



<b>Contraente:</b> 	<b>Progetto:</b> RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE		<b>Cliente:</b> 
	<b>N° Contratto :</b> <b>N° Commessa :</b>		
<b>N° Documento:</b> 03492-PPL-RE-104-0201	<b>Foglio</b> 1            di            32	<b>Data</b> 11-01-2019	<b>N° Documento Cliente:</b> AT-RE-104-201

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA  
ATTRAVERSAMENTO FIUME FORTORE**



00	11-01-2019	EMMISSIONE PER INTEGRAZIONI SIA	VANNI	STROPPA	CAPRIOTTI
REV	DATA	TITOLO REVISIONE	PREPARATO	CONTROLLATO	APPROVATO

<b>RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26”) DP 75 bar E OPERE CONNESSE</b>						
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA FIUME FORTORE</b>						
N° Documento: 03492-PPL-RE-104-0201	Rev.: 00					N° Documento Cliente: AT-RE-104-201
		Foglio 2 di 32				

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA E CARATTERISTICHE GENERALI.....</b>	<b>3</b>
<b>1.1</b>	<b>Inquadramento territoriale, descrizione dell’ambito d’intervento, documentazione fotografica e indagini geognostiche</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>CARATTERISTICHE OPERA IN PROGETTO .....</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>STUDIO IDROLOGICO IDRAULICO .....</b>	<b>9</b>
<b>4</b>	<b>DETERMINAZIONE DELLA MASSIMA PROFONDITÀ DI EROSIONE .....</b>	<b>22</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>25</b>
<b>ANNESSO 1: STRALCIO PLANIMETRICO DEL TRATTO MODELLATO CON SEZIONI .....</b>		
		<b>26</b>
<b>ANNESSO 2: GENERALITÀ SUL MODELLO HEC-RAS .....</b>		
		<b>27</b>

RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA FIUME FORTORE						
N° Documento:	Rev.:	00				N° Documento Cliente:
03492-PPL-RE-104-0201		Foglio	3	di	32	AT-RE-104-201

## 1 PREMESSA E CARATTERISTICHE GENERALI

La presente relazione è finalizzata alla determinazione delle caratteristiche idrologiche-idrauliche del Fiume Fortore (km 57+815), necessarie per la verifica della profondità di posa in subalveo della nuova condotta in acciaio DN 650 (26") DP75 bar, finalizzata al rifacimento dell'omonimo metanodotto esistente il cui attraversamento è ubicato circa 15 m a valle di quello oggetto del presente progetto.

Scopo e finalità del presente studio è pertanto verificare l'idoneità della profondità di posa e delle protezioni adottate rispetto alle possibili dinamiche evolutive del fondo alveo o a possibili fenomeni di dissesto/erosione localizzati in corrispondenza del transito degli eventi di piena.

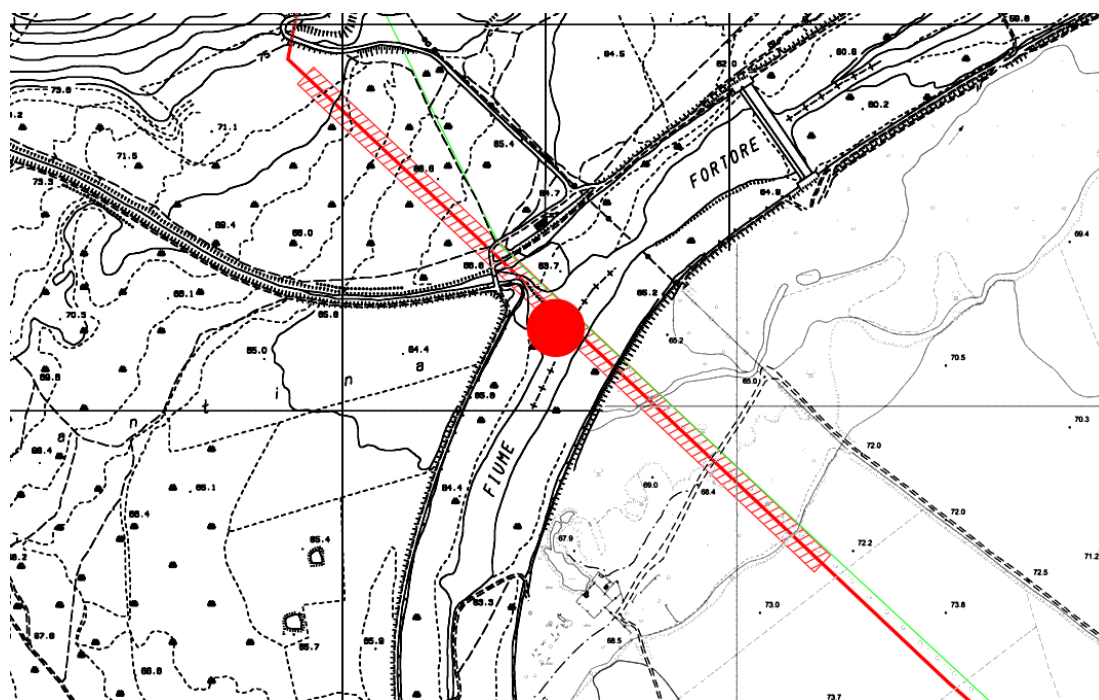


Figura 1: stralcio cartografia CTR della zona dell'attraversamento. In rosso il nuovo metanodotto (km 57+815). In verde la condotta esistente da rimuovere (km 54+075)

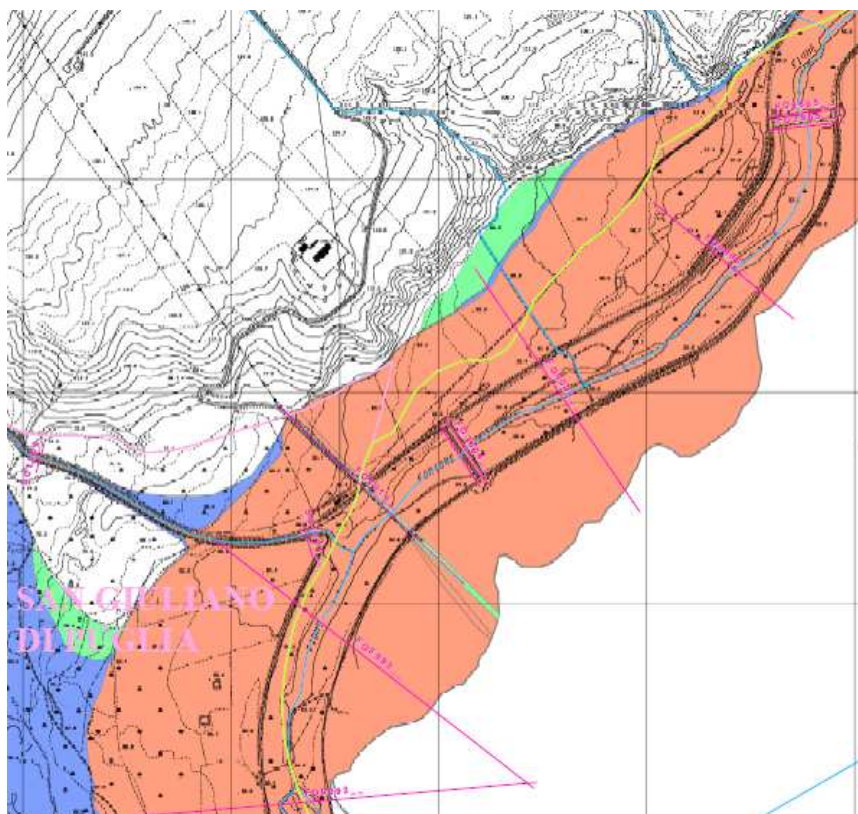
A tal fine è stata eseguita una specifica modellazione idraulica di un tratto d'alveo significativo posto a cavallo della zona di intervento utilizzando i valori di portata riportati sulle tavole del PAI di riferimento (sotto citate), nell'ipotesi di moto permanente, mediante elaboratore elettronico, con l'ausilio del programma di calcolo Hec-Ras (per le cui caratteristiche si rimanda all'annesso 2).

<b>RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE</b>						
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA Fiume Fortore</b>						
N° Documento: 03492-PPL-RE-104-0201	Rev.: 00					N° Documento Cliente: AT-RE-104-201
		Foglio 4 di 32				

Si è provveduto in tal modo alla determinazione delle grandezze caratteristiche del deflusso in alveo quali altezza del tirante idrico, velocità della corrente, raggio idraulico, ecc.

I valori così calcolati sono stati poi utilizzati per le verifiche della profondità di posa della nuova condotta eseguite al par. 4

Per il reperimento dei dati necessari all'inquadramento dell'asta ed allo studio in oggetto si è fatto riferimento in particolare a *Piano Stralcio per l'assetto idrogeologico dei Fiumi Fortore, Fortore e Minori, Saccione e Fortore.*



*Figura 2: stralcio cartografia PAI con evidenziate le sezioni ove sono state calcolate le portate di riferimento. Nel caso di interesse l'attraversamento in progetto cade poco a monte della sezione FO2016/FO3604*

<b>RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE</b>						
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA FIUME FORTORE</b>						
N° Documento: 03492-PPL-RE-104-0201	Rev.:	00				N° Documento Cliente: AT-RE-104-201
		Foglio 5 di 32				

### 1.1 Inquadramento territoriale, descrizione dell'ambito d'intervento, documentazione fotografica e indagini geognostiche

Il fiume Fortore è uno dei corsi d'acqua principali della zona, e si immette in mare in in prossimità dei laghi di Lesina. L'attraversamento è ubicato in una zona in cui il fiume segna il confine tra le regioni Puglia e Molise e tra i comuni di Castelnuovo Daunia (FG) e Santa Croce di Magliano (CB) distinte rispettivamente ai F.1 e 43 del NCT (Nuovo Catasto Terreni) dei rispettivi comuni.

In corrispondenza dell'attraversamento ha un'ampiezza di circa 200 metri e una profondità di circa 2.0 m. Il letto è costituito da depositi ghiaioso - sabbiosi in matrice limoso - sabbiosa. È presente vegetazione ripariale su ambo i lati dell'alveo.

L'attraversamento lungo il suo sviluppo interesserà, sulla base delle indagini geognostiche eseguite (sondaggi S53, S8v e S54), dei depositi prevalentemente sabbioso-ghiaiosi poggianti su dei limi argilloso-sabbiosi; per maggiori dettagli si rimanda alla Relazione sulle indagini geognostiche e geofisiche (Rif. Doc. n. RE-GEO-030) e al relativo allegato cartografico (Doc. n. PG-TPSG-122 "Carta delle indagini geotecniche e geofisiche").



