

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**DIREZIONE TECNICA**

**U.O. INFRASTRUTTURE NORD**

**PROGETTO DEFINITIVO PER APPALTO**

**COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE – PRG E ACC DEL P.M.  
CARGNACCO E OPERE SOSTITUTIVE DEI PL INTERFERENTI**

**IDRAULICA ROGGIA PALMA**

Relazione idrologica ed idraulica Roggia Palma

SCALA:

-

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

I Z 0 9    0 0    D    2 6    R I    I N 0 1 0 0    0 0 1    A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione definitiva	F.Serrau	Settembre 2019	M.Ventura	Settembre 2019	S. Lo Presti	Settembre 2019	F. Sacchi Settembre 2019

ITALFERR - UO INFRASTRUTTURE NORD  
Doct. Ing. Francesco Sacchi  
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Udine  
n. 23172 Sp. A.

File: IZ0900D26RIIN0100001A

n. Elab.:

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARNACCO</b> <b>PRG e ACC del nuovo PM di Carnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM</b></p>												
<p><b>RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA ROGGIA PALMA</b></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IZ09</td> <td>00 D 26</td> <td>RI</td> <td>IN0100 001</td> <td>A</td> <td>2 di 56</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IZ09	00 D 26	RI	IN0100 001	A	2 di 56
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IZ09	00 D 26	RI	IN0100 001	A	2 di 56								

## INDICE

1	PREMESSA .....	3
2	INQUADRAMENTO GENERALE DELL' AREA .....	9
3	ANALISI IDROLOGICA .....	12
4	STUDIO IDRAULICO .....	18
4.1	MODELLAZIONE IDRAULICA MONODIMENSIONALE .....	18
4.1.1	<i>Verifica idraulica con modello matematico in schema di moto permanente.....</i>	19
4.1.2	<i>Taratura dei modelli.....</i>	19
4.1.3	<i>Geometria del modello .....</i>	21
4.1.4	<i>Condizioni al contorno e coefficiente di scabrezza .....</i>	22
4.1.5	<i>Risultati stato di fatto .....</i>	23
4.1.6	<i>Risultati stato di progetto .....</i>	26
5	APPENDICE A - IL MODELLO MATEMATICO HEC-RAS.....	30
6	RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE RELATIVE ALLO STATO DI FATTO .....	38
7	RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE RELATIVE ALLO STATO DI PROGETTO .....	48

	<b>COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Carnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.</b>					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA ROGGIA PALMA</b>	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 26	CODIFICA RI	DOCUMENTO IN0100 001	REV. A	FOGLIO 3 di 56

## 1 PREMESSA

La presente relazione descrive lo studio idrologico ed idraulico, nell'ambito del "Progetto definitivo relativo al completamento del nodo di Udine – PRG e ACC del P.M. Carnacco e opere sostitutive dei pl interferenti", necessario per la progettazione di n°3 nuovi tombinamenti della Roggia di Palma da eseguire lungo Via Casali Caiselli, alla progressiva p.k. 6+925 dell'annesso progetto ferroviario.

L'intervento risulta inserito in un progetto più ampio che deve la sua origine dalle necessità, da parte di RFI, di soddisfare le nuove esigenze logistiche dettate dall'attuale contesto economico in forte sviluppo della zona industriale Udinese (ZIU-ZAU) e dell'impianto ABS che, nell'ambito degli interventi di riorganizzazione funzionale del Nodo di Udine, vede anche la necessità di ottimizzare e potenziare l'attuale infrastruttura ferroviaria.

Questo viene previsto inserendo, in tale contesto, il nuovo impianto denominato "Posto Movimento Carnacco" che andrà ad inserirsi lungo la direttrice Udine – Palmanova – Cervignano e che avrà la sua origine dal futuro raddoppio della Linea di Circonvallazione di Udine. Lo scopo è quello di far gestire tutto il traffico merci, attualmente attestato a Udine Parco, all'impianto di smistamento dell'interporto di Cervignano, che fungerà quindi da supporto per la gestione degli scambi con gli impianti industriali di ABS e ZIU/ZAU. Il progetto prevede la realizzazione di un fabbricato tecnologico ACC, tipologia T2, collocato all'altezza della progressiva ferroviaria pk 7+476.

Congiuntamente vengono eliminati 4 Passaggi a Livello, sotto elencati, con la progettazione dei nuovi sottopassi ferroviari e la risoluzione della varie interferenze con viabilità stradali esistenti, strutture e sottoservizi.

- PL di via Caiselli a Lumignacco al km 6+926 ed affiancato alla Roggia di Palma che attualmente viene attraversata mediante la presenza di un'opera in c.a. realizzata per i rispettivi binari (linea e dorsale).
- PL km 7+416 che interseca una strada campestre.
- PL km 7+990 in località Cortello intersecante Via delle Ferrovia.
- PL agricolo al km 10+311, ubicato a Risano dopo la stazione.

	<b>COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Carnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.</b>					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA ROGGIA PALMA</b>	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 26	CODIFICA RI	DOCUMENTO IN0100 001	REV. A	FOGLIO 4 di 56

Gli elaborati idraulici prodotti nell'ambito del presente studio sono riportati in Tabella 1.1:

<b>IDRAULICA RIO PALMA</b>	
-	Relazione idrologica ed idraulica Rio Palma
1:500	Planimetria stato di fatto – ante operam
1:500	Planimetria stato di progetto – post operam
1:400/20	Profilo ante operam
1:400/20	Profilo post operam
1:200	Sezioni trasversali ante operam 1/2
1:200	Sezioni trasversali ante operam 2/2
1:200	Sezioni trasversali post operam 1/2
1:200	Sezioni trasversali post operam 2/2

**Tabella 1.1: Elaborati prodotti nell'ambito del presente studio.**

	<b>COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARNACCO</b> <b>PD del PRG e ACC del nuovo PM di Carnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.</b>					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA ROGGIA PALMA</b>	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 26	CODIFICA RI	DOCUMENTO IN0100 001	REV. A	FOGLIO 5 di 56

Come si vede in Figura 1-1, dove viene segnalato in giallo il percorso della Roggia di Palma a ridosso della linea ferroviaria, esso risulta in parallelismo per un lungo tratto a Via Caiselli. Come si può evincere dalla vista aerea, sono presenti numerosi attraversamenti, pedonali e/o carrabili, verso le abitazioni lato sud e n°2 ponticelli necessari per l'attraversamento dei due binari attualmente esistenti nella zona d'intervento.



**Figura 1-1 – Vista aerea dell'area oggetto di studio.**

Essendo la Roggia di Palma un canale pluvio-irriguo regimato per la determinazione della portata di progetto nelle sezioni interessate dagli interventi si è fatto riferimento all'unione tra una portata idrologica calcolata considerando le caratteristiche orografiche del luogo e una portata irrigua massimale (ottenuta dal Consorzio di Bonifica Pianura- Friulana).

Lo studio idraulico ha seguito le seguenti fasi:

- Determinazione di un bacino scolante parametrizzato a monte dell'area di intervento e calcolo della portata idrologica di massima piena con  $Tr= 200$  anni;
- Stima della portata globale come sommatoria della portata calcolata e massima portata irrigua (data dal Consorzio di Bonifica);

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE</b> <b>PM CARGNACCO</b> <b>PD del PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle</b> <b>opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.</b>					
	<b>RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA ROGGIA</b> <b>PALMA</b>	COMMESSA <b>IZ09</b>	LOTTO <b>00 D 26</b>	CODIFICA <b>RI</b>	DOCUMENTO <b>IN0100 001</b>	REV. <b>A</b>

- Modellazione idraulica monodimensionale mediante implementazione di 25 sezioni caratteristiche e 10 sezioni di manufatti strutturali (attraversamenti pedonali e/o carrabili-tombini idraulici) per quanto riguarda lo scenario di “Stato di fatto” e 23 sezioni caratteristiche e 11 sezioni di manufatti strutturali (attraversamenti pedonali e/o carrabili-tombini idraulici) per quanto riguarda lo scenario di “Stato di progetto”.
- Verifica del riempimento all’interno dei 3 tombini di attraversamento di progetto e del franco netto.

Per le simulazioni idrauliche si è utilizzato il programma di calcolo fluviale GeoHECRAS, versione 2.7.0.24476 di Luglio 2019, prodotto da CivilGEO Engineering Software.

I tempi di ritorno (Tr) prescritti dal Manuale di Progettazione ferroviaria variano infatti a seconda del tipo di manufatto idraulico:

- Drenaggio della piattaforma (cunetta, tubazioni.):

	Tr [anni]
Linea ferroviaria	100
Deviazione stradali	25

- Fossi di guardia:

	Tr [anni]
Linea ferroviaria	100
Deviazione stradali	25

- Manufatti di attraversamento (ponti e tombini):

	S [Km <sup>2</sup> ]	Tr [anni]
Linea ferroviaria	S ≥ 10	300
	S < 10	200
Deviazioni stradali	-	200

Nel caso in esame, trattando manufatti di tombinamento, viene assunto un tempo di ritorno T pari a 200 anni per il calcolo della portata.

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p align="center"><b>COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARGNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.</b></p>					
<p><b>RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA ROGGIA PALMA</b></p>	<p>COMMESSA IZ09</p>	<p>LOTTO 00 D 26</p>	<p>CODIFICA RI</p>	<p>DOCUMENTO IN0100 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 7 di 56</p>

Il capitolo C5.1.2.3 della Circolare esplicativa alle NTC 2018 (Norme Tecniche Costruzioni), relativo alla Compatibilità idraulica, asserisce che in merito ai tombini, intesi come manufatti totalmente rivestiti in sezione, eventualmente suddivisi in più canne, in grado di convogliare complessivamente  $50 \text{ m}^3/\text{s}$ , la portata di piena di progetto è riferita ad un tempo di ritorno di 200 anni, senza escludere valori maggiori che dovranno essere adeguatamente giustificati, analogamente a quanto indicato per i ponti.

È specificato che è ammesso il funzionamento del tombino sia a superficie libera sia in pressione, evitando la soluzione mista. Nell'eventualità del funzionamento in pressione si prescrive la velocità massima al più di  $1,50 \text{ m/s}$ . Se il tombino funziona a superficie libera il tirante idrico massimo, si impone pari a  $2/3$  l'altezza utile del tombino, con un franco minimo di  $0,50 \text{ m}$ . Il calcolo idraulico sarà da sviluppare secondo le condizioni che si sviluppano a valle del tombino, inoltre il massimo rigurgito previsto a monte del tombino deve comunque garantire il rispetto del franco idraulico nel corso d'acqua a monte dell'attraversamento. La Circolare pone l'accento anche sulla necessità di proteggere le zone prospicienti imbocco e sbocco del tombino, al fine di scongiurare scalzamenti ed erosioni, in aggiunta ad accorgimenti tecnici per evitare fenomeni di sifonamento.

Infine si prescrive la necessità di garantire la tenuta idraulica per ciascuna sezione del manufatto per il carico maggiore tra  $0,5 \text{ bar}$  rispetto all'estradosso o  $1,5$  volte la massima pressione d'esercizio.

Effettuando un confronto tra le normative vigenti (NTC 2018 e Manuale di progettazione RFI 2019) emerge, in sintesi, che:

Parametro di confronto	Circolare 2019 NTC 2018	MdP RFI 2019
Tempo di ritorno per la piena di progetto (anni)	200	- 200 ( $S < 10 \text{ km}^2$ ) - 300 ( $S \geq 10 \text{ km}^2$ )
Riempimento massimo accettabile (tirante/altezza sezione)	$2/3$ * (altezza sezione) (tombini)	70% ( $S < 10 \text{ km}^2$ )
Franco libero minimo [m]	- 0.50 (tombini) - 1.50 per $2/3$ della luce o per una luce $> 40 \text{ m}$ (ponti)	1.50 ( $S \geq 10 \text{ km}^2$ )

**Tabella 1.2: Confronto delle normative per le verifiche idrauliche.**

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Carnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.</b></p>												
<p><b>RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA ROGGIA PALMA</b></p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>COMMESSA</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IZ09</td> <td>00 D 26</td> <td>RI</td> <td>IN0100 001</td> <td>A</td> <td>8 di 56</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	IZ09	00 D 26	RI	IN0100 001	A	8 di 56
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
IZ09	00 D 26	RI	IN0100 001	A	8 di 56								

La verifica più stringente viene individuata dalla Circolare 2019, pertanto i tombinamenti verranno dimensionati sulla base di quest'ultima.

## 2 INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA

Le opere in progetto ricadono all'interno del bacino idrografico della "Laguna Marano Grado" ricadente all'interno del bacino idrografico Alpi Orientali, pertanto le competenze in materia di pianificazione idraulica sono demandate all'Autorità di Bacino Distrettuale delle Alpi Orientali e al PAI in vigore.



**Figura 2-1 – Distretto idrografico Padano**

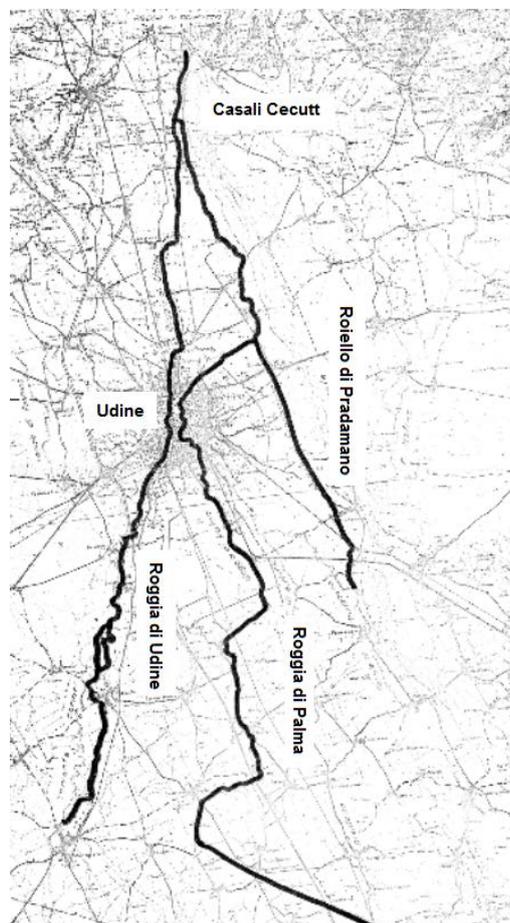
In particolare, il progetto ricade all'interno dell'alta Pianura Friulana, formata da corsi fluviali abbondantemente alluvionati (Fiume Tagliamento e Isonzo) o localmente incisi nei conglomerati urbani (Fiume Natisone), affiancati da un reticolo idrografico minore, costituito da un fitto sistema di canali e rogge artificiali (le rogge sono tra i corsi d'acqua tutelati per legge - ex Galasso, art.1452 del D.Lgs. 42/2004).

