv. Total (m ³ /s)	448,0	449,7
Delta WS (m)	0,06	Top Width (m)	7,60	7,75
BR Open Area (m ²)	31,99	Frcin Loss (m)	0,06	0,00
BR Open Vel (m/s)	5,29	C & E Loss (m)	0,00	0,00
BR Sluice Coef		Shear Total (N/m ²)	109,89	109,45
BR Sel Method	Energy only	Power Total (N/m s)	581,66	578,56

Franco idraulico

Il Franco idraulico verrà analizzato nelle sue due componenti previste dalla normativa: opere di attraversamento e opere di adeguamento della sezione idraulica.

L'art. 21 delle NTA del PAI disciplina la progettazione, realizzazione e identificazione delle misure di manutenzione delle nuove infrastrutture.

In particolare, al comma 2 vengono regolamentate le opere di attraversamento, mentre al comma 2 bis le opere di difesa longitudinale.

Oltre al citato articolo, il Franco idraulico delle opere trasversali è disciplinato dall'art.

5.1.2.3 delle NTC2018.

Verifica franco di sicurezza sulle opere di attraversamento

Ai fini della verifica del franco idraulico sul ponte in progetto si identificano i tiranti idrici, per un $Tr=200$ anni, in corrispondenza della sezione 451 nella quale è stata inserita l'opera in progetto nella modellazione idraulica di cui sopra.

Per la determinazione del franco di sicurezza verranno prese in considerazione sia i contenuti dell'articolo 21 comma 2 lettere d1) e d2) delle NTA del PAI attualmente vigenti, che quelli dell'art. 5.1.2.3 delle NTC 2018.

Per quanto riguarda le NTA del PAI, queste prescrivono:

- 2 *Per le opere di attraversamento trasversale di tutti i corsi d'acqua appartenenti al reticolo idrografico, le disposizioni e norme tecniche tendono a stabilire principi generali e prescrizioni affinché le attività di progettazione, realizzazione e identificazione delle misure di manutenzione delle nuove infrastrutture a rete o puntuali di cui al precedente comma:*

[...]

d1) *garantiscono un franco sul livello della portata di progetto, per velocità medie della corrente inferiori a 8 m/s, pari a quanto indicato dall'analisi modellistica sul franco idraulico approvata dal Comitato istituzionale dell'Autorità di Bacino, corrispondente al massimo tra:*

1) $0,7v^2/2g$, dove v indica la velocità media della corrente;

2) un metro;

3) $0,87\sqrt{y+\alpha y'}$, dove y è la profondità media della corrente, y' è l'altezza della corrente areata e α un coefficiente che varia linearmente tra 0 e 1 quando la velocità varia tra 5 m/s e 15 m/s, con le limitazioni che il valore $0,87\sqrt{y}$ sarà assunto al massimo pari a 1,5 e y' viene assunto pari a 2 metri o alla profondità media y , se questa risulta minore di 2. Il valore y della profondità media della corrente è pari alla media pesata sulla base del contributo di ciascuna area di sezione liquida associata alla corrispondente larghezza della corrente sul pelo libero. Nelle sezioni idrauliche non confinate o nelle quali vi siano zone ove le velocità medie sono modeste, per la valutazione dell'area bagnata attiva si considerano

le sole parti aventi velocità della corrente superiori a 0,1 m/s.

Nel caso di profondità media della corrente inferiore a un metro, potrà essere assunto un franco pari al doppio della profondità media della corrente y , assicurando comunque un valore minimo del franco pari a un metro.

