

Contraente: 	Progetto: RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE		Cliente: 
	N° Contratto : N° Commessa :		
N° documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 1 di 81	Data 31-05-2023	N° documento Cliente: REL-CI-09104

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI**

00	31-05-2023	EMISSIONE		VANNI	STROPPIA
REV	DATA	TITOLO REVISIONE		PREPARATO	CONTROLLATO
				MONTONI	APPROVATO

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI**

N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 2 di 81	Rev.:	N° documento Cliente: REL-CI-09104
		00	

INDICE

1	PREMESSA E CARATTERISTICHE GENERALI.....	3
2	CARATTERISTICHE DELLE OPERE IN PROGETTO	7
3	STUDIO IDROLOGICO-IDRAULICO	9
3.1	Individuazione del bacino idrografico.....	9
3.2	Analisi idrologica e determinazione della portata al colmo di piena.....	12
3.3	Studio idraulico	22
	Modellazione attraversamento n. 1	25
	Modellazione attraversamenti n. 2 e 3.....	36
4	DETERMINAZIONE DELLA MASSIMA PROFONDITÀ DI EROSIONE	66
5	CONCLUSIONI.....	71
	ANNESSO 1: STRALCIO PLANIMETRICO DEL TRATTO MODELLATO	72
	ANNESSO 2: GENERALITÀ SUL MODELLO HEC-RAS	74
	Descrizione del modello di simulazione idraulica.....	74
	Calcolo del profilo di moto permanente.....	76
	ANNESSO 3: TABELLE DI LETTERATURA	81
	Grafico per il calcolo del parametro β_c per l'erosione da barre alterne	81
	Grafico per il calcolo del coefficiente d_0 per l'erosione in curva	81

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI**

N° Documento:
P22IT04321-PPL-RE-100-004

Foglio
3 di 81

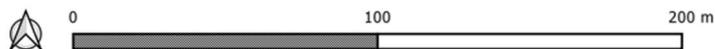
Rev.:

00

N° documento Cliente:
REL-CI-09104

1 PREMESSA E CARATTERISTICHE GENERALI

La presente relazione è finalizzata alla determinazione delle caratteristiche idrologiche-idrauliche del torrente Foci, necessarie per la verifica della profondità di posa in subalveo della nuova condotta in acciaio DN 400 (16") DP75 bar, finalizzata al rifacimento del metanodotto esistente DN200 MOP75 bar, che attraverserà il corso d'acqua in tre punti, come evidenziato negli stralci planimetrici riportati di seguito.



Legenda

metanodotto in progetto

metanodotto esistente

area impianti di progetto

reticolo idrografico

intersezione metanodotto di progetto

Figura 1: Planimetria della zona dell'attraversamento n. 1 del torrente Foci.

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI**

N° Documento:
P22IT04321-PPL-RE-100-004

Foglio
4 di 81

Rev.:
00

N° documento Cliente:
REL-CI-09104

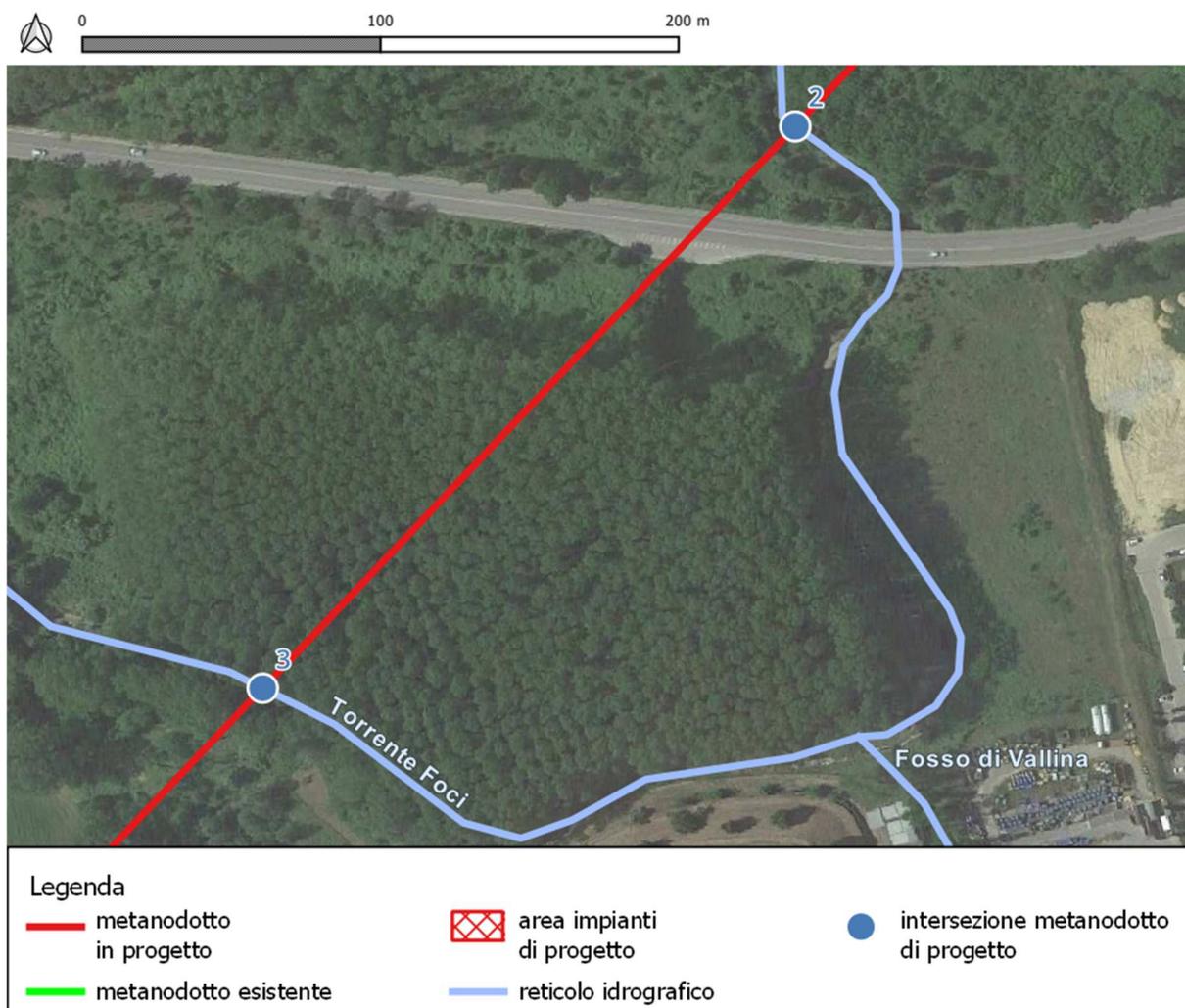


Figura 2: Planimetria della zona dell'attraversamento n. 2 e 3 del torrente Foci.

Il torrente Foci viene attraversato dall'opera in progetto (Intervento n. 8a) alle seguenti progressive chilometriche:

numero attraversamento	progressiva chilometrica
1	9+105
2	9+881
3	10+141

Tabella 1: Progressive chilometriche associate agli attraversamenti del metanodotto di 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.

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI**

N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 5 di 81	Rev.:	N° documento Cliente: REL-CI-09104
		00	



Figura 3: Vista del corso d'acqua in corrispondenza del primo attraversamento di progetto.



Figura 4: Vista del corso d'acqua in corrispondenza del secondo attraversamento di progetto.

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI**

N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 6 di 81	Rev.:	N° documento Cliente: REL-CI-09104
		00	



Figura 5: Vista del corso d'acqua in corrispondenza del terso attraversamento di progetto.

A tal fine è stata eseguita una specifica modellazione idraulica dei seguenti tratti d'alveo per una lunghezza ritenuta significativa in considerazione delle dimensioni dell'alveo inciso nelle varie sezioni di attraversamento:

numero attraversamento	lunghezza di modellazione (m)
1	110
2	780
3	

Tabella 2: Lunghezza dei tratti modellati idraulicamente.

Per le modellazioni sono stati utilizzati i valori di portata ricavati secondo la metodologia riportata al successivo 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 riportate nella tabella riepilogativa n.9.

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

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE			
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 7 di 81	Rev.:	N° documento Cliente: REL-CI-09104
		00	

2 CARATTERISTICHE DELLE OPERE IN PROGETTO

Nella seguente tabella si riassumono le modalità e le profondità di posa della nuova condotta rispetto al punto più depresso del fondo alveo definite sulla base dei risultati dello studio di cui ai seguenti paragrafi tenendo comunque conto delle necessità realizzative connesse alla tecnologia utilizzata:

numero attraversamento	Modalità di attraversamento	Profondità di posa della tubazione * (m)	Elaborato grafico di riferimento
1	no dig (trivellazione orizzontale controllata)	8,05	DIS-AT-09112
2	no dig (trivellazione orizzontale controllata) **	23,65	DIS-AT-09113
3	no dig (trivellazione orizzontale controllata) **	18,75	DIS-AT-09113

Note:

(*) rispetto al punto più depresso dell'alveo

(**) attraversamenti eseguiti nella stessa trivellazione orizzontale controllata

Tabella 3: Modalità di attraversamento dei corpi idrici e profondità di posa.

Come si può notare, in tutti i casi la modalità di attraversamento prevista è del tipo no dig, il che comporta che la sezione fluviale non viene in alcun modo interessata dai lavori di scavo, di conseguenza non sono previste operazioni di ripristino.

Di seguito si riportano stralci degli elaborati grafici di riferimento, relativi agli attraversamenti in oggetto.

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI**

N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 8 di 81	Rev.:	N° documento Cliente: REL-CI-09104
--	-------------------	-------	---------------------------------------

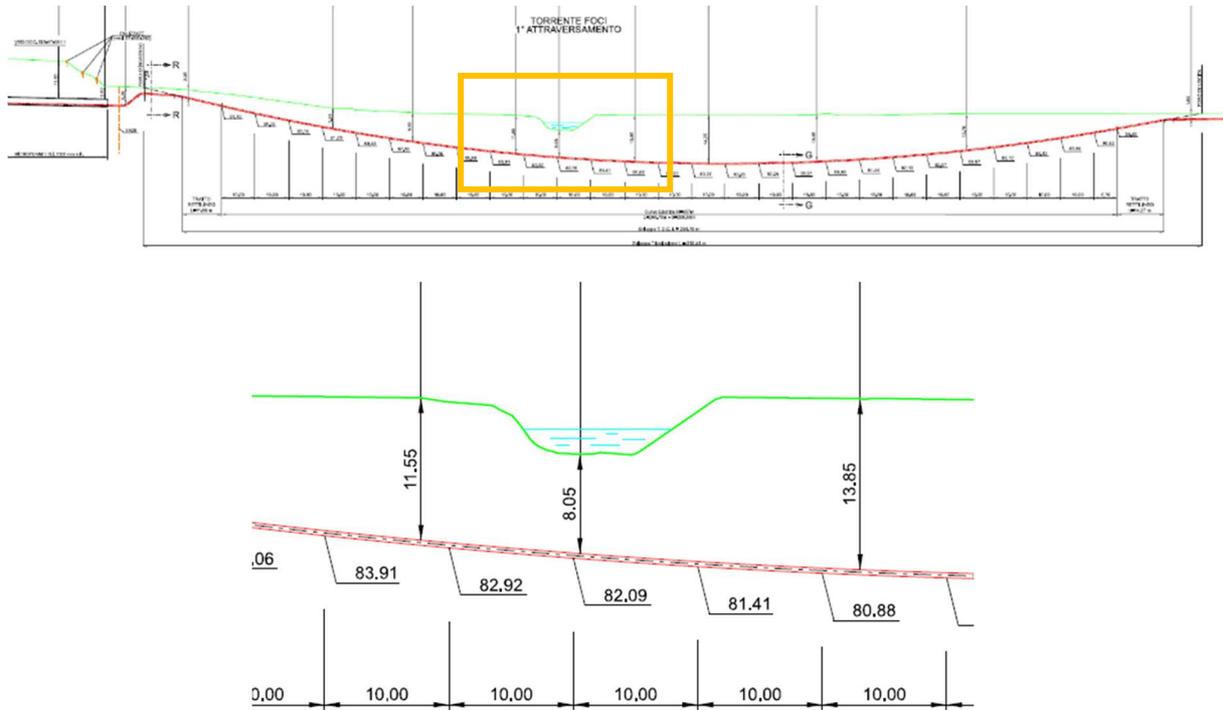


Figura 6: Attraversamento torrente Foci (n.1) - Sezione schematica di progetto.



Figura 7: Attraversamenti torrente Foci (n.2 e 3) - Sezioni schematiche di progetto.

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE			
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 9 di 81	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09104

3 STUDIO IDROLOGICO-IDRAULICO

Poichè il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) non fornisce le portate al colmo di piena per il torrente Foci, si è proceduto calcolando i valori di portata alla sezione di interesse utilizzando il metodo del *Curve Number*.

È stato innanzi tutto definito il bacino idrografico secondo la metodologia riportata al successivo paragrafo 3.1 ed utilizzando il procedimento di calcolo indicato al successivo paragrafo 3.2.

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 20×20m fornito dal Geoportale Nazionale (MATTM)^[1] tramite i software QGIS^[2] e SAGA^[3].

Partendo da questo DEM, a seguito del pre-processamento tramite il codice di calcolo "fillsinks" (SAGA), è stato possibile determinare il reticolo idrografico principale dei bacini tramite il codice "strahlerorder" (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 cartografia di base IGM 1:25.000^[4].

Nelle figure seguenti si riportano i bacini idrografici così ottenuti con sezione di chiusura posta in corrispondenza dei singoli attraversamenti di progetto.

¹ MATTM, Geoportale Nazionale, http://wms.pcn.minambiente.it/wcs/dtm_20m

² QGIS Development Team, 2019. QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project. <http://qgis.osgeo.org>

³ Conrad, 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.

