

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



# INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01e s.m.i.



Progetto cofinanziato dalla Unione Europea

CUP: J94F04000020001

## U.O. CORPO STRADALE E GEOTECNICA

### PROGETTO DEFINITIVO

#### ASSE FERROVIARIO MONACO - VERONA

#### ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA

#### LOTTO 1: FORTEZZA - PONTE GARDENA

Studio idraulico Fiume Isarco

Relazione idrologico idraulica

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA Progr. REV.

IBL1 10 D 11 RI ID1002 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato	Data
A	Emissione Esecutiva	M.Coccatto	Marzo 2013	A.Tortora	Marzo 2013	C.Mazzocchi	Marzo 2013	F.Sacchi	Marzo 2013

File: IBL110D11RIID1002001A.doc

n. Elab.:




QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA  
ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO  
QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA  
LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA

Studio idraulico Fiume Isarco - Relazione idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBL1	10	D 11 RI	ID 10 02 001	A	2 di 37

## INDICE

1	PREMESSA .....	3
2	INQUADRAMENTO GENERALE .....	6
3	ANALISI IDROLOGICA .....	8
4	STUDIO IDRAULICO .....	11
4.1	MODELLAZIONE IDRAULICA MONODIMENSIONALE .....	11
4.1.1	<i>Verifica idraulica con modello matematico in schema di moto permanente .....</i>	<i>12</i>
4.1.2	<i>Taratura dei modelli.....</i>	<i>12</i>
4.1.3	<i>Geometria del modello .....</i>	<i>13</i>
4.1.4	<i>Condizioni al contorno e coefficiente di scabrezza.....</i>	<i>14</i>
4.1.5	<i>Risultati stato di fatto .....</i>	<i>14</i>
4.1.6	<i>Calcolo del trasporto solido.....</i>	<i>17</i>
4.1.7	<i>Risultati stato di progetto.....</i>	<i>19</i>
	APPENDICE A - IL MODELLO MATEMATICO HEC-RAS .....	27
	APPENDICE B – RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE RELATIVE ALLO STATO DI FATTO .....	35
	APPENDICE C - RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE RELATIVE ALLO STATO DI PROGETTO .....	36

	<b>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO</b> <b>QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA</b> <b>LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA</b>					
	Studio idraulico Fiume Isarco - Relazione idraulica	COMMESSA IBL1	LOTTO 10	CODIFICA D 11 RI	DOCUMENTO ID 10 02 001	REV. A

## 1 PREMESSA

L'asse ferroviario Berlino-Verona / Milano-Bologna-Napoli-Messina-Palermo rappresenta, come da decisione n. 884/2004/CE del Parlamento Europeo e del Consiglio del 29 aprile 2004, il Progetto Prioritario TEN n° 1.

Il potenziamento di questo asse della rete ferroviaria transeuropea dovrà avvenire per fasi funzionali, da attivare in tempi diversi, secondo un programma di priorità degli interventi che dovrà essere definito in fase di progettazione definitiva, finalizzato ad un progressivo aumento della potenzialità dell'asse ferroviario Monaco – Verona in grado di corrispondere adeguatamente alla crescente domanda di traffico prevista. Tale strategia garantisce che gli alti investimenti necessari non rimangano inutilizzati per lunghi periodi.


La parte centrale, alpina, di questo Progetto Prioritario, è costituita dalla Linea di accesso Nord Monaco-Innsbruck, dalla Galleria di Base del Brennero e dalla Linea di accesso Sud Fortezza-Verona. Mentre nella Linea di accesso Nord e nella Galleria di Base del Brennero sono presenti tratti transfrontalieri, la Linea di accesso Sud è ubicata interamente in territorio italiano. Nell'ambito della Linea di accesso Sud le tratte Prioritarie, da potenziare con il quadruplicamento, nel territorio della Provincia Autonoma di Bolzano, sono le seguenti:

- a) Fortezza – Ponte Gardena;
- b) Prato Isarco – Bronzolo (Circonvallazione di Bolzano).

Italferr ha affidato a BETA Studio l'incarico di supporto nella redazione di elaborati tecnici relativi allo studio idrologico ed idraulico nell'ambito del "Progetto Definitivo - Lotto 1 Fortezza – Ponte Gardena". In particolare la presente relazione riporta lo studio idraulico del fiume Isarco a Ponte Gardena, con particolare riferimento all'interazione tra il corso d'acqua e le opere in progetto della linea ferroviaria.



**Figura 1 – Isarco a Ponte Gardena**

	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA					
	Studio idraulico Fiume Isarco - Relazione idraulica	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	IBL1	10	D 11 RI	ID 10 02 001	A	4 di 37

Per la determinazione delle portate di piena di progetto nelle sezioni interessate dagli interventi si è fatto riferimento alle serie storiche delle portate massime annuali o dei livelli idrometrici massimi nelle stazioni di misura idrologicamente più significative. I valori di portata stimati e i relativi livelli idrici transitanti nel tratto di corso d'acqua rilevato, sono stati confrontati con i dati (portata e modello di simulazione dell'intero fiume Isarco) forniti dalla Provincia Autonoma di Bolzano, che costituisce, per il territorio interessato dai lavori, l'Autorità competente in materia di pianificazione idraulica (vedi relazione idrologica IBL110D11RIID0001001 A).

Lo studio idraulico ha seguito le seguenti fasi:

- perimetrazione del bacino del fiume Isarco a monte di Ponte Gardena mediante interpretazione della cartografia a disposizione e studio delle sue caratteristiche fisiografiche;
- stima delle portate di piena con differente periodo di ritorno in corrispondenza della sezione di chiusura di Ponte Gardena;
- modellazione idraulica monodimensionale mediante implementazione di 26 sezioni del tratto di fiume Isarco adiacente all'area oggetto di intervento, compreso il calcolo del trasporto solido;
- verifica delle aree interessate dal transito delle portate stimate e individuazione delle misure di salvaguardia e protezione, sia nella fase di realizzazione sia nello stato di progetto delle opere.

Per le simulazioni idrauliche e per il calcolo degli effetti locali si è utilizzato il programma di calcolo fluviale HEC-RAS, River Analysis System, versione 4.0 del marzo 2008 prodotto da US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center (CA).

Come previsto dal Manuale di Progettazione RFI i manufatti idraulici vanno verificati utilizzando i seguenti tempi di ritorno  $Tr$ :

...omississ...

c) Manufatti di attraversamento (ponti e tombini):

- linea ferroviaria  $Tr = 300$  anni per  $S > 10 \text{ Km}^2$ .
- linea ferroviaria  $Tr = 200$  anni per  $S < 10 \text{ Km}^2$ .
- deviazioni stradali  $Tr = 200$  anni
- ...omississ...

d) Inalveamenti:

- tratti a monte e a valle della linea ferroviaria  $Tr = 300$  anni per  $S \geq 10 \text{ Km}^2$ .
- tratti a monte e a valle della linea ferroviaria  $Tr = 200$  anni per  $S < 10 \text{ Km}^2$ .





QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA  
ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO  
QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA  
LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA

Studio idraulico Fiume Isarco - Relazione idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBL1	10	D 11 RI	ID 10 02 001	A	5 di 37

Nel proporzionamento delle opere di attraversamento e presidio in corrispondenza dei corsi d'acqua principali realizzati con ponti si è verificata la sezione di attraversamento in relazione alle caratteristiche dimensionali del manufatto in modo da minimizzare le modificazioni all'attuale deflusso in golena indotte dalla esecuzione delle opere.

Nel proporzionamento delle opere di attraversamento e presidio in corrispondenza dei corsi d'acqua principali e secondari realizzati con ponti e tombini si è cercato di:

- garantire l'assenza di rigurgiti sia in corrispondenza delle portate di modellamento che in quelle di progetto;
- migliorare o al massimo mantenere inalterato il livello di rischio idraulico esistente;
- evitare l'innesco di fenomeni erosivi in prossimità dell'opera prevedendo nei raccordi a monte ed a valle, la realizzazione di opere di presidio elastiche (materassi adagiati su geotessuto);
- assicurare con il periodo di ritorno previsto dal disciplinare, la sicurezza dell'infrastruttura ferroviaria.

Nel dimensionamento delle opere si è imposto di non restringere le sezioni del corso d'acqua esistente verificando inoltre che i massimi livelli per l'evento di progetto comportino, per i ponti:

- *un franco minimo tra l'intradosso dell'opera e la quota del carico idraulico totale corrispondente al livello idrico di massima piena pari a 0.50 m e comunque non inferiore ad 1 m sul livello idrico;*

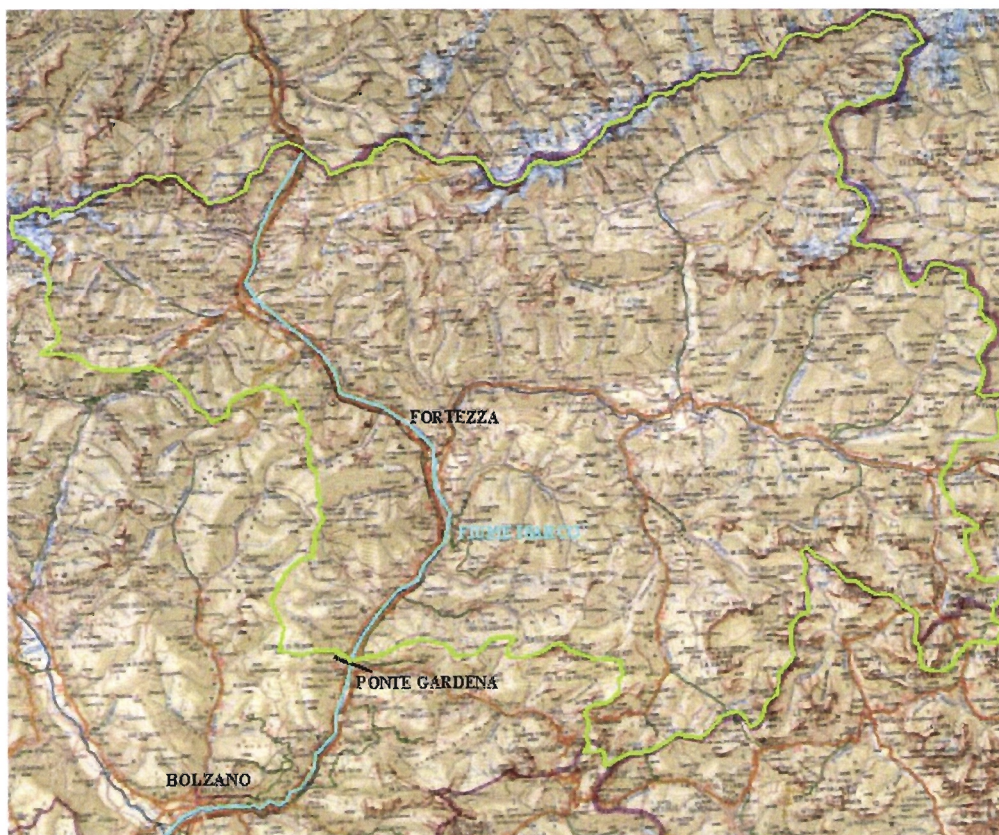
e per i tombini invece non determinino:

*gradi di riempimento superiori al 70% dell'altezza dell'opera durante il normale funzionamento.*

## 2 INQUADRAMENTO GENERALE

L'area di studio si trova all'interno del bacino idrografico del Fiume Isarco, per il quale l'autorità competente in materia di pianificazione idraulica è la Provincia Autonoma di Bolzano.

Il fiume Isarco (*Eisack*) è il principale affluente di sinistra dell'Adige nel territorio della Provincia di Bolzano, sia per lunghezza (95.5 km) che per le dimensioni del bacino (4202 km<sup>2</sup>), ed occupa l'intera parte orientale della provincia.



**Figura 2** – Bacino del fiume Isarco chiuso a Ponte Gardena, perimetrato in verde

Il corso del fiume si sviluppa tra il Passo del Brennero e Bolzano, in un'angusta vallata caratterizzata dalla presenza dell'Autostrada A22, della statale SS.12 e della linea ferroviaria esistente.

Affluenti principali sono la Rienza (*Rienz*) che confluisce da sinistra poco a sud di Bressanone, il Rio Gardena e il torrente Talvera (*Talfer*), che si getta da destra nell'Isarco nei pressi di Bolzano.

Il punto più alto del vasto bacino dell'Isarco è rappresentato dal Gran Pilastro (*Hochfeiler* 3510 m s.m.m.) che domina la Val di Vizze a nord-est di Vipiteno.



QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA  
ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO  
QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA  
LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA

Studio idraulico Fiume Isarco - Relazione idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBL1	10	D 11 RI	ID 10 02 001	A	7 di 37

Il primo tratto di interazione con la nuova linea ferroviaria è costituito dall'interconnessione di Fortezza (quota 745 m s.m.m.), in corrispondenza del quale il bacino sotteso è di circa 660 km<sup>2</sup>, con una lunghezza dell'asta principale di 39 km, ed un dislivello di 800m, dalla sorgente (2025 m s.m.m.).

Il tratto dell'interconnessione di Ponte Gardena, invece, costeggia l'Isarco per circa 2 km (quote comprese tra 480 e 465 m s.m.m.), ed il bacino sotteso a monte della confluenza del Rio Gardena è di 3200 km<sup>2</sup> (lunghezza dell'asta, circa 58.5 km).

### 3 ANALISI IDROLOGICA

Per la determinazione delle portate di piena si è fatto riferimento allo studio: “*Catasto aggiornato e georeferenziato delle opere idrauliche e di sistemazione idraulico-forestale nel bacino idrografico del Fiume Adige, delimitazione delle fasce fluviali, e definizione del quadro degli interventi strutturali e non strutturali*” effettuato dall’Autorità di Bacino Nazionale del Fiume Adige.

In particolare sono stati consultati i capitoli “*Caratterizzazione geomorfologica e idraulica del reticolo idrografico delle aree soggette ad allagamento*”, “*Aggiornamento e sistemazione dell’idrologia di piena*” e “*Delimitazione delle fasce fluviali e perimetrazione delle aree a rischio idrografico*”.

Per le aree di Fortezza e Ponte Gardena sono state utilizzate serie storiche delle portate nella stazione di Prà di Sopra (Isarco) fornite dal Servizio Idrografico della Provincia Autonoma di Bolzano.

**Tabella 1** – Serie storica di altezze idrometriche e portate massime annuali alla stazione di Prà di Sopra

anno	h idrometrica [m]	Q max annuale [m³/s]	anno	h idrometrica [m]	Q max annuale [m³/s]	anno	h idrometrica [m]	Q max annuale [m³/s]
1963	2.02	115	1973	2.7	201	1983	1.9	100
1964	1.34	46	1974	1.82	93	1984	2.75	210
1965	1.44	56	1975	1.88	99	1985	2.2	139
1966	1.64	74	1976	2.16	130	1986	1.68	79
1967	2.04	118	1977	1.9	90	1987	1.49	57
1968	1.49	58	1978	2.05	120	1988	1.8	91
1969	1.73	83	1979	2.23	142	1989	1.56	64
1970	1.3	42.5	1980	2.2	136	1990	1.49	57
1971	1.68	76	1981	3.05	260			
1972	2.17	141	1982	2	212			

**Tabella 2** – Regolarizzazione statistica secondo la distribuzione di Gumbel

$\alpha =$	0.019991	$u =$	83.61506
TR (anni)	Q (m³/s)	h (m)	
2	102	1.91	
5	159	2.34	
10	197	2.58	
25	244	2.85	
50	279	3.04	
100	314	3.2	
200	349	3.36	
300	369	3.45	
500	395	3.56	

Per quanto riguarda le portate di piena sono stati regolarizzati i valori dei massimi storici annuali registrati nella stazione di Prà di Sopra (Oberau) tramite la distribuzione di Gumbel ottenendo i valori riportati nella seguente

tabella. I valori di progetto ottenuti per le sezioni di interesse sono stati ottenuti, come indicato dallo studio redatto dall'Autorità di Bacino, tramite la relazione  $1^1$  sulla base della superficie dei bacini sottesi dalle due sezioni:

$$Q_x = \left( \frac{S_x}{S_s} \right)^m \quad (1)$$

nella quale sono indicate con  $S_x$  ed  $S_s$  rispettivamente le superfici sottese dalla sezione incognita e dalla sezione dell'idrometro (Prà di sopra, 652 km<sup>2</sup> nel caso in esame), con  $Q_x$  la portata incognita, e con  $m$  il coefficiente di potenza posto pari a 0.5.

**Tabella 3 - Portate di progetto dell'Isarco a Fortezza e Ponte Gardena**

TR	QPra di Sopra [m <sup>3</sup> /s]	QFortezza [m <sup>3</sup> /s]	QPonte Grdena [m <sup>3</sup> /s]
30	253	254.55	560.49
100	314	315.92	695.63
200	349	351.13	773.17
300	369	371.26	817.48
500	395	397.42	875.08

I valori stimati relativi alle portate in corrispondenza della sezione di chiusura di Ponte Gardena (a monte della confluenza con il Rio Gardena) sono stati confrontati con i **dati di portata forniti dalla Provincia Autonoma di Bolzano** (Ufficio Opere Idrauliche), riportati in Tabella 4.

**Tabella 4 – Portata Isarco a Ponte Gardena – dati forniti dalla Provincia Autonoma di Bolzano (Ufficio Opere Idrauliche)**

TR	Q Isarco a monte confluenza Rio Gardena [m <sup>3</sup> /s]	Q Isarco a valle confluenza Rio Gardena [m <sup>3</sup> /s]
30	668.95	710.92
50	728.01	773.69
100	808.26	858.97
200	888.88	944.66
300	936.28	995.04

Dal confronto con la Tabella 3 è evidente che per i tempi di ritorno di **200 e 300 anni**, tra la portata stimata dalla Provincia di Bolzano e quella valutata con la relazione 1, sussista rispettivamente una differenza di circa 115.6 m<sup>3</sup>/s e 118.8 m<sup>3</sup>/s.

<sup>1</sup> Aggiornamento e sistemazione dell'idrologia di piena dell'idrologia di piena – “Studio finalizzato alla realizzazione, nel bacino del fiume Adige, del catasto aggiornato e georeferenziato delle opere idrauliche e di sistemazione idraulico forestale, alla delimitazione delle fasce fluviali, alla definizione degli interventi strutturali e non strutturali” – Autorità di Bacino del Fiume Adige



QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA  
ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO  
QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA  
LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA

Studio idraulico Fiume Isarco - Relazione idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBL1	10	D 11 RI	ID 10 02 001	A	10 di 37

A favore di sicurezza, si è quindi ritenuto opportuno utilizzare, quale dato di base per la modellazione idraulica, i valori di portata forniti dalla Provincia Autonoma di Bolzano.

Inoltre, dal momento che l'intero intervento si sviluppa fino al punto di confluenza tra il Rio Gardena e l'Isarco, cautelativamente si è fatto riferimento per il calcolo idraulico alla portata del fiume Isarco a valle della confluenza del Rio Gardena, che per tempo di ritorno di 200 anni è pari a 944.66 m<sup>3</sup>/s mentre per Tr 300 anni è pari a 995.04 m<sup>3</sup>/s.



## 4 STUDIO IDRAULICO


Lo studio idraulico è finalizzato alla determinazione dei livelli idrici del Fiume Isarco nei tratti in affiancamento alle opere ferroviarie in progetto. In particolare lo scopo è quello di valutare le aree interessate dalle piene relative a diversi tempi di ritorno (in particolare la piena duecentennale e trecentennale) e determinare la necessità di opere di protezione durante le fasi di realizzazione e nello stato di progetto, per la salvaguardia dell'esercizio ferroviario.

### 4.1 Modellazione idraulica monodimensionale

Per la stima dei livelli idrici del Fiume Isarco nella zona oggetto di intervento, si è proceduto con una modellazione idraulica monodimensionale condotta su 26 sezioni trasversali estratte da un rilievo batimetrico condotto su una lunghezza complessiva dell'asta fluviale pari a circa 1975 m.



Figura 3 – Fiume Isarco : schema planimetrico della modellazione idraulica

	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA					
	Studio idraulico Fiume Isarco - Relazione idraulica	COMMESSA IBL1	LOTTO 10	CODIFICA D 11 RI	DOCUMENTO ID 10 02 001	REV. A

#### 4.1.1 Verifica idraulica con modello matematico in schema di moto permanente

Le simulazioni numeriche sono state condotte utilizzando *HEC-RAS RIVER ANALYSYS SYSTEM* (versione 4.0 del marzo 2008), un programma di calcolo monodimensionale a moto permanente che fornisce una adeguata rappresentazione del fenomeno, sviluppato dalla U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, descritto in Appendice A.

In accordo con quanto previsto per il manuale di progettazione ferroviaria (per bacini con area maggiore di 10 kmq il tempo di ritorno di riferimento è pari a 300 anni) le simulazioni idrauliche sono state sviluppate con riferimento sia allo stato di fatto sia allo stato di progetto per evento caratterizzato da tempo di ritorno pari a 200 anni e 300 anni (portata dell'Isarco a valle della confluenza del Rio Gardena).

#### 4.1.2 Taratura dei modelli

Come per ogni modello matematico, anche nel caso del modello monodimensionale HEC-RAS la taratura ricopre un aspetto particolarmente delicato.

Il modello dovrebbe cioè essere tarato e validato prima di essere usato a scopo revisionale. In questo caso la taratura del modello numerico consiste nella valutazione dei coefficienti di scabrezza da adottare nelle differenti sezioni.

Tale operazione è caratterizzata da un notevole grado di incertezza dal momento che questi parametri presentano un ampio spettro di valori in dipendenza dello stato dell'alveo, dal grado di manutenzione e pulizia detto stesso, dalla presenza e dal tipo di vegetazione, dai cicli stagionali, dalla granulometria del fondo, ecc.

I dati di letteratura per le diverse condizioni ambientali sono fornite dalla Tabella 5. Occorre tener presente che questi valori sono comunque suscettibili di modificazioni per tenere conto degli effetti dissipativi legati a:

- perdite localizzate prodotte dall'interazione della corrente con irregolarità geometriche come presenza di ostacoli di vario genere, espansioni brusche, incisioni nelle golene, brusche variazioni di larghezza;
- perdite energetiche dovute alla modificazione del fondo dell'alveo, alla risospensione e trasporto solido, allo sradicamento e al trasporto di materiale vegetale.