Figura 3: immagine fotografica del punto d'attraversamento del Fiume Fortore

<b>RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE</b>						
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA FIUME FORTORE</b>						
<b>N° Documento:</b> 03492-PPL-RE-104-0201	<b>Rev.:</b> 00					<b>N° Documento Cliente:</b> AT-RE-104-201
		Foglio 6 di 32				

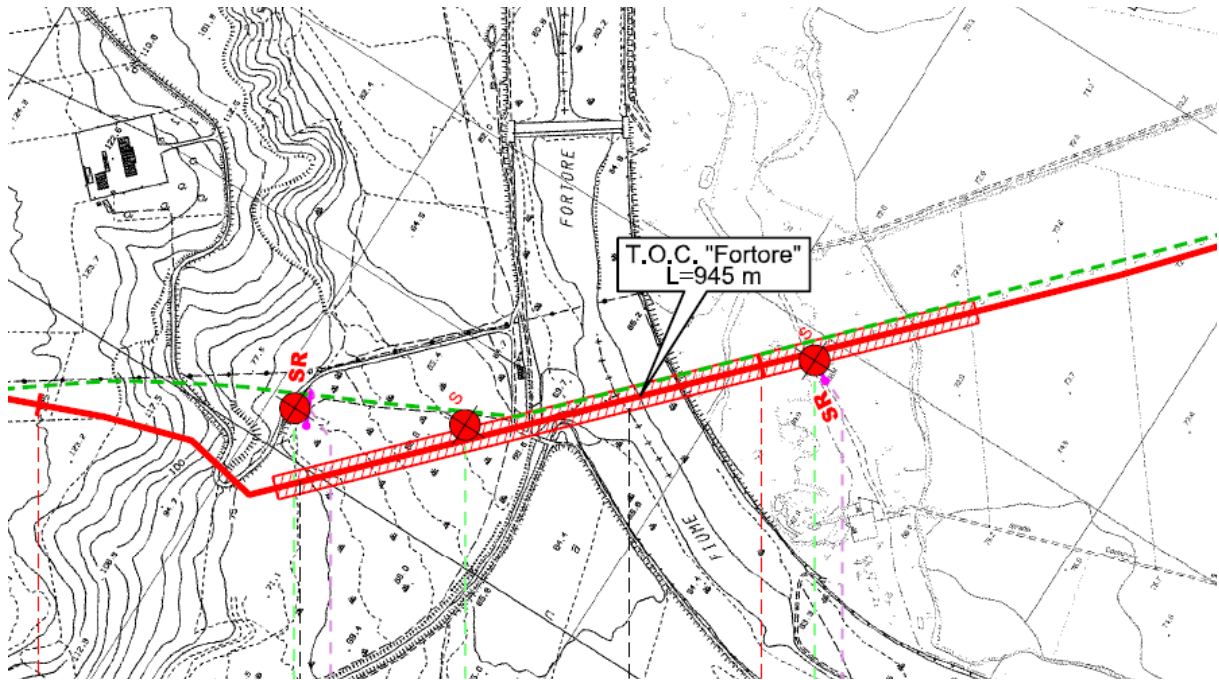
## **2 CARATTERISTICHE OPERA IN PROGETTO**

L'attraversamento verrà eseguito con tecnologia trenchless, con tecnica della T.O.C. ad una profondità variabile dalla quota di fondo alveo avente un minimo di 12,40 m.

Pertanto non essendovi interferenze di alcun genere con l'alveo inciso e la relativa area esondabile, non sono previste opere di ripristino. Il tutto come dettagliato sull'elaborato grafico di progetto.

Per il dettaglio dell'intervento e le caratteristiche costruttive dello stesso si rimanda all'elaborato grafico di progetto Tav. AT-104-201.

<b>RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE</b>				
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA FIUME FORTORE</b>				
N° Documento: 03492-PPL-RE-104-0201	Rev.: 00	Foglio 7	di 32	N° Documento Cliente: AT-RE-104-201



#### INDAGINI PUNTUALI

- $S_n$  Sondaggio a carotaggio continuo
- $S_n^S$  Sondaggio a carotaggio continuo che intercetta il substrato
- $CPTU_n$  Prova penetrometrica statica con piezometro
- $DPSH_n$  Prova penetrometrica dinamica super pesante
- $T_n$  Trincea o pozzetto esplorativo

#### INDAGINI LINEARI

- $R_n$  Profilo sismico a rifrazione
- $M_n$  MASW
- $ERT_n$  Tomografia elettrica
- $GPR/R$  Georadar

Figura 4: attraversamento Fiume Fortore - Stralcio planimetrico scala 1:10.000 con ubicazione indagini

<b>RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE</b>					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA FIUME FORTORE</b>					
N° Documento: 03492-PPL-RE-104-0201	Rev.:	00			N° Documento Cliente:
	Foglio 8 di 32				AT-RE-104-201

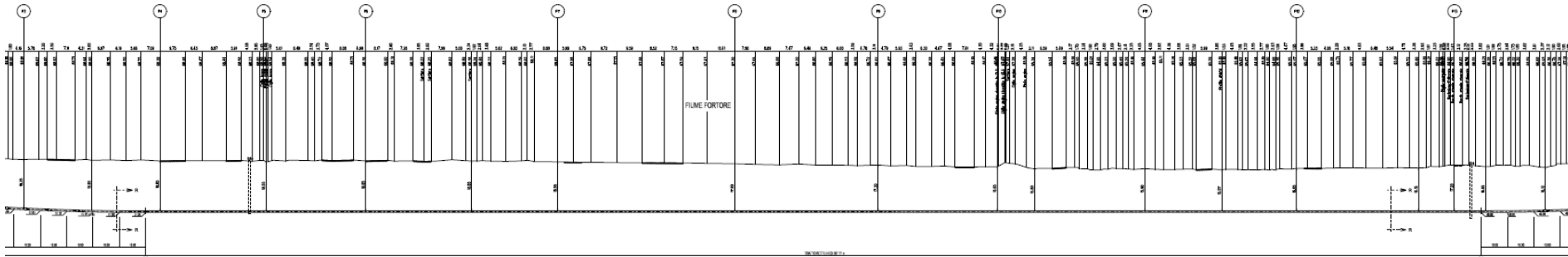


Figura 5: attraversamento Fiume Fortore - Sezione schematica di progetto della parte centrale dell'alveo



RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26”) DP 75 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA Fiume Fortore						
N° Documento: 03492-PPL-RE-104-0201	Rev.: 00					N° Documento Cliente: AT-RE-104-201
		Foglio 9 di 32				

### 3 STUDIO IDROLOGICO IDRAULICO

Come anticipato al paragrafo 1, nell’ambito del “Piano Stralcio per l’assetto idrogeologico dei Fiumi Biferno, Biferno e Minori, Saccione e Fortore” sul Fiume Fortore sono stati eseguiti specifici studi idrologici-idraulici e modellazioni idrauliche finalizzate alla definizione delle aree potenzialmente esondabili per vari tempi di ritorno, sulla base delle quali sono poi state redatte le relative perimetrazioni. I risultati di tali modellazioni, in termini di portate, tiranti idrici e velocità, calcolati in corrispondenza di specifiche sezioni di riferimento, sono stati quindi riepilogati in forma tabellare sulle stesse tavole ove è riportata la perimetrazione delle aree esondabili, delle quali è riportato uno stralcio in fig. 2.

Nel caso di interesse la tabella con i risultati della modellazione del PAI è la seguente:

SCENARIO ALLUVIONI POCO FREQUENTI TEMPO DI RITORNO T = 200 ANNI						
Santa Croce	Sezione	Q [mc/s]	Y <sub>b</sub> [m s.l.m.]	Y <sub>w</sub> [m s.l.m.]	h <sub>m</sub> [m]	V <sub>m</sub> [m/s]
		Portata	Quota minimo di fondo	Livello idrico assoluto	Tirante idrico rispetto al fondo alveo	Velocità media nella sezione
	SC1001	143,10	65,08	67,89	2,81	3,14
Fortore	FO0095	1535,47	66,90	73,61	6,71	1,97
	FO0094	1476,68	66,17	73,11	6,94	1,89
	FO3503	1476,38	67,50	70,65	3,15	4,38
	FO2015	1476,30	65,92	70,93	5,01	3,05
	FO3603	1476,29	64,90	71,13	6,23	1,87
	FO0093	1501,38	63,92	70,69	6,77	2,71
	FO0092	1541,18	63,25	69,38	6,13	3,04
	FO2016	1533,43	61,48	69,43	7,95	0,88
	FO3504	1528,93	64,50	67,72	3,22	4,43
	FO3604	1528,87	62,00	67,03	5,03	2,46
	FO0091	1370,44	58,96	66,48	7,52	2,39
	FO0090	1376,94	58,10	65,93	7,83	2,11
	FO3505	1380,03	60,50	63,51	3,01	4,29
	FO3605	1380,08	58,00	62,61	4,61	3,03
FO0089	1381,21	53,80	60,89	7,09	2,91	

Tabella 1: portate al colmo di piena del Fiume Fortore per varie sezioni di interesse per Tr200 anni (vengono utilizzate in particolare quelle della sezione FO3604, posta a valle dell’attraversamento in progetto)

Si evidenzia tuttavia che i risultati ottenuti dalla modellazione eseguita per il PAI, riportati nella tabella precedente, non consentono di ricavare tutti i dati necessari per la verifica delle possibili profondità di erosione al fondo e/o della verifica di stabilità

RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA FIUME FORTORE						
N° Documento: 03492-PPL-RE-104-0201	Rev.: 00					N° Documento Cliente: AT-RE-104-201
		Foglio 10 di 32				

delle eventuali opere di difesa di cui ai paragrafi successivi. Pertanto, utilizzando i valori di portata ricavati dagli studi del PAI sotto riportati, è stata eseguita una modellazione in moto permanente tramite elaboratore elettronico con l'ausilio del programma di calcolo Hec-Ras.

Tr	Portata
30	892,24
200	1527,87

*Tabella 2: valori di portata utilizzati nella modellazione*

Il calcolo in moto permanente è stato, dunque, eseguito tramite elaboratore elettronico con l'ausilio del programma di calcolo Hec-Ras, per le cui caratteristiche si rimanda all'Annesso 2 (Generalità sul modello Hec-Ras), mentre per la posizione delle sezioni modellate si rimanda Annesso 1 (Stralcio planimetrico del tratto modellato con sezioni). **La lunghezza complessiva del tratto modellato è di circa 250 m.**

Sono state imposte come condizioni al contorno, a monte e valle del tratto modellato, l'altezza di moto uniforme, calcolata con una pendenza pari a quella media del tratto rilevato immediatamente successivo o precedente.

La modellazione è stata eseguita esclusivamente nello stato di fatto in quanto essendo previsto un intervento con tecnologia trenchless, non vi sarà alcuna modifica dello stato dei luoghi tra prima e dopo la posa.