⁴ Ministero dell'Ambiente, Geoportale Nazionale, WMS Cartografia di base IGM scala 1:25.000, http://wms.pcn.minambiente.it/ogc?map=ms_ogc/WMS_v1.3/raster/IGM_25000.map

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI**

N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 10 di 81	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09104
--	--------------------	-------------	---------------------------------------

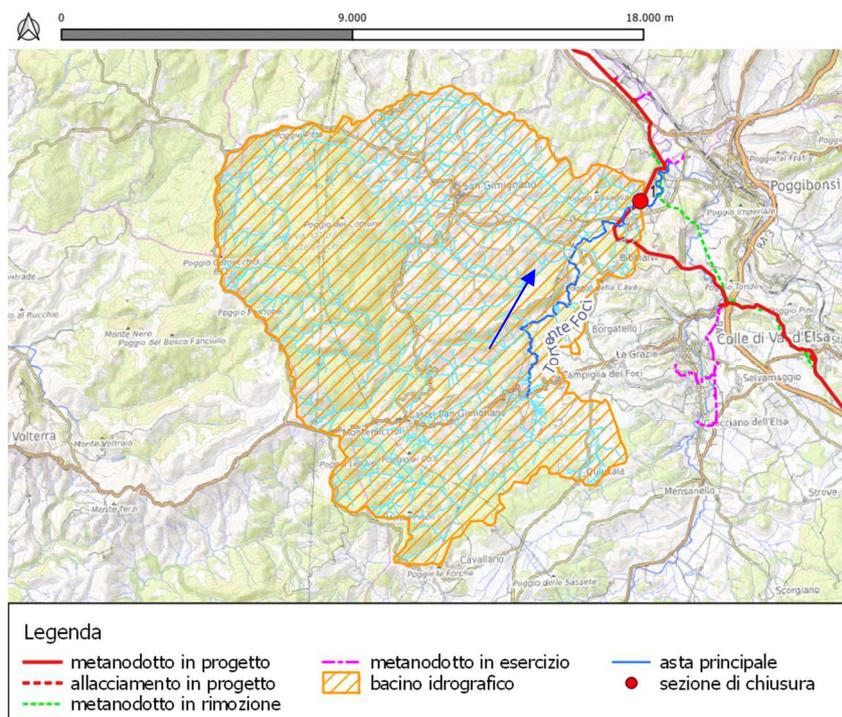


Figura 8: Bacino idrografico del torrente Foci con sezione di chiusura posta in corrispondenza dell'attraversamento n. 1 del metanodotto di progetto.

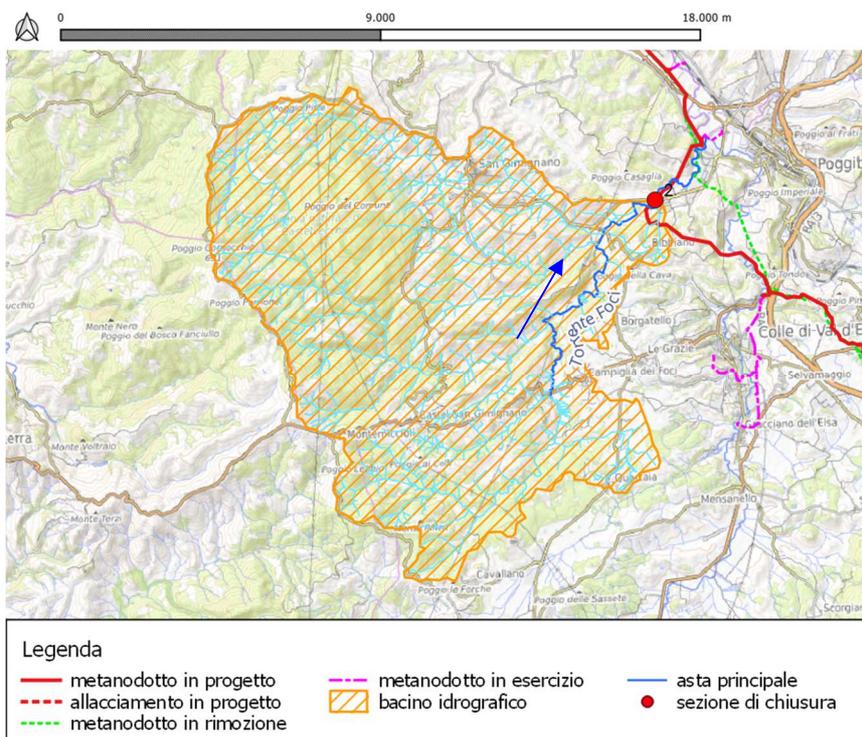


Figura 9: Bacino idrografico del torrente Foci con sezione di chiusura posta in corrispondenza dell'attraversamento n. 2 del metanodotto di progetto.

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI**

N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 11 di 81	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09104
--	--------------------	-------------	---------------------------------------

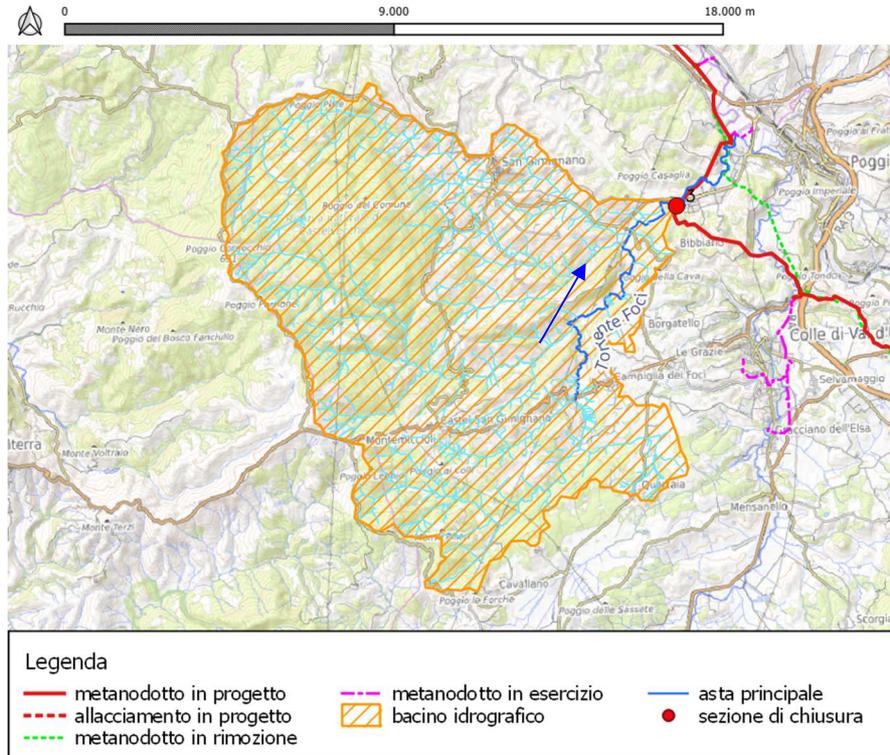


Figura 10: Bacino idrografico del torrente Foci con sezione di chiusura posta in corrispondenza dell'attraversamento n. 3 del metanodotto di progetto.

Per determinare le portate da inserire nei modelli di calcolo, si sono generati i bacini idrografici sottesi alle sezioni di attraversamento e da questi sono stati ricavate le caratteristiche geometriche (superficie, quota massima, media e minima e lunghezza dell'asta principale), riportate in Tabella 4.

Numero intersezione	Lunghezza asta principale [km]	Superficie [km ²]	Quota minima [m s.l.m.]	Quota media [m s.l.m.]	Quota massima [m s.l.m.]
1	21,74	127,28	110,7	296,7	627,0
2	20,95	110,74	112,0	314,0	627,0
3	20,81	109,48	112,7	315,8	627,0

Tabella 4: Caratteristiche geomorfologiche dei bacini relativi alle sezioni di chiusura.

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE			
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 12 di 81	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09104

3.2 Analisi idrologica e determinazione della portata al colmo di piena

La portata al colmo di piena è stata determinata tramite il metodo del *curve number* (CN) sviluppato dall'United States Department of Agriculture (USDA) e definito nel National Engineering Handbook^[5]; tale metodo, nonostante sia stato ideato con riferimento al calcolo per i bilanci idrologici giornalieri, viene ampiamente usato nei modelli afflussi-deflussi anche per l'interpretazione della dinamica temporale delle perdite;^[6] esso si basa sull'approssimazione della curva afflussi-deflussi e sulla conservazione della massa, tramite la formula:

$$\begin{cases} Q = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} & \text{se } P > I_a \\ Q = 0 & \text{se } P \leq I_a \end{cases}$$

dove:

- Q è l'altezza di deflusso cumulata dall'inizio dell'evento (mm)
- P è l'altezza di pioggia cumulata dall'inizio dell'evento (mm)
- I_a è l'altezza di estrazione iniziale (mm)
- S è il massimo potenziale di ritenzione (mm)

L'estrazione iniziale I_a consiste principalmente nell'intercettazione, nell'infiltrazione durante i momenti iniziali dell'evento di pioggia e negli accumuli delle depressioni territoriali presenti. Per la difficoltà di determinazione sperimentale del parametro I_a , viene consigliato di assumerlo come funzione del massimo potenziale di ritenzione S tramite la seguente relazione:

$$I_a = 0,2 \cdot S$$

Quindi si ottiene:

$$\begin{cases} Q = \frac{(P - 0,2 \cdot S)^2}{P + 0,8 \cdot S} & \text{se } P > 0,2 \cdot S \\ Q = 0 & \text{se } P \leq 0,2 \cdot S \end{cases}$$

⁵ USDA-NRCS, National Engineering Handbook, Part 630 Hydrology, 2004
<https://directives.sc.egov.usda.gov/viewerFS.aspx?hid=21422>

⁶ Becciu Gianfranco, Paoletti Alessandro, Fondamenti di costruzioni idrauliche, UTET, 2010, p. 288

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI						
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004		Foglio 13 di 81		Rev.:		N° documento Cliente: REL-CI-09104

Il massimo potenziale di ritenzione S viene poi definito (in mm) in funzione del parametro CN secondo la seguente relazione:

$$S = 254 \cdot \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

Il parametro CN viene fornito in letteratura da tabelle che incrociano l'uso del suolo con il gruppo idrologico del suolo nell'area oggetto di studio.

L'uso del suolo dei bacini oggetto di studio (Figura 11, Figura 12 e Figura 13) è stato ricavato dall'elaborazione dell'ISPRA,^[7] che sul portale SINAnet ha reso disponibile una carta in formato raster 10x10 m che deriva dall'integrazione dei dati di monitoraggio del servizio Corine Land Cover, riferiti al 2012 e dalle banche dati regionali disponibili riferite al periodo 2011-2013. I dati sono stati successivamente aggregati per poter ricavare il CN dalla Tabella 6.

Tipo di copertura per calcolo del CN	Condizione idrologica	Uso del suolo da Corine Land Cover
Colture a filari	Buona	Vigneti
Piccolo grano	Buona	Seminativi
Pascolo, prato o foraggio continuo per allevamento	Media	Foraggiere
Erba di prato continua, protetta da pascoli e generalmente falciata per fieno	Buona	Erbaceo non agricolo
Cespugli e erba, con prevalenza cespugli	Media	Cespuglieti
Combinazione bosco-erba (frutteti o alberi da legno)	Media	Colture permanenti (frutteti, oliveti, arboricoltura da legno)
Boschi	Media	Latifoglie
		Conifere
Distretti residenziali con dimensione media dei lotti di 1335 m ²	30 % di area impermeabile	Superfici artificiali ed edifici
Incolto	-	Suolo nudo, rocce, falesie, rupi, affioramenti
		Corpi idrici permanenti

Tabella 5: Corrispondenza tra uso del suolo determinato tramite elaborazione ISPRA del Corine Land Cover e tipo di copertura presente nella tabella per il calcolo del CN dell'USDA.

⁷ ISPRA, Copertura e uso suolo 2012, <https://groupware.sinanet.isprambiente.it/uso-copertura-e-consumo-di-suolo/library/copertura-del-suolo/carta-di-copertura-del-suolo/versioni-precedenti/ucs/>

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
 ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI

N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 14 di 81	Rev.:	N° documento Cliente: REL-CI-09104
--	--------------------	-------	---------------------------------------

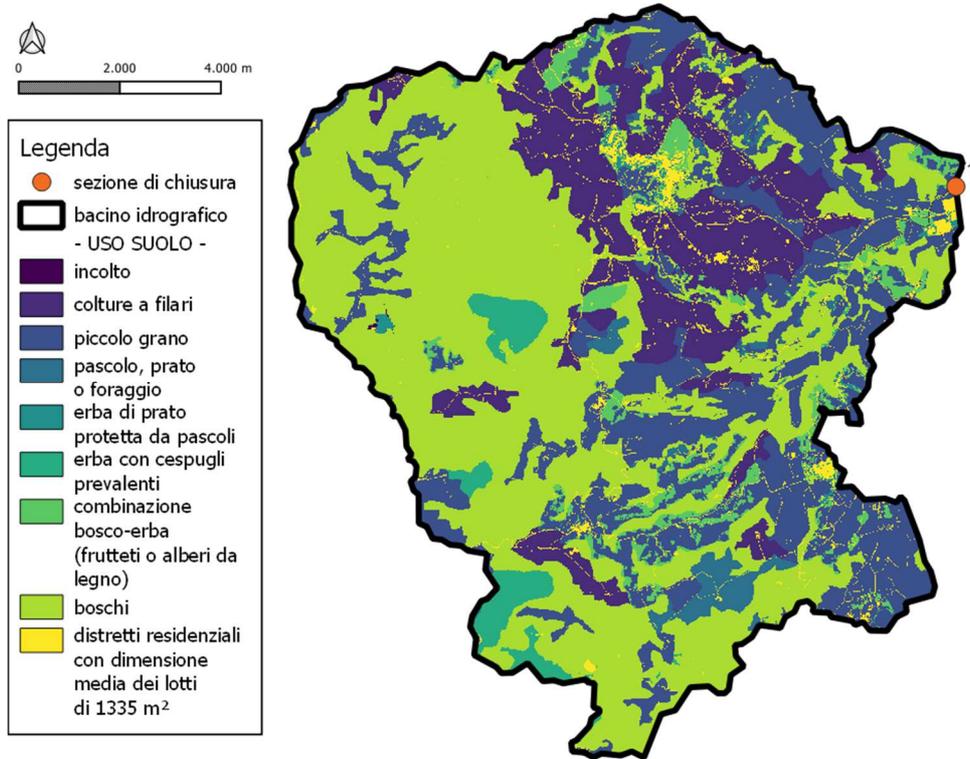


Figura 11: Uso del suolo categorizzato come da Tabella 5 per il bacino 1 del torrente Foci.