Si preferisce dunque optare per dei coefficienti di scabrezza che tengano mediamente conto (vista la grande variabilità dei parametri) delle condizioni ambientali e restino moderatamente a favore di sicurezza.



Tipologia del corso d'acqua	Strickler $K_s = 1/n \text{ (m}^{1/3} \text{ s}^{-1}\text{)}$
<b>CORSI D'ACQUA MINORI</b> (Raggio idraulico $\leq 2$ m; larghezza in piena $< 30$ m)	
Corsi d'acqua di pianura <ul style="list-style-type: none"> <li>alvei con fondo compatto, senza irregolarità</li> <li>alvei regolari con vegetazione erbacea</li> <li>alvei con ciottoli e irregolarità modeste</li> <li>alvei fortemente irregolari</li> </ul>	45-40 30-35 25-30 25-15
Torrenti montani <ul style="list-style-type: none"> <li>fondo alveo con prevalenza di ghiaia e ciottoli, pochi grossi massi</li> <li>alveo in roccia regolare</li> <li>fondo alveo con ciottoli e molti grossi massi</li> <li>alveo in roccia irregolare</li> </ul>	30-25 30-25 20-15 20-15
<b>CORSI D'ACQUA MAGGIORI</b> (Raggio idraulico $\geq 4$ m; larghezza in piena $> 30$ m)	
<ul style="list-style-type: none"> <li>sezioni con fondo limoso, scarpate regolari a debole copertura erbosa</li> <li>sezioni in depositi alluvionali, fondo sabbioso, scarpate regolari a copertura erbosa</li> <li>sezioni in depositi alluvionali, fondo regolare, scarpate irregolari con vegetazione arbustiva e arborea</li> <li>in depositi alluvionali, fondo irregolare, scarpate irregolari con forte presenza di vegetazione arbustiva e arborea</li> </ul>	45-40 35 25-30 20-25
<b>AREE GOLENALI</b> (Raggio idraulico $\geq 1$ m)	
<ul style="list-style-type: none"> <li>a pascolo, senza vegetazione arbustiva</li> <li>coltivate</li> <li>con vegetazione arbustiva spontanea</li> <li>con vegetazione arborea coltivata</li> </ul>	40-20 50-20 25-10 30-20
<b>Alveo artificiale in terra</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>materiale compatto, fisso</li> <li>sabbia compatta, con argilla o pietrisco</li> <li>sabbia e ghiaia, scarpata lastricata</li> <li>ghiaietto 10-30 mm</li> <li>ghiaia media 20-80 mm</li> <li>ghiaia grossa 50-150 mm</li> <li>limo in zolle</li> <li>grosse pietre</li> <li>sabbia, limo o ghiaia, con forte rivestimento vegetale</li> </ul>	60 50 50-45 45 40 35 30 30-25 25-20
<b>Alveo artificiale in roccia</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>con lavorazione accurata</li> <li>con lavorazione media</li> <li>con lavorazione grossolana</li> </ul>	30-25 25-20 20-15
<b>Alveo artificiale in muratura</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>muratura in pietra da taglio</li> <li>muratura accurata in pietra da cava</li> <li>muratura normale in pietra da cava</li> <li>pietre grossolanamente squadrate</li> <li>scarpate lastricate, fondo in sabbia e ghiaia</li> </ul>	80-70 70 60 50 50-45
<b>Alveo artificiale in calcestruzzo</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>pavimentazione in cemento</li> <li>calcestruzzo con casseforme metalliche</li> <li>calcestruzzo con intonaco</li> <li>calcestruzzo liscio</li> </ul>	100 100-90 95-90 90 90-80

**Tabella 5 - Valori di scabrezza secondo la deliberazione n. 2/99, in data 11 maggio 1999 dell'Autorità di Bacino del Po.**

#### 4.1.3 Geometria del modello

La geometria utilizzata per implementare il modello numerico e per la definizione delle aree di potenziale allagamento è basata su un rilievo topografico sviluppato appositamente per il presente studio (Figura 3).

Le principali caratteristiche della geometria del modello sono così riassumibili:

- lunghezza totale tratto di studio: 1975 m;
- numero di sezioni trasversali rilevate: 26;
- numero di ponti/ponticelli/tombini: 1;
- pendenza media del corso d'acqua: 0.9% a monte, 0.02% a valle.

Tra i manufatti idraulici presenti in alveo si individua un unico ponte stradale (via Isarco).



**Figura 4 – Ponte stradale di via Isarco**

#### **4.1.4 Condizioni al contorno e coefficiente di scabrezza**

Le simulazioni numeriche sono state condotte in condizione di “mixed flow”. Si sono quindi imposte condizioni al contorno sia sulla sezioni di monte, sia su quella di valle. A monte, oltre al valore di portata, è stata imposta la condizioni di moto uniforme nella forma della pendenza della linea dell’energia, considerata pari alla pendenza media del fondo. Medesima condizione al contorno è stata imposta nella sezione di valle.

Le verifiche idrauliche sono state effettuate per le portate corrispondenti a tempi di ritorno di 200 e 300 anni, aventi un valore rispettivamente di 944.66 m<sup>3</sup>/s e 995.04 m<sup>3</sup>/s.

Il coefficiente di scabrezza secondo Manning impostato per le sezioni idrauliche nelle simulazioni è pari a **0.033 ms<sup>-1/3</sup>** per quanto riguarda l’alveo e **0.035 ms<sup>-1/3</sup>** per le sponde.

#### **4.1.5 Risultati stato di fatto**

I risultati della simulazione a moto permanente per la configurazione dello stato di fatto con la portata riferita al tempo di ritorno di 200 anni, senza tener conto del trasporto solido, sono riportati nella seguente Tabella 6 e in Figura 5 in termini di profilo idrico.

I risultati della simulazione a moto permanente per la configurazione dello stato di fatto con la portata riferita al tempo di ritorno di 300 anni, senza tener conto del trasporto solido, sono riportati nella seguente Tabella 6 e in Figura 6 in termini di profilo idrico. L'evento con tempo di ritorno 300 anni porta ad avere livelli idrici mediamente più alti di circa **20 cm** nel tratto indagato.

**Tabella 6 - Risultati simulazioni numeriche Tr 200 anni ( $Q=944.66 \text{ m}^3/\text{s}$ ) stato di fatto**

River Sta	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude # Chl
26	477.83	485.46	484.92	487.52	0.003994	6.56	160.57	31.34	0.82
25	477.84	484.33	484.45	487.15	0.006887	7.66	135.22	29.51	1.05
24	475.95	482.09	483.42	486.65	0.015018	9.58	103.69	26.97	1.44
23	477.14	483.5	483.5	485.82	0.005573	6.94	149.27	33.91	0.94
22	477.39	480.89	482.09	484.83	0.022491	8.82	108.17	39.78	1.64
21	477.27	482.12	480.93	482.82	0.002245	3.75	263.38	69.56	0.58
20	475.29	479.16	479.16	480.6	0.007324	5.32	179.53	63.28	0.99
19	474.42	477.63	478.08	479.66	0.012098	6.35	151.35	60.37	1.24
18	473.93	478.24	477.56	479.08	0.003379	4.29	239.53	72.81	0.7
17	472.95	477.28	476.68	478.09	0.003863	4.01	237.4	78.14	0.72
16	472.19	477.28	476.02	477.89	0.002074	3.47	280.76	77.06	0.55
15	471.24	476.56	475.84	477.68	0.003287	4.76	211.96	57.74	0.71
14	469.99	475.66	475.66	477.45	0.005368	6.29	172.58	48.18	0.91
13	470.49	475.6	475.2	476.97	0.004543	5.61	191.26	50.54	0.83
12	470.11	473.18	473.91	475.83	0.016314	7.22	131.85	53.06	1.44
11	468.7	472.83	473.22	475.09	0.008926	6.75	146.4	45.73	1.13
10	467.35	472.29	472.62	474.58	0.007607	6.88	147.62	42.19	1.06
9	466.08	470.89	471.77	473.98	0.012132	8.16	129.81	44.33	1.32
8	464.35	470.71	470.37	472.46	0.004405	6.05	170.76	40.16	0.83
7	464.15	471.24	469.33	471.82	0.001332	3.59	298.84	61.8	0.47
6	464.54	471.3	468.27	471.65	0.000676	2.69	379.08	67.33	0.34
5	462.47	471.13	467.84	471.58	0.00074	3.14	343.01	56.28	0.36
4	461.13	470.91	467.16	471.45	0.000786	3.64	322.29	50.28	0.39
3	461.81	470.92	466.33	471.27	0.000483	2.84	412.92	73.58	0.3
2	460.95	470.99	465.13	471.15	0.000218	2.03	619.51	109.06	0.21
0.1	460.88	470.99	465.12	471.14	0.0002	1.94	628.45	110.36	0.2
0.05	460.88	470.99	465.12	471.14	0.0002	1.94	628.45	110.36	0.2



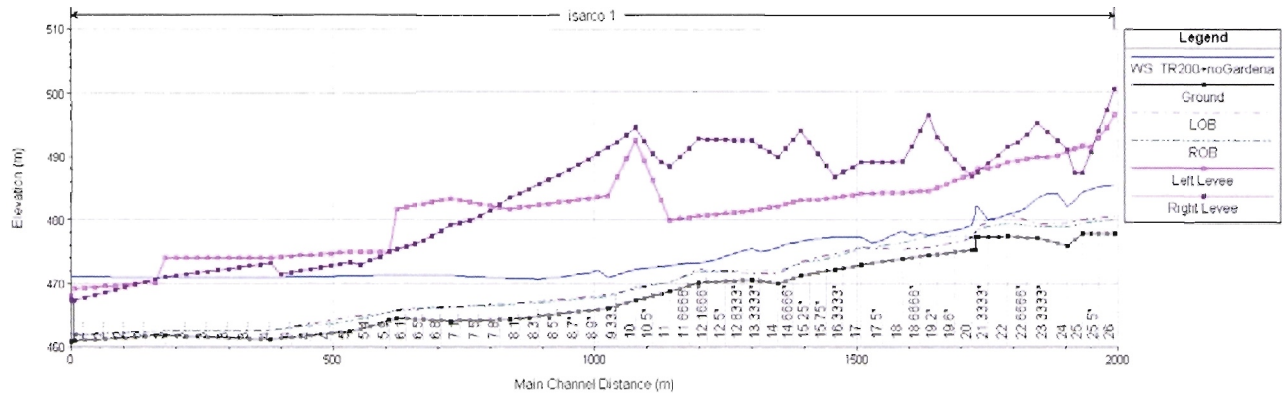


Figura 5 – Profilo idrico longitudinale Tr 200 anni, stato di fatto

Tabella 7 - Risultati simulazioni numeriche Tr 300 anni ( $Q=995.04 \text{ m}^3/\text{s}$ ) stato di fatto

River Sta	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude # Chl
26	477.83	484.28	485.12	487.92	0.009001	8.63	125.05	28.12	1.19
25	477.84	484.63	484.92	487.42	0.006339	7.62	144.59	32.52	1.01
24	475.95	482.26	483.6	486.92	0.014647	9.7	108.31	27.25	1.43
23	477.14	483.68	483.68	486.07	0.005497	7.05	155.52	34.3	0.94
22	477.39	480.98	482.23	485.08	0.022402	8.99	112.05	40.52	1.64
21	477.27	482.26	481.03	482.98	0.002234	3.83	272.96	70.48	0.58
20	475.29	479.26	479.26	480.75	0.007281	5.42	185.75	63.52	0.99
19	474.42	477.72	478.19	479.82	0.011984	6.46	156.81	60.74	1.24
18	473.93	478.36	477.67	479.23	0.003349	4.36	248.38	73.16	0.7
17	472.95	477.46	476.77	478.27	0.003553	3.99	251.53	78.53	0.7
16	472.19	477.46	476.12	478.07	0.00198	3.49	294.65	77.75	0.54
15	471.24	476.74	475.98	477.87	0.003193	4.81	221.94	58.23	0.7
14	469.99	475.79	475.79	477.64	0.005348	6.39	179.18	48.6	0.92
13	470.49	475.72	475.32	477.15	0.004586	5.73	197.32	50.82	0.84
12	470.11	473.27	474.02	476.02	0.016231	7.36	136.37	53.23	1.44
11	468.7	473.53	473.36	475.22	0.005366	5.88	179.17	47.9	0.9
10	467.35	472.75	472.76	474.74	0.005827	6.45	167.27	43.16	0.95
9	466.08	471.03	471.9	474.15	0.011762	8.22	136.06	44.85	1.31
8	464.35	470.9	470.53	472.68	0.004298	6.12	178.48	40.41	0.83
7	464.15	471.46	469.45	472.04	0.001297	3.63	312.14	62.11	0.46
6	464.54	471.52	468.37	471.88	0.000668	2.73	393.68	67.72	0.34
5	462.47	471.33	467.99	471.8	0.000758	3.23	354.32	59.75	0.37
4	461.13	471.1	467.3	471.68	0.000803	3.73	332.34	51.86	0.39

River Sta	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude # Chl
3	461.81	471.14	466.46	471.49	0.000484	2.89	428.98	73.78	0.3
2	460.95	471.21	465.26	471.38	0.000218	2.06	643.73	109.06	0.21
0.1	460.88	471.21	465.25	471.37	0.0002	1.97	653.1	110.36	0.2
0.05	460.88	471.21	465.25	471.37	0.0002	1.97	653.09	110.36	0.2

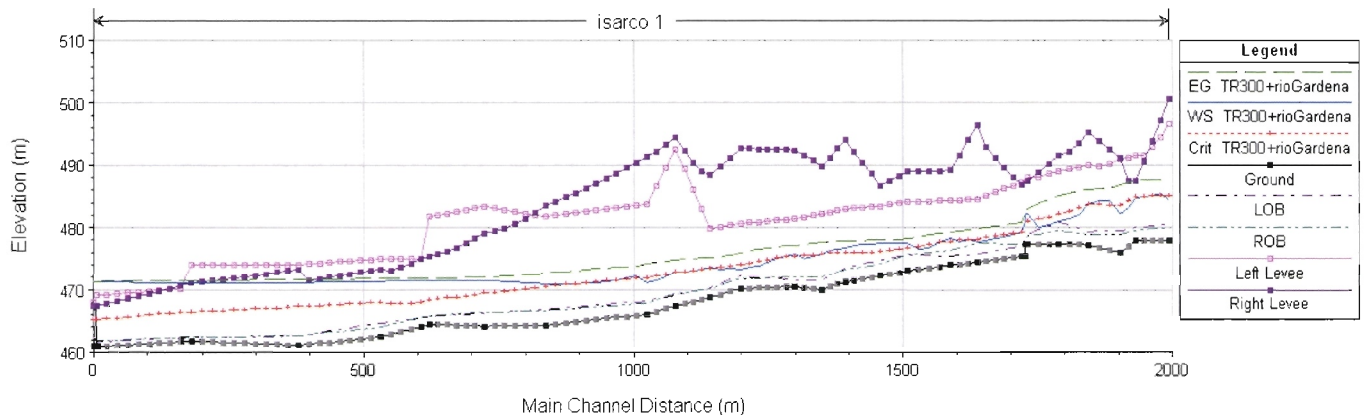


Figura 6 – Profilo idrico longitudinale Tr 300 anni, stato di fatto

#### 4.1.6 Calcolo del trasporto solido

La valutazione della componente grossolana che contribuisce al trasporto solido può essere ricavata mediante l'uso di espressioni empiriche in grado di correlare la portata solida trascinata al fondo con la portata liquida, a condizione di conoscere le caratteristiche del sedimento che costituisce il fondo alveo e le caratteristiche idrauliche della corrente.

Nel caso in esame, mediante il codice di calcolo HEC RAS che consente di calcolare la capacità di trasporto di sedimenti non coesivi in una o più sezioni in base ai parametri idraulici e alle proprietà del sedimento, è stata utilizzata l'espressione di Meyer-Peter e Muller (1948), una delle prime espressioni proposte in materia di trasporto solido, basata sul concetto del superamento dello sforzo tangenziale critico (Shields, 1936; Bathurst et al., 1987). Tale espressione è stata sviluppata su esperimenti di laboratorio con materiale ghiaioso piuttosto uniforme dal punto di vista granulometrico. Viene consigliata nel campo di sedimenti con diametro compresi tra i 0.4÷29 mm, velocità comprese tra 1.20÷9.40 m/s. Secondo questa espressione, la correlazione tra la portata solida  $Q_s$  con le caratteristiche dell'alveo e del sedimento è la seguente:

$$Q_s = B\sqrt{(s-1)gd_{50}^3} \left[ \frac{4\tau_0}{\rho(s-1)gd_{50}} - k \right]^{3/2}$$

nella quale B è la larghezza dell'alveo,  $\gamma$  e  $\gamma_s$  sono il peso dell'unità di volume dell'acqua e del sedimento, s è la gravità specifica del sedimento data dal rapporto:

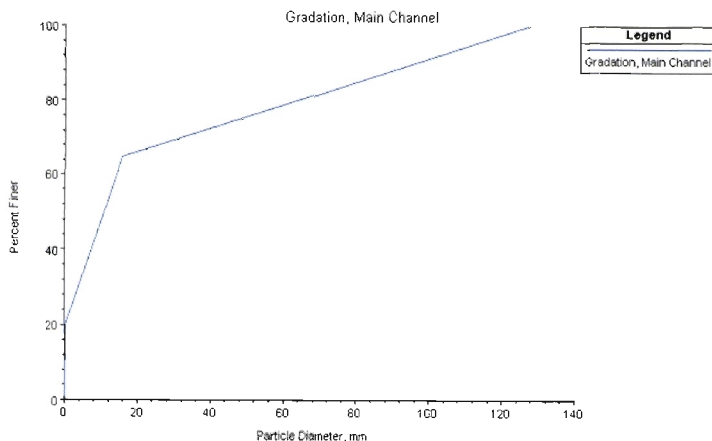
$$s = \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma}$$

g è l'accelerazione di gravità, k è un coefficiente adimensionale pari a 0,188 e  $\tau_0$  è lo sforzo tangenziale al fondo che in condizioni di moto uniforme viene espresso dalla:

$$\tau_0 = \gamma \cdot R_H \cdot i$$

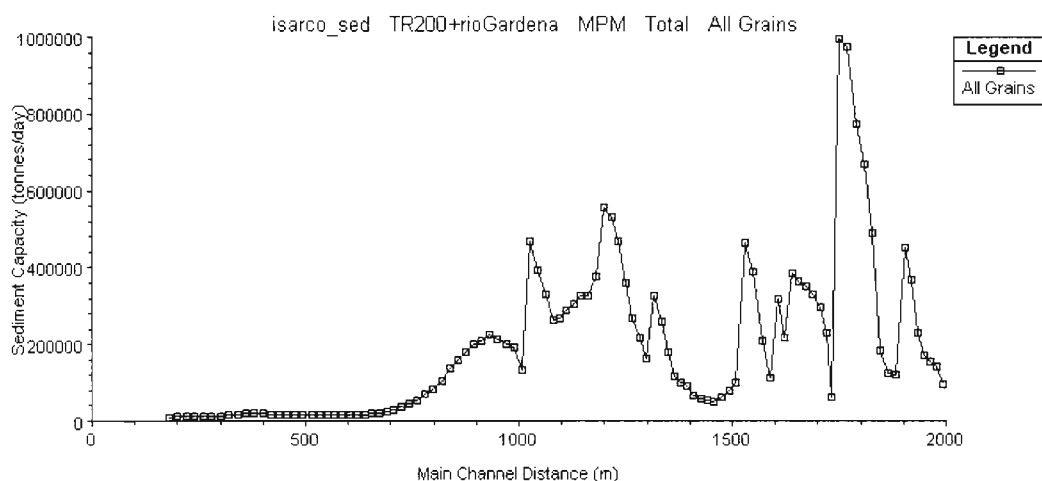
dove  $R_H$  è il raggio idraulico.

Non avendo a disposizione un rilievo granulometrico di riferimento, si è adottata una distribuzione granulometrica caratteristica di corsi d'acqua montani, riportata in Figura 7.



**Figura 7** – Distribuzione dei diametri % adottata nelle simulazioni di calcolo del trasporto solido.

La portata solida valutata con la formulazione sopra riportata fa riferimento alla portata volumetrica di solido, vuoti esclusi. Per tale motivo al sedimento viene assegnato un peso specifico pari a  $\gamma_s = 26500 \text{ N/m}^3$ , tipico delle sabbie. La Figura 8 riporta i risultati ottenuti in termini di tonnellate / giorno di materiale movimentabile lungo il tratto di corso d'acqua studiato: si osserva una capacità di trasporto più elevata nel primo tratto, dove le pendenze sono maggiori (pendenza di monte pari a 1% rispetto a 0.3% di valle). Si è ottenuto un contributo del trasporto solido ordinario medio pari a  $0.72 \text{ m}^3/\text{s}$  per TR 200 anni, che porta ad una concentrazione solida nella corrente pari allo 0.1% e che di fatto non va a modificare i livelli idrici che si instaurano nelle sezioni di calcolo.



**Figura 8** – Risultati delle simulazioni di calcolo del trasporto solido per TR 200 anni in tonnellate / giorno lungo il tratto di corso d'acqua studiato.

#### 4.1.7 Risultati stato di progetto

Nello stato di progetto, le opere interferiscono con il corso d'acqua solo nel tratto compreso tra le sezioni 3 e 8, e più in particolare tra la sezione 3 e la sezione 6 è previsto un muro di difesa per consentire la realizzazione dell'opera di copertura della stazione, che restringe la sezione d'alveo. I risultati della simulazione a moto permanente per la configurazione dello stato di progetto con la portata riferita al tempo di ritorno di 200 anni, senza tener conto del trasporto solido, sono riportati nella seguente Tabella 8, in Figura 9 in termini di profilo idrico, mentre la Figura 10 riporta un estratto delle sezioni di progetto dove le opere interferiscono con il corso d'acqua.

In generale si può affermare che sia nello stato di fatto sia nello stato di progetto la portata duecentennale defluisce con livelli idrici ed energetici inferiori alle quote della sponda destra e sinistra delle sezioni rilevate; l'unico tratto in cui si manifesta una tracimazione delle sponde è quello compreso tra le sezioni 1 e 2, tra cui è compreso il ponte di via Isarco. Questo ponte risulta insufficiente al transito della portata di progetto e determina un innalzamento dei livelli idrici che si ripercuote su un esteso tratto di corso d'acqua a monte dell'opera.

