

## 2 – Studi idraulici preesistenti

COMUNE DI SAMBUCA PISTOIESE

**CONSORZIO DELLA BONIFICA RENO PALATA  
BOLOGNA**

***Realizzazione aree di sosta nel paese di Monachino  
e passerella pedonale***

nei comuni di Sambuca Pistoiese (PT) e Cantagallo (PO)

*PROGETTO ESECUTIVO*

**5. Relazione idrologica - idraulica**

## **SOMMARIO**

<b>1. Premessa</b>	p.3
<b>2. Inquadramento territoriale e cenni sul bacino idrografico</b>	p.3
<b>3. Descrizione dell'intervento</b>	p.3
<b>4. Idrologia delle piene</b>	p.4
4.1. Stima delle piogge – curve segnalatrici di possibilità climatica	p.4
4.2. Riduzioni delle altezze di pioggia con l'area del bacino	p.6
4.3. Stima del tempo di corrivazione	p.6
4.4. Coefficiente di deflusso	p.6
4.5. Stima della portata	p.6
<b>5. Verifiche idrauliche</b>	p.8
5.1 Analisi delle tendenze evolutive del fondo alveo	p.8
<b>6. Allegati</b>	p.9

## 1. Premessa

Nella presente relazione sono descritti e raccolti tutti i calcoli e le valutazioni eseguite nella redazione del progetto, finalizzati al corretto posizionamento e dimensionamento delle opere in funzione della piovosità dell'area e delle caratteristiche idrauliche del corso d'acqua oggetto di intervento.

## 2. Inquadramento territoriale e cenni sul bacino idrografico

L'intervento in oggetto interessa l'alto corso del torrente Limentra di Treppio (o Limentra Orientale), importante affluente di destra del Fiume Reno, in località Monachino in comune di Sambuca Pistoiese (PT).

L'origine del torrente è sul crinale appenninico in corrispondenza del monte La Croce (quota 1314 m), l'asta vera e propria inizia nei pressi della località Chiesa del Monachino (quota 700 m) ed ha uno sviluppo, fino alla confluenza nel fiume Reno a Riola di Vergato (quota 235m), di 28 km; la pendenza media risulta pertanto del 1.66 %.

In corrispondenza della passerella in progetto (quota di fondo 702.80 m.s.l.m.), la lunghezza del corso d'acqua è di 6.6 km, il bacino idrografico è di 12.20 Km<sup>2</sup> e la pendenza media del fondo alveo è circa pari al 5.9%.

## 3. Descrizione dell'intervento

I lavori consisteranno nella realizzazione di una nuova passerella pedonale per il collegamento della sentieristica ricadente nei boschi dell'Acquerino con i terreni posti in destra idraulica ed in particolare con una ampia terrazza fluviale utilizzata per scopi ricreativi e turistici.

La nuova ipotesi prevede la realizzazione di una passerella pedonale molto snella, tipologicamente una struttura a telaio, articolata a tre campate appoggiate su due pilastri in alveo ed esternamente su due plinti in c.a. completamente interrati.

La larghezza della struttura è pari a 1.4 metri circa, le travi portanti sono costituite da profilati IPE 220.

Le campate esterne sono previste con pendenza del 10% circa, per un migliore raccordo con le scarpate fluviali, mentre i parapetti, tipologicamente simili alle staccionate previste sui sentieri di accesso (croce di S. Andrea), saranno costituiti da elementi portanti in acciaio rivestiti esternamente in legno.

Si prevede il posizionamento della campata centrale alla quota di 705.70 m (sottotrave).

## 4. Idrologia delle piene

### 4.1. Stima delle piogge – curve segnalatrici di possibilità climatica

Le "curve segnalatrici di possibilità climatica" sono relazioni funzionali che correlano (per ciascun tempo di ritorno) l'altezza di pioggia  $h$  (mm) alla durata  $t$  (ore) del tipo:

$$h(t) = a t^n \quad (2)$$

ove  $a$  ed  $n$  sono parametri stimati mediante interpolazione dei punti  $(t, h)_{T_r}$  in un diagramma in scala logaritmica.

Nei calcoli idrologici per la stima della portata del torrente Limentra di Treppio si è utilizzata la curva di possibilità climatica con **200 anni** di tempo di ritorno dedotte dalla "La regionalizzazione delle piogge intense mediante il modello TCEV. - Una applicazione alla regione Romagna-Marche." di M. Franchini e G. Galeati.

Dalla carta delle isolinee della media delle precipitazioni massime (riportate nelle pagine seguenti) risulta, per la zona di Monachino una pioggia oraria ( $m_1$ ) di 30 mm e una pioggia giornaliera ( $m_g$ ) di 115 mm.

Il valore della pioggia indice  $hmt$ , per una generica durata di pioggia  $t$  si ottiene dall'espressione:

$$h_{m1} = m_1 \cdot t^{(\ln(mg) + 0.115 - \ln(m_1)) / 3.178}$$

La stima della precipitazione di durata 1 ora in funzione del tempo di ritorno  $T_r$  si ottiene moltiplicando il valore adimensionale dedotto dalla curva di crescita  $X'(T_r)$  per la pioggia indice  $h_{m1}$ :

$$h_{T_r} = h_{m1} \cdot X'$$

L'espressione della curva di crescita, in funzione del tempo di ritorno, per la zona interessata è data da:

$$X' = 0,73774 + 0,33389 \cdot \ln(T_r) = 2,507$$

Assumendo  $T_r = 200$  anni risulta:

$$X' = 2,507$$

$$h_{200}(1) = 75,20 \text{ mm}$$

Ripetendo la procedura per piogge di diverse durate (3, 6, 12, 24 ore) ed operando una regressione lineare dei valori logaritmici delle altezze di pioggia sui logaritmi delle durate degli eventi stessi, si ottengono i parametri  $a$  ed  $n$  della curva segnalatrice di possibilità climatica dell'area in oggetto per il tempo di ritorno fissato:

Nel presente studio idrologico sono state calcolate le curve segnalatrici per tempi di ritorno di 2, 30 e 200 anni, che risultano:

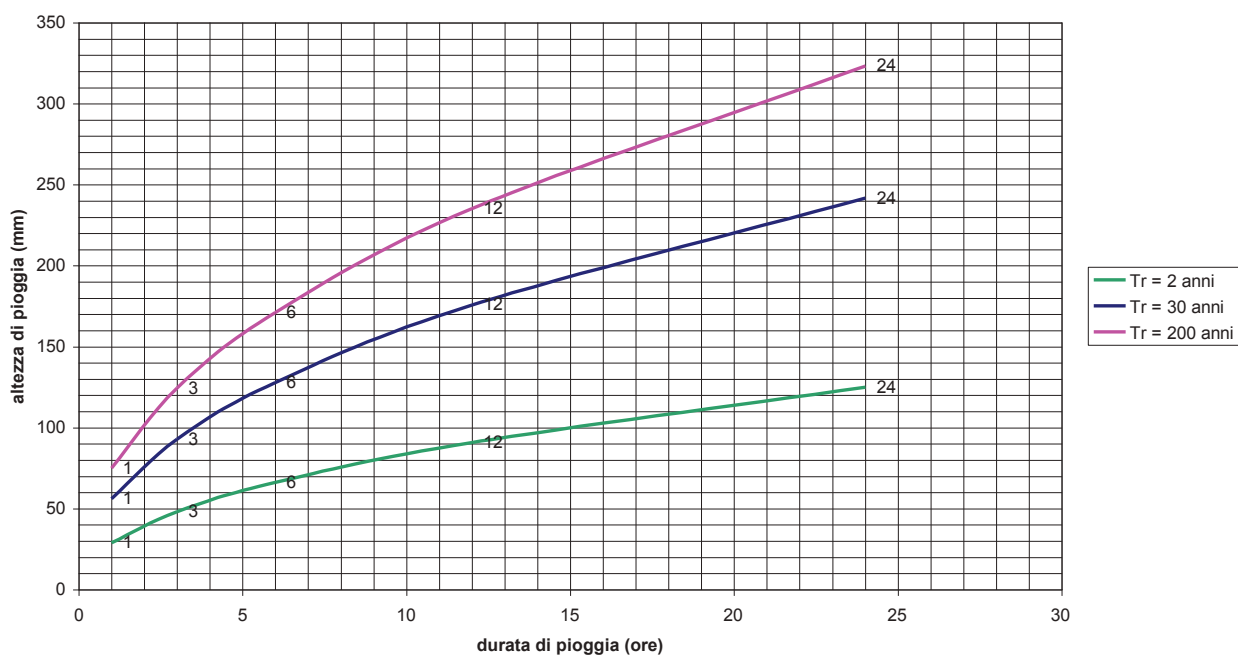
$$h_2 = 29,08 t^{0.46} \text{ (mm) - } T_r = 2 \text{ anni}$$

$$h_{30} = 56,20 t^{0.46} \text{ (mm) - } T_r = 30 \text{ anni}$$

$$h_{200} = 75,20 t^{0.46} \text{ (mm) - } T_r = 200 \text{ anni - ove } h \text{ è espresso in mm e } t \text{ espresso in ore.}$$

Stima delle piogge basata sul modello TCEV							
tratto dal Rapporto Regionale Emilia Romagna e Marche							
$m_1 =$	30	media delle precipitazioni massime di 1 ora (vedi carta)					
$m_G =$	115	media delle precipitazioni massime giornaliere (vedi carta)					
$m_t =$	30.00	pioggia indice					
$t =$	1	durata di pioggia (pari al t.corr. in ore)					
$T =$	200	tempo di ritorno (anni)					
$x^1(T) =$	2.859	variabile adim.per assegnato tempo di ritorno - ZONA EST - d = 1-24 ore					
$x^1(T) =$	2.507	variabile adim.per assegnato tempo di ritorno - ZONA OVEST - d = 1-3 ore					
$x^1(T) =$	2.282	variabile adim.per assegnato tempo di ritorno - ZONA OVEST - d = 6-24 ore					
$h_T(t) =$	75.20	pioggia non ragguagliata					
Calcolo dei parametri a ed n							
d	1	3	6	12	24		
ln(d)	0.000	1.099	1.792	2.485	3.178		
$h_T(t) =$	29.08	48.14	66.18	90.97	125.04	T =	2 anni
$h_T(t) =$	56.2	93.06	127.92	175.83	241.7	T =	30 anni
$h_T(t) =$	75.2	124.52	171.17	235.29	323.42	T =	200 anni
ln(h)	3.370050653	3.874113	4.192378	4.51053	4.828634	T =	2 anni
ln(h)	4.028916757	4.533244	4.851405	5.169518	5.487697	T =	30 anni
ln(h)	4.320151231	4.824466	5.142657	5.460819	5.778952	T =	200 anni
<b>n</b>			<b>a</b>		Tr	n	a
<b>0.458972</b>	3.369992573		<b>29.07831</b>			2	0.46 29.08
<b>0.459011</b>	4.028941318		<b>56.20138</b>			30	0.46 56.20
<b>0.459026</b>	4.320168708		<b>75.20131</b>			200	0.46 75.20

curve segnalatrici di possibilità climatica torrente Limentra di Treppio a Monachino



#### 4.2. Riduzioni delle altezze di pioggia con l'area del bacino

La curva segnalatrice ottenuta al punto precedente è relativa al centro di massimo scroscio della perturbazione. Nella presente perizia è stata utilizzata la seguente legge di variazione delle intensità di pioggia con l'area del bacino, fornita da Puppini per bacini di superficie inferiore a 1300 ha:

$$a'_2 = a (1 - 0.052 A/100 + 0.002 (A/100)^2) = 28.89 \text{ per } T_r = 2 \text{ anni}$$

$$a'_{30} = 55.85 \text{ per } T_r = 30 \text{ anni}$$

$$a'_{200} = 74.73 \text{ per } T_r = 200 \text{ anni}$$

$$n' = n + 0.0175 A/100 = 0.46 \text{ per tutti i tempi di ritorno considerati}$$

#### 4.3. Stima del tempo di corrivazione

Il tempo di corrivazione  $T_c$  di un bacino è il tempo necessario perché il bacino sia integralmente contribuente, ovvero il tempo che impiega l'acqua piovuta nel punto idraulicamente più lontano a raggiungere la sezione di sbocco.

Il tempo di corrivazione, calcolato in base a diverse espressioni, risulta variabile da 0.83 ore a 2.66 ore, con valore medio pari a 1.69 ore.

Si è ritenuto opportuno adottare, a favore di sicurezza, un valore leggermente inferiore alla media e coincidente con quello fornito dalle espressioni di Pezzoli, ovvero :

$$T_{corr} = 90 \text{ min } (=1.50 \text{ ore})$$

#### 4.4. Coefficiente di deflusso

Il coefficiente di deflusso o assorbimento  $\psi$  esprime la percentuale d'acqua piovuta che (dedotte le perdite) contribuisce al deflusso. Il coefficiente di deflusso medio del bacino è stato stimato mediante le tabelle 13.VII e 13.VIII del Manuale di Ingegneria Civile: nell'ipotesi più cautelativa si è considerato il bacino poco permeabile e il verificarsi dell'evento di piena nei mesi invernali.

In tali ipotesi il valore del coefficiente varia da 0.38 a 0.85: è stato assunto:

$$\psi = 0.55.$$

#### 4.5. Stima della portata

Per la stima delle portate di progetto, in mancanza di osservazioni idrometriche dirette, si è utilizzato il metodo cinematico (o razionale) in cui le portate sono stimate per via analitica dalle piogge secondo la seguente espressione:

$$Q \text{ (m}^3\text{/sec)} = \psi \square \square A / i_r$$

dove

$$\psi \square \square = \square \square \text{coefficiente di deflusso} = 0.55$$

$i_r = \square$  intensità di pioggia raggugiata all'area, calcolata con la linea segnalatrice per una durata pari al tempo di corrivazione del bacino (mm/sec)

A = superficie del bacino (ha)

Applicando tale formula e in virtù di quanto visto ai punti precedenti, si ottengono i seguenti valori, per i diversi tempi di ritorno considerati:

$$Q_2 = 43.29 \quad \text{m}^3\text{/sec} \quad - \text{ tempo di ritorno } T=2 \text{ anni} \quad \text{coefficiente udometrico } u = 3.55 \text{ m}^3\text{/sec/km}^2$$

$$Q_{30} = 83.66 \quad \text{m}^3\text{/sec} \quad - \text{ tempo di ritorno } T=30 \text{ anni} \quad \text{coefficiente udometrico } u = 3.8 \text{ m}^3\text{/sec/km}^2$$

$$Q_{200} = 111.95 \quad \text{m}^3\text{/sec} \quad - \text{ tempo di ritorno } T=200 \text{ anni} \quad \text{coefficiente udometrico } u = 9.2 \text{ m}^3\text{/sec/km}^2$$

Verifica bacino idrografico torrente Limentra di Treppio alla sezione di chiusura a Monachino			
<b>Caratteristiche del bacino:</b>			
Area del bacino: Ab (ha) =	1220		
Lunghezza ruscellamento a monte del rio: Lab (m) =	1000		
Lunghezza asta principale: Lbc (km) =	6.61		
Quota massima: Za (m) =	1314		
Quota inizio asta: Zb (m) =	1090		
Quota di sbocco: Zc (m) =	700		
Quota media rispetto alla sez. di chiusura: Zm (m) =	307		
Dislivello Rio: Dh (m) =	390		
Pendenza dell'asta principale: jbc (%) =	0.06		
Pendenza media dei versanti: jv (%) =	0.22		
Pendenza media dal crinale alla chiusura: jc (%) =	0.08		
Coefficiente di deflusso: k1 =	0.55		
<b>Stima del tempo di corrivazione:</b>	<b>h</b>	<b>min</b>	
To=1/3600*(Lbc*1000+Lab)/v	1.41	84.56	Viparelli
To=[4*radq (Ab/100) + 1,5*Lbc]/[ 0,8*radq (Zm)]	1.70	102.25	Giandotti
To=[(1/M/d)*radq (Ab/100) + 1,5*Lbc]/[ 0,8*radq (Zm)]	2.25	134.73	Aronica e Paltrinieri
To=0.396*Lbc/jbc^0.5*(Ab/Lbc^2*(jbc/jv)^1/2)^0.72	2.66	159.63	Tournon (da Merlo) per 30<A<170
To=6*Lbc^0.67/(Za-Zc)^0.33	2.56	153.37	Puglisi e Zanframundo
To=5.13*Lbc^0.67/(Za-Zc)^0.33	2.19	131.13	Fattorelli e Marchi
To=0.055*Lbc/jbc^0.5	1.50	89.80	Pezzoli per A<20 km2
To=0,127*(Ab/jbc)^0,5	1.83	109.57	Ventura per A<40 km2
To=0,108*(Ab/100*Lbc)^0.333/jbc^0.5	1.92	115.09	Pasini per A<40 km2
To=0.066*Lbc^0.77*(1000*Lbc/Dh)^0.385	0.84	50.40	Kirpich 1
To=0.000325*((Lab+Lbc*1000)/jc^0.5)^0.77	0.83	50.07	Kirpich 2 per 0.0051<A<0.433 km2
To=0.95*(Lbc^1.155)/(Dh^0.385)	0.85	50.77	Kirpich 3 per 0.0051<A<0.433 km2
To=0.0195*((Lab+Lbc*1000)^0.77*(jc^0.385)/0.6/60	1.39	83.45	Kirpich/Ramser
media	1.69	101.14	
<b>Tcorr. assunto =</b>	<b>1.50</b>	<b>90.00</b>	
	<b>Tr = 2 anni</b>	<b>Tr = 30 anni</b>	<b>Tr = 100 anni</b>
<b>Analisi delle piogge:</b>			
Parametri della linea segnalatrice :			
n =	0.46	0.46	0.46
a =	29.08	56.20	75.20
pioggia non ragguagliata (mm)	35.03	67.70	90.58
n' = n + 0.0175*Ab/100	0.46	0.46	0.46
a' = a*(1-0.052*Ab/100+0.002*(Ab/100)^2 =	28.89	55.85	74.73
Altezza di pioggia ragguagliata all'area: h =a'*Tc^n' =	34.83	67.33	90.09
Intensità di pioggia ragguagliata all'area: ir = a'*Tc^(n'-1)	23.22	44.89	60.06
Pioggia netta: ie (mm/h) = k1*ir =	12.77	24.69	33.03
<b>Stima della portata</b>			
Q = h*Ab/360	118.05	228.17	305.31
<b>Portata: Q (mc/sec) = k1*ir*Ab/360 =</b>	<b>43.29</b>	<b>83.66</b>	<b>111.95</b>
Coeff. udometrico: u (l/sec/ha) =	35.48	68.58	91.76
<b>Formule empiriche in funz.della Sup.</b>			
Qmax = (5+532.5/(Ab+16.2))*Ab/100	66.26	Giandotti per 2<A<940 km2 (appennino ligure)	
Qmax =(1+600/(Ab+10))*Ab/100	18.15	Scimemi per A<1000 km2	
Qmax = (2900/(Ab+90))*Ab/100	27.01	Pagliaro per 20<A<1000 km2	
Qmax = (27/((Ab/100)^(1/2)))*Ab/100	94.31	Kresnik - Valentini per bacini montani	
Qmax = (42/((Ab/100)^(1/2)))*Ab/100	146.70	EASF Svizzera	



## 5. Verifiche idrauliche

Il funzionamento idraulico del torrente Limentra di Treppio nel tratto oggetto di intervento è stato analizzato mediante impiego del programma di calcolo HEC-RAS 3.1.3 in condizioni di moto permanente.

Il profilo idraulico è stato calcolato sulla base di 3 sezioni rilevate rispettivamente a monte, in corrispondenza della passerella ed a valle della stessa, interpolate con un passo di 2.7 metri, su una lunghezza complessiva di circa 50 metri.

Data la quantità di alberature presenti sulle sponde (vedi immagini allegate) e considerando che la dimensione e la posizione dei pilastri coincide con quella delle piante, non si è ritenuto utile impostare uno specifico modello geometrico del ponte, ma si è condotta una unica analisi in condizioni di progetto assimilando le pile alle altre piante esistenti ed utilizzando un opportuno coefficiente di scabrezza  $n = 0.05$  (Manning) corrispondente a  $K = 20$  (Strickler).

La quota di fondo alveo in corrispondenza del ponte è stata assunta pari a 702,50 m.s.l.m..

Come condizione al contorno nel tratto di monte si è assunta una pendenza del fondo del 5%.

Per una migliore caratterizzazione del regime idraulico del corso d'acqua, in analogia con la parte idrologica della presente relazione, le altezze d'acqua sono state calcolate per i tempi di ritorno di 2, 30 e 200 anni.

Come illustrato negli elaborati riportati nelle pagine seguenti, il deflusso della piena bicentenaria nel tratto di interesse avviene in condizione di corrente veloce, con altezza d'acqua di circa 2 metri rispetto al fondo alveo.

Nel dettaglio risulta che la massima piena transita sotto la struttura in progetto con quota 705.07, garantendo un franco di sicurezza rispetto al sottotrave di 63 cm, valore che si ritiene sufficientemente cautelativo, vista la tipologia dell'opera.

### 5.1 Analisi delle tendenze evolutive del fondo alveo

Come evidenziato nella relazione geologica, nell'area dei lavori si osserva la presenza del substrato roccioso affiorante, sia nel fondo alveo che sulle sponde; da una analisi visiva dei luoghi si può inoltre ritenere il tratto di corso d'acqua in condizione di stabilità dal punto di vista del profilo longitudinale, non risultando particolari tendenze all'erosione né al deposito. Come descritto al punto precedente le pile della passerella non rappresentano una sostanziale interferenza al deflusso della corrente, data la posizione "in linea" con gli alberi esistenti. Si può quindi ritenere che la realizzazione dell'opera non modificherà le naturali tendenze evolutive del corso d'acqua. Le piante esistenti rappresentano anche una naturale protezione dagli urti con i tronchi trasportati dalla corrente durante le piene del torrente.

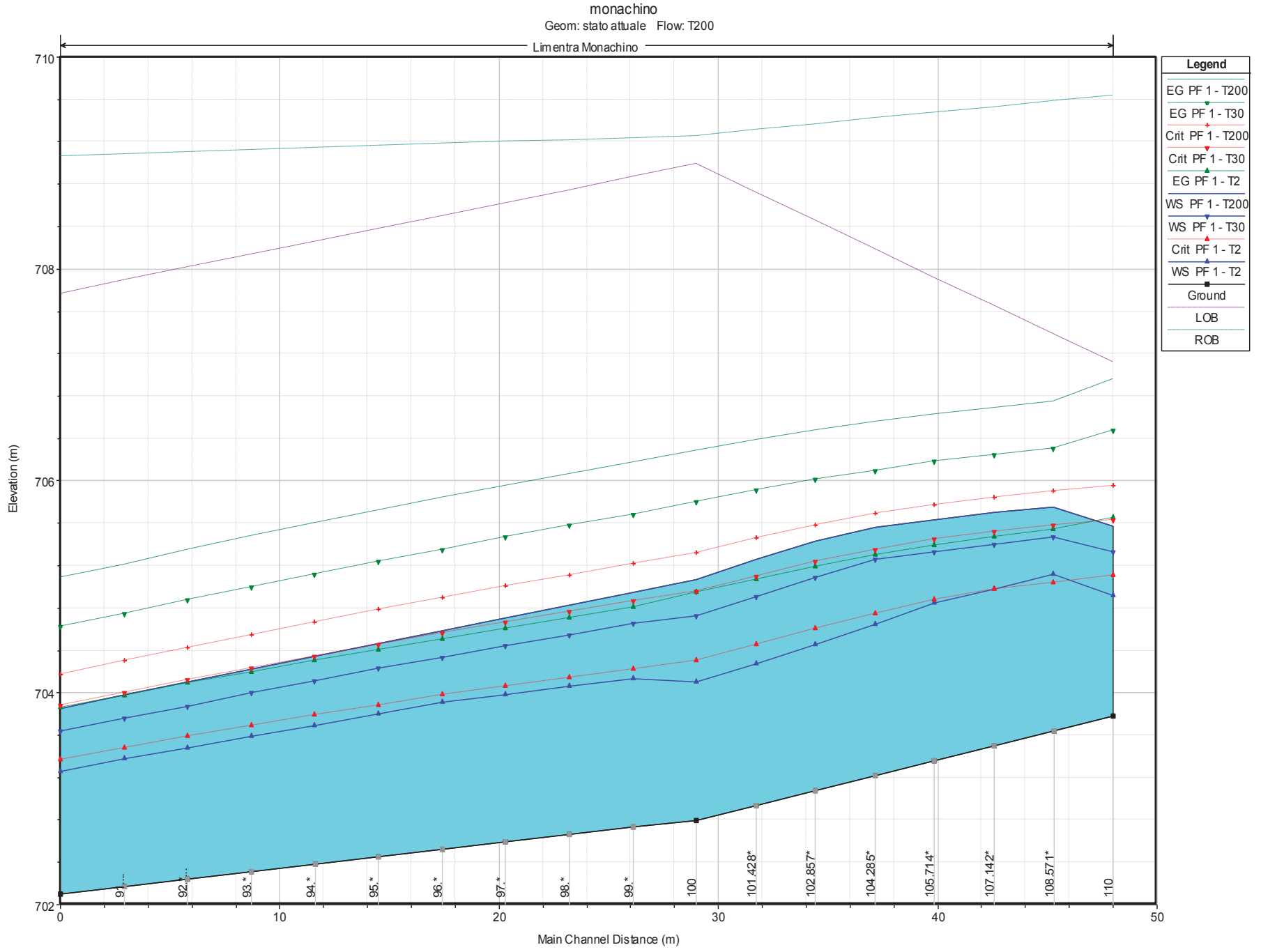
Si ritiene infine sufficiente il posizionamento dei plinti alle quote indicate negli elaborati grafici, circa 50 cm sotto l'attuale livello del terreno, avendo cura di realizzare i rinterri con elementi lapidei di protezione.

IL PROGETTISTA  
*Ing. Riccardo Rossi*

## 6. Allegati

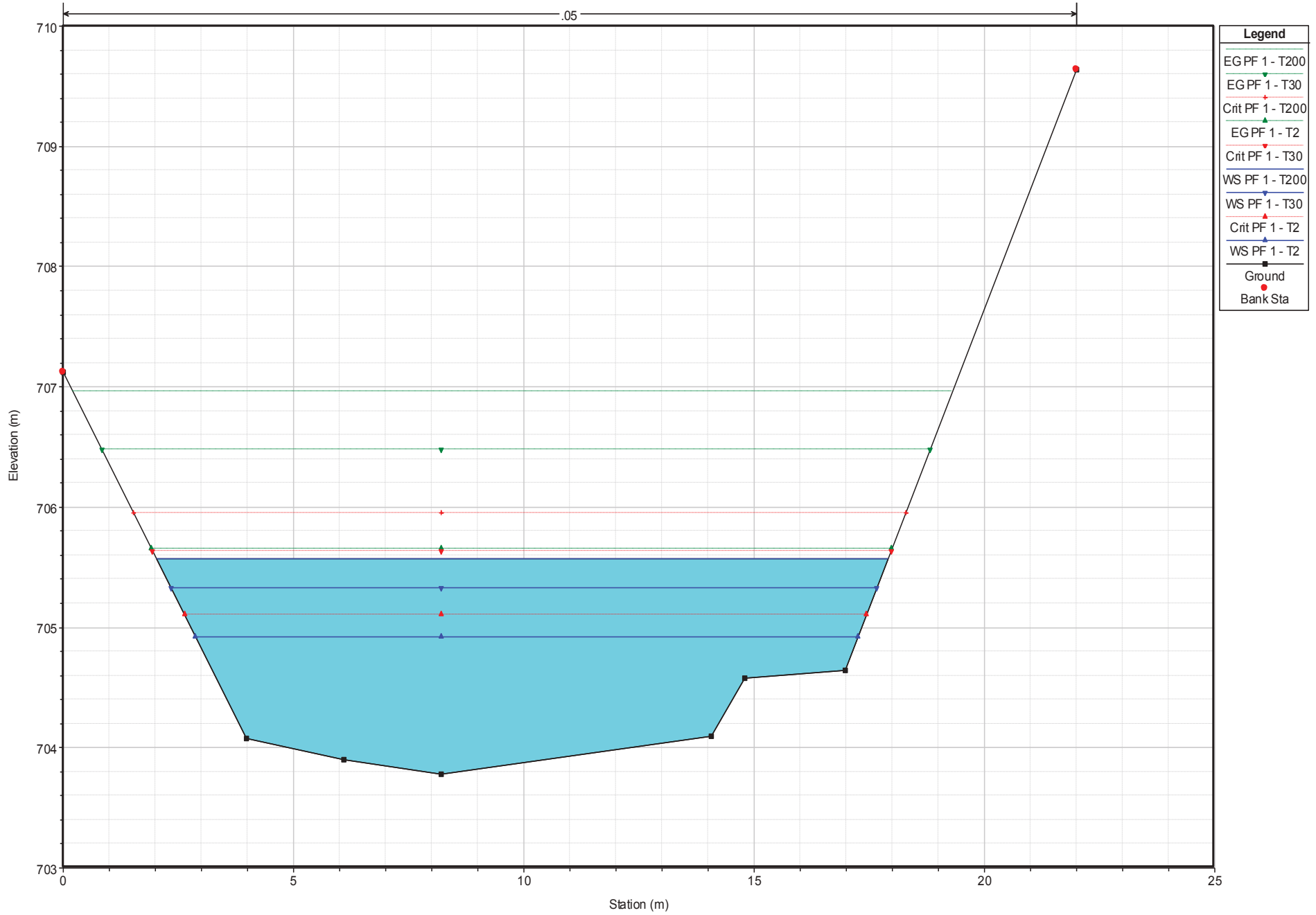
- profilo longitudinale del tratto di studio con indicazione dei livelli relativi alle piene con T= 2, 30, 200 anni;
- sezione idraulica di monte (110) con indicazione dei livelli di cui sopra;
- sezione idraulica in corrispondenza della passerella (100);
- sezione idraulica di valle (90);
- tabella riepilogativa dei risultati;
- immagini relative al tratto di corso d'acqua considerato, con particolari delle due sponde fluviali in corrispondenza della passerella in progetto.