- d2. *Per velocità medie della corrente superiori a 8 m/s il franco sarà almeno pari all'intera altezza cinetica $v^2/2g$. In linea di principio, nei progetti di sistemazione idraulica non si dovrebbero verificare situazioni con velocità media della corrente superiori a 8 m/s: tali elevate velocità costituiscono un elemento critico sia dal punto di vista strutturale che idraulico e occorre assumere idonei accorgimenti progettuali per contenere tali elevati valori di velocità della corrente;*

Le NTC 2018, di contro, recitano, all'art. 5.1.2.3:

Quando il ponte interessa un corso d'acqua naturale o artificiale, il progetto deve essere corredato da uno studio di compatibilità idraulica costituito da una relazione idrologica e da una relazione idraulica riguardante le scelte progettuali, la costruzione e l'esercizio del ponte. L'ampiezza e l'approfondimento dello studio e delle indagini che ne costituiscono la base devono essere commisurati all'importanza del problema e al livello di progettazione. Deve in ogni caso essere definita una piena di progetto caratterizzata da un tempo di ritorno Tr pari a 200 anni ($Tr=200$). Coerentemente al livello di progettazione, lo studio di compatibilità idraulica deve riportare:

- l'analisi idrologica degli eventi di massima piena e stima della loro frequenza probabile;*
- la definizione dei mesi dell'anno durante i quali siano da attendersi eventi di piena, con riferimento alla prevista successione delle fasi costruttive;*
- la definizione della scala delle portate nelle condizioni attuali, di progetto, e nelle diverse fasi costruttive previste, corredata dal calcolo del profilo di rigurgito indotto dalla presenza delle opere in alveo, tenendo conto della possibile formazione di ammassi di detriti galleggianti;*
- la valutazione dello scavo localizzato con riferimento alle forme ed alle dimensioni di pile, spalle e relative fondazioni, nonché di altre opere in alveo*

provvisionali e definitive, tenendo conto della possibile formazione di ammassi di detriti galleggianti oltre che dei fenomeni erosivi generalizzati conseguenti al restringimento d'alveo;

– l'esame delle conseguenze di urti e abrasioni dovuti alla presenza di natanti e corpi flottanti.

Il manufatto non dovrà interessare con spalle, pile e rilevati la sezione del corso d'acqua interessata dalla piena di progetto e, se arginata, i corpi arginali.

Qualora fosse necessario realizzare pile in alveo, la luce netta minima tra pile contigue, o fra pila e spalla del ponte, non deve essere inferiore a 40 m misurati ortogonalmente al filone principale della corrente. Per i ponti esistenti, eventualmente interessati da luci nette di misura inferiore, è ammesso l'allargamento della piattaforma, a patto che questo non comporti modifiche dimensionali delle pile, delle spalle o della pianta delle fondazioni di queste, e nel rispetto del franco idraulico come nel seguito precisato. In tutti gli altri casi deve essere richiesta l'autorizzazione all'Autorità competente, che si esprime previo parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

Nel caso di pile e/o spalle in alveo, cura particolare è da dedicare al problema delle escavazioni in corrispondenza delle fondazioni e alla protezione delle fondazioni delle pile e delle spalle tenuto anche conto del materiale galleggiante che il corso d'acqua può trasportare. In tali situazioni, una stima anche speditiva dello scalzamento è da sviluppare fin dai primi livelli di progettazione.

Il franco idraulico, definito come la distanza fra la quota liquida di progetto immediatamente a monte del ponte e l'intradosso delle strutture, è da assumersi non inferiore a 1,50 m, e comunque dovrà essere scelto tenendo conto di considerazioni e previsioni sul trasporto solido di fondo e sul trasporto di materiale galleggiante, garantendo una adeguata distanza fra l'intradosso delle strutture e il fondo alveo.

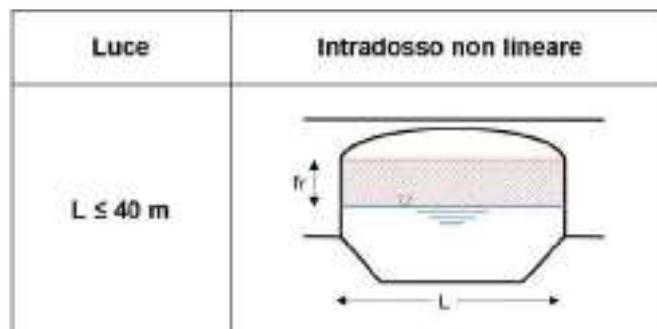
Quando l'intradosso delle strutture non sia costituito da un'unica linea orizzontale tra gli appoggi, il franco idraulico deve essere assicurato per una ampiezza centrale di 2/3 della luce, e comunque non inferiore a 40 m.