Tra le sezioni 3 – 22, localizzate in corrispondenza dell'area oggetto di intervento, la simulazione mostra che la portata duecentennale defluisce all'interno dell'alveo, fortemente incassato in questo tratto, con sufficienti franchi di sicurezza sia sul livello idrico che energetico, fatta eccezione per il tratto dove viene realizzato appositamente il muro di difesa delle opere. L'area non viene pertanto interessata da alcun fenomeno di esondazione del Fiume Isarco.



Tabella 8 - Risultati simulazioni numeriche Tr 200 anni ( $Q=944.66 \text{ m}^3/\text{s}$ ) stato di progetto

River Sta	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude # Chl
26	477.83	485.46	484.92	487.52	0.003994	6.56	160.57	31.34	0.82
25	477.84	484.33	484.45	487.15	0.006887	7.66	135.22	29.51	1.05
24	475.95	482.09	483.42	486.65	0.015018	9.58	103.69	26.97	1.44
23	477.14	483.5	483.5	485.82	0.005573	6.94	149.27	33.91	0.94
22	477.39	480.89	482.09	484.83	0.022491	8.82	108.17	39.78	1.64
21	477.27	482.12	480.93	482.82	0.002245	3.75	263.38	69.56	0.58
20	475.29	479.16	479.16	480.6	0.007324	5.32	179.53	63.28	0.99
19	474.42	477.63	478.08	479.66	0.012098	6.35	151.35	60.37	1.24
18	473.93	478.24	477.56	479.08	0.003379	4.29	239.53	72.81	0.7
17	472.95	477.28	476.68	478.09	0.003863	4.01	237.4	78.14	0.72
16	472.19	477.28	476.02	477.89	0.002074	3.47	280.76	77.06	0.55
15	471.24	476.56	475.84	477.68	0.003287	4.76	211.96	57.74	0.71
14	469.99	475.66	475.66	477.45	0.005368	6.29	172.58	48.18	0.91
13	470.49	475.6	475.2	476.97	0.004543	5.61	191.26	50.54	0.83
12	470.11	473.18	473.91	475.83	0.016314	7.22	131.85	53.06	1.44
11	468.7	472.83	473.22	475.09	0.008926	6.75	146.4	45.73	1.13
10	467.35	472.29	472.62	474.58	0.007607	6.88	147.62	42.19	1.06
9	466.08	470.89	471.77	473.98	0.012132	8.16	129.81	44.33	1.32
8	464.35	470.72	470.37	472.46	0.004429	6.06	170.44	40.14	0.84
7	464.15	471.25	469.33	471.81	0.001337	3.59	298.49	61.79	0.47
6	464.54	471.31	468.27	471.64	0.000679	2.69	378.71	67.32	0.34
5	462.47	471.31	467.84	471.57	0.000744	3.14	342.33	56.24	0.36
4	461.13	471.14	467.16	471.45	0.000768	3.6	321.36	46.62	0.38
3	461.81	470.92	466.33	471.26	0.000469	2.8	402.82	56.94	0.3
2	460.95	470.93	465.13	471.15	0.000218	2.03	619.51	109.06	0.21
0.1	460.88	470.99	465.12	471.14	0.0002	1.94	628.45	110.36	0.2
0.05	460.88	470.99	465.12	471.14	0.0002	1.94	628.45	110.36	0.2



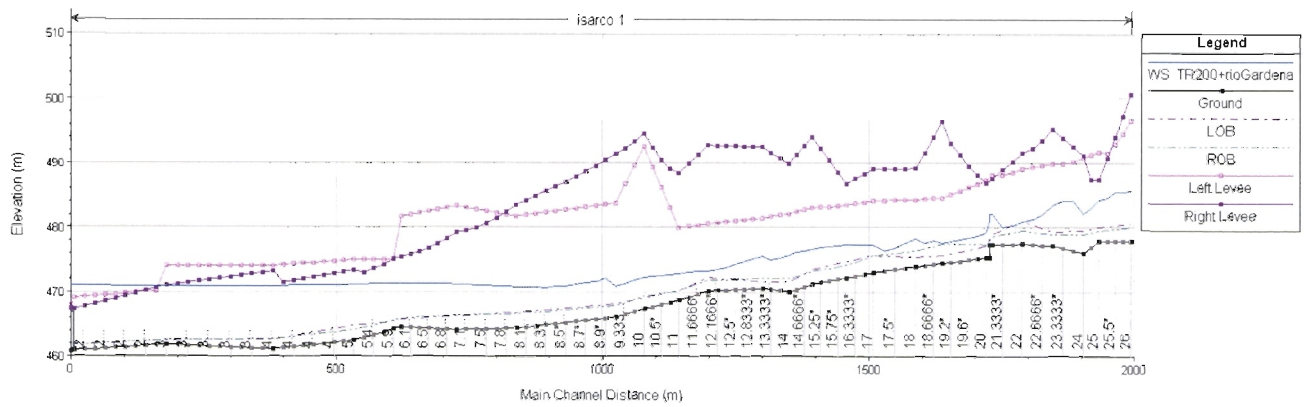


Figura 9 – Profilo idrico longitudinale Tr 200 anni, stato di progetto

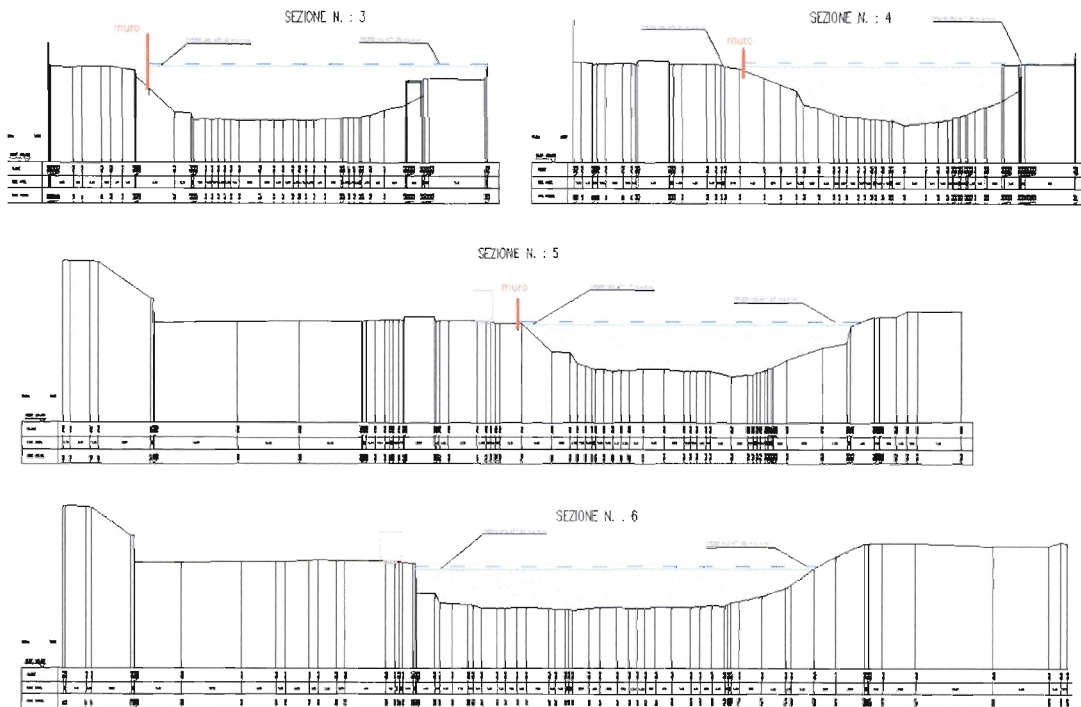


Figura 10 – Sezioni di progetto con indicazione dei risultati per TR200

I risultati relativi alla simulazione con TR 300 anni nello stato di progetto sono riportati in Tabella 9, in Figura 11 e in Figura 12.

**Tabella 9 - Risultati simulazioni numeriche Tr 300 anni ( $Q=995.04 \text{ m}^3/\text{s}$ ) stato di progetto**

River Sta	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude # Chl
26	477.83	484.28	485.12	487.92	0.009001	8.63	125.05	28.12	1.19
25	477.84	484.63	484.92	487.42	0.00635	7.62	144.5	32.51	1.01
24	475.95	482.26	483.6	486.92	0.014651	9.7	108.3	27.25	1.43
23	477.14	483.68	483.68	486.07	0.005497	7.05	155.52	34.3	0.94
22	477.39	480.98	482.23	485.08	0.022402	8.99	112.05	40.52	1.64
21	477.27	482.26	481.03	482.98	0.002234	3.83	272.96	70.48	0.58
20	475.29	479.26	479.26	480.75	0.007281	5.42	185.75	63.52	0.99
19	474.42	477.72	478.19	479.82	0.011984	6.46	156.81	60.74	1.24
18	473.93	478.36	477.67	479.23	0.003349	4.36	248.38	73.16	0.7
17	472.95	477.46	476.77	478.27	0.003553	3.99	251.53	78.53	0.7
16	472.19	477.46	476.12	478.07	0.00198	3.49	294.65	77.75	0.54
15	471.24	476.74	475.98	477.87	0.003193	4.81	221.94	58.23	0.7
14	469.99	475.79	475.79	477.64	0.005348	6.39	179.18	48.6	0.92
13	470.49	475.72	475.32	477.15	0.004586	5.73	197.32	50.82	0.84
12	470.11	473.27	474.02	476.02	0.016231	7.36	136.37	53.23	1.44
11	468.7	473.53	473.36	475.22	0.005366	5.88	179.17	47.9	0.9
10	467.35	472.75	472.76	474.74	0.005827	6.45	167.27	43.16	0.95
9	466.08	471.03	471.9	474.15	0.011762	8.22	136.06	44.85	1.31
8	464.35	470.91	470.53	472.68	0.004274	6.11	178.83	40.43	0.83
7	464.15	471.47	469.45	472.05	0.001292	3.62	312.52	62.12	0.46
6	464.54	471.53	468.37	471.88	0.000666	2.73	394.08	67.73	0.34
5.9	464.17	471.54	467.98	471.86	0.000565	2.61	408.29	65.87	0.32
5	462.47	471.34	467.99	471.8	0.000749	3.21	354.71	57.65	0.37
4	461.13	471.12	467.31	471.68	0.000781	3.68	331.24	46.62	0.39
3	461.81	471.14	466.46	471.49	0.000477	2.87	415.01	56.95	0.3
2	460.95	471.21	465.26	471.38	0.000218	2.06	643.73	109.06	0.21
0.1	460.88	471.21	465.25	471.37	0.0002	1.97	653.1	110.36	0.2

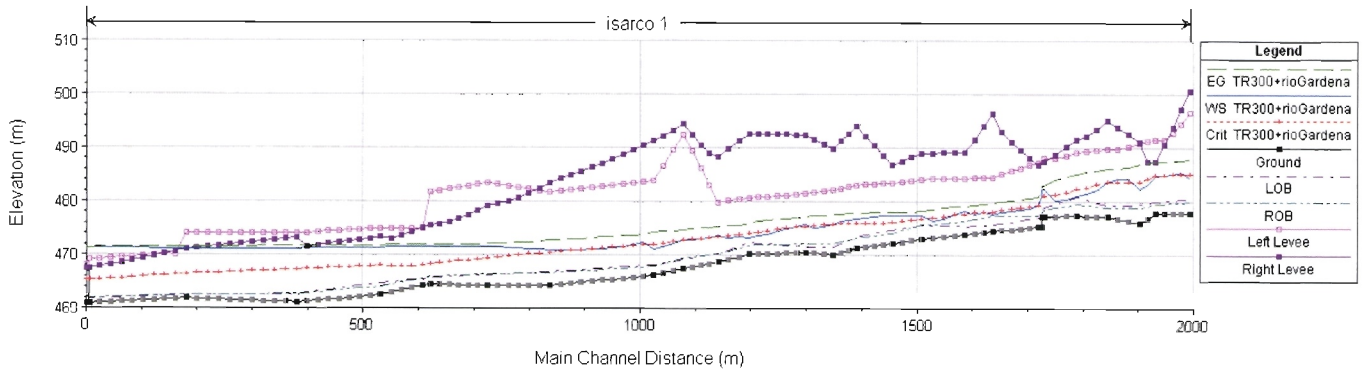


Figura 11 – Profilo idrico longitudinale Tr 300 anni, stato di progetto

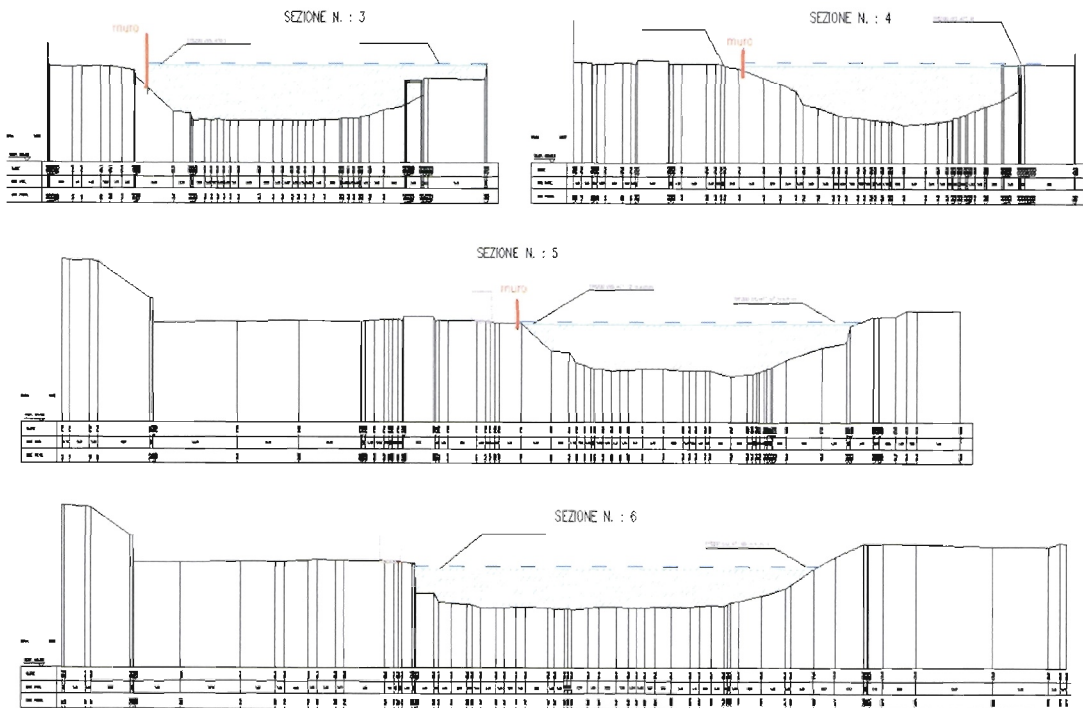


Figura 12 – Sezioni di progetto con indicazione dei risultati per TR300

Si osserva che non vi sono differenze rilevanti in termini di livelli idrici tra lo stato di fatto e lo stato di progetto: le differenze sono dell'ordine del centimetro in corrispondenza del tratto tra la sezione 3 e la sezione 8 nel caso sia della simulazione TR 200 anni che della simulazione TR 300 anni. La Tabella 10 e la Tabella 11 riportano il confronto tra i risultati ottenuti rispettivamente per TR 200 e TR 300 anni in termini di livelli idrici nello stato di

fatto e nello stato di progetto. In termini di profilo tale differenza non è apprezzabile, si evidenzia pertanto in Figura 13 il tratto in cui si manifestano le differenze evidenziate.

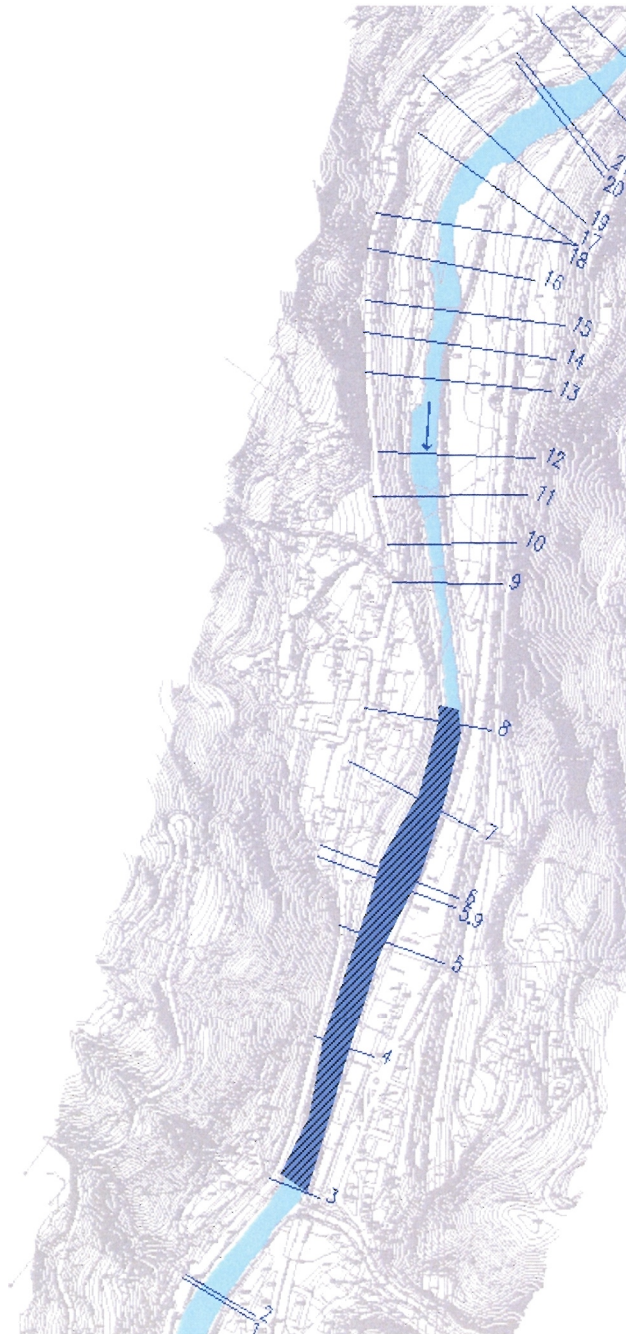
**Tabella 10** - Risultati simulazioni numeriche Tr 200 anni ( $Q=944.66 \text{ m}^3/\text{s}$ ): livelli idrici nello stato di fatto (sdf) e nello stato di progetto (sdp)

River station	livello sdf TR200 [m s.m.m.]	livello sdp TR200 [m s.m.m.]	differenza sdp-sdf [m]
26	485.46	485.46	0
25	484.33	484.33	0
24	482.09	482.09	0
23	483.5	483.5	0
22	480.89	480.89	0
21	482.12	482.12	0
20	479.16	479.16	0
19	477.63	477.63	0
18	478.24	478.24	0
17	477.28	477.28	0
16	477.28	477.28	0
15	476.56	476.56	0
14	475.66	475.66	0
13	475.6	475.6	0
12	473.18	473.18	0
11	472.83	472.83	0
10	472.29	472.29	0
9	470.89	470.89	0
8	470.71	470.72	0.01
7	471.24	471.25	0.01
6	471.3	471.31	0.01
5.9	471.31	471.31	0
5	471.13	471.14	0.01
4	470.91	470.92	0.01
3	470.92	470.93	0.01
2	470.99	470.99	0
0.1	470.99	470.99	0
0.05	470.99	470.99	0




**Tabella 11 - Risultati simulazioni numeriche Tr 300 anni ( $Q=995.04 \text{ m}^3/\text{s}$ ): livelli idrici nello stato di fatto (sdf) e nello stato di progetto (sdp)**

River station	livello sdf TR300 [m s.m.m.]	livello sdp TR300 [m s.m.m.]	differenza sdp-sdf [m]
26	484.28	484.28	0
25	484.63	484.63	0
24	482.26	482.26	0
23	483.68	483.68	0
22	480.98	480.98	0
21	482.26	482.26	0
20	479.26	479.26	0
19	477.72	477.72	0
18	478.36	478.36	0
17	477.46	477.46	0
16	477.46	477.46	0
15	476.74	476.74	0
14	475.79	475.79	0
13	475.72	475.72	0
12	473.27	473.27	0
11	473.53	473.53	0
10	472.75	472.75	0
9	471.03	471.03	0
8	470.9	470.91	0.01
7	471.46	471.47	0.01
6	471.52	471.53	0.01
5.9	471.54	471.54	0
5	471.33	471.34	0.01
4	471.1	471.12	0.02
3	471.14	471.14	0
2	471.21	471.21	0
0.1	471.21	471.21	0
0.05	471.21	471.21	0



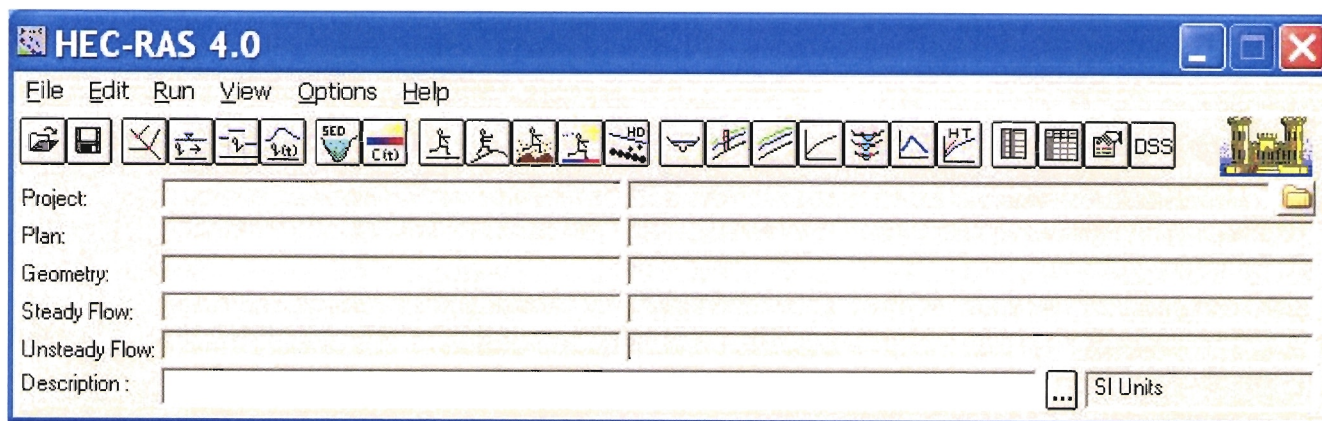
**Figura 13** – *Tratto in cui si manifesta un innalzamento dei livelli idrici, dell'ordine del centimetro, evidenziato in blu tratteggiato.*

	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA					
	Studio idraulico Fiume Isarco - Relazione idraulica	COMMESSA IBL1	LOTTO 10	CODIFICA D 11 RI	DOCUMENTO ID 10 02 001	REV. A

## APPENDICE A - IL MODELLO MATEMATICO HEC-RAS


Il modello di simulazione HEC-RAS (River Analysis System) è stato inizialmente sviluppato dall'US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, di Davis (USA) per lo studio idrodinamico nelle reti di canali aperti, attraverso la ricostruzione dei profili idraulici di moto permanente in regime subcritico e supercritico, operando nell'ipotesi di monodimensionalità del flusso. Fino alla versione 2.x HEC-RAS rappresentava l'evoluzione del noto modello HEC-2 (HEC, 1991) con l'aggiunta di numerose funzioni e strumenti di analisi nonché di una sofisticata interfaccia grafica operante in ambiente Windows.