Ulteriori dettagli si possono consultare negli elaborati grafici di progetto.

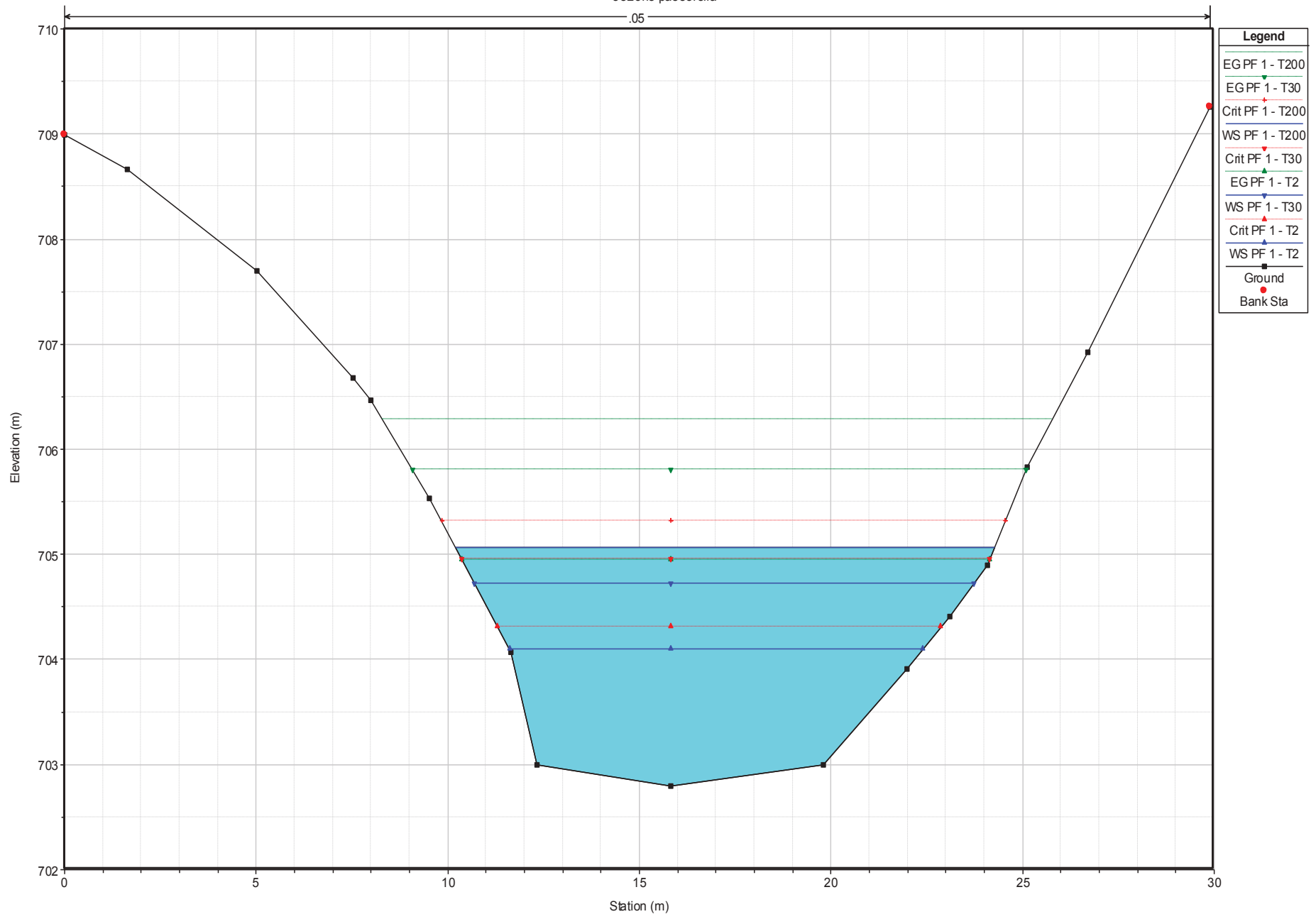


monachino  
Geom: stato attuale Flow: T200  
sezione di monte

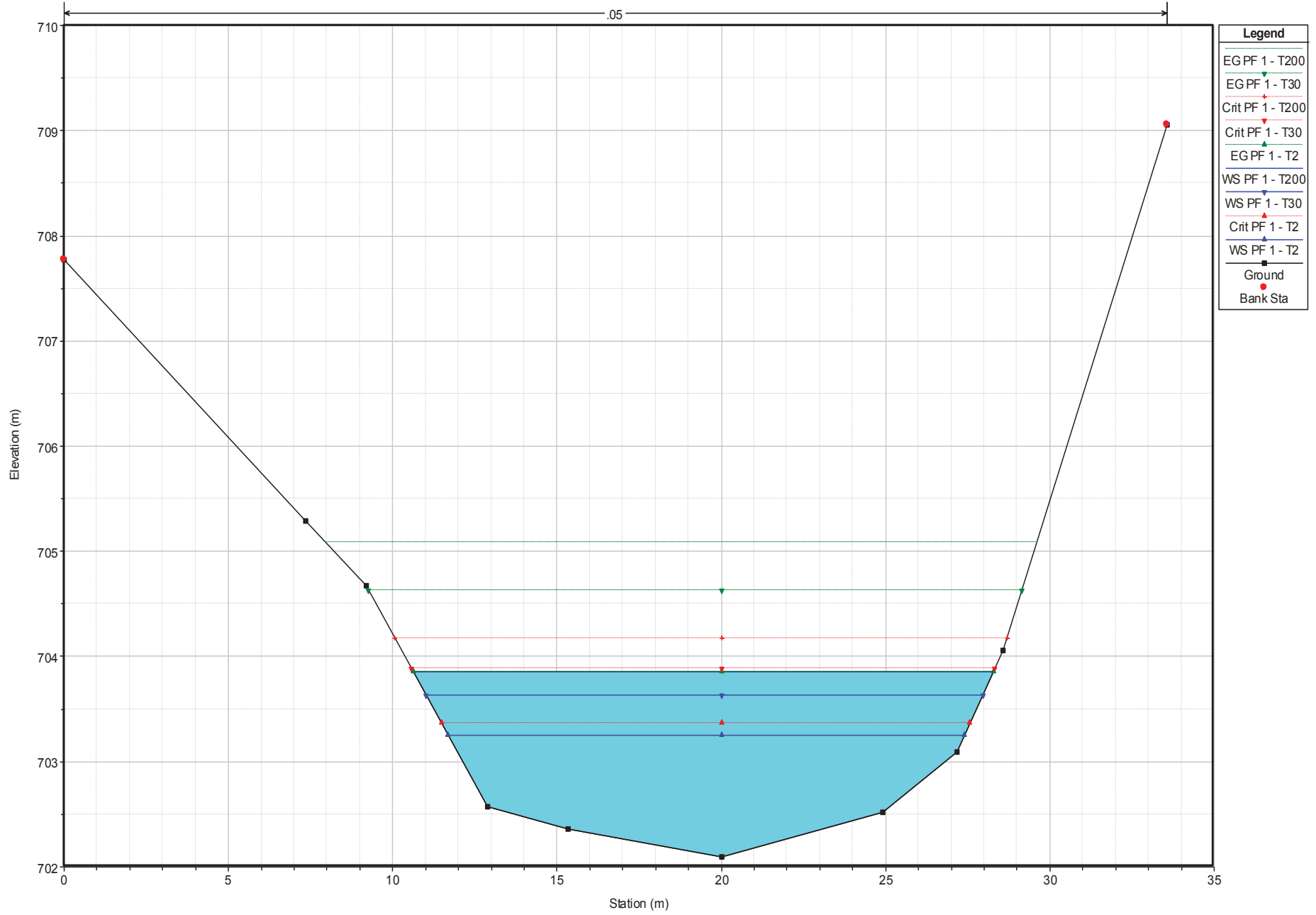
1154 rel idr



monachino  
Geom: stato attuale Flow: T200  
sezione passerella  
.05



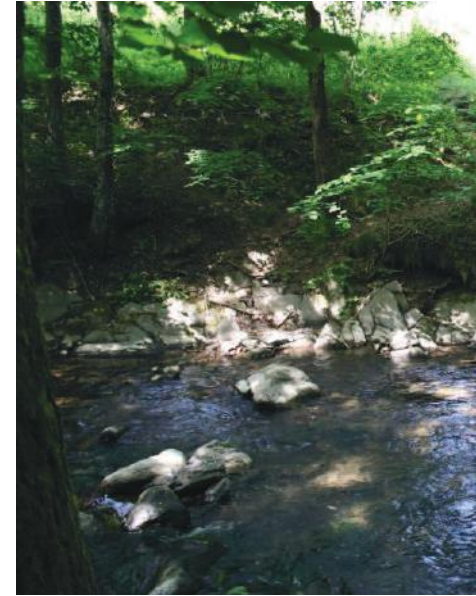
monachino  
Geom: stato attuale Flow: T200  
sezione di valle



HEC-RAS River: Limentra Reach: Monachino								
River Sta	Plan	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl
		(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)
110	T2	44	703.78	704.92	705.1	705.65	0.050012	3.78
110	T30	84	703.78	705.33	705.64	706.48	0.050006	4.74
110	T200	112	703.78	705.57	705.96	706.96	0.050013	5.23
SEZ. PONTE								
100	T2	44	702.8	704.1	704.31	704.95	0.046156	4.09
100	T30	84	702.8	704.72	704.96	705.81	0.038096	4.61
100	T200	112	702.8	705.07	705.32	706.29	0.035156	4.88
SEZ. VALLE								
90	T2	44	702.1	703.25	703.37	703.86	0.040256	3.45
90	T30	84	702.1	703.64	703.89	704.63	0.043317	4.41
90	T200	112	702.1	703.85	704.18	705.08	0.04519	4.92



VISTA DA MONTE DEL TRATTO FLUVIALE IN OGGETTO  
CORRISPONDENZA DELLA PASSERELLA (SEZ.100)



SPONDA SINISTRA IN



VISTA DELLA SPONDA DESTRA



# Provincia di Pistoia

Intervento di ricostruzione di ponte  
sulla Limentra di Sambuca  
a servizio di passo carraio sulla S.S. n.64  
in località Corniolo del Comune di Sambuca P.se

**Committenti:**

Sig. Raffaele Triolo



**Progettista:**

Giovanni Palchetti ingegnere



Spazio riservato all'ufficio:

PROGETTO PER AUTORIZZAZIONI IDRAULICHE

- RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA
- RELAZIONE CON CALCOLI IDRAULICI

Relazioni

GENNAIO 2012

data	aggiornamenti	file
28/01/2012	Progetto idraulico originario	prima pag relazioni

# **RELAZIONE TECNICA DESCRITTIVA**

## **Premessa**

Il progetto prevede la realizzazione di un ponticello carrabile che, ripristinando un antico attraversamento fluviale ormai scomparso, appoggerà sulle due sponde arginali. La luce netta e la collocazione piano-altimetrica del nuovo ponte coincideranno con quello pre-esistente, del quale non sono state reperite immagini fotografiche o disegni ma che compare sulla mappa catastale d'impianto (risalente all'anno 1955 circa) di cui si allega un estratto.

Sul lato in sinistra fluviale (argine ovest) si trova la strada statale n.64 che, in questo tratto, risulta in rilevato sostenuto da un paramento di lastre prefabbricate in c.a. Esse sono integrate da getti in opera ed ancorate alla roccia sub sede viaria mediante tiranti di cui emergono a vista le piastre di contrasto. In particolare, proprio nel punto di riapertura del passo, per una larghezza di circa 5 metri sussiste un allargamento del paramento a retta di circa 50 cm verso l'alveo, evidentemente realizzato proprio prevedendo un futuro ripristino del ponticello.

Sul lato in destra fluviale (argine est) il terreno è organizzato a terrazzamenti storici, con diversi ordini di muretti di contenimento in pietrame ben organizzato. Proprio nel punto in cui si trovava il ponticello pre-esistente, per una larghezza di circa 3 metri sussiste un'antica spalla in pietrame che provoca un restringimento dell'alveo.

Le fotografie allegate mostrano lo stato attuale dei luoghi.

## **Dimensioni e tipologia**

Per determinare l'esatta geometria dei luoghi, si è effettuato preliminarmente un rilievo topografico-strumentale di cui si allegano gli esiti grafici e che ha consentito di determinare le sezioni significative sia ai fini idraulici che strutturali. Le principali dimensioni del ponticello, riscontrabili sui disegni di progetto allegati, saranno le seguenti:

- luce libera (distanza netta tra le spalle) = m.8,80
- altezza libera (distanza netta tra fondo alveo e intradosso ponte) = m.6,00
- larghezza carrabile (distanza netta tra i parapetti) = m.3,00

Come concordato con la Soprintendenza e con il Comune, la forma del ponticello sarà molto semplice essendo costituita da una soletta piana a sezione rettangolare, semplicemente appoggiata sulle due spalle laterali esistenti. Gli elementi più emergenti saranno i due parapetti in legno (ma con anima interna d'acciaio) fissati lateralmente alla soletta, che tuttavia mantengono caratteri tradizionali di grande semplicità.

### **Aspetti idraulici**

Il torrente Limentra di Sambuca è uno dei principali affluenti del fiume Reno nella porzione superiore del bacino idrografico a cavallo tra il territorio toscano e quello emiliano. Nel tratto in oggetto la sezione dell'alveo ha una geometria molto regolare ed il fondo dell'alveo è costituito dal substrato roccioso affiorante. Dal punto di vista della morfologia fluviale, il torrente qui appare in una condizione di equilibrio piano altimetrico, forzata dalla presenza delle strutture spondali e del substrato roccioso difficilmente erodibile.

I risultati dei calcoli idraulici che seguono evidenziano la compatibilità delle opere in progetto con il regime idraulico del torrente Limentra in occasione di eventi di piena eccezionali. Vengono infatti soddisfatti i vincoli imposti dalla normativa poiché è garantito un franco di sicurezza superiore ad un metro tra la quota di sottotrave del nuovo attraversamento ed il livello della massima piena con tempo di ritorno pari a 200 anni. Questo risultato è ottenuto prevedendo di realizzare una muratura di raccordo a monte della spalla destra che prolunga il restringimento attuale allontanando dalla struttura il punto in cui avviene il passaggio da corrente lenta a corrente veloce.

In caso di piena con tempo di ritorno pari a 100 anni le verifiche evidenziano che già nelle attuali condizioni, ossia senza necessità di interventi sulla sponda destra, la corrente transita in condizioni di sicurezza rispetto all'impalcato.

### **Aspetti strutturali**

L'impalcato orizzontale del ponte sarà costituito da una soletta prefabbricata in cemento armato precompresso di larghezza pari a m.3 e spessore circa cm.35, appoggiata sulle spalle esistenti.

Tenuto conto dello stato dei luoghi e delle incertezze di valutazione circa le capacità portanti delle due spalle di appoggio (una delle quali in cemento armato e l'altra in pietrame) si ritiene opportuno prevedere che la soletta del nuovo ponticello non gravi direttamente sulle strutture a retta esistenti, bensì su nuovi ed autonomi appoggi, pur mantenendo inalterato l'aspetto delle opere per ragioni storico-ambientali. Pertanto si prevede di realizzare (nello spazio compreso tra il perimetro della testa del muro e la banchina stradale per quanto riguarda il lato in sinistra fluviale ove si trova la strada statale n.64; nello spazio retrostante il paramento in pietrame per quanto riguarda il lato in destra fluviale) un cordolo di appoggio in cemento armato (di lunghezza circa m.3 e sezione trasversale circa cm 80 x 80) sostenuto da una cortina di micro-pali trivellati atti a raggiungere il substrato roccioso integro. In particolare la soletta del ponticello appoggerà su mensole in c.a. innestate direttamente nei cordoli e gettate con essi. Questa soluzione progettuale, schematizzata nei grafici allegati, presenta diversi vantaggi operativi, in quanto evita di sovraccaricare la struttura a retta esistente e rende minimi i tempi e gli spazi necessari per operare, aspetto molto importante soprattutto sulla viabilità pubblica, vista la piccola dimensione e la rapidità di trivellazione delle attuali macchine per micro-pali. Questo modo di

operare evita qualsiasi interferenza, temporanea o permanente, con l'alveo fluviale, potendo procedere a tutti i lavori con macchine e maestranze al di sopra delle spalle di appoggio.

### **Occupazione di area demaniale**

L'area demaniale occupata dall'opera in progetto, costituita dalla porzione di acqua pubblica del fiume Limentra di Sambuca, è rappresentata nell'allegato estratto di mappa catastale del foglio n.31 del Comune di Sambuca. L'area ha una superficie complessiva pari a circa mq.31,40 e potrà essere più precisamente determinata una volta ricostruito il manufatto.

### **Documenti allegati**

Oltre al presente fascicolo, contenente la Relazione tecnica descrittiva, l'estratto dalla Mappa catastale storica d'impianto ed i Calcoli idraulici, in altro fascicolo sono disponibili i seguenti documenti:

- Estratti cartografici alle scale 1:10.000 e 1:25.000
- Fotografie dello stato attuale (n.4)
- Grafici di rilievo topografico strumentale (una planimetria e quattro sezioni)
- Disegni di progetto con confronto stato attuale – stato modificato – stato sovrapposto

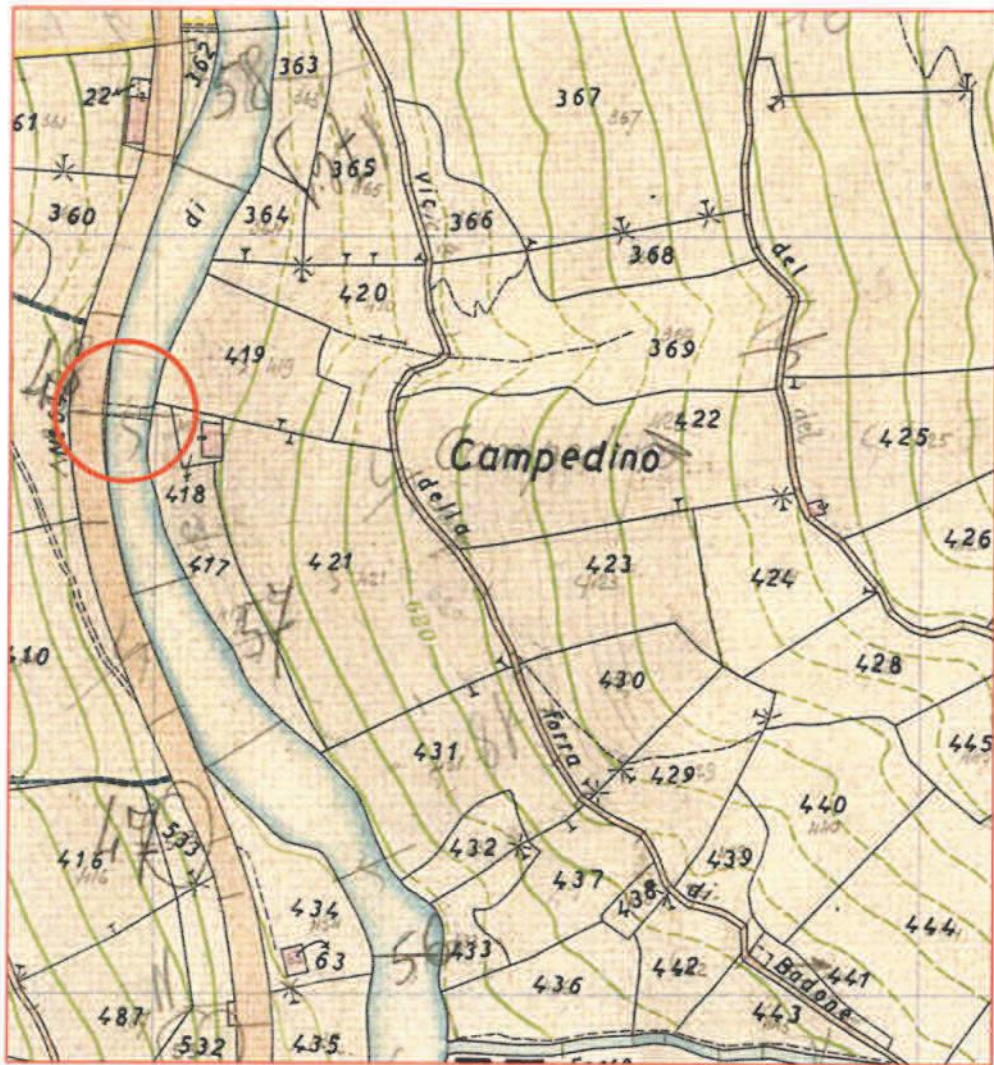
*Pistoia, 28 gennaio 2012*



*Il Progettista*

*Dott.Ing. Giovanni Palchetti*

# CARTOGRAFIA STORICA



estratto dalla mappa catastale  
d'impianto 1 : 2.000  
con indicazione del ponte

# ***CALCOLI IDRAULICI***

## **SOMMARIO**

<b>1. Premessa</b>	p. 6
<b>2. Inquadramento del bacino idrografico e dell'asta fluviale</b>	p. 6
<b>3. Idrologia del torrente Limentra</b>	p. 7
<b>4. Verifiche idrauliche</b>	p.10
<b>5. Conclusioni</b>	p.12
<b>6. Allegati – elaborati del modello di calcolo</b>	p.13

## **Premessa**

La presente relazione illustra gli aspetti idrologici ed idraulici finalizzati alla stima delle massime portate del Torrente Limentra di Sambuca e allo studio del funzionamento idraulico del corso d'acqua nel tratto interessato dalle opere in progetto in occasione di eventi meteorici eccezionali.

L'attenzione è rivolta in particolare allo studio del profilo idraulico sotto all'impalcato del ponte, al fine di valutare il franco di sicurezza tra il pelo libero della corrente e il sottotrave.

## **2. Inquadramento del bacino idrografico e dell'asta fluviale**

Il torrente Limentra di Sambuca è uno dei principali affluenti del fiume Reno nella porzione superiore del bacino idrografico a cavallo tra il territorio toscano e quello emiliano. L'asta torrentizia ha origine alla quota di circa 1100 m s.l.m. e si sviluppa per una lunghezza di circa 15 km fino all'immissione in sinistra idrografica del Fiume Reno a Ponte della Venturina alla quota di circa 380 m s.l.m.

L'intera superficie del bacino risulta coperta da boschi – abeti e faggi nella zona superiore, castagno nella media e bassa vallata - e caratterizzato da versanti arenacei molto acclivi.

Dopo un percorso iniziale di circa due chilometri in corrispondenza del ventaglio sorgivo in cui il torrente solca i versanti con pendenze elevatissime, dalla località Spedaletto (quota 760 m) verso valle l'alveo assume una forma più regolare, con pendenze più aggragate ed in costante diminuzione e il fondovalle è parzialmente occupato dalla sede stradale della S.S. 64 Porrettana, che si sviluppa parallelamente al torrente ad una quota superiore variabile dai quattro ai sei metri circa e sostenuta per lunghissimi tratti da imponenti muri di sponda.

Le principali grandezze morfologiche del bacino idrografico in corrispondenza della località Corniolo (quota 580 m) sono state dedotte utilizzando la Cartografia Tecnica della Regione Toscana e risultano le seguenti:

Superficie del bacino (A) = 26,98 km<sup>2</sup>

Lunghezza dell'asta fluviale (L) = 13 km

Lunghezza media dei versanti (Lv) = 500 m

Quota della sorgente = 1180 m

Altitudine media del bacino (Hm) = 360 m

Dislivello dell'asta fluviale dalla sorgente alla chiusura = 600 m

Pendenza media dell'alveo dalla sorgente alla sezione di chiusura (j) = 5%

Nel tratto in oggetto la sezione dell'alveo ha una geometria molto regolare in cui sono presenti strutture murarie su entrambe le sponde; la sponda sinistra è costituita dal muro di sostegno della SS 64, di altezza superiore ai cinque metri ed ubicato all'esterno di una leggera curvatura del tracciato, mentre sulla sponda destra a circa 1,5 metri dal fondo dell'alveo è presente un muro in pietrame alto circa un metro. Il fondo dell'alveo è costituito dal substrato roccioso affiorante.

In corrispondenza del ponte oggetto di recupero l'alveo torrentizio subisce un notevole restringimento di sezione dovuto alla presenza della spalla di appoggio della passerella preesistente, in sponda destra, ubicata a circa otto metri dal muro di sostegno della SS 64 antistante.

Le verifiche condotte nel presente studio sono volte a caratterizzare l'entità di tale strozzatura e a valutarne gli effetti sul deflusso idraulico in caso di forte piena del torrente Limentra.

Dal punto di vista della morfologia fluviale il torrente nel tratto in oggetto appare in una condizione di equilibrio piano altimetrico, forzata dalla presenza delle strutture spondali e del substrato roccioso difficilmente erodibile; il leggero scalzamento della fondazione del muro di sostegno della SS 64 potrebbe essere sintomo di una tendenza allo scavo, che però è limitata dalla geologia dell'area.

### **3. Idrologia del torrente Limentra**

In primo luogo è stato stimato il tempo di corrivazione del bacino idrografico chiuso in località Corniolo, mediante tre differenti formulazioni, utilizzando i principali dati morfologici rappresentativi del bacino in studio riportati in precedenza:

Formula di Pasini:

$$T_c = 0,108 \cdot (A/100 \cdot L_v)^{0,333} / j^{0,5} = 3.53 \text{ ore}$$

Formula di Viparelli:

$$T_c = 1/3600 \cdot (L \cdot 1000 + L_v) / 1.5 = 2.51 \text{ ore}$$

Formula di Ventura:

$$T_c = 0.127 \cdot (A/100/j)^{0,5} = 3.07$$

Come durata critica è stata assunta la media dei valori pari a:

$$\underline{T_c = 3.04 \text{ ore}}$$

Gli eventi meteorici di riferimento sono stati calcolati utilizzando il metodo basato sulla regionalizzazione delle piogge estreme proposto dall'Autorità di Bacino del Fiume Reno, la cui applicazione è direttamente fruibile dal sito internet e permette di calcolare l'intensità massima di pioggia ragguagliata alla superficie del bacino per durata e tempo di ritorno fissati.

Il valore ragguagliato all'area della media dei massimi di precipitazione è stato desunto direttamente dalla mappa delle isolinee di pioggia di durata pari a tre ore - coincidente con la durata critica vista in precedenza - e risulta pari a 50 mm.

Il fattore di riduzione areale *ARF* (areal reduction factor) è stato stimato con la formula di Colombo.



Per quanto riguarda il tempo di ritorno dell'evento critico è stato assunto il valore di 200 anni come imposto dalla vigente normativa (Art.141 L.R. Toscana 27-12-2011 n.66).

Come evidenziato nell'immagine seguente, tratta direttamente dal sito internet dell'Autorità di Bacino del Fiume Reno, la pioggia massima sull'area di interesse per tempo di ritorno 200 anni e durata tre ore risulta pari a 109,761 mm.

**Calcolo di valori estremi di precipitazione nel bacino del fiume Reno**

Indietro

Per calcolare il valore massimo di pioggia sull'area di interesse, inserire (per ulteriori informazioni sulle singole voci cliccare il simbolo ⓘ)

- ⓘ Superficie: la misura dell'area in Km<sup>2</sup>
- ⓘ Pioggia: il valore, ragguagliato sull'area di interesse, della media annuale dei massimi di pioggia espresso in millimetri.
- ⓘ Durata pioggia: la durata della pioggia in ore (numero compreso tra 1 e 24).
- ⓘ Tempo di ritorno: il tempo di ritorno dell'evento espresso in anni, costituito da un numero intero superiore a 1.
- ⓘ Formula di calcolo ARF: il tipo di interpolazione che si vuole utilizzare per il calcolo del coefficiente di smorzamento areale (ARF)

Per quanto riguarda la durata della pioggia ed il tempo di ritorno è possibile scegliere uno dei valori predefiniti dai menù a tendina o digitare direttamente il numero desiderato nella casella a fianco. Il risultato del calcolo esprime, in millimetri, il totale di pioggia relativo alla durata e al tempo di ritorno richiesti.

