

Contraente: 	Progetto: RIFACIMENTO METANODOTTO CHIETI - RIETI DN400 (16") DP 75 bar E OPERE CONNESSE		Cliente: 
	N° Contratto : N° Commessa : NR/19094		
N° documento: 03857-PPL-RE-101-0109	Foglio 1 di 46	Data 20-02-2020	N° documento Cliente: AT-RE-109

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTO FIUME SALTO**



Alberto Vanni

00	20-02-2020	EMISSIONE	VANNI	STROPPA	CAPRIOTTI
REV	DATA	TITOLO REVISIONE	PREPARATO	CONTROLLATO	APPROVATO

RIFACIMENTO METANODOTTO CHIETI-RIETI DN400 (16") DP 24 bar E OPERE CONNESSE					
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO FIUME SALTO					
N° Documento: 03857-PPL-RE-101-0109	Foglio 2	di	46	Rev.: 00	N° documento Cliente: AT-RE-109

INDICE

1	PREMESSA E CARATTERISTICHE GENERALI.....	3
2	CARATTERISTICHE DELL'OPERA IN PROGETTO.....	5
3	STUDIO IDROLOGICO-IDRAULICO	6
3.1	Individuazione del bacino idrografico.....	7
3.2	Analisi idrologica	9
3.3	Determinazione della massima portata di progetto.....	12
3.3.1	Coefficiente di deflusso medio ragguagliato.....	13
3.3.2	Tempo di corrivazione	14
3.3.3	Portata di progetto.....	15
3.4	Studio idraulico	16
4	DETERMINAZIONE DELLA MASSIMA PROFONDITÀ DI EROSIONE	25
5	VERIFICA DI STABILITÀ DELLA SOGLIA NEI CONFRONTI DELL'AZIONE DELLA CORRENTE.....	29
6	CONCLUSIONI.....	36
	ANNESSO 1: STRALCIO PLANIMETRICO DEL TRATTO MODELLATO	37
	ANNESSO 2: GENERALITÀ SUL MODELLO HEC-RAS	38
	ANNESSO 3: TABELLE DI LETTERATURA	46

RIFACIMENTO METANODOTTO CHIETI-RIETI DN400 (16") DP 24 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO FIUME SALTO						
N° Documento: 03857-PPL-RE-101-0109	Foglio 3 di 46		Rev.: 00			N° documento Cliente: AT-RE-109

1 PREMESSA E CARATTERISTICHE GENERALI

La presente relazione è finalizzata alla determinazione delle caratteristiche idrologiche-idrauliche del Salto, necessarie per la verifica della profondità di posa in subalveo della nuova condotta in acciaio DN 400 (16") DP26 bar, finalizzata al rifacimento dell'omonimo metanodotto esistente che attraverserà il corso d'acqua in un punto, individuato col numero 55, come evidenziato nello stralcio planimetrico riportato in Figura 1.

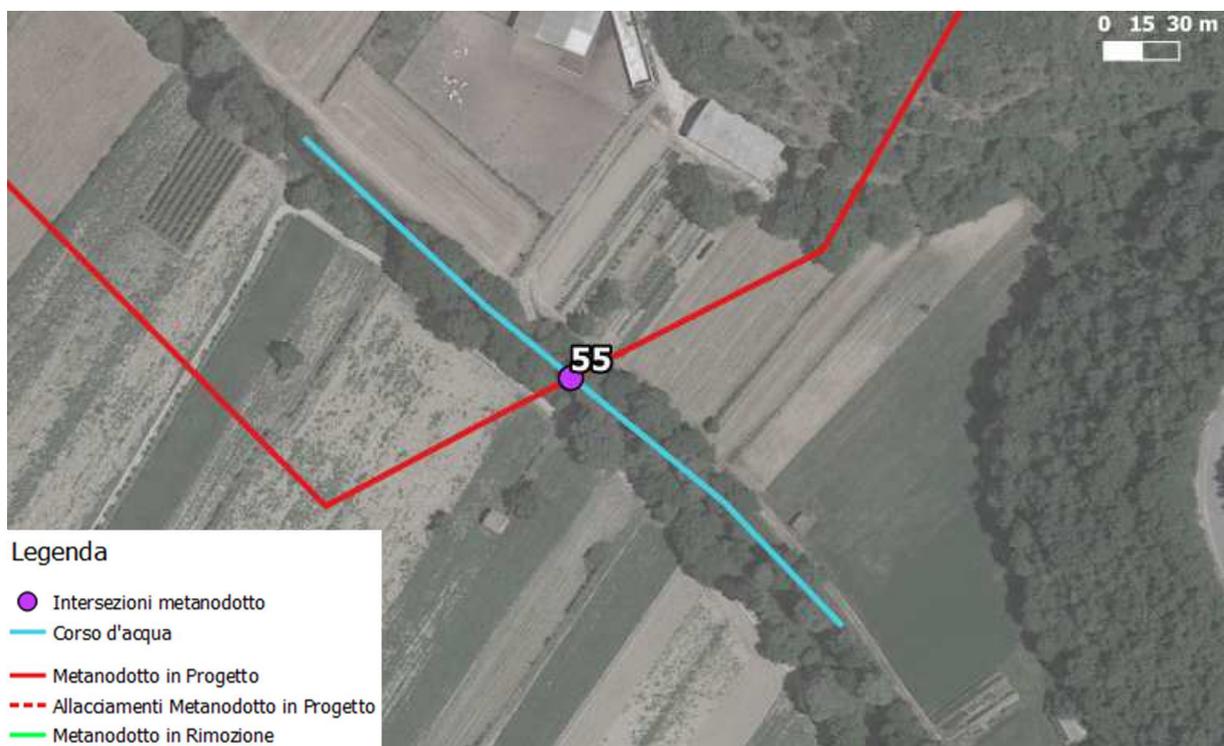


Figura 1: Vista planimetrica della zona dell'attraversamento, del tracciato del metanodotto di progetto ed esistente e del corso d'acqua.

Il Salto, è un corso d'acqua naturale appartenente alla Regione Lazio, affluente in sinistra idraulica del Fiume Velino che, in dettaglio, viene attraversato dall'opera in progetto in un punto ubicato alla progressiva 128+590.

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

RIFACIMENTO METANODOTTO CHIETI-RIETI DN400 (16") DP 24 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO FIUME SALTO						
N° Documento: 03857-PPL-RE-101-0109	Foglio 4 di 46		Rev.: 00			N° documento Cliente: AT-RE-109

alveo o a possibili fenomeni di dissesto/erosione localizzati in corrispondenza del transito degli eventi di piena.

A tal fine è stata eseguita una specifica modellazione idraulica di un tratto d'alveo significativo per una lunghezza complessiva di circa 200 m, utilizzando i valori di portata ricavati secondo la metodologia riportata nel Paragrafo 3, nell'ipotesi di moto permanente, con l'ausilio del programma di calcolo HEC-RAS 5.0.7 (per le cui caratteristiche si rimanda all'Annesso 2).

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 Paragrafo 4.

RIFACIMENTO METANODOTTO CHIETI-RIETI DN400 (16") DP 24 bar E OPERE CONNESSE					
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO FIUME SALTO					
N° Documento: 03857-PPL-RE-101-0109	Foglio 5 di 46	Rev.:	00		N° documento Cliente: AT-RE-109

2 CARATTERISTICHE DELL'OPERA IN PROGETTO

La posa della nuova condotta verrà eseguita tramite scavo a cielo aperto ad una profondità avente un minimo pari a:4.80 m.

Nel tratto posto in subalveo la tubazione verrà quindi protetta con un getto di calcestruzzo armato con rete elettrosaldata e successivamente rinterrata con il terreno di risulta dagli scavi.

Alla luce delle prevedibili profondità di erosione di cui si dirà ai paragrafi successivi, è stata prevista, nella zona interessata dagli scavi, la realizzazione di una soglia protettiva in massi sul fondo e sulle sponde dell'alveo inciso.

In particolare, alla luce delle verifiche condotte al successivo paragrafo 5 i massi da utilizzare dovranno avere le seguenti caratteristiche:

- pezzatura > 0,7 mc
- diametro equivalente > 0,71 m

Per il dettaglio dell'intervento e le caratteristiche costruttive si rimanda all'elaborato grafico di progetto denominati AT-144.

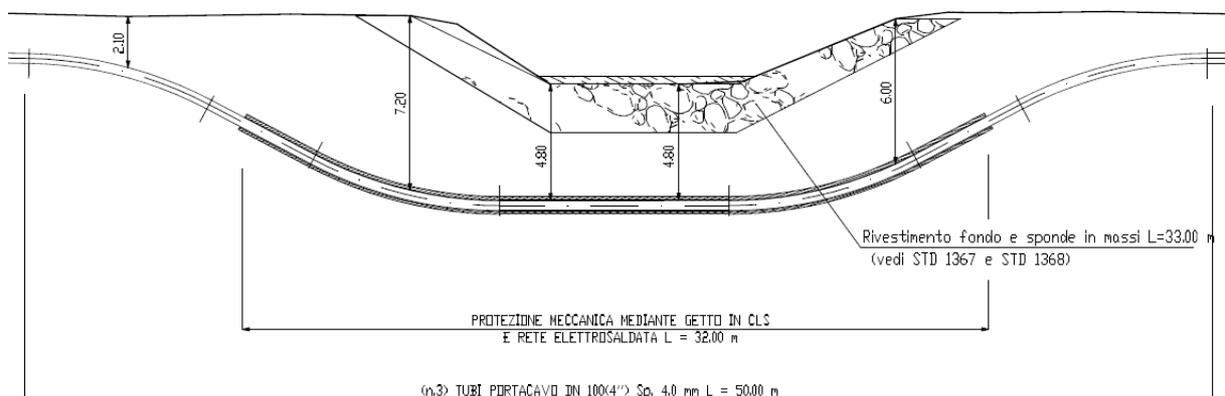


Figura 2:Attraversamento del Salto (n. 55) - Sezione schematica di progetto

RIFACIMENTO METANODOTTO CHIETI-RIETI DN400 (16") DP 24 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO FIUME SALTO						
N° Documento: 03857-PPL-RE-101-0109	Foglio 6 di 46		Rev.: 00			N° documento Cliente: AT-RE-109

3 STUDIO IDROLOGICO-IDRAULICO

Il fiume Salto non è stato studiato nel Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) redatto dall'Autorità di Bacino del fiume Tevere, pertanto non sono disponibili valori ufficiali di portata da utilizzare nelle modellazioni di cui ai paragrafi successivi.

Allo stesso tempo gli strumenti di pianificazione vigenti (PAI, PSDA, PGRA) non indicano una metodologia preferenziale per la definizione dei valori di portata necessari alle verifiche idrauliche per le opere interferenti con i corsi d'acqua.

Per tale motivo, in considerazione del fatto che sul portale della Regione Lazio – Ufficio Idrografico e Mareografico – Centro Funzionale Regionale¹, la Regione Lazio sono disponibili i dati pluviometrici relativi ad una fitta rete di stazioni di monitoraggio che assicurano un'ottima copertura del territorio, è stato ritenuto di procedere con una analisi idrologica di dettaglio dei singoli bacini, in quanto sicuramente più precisa rispetto ai modelli di regionalizzazione delle portate disponibili in letteratura.

¹http://www.idrografico.regione.lazio.it/std_page.aspx-Page=curve_pp.htm

RIFACIMENTO METANODOTTO CHIETI-RIETI DN400 (16") DP 24 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO FIUME SALTO						
N° Documento: 03857-PPL-RE-101-0109	Foglio 7	di	46	Rev.: 00		
					N° documento Cliente: AT-RE-109	

3.1 Individuazione del bacino idrografico

L'identificazione e la generazione grafica del bacino è stata effettuata sulla base del modello digitale del terreno (DEM) a maglia 20x20m fornito dal Geoportale Nazionale (MATTM)² tramite i software QGIS³ e SAGA⁴,

Partendo da questo DEM20, a seguito del pre-processamento tramite il codice di calcolo "fill sinks" (SAGA), è stato possibile determinare il reticolo idrografico principale dei bacini tramite il codice "strahler order" (SAGA) ed è stato inoltre possibile risalire ai bacini sottesi nei vari punti di intersezione tra metanodotto e corpi idrici grazie al codice "upslope area – deterministic 8" (SAGA); il risultato così ottenuto è stato infine validato sulla base delle osservazioni delle linee di livello e degli elementi contenuti nella CTR della Regione Abruzzo.

