ITEC engineering

COMUNE DI GENOVA

Committente:

Titolo:

INTERVENTI DI ADEGUAMENTO IDRAULICO DEI RIVI MAROTTO E MONFERRATO A GENOVA MULTEDO

Livello di Progetto:

Oggetto:

ANALISI RISCHIO IDRAULICO RESIDUALE E RIPERIMETRAZIONE AREE INONDABILI

Codice Progetto:
P072-14

Nome File:
P072-14-D-RE-IDR-002-B

Firme:





Rev.	Modifiche/Revisioni	Redatto	Data	Contr./Appr.	Data
A	PRIMA EMISSIONE	MI	31/07/18	PM/DG	31/07/18
B	RIPERIMETRAZIONE AREE INONDABILI	MI	12/12/18	PM/DG	17/12/18

ITEC engineering S.r.l.
19038 SARZANA (SP)
Via Variante Aurelia, 98
TEL. +39 0187 610532
info@itec-engineering.it

16129 GENOVA
Via Antonio Cecchi 7/9-10
TEL. +39 010 5959690
www.itec-engineering.it

ASSOCIATO oice CONFINDUSTRIA

efca FIDIC

Sistema Certificato UNI EN ISO 9001
SC 10-2588/IAF 34

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

INDICE

1 PREMESSA 3

2 INQUADRAMENTO GENERALE 5

2.1 DOCUMENTAZIONE DISPONIBILE 5
2.2 DESCRIZIONE DEI TRATTI D'ALVEO OGGETTO DI STUDIO 5
2.2.1 Rio Marotto 5
2.2.2 Rio Monferrato 6
2.2.3 Rio Molinassi 6
2.3 DESCRIZIONE DELLE AREE ADIACENTI AI CORSI D'ACQUA 7

3 ILPIANO DI BACINO AMBITO 12 E 13 9

4 VERIFICHE IDRAULICHE 10

4.1 PORTATE DI RIFERIMENTO 10
4.2 METODOLOGIA DI CALCOLO 10
4.3 PARAMETRI DI CALCOLO E CONFIGURAZIONI DI VERIFICA 10
4.3.1 Rio Marotto e rio Monferrato 10
4.3.2 Rio Molinassi 11
4.4 RISULTATI 12
4.4.1 Rio Marotto e rio Monferrato 12
4.4.2 Rio Molinassi 13

5 ANALISI DELLA DINAMICA DI ESONDAZIONE 14

5.1 RIO MAROTTO E RIO MONFERRATO 14
5.2 RIO MOLINASSI 15

6 DETERMINAZIONE DELLE PORTATE DI ESONDAZIONE 16

7 IDROGRAMMI DI PIENA 18

7.1 IDROGRAMMI DI PIENA RII MAROTTO, MONFERRATO E MOLINASSI 18
7.2 IDROGRAMMI PORTATE ESONDATE 21

8 MODELLO BIDIMENSIONALE DI ALLAGAMENTO 23

8.1 BASE TOPOGRAFICA 23
8.2 METODOLOGIA DI CALCOLO 23
8.3 SCHEMATIZZAZIONE DEL DOMINIO DI STUDIO 24
8.4 PARAMETRI DI CALCOLO E CONDIZIONI AL CONTORNO 24
8.5 RISULTATI 26
8.5.1 Stato attuale 26
8.5.2 Stato di progetto 26

9 RIPERIMETRAZIONE AREE INONDABILI 28

Allegati:

ALLEGATO 1: Mappatura dei tiranti evento 50-ennale stato attuale- scala 1:5000

ALLEGATO 2: Mappatura delle velocità evento 50-ennale stato attuale - scala 1:5000

ALLEGATO 3: Mappatura dei tiranti evento 200-ennale stato attuale - scala 1:5000

ALLEGATO 4: Mappatura delle velocità evento 200-ennale stato attuale - scala 1:5000

ALLEGATO 5: Mappatura dei tiranti evento 50-ennale stato di progetto - scala 1:5000

ALLEGATO 6: Mappatura delle velocità evento 50-ennale stato di progetto - scala 1:5000

ALLEGATO 7: Mappatura dei tiranti evento 200-ennale stato di progetto - scala 1:5000

ALLEGATO 8: Mappatura delle velocità evento 200-ennale stato di progetto - scala 1:5000

ALLEGATO 9: Mappatura dei tiranti evento 50-ennale stato di progetto con ostruzione 30% sul rio Molinassi- scala 1:5000

ALLEGATO 10: Mappatura delle velocità evento 50-ennale stato di progetto con ostruzione 30% sul rio Molinassi - scala 1:5000

ALLEGATO 11: Mappatura dei tiranti evento 200-ennale stato di progetto con ostruzione 30% sul rio Molinassi - scala 1:5000

ALLEGATO 12: Mappatura delle velocità evento 200-ennale stato di progetto con ostruzione 30% sul rio Molinassi - scala 1:5000

ALLEGATO 13: Riperimetrazione aree inondabili stato di progetto - scala 1:5000

ALLEGATO 14: Riperimetrazione aree inondabili stato di progetto con ostruzione 30% sul rio Molinassi scala 1:5000

ALLEGATO A: Verifiche idrauliche in moto permanente del rio Marotto e del rio Monferrato stato attuale

ALLEGATO B: Verifiche idrauliche in moto permanente del rio Molinassi

Appendici:

APPENDICE 1: Software di calcolo HecRas 5.0.4

APPENDICE 2: Software di calcolo InfoWorks ICM

APPENDICE 3: Calcolo dell'idrogramma di piena secondo i criteri della DGR 357/2008

1 PREMESSA

La presente relazione fa parte degli elaborati del *Progetto Definitivo degli interventi di adeguamento idraulico dei rivi Marotto e Monferrato a Genova - Multedo.*

L'area su cui si sviluppa il progetto ha un andamento pianeggiante ed è delimitata a Nord da Via Merano e Via Multedo di Pegli e a Sud dal rilevato della ferrovia Genova - Ventimiglia.

Essa è interessata dai tracciati tombinati dei rii Marotto e Monferrato (affluente di sinistra del rio Marotto) che scendono dalla valletta di Villa Gavotti e dai versanti soprastanti e che sono stati nel tempo canalizzati e coperti con percorsi artificiali che, a valle di Via Merano, si uniscono in un unica tombinatura che sbocca a mare all'interno del porto petroli.

Durante l'alluvione del 4 ottobre 2010 i due rii sono esondati provocando l'allagamento di Via Merano e delle aree di valle che, a seguito di tale evento, il Piano di Bacino Ambiti 12 e 13 ha inserito fra quelle in Fascia A (aree inondabili per evento 50-ennale).

Il progetto prevede la sistemazione idraulica dei rii Marotto e Monferrato finalizzata al deflusso della portata 200-ennale, nel rispetto della complessità dell'area attraversata caratterizzata dalla presenza di un asse viario importante (Via Merano), dalla presenza di diversi edifici industriali e commerciali e dalla presenza di numerosi sottoservizi e impianti.

Esso fa seguito al Progetto Preliminare redatto dalla scrivente nel dicembre 2015 approvato in conferenza dei servizi deliberante del 9/02/2017 indetta dal Provveditorato Interregionale Opere Pubbliche Piemonte, Valle D'Aosta, Liguria.

In particolare per quanto riguarda gli aspetti idraulici il progetto preliminare ha avuto il parere di compatibilità ai sensi dell'art. 21, comma 1, lettera d) della Legge Regionale 15/2015 da parte del Comitato Tecnico di Bacino nella seduta del 11/07/2016 e in data 12/12/2016 il parere favorevole della Regione Liguria Dipartimento del Territorio - Settore Difesa del Suolo Genova.

Rispetto al Progetto Preliminare redatto dalla scrivente del dicembre 2015 l'area a valle di Via Merano ha subito importanti modifiche a seguito della demolizione degli edifici denominati "Tecnocittà" e "ex Datasiel" che interferivano totalmente o in parte con il tracciato dei rii.

La presente relazione contiene l'analisi del rischio idraulico residuale e la relativa mappatura delle aree inondabili sia nello stato attuale che a seguito della realizzazione degli interventi di sistemazione dei rii Marotto e Monferrato nell'ipotesi di stato attuale del rio Molinassi, la cui sistemazione idraulica è attualmente in fase di progettazione nell'ambito di un progetto più ampio[1] che prevede la creazione di una nuova piattaforma industriale, ubicata tra il pontile Delta del Porto Petroli di Multedo e l'area Fincantieri a Sestri Ponente, per il trasferimento delle attività industriali attualmente collocate a Nord della ferrovia.

[1] *Progetto Definitivo della nuova calata ad uso cantieristica navale all'interno del Porto Petroli di Genova Sestri ponente e della sistemazione idraulica del rio Molinassi* - COCIV- MWH, dicembre 2014.

L’analisi è stata effettuata implementando un modello bidimensionale di simulazione dei fenomeni di allagamento che ha consentito la definizione dei tiranti e delle velocità di scorrimento per l’evento di piena 200-ennale e 50-ennale.

I risultati hanno consentito di definire le aree inondabili e, per eventi 200-ennali (Fascia B), le aree a minor pericolosità relativa (Fascia B0) in termini di tiranti idraulici e velocità di scorrimento, in accordo con i criteri indicati dalla DGR 91/2013[2].

[2] DGR 91 del 1/02/2013 - *Criteri ed indirizzi per l'individuazione di aree a minor pericolosità relativa nella fascia B dei piani di bacino regionali.*

2 INQUADRAMENTO GENERALE

2.1 DOCUMENTAZIONE DISPONIBILE

Ai fini di una corretta individuazione e analisi delle dinamiche di esondazione dei rii Marotto, Monferrato e Molinassi, oltre alla documentazione disponibile nell'ambito del presente progetto è stata utilizzata la documentazione presente nel progetto di sistemazione idraulica del rio Molinassi.

La documentazione disponibile è stata integrata con gli elaborati presenti nel Piano di Bacino Ambito 12 e 13 e con una serie di sopralluoghi nelle aree adiacenti ai corsi d'acqua per valutare più nel dettaglio lo stato dei luoghi.

2.2 DESCRIZIONE DEI TRATTI D'ALVEO OGGETTO DI STUDIO

2.2.1 Rio Marotto

Il rio Marotto nasce dalla Costa dei Pini, a circa 200 m s.l.m. alle spalle dell'abitato di Sestri Ponente Multedo.

Il suo bacino sottende una superficie complessiva di 0.67 km^2 allo sbocco a mare e di 0.41 km^2 a monte della confluenza con il rio Monferrato. La parte più elevata del bacino si presenta naturale, con alveo inciso in una valletta molto stretta e densamente coperta di vegetazione.

Intorno alla quota 60 m s.l.m. circa il rio attraversa tramite una tombinatura il rilevato autostradale a valle del quale prosegue con un breve tratto a cielo aperto e un secondo tratto tombinato sotto le strutture sportive di Villa Gavotti.

Da qui, per un breve tratto (60 m circa) in corrispondenza di Viale Villa Gavotti, ritorna a cielo aperto con fondo alveo plateato e argini in cemento armato di altezza variabile tra 2.0 e 2.5 m circa, la larghezza è pari a circa 5 metri e il fondo è sagomato con salti di altezza contenuta posti a distanza ravvicinata.

Successivamente l'alveo è nuovamente tombinato per circa 400 m sino a valle della linea ferroviaria Genova - Ventimiglia.

Il primo tratto fino a Via Merano è costituito da una sezione ad arco ribassato di larghezza 3.5 m circa e altezza di 1.70 m, con presenza di alcune strozzature in prossimità di Via Merano.

Più a valle la tombinatura è costituita da uno scatolare a sezione rettangolare di larghezza 4 m circa e altezza variabile tra 1 e 2 m.

A valle di Via Merano il rio sottopassa l'area una volta occupata dal fabbricato ex DATASIEL che è stato recentemente demolito.

Circa 70 m a valle dell'attraversamento di Via Merano il rio Marotto riceve in sponda sinistra il rio Monferrato, anch'esso tombinato.

La tombinatura prosegue verso valle con larghezze maggiori (5.5 m circa) sino a raggiungere la sede ferroviaria della linea Genova - Ventimiglia, che sottopassa con una sezione ad arco.

A valle della ferrovia un nuovo scatolare passa sotto la strada di collegamento alle aree portuali (Via Ronchi).

Il resto del tracciato è costituito da un canale a cielo aperto che sfocia nell'area del porto, di cui gli ultimi metri sono coperti da una struttura di passaggio delle vie di corsa delle gru.

Lungo tutto il tratto tombinato del rio Marotto, oltre a diverse tubazioni di diametro minore visibili sui lati della tombinatura, al di sotto della platea di fondazione sono presenti i tubi dell'oleodotto della IPLOM, del diametro di 8" e 16" che convogliano il petrolio greggio dall'area portuale verso i depositi di Fegino.

2.2.2 Rio Monferrato

Il rio Monferrato è tombinato per un lungo tratto sotto le strutture sportive di Villa Gavotti e sotto Via Insurrezione 23-25 Aprile 1945 ed è visibile a cielo aperto solo in un brevissimo tratto a monte del distacco del civ. 49 di Via Merano.

Dopo un salto di fondo di circa 2 metri, in corrispondenza del distacco del civico 49, il rio è stato recentemente sistemato a seguito dell'evento alluvionale del 4 ottobre 2010 con una sezione in c.a. di larghezza 2.5 m, altezza variabile tra 2 e 2.5 m e grigliato di copertura. Di qui il rio attraversa Via Merano con sezione di larghezza 2 metri ed altezza 1 metro.

A valle di Via Merano, il tombino è stato recentemente ristrutturato e allargato con una sezione rettangolare in cemento armato di 2.5 m di larghezza e 1.5 m di altezza.

Il tracciato prosegue verso Sud sino al capannone di Tecnocittà dove compie una brusca variazione di direzione a 90° e, con bassissima pendenza del fondo (0.25%), si immette nella tombinatura del rio Marotto.

2.2.3 Rio Molinassi

Il rio Molinassi sottende allo sbocco a mare un bacino di 1.98 km².

Esso ha origine alle spalle dell'abitato di Multedo, in località Contessa, a quota 450 m s.l.m. circa. Dopo un percorso di circa 4 km in direzione N-S, defluisce in mare, perpendicolarmente alla linea di costa, a Multedo, in Comune di Genova.

A valle del tracciato ferroviario Genova Ovada il bacino del rio Molinassi è caratterizzato da una forte urbanizzazione e pendenze dei versanti modeste, mentre a monte i versanti presentano acclività maggiori.

Nel tratto compreso tra Via Merano ed il tracciato ferroviario Genova-Ventimiglia il corso d'acqua si presenta tombinato con una sezione prima rettangolare e poi ad arco di larghezza pari a 6 m circa e altezza pari a 2 m circa.

Nel tratto a monte di Via Merano il rio ha sezione pressoché rettangolare con alveo plateato e sponde arginate.

Il tratto del rio Molinassi oggetto di verifica è compreso tra Via Sant'Antonio a valle dell'autostrada e lo sbocco a mare per una lunghezza complessiva di circa 900 m.

2.3 DESCRIZIONE DELLE AREE ADIACENTI AI CORSI D'ACQUA

Le aree adiacenti al rio Marotto e al rio Monferrato a valle di Villa Gavotti sono caratterizzate da una vasta area pianeggiante che negli anni è stata interessata da intensa urbanizzazione con costruzione di capannoni industriali ed edifici a destinazione produttiva commerciale.

Oggi la parte più a ponente e occupata dal grande fabbricato delle ex Fonderie di Multedo, mentre nella parte di levante su Via Merano è presente l'edificio occupato da un supermercato della Coop, nella parte a valle dagli edifici occupati da Logistics e dal Consorzio Sestrese nella parte a Sud.

Il tratto del rio Molinassi oggetto di verifica è compreso tra Via Sant'Antonio a valle dell'autostrada e lo sbocco a mare per una lunghezza complessiva di circa 900 m.

In corrispondenza dell'ultimo tratto a cielo aperto prima di Via Merano le aree adiacenti alle sponde del rio Molinassi hanno quote diverse.

La sponda sinistra è caratterizzata dalla presenza di Piazza Cosma Clavarino con quote del piano viabile pari a 5.6 m s.l.m., depressa rispetto a Via Merano di circa 1.7 m, mentre in sponda destra Via Sant'Alberto ha quote coincidenti con Via Merano.

La massima quota del piano viabile di Via Merano (7.3 m s.l.m.) è in corrispondenza dell'attraversamento del rio Molinassi (Piazza Cosma Clavarino), da qui, in direzione di Sestri Ponente, le quote del piano viabile decrescono fino a quota 4.5 m s.l.m., mentre in direzione di Multedo le quote del piano viabile decrescono fino a quota 5 m s.l.m., in corrispondenza di Via Multedo di Pegli.



Foto 1: Via Merano - vista da ponente

L'area a valle di Via Merano è caratterizzata dalla presenza di una serie di capannoni industriali e/o commerciali con un'unica strada, Via Bressanone, che collega Via Merano con la linea ferroviaria.

Via Bressanone è in discesa da Via Merano (quota 7 m s.l.m.) fino a quota 4.7 m s.l.m., in corrispondenza dell'accesso del primo capannone di ponente, per poi risalire fino a quota 6.1 m s.l.m.



Foto 2 - Vista aerea area di studio

3 ILPIANO DI BACINO AMBITO 12 E 13

I rii Marotto, Monferrato e Molinassi fanno parte del Piano di Bacino Stralcio sul Rischio Idrogeologico Ambito 12 e 13[3] e sono inseriti tra i corsi d'acqua significativi nella cartografia del Piano e nel reticolo idrografico della Regione Liguria[4].

I rii Marotto e Monferrato non risultano indagati (sono riportate solo alcune verifiche puntuali sul rio Marotto), mentre il rio Molinassi risulta indagato nel tratto compreso tra l'autostrada e lo sbocco a mare.

Nella tabella seguente sono riassunti i valori delle portate di piena per assegnato periodo di ritorno per le sezioni di sbocco a mare dei rii Marotto (Zanina) e Molinassi come riportato nel Piano.

Sezione	Q50 [m^3/s]	Q200 [m^3/s]
Marotto	22.0	32.0
Molinassi	66	95

Tabella I

Nella figura seguente è riportato un estratto della carta delle Fasce fluviali.

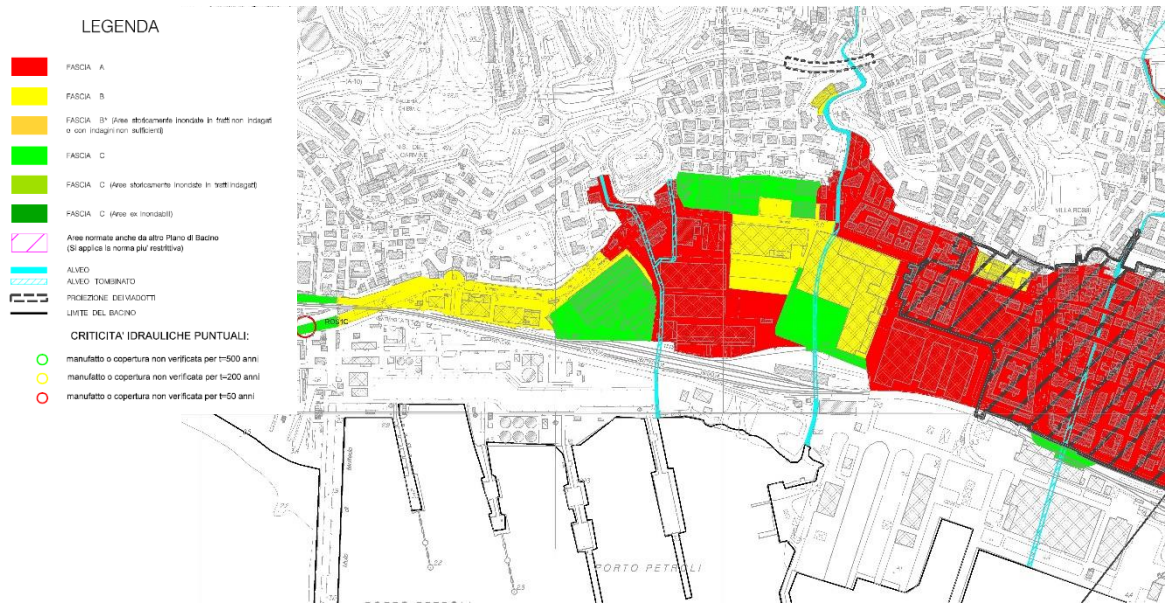


Figura 2: Estratto Carta delle fasce fluviali

[3] approvato con DCP n. 65 del 12/12/2002, ultima variante approvata: DDG n.98 del 13/04/2017 entrata in vigore il 10/05/2017

[4] DGR n.1449 del 30 novembre 2012

4 VERIFICHE IDRAULICHE

4.1 PORTATE DI RIFERIMENTO

Per le verifiche e l'analisi del rischio idraulico sono state considerate le seguenti portate:

Sezione	Q50 [m^3/s]	Q200 [m^3/s]
Marotto alla foce	22.0	32.0
Marotto a monte confluenza Monferrato	13.4	20.0
Monferrato alla confluenza nel Marotto	5.9	8.6
Molinassi alla foce	66	95

Tabella II

I valori delle portate di piena del rio Monferrato e del rio Marotto a monte della confluenza con il rio Monferrato, sono stati estrapolati utilizzando i contributi unitari della sezione terminale del rio Marotto pari a 32.8 $m^3/s/km^2$ per l'evento 50-ennale e 47.8 $m^3/s/km^2$ per l'evento 200-ennale.

4.2 METODOLOGIA DI CALCOLO

Le verifiche idrauliche sono state effettuate con il software di calcolo *Hec-Ras 5.0.4*[5] .

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

Per maggiori approfondimenti teorici a riguardo si rimanda all'Appendice 1 allegata alla presente relazione.

4.3 PARAMETRI DI CALCOLO E CONFIGURAZIONI DI VERIFICA

4.3.1 Rio Marotto e rio Monferrato

Le verifiche idrauliche dei rii Marotto e Monferrato sono state effettuate nella sola configurazione di stato attuale in quanto finalizzate alla determinazione delle portate esondate che, nel caso di progetto di sistemazione idraulica realizzato, sono nulle poiché la

5 HEC-RAS, Hydrologic Engineering Center – US Army Corps of Engineers

sistemazione garantisce un franco minimo rispetto all'intradosso di 1.0 m per la portata 50-ennale e superiore a 0.8 m per quella 200-ennale (vedi relazione idraulica: Doc. P072-14-D-RE-IDR-001).

Ai fini del calcolo sono state individuate una serie di sezioni trasversali numerate in senso crescente da valle verso monte in funzione delle caratteristiche geometriche e morfologiche dell'alveo (larghezza, pendenza, curve, presenza di manufatti ecc.) con l'aggiunta di alcune sezioni di calcolo intermedie in corrispondenza di variazioni di sezione significative e dei manufatti secondo il seguente schema:

Rio Marotto

- da sez. 1 a 4.1: tratto terminale a cielo aperto in ambito portuale (L=80 m circa)
- da sez. 4.1 a 7.3: attraversamento area ferrovia (L=60 m circa)
- da sez. 7.3 a 15: da limite ferrovia a confluenza con rio Marotto (L=140 m circa)
- da sez. 15 a 16: confluenza con il rio Monferrato (L=15 m circa)
- da sez. 16 a 19: tratto da confluenza a Via Merano (L=60 m circa)
- da sez. 19 a 20: attraversamento di Via Merano (L=20 m circa)
- da sez. 20 a 24: tratto sotto Viale Villa Gavotti (L=75 m circa)
- da sez. 24 a 28: tratto a cielo aperto lungo Viale Villa Gavotti (L=65 m circa)

Rio Monferrato

- da sez. 53 a 58: tratto da confluenza con rio Marotto a Via Merano (L=120 m circa)
- da sez. 58 a 62: attraversamento Via Merano (L=20 m circa)
- da sez. 62 a 66: tratto a monte di Via Merano (L=45 m circa)

In Allegato A è riportata la planimetria dei tratti indagati con l'indicazione delle sezioni idrauliche di calcolo.

I profili sono stati integrati per entrambe le condizioni di corrente lenta da valle verso monte e corrente veloce da monte verso valle, assumendo quali condizioni al contorno le condizioni critiche (Fr=1) nella sezione di monte e la quota del livello massimo di marea nello specchio acqueo del porto di Genova per la sezione di valle.

Le verifiche sono state effettuate in condizioni di sponde infinite nel caso di superamento delle quote di sommità arginali.

In accordo con le normative vigenti e con le condizioni dell'alveo il coefficiente di scabrezza *n* di Manning è stato assunto pari a 0.03 (corrispondente alla condizione di corsi d'acqua naturali con vegetazione e movimento di materiale sul fondo) per tutto il tratto a cielo aperto e pari a 0.025 (corrispondente a tratti urbanizzati di corsi d'acqua naturali con argini cementati) per i tratti tombinati.

4.3.2 Rio Molinassi

La verifica idraulica è stata effettuata per un tratto del rio Molinassi compreso tra il viadotto autostradale e la foce per uno sviluppo complessivo di circa 900 m.

La geometria del tratto d'alveo indagato e dei manufatti interferenti è stata ricavata dai rilievi topografici realizzati nell'ambito del già citato progetto relativo al *Nuovo inalveamento copertura tratto terminale del rio Molinassi nell'ambito delle opere di ribaltamento a mare aree Fincantieri*.

Ai fini del calcolo sono state individuate una serie di sezioni trasversali numerate in senso crescente da valle verso monte dalla 10 alla 371 in funzione delle caratteristiche geometriche e morfologiche dell'alveo (larghezza, pendenza, curve, presenza di manufatti ecc.) con l'aggiunta di alcune sezioni di calcolo intermedie in corrispondenza di variazioni di sezione significative e dei manufatti.

In Allegato B è riportata la planimetria del tratto indagato con l'indicazione delle sezioni idrauliche di calcolo.

Dato il carattere torrentizio del corso d'acqua il profilo è stato integrato per entrambe le condizioni di corrente lenta da valle verso monte e corrente veloce da monte verso valle, assumendo quali condizioni al contorno le condizioni critiche (Fr=1) nelle sezioni di estremità.

Le verifiche sono state effettuate in condizioni di sponde infinite qualora il livello dell'acqua superasse il limite arginale.

In accordo con le normative vigenti il coefficiente di scabrezza *n* di Manning è stato assunto pari a 0.03 lungo quasi tutto il tratto, corrispondente alla condizione di corsi d'acqua naturali con vegetazione e movimento di materiale sul fondo e pari a 0.025 per il tratto tombinato a valle di via Merano, corrispondente a tratti urbanizzati di corsi d'acqua naturali con argini cementati.

4.4 RISULTATI

4.4.1 Rio Marotto e rio Monferrato

I risultati sono riassunti in forma numerica e grafica nell'Allegato A.

Il tratto terminale del rio Marotto in ambito portuale e sotto il rilevato ferroviario (da sez. 1 a sez. 8) consente il deflusso della portata 50-ennale e 200-ennale, sia pure con franchi ridotti.

Nel tratto a monte del rilevato ferroviario il deflusso avviene con la messa in pressione della tombinatura per entrambi i valori di portata.

Tenendo conto del funzionamento in pressione la portata 200-ennale esonda nel tratto a cielo aperto in corrispondenza di Viale Villa Gavotti, a monte del tratto terminale coperto, mentre il rigurgito della portata 50-ennale non raggiunge la sezione di imbocco della tombinatura.

La portata massima smaltibile a pelo libero è circa 6 m^3/s per il tratto a monte della confluenza e 10 m^3/s per il tratto a valle, pari a circa la metà del valore di portata 50-ennale.

La messa in pressione del rio Marotto provoca il contestuale funzionamento in pressione del rio Monferrato per tutto il tratto tombinato sino all'imbocco a monte di Via Merano, per entrambi i valori di portata.

In condizioni indisturbate il deflusso della portata 50-ennale avviene a pelo libero con franchi ridotti (0.4 m circa), mentre la portata 200-ennale defluisce in pressione.

La portata massima smaltibile a pelo libero è circa 4 m^3/s, pari a circa il 70% della portata 50-ennale.

4.4.2 Rio Molinassi

I risultati sono riassunti in forma numerica e grafica nell'Allegato B.

Il deflusso della portata 200-ennale avviene con la messa in pressione del tratto terminale coperto e contestuale rigurgito in corrente lenta verso monte.

Il profilo interferisce con i manufatti esistenti e dà luogo a esondazione nel tratto a monte della copertura di Via Merano.

Il profilo della portata 50-ennale è del tutto simile a quello della portata 200-ennale con altezze minori di 0.5 m circa.

5 ANALISI DELLA DINAMICA DI ESONDAZIONE

La dinamica di esondazione è stata ricostruita sulla base dei recenti eventi alluvionali, dei risultati delle verifiche idrauliche e sulla base di un'attenta analisi della morfologia dei luoghi.

5.1 RIO MAROTTO E RIO MONFERRATO

Le tombinature dei due rii sono insufficienti al deflusso a pelo libero delle portate con tempo di ritorno 50-ennale e 200-ennale sia per la inadeguatezza delle sezioni che per la presenza al loro interno di attraversamenti e parallelismi di numerosi sottoservizi che ne ostruiscono le sezioni libere di deflusso.

Durante l'alluvione del 4 ottobre 2010 i due rii sono esondati provocando l'allagamento di Via Merano e delle aree di valle.

Nelle figura seguente sono indicati i punti di esondazione e le vie di deflusso delle portate esondate.



Figura 3

5.2 RIO MOLINASSI

Le verifiche idrauliche mostrano come il tratto tombinato del rio Molinassi risulti insufficiente al deflusso della portata 50-ennale.

Per la particolare morfologia dei luoghi l'esondazione avviene a monte del tratto tombinato con interessamento di Via Merano, che costituisce una via preferenziale per il deflusso.

La portata esondata defluisce progressivamente in Via Merano prima verso Sestri Ponente, essendo la viabilità costantemente in discesa e in un secondo momento (quando riesce a superare il dosso di Via Merano in corrispondenza di Via Sant'Alberto e Via Bressanone) verso ponente.

Nelle figura seguente sono indicati i punti di esondazione e le vie di deflusso delle portate esondate.

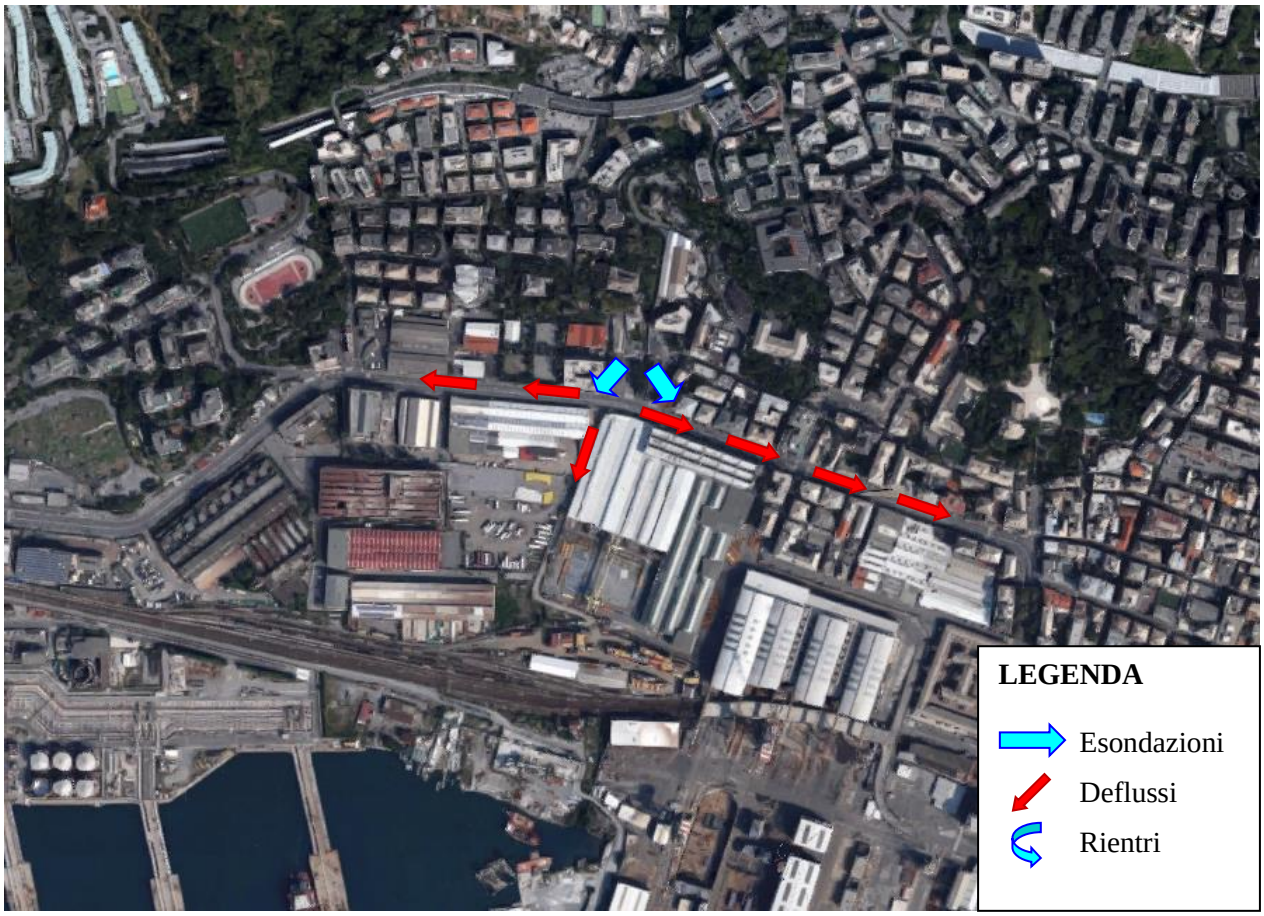


Figura 4

6 DETERMINAZIONE DELLE PORTATE DI ESONDAZIONE

Le portate di esondazione dei rii Monferrato e Molinassi sono state determinate con lo stesso modello di calcolo utilizzato per le verifiche idrauliche che consente il calcolo della portata esondata lungo le sponde quando il livello supera le quote degli argini (*lateral structure*).

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

I tratti d'alveo esondabili sono stati schematizzati come stramazzi laterali secondo il seguente schema:

Rio Monferrato

- da sez. 63 a sez. 66: sviluppo di 40 m in sponda destra corrispondente al tratto immediatamente a monte del tratto tombinato.

Rio Molinassi

- da sez. 230 a sez. 190: sviluppo di 55 m in sponda sinistra in Via Galvani;
- da sez. 119 a sez. 90: sviluppo di 80 m corrispondente al tratto immediatamente a monte del tratto tombinato sia in sponda destra che in sinistra.

Il calcolo è stato effettuato attraverso una serie di simulazioni in moto permanente gradualmente variato per assegnati valori della portata complessiva in arrivo da monte.

In tal modo è stato possibile determinare, per ciascuna simulazione, le portate di esondazione e il relativo di volume esondato.

A favore di sicurezza il profilo è stato integrato per la sola condizione di corrente lenta da valle verso monte, assumendo quali condizioni al contorno le condizioni critiche (Fr=1) nella sezione di estremità di valle.

Nelle tabelle seguenti sono riportati per ciascun valore della portata in arrivo da monte i corrispondenti valori delle portate di esondazione.

Rio Monferrato			
Q monte [m^3/s]	**Q es Sinistra [m^3/s]**	**Q es Destra [m^3/s]**	**Q residua valle [m^3/s]**
2.95	0.00	0.00	2.95
5.9	0.00	1.6	4.3
8.6	0.00	3.9	4.7

Tabella IV

Rio Molinassi			
Q monte [m^3/s]	**Q es Sinistra [m^3/s]**	**Q es Destra [m^3/s]**	**Q residua valle [m^3/s]**
37	0.00	0.00	37
44	2.41	0.00	41.59
53	10.11	0.00	42.89
66 (Q50)	21.56	0.48	43.96
77	32.13	1.22	43.65
85	39.10	1.66	44.24
95 (Q200)	48.47	2.20	44.33

Tabella V

Il rio Marotto esonda nel tratto tombinato in corrispondenza di Via Merano pertanto, ai fini della determinazione delle portate esondate, non è stato possibile utilizzare la stessa metodologia utilizzata per i rii Monferrato e Molinassi.

In questo caso le portate di esondazione sono state calcolate tagliando l'idrogramma di piena in corrispondenza della portata di soglia intesa come portata massima smaltibile in condizioni di incipiente pressione che dalle verifiche idrauliche effettuate risulta pari a 11 m^3/s.

7 IDROGRAMMI DI PIENA

7.1 IDROGRAMMI DI PIENA RII MAROTTO, MONFERRATO E MOLINASSI

La determinazione degli idrogrammi di piena de i rivi è stata effettuata secondo le procedure previste dalla linee guida DGR 357/2008 *Criteri di verifica e valutazione delle portate al colmo e degli idrogrammi di piena nei bacini idrografici liguri*.

In particolare si è utilizzato il *metodo indiretto dell'evento idrometeorologico critico* finalizzato alla valutazione degli idrogrammi di riferimento condizionati dal valore della portata al colmo di progetto, assunta in questo caso pari a quella del Piano di Bacino.

La metodologia di calcolo è riportata in Appendice 3.

Nel caso in esame si è adottata la curva di probabilità pluviometrica della stazione di Madonna della Guardia, i cui parametri sono riportati nell'Appendice II della DGR sopra menzionata.
La curva risultante è esprimibile come $h=118 \cdot t^{0.399}$ per T=50 anni e $h=162 \cdot t^{0.399}$ per T=200 anni.

Ai fini del calcolo sono stati ricostruiti gli idrogrammi di piena attraverso l'uso di un modello seriale di trasformazione afflussi-deflussi.

Il modello (vedi Appendice 3) è costituito da una prima parte di trasformazione della pioggia di progetto in volume specifico di ruscellamento, basato sull'interpretazione Hortoniana (non lineare) del processo di assorbimento e da una seconda parte caratterizzata da un modello lineare di formazione della piena attraverso la rete idrografica basato sul modello di Nash.

Il calcolo della precipitazione efficace al fine dello scorrimento superficiale è stato effettuato depurando gli ietogrammi precedentemente individuati dalle perdite per infiltrazione e per immagazzinamento nelle depressioni superficiali.