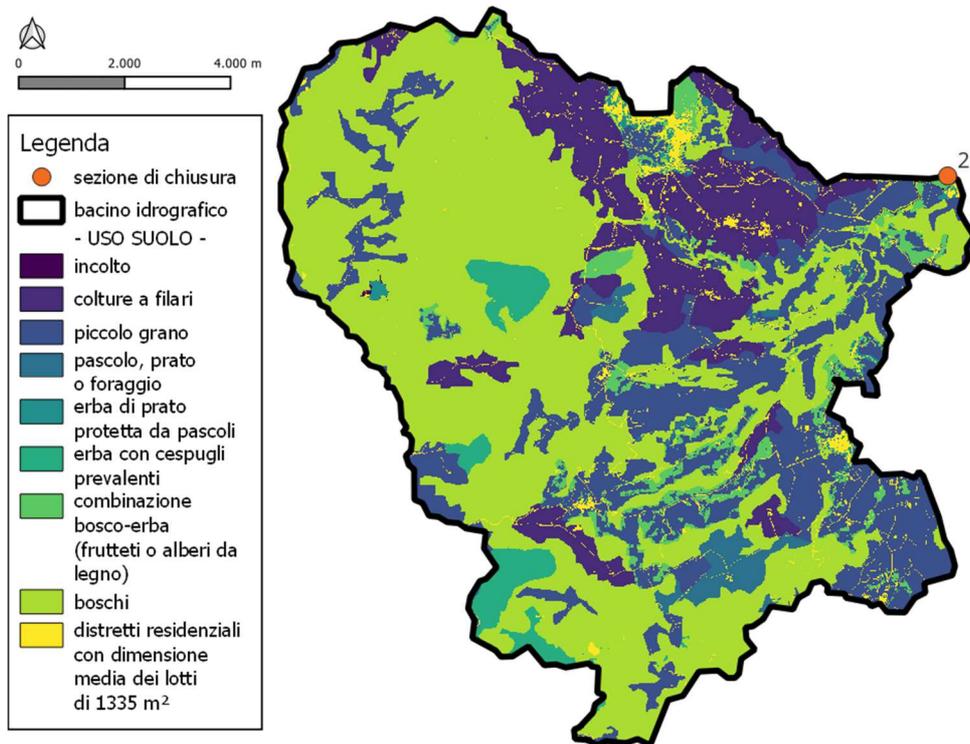


Figura 12: Uso del suolo categorizzato come da Tabella 5 per il bacino 2 del torrente Foci.

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI

N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 15 di 81	Rev.:	N° documento Cliente: REL-CI-09104
--	--------------------	-------	---------------------------------------

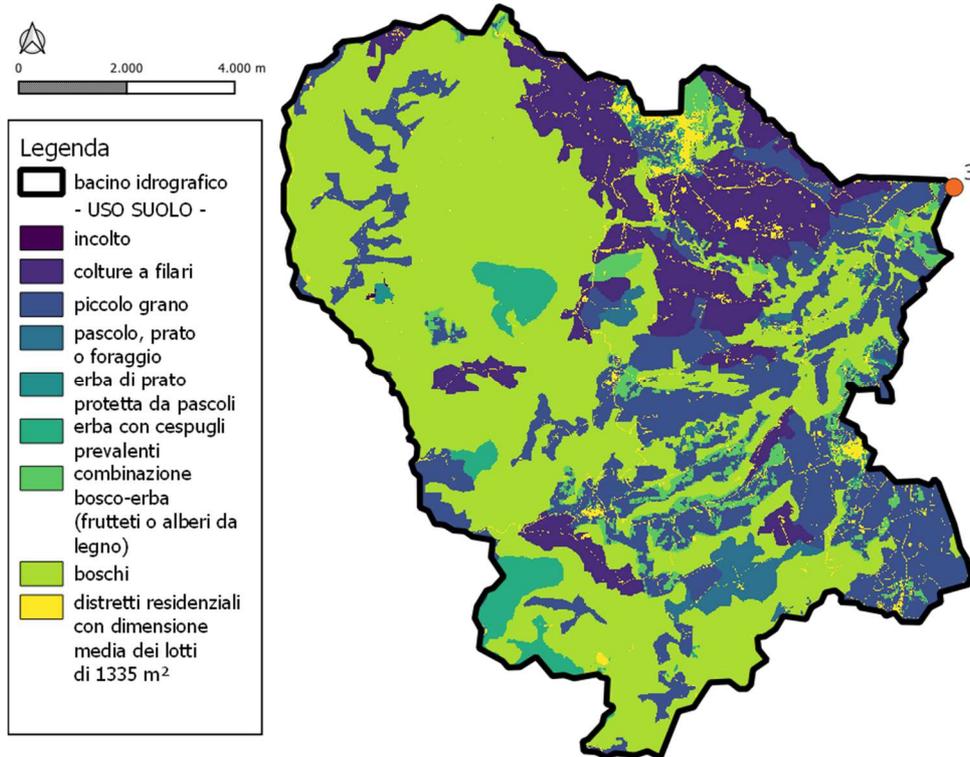


Figura 13: Uso del suolo categorizzato come da Tabella 5 per il bacino 3 del torrente Foci.

I gruppi idrologici dei suoli sono divisi in quattro, noti con le sigle A, B, C e D:

- i suoli del gruppo A hanno un potenziale di deflusso basso quando completamente bagnati, l'acqua è trasmessa liberamente attraverso il suolo, e hanno tipicamente meno del 10% di argilla e più del 90% di sabbia o ghiaia, con tessitura di ghiaia o sabbia;
- i suoli del gruppo B hanno un potenziale di deflusso moderatamente basso quando completamente bagnati, la trasmissione dell'acqua attraverso il suolo non è impedita, e hanno una percentuale di argilla compresa tra il 10% e 20% e una percentuale di sabbia tra il 90% e 50%, con tessitura di sabbia limosa o di limo sabbioso;
- i suoli del gruppo C hanno un potenziale di deflusso moderatamente alto quando completamente bagnati, la trasmissione dell'acqua attraverso il suolo è in qualche modo impedita, e hanno una percentuale di argilla compresa tra il 20% e 40% e una percentuale di sabbia inferiore al 50%, con tessitura di limo o limo argilloso;
- i suoli del gruppo D hanno un potenziale di deflusso alto quando completamente bagnati, la trasmissione dell'acqua attraverso il suolo è ridotta o molto ridotta, e hanno una percentuale di argilla superiore al 40% e una percentuale di sabbia inferiore al 50%, con tessitura argillosa.

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI

N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 16 di 81	Rev.:	N° documento Cliente: REL-CI-09104
--	--------------------	-------	---------------------------------------

I gruppi idrologici dei suoli nel territorio in esame sono stati ottenuti dal file reso disponibile dalla Regione Toscana sull'applicativo webGIS^[8], le aree in assenza di dato, corrispondenti alle aree urbanizzate, sono state supposte appartenenti al gruppo D.

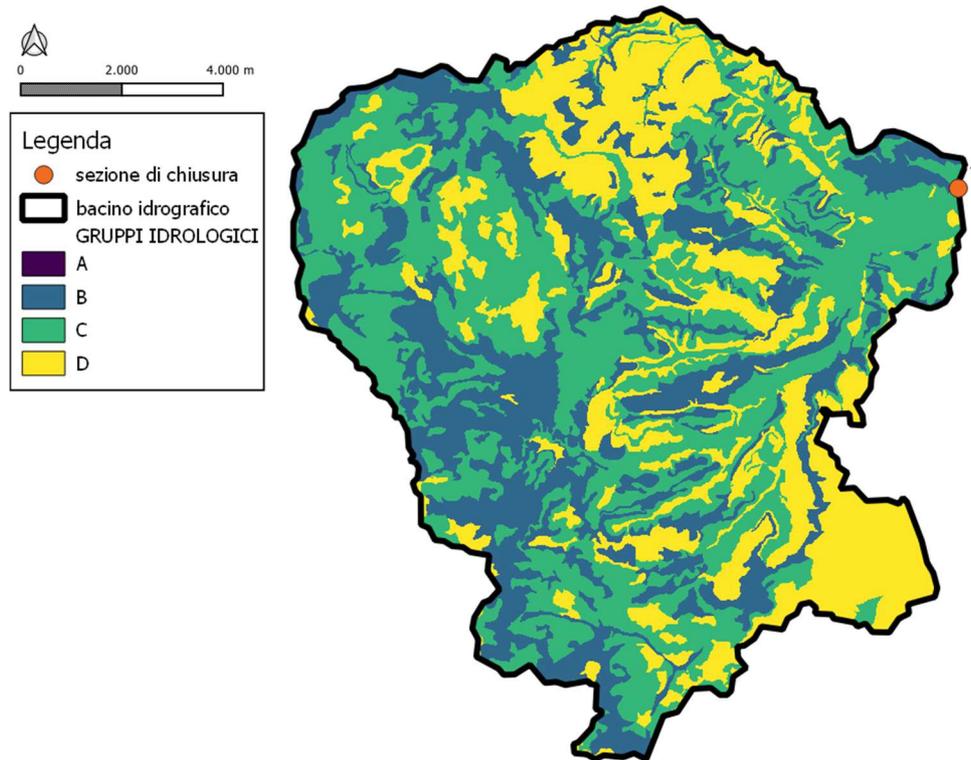


Figura 14: Gruppi idrologici sul bacino 1 del torrente Foci.

⁸ Regione Toscana, Gruppo idrologico USDA,
<http://www502.regione.toscana.it/geoscopio/pedologia.html>

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
 ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI

N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 17 di 81	Rev.:	N° documento Cliente: REL-CI-09104
		00	

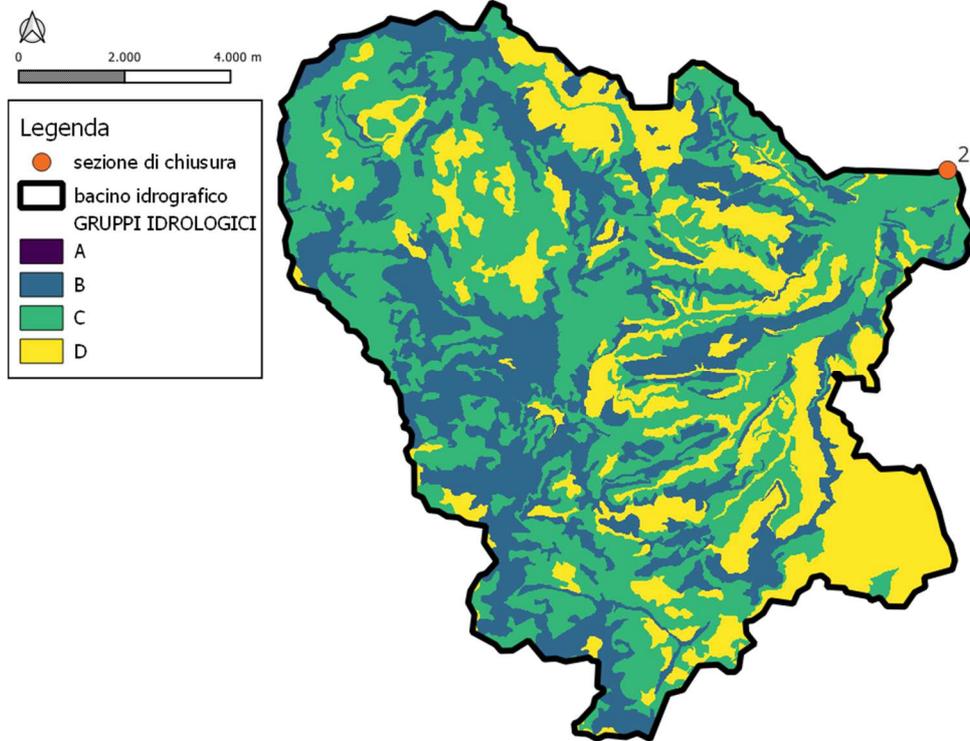


Figura 15: Gruppi idrologici sul bacino 2 del torrente Foci.

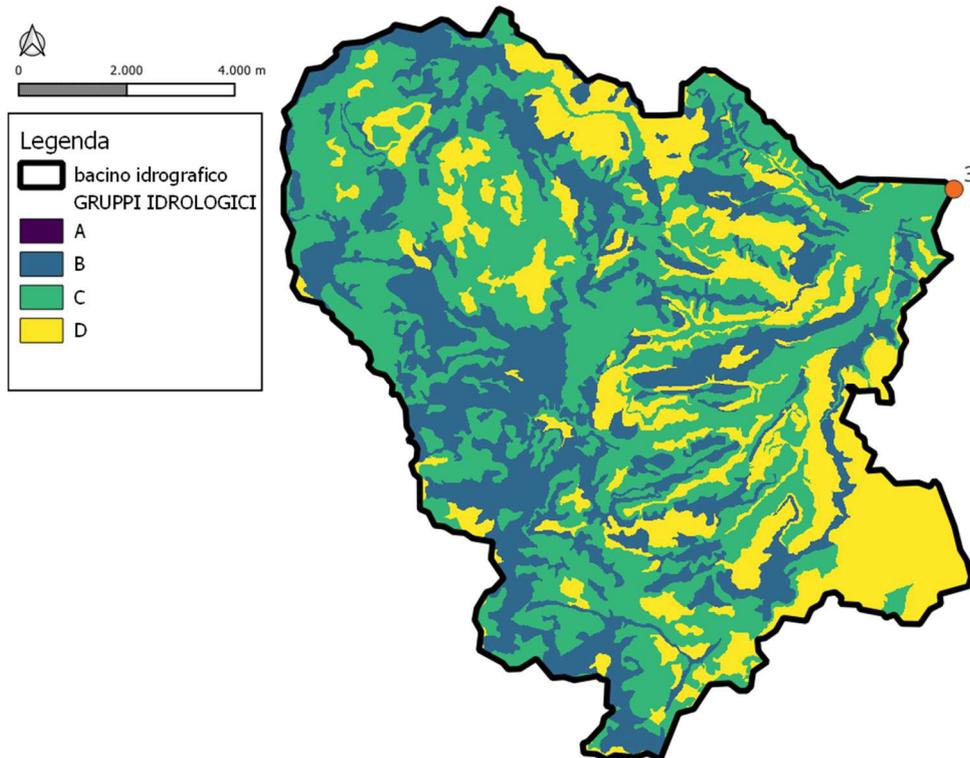


Figura 16: Gruppi idrologici sul bacino 3 del torrente Foci.

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE					
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI					
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004		Foglio 18 di 81		Rev.: 00	
				N° documento Cliente: REL-CI-09104	

La Tabella 6 è stata utilizzata per la determinazione del CN, sulla base dell'uso del suolo e del gruppo idrologico di suolo, adattata sulla base dell'originale riportato nel National Engineering Handbook dell'USDA^[9].

