



Contraente: 	Progetto: RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE		Cliente: 
	N° Contratto : N° Commessa :		
N° Documento: 03492-PPL-RE-103-0215	Foglio 1 di 35	Data 11-01-2019	N° Documento Cliente: AT-RE-103-215

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTO TORRENTE TONA**



Alberto Vanni

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

RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA TORRENTE TONA						
N° Documento: 03492-PPL-RE-103-0215	Rev.:	00				N° Documento Cliente: AT-RE-103-215
		Foglio 2 di 35				

INDICE

1	PREMESSA E CARATTERISTICHE GENERALI.....	3
1.1	Inquadramento territoriale, descrizione dell’ambito d’intervento, documentazione fotografica e indagini geognostiche	4
2	CARATTERISTICHE OPERA IN PROGETTO	6
3	STUDIO IDROLOGICO IDRAULICO	9
4	DETERMINAZIONE DELLA MASSIMA PROFONDITÀ DI EROSIONE	21
5	VERIFICA DI STABILITÀ DELLE DIFESA IN MASSI.....	26
6	CONCLUSIONI	27
ANNESSO 1: STRALCIO PLANIMETRICO DEL TRATTO MODELLATO CON SEZIONI		
		29
ANNESSO 2: GENERALITÀ SUL MODELLO HEC-RAS		
		30

RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA TORRENTE TONA						
N° Documento: 03492-PPL-RE-103-0215	Rev.:	00				N° Documento Cliente: AT-RE-103-215
			Foglio	3	di	35

1 PREMESSA E CARATTERISTICHE GENERALI

La presente relazione è finalizzata alla determinazione delle caratteristiche idrologiche-idrauliche del Torrente Tona (km 52+735), 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 60 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.

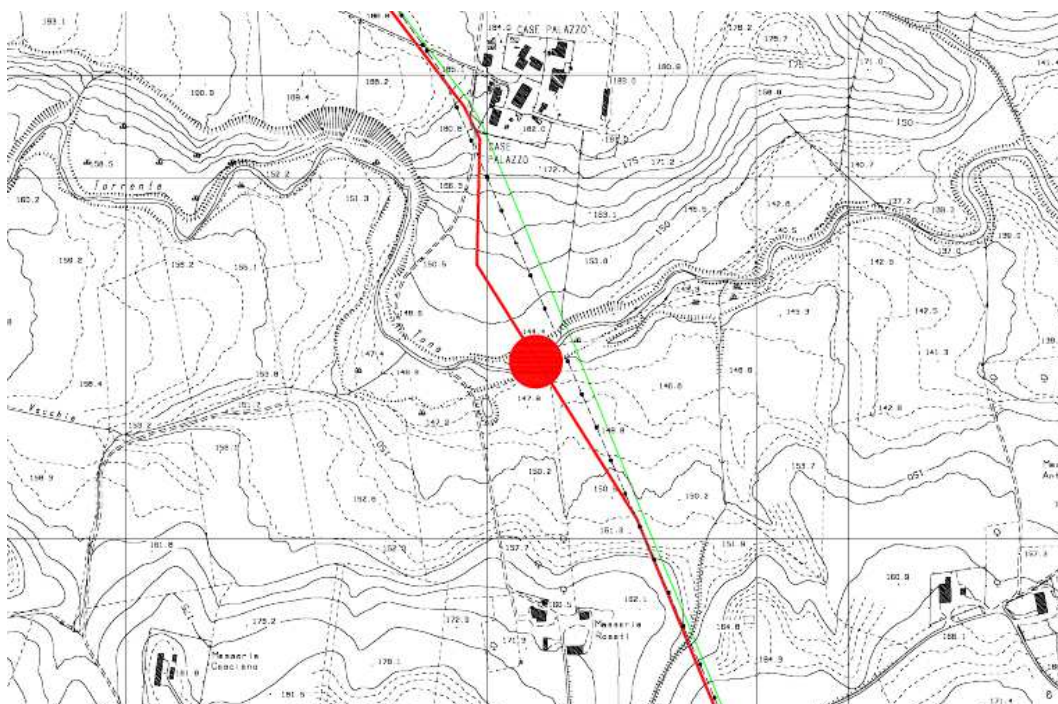


Figura 1: stralcio cartografia CTR della zona dell'attraversamento. In rosso il nuovo metanodotto (km 52+735). In verde la condotta esistente da rimuovere (km 49+300)

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).

RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA TORRENTE TONA						
N° Documento:	Rev.:	00				N° Documento Cliente:
03492-PPL-RE-103-0215		Foglio	4	di	35	AT-RE-103-215

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 Trigno, Biferno e Minori, Saccione e Fortore*.

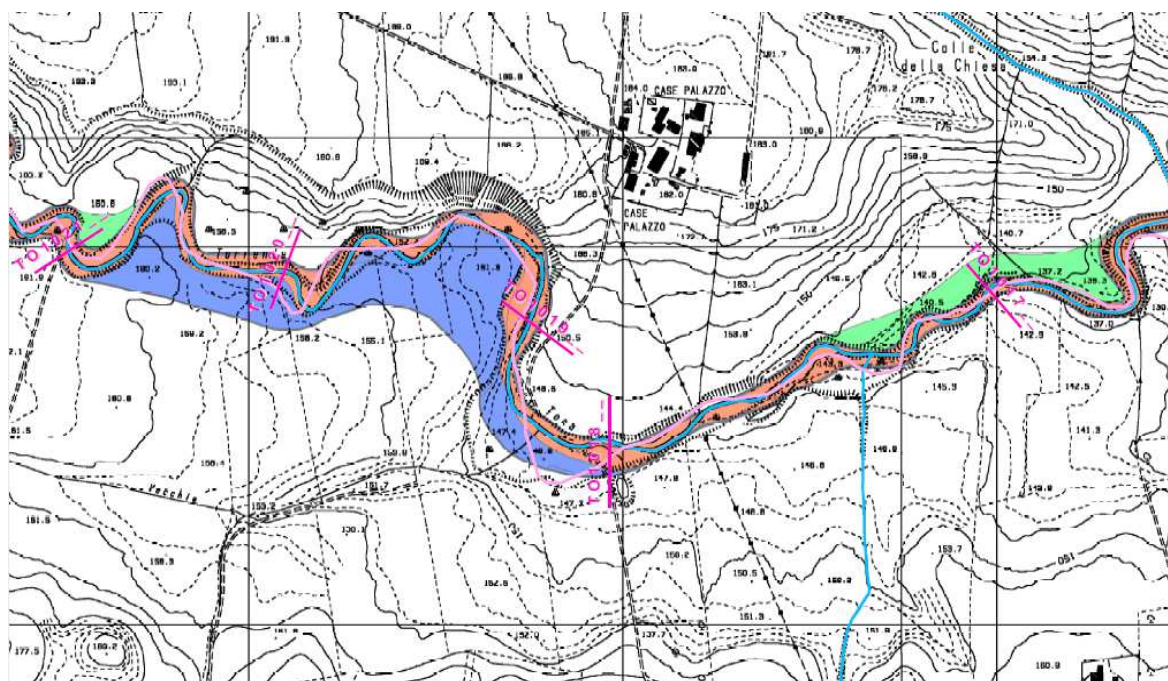


Figura 2: stralcio cartografia PAI con evidenziate le sezioni ove sono state calcolate le portate di riferimento. Nel caso di interesse la sezione TO1018 risulta collocata immediatamente a monte dell'attraversamento in progetto

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

Il Torrente Tona è un corso d'acqua naturale affluente in destra idraulica del Fiume Fortore, utilizzato a scopo irriguo. L'attraversamento del torrente è ubicato in una zona in cui il corso d'acqua segna il confine tra i Comuni di Rotello (CB) e di Santa

RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA TORRENTE TONA						
N° Documento: 03492-PPL-RE-103-0215	Rev.: 00					N° Documento Cliente: AT-RE-103-215
		Foglio 5 di 35				

Croce di Magliano (CB) in una zona distinta rispettivamente ai F. 55 e 16 del NCT (Nuovo Catasto Terreni) dei suddetti comuni.

In corrispondenza dell'attraversamento il Torrente Tona ha un'ampiezza di circa 15.0 m e una profondità di circa 1.5 m, risulta caratterizzato da argini in terra che si raccordano alla pianura circostante privi o quasi di vegetazione.

L'attraversamento lungo il suo sviluppo interesserà, sulla base delle informazioni bibliografiche in possesso e delle indagini effettuate in aree limitrofe , dei depositi prevalentemente ghiaiosi con livelli sabbioso-limoso-argillosi; 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").