Si è adottato il metodo di depurazione della pioggia noto come *Curve Number* proposto dal Soil Conservation Service basato sul modello Hortoniano di descrizione del fenomeno dell'assorbimento. La determinazione dei parametri caratteristici del bacino quali superficie, valore di CN e tempo di corrivazione è stata effettuata sulla base dei contenuti del Piano di Bacino e della stessa DGR 357/2008.

Nella tabella seguente sono riportati i parametri utilizzati per il calcolo degli idrogrammi di piena per i tre rivi.

	A [km²]	tc [minuti]	CN (condizione III)
Monferrato	0.18	25	92
Marotto	0.41	25	92
Molinassi	1.98	55	92

Tabella VI

I risultati dei calcoli sono riassunti nelle tabelle seguenti per gli eventi 200-ennale e 50-ennale.

Rio Monferrato						
	A [km^2]	**a(*) [mm/h]**	**n**	**t_p [min]**	**Qmax [m^3/s]**	**Vtot [MLm^3]**
200-ennale	0.18	155	0.399	35	8.7	0.017
50-ennale	0.18	109	0.399	35	5.9	0.011

Tabella VII

Rio Marotto						
	A [km^2]	**a(*) [mm/h]**	**n**	**t_p [min]**	**Qmax [m^3/s]**	**Vtot [MLm^3]**
200-ennale	0.41	155	0.399	35	20	0.04
50-ennale	0.41	109	0.399	35	13.4	0.026

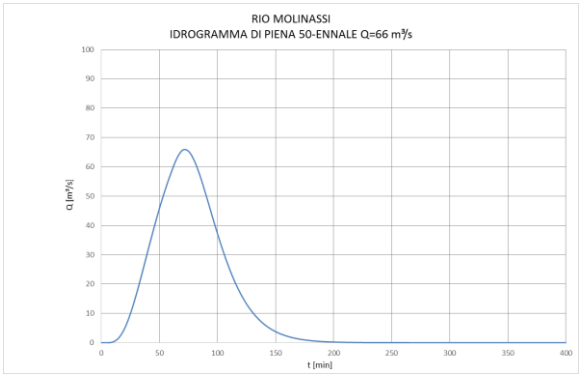
Tabella VIII

Rio Molinassi						
	A [km^2]	**a(*) [mm/h]**	**n**	**t_p [min]**	**Qmax [m^3/s]**	**Vtot [MLm^3]**
200-ennale	1.98	219	0.399	60	95	0.38
50-ennale	1.98	157	0.399	60	66	0.26

Tabella IX

Data la complessità del fenomeno risulta evidente che se da una parte tali idrogrammi possono non rappresentare l'effettivo andamento delle portate durante l'evento, dall'altra ne costituiscono tuttavia una sintesi sufficientemente attendibile per gli scopi del presente studio.

Nelle figure seguenti sono riportati gli idrogrammi di piena 200-ennale e 50-ennale dei tre rivi.



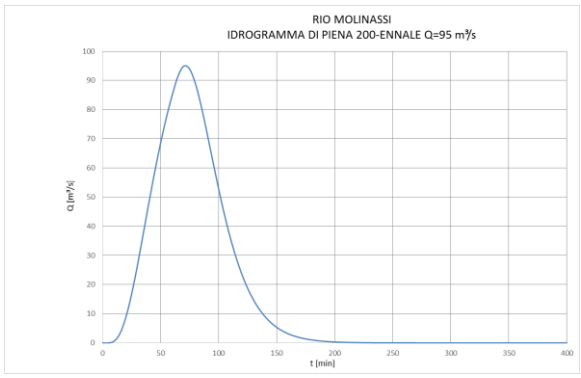
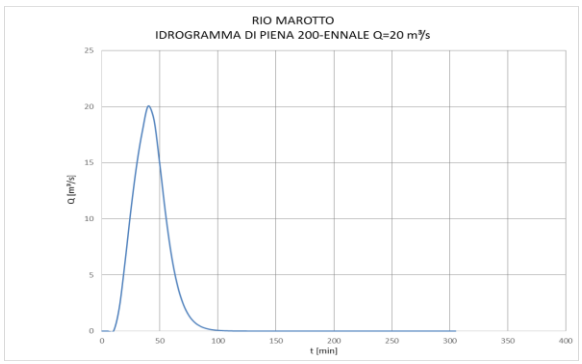


Figura 5



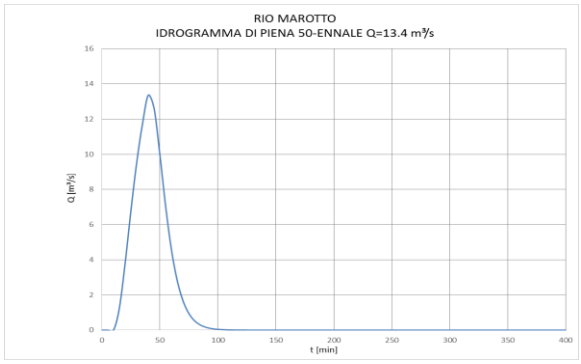
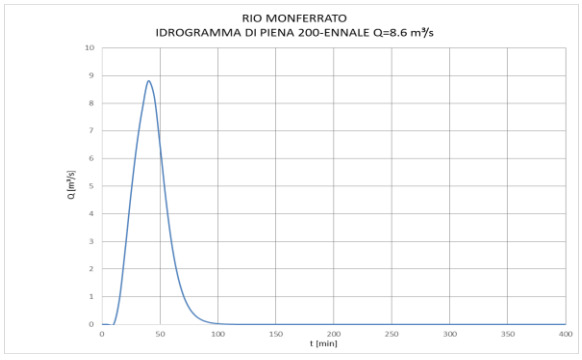


Figura 6



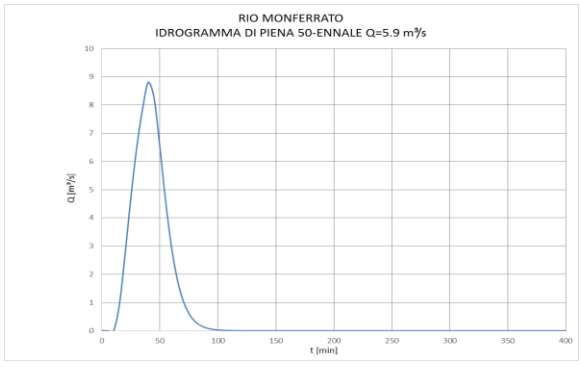


Figura 1

7.2 IDROGRAMMI PORTATE ESONDATE

Gli idrogrammi delle portate esondate dei rii Monferrato e Molinassi sono stati ricavati associando a prefissate coppie di valori *(Q, t)* degli idrogrammi di piena i valori delle corrispondenti portate esondate, mantenendo inalterata la durata *t*.

Nelle figure seguenti, sono riportati gli idrogrammi delle portate esondate in sponda sinistra (grafico rosso) e in sponda destra (grafico blu) per i due rii.

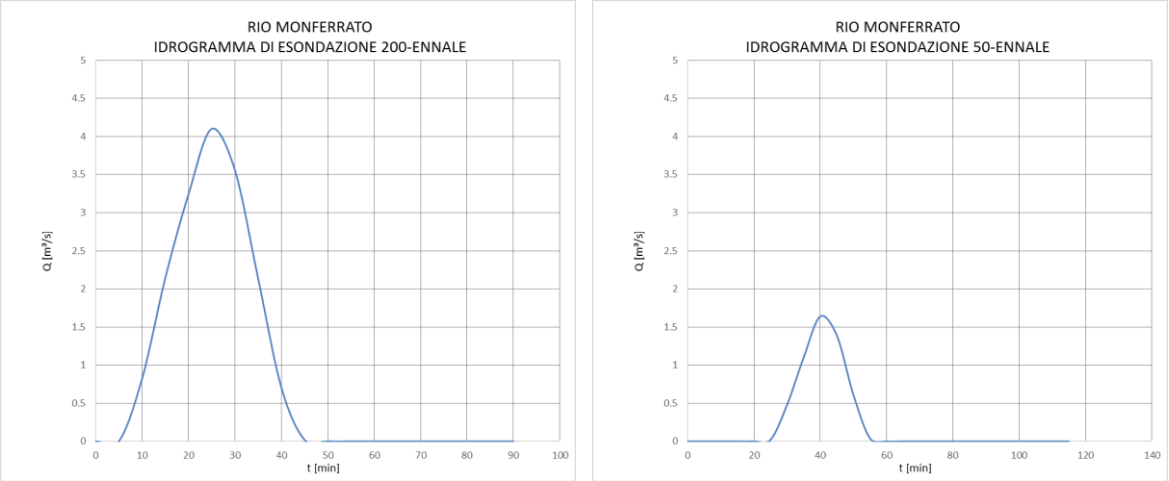


Figura 8

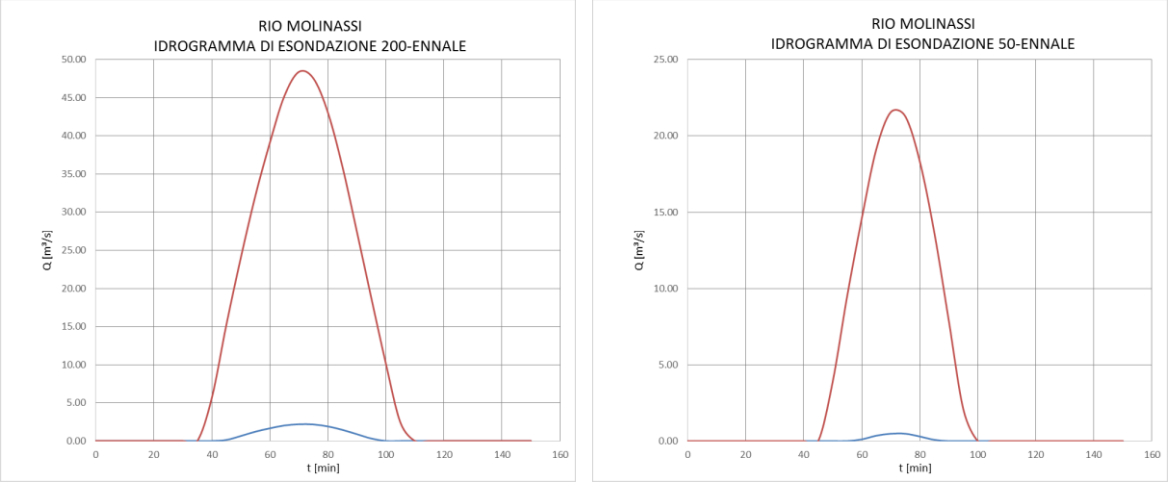


Figura 9

Gli idrogammi di esondazione del rio Marotto sono stati ricavati tagliando l'idrogramma di piena in corrispondenza della portata di soglia a 11 m³/s.

Nella figura seguente sono riportati tali idrogrammi delle portate esondate per l'evento 50-ennale e 200-ennale.

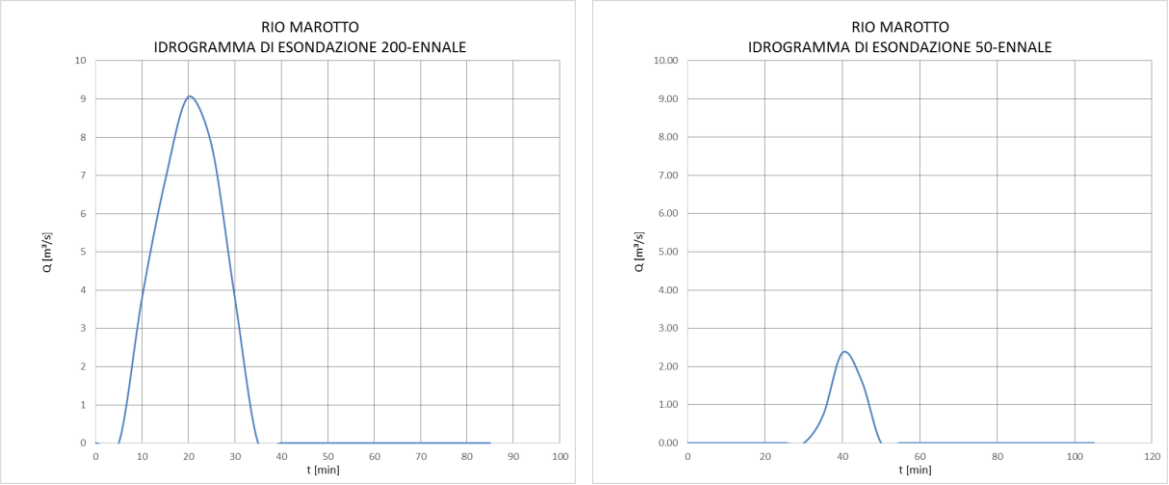

RIO MAROTTO
IDROGRAMMA DI ESONDAZIONE 200-ENNALE
Q [m³/s]
t [min]
RIO MAROTTO
IDROGRAMMA DI ESONDAZIONE 50-ENNALE
Q [m³/s]
t [min]

Figura 10

8 MODELLO BIDIMENSIONALE DI ALLAGAMENTO

8.1 BASE TOPOGRAFICA

La modellazione idraulica dell'area urbana indagata è stata fatta a partire da una base topografica adeguata alla tipologia di studio e alla scala di dettaglio del modello.

In particolare per la definizione del dominio di calcolo sono state utilizzate le seguenti basi topografiche opportunamente integrate ed omogeneizzate tra loro:

- DTM fornito dalla Regione Liguria prodotto da CTR 1:5000, caratterizzato da una maglia di 5x5 m, le cui informazioni topografiche appartengono ad un intervallo temporale tra gli anni 2006 e 2009.
- Carta Tecnica Regionale (C.T.R.), scala 1:5000, vettoriale tridimensionale (formato DWG).
- Carta Tecnica Comunale in scala 1:1000 fornita dal Sistema Informativo Territoriale (SIT) del Comune di Genova in formato vettoriale, relativa al tratto compreso tra Via Multedo di Pegli e Via Hermada.
- Rilievo plano-altimetrico di dettaglio dell'area di Multedo oggetto del presente studio, fornita dal committente.
- Progetto di dettaglio dell'area interessata dalla sistemazione idraulica e dalla riorganizzazione degli edifici industriali/commerciali.

8.2 METODOLOGIA DI CALCOLO

Lo studio relativo all'allagamento delle aree adiacenti ai rii Marotto, Monferrato e Molinassi è stato effettuato implementando un modello idraulico bidimensionale con il software *Infoworks ICM*[6].

Il software consente il calcolo in moto vario monodimensionale e bidimensionale di alvei fluviali, reticoli di bonifica e fognature urbane utilizzando la metodologia dei volumi finiti.

Tra i principali risultati fornisce per ciascun dominio di calcolo (maglia di discretizzazione) i massimi tiranti idrici e la massima velocità di scorrimento.

Per maggiori approfondimenti teorici a riguardo si rimanda all'Appendice 2 allegata alla presente relazione.

6 *Infoworks ICM 6.5.5 HR Wallingford Innovyze*.

8.3 SCHEMATIZZAZIONE DEL DOMINIO DI STUDIO

Il dominio di studio è stato schematizzato utilizzando i dati presenti nelle diverse basi topografiche disponibili.

La base topografica di partenza importata nel software è costituita dal DTM Regionale.

Poiché il DTM tiene conto solamente della superficie geodetica del territorio, sono stati importati dalla Carta Tecnica Regionale tutti gli edifici presenti nell'area indagata a cui è stata assegnata la condizione di "poligoni vuoti" non attraversabili dal flusso della corrente.

Con riferimento al DTM è stata fatta un'analisi della precisione e della completezza dei dati topografici al fine di verificarne l'adeguatezza per l'utilizzo nella modellazione.

L'analisi ha evidenziato che il DTM è affetto dalle seguenti imprecisioni:

- la risoluzione del modello non sempre riesce a rappresentare le forti discontinuità presenti nella topografia dell' area urbana indagata, generando, in alcune zone un rilievo geodetico del terreno che non rappresenta la realtà topografica dei luoghi. Nel caso specifico le viabilità di Via Merano e Via Bressanone presentavano delle anomalie in termini di quote del terreno.

La risoluzione delle imprecisioni riscontrate nel DTM è stata in parte effettuata integrando la base cartografica del DTM con la Cartografia Tecnica Comunale in scala 1:1000 e con il rilievo.

A completamento del lavoro di integrazione sono state aggiunte una serie di condizioni interne, quali arginature, rilevato ferroviario, muri perimetrali di edifici per rappresentare in modo più dettagliato e preciso la realtà urbana indagata.

Infine è stato individuato e creato il dominio 2D di allagamento sulla base delle dinamiche di esondazione dell'area e delle mappature risultanti dal Piano di Bacino.

In particolare il dominio di calcolo si estende in direzione N-S dalle aree a valle del tracciato autostradale fino a mare e in direzione E-O da Via Hermada fino a Via Multedo di Pegli.

Il dominio 2D individuato ha un'estensione di circa 62.4 ha.

8.4 PARAMETRI DI CALCOLO E CONDIZIONI AL CONTORNO

Il dominio di calcolo è stato discretizzato generando una *mesh* triangolare a differente superficie, allo scopo di seguire più fedelmente possibile la geometria dei luoghi.



Figura 2

I parametri principali relativi alla magliatura assunti nella modellazione sono i seguenti:

- dimensione massima dell' area dei triangoli generati pari a 50 m^2;
- dimensione minima dell' area dei triangoli generati paria a 10 m^2;
- magliatura variabile in funzione dell'andamento del terreno in modo che la variazione di quota tra i tre vertici non superi il valore di 0.20 m;
- coefficiente di scabrezza (coefficiente di Manning) di tutto il dominio pari a 0.022. Tale scelta è dovuta al fatto che l'area indagata è costituita esclusivamente da un'area urbana caratterizzata da viabilità carrabili e marciapiedi.

Il numero totale di triangoli generati dal software è pari a circa 41200, ognuno dei quali presenta un valore di quota univoco determinato sulla base della triangolazione dei punti del modello.

Al dominio di calcolo sono state assegnate le seguenti condizioni al contorno:

- *Condizioni di input:* sono costituite per lo stato attuale dai tre idrogrammi di esondazione del rio Molinassi individuati nella simulazione con HecRas (vedi paragrafo 5) ubicati rispettivamente in sponda sinistra in corrispondenza di Via Galvani e in sponda destra e sinistra a monte del tratto tombinato di Via Merano, dall'idrogramma di esondazione del rio Marotto in via Merano e dall'idrogramma del rio Monferrato in sponda destra a monte del tratto tombinato di via Merano e per lo stato di progetto solo dai tre idrogrammi di esondazione del rio Molinassi.
- *Condizioni generali della maglia:* nei restanti tratti del dominio di calcolo non interessati dalle condizioni di Input e di Output si è assunta, a favore di sicurezza, la condizione al contorno di "*Vertical Wall*" che corrisponde all'inserimento di una barriera verticale impermeabile infinitamente alta che non lascia uscire l'acqua dal dominio di calcolo qualora in simulazione si verificasse presenza d'acqua al suo perimetro.

Ai fini della simulazione idraulica , sono stati adottati i seguenti parametri:

- Passo temporale di integrazione utilizzato durante il calcolo (*Timestep)* pari a 5 s.
- *Durata della simulazione* pari a 500 min corrispondente a circa 6 volte la durata degli idrogrammi in input.

8.5 RISULTATI

I risultati della simulazione confermano le dinamiche di esondazione descritte nei paragrafi precedenti.

8.5.1 Stato attuale

I risultati sono conformi rispetto alle aree inondabili per evento di piena 200-ennale e 50-ennale riportate nella cartografia del Piano di Bacino Ambito 12 e 13, eventuali piccole differenze sono dovute ad un'analisi di maggior dettaglio dei rivi.

La portata esondata defluisce secondo una linea di flusso preferenziale costituita da Via Merano direzione levante verso il centro abitato di Sestri Ponente.

La portata esondata dei rii Marotto e Monferrato defluisce in Via Merano verso ponente fino ai sottopassi stradali di Via Multedo di Pegli e verso le aree industriali e commerciali comprese tra via Merano e la linea ferroviaria.

La portata esondata del rio Molinassi defluisce progressivamente in Via Merano prima verso Sestri Ponente, essendo la viabilità costantemente in discesa e in un secondo momento (quando riesce a superare il dosso di Via Merano in corrispondenza di Via Sant'Alberto e Via Bressanone) verso ponente.

Negli Allegati 1 e 3 è riportato graficamente l'andamento dei valori massimi dei tiranti per l'evento 200-ennale e 50-ennale e negli Allegati 2 e 4 i valori massimi delle velocità.

8.5.2 Stato di progetto

Nello stato di progetto i risultati del modello applicato indicano che la maggior parte delle aree comprese tra il rio Molinassi e Via Multedo di Pegli non sono soggette ad allagamento e, solo in piccola parte, risultano allagabili in caso di evento 200-ennale con altezze del pelo libero inferiori a 0.3 m e velocità contenute, mentre nulla cambia per le aree comprese fra il rio Molinassi e Via Hermada.

Negli Allegati 5 e 7 è riportato graficamente l'andamento dei valori massimi dei tiranti per l'evento 200-ennale e 50-ennale e negli Allegati 6 e 8 i valori massimi delle velocità.

Per valutare ulteriormente l'influenza della tombinatura del rio Molinassi sull'andamento del profilo idraulico della corrente nello stato attuale è stata fatta una simulazione che prevede l'ostruzione parziale della sezione di deflusso della tombinatura.

In generale la parziale ostruzione della sezione di deflusso di un ponte o dell'imbocco di una tombinatura è dovuta principalmente alla presenza delle pile, sulle quali tendono a fermarsi i rami e il materiale flottante trasportato dalla corrente durante un evento di piena.

La tombinatura del rio Molinassi non presenta pile in alveo, tuttavia si è proceduto ugualmente a considerarne una parziale ostruzione del 30% della sezione più ristretta (subito a valle del ponte di Via Merano) dovuta a un possibile sovralluvionamento del fondo o all'accatastamento di materiale flottante trasportato dalla corrente.

Non si è prevista nessuna ostruzione sui rii Marotto e Monferrato in quanto, nel dimensionamento e verifica delle nuove tombinature (vedi relazione idraulica: Doc. P072-14-D-RE-IDR-001), è stata analizzata anche la parziale occlusione (circa il 40%) delle sezioni di deflusso a monte della confluenza, dovute ad un apporto eccezionale di materiale, in concomitanza di un evento di piena 200-ennale, che ha dimostrato che, anche in queste condizioni, la portata defluisce a pelo libero con un franchi residui di almeno 0.2 m rispetto all'intradosso e che tale ostruzione non influenza il moto nei tratti a monte e a valle.

Negli Allegati 9, 10, 11 e 12 sono riportate le mappature relative ai tiranti e alle velocità di scorrimento per gli eventi 50-ennale e 200-ennale in presenza di ostruzione.

9 RIPERIMETRAZIONE AREE INONDABILI

Nello stato di progetto (sistemazione idraulica dei rii Marotto e Monferrato) i risultati indicano che la maggior parte delle aree comprese tra il rio Molinassi e Via Multedo di Pegli non sono soggette ad allagamento e, solo in piccola parte, risultano allagabili in caso di evento 200-ennale con altezze del pelo libero inferiori a 0.3 m e velocità contenute, mentre nulla cambia per le aree comprese fra il rio Molinassi e Via Hermada.

Tale differenza è dovuta al fatto che la simulazione effettuata tiene conto dell'attuazione dei lavori di adeguamento idraulico dei rii Marotto e Monferrato, oltreché ad un maggior grado di dettaglio della modellazione bidimensionale effettuata.

Dal confronto con la mappatura in assenza di ostruzione emerge una maggior estensione della Fascia A, che interessa le aree circostanti il primo tratto di Via Merano in direzione Ponente, e della Fascia B che si estende fino l'edificio delle ex Fonderie di Multedo.

In accordo con i contenuti della DGR 91 del 01/02/2013, che individua come aree a bassa pericolosità relativa quelle che presentano velocità minori di 2 m/s per tiranti sino a 0.3 m, velocità inferiori a 1.5 m/s per tiranti compresi tra 0.3 m e 0.5 m e velocità inferiori a 1 m/s per tiranti sino a 0.7 m, negli Allegati 13 e 14 sono riportate le mappatura delle aree inondabili nello stato di progetto in assenza e in presenza di un'ostruzione sul rio Molinassi.

LEGENDA

0 - 0.05	0.50 - 0.70	1.50 - 2.00
0.05 - 0.30	0.70 - 1.00	2.00 - 3.00
0.30 - 0.50	1.00 - 1.50	>3.00

ALLEGATO 1
MAPPATURA TIRANTI MASSIMI
EVENTO 50-ENNALE
STATO ATTUALE
scala 1:5000

LEGENDA

0 - 1.00	1.50 - 2.00
1.00 - 1.50	>2.00

ALLEGATO 2
MAPPATURA VELOCITÀ
EVENTO 50-ENNALE
STATO ATTUALE
scala 1:5000

LEGENDA

0 - 0.05	0.50 - 0.70	1.50 - 2.00
0.05 - 0.30	0.70 - 1.00	2.00 - 3.00
0.30 - 0.50	1.00 - 1.50	>3.00

ALLEGATO 3
MAPPATURA TIRANTI MASSIMI
EVENTO 200-ENNALE
STATO ATTUALE
scala 1:5000

LEGENDA

	0 - 1.00		1.50 - 2.00
	1.00 - 1.50		>2.00

ALLEGATO 4
MAPPATURA VELOCITÀ
EVENTO 200-ENNALE
STATO ATTUALE
scala 1:5000

LEGENDA

0 - 0.05	0.50 - 0.70	1.50 - 2.00
0.05 - 0.30	0.70 - 1.00	2.00 - 3.00
0.30 - 0.50	1.00 - 1.50	>3.00

ALLEGATO 5
MAPPATURA TIRANTI MASSIMI
EVENTO 50-ENNALE
STATO DI PROGETTO
scala 1:5000

LEGENDA

	0 - 1.00		1.50 - 2.00
	1.00 - 1.50		>2.00

ALLEGATO 6
MAPPATURA VELOCITÀ
EVENTO 50-ENNALE
STATO DI PROGETTO
scala 1:5000

LEGENDA

0 - 0.05	0.50 - 0.70	1.50 - 2.00
0.05 - 0.30	0.70 - 1.00	2.00 - 3.00
0.30 - 0.50	1.00 - 1.50	>3.00

ALLEGATO 7
MAPPATURA TIRANTI MASSIMI
EVENTO 200-ENNALE
STATO DI PROGETTO
scala 1:5000

LEGENDA

	0 - 1.00		1.50 - 2.00
	1.00 - 1.50		>2.00

ALLEGATO 8
MAPPATURA VELOCITÀ
EVENTO 200-ENNALE
STATO DI PROGETTO
scala 1:5000

LEGENDA

0 - 0.05	0.50 - 0.70	1.50 - 2.00
0.05 - 0.30	0.70 - 1.00	2.00 - 3.00
0.30 - 0.50	1.00 - 1.50	>3.00

ALLEGATO 9
MAPPATURA TIRANTI MASSIMI
EVENTO 50-ENNALE
STATO DI PROGETTO
OSTRUZIONE 30%
RIO MOLINASSI
scala 1:5000

LEGENDA

0 - 1.00	1.50 - 2.00
1.00 - 1.50	>2.00

ALLEGATO 10
MAPPATURA VELOCITÀ
EVENTO 50-ENNALE
STATO DI PROGETTO
OSTRUZIONE 30%
RIO MOLINASSI
scala 1:5000

LEGENDA

0 - 0.05	0.50 - 0.70	1.50 - 2.00
0.05 - 0.30	0.70 - 1.00	2.00 - 3.00
0.30 - 0.50	1.00 - 1.50	>3.00