L'idrografia di superficie di interesse in rapporto alle rogge di Udine, Palma e Roiello di Pradamano è costituita dai torrenti Torre e Cormor, tra le cui aste scorrono canali artificiali. Le acque del Torre (principale affluente di destra del Fiume Isonzo), vengono captate dalle antiche rogge e da più moderne opere, per usi civili (acquedotti) e per uso irriguo dell'alta pianura. In destra Torre nasce una rete di rogge con il Canale Principale il quale, presso Casali Ceccutti, si

	<b>COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARNACCO</b> <b>PD del PRG e ACC del nuovo PM di Carnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.</b>					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA ROGGIA PALMA</b>	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 26	CODIFICA RI	DOCUMENTO IN0100 001	REV. A	FOGLIO 10 di 56

ramifica in Roggia Udine e Roggia di Palma (detta anticamente "Turisiella").

La Roggia di Palma, nello specifico, corre parallela al Torre, tocca San Bernardo e godia, per poi, nei pressi di beivars, svoltare verso Udine proseguendo oltre la città verso sud attraversando Cussignacco, la Zona Industriale Udinese D1 (ZIU), i centri di Lumignacco, Risano, Chjiasottis e Lavariano. A Bicinicco tocca il complesso del Mulino omonimo e arriva infine alle mura di Palmanova con un percorso complessivo di circa 35 km. Alla confluenza con la roggia Brentana tra Bicinicco e Palmanova la roggia di Palma perde quasi tutta la sua acqua.



**Figura 2-2 – Diramazione Canale Principale in località Casali Cecutt.**

	<b>COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARGNACCO</b> <b>PD del PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.</b>					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA ROGGIA PALMA</b>	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 26	CODIFICA RI	DOCUMENTO IN0100 001	REV. A	FOGLIO 11 di 56

Come descritto nel Par. 1, in località Cagnacco (frazione di Pozzuolo del Friuli) la Roggia di Palma attraversa la sede ferroviaria lungo Via Caiselli mediante due opere distinte.

In particolare, il binario attualmente dismesso (lato est) attraversa il canale mediante un ponte con parapetto in muratura, come si vede in Figura 2-3.

Contrariamente, il binario di linea (lato ovest) attraversa il canale mediante un ponte ad arco, come si vede in Figura 2-4.



**Figura 2-3 – Attraversamento binario dismesso (lato est).**



**Figura 2-4 – Attraversamento binario di linea (lato ovest).**

In questo tratto il progetto ferroviario prevede n° 5 binari, con un estensione planimetrica della sede ferroviaria che causa l'insufficienza degli attuali attraversamenti presenti.

Viene pertanto studiato un unico tombinamento che permetta l'attraversamento di tutto il fascio di binari in progetto.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE</b> <b>PM CARGNACCO</b> <b>PD del PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle</b> <b>opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.</b>					
	<b>RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA ROGGIA</b> <b>PALMA</b>	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 26	CODIFICA RI	DOCUMENTO IN0100 001	REV. A

### 3 ANALISI IDROLOGICA

L'analisi idrologica è finalizzata alla definizione dei parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica di assegnata probabilità di accadimento (sintetizzata nel parametro tempo di ritorno), indispensabili per il dimensionamento dei diversi manufatti idraulici in particolare per la valutazione dei tiranti idrici.

Il software Rainmap FVG permette la determinazione delle Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica che hanno il compito di esprimere il legame esistente tra l'altezza della pioggia  $h$  e la sua durata  $d$ , per un assegnato tempo di ritorno  $T$ . I dati analizzati sono stati ricavati da serie storiche di 130 stazioni pluviometriche e coprono un intervallo di tempo dal 1920 al 2013. Usualmente tale legame si trova espresso nella formulazione:  $h_{d(T)} = a * d^n$ .

Le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica permettono quindi di ottenere uno studio statistico delle piogge intense in un punto o in un'area della superficie terrestre. Nella formulazione i parametri  $a$  ed  $n$  sono in funzione del tempo di ritorno  $T$ . Il parametro  $a$  rappresenta l'altezza della precipitazione di durata unitaria e tempo di ritorno  $T$ ; tale valore risulta essere crescente rispetto a  $T$ . Il parametro  $n$  invece assume oscillazioni molto più limitate.

Di seguito si riportano i risultati ottenuti inserendo le coordinate geografiche del progetto in esame:

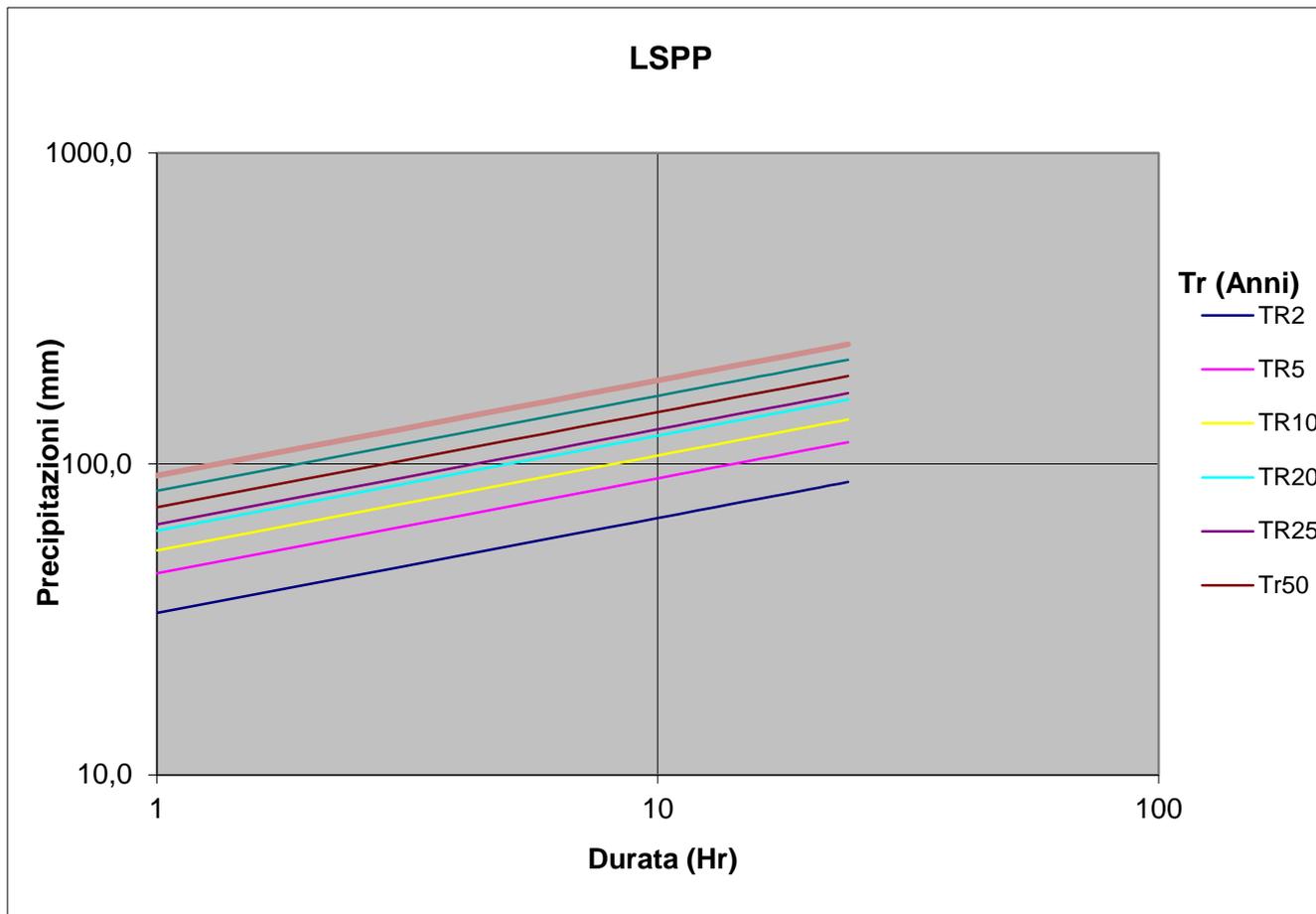
Parametri LSPP							
<b>n</b>	0,31						
<b>a</b>	<b>Tempo di ritorno (Anni)</b>						
	2	5	10	20	50	100	200
<b>a</b>	33,1	44,5	52,7	61,0	72,6	81,9	91,8

Precipitazioni (mm)							
Durata (Hr)	Tempo di ritorno (Anni)						
	2	5	10	20	50	100	200
1	33,1	44,5	52,7	61,0	72,6	81,9	91,8
2	41,0	55,0	65,1	75,4	89,7	101,2	113,5
3	46,3	62,2	73,6	85,3	101,5	114,6	128,4
4	50,6	67,9	80,4	93,1	110,9	125,1	140,2
5	54,2	72,7	86,1	99,7	118,7	133,9	150,1
6	57,3	76,9	91,0	105,4	125,5	141,6	158,7
7	60,0	80,6	95,4	110,5	131,5	148,4	166,3
8	62,5	84,0	99,4	115,1	137,0	154,6	173,3
9	64,8	87,0	103,0	119,3	142,0	160,3	179,6
10	66,9	89,9	106,4	123,2	146,7	165,5	185,5
11	68,9	92,5	109,5	126,9	151,0	170,4	191,0
12	70,8	95,0	112,5	130,3	155,1	175,0	196,1
13	72,5	97,4	115,2	133,5	158,9	179,3	201,0
14	74,2	99,6	117,9	136,6	162,5	183,4	205,6
15	75,8	101,7	120,4	139,5	166,0	187,3	209,9
16	77,3	103,8	122,8	142,2	169,3	191,1	214,1
17	78,7	105,7	125,1	144,9	172,5	194,6	218,1
18	80,1	107,6	127,3	147,5	175,5	198,1	222,0
19	81,4	109,4	129,4	149,9	178,4	201,4	225,7
20	82,7	111,1	131,5	152,3	181,3	204,6	229,2
21	84,0	112,8	133,4	154,6	184,0	207,6	232,7
22	85,2	114,4	135,3	156,8	186,6	210,6	236,0
23	86,3	115,9	137,2	158,9	189,2	213,5	239,2
24	87,5	117,4	139,0	161,0	191,6	216,3	242,3

I parametri di riferimento per il tempo di ritorno di 200 anni sono:

Tr= 200 anni	
a [mm/h]	n [-]
91.8	0.31

Di seguito si riporta la curva di possibilità pluviometrica per i diversi tempi di ritorno, calcolata per piogge di durata maggiori di 1h con l'aggiunta della curva interpolata per TR25 anni.



**Figura 3-1- Curve di possibilità pluviometrica di durata superiore ad un'ora**

Le portate afferenti ai drenaggi di piattaforma sono state valutate con il metodo Razionale, che tiene conto dei fattori morfologici, pluviometrici e del tempo di corrivazione del bacino ( $T_c$ ), tramite la formula: nella quale:

$$Q = i \cdot S \cdot \bar{\varphi} \quad (1)$$

$Q$  = portata di massima piena [l/s]

$i$  = intensità di pioggia [mm/h] calcolata per  $Tr = 200$  anni in funzione del tempo di corrivazione caratteristico del tratto;

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARGNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.</b></p>					
<p><b>RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA ROGGIA PALMA</b></p>	<p>COMMESSA IZ09</p>	<p>LOTTO 00 D 26</p>	<p>CODIFICA RI</p>	<p>DOCUMENTO IN0100 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 15 di 56</p>

Come coefficienti di deflusso per il calcolo della portata afferente alla Roggia di Palma fino alla zona oggetto di intervento, vengono assunti i seguenti valori (assunti da “Regolamento recante disposizioni per l’applicazione del principio dell’invarianza idraulica di cui all’articolo 14, comma 1, lettera k) della legge regionale 29 Aprile 2015, n.11”):

Superficie	Coefficiente di deflusso
Area urbana costruzioni spaziate	0.9
Giardini, prati e zone non destinate a costruzioni e a strade	0.3

**Tabella 3.1: Coefficienti di deflusso adottati in funzione della superficie di riferimento.**

Il coefficiente di deflusso medio è stato definito con media pesata sulle aree coinvolte nel calcolo, secondo la seguente relazione:

$$\bar{\varphi} = \frac{\sum_i \varphi_i \cdot S_i}{S_{tot}} \quad (2)$$

Usufruendo di un rilievo topografico è stato possibile definire le aree sottese ai vari punti di chiusura, quantificate le relative aree e calcolati i valori delle portate massime.

### Tempo di corrivazione

Il tempo di corrivazione, ovvero il tempo impiegato dalla goccia idraulicamente più lontana dalla sezione di chiusura a raggiungere la stessa, viene calcolato in funzione della lunghezza dell’asta dall’origine della Roggia (in località Casali Cecutt) ( $L_{asta}$ ) e dalla velocità media del flusso d’acqua ( $v$ ) assunta lungo il canale regimato (assunta pari a 0.8 m/s).