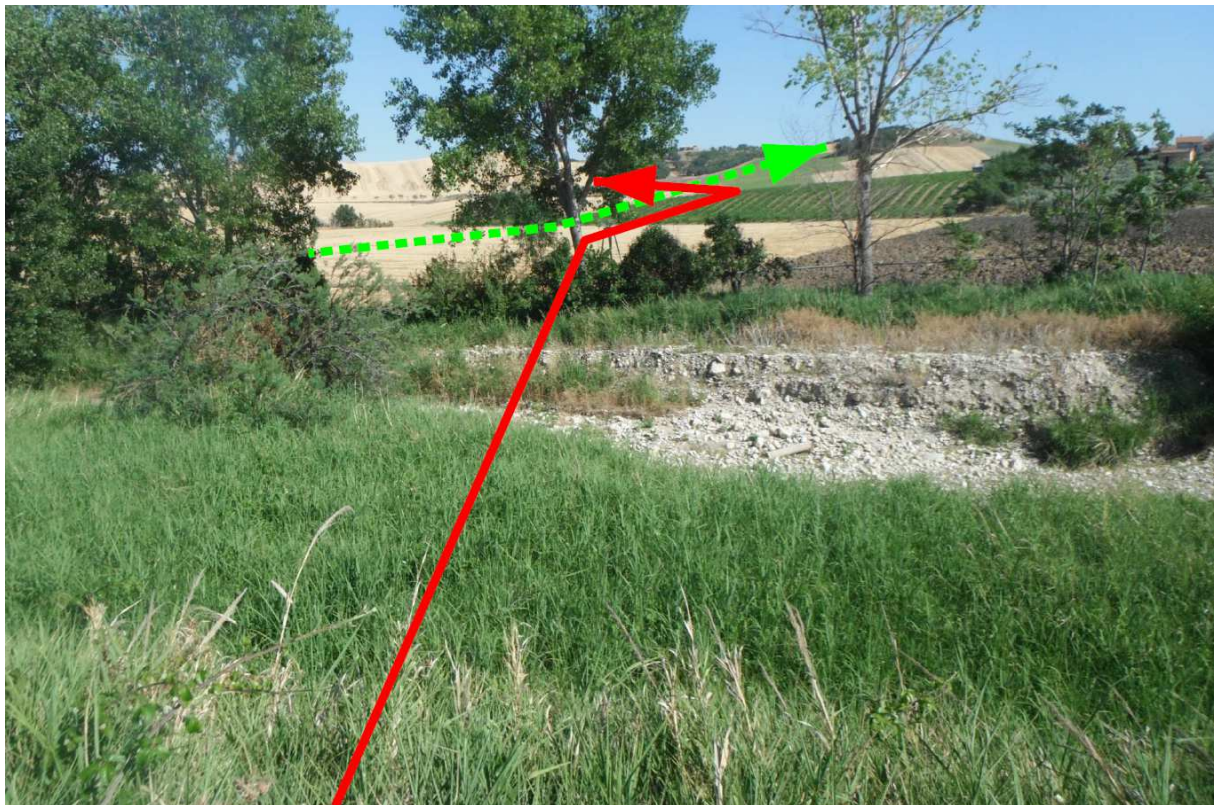


Figura 3: immagine fotografica del punto d'attraversamento del Torrente Tona

RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA TORRENTE TONA						
N° Documento: 03492-PPL-RE-103-0215	Rev.:	00				N° Documento Cliente: AT-RE-103-215
		Foglio 6 di 35				

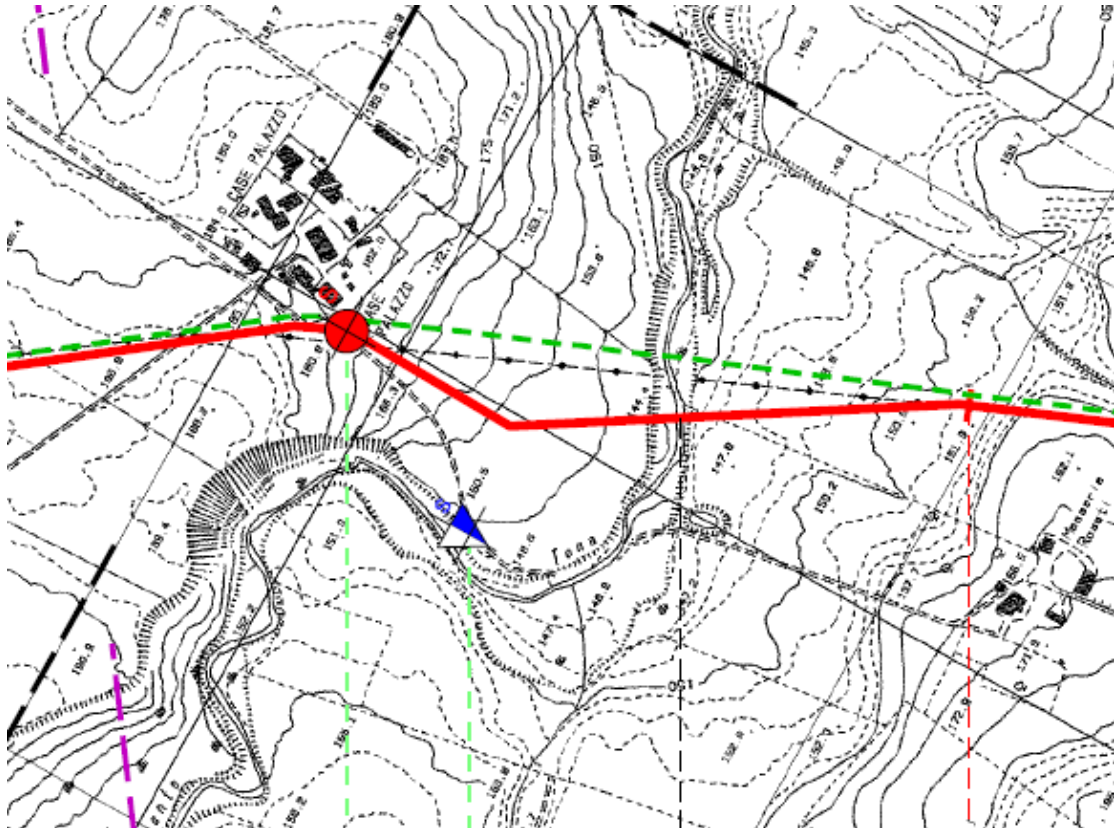
2 CARATTERISTICHE OPERA IN PROGETTO

L'attraversamento del corso d'acqua verrà eseguito tramite scavo a cielo aperto ad una profondità variabile dalla quota di fondo alveo avente un minimo di 3,40 m in corrispondenza dell'alveo di magra del torrente.






Il ripristino degli scavi sul fondo è previsto con il materiale di risulta mentre in corrispondenza delle sponde sono previste opere di rivestimento spondale in massi con pezzatura 0,3-0,7 mc, per una lunghezza di circa 33 m come da sezione schematica riportata in fig. 5.

Per il dettaglio dell'intervento e le caratteristiche costruttive dello stesso si rimanda all'elaborato grafico di progetto Tav. AT-103-215.

RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE			
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA TORRENTE TONA			
N° Documento: 03492-PPL-RE-103-0215	Rev.: 00	Foglio 7 di 35	N° Documento Cliente: AT-RE-103-215



INDAGINI PUNTUALI

-  S_n Sondaggio a carotaggio continuo
-  S_n 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 Torrente Tona - Stralcio planimetrico scala 1:10.000 con ubicazione indagini

RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA TORRENTE TONA						
N° Documento:	Rev.:	00				N° Documento Cliente:
03492-PPL-RE-103-0215	Foglio 8 di 35				AT-RE-103-215	