ALLEGATO 11
MAPPATURA TIRANTI MASSIMI
EVENTO 200-ENNALE
STATO DI PROGETTO
OSTRUZIONE 30%
RIO MOLINASSI
scala 1:5000

LEGENDA

0 - 1.00	1.50 - 2.00
1.00 - 1.50	>2.00

ALLEGATO 12
MAPPATURA VELOCITÀ
EVENTO 200-ENNALE
STATO DI PROGETTO
OSTRUZIONE 30%
RIO MOLINASSI
scala 1:5000

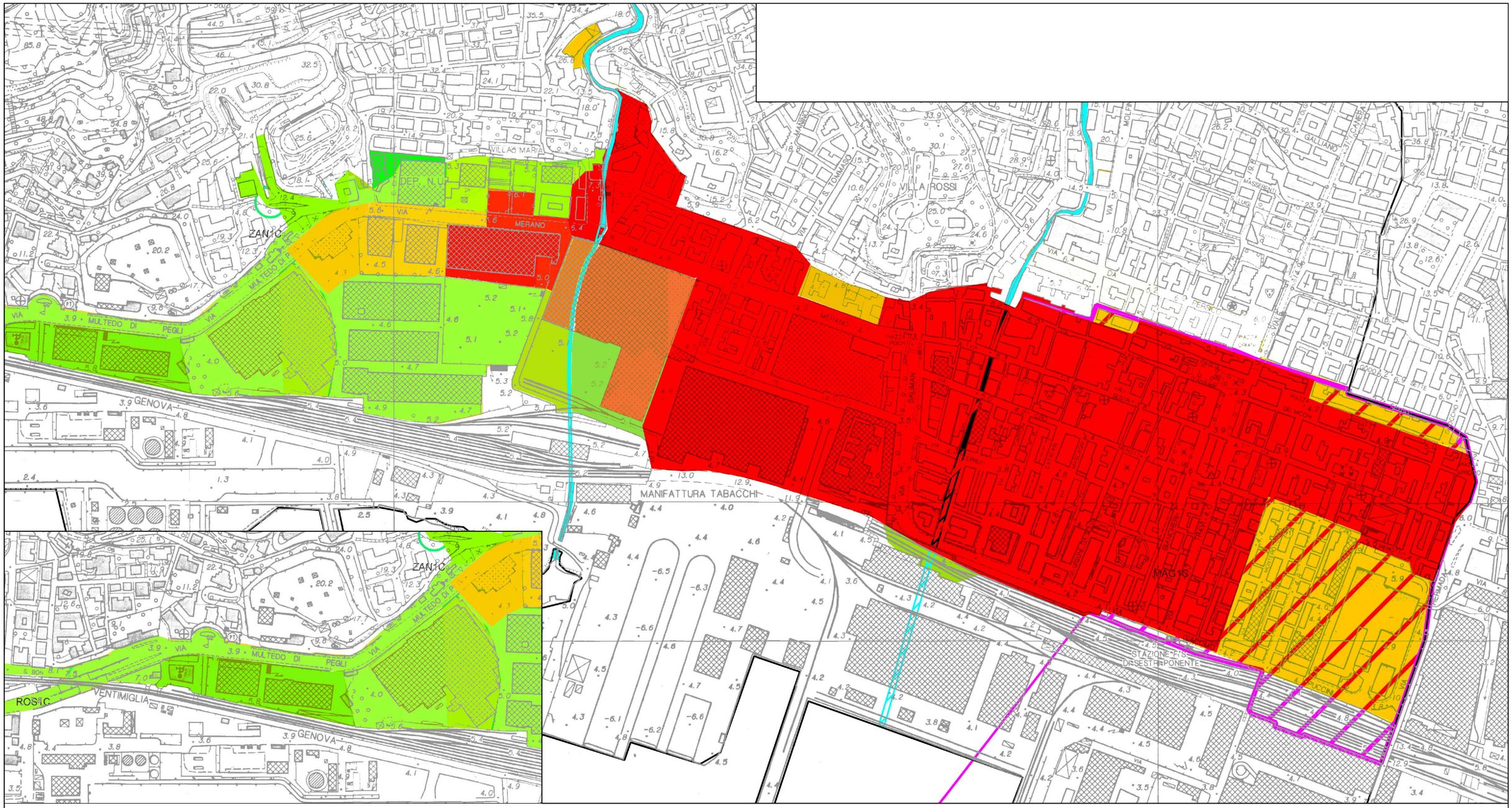
FASCIA A

FASCIA C

AMBITO BB

AMBITO BO

ALLEGATO 13
RIPERIMETRAZIONE AREE INONDABILI
STATO DI PROGETTO
scala 1:5000



FASCIA A

FASCIA C

AMBITO BB

AMBITO BO

ALLEGATO 14
RIPERIMETRAZIONE AREE INONDABILI
STATO DI PROGETTO
OSTRUZIONE 30% RIO MOLINASSI
scala 1:5000

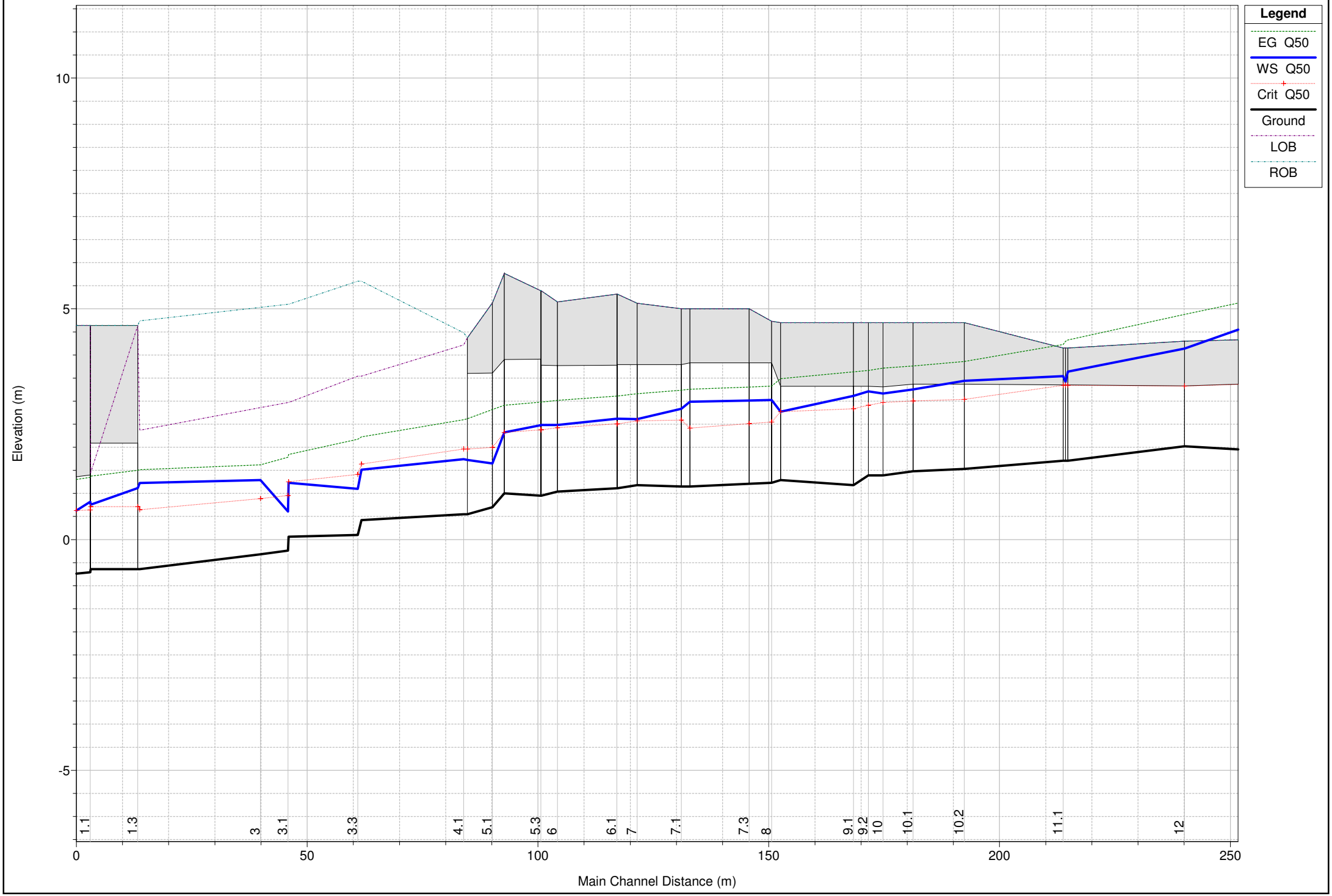
ALLEGATO A

VERIFICHE IDRAULICHE IN MOTO PERMANENTE GRADUALMENTE VARIATO
RIO MAROTTO E RIO MONFERRATO
STATO ATTUALE

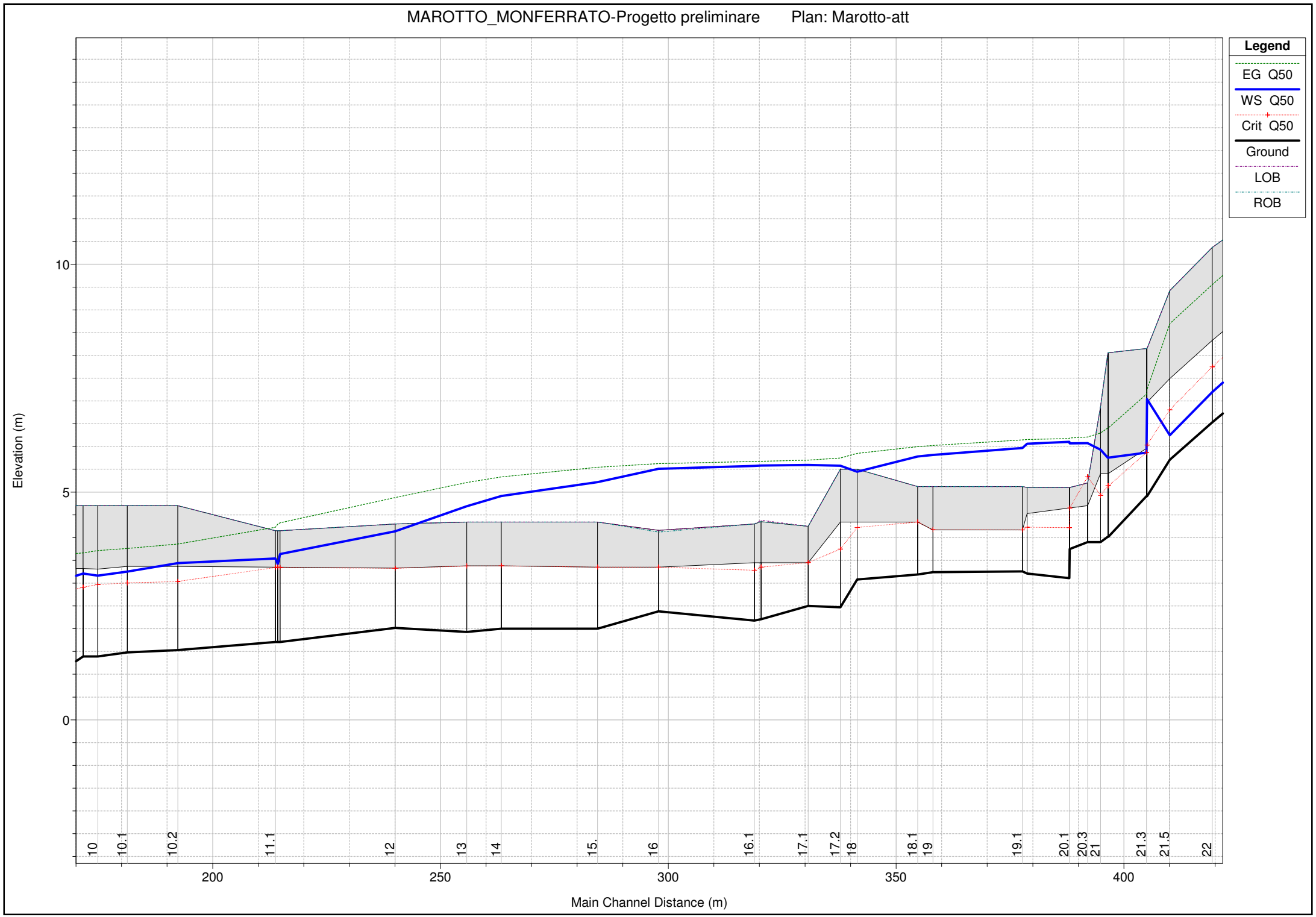
PLANIMETRIA STATO ATTUALE CON UBICAZIONE SEZIONI IDRAULICHE

Scala 1:1000

MAROTTO_MONFERRATO-Progetto preliminare Plan: Marotto-att

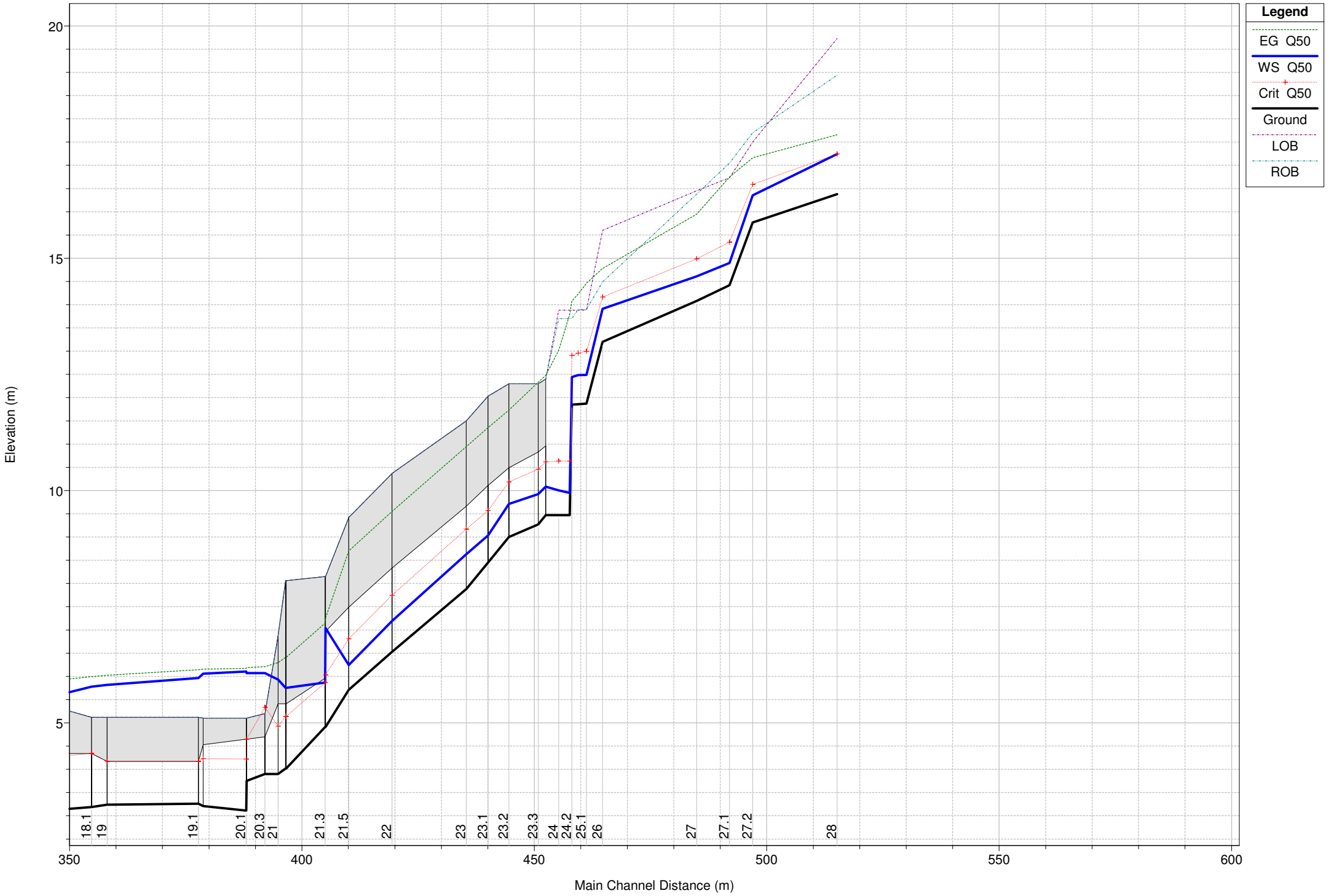


1 cm Horiz. = 10 m 1 cm Vert. = 1 m



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

MAROTTO_MONFERRATO-Progetto preliminare Plan: Marotto-att



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

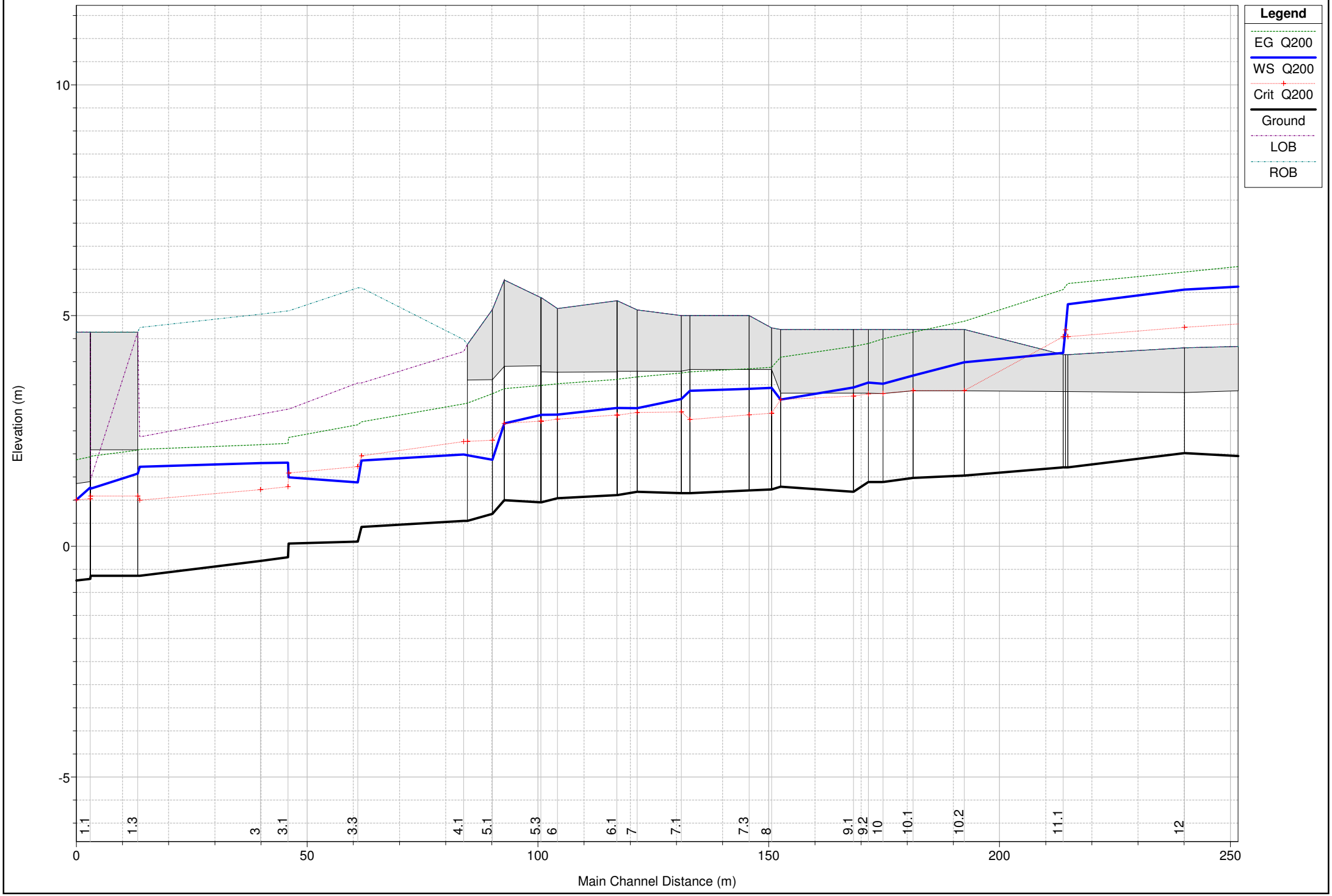
HEC-RAS Plan: Mar-att River: Marotto Reach: Marotto Profile: Q50

Reach	River Sta	Profile	Cum Ch Len	Min Ch El	LOB Elev	ROB Elev	Q Total	W.S. Elev	E.G. Elev	Hydr Depth	Max Chl Dpth	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m)	(m)	(m)	(m)	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Marotto	1	Q50		-0.74	1.36	1.36	22.00	0.63	1.30	1.36	1.37	3.63	6.06	4.46	0.99
Marotto	1.1	Q50	3.00	-0.71	1.40	1.40	22.00	0.82	1.35	1.53	1.53	3.23	6.81	4.46	0.83
Marotto	1.2	Q50	3.10	-0.64	2.09	2.09	22.00	0.76	1.38	1.35	1.40	3.49	6.31	4.67	0.96
Marotto	1.3	Q50	13.30	-0.64	2.09	2.09	22.00	1.12	1.50	1.71	1.76	2.75	7.99	4.67	0.67
Marotto	2	Q50	13.70	-0.64	2.37	4.74	22.00	1.23	1.51	1.82	1.87	2.38	9.25	5.07	0.56
Marotto	3	Q50	39.86	-0.32	2.86	5.03	22.00	1.29	1.62	1.59	1.61	2.54	8.65	5.45	0.64
Marotto	3.1	Q50	45.86	-0.24	2.97	5.10	22.00	0.61	1.78	0.84	0.85	4.80	4.58	5.45	1.67
Marotto	3.2	Q50	45.96	0.06	2.97	5.10	22.00	1.23	1.84	1.16	1.17	3.47	6.34	5.45	1.03
Marotto	3.3	Q50	60.96	0.10	3.54	5.60	22.00	1.10	2.17	0.82	1.00	4.59	4.80	5.86	1.62
Marotto	4	Q50	61.76	0.42	3.54	5.60	22.00	1.51	2.23	1.00	1.09	3.74	5.88	5.86	1.19
Marotto	4.1	Q50	83.92	0.55	4.22	4.48	22.00	1.74	2.60	0.86	1.19	4.10	5.36	6.24	1.41
Marotto	5	Q50	84.72	0.55	3.60	3.60	22.00	1.73	2.62	0.84	1.18	4.18	5.26	6.24	1.46
Marotto	5.1	Q50	90.12	0.70	3.61	3.61	22.00	1.65	2.82	0.72	0.95	4.79	4.60	6.36	1.80
Marotto	5.2	Q50	92.72	1.00	3.90	3.90	22.00	2.32	2.91	1.18	1.32	3.41	6.46	5.48	1.00
Marotto	5.3	Q50	100.61	0.95	3.91	3.91	22.00	2.48	2.98	1.28	1.53	3.12	7.04	5.48	0.88
Marotto	5.4	Q50	100.71	0.95	3.78	3.78	22.00	2.48	2.98	1.29	1.53	3.12	7.05	5.48	0.88
Marotto	6	Q50	104.21	1.04	3.77	3.77	22.00	2.48	3.02	1.24	1.44	3.23	6.81	5.48	0.92
Marotto	6.1	Q50	117.08	1.11	3.78	3.78	22.00	2.62	3.11	1.29	1.51	3.10	7.10	5.50	0.87
Marotto	6.2	Q50	117.18	1.11	2.88	2.88	22.00	2.62	3.11	1.29	1.51	3.10	7.11	5.50	0.87
Marotto	7	Q50	121.48	1.18	2.88	2.88	22.00	2.61	3.16	1.22	1.43	3.29	6.68	5.50	0.95
Marotto	7.1	Q50	131.08	1.15	2.88	2.88	22.00	2.83	3.24	1.43	1.68	2.80	7.84	5.50	0.75
Marotto	7.2	Q50	132.92	1.15	2.90	2.88	22.00	2.99	3.26	1.86	1.84	2.30	9.56	5.13	0.54
Marotto	7.3	Q50	145.75	1.21	2.90	2.88	22.00	3.01	3.31	1.81	1.80	2.40	9.15	5.05	0.57
Marotto	8	Q50	150.62	1.23	2.90	2.90	22.00	3.02	3.33	1.79	1.79	2.44	9.03	5.03	0.58
Marotto	9	Q50	152.57	1.29	3.32	3.32	22.00	2.77	3.49	1.43	1.48	3.75	5.87	4.10	1.00
Marotto	9.1	Q50	168.37	1.18	3.32	3.32	22.00	3.11	3.64	1.75	1.93	3.21	6.86	3.91	0.77
Marotto	9.2	Q50	171.57	1.39	3.32	3.32	22.00	3.21	3.66	1.64	1.82	2.98	7.37	4.49	0.74
Marotto	10	Q50	174.77	1.39	3.31	3.31	22.00	3.16	3.71	1.60	1.78	3.28	6.70	4.18	0.83
Marotto	10.1	Q50	181.27	1.48	3.37	3.37	22.00	3.25	3.76	1.66	1.77	3.16	6.96	4.20	0.78
Marotto	10.2	Q50	192.37	1.53	3.37	3.37	22.00	3.44	3.86		1.91	2.87	7.66		0.66
Marotto	11.1	Q50	213.79	1.71	3.35	3.35	22.00	3.54	4.23		1.83	3.67	5.99		0.87
Marotto	11.2	Q50	214.29	1.71	3.35	3.35	22.00	3.42	4.30		1.71	4.15	5.30		1.01
Marotto	11.3	Q50	214.79	1.71	3.35	3.35	22.00	3.64	4.33		1.93	3.67	5.99		0.84
Marotto	12	Q50	240.07	2.02	3.33	3.33	22.00	4.14	4.88		2.12	3.81	5.77		0.84
Marotto	13	Q50	255.76	1.93	3.38	3.38	22.00	4.69	5.21	1.70	2.76	3.20	6.88	4.04	0.61
Marotto	14	Q50	263.34	2.00	3.38	3.38	22.00	4.91	5.33	1.89	2.91	2.87	7.67	4.06	0.54
Marotto	15.	Q50	284.48	2.00	3.35	3.35	22.00	5.22	5.54	2.16	3.22	2.52	8.73	4.04	0.45
Marotto	16	Q50	297.86	2.38	3.35	3.35	13.40	5.51	5.63	2.32	3.13	1.50	8.94	3.85	0.27
Marotto	16.1	Q50	318.88	2.18	3.45	3.45	13.40	5.58	5.67	2.52	3.40	1.38	9.68	3.85	0.24
Marotto	17	Q50	320.38	2.21	3.45	3.45	13.40	5.58	5.68	2.34	3.37	1.35	9.91	4.23	0.24
Marotto	17.1	Q50	330.68	2.50	3.45	3.45	13.40	5.59	5.70	2.17	3.09	1.46	9.17	4.23	0.27
Marotto	17.2	Q50	337.75	2.47	4.34	4.34	13.40	5.58	5.75	1.64	3.11	1.82	7.37	4.50	0.33
Marotto	18	Q50	341.45	3.08	4.34	4.34	13.40	5.45	5.85		2.37	2.80	4.78		0.58
Marotto	18.1	Q50	354.75	3.19	4.34	4.34	13.40	5.78	6.00	1.62	2.59	2.07	6.49	4.00	0.41
Marotto	19	Q50	358.09	3.24	4.17	4.17	13.40	5.82	6.02	1.63	2.58	2.01	6.67	4.10	0.40
Marotto	19.1	Q50	377.71	3.26	4.17	4.17	13.40	5.97	6.14	1.76	2.71	1.86	7.20	4.10	0.36
Marotto	20	Q50	378.75	3.21	4.53	4.53	13.40	6.06	6.15	2.25	2.85	1.37	9.78	4.34	0.26

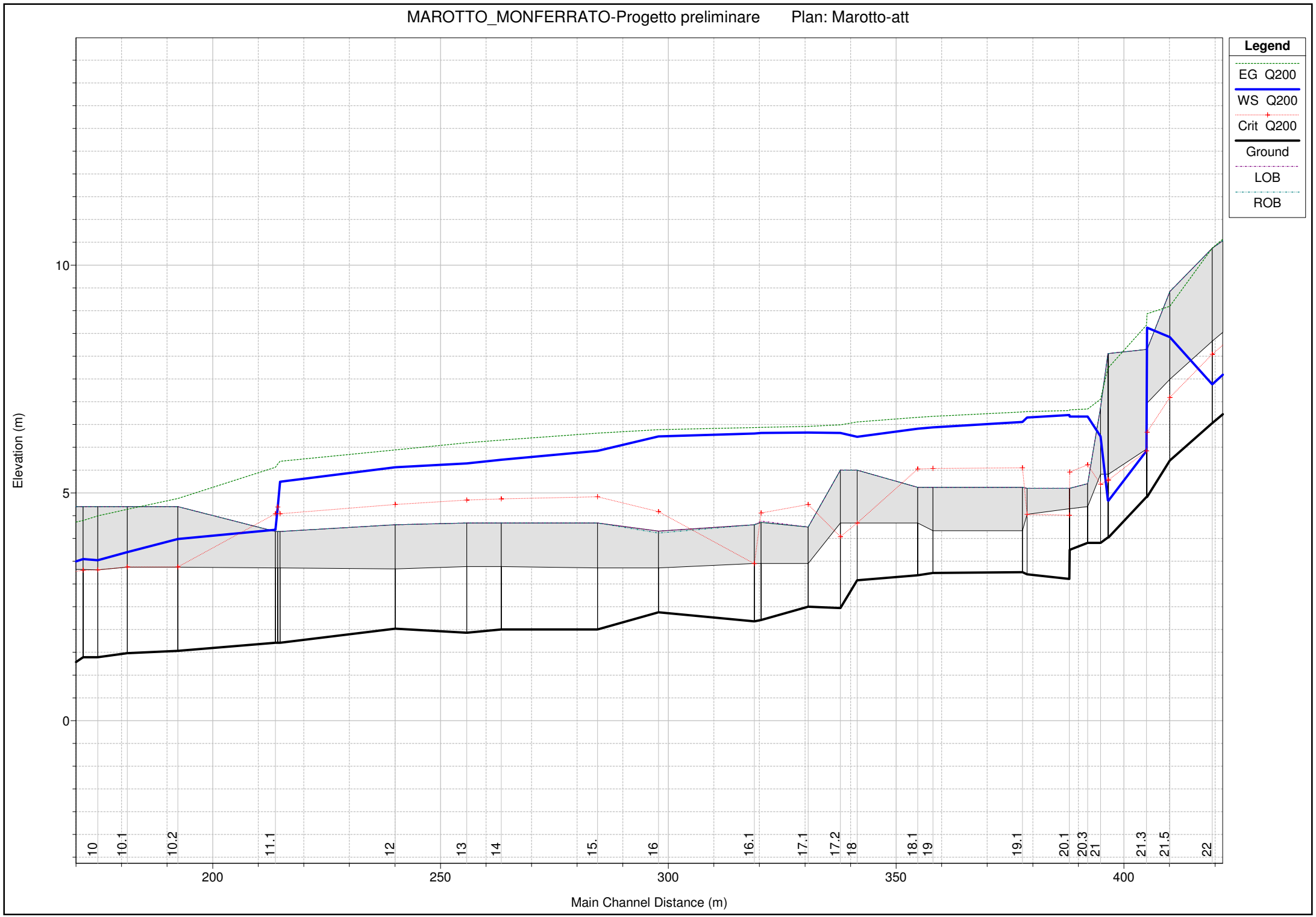
HEC-RAS Plan: Mar-att River: Marotto Reach: Marotto Profile: Q50 (Continued)

Reach	River Sta	Profile	Cum Ch Len	Min Ch El	LOB Elev	ROB Elev	Q Total	W.S. Elev	E.G. Elev	Hydr Depth	Max Chl Dpth	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m)	(m)	(m)	(m)	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Marotto	20.1	Q50	388.00	3.11	4.65	4.65	13.40	6.10	6.17	2.35	2.99	1.17	11.41	4.85	0.22
Marotto	20.2	Q50	388.10	3.75	4.65	4.65	13.40	6.07	6.19	1.82	2.32	1.52	8.84	4.85	0.32
Marotto	20.3	Q50	392.04	3.90	4.70	4.70	13.40	6.07	6.21	1.63	2.17	1.64	8.17	5.00	0.36
Marotto	21	Q50	394.89	3.90	4.48	4.48	13.40	5.93	6.30		2.03	2.68	5.00		0.60
Marotto	21.1	Q50	396.49	4.02	4.48	4.48	13.40	5.75	6.41		1.73	3.59	3.73		0.87
Marotto	21.2	Q50	396.59	4.02	4.48	4.48	13.40	5.76	6.41		1.74	3.59	3.73		0.87
Marotto	21.3	Q50	404.97	4.91	5.03	5.03	13.40	5.87	7.15	2.54	0.96	5.01	2.67	1.05	1.64
Marotto	21.4	Q50	405.07	4.91	6.18	6.18	13.40	7.04	7.26		2.13	2.06	6.50		0.45
Marotto	21.5	Q50	410.08	5.71	6.70	6.70	13.40	6.25	8.70	0.54	0.54	6.94	1.93	3.60	3.02
Marotto	22	Q50	419.40	6.53	7.62	7.62	13.40	7.19	9.55	0.58	0.66	6.80	1.97	3.40	2.85
Marotto	23	Q50	435.35	7.88	8.95	8.95	13.40	8.63	10.95	0.58	0.75	6.74	1.99	3.40	2.81
Marotto	23.1	Q50	440.03	8.45	9.37	9.37	13.40	9.03	11.36	0.58	0.58	6.75	1.98	3.40	2.82
Marotto	23.2	Q50	444.51	9.00	9.75	9.75	13.40	9.71	11.73	0.63	0.71	6.30	2.13	3.40	2.54
Marotto	23.3	Q50	450.85	9.27	10.09	10.09	13.40	9.92	12.33	0.57	0.65	6.88	1.95	3.40	2.90
Marotto	23.4	Q50	452.44	9.47	10.22	10.22	13.40	10.09	12.48	0.58	0.62	6.85	1.96	3.40	2.88
Marotto	24	Q50	455.24	9.47	13.88	13.70	13.40	10.01	13.02	0.47	0.54	7.69	1.74	3.67	3.56
Marotto	24.1	Q50	457.61	9.47	13.88	13.70	13.40	9.95	13.79	0.42	0.48	8.68	1.54	3.63	4.25
Marotto	24.2	Q50	458.07	11.85	13.88	13.70	13.40	12.44	14.08	0.59	0.59	5.67	2.36	4.00	2.35
Marotto	25	Q50	459.44	11.86	13.88	13.90	13.40	12.49	14.23	0.56	0.63	5.85	2.29	4.08	2.49
Marotto	25.1	Q50	461.20	11.87	13.88	13.90	13.40	12.49	14.46	0.53	0.62	6.23	2.15	4.07	2.73
Marotto	26	Q50	464.69	13.20	15.60	14.49	13.40	13.91	14.78	0.63	0.71	4.13	3.24	5.18	1.67
Marotto	27	Q50	484.90	14.08	16.45	16.38	13.40	14.61	15.95	0.51	0.53	5.12	2.62	5.15	2.29
Marotto	27.1	Q50	492.00	14.42	16.73	17.05	13.40	14.90	16.75	0.43	0.48	6.03	2.22	5.14	2.93
Marotto	27.2	Q50	497.00	15.77	17.50	17.70	13.40	16.35	17.16	0.55	0.58	3.99	3.36	6.11	1.72
Marotto	28	Q50	515.14	16.38	19.73	18.94	13.40	17.24	17.66	0.84	0.86	2.85	4.71	5.62	0.99

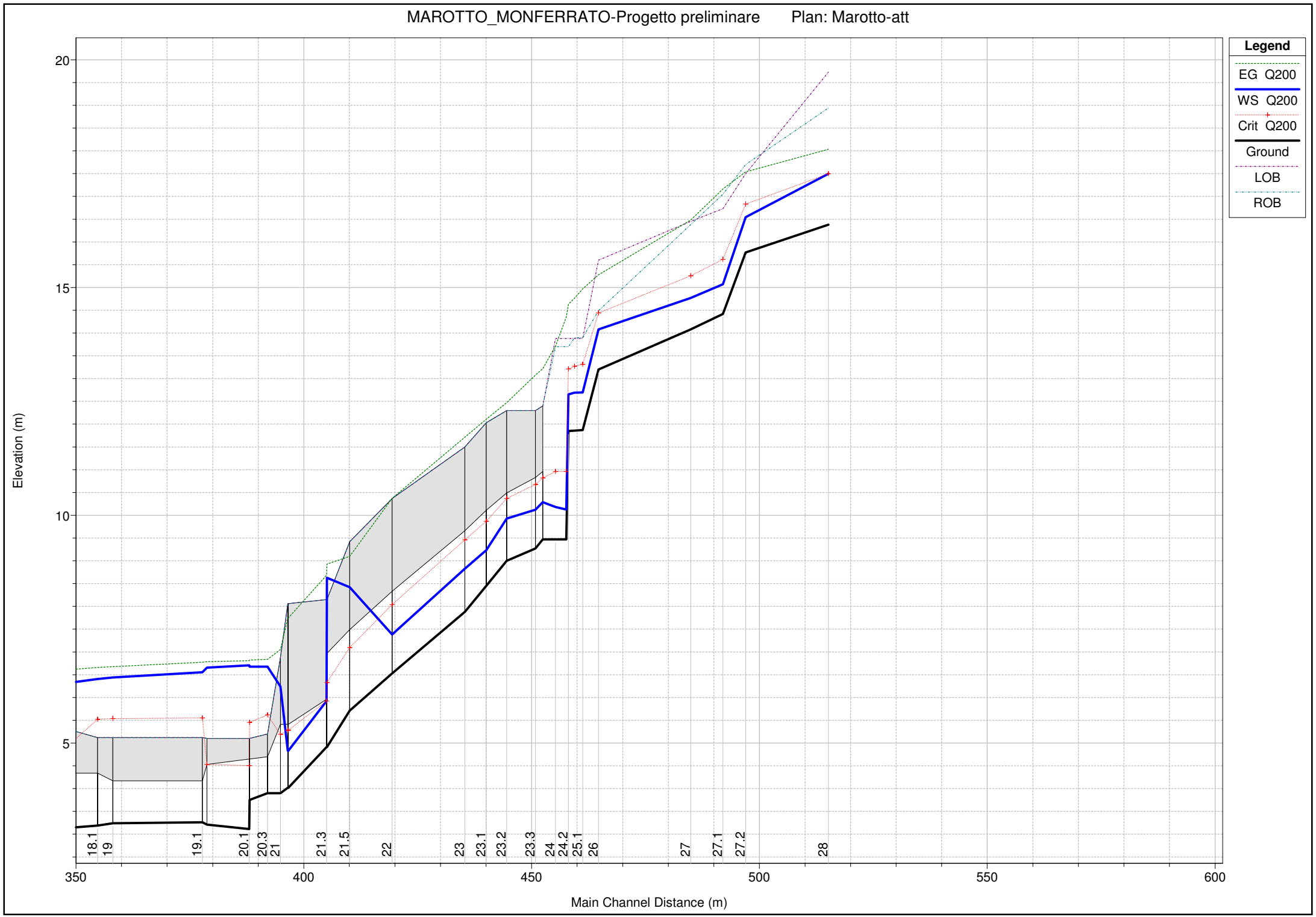
MAROTTO_MONFERRATO-Progetto preliminare Plan: Marotto-att



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



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



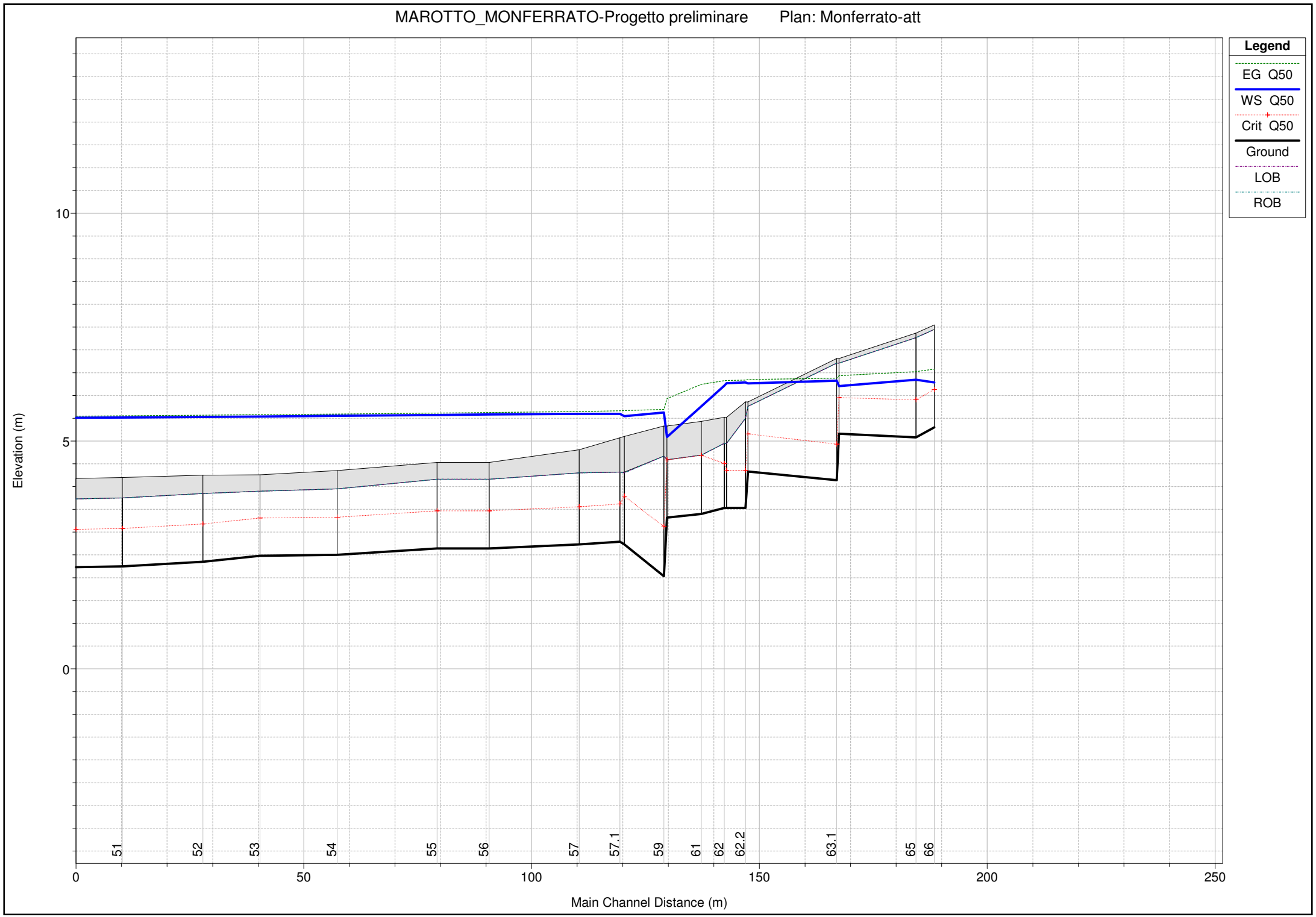
1 cm Horiz. = 10 m 1 cm Vert. = 1 m

HEC-RAS Plan: Mar-att River: Marotto Reach: Marotto Profile: Q200

Reach	River Sta	Profile	Cum Ch Len	Min Ch El	LOB Elev	ROB Elev	Q Total	W.S. Elev	E.G. Elev	Hydr Depth	Max Chl Dpth	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m)	(m)	(m)	(m)	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Marotto	1	Q200		-0.74	1.36	1.36	32.00	1.01	1.88	1.74	1.75	4.13	7.74	4.46	1.00
Marotto	1.1	Q200	3.00	-0.71	1.40	1.40	32.00	1.27	1.94	1.98	1.98	3.62	8.84	4.46	0.82
Marotto	1.2	Q200	3.10	-0.64	2.09	2.09	32.00	1.25	1.95	1.84	1.89	3.72	8.61	4.67	0.87
Marotto	1.3	Q200	13.30	-0.64	2.09	2.09	32.00	1.57	2.08	2.17	2.21	3.16	10.13	4.67	0.68
Marotto	2	Q200	13.70	-0.64	2.37	4.74	32.00	1.72	2.10	2.32	2.36	2.72	11.77	5.07	0.57
Marotto	3	Q200	39.86	-0.32	2.86	5.03	32.00	1.80	2.20	2.10	2.12	2.79	11.45	5.45	0.62
Marotto	3.1	Q200	45.86	-0.24	2.97	5.10	32.00	1.81	2.23	2.04	2.05	2.87	11.14	5.45	0.64
Marotto	3.2	Q200	45.96	0.06	2.97	5.10	32.00	1.49	2.36	1.42	1.43	4.12	7.76	5.45	1.10
Marotto	3.3	Q200	60.96	0.10	3.54	5.60	32.00	1.38	2.63	1.10	1.28	4.95	6.46	5.86	1.50
Marotto	4	Q200	61.76	0.42	3.54	5.60	32.00	1.86	2.69	1.35	1.44	4.05	7.90	5.86	1.11
Marotto	4.1	Q200	83.92	0.55	4.22	4.48	32.00	1.99	3.08	1.11	1.44	4.64	6.90	6.24	1.41
Marotto	5	Q200	84.72	0.55	3.60	3.60	32.00	1.97	3.10	1.09	1.42	4.71	6.79	6.24	1.44
Marotto	5.1	Q200	90.12	0.70	3.61	3.61	32.00	1.88	3.31	0.95	1.18	5.30	6.04	6.36	1.74
Marotto	5.2	Q200	92.72	1.00	3.90	3.90	32.00	2.66	3.41	1.52	1.66	3.84	8.32	5.48	1.00
Marotto	5.3	Q200	100.61	0.95	3.91	3.91	32.00	2.85	3.48	1.65	1.90	3.54	9.04	5.48	0.88
Marotto	5.4	Q200	100.71	0.95	3.78	3.78	32.00	2.85	3.48	1.65	1.90	3.54	9.05	5.48	0.88
Marotto	6	Q200	104.21	1.04	3.77	3.77	32.00	2.85	3.52	1.61	1.81	3.63	8.83	5.48	0.91
Marotto	6.1	Q200	117.08	1.11	3.78	3.78	32.00	3.00	3.62	1.67	1.89	3.48	9.18	5.50	0.86
Marotto	6.2	Q200	117.18	1.11	2.88	2.88	32.00	3.00	3.62	1.79	1.89	3.50	9.15	5.11	0.81
Marotto	7	Q200	121.48	1.18	2.88	2.88	32.00	2.99	3.67	1.71	1.81	3.65	8.78	5.12	0.86
Marotto	7.1	Q200	131.08	1.15	2.88	2.88	32.00	3.19	3.75	2.16	2.04	3.32	9.65	4.46	0.74
Marotto	7.2	Q200	132.92	1.15	2.90	2.88	32.00	3.37	3.78	2.91	2.22	2.84	11.29	3.88	0.61
Marotto	7.3	Q200	145.75	1.21	2.90	2.88	32.00	3.41	3.85	2.91	2.20	2.93	10.91	3.75	0.63
Marotto	8	Q200	150.62	1.23	2.90	2.90	32.00	3.43	3.88	2.93	2.20	2.96	10.80	3.68	0.64
Marotto	9	Q200	152.57	1.29	3.32	3.32	32.00	3.18	4.10	1.84	1.89	4.25	7.53	4.10	1.00
Marotto	9.1	Q200	168.37	1.18	3.32	3.32	32.00	3.44	4.33		2.26	4.17	7.67		0.89
Marotto	9.2	Q200	171.57	1.39	3.32	3.32	32.00	3.55	4.39		2.16	4.07	7.86		0.88
Marotto	10	Q200	174.77	1.39	3.31	3.31	32.00	3.52	4.50		2.13	4.38	7.31		0.96
Marotto	10.1	Q200	181.27	1.48	3.37	3.37	32.00	3.70	4.64		2.22	4.30	7.44		0.92
Marotto	10.2	Q200	192.37	1.53	3.37	3.37	32.00	3.99	4.88		2.46	4.18	7.66		0.85
Marotto	11.1	Q200	213.79	1.71	3.35	3.35	32.00	4.19	5.56	1.40	2.48	5.19	6.16	4.40	1.05
Marotto	11.2	Q200	214.29	1.71	3.35	3.35	32.00	4.69	5.63	1.89	2.98	4.31	7.43	3.94	0.80
Marotto	11.3	Q200	214.79	1.71	3.35	3.35	32.00	5.25	5.69	2.46	3.54	2.96	10.81	4.40	0.50
Marotto	12	Q200	240.07	2.02	3.33	3.33	32.00	5.56	5.94	2.50	3.54	2.74	11.66	4.67	0.47
Marotto	13	Q200	255.76	1.93	3.38	3.38	32.00	5.65	6.10	2.66	3.72	2.98	10.74	4.04	0.49
Marotto	14	Q200	263.34	2.00	3.38	3.38	32.00	5.73	6.16	2.70	3.73	2.92	10.98	4.06	0.48
Marotto	15.	Q200	284.48	2.00	3.35	3.35	32.00	5.92	6.31	2.86	3.92	2.77	11.57	4.04	0.45
Marotto	16	Q200	297.86	2.38	3.35	3.35	20.00	6.24	6.39	3.05	3.86	1.70	11.74	3.85	0.28
Marotto	16.1	Q200	318.88	2.18	3.45	3.45	20.00	6.30	6.43	3.24	4.12	1.60	12.48	3.85	0.25
Marotto	17	Q200	320.38	2.21	3.45	3.45	20.00	6.32	6.44	3.08	4.11	1.54	13.01	4.23	0.24
Marotto	17.1	Q200	330.68	2.50	3.45	3.45	20.00	6.32	6.46	2.90	3.82	1.63	12.26	4.23	0.27
Marotto	17.2	Q200	337.75	2.47	4.34	4.34	20.00	6.31	6.49	2.37	3.84	1.87	10.68	4.50	0.30
Marotto	18	Q200	341.45	3.08	4.34	4.34	20.00	6.23	6.56	1.85	3.15	2.53	7.90	4.26	0.46
Marotto	18.1	Q200	354.75	3.19	4.34	4.34	20.00	6.41	6.66	2.25	3.22	2.22	8.99	4.00	0.40
Marotto	19	Q200	358.09	3.24	4.17	4.17	20.00	6.44	6.68	2.25	3.20	2.17	9.22	4.10	0.39
Marotto	19.1	Q200	377.71	3.26	4.17	4.17	20.00	6.55	6.77	2.34	3.29	2.08	9.61	4.10	0.37
Marotto	20	Q200	378.75	3.21	4.53	4.53	20.00	6.65	6.79	2.85	3.44	1.62	12.36	4.34	0.28