Nella fincatura superiore delle sezioni allegare sono riportati i valori di scabrezza utilizzati per i vari tratti (secondo Manning), che sono riassunti nella sottostante tabella (dati desunti dalla letteratura):

<b>RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE</b>						
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA FIUME FORTORE</b>						
N° Documento: 03492-PPL-RE-104-0201	Rev.:	00				N° Documento Cliente: AT-RE-104-201
		Foglio 11 di 32				

<b>CORSI D'ACQUA MINORI (Larghezza del pelo libero in piena &lt; 30m)</b>	<b>Minimo</b>	<b>Normale</b>	<b>Massimo</b>
<b>Corsi d'acqua di pianura</b>			
1. Pulito, dritto, con la massima portata e senza divisioni o bacini profondi	0.025	0.030	0.033
2. Idem 1, ma con una maggior presenza di pietre ed erba	0.030	0.035	0.040
3. Pulito, meandriforme, alcuni bacini e zone di profondità ridotta	0.033	0.040	0.045
4. Idem 3, ma con erba e pietre	0.035	0.045	0.050
5. Idem 4, ma con portate minori e pendenze e sezioni irrilevanti	0.040	0.048	0.055
6. Idem 5, ma con una maggior presenza di pietre	0.040	0.050	0.060
7. Tratti stagnanti con erba e bacini profondi	0.045	0.070	0.080
8. Tratti con una elevata presenza di erba, con bacini profondi o scolmatori			
ricoperti di ceppi d'albero ed arbusti	0.075	0.100	0.150
<b>Torrenti in montagna senza vegetazione in alveo, sponde generalmente ripide, alberi ed arbusti sulle sponde sommersi durante le piene</b>			
9. Fondo: ghiaia, ciottoli e grosse pietre	0.030	0.040	0.050
10. Fondo: ghiaia e grosse pietre	0.040	0.050	0.070

*Tabella 3: valori caratteristici di scabrezza*

Nelle pagine seguenti sono riportati i principali risultati grafici delle modellazioni eseguite, mentre quelli completi sono riportati nella successiva tabella.

<b>RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE</b>						
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA FIUME FORTORE</b>						
<b>N° Documento:</b>	<b>Rev.:</b>	00				<b>N° Documento Cliente:</b>
03492-PPL-RE-104-0201	Foglio 12 di 32				AT-RE-104-201	

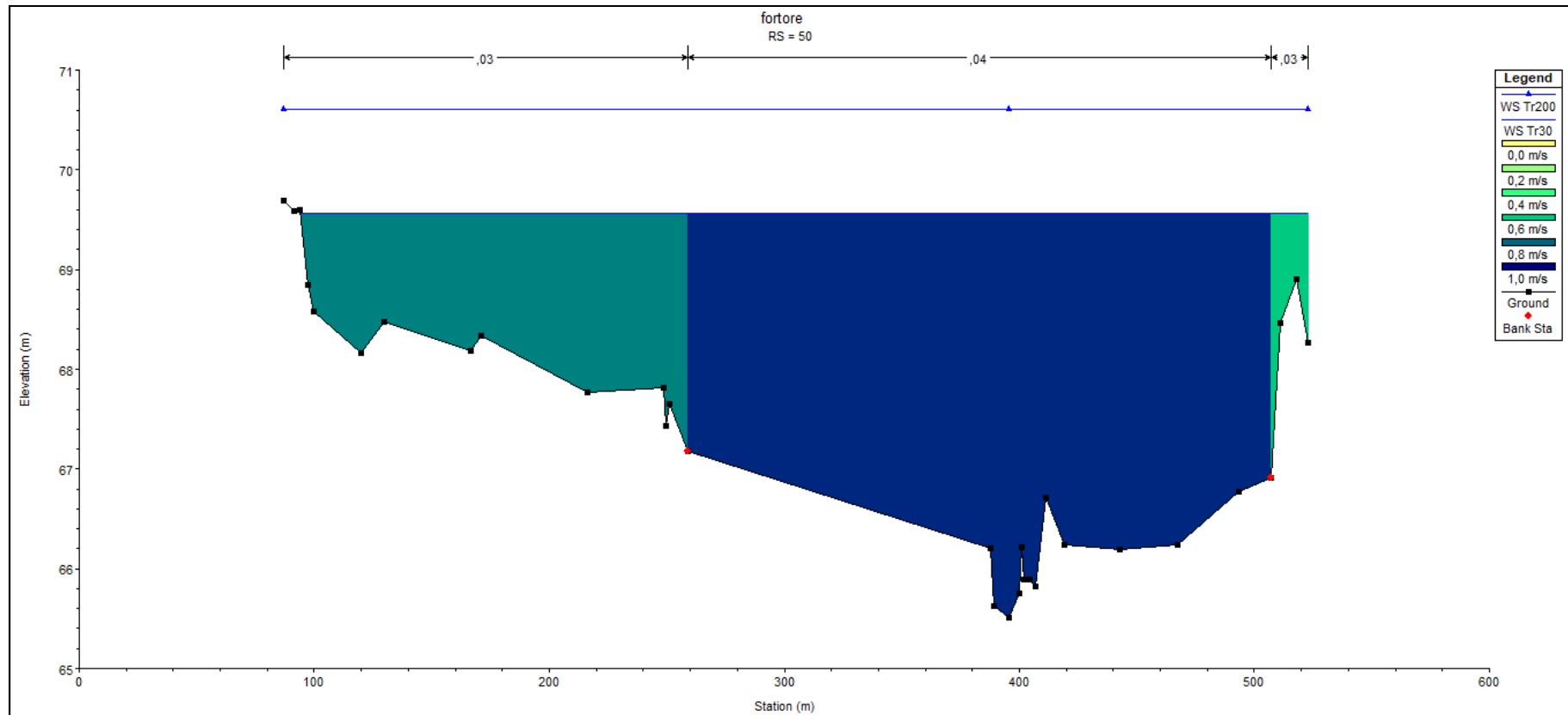


Figura 6.1: sezione trasversale 50 all'inizio e del tratto modellato – stato di fatto e di progetto

<b>RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE</b>					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA FIUME FORTORE</b>					
N° Documento:	Rev.:	00			N° Documento Cliente:
03492-PPL-RE-104-0201		Foglio 13 di 32			AT-RE-104-201

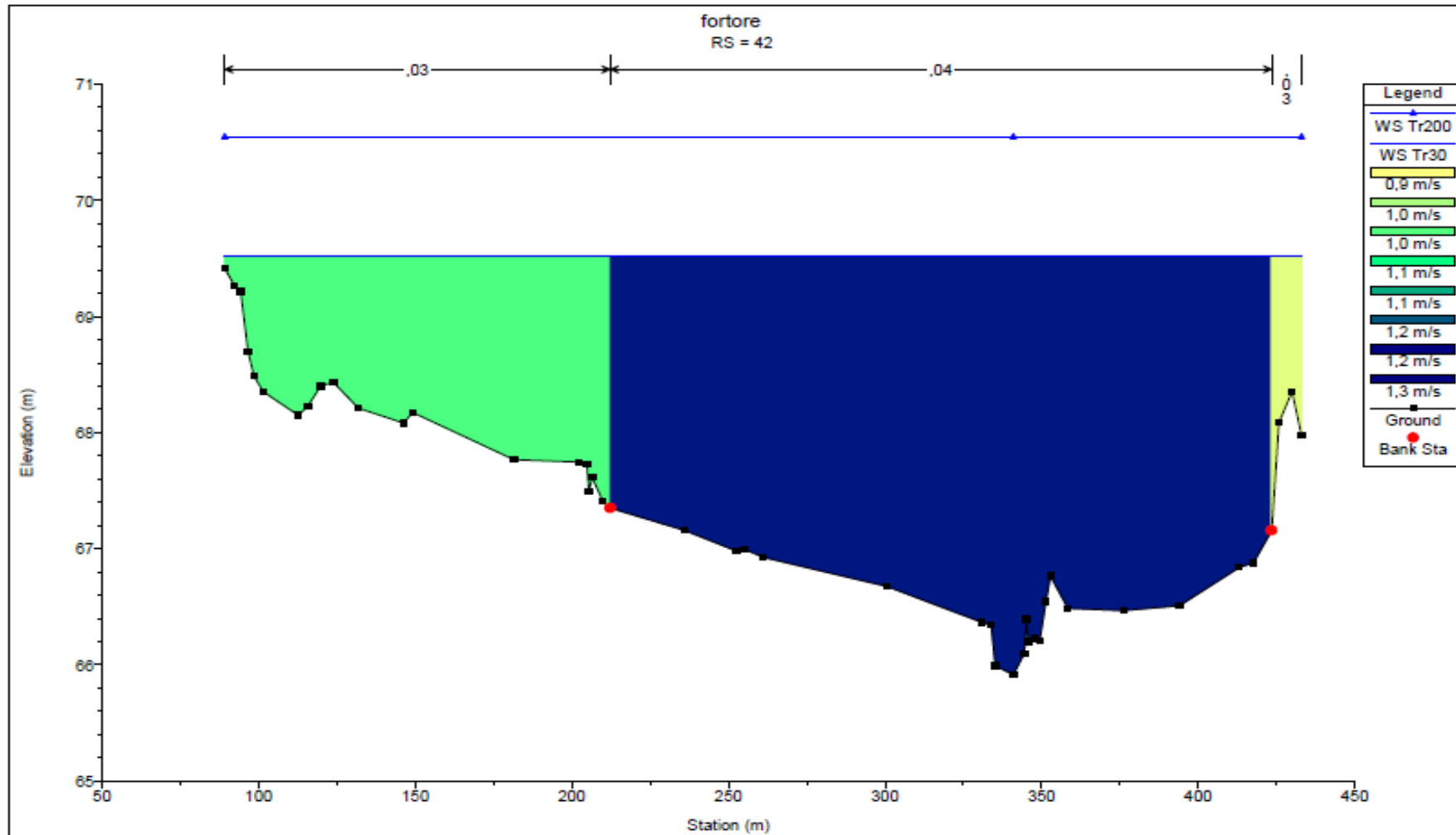


Figura 6.2: sezione trasversale 42 a monte del nuovo attraversamento – stato di fatto e di progetto

RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA FIUME FORTORE						
N° Documento:	Rev.:	00				N° Documento Cliente:
03492-PPL-RE-104-0201	Foglio 14 di 32				AT-RE-104-201	