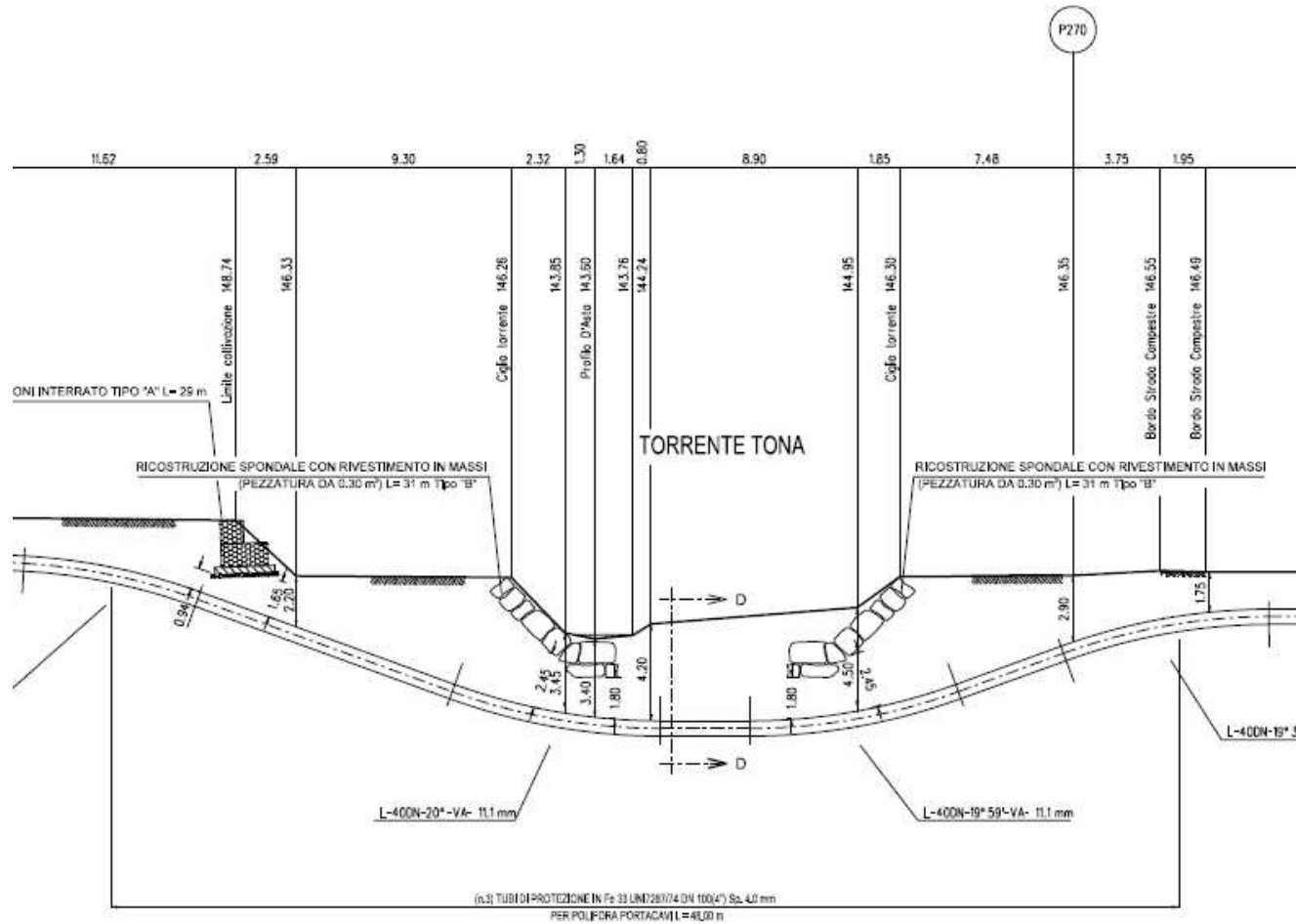


Figura 5: attraversamento Torrente Tona - Sezione schematica di progetto

RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26”) DP 75 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA TORRENTE TONA						
N° Documento: 03492-PPL-RE-103-0215	Rev.:	00				N° Documento Cliente: AT-RE-103-215
		Foglio 9 di 35				

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 Torrente Tona 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						
Tona	Sezione	Q [mc/s]	Y _b [m s.l.m.]	Y _w [m s.l.m.]	h _m [m]	V _m [m/s]
		Portata	Quota minimo di fondo	Livello idrico assoluto	Tirante idrico rispetto al fondo alveo	Velocità media nella sezione
	TO1027	221,10	195,65	197,89	2,24	2,43
	TO1026	221,10	188,58	191,34	2,76	2,66
	TO9002	221,10	179,14	187,98	8,84	1,61
	TO1025	221,10	178,32	181,37	3,05	3,15
	TO1024	221,10	173,73	178,07	4,34	3,12
	TO1023	221,10	169,85	173,31	3,46	3,09
	TO1022	224,20	164,30	166,16	1,86	2,20
	TO1021	224,20	159,17	162,49	3,32	3,67
	TO1020	224,20	154,48	157,44	2,96	2,91
	TO1019	224,20	147,46	150,30	2,84	2,62
	TO1018	224,20	145,33	147,42	2,09	3,18
	TO1017	224,20	137,70	141,61	3,91	3,83
	TO1016	224,20	131,70	133,88	2,18	2,30

Tabella 1: portate al colmo di piena del Torrente Tona per varie sezioni di interesse per Tr200 anni (come anticipato in precedenza, quella più prossima alla zona interessata dalle opere in progetto è quella denominata TO1018)

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 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

RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA TORRENTE TONA						
N° Documento: 03492-PPL-RE-103-0215	Rev.:	00				N° Documento Cliente: AT-RE-103-215
		Foglio 10 di 35				

modellazione in moto permanente tramite elaboratore elettronico con l'ausilio del programma di calcolo Hec-Ras.

Tr	Portata
30	132,00
200	224,20

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 i dettagli su posizione delle sezioni modellate si rimanda all'Annesso 1 (Stralcio planimetrico del tratto modellato con sezioni). **La lunghezza complessiva del tratto modellato è di circa 200 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 direttamente nello stato di progetto, essendo previsto esclusivamente una regolarizzazione del fondo ed il sostanziale ripristino dell'andamento delle sponde esistenti. Allo stesso modo, l'inserimento delle difese spondali in massi è tale da non modificare i coefficienti di scabrezza rispetto alla situazione esistente, alla luce di quanto riportato nella sottostante tabella.

A titolo esemplificativo comunque si riporta in fig. 6.7 un confronto dell'andamento dei livelli lungo il profilo longitudinale della zona di intervento.

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

RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA TORRENTE TONA						
N° Documento: 03492-PPL-RE-103-0215	Rev.: 00					N° Documento Cliente: AT-RE-103-215
Foglio 11 di 35						

CORSI D'ACQUA MINORI (Larghezza del pelo libero in piena < 30m)	Minimo	Normale	Massimo
Corsi d'acqua di pianura			
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
Torrenti in montagna senza vegetazione in alveo, sponde generalmente ripide, alberi ed arbusti sulle sponde sommersi durante le piene			
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

I risultati, grafici e numerici, sono riportati nelle pagine seguenti.

RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA TORRENTE TONA						
N° Documento:	Rev.:	00				N° Documento Cliente:
03492-PPL-RE-103-0215	Foglio 12 di 35				AT-RE-103-215	

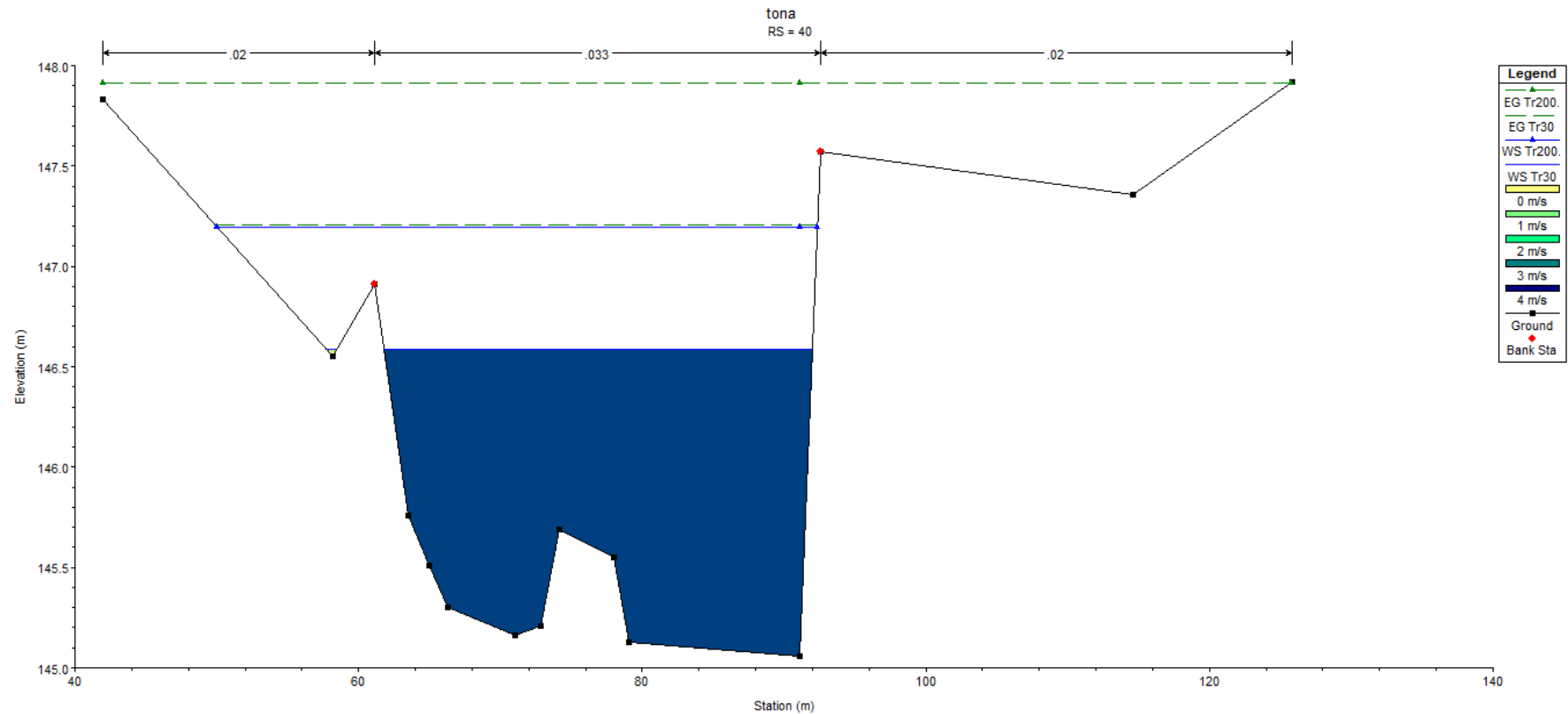


Figura 6.1: sezione trasversale all'inizio del tratto modellato – stato di progetto

RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA TORRENTE TONA						
N° Documento:	Rev.:	00				N° Documento Cliente:
03492-PPL-RE-103-0215	Foglio 13 di 35				AT-RE-103-215	