Pioggia (mm)	Superficie (Km <sup>2</sup> )
50	27
Durata Pioggia (ore)	Formula di calcolo ARF
3	Colombo
Tempo di ritorno (anni)	Calcola   Cancella
200	

**Pioggia Totale (mm) = 109,761**

**Coefficiente di smorzamento areale = 0,908**

**Fattore di crescita = 2,418**

L'intensità di pioggia corrispondente all'evento meteorico in oggetto, ipotizzata costante su un intervallo di durata tre ore risulta pari a:

$$i_{\max 200} = 36,11 \text{ mm/sec}$$

Il calcolo della portata di progetto è stato infine effettuato con il metodo cinematico secondo la seguente espressione:

$$Q \text{ (m}^3\text{/sec)} = 360 \cdot \psi \cdot A / i_{\max}$$

dove

$\psi$  = coefficiente di deflusso

$i_{\max}$  (mm/sec) = intensità di pioggia massima corrispondente all'evento di durata critica

A = superficie del bacino (km<sup>2</sup>)

Il coefficiente di deflusso  $\psi$  è stato tratto dalla sottostante tabella (Chow *et al.*, 1988) che prende in considerazione diversi tipi di superficie caratterizzante il bacino imbrifero, la pendenza e il tempo di ritorno, ed è stato assunto pari a  $\psi = 0,52$ .

Tipo di superficie	Tempo di ritorno $T$ [a]						
	2	5	10	25	50	100	500
Asfalto	0,73	0,77	0,81	0,86	0,90	0,95	1,00
Calcestruzzo, tetti	0,75	0,80	0,83	0,88	0,92	0,97	1,00
Coltivazioni ( $i=0+2\%$ )	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,57
Coltivazioni ( $i=0+2\%$ )	0,35	0,38	0,41	0,44	0,48	0,51	0,60
Coltivazioni ( $i>7\%$ )	0,39	0,42	0,44	0,48	0,51	0,54	0,61
Pascoli ( $i=0+2\%$ )	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53
Pascoli ( $i=0+2\%$ )	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
Pascoli ( $i>7\%$ )	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
Boschi ( $i=0+2\%$ )	0,22	0,25	0,28	0,31	0,35	0,39	0,48
Boschi ( $i=0+2\%$ )	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,56
Boschi ( $i>7\%$ )	0,35	0,39	0,41	0,45	0,48	0,52	0,58

La portata di progetto con tempo di ritorno 200 anni risulta pertanto:

$$Q_{200 \text{ anni}} = 140,72 \text{ m}^3/\text{sec}$$

ed il relativo coefficiente udometrico

$$u_{200 \text{ anni}} = 5,22 \text{ m}^3/\text{sec}/\text{km}^2$$

Ripetendo il calcolo dell'evento piovoso con un tempo di ritorno pari a 100 anni si ottiene un valore di pioggia estrema di durata tre ore pari a:

$$i_{\text{max}100} = 32,68 \text{ mm}\backslash\text{sec}$$

e il rispettivo valore di portata secolare:

$$Q_{100 \text{ anni}} = 127,36 \text{ m}^3/\text{sec}$$

#### **4. Verifiche idrauliche**

Per definire con precisione gli effetti sul deflusso idraulico prodotti dal restringimento di sezione in corrispondenza dell'opera in progetto, è stato utilizzato il modello di calcolo HEC-RAS versione 4.1.0 (US Army Corps of Engineers).

##### *MODELLO GEOMETRICO*

Per la definizione delle sezioni di deflusso ci si è basati su quattro sezioni rilevate nei pressi del ponte ed una sezione rilevata circa 22 metri a monte dello stesso, oltre ad alcuni punti battuti all'interno dell'alveo a monte e a valle.

La regolarità dell'alveo, che rispecchia lo schema teorico di alveo prismatico, ha permesso di creare un modello geometrico dell'asta fluviale estremamente semplificato ma allo stesso tempo ben rispondente allo stato di fatto ed alle necessità di analisi.

Si è assunto che la sezione di monte si mantenga invariata fino al ponte in cui avviene il restringimento, per poi ritornare alla forma precedente, a valle dell'opera.

Il modello è quindi costituito da otto sezioni trasversali di forma analoga, distribuite su una lunghezza complessiva di circa 300 metri delle quali sei sono ubicate nei pressi del ponte (sezioni n. 100, 90, 80, 70, 60, 50) e due sezioni al contorno, rispettivamente all'estremo di monte e di valle (sezioni n. 110 e n. 40) ricostruite con buona precisione sulla base delle sezioni disponibili e considerando la pendenza media del fondo alveo pressoché costante e pari al 3% su tutto il tratto.

Per una maggiore definizione del profilo idraulico le suddette sezioni sono state successivamente interpolate con un passo di un metro.

##### *CONDIZIONI DI DEFLUSSO E CONDIZIONI AL CONTORNO*

I calcoli idraulici sono stati effettuati in condizioni di moto permanente, considerando che la corrente sopraggiunga da monte con una altezza di moto uniforme e l'alveo abbia una pendenza costante pari al 3%.

##### *ANALISI ALLO STATO ATTUALE*

I risultati delle verifiche evidenziano il carattere forte del restringimento prodotto dalla struttura muraria in destra idraulica, che genera un notevole innalzamento e rallentamento della corrente nel tratto di monte, prima di una brusca cascata dell'acqua all'interno dei muri in corrispondenza del ponte. Il fenomeno, causato appunto dal restringimento di sezione, è denominato risalto idraulico ed avviene a circa 40 metri a monte della sezione di interesse: in questa posizione la corrente passa da una condizione accelerata (velocità media della corrente di circa 6,60 m/sec) ad una rallentata (velocità media della corrente di circa 2,5 m/sec) in maniera non graduale; parte dell'energia cinetica della corrente viene convertita in energia potenziale con un innalzamento del livello, ovvero del carico

necessario a superare l'ostacolo. Nei metri successivi al risalto idraulico il livello della corrente cresce ulteriormente in maniera graduale fino all'ingresso nel restringimento, dove il flusso aumenta improvvisamente la velocità generando una piccola cascata sotto all'impalcato del ponte.

In corrispondenza della sezione 90, posta circa 10 cm a monte del muro, la quota del pelo libero è pari a 545 cm rispetto al fondo alveo (-64 cm dal sottotrave); all'imbocco della strozzatura (tra le sez. 80 e 70) il profilo della corrente si abbatte di circa 50 cm in cascata attestandosi a 496 cm rispetto al fondo alveo (-113 cm dal sottotrave). All'interno del ponte la quota diminuisce ulteriormente (con aumento di velocità da 3,84 a 6,98 m/sec) fino all'uscita, in cui si ripristina una condizione di moto uniforme con altezza del pelo libero di 314 cm rispetto al fondo alveo (-302 cm dal sottotrave).

Il passaggio all'interno della strozzatura avviene quindi con livelli idrometrici soddisfacenti, che garantiscono un franco di sicurezza rispetto al sottotrave variabile tra 113 e 302 cm.

Una criticità si evidenzia invece all'ingresso al ponte, dove la corrente si attesta a circa - 64 cm dal sottotrave; per garantire una superficie libera maggiore all'ingresso occorre aumentare la distanza tra il bordo dell'impalcato e l'inizio del restringimento.

In dettaglio è necessario che l'inizio del restringimento sia ad almeno un metro dal bordo dell'impalcato. Tale condizione è soddisfatta realizzando una muratura di raccordo a monte della spalla destra che, prolunga il restringimento allontanando dalla struttura il punto in cui avviene il passaggio da corrente lenta a corrente veloce.

L'altezza della muratura di raccordo dovrà essere pari ad almeno 545 cm rispetto al fondo alveo, ovvero pari al livello massimo della corrente di monte.

#### *ANALISI ALLO STATO DI PROGETTO*

Inserendo questa nuova geometria nel modello di calcolo si conferma quanto sopra esposto in quanto la quota del pelo libero si abbatte già un metro prima dell'ingresso al ponte entrando sotto all'impalcato con una quota pari a 498 cm rispetto al fondo alveo, **CON UN FRANCO DI SICUREZZA RISPETTO AL SOTTOTRAVE PARI A 111 cm.**

Per maggiore completezza si riportano in allegato anche le tabelle riassuntive dei risultati dei calcoli effettuati nel caso di piena avente tempo di ritorno pari a 100 anni (pari a 127,36 m<sup>3</sup>/sec).

Le verifiche evidenziano che nelle condizioni attuali la portata secolare transita all'imbocco del ponte con un franco di sicurezza di 94 cm dal sottotrave, a pochi centimetri dal valore imposto dalla normativa.

In questo caso in pratica non sarebbe necessaria la realizzazione del raccordo a monte.

## 5. Conclusioni

I risultati del presente studio evidenziano la compatibilità delle opere in progetto con il regime idraulico del torrente Limentra in occasione di eventi di piena eccezionali.

Vengono quindi soddisfatti i vincoli imposti dalla normativa poiché è garantito un franco di sicurezza pari a 111 cm tra la quota di sottotrave del nuovo attraversamento ed il livello della massima piena con tempo di ritorno pari a 200 anni; inoltre in caso di piena con tempo di ritorno pari a 100 anni le verifiche evidenziano che, già nelle attuali condizioni, la corrente transita in condizioni di sicurezza rispetto all'impalcato.

*Pistoia, 28 gennaio 2012*

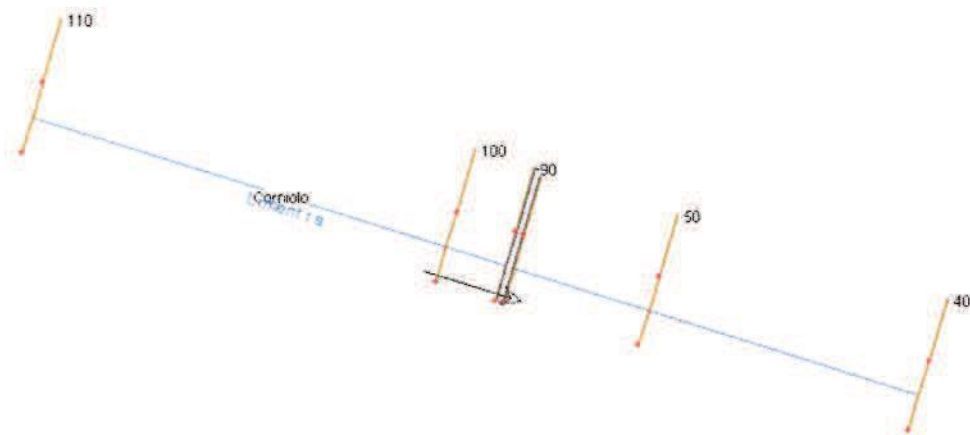
Il Progettista  
Dott. Ing. Giovanni Palchetti



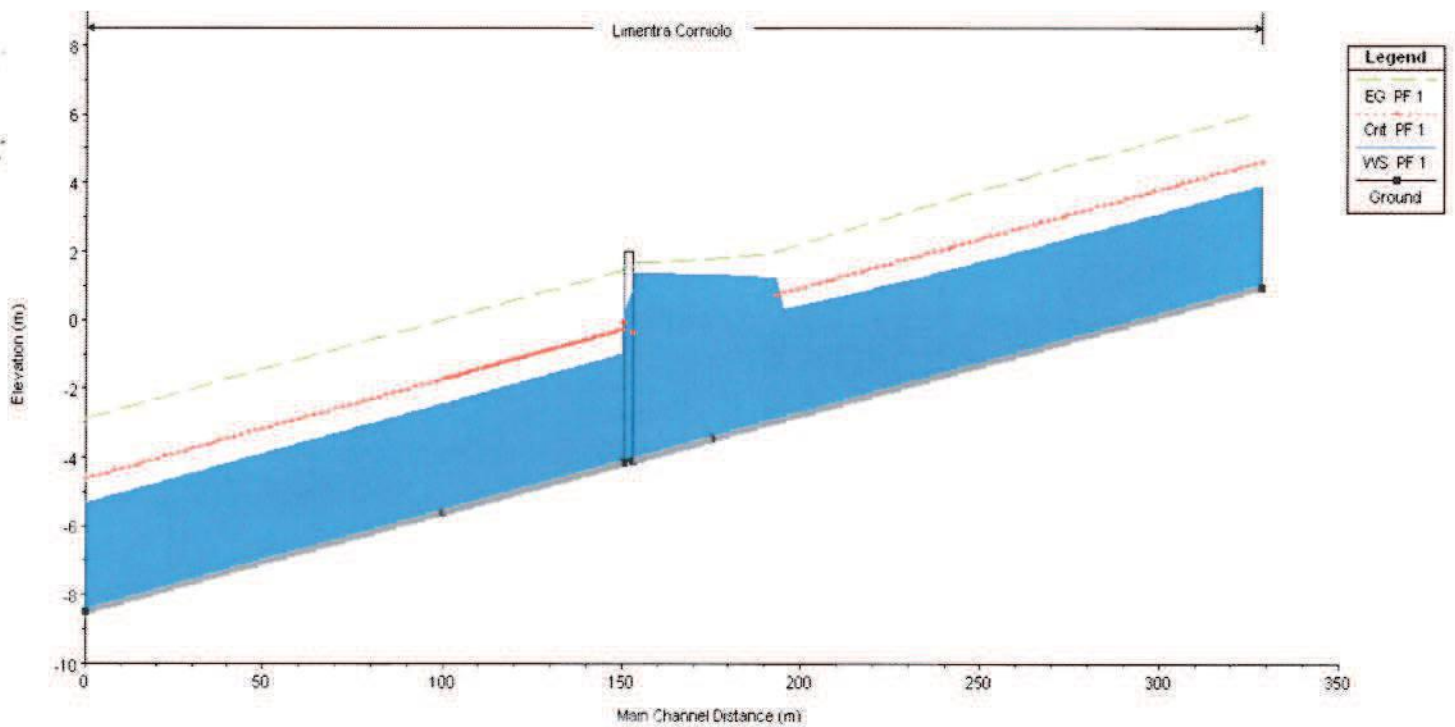
## **ALLEGATI – elaborati del modello di calcolo**

- tav. 1: planimetria schematica relativa alla disposizione delle sezioni allo stato attuale
- tav. 2: profilo longitudinale del torrente Limentra nel tratto in oggetto con indicazione del profilo di rigurgito della corrente allo stato attuale con  $Q_{200 \text{ anni}}$
- tav. 3: particolare del profilo di rigurgito nei pressi del ponte allo stato attuale con  $Q_{200 \text{ anni}}$
- tav. 4: profilo longitudinale del torrente Limentra nel tratto in oggetto con indicazione del profilo di rigurgito della corrente allo stato di progetto con  $Q_{200 \text{ anni}}$
- tav. 5: particolare del profilo di rigurgito nei pressi del ponte allo stato di progetto con  $Q_{200 \text{ anni}}$
- tav. 6: sezione 80 posta in corrispondenza del restringimento, con vista dell'impalcato del ponte ed indicazione del livello idrometrico allo stato di progetto con  $Q_{200 \text{ anni}}$
- tav. 7: tabella riassuntiva dei risultati di calcolo allo stato attuale con  $Q_{200 \text{ anni}}$
- tav. 8: tabella riassuntiva dei risultati di calcolo allo stato di progetto con  $Q_{200 \text{ anni}}$
- tav. 9: tabella riassuntiva dei risultati di calcolo allo stato attuale con  $Q_{100 \text{ anni}}$

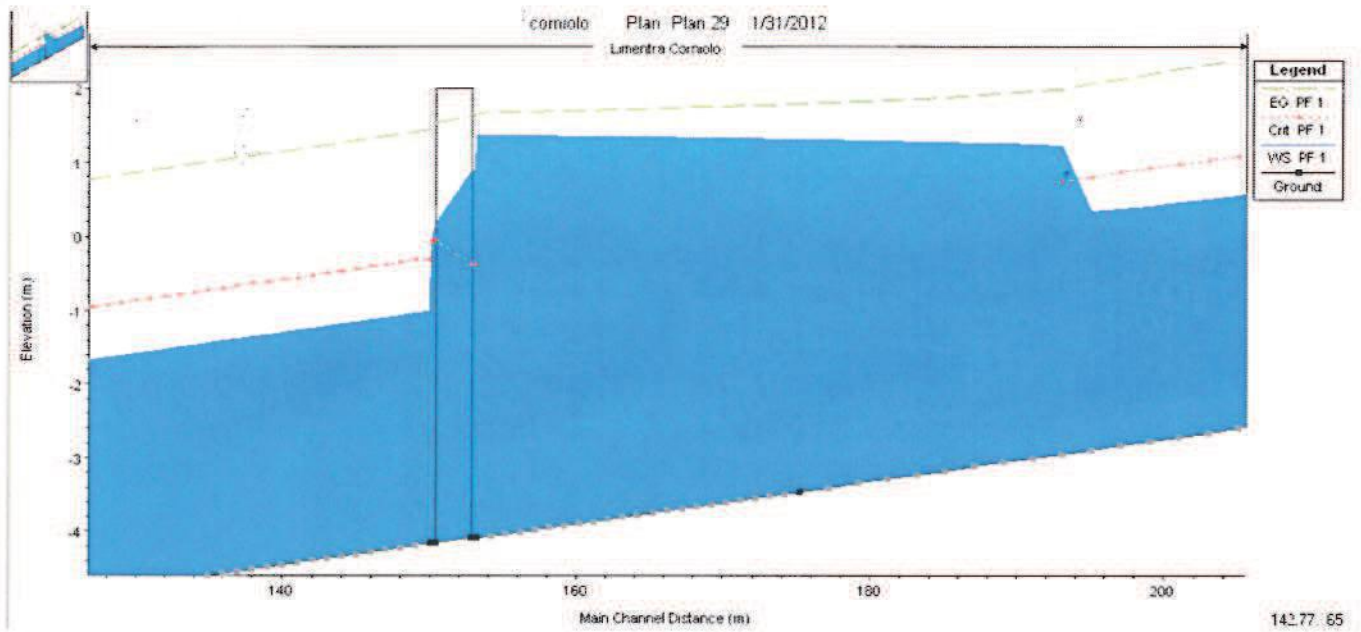
tav. 1: schema planimetrico dell'asta torrentizia con disposizione delle sezioni allo stato attuale



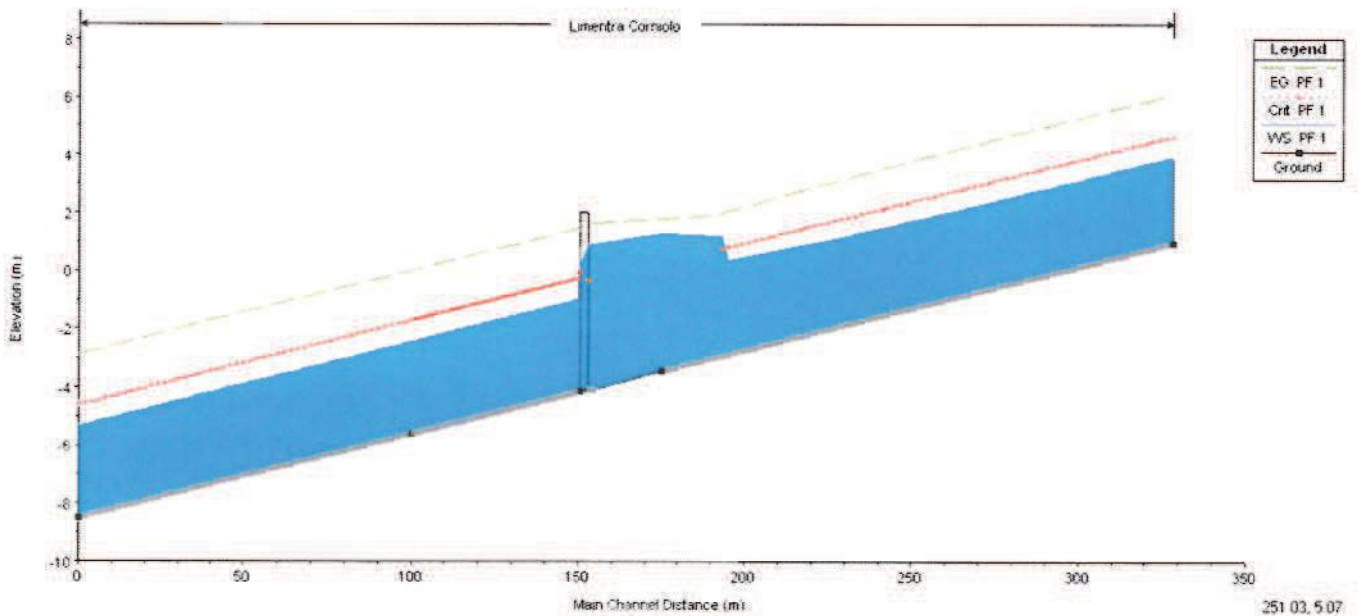
tav. 2: profilo longitudinale del torrente Limentra nel tratto in oggetto con indicazione del profilo di corrente allo stato attuale con  $Q_{200 \text{ anni}}$



tav. 3: particolare del profilo di rigurgito all'ingresso del ponte allo stato attuale con  $Q_{200}$  anni

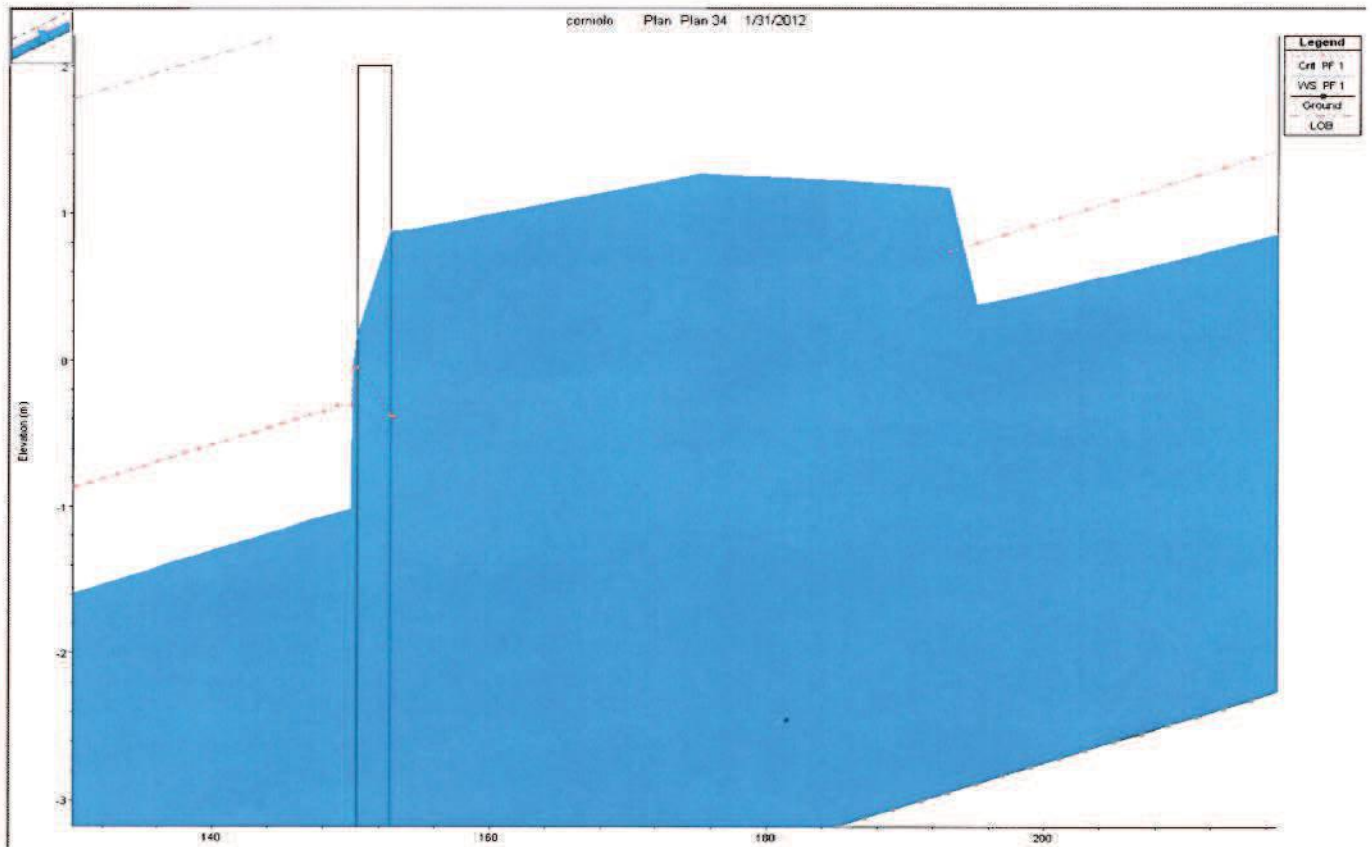


tav. 4: profilo longitudinale del torrente Limentra nel tratto in oggetto con indicazione del profilo di rigurgito della corrente allo stato di progetto con  $Q_{200}$  anni

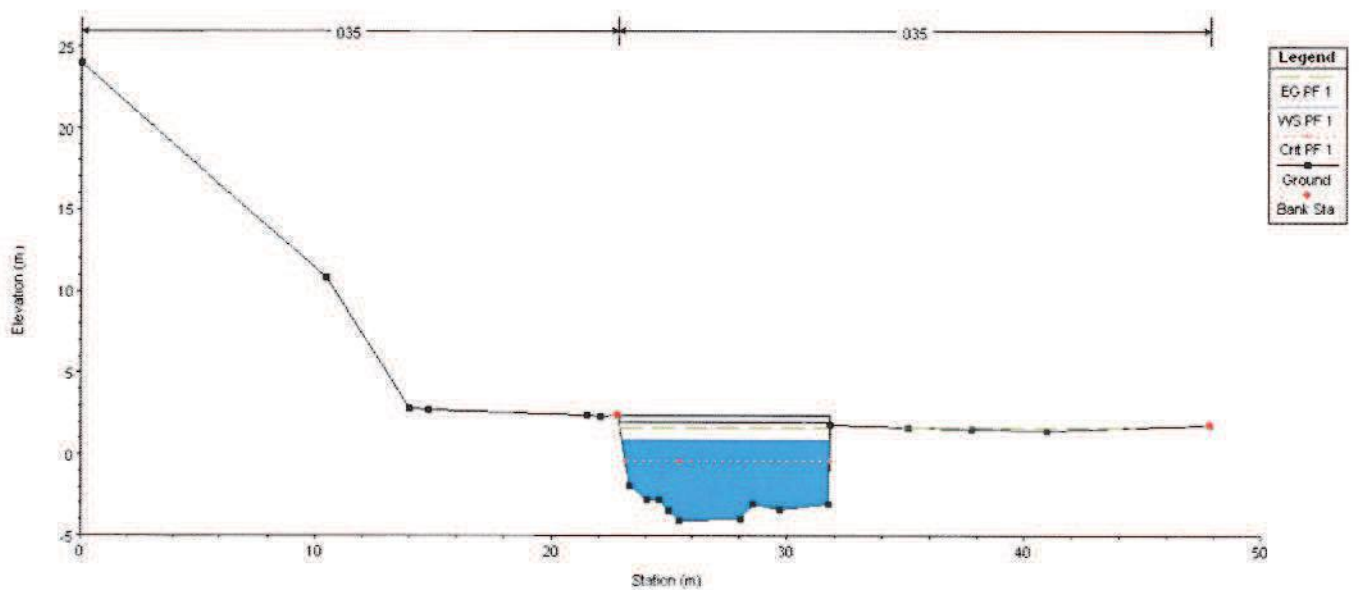




tav. 5: particolare del profilo di rigurgito nei pressi del ponte allo stato di progetto con  $Q_{200}$  anni



tav. 6: sezione 80 posta in corrispondenza del restringimento, con vista dell'impalcato del ponte ed indicazione del livello idrometrico allo stato di progetto con  $Q_{200}$  anni



tav. 7: estratto dei tabulati di calcolo relativi alle sezioni principali non interpolate allo stato attuale con  $Q_{200}$  anni

Reach	River Sta	Profile	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> )	Froude # Chl
Corniole	110	PF 1	0.95	3.88	4.63	6.12	0.030009	6.62	21.15	1.47
Corniole	100	PF 1	-3.46	1.31		1.79	0.004353	3.08	45.50	0.59
Corniole	90	PF 1	-4.09	1.36		1.66	0.002340	2.45	57.18	0.44
Corniole	80	PF 1	-4.09	0.87	-0.38	1.62	0.006364	3.82	36.67	0.60
Corniole	79									
		Bridge								
Corniole	70	PF 1	-4.16	-0.07	-0.07	1.51	0.017252	5.58	25.10	1.01
Corniole	60	PF 1	-4.16	-1.02	-0.31	1.45	0.034108	6.95	20.13	1.56
Corniole	50	PF 1	-5.60	-2.45	-1.73	0.00	0.033866	6.94	20.18	1.55
Corniole	40	PF 1	-8.48	-5.33	-4.61	-2.88	0.033866	6.94	20.18	1.55

tav. 8: estratto dei tabulati di calcolo relativi alle sezioni principali non interpolate allo stato di progetto con  $Q_{200}$

Reach	River Sta	Profile	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> )	Froude # Chl
Corniole	110	PF 1	0.95	3.88	4.63	6.12	0.030009	6.62	21.15	1.47
Corniole	100	PF 1	-3.46	1.26		1.76	0.004535	3.12	44.83	0.60
Corniole	90	PF 1	-4.09	0.89		1.63	0.006310	3.91	36.79	0.59
Corniole	80	PF 1	-4.09	0.87	-0.38	1.62	0.006364	3.82	36.67	0.60
Corniole	79									
		Bridge								
Corniole	70	PF 1	-4.16	-0.07	-0.07	1.51	0.017252	5.58	25.10	1.01
Corniole	60	PF 1	-4.16	-1.02	-0.31	1.45	0.034108	6.95	20.13	1.56
Corniole	50	PF 1	-5.60	-2.45	-1.73	0.00	0.033866	6.94	20.18	1.55
Corniole	40	PF 1	-8.48	-5.33	-4.61	-2.88	0.033866	6.94	20.18	1.55

tav. 9: estratto dei tabulati di calcolo relativi alle sezioni principali non interpolate allo stato attuale con  $Q_{100}$

Reach	River Sta	Profile	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> )	Froude # Chl
Corniolo	110	PF 1	0.95	3.76	4.44	5.86	0.030008	6.42	19.83	1.47
Corniolo	100	PF 1	-3.46	1.00		1.50	0.004875	3.13	40.73	0.62
Corniolo	90	PF 1	-4.09	1.06		1.37	0.002510	2.45	51.97	0.45
Corniolo	80	PF 1	-4.09	0.63	-0.57	1.33	0.006174	3.69	34.56	0.59
Corniolo	79									
		Bridge								
Corniolo	70	PF 1	-4.16	-0.27	-0.27	1.23	0.017141	5.43	23.47	1.01
Corniolo	60	PF 1	-4.16	-1.12	-0.44	1.14	0.032493	6.66	19.14	1.51
Corniolo	50	PF 1	-5.60	-2.55	-1.89	-0.31	0.032228	6.64	19.19	1.51
Corniolo	40	PF 1	-8.48	-5.43	-4.77	-3.19	0.032228	6.64	19.19	1.51

### **LEGENDA TABULATI DI CALCOLO :**

Min Ch El:: quota di fondo alveo

W.S. Elev : livello irdometrico

Crit W.S. : livello della altezza critica

E.G. Elev : livello della linea dell'energia

E.G. Slope : pendenza della linea dell'energia

Vel Chnl : velocità media della corrente

Flow Area : area di deflusso

Froude # Chl : numero di Froude

*Pistoia, 28 gennaio 2012*

*Il Progettista*  
*Dott. Ing. Giovanni Palchetti*



- **Rif: P940 – Interventi di restauro e consolidamento del ponte sul torrente Limentra di Sambuca per l'accesso alla piazza Sandro Pertini - palazzo comunale in localita' Taviano (anno 2015/2016)**

Verifiche idrologiche ed idrauliche

Per tale progetto si è fatto riferimento allo studio idrogeologico ed idraulico eseguito a firma dello scrivente nell'anno 2006 relativo alla realizzazione della passerella pedonale in legno posta circa 100 metri a monte del ponte in oggetto.