² Catalogo WCS, Geoportale Nazionale, MATTM, http://wms.pcn.minambiente.it/wcs/dtm_20m, il quale è caratterizzato dal seguente abstract: "Il lavoro è partito agli inizi degli anni 80. Il modello numerico del terreno e' stato ottenuto interpolando le curve di livello dell'archivio IGM. Oltre a questi sono state utilizzate le linee di costa dei laghi, aventi quota pari al livello delle acque dei laghi stessi, e del mare (quest'ultima proveniente da cartografia scala 1:100.000) per arrestarne l'interpolazione. La quota, espressa in metri, e' il valore altimetrico medio incontrato nell'area della cella elementare (pixel) riferito al baricentro della cella stessa. Le curve di livello sono state digitalizzate con varie metodologie quindi l'accuratezza del dato dipende dal tipo di terreno (pianura, collina, montagne). L'accuratezza planimetrica mediamente è di circa 3-4 decimi di millimetro grafico."

³QGIS Development Team, 2019. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>

⁴Conrad, O., Bechtel, B., Bock, M., Dietrich, H., Fischer, E., Gerlitz, L., Wehberg, J., Wichmann, V., and Böhner, J. (2015): System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA) v. 2.1.4, Geosci. Model Dev., 8, 1991-2007, doi:10.5194/gmd-8-1991-2015.

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
 ATTRAVERSAMENTO FIUME SALTO**

N° Documento:

03857-PPL-RE-101-0109

Foglio

8 di 46

Rev.:

00

N° documento Cliente:

AT-RE-109



Figura 3: Bacino idrografico del fiume Salto alla sezione di chiusura (n. 55)

Per determinare le portate da inserire nei modelli di calcolo, si è generato il bacino idrografico sotteso dalla sezione di attraversamento e da questo sono stati ricavate le caratteristiche geomorfologiche (superficie, quota massima, media e minima e lunghezza dell'asta principale), le quali sono riportate in Tabella 1.

Sezione di chiusura	Superficie [km ²]	Quota minima [m s.m.]	Quota media [m s.m.]	Quota massima [m s.m.]	Lunghezza asta principale [km]
Intersezione 55	850.60	401	1016	2450	83.70

Tabella 1: caratteristiche geomorfologiche dei tre bacini relativi alle tre sezioni di chiusura.

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTO FIUME SALTO**

N° Documento: 03857-PPL-RE-101-0109	Foglio 9 di 46	Rev.: 00	N° documento Cliente: AT-RE-109
--	-------------------	-------------	------------------------------------

3.2 Analisi idrologica

Lo studio idrologico del bacino in oggetto è stato condotto determinando dapprima le curve di possibilità climatica di riferimento, ricavate sulla base dei dati desumibili dal portale della Regione Lazio citato in precedenza.

In particolare sono stati ricavati i valori di a ed n delle curve di interesse a partire dai grafici forniti dal Servizio nella forma rappresentata nella sottostante Figura 4.

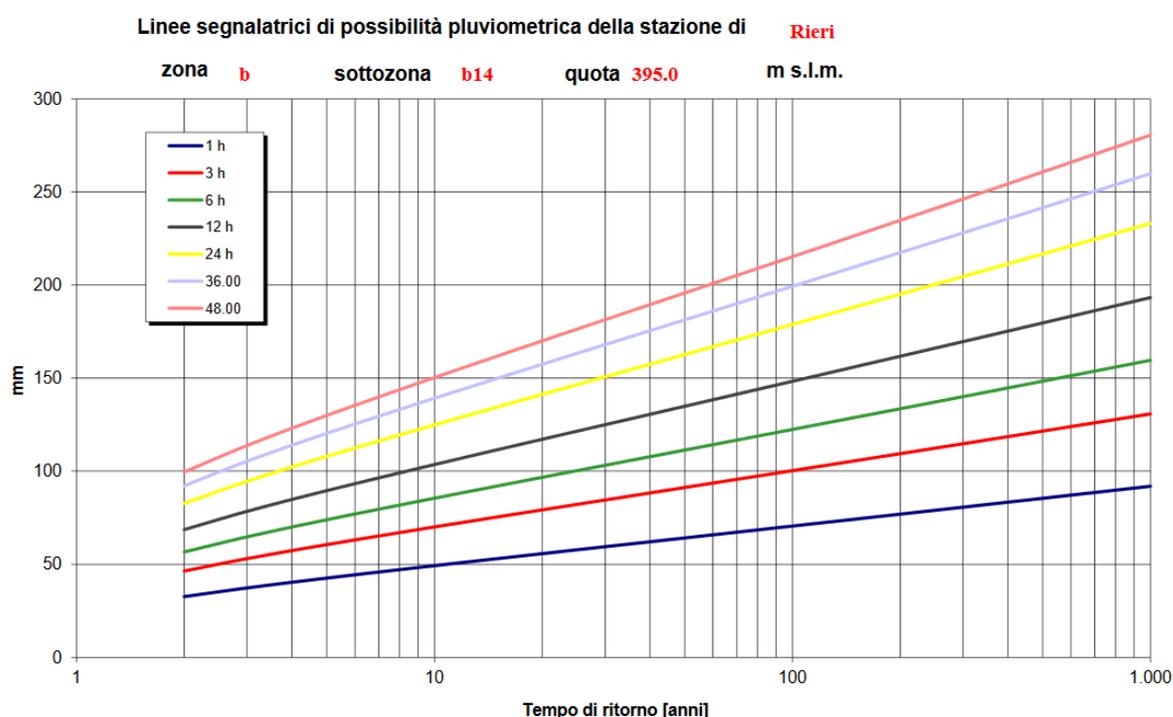


Figura 4: Esempio di grafico fornito dal portale <http://www.idrografico.regione.lazio.it>

Sono così state desunte le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica di assegnato tempo di ritorno nella consueta espressione monomia esponenziale:

$$h = a \cdot t^n$$

Per individuare la stazione pluviometrica più rappresentativa per il bacino oggetto di studio è stata analizzata la distribuzione spaziale delle stazioni disponibili ricadenti all'interno del bacino stesso, i cui risultati sono riportati in Figura 5.

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTO FIUME SALTO

N° Documento:

03857-PPL-RE-101-0109

Foglio

10 di 46

Rev.:

00

N° documento Cliente:

AT-RE-109

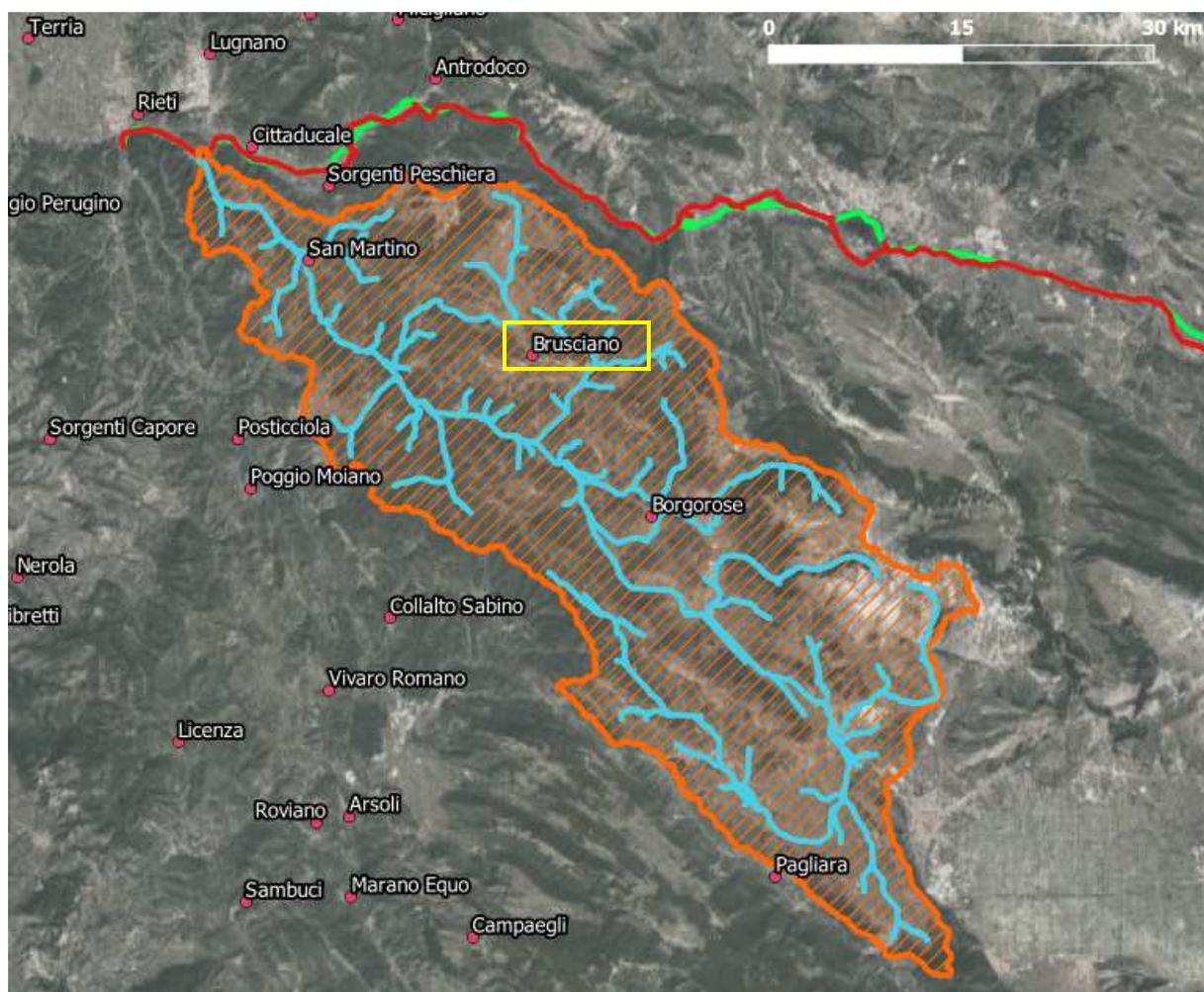


Figura 5: Posizione dei pluviometri all'interno del bacino del fiume Salto

Per il caso in oggetto sono state individuate come baricentriche le stazioni di Borgorose e Brusciano e dunque sono stati estrapolati i dati e determinate le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica per entrambe.

Analizzando i dati ottenuti si è poi deciso di adottare la curva della stazione di Brusciano per i seguenti motivi:

- L'altezza della stazione di 945 m s.l.m. è prossima a quella media del bacino (1016 m s.l.m.);
- I dati di pioggia ottenuti restituiscono portate più alte rispetto a quelli della stazione di Borgorose, per cui la scelta viene fatta a favore di sicurezza;

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTO FIUME SALTO

N° Documento:

03857-PPL-RE-101-0109

Foglio

11 di 46

Rev.:

00

N° documento Cliente:

AT-RE-109

I risultati sono stati quindi riportati, rispettivamente in forma grafica e numerica nelle sottostanti Figura 7 e Tabella 2.