In seguito, a partire dalla versione 3.0 (HEC, 2001), HEC-RAS è stato integrato con gli algoritmi di calcolo del modello idraulico UNET One-Dimensional Unsteady Flow Through a Full Network of Open Channels (Robert L. Barkau, 1992 and HEC, 1997) che consentono di simulare il comportamento della corrente in moto vario per il solo regime subcritico.



L'integrazione dei due modelli è avvenuta previa realizzazione di una particolare versione del modello UNET capace di condividere i medesimi algoritmi di analisi delle strutture idrauliche presenti nella libreria di HEC-RAS. In questo modo è stato possibile unificare la struttura dei dati che provvede alla definizione geometrica del corso d'acqua rendendo condivisibile la stessa interfaccia grafica sia per l'inserimento dati che per la visualizzazione dei risultati.

Attualmente il modello costituisce un sistema integrato per l'analisi idraulica di reti di canali a maglie aperte e chiuse, operante in regime di moto permanente e vario, che sfrutta le medesime informazioni relative alla geometria dei corsi d'acqua e dei manufatti idraulici presenti. Nonostante ciò la simulazione dei due fenomeni, essendo notevolmente diversi tra loro, avviene sfruttando principi teorici e schemi di calcolo differenti e pertanto si farà loro riferimento come a due distinti modelli idraulici.

	QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA					
	Studio idraulico Fiume Isarco - Relazione idraulica	COMMESSA IBL1	LOTTO 10	CODIFICA D 11 RI	DOCUMENTO ID 10 02 001	REV. A

## IPOTESI DI FUNZIONAMENTO E CAPACITÀ DI CALCOLO

Obiettivo principale del modello, utilizzato ipotizzando un regime di moto permanente, è quello di correlare l'entità della portata liquida in arrivo dal bacino di monte con le velocità e con l'altezza idrometrica raggiunta nell'alveo principale e nelle golene. Il suo utilizzo nell'ipotesi di moto vario aggiunge la capacità di analizzare i fenomeni di propagazione di un'onda di piena e valutare gli effetti di laminazione dovuti alla naturale conformazione del corso d'acqua o alla presenza di dispositivi artificiali.

La determinazione dei parametri fisici che descrivono il deflusso all'interno di una sezione d'alveo si basa sulle seguenti ipotesi semplificative:

- moto gradualmente vario;
- moto monodimensionale;
- perdite di fondo mediamente costanti fra due sezioni trasversali adiacenti;
- arginature e geometria del fondo fisse.

Nonostante la prima ipotesi è possibile valutare anche i fenomeni di moto fortemente variato a condizione di inserire opportune condizioni al contorno interne come descritto più avanti. L'errore dovuto all'imposizione di una perdita di fondo costante nel tratto compreso tra due sezioni adiacenti può essere limitata mediante l'introduzione di ulteriori sezioni ottenute per interpolazione.

Il modello simula il moto gradualmente vario monodimensionale in una rete di canali a pelo libero e può essere applicato per la soluzione di sistemi dalla geometria complessa che includono congiunzioni, biforcazioni, reti chiuse, ecc... Inoltre è consentita l'implementazione di numerose condizioni interne ed esterne che consentono la simulazione degli effetti dovuti alla presenza di paratoie, sistemi di pompaggio, ponti, salti di fondo, ecc..

Il modello è dotato di ulteriori algoritmi che permettono di indagare in dettaglio alcuni fenomeni di interesse nell'ingegneria idraulica. Possono essere studiati i fenomeni erosivi intorno alle pile e alle spalle dei ponti non plateati, valutati gli effetti della parziale ostruzione di una sezione di deflusso a causa dei depositi alluvionali (ipotizzati costanti durante una simulazione) e può essere considerata l'eventuale formazione di ghiaccio sulla superficie liquida valutando i suoi effetti sul profilo idraulico. Inoltre, pur operando nell'ipotesi di monodimensionalità, il modello consente la ricostruzione dell'andamento della velocità all'interno di una stessa sezione di deflusso, distinguendo tra zone spondali e canale centrale, in funzione della variazione di scabrezza e di tirante idraulico.

Si descrivono di seguito i principali fondamenti teorici su cui si basa il modello limitandoci al modulo dedicato alla soluzione del problema del moto permanente.

## DEFINIZIONE DEI PARAMETRI FONDAMENTALI

Il modello utilizza, all'interno dei suoi algoritmi di calcolo, elementi dell'idraulica dei canali a pelo libero. Si ritiene opportuno, quindi, prima di procedere oltre, inserire alcuni elementi per meglio chiarire il funzionamento del modello stesso.





QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA  
ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO  
QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA  
LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA

Studio idraulico Fiume Isarco - Relazione idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBL1	10	D 11 RI	ID 10 02 001	A	29 di 37

### Moto permanente e vario

Il criterio di distinzione fra i due tipi di moto è il loro andamento nei confronti della variabile “tempo”. Se profondità, velocità e portata rimangono costanti nel tempo in una determinata sezione di un corso d’acqua, il moto è permanente; se una di queste caratteristiche varia, il moto è vario. Il passaggio di un’onda di piena lungo un tronco d’alveo è un esempio di moto vario perché profondità, velocità e portata cambiano nel tempo.

La ragione per cui un modello di moto permanente può essere usato per il moto vario, come è da considerarsi a rigore un’onda di piena, sta nella lentezza con cui l’onda cresce e si esaurisce. Un ipotetico osservatore sulla sponda di un corso d’acqua non è infatti in grado di apprezzare la curvatura dell’onda e non apprezza le variazioni istantanee di livello che si verificano.

Eccetto quindi casi estremi, la variazione di portata avviene gradualmente e i risultati ottenuti usando metodi analitici per moto permanente sono ugualmente di buona qualità.

### Moto uniforme e vario

Quando il moto è uniforme, profondità e velocità sono costanti lungo un tratto di canale. La forza di gravità provoca il movimento dell’acqua, in equilibrio con gli attriti. Il moto non è accelerato né decelerato. Per un canale naturale non si può parlare di moto uniforme in senso stretto, perché la geometria delle sezioni trasversali e l’area bagnata variano lungo il canale, causando accelerazioni e decelerazioni del moto. A rigore il moto uniforme è possibile solo in un canale prismatico con sezione e pendenza costanti. D’altra parte è considerato corretto assumere che il moto sia uniforme quanto il pelo libero è approssimativamente parallelo al fondo del canale; in tal caso si assume che anche la linea dell’energia sia parallela al fondo.

Nel caso di moto vario profondità e velocità cambiano con la distanza lungo il canale; si può distinguere tra moto “gradualmente vario” quando le variazioni nell’altezza del pelo libero avvengono in una distanza relativamente lunga e modo “rapidamente vario” se le variazioni sono brusche.

Quest’ultima distinzione è importante in quanto HEC-RAS calcola i profili solamente in situazioni di moto gradualmente vario.

### Moto subcritico e supercritico

Il moto in un canale a pelo libero può essere classificato come subcritico, supercritico o critico. La determinazione del tipo di moto secondo questa classificazione è di fondamentale importanza nell’utilizzo del modello, perché cambia il verso in cui si procede nello studio del profilo idraulico partendo da una delle due estremità del tratto d’alveo in esame.

Le perturbazioni che interessano la superficie liquida, infatti, si propagano verso monte nel caso di moto subcritico ma non nel caso di moto supercritico, e ciò risulta fondamentale nella scelta del punto di partenza nel calcolo del profilo idraulico. Una delle prime operazioni da fare è quindi la determinazione del tipo di moto che si sviluppa nel tratto oggetto dell’indagine condotta con il modello.

Per definire il punto di separazione fra moto subcritico e supercritico viene utilizzato il numero adimensionale di Froude, rapporto fra le forze gravitazionali e le forze inerziali:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gD}}$$

Dove:

- V = velocità media Q/A [m/s]
- g = accelerazione di gravità [m/s<sup>2</sup>]
- D = raggio idraulico [m]

Se il numero di Froude risulta minore di 1, il moto è subcritico, se invece è superiore, il moto è supercritico; se risulta uguale a 1, il moto è critico e la situazione è di particolare instabilità.

Questa definizione del numero di Froude ipotizza che ci sia una distribuzione uniforme di velocità nella sezione. Per un canale simmetrico, rettangolare, triangolare, trapezoidale, ecc., questo presupposto si realizza, ma nel caso di un canale naturale, con sezioni irregolari e aree golenali, l'espressione data non è più valida e non può essere rigorosamente utilizzata per determinare il tipo di moto; in questo caso sarebbe più corretto utilizzare dei numeri di Froude particolari, che tengano conto delle variazioni geometriche, di velocità e di portata.

La ricerca di questi particolari numeri di Froude va effettuata caso per caso, consultando eventualmente la letteratura esistente.

Il modello, comunque, effettua al suo interno le necessarie approssimazioni e ridefinizioni del valore di questo parametro.

### Altezza critica

L'altezza critica è una caratteristica molto importante per il moto, dato che, come già accennato, rappresenta un criterio per discriminare i vari regimi di moto. Il moto che si sviluppa con un'altezza pari, o vicina, all'altezza critica è chiamato moto critico; questa situazione è molto instabile poiché una piccola variazione di energia specifica causa grandi variazioni di livello. L'energia specifica H di una sezione trasversale è l'energia riferita al punto più basso del tratto in esame; è quindi la somma della profondità y e del termine  $V^2/2g$ :

$$H = y + \frac{V^2}{2g}$$

La determinazione dell'altezza critica viene complicata dalla distribuzione delle velocità che ci si trova ad avere in sezioni irregolari, associate a flusso nelle golene. Il contributo cinetico nell'equazione dell'energia specifica deve quindi essere corretto tramite un moltiplicatore  $\alpha$  di Coriolis. Si ha quindi:

$$H = y + \alpha \frac{V^2}{2g}$$



QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA  
ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO  
QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA  
LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA

Studio idraulico Fiume Isarco - Relazione idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBL1	10	D 11 RI	ID 10 02 001	A	31 di 37

In HEC-RAS, l'altezza critica relativa ad una sezione viene determinata ricercando il minimo dell'energia specifica. La ricerca viene fatta con un procedimento iterativo partendo da un valore WS di primo tentativo al quale ne consegue un valore di energia specifica dato dalla precedente equazione, che verrà poi corretto fino alla determinazione del WS in grado di garantire il minimo valore di H.

HEC-RAS può calcolare l'andamento di profili subcritici e supercritici. Viene però richiesto all'utente di specificare il regime di moto all'atto del setup dell'applicazione. Se si verifica il caso di avere la presenza dei due regimi nel tronco oggetto di studio, diventa necessario suddividere il tronco in tratti in cui si abbia presenza di un solo regime di moto. Nel punto in cui avviene il passaggio tra un regime e l'altro, infatti, HEC-RAS non effettuerà il calcolo attraverso l'altezza critica, ma assumerà al limite un'altezza pari a quella critica.

## PROCEDURE DI CALCOLO PER SIMULAZIONI IN MOTO PERMANENTE

Come già anticipato il regime di moto permanente ipotizza l'invariabilità nel tempo t della portata Q che attraversa una sezione d'alveo di area A. Di conseguenza tutti i parametri idraulici che definiscono le caratteristiche di una corrente risultano invariabili nel tempo. Il regime di moto resta comunque libero di modificarsi lungo la dimensione spaziale non escludendo la possibilità di assegnare portate diverse ai differenti tratti del corso d'acqua e di studiare gli effetti delle immissioni di portata laterali concentrate e distribuite.

La determinazione del profilo idraulico avviene risolvendo l'equazione del bilancio dell'energia espresso secondo la formulazione di Manning:

$$Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} S_f^{1/2}$$

- $S_f$  = pendenza relativa alle perdite di carico distribuite;
- R = raggio idraulico;
- n = coefficiente di scabrezza di Manning.

L'equazione viene risolta per ogni tratto delimitato da due sezioni trasversali consecutive utilizzando lo "standard step method", tecnica numerica che, una volta nota l'energia in corrispondenza di una sezione, permette il calcolo della velocità e del tirante idraulico della sezione adiacente.

### Determinazione della distribuzione del moto in una sezione trasversale

E' stato precedentemente introdotto il significato del coefficiente di Coriolis utilizzato per tener conto della non uniforme distribuzione spaziale della velocità all'interno di una stessa sezione trasversale d'alveo. Per la determinazione del suo valore nel caso di una sezione naturale, o comunque irregolare, è necessario conoscere come si suddivide la portata, ossia quanta fluisce nel canale propriamente detto e quanta nelle zone golenali. Viene a questo scopo utilizzata l'equazione di Manning:

$$V = \frac{1.486}{n} A R^{2/3} S_f^{1/2}, \quad Q = VA = \frac{1.486}{n} A R^{2/3} S_f^{1/2}$$



QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA  
ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO  
QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA  
LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA

Studio idraulico Fiume Isarco - Relazione idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBL1	10	D 11 RI	ID 10 02 001	A	32 di 37

Ponendo quindi:  $K = \text{trasporto} = \frac{1.486}{n} A R^{2/3}$  si ha che:

$$Q = K S_f^{1/2}$$

che viene scritta per ognuna delle i-esime sezioni considerate.

In HEC-RAS, il raggio idraulico R di una subarea è calcolato dividendo l'area per il perimetro bagnato. Il confine d'acqua immaginario tra due subaree viene trascurato

Tramite alcuni passaggi si trova che:

$$\alpha = \frac{(\sum A_i)^2 (\sum K_i^3 / A_i^2)}{(\sum K_i)^3}$$

#### Distribuzione delle pressioni in una sezione trasversale

Come già detto, una delle ipotesi di base nel calcolo del profilo da parte di HEC-RAS è la distribuzione idrostatica delle pressioni. Si può assumere che la pressione sia idrostatica in un fluido in movimento se le linee di corrente sono essenzialmente dritte e parallele. La maggior parte dei canali naturali con moto gradualmente vario rispetta queste condizioni, non rispettate invece nel caso di moto rapidamente vario.

#### Calcolo dei profili idraulici

Il calcolo dei profili idraulici avviene in due fasi tra loro intimamente collegate: bilancio dell'energia e conseguente calcolo del profilo.

#### Bilancio dell'energia

La perdita di energia fra due sezioni trasversali, prese perpendicolarmente al flusso, è la base per il calcolo del profilo idraulico. L'energia totale, in termini di altezza, è uguale alla somma dei contributi dovuti alla quota, alla pressione e al termine cinetico. Se q rappresenta la pendenza del fondo si ha che:

$$E = Z + d \cos \theta + \alpha \frac{V^2}{2g}$$

Il termine  $\cos \alpha$  è comunemente assunto uguale a 1 per canali naturali. Si può comprendere come comunque si compia un errore molto basso imponendo questa semplificazione considerando che per una pendenza di fondo di 1:10, molto elevata,  $\cos q$  è uguale a 0.99. L'errore compiuto in questo caso, definibile estremo, considerandolo uguale a 1 è del 1%, e quindi, nel complesso, trascurabile.

Con riferimento all'equazione dell'energia appena scritta, si può riscriverla nel caso sia applicata tra due sezioni:



QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA  
 ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO  
 QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA  
 LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA

Studio idraulico Fiume Isarco - Relazione idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBL1	10	D 11 RI	ID 10 02 001	A	33 di 37

$$Z_1 + y_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + y_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + h_e$$

o in altri termini:  $E_1 = E_2 + h_e$

L'energia totale nella sezione di monte H1 è quindi uguale all'energia della sezione di valle H2 più il termine di perdita di energia  $h_e$ . Questa equazione è usata in successione da HEC-RAS spostandosi per passi da una sezione all'altra, calcolando il profilo idraulico.

### Perdite di energia

In HEC-RAS la perdita totale di energia  $h_e$  è considerata composta da due componenti: una componente di attrito  $h_f$ , dovuta alla scabrezza delle superfici e calcolata secondo l'equazione di Manning, e una componente  $h_o$ , che rappresenta le altre perdite, soprattutto dovute a contrazioni ed espansioni.

Il programma determina se il flusso è in contrazione o espansione sottraendo il termine cinetico  $V^2/2g$  alla sezione a valle dal termine cinetico alla sezione a monte. Se la differenza risulta un numero negativo, il moto è di contrazione, se positivo è di espansione. Il programma, sulla base di questo controllo, applica un coefficiente appropriato.

Se consideriamo ora un tratto di canale, la pendenza  $S_f$  della linea dell'energia in corrispondenza a una determinata sezione può essere determinata con l'equazione di Manning, inserendo la quota del pelo libero, la portata, il coefficiente di rugosità  $n$  e la geometria della sezione. L'energia persa a causa dell'attrito tra le sezioni a monte e a valle è calcolata con il seguente integrale:

$$\int_{x_2}^{x_1} S_f dx = \bar{S}_f L$$

dove  $f$  è la perdita specifica per attrito e  $L$  è la lunghezza del tratto in esame.

Un'approssimazione delle perdite per attrito  $h_f$  può essere ottenuta moltiplicando il termine  $f$  per la lunghezza  $L$  del tronco tra le due sezioni.

Ci sono quattro equazioni in HEC-RAS per l'approssimazione delle perdite tra due sezioni e sono le seguenti:

- $\bar{S}_f = \left( \frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2$  trasporto medio
- $\bar{S}_f = \frac{\sqrt{S_{f_1} + S_{f_2}}}{2}$  attrito specifico medio
- $\bar{S}_f = \sqrt{S_{f_1} * S_{f_2}}$  media geometrica attrito specifico
- $\bar{S}_f = \frac{2 S_{f_1} * S_{f_2}}{S_{f_1} + S_{f_2}}$  media armonica attrito specifico

Se nessuna di queste viene espressamente scelta in fase di setup dell'applicazione, il modello utilizza la prima delle quattro.

### Standar step method

Per illustrare il metodo “standard step method” utilizzato da HEC-RAS si possono descrivere i passi necessari per il calcolo del profilo relativo a condizioni di moto subcritico con l'equazione dell'energia.

Si suppongano quindi due sezioni di cui si conosca la quota della superficie della sezione di valle; il problema che si vuole risolvere è la conoscenza della quota corrispondente alla sezione di monte.

Si può quindi scrivere il bilancio dell'energia fra le sezioni U di monte e D di valle:

$$WS_u + \frac{a_u V_u^2}{2g} = WS_d + \frac{a_d V_d^2}{2g} + h_e$$

- $WS_u = Z_u + y_u$
- $WS_d = Z_d + y_d$

Assumendo che la geometria delle sezioni sia nota, i termini incogniti dell'equazione sono  $WS_u$ ,  $V_u$  e  $h_e$ .  $V_u$  è desumibile direttamente dal valore di  $WS_u$ , per cui le incognite possono essere ridotte a due. Con due incognite è necessaria una seconda equazione, riguardante le perdite di energia ed espressa da  $h_e = h_f + h_o$ , per poter ottenere una soluzione. L'irregolarità dei canali naturali richiede una ricerca della soluzione di tipo “trail and error”, per successivi tentativi.

I passi attraverso cui avviene il calcolo sono i seguenti.

- viene supposta una quota di pelo libero per la sezione di monte. Un primo tentativo può essere fatto imponendo la pendenza della linea dell'energia pari alla pendenza del tronco d'alveo; quindi,  $DWS = (Q/K)^2 L$ , dove  $DWS$  rappresenta la variazione nella quota del pelo libero,  $Q$  è la portata,  $K$  il termine di trasporto e  $L$  la distanza dalla sezione a monte;
- sulla base della quota di pelo libero assunta e della geometria della sezione, vengono determinati i termini cinetico e il trasporto totale per la sezione a monte;
- con i valori calcolati del termine cinetico e di trasporto del passo 2, viene calcolato il valore di  $h_e$ ;
- con il valore calcolato di  $h_e$ , viene calcolata l'altezza di pelo libero della sezione a monte utilizzando l'equazione dell'energia;
- viene fatto un confronto fra il valore calcolato al passo 4 e il valore impostato al passo 1. Se la differenza non è inferiore a una prefissata tolleranza, il ciclo riprende cambiando il valore al passo 1.

Questa tecnica richiede tempi di elaborazione brevissimi e non incontra problemi di convergenza nemmeno in presenza di discontinuità geometriche o idrauliche (passaggio tra regime di moto subcritico e supercritico).