Si riportano nel seguito i principali parametri idrologici definiti e i risultati ottenuti in seguito alle simulazioni idrauliche effettuate.

Sulla base della definizione del bacino idrografico contribuente (area di circa 3.500 ha) è stato stimato un tempo di corrivazione pari a 210 min (3,5 ore).

L'analisi delle piogge per la definizione delle curve segnalatrici di possibilità climatica è stata effettuata attraverso il metodo TCEV. L'espressione delle curve segnalatrici ottenute per i tempi di ritorno di 2, 30 e 200 anni risultano essere:

$$h_2 = 28,11 t^{0.47} \text{ (mm) - Tr = 2 anni}$$

$$h_{30} = 54,33 t^{0.47} \text{ (mm) - Tr = 30 anni}$$

$$h_{200} = 72,70 t^{0.47} \text{ (mm) - Tr = 200 anni -}$$

ove h è espresso in mm e t espresso in ore.

Per la stima delle portate di progetto, in mancanza di osservazioni idrometriche dirette, si è utilizzato il metodo cinematico (o razionale) in cui le portate sono stimate per via analitica dalle piogge secondo la seguente espressione:

$$Q = y A / i_r \quad \text{con:}$$

$i_r$  = intensità di pioggia ragguagliata all'area, calcolata con la linea segnalatrice per una durata pari al tempo di corrivazione del bacino (mm/sec)

A = superficie del bacino (ha)

y = coefficiente di deflusso per il bacino in esame stimato pari a 0,58

Sono stati ottenuti i seguenti valori per i diversi tempi di ritorno considerati:

$$Q_2 = 83.68 \text{ m}^3/\text{sec} \quad \text{- tempo di ritorno T=2 anni}$$

$$Q_{30} = 191.74 \text{ m}^3/\text{sec} \quad \text{- tempo di ritorno T=30 anni}$$

$$Q_{200} = 216.43 \text{ m}^3/\text{sec} \quad \text{- tempo di ritorno T=200 anni}$$

(valore fornito dall'Autorità di Bacino:  $Q_{200} = 215 \text{ m}^3/\text{sec}$ )

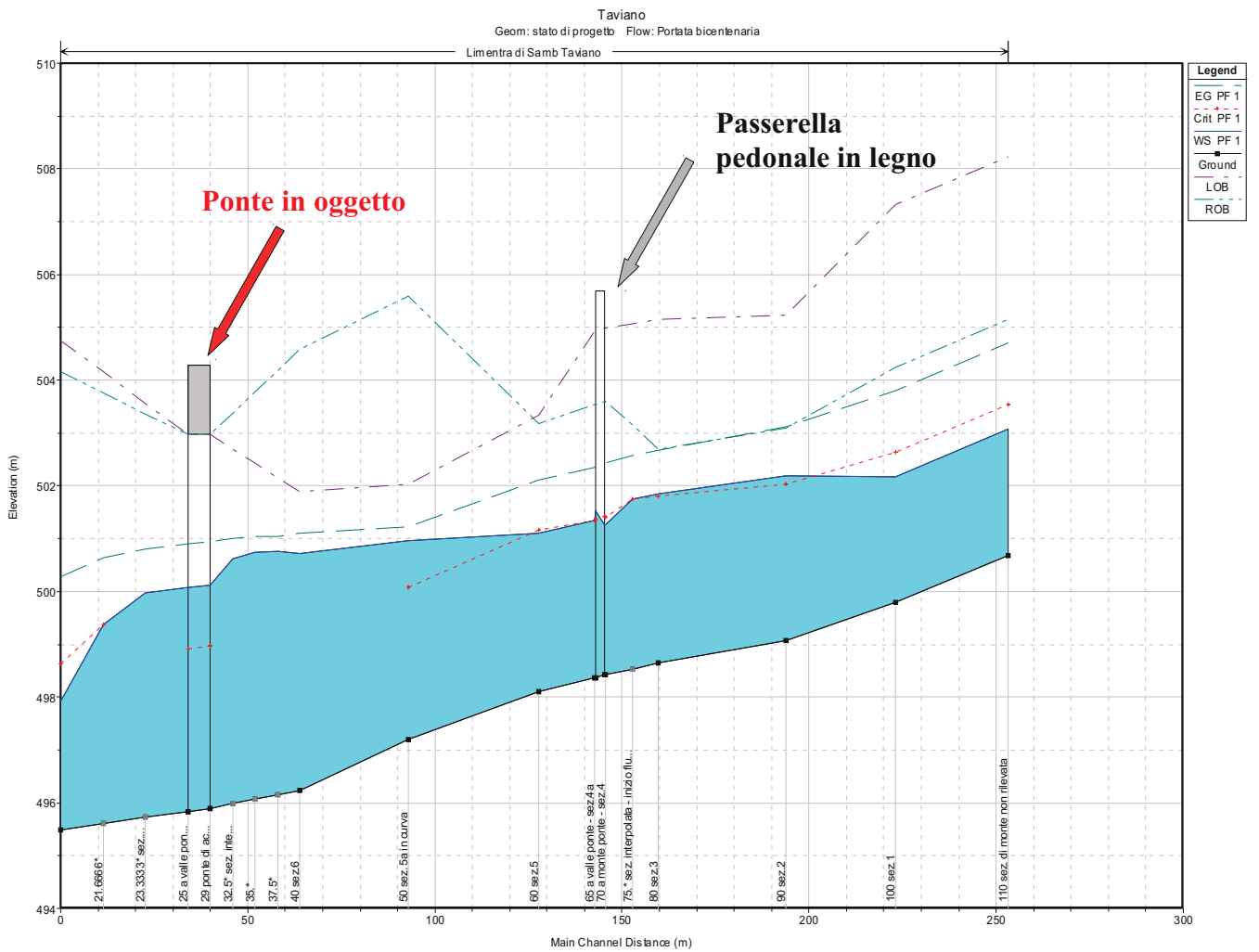
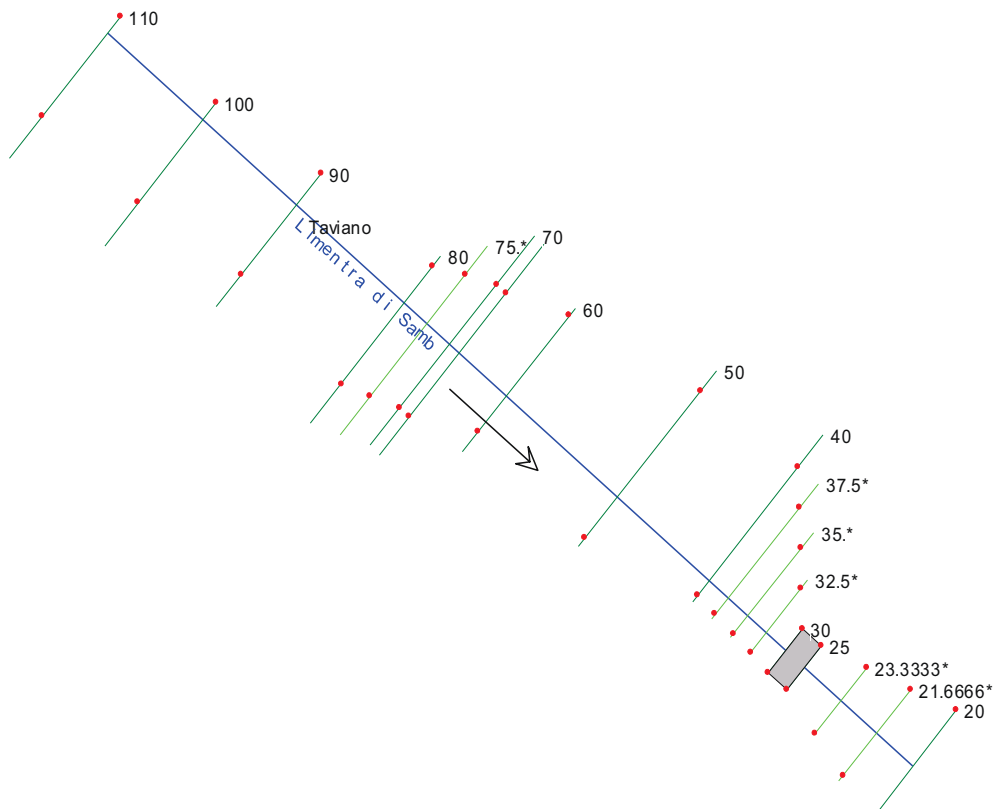
Il funzionamento idraulico del torrente Limentra all'intersezione con la passerella esistente è stato analizzato mediante impiego del programma di calcolo HEC-RAS 3.1.2 in condizioni di moto permanente.

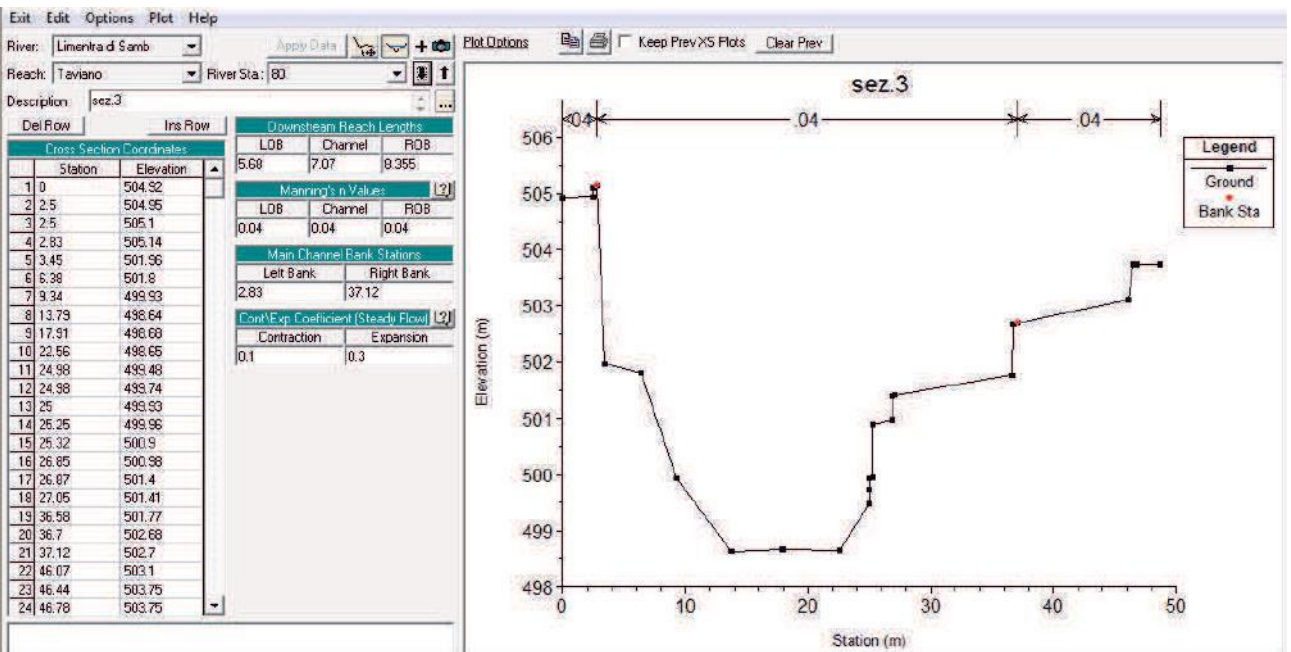
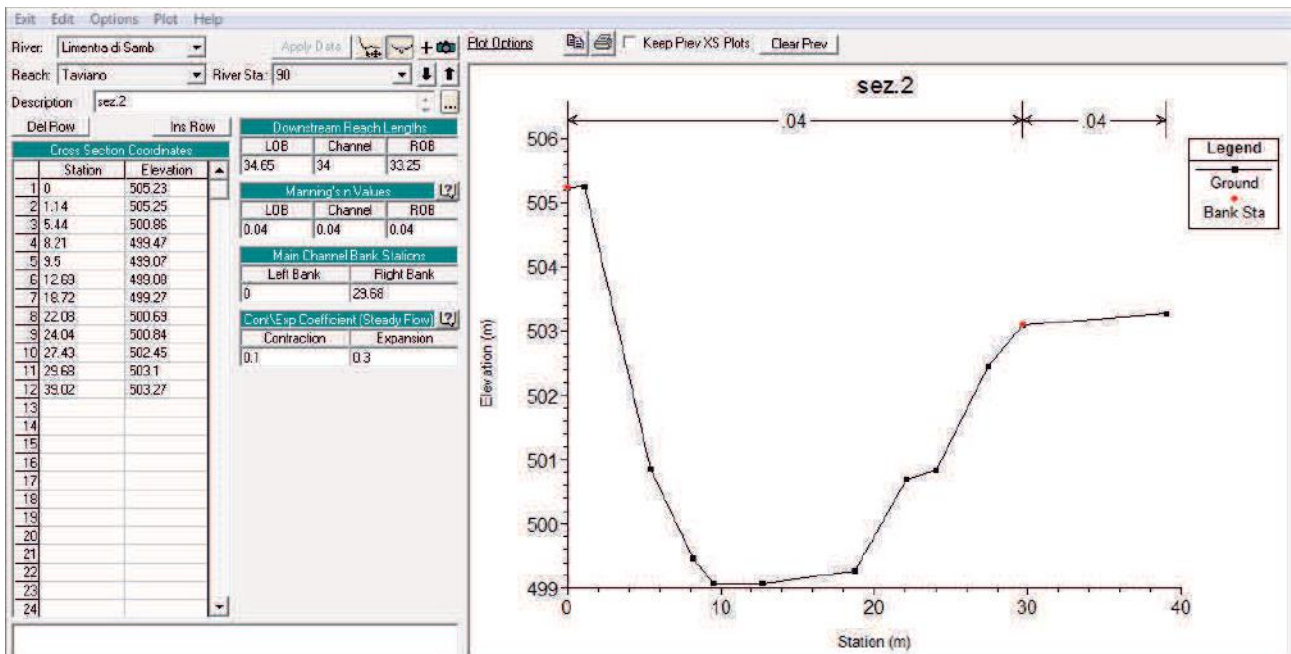
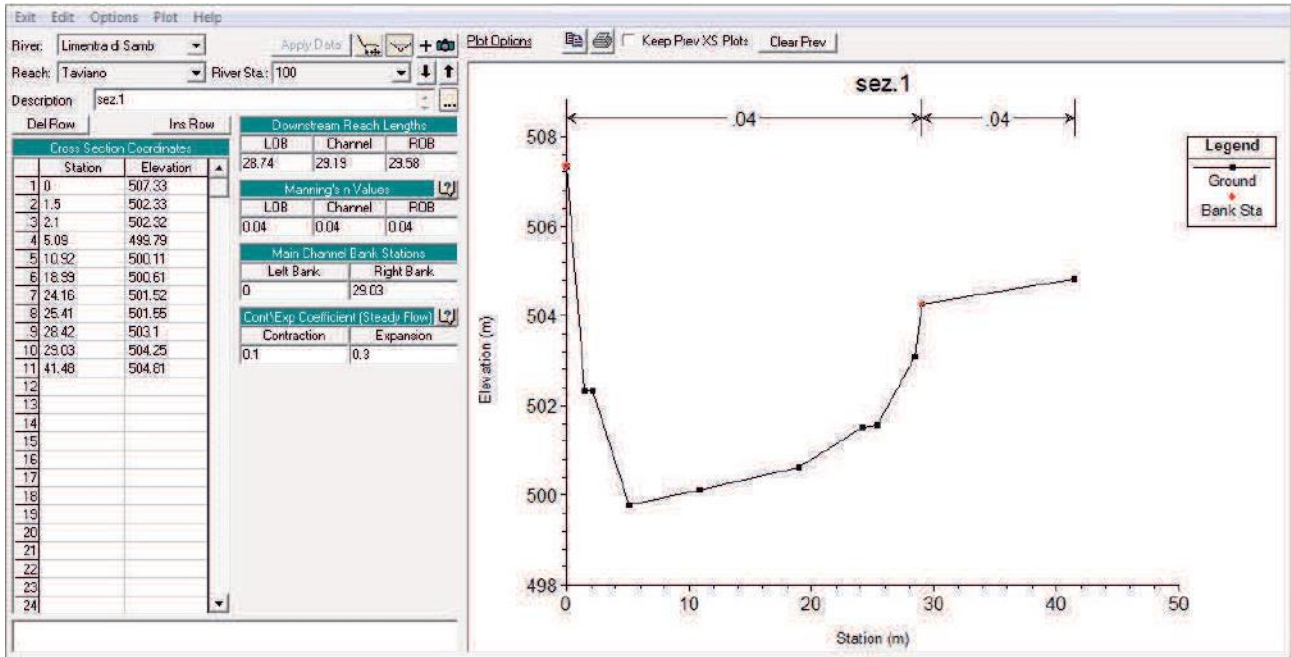
Il profilo idraulico dello stato di fatto è stato calcolato sulla base di 11 sezioni fluviali rilevate in un tratto di circa 250 m; ulteriori sezioni sono state successivamente inserite per la modellazione del passerella in legname e del ponte carrabile.

In tutti i calcoli è stato assunto un coefficiente di scabrezza secondo Manning pari a  $n = 0.04$ .

Come condizioni al contorno di monte e di valle si è considerata la corrente in moto uniforme, con una pendenza di fondo rispettivamente del 3% e del 1%.

Il profilo longitudinale dello stato di progetto (inserimento della passerella pedonale in legno) mette in evidenza che il transito della portata bicentenaria garantisce un franco di sicurezza rispetto all'intradosso delle travi del ponte di attraversamento di circa 3 metri, pertanto le condizioni imposte dalla legge regionale 21/2012 si ritengono soddisfatte.





River: Limentra di Samb  
 Reach: Taviano River Sta.: 70  
 Description: a monte ponte - sez 4

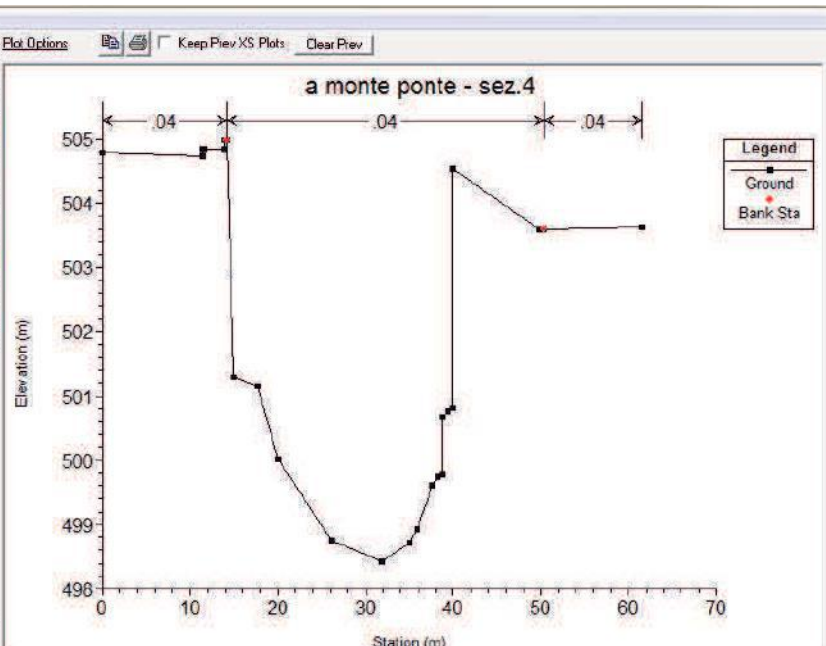
Cross Section Coordinates	
Station	Elevation
1	0
2	11.4
3	11.4
4	11.56
5	13.9
6	13.9
7	14.08
8	14.23
9	14.95
10	17.72
11	20.05
12	26.12
13	31.93
14	35
15	35.89
16	37.63
17	38.25
18	38.71
19	38.75
20	39.47
21	39.95
22	39.95
23	43.82
24	50.13

Downstream Reach Lengths		
LOB	Channel	ROB
3	3	3

Manning's n Values		
LOB	Channel	ROB
0.04	0.04	0.04

Main Channel Bank Stations	
Left Bank	Right Bank
14.23	50.23

Cont.Exp Coefficient (Steady Flow)	
Contraction	Expansion
0.1	0.3



River: Limentra di Samb  
 Reach: Taviano River Sta.: 60  
 Description: sez.5

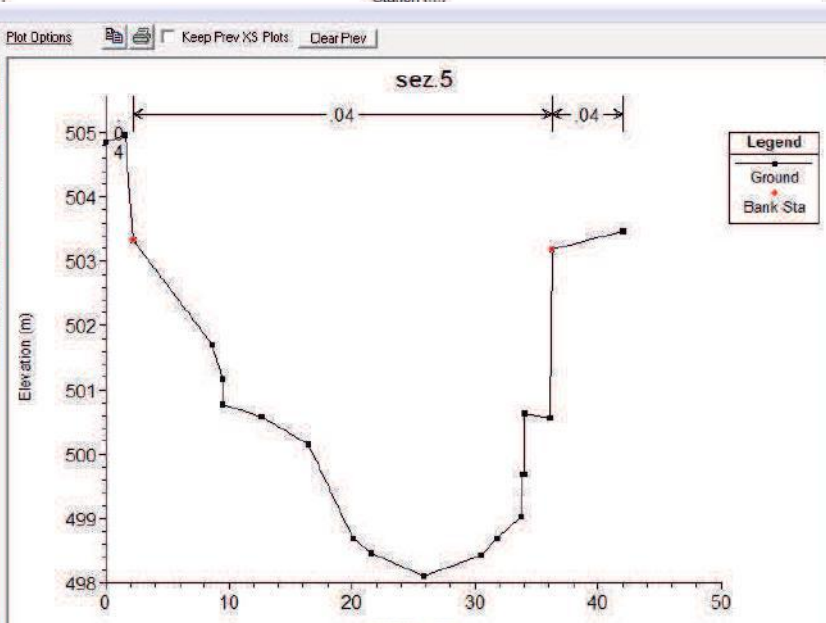
Cross Section Coordinates	
Station	Elevation
1	0
2	1.61
3	2.24
4	8.05
5	9.46
6	9.48
7	12.61
8	16.44
9	20.05
10	21.57
11	25.0
12	30.45
13	31.77
14	33.73
15	33.79
16	33.99
17	34.04
18	36.03
19	36.2
20	42.05
21	
22	
23	
24	

Downstream Reach Lengths		
LOB	Channel	ROB
10.95	34.79	44.21

Manning's n Values		
LOB	Channel	ROB
0.04	0.04	0.04

Main Channel Bank Stations	
Left Bank	Right Bank
2.24	36.2

Cont.Exp Coefficient (Steady Flow)	
Contraction	Expansion
0.1	0.3



River: Limentra di Samb  
 Reach: Taviano River Sta.: 50  
 Description: sez. 5a in curva

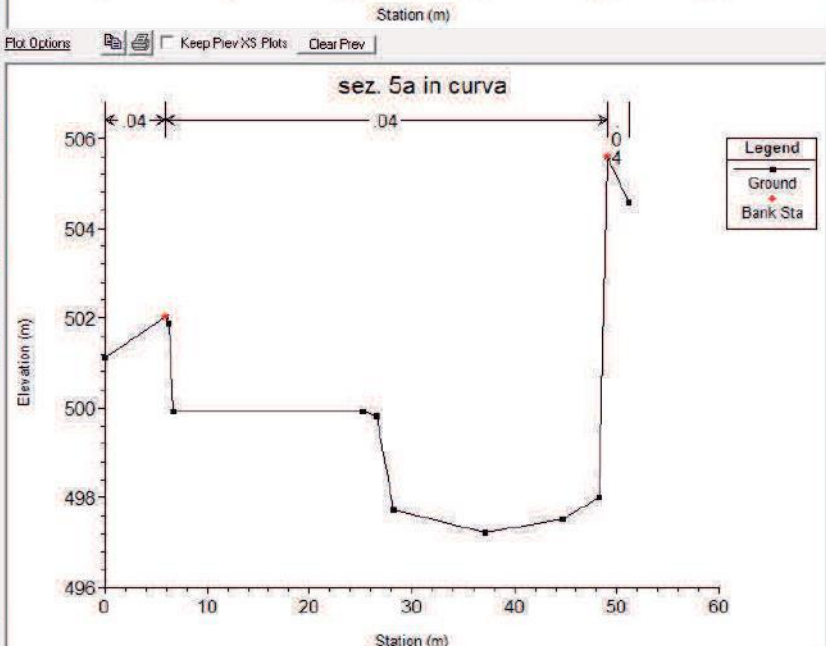
Cross Section Coordinates	
Station	Elevation
1	0
2	5.94
3	6.24
4	6.68
5	25.16
6	26.58
7	28.16
8	37.11
9	44.76
10	46.33
11	45.03
12	51.22
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	