Tipo di copertura	Condizione idrologica	CN per il gruppo idrologico di suolo			
		A	B	C	D
Incolto (suolo nudo)	–	77	86	91	94
Colture a filari	Buona	67	78	85	89
Piccolo grano	Buona	63	75	83	87
Pascolo, prato o foraggio continuo per allevamento	Media	49	69	79	84
Erba di prato continua, protetta da pascoli e generalmente falciata per fieno	Buona	30	58	71	78
Cespugli e erba, con prevalenza cespugli	Media	35	56	70	77
Combinazione bosco-erba (frutteti o alberi da legno)	Media	43	65	76	82
Boschi	Media	36	60	73	79
Distretti residenziali con dimensione media dei lotti di 1335 m ²	30 % di area impermeabile	57	72	81	86

Tabella 6: Tabella per il calcolo del curve number (CN) in funzione del gruppo idrologico di suolo e dell'uso del suolo.

Nelle successive figure si riporta il valore del CN sui bacini oggetto di studio, e il relativo valore mediato.

⁹ USDA-NRCS, National Engineering Handbook, Part 630 Hydrology, 2004
<https://directives.sc.gov.usda.gov/viewerFS.aspx?hid=21422>

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
 ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI

N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 19 di 81	Rev.:				N° documento Cliente: REL-CI-09104
		00				

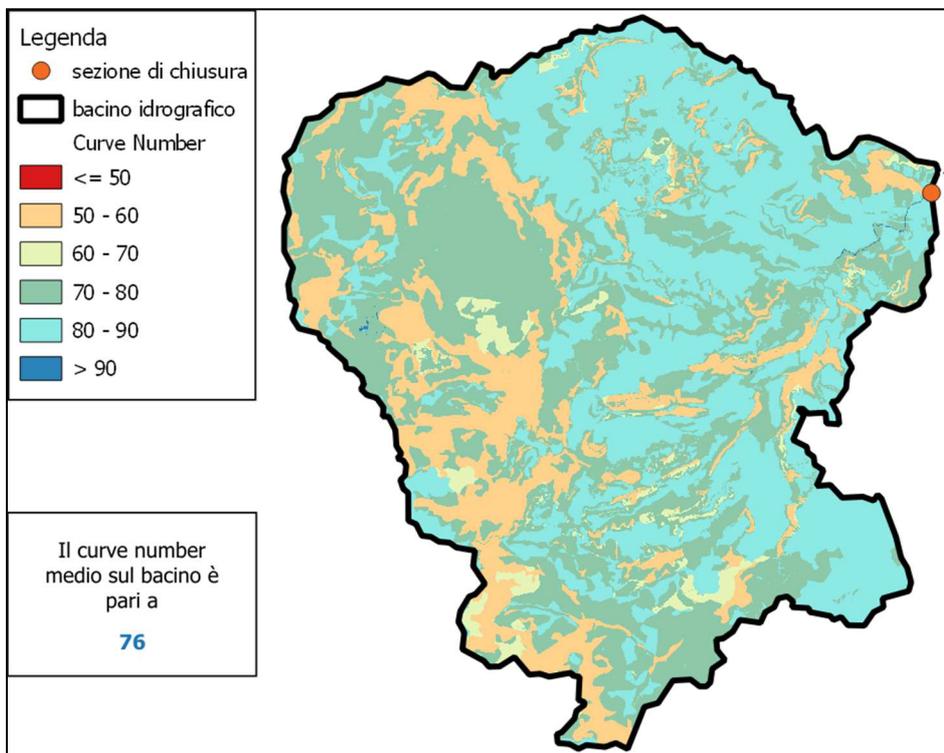


Figura 17: Mappa dei valori del curve number nel bacino chiuso all'intersezione n. 1.

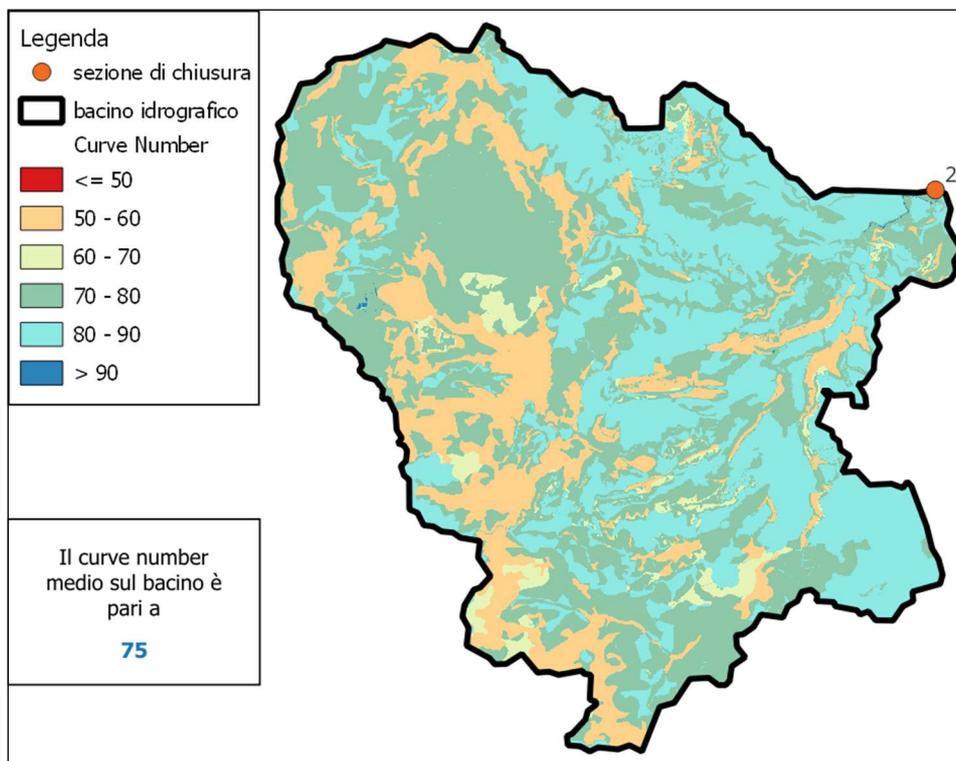


Figura 18: Mappa dei valori del curve number nel bacino chiuso all'intersezione n. 2.

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
 ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI

N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 20 di 81	Rev.:	N° documento Cliente: REL-CI-09104
--	--------------------	-------	---------------------------------------

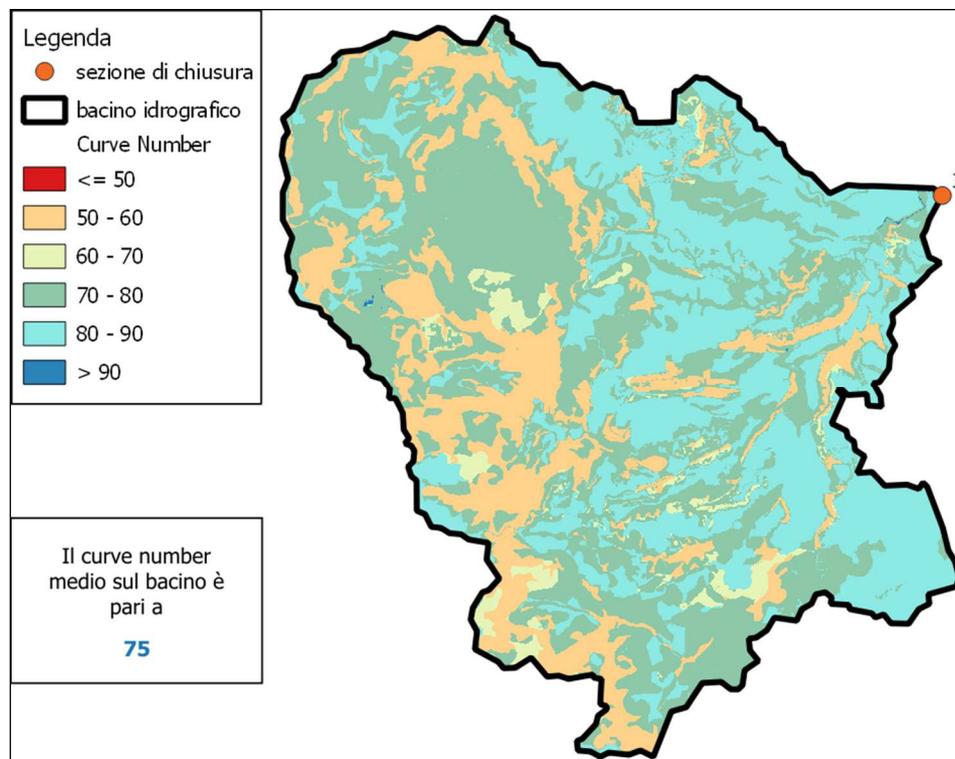


Figura 19: Mappa dei valori del curve number nel bacino chiuso all'intersezione n. 3.

L'altezza di pioggia P di progetto per il tempo di ritorno TR è stata valutata tramite l'espressione monomia del tipo:

$$P = a_{TR} \cdot d^{n_{TR}}$$

dove:

- a_{TR} e n_{TR} sono i parametri delle curve di possibilità pluviometrica assegnato il tempo di ritorno TR ;
- d è la durata dell'evento meteorico.

I parametri a_{TR} e n_{TR} per il territorio in esame sono stati desunti dall'elaborazione fornita della Regione Toscana di concerto con il dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale dell'Università degli Studi di Firenze,^[10] cioè file raster con maglia 1x1 km; successivamente, per ottenere i valori dei parametri da assegnare al bacino idrografico

¹⁰ Regione Toscana, Nuovi dati sulla regionalizzazione delle precipitazioni, 2014
<https://www.regione.toscana.it/-/nuovi-dati-sulla-regionalizzazione-delle-precipitazioni>

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI						
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004		Foglio 21 di 81		Rev.:		N° documento Cliente: REL-CI-09104

oggetto di studio, è stata effettuata la media dei valori delle singole celle contenute nell'area del bacino.

Numero intersezione	a			n		
	TR=50	TR=100	TR=200	TR=50	TR=100	TR=200
1	55,81	63,00	70,30	0,260	0,269	0,277
2	55,98	63,19	70,52	0,258	0,268	0,276
3	55,99	63,20	70,53	0,258	0,268	0,275

Tabella 7: Parametri di possibilità pluviometrica mediati sui bacini oggetto di studio.

Nella tabella seguente si riportano i valori di altezza di pioggia per i vari tempi di ritorno, calcolati per i bacini d'interesse.

Numero intersezione	h_{50} [mm]	h_{100} [mm]	h_{200} [mm]
1	92,99	106,85	121,11
2	90,61	104,21	118,05
3	90,41	103,97	117,55

Tabella 8: Valori di altezze di pioggia calcolati nelle sezioni di interesse.

Per la determinazione della durata critica dell'evento per il presente progetto si è scelto di calcolare il tempo di corrivazione del bacino T_c , con la formula di Giandotti nel caso $A \geq 100 \text{ km}^2$, o con la formula di Ventura negli altri casi; cioè, per T_c in ore si ha:

$$\left\{ \begin{array}{lll} T_c = 0,1272 \cdot \sqrt{\frac{A}{i_{med}}} & \text{per } A < 100 \text{ km}^2 \\ & A \text{ in km}^2 & \text{formula di Ventura} \\ T_c = \frac{4 \cdot \sqrt{A} + 1,5 \cdot L}{0,8 \cdot \sqrt{z_{med} - z_{min}}} & \text{per } A \geq 100 \text{ km}^2 \\ & A \text{ in km}^2, L \text{ in km, } z \text{ in m slm} & \text{formula di Giandotti} \end{array} \right.$$

dove i_{med} è la pendenza media del bacino, cioè $i_{med} = \frac{z_{max} - z_{min}}{L}$

Con riferimento alla precedente Tabella 4, essendo la superficie del bacino del torrente Foci alla sezione dei tre attraversamenti in progetto maggiore di 100 km^2 , si è proceduto con l'espressione di Giandotti.

I tempi di corrivazione per i vari bacini sono riportati nella seguente tabella.

Numero intersezione	1	2	3
Tempo di corrivazione (h)	7,13	6,47	6,41

Tabella 9: Tempi di corrivazione per i bacini alle varie sezioni di chiusura.

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE			
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 22 di 81	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09104

La portata di progetto Q_{TR} , associata al tempo di ritorno TR , è stata infine ottenuta tramite la relazione:

$$Q_{TR} = 0,278 \cdot Q \cdot \frac{A}{T_c} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

con A in m^2 , T_c in ore, Q in mm

Con i valori sopra calcolati si è pertanto proceduto alla determinazione delle portate di progetto nella sezione di interesse, riportate in Tabella 10.

Numero intersezione	$Q_{50} [\text{m}^3/\text{s}]$	$Q_{100} [\text{m}^3/\text{s}]$	$Q_{200} [\text{m}^3/\text{s}]$
1	186,8	239,1	295,5
2	164,8	212,7	264,0
3	163,8	211,4	261,6

Tabella 10: Valori di portata calcolati nelle sezioni di interesse.

3.3 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.

Per la modellazione geometrica del corpo idrico è stato utilizzato il rilievo topografico di dettaglio dell'alveo e delle fasce laterali allo stesso (per un'estensione di circa 10 m per ciascun lato) appositamente eseguito, integrato nei casi in cui si è reso necessario valutare l'andamento dei livelli al di fuori di tale fascia, con il rilievo Lidar, disponibile lungo il tracciato del metanodotto o con la CTR 1:5.000 della Regione Toscana.

Si è provveduto ad implementare due modelli idraulici, rispettivamente per gli attraversamenti n. 1 (sezioni RS da 10 a 60) e n. 2 e 3 (sezioni RS da 70 a 280), in quanto solo gli attraversamenti n. 2 e 3 erano sufficientemente ravvicinati e corredati di sezioni rilevate del fondo da consentire l'elaborazione di un unico modello idraulico locale.

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

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE							
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI							
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004		Foglio 23 di 81		Rev.:		N° documento Cliente: REL-CI-09104	
				00			

La modellazione è stata eseguita direttamente nello stato di progetto in quanto gli attraversamenti verranno realizzati con tecnologia no-dig.

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 letteratura¹¹ richiamati in Tabella 12.

In alcune delle sezioni seguenti è inoltre presente un tratteggio verde che indica l'area ineffettiva ai fini del deflusso. Vengono utilizzate per descrivere con maggior precisione possibile il comportamento dei deflussi in alveo in corrispondenza del rilevato della strada in attraversamento al fiume (vedere stralcio planimetrico in annesso 1), area caratterizzate da velocità pressochè nulle che, pertanto, rappresenta una zona di non-convogliamento di flussi.

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
Ineff	Area allagata non contribuente ai fini del deflusso
Bank sta	Ciglio alveo

Tabella 11: Significato grandezze in legenda ai grafici di output di HEC-RAS.