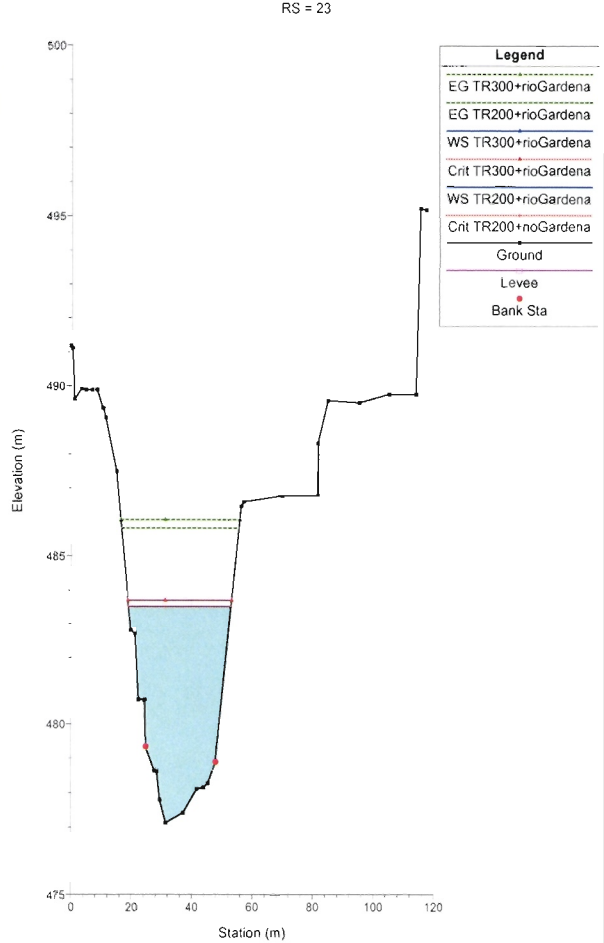
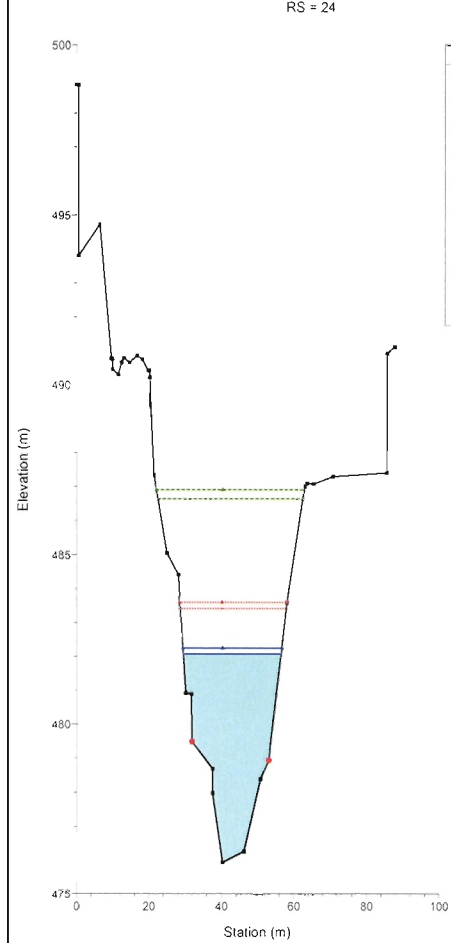
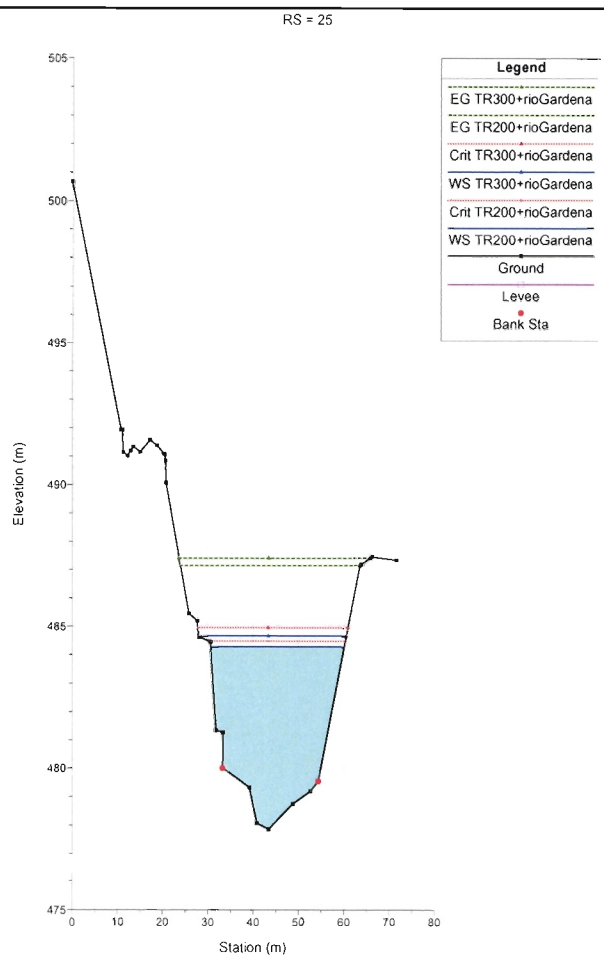
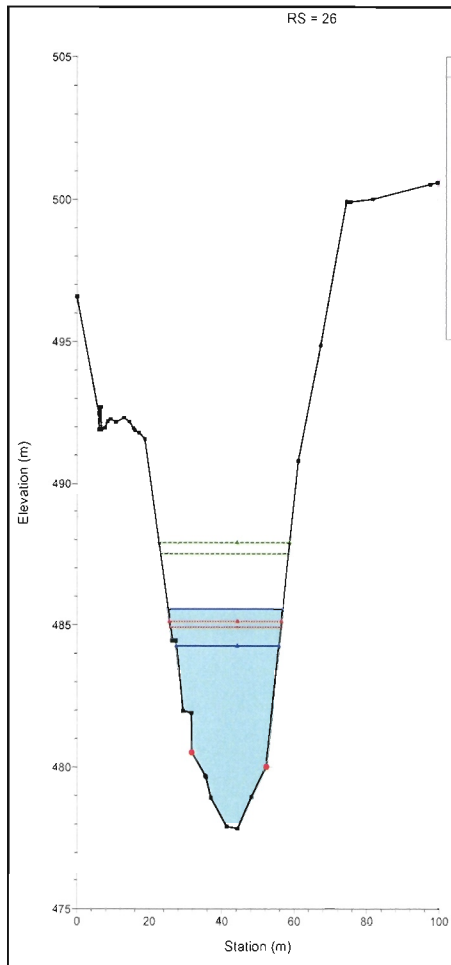


QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA  
ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO  
QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA  
LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA

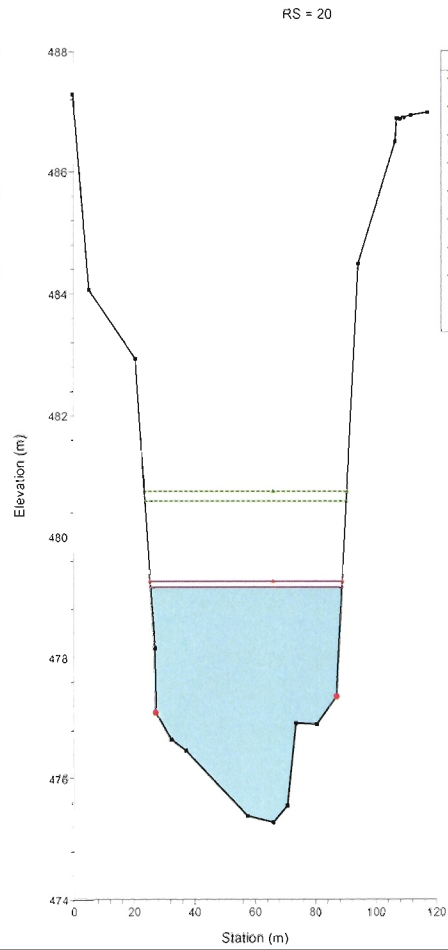
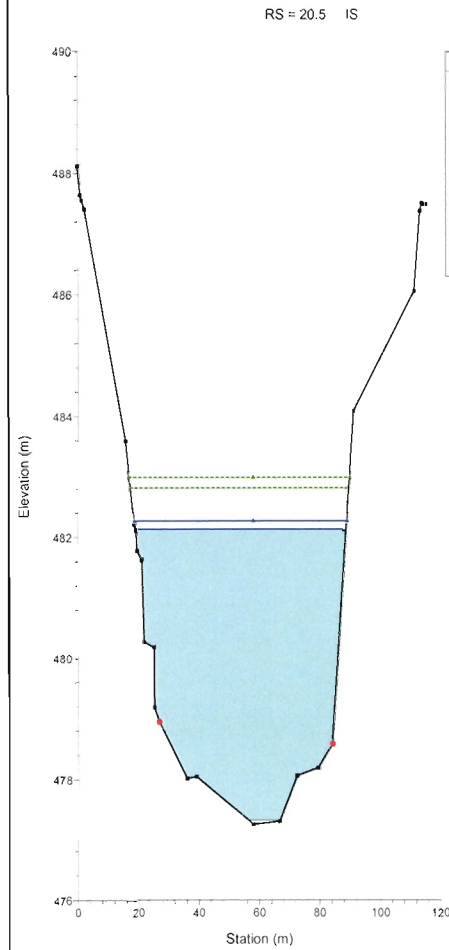
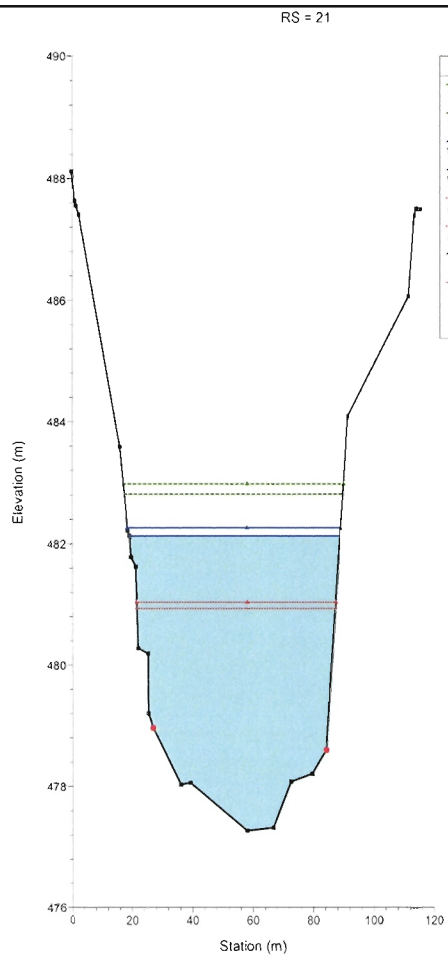
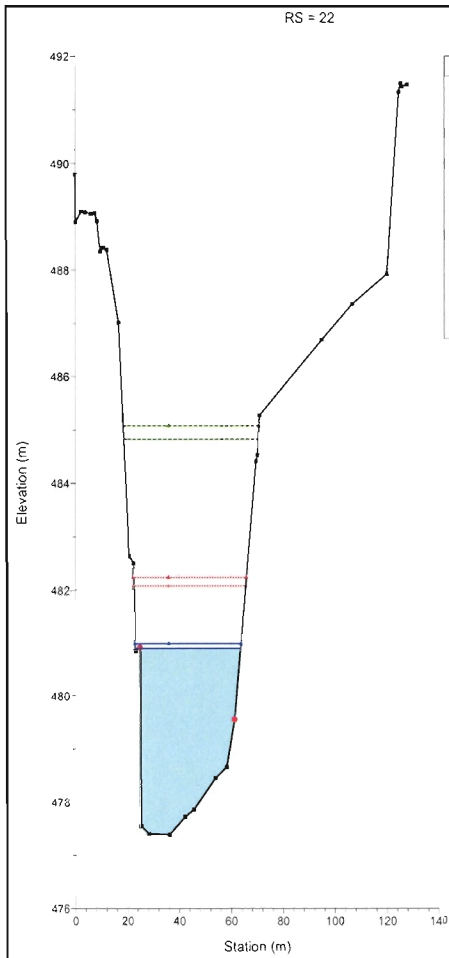
Studio idraulico Fiume Isarco - Relazione idraulica

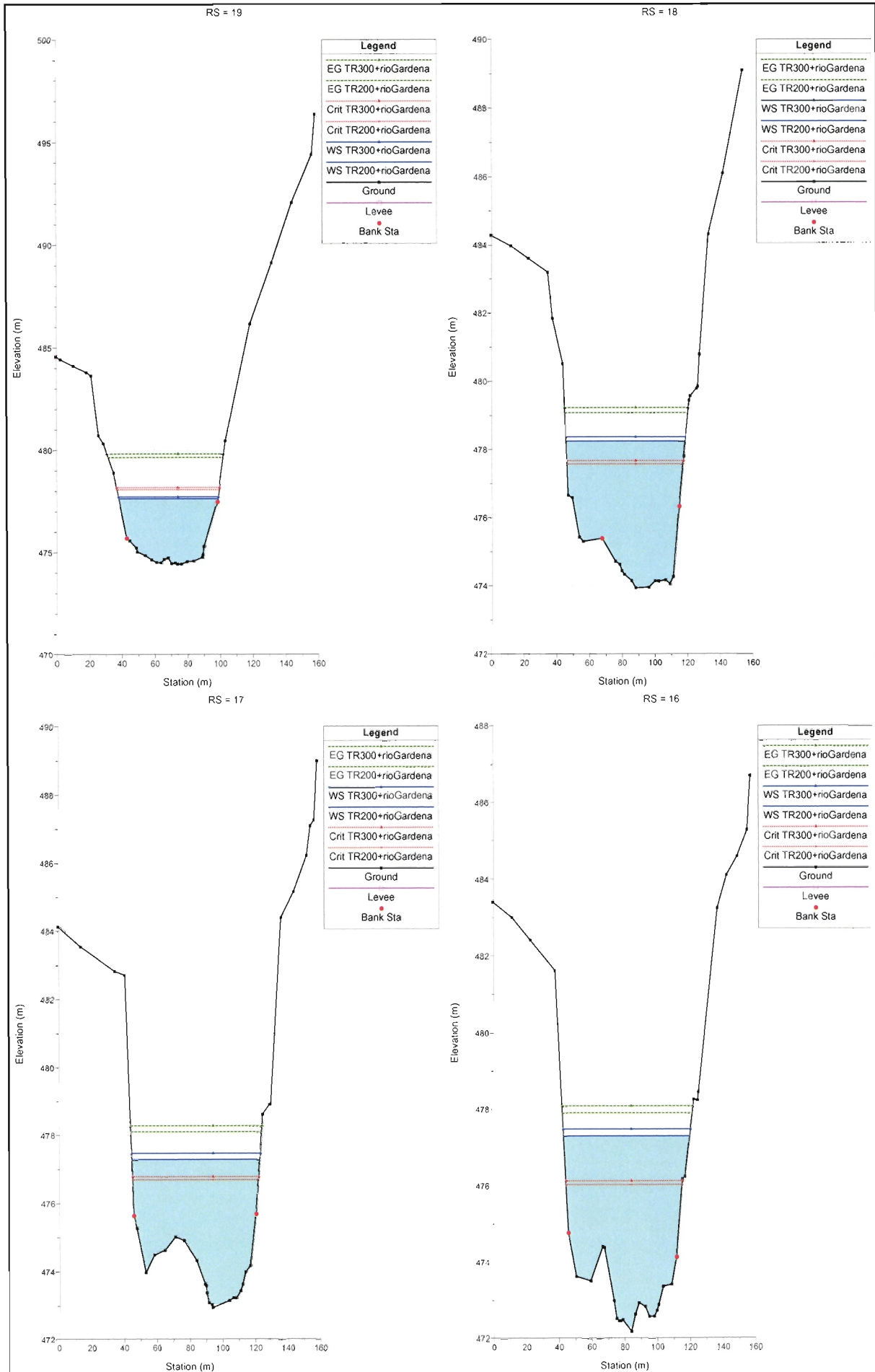
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBL1	10	D 11 RI	ID 10 02 001	A	35 di 37

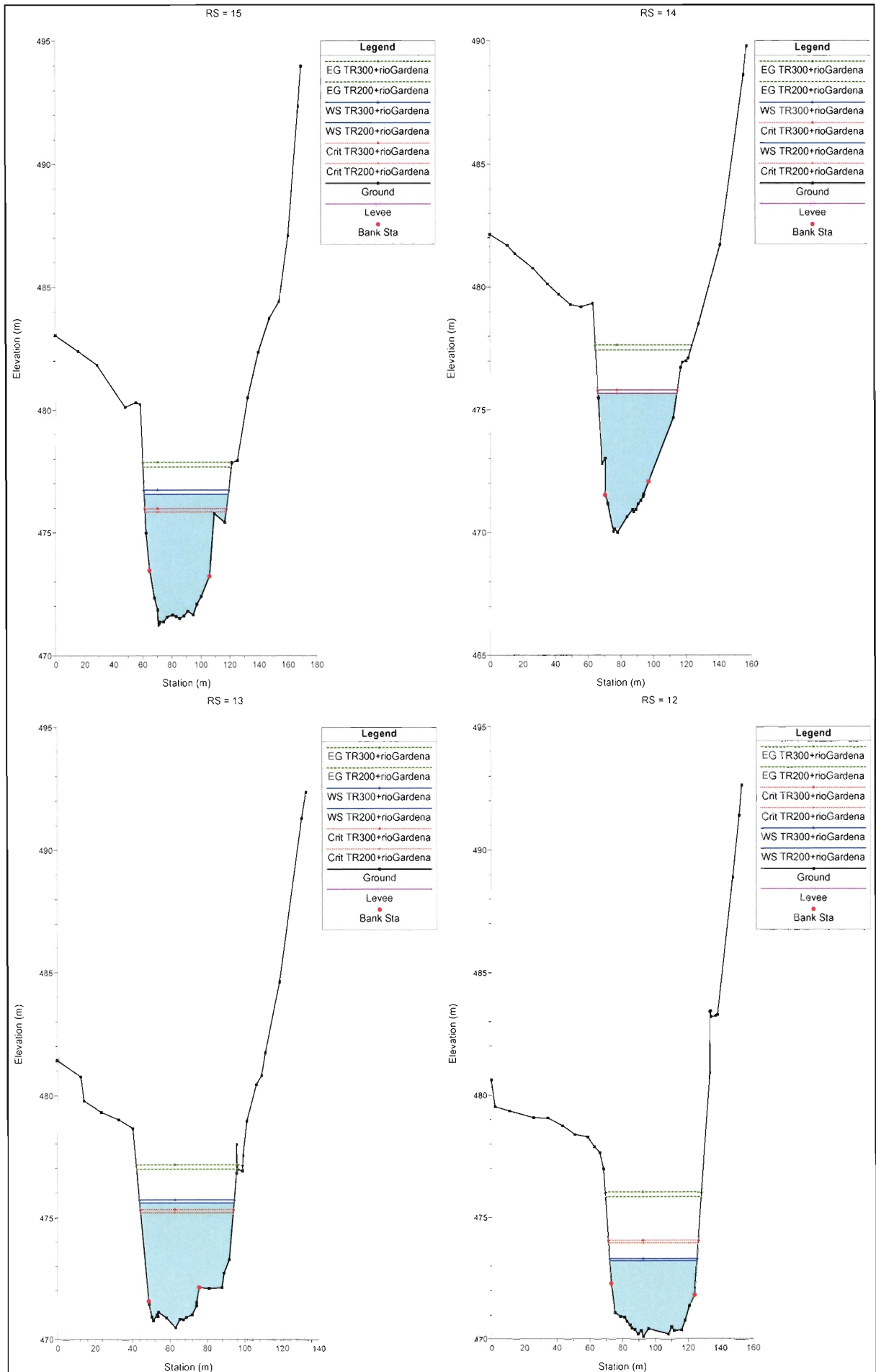
## APPENDICE B – RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE RELATIVE ALLO STATO DI FATTO

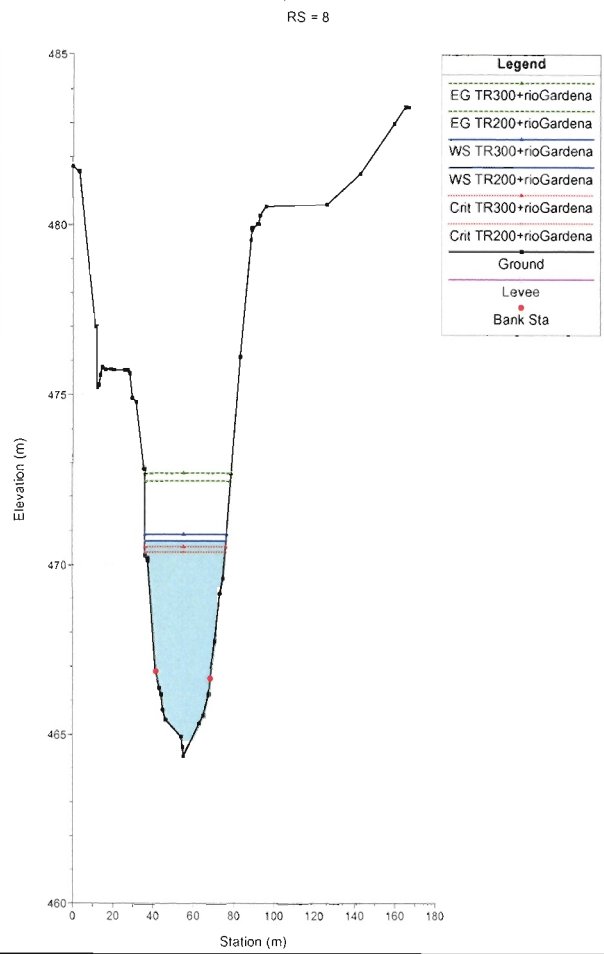
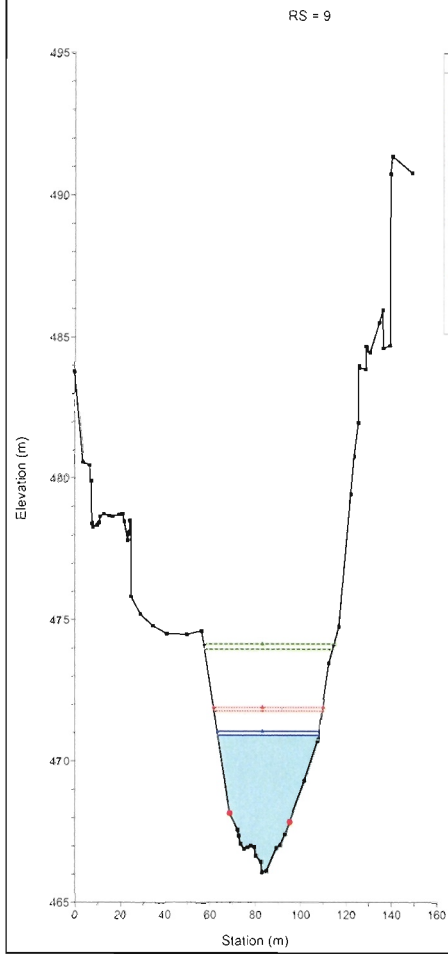
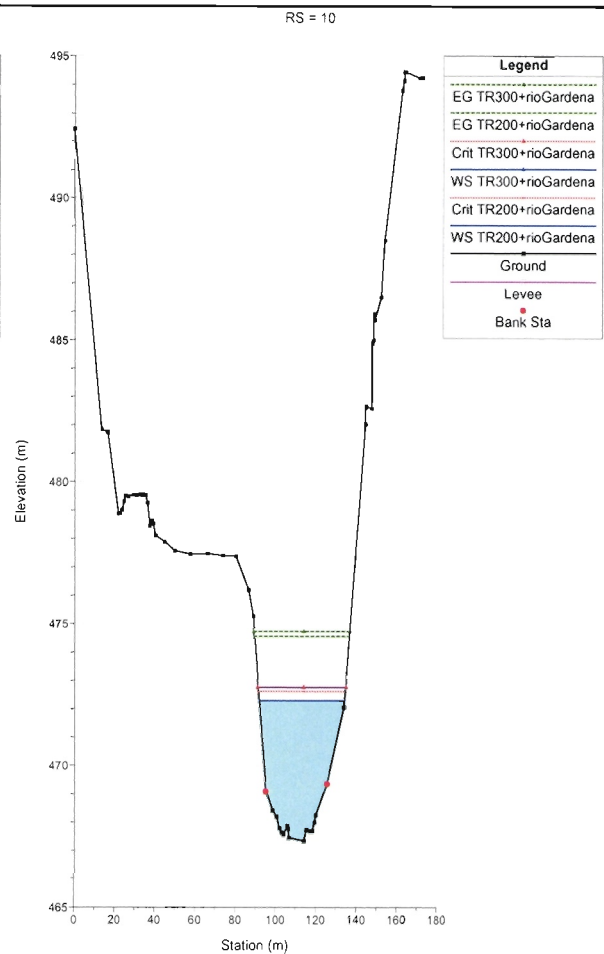
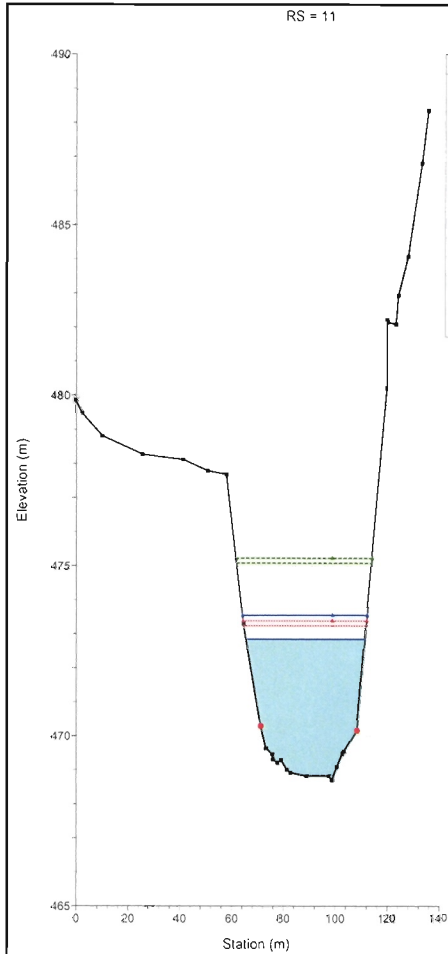