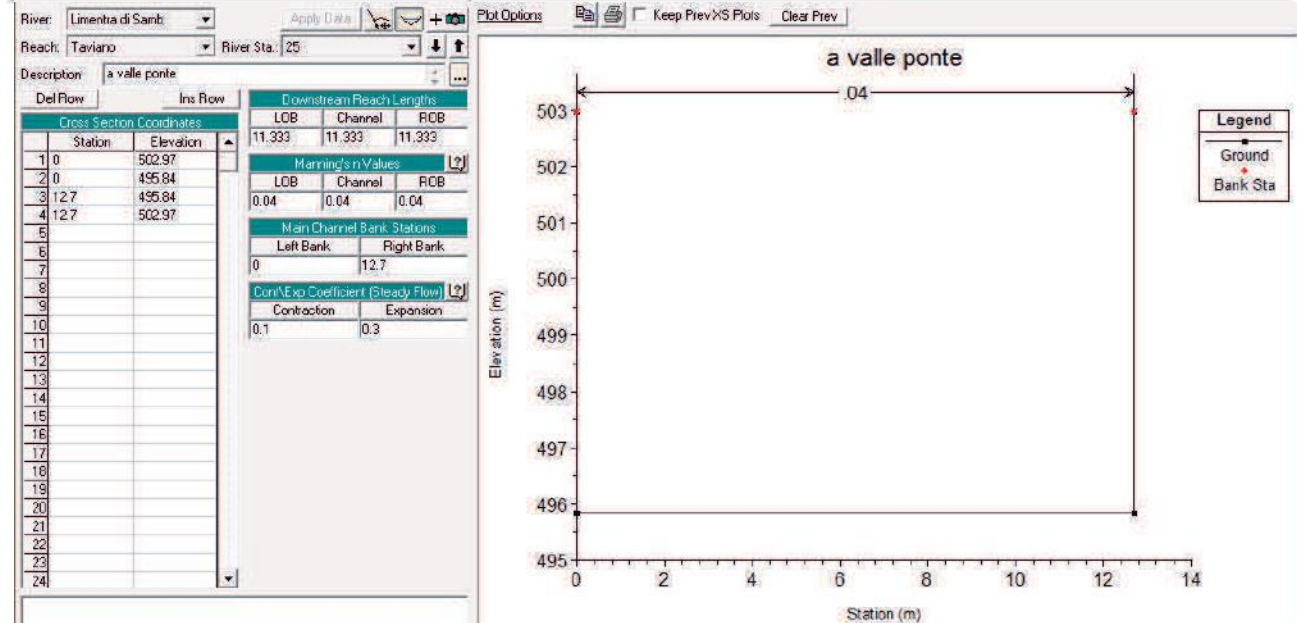
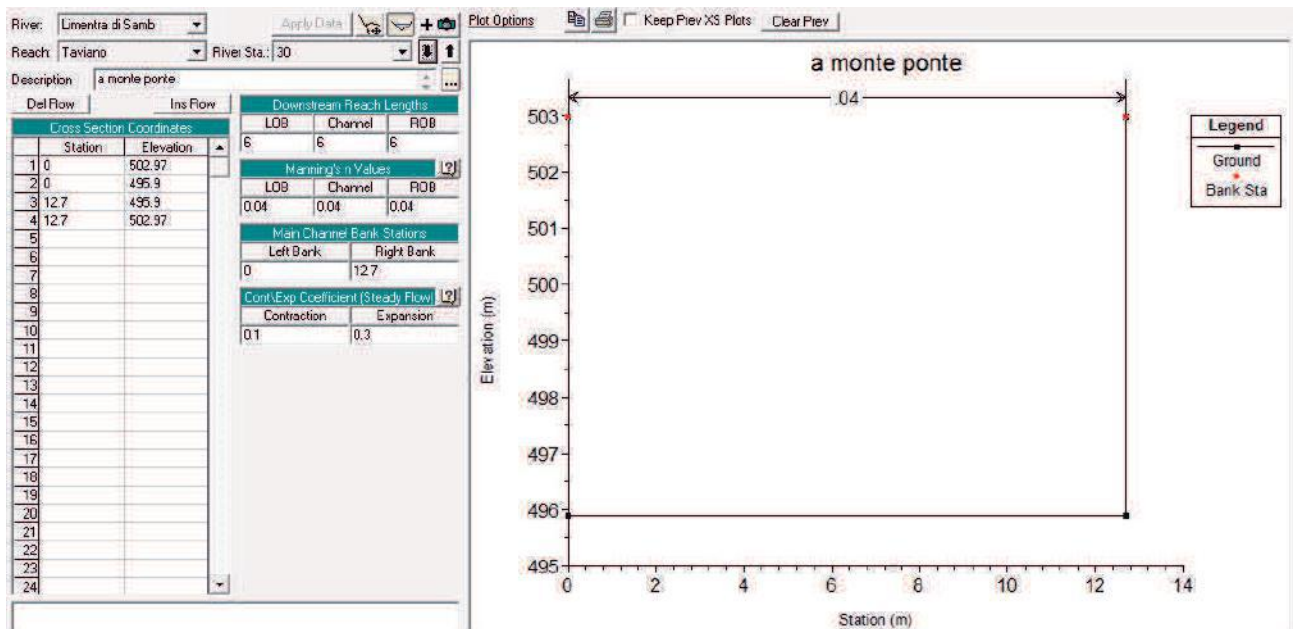
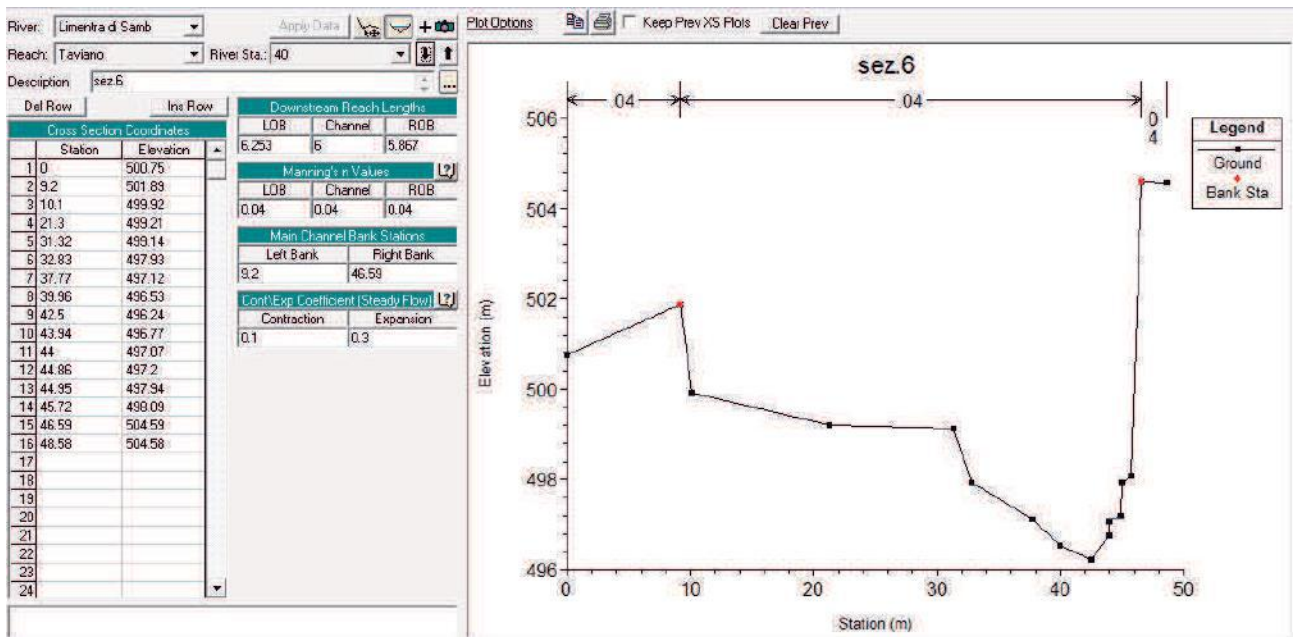
Downstream Reach Lengths		
LOB	Channel	ROB
0.99	28.91	39.79

Manning's n Values		
LOB	Channel	ROB
0.04	0.04	0.04

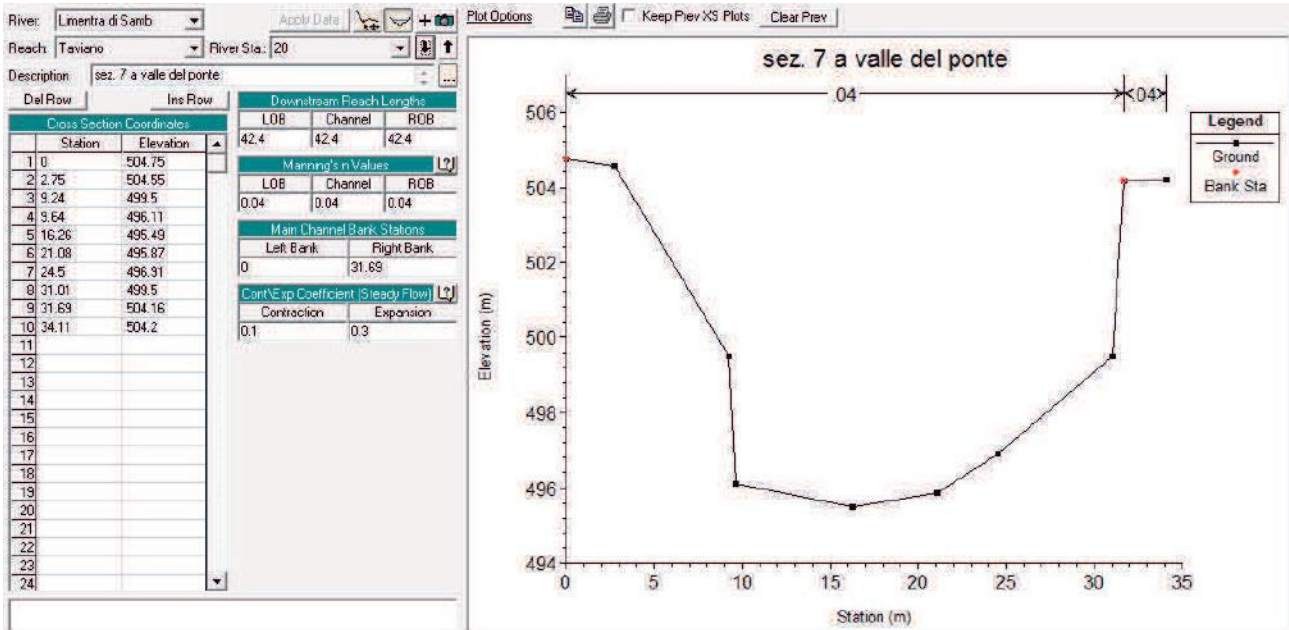
Main Channel Bank Stations	
Left Bank	Right Bank
5.94	49.03

Cont.Exp Coefficient (Steady Flow)	
Contraction	Expansion
0.1	0.3









- **Rif: P1037 – Ripristino della briglia sul Limentra di Sambuca in località Ponte Teglia (anno 2005)**

### Verifiche idrauliche

L'intervento previsto in perizia non modifica sostanzialmente le caratteristiche geometriche della briglia, in particolare il leggero abbassamento della gaveta e il conseguente aumento di pendenza atteso nel tratto a monte, garantiranno un migliore smaltimento delle piene in termini di altezza d'acqua sul coronamento rispetto alla situazione attuale. Sono comunque state condotte le opportune verifiche idrauliche, riportate in appendice, per la verifica del passaggio sulla briglia di una piena bicentenaria, stimata in 200 m<sup>3</sup>/sec: In tale circostanza l'altezza d'acqua in gaveta sarà pari a 1.10 m e il deflusso sarà contenuto all'interno delle spalle della struttura.

### Verifica bacino idrografico Torrente Limentra di Sambuca a Ponte Teglia

Tempo di ritorno T = 200 anni

#### Caratteristiche del bacino:

Area del bacino: Ab (ha) =	4446	(1 km <sup>2</sup> = 100 ha)
Lunghezza versanti: Lv (m) =	1200	
Lunghezza Rio: Lbc (km) =	19,3	
Quota massima: Za (m) =	1314	
Quota inizio asta: Zb (m) =	1045	
Quota di sbocco: Zc (m) =	760	
Quota media rispetto alla sez. di chiusura: Zm (m) =	277	(nell'ipotesi di curva ipsografica lineare)
Dislivello Rio: Dh (m) =	285	
Pendenza media: jbc (%) =	1,48	
Coefficiente di deflusso: k1 =	0,5	
Pendenza media dei versanti: jv (%) =	22,42	

#### Stima del tempo di corrvazione:

To(min) = 0,066 Lbc <sup>0,77</sup> [1000Lbc/(Zb-Zc)] <sup>0,385</sup> *60	1528,51	Kirpich	25,47511
To(min) = 0,127(Ab/jbc) <sup>0,5</sup> *60	418,12	Ventura	1250,97 Ventura bis
<b>To(min) = [4*radq (Ab/100) + 1,5*Lbc]/[ 0,8*radq (Zm)]*60</b>	<b>250,65</b>	<b>Giandotti</b>	4,177453
To(min) = 0,0045*24*3600/jbc <sup>1/2</sup> *(Lbc*Ab*1.E-9) <sup>1/3</sup>	702,60	Pasini	11,70999
Tcorr. =	250,00	(min)	4,17 (ore)
	724,97		

#### Analisi delle piogge:

Parametri della linea segnalatrice (per un tempo di ritorno T=200 anni) :

n =	0,43	
a =	70,18	
pioggia non ragguagliata	129,64	
n' = n + 0.0175*Ab/100	0,44	Puppini per
a' = a*(1-0.052*Ab/100+0.002*(Ab/100) <sup>2</sup> =	68,59	Ab<1300ha
n' = n + 0.014*Ab/10000	0,44	Puppini per
a' = a*(1-0.084*Ab/10000+0.007*(Ab/10000) <sup>2</sup> =	67,66	Ab<60000ha
n' = n + 0.03*(Ab/100) <sup>0,6</sup>	0,72	Columbo per
a' = a*(1-0.06*Ab/100 <sup>0,4</sup> ) =	49,81	1<Ab<50km <sup>2</sup>
Altezza di pioggia ragguagliata all'area: h = a*Tc <sup>n'</sup> =	139,65	(mm) Columbo
Intensità di pioggia ragguagliata all'area: ir = a*Tc <sup>(n'-1)</sup>	33,51	(mm/h)
Pioggia netta: ie (mm/h) = k1*ir =	16,76	

#### Stima della portata

Q = h*Ab/360	1724,62	Valentini per Tcorr.di circa 1 ora (k1=1 terreno impermeabile!)
<b>Portata: Q (mc/sec) = k1*ir*Ab/360 =</b>	<b>206,95</b>	<b>Formula razionale</b>
Coeff. udometrico: u (l/sec/ha) =	46,55	per passare a (m <sup>3</sup> /sec/km <sup>2</sup> ) basta dividere per 10 il coeff. udom. trovato

#### Formule empiriche in funz.della Sup.

Giandotti:	227,61	2<Ab<940 km <sup>2</sup>
Scimemi:	50,45	Ab<1000 km <sup>2</sup>
Pagliaro:	28,42	20<Ab<1000 km <sup>2</sup>
Kresnik - Valentini:	180,03	Per bacini montani
EASF Svizzera:	280,05	

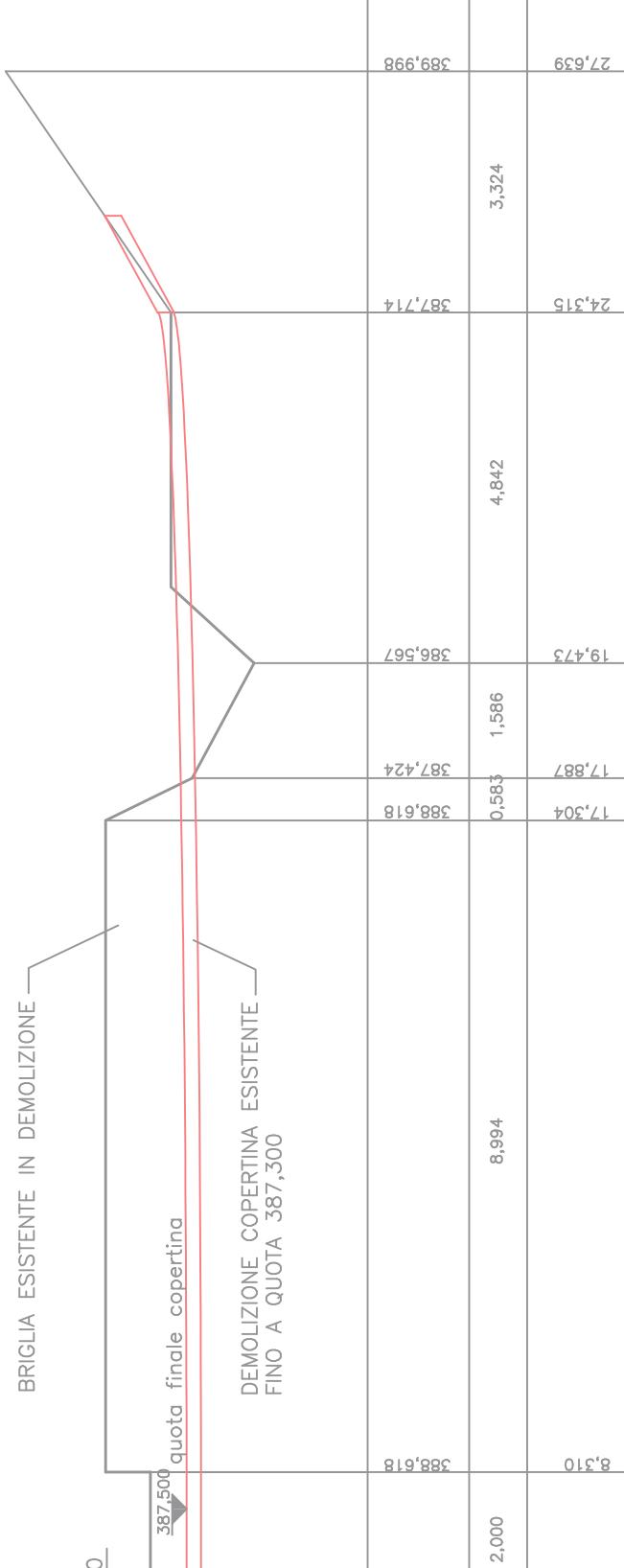
Si assumerà un valore di portata di progetto **Q = 200,00 m<sup>3</sup>/sec.**

==> VEDI TAVOLE ALLEGATE <==

1037\_tav1\_stato di fatto e di progetto

1037\_tav2\_stato di fatto e di progetto

1037\_tav3\_stato di fatto e di progetto



LAVORI DI CONSOLIDAMENTO DELLA BRIGLIA SUL  
 T.LIMENTRA DI SAMBUCA, LOCALITA' PONTE  
 TEGLIA - Comune di Sambuca Pistoiese (Pt)

1037 PROGETTO ESECUTIVO

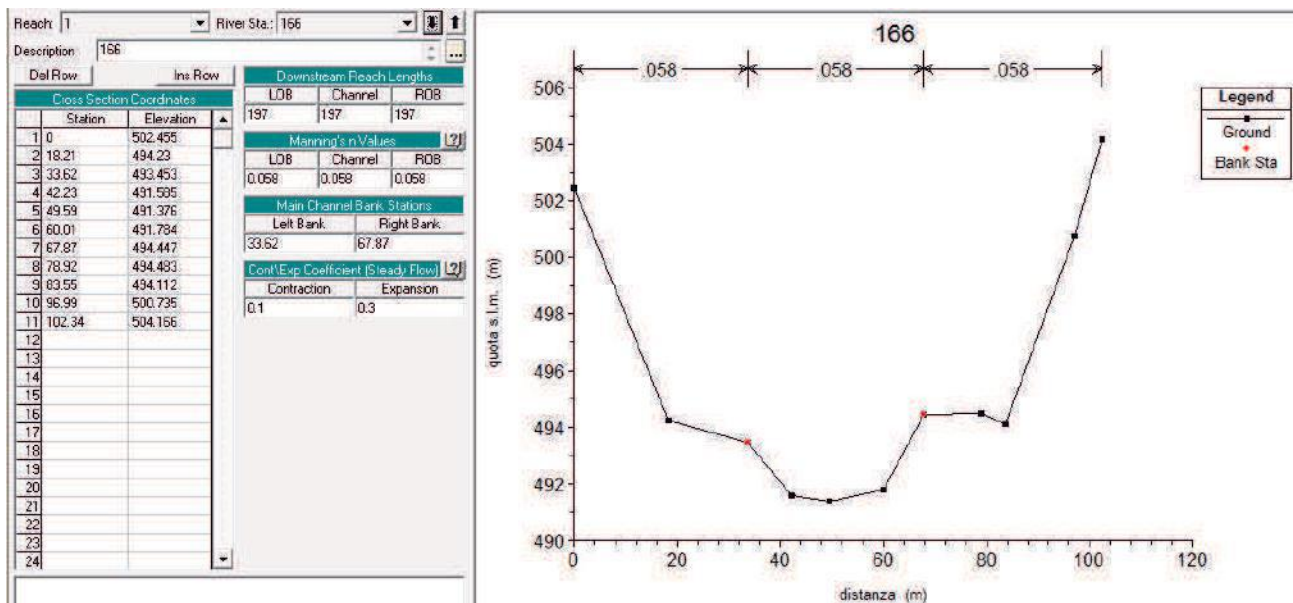
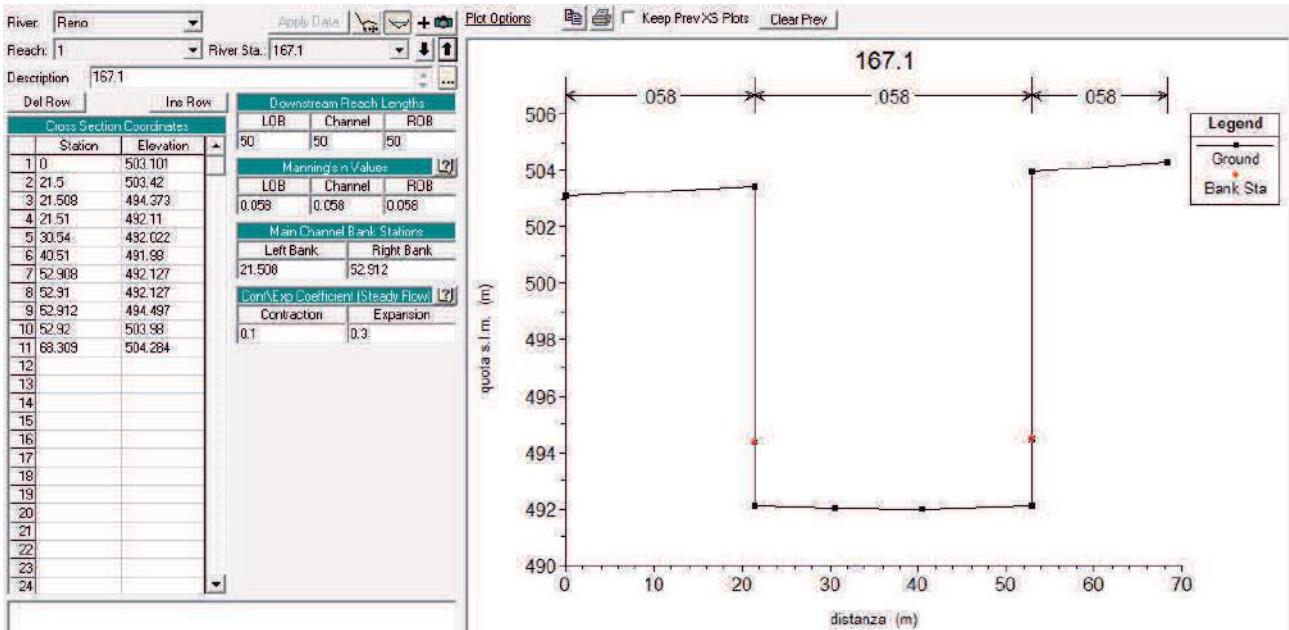
TAV. 4 SEZIONE N°2  
 scala 1:100

# FIUME RENO

- Rif: P1128 – Interventi di messa in sicurezza idraulica dell'abitato di case Ballerini e del ponte sul fiume Reno in località Molino del Pallone (anno 2006)

== > Vedi relazione idraulica allegata <==

Si riportano le sezioni utilizzate per la creazione del modello:



**CONSORZIO DELLA BONIFICA RENO PALATA**

**RELAZIONE IDRAULICA CONCERNENTE IL PROGETTO  
PRELIMINARE DI INTERVENTO DI MESSA IN SICUREZZA  
IDRAULICA DELL'ABITATO DI CASE BALLERINI E DEL PONTE  
SUL FIUME RENO IN LOCALITA' MOLINO DEL PALLONE NEI  
COMUNI DI GRANAGLIONE (BO) E SAMBUCA PISTOIESE (PT)**

**INCARICO DI COLLABORAZIONE OCCASIONALE**

(deliberato con provvedimento presidenziale di urgenza del 4/7/2006 - prot. n. 5131)

Dott. Ing. Luca Ziliani

Ottobre 2006

## INDICE

<b>PREMESSA.....</b>	<b>3</b>
<b>1 GEOMETRIA DEL TRATTO FLUVIALE.....</b>	<b>4</b>
1.1 CONFORMAZIONE ATTUALE.....	4
1.2 CONFORMAZIONE PREVISTA IN PROGETTO PRELIMINARE.....	4
<b>2 SIMULAZIONI IDRAULICHE.....</b>	<b>7</b>
2.1 MOTO PERMANENTE.....	7
2.2 MOTO VARIO.....	7
2.3 MODELLAZIONE DEL FENOMENO DEL TRASPORTO SOLIDO.....	9
<b>3 RISULTATI.....</b>	<b>9</b>
3.1 PROFILI IDRAULICI.....	9
3.2 TRASPORTO SOLIDO.....	23
<b>4 VALUTAZIONI CONCLUSIVE.....</b>	<b>25</b>

## PREMESSA

Il presente elaborato riporta i risultati prodotti dallo scrivente relativamente all'incarico di collaborazione occasionale assegnatogli dal Consorzio della Bonifica Reno Palata in data 4/7/2006 con provvedimento presidenziale d'urgenza (prot. n. 5131). L'incarico, che prevede l'elaborazione di un modello numerico per la valutazione del rischio idraulico sul Fiume Reno, si inserisce nell'ambito del progetto preliminare di intervento per la messa in sicurezza dell'attraversamento fluviale in località Molino del Pallone (comune di Granaglione, provincia di Bologna) e del nucleo abitato Case Ballerini, proposto dal Consorzio della Bonifica Reno Palata alle Autorità locali competenti (Autorità di Bacino del Reno, Provincia di Pistoia, Comune di Granaglione, Comune di Sambuca Pistoiese) e agli altri Enti interessati (RFI - Rete Ferroviaria Italiana, Enel S.p.a.). L'implementazione del modello idraulico è stata impostata a partire dalle risultanze prodotte dal lavoro di tesi<sup>1</sup> condotto dallo scrivente tra il giugno 2005 e il febbraio 2006 in collaborazione con l'Autorità di Bacino del Reno nella persona di Lorenza Ing. Zamboni (nel testo il riferimento al suddetto documento è indicato con [1]). Buona parte delle assunzioni di modellazione impostate per in fase di elaborazione numerica discendono da valutazioni e considerazioni condotte nell'ambito di anzidetto studio.

Nella presente relazione si definiscono in prima istanza le caratteristiche geometriche del tratto del Fiume Reno oggetto d'intervento (par. 1): vengono descritte sia la conformazione attuale (par. 1.1), sia quella definita dal complesso di interventi proposti in sede preliminare dal Consorzio Reno Palata (par 1.2).

S'illustrano quindi brevemente le impostazioni di calcolo assegnate per la modellazione dei diversi scenari di simulazione (par. 2), facendo distinzione tra quelle in moto permanente (par. 2.1) e quelle in moto vario (par. 2.2). E' stata altresì dedicata attenzione alla valutazione delle modifiche alle dinamiche di sedimentazione potenzialmente indotte dall'intervento di rizezionamento previsto in sede preliminare (par. 2.3).

In conclusione alla relazione si riportano i risultati delle simulazioni (par. 3), corredati delle valutazioni del caso (par. 4).

---

<sup>1</sup> "Modellazione numerica e indagine geomorfologica per la valutazione del rischio idraulico e delle dinamiche del profilo di fondo del Fiume Reno a monte dello sbarramento di Molino del Pallone", febbraio 2006

# **1 GEOMETRIA DEL TRATTO FLUVIALE**

## **1.1 CONFORMAZIONE ATTUALE**

La conformazione che attualmente caratterizza il Fiume Reno in corrispondenza dell'abitato Case Ballerini è stata compiutamente definita in seguito ad una serie di rilievi topografici esperiti tra l'autunno 2001 e il 26 giugno 2006.

Complessivamente le sezioni inserite per la definizione del modello geometrico sono state in numero di 24 unità, sinteticamente descritte in Tabella 1.

In particolare il tratto oggetto dell'intervento si colloca tra le sezioni 164.1 e 161.6 (numerazione adottata internamente al modello numerico - si veda Tabella 3) interessando una porzione del Fiume Reno che si sviluppa complessivamente per circa 200 metri a cavallo del ponte stradale che unisce Case Ballerini a Molino del Pallone. Le caratteristiche geometriche salienti relative alle sezioni che si collocano lungo suddetto tratto fluviale sono sinteticamente riportate in Tabella 1 e Tabella 3.

## **1.2 CONFORMAZIONE PREVISTA IN PROGETTO PRELIMINARE**

La progettazione preliminare di intervento realizzata dal Consorzio Reno Palata ha interessato esclusivamente il tratto compreso tra le sezioni 164.1 e 161.6 (numerazione adottata internamente al modello numerico), ovvero la porzione del corso d'acqua prospiciente l'abitato Case Ballerini (in destra idrografica, comune di Sambuca Pistoiese, provincia di Pistoia) a cavallo del ponte che unisce il suddetto nucleo di case a Molino del Pallone (in sinistra idrografica, comune di Granaglione, provincia di Bologna).

La forma di intervento indicata dal Consorzio prevede a livello preliminare un risezionamento localizzato dell'alveo attivo sia a valle che a monte del manufatto, mirato a conferire officiosità idraulica al rilevato stradale e ad incrementare i franchi di sicurezza in corrispondenza di Case Ballerini.