HEC-RAS Plan: Mar-att River: Marotto Reach: Marotto Profile: Q200 (Continued)

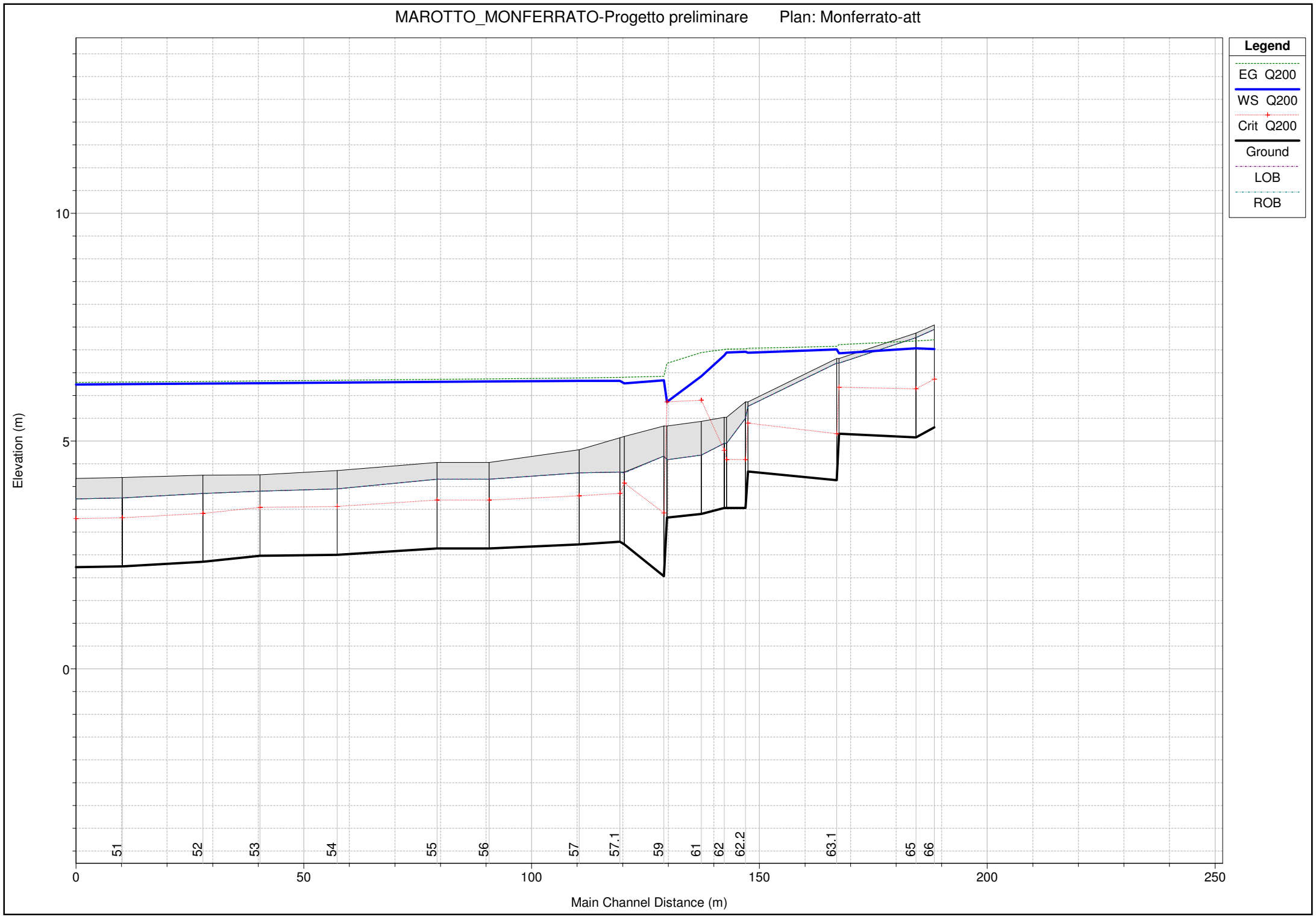
Reach	River Sta	Profile	Cum Ch Len	Min Ch El	LOB Elev	ROB Elev	Q Total	W.S. Elev	E.G. Elev	Hydr Depth	Max Chl Dpth	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m)	(m)	(m)	(m)	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Marotto	20.1	Q200	388.00	3.11	4.65	4.65	20.00	6.71	6.81	2.96	3.60	1.39	14.34	4.85	0.23
Marotto	20.2	Q200	388.10	3.75	4.65	4.65	20.00	6.67	6.82	2.43	2.92	1.70	11.76	4.85	0.32
Marotto	20.3	Q200	392.04	3.90	4.70	4.70	20.00	6.68	6.84	2.24	2.78	1.79	11.19	5.00	0.34
Marotto	21	Q200	394.89	3.90	4.48	4.48	20.00	6.24	7.05		2.34	4.00	5.00		0.83
Marotto	21.1	Q200	396.49	4.02	4.48	4.48	20.00	4.83	7.74	0.96	0.81	7.56	2.65	2.77	2.68
Marotto	21.2	Q200	396.59	4.02	4.48	4.48	20.00	4.83	7.75	0.95	0.81	7.57	2.64	2.77	2.68
Marotto	21.3	Q200	404.97	4.91	5.03	5.03	20.00	5.92	8.68	5.50	1.01	7.36	2.72	0.49	2.33
Marotto	21.4	Q200	405.07	4.91	6.18	6.18	20.00	8.63	8.93	2.28	3.72	2.43	8.22	3.60	0.40
Marotto	21.5	Q200	410.08	5.71	6.70	6.70	20.00	8.42	9.10		2.71	3.64	5.49		0.71
Marotto	22	Q200	419.40	6.53	7.62	7.62	20.00	7.38	10.37	0.77	0.85	7.66	2.61	3.40	2.79
Marotto	23	Q200	435.35	7.88	8.95	8.95	20.00	8.83	11.72	0.78	0.95	7.53	2.66	3.40	2.72
Marotto	23.1	Q200	440.03	8.45	9.37	9.37	20.00	9.23	12.11	0.78	0.78	7.51	2.66	3.40	2.71
Marotto	23.2	Q200	444.51	9.00	9.75	9.75	20.00	9.93	12.47	0.94	0.93	7.06	2.83	3.00	2.34
Marotto	23.3	Q200	450.85	9.27	10.09	10.09	20.00	10.12	13.08	0.79	0.85	7.61	2.63	3.33	2.63
Marotto	23.4	Q200	452.44	9.47	10.22	10.22	20.00	10.29	13.22	0.81	0.82	7.58	2.64	3.25	2.68
Marotto	24	Q200	455.24	9.47	13.88	13.70	20.00	10.18	13.72	0.63	0.71	8.33	2.40	3.79	3.34
Marotto	24.1	Q200	457.61	9.47	13.88	13.70	20.00	10.13	14.35	0.58	0.66	9.11	2.20	3.75	3.80
Marotto	24.2	Q200	458.07	11.85	13.88	13.70	20.00	12.65	14.63	0.80	0.80	6.23	3.21	4.01	2.23
Marotto	25	Q200	459.44	11.86	13.88	13.90	20.00	12.69	14.77	0.76	0.83	6.39	3.13	4.11	2.33
Marotto	25.1	Q200	461.20	11.87	13.88	13.90	20.00	12.69	14.97	0.73	0.82	6.68	2.99	4.10	2.50
Marotto	26	Q200	464.69	13.20	15.60	14.49	20.00	14.08	15.28	0.79	0.88	4.86	4.12	5.22	1.75
Marotto	27	Q200	484.90	14.08	16.45	16.38	20.00	14.77	16.48	0.67	0.69	5.79	3.45	5.18	2.26
Marotto	27.1	Q200	492.00	14.42	16.73	17.05	20.00	15.07	17.16	0.60	0.65	6.41	3.12	5.17	2.63
Marotto	27.2	Q200	497.00	15.77	17.50	17.70	20.00	16.54	17.54	0.74	0.77	4.42	4.53	6.15	1.64
Marotto	28	Q200	515.14	16.38	19.73	18.94	20.00	17.50	18.04	1.08	1.12	3.25	6.15	5.71	1.00



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

HEC-RAS Plan: Monf-att River: Monferrato Reach: Monferrato monte Profile: Q50

Reach	River Sta	Profile	Cum Ch Len	Min Ch El	LOB Elev	ROB Elev	Q Total	W.S. Elev	E.G. Elev	Hydr Depth	Max Chl Dpth	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m)	(m)	(m)	(m)	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Monferrato monte	50	Q50		2.23	3.73	3.73	5.90	5.51	5.55	2.83	3.28	0.83	7.08	2.50	0.15
Monferrato monte	51	Q50	10.18	2.25	3.75	3.75	5.90	5.52	5.55	2.82	3.27	0.84	7.04	2.50	0.15
Monferrato monte	52	Q50	27.85	2.35	3.85	3.85	5.90	5.53	5.57	2.78	3.18	0.85	6.95	2.50	0.15
Monferrato monte	53	Q50	40.39	2.48	3.90	3.90	5.90	5.54	5.58	2.70	3.06	0.87	6.75	2.50	0.16
Monferrato monte	54	Q50	57.30	2.50	3.95	3.95	5.90	5.55	5.59	2.65	3.05	0.89	6.63	2.50	0.16
Monferrato monte	55	Q50	79.26	2.64	4.16	4.16	5.90	5.57	5.61	2.56	2.93	0.92	6.40	2.50	0.17
Monferrato monte	56	Q50	90.66	2.64	4.16	4.16	5.90	5.58	5.63	2.57	2.94	0.92	6.43	2.50	0.17
Monferrato monte	57	Q50	110.43	2.73	4.30	4.30	5.90	5.60	5.65	2.36	2.87	1.00	5.89	2.50	0.19
Monferrato monte	57.1	Q50	119.37	2.79	4.32	4.32	5.90	5.60	5.66	2.06	2.81	1.15	5.14	2.50	0.22
Monferrato monte	58	Q50	120.37	2.73	4.32	4.32	5.90	5.55	5.67	1.91	2.82	1.53	3.85	2.02	0.29
Monferrato monte	59	Q50	129.02	2.03	4.67	4.67	5.90	5.63	5.69	2.77	3.60	1.13	5.21	1.88	0.19
Monferrato monte	60	Q50	129.69	3.32	4.59	4.59	5.90	5.09	5.93		1.77	4.07	1.45		0.98
Monferrato monte	61	Q50	137.26	3.40	4.69	4.69	5.90	5.76	6.25	1.62	2.36	3.08	1.91	1.18	0.64
Monferrato monte	62	Q50	142.29	3.53	4.95	4.95	5.90	6.22	6.32	2.12	2.69	1.44	4.08	1.93	0.28
Monferrato monte	62.1	Q50	142.79	3.53	4.95	4.95	5.90	6.27	6.33	2.17	2.74	1.09	5.42	2.50	0.21
Monferrato monte	62.2	Q50	146.96	3.53	5.50	5.50	5.90	6.29	6.34	2.40	2.76	0.98	5.99	2.50	0.19
Monferrato monte	63	Q50	147.50	4.33	5.76	5.76	5.90	6.26	6.35	1.83	1.93	1.29	4.58	2.50	0.30
Monferrato monte	63.1	Q50	166.98	4.14	6.71	6.71	5.90	6.33	6.38	2.19	2.19	1.01	5.82	2.66	0.22
Monferrato monte	64	Q50	167.48	5.16	6.71	6.71	5.90	6.21	6.44	1.05	1.05	2.12	2.78	2.66	0.66
Monferrato monte	65	Q50	184.38	5.08	7.27	7.27	5.90	6.34	6.52	1.26	1.26	1.87	3.16	2.50	0.53
Monferrato monte	66	Q50	188.39	5.30	7.45	7.45	5.90	6.29	6.58	0.99	0.99	2.39	2.47	2.50	0.77



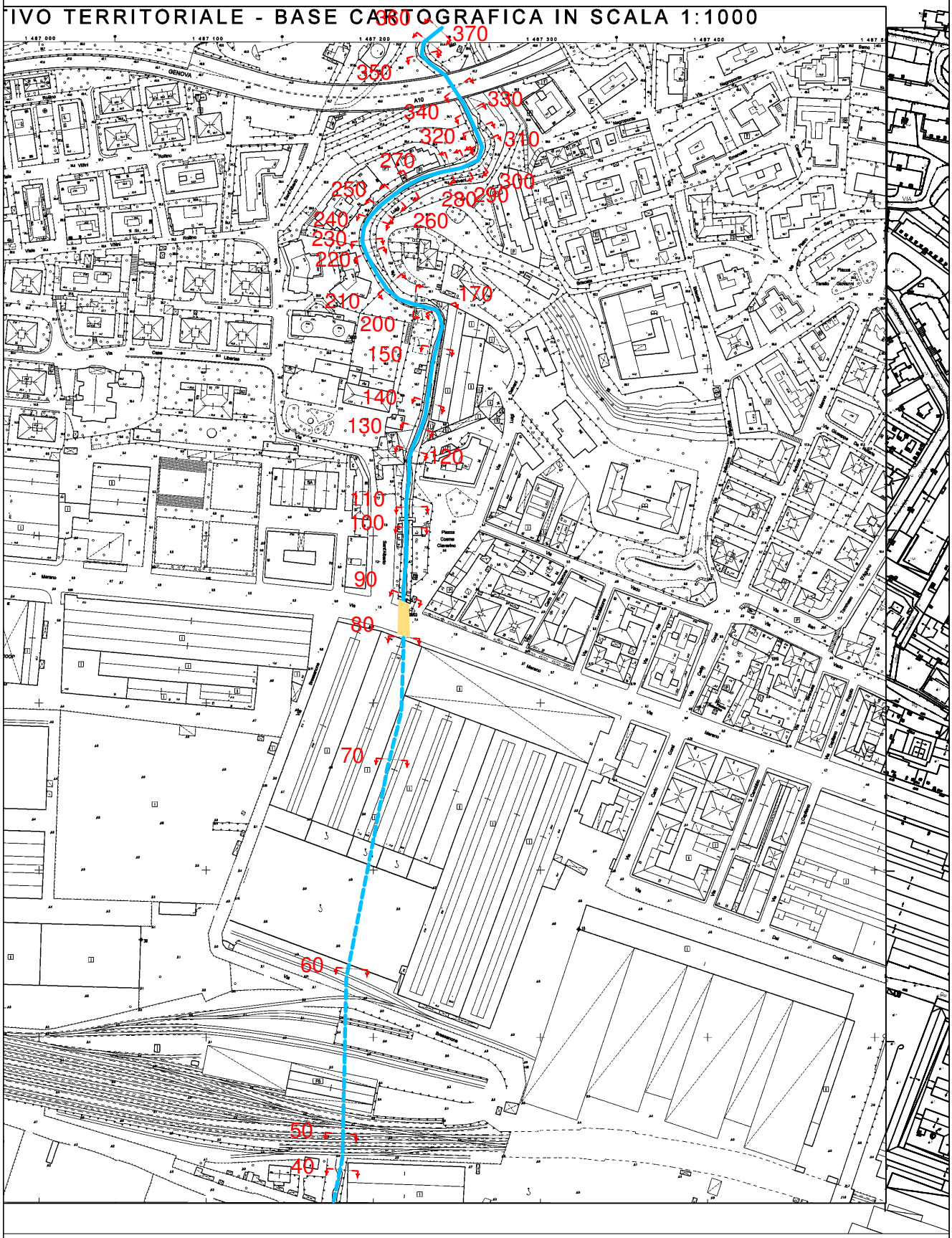
1 cm Horiz. = 10 m 1 cm Vert. = 1 m

HEC-RAS Plan: Monf-att River: Monferrato Reach: Monferrato monte Profile: Q200

Reach	River Sta	Profile	Cum Ch Len	Min Ch El	LOB Elev	ROB Elev	Q Total	W.S. Elev	E.G. Elev	Hydr Depth	Max Chl Dpth	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m)	(m)	(m)	(m)	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Monferrato monte	50	Q200		2.23	3.73	3.73	8.60	6.24	6.29	3.56	4.01	0.97	8.90	2.50	0.15
Monferrato monte	51	Q200	10.18	2.25	3.75	3.75	8.60	6.25	6.29	3.55	4.00	0.97	8.87	2.50	0.15
Monferrato monte	52	Q200	27.85	2.35	3.85	3.85	8.60	6.26	6.31	3.51	3.91	0.98	8.77	2.50	0.16
Monferrato monte	53	Q200	40.39	2.48	3.90	3.90	8.60	6.27	6.32	3.43	3.79	1.00	8.57	2.50	0.16
Monferrato monte	54	Q200	57.30	2.50	3.95	3.95	8.60	6.28	6.33	3.38	3.78	1.02	8.45	2.50	0.17
Monferrato monte	55	Q200	79.26	2.64	4.16	4.16	8.60	6.30	6.35	3.29	3.66	1.05	8.22	2.50	0.17
Monferrato monte	56	Q200	90.66	2.64	4.16	4.16	8.60	6.31	6.36	3.30	3.67	1.04	8.25	2.50	0.17
Monferrato monte	57	Q200	110.43	2.73	4.30	4.30	8.60	6.32	6.39	3.08	3.59	1.12	7.70	2.50	0.19
Monferrato monte	57.1	Q200	119.37	2.79	4.32	4.32	8.60	6.32	6.40	2.78	3.53	1.24	6.95	2.50	0.21
Monferrato monte	58	Q200	120.37	2.73	4.32	4.32	8.60	6.27	6.40	2.63	3.54	1.62	5.31	2.02	0.28
Monferrato monte	59	Q200	129.02	2.03	4.67	4.67	8.60	6.33	6.42	3.48	4.30	1.32	6.53	1.88	0.20
Monferrato monte	60	Q200	129.69	3.32	4.59	4.59	8.60	5.86	6.70	1.69	2.54	4.07	2.11	1.25	0.82
Monferrato monte	61	Q200	137.26	3.40	4.69	4.69	8.60	6.42	6.94	2.28	3.02	3.20	2.69	1.18	0.59
Monferrato monte	62	Q200	142.29	3.53	4.95	4.95	8.60	6.88	7.01	2.78	3.35	1.60	5.37	1.93	0.28
Monferrato monte	62.1	Q200	142.79	3.53	4.95	4.95	8.60	6.94	7.02	2.84	3.41	1.21	7.11	2.50	0.21
Monferrato monte	62.2	Q200	146.96	3.53	5.50	5.50	8.60	6.96	7.03	3.07	3.43	1.12	7.68	2.50	0.19
Monferrato monte	63	Q200	147.50	4.33	5.76	5.76	8.60	6.94	7.04	2.51	2.61	1.37	6.27	2.50	0.27
Monferrato monte	63.1	Q200	166.98	4.14	6.71	6.71	8.60	7.01	7.08	2.77	2.87	1.17	7.36	2.66	0.22
Monferrato monte	64	Q200	167.48	5.16	6.71	6.71	8.60	6.92	7.12	1.66	1.76	1.94	4.43	2.66	0.47
Monferrato monte	65	Q200	184.38	5.08	7.27	7.27	8.60	7.04	7.19	1.96	1.96	1.76	4.89	2.50	0.40
Monferrato monte	66	Q200	188.39	5.30	7.45	7.45	8.60	7.02	7.22	1.72	1.72	2.00	4.30	2.50	0.49

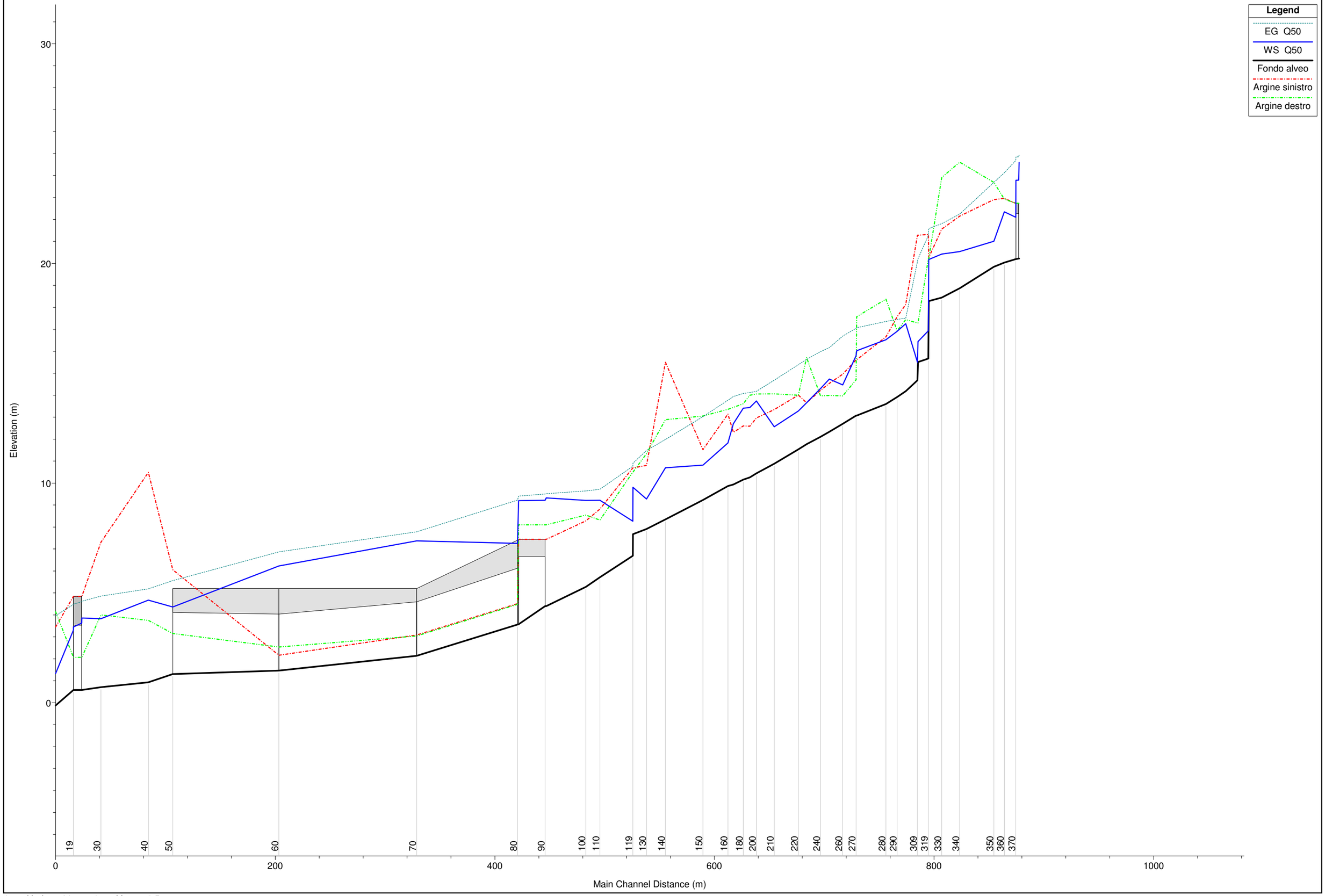
ALLEGATO B

VERIFICHE IDRAULICHE IN MOTO PERMANENTE GRADUALMENTE VARIATO RIO MOLINASSI



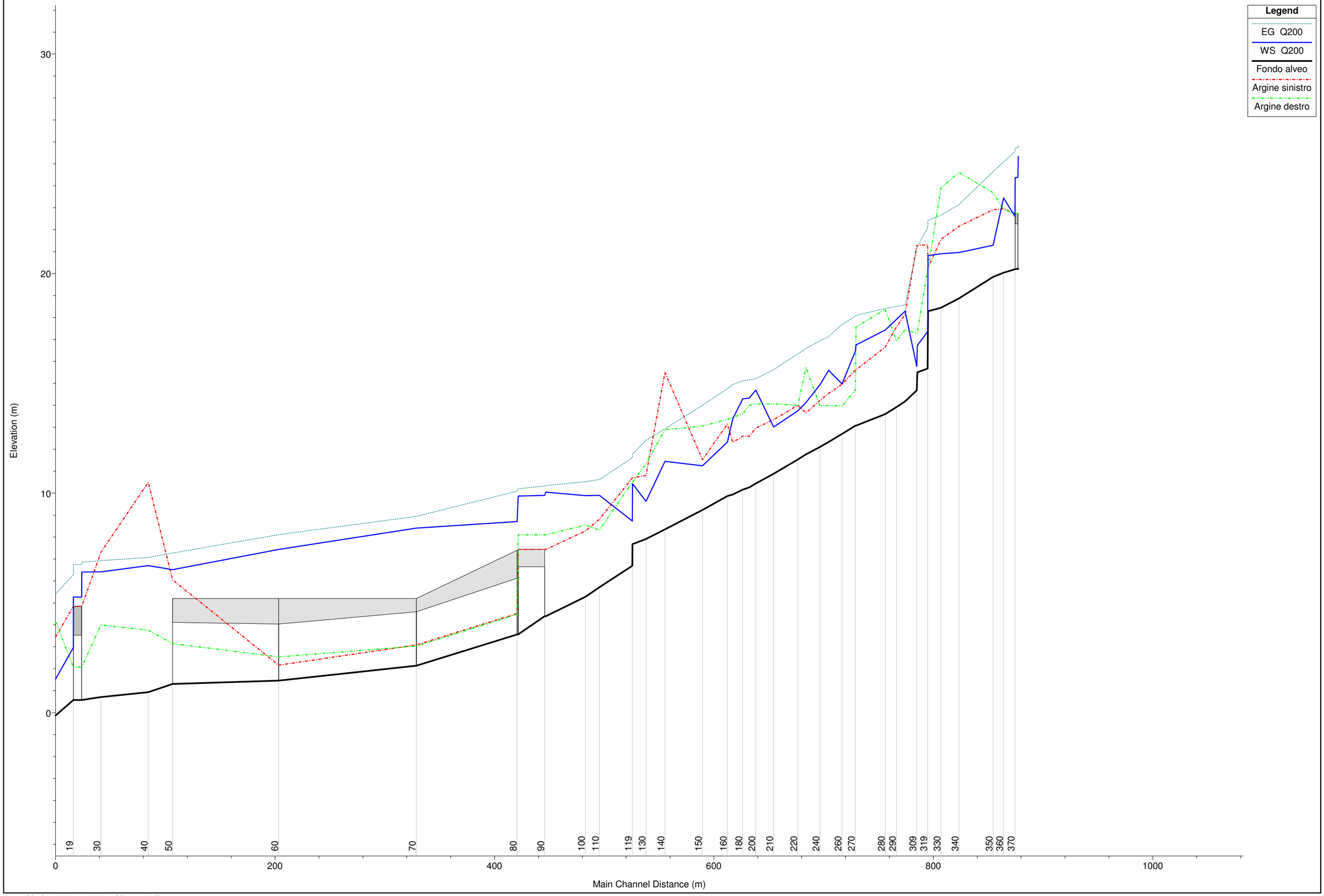
PLANIMETRIA CON UBICAZIONE SEZIONI DI CALCOLO IDRAULICO
RIO MOLINASSI
scala 1:3000

MOLINASSI Plan: stato-attuale-ok



1 cm Horiz. = 30 m 1 cm Vert. = 1.5 m

MOLINASSI Plan: stato-attuale-ok



1 cm Horiz. = 30 m 1 cm Vert. = 1.5 m

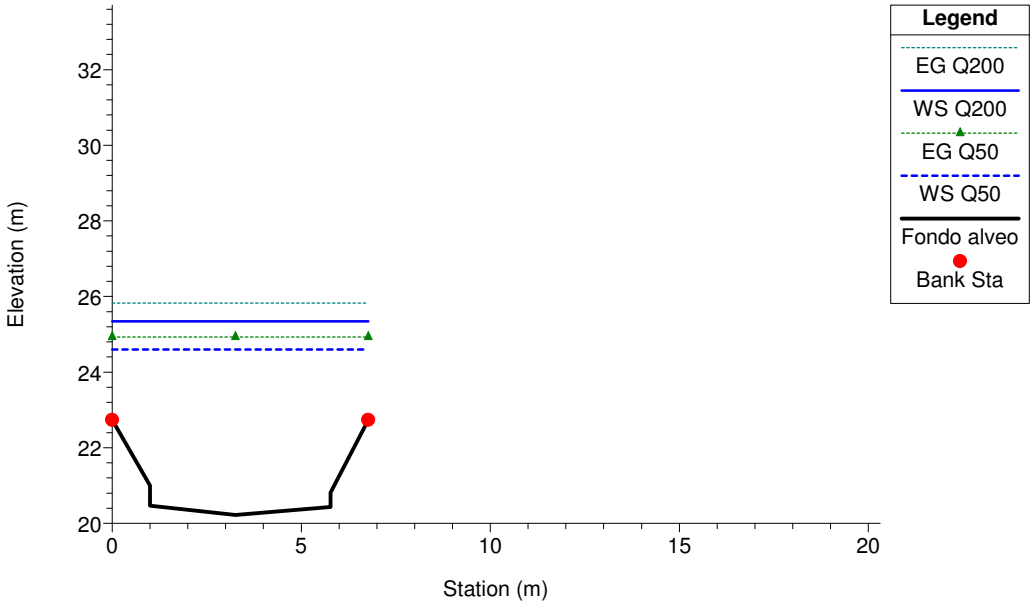
HEC-RAS Plan: attuale River: MOLINASSI Reach: MOLINASSI Profile: Q200

Reach	River Sta	Profile	Cum Ch Len	Q Total	Min Ch El	LOB Elev	ROB Elev	W.S. Elev	Hydr Depth	Max Chl Dpth	E.G. Elev	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m)	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m2)	(m)	
MOLINASSI	371	Q200	877.38	95.00	20.22	22.74	22.74	25.34	4.57	5.12	25.82	3.07	30.97	6.78	0.46
MOLINASSI	370.5		Bridge												
MOLINASSI	370	Q200	874.38	95.00	20.20	22.74	22.74	22.61	1.88	2.41	25.56	7.61	12.48	6.63	1.77
MOLINASSI	360	Q200	863.99	95.00	20.04	22.96	22.92	23.44	3.27	3.40	25.09	5.69	16.72	5.11	1.00
MOLINASSI	350	Q200	854.47	95.00	19.85	22.91	23.69	21.29	1.25	1.44	24.65	8.13	11.69	9.33	2.32
MOLINASSI	340	Q200	823.34	95.00	18.87	22.15	24.61	20.96	1.95	2.09	23.14	6.55	14.51	7.45	1.50
MOLINASSI	330	Q200	806.99	95.00	18.44	21.56	23.91	20.90	2.18	2.46	22.66	5.88	16.17	7.43	1.27
MOLINASSI	321	Q200	795.18	95.00	18.29	20.27	20.21	20.82	2.48	2.53	22.42	5.61	16.92	6.83	1.14
MOLINASSI	319	Q200	794.76	95.00	15.67	21.32	20.21	17.36	1.37	1.69	22.10	9.64	9.85	7.18	2.63
MOLINASSI	311	Q200	785.33	95.00	15.51	21.28	17.29	16.72	1.16	1.22	21.22	9.40	10.11	8.73	2.79
MOLINASSI	309	Q200	784.91	95.00	14.68	21.28	17.29	15.78	1.08	1.10	21.10	10.22	9.30	8.58	3.13
MOLINASSI	300	Q200	774.24	95.00	14.18	18.13	17.44	18.29	3.89	4.11	18.56	2.33	40.79	10.49	0.38
MOLINASSI	290	Q200	766.36	95.00	13.92	17.57	16.93	17.91	3.69	4.00	18.51	3.43	27.72	7.51	0.57
MOLINASSI	280	Q200	756.22	95.00	13.60	16.66	18.37	17.43	3.66	3.83	18.41	4.39	21.62	5.91	0.73
MOLINASSI	271	Q200	729.51	95.00	13.08	15.61	17.57	16.75	3.43	3.68	18.10	5.14	18.48	5.39	0.89
MOLINASSI	270	Q200	729.01	95.00	13.08	15.61	14.70	16.49	3.17	3.41	18.07	5.57	17.05	5.38	1.00
MOLINASSI	260	Q200	716.78	95.00	12.70	14.96	13.97	14.97	2.17	2.28	17.69	7.30	13.02	6.01	1.58
MOLINASSI	250	Q200	704.65	95.00	12.33	14.54	13.99	15.60	3.07	3.26	17.13	5.50	17.29	5.62	1.00
MOLINASSI	240	Q200	696.64	95.00	12.10	14.22	13.97	14.93	2.62	2.83	16.94	6.28	15.14	5.78	1.24
MOLINASSI	230	Q200	683.95	95.00	11.77	13.66	15.71	14.13	1.90	2.36	16.58	6.96	13.80	7.26	1.52
MOLINASSI	220	Q200	676.36	95.00	11.53	14.00	14.00	13.75	1.93	2.22	16.34	7.13	13.32	6.89	1.64
MOLINASSI	210	Q200	654.40	95.00	10.88	13.35	14.07	13.01	1.95	2.13	15.63	7.17	13.26	6.78	1.64
MOLINASSI	200	Q200	638.20	95.00	10.44	12.96	14.06	14.69	3.93	4.25	15.21	3.20	29.69	7.56	0.52
MOLINASSI	190	Q200	632.21	95.00	10.26	12.59	14.00	14.33	3.75	4.07	15.15	4.02	23.61	6.29	0.66
MOLINASSI	180	Q200	626.26	95.00	10.16	12.60	13.61	14.29	3.81	4.13	15.11	4.01	23.68	6.21	0.66
MOLINASSI	170	Q200	617.19	95.00	9.94	12.31	13.45	13.39	3.12	3.46	14.95	5.53	17.17	5.51	1.00
MOLINASSI	160	Q200	612.28	95.00	9.87	13.15	13.36	12.32	2.20	2.45	14.76	6.92	13.73	6.23	1.49
MOLINASSI	150	Q200	589.50	95.00	9.23	11.52	13.05	11.24	1.90	2.01	14.00	7.36	12.91	6.79	1.70
MOLINASSI	140	Q200	555.36	95.00	8.35	15.50	12.89	11.45	2.94	3.10	12.94	5.40	17.60	5.98	1.00
MOLINASSI	130	Q200	538.04	95.00	7.91	10.81	11.34	9.63	1.59	1.72	12.41	7.39	12.85	8.06	1.87
MOLINASSI	121	Q200	525.82	95.00	7.68	10.69	10.50	10.43	2.67	2.75	11.77	5.14	18.50	6.92	1.00
MOLINASSI	119	Q200	525.60	95.00	6.69	10.69	10.50	8.73	1.84	2.04	11.62	7.53	12.62	6.88	1.77
MOLINASSI	110	Q200	495.70	95.00	5.72	8.82	8.32	9.90	4.08	4.18	10.62	3.75	25.31	6.20	0.59
MOLINASSI	100	Q200	482.84	95.00	5.27	8.28	8.55	9.89	4.29	4.61	10.52	3.54	26.87	6.26	0.54
MOLINASSI	90.1	Q200	446.82	95.00	4.39	7.44	8.10	10.05	5.44	5.65	10.34	2.40	39.57	7.28	0.33
MOLINASSI	90	Q200	445.82	95.00	4.39	6.65	6.65	9.90	4.50	5.50	10.33	2.90	32.73	7.28	0.40
MOLINASSI	84	Q200	421.64	95.00	3.57	6.65	6.65	9.87	5.13	6.30	10.20	2.54	37.33	7.28	0.32
MOLINASSI	80	Q200	420.64	95.00	3.56	4.51	4.62	8.71	3.12	5.15	10.09	5.21	18.24	5.84	0.73
MOLINASSI	70	Q200	328.80	95.00	2.14	3.08	3.03	8.40	4.98	6.26	8.94	3.24	29.31	5.88	0.41
MOLINASSI	60	Q200	203.27	95.00	1.46	2.18	2.14	7.43	4.18	5.97	8.11	3.64	26.13	6.25	0.48
MOLINASSI	50	Q200	106.71	95.00	1.31	1.97	1.68	6.52	2.91	5.21	7.27	3.85	24.82	8.54	0.54
MOLINASSI	40	Q200	84.42	95.00	0.93	10.49	3.75	6.70	4.86	5.77	7.07	2.68	35.46	7.30	0.39
MOLINASSI	30	Q200	41.25	95.00	0.71	7.31	4.00	6.41	5.04	5.71	6.93	3.18	29.84	5.92	0.45
MOLINASSI	20	Q200	23.83	95.00	0.58	4.85	2.07	6.41	5.42	5.83	6.85	2.95	32.17	5.94	0.41
MOLINASSI	19.5		Bridge												
MOLINASSI	19	Q200	16.23	95.00	0.58	4.85	2.07	2.97	1.99	2.39	6.28	8.05	11.79	5.93	1.82
MOLINASSI	10	Q200		95.00	-0.13	3.45	4.15	1.53	1.23	1.65	5.41	8.73	10.88	8.87	2.52