Il franco idraulico necessario non può essere ottenuto con il sollevamento del ponte durante la piena.

Lo scalzamento e le azioni idrodinamiche associate al livello idrico massimo che

si verifica mediamente ogni anno (si assuma $Tr = 1,001$) devono essere combinate con le altre azioni variabili adottando valori del coefficiente φ_0 unitario. Lo scalzamento e le azioni idrodinamiche associati all'evento di piena di progetto devono essere combinate esclusivamente con le altre azioni variabili da traffico, adottando per queste ultime i coefficienti di combinazione φ_1 .

Inoltre, considerando la geometria della struttura che si intende realizzare, caratterizzata da un intradosso non lineare, occorre considerare anche la Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 3 del 18/12/2014, la quale specifica che quando l'intradosso delle strutture non sia costituito da un'unica linea orizzontale tra gli appoggi, si applicano le indicazioni tabellare nell'allegato accluso. Gli attraversamenti relativi al presente progetto di ricostruzione e riqualificazione rientrano nel caso raffigurato:



L'immagine mostra come, per il caso in esame, debba essere calcolato il franco, evidenziando lo stesso graficamente ("fr" -zona tratteggiata in rosso).

Facendo riferimento ai contenuti della presente relazione e agli elaborati grafici a corredo del progetto di fattibilità tecnica ed economica, si riporta di seguito la tabella contenente i valori necessari per la verifica del franco sull'opera di attraversamento, determinati applicando l'art. 21 comma 2 lettera d1) del PAI e l'art. 5.1.2.3 nelle NTC 2018.

VERIFICA FRANCO IDRAULICO OPERA DI ATTRAVERSAMENTO RIO GORA MANNA											
Rio	Sezione idraulica	Lato	Livello QTR 200	v [m/s]	Profondità media corrente [m]	Valori Franco Idraulico				Franco di riferimento	Franco progetto
						NTA PAI			NTC2018		
						1 [m]	2 [m]	3 [m]	4 [m]		
RIO GORA MANNA	451	Monte	73,39	5,29	1,15	0,71	1	0,99	1,50	1,50	1,6
RIO GORA MANNA	451	Valle	73,34	5,29	1,16	0,71	1	1,02	1,50	1,50	1,65

Come si può notare, il franco idraulico di progetto risulta maggiore del franco idraulico di riferimento, confermando il rispetto dello stesso delle opere in proposta.

Verifica franco di sicurezza sulle opere di adeguamento della sezione idraulica

Ai fini della verifica del franco idraulico delle opere di difesa adeguamento della sezione idraulica in progetto si identificano i tiranti idrici corrispondenti al $Tr=200$ anni,

Per la determinazione del franco di sicurezza verranno prese in considerazione i soli contenuti dell'articolo 21 comma 2 bis lettere c1) e c2) delle NTA del PAI attualmente vigenti, che si riporta per comodità di lettura:

Per quanto riguarda le NTA del PAI, queste prescrivono:

2 *Per le opere di difesa longitudinale e per gli interventi di adeguamento della sezione idraulica di tutti i corsi d'acqua appartenenti al reticolo idrografico, le disposizioni e norme tecniche tendono a stabilire principi generali e prescrizioni affinché le attività di progettazione, realizzazione e identificazione delle misure di manutenzione delle nuove infrastrutture:*

c1. *garantiscono un franco sul livello della portata di progetto, per velocità medie della corrente inferiori a 8 m/s, corrispondente al massimo tra:*

1) $0,5v^2/2g$, dove v indica la velocità media della corrente;

2) *un metro, per profondità media della corrente superiore a 1 m oppure pari alla profondità media, per profondità media della corrente inferiore o uguale a 1 m;*

3) $0,87\sqrt{y+\alpha y'}$, dove y è la profondità media della corrente, y' è l'altezza della corrente areata ed α un coefficiente che varia linearmente tra 0 e 1 quando la velocità varia tra 5 m/s e 15 m/s, con le limitazioni che il valore $0,87\sqrt{y}$ sarà assunto al massimo pari a 1,5 ed y' viene assunto pari a 2 metri o alla profondità media y , se questa risulta minore di 2.