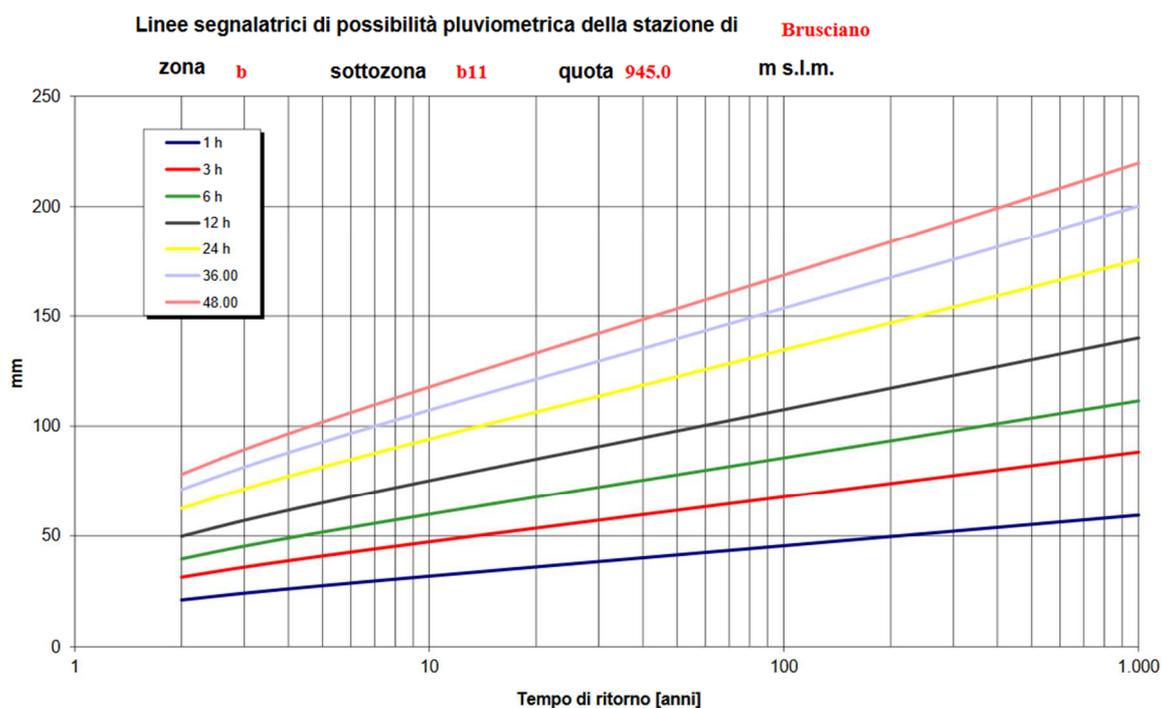


Figura 6: Grafico fornito dal portale per la stazione di Brusciano

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
 ATTRAVERSAMENTO FIUME SALTO**

N° Documento:

03857-PPL-RE-101-0109

Foglio

12 di 46

Rev.:

00

N° documento Cliente:

AT-RE-109

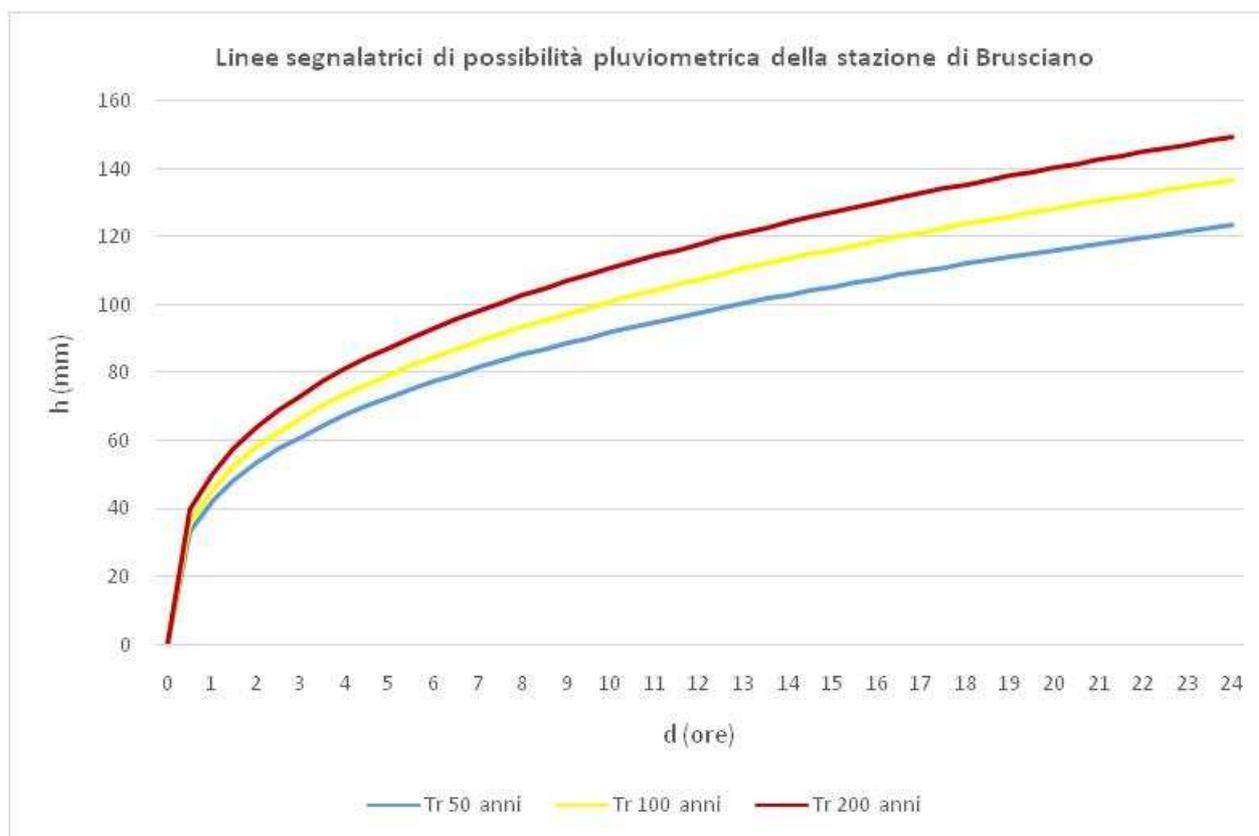


Figura 7: Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica ricavate dai dati forniti

	Tempo di ritorno		
	50 anni	100 anni	200 anni
a	42.38	45.77	50.48
n	0.337	0.345	0.341

Tabella 2: Parametri *a* ed *n* delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica

3.3 Determinazione della massima portata di progetto

Per la determinazione della massima portata di progetto per un assegnato tempo di ritorno si procede secondo il metodo cinematico, secondo l'espressione del Turazza che pone:

$$Q_i = \frac{\phi_i \times i_{ci} \times S_i}{360}$$

RIFACIMENTO METANODOTTO CHIETI-RIETI DN400 (16") DP 24 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO FIUME SALTO						
N° Documento: 03857-PPL-RE-101-0109	Foglio 13 di 46		Rev.: 00			N° documento Cliente: AT-RE-109

dove:

Q_i = portata massima in corrispondenza della sezione di interesse del bacino (m^3/s);

ϕ_i = valore medio ponderale del coefficiente di deflusso del bacino, determinato come media ponderale dei valori delle diverse tipologie di aree

S_i = superficie del bacino scolante (ha)

i_{ci} = intensità media della pioggia espressa in mm/h, pari al rapporto tra l'altezza di pioggia critica ed il tempo di corrivazione t_c , calcolati come descritto nel seguito.

I parametri della formula vengono quindi definiti nel seguente modo:

3.3.1 Coefficiente di deflusso medio ragguagliato

Viene determinato come media ponderale dei coefficienti di deflusso specifici riportati in Tabella 3, applicati alle relative superfici elementari. Per le aree urbanizzate si è assunto un valore di $\phi = 0,6$.

Tipo di terreno	Coltivato	Pascolo	Incolto	Bosco
Molto permeabile (terreni sabbiosi, ghiaiosi)	0,20	0,15	0,25	0,10
Permeabile (terreni limo-sabbiosi, limo-argillosi)	0,40	0,35	0,45	0,30
Poco permeabile (terreni argillosi, terreni rocciosi)	0,50	0,45	0,55	0,40

Tabella 3: Coefficienti di deflusso per superfici di diversa natura

Assumendo i valori caratteristici dei terreni permeabili, in considerazione delle caratteristiche litostratigrafiche del bacino (ove si rileva la presenza principalmente di terreni limo-argillosi), dell'uso del suolo, uniforme su tutto il bacino e principalmente a destinazione agricola, considerando l'assenza di aree urbane significative all'interno del bacino, risulta:

$$k_{med} = 0,40$$

RIFACIMENTO METANODOTTO CHIETI-RIETI DN400 (16") DP 24 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO FIUME SALTO						
N° Documento: 03857-PPL-RE-101-0109		Foglio 14 di 46		Rev.: 00		N° documento Cliente: AT-RE-109

3.3.2 Tempo di corrivazione

Per la determinazione del tempo di corrivazione è stato eseguito il calcolo utilizzando in via preliminare ciascuna delle diverse formule sotto riportate.

•**formula di Ventura**
$$\tau_c = 0,127 * \sqrt{\frac{S}{i}} = [ore]$$

•**formula di Giandotti**
$$\tau_c = \frac{4 * \sqrt{S} + 1,5L}{0,8 * \sqrt{H_{med} - H_0}} = [ore]$$

•**formula di Pezzoli**
$$\tau_c = 0,055 * \frac{L}{\sqrt{i}} = [ore]$$

•**formula di Puglisi**
$$\tau_c = 6 * L^{\frac{2}{3}} * (H_{max} - H_0)^{\frac{1}{3}} = [ore]$$

dove:

- S superficie bacino alla sezione di progetto
- i pendenza media dell'asta
- L lunghezza dell'asta fluviale
- H_{med} altezza media del comprensorio
- H₀ altezza della sezione di chiusura del bacino considerata
- H_{max} altezza massimo del comprensorio

I cui valori sono riportati al precedente Paragrafo 3.1.

Dall'applicazione delle formule sopra indicate si ottengono valori anche molto differenti tra loro, come si può vedere dalla sottostante tabella riepilogativa:

Formula	Tempo di corrivazione [ore]
Ventura	23.7
Giandotti	12.2
Pezzoli	29.4
Puglisi	9.0

Tabella 4: Valori dei tempi di corrivazioni per le varie formulazioni per il caso in oggetto

RIFACIMENTO METANODOTTO CHIETI-RIETI DN400 (16") DP 24 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO FIUME SALTO						
N° Documento: 03857-PPL-RE-101-0109	Foglio 15 di 46		Rev.: 00			N° documento Cliente: AT-RE-109

Per la scelta del valore più corretto e maggiormente indicativo per il caso in esame si è proceduto confrontando le portate di punta ottenute con i diversi valori di τ_c , sopra indicati con quelle derivanti dagli studi idraulici alla base del PDSA per il limitrofo bacino del fiume Velino.

In questo caso, l'analisi ha fatto propendere per l'utilizzo del valore calcolato con la formula di Ventura.

$$\tau_c = 23.71 \text{ ore}$$

3.3.3 Portata di progetto

Con i valori sopra riportati si procede pertanto alla determinazione della portata di progetto nelle sezioni di interesse, che risultano:

Sezione di chiusura	Portate al colmo		
	$Q_{50} [m^3/s]$	$Q_{100} [m^3/s]$	$Q_{200} [m^3/s]$
Intersezione 55	491.0	543.8	592.2

Tabella 5: Valori di portata calcolati con il metodo cinematico nella sezione di interesse

RIFACIMENTO METANODOTTO CHIETI-RIETI DN400 (16") DP 24 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO FIUME SALTO						
N° Documento: 03857-PPL-RE-101-0109	Foglio 16	di	46	Rev.:	00	N° documento Cliente: AT-RE-109

3.4 Studio idraulico

Il calcolo in moto permanente è stato eseguito tramite elaboratore elettronico con l'ausilio del programma di calcolo HEC-RAS 5.0.7, per le cui caratteristiche si rimanda all'Annesso 2, mentre per i dettagli sulla posizione delle sezioni modellate si rimanda all'Annesso 1.

La lunghezza complessiva del tratto modellato è di circa 200 m.

Come condizioni al contorno rispettivamente a monte e valle del tratto modellato, è stata imposta l'altezza di moto uniforme, calcolata con una pendenza pari a quella media del tratto rilevato immediatamente adiacente.

La modellazione è stata eseguita direttamente nello stato di progetto, essendo previsto il sostanziale ripristino dell'andamento delle sponde esistenti.

Nella fincatura superiore delle sezioni riportate nelle pagine seguenti sono mostrati i valori di scabrezza (secondo Manning) utilizzati per i vari tratti, desunti da valori di letteratura⁵ richiamati in Tabella 7.

I risultati grafici e numerici, sono riportati nelle pagine seguenti, dove il significato delle grandezze in legenda è il seguente:

WS Q50	Quota pelo libero per portata con tempo di ritorno 50 anni
Crit Q50	Altezza critica per portata con tempo di ritorno 50 anni
WS Q100	Quota pelo libero per portata con tempo di ritorno 100 anni
Crit Q100	Altezza critica per portata con tempo di ritorno 100 anni
WS Q200	Quota pelo libero per portata con tempo di ritorno 200 anni
Crit Q200	Altezza critica per portata con tempo di ritorno 200 anni
Ground	Fondo alveo
Levee	Argine
Bank sta	Ciglio alveo

Tabella 6: Significato grandezze in legenda ai grafici di output di HEC-RAS

⁵ Chow, V.T. (1959) Open Channel Hydraulics. McGraw-Hill, New York.