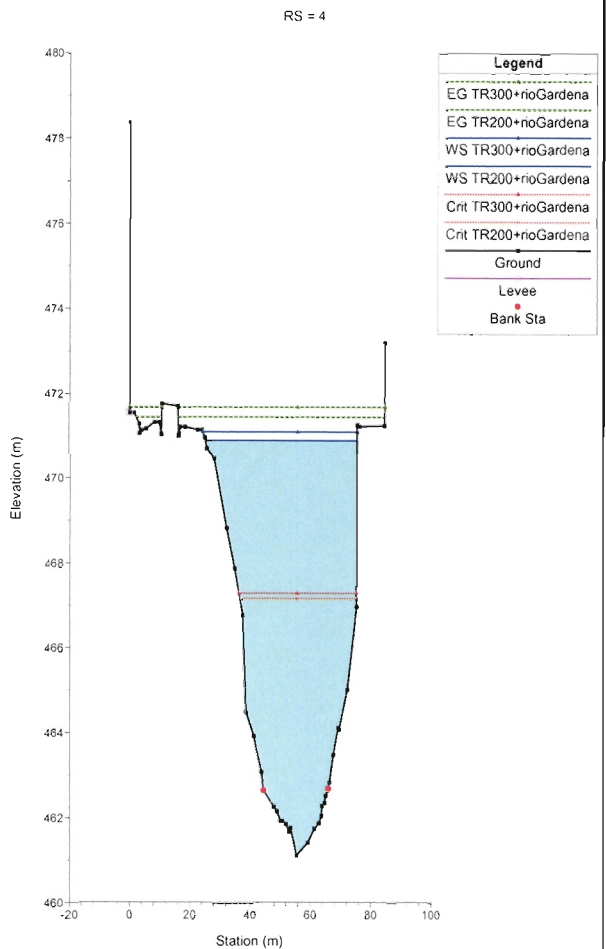
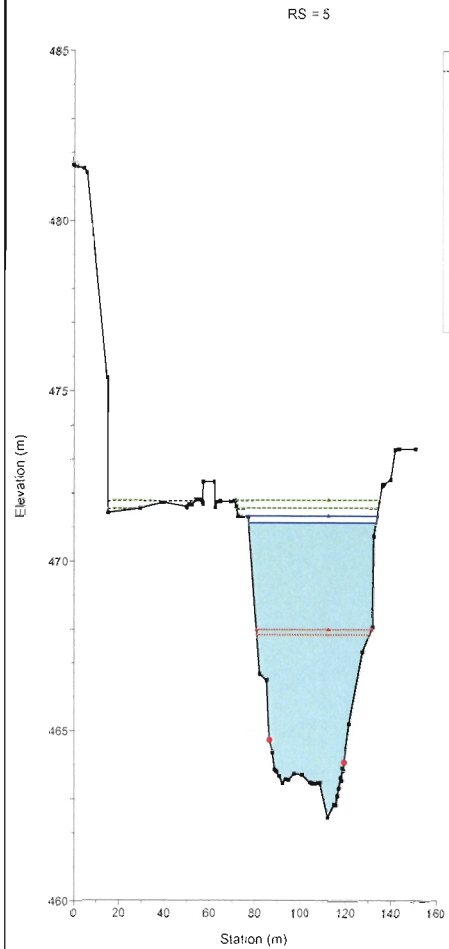
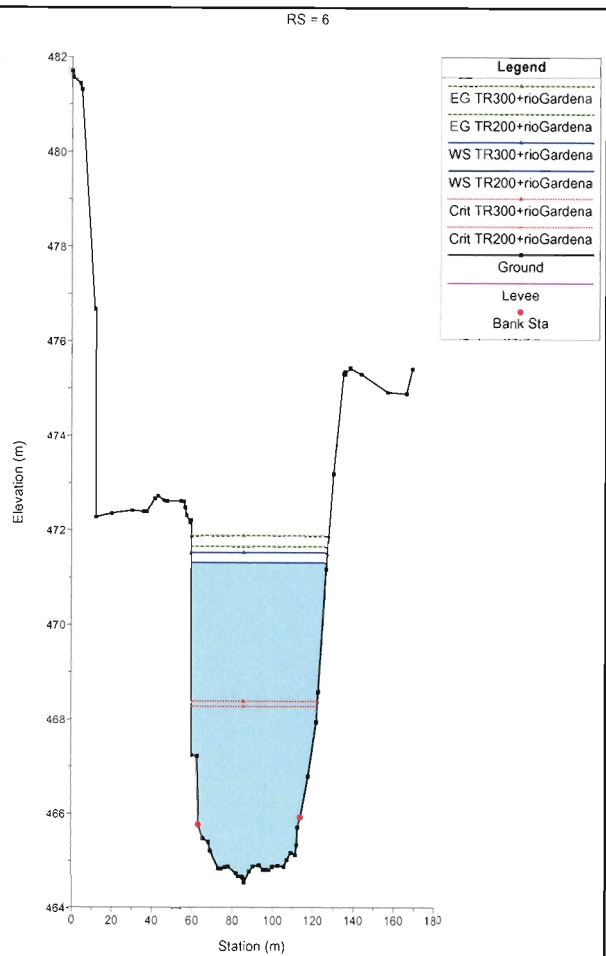
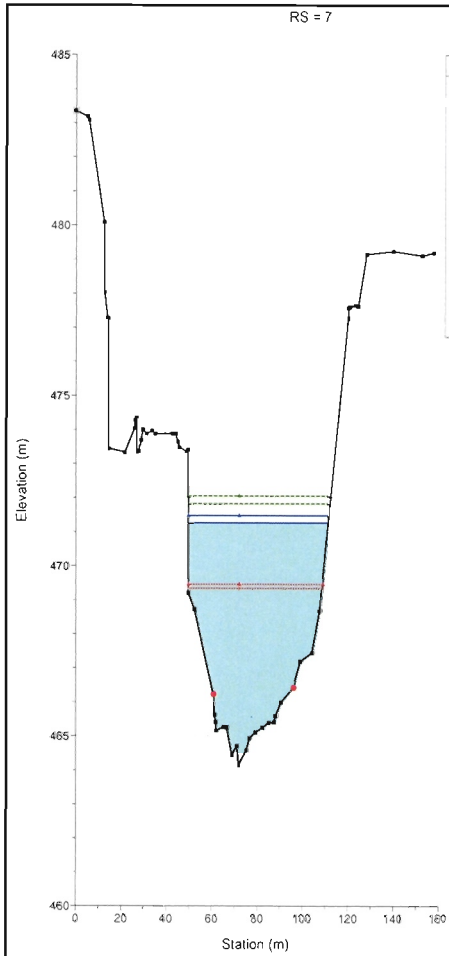




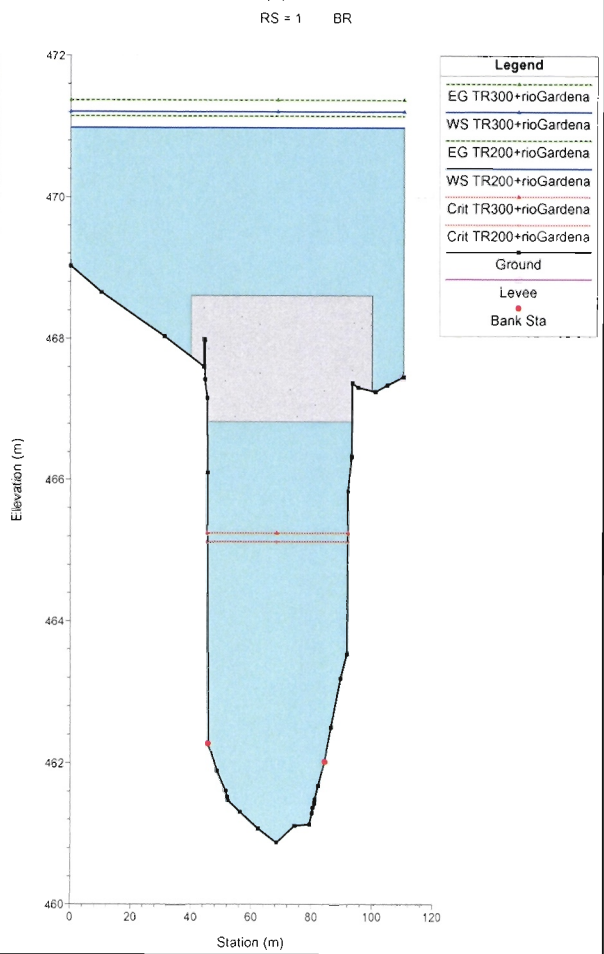
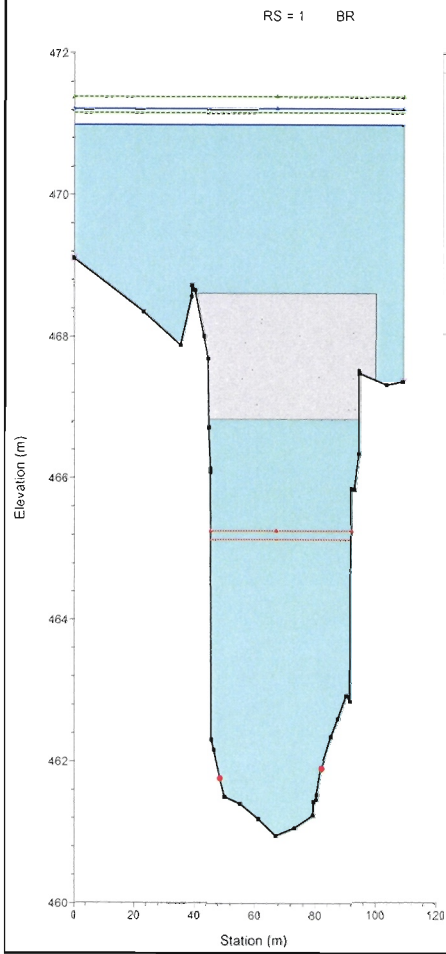
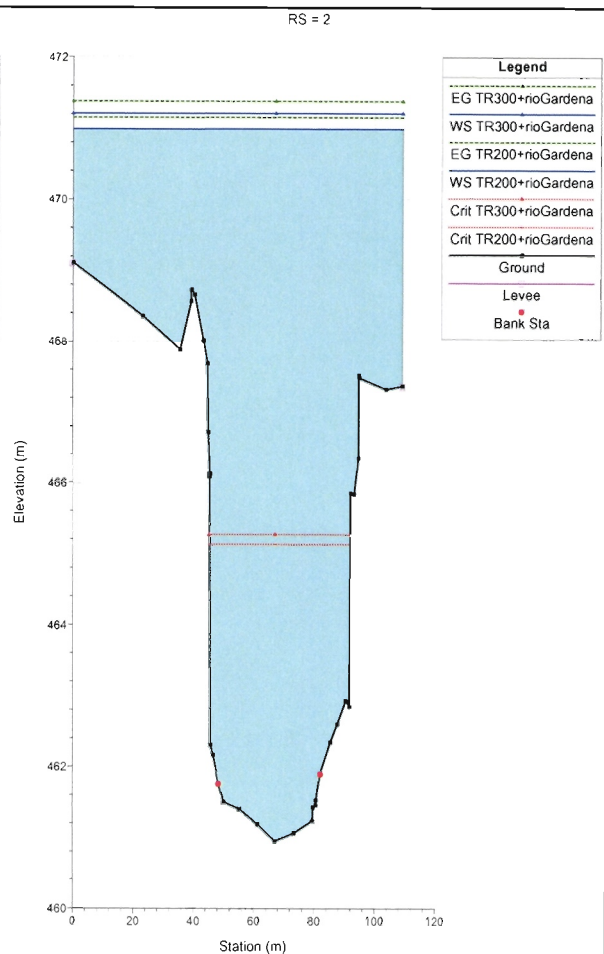
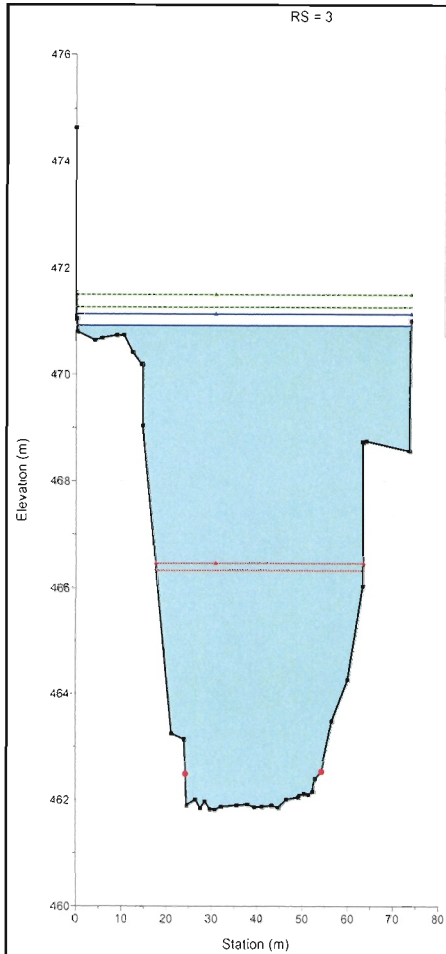


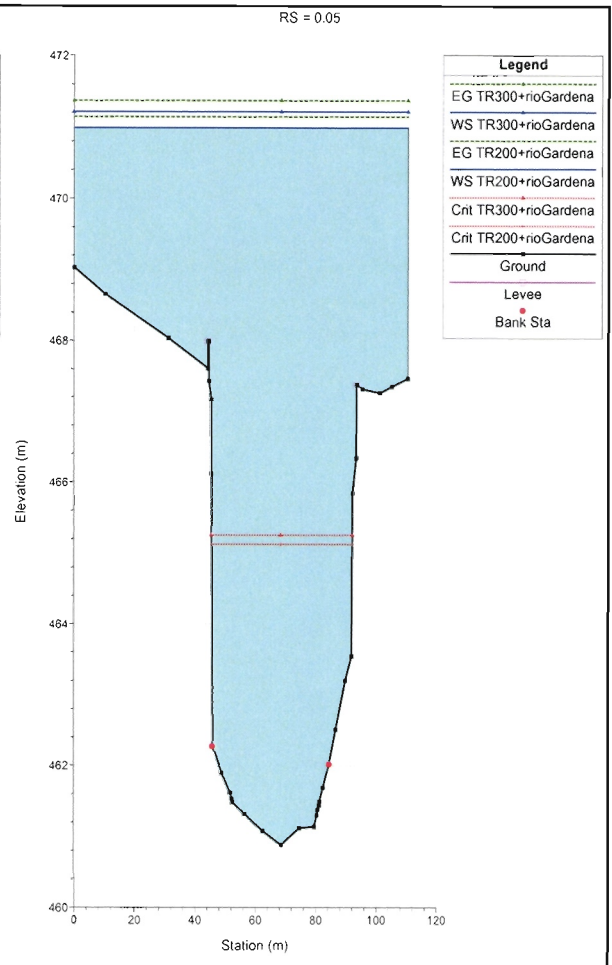
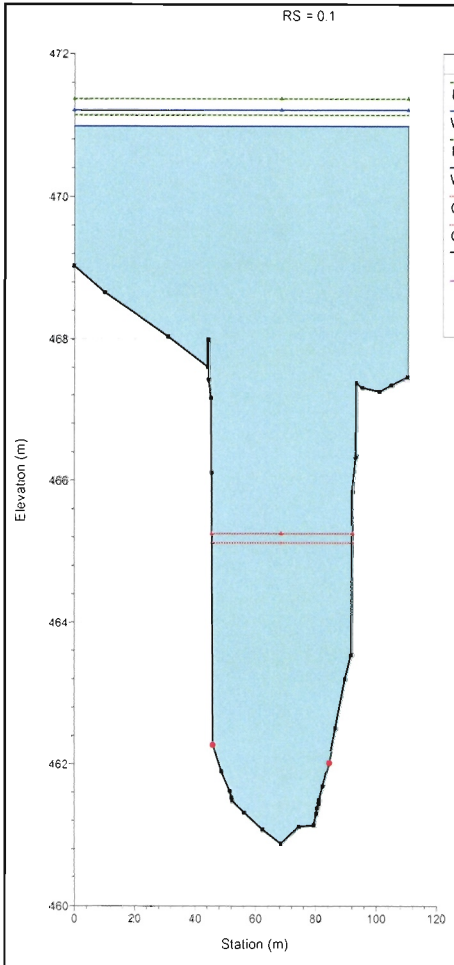