**Tabella 1 - Sezioni inserite per la definizione della geometria dell'intero tratto fluviale modellato**

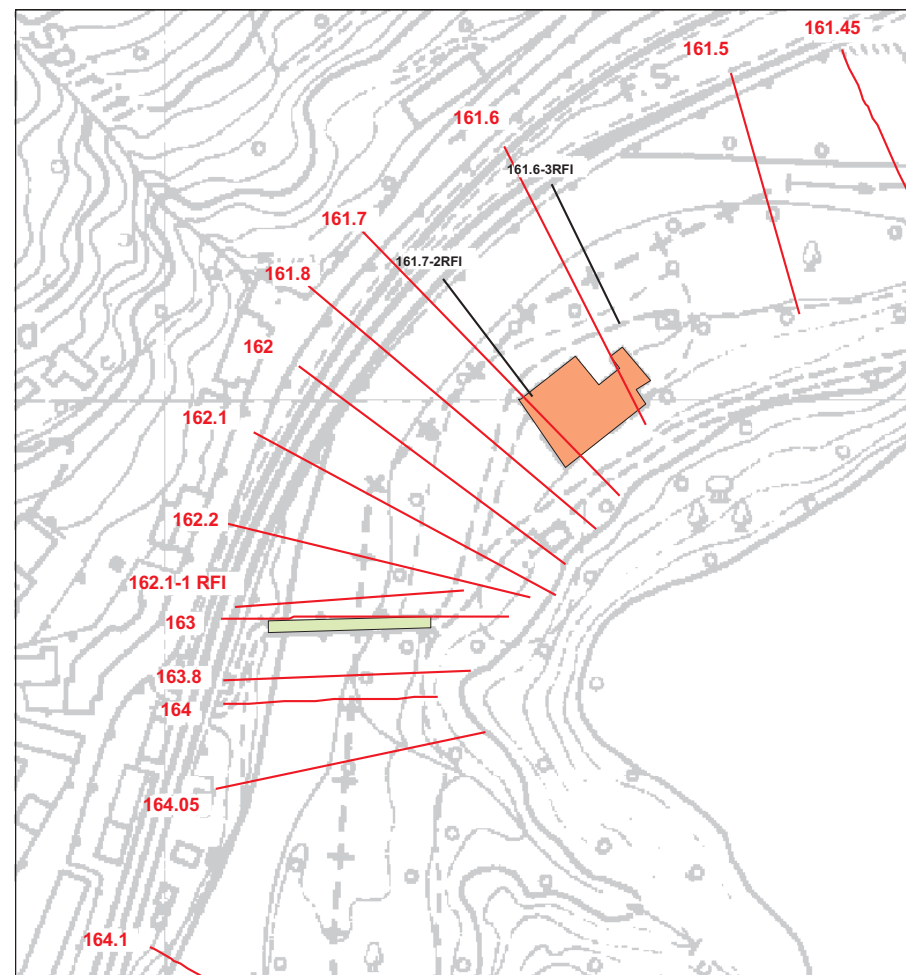
	N° SEZIONE MODELLO NUMERICO	N° SEZIONE ATTRIBUITO DAI RILEVATORI	RILEVATORI	RICHIEDENTE RILIEVO	PERIODO RILIEVO	DESCRIZIONE	NOTE
Monte	1	167.1	167 ABR	STAF S.r.l.	ABR	Novembre - Dicembre 2001	sez. monte PONTE FS 1 idrometro Molino del Pallone.
	2	166	166 ABR	STAF S.r.l.	ABR	Novembre - Dicembre 2001	
	3	165	165 ABR	STAF S.r.l.	ABR	Novembre - Dicembre 2001	
	4	164.2	164B	STAF S.r.l.	Consorzio Reno Palata	10/06/2005	
	5	164.1	164A	STAF S.r.l.	Consorzio Reno Palata	10/06/2005	
	6	164.05	Sez. G	STAF S.r.l.	Consorzio Reno Palata	10/06/2005	Sez. ricostruita a partite da quote diffusamente rilevate in alveo
	7	164	164 ABR	STAF S.r.l.	ABR	Novembre - Dicembre 2001	Sez. a monte del ponte di Molino del Pallone
	8	163.8	Sez. F	STAF S.r.l.	Consorzio Reno Palata	10/06/2005	Sez. ricostruita a partite da quote diffusamente rilevate in alveo
	9	163	163 ABR	STAF S.r.l.	ABR	Novembre - Dicembre 2001	Sez. appena a valle ponte a Molino del Pallone
	10	162.2	Sez. A	STAF S.r.l.	Consorzio Reno Palata	26 Giugno 2006	Sez. a valle ponte stradale Molino del Pallone
	11	162.1	1 RFI	Tecnici RFI	RFI	Gennaio - Settembre 2004	Sez. adottata solo per la definizione della configurazione d'alveo attuale
	12	162.1	Sez. B	STAF S.r.l.	Consorzio Reno Palata	26 Giugno 2006	Sez. ricostruita a partite da quote diffusamente rilevate in alveo
	13	162	162 ABR	STAF S.r.l.	ABR	Novembre - Dicembre 2001	Sez. a valle del ponte di Molino del Pallone
	14	161.8	Sez. C	STAF S.r.l.	Consorzio Reno Palata	26 Giugno 2006	Sez. ricostruita a partite da quote diffusamente rilevate in alveo
	15	161.7	Sez. D	STAF S.r.l.	Consorzio Reno Palata	26 Giugno 2006	Sez. ricostruita a partite da quote diffusamente rilevate in alveo
	16	161.6	Sez. E	STAF S.r.l.	Consorzio Reno Palata	26 Giugno 2006	Sez. ricostruita a partite da quote diffusamente rilevate in alveo
	17	161.5	4 RFI	Tecnici RFI	RFI	Gennaio - Settembre 2004	
	18	161.45	161B	STAF S.r.l.	Consorzio Reno Palata	26 Giugno 2006	
	19	161.4	5 RFI	Tecnici RFI	RFI	Gennaio - Settembre 2004	
	20	161.3	6 RFI	Tecnici RFI	RFI	Gennaio - Settembre 2004	
	21	161.2	7 RFI	Tecnici RFI	RFI	Gennaio - Settembre 2004	
	22	161.1	8 RFI	Tecnici RFI	RFI	Gennaio - Settembre 2004	
	23	161	161 ABR	STAF S.r.l.	ABR	Novembre - Dicembre 2001	
	24	160.7	10 RFI	Tecnici RFI	RFI	Gennaio - Settembre 2004	
	25	160.6	11 RFI	Tecnici RFI	RFI	Gennaio - Settembre 2004	
	26	160.5	12 RFI	Tecnici RFI	RFI	Gennaio - Settembre 2004	sez. in corrispondenza dell'imbocco della galleria ferroviaria Copandia
	27	160.4	13 RFI	Tecnici RFI	RFI	Gennaio - Settembre 2004	
	28	160.3	14 RFI	Tecnici RFI	RFI	Gennaio - Settembre 2004	
	29	160.2	15 RFI	Tecnici RFI	RFI	Gennaio - Settembre 2004	
Valle	30	160.1	16 RFI	Tecnici RFI	RFI	Gennaio - Settembre 2004	sez. appena a monte dello sbarramento ENEL

**Tabella 2 - Elenco delle sezioni disponibili ma non adottate per la modellazione geometrica**

N° SEZ. RILEVATORI	RILEVATORI	RICHIEDENTE RILIEVO	PERIODO RILIEVO	DISTANZA PROGRESSIVA DA VALLE [m]	DESCRIZIONE
2 RFI	Tecnici RFI	RFI	Gennaio - Settembre 2004	949,86	sez. prospiciente Case Ballerini, s'interpone tra le sezioni 161.7, 161.6
3 RFI	Tecnici RFI	RFI	Gennaio - Settembre 2004	908	sez. prospiciente Case Ballerini, s'interpone tra le sezioni 161.6, 161.5

**Tabella 3 - Sezioni che definiscono la configurazione del tratto fluviale prospiciente Case Ballerini (tratto oggetto di intervento)**

N° SEZ. MODELLO	N° SEZIONE ATTRIBUITO DAI RILEVATORI	DISTANZA PROGRESSIVA DA VALLE [m]	DISTANZA A DALLA SEZIONE DI VALLE [m]	QUOTA THALWEG [m s.l.m.]	PENDENZA %
164.1	164A	1181.84	99.39	484.18	1.7
164.05	sez. G	1100.46	18	482.94	2.39
164	164	1082.46	8	482.51	2.25
163.8	sez. F	1074.46	20	482.33	0.80
163	163 ABR	1054.46	22.3	482.17	2.33
162.2	sez. A	1032.16	20	481.65	2.60
162.1	sez. B	1012.16	20	481.13	2.65
162	162 ABR	992.16	20	480.6	2.60
161.8	sez. C	972.16	20	480.08	2.60
161.7	sez. D	952.16	40	479.56	-1.00
161.6	sez. E	912.16	70.63	479.96	0.42
161.5	RFI 4	841.53	40.08	479.66	-0.35
161.45	161B	801.45	39.27	479.8	4.13
161.4	RFI 5	762.18	71.13	478.18	0.94



<sup>2</sup> punto più depresso della sezione trasversale di un corso d'acqua, in corrispondenza del quale si considera passante l'asse principale

## 2 SIMULAZIONI IDRAULICHE

Per la valutazione del rischio idraulico associato alle infrastrutture insistenti sul tratto oggetto di intervento si sono analizzati eventi con tempo di ritorno 30 e 50 anni relativamente all'elevata probabilità di inondazione e di 200 anni per la moderata probabilità di inondazione (classi definite dalla Legge 267/98).

Le portate al colmo e gli idrogrammi di piena in corrispondenza della sezione di Molino del Pallone (167.1) con i suddetti tempi di ritorno sono stati generati dal modello idrologico concettuale afflussi - deflussi ARNO (disponibile presso l'Autorità di Bacino del Reno). Il modello calcola le onde di portata in prefissate sezioni del reticolo idrografico a partire dai dati relativi al bacino imbrifero e di precipitazione. Le precipitazioni utilizzate sono costituite da eventi estremi calcolati sulla base della regionalizzazione delle piogge (Todini).

### 2.1 MOTO PERMANENTE

Per gli scenari di calcolo in moto permanente si sono adottate le portate corrispondenti ai picchi delle suddette onde di piena riportate nella seguente tabella.

	Tempo di ritorno [anni]	Portata [m <sup>3</sup> /s]
SCENARIO 1	30	423
SCENARIO 2	50	470
SCENARIO 3	200	596

Per tutti gli scenari, a causa delle condizioni di deflusso misto lungo il tratto modellato, si sono adottate le condizioni al contorno di monte e di valle riportate di seguito.

	SEZIONE	TIPOLOGIA DI CONDIZIONE AL CONTORNO
CONDIZIONE DI MONTE	167.1	Condizione di moto uniforme con linea dei carichi parallela al fondo ( $i=0.012$ )
CONDIZIONE DI VALLE	159.142	Condizione di moto uniforme. Scala di deflusso associata alla sezione di valle dedotta in seguito a procedimento di modellazione del comportamento di rilascio del sistema di paratoie dello sbarramento fluviale di Molino del Pallone. La scala di deflusso ottenuta è stata sottoposta a calibrazione e validazione ([1])

### 2.2 MOTO VARIO

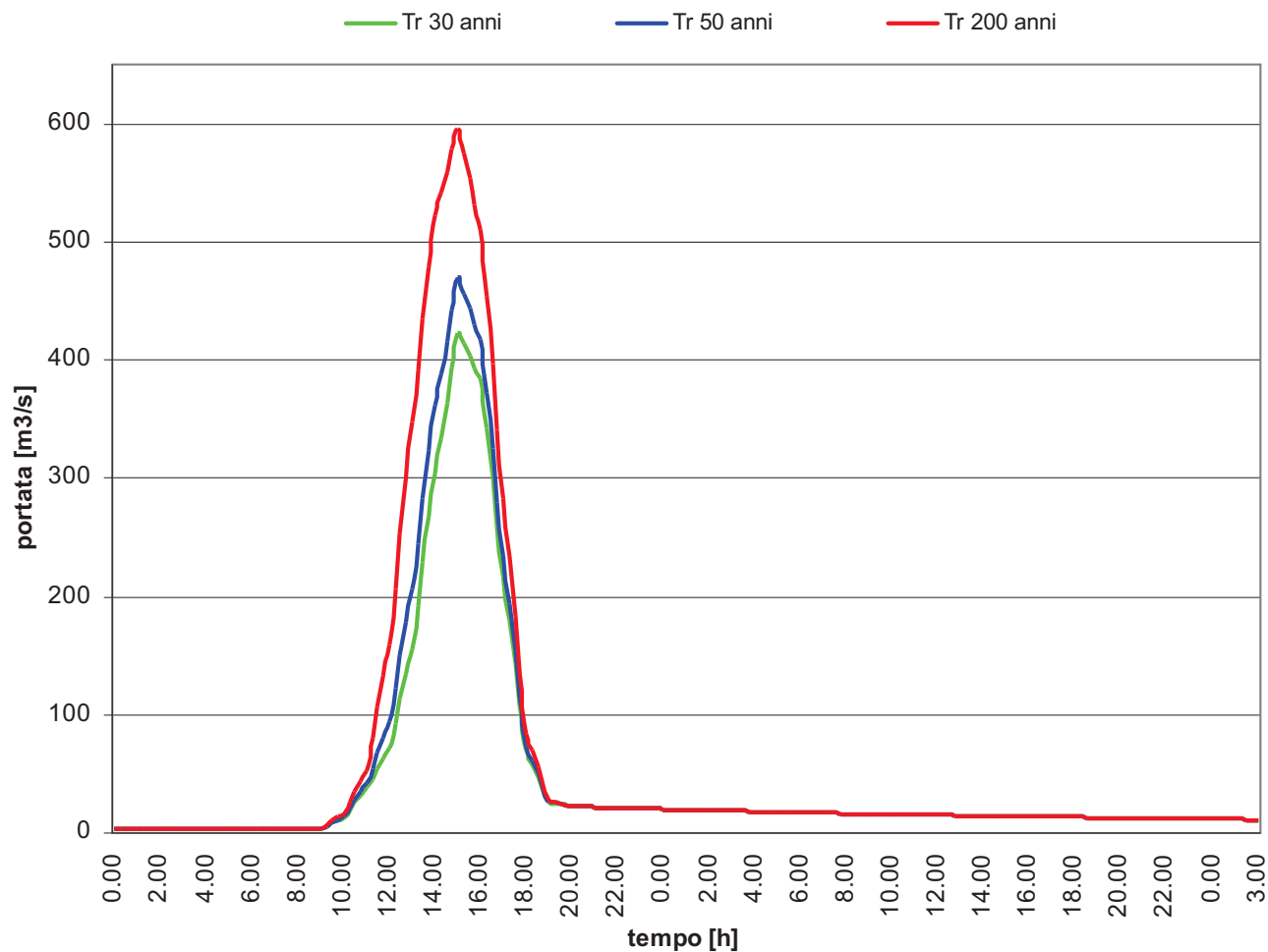
Per le simulazioni degli eventi di piena estremi si sono introdotti, quali condizioni di monte, gli idrogrammi generati dal modello idrologico concettuale afflussi - deflussi ARNO (disponibile presso l'Autorità di Bacino del Reno - si veda Tabella 4).

Quale condizione di valle del modello si è imposta la scala di deflusso ricavata in [1] in seguito a specifici procedimenti di modellazione del comportamento del sistema di paratoie installate presso lo sbarramento Enel di Molino del Pallone, situato all'estremità di valle del tratto fluviale modellato.

Tabella 4

Tempo [h]	SCENARIO 1 Tr 30 [m <sup>3</sup> /s]	SCENARIO 2 Tr 50 [m <sup>3</sup> /s]	SCENARIO 3 Tr 200 [m <sup>3</sup> /s]
1.00	0.62	0.62	0.62
2.00	2.05	2.05	2.05
3.00	3.27	3.27	3.27
4.00	3.59	3.59	3.59
5.00	3.58	3.58	3.58
6.00	3.54	3.54	3.54
7.00	3.50	3.50	3.50
8.00	3.46	3.46	3.46
9.00	3.42	3.42	3.42
10.00	3.38	3.38	3.38
11.00	12.84	13.76	16.44
12.00	37.97	41.69	53.17
13.00	71.16	93.81	159.53
14.00	155.83	205.97	347.25
15.00	303.62	361.83	522.67
16.00	423.38	469.59	596.34
17.00	383.61	417.18	510.26
18.00	216.83	234.34	283.21
19.00	69.06	73.19	84.72
20.00	26.20	26.49	27.31
21.00	22.34	22.34	22.34
22.00	21.74	21.74	21.74
23.00	21.16	21.16	21.16
24.00	20.61	20.61	20.61
1.00	20.08	20.08	20.08
2.00	19.57	19.57	19.57
3.00	19.08	19.08	19.08
4.00	18.60	18.60	18.60
5.00	18.15	18.15	18.15
6.00	17.71	17.71	17.71
7.00	17.28	17.28	17.28
8.00	16.88	16.88	16.88
9.00	16.48	16.48	16.48
10.00	16.10	16.10	16.10
11.00	15.73	15.73	15.73
12.00	15.38	15.38	15.38
13.00	15.03	15.03	15.03
14.00	14.70	14.70	14.70
15.00	14.38	14.38	14.38
16.00	14.07	14.07	14.07
17.00	13.77	13.77	13.77
18.00	13.48	13.48	13.48
19.00	<13.19	13.19	13.19
20.00	12.92	12.92	12.92
21.00	12.65	12.65	12.65
22.00	12.40	12.40	12.40
23.00	12.15	12.15	12.15
24.00	11.91	11.91	11.91
1.00	11.67	11.67	11.67
2.00	11.44	11.44	11.44
3.00	11.22	11.22	11.22

Figura 1 - Idrogrammi di piena degli eventi estremi utilizzati per le simulazioni



## 2.3 MODELLAZIONE DEL FENOMENO DEL TRASPORTO SOLIDO

Al fine di valutare gli effetti che l'intervento preliminare di risezionamento può potenzialmente indurre sulle dinamiche di trasporto solido si è applicate le seguenti forme di approssimazione e modellazione.

- FORMULA DI TRASPORTO SOLIDO: Meyer-Peter-Muller (l'unica formula tra quelle implementate dal software adottato, applicabile a granulometrie dello stesso ordine di grandezza di quelle caratterizzanti i sedimenti nel tratto modellato);
- PORTATA LIQUIDA: portata di modellamento ( $76.5 \text{ m}^3/\text{s}$ ) molto simile a quella di alveo pieno ( $73.87 \text{ m}^3/\text{s}$  - si veda [1]);
- SCALA GRANULOMETRICA: come ricavata in [1] in seguito a campionamento sedimentologico in alveo ( $D_{50} = 54.2 \text{ mm}$ ,  $D_M = 81 \text{ mm}$ );
- PROCEDIMENTO DI INTERPOLAZIONE DELLE PORTATE SOLIDE OTTENUTE PER OGNI SEZIONE: media mobile, passo 2.

## 3 RISULTATI

### 3.1 PROFILI IDRAULICI

In Tabella 5 si riporta un quadro di sintesi dei risultati ottenuti in seguito alla simulazione dei vari eventi di piena per entrambe le geometrie d'alveo (prima e dopo l'intervento previsto dal progetto preliminare), con particolare riferimento alle situazioni rilevate in corrispondenza del ponte di Molino del Pallone e del tratto fluviale di fronte all'abitato Case Ballerini.

Di seguito si allegano altresì i profili liquidi di moto permanente (Figure 2 - 7) e quelli ottenuti nell'ambito delle simulazioni in moto vario per inviluppo dei massimi livelli registrati durante ciascun evento (Figure 8 - 13).

**Tabella 5 - Sintesi dei risultati**

			PONTE A MOLINO DEL PALLONE <sup>1</sup>		CASE BALLERINI <sup>2</sup>		PROFILI LIQUIDI
			Quota Pelo libero [m s.l.m.]	Franco [m]	Quota Pelo libero [m s.l.m.]	Franco [m]	
<b>MOTO PERMANENTE</b>	<b>SCENARIO 1</b> picco con Tr 30 anni	<b>PRIMA DELL'INTERVENTO</b>	486.5	Sormonto dell'impalcato per 0.3 m	483.48	0.56	Figura 2
		<b>DOPO L'INTERVENTO</b>	485.1	0.9	484.48	0.38	Figura 3
	<b>SCENARIO 2</b> picco con Tr 50 anni	<b>PRIMA DELL'INTERVENTO</b>	486.72	Sormonto dell'impalcato per 0.52 m	485.05	0.39	Figura 4
		<b>DOPO L'INTERVENTO</b>	486.28	Sormonto dell'impalcato per 0.08 m	484.66	0.2	Figura 5
	<b>SCENARIO 3</b> picco con Tr 200 anni	<b>PRIMA DELL'INTERVENTO</b>	487.22	Sormonto dell'impalcato per 1.02 m	485.69	Case Ballerini viene inondata. Sormonto della difesa di 0.25 m	Figura 6
		<b>DOPO L'INTERVENTO</b>	486.38	Sormonto dell'impalcato per 0.18 m	485.1	Case Ballerini viene inondata. Sormonto della difesa di 0.24 m	Figura 7
<b>MOTO VARIO</b>	<b>SCENARIO 1</b> onda con Tr 30 anni	<b>PRIMA DELL'INTERVENTO</b>	486.51	Sormonto dell'impalcato per 0.31 m	483.5	0.54	Figura 8
		<b>DOPO L'INTERVENTO</b>	484.98	1.22	483.52	0.52	Figura 9
	<b>SCENARIO 2</b> onda con Tr 50 anni	<b>PRIMA DELL'INTERVENTO</b>	486.64	Sormonto dell'impalcato per 0.44 m	483.64	0.4	Figura 10
		<b>DOPO L'INTERVENTO</b>	485.17	0.97	483.65	0.39	Figura 11
	<b>SCENARIO 3</b> onda con Tr 200 anni	<b>PRIMA DELL'INTERVENTO</b>	487.25	Sormonto dell'impalcato per 1.05 m	484.02	0.02	Figura 12
		<b>DOPO L'INTERVENTO</b>	486.36	Sormonto dell'impalcato per 0.14 m	484.04	0	Figura 13

<sup>1</sup> valori misurati in corrispondenza alla sezione 163.1 appena a monte del ponte. Quota estradosso impalcato: 486.2 m s.l.m.; quota intradosso impalcato: 485.65 m s.l.m.

<sup>2</sup> valori rilevati in corrispondenza delle seguenti sezioni (nella tabella sopra sono stati riportati i valori associati alla sezione maggiormente sollecitata):

N. sezione	Quota protezione abitato [m s.l.m.]
162	487.13
161.7	485.44
161.6	484.86
161.55	484.04

Figura 2 - Profilo liquido in moto permanente associato al picco di portata con tempo di ritorno 30 anni. Configurazione d'alveo attuale

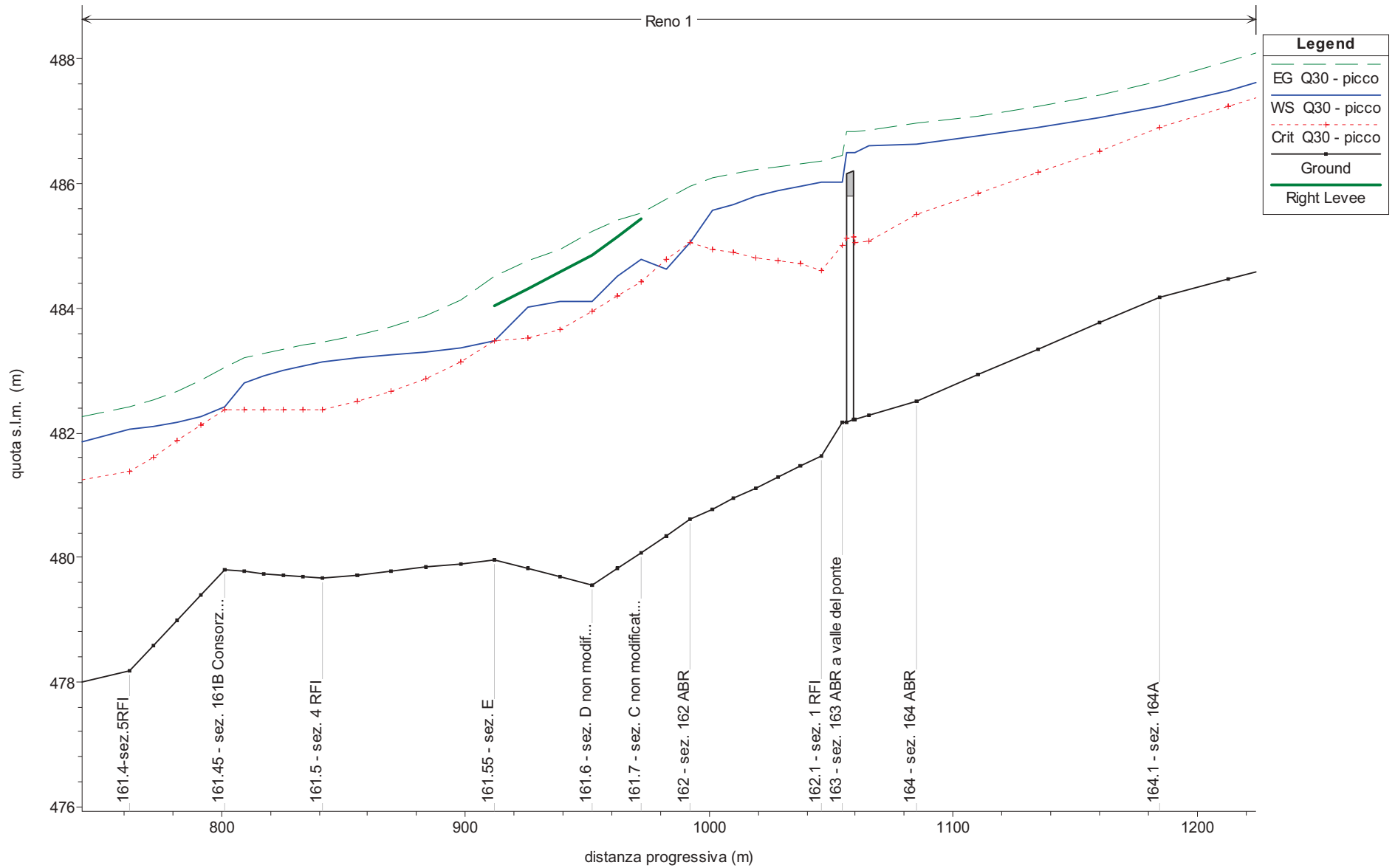


Figura 3 - Profilo liquido in moto permanente associato al picco di portata con tempo di ritorno 30 anni. Configurazione da progetto preliminare

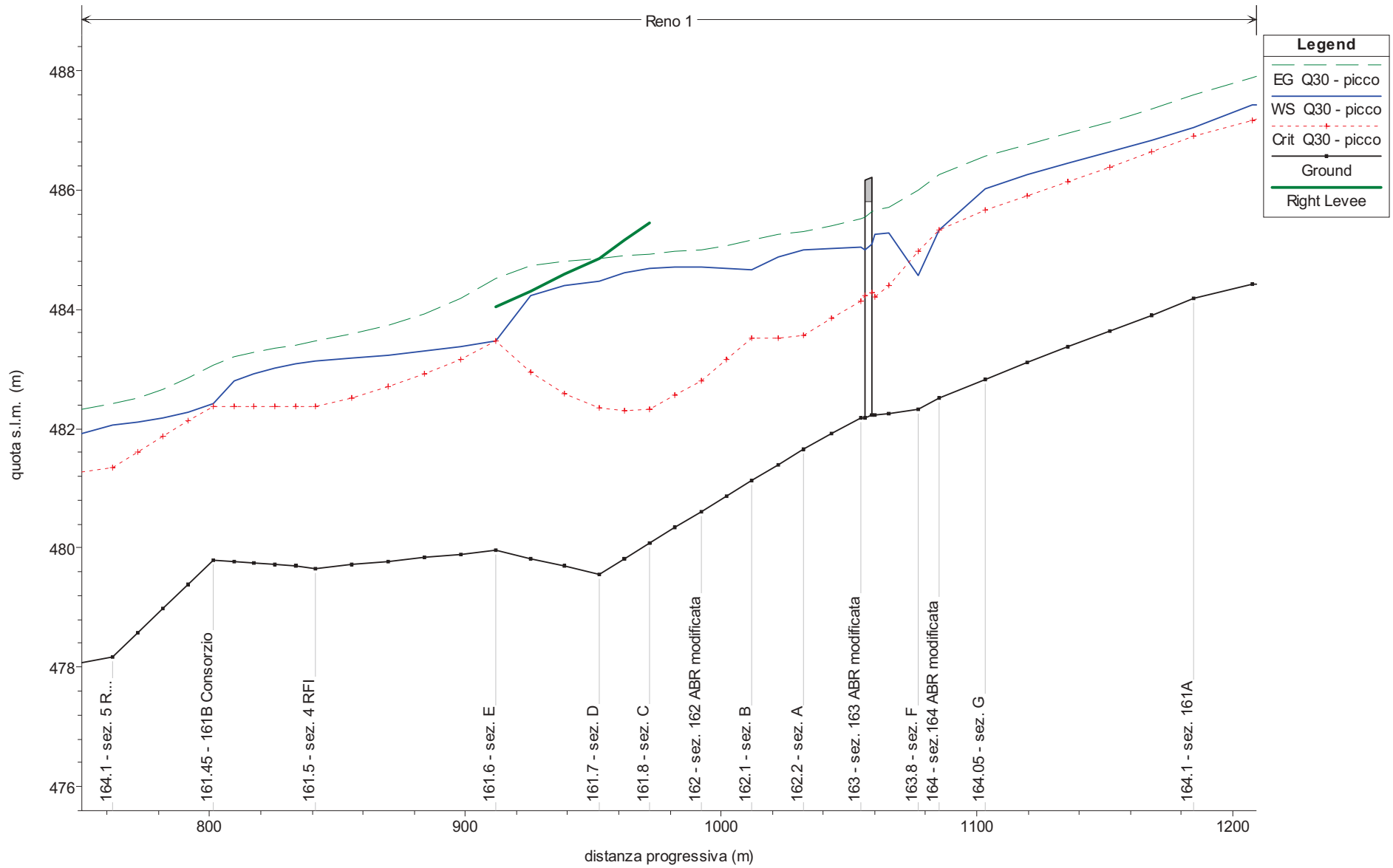




Figura 4 - Profilo liquido in moto permanente associato al picco di portata con tempo di ritorno 50 anni. Configurazione d'alveo attuale