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTO FIUME SALTO**

N° Documento: 03857-PPL-RE-101-0109	Foglio 17 di 46	Rev.: 00	N° documento Cliente: AT-RE-109
--	--------------------	-------------	------------------------------------

CORSI D'ACQUA MINORI (Larghezza del pelo libero in piena < 30m)	Minimo	Normale	Massimo
Corsi d'acqua di pianura			
1. Pulito, diritto, 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 7: Valori caratteristici di scabrezza $[s/m^{1/3}]$, (Chow, 1959)

RIFACIMENTO METANODOTTO CHIETI-RIETI DN400 (16") DP 24 bar E OPERE CONNESSE				
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO FIUME SALTO				
N° Documento:	Foglio	Rev.:		N° documento Cliente:
03857-PPL-RE-101-0109	18 di 46	00		AT-RE-109

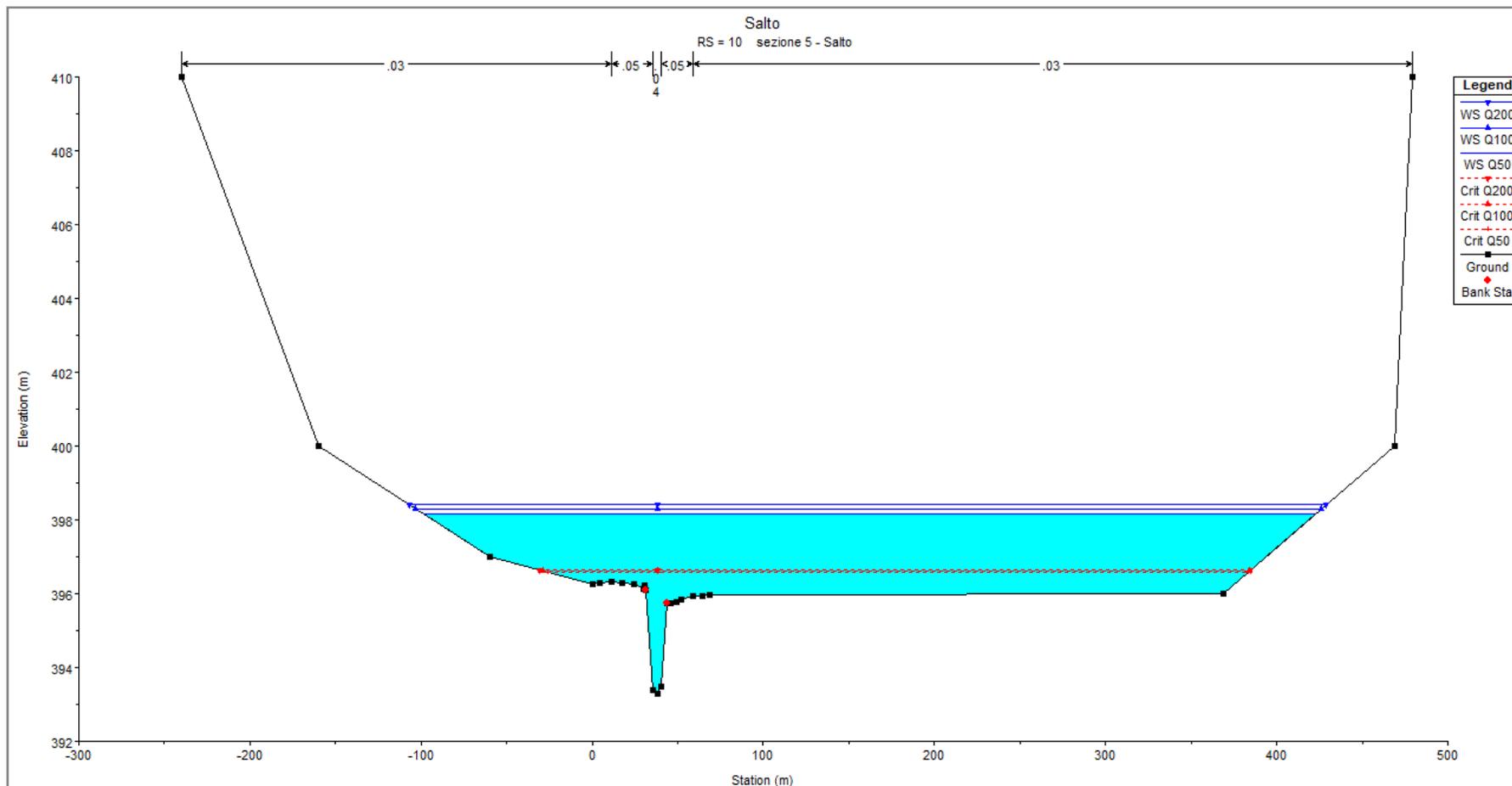


Figura 8: **RS=10** - Sezione trasversale a valle dell'attraversamento n. 55 del nuovo metanodotto – stato di progetto

RIFACIMENTO METANODOTTO CHIETI-RIETI DN400 (16") DP 24 bar E OPERE CONNESSE			
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO FIUME SALTO			
N° Documento:	Foglio	Rev.:	N° documento Cliente:
03857-PPL-RE-101-0109	19 di 46	00	AT-RE-109

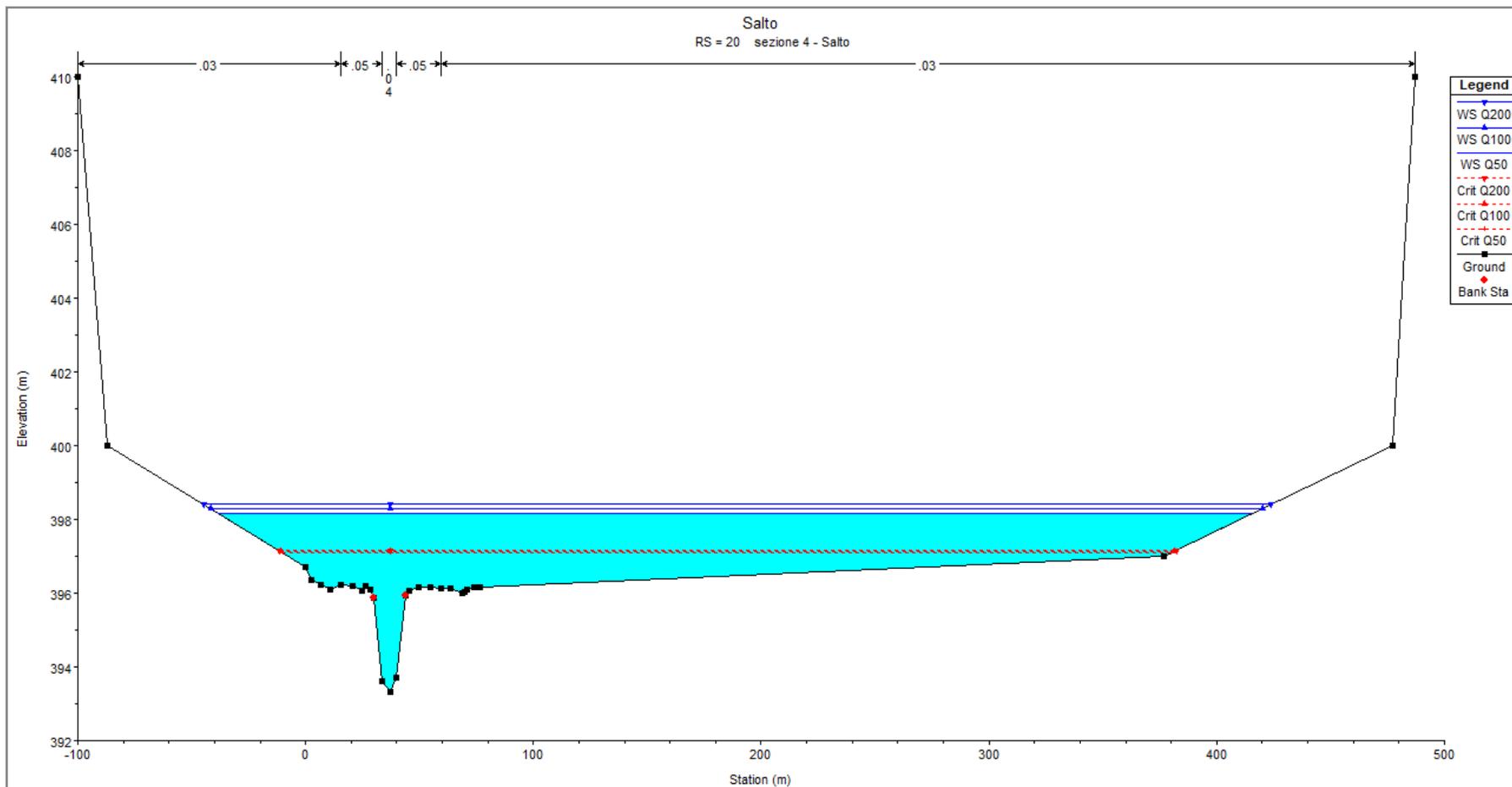


Figura 9: **RS=20** - Sezione trasversale a valle dell'attraversamento n. 55 del nuovo metanodotto – stato di progetto

RIFACIMENTO METANODOTTO CHIETI-RIETI DN400 (16") DP 24 bar E OPERE CONNESSE				
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO FIUME SALTO				
N° Documento:	Foglio	Rev.:		N° documento Cliente:
03857-PPL-RE-101-0109	20 di 46	00		AT-RE-109

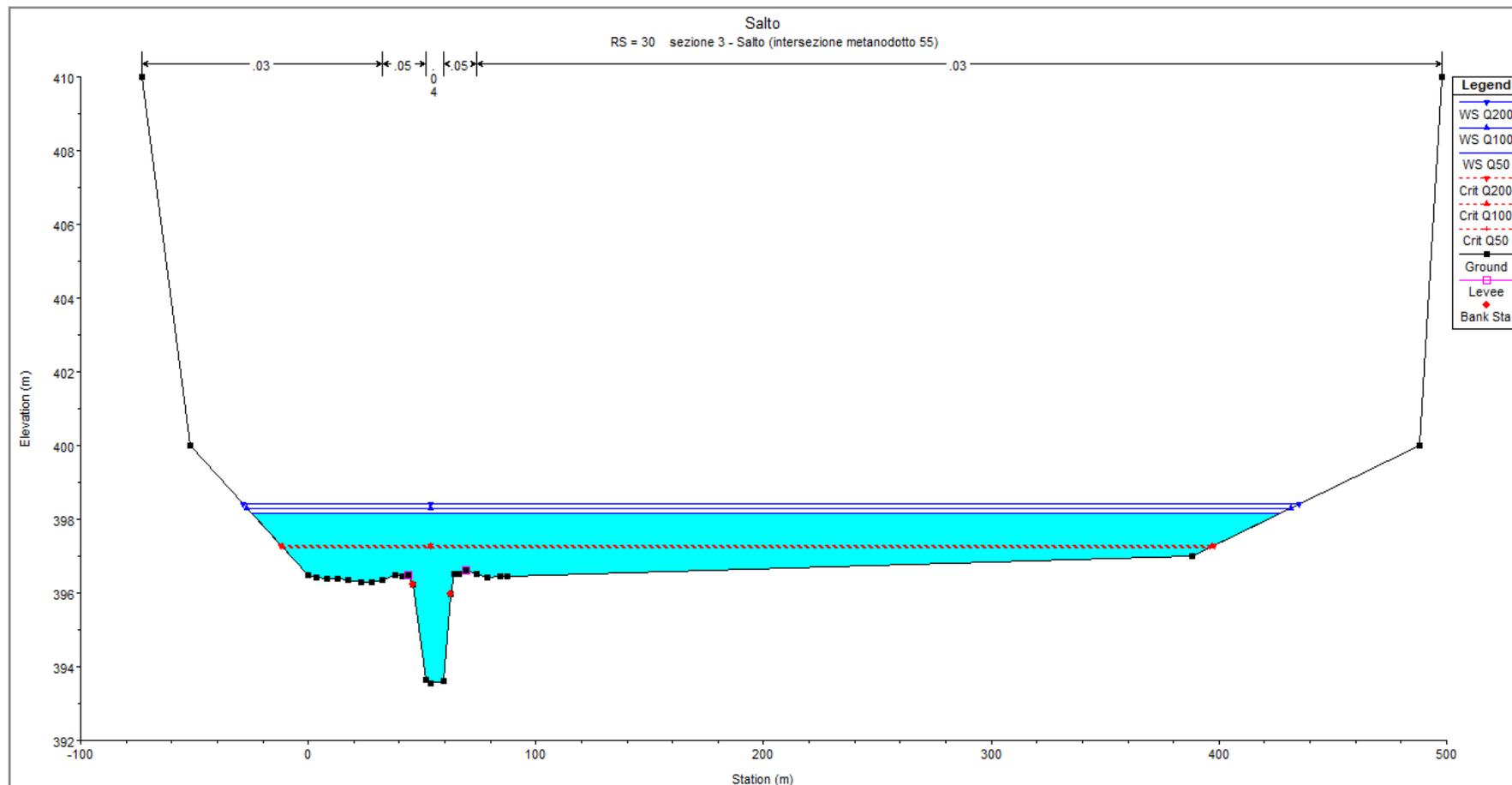


Figura 10: **RS=30** - Sezione trasversale a valle dell'attraversamento n. 55 del nuovo metanodotto – stato di progetto