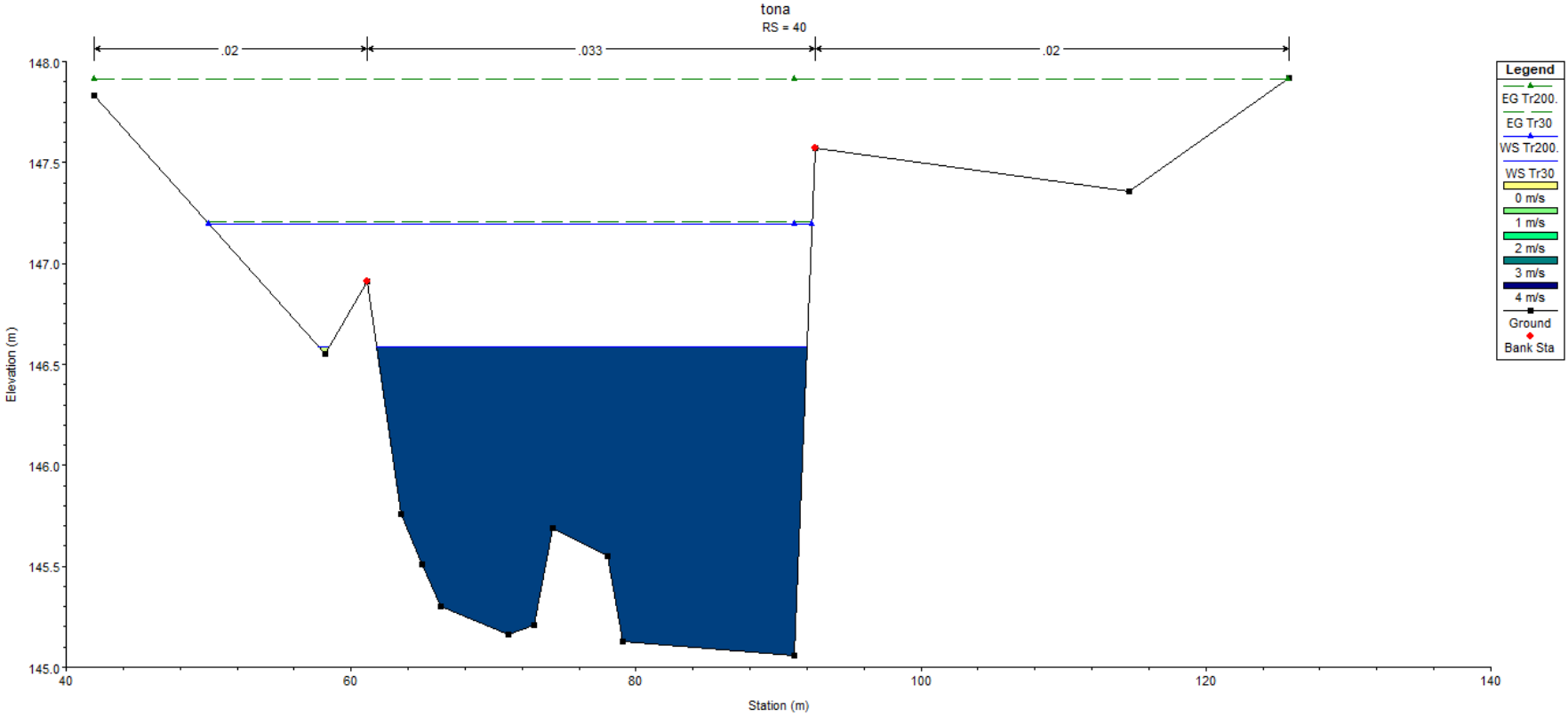


Figura 6.2: sezione trasversale a monte del nuovo attraversamento – stato di progetto

RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA TORRENTE TONA						
N° Documento: 03492-PPL-RE-103-0215	Rev.: 00					N° Documento Cliente: AT-RE-103-215
Foglio 14 di 35						

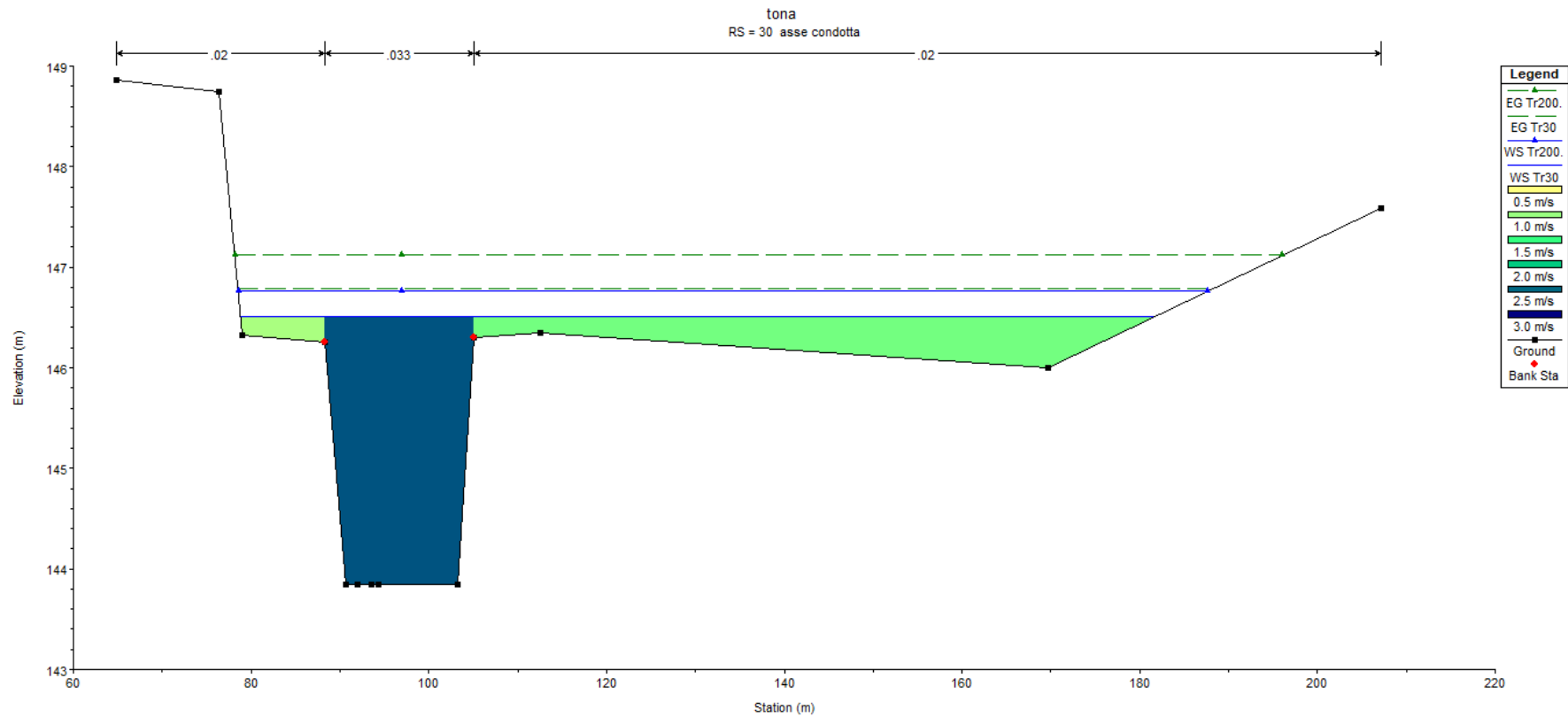


Figura 6.3: sezione trasversale in corrispondenza del nuovo attraversamento – stato di progetto

RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA TORRENTE TONA						
N° Documento:	Rev.:	00				N° Documento Cliente:
03492-PPL-RE-103-0215	Foglio 15 di 35				AT-RE-103-215	