¹¹ Chow, V.T. (1959) Open Channel Hydraulics. McGraw-Hill, New York.

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI**

N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 24 di 81	Rev.:	N° documento Cliente: REL-CI-09104
		00	

CORSI D'ACQUA MINORI (larghezza del pelo libero in piena < 30 m)	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 elevata presenza di erba, con bacini profondi o scolmatori ricoperti di ceppi d'albero o 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 12: Valori caratteristici di scabrezza [$s/m^{1/3}$], (Chow, 1959).

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI**

N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 25 di 81	Rev.:	N° documento Cliente: REL-CI-09104
		00	

Modellazione attraversamento n. 1

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
 ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI

N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 26 di 81	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09104
--	--------------------	-------------	---------------------------------------

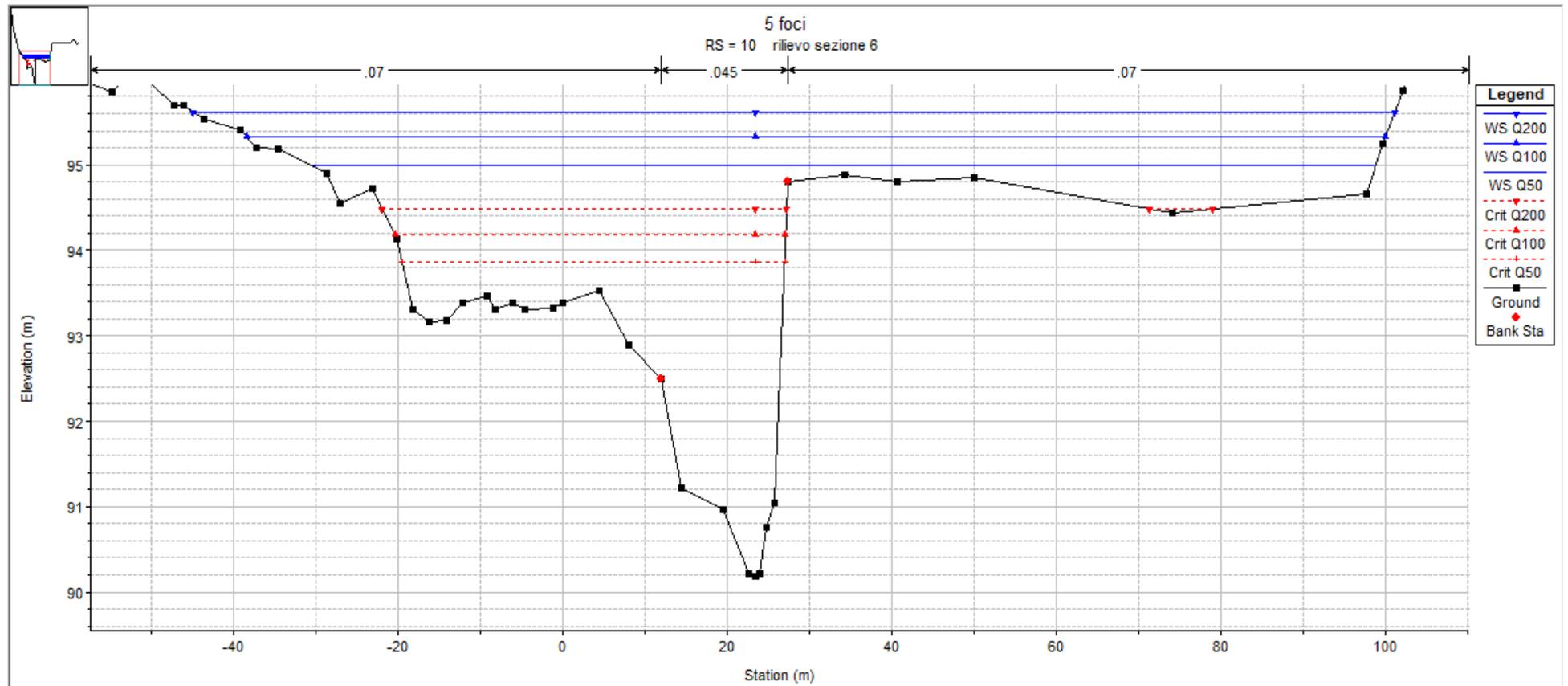


Figura 20: **RS=10** - Sezione trasversale a valle dell'attraversamento n. 1 del nuovo metanodotto.

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
 ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI

N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 27 di 81	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09104
--	--------------------	-------------	---------------------------------------

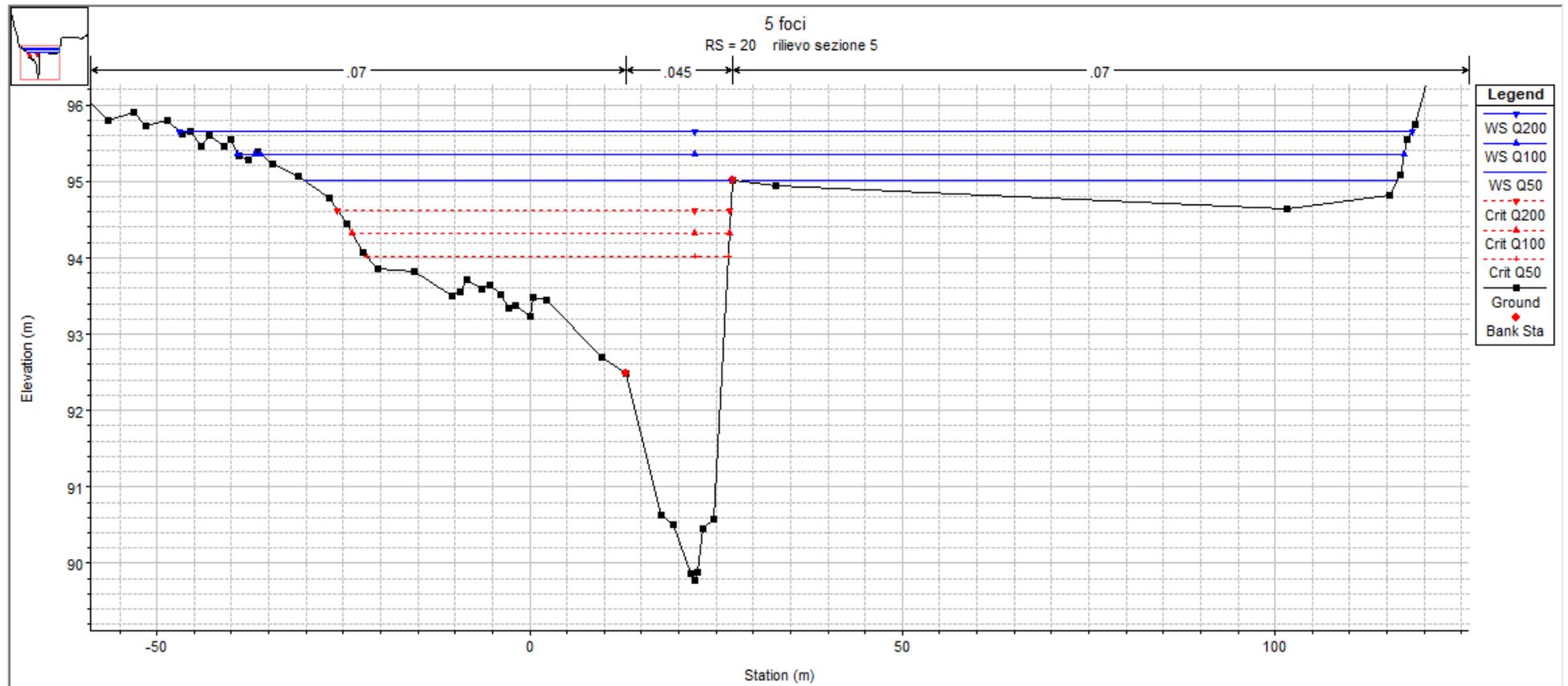


Figura 21: **RS=20** - Sezione trasversale a valle dell'attraversamento n. 1 del nuovo metanodotto.

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
 ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI

N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 28 di 81	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09104
--	--------------------	-------------	---------------------------------------

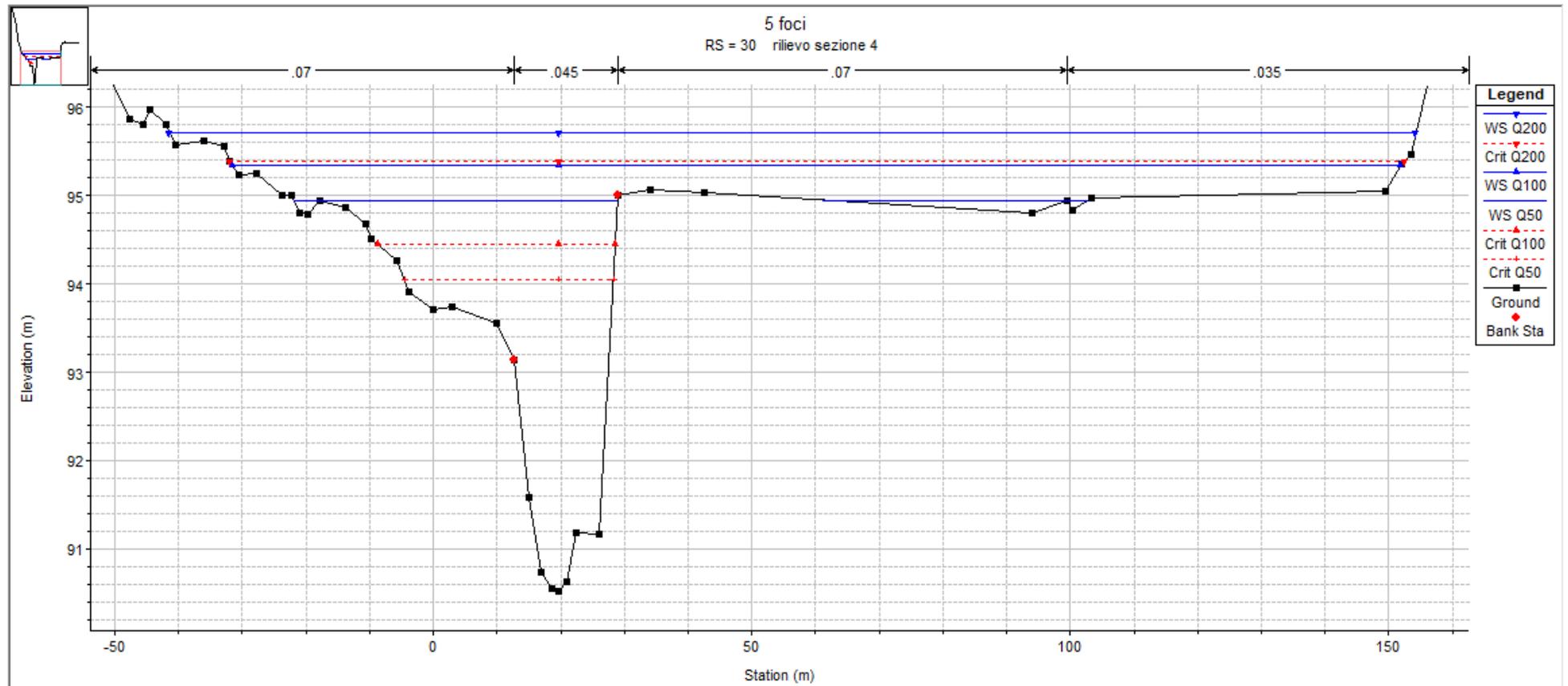


Figura 22: **RS=30** - Sezione trasversale a valle dell'attraversamento n. 1 del nuovo metanodotto.

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
 ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI

N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 29 di 81	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09104
--	--------------------	-------------	---------------------------------------

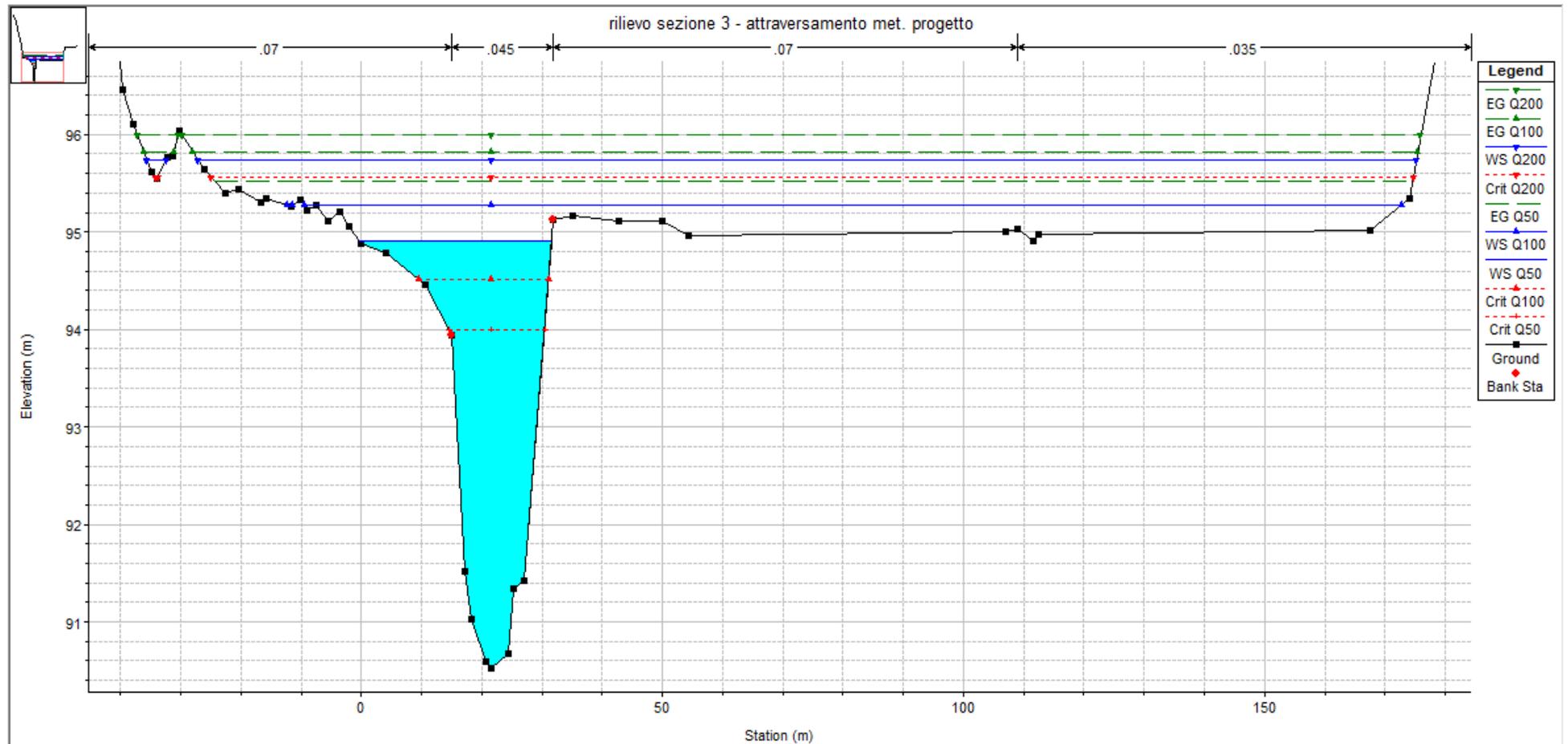


Figura 23: **RS=40** - Sezione trasversale in corrispondenza dell'attraversamento n. 1 del nuovo metanodotto.