RIFACIMENTO METANODOTTO CHIETI-RIETI DN400 (16") DP 24 bar E OPERE CONNESSE					
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO FIUME SALTO					
N° Documento: 03857-PPL-RE-101-0109	Foglio 21 di 46	Rev.:			N° documento Cliente: AT-RE-109
		00			

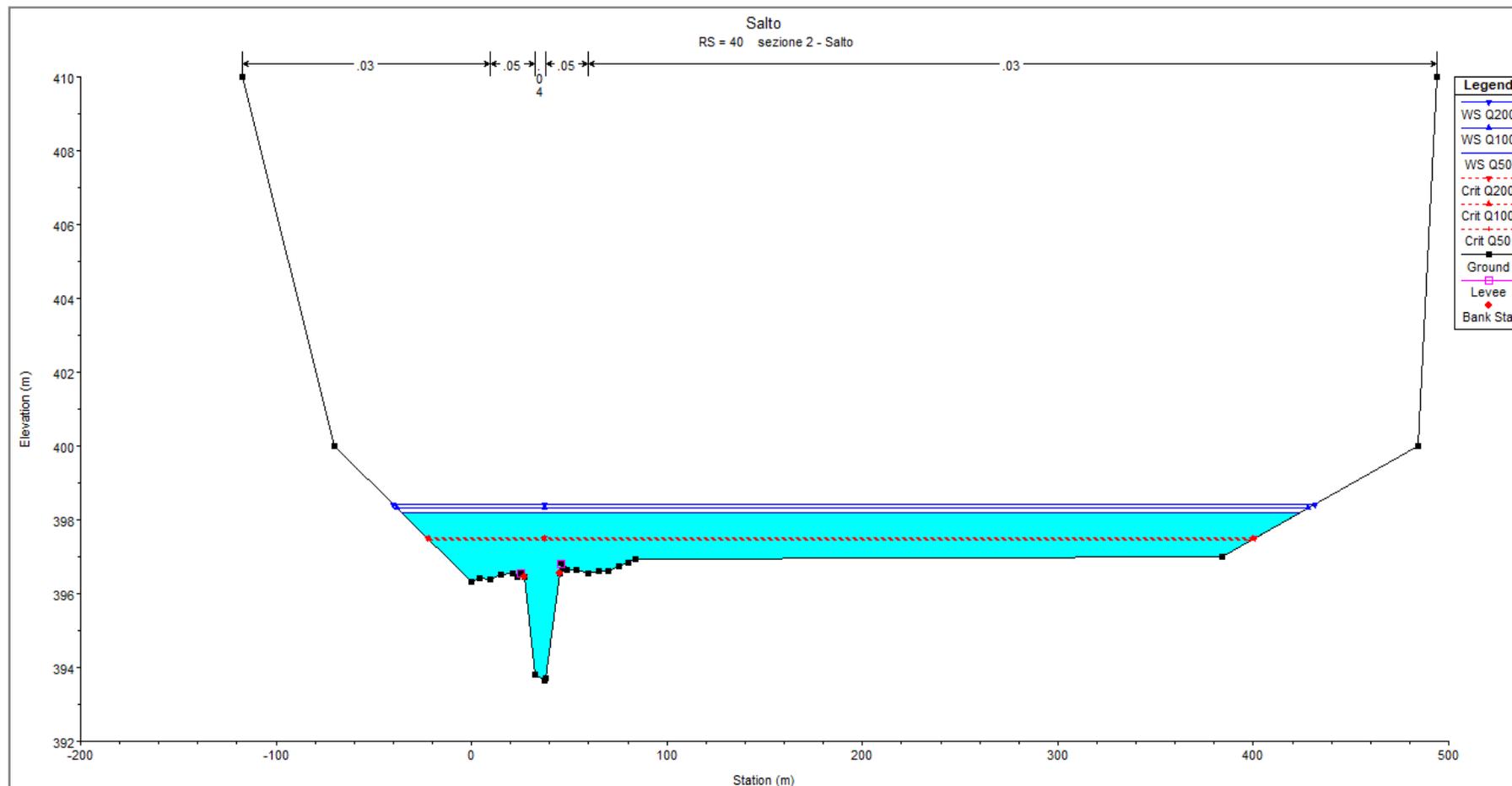


Figura 11: **RS=40** - Sezione trasversale in corrispondenza dell'attraversamento n. 55 del nuovo metanodotto – stato di progetto

RIFACIMENTO METANODOTTO CHIETI-RIETI DN400 (16") DP 24 bar E OPERE CONNESSE				
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO FIUME SALTO				
N° Documento:	Foglio	Rev.:		N° documento Cliente:
03857-PPL-RE-101-0109	22 di 46	00		AT-RE-109

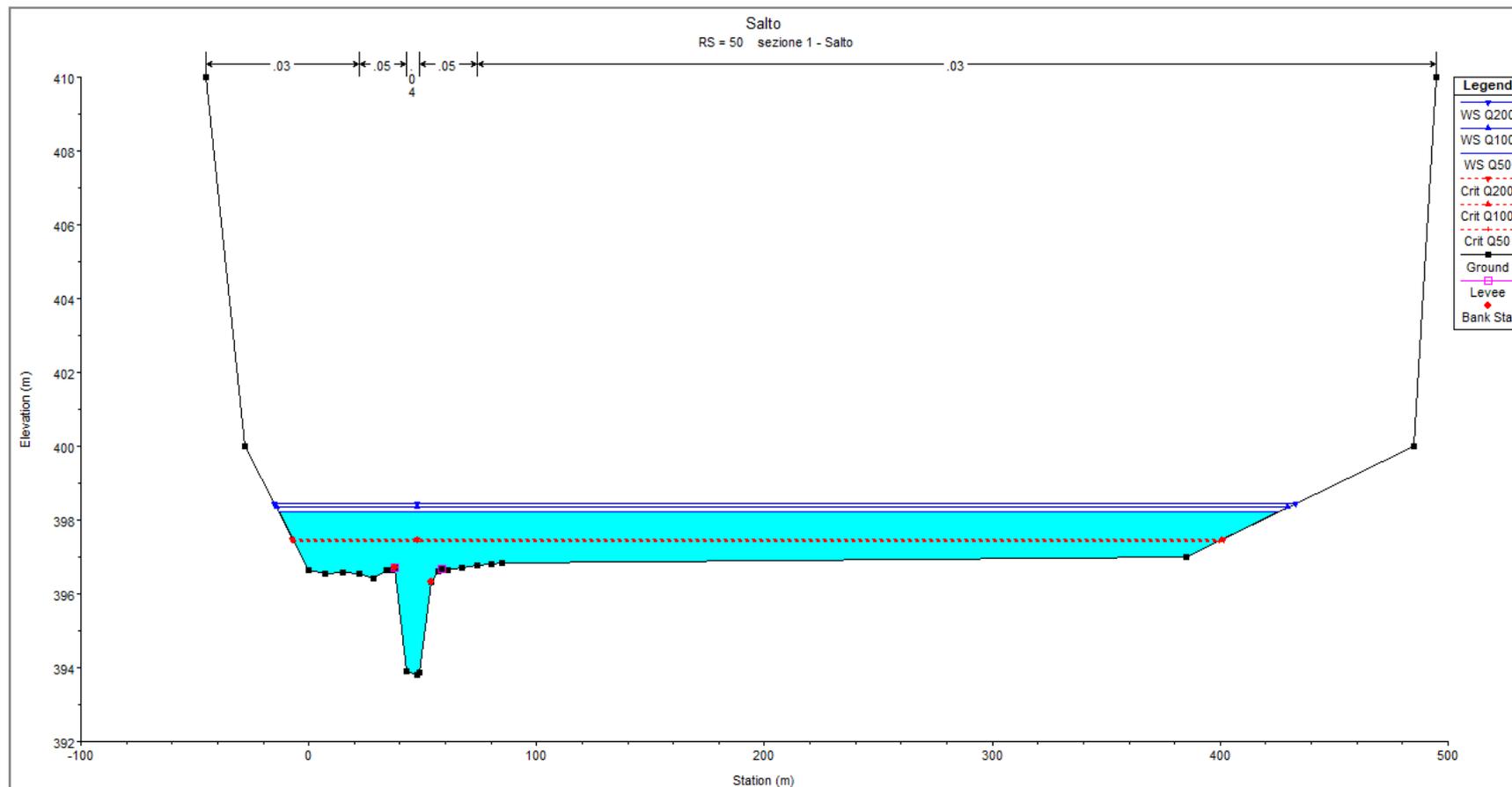


Figura 12: **RS=50** - Sezione trasversale a monte dell'attraversamento n. 55 del nuovo metanodotto – stato di progetto

RIFACIMENTO METANODOTTO CHIETI-RIETI DN400 (16'') DP 24 bar E OPERE CONNESSE				
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO FIUME SALTO				
N° Documento:	Foglio	Rev.:	N° documento Cliente:	
03857-PPL-RE-101-0109	23 di 46	00	AT-RE-109	

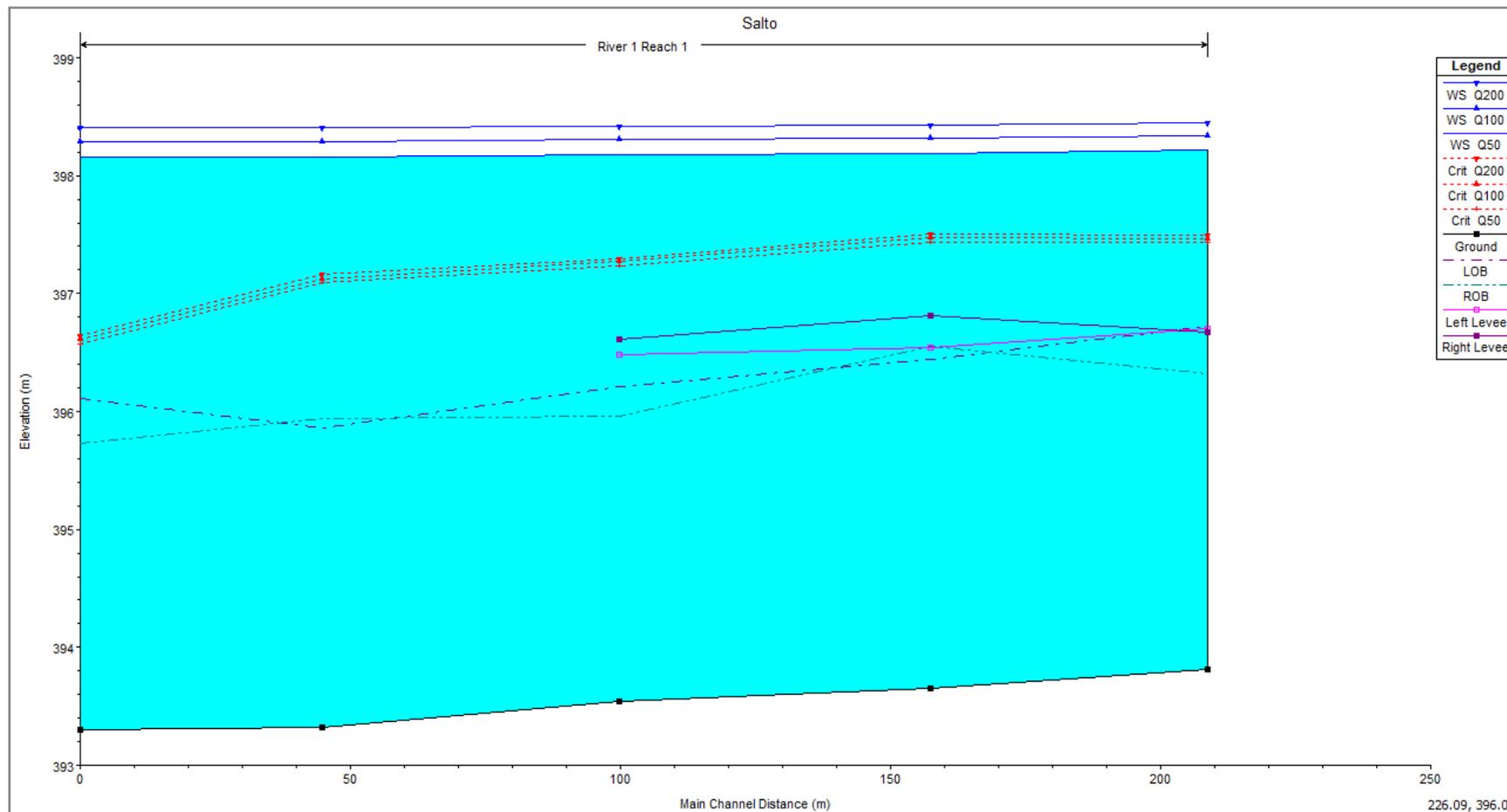


Figura13: Profilo longitudinale del tratto modellato – stato di progetto

RIFACIMENTO METANODOTTO CHIETI-RIETI DN400 (16") DP 24 bar E OPERE CONNESSE												
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO FIUME SALTO												
N° Documento: 03857-PPL-RE-101-0109			Foglio 24 di 46		Rev.: 00			N° documento Cliente: AT-RE-109				