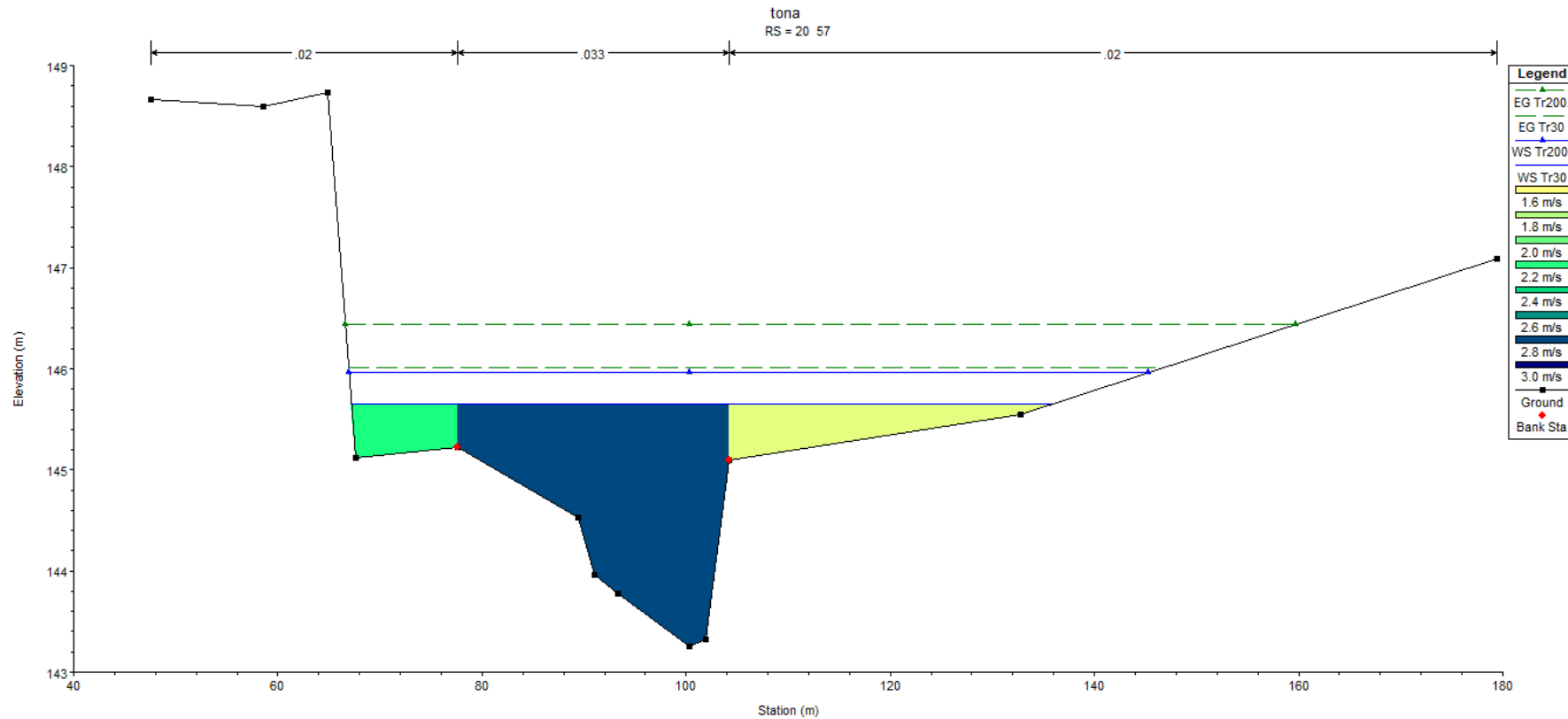


Figura 6.4: sezione trasversale a valle del nuovo attraversamento – stato di progetto

RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA TORRENTE TONA						
N° Documento:	Rev.:	00				N° Documento Cliente:
03492-PPL-RE-103-0215	Foglio 16 di 35				AT-RE-103-215	

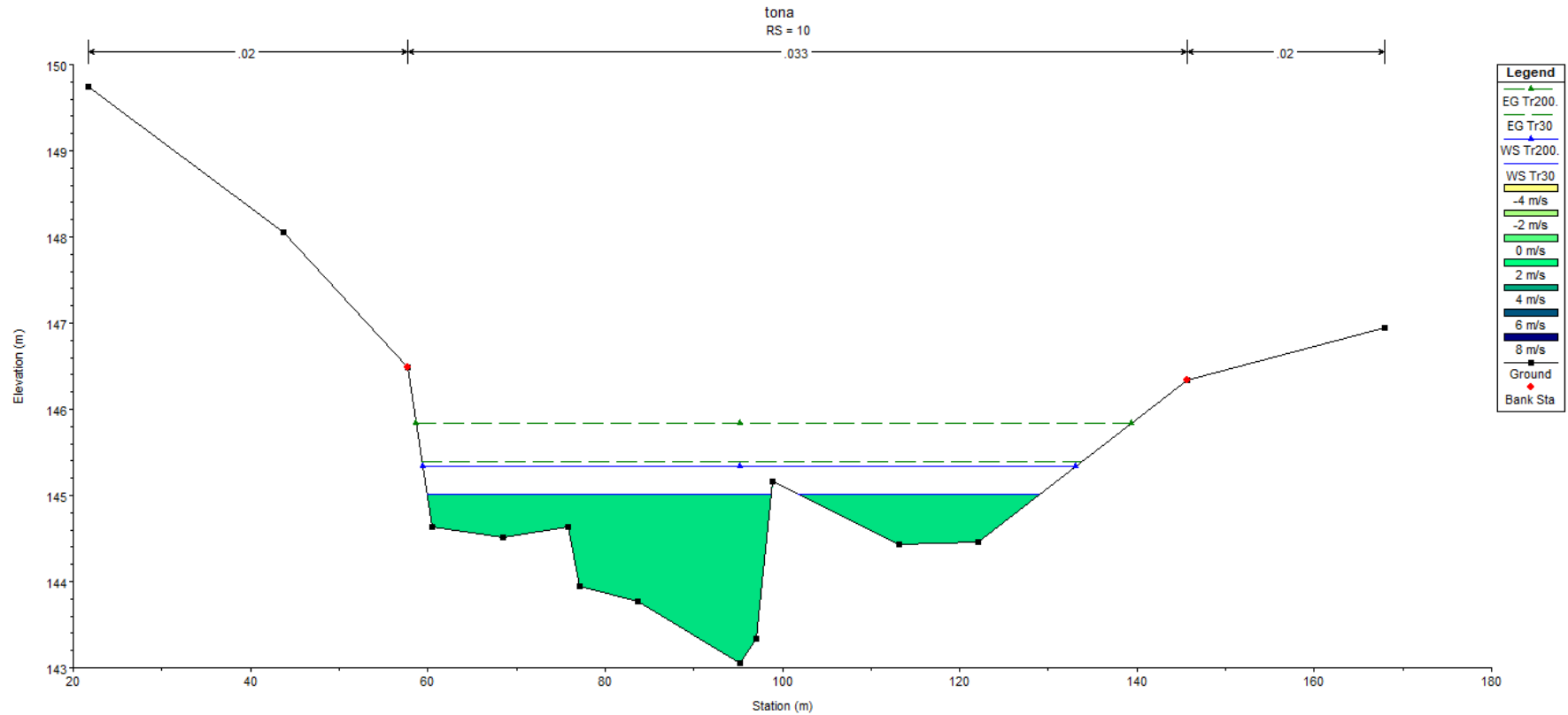


Figura 6.5: sezione trasversale al termine del tratto modellato– stato di progetto

RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA TORRENTE TONA						
N° Documento: 03492-PPL-RE-103-0215	Rev.: 00					N° Documento Cliente: AT-RE-103-215
Foglio 17 di 35						

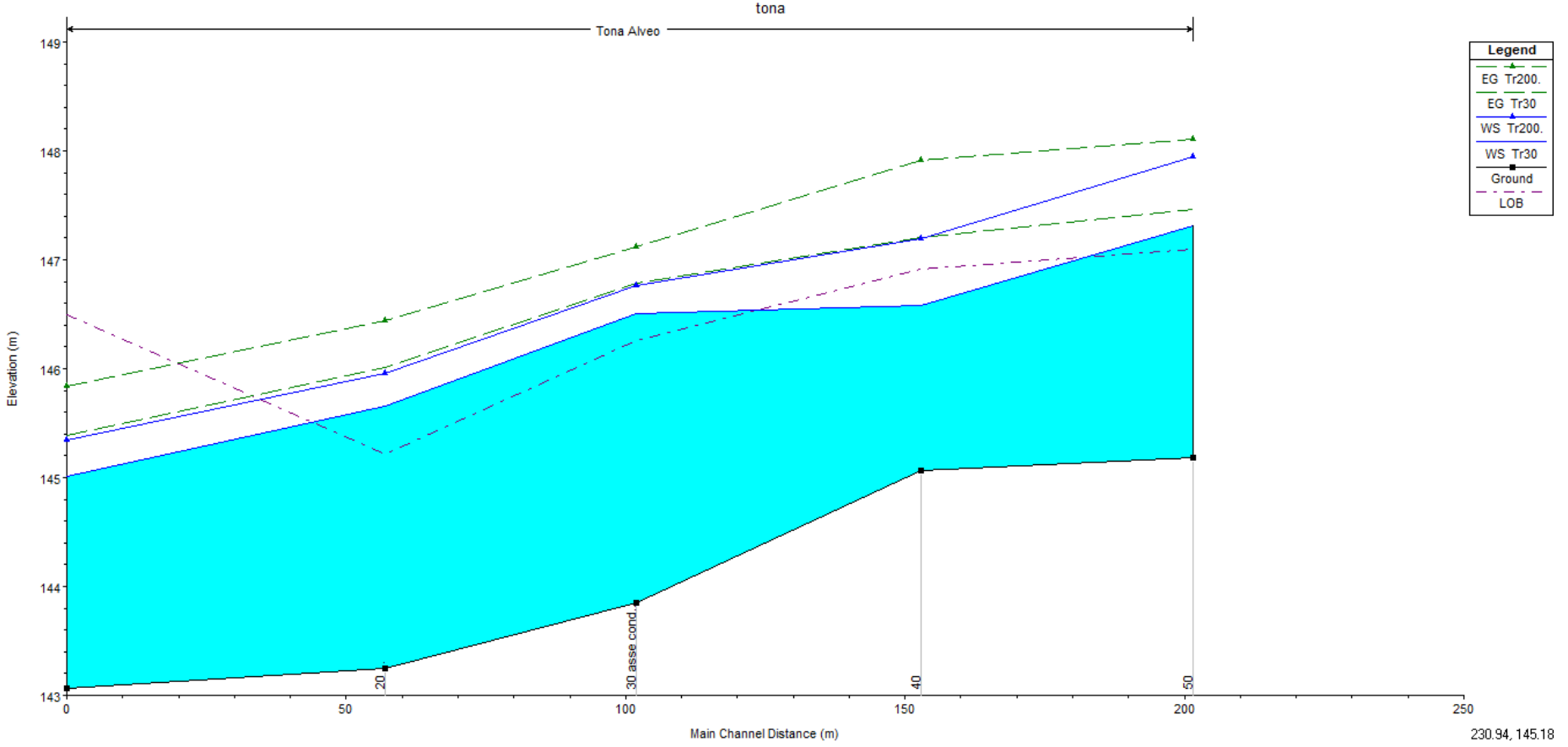


Figura 6.6: profilo longitudinale del tratto d'alveo modellato – stato di progetto

RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA TORRENTE TONA						
N° Documento:	Rev.:	00				N° Documento Cliente:
03492-PPL-RE-103-0215	Foglio 18 di 35				AT-RE-103-215	

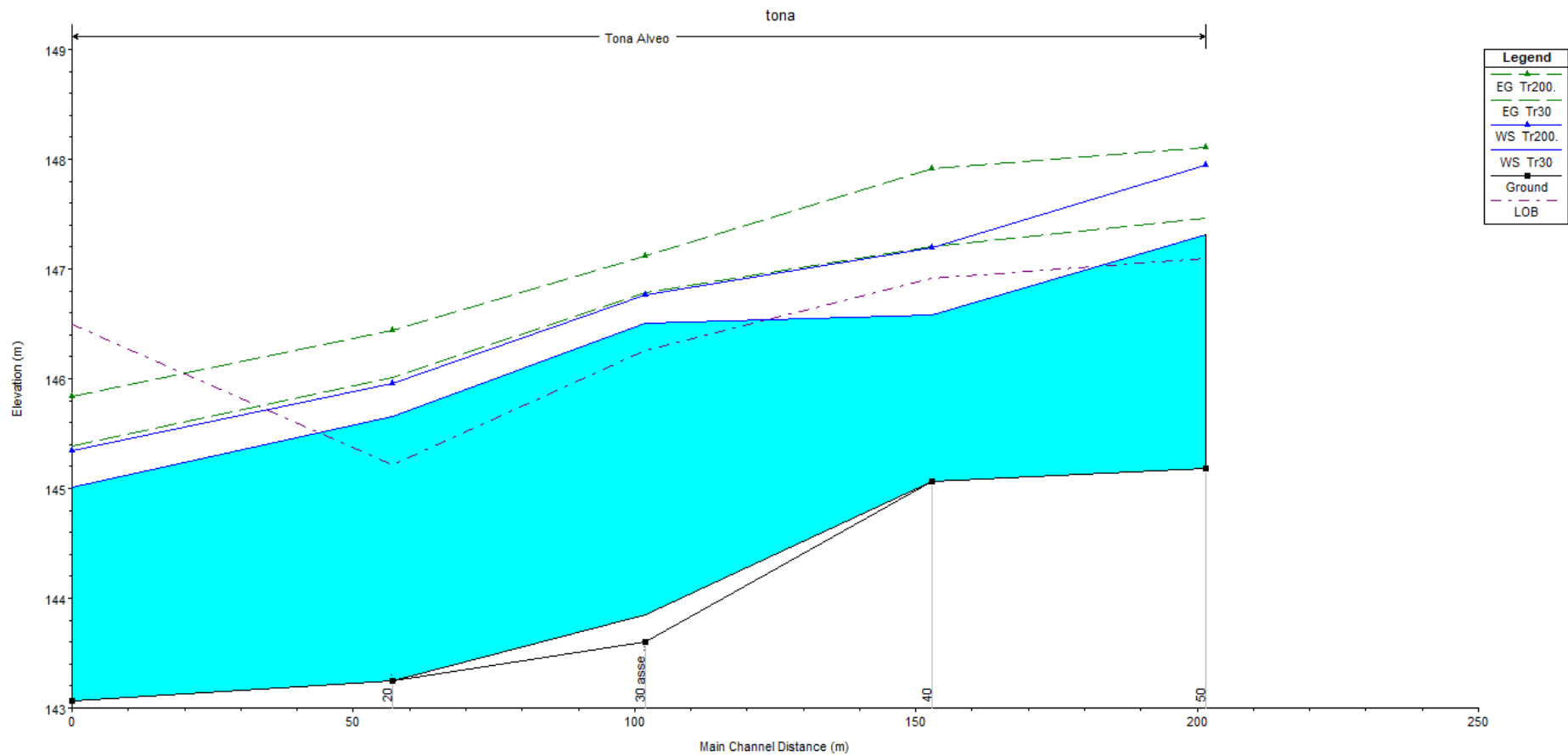


Figura 6.7: profilo longitudinale del tratto d'alveo modellato – confronto stato di fatto-stato di progetto

RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE												
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA TORRENTE TONA												
N° Documento: 03492-PPL-RE-103-0215		Rev.: 00						N° Documento Cliente: AT-RE-103-215				
		Foglio 19 di 35										

Sezione	Tr	Q [mc/sec]	Quota fondo [m.s.m.]	Quota acqua [m.s.m.]	Altezza critica [m.s.m.]	Carico Totale [m.s.m.]	P. linea carichi [m]	Velocità [m/sec]	Area [mq]	Larg. p. l. [m]	N. Froude	R. idr. [m]	Tens. Tang [N/m2]
50	Tr30	132	145.18	147.31	146.79	147.47	0.002396	1.77	76.37	71.53	0.49	1.3	30.64
50	Tr200	224.2	145.18	147.95		148.11	0.001491	1.82	129.68	94.97	0.41	1.94	28.32
40	Tr30	132	145.06	146.59	146.59	147.21	0.010423	3.49	37.78	30.94	1	1.2	122.73
40	Tr200	224.2	145.06	147.2	147.2	147.91	0.007644	3.8	60.64	42.39	0.9	1.72	128.94
30	Tr30	132	143.85	146.51	146.51	146.79	0.002762	2.59	64.78	102.75	0.54	2.08	56.26
30	Tr200	224.2	143.85	146.76	146.76	147.12	0.003359	3.06	91.83	109.07	0.61	2.3	75.84
20	Tr30	132	143.25	145.65	145.65	146.01	0.005595	2.8	51.94	68.63	0.75	1.37	75.36
20	Tr200	224.2	143.25	145.96	145.96	146.44	0.005762	3.25	74.79	78.28	0.79	1.68	94.68
10	Tr30	132	143.06	145.01	145.01	145.39	0.012303	2.71	48.62	65.95	1.01	0.73	87.57
10	Tr200	224.2	143.06	145.34	145.34	145.83	0.011198	3.12	71.87	73.67	1.01	0.96	105.38

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

RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26'') DP 75 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA TORRENTE TONA						
N° Documento: 03492-PPL-RE-103-0215	Rev.:	00				N° Documento Cliente: AT-RE-103-215
		Foglio 20 di 35				

È opportuno evidenziare che, confrontando i risultati della tabella sopra riportata con quelli desunti dalle modellazioni del Piano Stralcio, sintetizzati in Tab. 1, i livelli idrometrici previsti dal PAI nel tratto interessato dall'attraversamento sono inferiori 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 laminazione dovuti ad allargamenti o zone di golena che possono essere presenti più a monte. 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.

Preme sottolineare tuttavia che tale non perfetta rispondenza dei livelli idrici non inficia i risultati delle calcolazioni di cui ai paragrafi successivi e questo sia in ragione dei coefficienti di sicurezza assunti che, soprattutto, del fatto che le formule utilizzate nel seguito per le verifiche della condotta forniscono in generale risultati direttamente proporzionali al battente idrico.

Il calcolo eseguito è quindi a favore di sicurezza.

RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26'') DP 75 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA TORRENTE TONA						
N° Documento: 03492-PPL-RE-103-0215	Rev.:	00				N° Documento Cliente: AT-RE-103-215
		Foglio 21 di 35				

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 la casistica di cui al punto 2 infatti nel tratto in esame non sono presenti manufatti in alveo.

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 Shoklitsch¹, utilizzando le grandezze caratteristiche del moto determinate ai paragrafi precedenti, assumendo come portata specifica

$q = Q/(\Omega/yu)$, per Tr 200 anni, risulta:

$$S_{\max Tr200} = 1,21 \text{ m}$$

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

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

RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26'') DP 75 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA TORRENTE TONA						
N° Documento: 03492-PPL-RE-103-0215	Rev.: 00					N° Documento Cliente: AT-RE-103-215
		Foglio	22	di	35	

$$S_{\max \text{ buche (a)}} = 1,21 * 1,30 = 1,57 \text{ m}$$

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 la profondità di erosione risulterebbe:

$$\text{Altezza acqua sez. 30: } 146,76 - 143,85 = 2,91 \text{ m}$$

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

$$S_{\max \text{ buche (b)}} = (2,91 / 2) * 1,30 = 1,89 \text{ m}$$

Caso 3:

L'attraversamento in progetto cade in corrispondenza di un'ampia curva del torrente, risultano quindi applicabili le formule empiriche per la determinazione dell'erosione in curva.