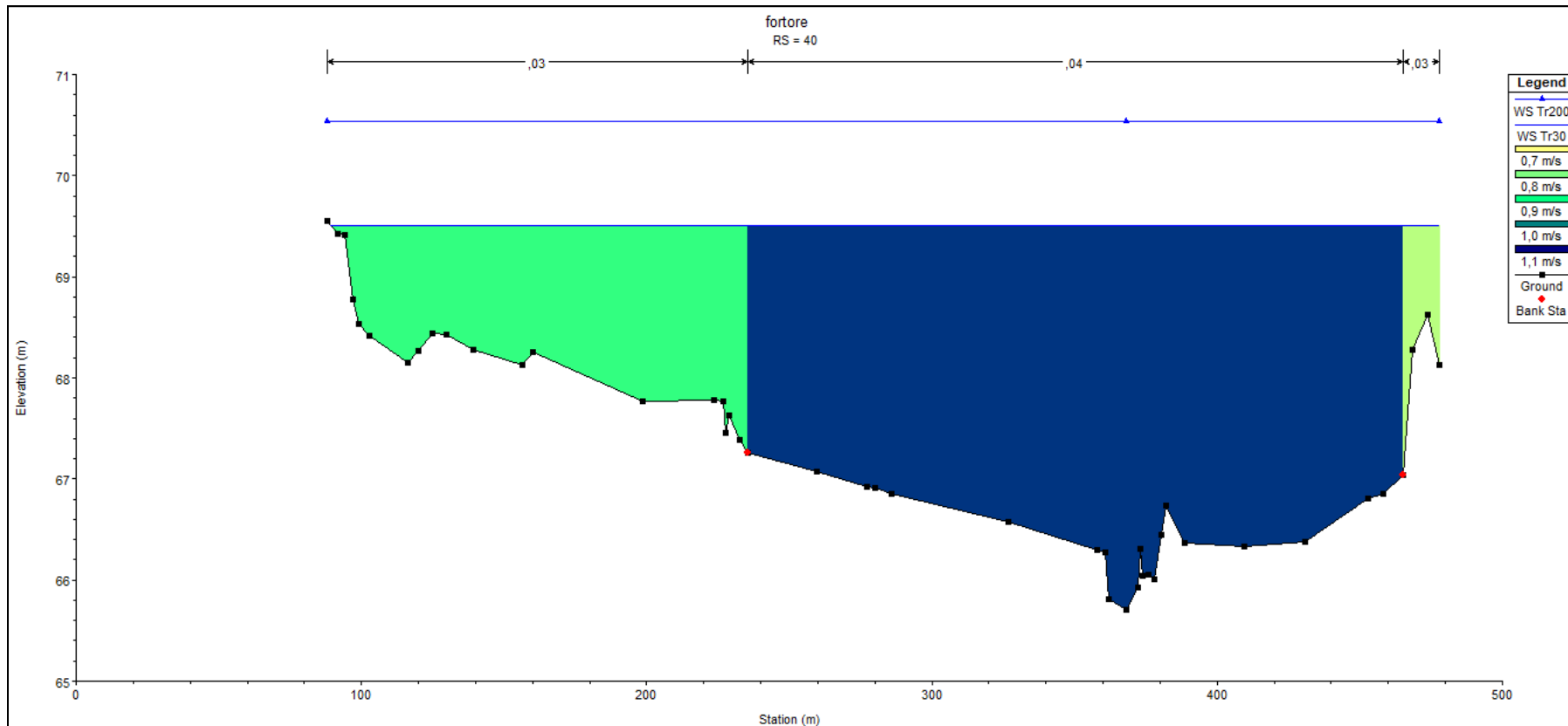


Figura 6.3: sezione trasversale 40 a monte del nuovo attraversamento – stato di fatto e di progetto

<b>RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE</b>					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA FIUME FORTORE</b>					
<b>N° Documento:</b> 03492-PPL-RE-104-0201	<b>Rev.:</b> 00				<b>N° Documento Cliente:</b> AT-RE-104-201
Foglio 15 di 32					

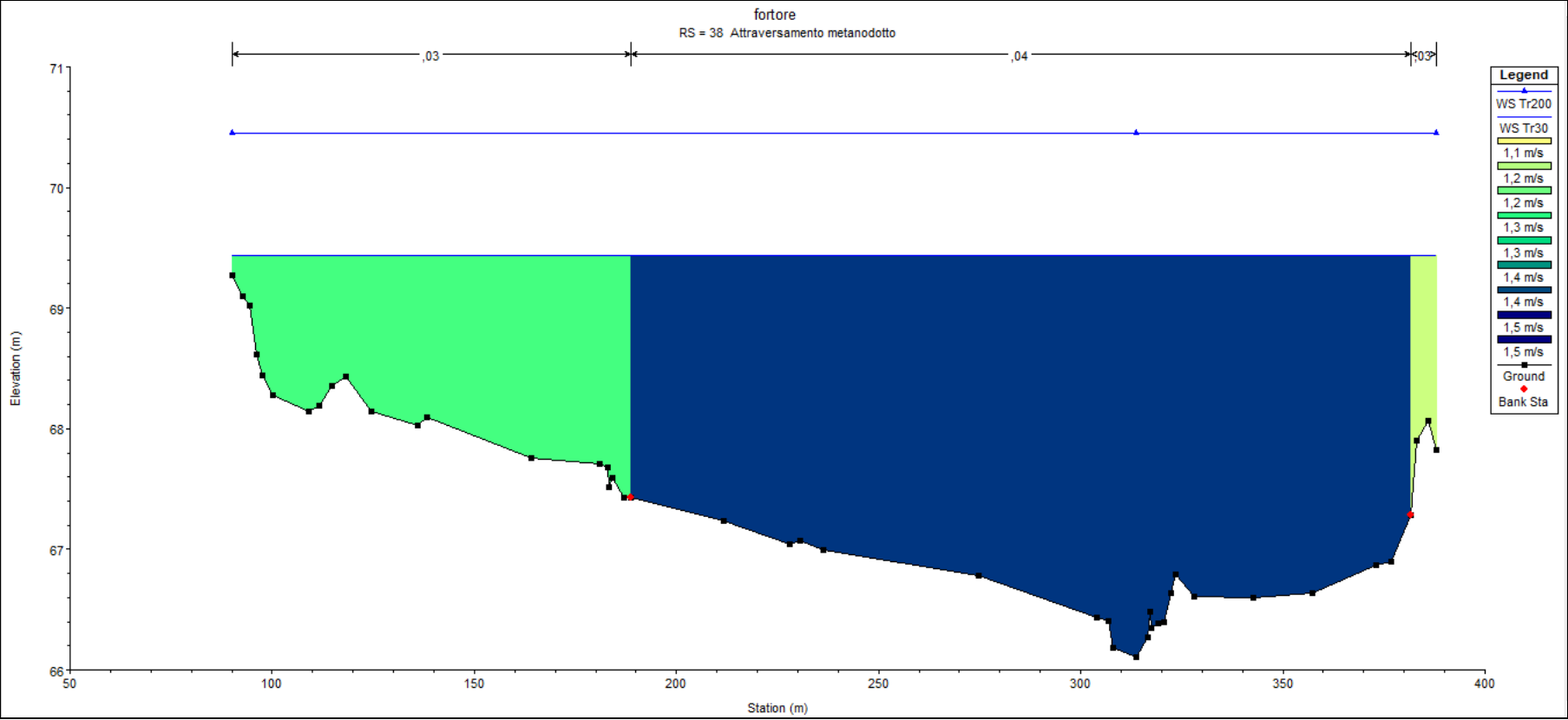


Figura 6.4: sezione trasversale 38 in corrispondenza del nuovo attraversamento – stato di fatto e di progetto

<b>RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE</b>						
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA FIUME FORTORE</b>						
N° Documento:	Rev.:	00				N° Documento Cliente:
03492-PPL-RE-104-0201	Foglio 16 di 32				AT-RE-104-201	

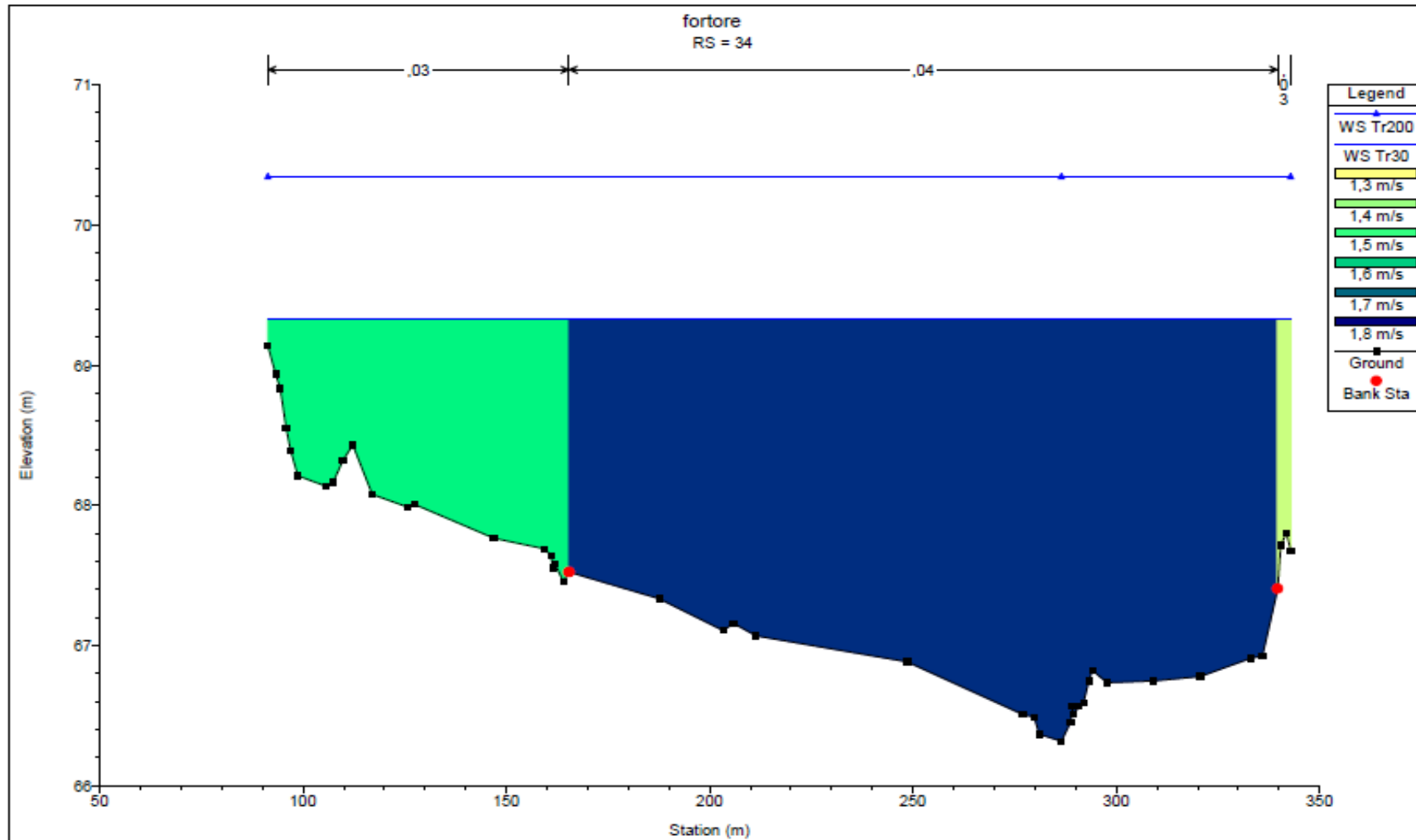


Figura 6.5: sezione trasversale 34 a valle del nuovo attraversamento – stato di fatto e di progetto