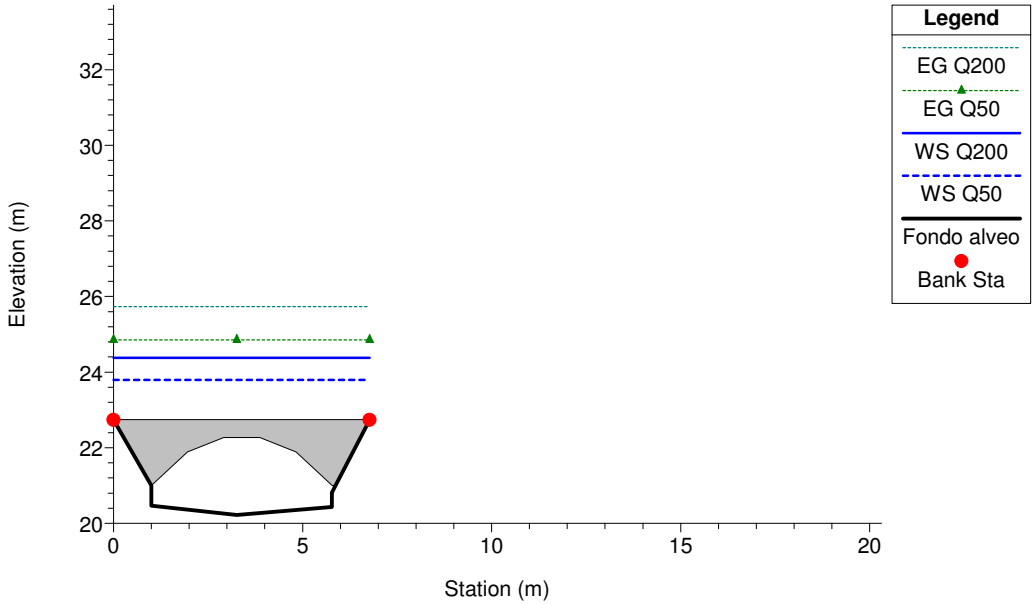
HEC-RAS Plan: attuale River: MOLINASSI Reach: MOLINASSI Profile: Q50

Reach	River Sta	Profile	Cum Ch Len	Q Total	Min Ch El	LOB Elev	ROB Elev	W.S. Elev	Hydr Depth	Max Chl Dpth	E.G. Elev	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m)	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m2)	(m)	
MOLINASSI	371	Q50	877.38	66.00	20.22	22.74	22.74	24.60	3.83	4.38	24.93	2.55	25.93	6.78	0.42
MOLINASSI	370.5		Bridge												
MOLINASSI	370	Q50	874.38	66.00	20.20	22.74	22.74	22.10	1.52	1.90	24.69	7.13	9.26	6.08	1.84
MOLINASSI	360	Q50	863.99	66.00	20.04	22.96	22.92	22.35	2.21	2.31	24.13	5.90	11.19	5.06	1.27
MOLINASSI	350	Q50	854.47	66.00	19.85	22.91	23.69	21.01	0.98	1.16	23.69	7.25	9.11	9.30	2.34
MOLINASSI	340	Q50	823.34	66.00	18.87	22.15	24.61	20.54	1.55	1.67	22.25	5.79	11.40	7.33	1.48
MOLINASSI	330	Q50	806.99	66.00	18.44	21.56	23.91	20.42	1.76	1.98	21.81	5.21	12.66	7.20	1.26
MOLINASSI	321	Q50	795.18	66.00	18.29	20.27	20.21	20.18	1.84	1.89	21.59	5.26	12.54	6.83	1.24
MOLINASSI	319	Q50	794.76	66.00	15.67	21.32	20.21	16.93	1.16	1.26	21.28	9.24	7.15	6.14	2.73
MOLINASSI	311	Q50	785.33	66.00	15.51	21.28	17.29	16.44	0.89	0.94	20.21	8.60	7.68	8.67	2.92
MOLINASSI	309	Q50	784.91	66.00	14.68	21.28	17.29	15.51	0.82	0.83	20.08	9.48	6.96	8.54	3.35
MOLINASSI	300	Q50	774.24	66.00	14.18	18.13	17.44	17.26	2.88	3.08	17.50	2.20	30.00	10.43	0.41
MOLINASSI	290	Q50	766.36	66.00	13.92	17.57	16.93	16.91	2.70	2.99	17.45	3.27	20.15	7.47	0.64
MOLINASSI	280	Q50	756.22	66.00	13.60	16.66	18.37	16.52	2.80	2.92	17.36	4.05	16.31	5.82	0.77
MOLINASSI	271	Q50	729.51	66.00	13.08	15.61	17.57	16.02	2.70	2.95	17.07	4.53	14.56	5.39	0.88
MOLINASSI	270	Q50	729.01	66.00	13.08	15.61	14.70	15.80	2.48	2.73	17.04	4.93	13.38	5.38	1.00
MOLINASSI	260	Q50	716.78	66.00	12.70	14.96	13.97	14.47	1.67	1.77	16.69	6.60	9.99	5.98	1.63
MOLINASSI	250	Q50	704.65	66.00	12.33	14.54	13.99	14.74	2.22	2.40	16.17	5.30	12.46	5.62	1.14
MOLINASSI	240	Q50	696.64	66.00	12.10	14.22	13.97	14.30	1.99	2.20	15.98	5.74	11.49	5.78	1.30
MOLINASSI	230	Q50	683.95	66.00	11.77	13.66	15.71	13.66	1.66	1.89	15.63	6.23	10.60	6.37	1.54
MOLINASSI	220	Q50	676.36	66.00	11.53	14.00	14.00	13.28	1.62	1.75	15.39	6.43	10.26	6.33	1.61
MOLINASSI	210	Q50	654.40	66.00	10.88	13.35	14.07	12.56	1.53	1.68	14.68	6.45	10.23	6.70	1.67
MOLINASSI	200	Q50	638.20	66.00	10.44	12.96	14.06	13.74	2.98	3.30	14.18	2.94	22.46	7.54	0.54
MOLINASSI	190	Q50	632.21	66.00	10.26	12.59	14.00	13.44	2.89	3.18	14.12	3.66	18.02	6.24	0.69
MOLINASSI	180	Q50	626.26	66.00	10.16	12.60	13.61	13.41	2.94	3.25	14.08	3.63	18.18	6.19	0.68
MOLINASSI	170	Q50	617.19	66.00	9.94	12.31	13.45	12.70	2.47	2.77	13.94	4.93	13.40	5.43	1.00
MOLINASSI	160	Q50	612.28	66.00	9.87	13.15	13.36	11.83	1.74	1.96	13.77	6.17	10.69	6.14	1.49
MOLINASSI	150	Q50	589.50	66.00	9.23	11.52	13.05	10.81	1.49	1.58	13.03	6.59	10.01	6.74	1.73
MOLINASSI	140	Q50	555.36	66.00	8.35	15.50	12.89	10.69	2.23	2.34	11.98	5.03	13.11	5.88	1.08
MOLINASSI	130	Q50	538.04	66.00	7.91	10.81	11.34	9.28	1.25	1.37	11.48	6.58	10.03	8.05	1.88
MOLINASSI	121	Q50	525.82	66.00	7.68	10.69	10.50	9.81	2.06	2.13	10.91	4.65	14.20	6.90	1.03
MOLINASSI	119	Q50	525.60	66.00	6.69	10.69	10.50	8.26	1.37	1.57	10.77	7.01	9.42	6.87	1.91
MOLINASSI	110	Q50	495.70	66.00	5.72	8.82	8.32	9.22	3.40	3.50	9.72	3.13	21.09	6.20	0.54
MOLINASSI	100	Q50	482.84	66.00	5.27	8.28	8.55	9.21	3.61	3.94	9.64	2.92	22.64	6.26	0.49
MOLINASSI	90.1	Q50	446.82	66.00	4.39	7.44	8.10	9.33	4.71	4.93	9.51	1.92	34.32	7.28	0.28
MOLINASSI	90	Q50	445.82	66.00	4.39	6.65	6.65	9.22	3.81	4.82	9.50	2.38	27.77	7.28	0.35
MOLINASSI	84	Q50	421.64	66.00	3.57	6.65	6.65	9.20	4.45	5.63	9.41	2.04	32.43	7.28	0.27
MOLINASSI	80	Q50	420.64	66.00	3.56	4.51	4.62	7.25		3.70	9.23	6.22	10.61		1.03
MOLINASSI	70	Q50	328.80	66.00	2.14	3.08	3.03	7.37	3.95	5.23	7.78	2.84	23.23	5.88	0.40
MOLINASSI	60	Q50	203.27	66.00	1.46	2.18	2.14	6.23	2.97	4.76	6.87	3.55	18.59	6.25	0.52
MOLINASSI	50	Q50	106.71	66.00	1.31	1.97	1.68	4.36		3.05	5.56	4.85	13.60		0.89
MOLINASSI	40	Q50	84.42	66.00	0.93	10.49	3.75	4.67	2.90	3.74	5.18	3.18	20.78	7.17	0.60
MOLINASSI	30	Q50	41.25	66.00	0.71	7.31	4.00	3.82	2.53	3.12	4.85	4.50	14.67	5.79	0.90
MOLINASSI	20	Q50	23.83	66.00	0.58	4.85	2.07	3.86	2.87	3.28	4.62	3.87	17.04	5.94	0.73
MOLINASSI	19.5		Bridge												
MOLINASSI	19	Q50	16.23	66.00	0.58	4.85	2.07	3.31	2.33	2.73	4.48	4.78	13.81	5.93	1.00
MOLINASSI	10	Q50		66.00	-0.13	3.45	4.15	1.33	1.08	1.46	3.96	7.19	9.18	8.50	2.21

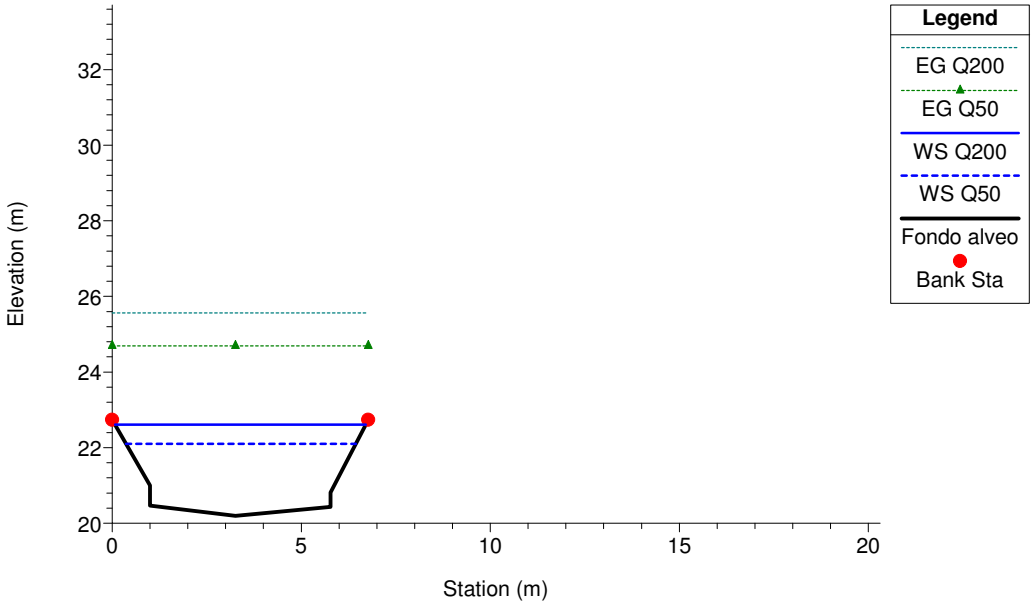
MOLINASSI Plan: stato-attuale-ok
RS = 371



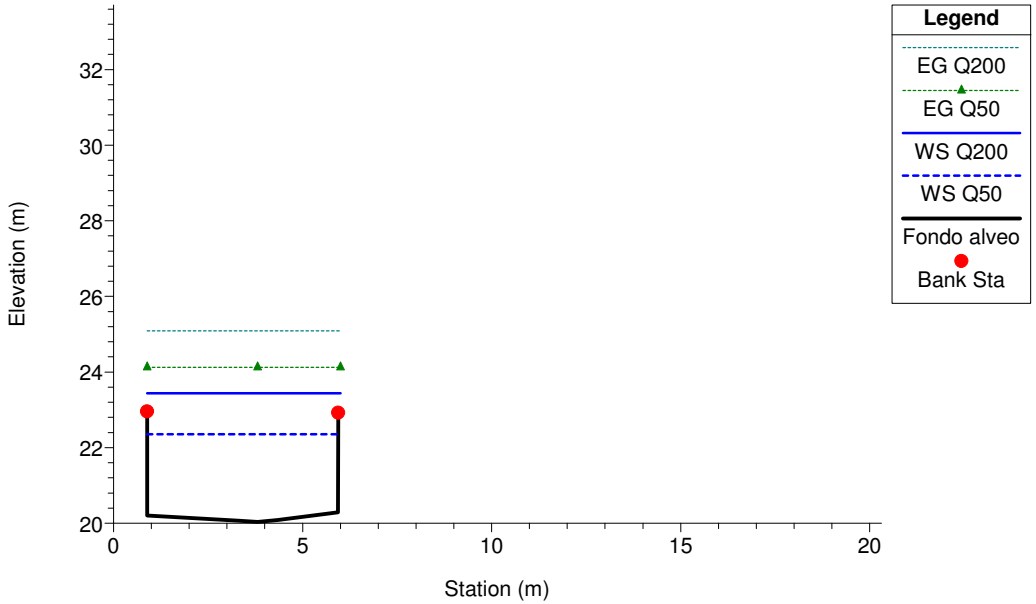
MOLINASSI Plan: stato-attuale-ok
RS = 370.5 BR



MOLINASSI Plan: stato-attuale-ok
RS = 370



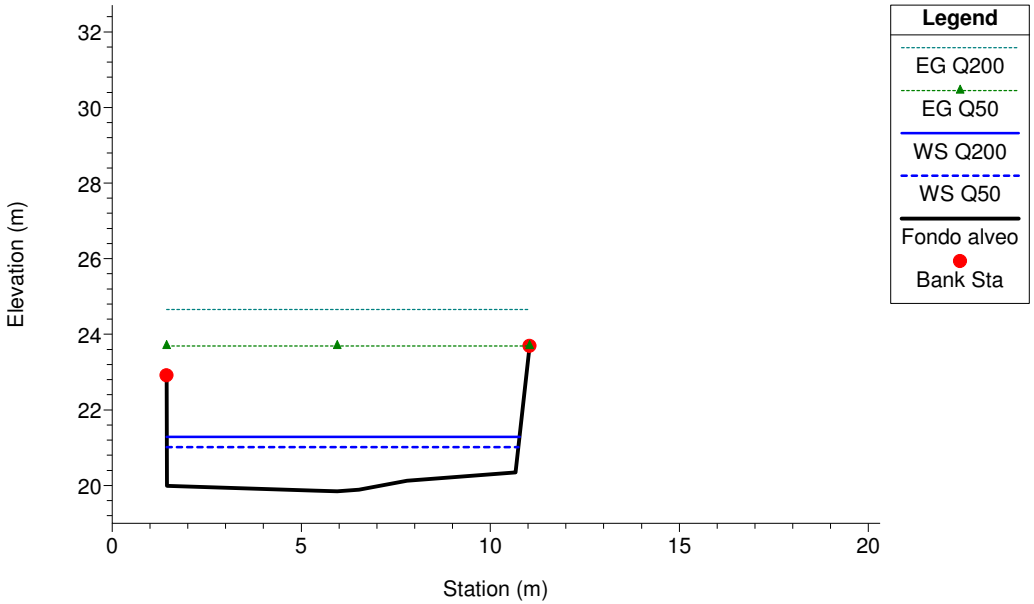
MOLINASSI Plan: stato-attuale-ok
RS = 360



1 cm Horiz. = 2 m 1 cm Vert. = 2 m

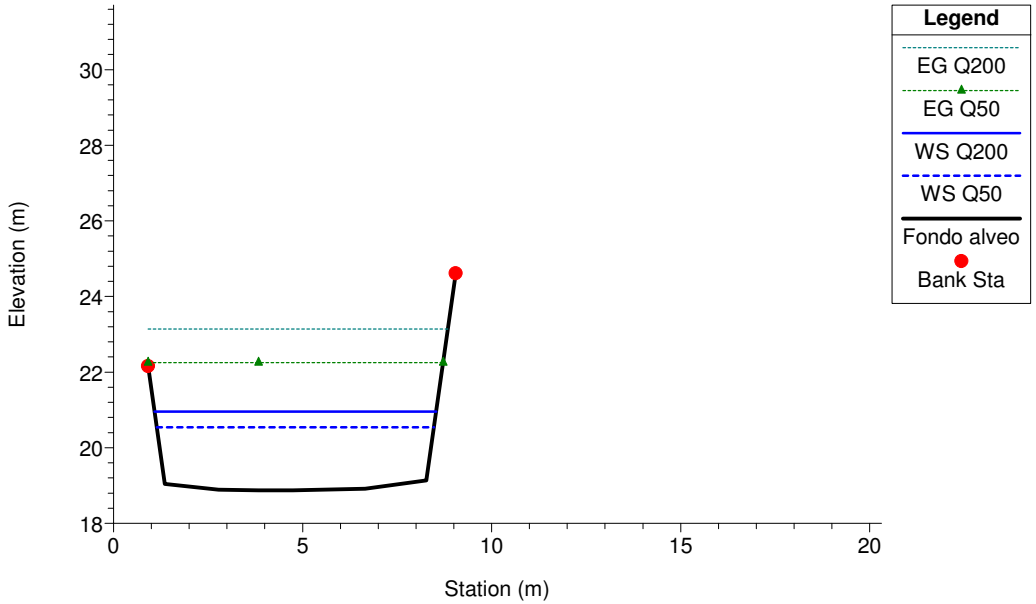
MOLINASSI Plan: stato-attuale-ok

RS = 350 s 350



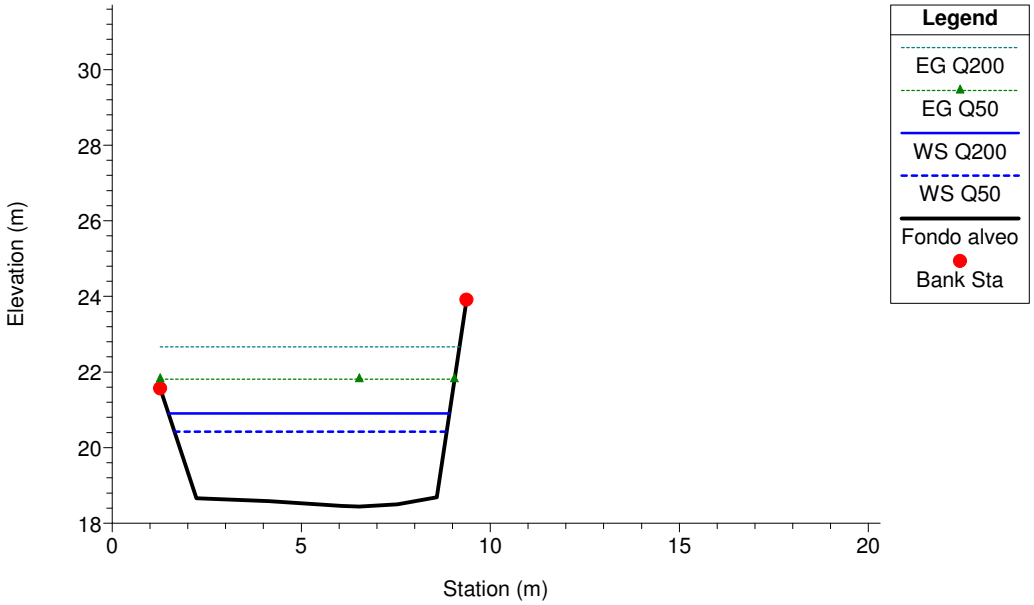
MOLINASSI Plan: stato-attuale-ok

RS = 340



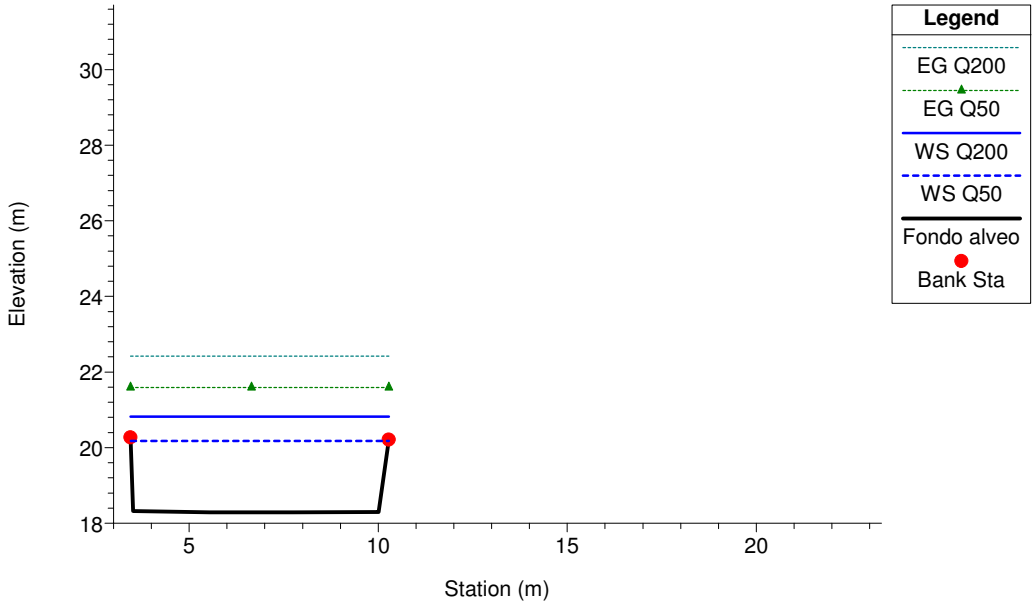
MOLINASSI Plan: stato-attuale-ok

RS = 330



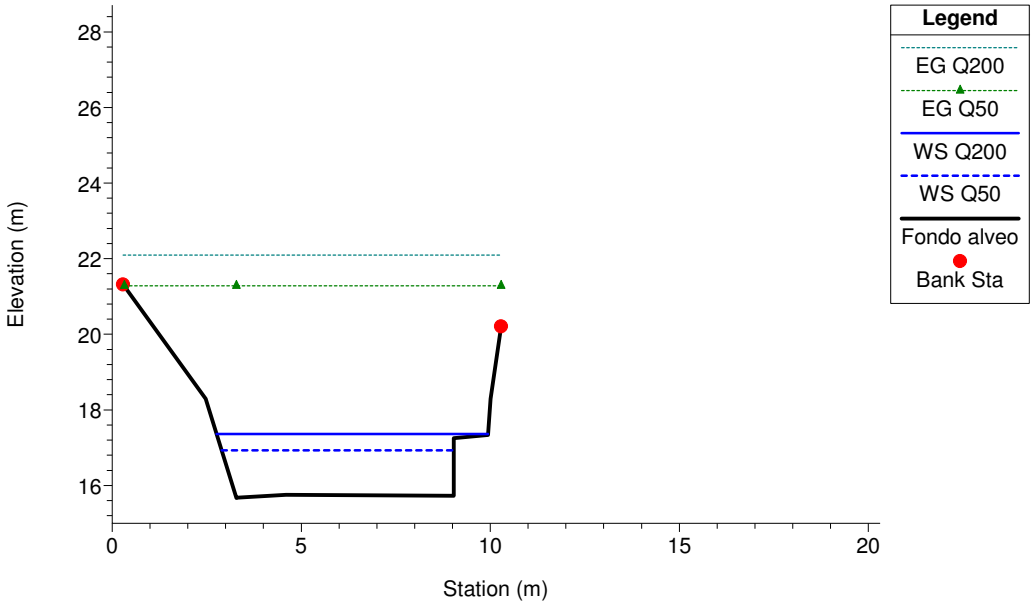
MOLINASSI Plan: stato-attuale-ok

RS = 321

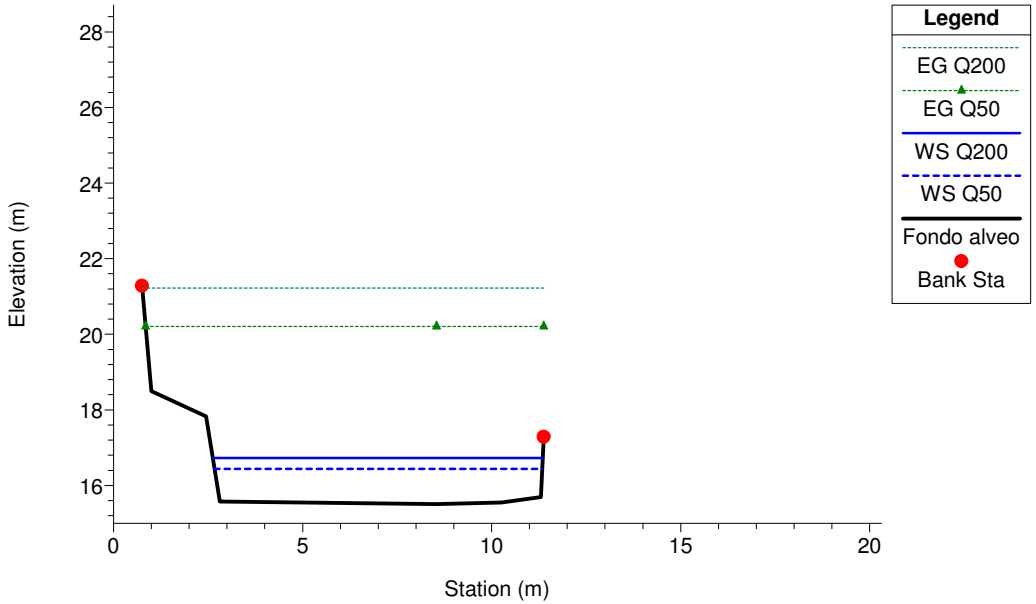


1 cm Horiz. = 2 m 1 cm Vert. = 2 m

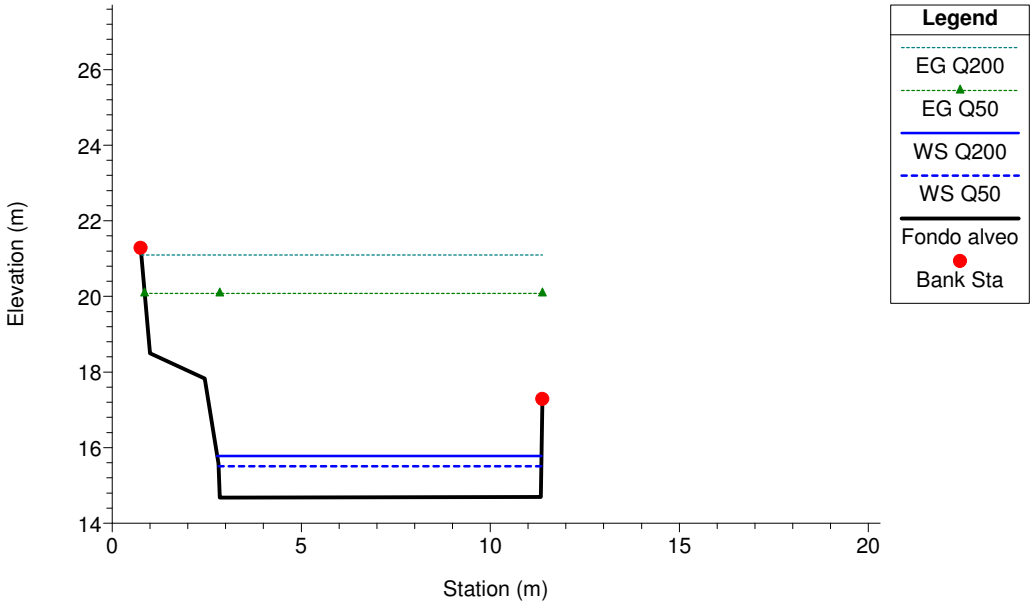
MOLINASSI Plan: stato-attuale-ok
RS = 319



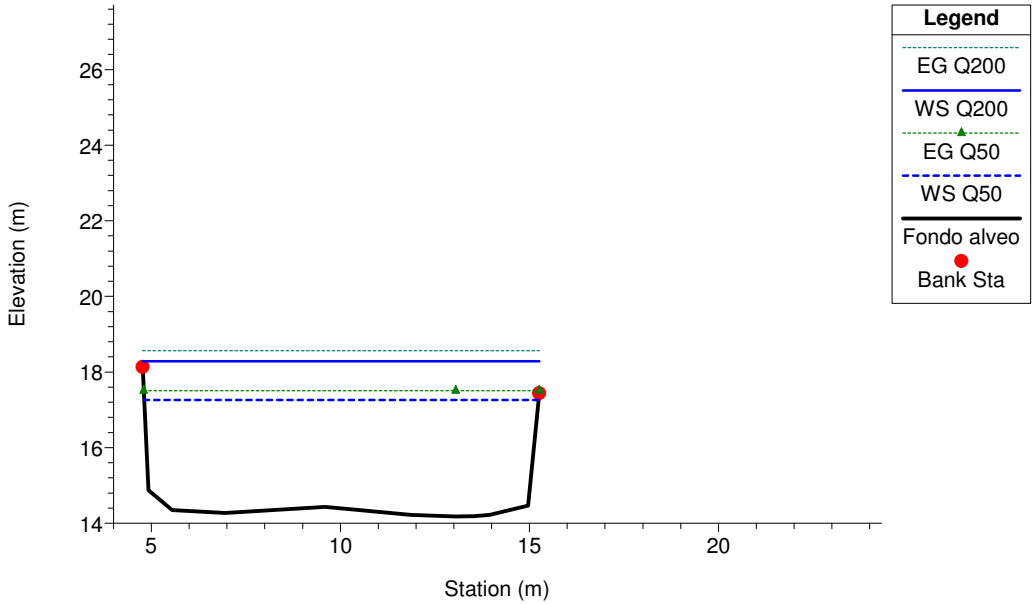
MOLINASSI Plan: stato-attuale-ok
RS = 311



MOLINASSI Plan: stato-attuale-ok
RS = 309



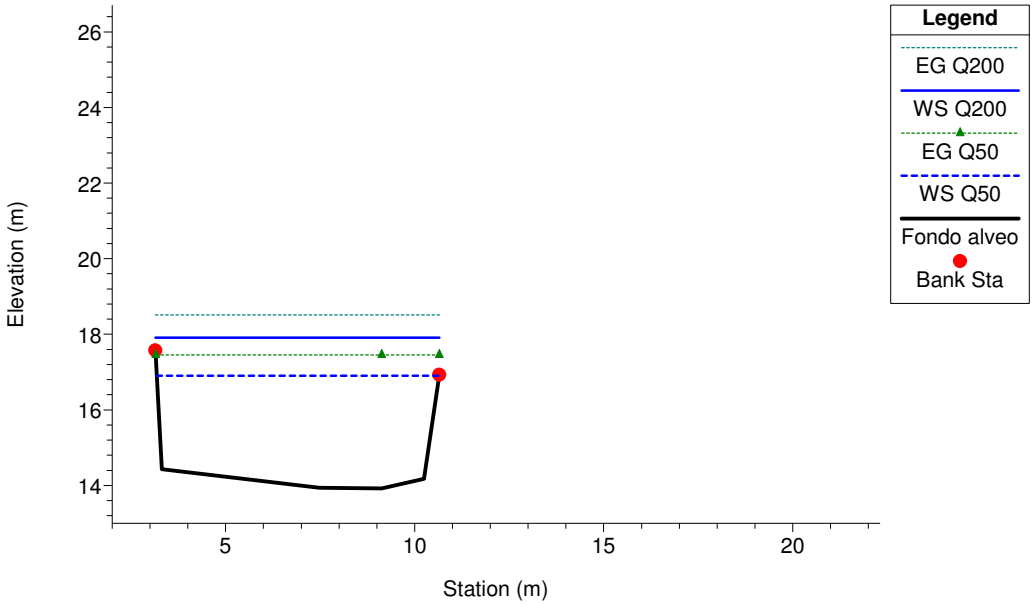
MOLINASSI Plan: stato-attuale-ok
RS = 300