Il tempo totale di corrivazione è stato stimato mediante la seguente formulazione:

$$T_c = \frac{L_{asta}}{v} = 7.6 \text{ h}$$

dove:

$$L_{asta} = L_{area \text{ urbana}} + L_{area \text{ agricola}} = 10 \text{ km} + 12 \text{ km} = 22 \text{ km};$$

$$v = 0.8 \text{ m/s};$$

### Area scolante

Il territorio nel quale scorrono le rogge appartiene al paesaggio dell'Alta Pianura Friulana ed è costituito da depositi di detriti di origine morenica e alluvionale, generalmente grossolani (ghiaie, ghiaie e sabbie) e permeabili (Figura 3-2). Prevale in maniera generalizzata la morfologia pianeggiante, salvo nelle zone adiacenti ai corsi fluviali.

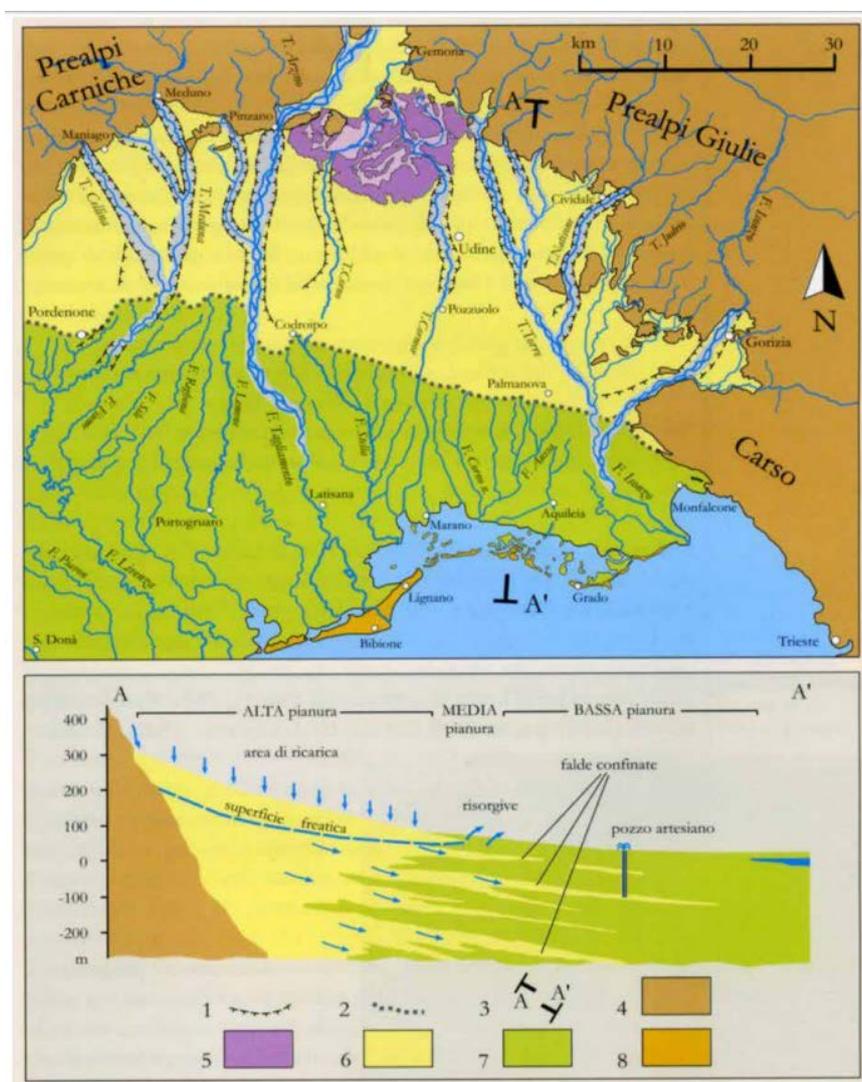


Figura 3-2- Schema della pianura friulana (da: Vie d'Acqua a Udine, Ed. del Museo Friulano di Storia Naturale, Udine 2008)

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE</b> <b>PM CARGNACCO</b> <b>PD del PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle</b> <b>opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.</b>					
	<b>RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA ROGGIA</b> <b>PALMA</b>	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 26	CODIFICA RI	DOCUMENTO IN0100 001	REV. A

Considerando pertanto l'orografia del territorio perlopiù pianeggiante nelle zone attraversate dal canale pluvio-irriguo a monte della zona di intervento e, viene considerata parametricamente una fascia costante a lato della Roggia (da ambo i lati) per valutare lungo l'asta la superficie scolante nel caso di eventi di pioggia:

Tipologia zona	Lunghezza asta (km)	Fascia laterale totale (m)	S scolante (ha)
agricola	12	40	48
urbana	10	20	20

**Tabella 3.2: Superficie scolante suddivisa per tipologia di zona attraversata dalla Roggia di Palma.**

La fascia scolante in zona urbana viene ridotta rispetto a quella rurale a causa della presenza diffusa di fognature bianche o miste e in generale altre canalizzazioni soprattutto nell'abitato della città di Udine.

A questo punto, mediante la formula (2) viene calcolato il coefficiente di deflusso pesato totale, pari a 0.47, e mediante la formulazione (1) la portata con Tr pari a 200 anni, pari a circa 2 m<sup>3</sup>/s.

Sommando a questa portata risultante, a vantaggio di sicurezza, la portata irrigua massima canalizzata all'interno della Roggia (pari a 1.7 m<sup>3</sup>/s), si ottiene la portata totale pari a 3.7 m<sup>3</sup>/s. Tale portata viene utilizzata come dato di base per la modellazione idraulica monodimensionale dei tobinamenti in progetto.

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARGNACCO</b> <b>PD del PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.</b></p>					
<p><b>RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA ROGGIA PALMA</b></p>	<p>COMMESSA <b>IZ09</b></p>	<p>LOTTO <b>00 D 26</b></p>	<p>CODIFICA <b>RI</b></p>	<p>DOCUMENTO <b>IN0100 001</b></p>	<p>REV. <b>A</b></p>	<p>FOGLIO <b>18 di 56</b></p>

## 4 STUDIO IDRAULICO

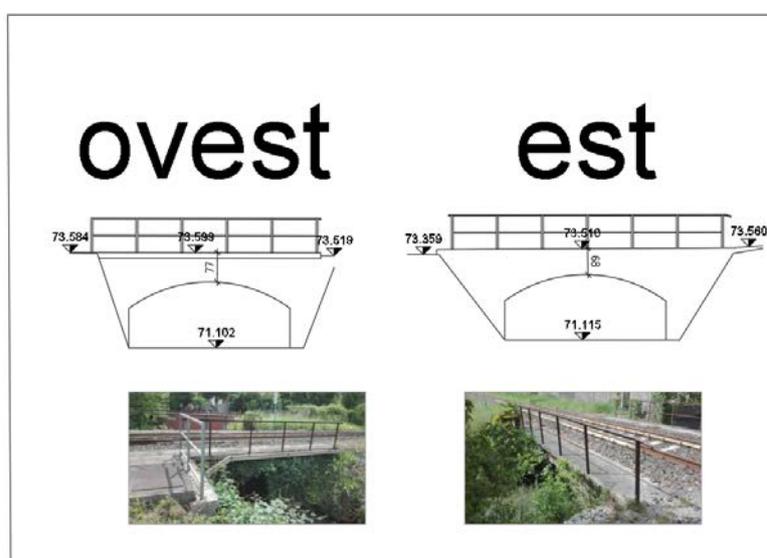
Lo studio idraulico è finalizzato alla determinazione dei livelli idrici all'interno della Roggia di Palma nel tratto oggetto di intervento.

In particolare lo scopo risulta quello di valutare i franchi e i riempimenti all'interno delle sezioni dei tombini, al fine di verificare la bontà delle stesse per le tre opere di progetto:

- il tombino ad est della ferrovia, la cui necessità è conseguente alla nuova viabilità di progetto per l'eliminazione del PL al km 6+926;
- Il tombino di attraversamento del fascio di binari, la cui necessità è conseguente all'allargamento della sede ferroviaria;
- il tombino ad est della ferrovia, la cui necessità è conseguente alla nuova rotatoria di progetto per l'eliminazione del PL al km 6+926;

### 4.1 MODELLAZIONE IDRAULICA MONODIMENSIONALE

Per la stima dei livelli idrici lungo la Roggia di Palma, si è proceduti con una modellazione idraulica monodimensionale condotta su 25 sezioni caratteristiche (per lo stato di fatto) e 23 sezioni caratteristiche (per lo stato di progetto) ricostruite per la quasi totalità da prospetti (est ed ovest) di tutti gli attraversamenti e/o tombinamenti presenti lungo l'area oggetto di studio (Figura 4-1); per le restanti viene utilizzata la possibilità di estrarre sezioni direttamente dal DTM (Digital Terrain Model) della zona.



**Figura 4-1- Esempio di prospetti (est ed ovest) relativi ad un attraversamento della Roggia di Palma nell'area oggetto di studio.**

	<b>COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARGNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.</b>					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA ROGGIA PALMA</b>	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 26	CODIFICA RI	DOCUMENTO IN0100 001	REV. A	FOGLIO 19 di 56

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

Le simulazioni numeriche sono state condotte utilizzando GeoHECRAS, un programma di calcolo che permette il calcolo monodimensionale a moto permanente fornendo un'adeguata rappresentazione del fenomeno, sviluppato da CivilGEO Engineering Software.

In accordo con quanto descritto dalla Circolare esplicativa 2019 relativa alle NTC 2018, nello stato si progetto viene verificato il riempimento pari al 66% all'interno delle sezioni degli scatolari e il franco minimo pari a 50 cm sull'intradosso della soletta superiore.

#### 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 Figura 4-2. 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 $\cong 2 \text{ m}$ ; 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 $\cong 4 \text{ m}$ ; 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 COLENALI</b> (Raggio idraulico $\cong 1 \text{ m}$ )	
<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, liscio</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 20-60 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

Figura 4-2 - Valori di scabrezza secondo la deliberazione n. 2/99, in data 11 maggio 1999 dell'Autorità di Bacino del Po.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE</b> <b>PM CARGNACCO</b> <b>PD del PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle</b> <b>opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.</b>					
	<b>RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA ROGGIA</b> <b>PALMA</b>	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 26	CODIFICA RI	DOCUMENTO IN0100 001	REV. A

Nel presente studio vengono assunti i seguenti coefficienti di scabrezza:

Tipologia corso d'acqua	Coefficiente di scabrezza di Manning n	Coefficiente di scabrezza di Strickler Ks (= 1/n)
Alveo regolare con vegetazione erbacea/ zone esterne non allagabili	0.033	30
Alveo artificiale in calcestruzzo non regolare	0.018	55
Alveo artificiale in calcestruzzo liscio ex novo	0.015	67

**Tabella 4.1: Coefficienti di scabrezza adottati in funzione della tipologia del corso d'acqua.**

#### 4.1.3 Geometria del modello

Le principali caratteristiche della geometria del modello sono così riassumibili:

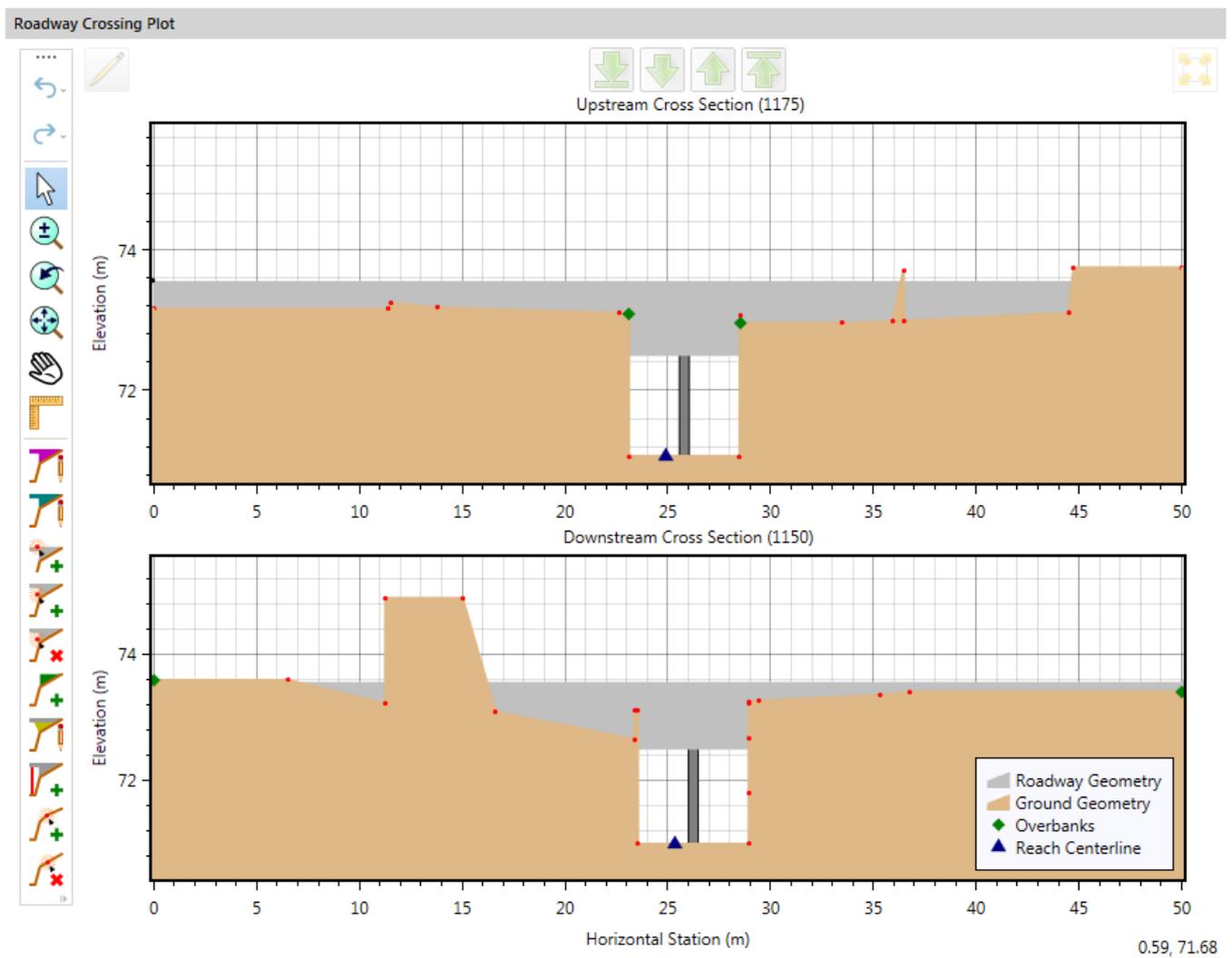
- lunghezza totale del tratto di studio: 555 m;
- numero di sezioni trasversali rilevate (stato di fatto): 25;
- numero di sezioni trasversali rilevate (stato di progetto): 23;
- numero di ponti/ponticelli/tombini/attraversamenti (stato di fatto): 10;
- numero di ponti/ponticelli/tombini/attraversamenti (stato di progetto): 11;
- pendenza media del corso d'acqua: 0.09 %.