<b>RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE</b>					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA FIUME FORTORE</b>					
N° Documento:	Rev.:	00			N° Documento Cliente:
03492-PPL-RE-104-0201	Foglio 17 di 32			AT-RE-104-201	

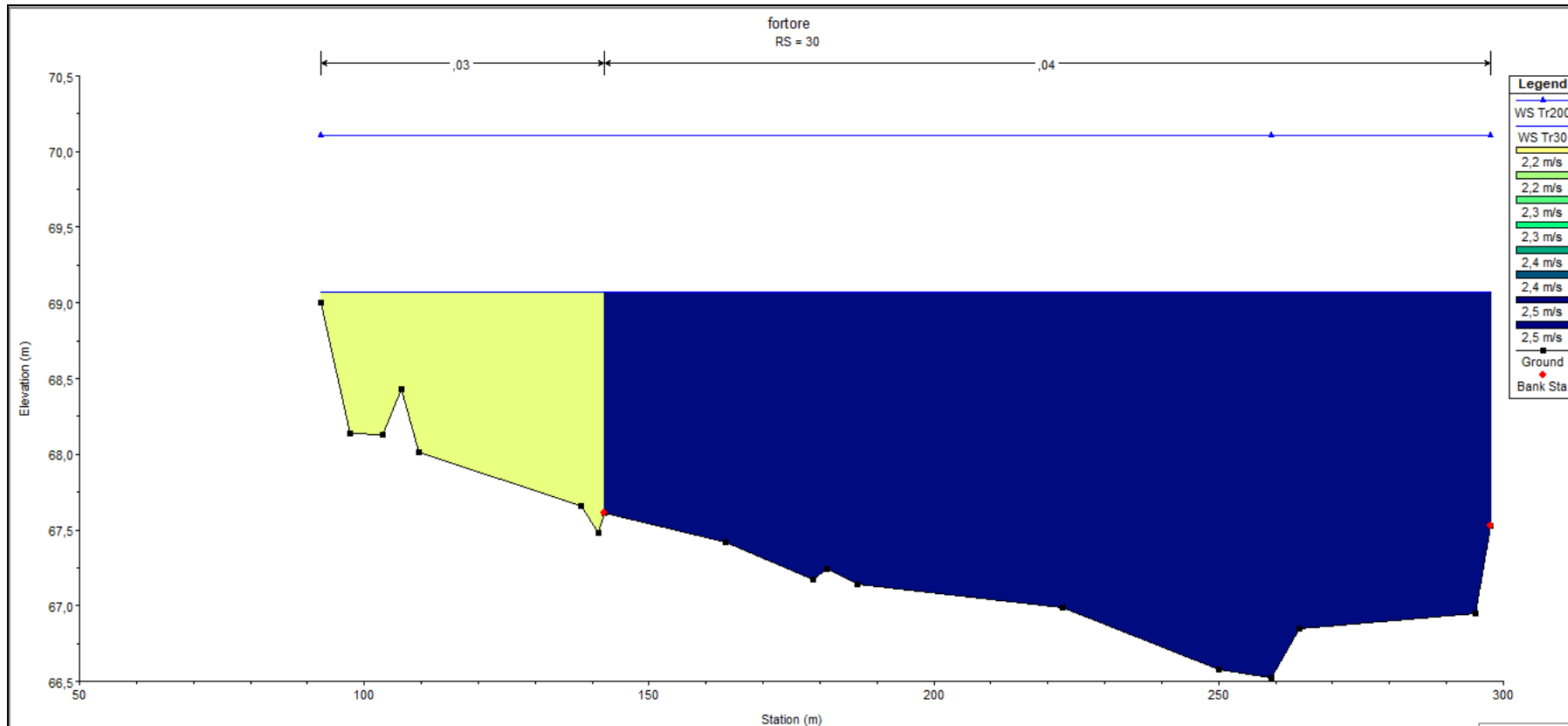


Figura 6.6: sezione trasversale 30 a valle del nuovo attraversamento – stato di fatto e di progetto

<b>RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE</b>					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA FIUME FORTORE</b>					
N° Documento:	Rev.:	00			N° Documento Cliente:
03492-PPL-RE-104-0201	Foglio 18 di 32			AT-RE-104-201	

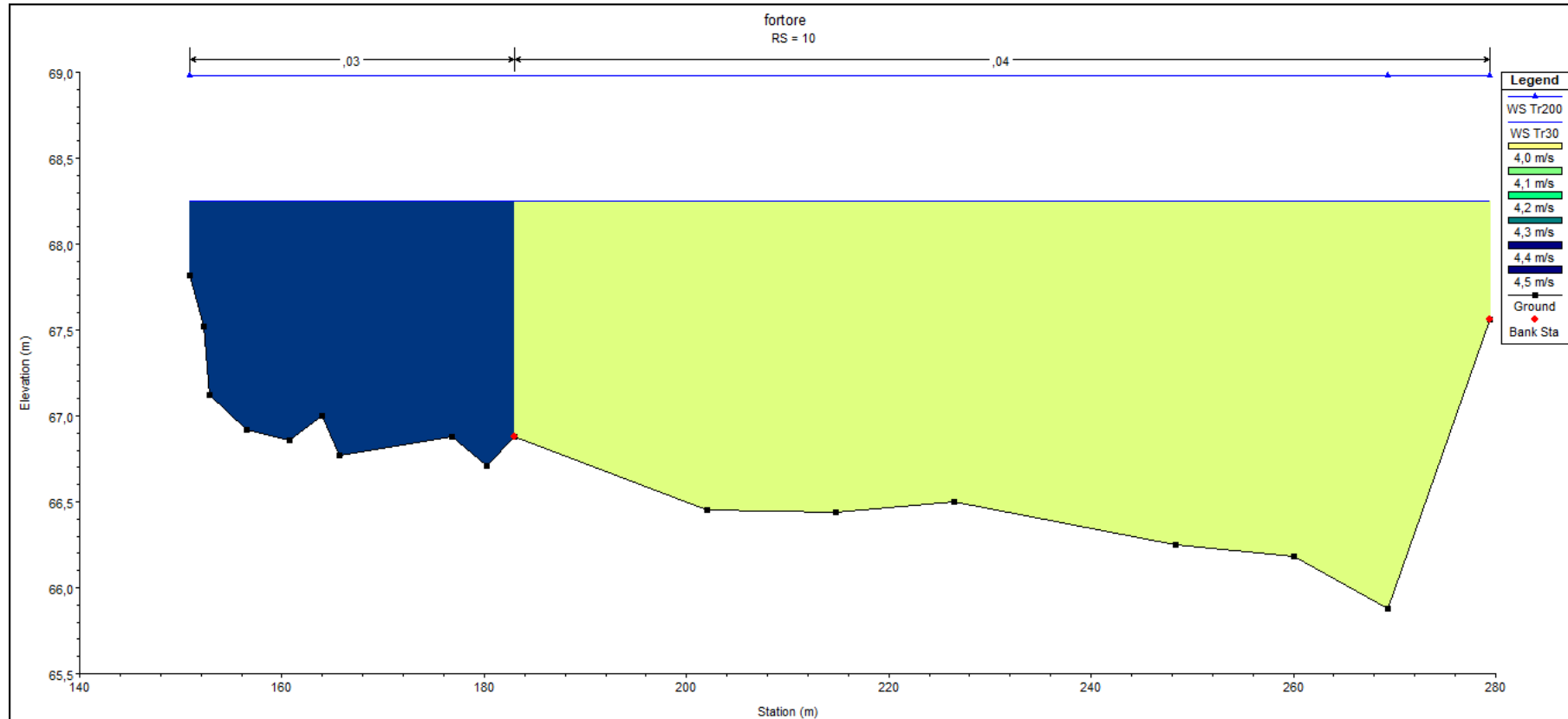


Figura 6.7: sezione trasversale 10 al termine del tratto modellato – stato di fatto e di progetto

<b>RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE</b>						
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA FIUME FORTORE</b>						
N° Documento: 03492-PPL-RE-104-0201	Rev.:	00				N° Documento Cliente:
	Foglio 19 di 32				AT-RE-104-201	

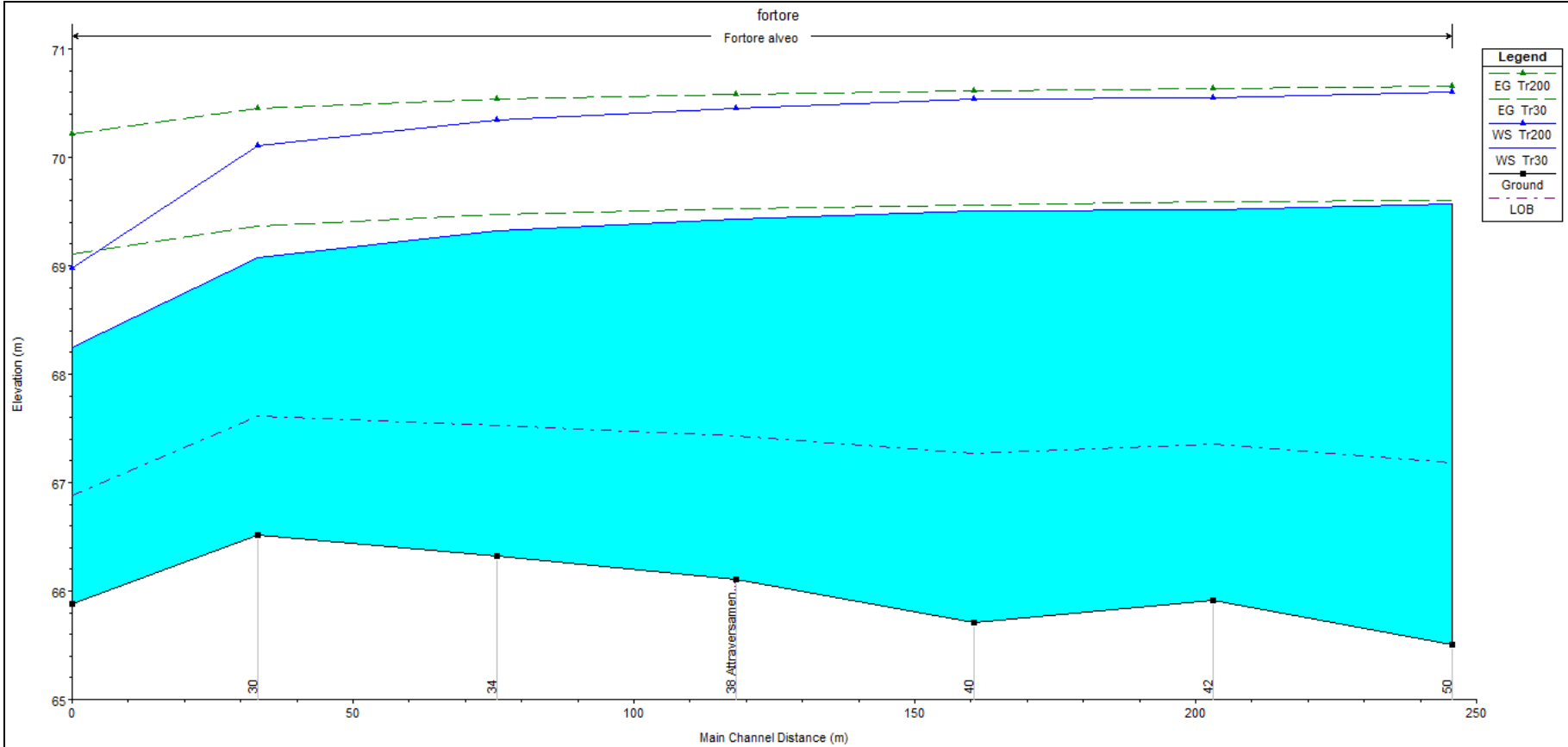


Figura 6.8: profilo longitudinale del tratto modellato – stato di fatto e di progetto