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
 ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI

N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 30 di 81	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09104
--	--------------------	-------------	---------------------------------------

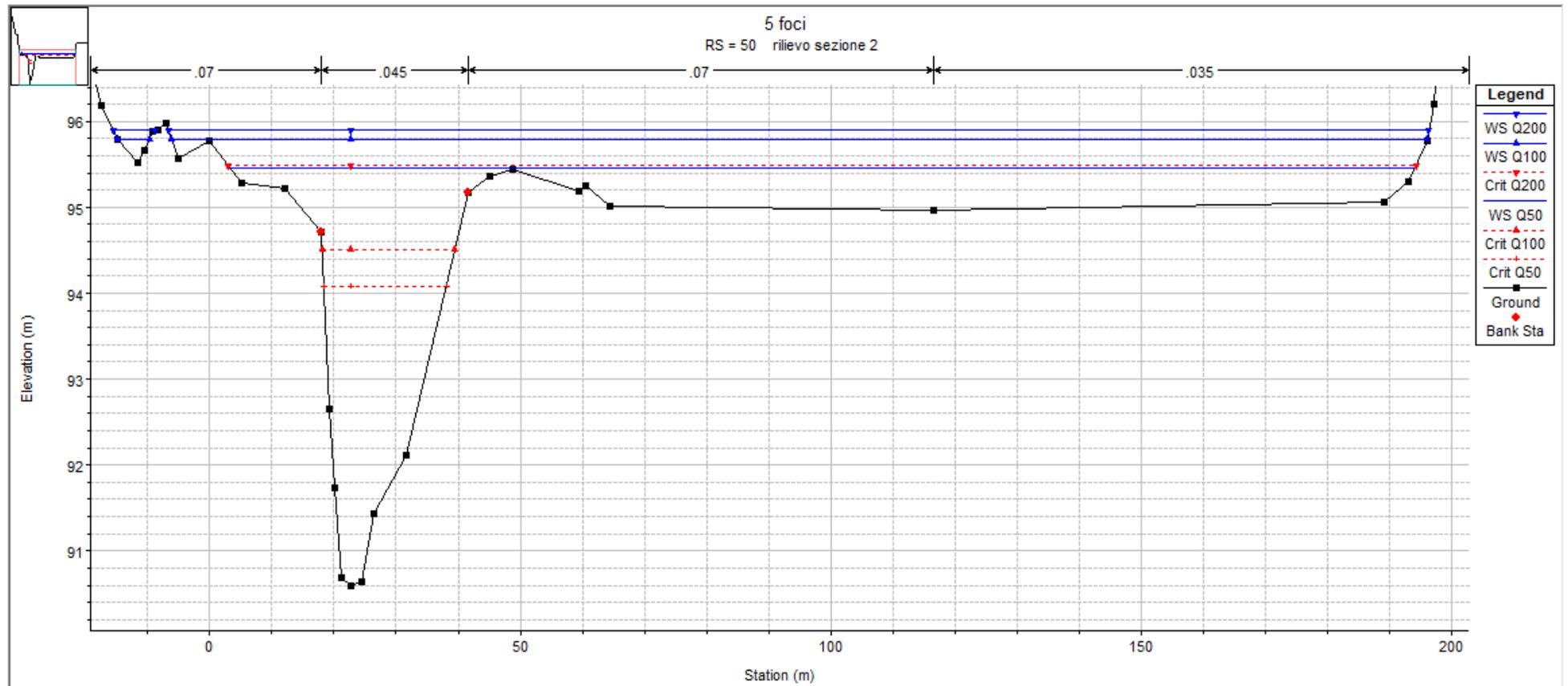


Figura 24: RS=50 - Sezione trasversale a monte dell'attraversamento n. 1 del nuovo metanodotto.

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
 ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI

N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 31 di 81	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09104
--	--------------------	-------------	---------------------------------------

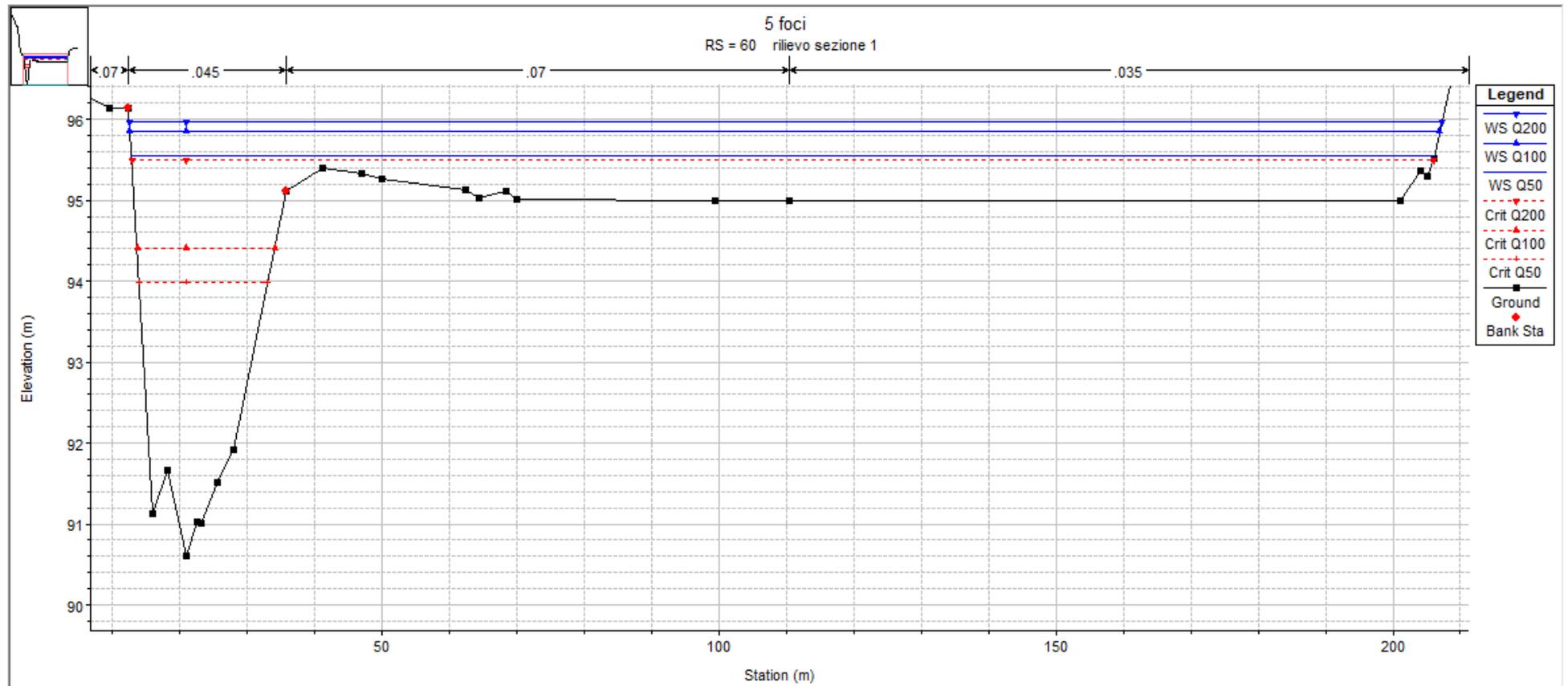


Figura 25: **RS=60** - Sezione trasversale a monte dell'attraversamento n. 1 del nuovo metanodotto.

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI**

N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 32 di 81	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09104
--	--------------------	-------------	---------------------------------------

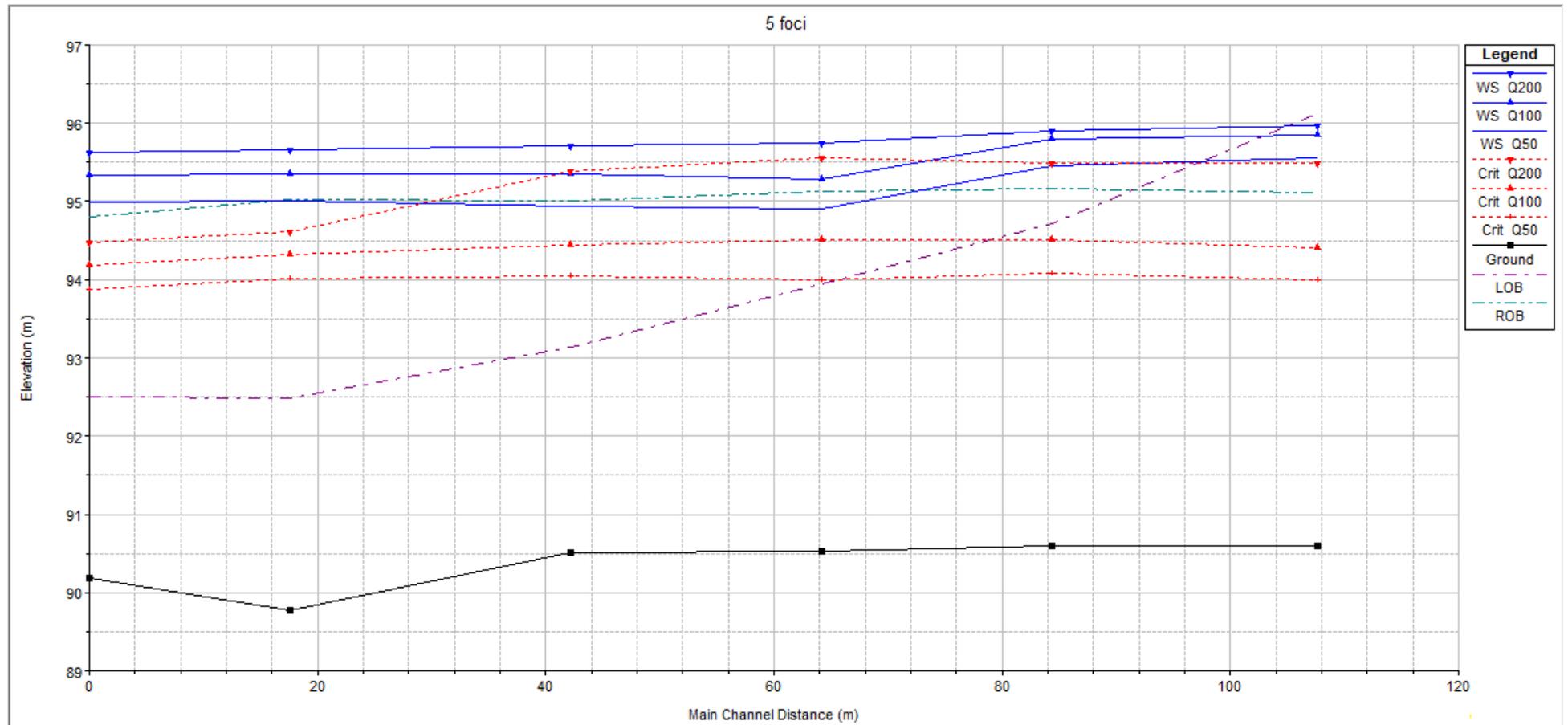


Figura 26: Profilo longitudinale del tratto modellato per il calcolo della profondità di erosione in corrispondenza dell'attraversamento n. 1 del torrente Foci.

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI

N° Documento:
P22IT04321-PPL-RE-100-004

Foglio
33 di 81

Rev.:
00

N° documento Cliente:
REL-CI-09104

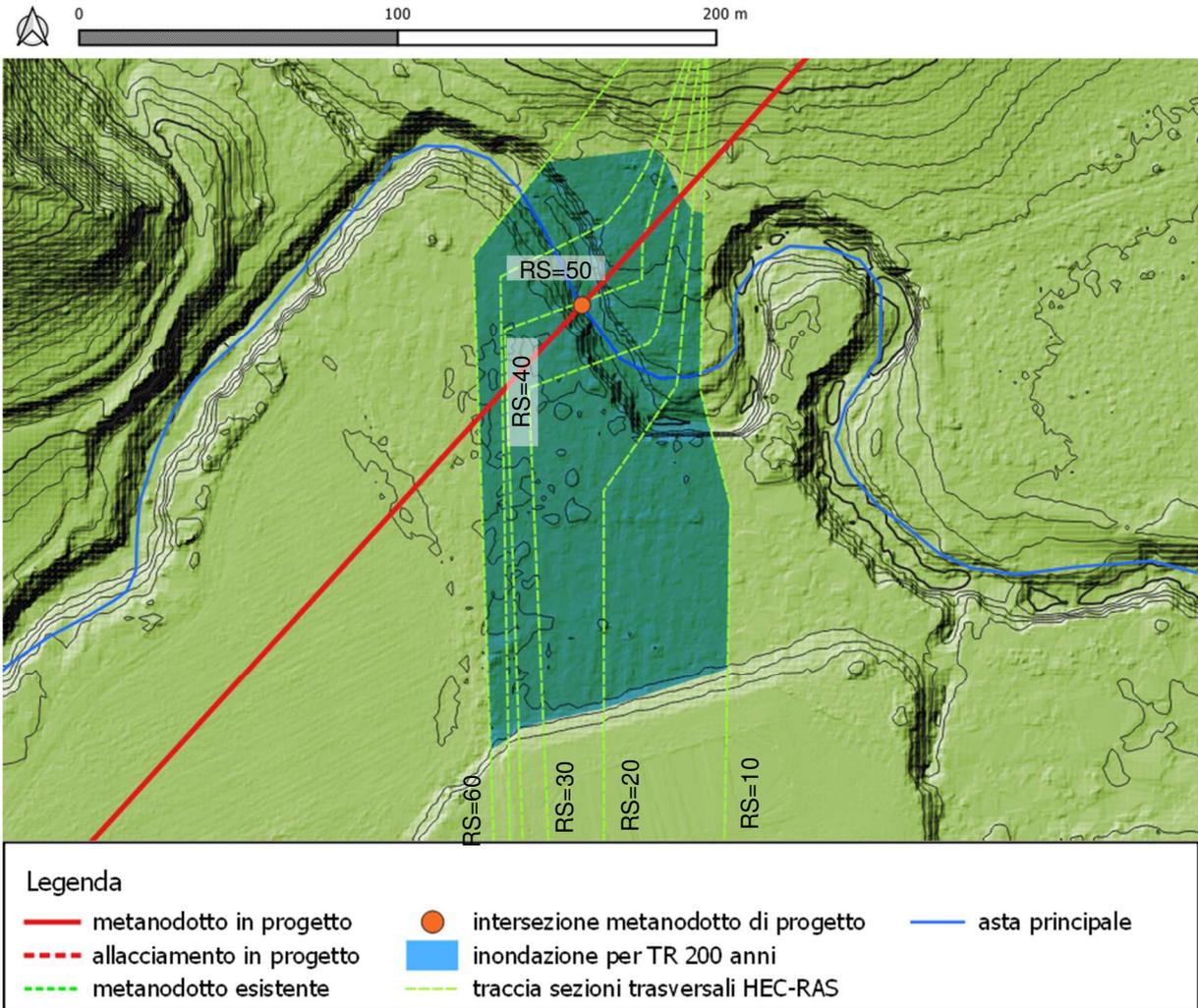


Figura 27: Area inondabile per TR 200 anni su DTM (attraversamento n. 1).