1 cm Horiz. = 2 m 1 cm Vert. = 2 m

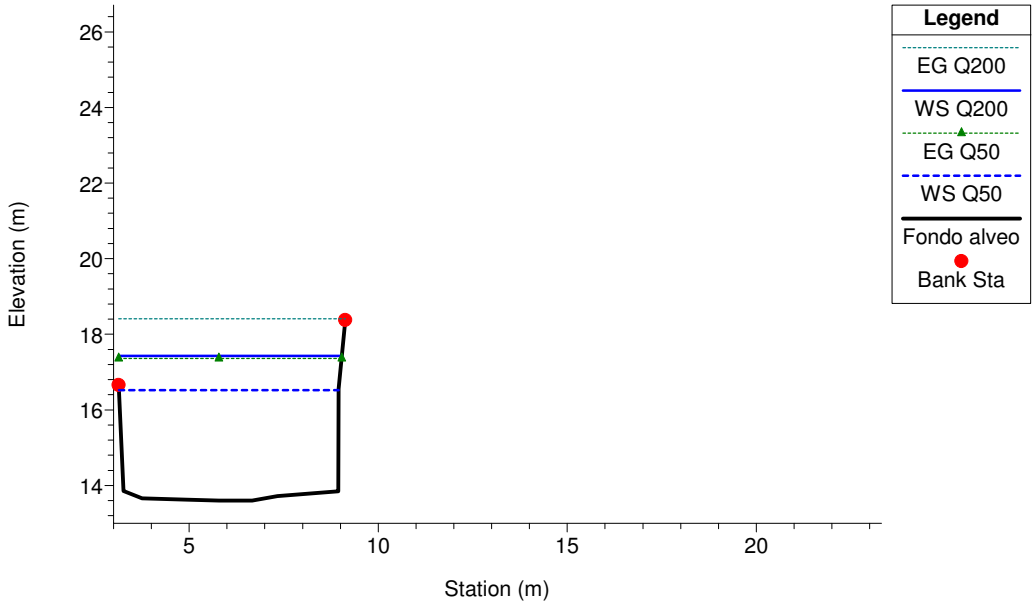
MOLINASSI Plan: stato-attuale-ok

RS = 290



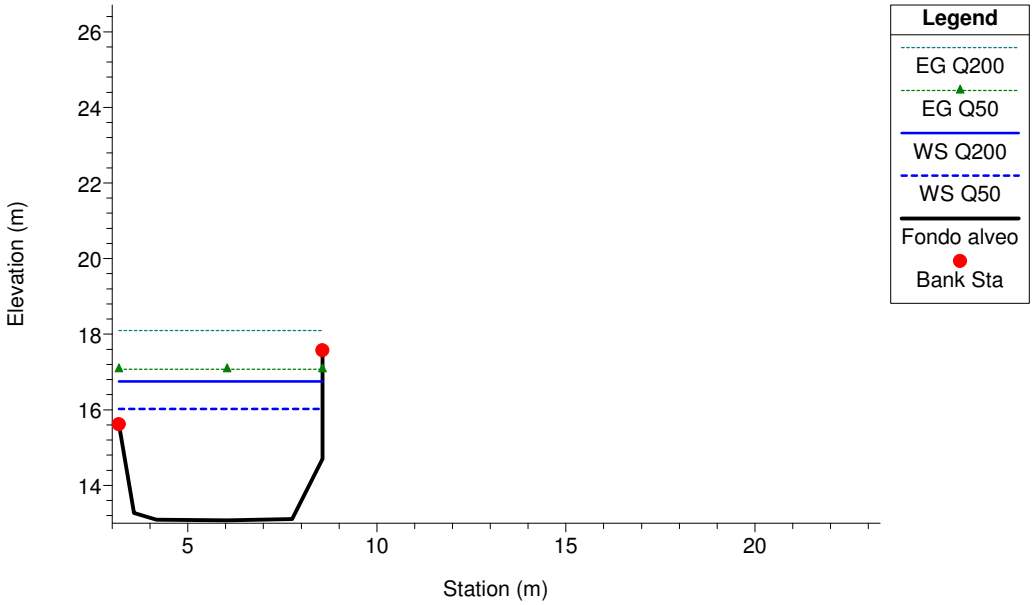
MOLINASSI Plan: stato-attuale-ok

RS = 280



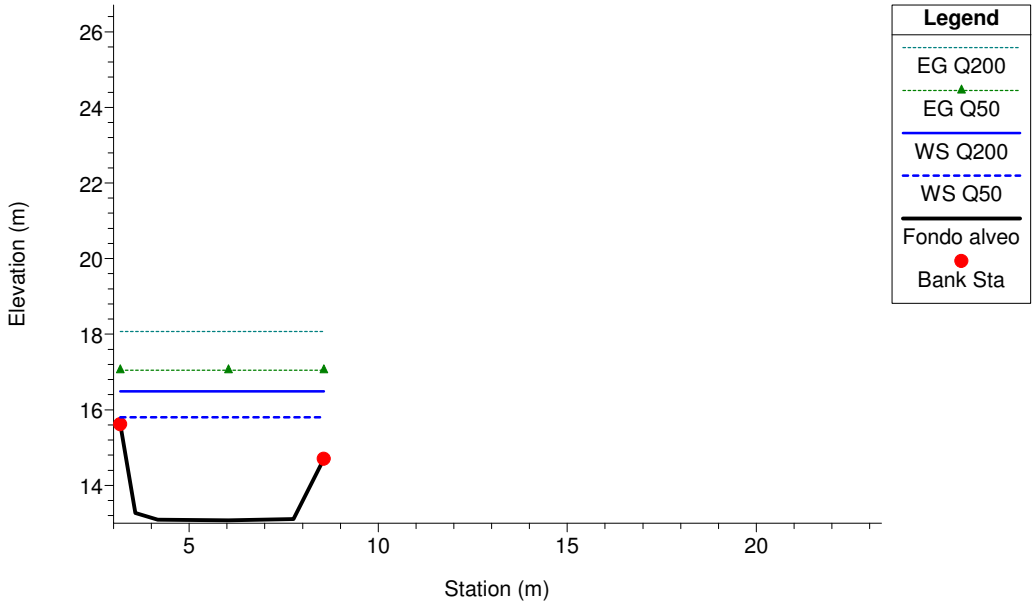
MOLINASSI Plan: stato-attuale-ok

RS = 271



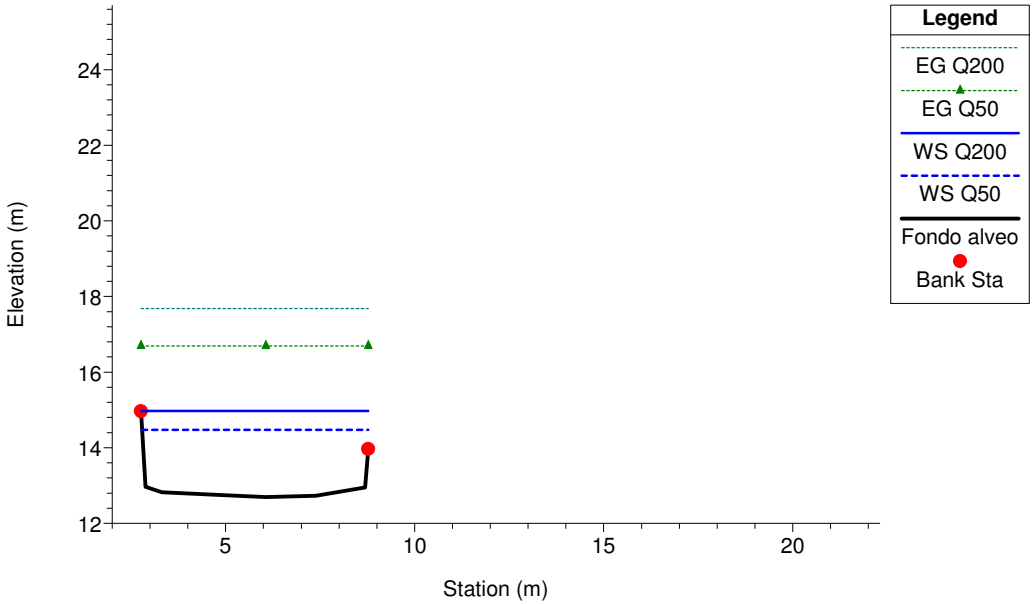
MOLINASSI Plan: stato-attuale-ok

RS = 270

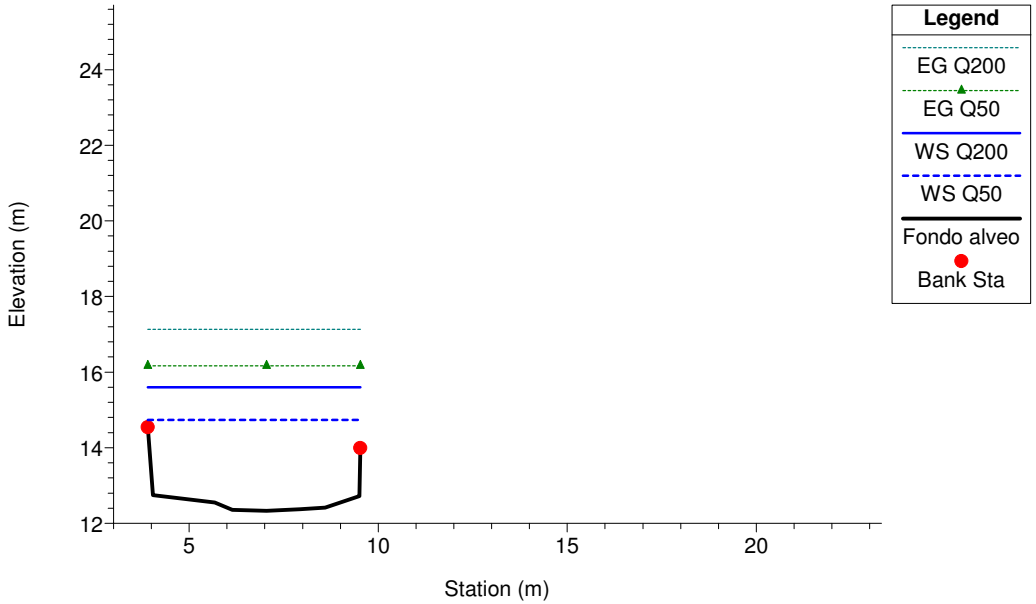


1 cm Horiz. = 2 m 1 cm Vert. = 2 m

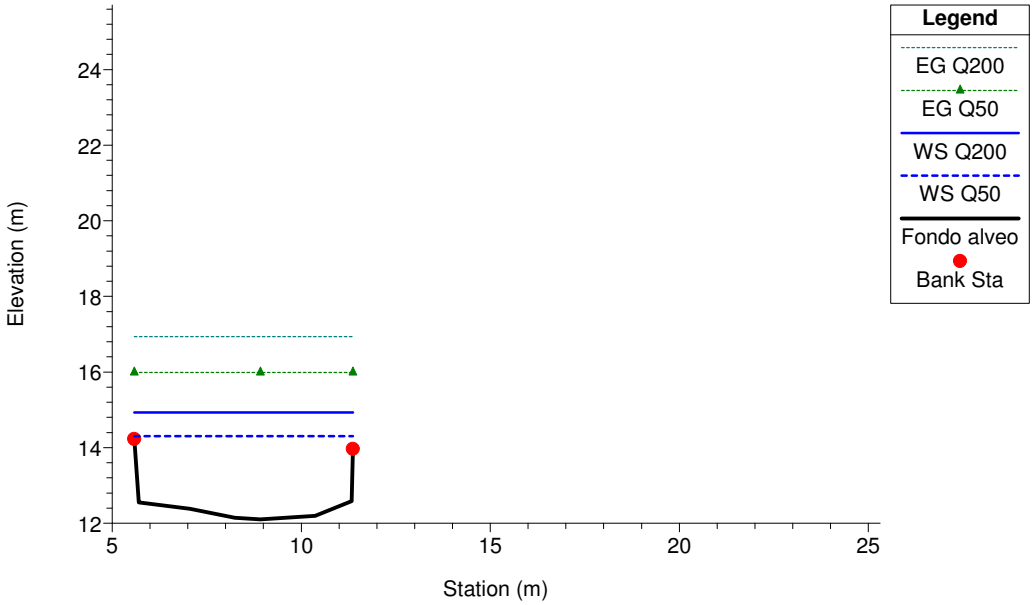
MOLINASSI Plan: stato-attuale-ok
RS = 260



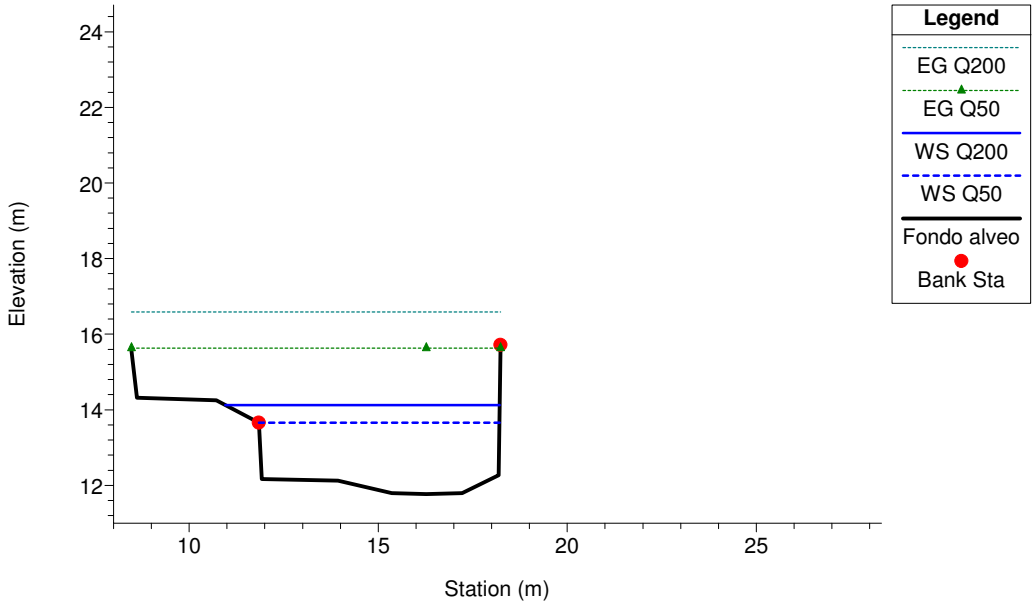
MOLINASSI Plan: stato-attuale-ok
RS = 250



MOLINASSI Plan: stato-attuale-ok
RS = 240

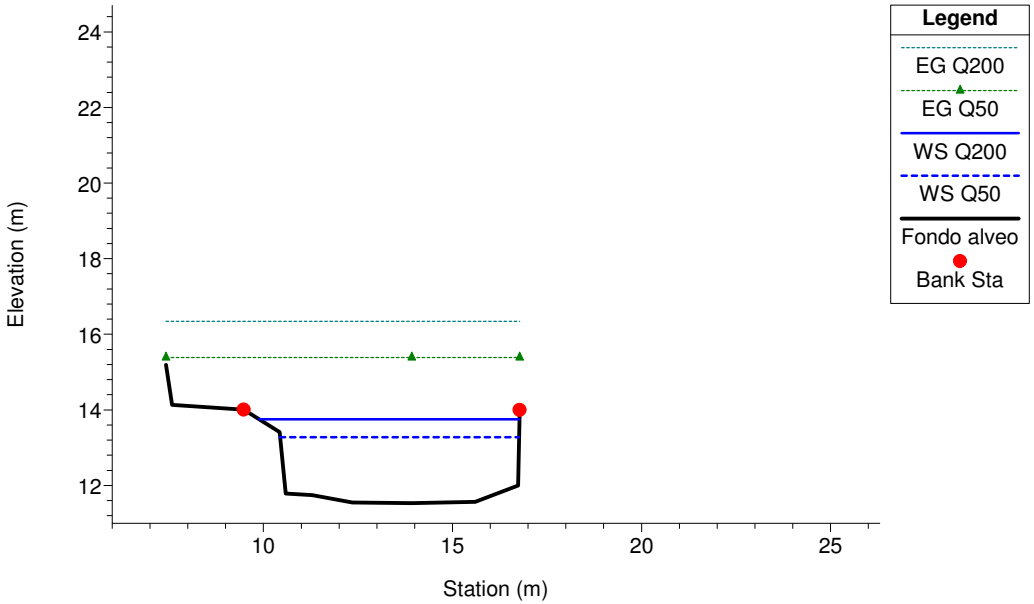


MOLINASSI Plan: stato-attuale-ok
RS = 230

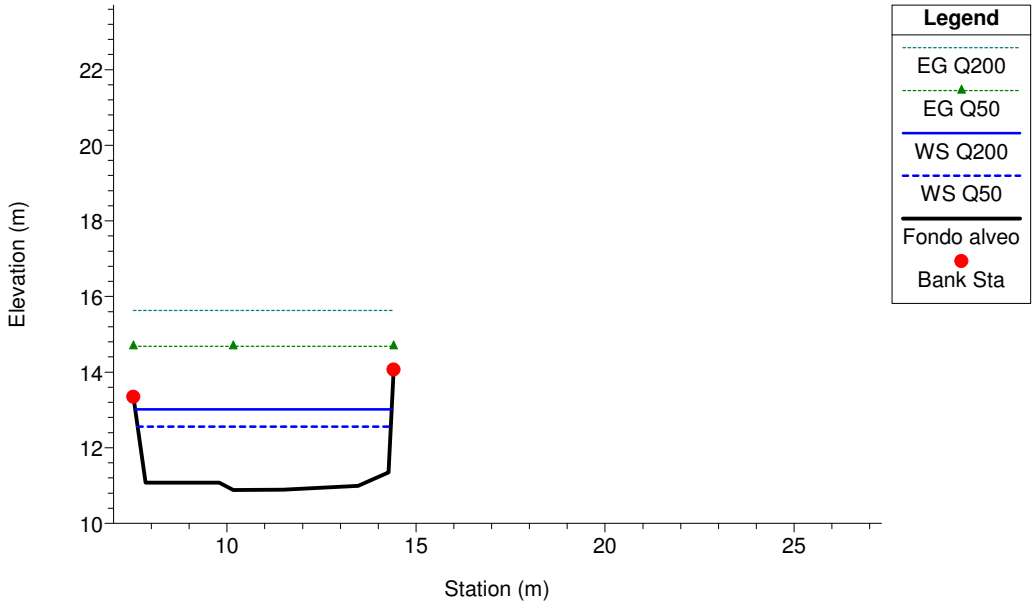


1 cm Horiz. = 2 m 1 cm Vert. = 2 m

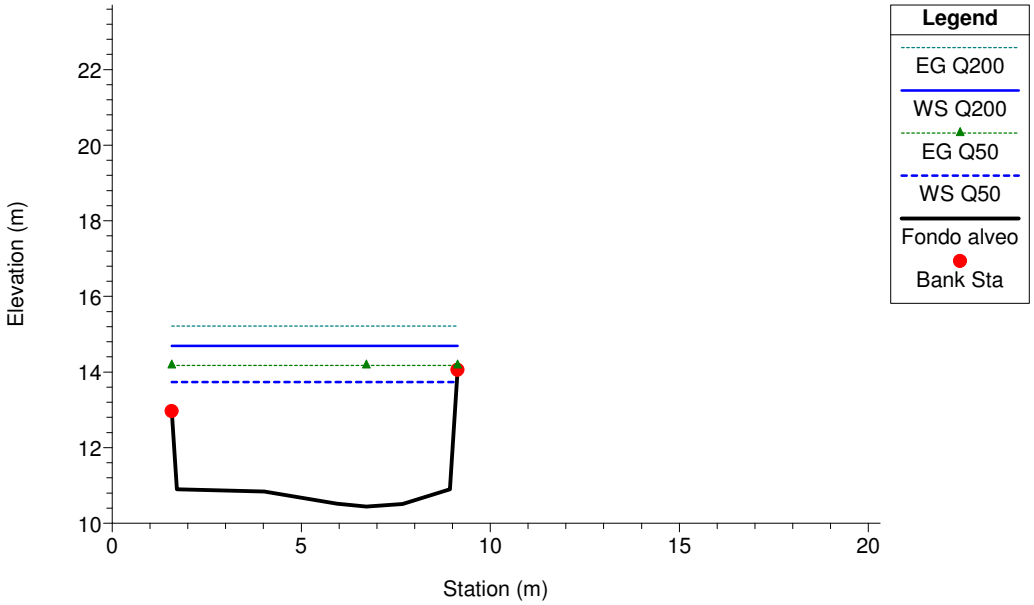
MOLINASSI Plan: stato-attuale-ok
RS = 220



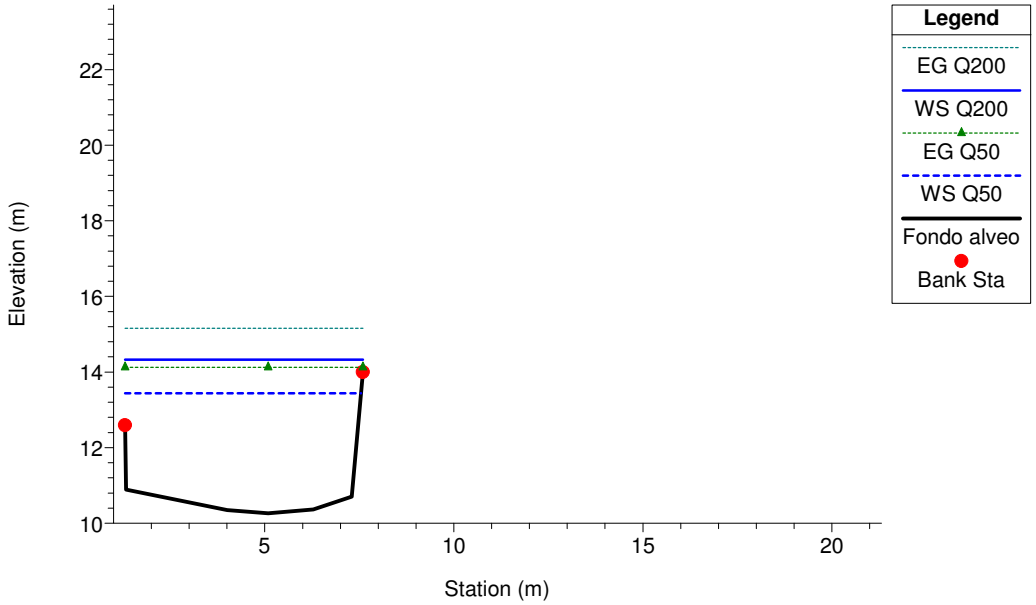
MOLINASSI Plan: stato-attuale-ok
RS = 210



MOLINASSI Plan: stato-attuale-ok
RS = 200

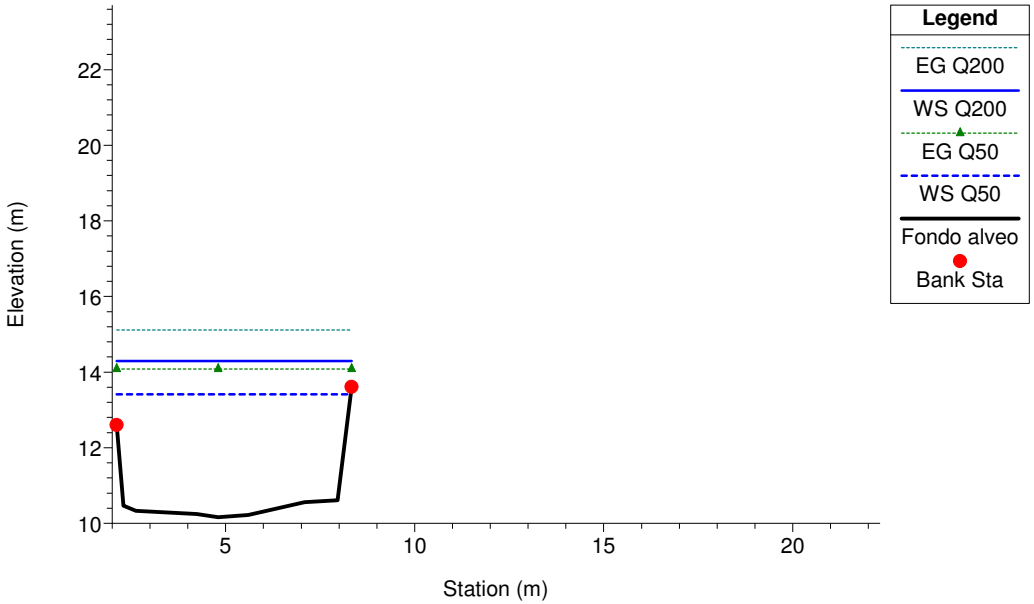


MOLINASSI Plan: stato-attuale-ok
RS = 190

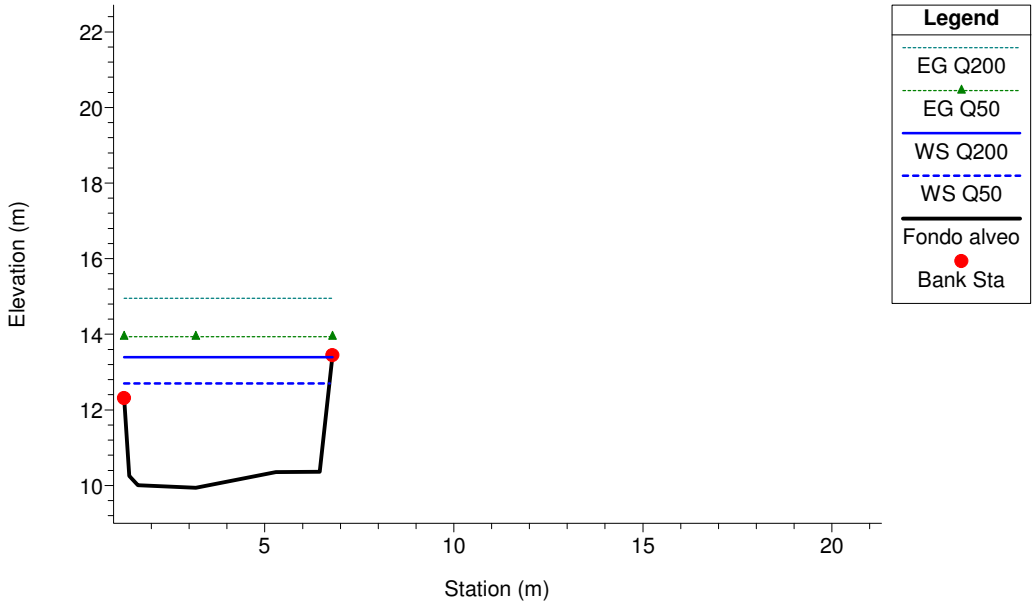


1 cm Horiz. = 2 m 1 cm Vert. = 2 m

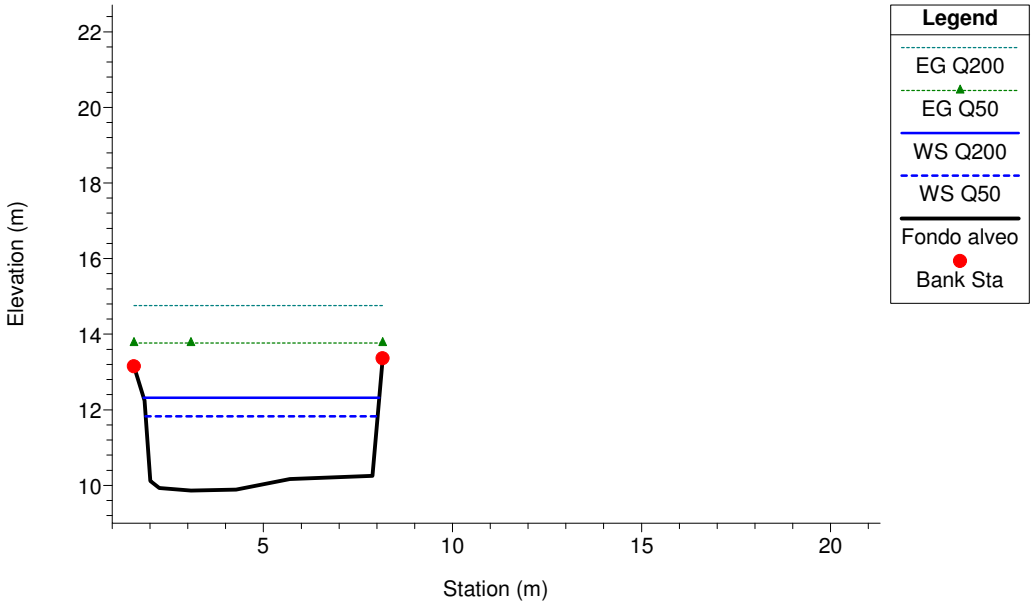
MOLINASSI Plan: stato-attuale-ok
RS = 180



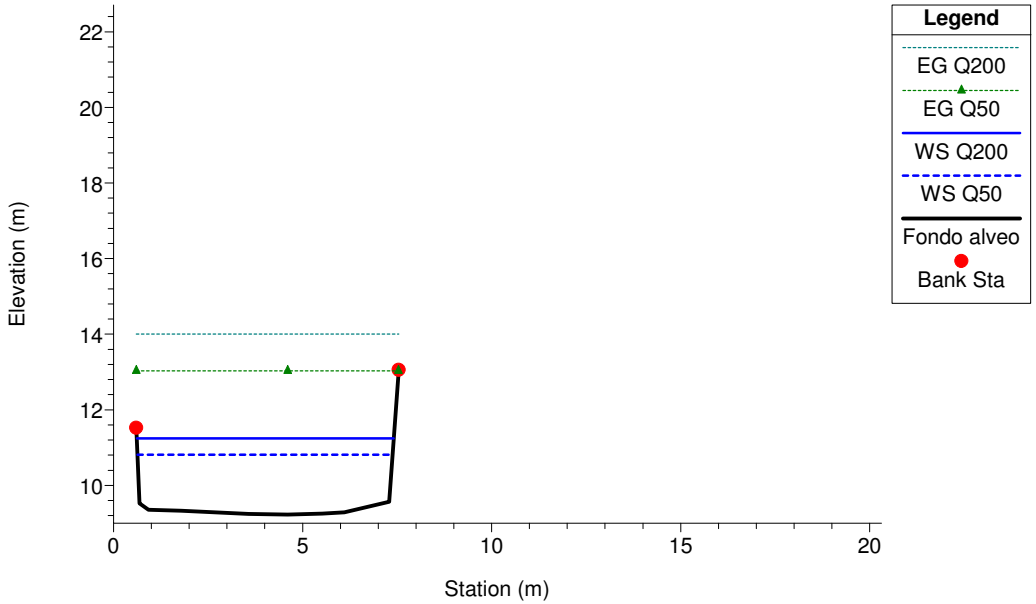
MOLINASSI Plan: stato-attuale-ok
RS = 170



MOLINASSI Plan: stato-attuale-ok
RS = 160

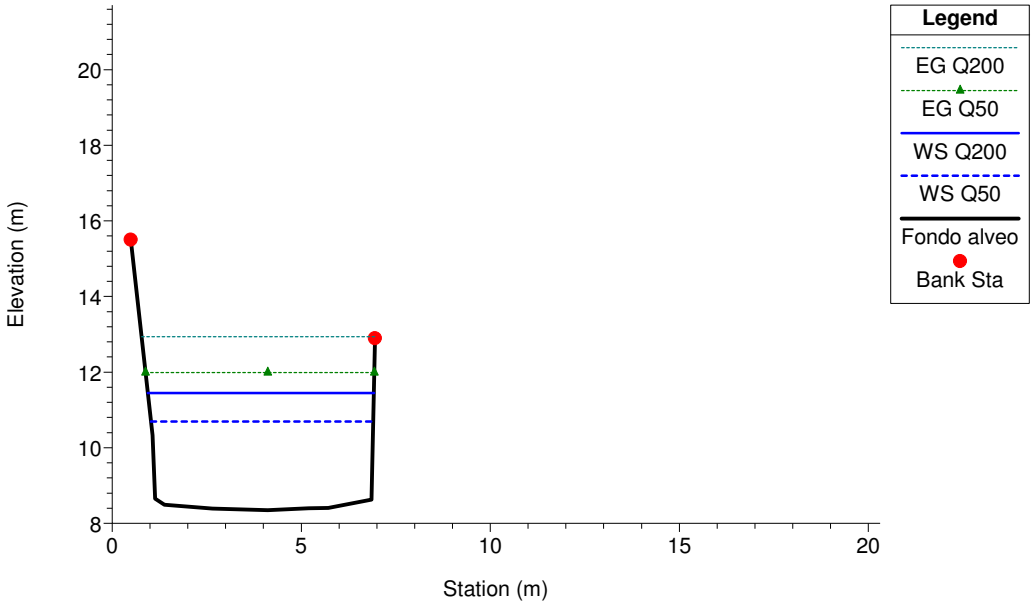


MOLINASSI Plan: stato-attuale-ok
RS = 150

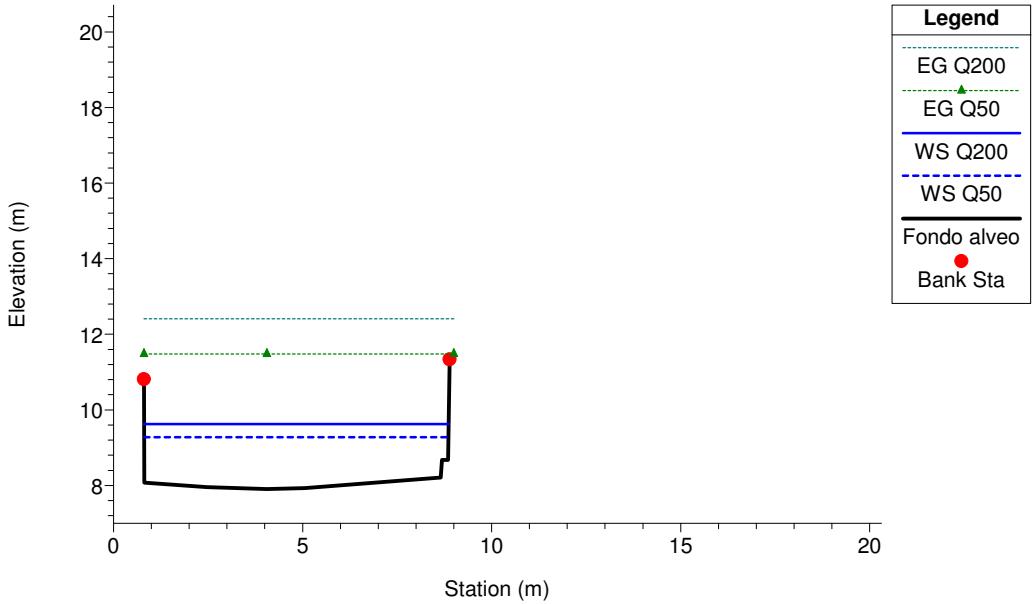


1 cm Horiz. = 2 m 1 cm Vert. = 2 m

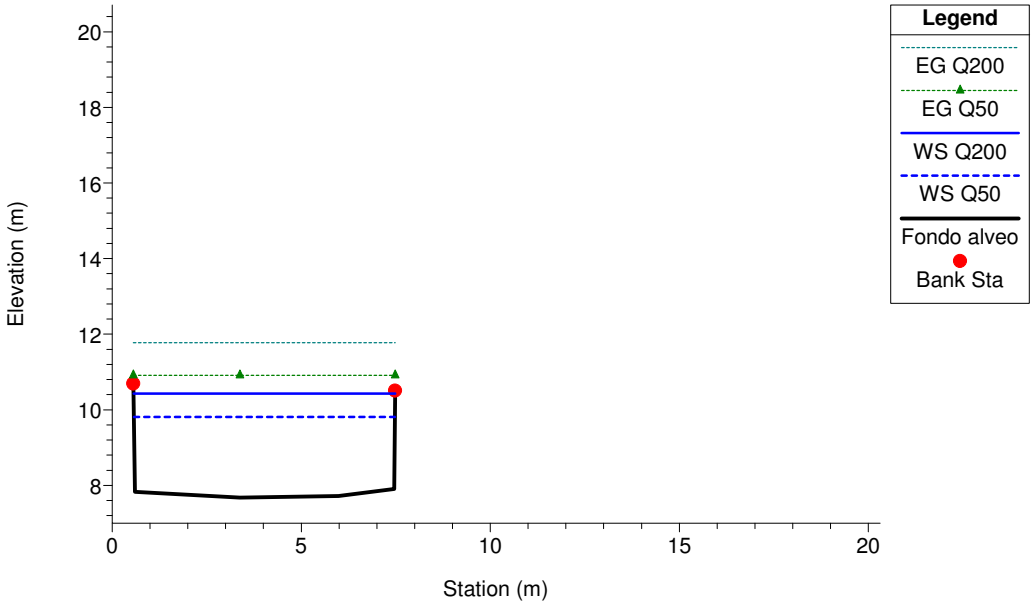
MOLINASSI Plan: stato-attuale-ok
RS = 140



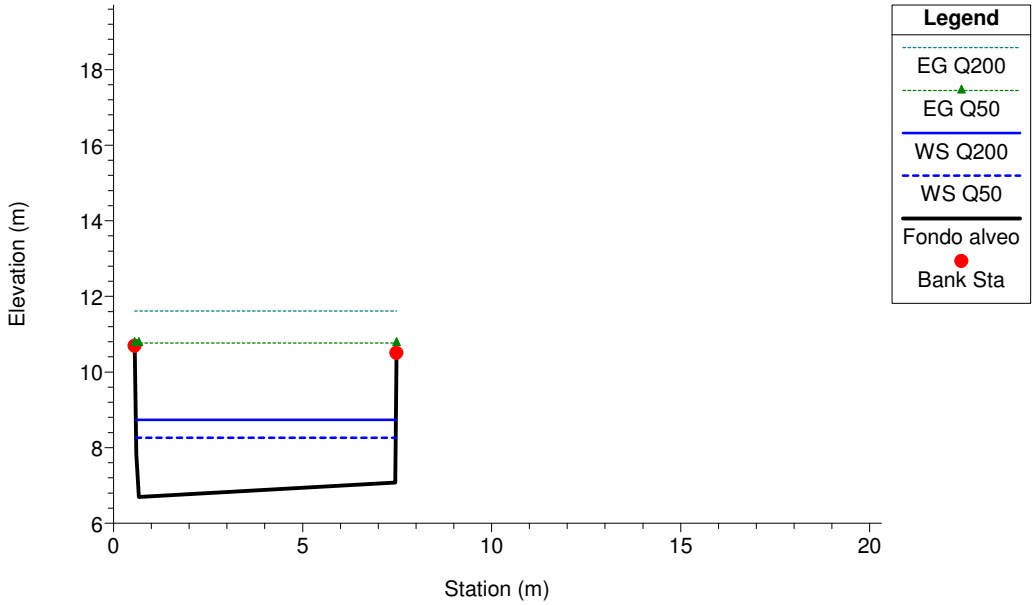
MOLINASSI Plan: stato-attuale-ok
RS = 130



MOLINASSI Plan: stato-attuale-ok
RS = 121 120m

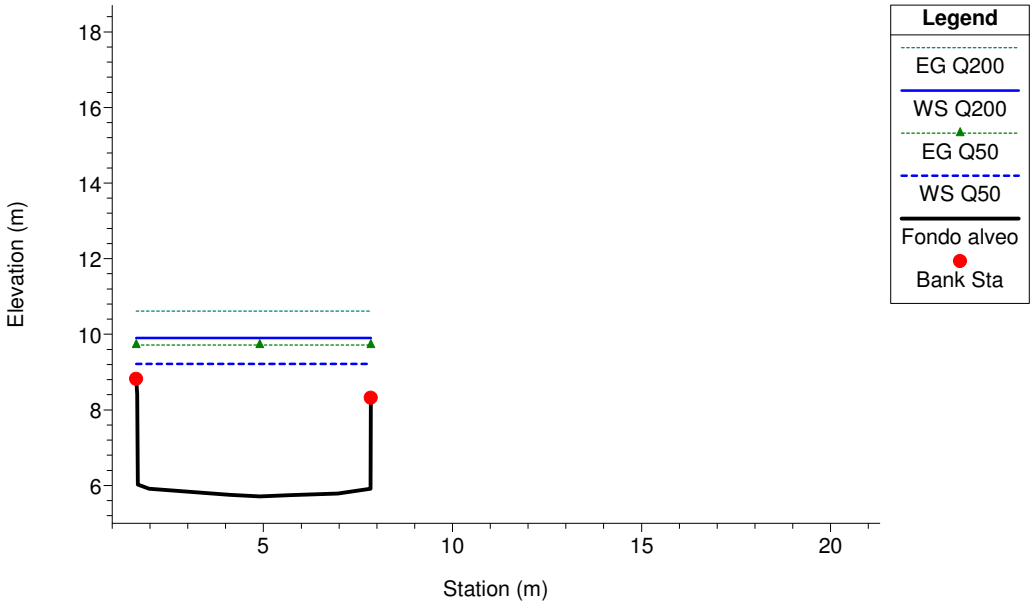


MOLINASSI Plan: stato-attuale-ok
RS = 119 120v

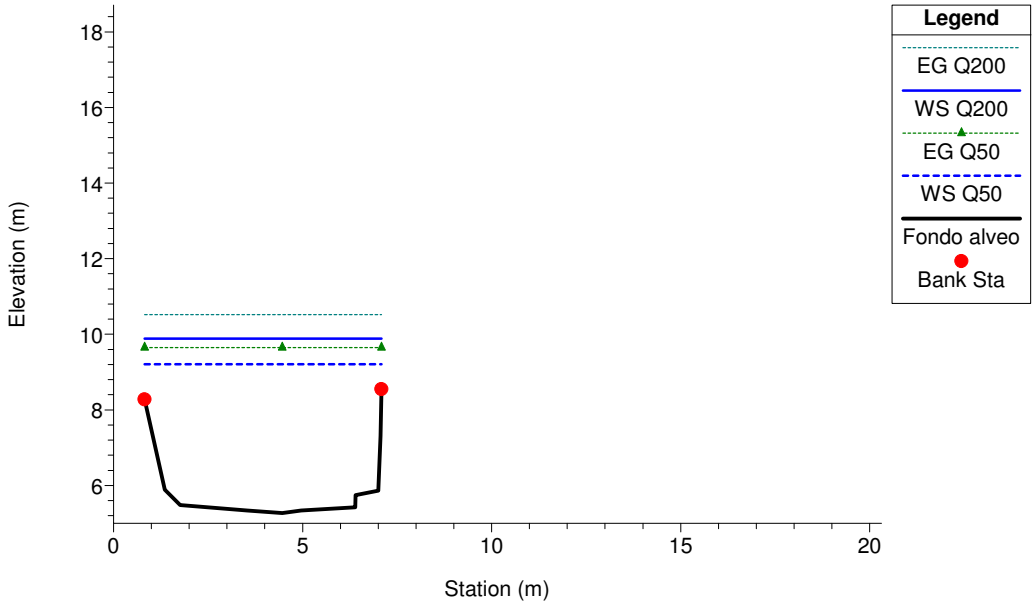


1 cm Horiz. = 2 m 1 cm Vert. = 2 m

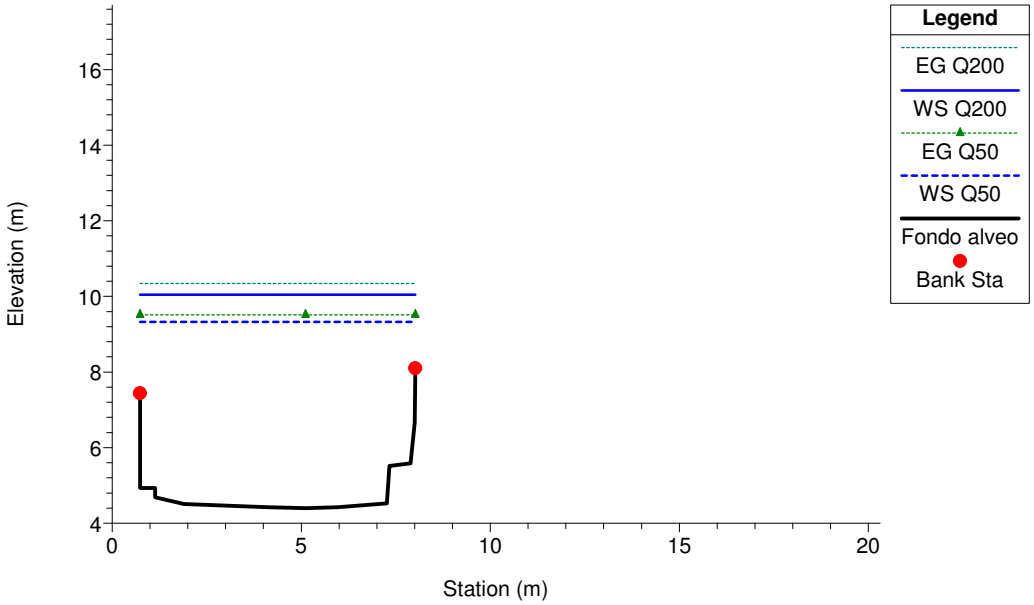
MOLINASSI Plan: stato-attuale-ok
RS = 110