<b>RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE</b>												
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA FIUME FORTORE</b>												
N° Documento: 03492-PPL-RE-104-0201			Rev.: 00				Foglio 20 di 32			N° Documento Cliente: AT-RE-104-201		

Sezione	Tr	Q [mc/sec]	Qu. fondo [m.s.m.]	Qu. acqua [m.s.m.]	Alt. acqua [m.]	Alt. critica [m.s.m.]	Carico Tot. [m.s.m.]	P. linea carichi [m]	Vel. [m/sec]	Area [mq]	Largh. p. l. [m]	N. Froude	Raggio idr. [m]	Tens. Tang [n/m2]
50	Tr30	892.24	65.51	69.57	4.06	67.59	69.61	0.000306	0.92	1018.98	428.8	0.17	2.36	9.2
50	Tr200	1527.87	65.51	70.6	5.09	68.12	70.66	0.000277	1.06	1469.36	436.13	0.17	3.34	11.12
					0									
42	Tr30	892.24	65.91	69.52	3.61		69.59	0.00057	1.19	781.71	343.81	0.23	2.26	15.68
42	Tr200	1527.87	65.91	70.54	4.63		70.64	0.000493	1.36	1133.97	343.81	0.22	3.26	18.5
					0									
40	Tr30	892.24	65.71	69.51	3.8		69.56	0.000434	1.06	885.14	388.63	0.2	2.26	12.34
40	Tr200	1527.87	65.71	70.54	4.83		70.61	0.000376	1.21	1287.48	389.97	0.19	3.27	14.48
					0									
38	Tr30	892.24	66.12	69.43	3.31		69.53	0.000893	1.42	649.51	297.66	0.28	2.17	22.87
38	Tr200	1527.87	66.12	70.45	4.33		70.59	0.000741	1.61	952.84	297.66	0.27	3.16	26.37
					0									
34	Tr30	892.24	66.32	69.33	3.01		69.48	0.001536	1.76	520.26	251.5	0.36	2.05	36.12
34	Tr200	1527.87	66.32	70.34	4.02		70.54	0.001206	1.97	775.18	251.5	0.34	3.03	40.35
					0									
30	Tr30	892.24	66.52	69.07	2.55		69.37	0.003752	2.44	371.41	205.34	0.55	1.79	74.15
30	Tr200	1527.87	66.52	70.1	3.58		70.45	0.002483	2.6	583.35	205.34	0.47	2.79	73.45
					0									
10	Tr30	892.24	65.88	68.25	2.37	68.25	69.11	0.011852	4.03	218.1	128.58	0.95	1.68	209.05
10	Tr200	1527.87	65.88	68.98	3.1	68.98	70.21	0.010602	4.75	312.22	128.58	0.95	2.37	260.48

Tabella 4: grandezze caratteristiche dei deflussi nel tratto d'alveo modellato nello stato di fatto

<b>RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE</b>						
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA FIUME FORTORE</b>						
<b>N° Documento:</b> 03492-PPL-RE-104-0201	<b>Rev.:</b> 00					<b>N° Documento Cliente:</b> AT-RE-104-201
		Foglio 21 di 32				

È opportuno evidenziare che, confrontando i risultati della tabella sopra riportata, in particolare della sezione corrispondente all'attraversamento, la n. 38, con quelli desunti dalle modellazioni del Piano Stralcio, sintetizzati in Tab. 1, i livelli idrometrici previsti dal PAI nel tratto interessato dall'attraversamento sono lievemente superiori a quelli ottenuti dalla presente modellazione.

Tale diversità può essere collegata al fatto che l'estensione del rilievo disponibile nel caso in esame, limitato alla zona di possibile interferenza delle opere in progetto con l'alveo fluviale, non consente di valutare possibili effetti di rigurgito dovuti alla presenza di ostacoli (briglie, traverse, ecc.) o restringimenti a valle della zona di interesse. Allo stesso modo non si può escludere che la differenza riscontrata sia collegabile al fatto che il rilievo di dettaglio, eseguito a livello locale a corredo del progetto, consenta una migliore rappresentazione dell'andamento d'alveo e delle zone di golena in tale tratto e, conseguentemente, una più precisa definizione dei livelli idrici in caso di piena.

Analogamente la differenza potrebbe essere dovuta a diversi coefficienti di scabrezza assunti nella modellazione PAI rispetto a quelli adottati per il presente studio.

In ogni caso, poiché nel caso specifico le formule utilizzate nel seguito per le verifiche della condotta forniscono in generale risultati direttamente proporzionali al battente idrico, si assumono nel seguito, a favore di sicurezza, i tiranti idrici e le velocità definite dal PAI.

<b>RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE</b>						
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA FIUME FORTORE</b>						
N° Documento: 03492-PPL-RE-104-0201	Rev.: 00					N° Documento Cliente: AT-RE-104-201
		Foglio 22 di 32				

#### 4 DETERMINAZIONE DELLA MASSIMA PROFONDITÀ DI EROSIONE

Per la determinazione della profondità di posa della condotta sono stati valutati gli effetti connessi al transito dell'evento di piena considerato nella modellazione.

Esistono vari studi, per lo più sperimentali, per la determinazione della massima profondità di erosione di un fondo d'alveo in corrispondenza di piene eccezionali, dovute principalmente:

1. alla presenza di discontinuità di fondo;
2. alla presenza di manufatti in alveo (pile, pennelli, briglie, ecc.);
3. alla presenza di curve;
4. alla propagazione di barre alterne;

Si possono fin da subito escludere le casistiche di cui ai punti 2 e 3 infatti nel tratto in esame non sono presenti manufatti in alveo o curve.

Procediamo quindi ad analizzare i casi restanti.

##### Caso 1:

Nel caso in esame la possibile discontinuità di fondo si può correlare al diverso grado di compattazione tra i terreni dell'alveo indisturbato e quelli interessati dalle operazioni di scavo e rinterro.

Dall'espressione di Shoklitsch<sup>1</sup>, utilizzando le grandezze caratteristiche del moto determinate dal PAI e sintetizzate in Tab. 1, assumendo come portata specifica  $q = Q/(\Omega/yu)$ , calcolata con la modellazione locale per Tr 200 anni, risulta:

$$S_{\max Tr200} = 1,72 \text{ m}$$

Su tale valore tuttavia è bene considerare che formule utilizzate consentono di determinare l'ordine di grandezza dei valori in gioco che pertanto vanno utilizzati con notevole cautela ed opportuni coefficienti di sicurezza. Per tali motivi, in considerazione delle caratteristiche dell'alveo fluviale e dei materiali presenti in sito,

---

<sup>1</sup>  $S_{\max prog} = 0,378 * H^{0,5} * q^{0,35}$  con H= carico totale

<b>RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE</b>						
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA FIUME FORTORE</b>						
N° Documento: 03492-PPL-RE-104-0201	Rev.: 00					N° Documento Cliente: AT-RE-104-201
		Foglio 23 di 32				

si ritiene opportuno considerare un coefficiente di sicurezza non inferiore a 1,30 risulta pertanto:

$$S_{\max \text{ buche (a)}} = 1,72 * 1,30 = 2,41 \text{ m}$$

Esistono poi altre formule empiriche che mettono in correlazione la massima profondità di erosione localizzata in caso di discontinuità di fondo all'altezza d'acqua generata dalla piena.

In tal caso tuttavia si ritiene opportuno fare riferimento al tirante idrico individuato dal PAI riportato in Tab. 1 che risulta:

$$\text{Altezza acqua sez. FO3604} = 5,03 \text{ m}$$

Da cui risulta, applicando lo stesso coefficiente di sicurezza visto in precedenza:

$$S_{\max \text{ buche (b)}} = (5,03 / 2) * 1,30 = 3,27 \text{ m}$$

#### Caso 4:

Le barre alterne sono onde di sedimenti che si propagano molto lentamente sul fondo di corsi d'acqua dando luogo a sequenza di zone di scavo e di deposito.

Ipotizzando che l'evento di piena abbia una durata temporale abbastanza lunga da instaurare condizioni di moto assimilabili a quelle di moto permanente e uniforme, il criterio per l'esistenza di barre alterne, in moto permanente uniforme in un alveo rettilineo, è che:

$$\beta > \beta_c$$

Dove:

$$\beta = \frac{b_f}{2Y_{\text{med}}}$$

Con  $b_f$  larghezza equivalente del fondo e  $Y$  profondità media della corrente.

I valori di  $\beta_c$  si trovano rappresentati in grafici sperimentali in funzione della scabrezza relativa (intesa come rapporto tra il diametro medio dei sedimenti  $D$  e la profondità media della corrente  $Y$ ) e della tensione di Shields.

<b>RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE</b>						
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA FIUME FORTORE</b>						
N° Documento: 03492-PPL-RE-104-0201	Rev.: 00					N° Documento Cliente: AT-RE-104-201
		Foglio 24 di 32				

Esistono poi espressioni empiriche per il calcolo della massima altezza di deposito rispetto al fondo della buca di erosione.

Utilizzando l'espressione di Ikeda:

$$H_{b\max} = 0,18 * Y * \left(\frac{D}{Y}\right)^{0,45} * \beta^{1,45}$$

Nota la quale è possibile ricavare la massima profondità di erosione come:

$$\eta_{\max} = 0,50 \div 0,57 * H_{b\max}$$

Si ricavano quindi i risultati riportati nella seguente tabella:

	<b>Tr 200</b>
<b>bf</b>	150
<b>Y</b>	4,33
<b>D</b>	0,1
<b>β</b>	20,94
<b>βc</b>	8
<b>H</b>	<b>No</b>
<b>μmax</b>	<b>No</b>

*Tabella 5: profondità di scavo prevedibile per la presenza di barre alterne*

Poiché  $\beta < \beta_c$  non si ha la formazione di barre alterne.