I tombini idraulici vengono modellati grazie alla funzione "Roadway crossing"->"Bridge & culvert data", ovvero come ponti.

Questo permette di rappresentare il tombino in maniera realistica e definire tutti i parametri necessari per la definizione della sezione scatolare.

Nel caso dello scatolare centrale di attraversamento del fascio di binari, viene progettato un tombino a doppia canna, conseguentemente alle importanti dimensioni della sezione.

All'interno di GeoHECRAS, sempre con la funzionalità "Roadway crossing", è possibile inserire il setto centrale modellandolo come pila di un viadotto (Figura 4-3).



**Figura 4-3 – Modellazione del tombino centrale in progetto all’interno del software, con il setto centrale modellato come pila di un ponte.**

#### 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 (pari a  $3.7 \text{ m}^3/\text{s}$ ), è stata imposta la condizioni di moto uniforme nella forma della pendenza della linea dell’energia, considerata pari alla pendenza media del fondo (pari a 0.09%). Medesima condizione al contorno è stata imposta nella sezione di valle.

#### 4.1.5 Risultati stato di fatto

I risultati della simulazione a moto permanente per la configurazione dello stato di fatto (Figura 4-4) sono riportati in Tabella 4.2 ed in Figura 4-5 in termini di profilo idraulico.



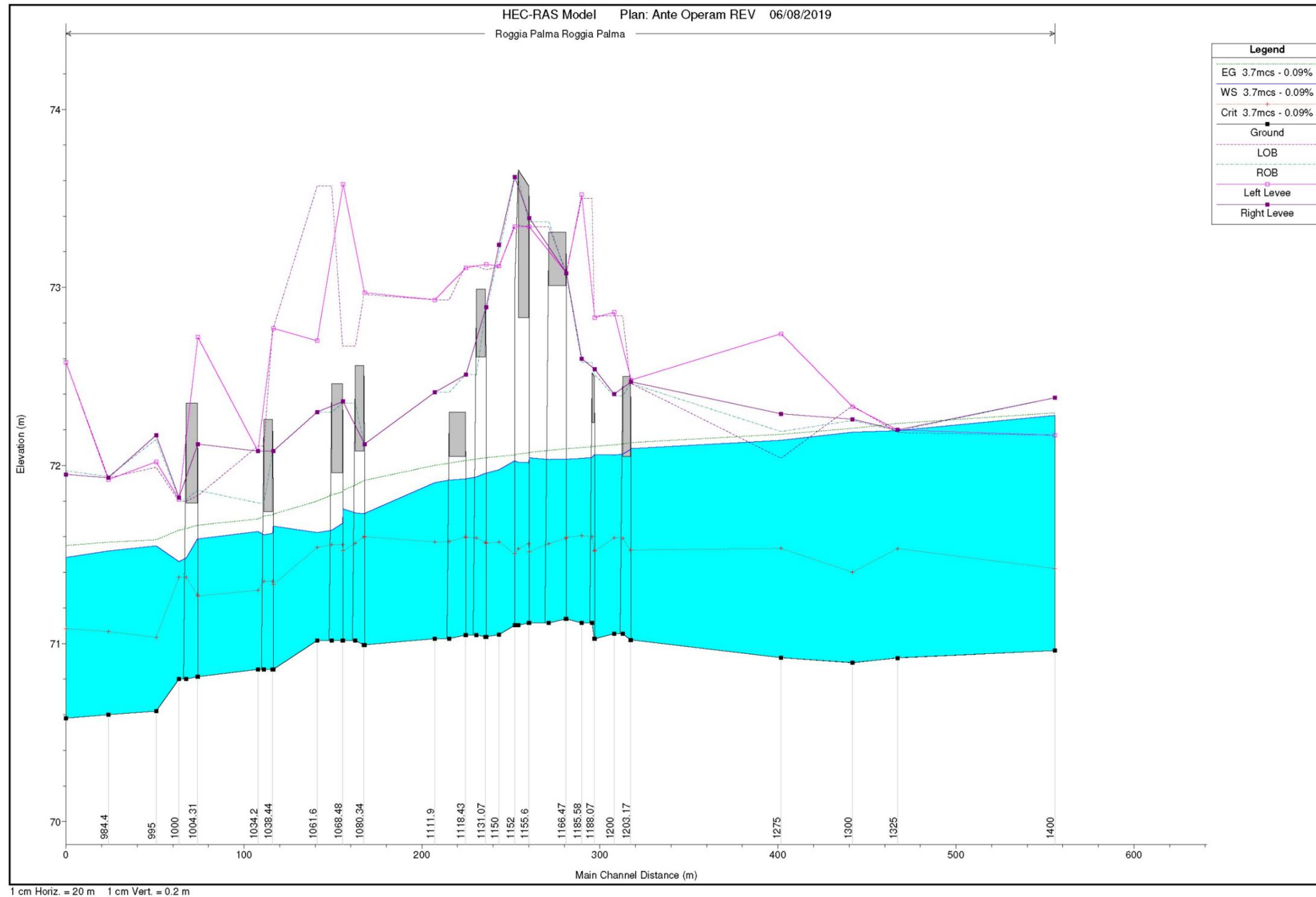
**Figura 4-4 – Planimetria con la definizione delle sezioni per lo stato di fatto (Ante Operam).**

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE</b> <b>PM CARGNACCO</b> <b>PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle opere</b> <b>sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM</b>					
	<b>RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA ROGGIA PALMA</b>	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 26	CODIFICA RI	DOCUMENTO IN0100 001	REV. A

HEC-RAS Plan: Ante Operam REV River: Roggia Palma Reach: Roggia Palma Profile: 3.7mcs - 0.09%

Reach	River Sta	Profile	Cum Ch Len	Length Chnl	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m)	(m)	(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
Roggia Palma	1400	3.7mcs - 0.09%	555.51	88.28	3.70	70.96	72.28	71.42	72.30	0.000380	0.55	7.51	10.92	0.17
Roggia Palma	1325	3.7mcs - 0.09%	467.23	25.37	3.70	70.92	72.20	71.53	72.24	0.001310	0.89	4.15	4.29	0.29
Roggia Palma	1300	3.7mcs - 0.09%	441.86	40.12	3.70	70.89	72.19	71.40	72.21	0.000591	0.65	5.72	5.86	0.21
Roggia Palma	1275	3.7mcs - 0.09%	401.74	84.23	3.70	70.92	72.14	71.53	72.18	0.001092	0.82	4.50	5.42	0.28
Roggia Palma	1205.9	3.7mcs - 0.09%	317.51	0.35	3.70	71.02	72.09	71.53	72.13	0.000331	0.82	4.54	5.47	0.29
Roggia Palma	1203.17		Bridge											
Roggia Palma	1200	3.7mcs - 0.09%	307.95	10.82	3.70	71.05	72.06	71.59	72.12	0.000640	1.06	3.50	4.17	0.37
Roggia Palma	1190.3	3.7mcs - 0.09%	297.13	0.35	3.70	71.03	72.06	71.52	72.11	0.000476	0.95	3.91	4.31	0.32
Roggia Palma	1188.07		Bridge											
Roggia Palma	1185.58	3.7mcs - 0.09%	289.77	8.60	3.70	71.12	72.04	71.61	72.10	0.000713	1.09	3.39	3.96	0.38
Roggia Palma	1175	3.7mcs - 0.09%	281.17	0.35	3.70	71.14	72.04	71.60	72.09	0.000704	1.07	3.46	3.91	0.36
Roggia Palma	1166.47		Bridge											
Roggia Palma	1158.1	3.7mcs - 0.09%	260.31	0.35	3.70	71.12	72.04	71.52	72.07	0.000312	0.78	4.76	5.74	0.27
Roggia Palma	1155.6		Bridge											
Roggia Palma	1152	3.7mcs - 0.09%	252.09	8.77	3.70	71.10	72.03	71.50	72.06	0.000336	0.80	4.61	5.47	0.28
Roggia Palma	1150	3.7mcs - 0.09%	243.32	7.31	3.70	71.05	71.98	71.57	72.05	0.000916	1.21	3.06	3.50	0.41
Roggia Palma	1133.7	3.7mcs - 0.09%	236.01	0.35	3.70	71.04	71.96	71.56	72.04	0.001136	1.30	2.85	3.11	0.43
Roggia Palma	1131.07		Bridge											
Roggia Palma	1125	3.7mcs - 0.09%	224.73	0.35	3.70	71.05	71.92	71.60	72.03	0.001420	1.42	2.60	3.05	0.49
Roggia Palma	1118.43		Bridge											
Roggia Palma	1111.9	3.7mcs - 0.09%	207.22	39.51	3.70	71.03	71.90	71.57	72.00	0.001332	1.39	2.67	3.21	0.49
Roggia Palma	1083	3.7mcs - 0.09%	167.71	0.35	3.70	70.99	71.73	71.60	71.92	0.003044	1.91	1.94	2.85	0.74
Roggia Palma	1080.34		Bridge											
Roggia Palma	1075	3.7mcs - 0.09%	155.71	0.35	3.70	71.02	71.76	71.52	71.86	0.001568	1.44	2.57	3.82	0.56
Roggia Palma	1068.48		Bridge											
Roggia Palma	1061.6	3.7mcs - 0.09%	141.14	24.71	3.70	71.02	71.62	71.54	71.80	0.003236	1.86	1.99	3.55	0.80
Roggia Palma	1042.7	3.7mcs - 0.09%	116.43	0.35	3.70	70.85	71.66	71.33	71.73	0.000860	1.15	3.22	4.55	0.44
Roggia Palma	1038.44		Bridge											
Roggia Palma	1034.2	3.7mcs - 0.09%	107.85	33.78	3.70	70.85	71.63	71.30	71.70	0.000965	1.18	3.14	4.10	0.43
Roggia Palma	1006.4	3.7mcs - 0.09%	74.07	0.35	3.70	70.81	71.59	71.27	71.66	0.001078	1.23	3.00	3.90	0.45
Roggia Palma	1004.31		Bridge											
Roggia Palma	1000	3.7mcs - 0.09%	63.46	12.79	3.70	70.80	71.46	71.37	71.64	0.003174	1.86	1.99	3.52	0.79
Roggia Palma	995	3.7mcs - 0.09%	50.67	26.85	3.70	70.62	71.55	71.03	71.58	0.000378	0.81	4.59	6.14	0.30
Roggia Palma	984.4	3.7mcs - 0.09%	23.82	23.82	3.70	70.60	71.52	71.07	71.57	0.000579	0.98	3.78	5.02	0.36
Roggia Palma	975	3.7mcs - 0.09%			3.70	70.58	71.48	71.08	71.55	0.000900	1.14	3.23	4.34	0.42

Tabella 4.2: Risultati simulazioni numeriche Ante Operam.