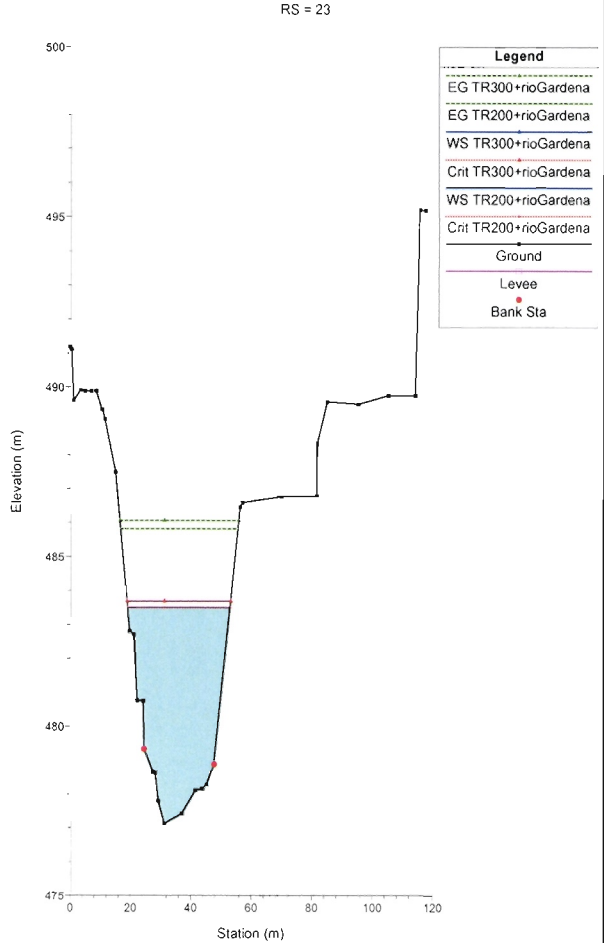
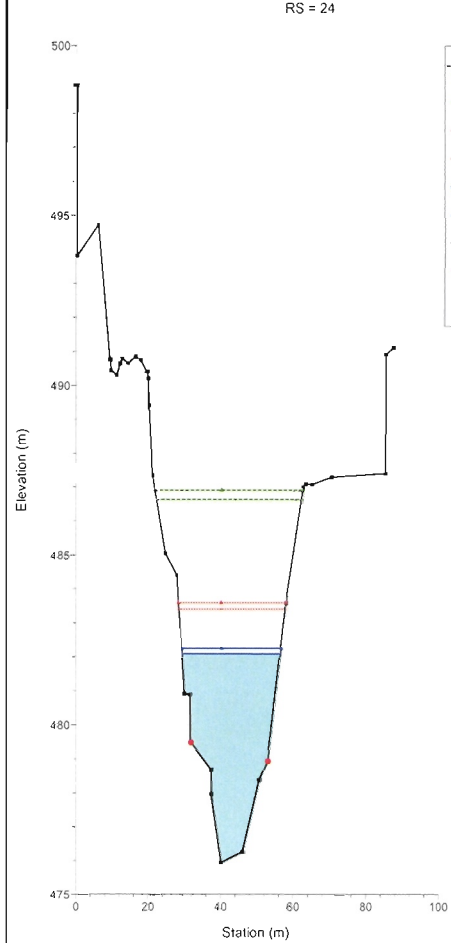
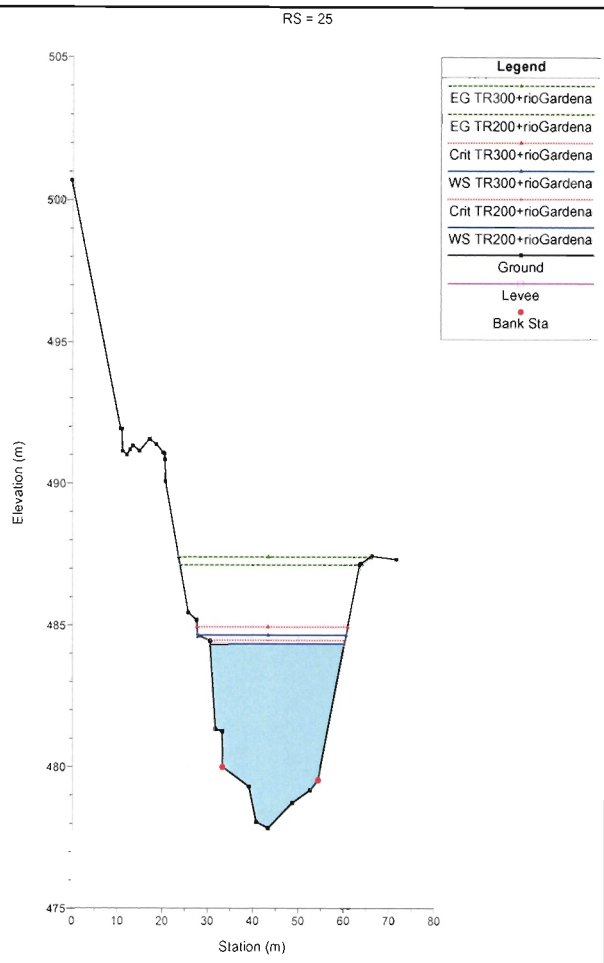
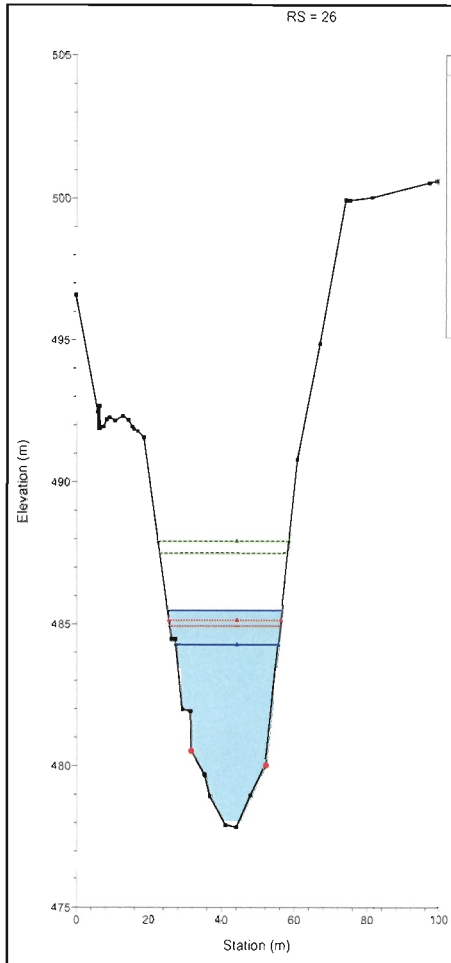


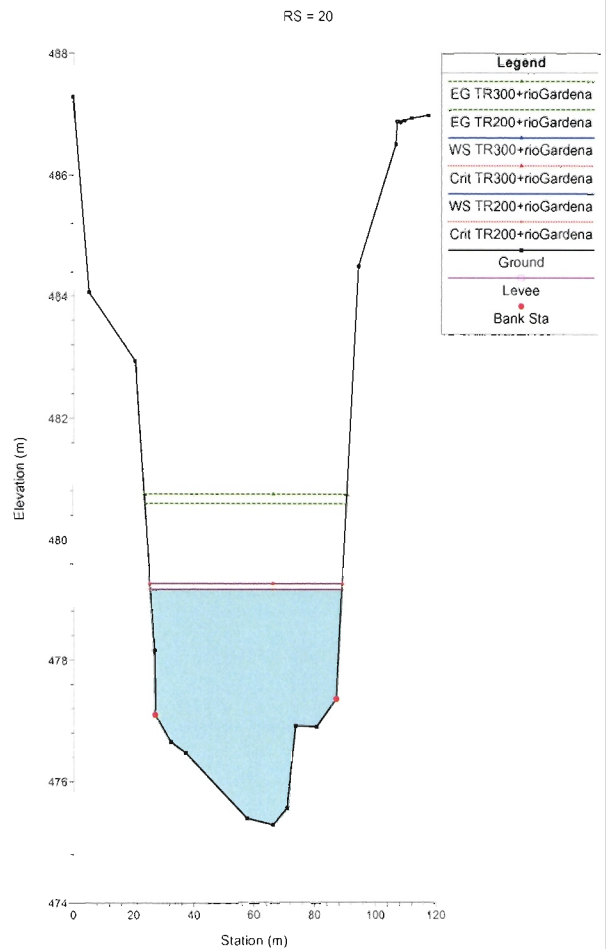
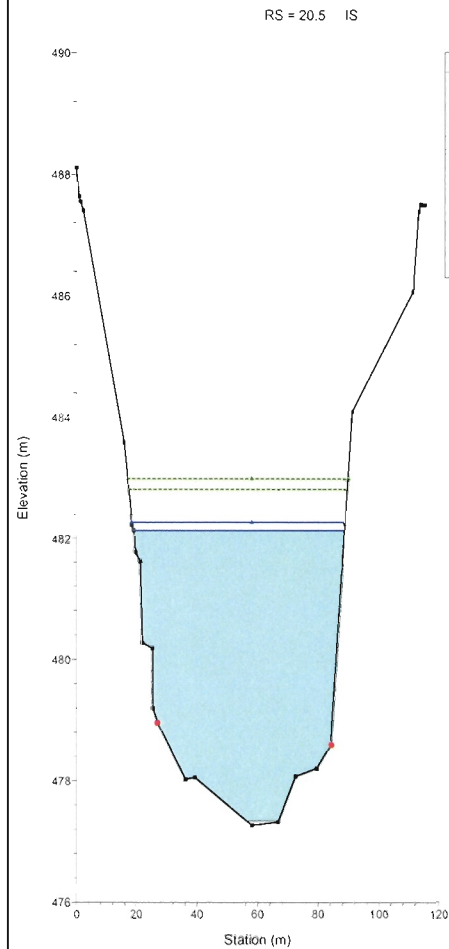
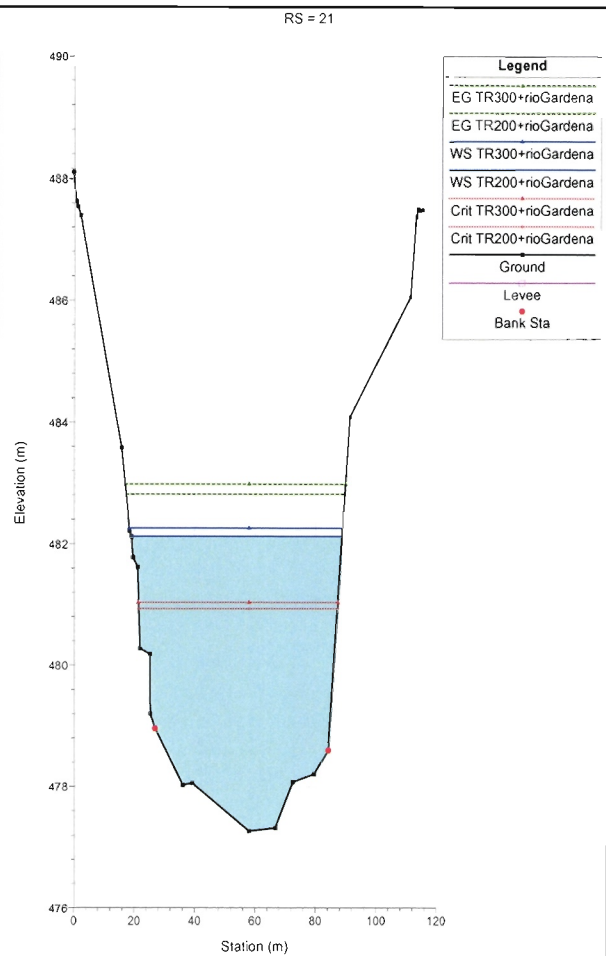
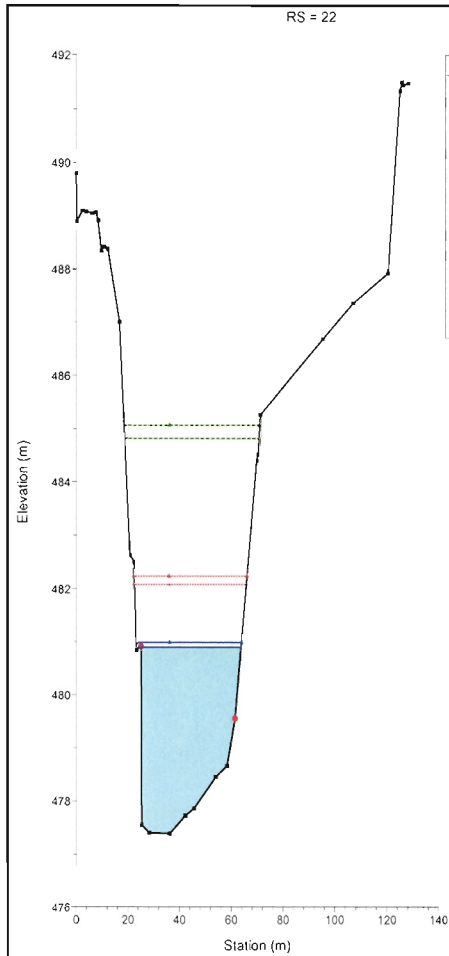
QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA  
ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO  
QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA  
LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA

Studio idraulico Fiume Isarco - Relazione idraulica

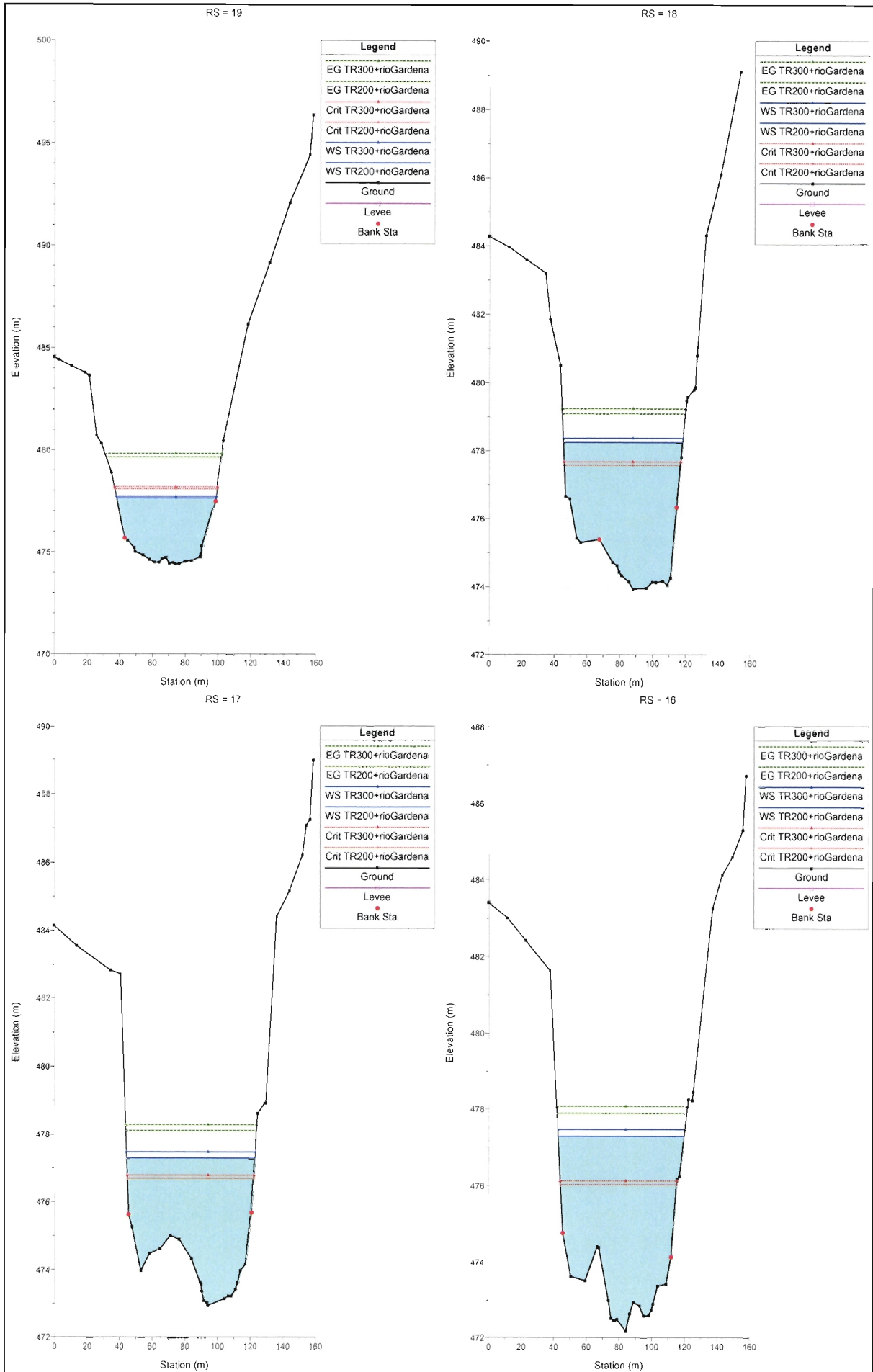
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBL1	10	D 11 RI	ID 10 02 001	A	36 di 37

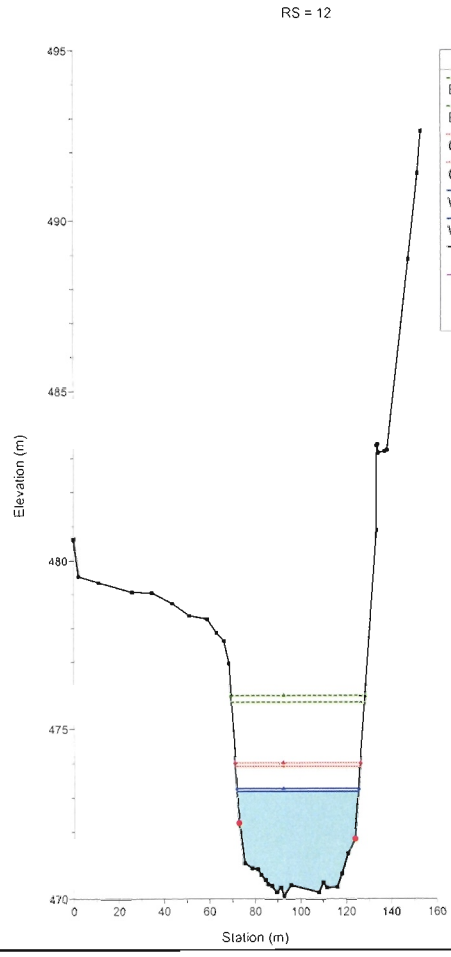
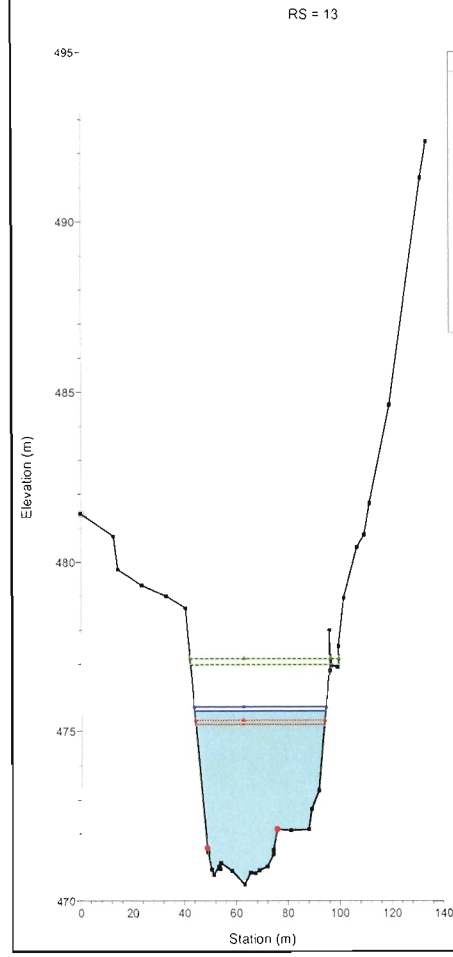
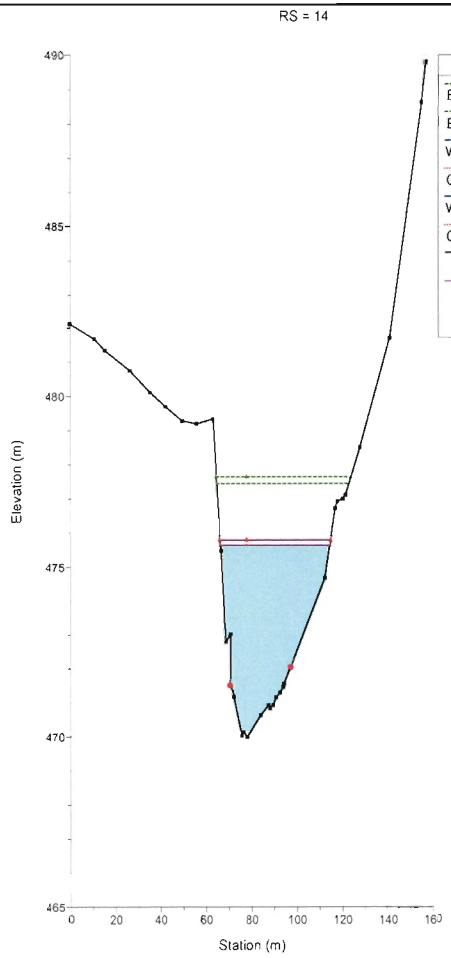
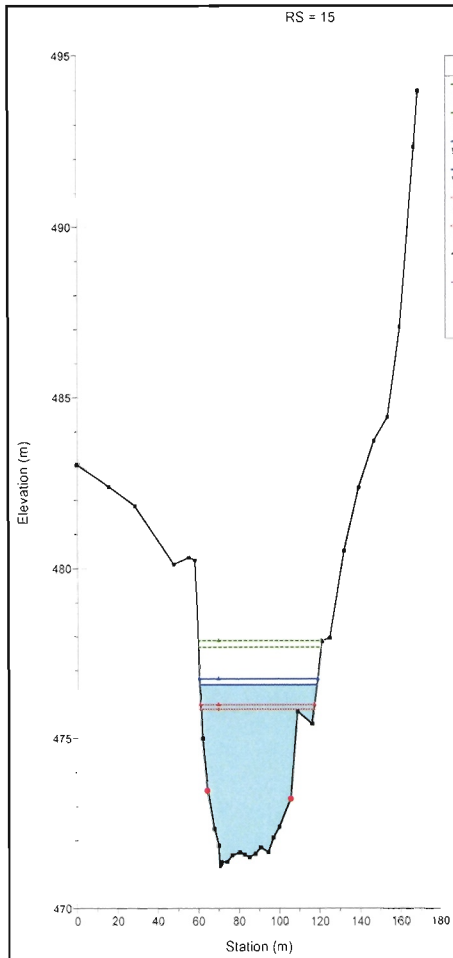
## APPENDICE C - RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE RELATIVE ALLO STATO DI PROGETTO