#### Definizione della profondità di posa

Alla luce delle analisi di cui ai punti precedenti, si ritiene pertanto che la condizione più gravosa sia quella analizzata al punto 4 – caso 1(b), erosione dovuta a discontinuità di fondo, pertanto la quota del ricoprimento minimo della condotta dovrebbe risultare non inferiore a 3,27 m, con un coefficiente di sicurezza di 1,30

Per tale motivo in progetto è stata adottata una profondità di posa della condotta di 12,40 m dal punto più depresso del fondo alveo.



<b>RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE</b>						
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA FIUME FORTORE</b>						
N° Documento: 03492-PPL-RE-104-0201	Rev.: 00					N° Documento Cliente: AT-RE-104-201
		Foglio 25 di 32				

## 5 CONCLUSIONI

Il presente studio ha lo scopo di valutare l' idoneità della profondità di posa della nuova condotta di attraversamento in subalveo del Fiume Fortore che, si ricorda, verranno eseguiti con tecnologia trenchless ad una profondità di 12,40 m dal punto più depresso del fondo alveo.

Alla luce di quanto esposto ai punti precedenti

Le verifiche condotte hanno evidenziato:

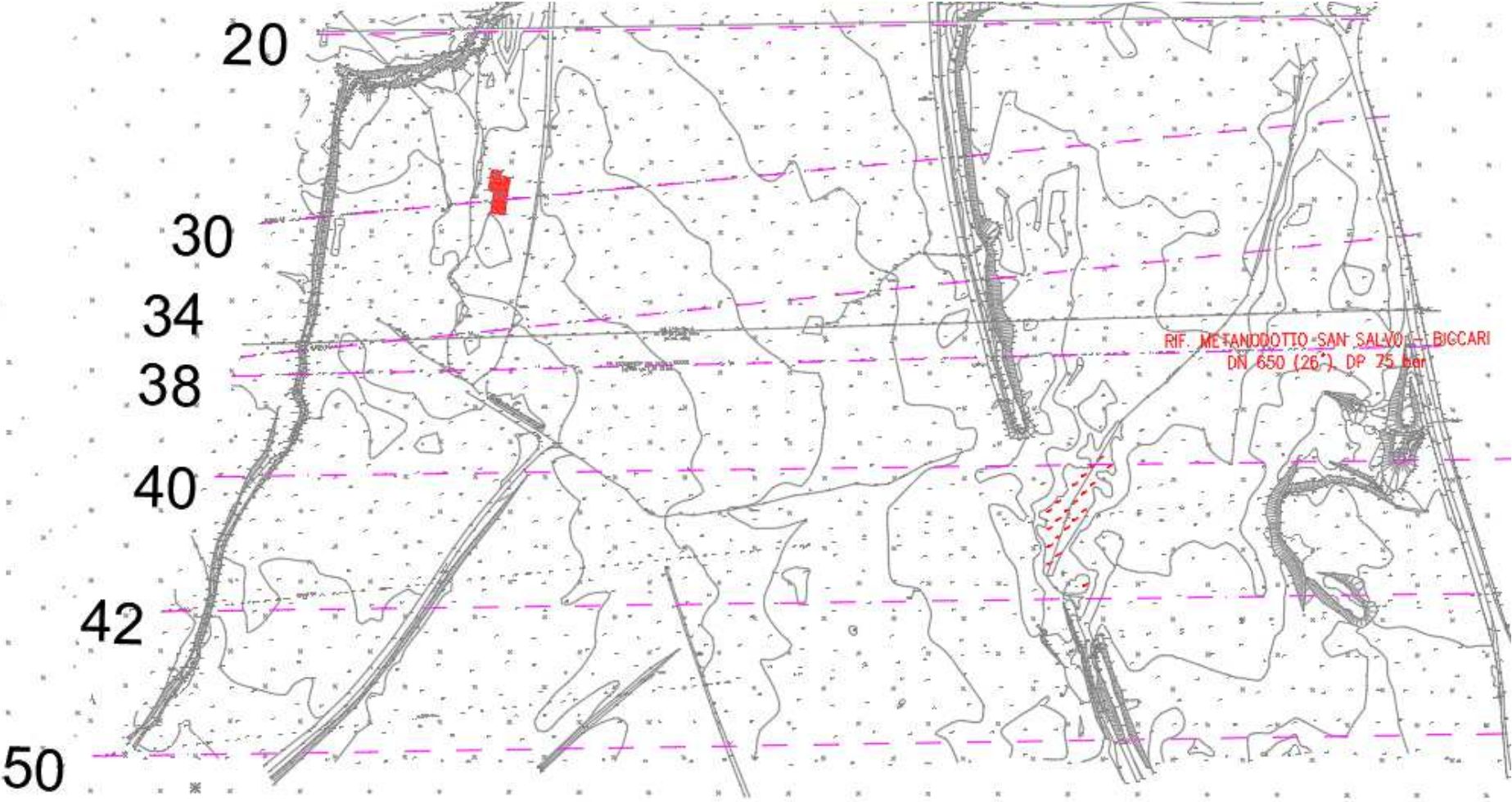
- che il ricoprimento della condotta risulta verificato rispetto alle massime profondità di scavo localizzato prevedibili in occasione delle piene con Tr 200 anni con un coefficiente di sicurezza superiore a 1,50.

**Si ritiene pertanto che la profondità di posa prevista da progetto risulta idonea a garantire il corretto ricoprimento della condotta per un tempo superiore alla vita utile dell'opera.**

Allo stesso modo le verifiche condotte hanno consentito di dimostrare la compatibilità delle opere in progetto nei confronti dei vincoli imposti dal Piano Stralcio, come meglio dettagliato nella specifica Verifica di Compatibilità Idraulica (Doc. n. RE-CIMO-036) cui si rimanda per maggiori dettagli.

RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE					
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA FIUME FORTORE					
N° Documento:	Rev.:	00			N° Documento Cliente:
03492-PPL-RE-104-0201	Foglio 26 di 32			AT-RE-104-201	

**ANNESSO 1: STRALCIO PLANIMETRICO DEL TRATTO MODELLATO CON SEZIONI**



<b>RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE</b>						
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA FIUME FORTORE</b>						
N° Documento: 03492-PPL-RE-104-0201	Rev.: 00					N° Documento Cliente: AT-RE-104-201
		Foglio 27 di 32				

## **ANNESSO 2: GENERALITÀ SUL MODELLO HEC-RAS**

Il software di calcolo utilizzato è denominato HEC-RAS® ed è stato sviluppato dell'Hydrologic Engineering Center dell'U.S. Army Corps of Engineers (California).

### ***Descrizione del modello di simulazione idraulica***

Il presente capitolo fornisce chiarimenti sul funzionamento del modello numerico adottato e sulla metodologia utilizzata nella scelta delle sezioni trasversali necessarie alle simulazioni.

Il modello calcola i profili di superficie libera in moto permanente gradualmente vario (in senso spaziale e non temporale) in alvei prismatici e non prismatici. Entrambi i tipi di corrente, lenta e veloce, possono essere calcolati così come le conseguenze di diverse tipologie di accidentalità e strutture di cui si conosca la relazione fra carico e portata defluente.

- Il modello è comunque vincolato nel suo utilizzo da tre condizioni:
- il moto deve essere permanente poiché le equazioni non contengono termini dipendenti dal tempo;
- il moto deve essere gradualmente vario in senso spaziale poiché le equazioni ipotizzano la distribuzione idrostatica delle pressioni in seno alla corrente;
- il moto è mono-dimensionale.

E' rilevante e importante evidenziare la capacità del modello di dare attendibili risultati nella gestione delle aree inondabili circostanti gli alvei naturali.

In questo senso è quindi possibile:

- determinare le aree inondabili da parte di portate diverse allo scopo di predisporre l'opportuna protezione;
- studiare le conseguenze d'uso delle aree golenali e il loro danneggiamento;
- definire i miglioramenti dell'alveo atti a ridurre le conseguenze delle inondazioni.

Proprio nell'ottica di queste problematiche l'utilizzo del modello numerico in questione risulta essere estremamente efficace.

La possibilità di determinare il comportamento del profilo del corso d'acqua tenendo conto anche dell'influenza esercitata dai manufatti in alveo consente di tracciare con buona precisione la via di piena e le sue caratteristiche.

Il modello di calcolo effettua simulazioni di moto permanente, situazione di calcolo che in realtà non si presenta, in quanto è noto dalla teoria che la portata massima in

<b>RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE</b>						
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA FIUME FORTORE</b>						
N° Documento: 03492-PPL-RE-104-0201	Rev.:	00				N° Documento Cliente: AT-RE-104-201
		Foglio	28	di	32	

ogni sezione si presenta per un tempo limitato, presentando la curva (tempo, portata) una forma a campana, essendo presenti nel fenomeno delle piene vari fenomeni tra i quali i più noti sono l'effetto di laminazione del corso d'acqua, l'invaso e la corrivazione.

Nonostante tutto la simulazione assume rilevanza fondamentale perché, per i motivi sopra descritti, rappresenta una verifica in termini più gravosi del corso d'acqua (si presenta una portata elevata per tempi più lunghi di quelli che si hanno in realtà), permettendo quindi di fare raggiungere elevati gradi di sicurezza ai manufatti progettati secondo le indicazioni tratte da tale simulazione.

Tra le diverse opzioni di calcolo di cui il modello è dotato in relazione alla presenza di strutture che interagiscono direttamente con il corso d'acqua è da evidenziare la possibilità di calcolo del profilo in corrispondenza dei tombini (circolari, scatolari, con o senza muri d'ala....) secondo la normativa proposta da FHWA (Federal Highway Administration-USA).

Il software implementato consente di determinare con precisione l'effetto di rigurgito dovuto alle spalle dei ponti o all'ingombro delle pile.

Particolare importanza riveste la possibilità di parametrizzare il coefficiente di scabrezza per alveo e golene.

Inoltre è possibile creare all'interno di ciascuna sezione trasversale del corso d'acqua più zone a scabrezza omogenea in modo da approssimare con precisione notevole il valore del suddetto parametro, troppo spesso legato all'imprecisione del coefficiente di scabrezza equivalente.

L'insieme dei dati di output è strutturato in modo da fornire la conoscenza globale dei fenomeni che interessano l'intera area occupata dalla portata di piena.

L'output risulta quindi suddiviso in dati relativi alle aree golenali e al canale principale di deflusso.