**Figura 4-5 – Profilo idraulico Ante Operam.**

#### 4.1.6 Risultati stato di progetto

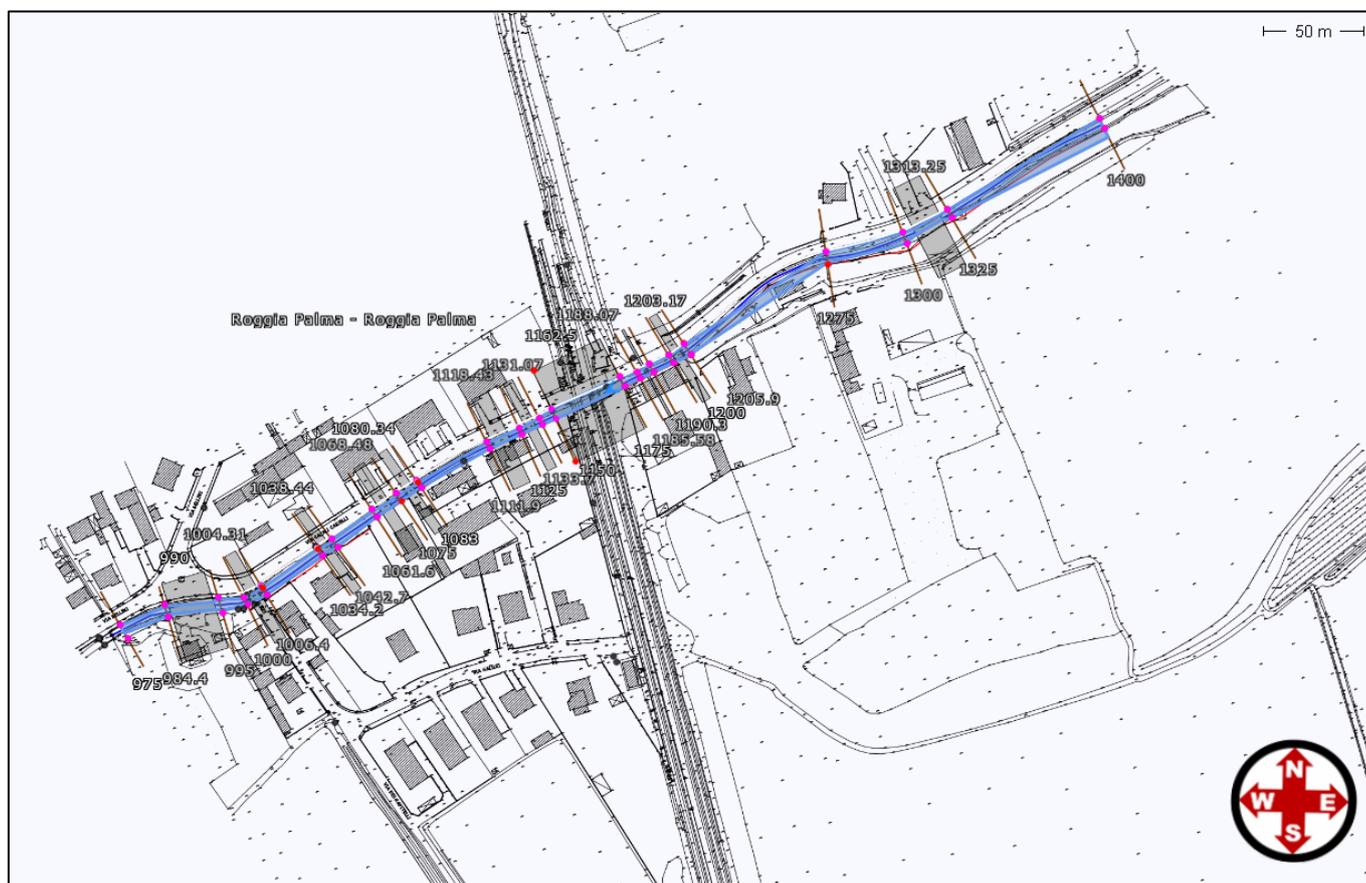
I risultati della simulazione a moto permanente per la configurazione dello stato di progetto (Figura 4-6) sono riportati in Tabella 4.3 ed in Figura 4-7 in termini di profilo idraulico.

Nello specifico, il tratto di tombinamento sottostante la sede ferroviaria, viene progettato con una pendenza pari al 2 per mille, lasciando inalterate le quote di scorrimento battute a valle e a monte dello stesso.

La larghezza netta utile all'interno dello stesso risulta 5 m con un setto centrale di 40 cm; per favorire la diminuzione di perdite concentrate all'imbocco dello scatolare, il setto viene sagomato con profilo circolare.

I tombini ad est ed ovest risultano avere una larghezza netta pari a 3 m e non presentano un setto centrale.

Simulando l'inserimento dei tre manufatti, vengono verificati i franchi idraulici e i riempimenti degli stessi.



**Figura 4-6 – Planimetria con la definizione delle sezioni per lo stato di progetto (Post Operam).**

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE</b> <b>PM CARGNACCO</b> <b>PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle opere</b> <b>sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM</b>					
	<b>RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA ROGGIA PALMA</b>	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 26	CODIFICA RI	DOCUMENTO IN0100 001	REV. A

HEC-RAS Plan: POST OPERAM REV River: Roggia Palma Reach: Roggia Palma Profile: 3.7mcs - 0.09%

Reach	River Sta	Profile	Cum Ch Len (m)	Length Chnl (m)	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Roggia Palma	1400	3.7mcs - 0.09%	555.51	88.28	3.70	70.96	72.21	71.42	72.22	0.000495	0.60	6.72	10.15	0.19
Roggia Palma	1325	3.7mcs - 0.09%	467.23	5.00	3.70	70.92	72.16	71.44	72.19	0.000295	0.79	4.69	4.59	0.25
Roggia Palma	1313.25		Bridge											
Roggia Palma	1300	3.7mcs - 0.09%	441.86	40.12	3.70	70.89	72.14	71.40	72.16	0.000200	0.68	5.46	5.76	0.22
Roggia Palma	1275	3.7mcs - 0.09%	401.74	84.23	3.70	70.92	72.11	71.53	72.15	0.001249	0.85	4.33	5.32	0.30
Roggia Palma	1205.9	3.7mcs - 0.09%	317.51	0.35	3.70	71.02	72.06	71.53	72.09	0.000377	0.85	4.33	5.38	0.30
Roggia Palma	1203.17		Bridge											
Roggia Palma	1200	3.7mcs - 0.09%	307.95	10.82	3.70	71.05	72.02	71.59	72.08	0.000725	1.10	3.35	4.12	0.39
Roggia Palma	1190.3	3.7mcs - 0.09%	297.13	0.35	3.70	71.03	72.02	71.52	72.07	0.000535	0.99	3.75	4.27	0.34
Roggia Palma	1188.07		Bridge											
Roggia Palma	1185.58	3.7mcs - 0.09%	289.77	8.60	3.70	71.06	72.01	71.54	72.07	0.000536	1.12	3.32	3.51	0.37
Roggia Palma	1175	3.7mcs - 0.09%	281.17	0.10	3.70	71.06	72.03	71.42	72.05	0.000176	0.71	5.24	5.40	0.23
Roggia Palma	1162.5		Bridge											
Roggia Palma	1150	3.7mcs - 0.09%	243.32	7.31	3.70	70.99	72.03	71.35	72.05	0.000144	0.66	5.60	5.41	0.21
Roggia Palma	1133.7	3.7mcs - 0.09%	236.01	0.35	3.70	70.99	71.99	71.47	72.04	0.000461	1.06	3.50	3.51	0.34
Roggia Palma	1131.07		Bridge											
Roggia Palma	1125	3.7mcs - 0.09%	224.73	0.35	3.70	71.05	71.93	71.60	72.03	0.001419	1.42	2.60	3.05	0.49
Roggia Palma	1118.43		Bridge											
Roggia Palma	1111.9	3.7mcs - 0.09%	207.22	39.51	3.70	71.03	71.90	71.57	72.00	0.001330	1.39	2.67	3.21	0.49
Roggia Palma	1083	3.7mcs - 0.09%	167.71	0.35	3.70	70.99	71.73	71.60	71.92	0.003029	1.91	1.94	2.85	0.74
Roggia Palma	1080.34		Bridge											
Roggia Palma	1075	3.7mcs - 0.09%	155.71	0.35	3.70	71.02	71.76	71.52	71.86	0.001560	1.44	2.58	3.82	0.56
Roggia Palma	1068.48		Bridge											
Roggia Palma	1061.6	3.7mcs - 0.09%	141.14	24.71	3.70	71.02	71.63	71.54	71.80	0.003182	1.85	2.00	3.56	0.79
Roggia Palma	1042.7	3.7mcs - 0.09%	116.43	0.35	3.70	70.85	71.66	71.33	71.73	0.000851	1.15	3.23	4.56	0.43
Roggia Palma	1038.44		Bridge											
Roggia Palma	1034.2	3.7mcs - 0.09%	107.85	33.78	3.70	70.85	71.63	71.30	71.70	0.000953	1.17	3.15	4.10	0.43
Roggia Palma	1006.4	3.7mcs - 0.09%	74.07	0.35	3.70	70.81	71.59	71.27	71.67	0.001063	1.23	3.02	3.90	0.44
Roggia Palma	1004.31		Bridge											
Roggia Palma	1000	3.7mcs - 0.09%	63.46	12.79	3.70	70.80	71.47	71.37	71.64	0.003026	1.83	2.02	3.53	0.77
Roggia Palma	995	3.7mcs - 0.09%	50.67	2.83	3.70	70.62	71.56	71.03	71.59	0.000370	0.80	4.63	6.16	0.29
Roggia Palma	990		Bridge											
Roggia Palma	984.4	3.7mcs - 0.09%	23.82	23.82	3.70	70.60	71.52	71.04	71.57	0.000489	0.92	4.04	5.09	0.33
Roggia Palma	975	3.7mcs - 0.09%			3.70	70.58	71.48	71.08	71.55	0.000900	1.14	3.23	4.34	0.42

Tabella 4.3: Risultati simulazioni numeriche Post Operam.

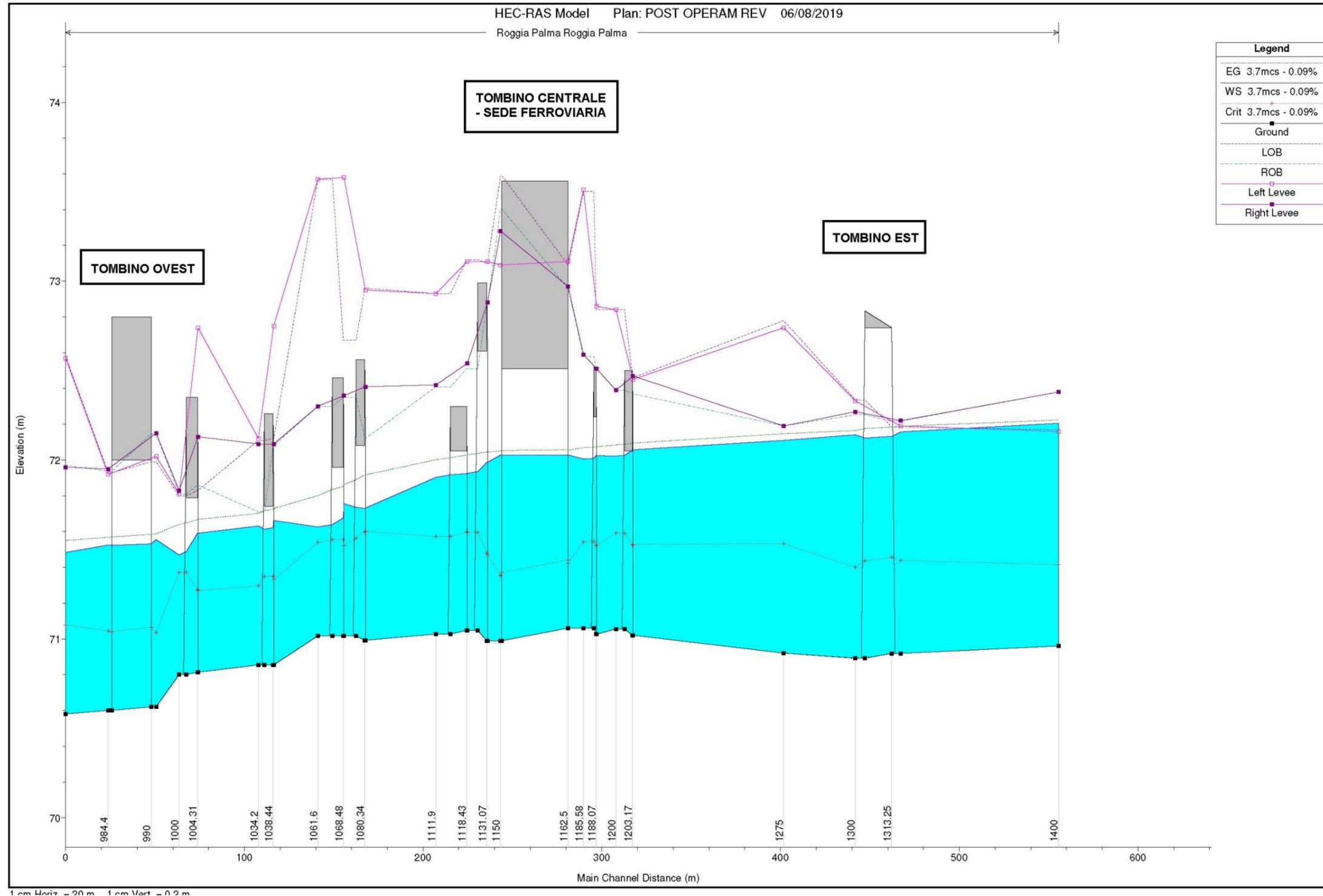


Figura 4-7 – Profilo idraulico Post Operam.

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARNACCO PRG e ACC del nuovo PM di Carnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM</b></p>					
<p><b>RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA ROGGIA PALMA</b></p>	<p>COMMESSA IZ09</p>	<p>LOTTO 00 D 26</p>	<p>CODIFICA RI</p>	<p>DOCUMENTO IN0100 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 29 di 56</p>

Come si può verificare dal confronto tra valori dei livelli nelle sezioni 990, 1162.5 e 1313.25 con i rispettivi intradossi delle solette superiori degli scatolari, viene rispettato sia il franco idraulico sia il riempimento in entrambi i 3 manufatti scatolari.

	<b>COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARGNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.</b>					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA ROGGIA PALMA</b>	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 26	CODIFICA RI	DOCUMENTO IN0100 001	REV. A	FOGLIO 30 di 56

## 5 APPENDICE A - IL MODELLO MATEMATICO HEC-RAS

### 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.

	<b>COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARGNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Carnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.</b>					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA ROGGIA PALMA</b>	COMMESSA IZ09	LOTTO 00 D 26	CODIFICA RI	DOCUMENTO IN0100 001	REV. A	FOGLIO 31 di 56

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.

### 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.

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p><b>COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARGNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.</b></p>					
<p><b>RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA ROGGIA PALMA</b></p>	<p>COMMESSA IZ09</p>	<p>LOTTO 00 D 26</p>	<p>CODIFICA RI</p>	<p>DOCUMENTO IN0100 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 32 di 56</p>

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.

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p align="center"><b>COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARGNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.</b></p>					
<p><b>RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA ROGGIA PALMA</b></p>	<p>COMMESSA IZ09</p>	<p>LOTTO 00 D 26</p>	<p>CODIFICA RI</p>	<p>DOCUMENTO IN0100 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 33 di 56</p>

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:

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

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.