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI**

N° Documento:
P22IT04321-PPL-RE-100-004

Foglio
34 di 81

Rev.:
00

N° documento Cliente:
REL-CI-09104

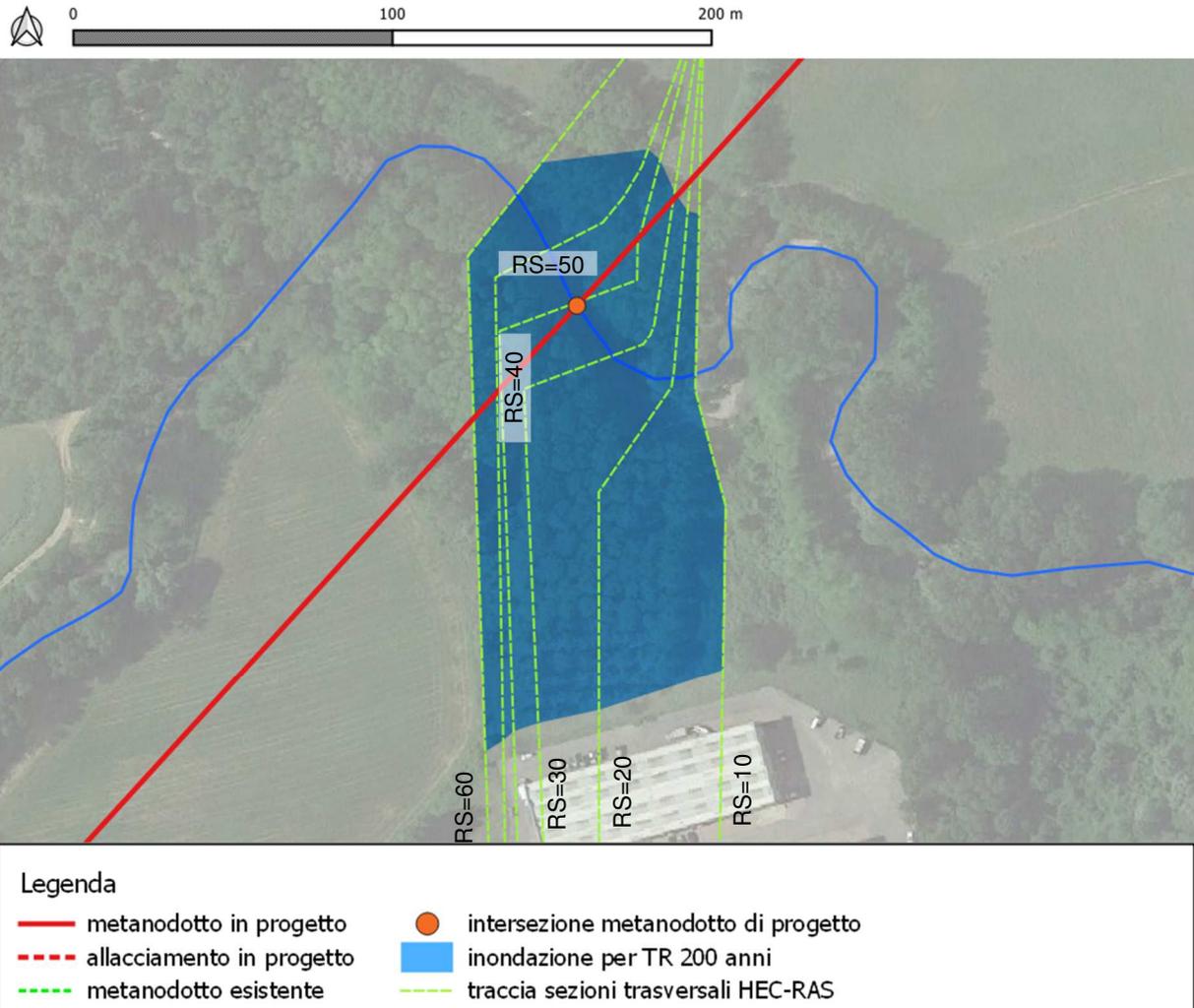


Figura 28: Area inondabile per TR 200 anni su ortofoto (attraversamento n. 1).

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI**

N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 35 di 81	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09104
--	--------------------	-------------	---------------------------------------

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.)	Pend. tratto (m/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)
60	Q50	186.8	90.6	95.55	93.99	95.68	0.0004	0.00166	1.81	160.29	193.29	0.32	0.82	46.21
60	Q100	239.1	90.6	95.86	94.41	95.95	0.0004	0.00134	1.71	218.74	194.27	0.29	1.11	40.16
60	Q200	295.5	90.6	95.97	95.5	96.09	0.0004	0.00159	1.9	241.4	194.65	0.32	1.22	49.04
50	Q50	186.8	90.59	95.45	94.08	95.63	0.0035	0.00236	2.1	136.21	190.58	0.39	0.7	62.85
50	Q100	239.1	90.59	95.79	94.51	95.92	0.0035	0.00169	1.91	204.19	207.36	0.33	0.97	50.28
50	Q200	295.5	90.59	95.9	95.5	96.05	0.0035	0.00205	2.15	225.7	209.75	0.37	1.06	62.69
40	Q50	186.8	90.52	94.91	93.99	95.52	0.0005	0.00645	3.48	57.95	31.97	0.63	1.67	172.6
40	Q100	239.1	90.52	95.28	94.51	95.82	0.0005	0.00579	3.51	107.48	183.08	0.6	0.58	170.03
40	Q200	295.5	90.52	95.74	95.56	95.99	0.0005	0.00299	2.74	199.27	205.52	0.44	0.96	99.51
30	Q50	186.8	90.51	94.94	94.04	95.34	0.0297	0.00417	2.96	85.71	92.42	0.51	0.9	121.02
30	Q100	239.1	90.51	95.34	94.45	95.66	0.0297	0.00334	2.84	151.4	183.44	0.46	0.81	107.96
30	Q200	295.5	90.51	95.71	95.38	95.92	0.0297	0.00245	2.59	219.76	195.67	0.4	1.11	86.79
20	Q50	186.8	89.78	95	94.01	95.22	-0.0233	0.00250	2.38	132.33	145.14	0.39	0.89	76.88
20	Q100	239.1	89.78	95.36	94.32	95.56	-0.0233	0.00235	2.45	185.45	155.77	0.38	1.16	78.96
20	Q200	295.5	89.78	95.66	94.62	95.86	-0.0233	0.00232	2.55	233.81	165.39	0.38	1.38	83.62
10	Q50	186.8	90.19	94.99	93.87	95.18		0.00220	2.25	139.27	129.1	0.37	1.05	68.42
10	Q100	239.1	90.19	95.33	94.18	95.52		0.00220	2.38	184.71	138.39	0.37	1.3	74.46
10	Q200	295.5	90.19	95.62	94.48	95.82		0.00220	2.49	226.91	146.13	0.38	1.52	79.81

Tabella 13: Grandezze caratteristiche dei deflussi nel tratto modellato per il calcolo della profondità di erosione in corrispondenza dell'attraversamento n. 1 del torrente Foci nello stato di progetto (evidenziata in verde la sezione interessata dall'attraversamento).

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI						
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004		Foglio 36 di 81		Rev.: 00		N° documento Cliente: REL-CI-09104

Modellazione attraversamenti n. 2 e 3

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE			
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 37 di 81	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09104

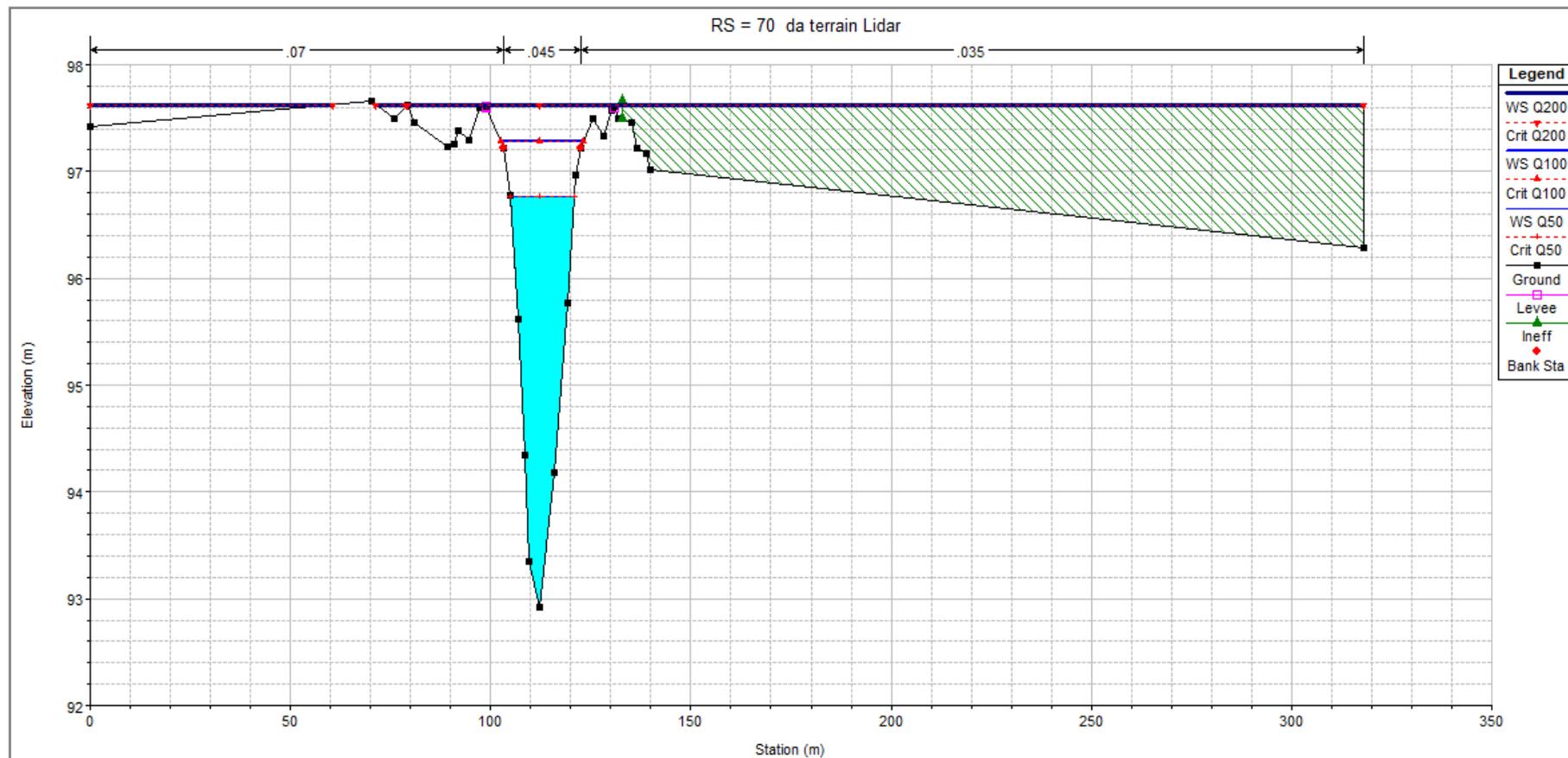


Figura 29: **RS=70** - Sezione trasversale a valle dell'attraversamento n. 2 del nuovo metanodotto.