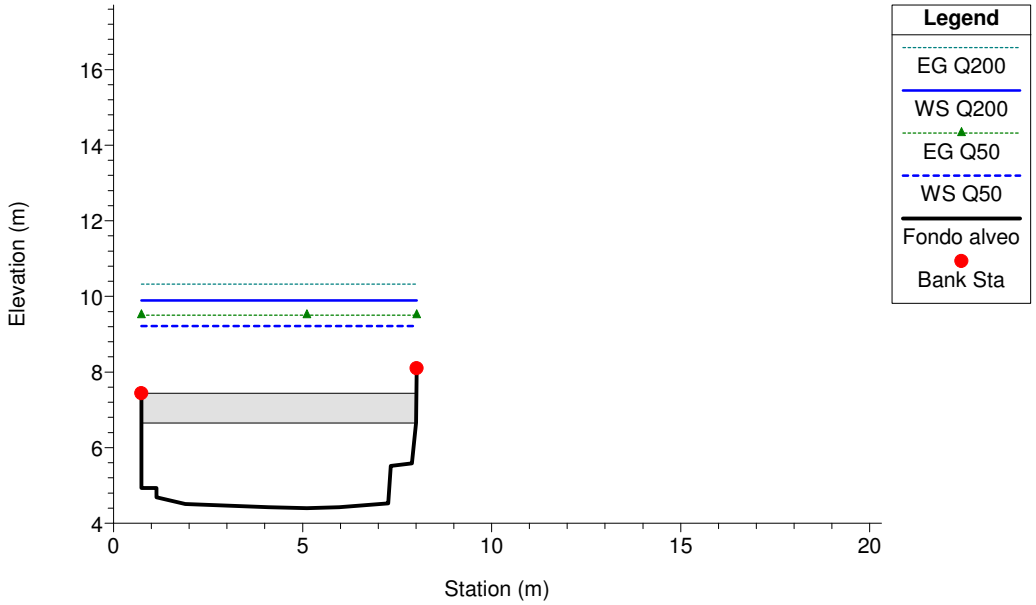
MOLINASSI Plan: stato-attuale-ok
RS = 100



MOLINASSI Plan: stato-attuale-ok
RS = 90.1 90.1

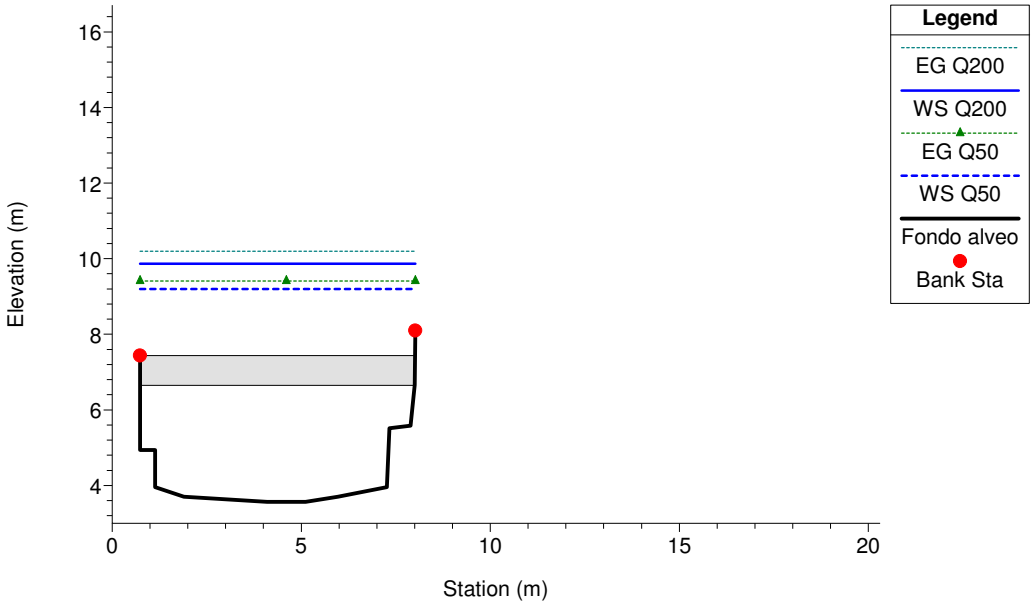


MOLINASSI Plan: stato-attuale-ok
RS = 90

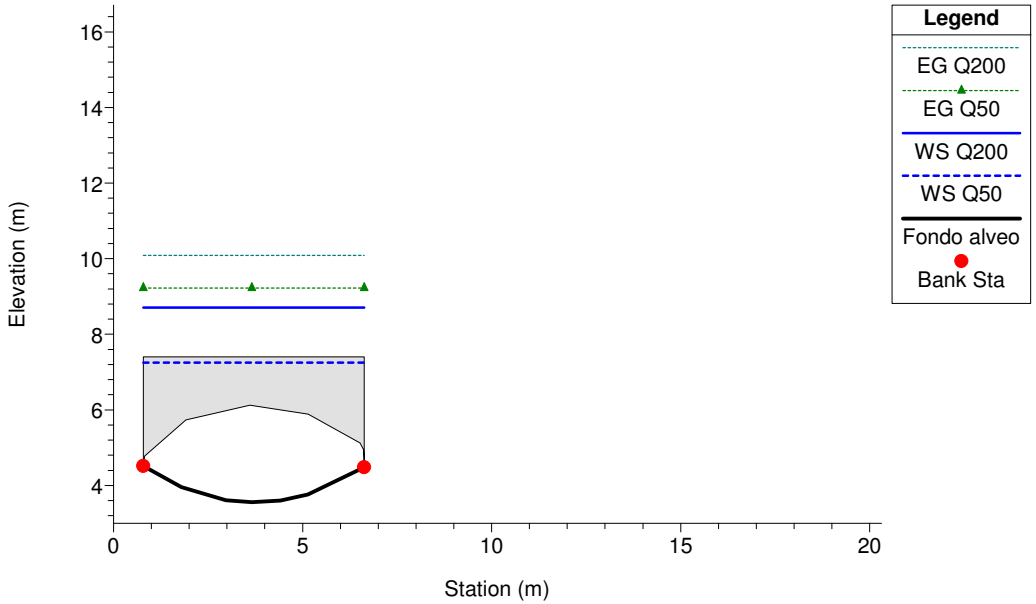


1 cm Horiz. = 2 m 1 cm Vert. = 2 m

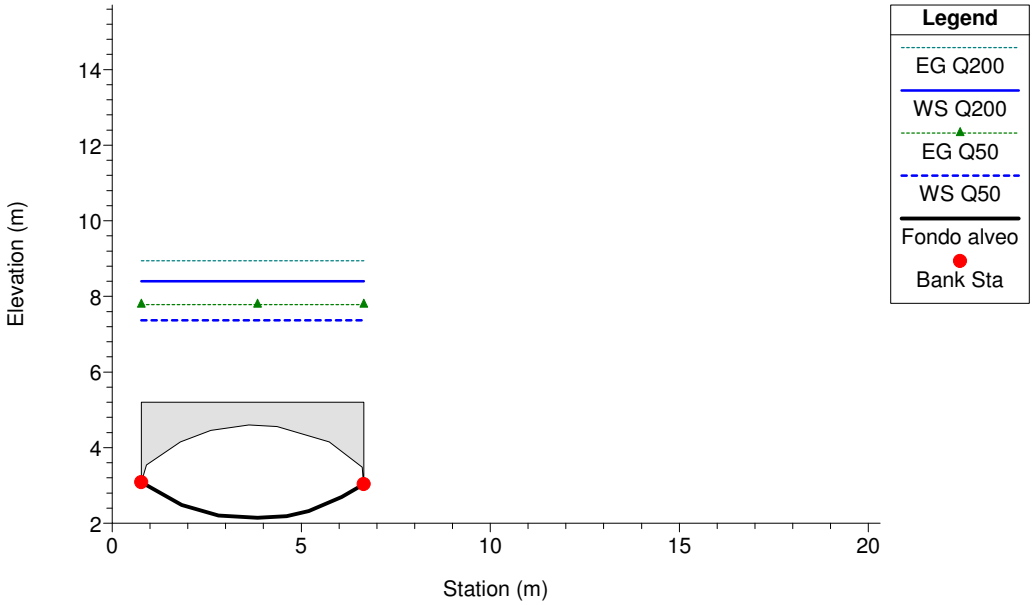
MOLINASSI Plan: stato-attuale-ok
RS = 84



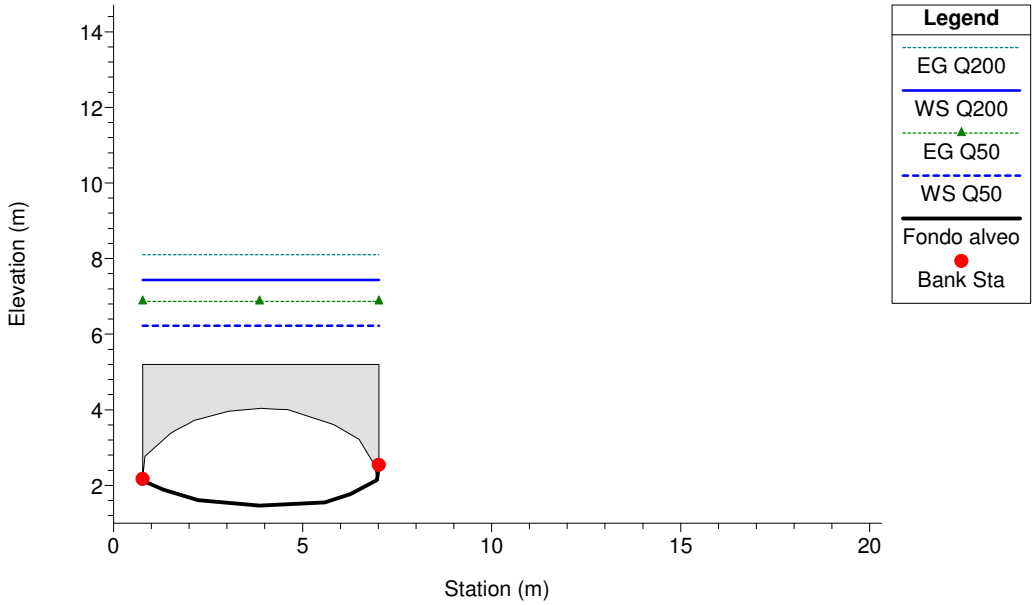
MOLINASSI Plan: stato-attuale-ok
RS = 80



MOLINASSI Plan: stato-attuale-ok
RS = 70

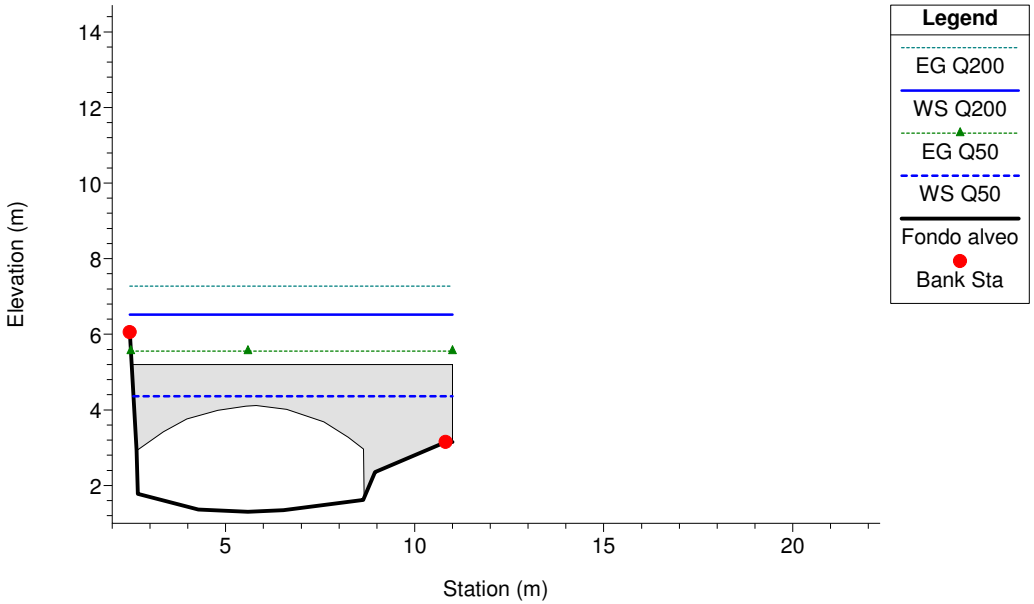


MOLINASSI Plan: stato-attuale-ok
RS = 60

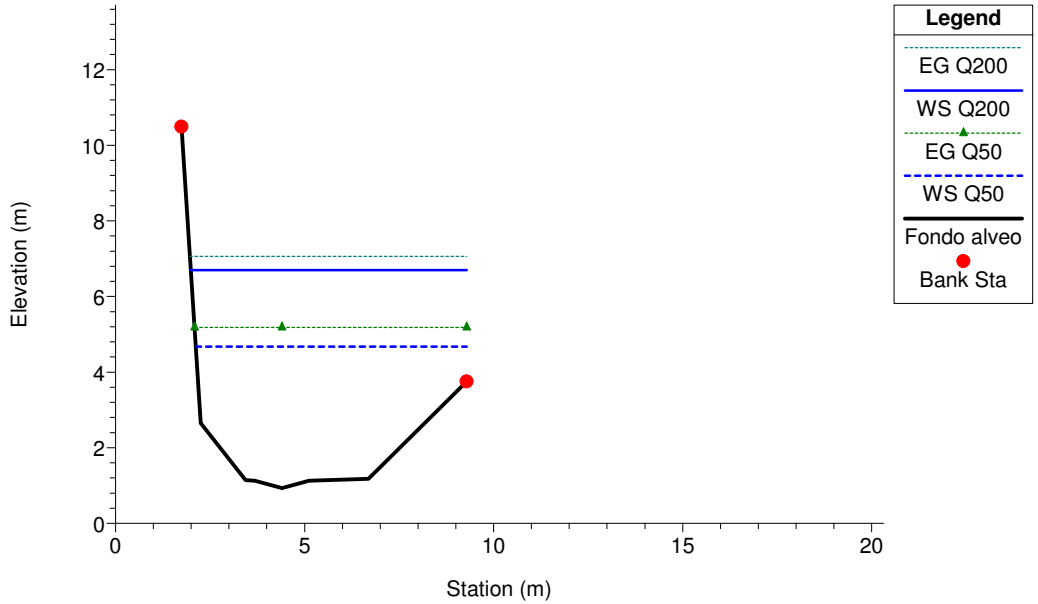


1 cm Horiz. = 2 m 1 cm Vert. = 2 m

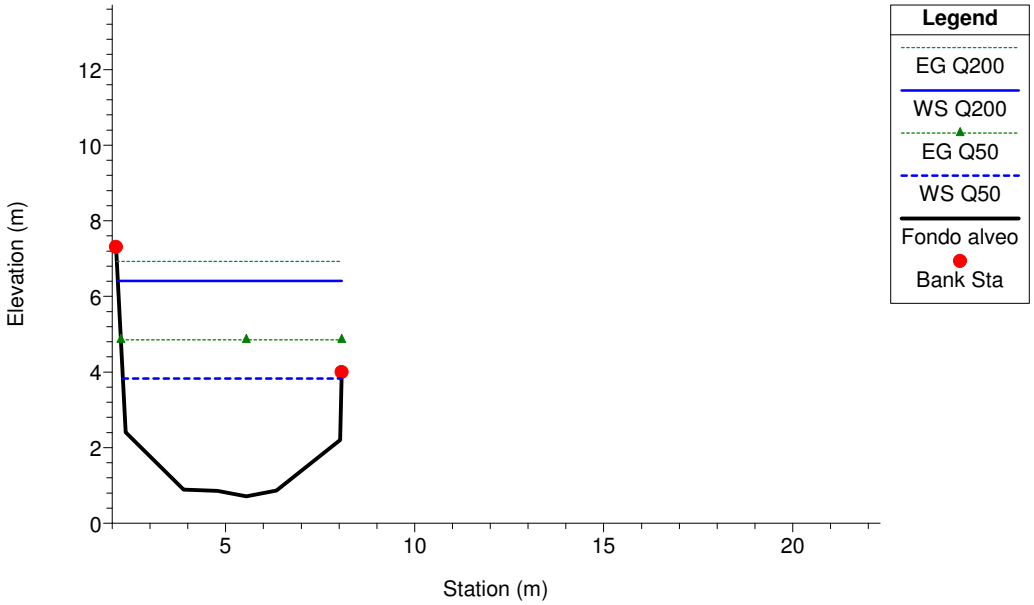
MOLINASSI Plan: stato-attuale-ok
RS = 50



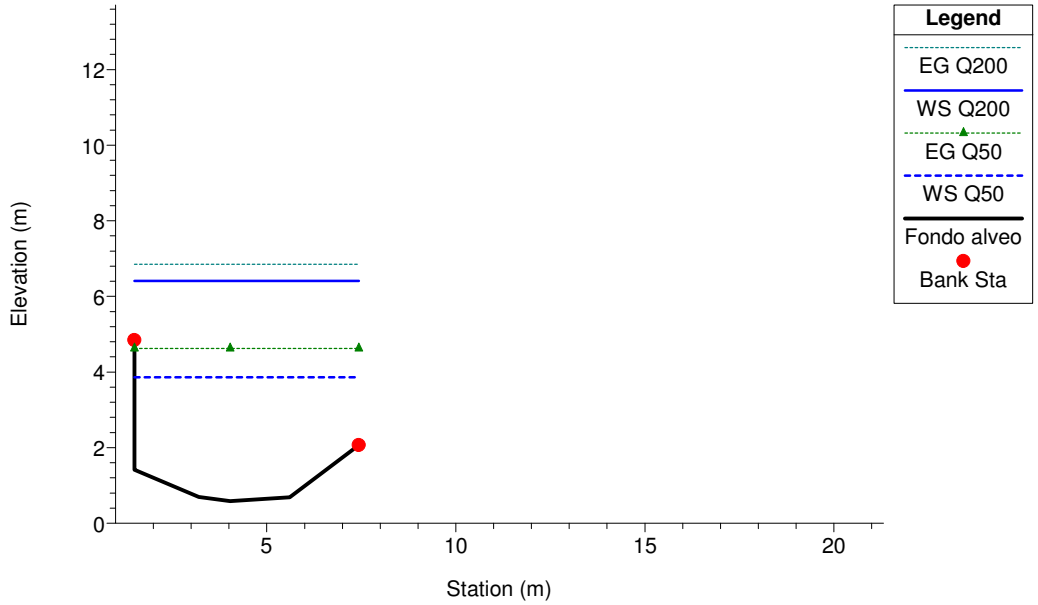
MOLINASSI Plan: stato-attuale-ok
RS = 40



MOLINASSI Plan: stato-attuale-ok
RS = 30



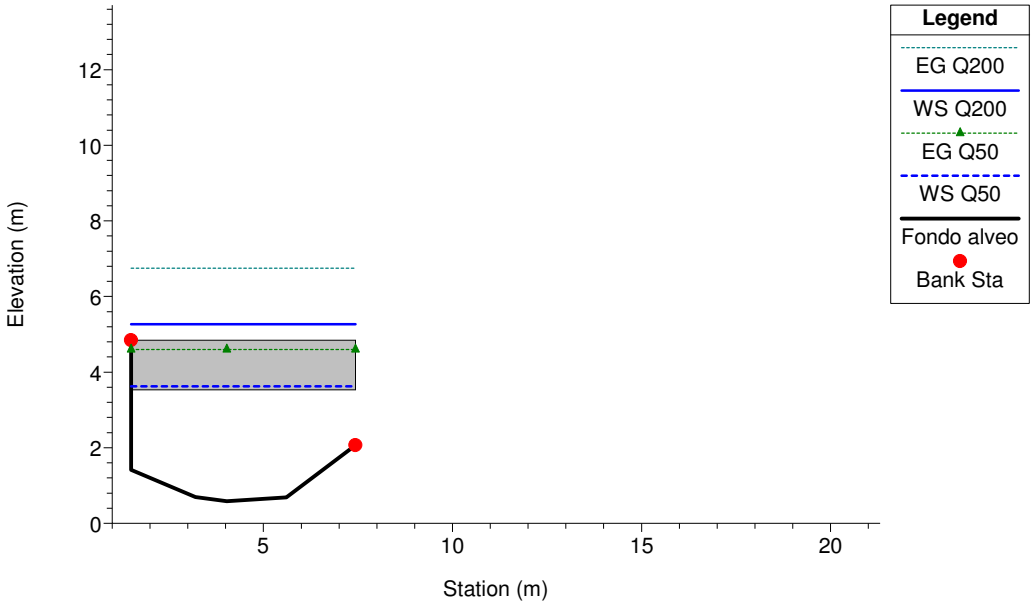
MOLINASSI Plan: stato-attuale-ok
RS = 20



1 cm Horiz. = 2 m 1 cm Vert. = 2 m

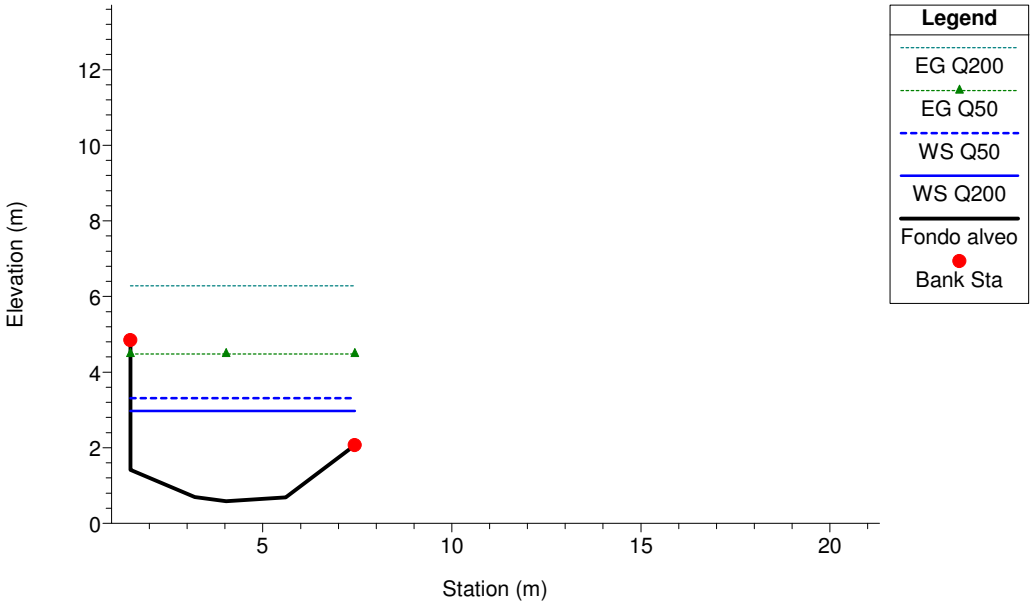
MOLINASSI Plan: stato-attuale-ok

RS = 19.5 BR



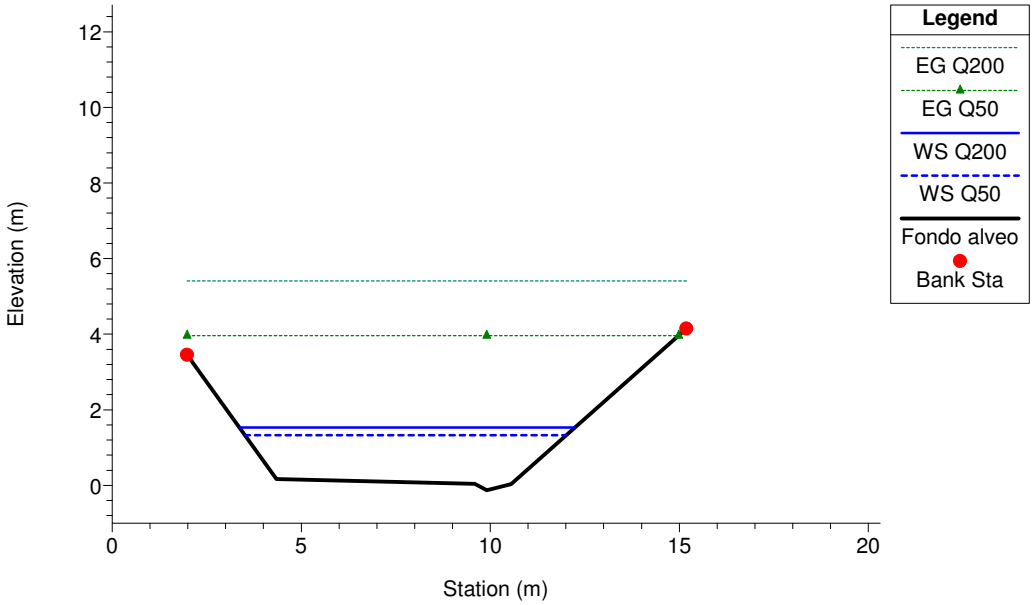
MOLINASSI Plan: stato-attuale-ok

RS = 19



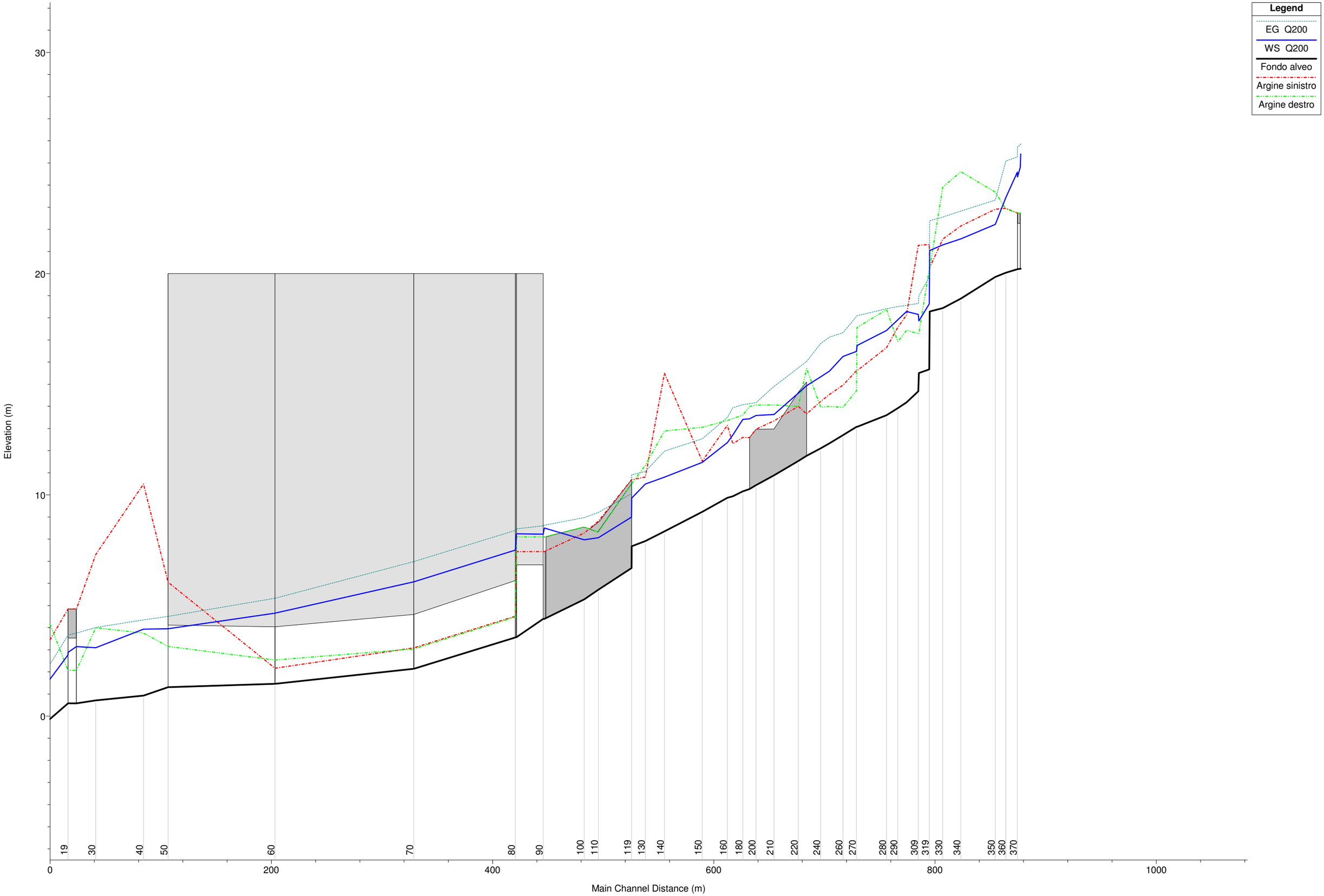
MOLINASSI Plan: stato-attuale-ok

RS = 10



1 cm Horiz. = 2 m 1 cm Vert. = 2 m

MOLINASSI Plan: stato-attuale-W-L-200-bis

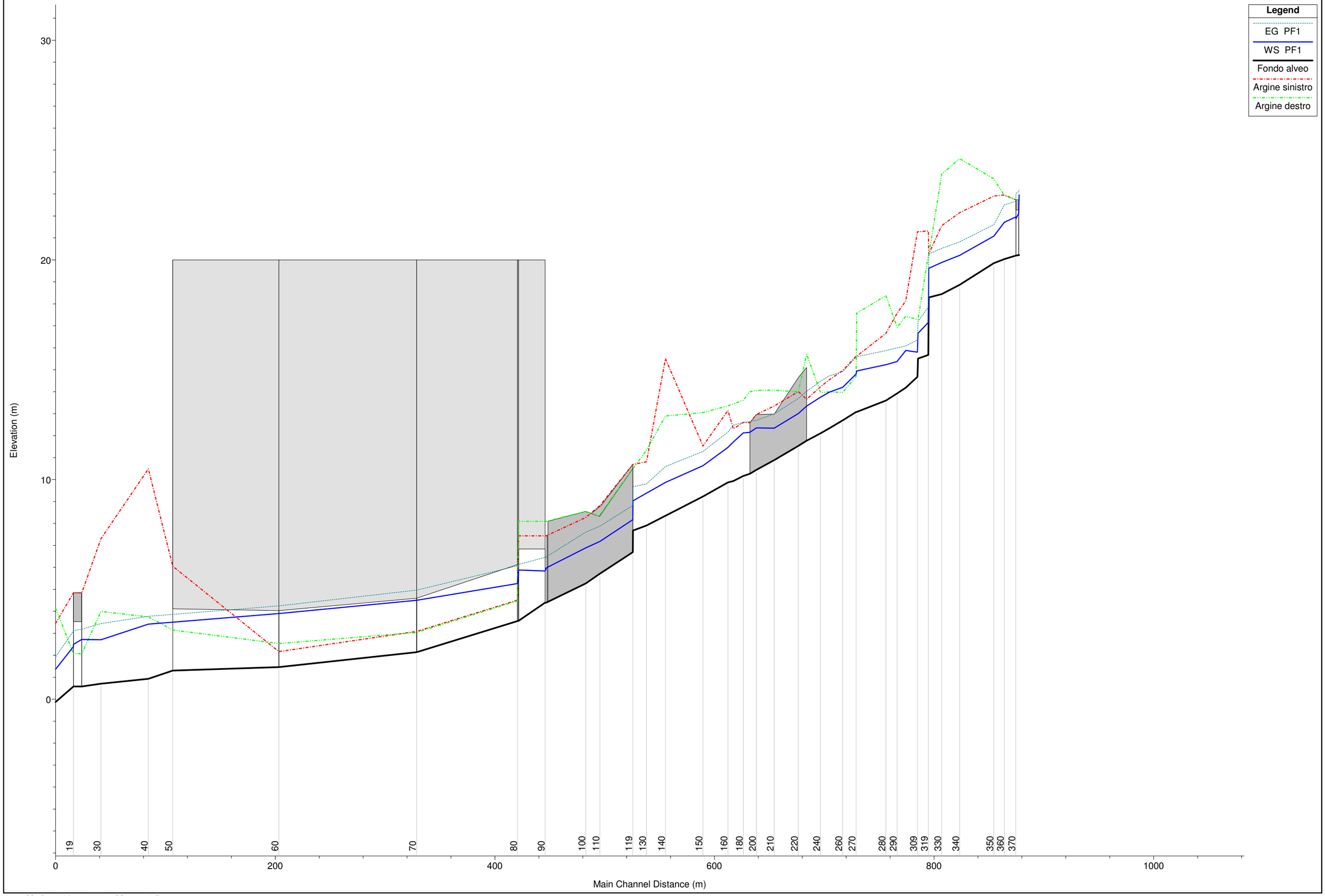


1 cm Horiz. = 30 m 1 cm Vert. = 1.5 m

HEC-RAS Plan: 200-wl-bis River: MOLINASSI Reach: MOLINASSI Profile: Q200

Reach	River Sta	Profile	Q US	Q Leaving Total	Q DS	Q Weir	Q Gates	Wr Top Wdth	Weir Max Depth	Weir Avg Depth	Min El Weir Flow	E.G. US.	W.S. US.	E.G. DS	W.S. DS
			(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
MOLINASSI	229.9991	Q200	95.00	28.96	66.04	28.96		45.21	0.85	0.50	12.59	16.03	14.93	14.12	13.44
MOLINASSI	110.9992	Q200	66.04	2.20	44.34	2.20		13.92	0.38	0.19	8.10	10.06	9.00	8.64	8.48
MOLINASSI	110.9991	Q200	66.04	19.51	44.34	19.51		26.93	1.06	0.53	7.44	10.06	9.00	8.64	8.50

MOLINASSI Plan: stato-attuale-W-L-50-bis



1 cm Horiz. = 30 m 1 cm Vert. = 1.5 m

HEC-RAS Plan: 50-wl-bis River: MOLINASSI Reach: MOLINASSI Profile: PF 7

Reach	River Sta	Profile	Q US	Q Leaving Total	Q DS	Q Weir	Q Gates	Wr Top Wdth	Weir Max Depth	Weir Avg Depth	Min El Weir Flow	E.G. US.	W.S. US.	E.G. DS	W.S. DS
			(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
MOLINASSI	229.9991	PF 7	65.72	8.22	57.50	8.22		28.79	0.56	0.29	12.59	15.29	14.21	13.79	13.15
MOLINASSI	110.9992	PF 7	57.50	0.48	43.56	0.48		8.38	0.20	0.10	8.10	9.78	8.81	8.46	8.30
MOLINASSI	110.9991	PF 7	57.50	13.34	43.56	13.34		24.81	0.87	0.43	7.44	9.78	8.81	8.45	8.31

APPENDICE 1

SOFTWARE DI CALCOLO HEC-RAS 5.0.4

Il software di calcolo *Hec-Ras 4.1* della US Army Corps of Engineers consente il calcolo dell'andamento dei profili di rigurgito in moto permanente gradualmente variato in alvei naturali o canali artificiali e la valutazione degli effetti sulla corrente dovuti all'interazione con ponti, tombinature, briglie, stramazzi, aree golenali ecc.,

La determinazione del profilo teorico è ottenuta tramite l'applicazione del cosiddetto *Standard step method* che si basa sulla semplice equazione mono-dimensionale del contenuto energetico della corrente:

$$H_1 - H_2 = h_f + h_e$$

dove $H_1[m]$ ed $H_2[m]$ sono i carichi totali della corrente nelle sezioni di monte e di valle del tronco d'alveo considerato, $h_f[m]$ sono le perdite di carico dovute all'attrito del fondo e delle sponde, mentre $h_e[m]$ è un termine che tiene conto degli effetti dovuti alla non cilindricità della corrente.

In particolare h_f dipende principalmente dalla scabrezza del tratto d'alveo considerato ed è esprimibile come:

$$h_f = j_f \cdot L$$

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

Il calcolo di j_f è effettuabile con diverse formulazioni, in funzione della pendenza motrice J in corrispondenza delle sezioni d'inizio e fine di ciascun tratto.

Il calcolo del termine J nella singola sezione è effettuato mediante la:

$$J = \left[\frac{Q}{K}\right]^2$$

dove $Q[m^3/s]$ è la portata di calcolo e K (denominato *conveyance*) è ricavabile attraverso la seguente espressione:

$$K = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}}$$

dove $A[m^2]$ l'area della sezione liquida, $R[m]$ il raggio idraulico e $n[m^{-1/3}\ s]$ è il parametro rappresentativo della scabrezza del fondo e delle sponde di Manning.