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p align="center"><b>COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARGNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.</b></p>					
<p><b>RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA ROGGIA PALMA</b></p>	<p>COMMESSA IZ09</p>	<p>LOTTO 00 D 26</p>	<p>CODIFICA RI</p>	<p>DOCUMENTO IN0100 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 34 di 56</p>

## 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:

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

- $S_f$  = 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:

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

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

$$Q = KS_f^{1/2}$$

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

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p align="center"><b>COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARGNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.</b></p>					
<p><b>RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA ROGGIA PALMA</b></p>	<p>COMMESSA <b>IZ09</b></p>	<p>LOTTO <b>00 D 26</b></p>	<p>CODIFICA <b>RI</b></p>	<p>DOCUMENTO <b>IN0100 001</b></p>	<p>REV. <b>A</b></p>	<p>FOGLIO <b>35 di 56</b></p>

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:

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

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.

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p align="center"><b>COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARGNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.</b></p>					
<p><b>RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA ROGGIA PALMA</b></p>	<p>COMMESSA <b>IZ09</b></p>	<p>LOTTO <b>00 D 26</b></p>	<p>CODIFICA <b>RI</b></p>	<p>DOCUMENTO <b>IN0100 001</b></p>	<p>REV. <b>A</b></p>	<p>FOGLIO <b>36 di 56</b></p>

### 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.

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p align="center"><b>COMPLETAMENTO DEL NODO DI UDINE PM CARGNACCO PD del PRG e ACC del nuovo PM di Cagnacco e delle opere sostitutive dei P.L. interferenti con il nuovo PM.</b></p>					
<p><b>RELAZIONE IDROLOGICA ED IDRAULICA ROGGIA PALMA</b></p>	<p>COMMESSA IZ09</p>	<p>LOTTO 00 D 26</p>	<p>CODIFICA RI</p>	<p>DOCUMENTO IN0100 001</p>	<p>REV. A</p>	<p>FOGLIO 37 di 56</p>

### 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:

- $WS_u + \frac{a_u V_u^2}{2g} = WS_d + \frac{a_d V_d^2}{2g} + h_e$
- $WS_u = Z_u + y_u$
- $WS_d = Z_d + y_d$

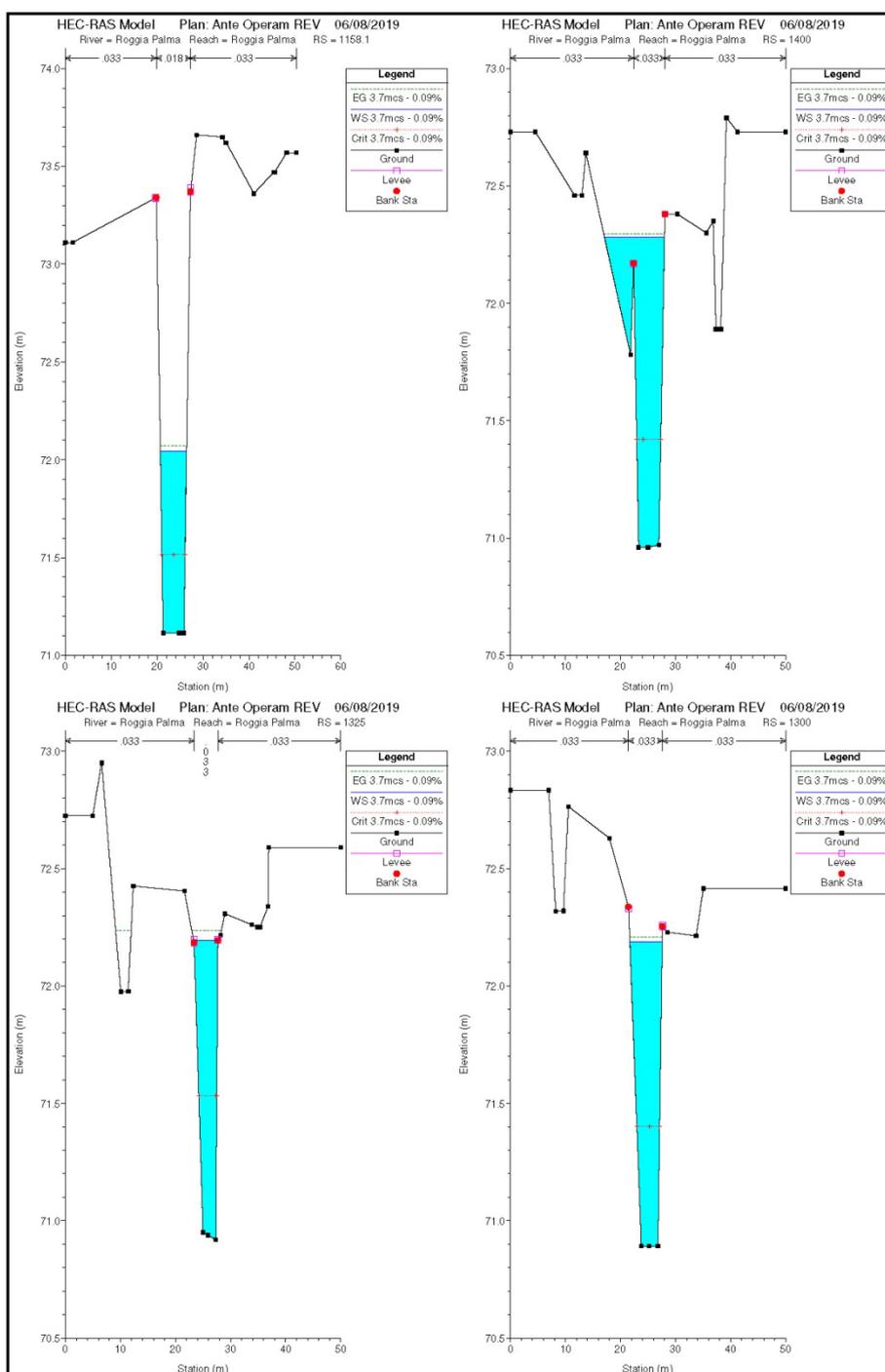
Assumendo che la geometria delle sezioni sia nota, i termini incogniti dell’equazione sono  $WS_u$ ,  $V_u$  e  $h_e$ .  $V_u$  è desumibile direttamente dal valore di  $WS_u$ , per cui le incognite possono essere ridotte a due. Con due incognite è necessaria una seconda equazione, riguardante le perdite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

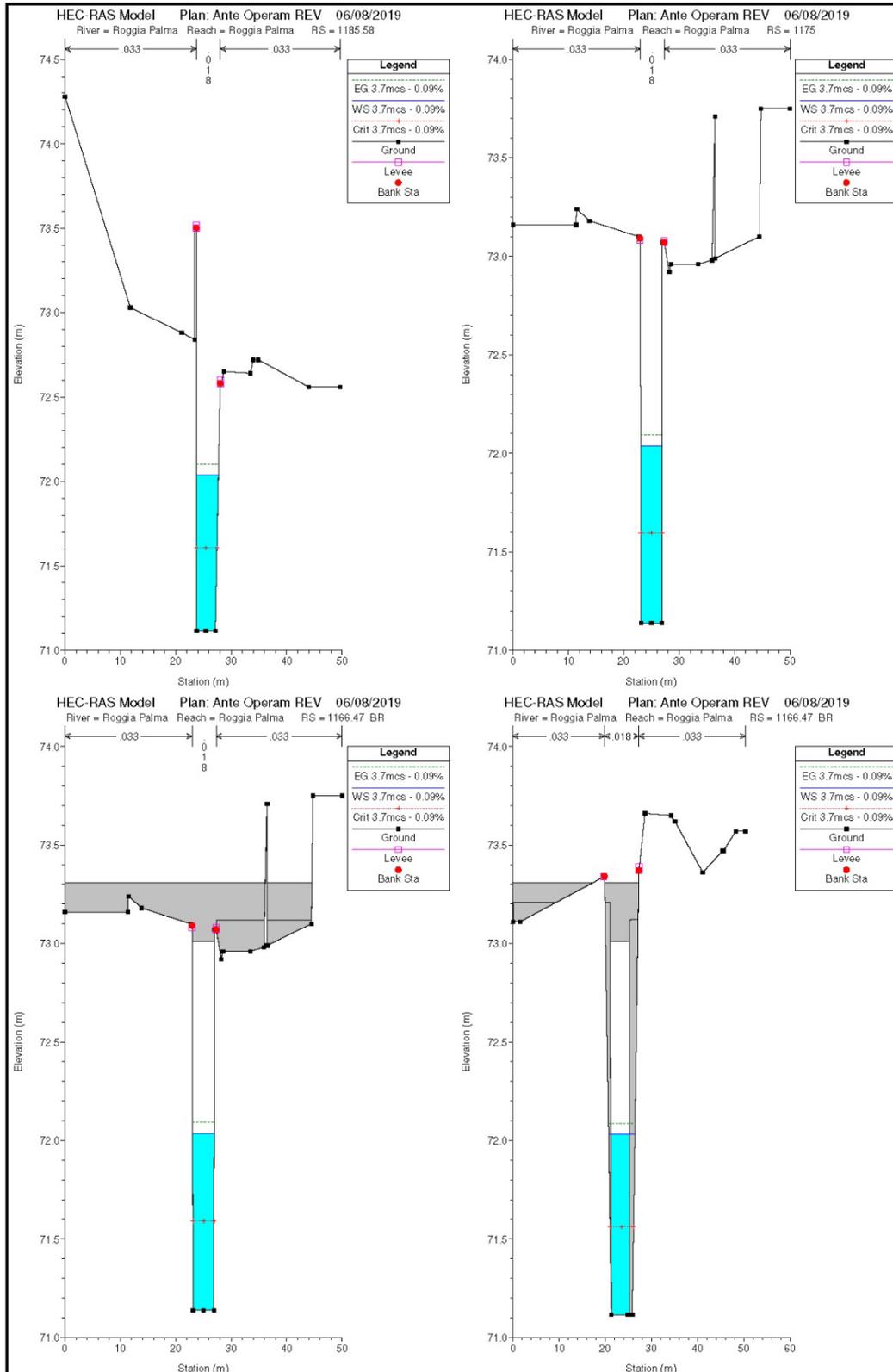
I passi attraverso cui avviene il calcolo sono i seguenti.

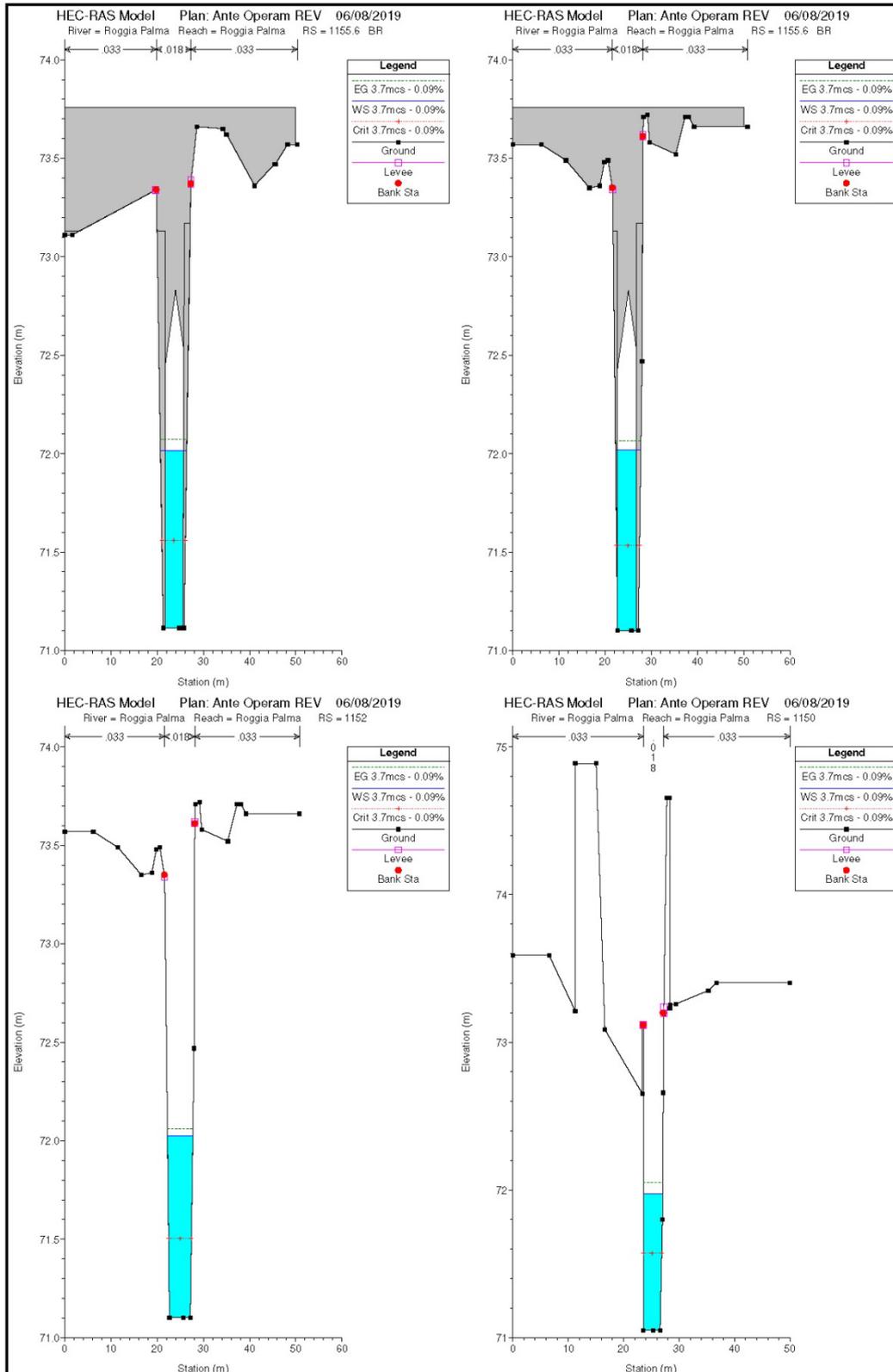
- viene supposta una quota di pelo libero per la sezione di monte. Un primo tentativo può essere fatto imponendo la pendenza della linea dell’energia pari alla pendenza del tronco d’alveo; quindi,  $DWS = (Q/K)^2 L$ , dove  $DWS$  rappresenta la variazione nella quota del pelo libero,  $Q$  è la portata,  $K$  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.