Sezione	TR	Q (m ³ /s)	Quota di fondo (m s.m.)	Quota p. l. (m s.m.)	Quota idr. critica (m s.m.)	Carico totale (m s.m.)	P. linea carichi (m/m)	Velocità (m/s)	Area bagnata (m ²)	Larghezza p.l. (m)	n. Froude	Raggio idr. (m)	Tensione tan. (N/m ²)
50	Q50	491	393.81	398.22	397.43	398.25	0.000483	1.03	588.23	438.71	0.18	1.34	6.33
50	Q100	544	393.81	398.34	397.47	398.38	0.000446	1.01	644.14	443.98	0.17	1.45	6.32
50	Q200	592	393.81	398.45	397.5	398.49	0.000419	1	693.41	448.58	0.17	1.54	6.33
40	Q50	491	393.65	398.19	397.44	398.23	0.000494	1.04	593.85	459.2	0.18	1.29	6.24
40	Q100	544	393.65	398.32	397.47	398.36	0.00045	1.02	653.57	465.97	0.17	1.4	6.17
40	Q200	592	393.65	398.43	397.5	398.47	0.000418	1	706.1	471.84	0.17	1.49	6.12
30	Q50	491	393.54	398.17	397.23	398.2	0.000319	0.92	667.4	452.15	0.15	1.47	4.6
30	Q100	544	393.54	398.3	397.27	398.33	0.0003	0.91	726.74	458.42	0.14	1.58	4.66
30	Q200	592	393.54	398.42	397.3	398.45	0.000287	0.91	778.82	463.85	0.14	1.67	4.71
20	Q50	491	393.32	398.16	397.09	398.19	0.000271	0.85	703.73	453.84	0.14	1.55	4.11
20	Q100	544	393.32	398.29	397.13	398.32	0.000259	0.84	763.72	461.68	0.13	1.65	4.18
20	Q200	592	393.32	398.4	397.16	398.43	0.000249	0.84	816.48	468.47	0.13	1.74	4.25
10	Q50	491	393.3	398.16	396.57	398.17	0.0001	0.51	991.89	521.74	0.08	1.9	1.86
10	Q100	544	393.3	398.29	396.61	398.31	0.0001	0.52	1060.88	529.4	0.08	2	1.96
10	Q200	592	393.3	398.41	396.64	398.42	0.0001	0.53	1121.4	536.03	0.08	2.09	2.05

Tabella 8: Grandezze caratteristiche dei deflussi nel tratto modellato nello stato di progetto (evidenziate in verde le sezioni interessate dagli attraversamenti)

RIFACIMENTO METANODOTTO CHIETI-RIETI DN400 (16") DP 24 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO FIUME SALTO						
N° Documento: 03857-PPL-RE-101-0109	Foglio 25	di	46	Rev.:	00	N° documento Cliente: AT-RE-109

4 DETERMINAZIONE DELLA MASSIMA PROFONDITÀ DI EROSIONE

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

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, dovuta principalmente alla presenza di:

- Caso 1: discontinuità di fondo
- Caso 2: manufatti in alveo (pile, pennelli, briglie, ecc.)
- Caso 3: propagazione di barre alterne
- Caso 4: curve

Di seguito si riportano le equazioni considerate per il calcolo della profondità di erosione per i quattro casi sopra citati:

Caso 1

Per valutare la profondità di erosione S_{max} connessa alla presenza di discontinuità di fondo, che nel caso in esame si può correlare al diverso grado di compattazione tra i terreni dell'alveo indisturbato e quelli interessati dalle operazioni di scavo e rinterro, si utilizzeranno due formulazioni alternative, assumendo poi il valore più cautelativo tra i due calcolati:

a) espressione di Schoklitsch:

$$S_{max} = 0.378 \cdot H^{0.5} \cdot q^{0.35}$$

con H carico totale, $q = \frac{Q}{A/y_u}$ portata specifica, A area bagnata della sezione trasversale, y_u altezza di moto uniforme

b) espressione in funzione dell'altezza idrica di moto uniforme:

$$S_{max} = \frac{y_u}{2}$$

RIFACIMENTO METANODOTTO CHIETI-RIETI DN400 (16") DP 24 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO FIUME SALTO						
N° Documento: 03857-PPL-RE-101-0109	Foglio 26 di 46	Rev.:			N° documento Cliente: AT-RE-109	
		00				

Caso 2

Si valuteranno caso per caso, se presenti, i manufatti in alveo.

Caso 3

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 il parametro β è definito come:

$$\beta = \frac{B_f}{2Y}$$

con B_f larghezza del fondo e Y profondità media della corrente.

I valori di β_c si trovano rappresentati in un grafico sperimentale in funzione della scabrezza relativa D/Y (intesa come rapporto tra il diametro medio dei sedimenti D e la profondità media della corrente Y) e della tensione $\theta = \frac{i_f \cdot R_H}{D \cdot (s-1)}$ di Shields (riportato in Annesso 3), con i_f pendenza di fondo, R_H è il raggio idraulico, s parametro pari a 2.5.

Esistono poi espressioni empiriche per il calcolo della massima altezza di deposito rispetto al fondo della buca di erosione; utilizzando l'espressione di Ikeda:

$$H_{b \max} = 0.18 \cdot Y \cdot \left(\frac{D}{Y}\right)^{0.45} \cdot \beta^{1.45}$$

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

$$\eta_{\max} = (0.50 \div 0.57) \times H_{b \max}$$

Caso 4

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTO FIUME SALTO**

N° Documento: 03857-PPL-RE-101-0109	Foglio 27 di 46	Rev.:	N° documento Cliente: AT-RE-109
		00	

In presenza di una curva pronunciata si possono innescare erosioni di fondo sul lato più esterno della curva. Per valutarne la profondità si utilizzeranno due formulazioni sperimentali, assumendo poi un valore pari alla media dei due calcolati:

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

$$\eta_{max} = Y d_0 \frac{B_f}{4 r_c}$$

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, d_0 è il coefficiente ottenuto dal grafico sperimentale riportato in Annesso 3 in funzione del numero di Shields θ e del rapporto D/Y , con D diametro rappresentativo del sedimento.

b) espressione di Galay et al. (1987): per alvei in ghiaia ed angolo interno intorno tra 60° e 100° pone il tirante idraulico in corrispondenza del gorgo h_g pari a:

$$h_g = Y \cdot \left(0.9 + 3.7 \frac{B_f}{r_c} \right)$$

mentre per angoli al centro inferiori a 60° risulta:

$$h_g = Y \cdot \left(1.2 + \frac{B}{r_c} \right)$$

dove, oltre ai simboli già visti in precedenza, Y è il tirante idrico medio nella sezione di attacco della curva calcolato come rapporto tra l'area bagnata della sezione e la larghezza del pelo libero B .

Da cui la profondità di scavo risulta:

$$h_{scavo} = Y - h_g$$

Il valore di erosione finale da considerare sarà quello maggiore tra i quattro casi sopra descritti.

RIFACIMENTO METANODOTTO CHIETI-RIETI DN400 (16") DP 24 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO FIUME SALTO						
N° Documento: 03857-PPL-RE-101-0109	Foglio 28	di 46	Rev.:	00		N° documento Cliente: AT-RE-109

Su tale valore tuttavia è bene tenere presente che le formule utilizzate, essendo di tipo sperimentale, consentono di determinare l'ordine di grandezza del fenomeno e che pertanto vanno utilizzate con 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

Alla luce di quanto sopra esposto, in considerazione delle caratteristiche di progetto, per questo attraversamento si possono escludere le casistiche di cui ai punti 2, 3 e 4 in quanto nella sezione in esame non sono presenti manufatti in alveo e l'entità dell'eventuale erosione per barre alterne è sicuramente trascurabile.

Si procede quindi ad analizzare il caso 1.

Caso 1

Utilizzando le grandezze caratteristiche del moto determinate al Paragrafo 3.4 e sintetizzate in Tabella per il tempo di ritorno di 200 anni e considerando il fattore di sicurezza pari a 1.30, dall'espressione (a) di Schoklitsch, risulta:

$$S_{max\ buche\ (a)} = 1.30 \times (1.33) = 1.72\ m$$

e dall'espressione (b), per un'altezza d'acqua pari a $398.4 - 393.5 = 4.88\ m$ si ottiene:

$$S_{max\ buche\ (b)} = 1.30 \times \left(\frac{4.88}{2} \right) = 3.17\ m$$

Definizione della profondità di posa per l'attraversamento n. 55

Alla luce dell'analisi effettuata, la profondità minima di posa della condotta dovrebbe risultare non inferiore a **3.17 m**, con un coefficiente di sicurezza di 1.30.

RIFACIMENTO METANODOTTO CHIETI-RIETI DN400 (16") DP 24 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO FIUME SALTO						
N° Documento: 03857-PPL-RE-101-0109	Foglio 29 di 46		Rev.: 00			N° documento Cliente: AT-RE-109

5 VERIFICA DI STABILITÀ DELLA SOGLIA NEI CONFRONTI DELL'AZIONE DELLA CORRENTE

La verifica viene condotta secondo due diverse modalità, ed in particolare utilizzando la teoria di Shields per la verifica della stabilità del rivestimento sul fondo alveo (considerato in piano) e considerando invece l'azione delle tensioni di trascinamento (ricavate dalla modellazione e riportate in tabella 8) sui singoli elementi in pietra disposti in inclinato, trascurando, a favore di sicurezza, l'azione di mutuo incastro tra i massi stessi.

Verifica di stabilità del materiale di rivestimento sul fondo alveo

Le formule che mettono in relazione la portata idraulica del corso d'acqua, le sue caratteristiche fisiche e geometriche con le caratteristiche del materiale di fondo in moto incipiente, ovvero quello che si trova in condizioni di equilibrio limite, sono le seguenti:

$$\Phi_{crit} = \gamma h_u i / (\gamma_s - \gamma) d = 0,056 \quad \text{formula di Shields per } Re > 400$$

$$Q_u = K_s (Bh) h_u^{2/3} i \quad \text{formula di Gauckler Strickler per moto uniforme}$$

Dove:

- Φ_{crit} tensione tangenziale critica
- γ peso specifico del liquido (acqua)
- γ_s peso specifico del sedimento
- i pendenza del fondo alveo
- h_u altezza di moto uniforme
- d diametro del materiale costituente il fondo alveo ovvero costituente il rivestimento in massi di progetto
- Q_u portata di moto uniforme
- K_s coefficiente di scabrezza di Gauckler Strickler

RIFACIMENTO METANODOTTO CHIETI-RIETI DN400 (16") DP 24 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO FIUME SALTO						
N° Documento: 03857-PPL-RE-101-0109		Foglio 30 di 46		Rev.: 00		N° documento Cliente: AT-RE-109

B larghezza dell'alveo

Mettendo a sistema le due equazioni si può ottenere una qualsiasi delle variabili in funzione delle altre grandezze. In particolare, nel caso in esame, vogliamo pertanto ricavare il diametro del masso che si trova nella condizione di moto incipiente con la portata di progetto.