Il valore del coefficiente n è determinato secondo la procedura sviluppata da Cowan selezionando le caratteristiche più rilevanti ai fini della quantificazione dell'indice di resistenza.

Il termine h_e dipende invece dalla variazione del carico cinetico della corrente tra le sezioni 1 e 2 dovuta al cambio di geometria delle sezioni stesse ed è a sua volta esprimibile come:

$$h_e = \beta \cdot \left| \alpha_1 \cdot \frac{V_1^2}{2 \cdot g} - \alpha_2 \cdot \frac{V_2^2}{2 \cdot g} \right|$$

dove β è un coefficiente di contrazione o espansione dipendente dalle condizioni geometriche del tratto considerato, V_1 e V_2 $[m/s]$ sono i valori delle velocità medie agli estremi del tronco e α_1 e α_2 sono i coefficienti correttivi dell'energia cinetica.

Il modello consente di suddividere la sezione in più zone in cui assegnare un valore diverso del parametro *n* di scabrezza; in particolare è possibile individuare tre zone principali: quella centrale dell'alveo inciso (denominata *main channel*) e due zone laterali golenali (denominate *right and left overbanks*).

Il programma consente la simulazione del deflusso attraverso ponti e tombinature (*bridge* and *culvert*) mediante la loro schematizzazione geometrica (impalcato, pile, setti, ecc.).

La procedura di calcolo utilizzata consente di simulare il deflusso a pelo libero al di sotto dell'impalcato, il deflusso in pressione al di sotto dell'impalcato e la combinazione del deflusso in pressione e del deflusso con scavalcamento dell'impalcato stesso (funzionamento a stramazzo).

Per il deflusso a pelo libero il modello consente la scelta fra diversi metodi di calcolo quali il metodo del bilancio energetico (*Standard step method*), il metodo dei momenti (*Momentum Balance*), la formula di Yarnell per correnti lente.

Il funzionamento in pressione è simulato mediante la formulazione propria dell'efflusso da luce:

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

dove $Q[m^3/s]$ è la portata defluita attraverso la luce di area $A[m^2]$, $H[m]$ è il dislivello tra il carico totale di monte ed il pelo libero a valle e C è il cosiddetto coefficiente di efflusso.

Il programma prevede la messa in pressione della struttura quando, secondo la scelta dell'utente, il carico totale o la quota del pelo libero risultano superiori alla quota dell'intradosso dell'impalcato.

Il funzionamento a stramazzo è simulato attraverso la formulazione standard:

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

dove $Q[m^3/s]$ è la portata defluita sulla soglia di larghezza $L[m]$ e $H[m]$ è il dislivello tra il carico totale di monte e la quota della soglia e C è il coefficiente di efflusso, variabile in funzione del tipo di stramazzo e del carico sopra la soglia.

Nel caso di funzionamento combinato di moto in pressione con scavalcamento del ponte (stramazzo) l'entità delle portate stramazzanti e defluenti al di sotto dell'impalcato viene determinata attraverso una procedura iterativa combinando le equazioni che regolano i due fenomeni.

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

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

APPENDICE 2

SOFTWARE DI CALCOLO INFOWORKS ICM

A1. GENERALITA'

Il codice di calcolo InfoWorks ICM di HR Wallingford - Innovyze nasce per consentire la modellazione numerica integrata di alvei fluviali, reticoli di bonifica e fognature urbane.

Il modulo InfoWorks ICM costituisce un sistema di calcolo a moto vario monodimensionale e bidimensionale che utilizza la metodologia dei volumi finiti.

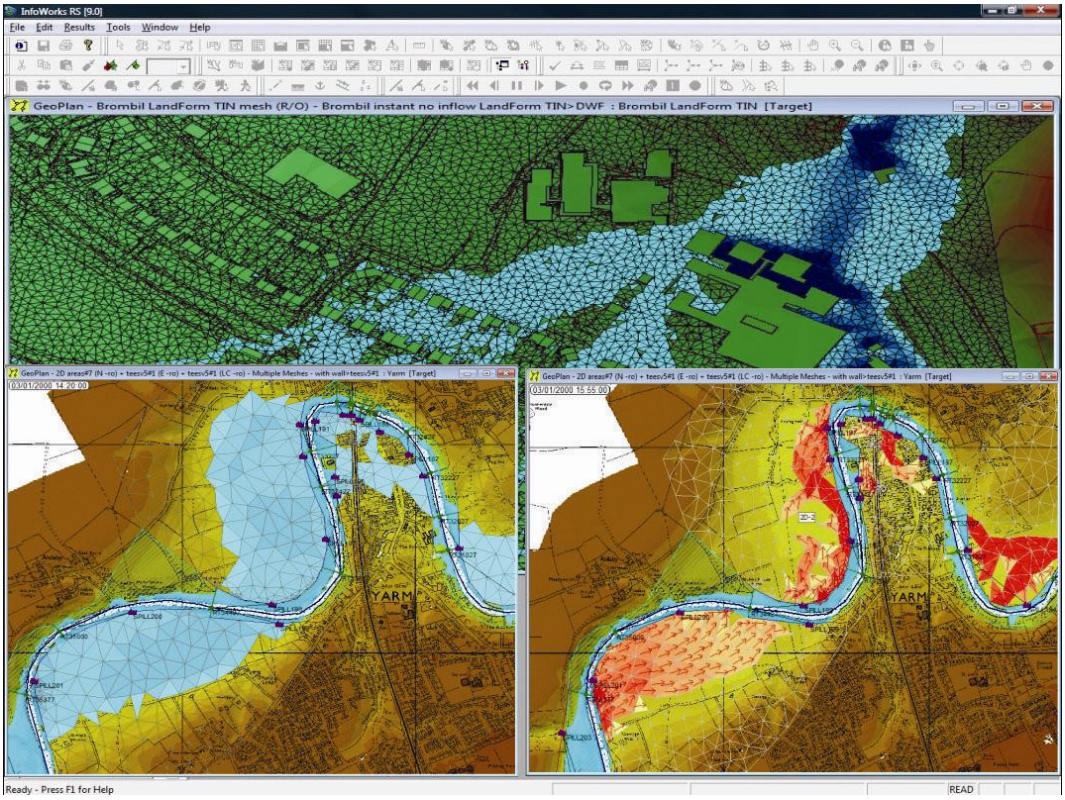
Il software consente di rappresentare in modo completo e accurato tutte le situazioni reali dei corsi d'acqua anche quando sono presenti complesse interferenze con reticoli fognari e/o di bonifica.

All'interno di un unica interfaccia utente si possono rappresentare sezioni fluviali aperte con approccio monodimensionale, domini bidimensionali, reti di drenaggio chiuse e tutti i manufatti speciali presenti in ambito fluviale o fognario (ponti, soglie, sollevamenti, scaricatori di piena ecc).

Le aste fluviali possono essere rappresentate, secondo le preferenze dell'utente, o con un dominio interamente 2D (comprendente sia l'alveo inciso che le golene) che con modellazione mista (generalmente 1D per l'alveo inciso e 2D per le zone di espansione golenali).

E' ovviamente anche possibile modellare le aste fluviali con tradizionali rappresentazioni 1D.

Per quanto riguarda invece la rappresentazione di reti di drenaggio urbano la tecnica oramai consolidata è quella di rappresentare il reticolo interrato con elementi 1D e l'eventuale esondazione con domini 2D.



A2. APPROCCIO NUMERICO PER LA COMPONENTE 1D

A2.1. *Equazioni di governo*

Il moto idraulico all'interno degli elementi monodimensionali che lavorano a pelo libero (sia le tratte fluviali aperte o tubazioni) vengono risolte con l'integrazione delle equazioni di De Saint Venant (conservazione della massa e della quantità di moto).

Le equazioni sono le seguenti:

Continuità (conservazione della massa):

$$\frac{\partial A}{\partial t}+\frac{\partial Q}{\partial x}=q$$

Moto (conservazione della quantità di moto):

$$\frac{\partial Q}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{Q^2}{A}\right)+gA\frac{\partial H}{\partial x}+gAS_f=0$$

dove:

\q	*eventuale portata in ingresso (lateral inflow)*
A[m2]	*area della sezione liquida*
Q[m3/s]	*portata*
x[m]	*ascissa lungo l'asse del singolo tratto*
t[s]	*tempo*
g[m/s2]	*costante gravitazionale*
H[m]	*carico piezometrico dato da z+h*
z[m]	*quota di scorrimento*
h[m]	*livello idrico*
Sf [m/m]	*pendenza motrice definita come:* $S_f=\frac{Q\cdot\lvert Q\rvert}{K^2}$

dove *K* è un termine denominato "conveyance" definito, in accordo con l'equazione di Manning:

$$K^2=\frac{A^2\cdot R^{\frac{4}{3}}}{n^2} \qquad \text{e} \qquad R=\frac{A}{P}$$

dove:

R[m]	*raggio idraulico*
P[m]	*perimetro bagnato*
n	*coefficiente di scabrezza di Manning*

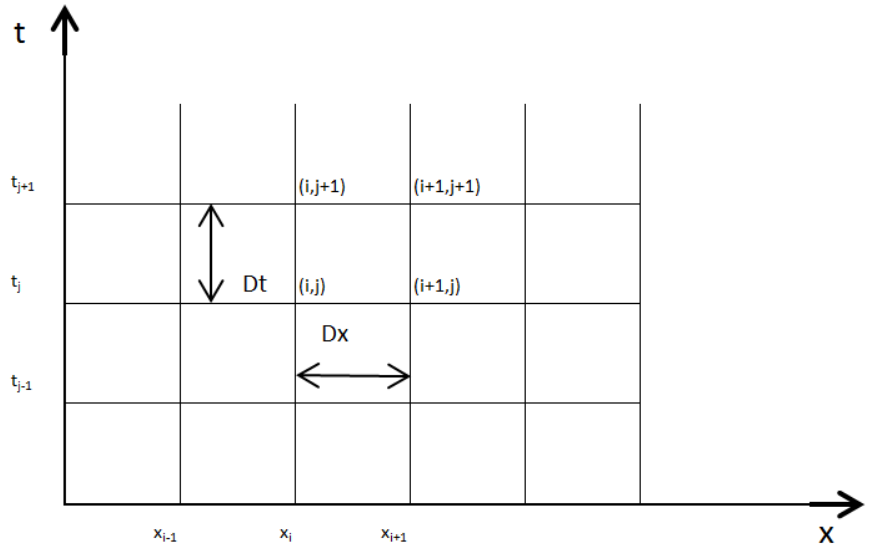
Per la definizione della conveyance il programma consente l'utilizzo di diverse formulazioni oltre a quella di Manning, quali ad esempio Colebrook-White e Strickler. Ai fini della loro integrazione queste equazioni vengono opportunamente semplificate e linearizzate in modo tale che il sistema di equazioni possa essere risolto con la teoria delle matrici. Lo schema di linearizzazione usato da InfoWorks è quello dei 4 punti di Priessmann e il risolutore adottato è quello di Newton-Raphson.

InfoWorks simula anche situazioni di condotte in pressione (senza problemi nella transizione da uno stato all'altro) mediante la tecnica dello *slot* per il quale si ipotizza la presenza di una piccola fessura alla sommità della condotta e fino al piano campagna. In tal modo il motore di calcolo non incontra nessuna discontinuità nella transizione da moto a gravità a quello in pressione (per tubi in cui invece permane costantemente il moto in pressione, come le condotte di mandata, è possibile utilizzare un sistema di equazioni più appropriato che elimina l'artifizio dello *slot*).

La metodologia di calcolo in moto vario tiene conto anche dei volumi in gioco e quindi delle attenuazioni dell'onda di piena quando questa riempie dei volumi disponibili in alveo o in vere e proprie vasche di espansione opportunamente rappresentate nel modello (effetto di laminazione).

A2.3 Discretizzazione delle equazioni di governo

Ai fini della discretizzazione delle equazioni di de Saint Venant, InfoWorks utilizza lo schema implicito di Preissmann riportato nella figura seguente:



Il valore della funzione f o delle sue derivate continue nel tempo e nello spazio può essere discretizzato come segue:

$$f(x,t) = \frac{1}{2}\cdot\left[\vartheta\cdot\left(f_{i+1}^{j+1} + f_i^{j+1}\right) + (1-\vartheta)\cdot\left(f_{i+1}^{j} + f_i^{j}\right)\right]$$

$$\frac{\partial f}{\partial x} = \frac{1}{Dx}\cdot\left[\vartheta\cdot\left(f_{i+1}^{j+1} - f_i^{j+1}\right) + (1-\vartheta)\cdot\left(f_{i+1}^{j} - f_i^{j}\right)\right]$$

$$\frac{\partial f}{\partial t} = \frac{1}{2\cdot Dt}\cdot\left[\left(f_{i+1}^{j+1} - f_{i+1}^{j}\right) + \left(f_i^{j+1} - f_i^{j}\right)\right]$$

Dove:

ϑ *è un coefficiente che varia da 0.5 a 1*

f_i^j *è il valore della funzione f valutata al punto (xi, tj)*

In base a tali assunti entrambe le equazioni di De Saint Venant possono essere trasformate nella forma lineare:

$$a \cdot Q_i^{j+1} + b \cdot H_i^{j+1} + c \cdot Q_{i+1}^{j+1} + d \cdot H_{i+1}^{j+1} = e$$

I valori *a, b, c, d* ed *e* sono calcolati per ciascuna iterazione e ciascun nodo del canale aperto e dipendono dalle variabili calcolate all'iterazione precedente. La matrice dei coefficienti che comprende gran parte dei valori di *a,b,c,d,* ed *e* viene invertita per risolvere il set di differenti equazioni simultanee per Q ed H alle iterazioni successive.

A2.2 Condizioni al contorno

Condizioni esterne

Le condizioni al contorno sono costituite da una relazione portata-tempo, livello-tempo o livello-portata (scala di deflusso). Al fine di una corretta risoluzione delle equazioni (stabilità di calcolo) risultano più significative le seguenti condizioni:

- idrogramma delle portate a monte e curva dei livelli a valle
- idrogramma delle portate a monte e scala di deflusso a valle

Condizioni interne

Nello schema monodimensionale di un corso d'acqua i singoli tratti sono separati da condizioni interne che possono essere sezioni di controllo, serbatoi, perdite concentrate o nodi (biforcazioni o confluenze).
Tali condizioni impongono la determinazione di una relazione tra livelli e portate.

Sezioni di controllo

Una gran varietà di strutture può essere usata come sezione di controllo in canali aperti, ciascuna delle quali impone una differente relazione tra portata e livello. Per il moto a pelo libero la forma generale dell'equazione risulta:

$$Q = a \cdot h^b$$

dove:

h *è la profondità dell'acqua*

a *è un coefficiente dipendente dal tipo di sezione di controllo (structure)*

b *è un coefficiente generalmente maggiore o uguale a 1.5 per gli stramazzi e maggiore o uguale a 0.5 per efflusso sotto luci a battente*

InfoWorks è in grado di modellare una serie di tipologie di stramazzo usando equazioni empiriche o semiempiriche ricavate dalla letteratura. Tali strutture possono essere simulate nelle condizioni di assenza di portata (es. paratoia chiusa), oppure con flusso libero o rigurgitato.
La paratoia mobile può essere simulata per diverse condizioni di flusso come quelle di stramazzo, quando è totalmente chiusa e sormontabile dall'acqua, o di luce di fondo con efflusso libero o rigurgitato quando è parzialmente aperta, o per la combinazione di entrambe le condizioni. Il programma consente di regolare automaticamente l'apertura di una paratoia durante la simulazione nei modi seguenti:

- secondo una funzione del tempo prestabilita;
- in funzione dei livelli del pelo libero a monte o a valle.

I tipi di paratoia mobile disponibili in InfoWorks sono quelle verticali o radiali.
Il modello consente inoltre di impostare per le sezioni di controllo una generica scala di deflusso al di fuori delle equazioni standard associate ad una determinata struttura.

Serbatoi

I serbatoi sono definiti come aree più o meno vaste di immagazzinamento ove la superficie dell'acqua risulta orizzontale, senza alcun effetto dinamico.
Il calcolo delle portate entranti e uscenti è legato alla variazione del carico piezometrico come segue (in forma semplificata):

$$\frac{h_{new} - h_{old}}{Dt} = \frac{Q_{net}}{A}$$

Con h_{new} e h_{old} livelli negli istanti successivo e precedente, Dt passo temporale, Q_{net} differenza tra portata entrante e portata uscente e A area del serbatoio.
Il modulo serbatoio unito alla modalità di deflusso laterale consentono la schematizzazione e la risoluzione di sistemi naturali complessi con funzionamento a pelo libero.

Perdite localizzate

Le perdite di carico concentrate causate da una repentina variazione delle condizioni geometriche quali ad esempio un brusco restringimento o allargamento delle sezioni di deflusso sono schematizzate mediante l'applicazione dell'equazione di Bernoulli che lega le perdite al carico cinetico di monte:

$$DH = k \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

dove k è un coefficiente empirico funzione del tipo di variazione.
I ponti sono simulati usando il metodo dell'US Bureau of Pubblic Road (US BPR Bridge) oppure l'Arch Bridge Method sviluppato da HR Wallingford.

Nodi (biforcazioni e confluenze)

In InfoWorks i nodi (junctions) vengono risolti imponendo l'uguaglianza dei carichi e la conservazione della massa (equilibrio tra portate entranti e uscenti) applicando la legge di Kirchoff alle portate.

A3. APPROCCIO NUMERICO DELLA COMPONENTE 2D

Le principali caratteristiche della componente 2D sono:

- formulazione del volume limitato (finite volume)
- risoluzione numerica basata sullo schema di Godunov e sulla soluzione di Riemann (Shockcapturing scheme)
- uso di una maglia non strutturata (unstructured mesh)

A3.1 *Equazioni di governo*

Il modello usato per la rappresentazione matematica del flusso 2D è basato sull'equazione delle acque basse (Shallow Water Equation), relativa cioè all'altezza media che si ricava dalle equazioni di Navier – Stokes:

$$\frac{\partial h}{\partial t}+\frac{\partial (hu)}{\partial x}+\frac{\partial (hv)}{\partial y}=q_{1D}$$

$$\frac{\partial (hu)}{\partial t}+\frac{\partial}{\partial x}\left(hu^2+\frac{1}{2}gh^2\right)+\frac{\partial (huv)}{\partial y}=S_{0,x}-S_{f,x}+q_{1D}\cdot u_{1D}$$

$$\frac{\partial (hv)}{\partial t}+\frac{\partial (huv)}{\partial x}+\frac{\partial}{\partial y}\left(hv^2+\frac{1}{2}gh^2\right)=S_{0,y}-S_{f,y}+q_{1D}\cdot v_{1D}$$

Dove:

h	*altezza dell'acqua*
u e v	*velocità nelle direzioni x e y*
S0,x e S0,y	*pendenze dell'alveo nelle direzioni x e y*
Sf,x e Sf,y	*gli attriti nelle direzioni x e y*
q1D	*portata per unità di area*
u1D e v1D	*componenti di velocità della portata q1D nelle direzioni x e y*

Tale formulazione dell'equazione è discretizzata utilizzando un sistema di primo ordine esplicito del volume finito.

La gestione della cella bagnata ed asciutta è eseguita utilizzando come criterio una profondità di soglia ed impostando la velocità a zero se la profondità ricade sotto tale valore di soglia.

Tale criterio evita la generazione di elevate velocità artificiali in aree bagnate e/o asciutte.

Il valore di default per la profondità di soglia è 1mm.

Questo algoritmo può essere utilizzato teoricamente sia con maglie strutturate (rettangolari) che non strutturate (triangolari) ed è adatto per rappresentare flussi rapidamente variabili, nonché correnti veloci e lente.

In InfoWorks si utilizzano le maglie non strutturate perché sono molto più flessibili e di facile utilizzo quando si vogliono rappresentare forme e ostacoli complessi presenti nel dominio.

La descrizione di un flusso localizzato in ambito urbano è ottenuta senza modificare il modello matematico che è sempre basato sulla risoluzione dell'equazioni in acqua bassa (SWE).

A3.2 *Produzione della maglia 2D*

All'interno del software sono presenti tutti gli strumenti necessari per costruire le magliature dei domini 2D da simulare.

Ogni maglia, di forma triangolare, costituisce l'unità del calcolo bidimensionale.

Una volta creato il dominio 2D di calcolo, è possibile assegnare i seguenti parametri relativi alla maglia:

- *Area (m^2):* l'area del poligono viene calcolata automaticamente sulla base della geometria definita in planimetria.
- *Massima Area Triangolo (Maximum Triangle Area)*: questo valore molto importante definisce la superficie massima che può assumere ogni singola maglia triangolare durante il processo automatico di magliatura (diminuendo questo valore si infittisce la magliatura).
- *Area minima elementi* (Minimum Element Area): durante la simulazione, per evitare un inutile appesantimento del calcolo, vengono aggregati in un'unica cella di calcolo gli elementi triangolari contigui di area molto piccola (fino a che la somma delle aree dei triangoli aggregati non raggiunge quella indicata in questo campo).
- *Magliatura dipendente dal terreno*: consente di creare una magliatura nella quale, all'interno di ogni triangolo, la variazione di quota tra i tre vertici non superi un valore definito dall'utente. Utilizzando questa opzione è possibile infittire la magliatura in zone nelle quali si hanno notevoli pendenze del terreno ed allargarla in zone pianeggianti.
- *Massima variazione altezza (m):* Consente all'utente di specificare la massima variazione di quota consentita tra i vertici dei triangoli che verranno generati nel processo di magliatura.
- *Angolo Minimo (Minimum Angle)*: durante il processo di magliatura evita la creazione di triangoli di forma molto irregolare e cunei troppo stretti.
- *Scabrezza Manning (Roughness):* la scabrezza è attribuita a tutti triangoli che vengono creati durante il processo di magliatura. Il programma consente di modificare localmente tale valore generando delle zone di magliatura a differente scabrezza.

Si possono prevedere diversi gradi di dettaglio per varie zone con opportuni raffinamenti del dominio, impostare diverse zone di scabrezza, fissare delle breakline, definire ostacoli poligonali e lineari (edifici, muri ecc).

L'effetto della presenza di edifici o ostacoli è simulata mediante l'introduzione di pareti impermeabili o porose che richiede una precisa calibrazione della rete in ambiente urbano.

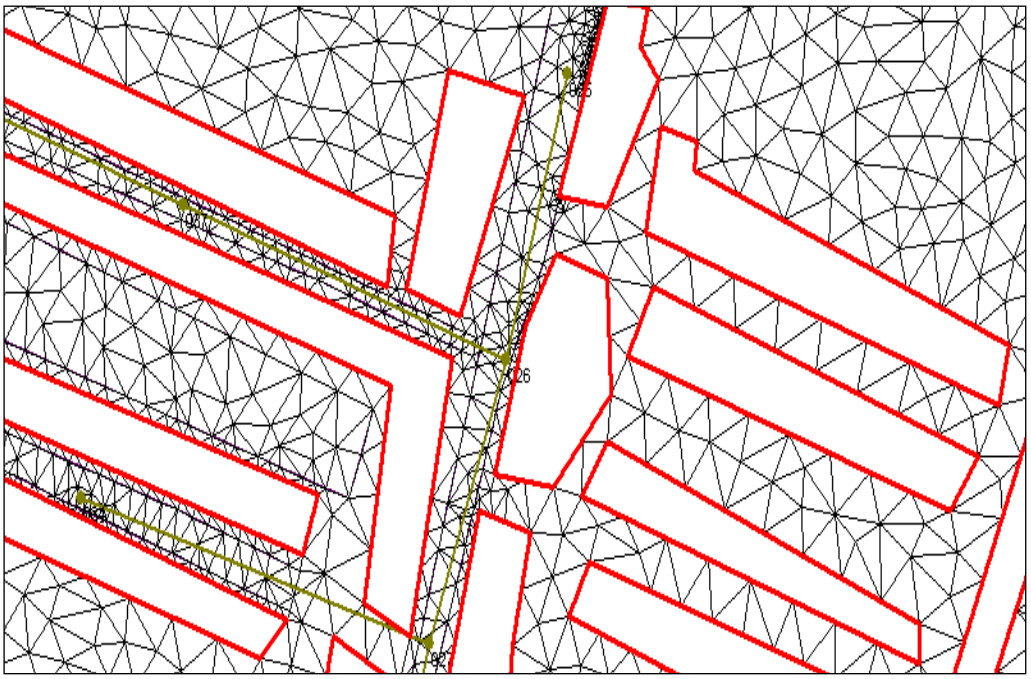


Fig. A2.1 Esempio di maglia non strutturata con edifici in ambito urbano

All'interno del dominio di magliatura, il software permette di considerare eventuali aree a maggiore o minore capacità di invaso dei blocchi introducendo il concetto di porosità degli edifici ossia il fatto che le aree occupate dagli edifici assorbano o meno parte dei volumi esondati durante il processo di allagamento.

A3.3 *Condizioni al contorno e parametri di simulazione*

Condizioni al contorno della maglia

Le condizioni al contorno sono costituite da input idraulico-idrologico (idrogramma, ietogramma) in ingresso al sistema e da condizioni sul perimetro del dominio di calcolo.

In particolare le condizioni al contorno sul perimetro del dominio di calcolo sono le seguenti:

- *Vertical wall:* indica una barriera verticale impermeabile infinitamente alta dove non è presente flusso d'acqua né in ingresso né in uscita dal dominio 2D.
  Questa è l'unica opzione che trattiene l'acqua all'interno del poligono 2D qualora in simulazione si determini presenza d'acqua al suo perimetro.
- *Critical condition:* presenta due possibilità: se il livello dell'acqua nell'elemento di confine del poligono 2D è superiore al livello del segmento che si affaccia sul confine, la portata in uscita dal poligono viene calcolata utilizzando l'equazione di una soglia a parete spessa senza perdite di energia; se il livello dell'acqua nell'elemento di confine è inferiore al livello di facciata del segmento di confine, questo è considerato un muro verticale impermeabile;
- *Supercritical condition:* presenta due possibilità: se la portata nell'elemento di confine è supercritica (Froude > 1) e diretta verso l'esterno del poligono, la portata uscente dal poligono viene considerata supercritica (veloce) e calcolata utilizzando altezza idrica e velocità dell'elemento di confine, indipendentemente dalla quota segmento di confine; se le condizioni del flusso non sono supercritiche o il flusso è diretto verso l'interno del poligono, il confine viene considerato un muro verticale impermeabile. Questa opzione è utile nelle

aree in cui è noto che il flusso è uscente dal poligono 2D senza alcun effetto di rigurgito all'interno del poligono stesso;

- *Dry:* prevede che il confine del poligono sia considerato come circondato da una fossa senza fondo, l'acqua che raggiunge la sponda del poligono esce dal poligono e viene persa dalla simulazione senza alcuna considerazione idraulica;
- *Normal condition:* si assume che la pendenza del terreno bilanci le forze d'attrito (flusso normale o uniforme). L'altezza e la velocità vengono mantenute costanti quando l'acqua raggiunge il confine, in modo che l'acqua possa fluire al di fuori del poligono senza perdite di carico.

Parametri di simulazione della maglia

Il software consente la modifica dei seguenti parametri della simulazione 2D:

- *Timestep:*definisce il passo temporale di integrazione utilizzato durante il calcolo.
- *Moltiplicatore del timestep ordinario:* è un moltiplicatore del timestep che consente di definire il timestep di salvataggio dei risultati. E' consigliato non utilizzare timestep di salvataggio molto ridotti al fine di ridurre le dimensioni del file dei risultati.
- *Durata simulazione:* consente all'utente di decidere quanto far durare la simulazione.
- *Depth:* rappresenta la soglia che discrimina una maglia triangolare asciutta da una bagnata. Gli elementi della magliatura con un'altezza d'acqua inferiore a questo valore vengono considerati asciutti e un'altezza pari a zero viene restituita come risultato. Negli elementi con altezza d'acqua inferiore a questa soglia viene considerata solamente la conservazione della massa. Il valore tipico per questo campo è di 0.001 m.
- *Momentum*: rappresenta la soglia utilizzata per determinare se considerare o meno il momento in una maglia triangolare. Il moto dell'acqua non viene calcolato per gli elementi della magliatura in cui l'altezza dell'acqua è al di sotto di questo valore; solo la conservazione della massa viene considerata in questo caso. Valori tipici per questo campo sono 0.001 - 0.01 m, il valore di default è 0.001 m.
- *Velocity:* per le maglie triangolari in cui la velocità calcolata dell'acqua risulta inferiore a questo valore, viene impostata una velocità pari a zero per il calcolo del momento. Il valore tipico per questo campo è 0 m/s.
- *Timestep Stability Control*: garantisce che il timestep interno utilizzato dal motore di calcolo 2D ricada entro il range di stabilità fornito dalla condizione di Courant Friedrichs Lewy (CFL). Sono validi valori compresi tra 0 e 1; valore tipico 0.95.
- *Maximum Velocity*: soglia di velocità che limita le velocità che possono essere raggiunte in una maglia durante una simulazione 2D. Per gli elementi della magliatura in cui la velocità calcolata risulta superiore a questo valore, verrà impostata una velocità pari alla massima qui specificata. Questo aiuta a ridurre eventuali instabilità dovute alle alte velocità corrispondenti ad altezze d'acqua ridotte, il che rappresenta una situazione non realistica. Un valore tipico per questo campo è 10 m/s.
- *Theta:* rappresenta un fattore di peso per il parametro semi-implicito. Attribuisce un peso alle parti esplicite e semi-implicite dello schema numerico. Al crescere di questo valore, aumenta il peso dato alla parte semi-implicita. Sono validi valori compresi tra 0 e 1; valore tipico 0.9
- *Ignore rain falling on dry elements*: ignora la pioggia che cade sugli elementi asciutti della magliatura; si utilizza per rendere più rapida la simulazione quando vengono utilizzati poligoni di pioggia (2D rainfall polygons).
- *Adjust element ground levels adjacent to spills*: modifica automaticamente la quota delle maglie triangolari adiacenti agli spill, dove necessario; si utilizza per evitare le instabilità

che si verificano quando la quota degli spill risulta inferiore alla quota delle maglie su cui gli spill insistono.

A4. INTERAZIONE DELLA COMPONENTE 1D-2D

Il modello di simulazione consente un immediato collegamento di diverse componenti di modello mono e bidimensionale. Si possono utilizzare per esempio:

- *linee spondali:* rappresentano un confine ideale tra l'alveo inciso modellato con elementi 1D e la golena rappresentata da un dominio 2D, le linee spondali vengono rappresentante con delle polilinee per le quali viene definita una quota Z variabile sul suo percorso. Le linee spondali sono utilizzate essenzialmente come sfiori laterali tra alveo inciso e zona di golena 2D.
- *sfiori frontali:* si utilizzano quando si desidera interrompere un modello 1D di un fiume e trasferire tutto l'idrogramma di portata sul dominio 2D (o viceversa).
- *nodi:* sono degli elementi puntiformi dove può avvenire lo scambio di portata tra 1D e 2D, per esempio questa tecnica è appropriata quando di rappresentano le esondazioni provenienti dai pozzetti di fognatura su un dominio bidimensionale.

A5. INTERFACCIA DEL SOFTWARE

InfoWorks ICM ha un'interfaccia di ultima generazione in grado di interagire con diversi programmi e fonti disponibili sul mercato.

In tal modo si riescono a importare ed integrare dati provenienti da vari formati per costituire un modello geometrico del sistema da studiare.

In particolare, il software supporta:

- Dati in formato AutoCAD (2D e 3D)
- Dati in formato TIN di ArcView
- Dati in formato shape (SHP) o Geodatabase
- Rilievi topografici con coordinate x,y e z
- Dati in formato tabulare (XLS, ASC, TXT e atri)
- Dati in formato Database (Access, Oracle e altri)
- Dati in formato HEC-RAS

InfoWorks ICM sfrutta un'architettura basata su un Database centralizzato dove vengono salvati tutti i progetti. Il sistema gestisce accessi multipli, anche contestuali.

APPENDICE 3

CALCOLO DELL'IDROGRAMMA DI PIENA SECONDO I CRITERI DELLA DGR 357/2008

Di seguito si riporta una descrizione delle procedure per la determinazione dell'idrogramma corrispondente all'evento tipico secondo le procedure previste dalla linee guida DGR 357/2008 *Criteri di verifica e valutazione delle portate al colmo e degli idrogrammi di piena nei bacini idrografici liguri*.

La metodologia di calcolo fa riferimento al *metodo indiretto dell'evento idrometeorologico critico* finalizzata alla valutazione dell'idrogramma di riferimento condizionato dal valore della portata al colmo di progetto, assunta, come da normativa, pari al valore della portata indice.

Il metodo di valutazione dell'idrogramma di riferimento consiste in sintesi nel ricercare l'idrogramma di piena equivalente che fornisca la portata massima al colmo pari alla portata indice.

Tale problema è risolvibile a partire dalle curve di probabilità pluviometrica dell'area in esame nella forma $h(T)=a(T)\cdot t^n$ nell'ipotesi di invarianza di scala, per cui si assume che l'esponente caratteristico n rappresenti l'impronta climatica degli eventi pluviali estremi dell'area in esame.

L'ipotesi implica che la portata *T-ennale* di progetto $Q(T)$ sia prodotta da una precipitazione $h=a(*)\cdot t^n$ dove n è l'esponente caratteristico del bacino in esame, $a(*)$ rappresenta il valore di a che con il metodo dell'evento critico produce una portata pari a $Q(T)$ e che, in genere, è differente dal valore di $a(T)$ proprio della linea segnalatrice *T-ennale*.

Nella formulazione del metodo a è esprimibile come $a(T)= w_T \cdot a_i$, dove w_T è il fattore di crescita funzione del tempo di ritorno (T) e a_i è un valore costante caratteristico della stazione pluviometrica considerata corrispondente al valore indice di precipitazione (*pioggia indice*).

Nell'Appendice II della DGR sopra menzionata sono riportati il valore della pioggia indice a_i ed i parametri caratteristici di una serie di stazioni della Regione Liguria per il versante Padano e quello tirrenico, necessari per la determinazione del fattore di crescita w_T.

Assunto un modello afflussi-deflussi di riferimento, il problema si riduce alla ricerca di tutte le possibili coppie di valori a e t che producono una portata al colmo $Q(T)$ e, tra queste, la coppia $\{a(*), t_{CR}\}$ che ha il minimo valore di a.

Il modello di trasformazione afflussi-deflussi adottato è costituito da una prima parte di trasformazione della pioggia di progetto in volume specifico di ruscellamento, basato sull'interpretazione Hortoniana (non lineare) del processo di assorbimento e da una seconda parte caratterizzata da un modello lineare di formazione della piena attraverso la rete idrografica basato sul modello di Nash.

Il calcolo della precipitazione efficace al fine dello scorrimento superficiale è stato effettuato depurando gli ietogrammi precedentemente individuati dalle perdite per infiltrazione e per immagazzinamento nelle depressioni superficiali.

Si è adottato il metodo di depurazione della pioggia noto come *Curve Number* proposto dal Soil Conservation Service basato sul modello Hortoniano di descrizione del fenomeno dell'assorbimento.

Come noto tale procedura consente di calcolare il volume di pioggia defluito nella sezione di chiusura sulla base dell'espressione:

$$h_n = \frac{(h_r - I_a)^2}{h_r - I_a + S}$$

dove h_n *[mm]* è il volume specifico complessivamente defluito durante l'evento, h_r*[mm]* è il volume specifico affluito, *S [mm]* è il potenziale specifico massimo di assorbimento del terreno, cioè il volume immagazzinabile a saturazione nello stesso, mentre I_a *[mm]* rappresenta la quota parte del volume affluito che si infiltra prima che il deflusso abbia inizio.

La determinazione di *S* viene effettuata sulla base della relazione:

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

Dove CN è un parametro adimensionale variabile da 1 a 100 che esprime la capacità di ritenzione del bacino in funzione del tipo di terreno e dell'uso del suolo.

La sua determinazione è ottenuta in base al grado di umidità del terreno prima dell'evento meteorico esaminato, alla tipologia pedologica e all'uso del suolo.

Il suo valore è compreso tra 0 e 100 ed è diffusamente tabulato specialmente nella letteratura scientifica americana come frutto dell'analisi di molti esempi applicativi.

Nell'applicazione del metodo sono previste tre classi del grado di umidità del terreno in funzione dell'altezza di pioggia caduta nei 5 giorni precedenti l'evento esaminato**:** molto asciutto (I), standard (II) e molto umido (III).

La classificazione dei tipi di suolo è funzione delle caratteristiche di permeabilità secondo la suddivisione proposta dal Soil Conservation Service che prevede quattro classi caratterizzate rispettivamente da potenzialità di deflusso scarsa (A), moderatamente bassa(B), moderatamente alta (C) e molto alta (D).

La suddivisione in base al tipo di copertura o uso del suolo comprende invece terreni coltivati con e senza trattamento di conservazione, terreni da pascolo in buone o cattive condizioni, praterie, terreni boscosi o forestati con diverse tipologie di sottobosco, spazi aperti con prati rasati o parchi con diverse percentuali di copertura erbosa, aree commerciali, distretti industriali, aree residenziali, strade, parcheggi ecc.

Quale valore di I_a, si è adottata la relazione suggerita dal Soil Conservation Service I_a*=0.2·S*.

L'idrogramma unitario è stato calcolato con il modello di Nash che simula il comportamento del bacino con una cascata di *n* serbatoi posti in serie; l'IUH del modello assume la forma:

$$I(t) = \frac{1}{K \cdot (n-1)!} \cdot \left(\frac{t}{K} \right)^{n-1} \cdot e^{-\frac{t}{k}}$$

dove *k* è la costante caratteristica dei serbatoi e *n* il numero degli stessi. Nel caso in esame si è assunto: n = 3 e $K=0.5 \cdot t_c/(n-1)$, con tc tempo di corrivazione del bacino.

Una volta disponibili gli ietogrammi di progetto e l'idrogramma unitario, sono stati calcolati gli idrogrammi di piena per ciascuna sezione considerata attraverso l'integrale di convoluzione:

$$Q(t) = S \cdot \int_0^t I(t-u) \cdot p(u) \cdot du$$

il quale, noti lo ietogramma di riferimento e l'idrogramma unitario istantaneo del bacino in esame, permette di legare la portata uscente *Q(t)* all'intensità della pioggia netta *p(t)*.