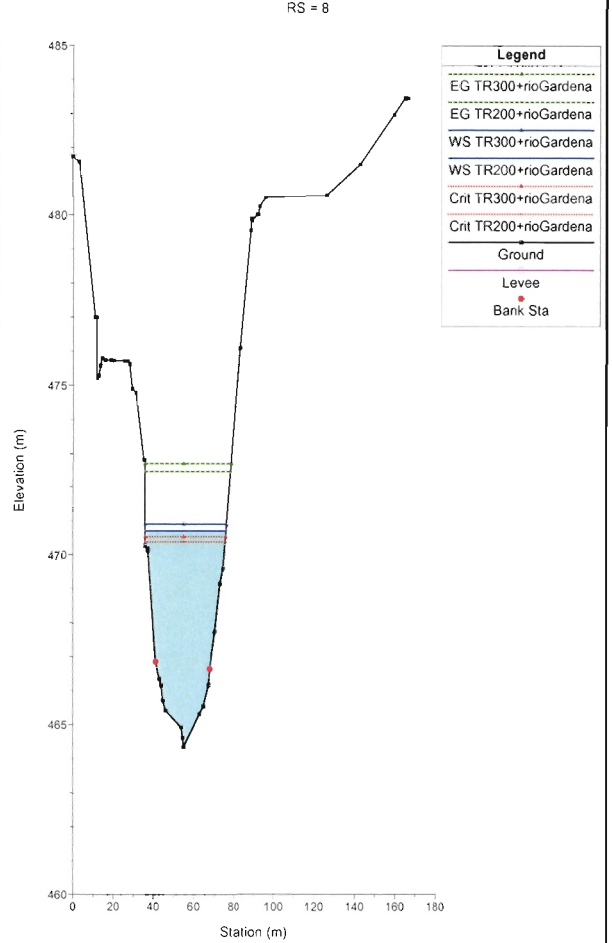
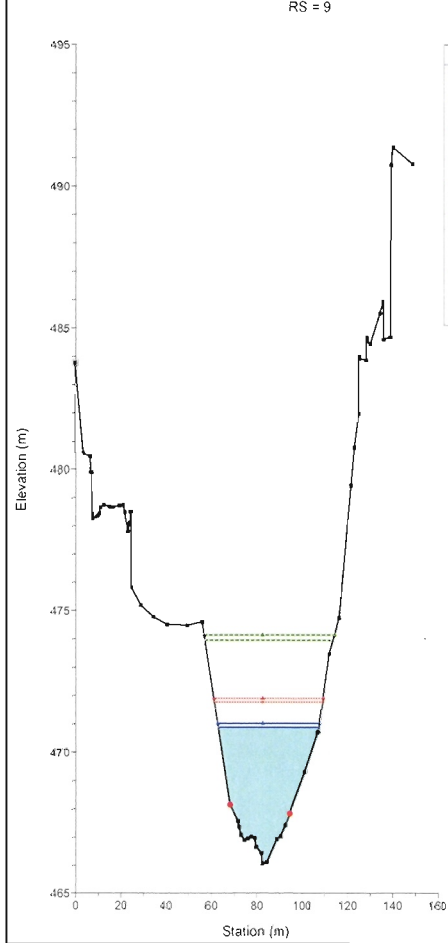
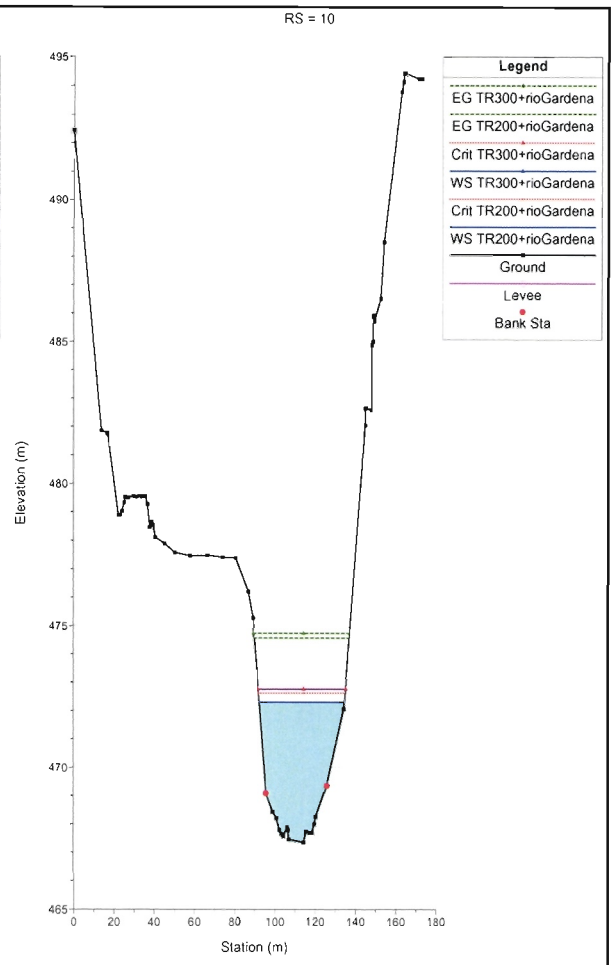
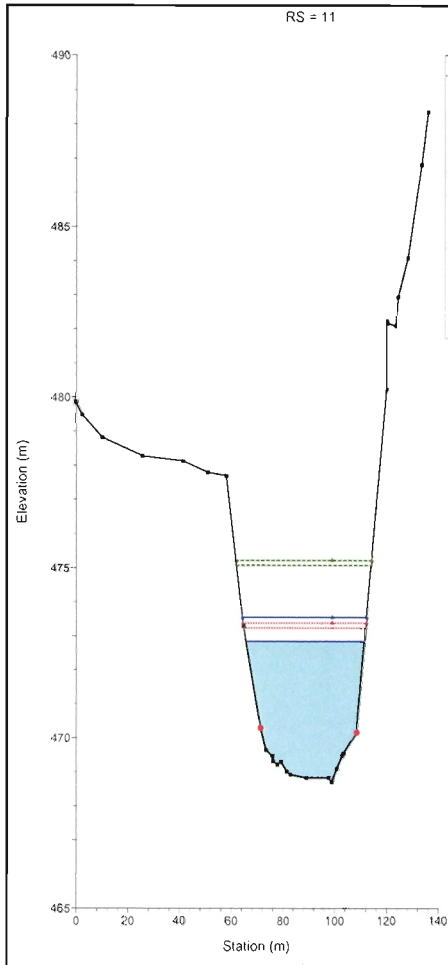


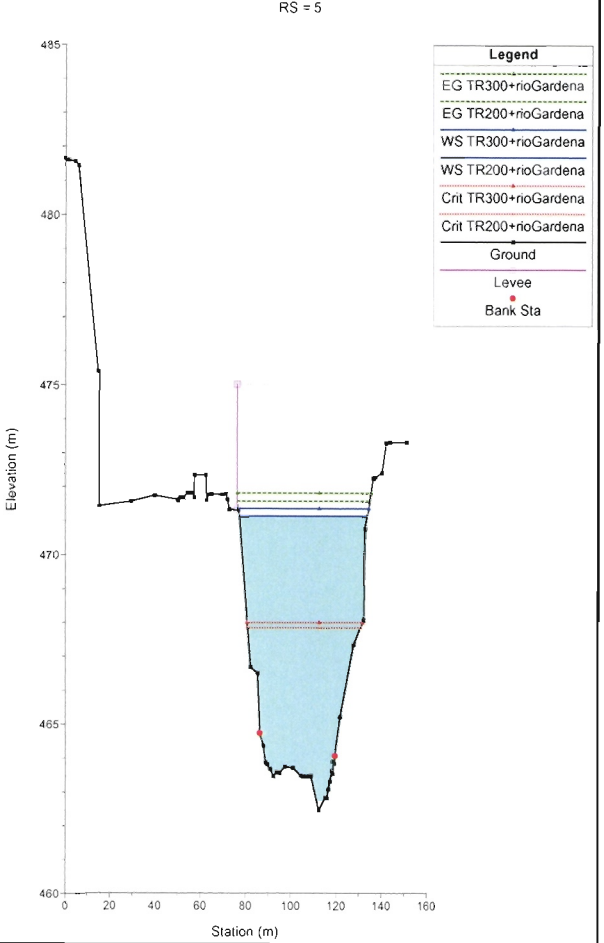
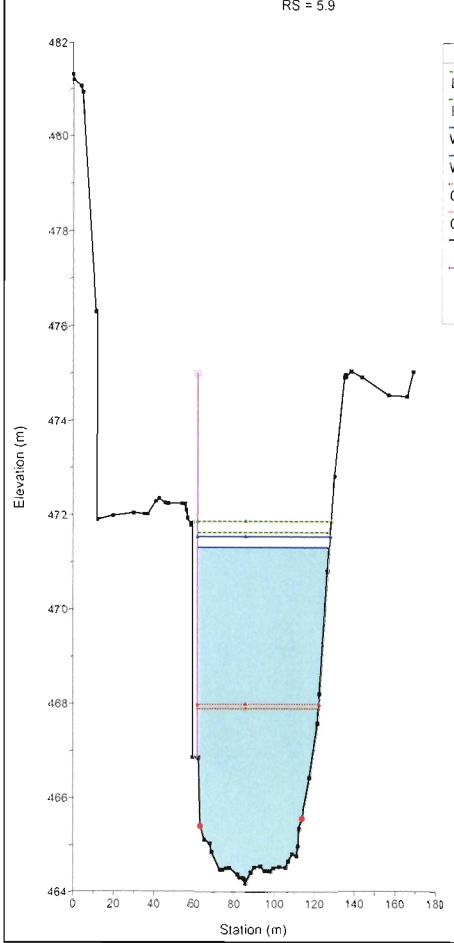
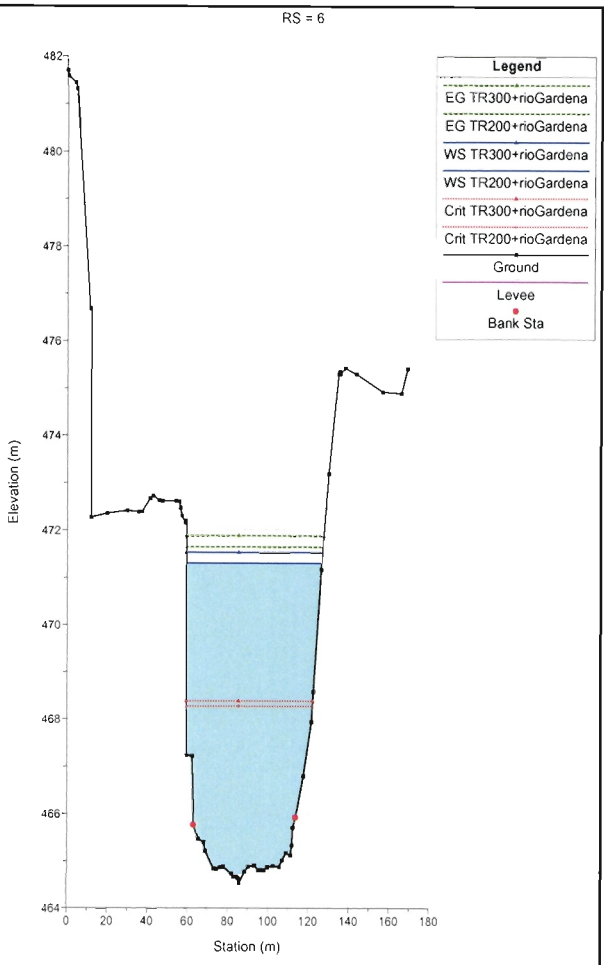
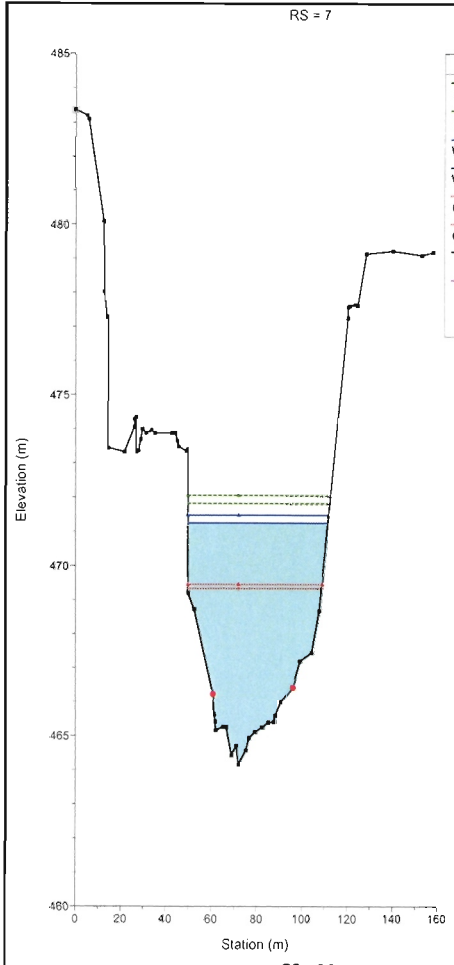


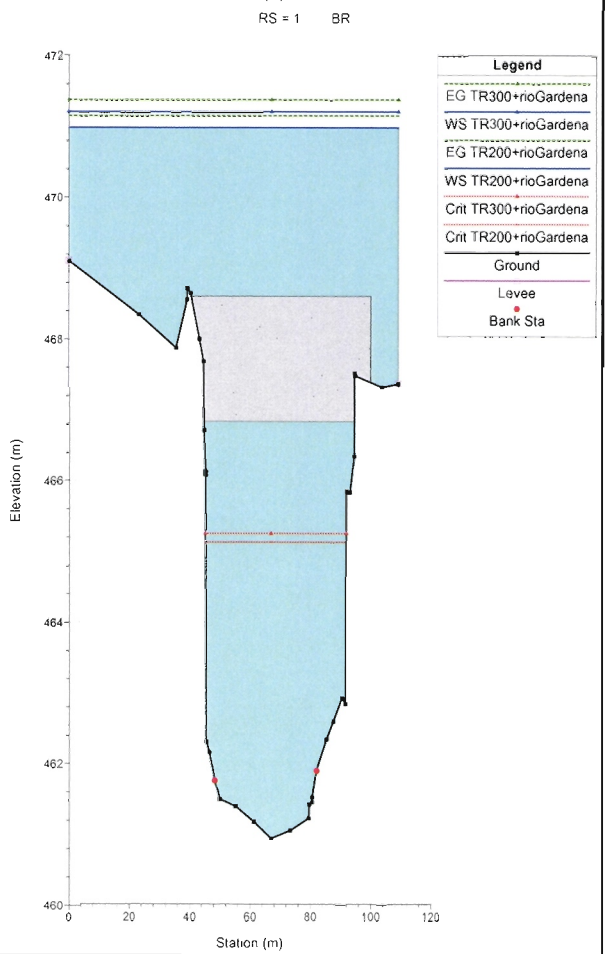
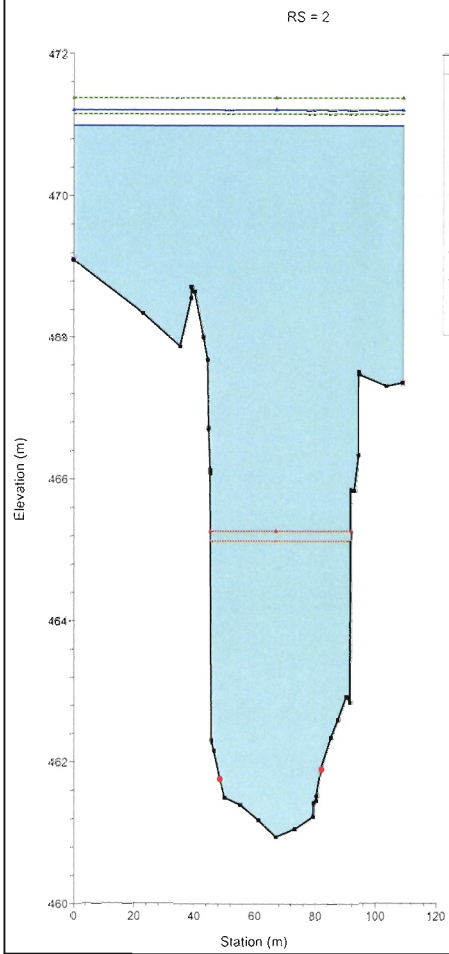
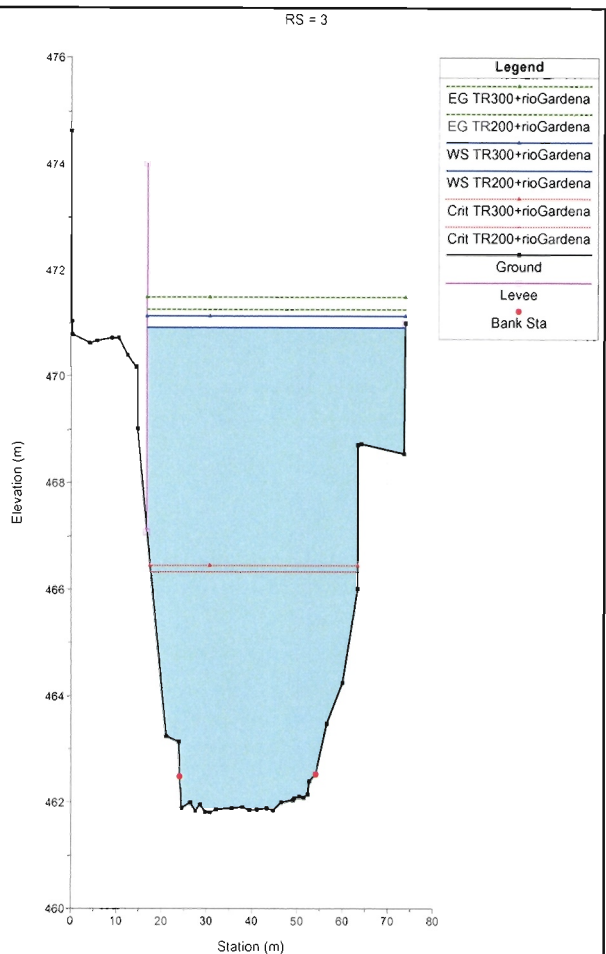
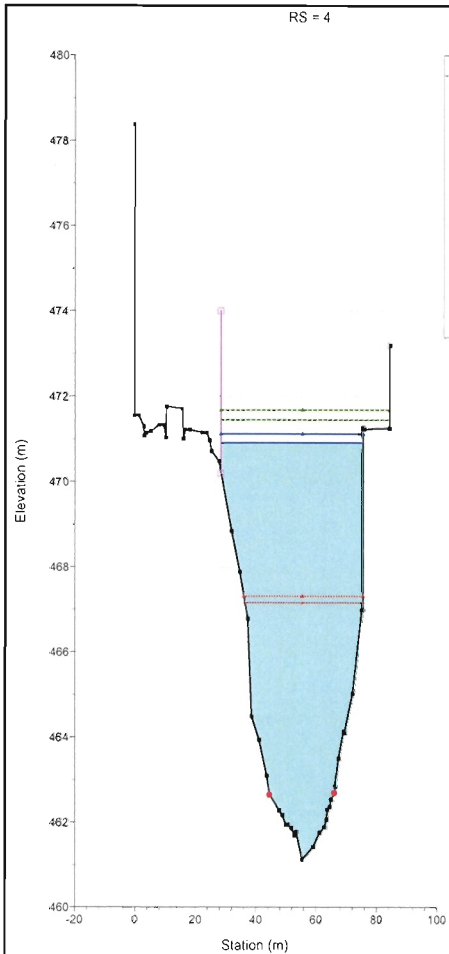




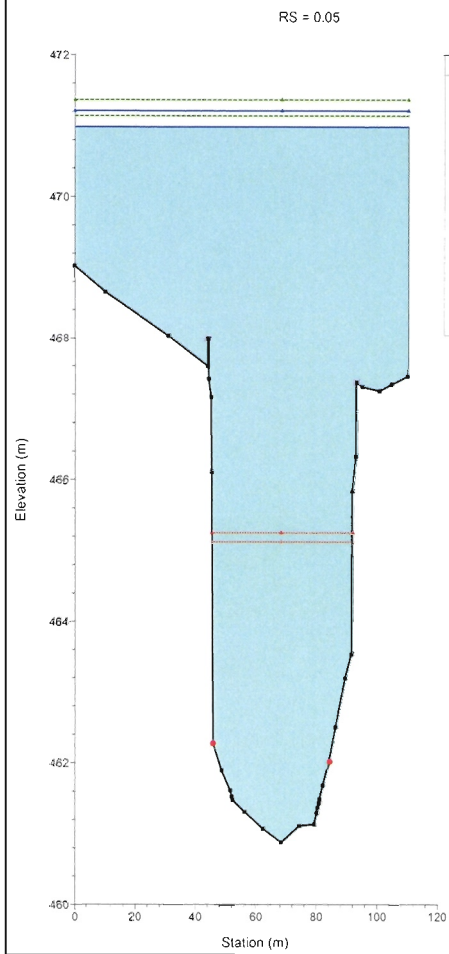
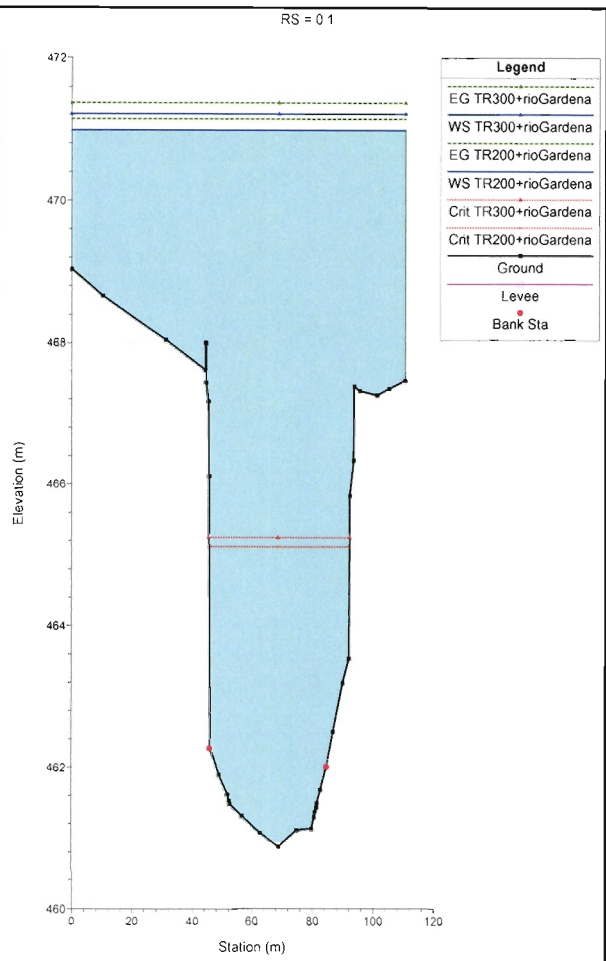
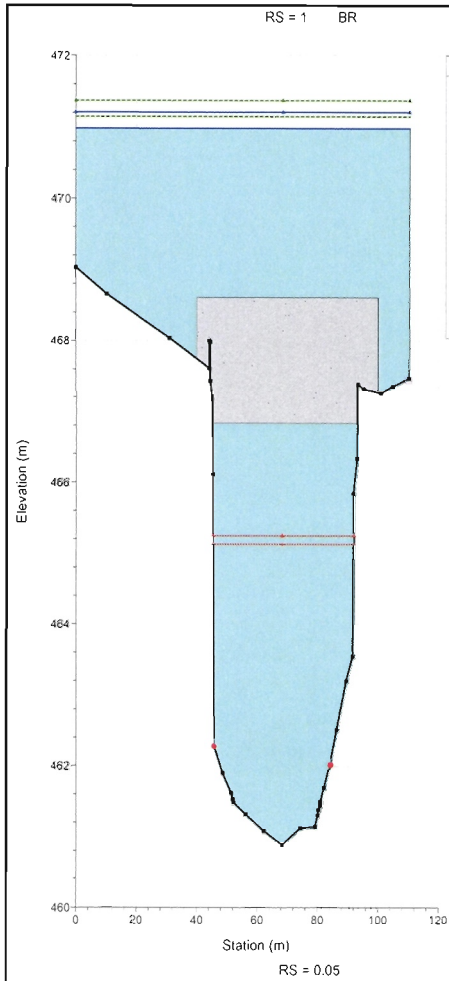














QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA  
ACCESSO SUD ALLA GALLERIA DI BASE DEL BRENNERO  
QUADRUPPLICAMENTO DELLA LINEA FORTEZZA - VERONA  
LOTTO 1: FORTEZZA – PONTE GARDENA

Studio idraulico Fiume Isarco - Relazione idraulica

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IBL1	10	D 11 RI	ID 10 02 001	A	37 di 37