Il valore y della profondità media della corrente è pari alla media pesata sulla base del contributo di ciascuna area di sezione liquida associata alla corrispondente larghezza della corrente sul pelo libero. Nelle sezioni idrauliche non confinate o nelle quali vi siano zone ove le velocità medie sono modeste, per la valutazione dell'area bagnata attiva si considerano

le sole parti aventi velocità della corrente superiori a 0,1 m/s.

Fermo restando il valore minimo del franco di un metro, nel caso di profondità media della corrente inferiore a un metro, potrà essere assunto un franco pari al doppio della profondità media della corrente y.

c2. Per velocità medie della corrente superiori a 8 m/s il franco sarà almeno pari all'intera altezza cinetica $v^2/2g$. In linea di principio, nei progetti di sistemazione idraulica non si dovrebbero verificare situazioni con velocità media della corrente superiori a 8 m/s: tali elevate velocità costituiscono un elemento critico sia dal punto di vista strutturale che idraulico e occorre assumere idonei accorgimenti progettuali per contenere tali elevati valori di velocità della corrente;

Facendo riferimento ai contenuti della presente relazione e agli elaborati grafici a corredo del progetto definitivo, si riporta di seguito la tabella contenente i valori necessari per la verifica del franco sulle opere di adeguamento della sezione, determinati applicando l'art. 21 comma 2 lettera d1) del PAI e l'art. 5.1.2.3 nelle NTC 2018.

VERIFICA FRANCO IDRAULICO OPERA DI ADEGUAMENTO DELLA SEZIONE IDRAULICA DEL RIO GORA MANNA													
Rio	Sezione idraulica	Livello QTR 200	v [m/s]	fondo canale [mslm]	Profondità media corrente [m]	Valori Franco Idraulico NTA PAI			Franco idraulico riferimento	H Argine SX	H Argine DX	Franco idraulico in progetto SX	Franco idraulico in progetto DX
						1 [m]	2 [m]	3 [m]					
RIO GORA MANNA	557	75,15	3,39	73,32	0,45	0,29	1	0,58	1,00	75,73	75,73	0,58	0,58
RIO GORA MANNA	534	75	3,48	73	0,57	0,31	1	0,66	1,00	75,5	75,5	0,50	0,50
RIO GORA MANNA	512	74,24	4,83	72,73	1,22	0,59	1	0,96	1,00	75,21	75,21	0,97	0,97
RIO GORA MANNA	496	74,02	4,96	72,53	1,22	0,63	1	0,96	1,00	75,1	75,04	1,08	1,02
RIO GORA MANNA	472	73,7	5,12	72,23	1,22	0,67	1	1,02	1,02	74,8	74,8	1,10	1,10
RIO GORA MANNA	458	73,52	5,19	72,06	1,21	0,69	1	1,07	1,07	74,9	74,81	1,38	1,29
RIO GORA MANNA	455	73,49	5,18	72,03	1,22	0,68	1	1,09	1,09	74,96	74,93	1,47	1,44
RIO GORA MANNA	452	73,4	5,29	72	1,15	0,71	1	1,16	1,16	75,18	75,18	1,78	1,78
RIO GORA MANNA	447	73,34	5,29	71,93	1,16	0,71	1	1,23	1,23	75,18	75,18	1,84	1,84
RIO GORA MANNA	436	73,33	5,01	71,82	1,26	0,64	1	0,99	1,00	74,8	74,85	1,47	1,52
RIO GORA MANNA	430	73,28	5	71,77	1,26	0,64	1	0,98	1,00	74,71	74,71	1,43	1,43
RIO GORA MANNA	429	73,27	5	71,76	1,26	0,64	1	0,98	1,00	74,74	74,75	1,47	1,48
RIO GORA MANNA	424	73,23	4,99	71,71	1,27	0,63	1	0,98	1,00	74,73	74,59	1,50	1,36
RIO GORA MANNA	417	73,12	5,07	71,64	1,22	0,66	1	1,07	1,07	74,69	74,69	1,57	1,57
RIO GORA MANNA	411	73,14	4,87	71,59	1,29	0,60	1	0,99	1,00	74,65	74,65	1,51	1,51
RIO GORA MANNA	389	73,45	3,61	71,3	1,28	0,33	1	0,98	1,00	73,69	73,77	0,24	0,32
RIO GORA MANNA	370	73,15	4,07	71,19	1,06	0,42	1	0,90	1,00	73,44	73,15	0,29	0,00
RIO GORA MANNA	315	73,56	2,63	70,65	0,46	0,18	1	0,59	1,00	72,64	72,64	-0,92	-0,92
RIO GORA MANNA	243	72,44	4,44	69,95	0,66	0,50	1	0,71	1,00	72,37	72,37	-0,07	-0,07
RIO GORA MANNA	206	71,9	4,71	69,59	0,49	0,57	1	0,61	1,00	71,52	71,52	-0,38	-0,38
RIO GORA MANNA	191	72,47	1,58	69,44	0,86	0,06	1	0,81	1,00	71,74	71,29	-0,73	-1,18