Va evidenziato che trattandosi di formule sperimentali, la loro validità è fortemente legata alle condizioni al contorno utilizzate per la loro determinazione, pertanto si è proceduto utilizzando due delle principali espressioni reperibili in letteratura, in modo da poter confrontare i risultati, adottando opportuni coefficienti di sicurezza.

Secondo la relazione di Seminara e Tubino (1989), nell'ipotesi di trasporto al fondo dominante, sedimenti omogenei e raggio di curvatura costante, la profondità massima di scavo si può ricavare dall'espressione:

$$\eta_{\max} = Yd_o \frac{b_f}{4r_c}$$

Dove:

- b_f è la larghezza del fondo alveo;
- Y il tirante idrico della sezione all'inizio della curva
- r_c è il raggio di curvatura

RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26'') DP 75 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA TORRENTE TONA						
N° Documento: 03492-PPL-RE-103-0215	Rev.: 00					N° Documento Cliente: AT-RE-103-215
		Foglio	23	di	35	

- d_0 è un coefficiente che si ricava da tabelle sperimentali (Vedi Annesso 2) in funzione del numero di Shields θ e del rapporto D/Y , con D diametro rappresentativo del sedimento.

Un'altra espressione per la determinazione della massima profondità di erosione è fornita da Galay et al. (1987) che per alvei in ghiaia ed angolo interno intorno tra 60° e 100° pone:

$$h_g = h_{med} \left(0,9 + 3,7 \frac{b_f}{r_c} \right)$$

Mentre per angoli al centro inferiori a 60° risulta:

$$h_g = h_{med} \left(1,2 + \frac{B}{R} \right)$$

Dove, oltre ai simboli già visti in precedenza

- h_g è il tirante idraulico in corrispondenza del gorgo;
- h_{med} è la profondità media nella sezione di attacco della curva (calcolata come rapporto tra l'area e la larghezza del pelo libero);

dall'applicazione delle formule suddette alla sezione 30, posta grosso modo al centro della curva, si sono ottenuti i risultati riportati nella seguente tabella (in cui il significato e le unità di misura dei vari simboli utilizzato è indicato in precedenza):

	Tr 200
bf	12,50
rc	400
Y	2,91
h_{med}	2,91
D	0,05
do	14
μ	0,32
hg	2,96

Tabella 5: profondità di scavo prevedibile per la presenza di curve

Adottando un coefficiente di sicurezza pari a 1,5 applicato al maggiore dei valori sopra calcolati si ottiene:

RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA TORRENTE TONA						
N° Documento: 03492-PPL-RE-103-0215	Rev.:	00				N° Documento Cliente: AT-RE-103-215
		Foglio 24 di 35				

$$S_{\max \text{ curva}} = 0,32 * 1,50 = 0,48 \text{ m}$$

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 β_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.

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:

RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA TORRENTE TONA						
N° Documento: 03492-PPL-RE-103-0215	Rev.: 00					N° Documento Cliente: AT-RE-103-215
		Foglio	25	di	35	

	Tr 200
bf	35
Y	4,46
D	0,005
β	3,92
β_c	15
H	No
μ_{max}	No

Tabella 6: 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 5.1 – caso 1 b, erosione dovuta a possibili discontinuità di fondo, pertanto la profondità minima di posa della condotta dovrebbe risultare non inferiore a 1,89 m, con un coefficiente di sicurezza di 1,30

Per tale motivo in progetto è stata adottata una profondità di posa della condotta di 3,40 m dal punto più depresso del fondo alveo.

RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA TORRENTE TONA						
N° Documento: 03492-PPL-RE-103-0215	Rev.:	00				N° Documento Cliente: AT-RE-103-215
		Foglio 26 di 35				

5 VERIFICA DI STABILITÀ DELLE DIFESA IN MASSI

La presente verifica viene condotta, per semplicità ed a favore di sicurezza, trascurando il mutuo incastro che si ha tra gli scogli. Il progetto prevede l'utilizzo di massi di natura "calcarea, basaltica, granitica o trachitica" con una pezzatura minima di 0,3 mc, corrispondente pertanto ad un peso indicativo (minimo):

$$P = 0,3 \cdot 2500 = 750 \text{ kg}$$

In caso di piena, il peso immerso risulta:

$$P_i = 750 - 1000 \cdot 0,3 = 450 \text{ kg}$$

L'inclinazione di progetto della sponda sull'orizzontale risulta non superiore a 60° per cui la forza ortogonale al piano di appoggio² risulterà:

$$P_i \cos 60^\circ = 225 \text{ kg}$$

Assumendo un coefficiente di attrito masso/terreno pari a 0,7 (corrispondente ad un angolo di 35°) la forza d'attrito stabilizzante (tangente al piano di appoggio) risulterà:

$$F_s = 225 \cdot 0,7 = 157,50 \text{ kg} = 1543 \text{ N}$$

La forza destabilizzante è data dalla tensione tangenziale prodotta dalla corrente sulla superficie esposta del singolo elemento lapideo.

Ipotizzando che il masso abbia la forma sferica, il diametro della sfera equivalente al volume di progetto è $d = 0,83 \text{ m}$, la corrispondente superficie esposta all'acqua risulterà quindi $S = 0,5 \cdot \pi \cdot d^2 = 1,08 \text{ mq}$

Moltiplicando tale valore per la tensione tangenziale massi desumibile dalla Tab 4 (si assume la tensione tangenziale per la piena con Tr 200 anni in corrispondenza dalla sez. 30 ove è prevista la difesa in scogli) risulta:

$$F_d = \tau \cdot S = 75,84 \cdot 1,08 = 82,03 \text{ N}$$

Poiché $F_s > 1,3 F_d$ la verifica è soddisfatta.

² L'altra componente della forza peso, parallela al piano inclinato, tenderebbe a fare scivolare i massi lungo il piano inclinato stesso, tale forza viene tuttavia scaricata da ciascun elemento lapideo su quello sottostante, fino allo strato di base, appoggiato sullo strato di fondazione, pertanto si annulla.

RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26'') DP 75 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA TORRENTE TONA						
N° Documento: 03492-PPL-RE-103-0215	Rev.:	00				N° Documento Cliente: AT-RE-103-215
		Foglio 27 di 35				

6 CONCLUSIONI

Il presente studio ha lo scopo di valutare l' idoneità della profondità di posa della nuova condotta di attraversamento in subalveo del Torrente Tona che, si ricorda, verranno eseguiti con scavo a sezione retta obbligata con una profondità di 3,40 m dal punto più depresso del fondo alveo con successivo ripristino dello scavo con terreno di risulta e realizzazione una protezione spondale in massi di pietrame su entrambi i lati del torrente.

Alla luce di quanto esposto ai punti precedenti

Le verifiche condotte hanno evidenziato:

- che 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 1,30;
- che le verifiche dell'azione della corrente sulle sponde mettono in evidenza l' idoneità delle protezioni spondali previste in progetto.

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.

In conclusione preme sottolineare che le diverse valutazioni effettuate in merito alla natura dei terreni in fase di scavo e a cantiere ultimato saranno tanto più rispettate quanto più sarà presa ogni più opportuna azione per il corretto ripristino delle aree scavate. A tal fine occorrerà in particolare:

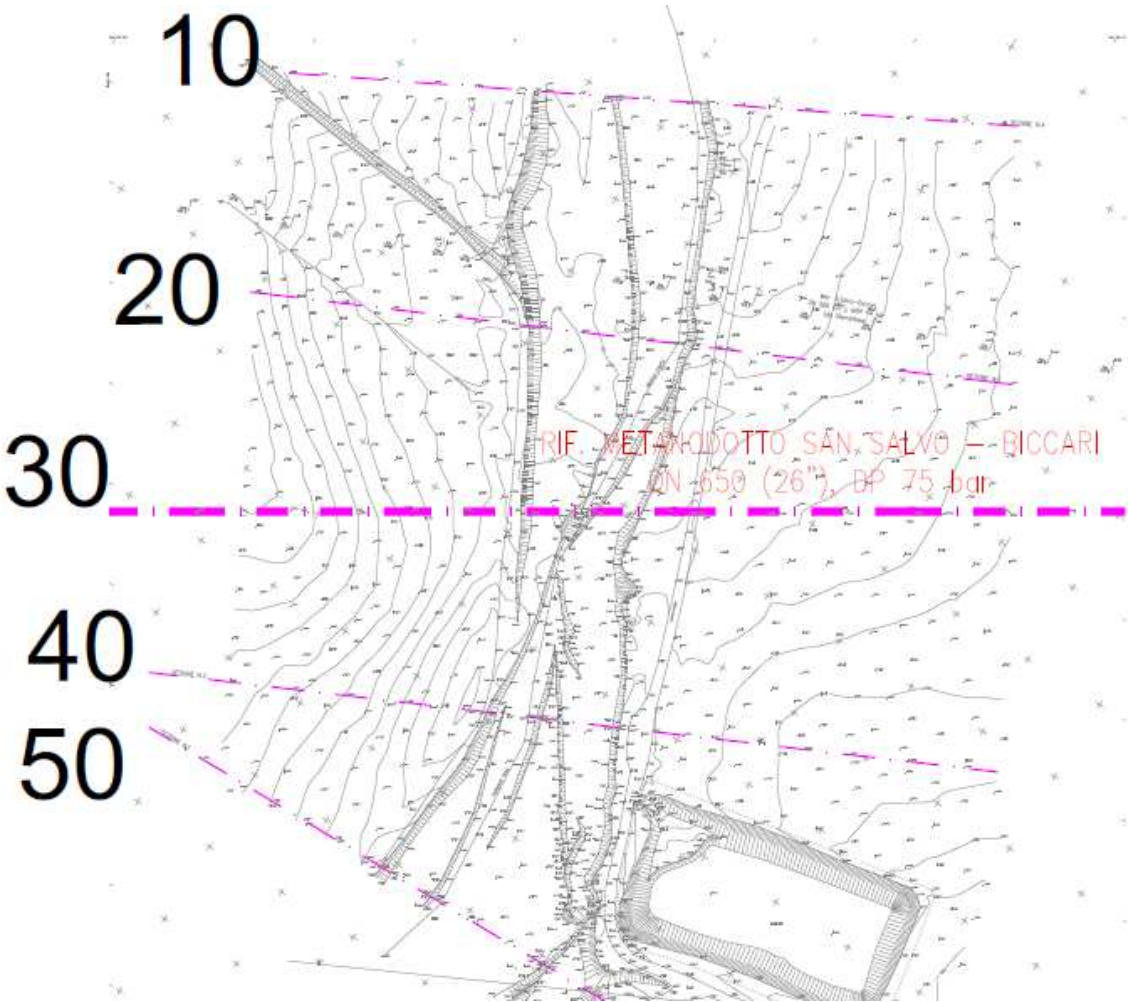
- assicurare una perfetta compattazione dei terreni utilizzati per il rinterro della condotta ed il ripristino delle sponde, procedendo alla costipazione per strati di spessore massimo 30 - 50 cm;
- verificare in corso d'opera il raggiungimento di un buon grado di compattazione per ciascuno strato;

RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA TORRENTE TONA						
N° Documento: 03492-PPL-RE-103-0215	Rev.:	00				N° Documento Cliente: AT-RE-103-215
		Foglio 28 di 35				

- assicurare il ripristino del fondo alveo con materiale di granulometria conforme a quella attualmente in sito per una profondità di almeno 1,50/2,00 m.

RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE					
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA TORRENTE TONA					
N° Documento: 03492-PPL-RE-103-0215	Rev.:	00			
	Foglio 29 di 35				N° Documento Cliente: AT-RE-103-215

ANNESSO 1: STRALCIO PLANIMETRICO DEL TRATTO MODELLATO CON SEZIONI



RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA TORRENTE TONA						
N° Documento: 03492-PPL-RE-103-0215	Rev.:	00				N° Documento Cliente: AT-RE-103-215
			Foglio	30	di	35

ANNESSO 2: GENERALITÀ SUL MODELLO HEC-RAS

Il software di calcolo utilizzato è denominato HEC-RAS® ed è stato sviluppato dall'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 ogni sezione

RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA TORRENTE TONA						
N° Documento: 03492-PPL-RE-103-0215	Rev.:	00				N° Documento Cliente: AT-RE-103-215
			Foglio	31	di	35

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;
- area bagnata;
- principali parametri geometrici;

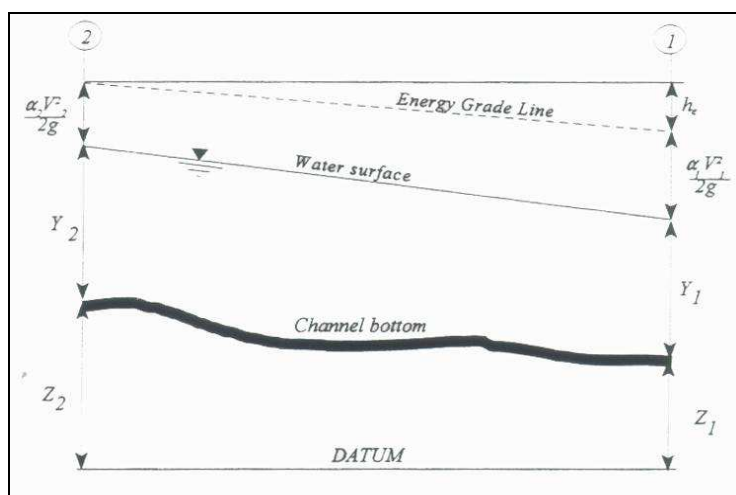
RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA TORRENTE TONA						
N° Documento: 03492-PPL-RE-103-0215	Rev.: 00					N° Documento Cliente: AT-RE-103-215
		Foglio	32	di	35	

- 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;

V1, V2 : velocità media;

α_1, α_2 : coefficienti energetici moltiplicativi della velocità;

g : accelerazione gravitazionale;

RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA TORRENTE TONA						
N° Documento: 03492-PPL-RE-103-0215	Rev.: 00					N° Documento Cliente: AT-RE-103-215
		Foglio	33	di	35	

h_e : perdita di carico;

L : distanza fra le sezioni trasversali;

S_f : 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 S_f viene calcolata con l'equazione di Manning:

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

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

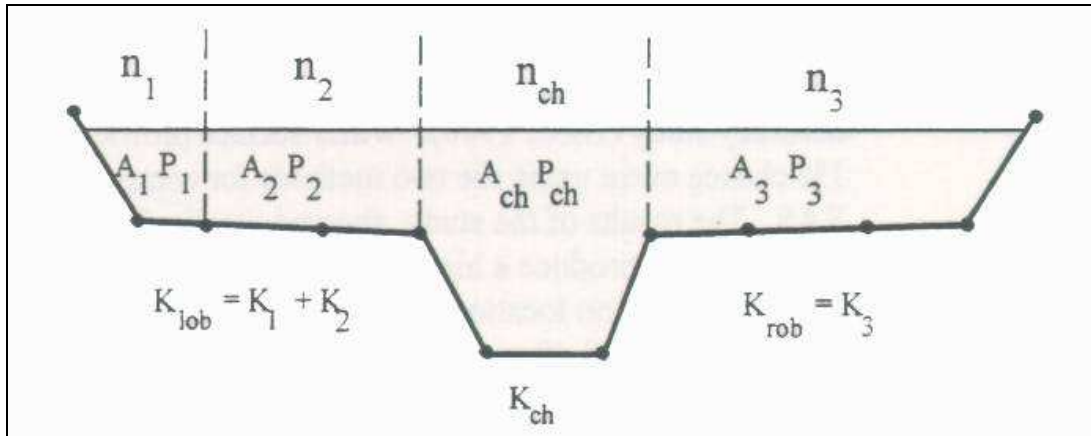
Tabella di riferimento dei coefficienti di contrazione ed espansione

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

RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26") DP 75 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA TORRENTE TONA						
N° Documento: 03492-PPL-RE-103-0215	Rev.: 00					N° Documento Cliente: AT-RE-103-215
		Foglio	34	di	35	

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.

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

RIFACIMENTO METANODOTTO SAN SALVO – BICCARI DN650 (26'') DP 75 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA TORRENTE TONA						
N° Documento: 03492-PPL-RE-103-0215	Rev.: 00	Foglio 35	di 35	N° Documento Cliente: AT-RE-103-215		

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

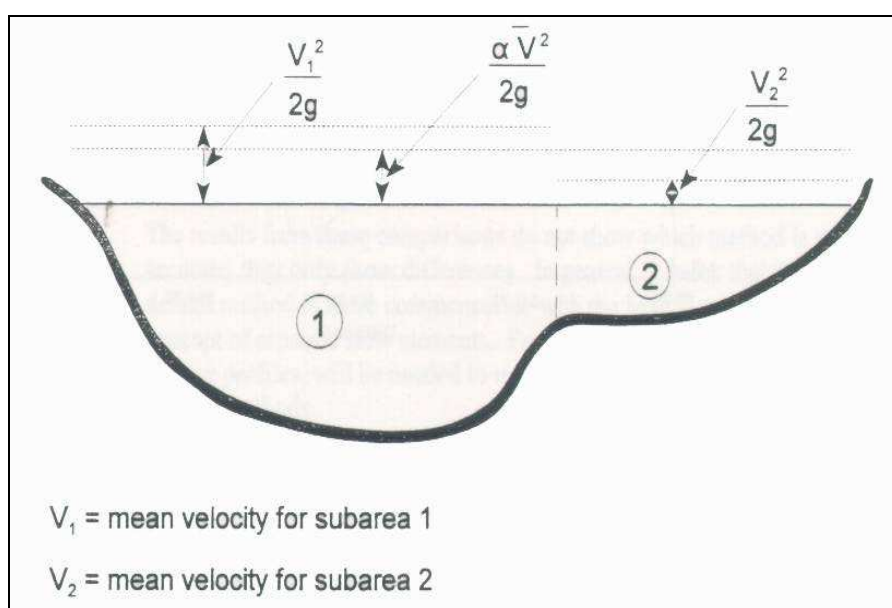
dove:

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 α 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