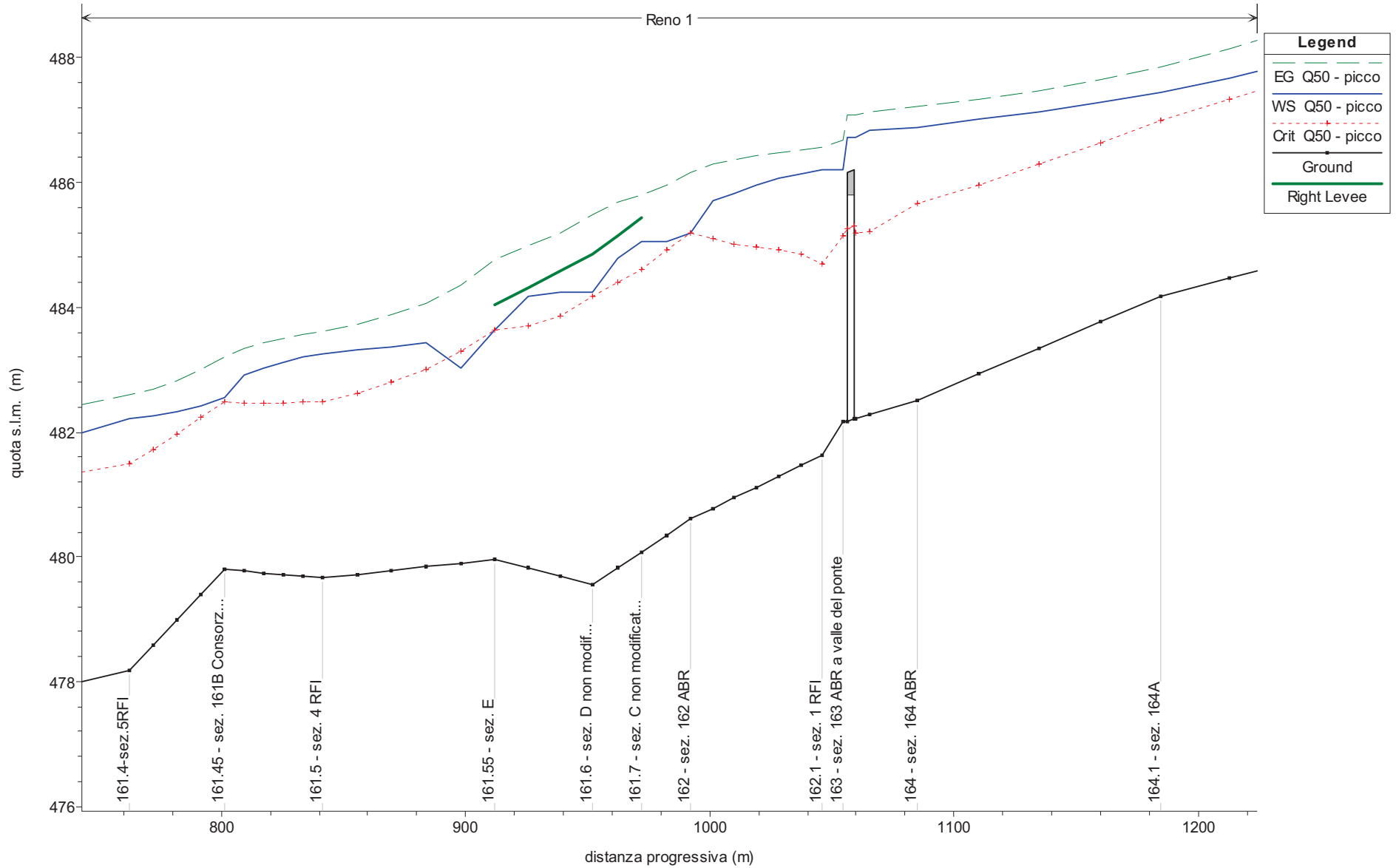


Figura 5 - Profilo liquido in moto permanente associato al picco di portata con tempo di ritorno 50 anni. Configurazione da progetto preliminare

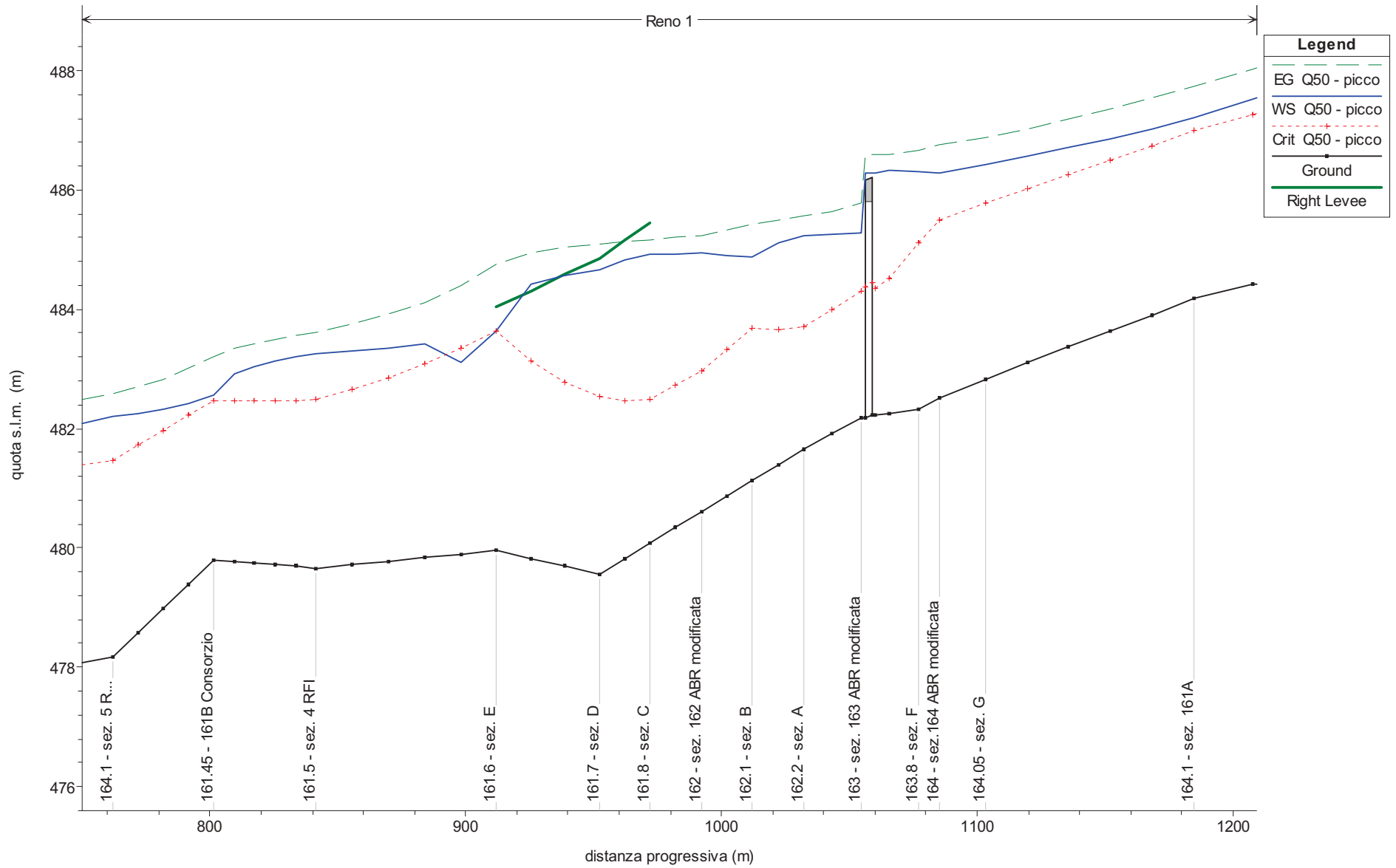


Figura 6 - Profilo liquido in moto permanente associato al picco di portata con tempo di ritorno 50 anni. Configurazione d'alveo attuale

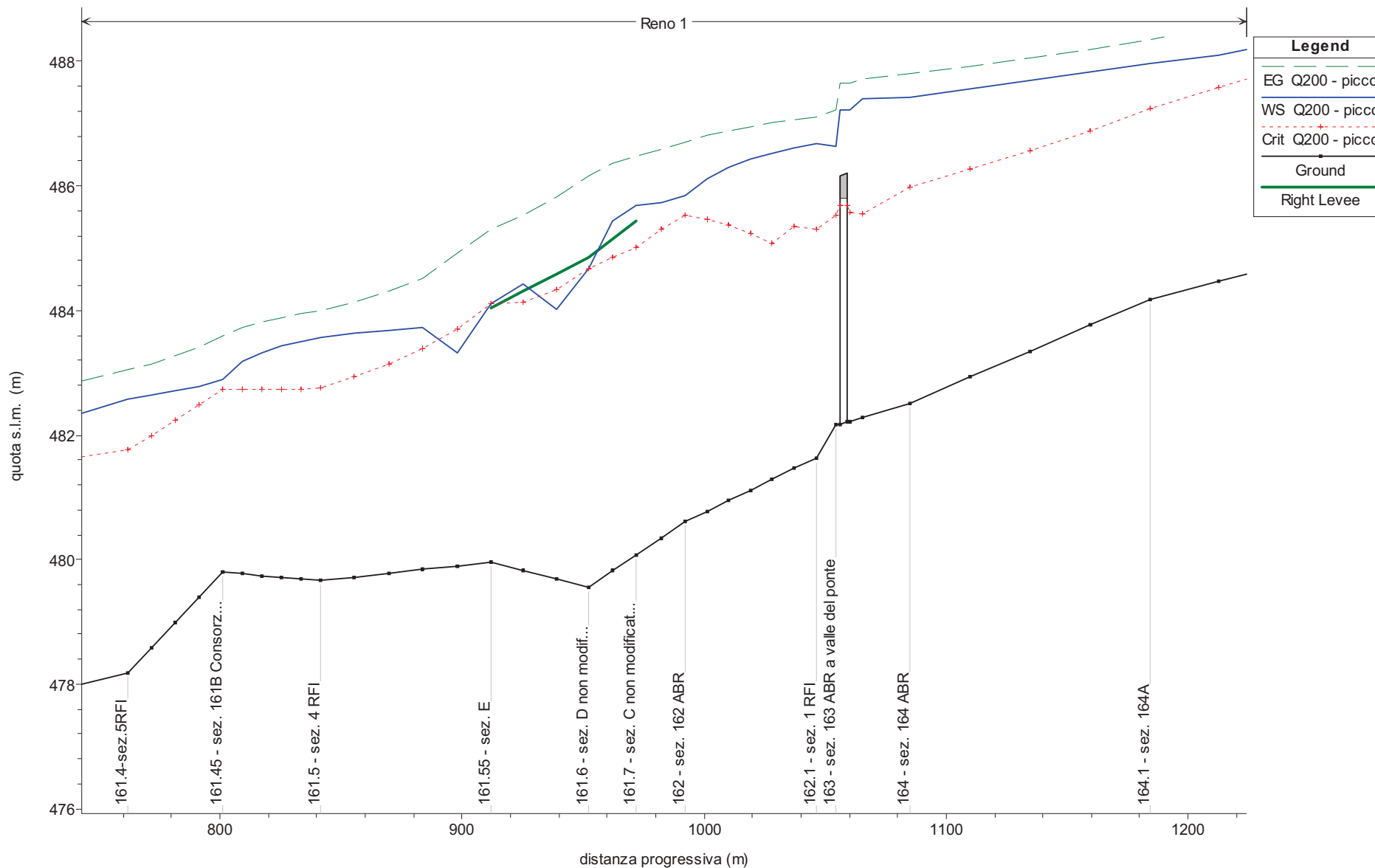


Figura 7 - Profilo liquido in moto permanente associato al picco di portata con tempo di ritorno 50 anni. Configurazione da progetto preliminare

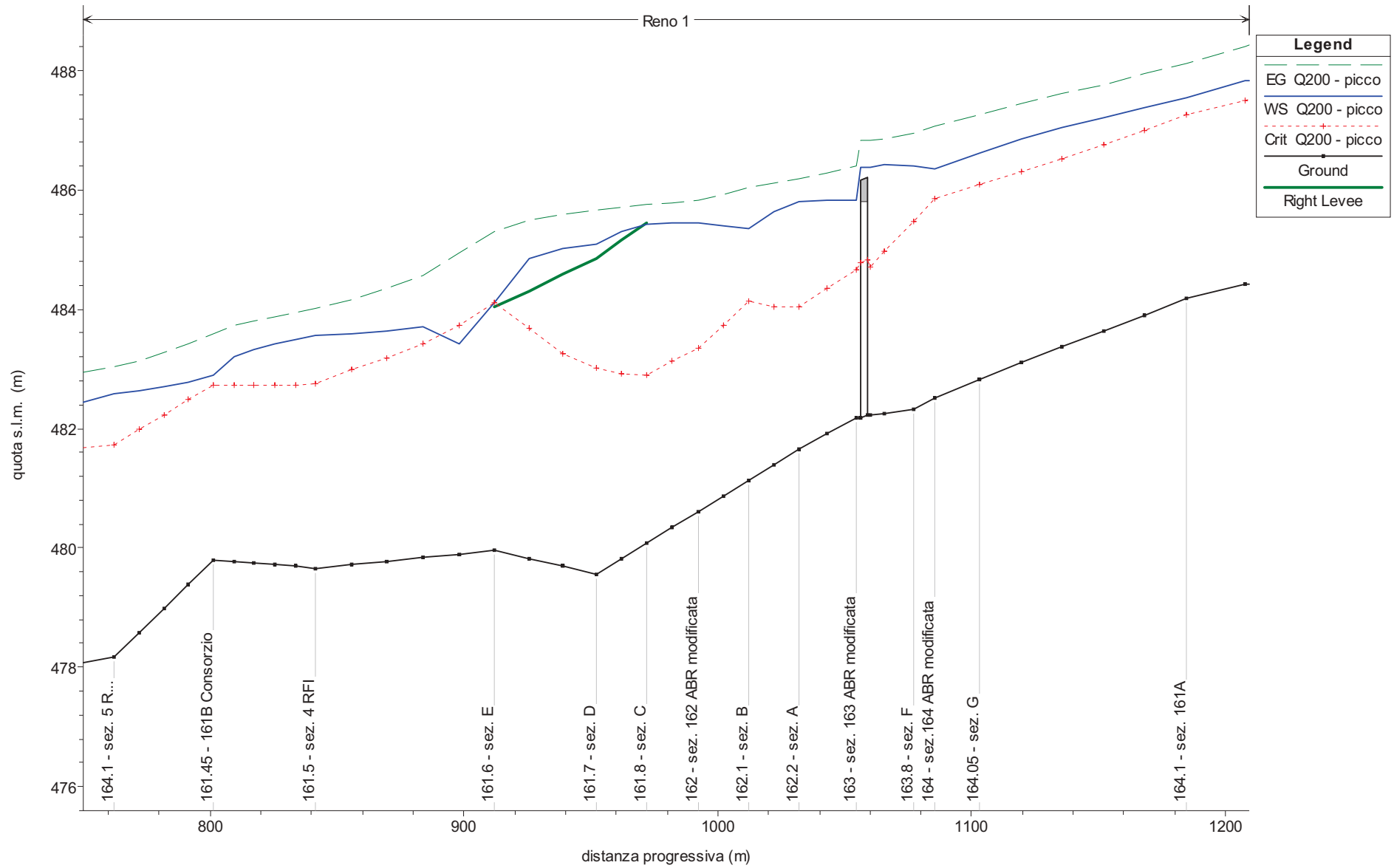


Figura 8 - Involuppo dei livelli massimi ottenuti in moto vario, onda di piena con tempo di ritorno 30 anni. Configurazione d'alveo attuale

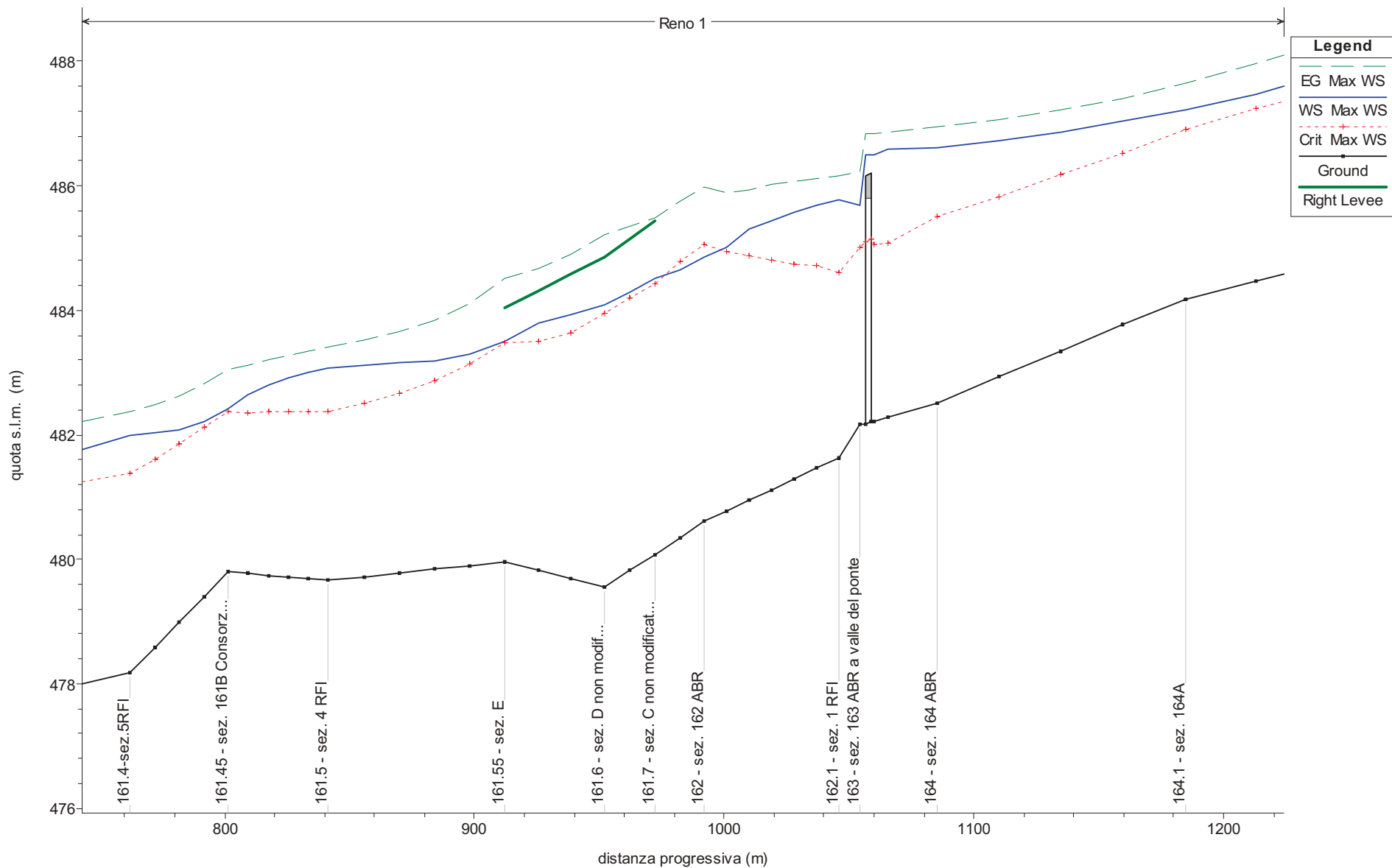


Figura 9 - Inviluppo dei livelli massimi ottenuti in moto vario, onda di piena con tempo di ritorno 30 anni. Configurazione da progetto preliminare

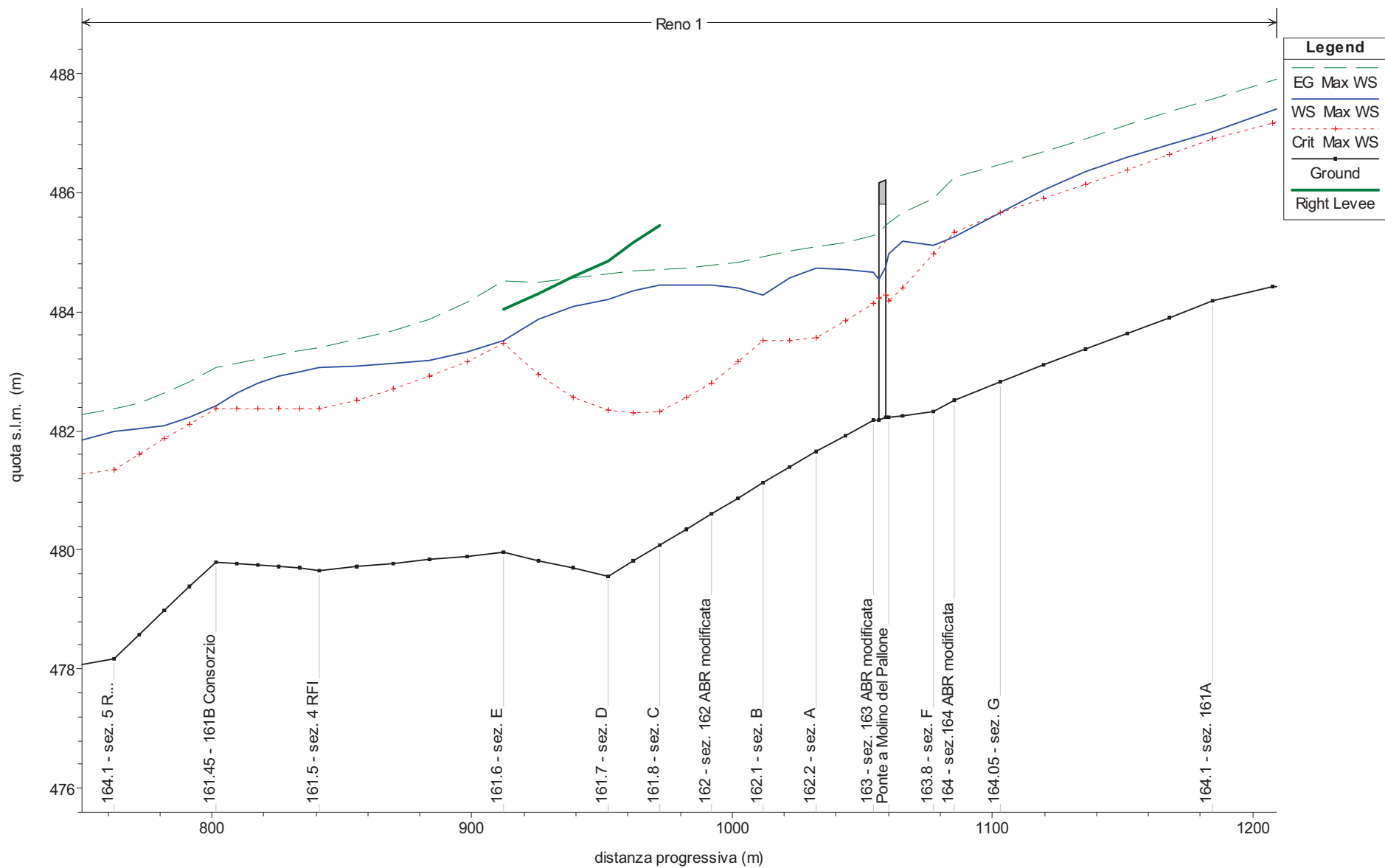


Figura 10 - Inviluppo dei livelli massimi ottenuti in moto vario, onda di piena con tempo di ritorno 50 anni. Configurazione d'alveo attuale

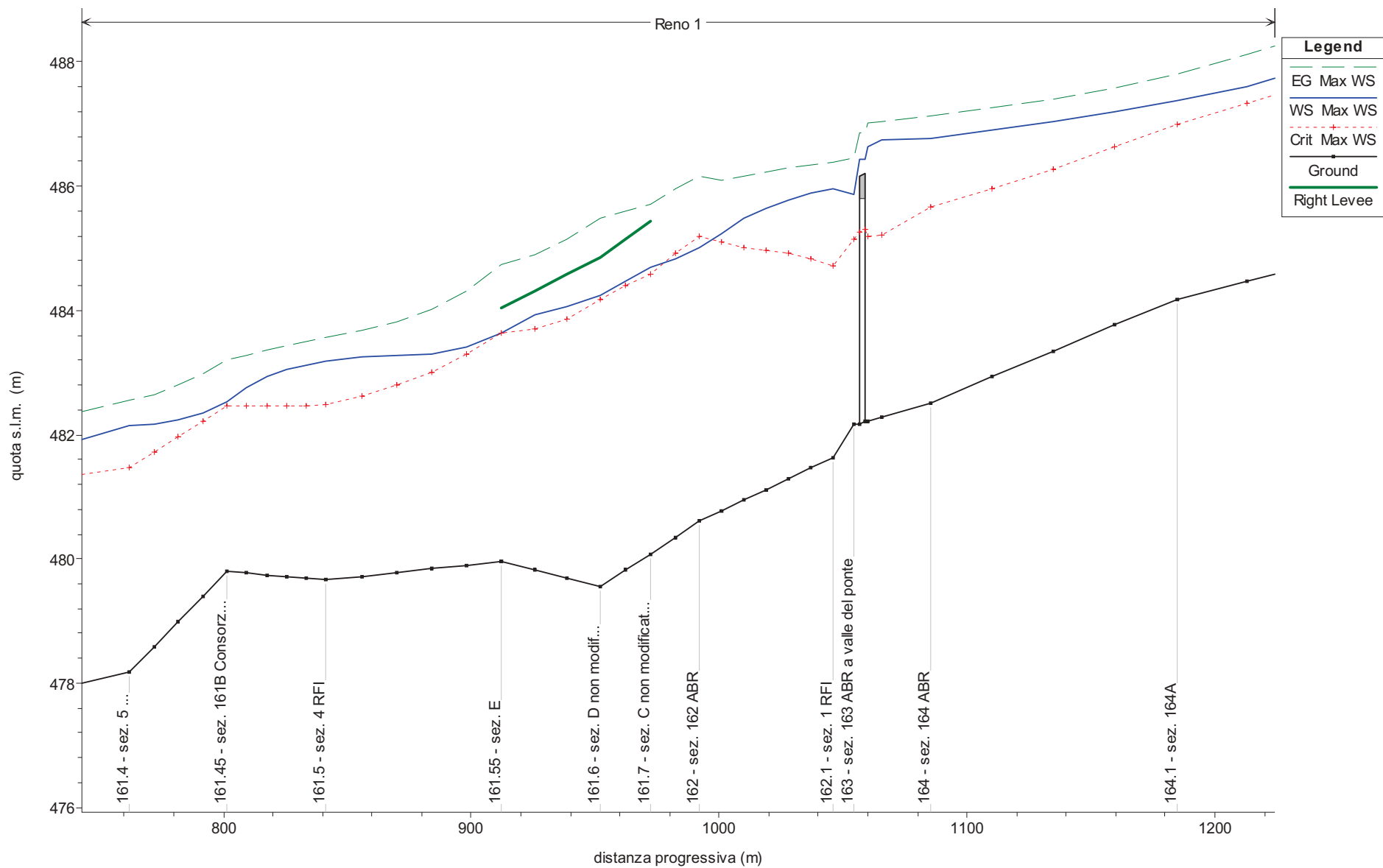


Figura 11 - Involuppo dei livelli massimi ottenuti in moto vario, onda di piena con tempo di ritorno 50 anni. Configurazione da progetto preliminare