La tabella riporta, in celeste, le sezioni interessate dagli interventi di sistemazione idraulica con la sezione di progetto, che si ricorda essere realizzata in pietra allettata, mentre in giallo è indicata la sezione in terra di raccordo con l'alveo naturale.

Si può notare che per il tratto sistemato in pietra, ad eccezione del tratto iniziale

influenzato dalle criticità idrauliche a monte dello stesso, il franco è sempre rispettato.

Di contro, nel tratto a valle della sistemazione, la situazione peggiora man mano che la sezione di raccordo si avvicina a quella attuale, inizialmente non verificando il franco, per poi esondare.

Definizione della pericolosità idraulica Hi

La pericolosità idraulica è definita come la probabilità di superamento della portata al colmo di piena; in accordo al DPCM 29/09/98 è ripartita in 4 livelli, pari a 0.02, 0.01, 0.005, 0.002, che corrispondono ai periodi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni.

Pericolosità		Frequenza (1/T)	Periodo di ritorno (T anni)
Hi1	Bassa	0.002	500
Hi2	Moderata	0.005	200
Hi3	Alta	0.01	100
Hi4	Molto alta	0.02	50

Scopo dell'indagine idraulica è stato dapprima quello di calcolare i livelli idrici nei singoli tratti per poi verificare se fossero contenuti o meno all'interno delle sezioni arginate. Sono state così considerate come allagabili tutte le porzioni di territorio limitrofe al corso d'acqua le cui quote del piano di campagna risultavano minori di quelle del pelo libero della corrente nelle sezioni considerate. In questo modo sono state individuate le aree potenzialmente a rischio secondo la classificazione della tabella sopra indicata:

- AREA Hi4: Ad alta probabilità di inondazione se allagata con portata con tempo di ritorno minore o uguale a 50 anni
- AREA Hi3: Ad alta probabilità di inondazione se allagata con portata con tempo di ritorno minore o uguale a 100 anni
- AREA Hi2: Ad alta probabilità di inondazione se allagata con portata con tempo di ritorno minore o uguale a 200 anni
- AREA Hi1: Ad alta probabilità di inondazione se allagata con portata con tempo di ritorno minore o uguale a 500 anni.

Nella Cartografia a corredo della presente si riportano le carte della pericolosità idraulica

per lo stato attuale e lo stato di progetto, relative al tratto del rio Gora Manna interessato dagli interventi.