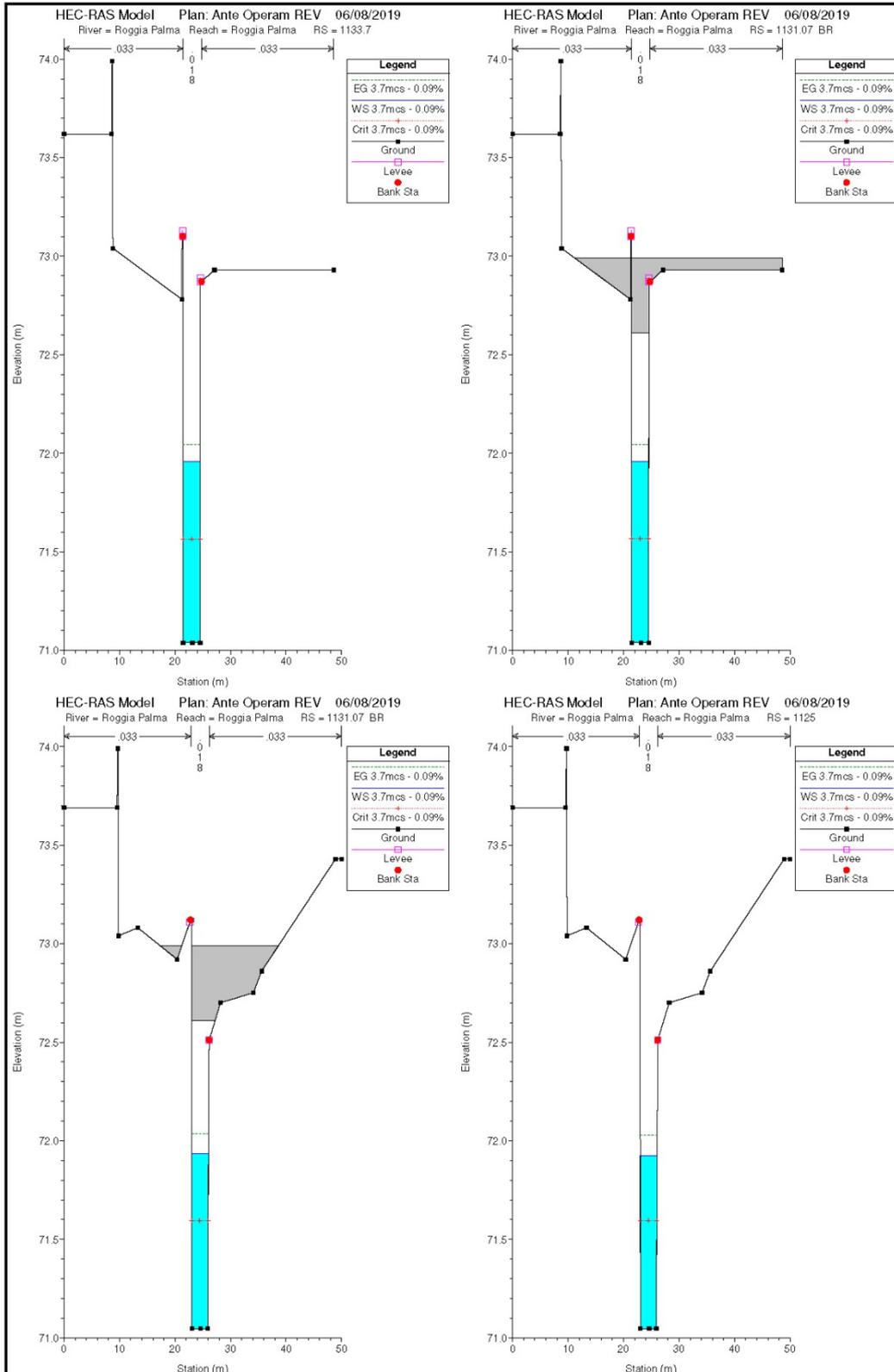
Questa tecnica richiede tempi di elaborazione brevissimi e non incontra problemi di convergenza nemmeno in presenza di discontinuità geometriche o idrauliche (passaggio tra regime di moto subcritico e supercritico).

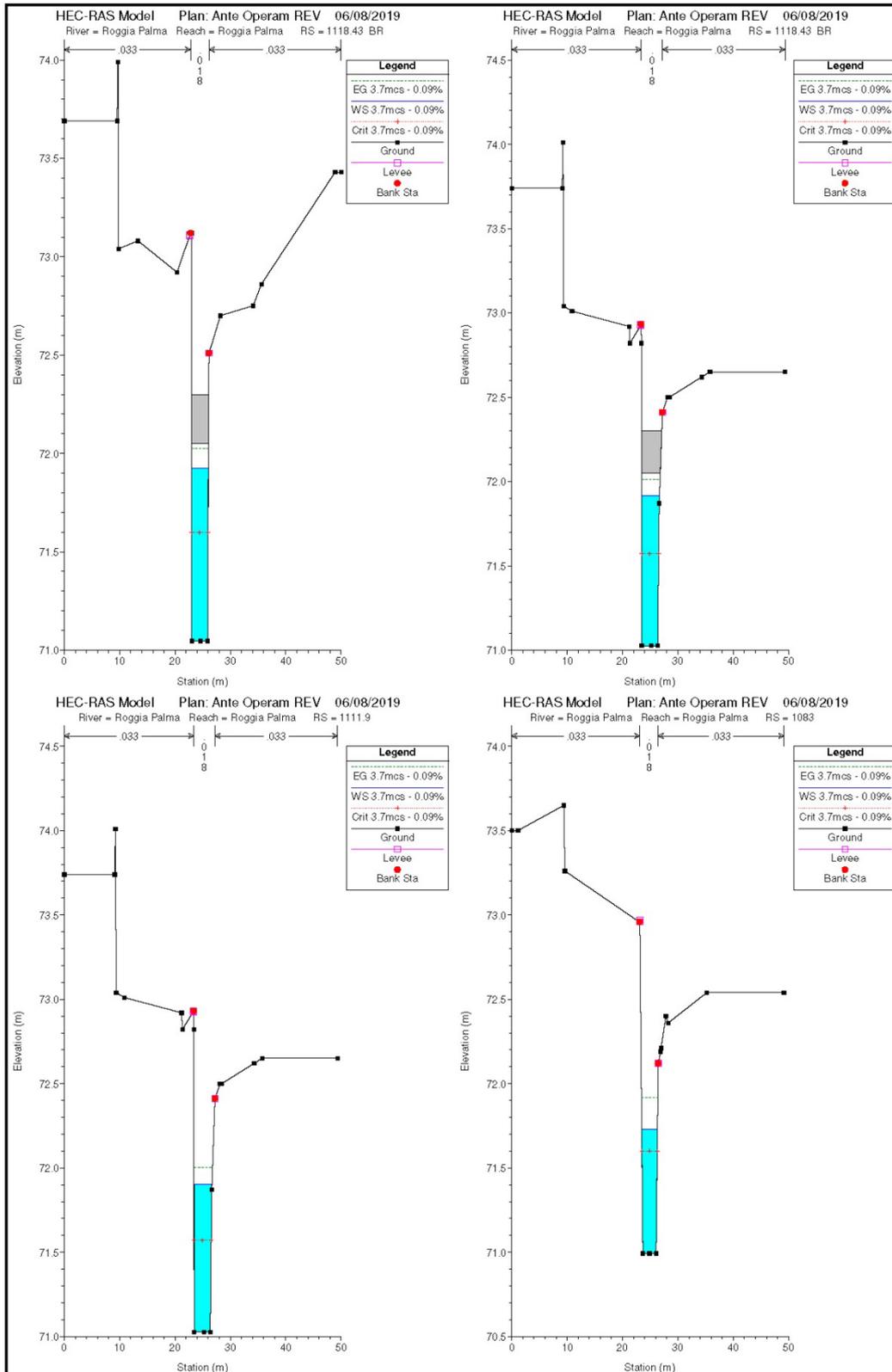
## 6 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE RELATIVE ALLO STATO DI FATTO