Le informazioni fornite riguardano diversi parametri fisici e di progettazione quali, per esempio:

- quota in m s.l.m. del pelo libero;
- quota del gradiente energetico;
- velocità e portata, relativa a golene e canale principale;
- larghezza del pelo libero;

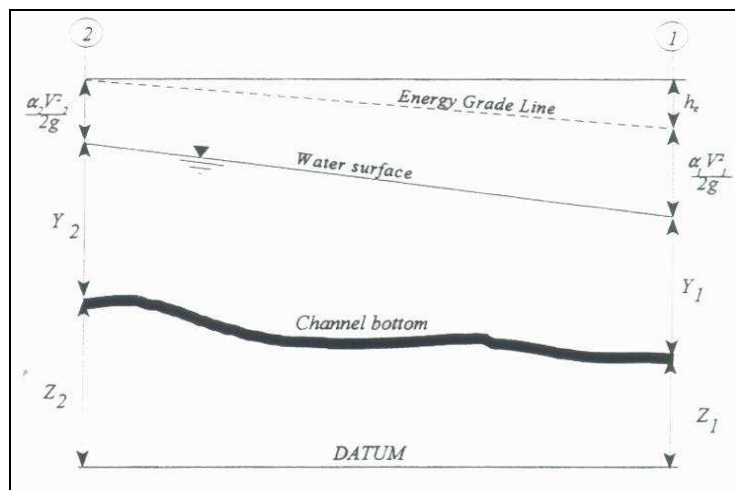
<b>RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE</b>						
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA FIUME FORTORE</b>						
N° Documento: 03492-PPL-RE-104-0201	Rev.: 00					N° Documento Cliente: AT-RE-104-201
	Foglio 29 di 32					

- area bagnata;
- principali parametri geometrici;
- sezioni trasversali;
- profilo di moto permanente.

Per meglio comprendere il funzionamento del modello idraulico utilizzato è opportuno fornire una sintesi delle potenzialità e dei fondamenti teorici che stanno alla base del calcolo dei profili di moto permanente e che sono implementati nel modello stesso.

### **Calcolo del profilo di moto permanente**

Al fine di calcolare la quota del pelo libero incognita in una determinata sezione trasversale del corso d'acqua è stata adottata la procedura di calcolo nota come Standard Step Method, consistente nell'integrazione dell'equazione di bilancio energetico.



Rappresentazione dei termini dell'equazione di bilancio energetico

Le due equazioni che proponiamo rappresentano il metodo di cui sopra:

$$WS_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = WS_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

$$h_e = L \cdot \bar{S}f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

dove:

WS1, WS2 : quota del pelo libero fra due sezioni di calcolo, con la sezione 2 posta a monte della 1;

<b>RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE</b>						
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA FIUME FORTORE</b>						
N° Documento: 03492-PPL-RE-104-0201	Rev.: 00					N° Documento Cliente: AT-RE-104-201
		Foglio	30	di	32	

V1, V2 : velocità media;

$\alpha_1, \alpha_2$  : coefficienti energetici moltiplicativi della velocità;

g : accelerazione gravitazionale;

$h_e$  : perdita di carico;

L : distanza fra le sezioni trasversali;

Sf : pendenza media;

C : coefficiente di perdita per contrazione o espansione.

La distanza L viene calcolata utilizzando la seguente espressione:

$$L = \frac{L_{lob} \cdot \overline{Q_{lob}} + L_{ch} \cdot \overline{Q_{ch}} + L_{rob} \cdot \overline{Q_{rob}}}{\overline{Q_{lob}} + \overline{Q_{ch}} + \overline{Q_{rob}}}$$

Dove

$L_{lob}, L_{ch}, L_{rob}$ : sono le distanze tra due sezioni trasversali consecutive, rispettivamente per la gola di sinistra, il canale di magra e la gola di destra;

$\overline{Q_{lob}}, \overline{Q_{ch}}, \overline{Q_{rob}}$  : sono le medie aritmetiche delle portate delle tre parti suddette.

Mentre la pendenza motrice Sf viene calcolata con l'equazione di Manning:

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

Ulteriore punto fondamentale nella comprensione del funzionamento del modello idraulico è la suddivisione della massa liquida defluente in unità elementari per le quali la velocità è distribuita uniformemente.

TRANSITION CLASS	CONTRACTIO N	EXPANSIO N
No transition loss	0.0	0.0
Gradual transitions	0.1	0.3
Bridge sections	0.3	0.5
Abrupt transitions	0.6	0.8

Tabella di riferimento dei coefficienti di contrazione ed espansione

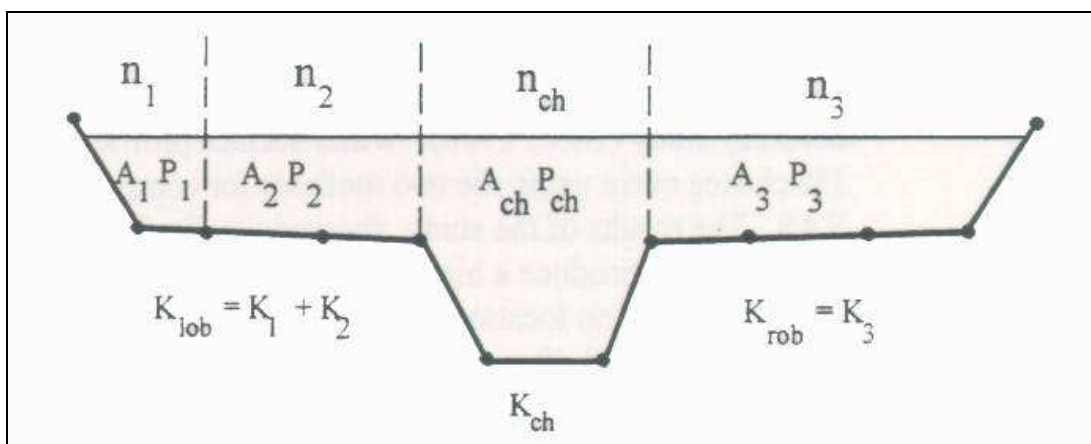
Individuata la sezione trasversale del corso d'acqua attraverso la griglia dei punti x (distanze Individuata la sezione trasversale del corso d'acqua attraverso la griglia dei punti x (distanze progressive dall'ascissa  $x = 0$ ) e y (quote m s.l.m. relative ai punti

<b>RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE</b>						
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA FIUME FORTORE</b>						
N° Documento: 03492-PPL-RE-104-0201	Rev.: 00					N° Documento Cliente: AT-RE-104-201
		Foglio	31	di	32	

definiti alle varie progressive), nelle aree golenali le unità elementari di deflusso coincidono con la suddivisione creata dalle progressive all'interno della sezione trasversale.

Nel canale principale di deflusso (o alveo di magra ordinaria) la massa liquida defluente non viene suddivisa tranne nel caso in cui si conferiscano più valori di scabrezza differenti in alveo.

In funzione del numero di differenziazioni del valore della scabrezza saranno individuate corrispondenti unità di deflusso.



Suddivisione dell'alveo in singole unità di deflusso

La capacità di deflusso per ciascuna suddivisione è pertanto calcolata con le seguenti espressioni:

$$Q = K \cdot \sqrt{Sf}$$

$$K = \frac{1,486}{n} aR^{2/3}$$

dove

Q : portata per unità elementare;

K : capacità di deflusso per unità elementare;

n : coefficiente di Manning per la scabrezza dell'unità elementare;

a : area di deflusso dell'unità elementare;

R : raggio idraulico per l'unità di deflusso elementare.

La capacità totale di deflusso per la sezione trasversale è ottenuta per sommatoria delle singole capacità relative alle unità in cui la sezione è stata scomposta.

<b>RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE</b>						
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA FIUME FORTORE</b>						
N° Documento: 03492-PPL-RE-104-0201	Rev.: 00					N° Documento Cliente: AT-RE-104-201
		Foglio 32 di 32				

Sulla base di queste considerazioni il coefficiente  $\alpha$ , relativo alla velocità, si ottiene dalla seguente espressione:

$$\alpha = \frac{(A_t)^2 \left[ \frac{(K_{lob})^3}{(A_{lob})^2} + \frac{(K_{ch})^3}{(A_{ch})^2} + \frac{(K_{rob})^3}{(A_{rob})^2} \right]}{(K_t)^3}$$

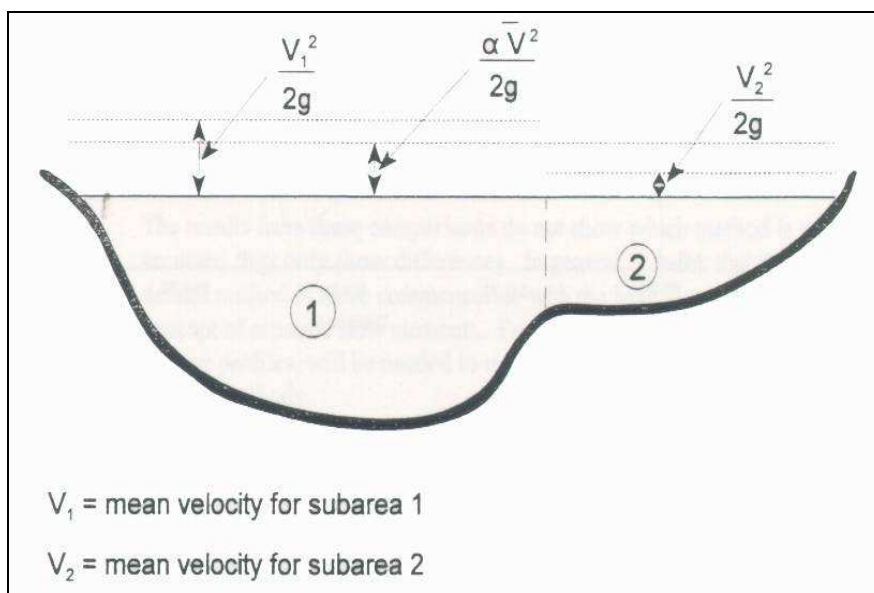
dove:

$A_t$  : area totale di deflusso per la sezione trasversale;

$A_{lob}$ ,  $A_{ch}$ ,  $A_{rob}$  : area di deflusso per golena sinistra, canale principale, golena destra;

$K_t$  : capacità totale di deflusso (conveyance) della sezione trasversale;

$K_{lob}$ ,  $K_{ch}$ ,  $K_{rob}$  : capacità di deflusso di golena sinistra, canale principale e golena destra.



Esempio di calcolo della energia media sulla sezione trasversale

Il coefficiente  $\alpha$  si ottiene allora come media pesata delle varie capacità di deflusso.

Le perdite di carico dovute ad attrito sono calcolate come prodotto della pendenza media motrice  $S_f$  e della distanza  $L$  fra due sezioni trasversali consecutive.

Le perdite di carico dovute a contrazione e/o espansione sono calcolate con la usuale espressione riportata nell'equazione seguente:

$$h_0 = C \left| \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} \right|$$

dove  $C$  rappresenta il già citato coefficiente di contrazione/espansione