La formula diventa:

$$d = (Q^{6/7} i_c)^{7/10} / ((B K_s)^{3/5} (\gamma_s - \gamma) / \gamma) 0.056$$

Da cui si ricava per l'attraversamento in oggetto:

i	0.004	m/m
Q	592	m ³ /s
B	7.88	m
γ_s	2.2	t/m ³
γ	1	t/m ³
n	0.03	s/m ^{1/3}
diámetro limite	0.51	m
Fattore sicurezza	1.4	
Diámetro di progetto	0,71	m

Tabella 9: Verifica del diametro limite dei massi da utilizzare per il rivestimento di fondo alveo

Si ricava pertanto che con la portata di tempo di ritorno 200 anni calcolata al paragrafo precedente, sono in equilibrio limite i massi con diametro pari a 0,51 m.

Adottando un coefficiente di sicurezza di 1,4, il diametro dei massi di progetto dovrà risultare non inferiore a 0,71 m.

Verifica di stabilità del materiale di rivestimento delle sponde

Per la verifica della pezzatura degli elementi costituenti la scogliera, assunti pari ad un volume non inferiore a 0,7 m³, corrispondente ad un diametro della sfera equivalente di 1,1 m, si procede, in funzione della pendenza della sponda, con i

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTO FIUME SALTO**

N° Documento: 03857-PPL-RE-101-0109	Foglio 31 di 46	Rev.:	N° documento Cliente: AT-RE-109
		00	

criteri dell'equilibrio limite, tenendo conto della correzione per la stabilità su sponda inclinata. A favore di sicurezza, nei calcoli dei successivi sottoparagrafi, è stata assunta un'inclinazione teorica delle sponde della scogliera di 45°, che risulta sempre maggiore di quella che verrà effettivamente realizzata in opera.

Il diametro equivalente così calcolato deve essere aumentato per ottenere un coefficiente di sicurezza sufficiente, tenendo comunque presente che la formula non tiene conto dell'effetto stabilizzante dovuto al mutuo incastro degli elementi in pietra.

Stevens et al. (1976), dall'analisi dei momenti delle forze agenti sull'elemento solido, giungono alle seguenti espressioni utili per la determinazione del diametro d'equilibrio su sponda inclinata e quindi per la valutazione dell'opportunità di realizzare scogliere in massi di forma tondeggianti alla rinfusa.

$$\sigma = \frac{21 \tau}{\left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1\right) \gamma d_m} = \frac{0.3 u_r^2}{\left(\frac{\gamma_s}{\gamma} - 1\right) g d_m}$$

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{\cos \lambda}{\frac{2 \sin \theta}{\sigma \tan \phi} + \sin \lambda} \right)$$

$$\frac{\sigma'}{\sigma} = \frac{1 + \sin(\lambda + \beta)}{2}$$

$$C_s = \frac{\cos \theta \tan \phi}{\sigma' \tan \phi + \sin \theta \cos \beta}$$

in cui:

d_m è il diametro del masso;

C_s è il coefficiente di sicurezza al ribaltamento del masso rispetto al punto P di rotazione (rapporto tra il momento risultante delle forze stabilizzanti e il momento risultante delle forze ribaltanti);

RIFACIMENTO METANODOTTO CHIETI-RIETI DN400 (16") DP 24 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO FIUME SALTO						
N° Documento: 03857-PPL-RE-101-0109		Foglio 32 di 46		Rev.: 00		N° documento Cliente: AT-RE-109

θ è l'angolo della pendenza adottata per la scarpata;

ϕ è l'angolo di riposo in acqua dei massi;

β è l'angolo che la direzione di caduta del masso forma con la linea di massima pendenza della scarpata;

λ è l'angolo diedro tra il piano orizzontale e il piano inclinato costituente il fondo dell'alveo ($\tan \lambda = i$, pendenza del fondo);

σ e σ' sono i cosiddetti numeri di stabilità del masso rispettivamente su sponda inclinata ed orizzontale ($\theta = 0$);

τ è l'azione di trascinamento sul masso;

u_r è la velocità della corrente contro il masso.

La velocità u_r può essere desunta dalla legge logaritmica di distribuzione della velocità sulla verticale y in un moto assolutamente turbolento (Keulegan, 1938):

$$u(y) = 2.5 u^* \ln \left(30.2 \frac{y}{d_m} \right)$$

in cui $u^* = \sqrt{\tau/\rho}$

Integrando l'equazione precedente sulla verticale si ottiene per la velocità media \bar{u} della corrente:

$$\bar{u} = 2.5 u^* \ln \left(12.3 \frac{y_0}{d_m} \right)$$

in cui y_0 è il tirante idrico.

Ammettendo che la velocità u_r sia corrispondente alla profondità $y = d_m$, dalle formulazioni si ottiene l'espressione:

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTO FIUME SALTO**

N° Documento: 03857-PPL-RE-101-0109	Foglio 33 di 46	Rev.:	N° documento Cliente: AT-RE-109
		00	

$$\frac{u_r}{\bar{u}} = \frac{3.4}{\ln(12.3 \frac{y_0}{d_m})}$$

da utilizzare per il calcolo di u_r , avendo precedentemente determinato, con i criteri esposti, la velocità media \bar{u} e la profondità y_0 .

È però importante ricordare che le equazioni in oggetto valgono per profondità relative $y_0/d_m > 6$;

nel caso invece in cui la scabrezza sia macroscopica ($y_0/d_m < 6$) e conseguentemente molto alta la turbolenza e l'aerazione della corrente, si può assumere in via pratica:

$$u_r = \bar{u}$$

In definitiva, le espressioni precedenti consentono di verificare la stabilità di una scogliera. Dati infatti la dimensione d_m dei massi, l'angolo di scarpata θ , l'angolo di riposo ϕ , calcolata la velocità u_r e la sua direzione, applicando in successione le formulazioni elencate si giunge a calcolare il coefficiente di sicurezza C_S .

Se $C_S > 1$ la scogliera ha sufficiente stabilità; se $C_S = 1$ l'equilibrio è al limite; se $C_S < 1$, la scogliera è soggetta a franamento.

Per una buona sicurezza si assume che C_S sia almeno pari a 1.1.

DATI			
λ	=	0.004	[m/m]
θ	=	45	[gradi]
γ_s/γ	=	2.5	
d_m	=	1.1	m
ϕ'	=	55	[gradi]
Q	=	126.8	m ³ /s
y_0	=	4.88	m
v_0	=	0.91	m/s

RISULTATI			
y_0/d_m	=	4.44	
$u_r(1)$	=	0.77	m/s

RIFACIMENTO METANODOTTO CHIETI-RIETI DN400 (16") DP 24 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO FIUME SALTO						
N° Documento: 03857-PPL-RE-101-0109	Foglio 34 di 46		Rev.: 00			N° documento Cliente: AT-RE-109

$u_r(2)$	=	0.91	m/s
u_r	=	0.91	m/s
σ	=	0.02	
β	=	0.02	[rad]
σ'	=	0.01	
C_S	=	1.4	
Verifica superata			

Tabella 9: Verifica secondo Stevens della stabilità della scogliera

Dove il significato dei simboli utilizzati è descritto in precedenza. Come si può vedere la verifica risulta soddisfatta per un'inclinazione della scogliera pari a 45° e per un diametro equivalente dei massi pari a 1,1 m.

In alternativa, per la verifica della stabilità dei massi sulle sponde si può procedere considerando invece l'azione delle tensioni di trascinamento ricavate dalla modellazione e riportate in Tabella 8 sui singoli elementi in pietra, trascurando, a favore di sicurezza, l'azione di mutuo incastro tra i massi stessi.

Il progetto prevede l'utilizzo di massi di natura "calcareo, basaltica, granitica o trachitica" con una pezzatura non inferiore a 0,7 mc, corrispondente ad un peso indicativo (minimo):

$$P = 0,7 \cdot 2200 = 1540 \text{ kg}$$

In caso di piena, il peso immerso risulta:

$$P_i = 1540 - 1000 \cdot 0,7 = 840 \text{ kg}$$

RIFACIMENTO METANODOTTO CHIETI-RIETI DN400 (16") DP 24 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO FIUME SALTO						
N° Documento: 03857-PPL-RE-101-0109	Foglio 35 di 46		Rev.:			N° documento Cliente: AT-RE-109
			00			

L'inclinazione di progetto della sponda in massi sull'orizzontale risulta non superiore a 45° per cui la forza ortogonale al piano di appoggio ⁶ risulterà:

$$P_i \cos 45^\circ = 594 \text{ kg}$$

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:

$$F_s = 594 * 0,7 = 415,77 \text{ kg} = 4157,7 \text{ N}$$

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

Il diametro della sfera equivalente al volume di progetto è $d = 1,11 \text{ m}$, la corrispondente superficie esposta all'acqua risulterà quindi $S = \pi * d^2 = 3,87 \text{ mq}$.

Moltiplicando tale valore per la tensione tangenziale massima desumibile dalle Tabella 8 (si assume a favore di sicurezza la tensione tangenziale massima dell'intero tratto modellato, corrispondente a quella della sez. 50 per Tr200 anni, pari a 6,33 N/mq) risulta:

$$F_d = \tau * S = 6,33 * 3,87 = 24,49 \text{ N}$$

Poiché $F_s \gg 1,4 F_d$ la verifica è soddisfatta.

A favore di sicurezza e per facilitare le attività di cantiere tutto il rivestimento verrà realizzato con massi di pezzatura non inferiore a 0,7 mc.

⁶L'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 CHIETI-RIETI DN400 (16") DP 24 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO FIUME SALTO						
N° Documento:	Foglio		Rev.:			N° documento Cliente:
03857-PPL-RE-101-0109	36	di 46	00			AT-RE-109

6 CONCLUSIONI

Il presente studio ha lo scopo di valutare l' idoneità della profondità di posa della nuova condotta in corrispondenza dell' attraversamento in subalveo del Salto che, si ricorda, verrà eseguito con scavo a sezione obbligata con una profondità dalla quota più depressa di fondo alveo di 4.80 m con successiva realizzazione di una soglia protettiva in massi sul fondo e sulle sponde dell' alveo inciso, in modo da proteggere la condotta dall' azione erosiva delle correnti.

Le verifiche condotte hanno evidenziato che la profondità di posa prevista idonea a garantire il corretto ricoprimento della condotta per un tempo superiore alla vita utile delle opere.

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.

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTO FIUME SALTO**

N° Documento:

03857-PPL-RE-101-0109

Foglio

37 di 46

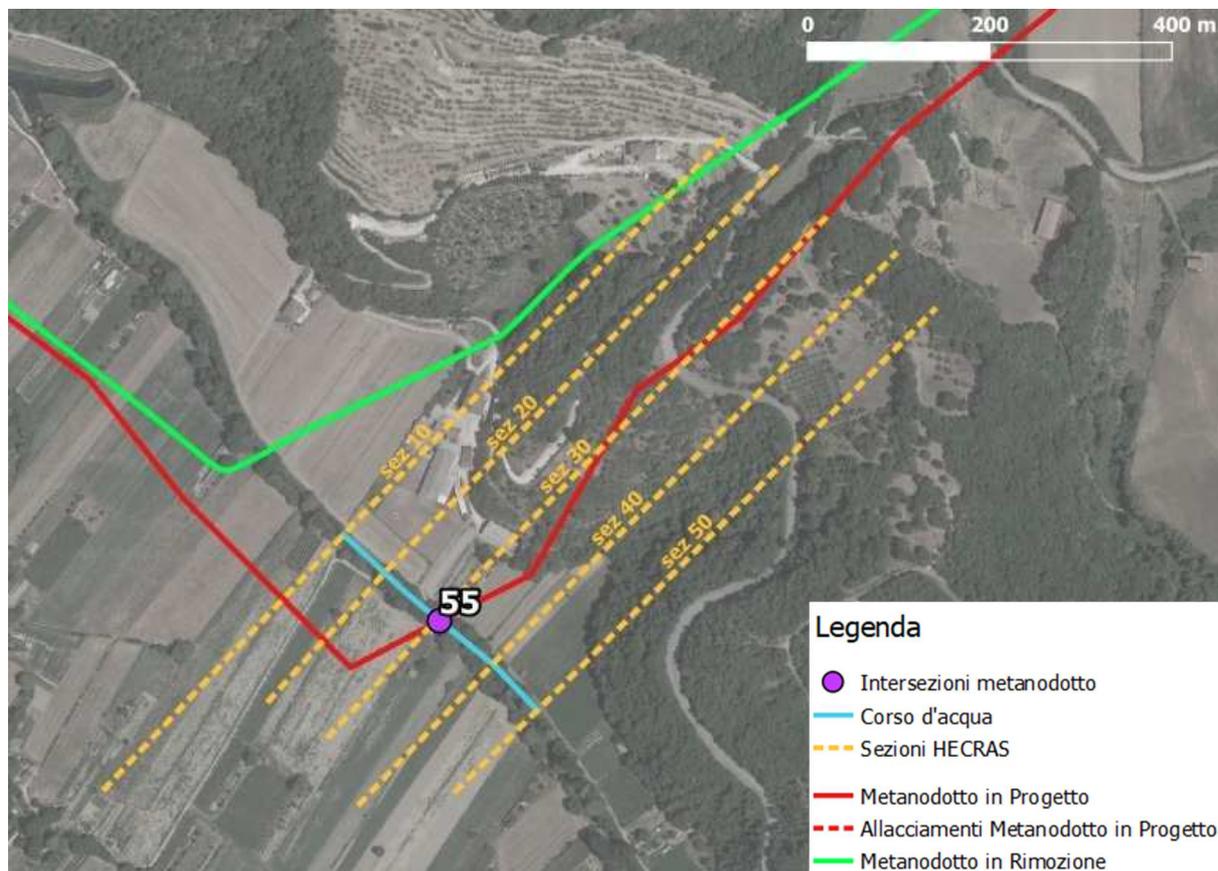
Rev.:

00

N° documento Cliente:

AT-RE-109

ANNESSO 1: STRALCIO PLANIMETRICO DEL TRATTO MODELLATO



Tratto modellato in HEC-RAS, con relativi codici numerici delle sezioni trasversali inserite

RIFACIMENTO METANODOTTO CHIETI-RIETI DN400 (16") DP 24 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO FIUME SALTO						
N° Documento: 03857-PPL-RE-101-0109	Foglio 38	di	46	Rev.:	00	N° documento Cliente: AT-RE-109

ANNESSO 2: GENERALITÀ SUL MODELLO HEC-RAS

Il software di calcolo utilizzato è denominato HEC-RAS(versione 5.0.7) 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.

È 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.

RIFACIMENTO METANODOTTO CHIETI-RIETI DN400 (16") DP 24 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO FIUME SALTO						
N° Documento: 03857-PPL-RE-101-0109	Foglio 39	di	46	Rev.:	00	N° documento Cliente: AT-RE-109

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 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, ecc.) 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.

RIFACIMENTO METANODOTTO CHIETI-RIETI DN400 (16") DP 24 bar E OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO FIUME SALTO						
N° Documento: 03857-PPL-RE-101-0109	Foglio	40	di	46	Rev.:	N° documento Cliente: AT-RE-109
					00	

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 torrente 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 torrente principale;
- larghezza del pelo libero;
- 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.

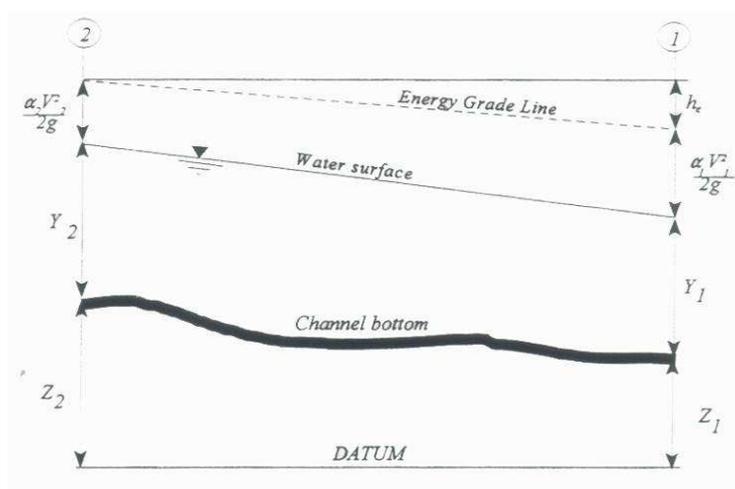
Calcolo del profilo di moto permanente

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

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTO FIUME SALTO**

N° Documento: 03857-PPL-RE-101-0109	Foglio 41 di 46	Rev.: 00	N° documento Cliente: AT-RE-109
--	--------------------	-------------	------------------------------------

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;

h_e : perdita di carico;

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTO FIUME SALTO**

N° Documento: 03857-PPL-RE-101-0109	Foglio 42 di 46	Rev.:	N° documento Cliente: AT-RE-109
		00	

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 torrente 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	CONTRACTION	EXPANSION
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

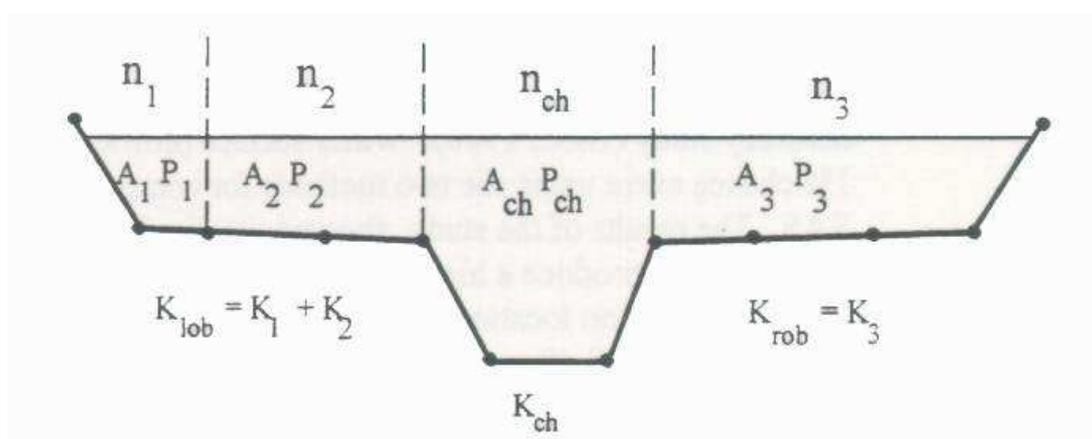
**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTO FIUME SALTO**

N° Documento: 03857-PPL-RE-101-0109	Foglio 43 di 46	Rev.: 00	N° documento Cliente: AT-RE-109
--	--------------------	-------------	------------------------------------

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 torrente 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;

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTO FIUME SALTO**

N° Documento: 03857-PPL-RE-101-0109	Foglio 44 di 46	Rev.:	N° documento Cliente: AT-RE-109
		00	

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:

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

dove:

A_t : area totale di deflusso per la sezione trasversale;

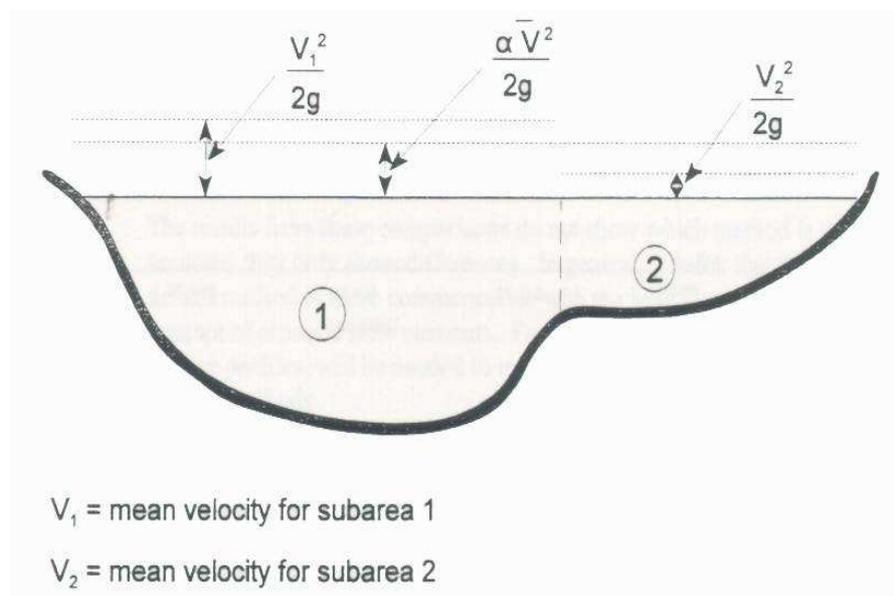
A_{lob} , A_{ch} , A_{rob} : area di deflusso per golena sinistra, torrente principale, golena destra;

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

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

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTO FIUME SALTO**

N° Documento: 03857-PPL-RE-101-0109	Foglio 45 di 46	Rev.: 00	N° documento Cliente: AT-RE-109
--	--------------------	-------------	------------------------------------



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

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
 ATTRAVERSAMENTO FIUME SALTO**

N° Documento:

03857-PPL-RE-101-0109

Foglio

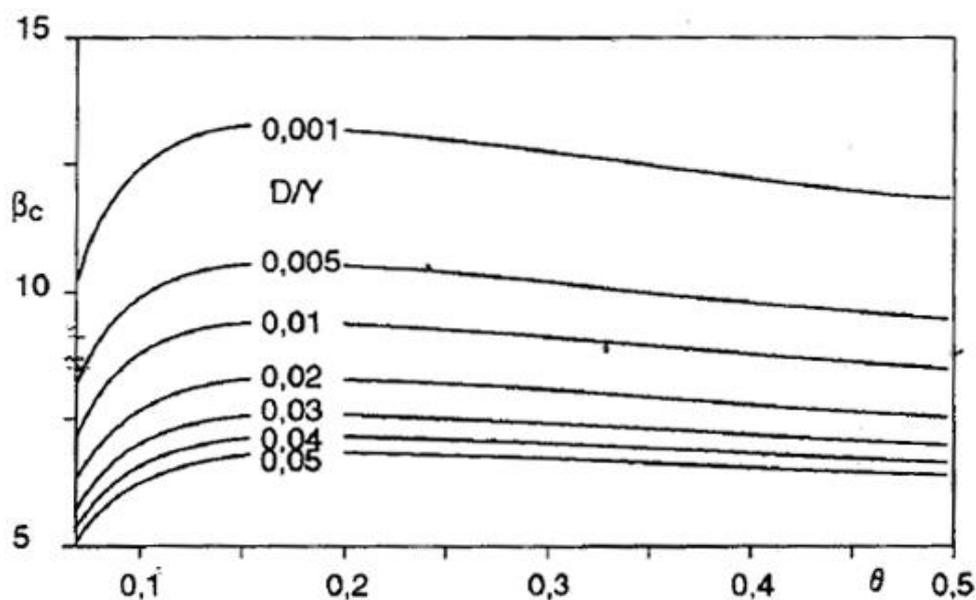
46 di 46

Rev.:

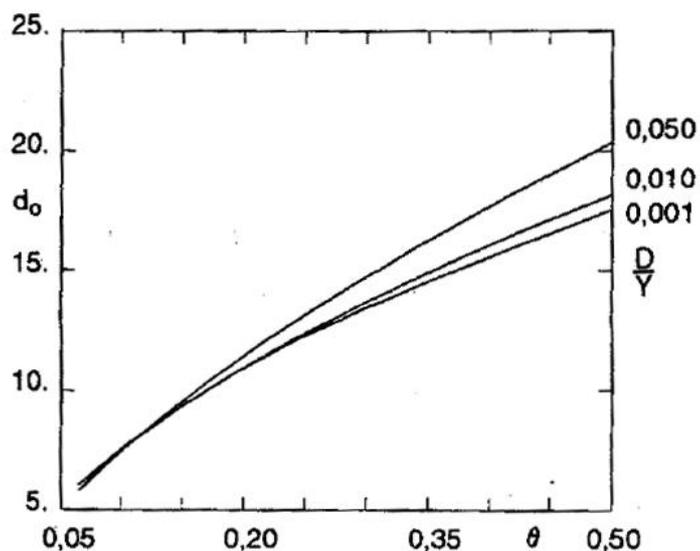
00

N° documento Cliente:

AT-RE-109

ANNESSE 3: TABELLE DI LETTERATURA
Grafico per il calcolo del parametro β_c per l'erosione da barre alterne


con β_c valore critico del parametro β , D diametro dei sedimenti, Y altezza idrica media, θ parametro di Shields

Grafico per il calcolo del coefficiente d_0 per l'erosione in curva


con D diametro dei sedimenti, Y altezza idrica media, θ parametro di Shields