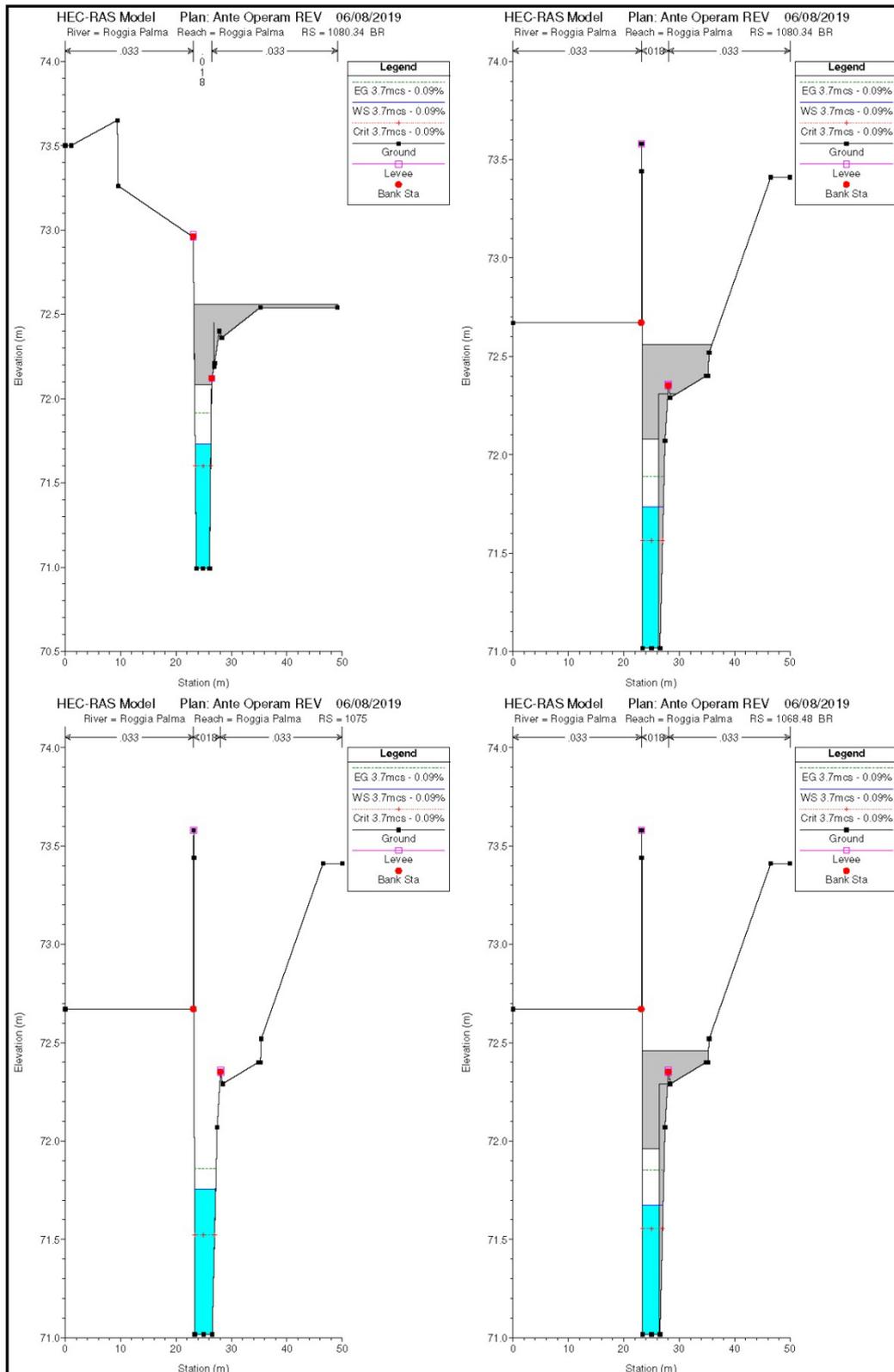


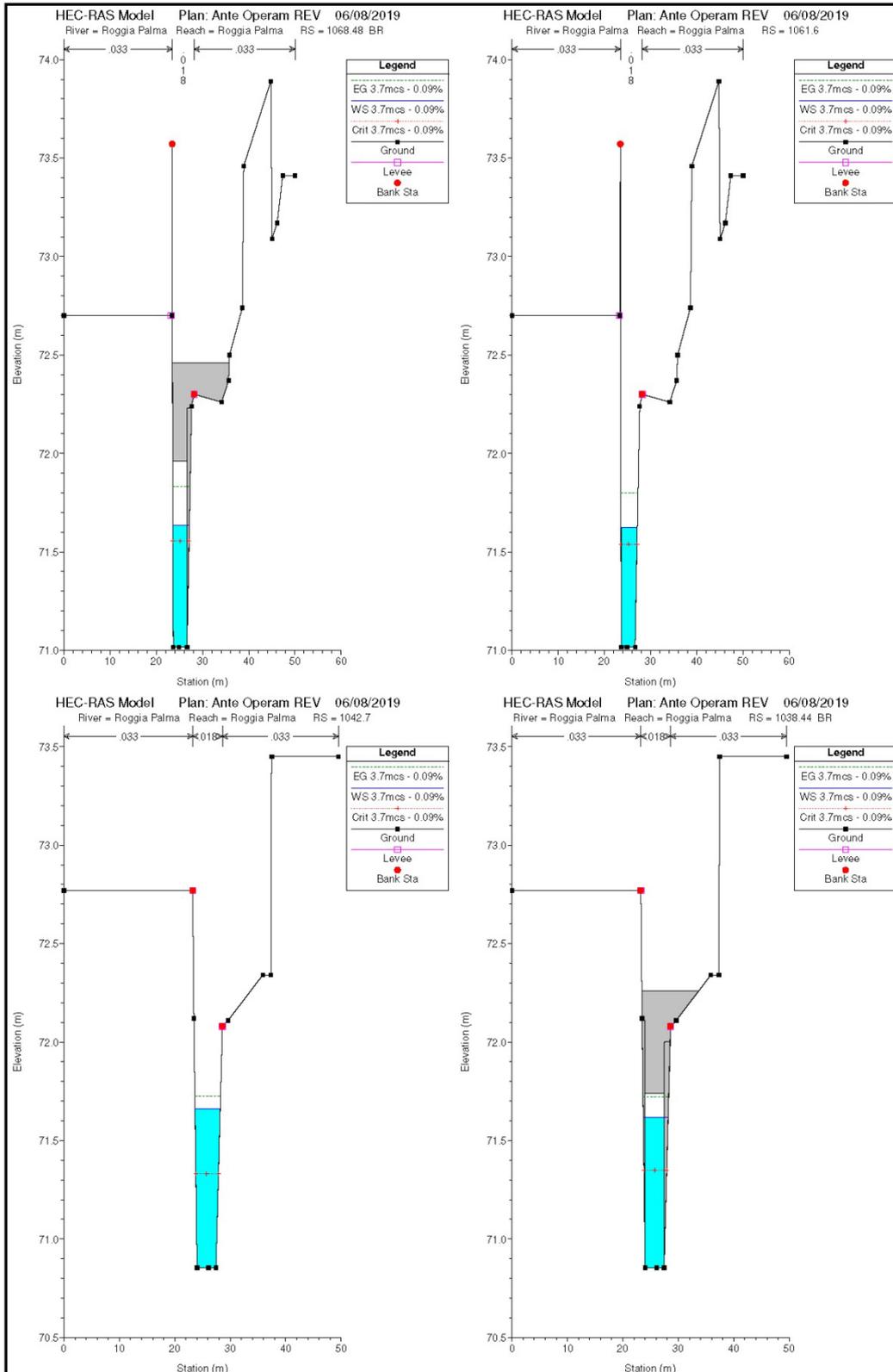


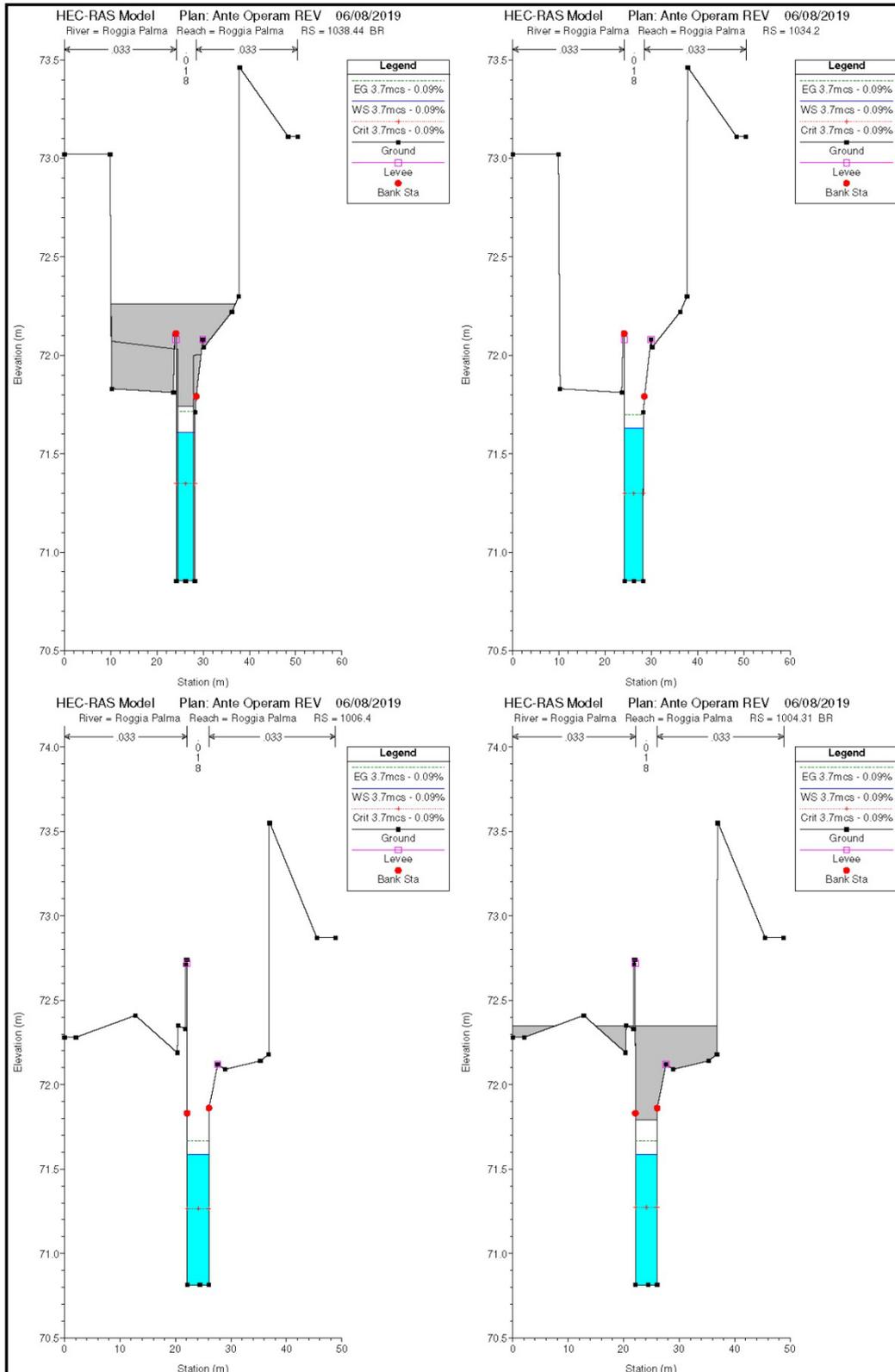


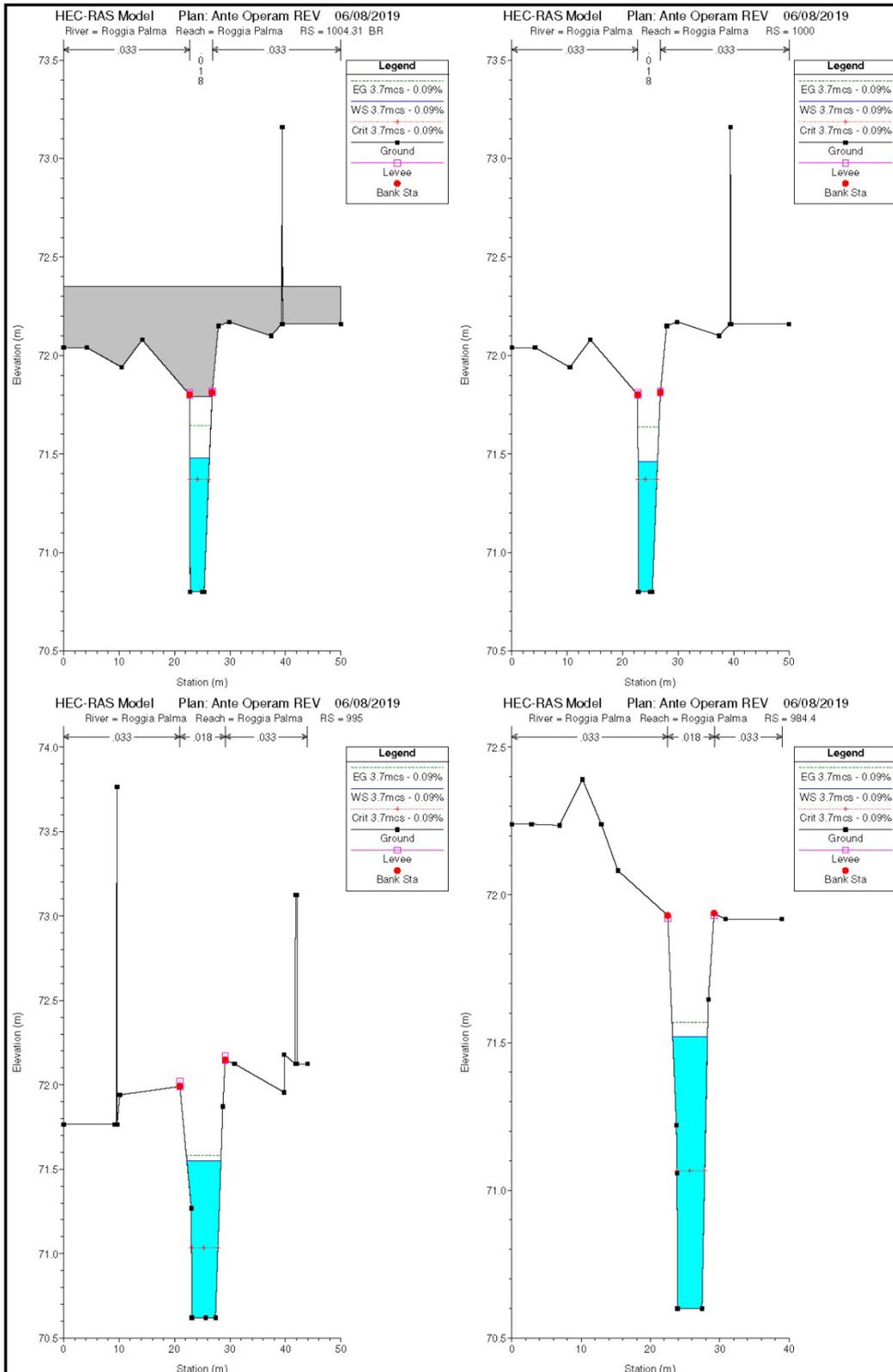


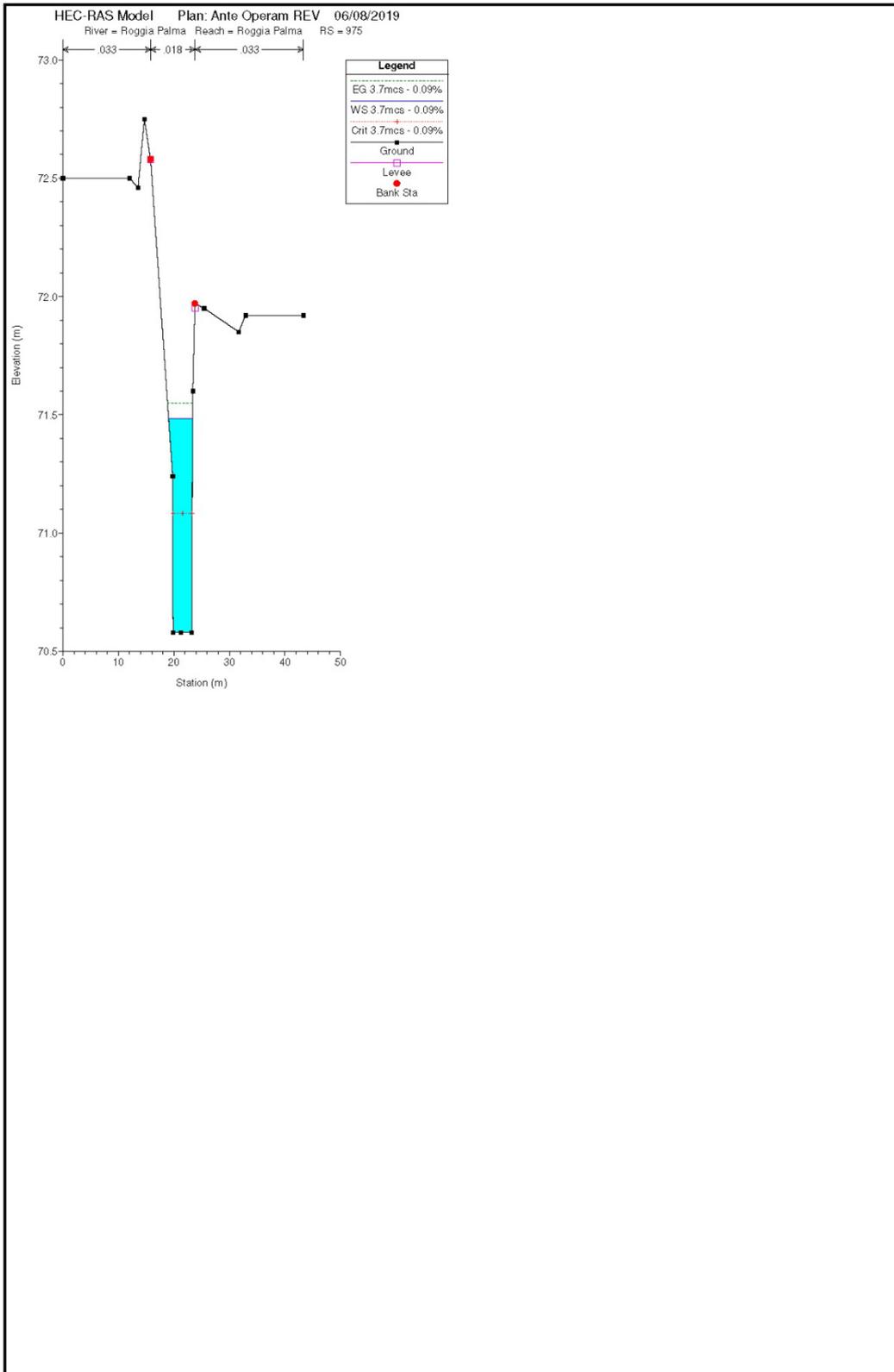












## 7 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE RELATIVE ALLO STATO DI PROGETTO