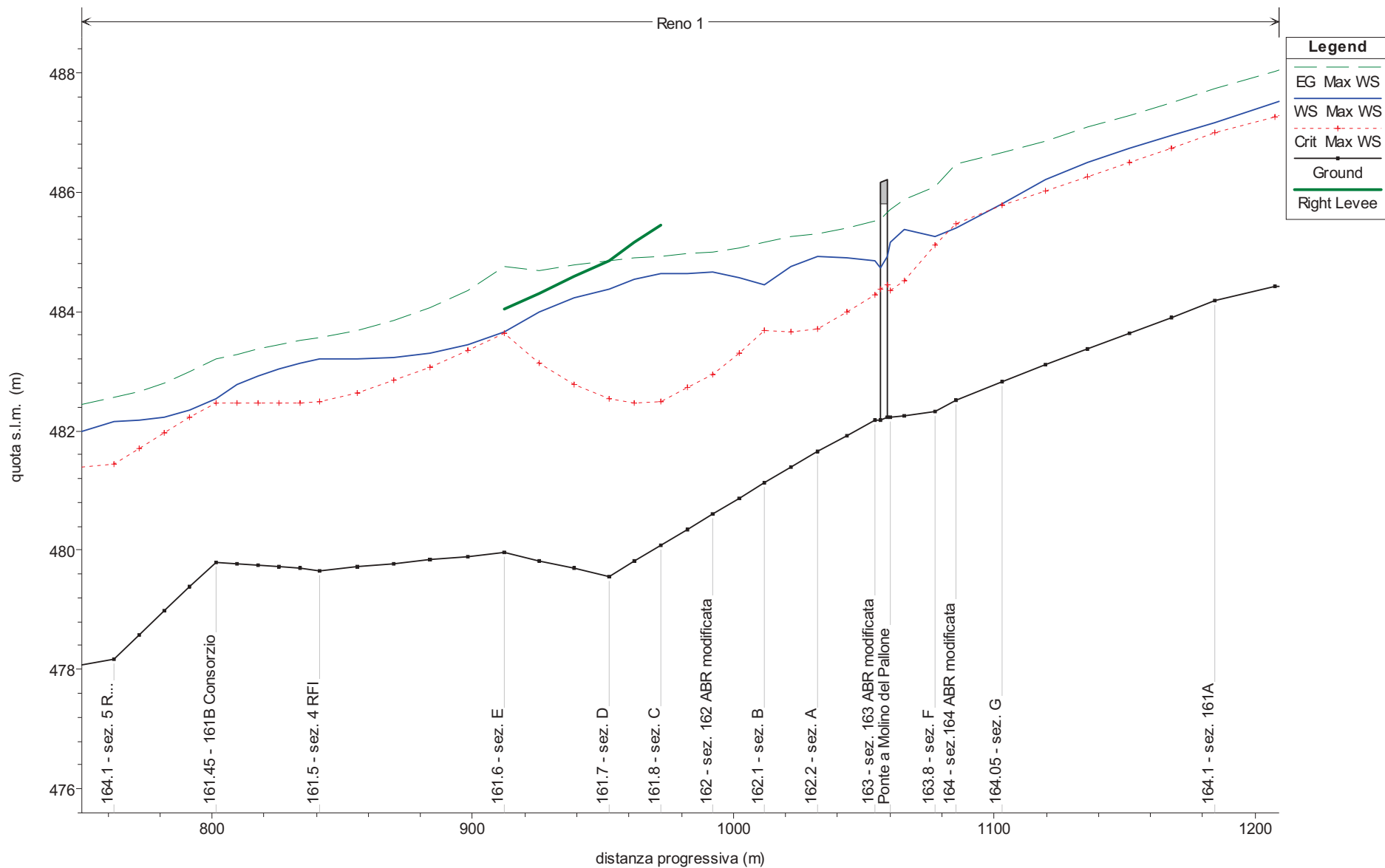




Figura 12 - Involuppo dei livelli massimi ottenuti in moto vario, onda di piena con tempo di ritorno 200 anni. Configurazione d'alveo attuale

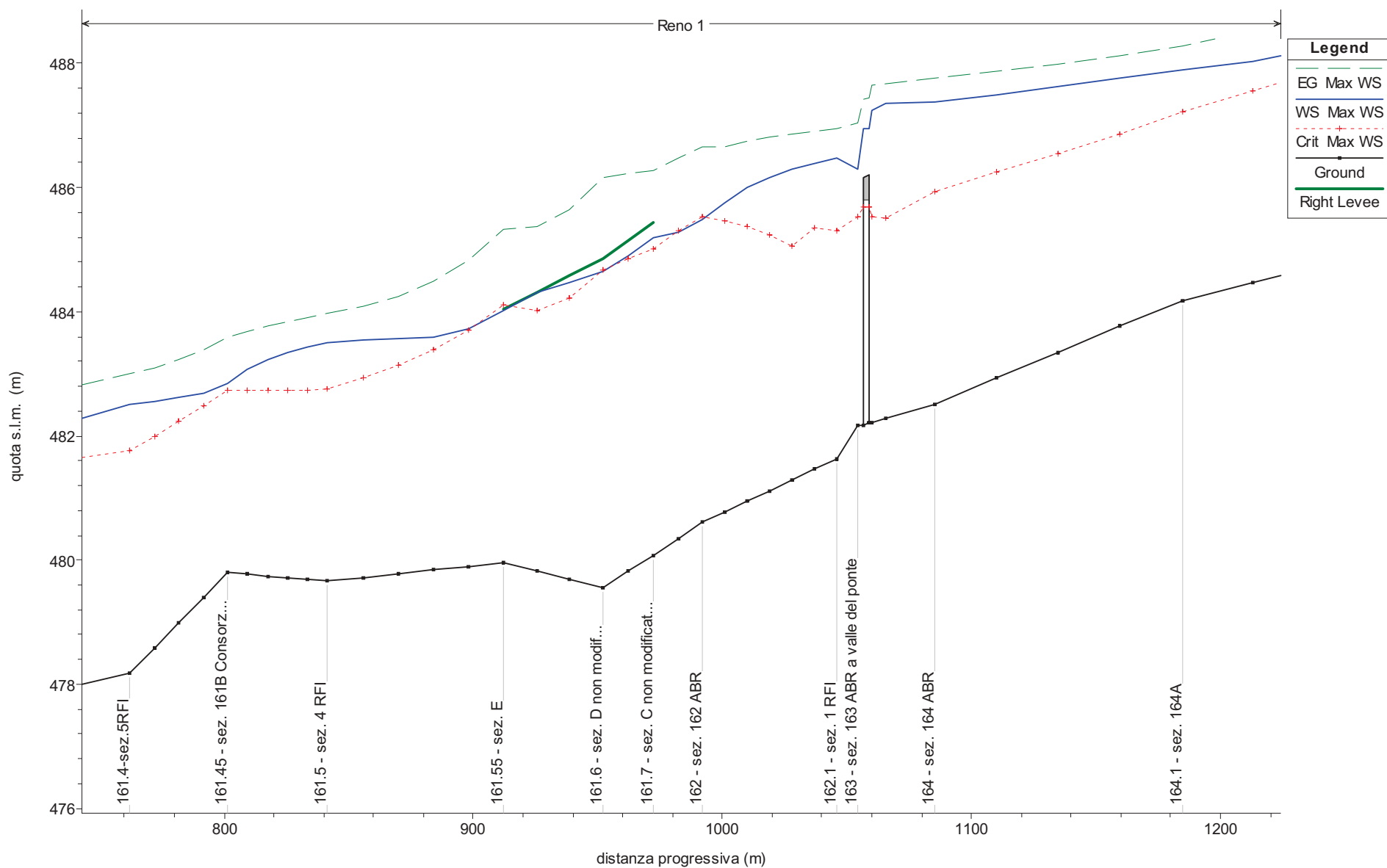
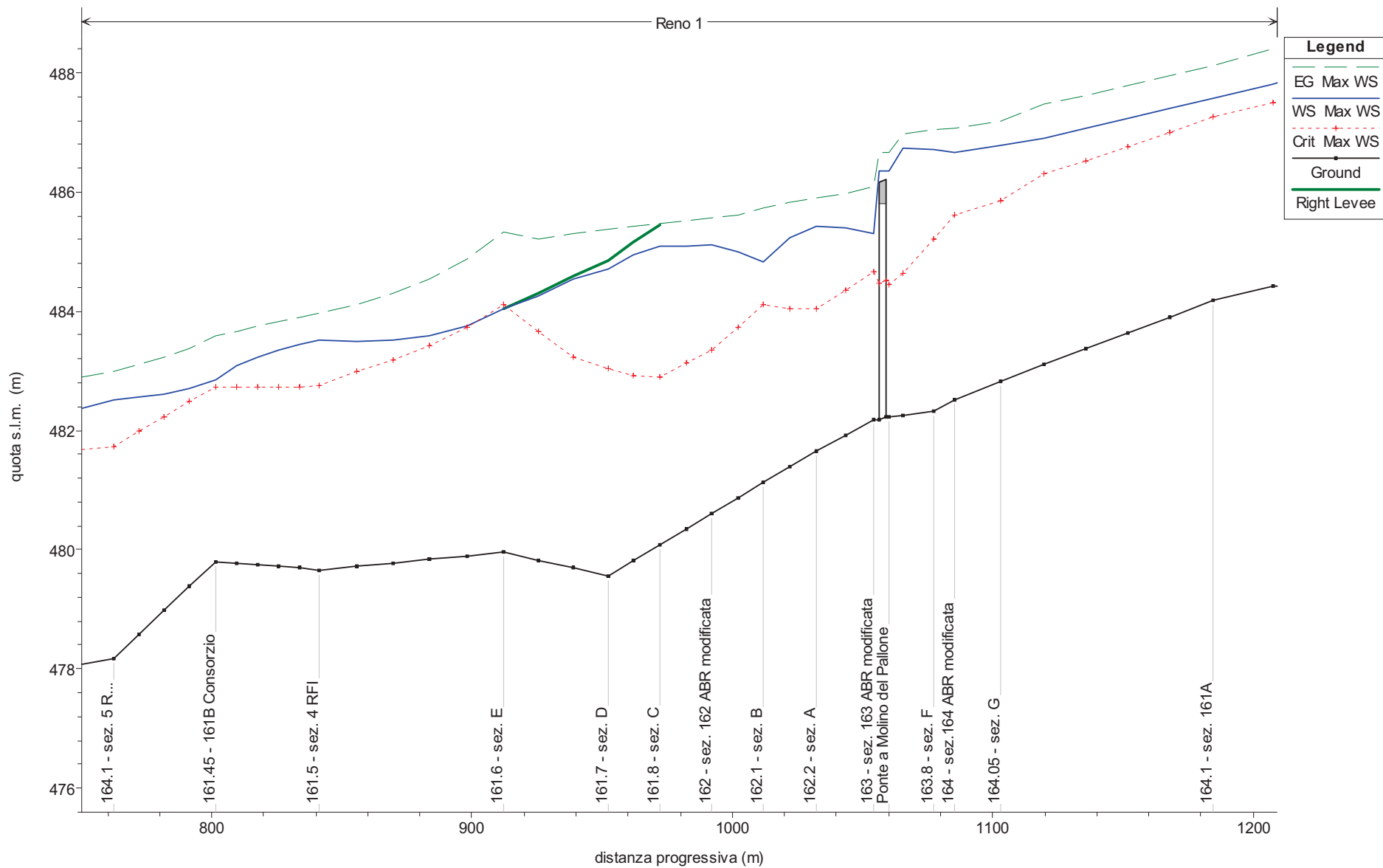


Figura 13 - Inviluppo dei livelli massimi ottenuti in moto vario, onda di piena con tempo di ritorno 200 anni. Configurazione da progetto preliminare



### **3.2 TRASPORTO SOLIDO**

La modellazione numerica a scala di tratto del fenomeno del trasporto solido al fondo ha permesso di valutare le ripercussioni che l'intervento progettato in sede preliminare potrebbe indurre sulle dinamiche locali di aggradazione ed incisione del fondo.

Nei grafici riproposti di seguito vengono messi a confronto l'andamento lungo l'asta fluviale della capacità di trasporto solido (tonnellate di materiale / giorno) ottenuto per la configurazione d'alveo attuale (prima dell'intervento), e quello invece ricavato impostando la geometria d'alveo prevista dal progetto preliminare. La portata liquida adottata per entrambe le simulazioni è stata la portata di modellamento ( $76.5 \text{ m}^3/\text{s}$  - [1]), definita come quella portata liquida che, in un arco temporale definito (un anno), mobilita potenzialmente la maggior quantità di sedimenti.

Le ipotesi assunte in sede di modellazione sono state brevemente indicate al par. 2.3. Per approfondimenti si rimanda a [1].

Figura 14 - Andamento della capacità di trasporto solido per portata formativa (76,5 m<sup>3</sup>/s). Media mobile a passo 2

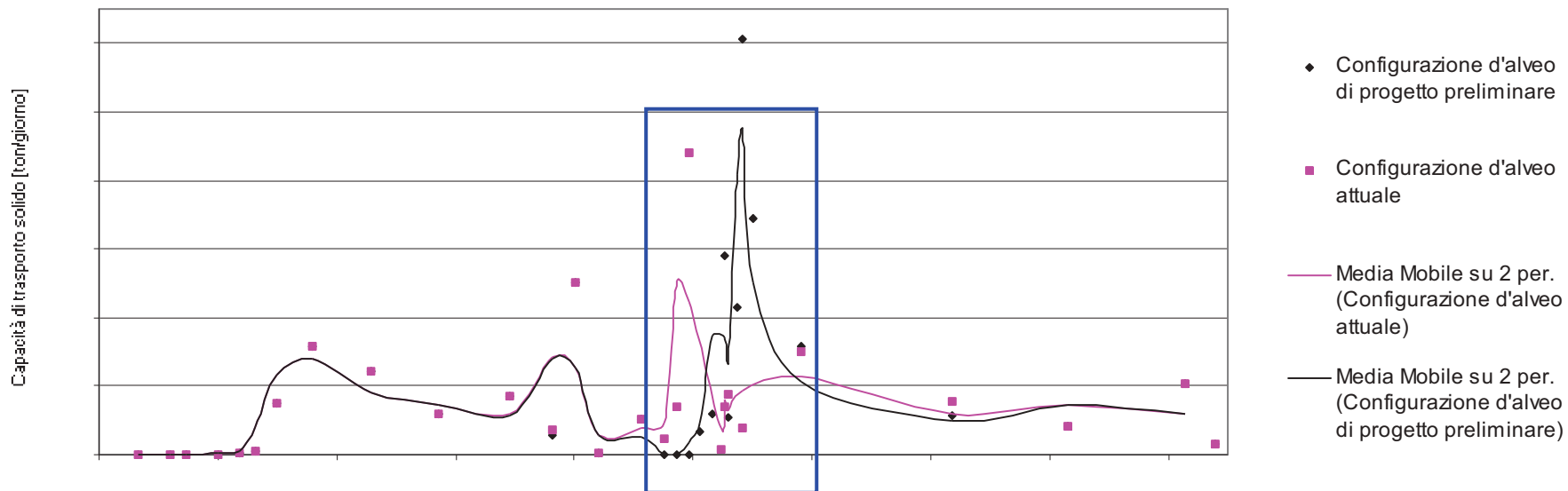
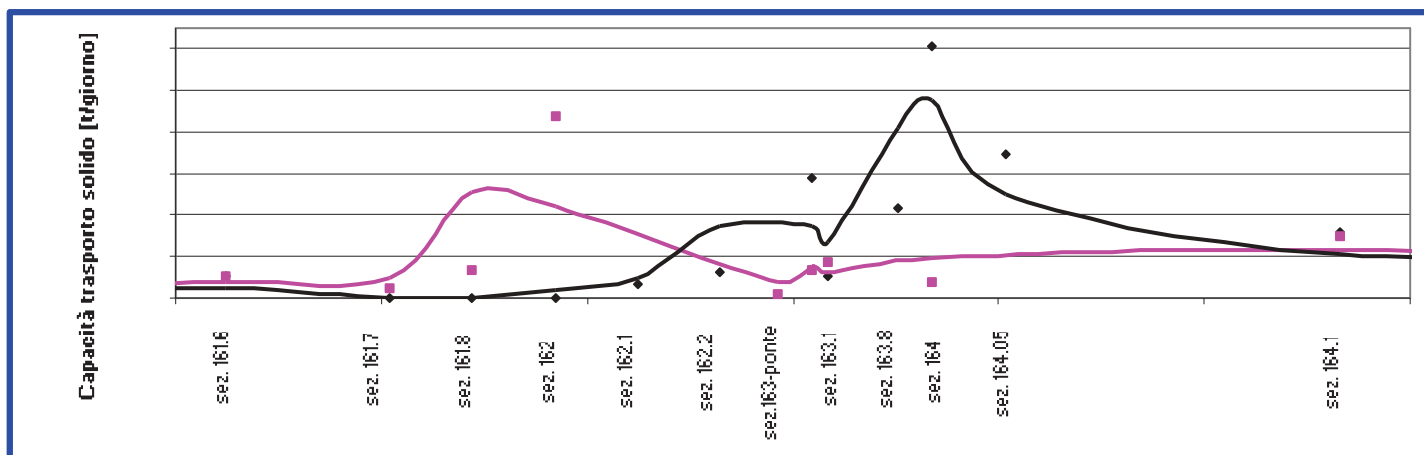


Figura 15 - Particolare dell'andamento della capacità di trasporto in corrispondenza del tratto interessato dall'intervento. Media mobile a passo 2



## 4 VALUTAZIONI CONCLUSIVE

L'analisi dei risultati delle simulazioni idrauliche sinteticamente esposti in Tabella 5, induce a ritenere che l'intervento di risezionamento dell'alveo, progettato a livello preliminare dal Consorzio della Bonifica Reno Palata, apporti evidenti benefici in termini di sicurezza idraulica all'abitato Case Ballerini (PT) e all'attraversamento stradale che lo collega a Molino del Pallone (BO), migliorando sensibilmente l'attuale situazione. Ad oggi le dimensioni delle luci del ponte di Molino del Pallone e la scarsa officiosità idraulica delle sezioni immediatamente a monte e a valle del manufatto, causano il sormonto completo dell'impalcato per tutti gli scenari di simulazione presi in considerazione (eventi con tempi di ritorno di 30, 50 e 200 anni). L'abitato Case Ballerini risulta, invece, inondato solo per l'evento duecentennale.

La geometria che l'intervento conferirebbe al tratto del Reno preso in esame, così come progettato a livello preliminare, metterebbe in sicurezza l'attraversamento fluviale di Molino del Pallone da eventi di piena con tempo di ritorno di 30 e 50 anni ma non garantirebbe un miglioramento significativo delle condizioni idrauliche per Case Ballerini, comunque soggetto ad inondazione in occasione dell'evento duecentennale (franco nullo per le simulazioni in moto vario e sormonto delle difese spondali per le simulazioni in moto permanente - si veda Tabella 5).

Sussistano differenze non trascurabili tra i livelli idrici ottenuti in seguito alle simulazioni in moto permanente (portate liquide coincidenti con i valori dei picchi di piena) e quelli invece ottenuti in moto vario (onde di piena generate dal modello idrologico afflussi - deflussi ARNO - Autorità di Bacino Reno). Tali differenze devono ricondursi al fatto che le elaborazioni in moto permanente non tengono conto dell'effetto di laminazione del picco indotto dall'ampia piana inondabile presente nel tratto a monte del ponte di Molino del Pallone (tra le sezioni 164 e 165 - si veda [1]). Prendere come valori di riferimento per le valutazioni di rischio i livelli ottenuti in moto permanente pone sicuramente a favore di sicurezza, ma al tempo stesso deve considerarsi un'assunzione troppo cautelativa e meno adiacente alla realtà. Nonostante i limiti intrinseci alla modellazione stessa (legati a parametri quali la scabrezza del suolo, l'intervallo temporale di calcolo, la tolleranza di calcolo, il sistema di schematizzazione del ponte, ecc) si ritiene comunque più corretto assumere come riferimento i risultati delle simulazioni in moto vario, limitandosi a riportare a carattere indicativo gli stessi profili ottenuti in moto permanente. In linea con queste indicazioni si può affermare che l'intervento progettato dal Consorzio Reno Palata può considerarsi commisurato alla necessità di mettere in sicurezza idraulica il ponte di Molino del Pallone dagli eventi con tempo di ritorno di 30 e 50 anni, ma non dall'evento duecentennale.

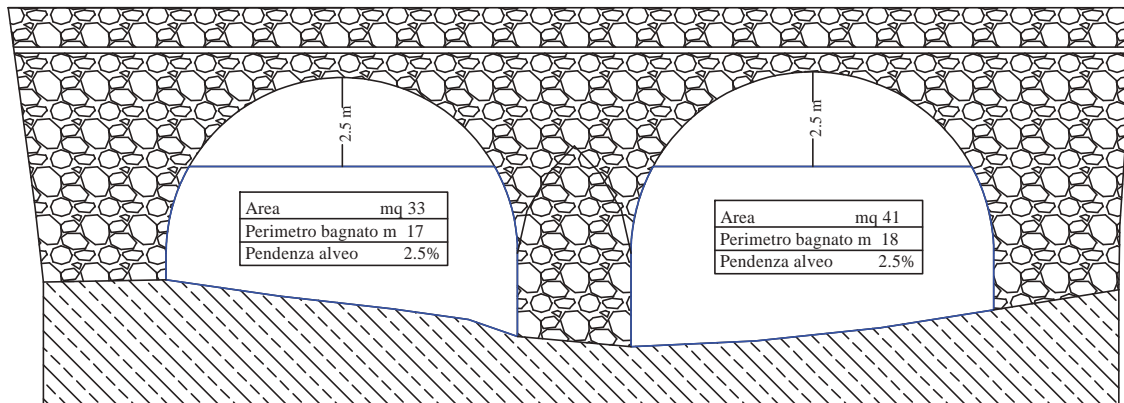
Si ritiene opportuno aggiungere in questa sede ulteriori valutazioni che riguardano le dinamiche di trasporto dei sedimenti caratterizzanti il tratto oggetto di intervento. Le conclusioni espresse in [1], prodotte da elaborazioni numeriche del fenomeno del trasporto solido e confermate sul campo dall'indagine geomorfologica condotta nell'ambito di anzidetto lavoro di tesi, indicano, per il tratto prospiciente l'abitato Case Ballerini, una tendenza localizzata all'aggradazione.

Le risultanze sinteticamente riportate al par. 2.3 (Figura 14, Figura 15) mostrano chiaramente che la modalità di intervento prevista da progetto preliminare, può rafforzare localmente tale fenomeno aggradativo. Questo incremento deve ricollegarsi sostanzialmente al persistere, anche a seguito dell'intervento di

risezionamento, di variazioni locali di pendenza, larghezza del pelo libero e tirante idrico che favoriscono un incremento della capacità di trasporto a monte del ponte di Molino del Pallone, e un brusco abbattimento della stessa a valle del manufatto. L'allargamento dell'alveo attivo induce, in associazione alla contropendenza di fondo che si registra tra le sezioni 161.7-161.6 e 161.5-161.4, un calo di velocità ancor più marcato di quello che attualmente si registra in corrispondenza della *pool* prospiciente Case Ballerini, favorendo di conseguenza localizzati fenomeni deposizionali. Non si può escludere che nel tempo, tale modificazione delle dinamiche di trasporto, seppur molto localizzata nello spazio, possa vanificare gli effetti dell'intervento di risezionamento.

### 3 – Analisi idrauliche speditive

# Ponte di San Pellegrino



**CORSO D'ACQUA: LIMENTRA DI SAMBUCA  
CALCOLO DELLA PORTATA DELLA SEZIONE 1  
San Pellegrino Arcata sinistra  
(Formula di Chezy)**

33 = area della sezione (mq)  
17 = perimetro bagnato (m)  
3 = coeff. di scabrezza di Kutter  
2 = coeff. di scabrezza di Bazin  
2.5 = pendenza (percentuale - rapporto fra i cateti x 100))

**230.5483** = portata della sezione in mc/sec (Kutter)  
**259.6874** = portata della sezione in mc/sec (Bazin)

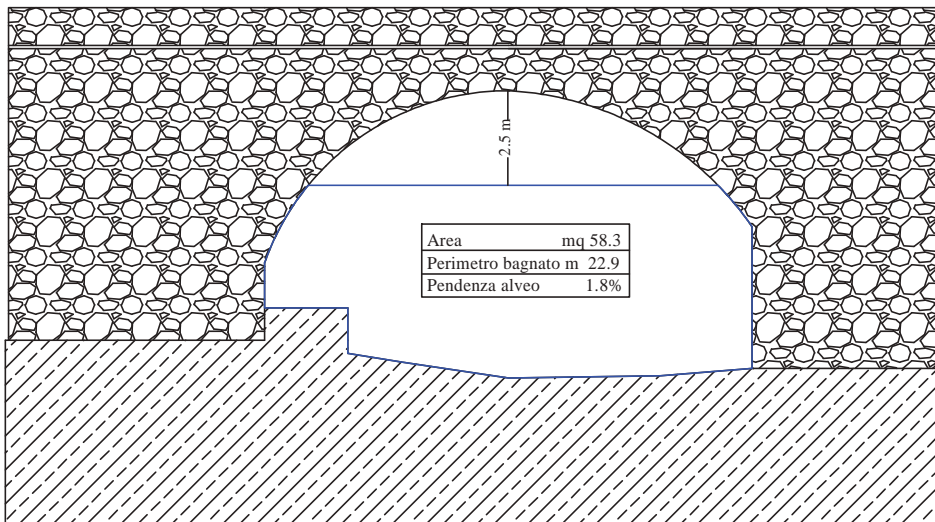
**CORSO D'ACQUA: LIMENTRA DI SAMBUCA  
CALCOLO DELLA PORTATA DELLA SEZIONE 3  
San Pellegrino Arcata destra  
(Formula di Chezy)**

41 = area della sezione (mq)  
18 = perimetro bagnato (m)  
3 = coeff. di scabrezza di Kutter  
2 = coeff. di scabrezza di Bazin  
2.5 = pendenza (percentuale - rapporto fra i cateti x 100))

**327.4634** = portata della sezione in mc/sec (Kutter)  
**366.0771** = portata della sezione in mc/sec (Bazin)



# Ponte di Bellavalle



## CORSO D'ACQUA: LIMENTRA DI SAMBUCA CALCOLO DELLA PORTATA DELLA SEZIONE 1

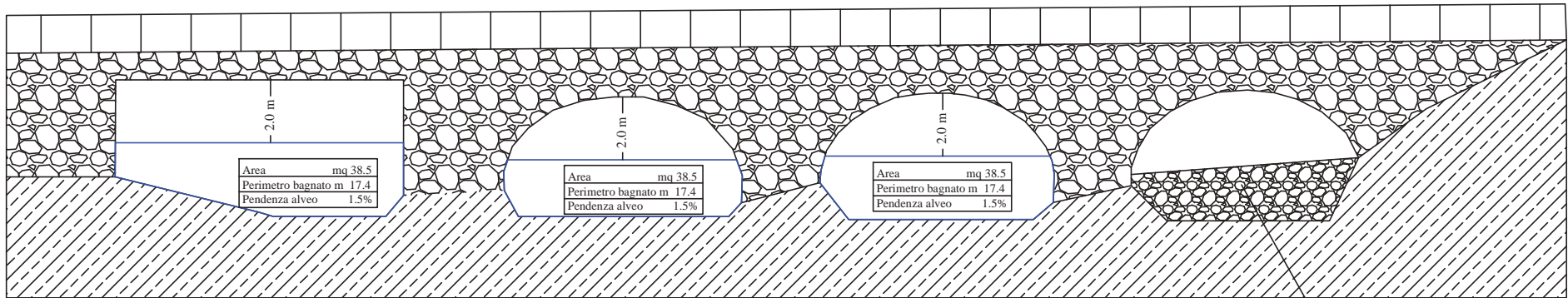
Bellavalle

(Formula di Chezy)

- 58.3 = area della sezione (mq)
- 22.9 = perimetro bagnato (m)
- 3 = coeff. di scabrezza di Kutter
- 2 = coeff. di scabrezza di Bazin
- 1.8 = pendenza (percentuale - rapporto fra i cateti x 100))

**433.30955** = portata della sezione in mc/sec (Kutter)  
**481.82473** = portata della sezione in mc/sec (Bazin)

# Ponte a Teglia



**CORSO D'ACQUA: LIMENTRA DI SAMBUCA  
CALCOLO DELLA PORTATA DELLA SEZIONE 1  
Ponte Teglia (arcata six)  
(Formula di Chezy)**

18.1 = area della sezione (mq)  
12.4 = perimetro bagnato (m)  
3 = coeff. di scabrezza di Kutter  
2 = coeff. di scabrezza di Bazin  
2.2 = pendenza (percentuale - rapporto fra i cateti x 100))

**93.12224 = portata della sezione in mc/sec (Kutter)**  
**106.26947 = portata della sezione in mc/sec (Bazin)**

**CORSO D'ACQUA: LIMENTRA DI SAMBUCA  
CALCOLO DELLA PORTATA DELLA SEZIONE 1  
Ponte Teglia (arcata centrale)  
(Formula di Chezy)**

13.3 = area della sezione (mq)  
10.6 = perimetro bagnato (m)  
3 = coeff. di scabrezza di Kutter  
2 = coeff. di scabrezza di Bazin  
2.2 = pendenza (percentuale - rapporto fra i cateti x 100))

**60.075394 = portata della sezione in mc/sec (Kutter)**  
**69.016625 = portata della sezione in mc/sec (Bazin)**

**CORSO D'ACQUA: LIMENTRA DI SAMBUCA  
CALCOLO DELLA PORTATA DELLA SEZIONE 1  
Ponte Teglia (arcata dx)  
(Formula di Chezy)**

14.2 = area della sezione (mq)  
10.5 = perimetro bagnato (m)  
3 = coeff. di scabrezza di Kutter  
2 = coeff. di scabrezza di Bazin  
2.2 = pendenza (percentuale - rapporto fra i cateti x 100))

**66.422786 = portata della sezione in mc/sec (Kutter)**  
**78.348357 = portata della sezione in mc/sec (Bazin)**

Arcata chiusa