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE			
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 38 di 81	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09104

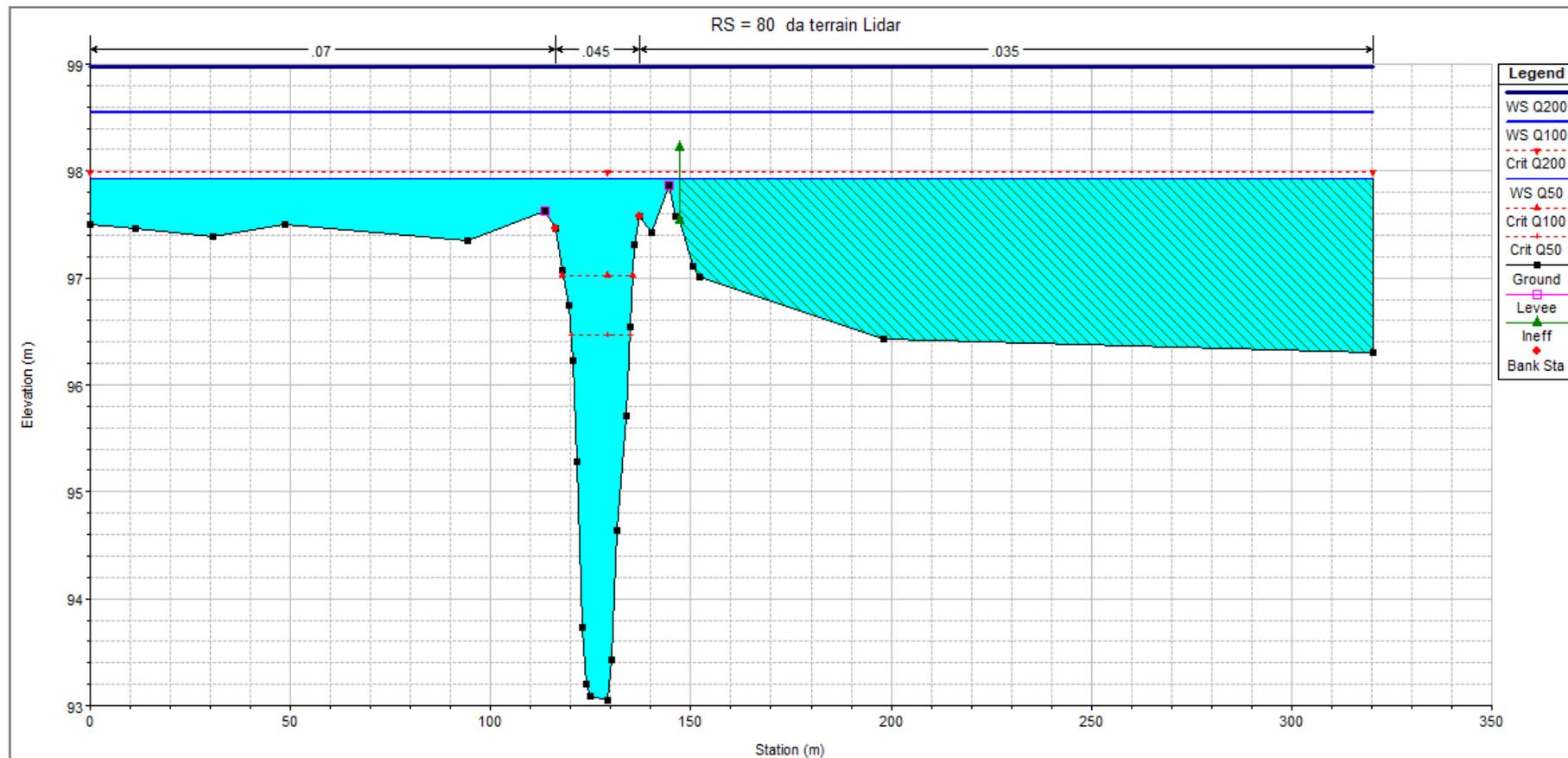


Figura 30: **RS=80** - Sezione trasversale a valle dell'attraversamento n. 2 del nuovo metanodotto (la quota della Q200 coincide casualmente con l'altezza critica della Q100)

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE			
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 39 di 81	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09104

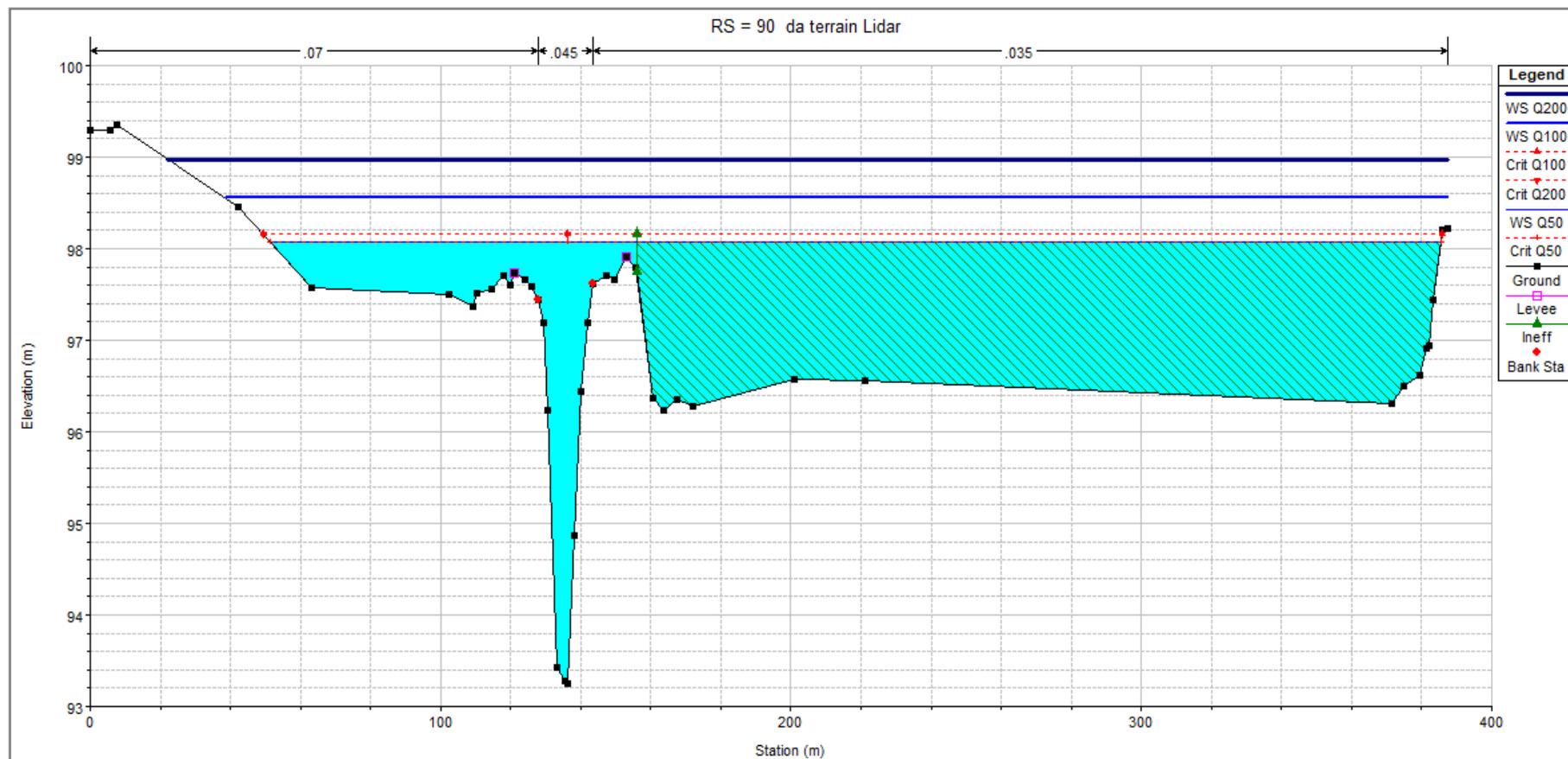


Figura 31: **RS=90** - Sezione trasversale a valle dell'attraversamento n. 2 del nuovo metanodotto la quota della Q200 coincide casualmente con l'altezza critica della Q100).

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE			
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 40 di 81	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09104

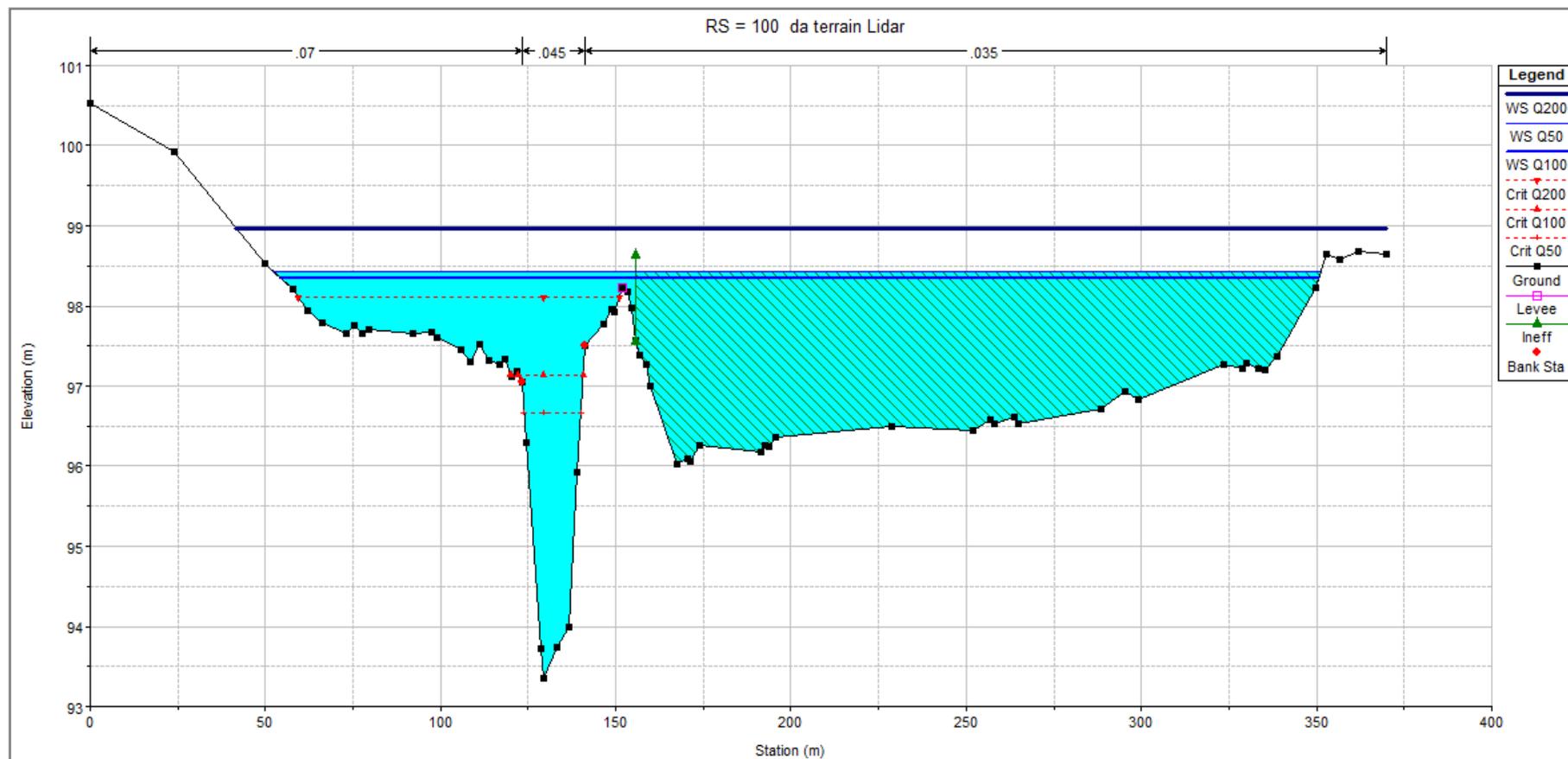


Figura 32: **RS=100** - Sezione trasversale a valle dell'attraversamento n. 2 del nuovo metanodotto.

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE			
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 41 di 81	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09104

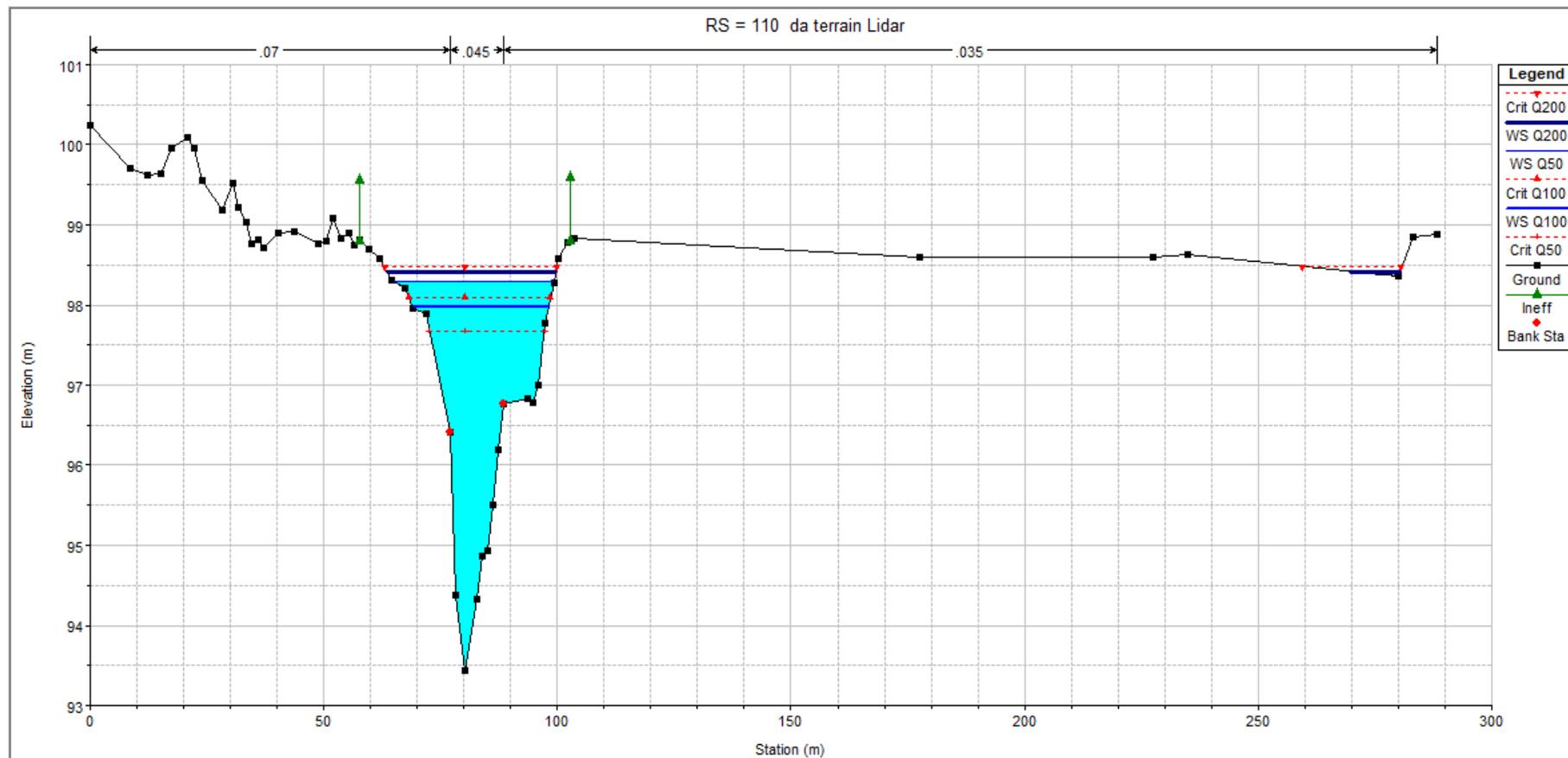


Figura 33: **RS=110** - Sezione trasversale a valle dell'attraversamento n. 2 del nuovo metanodotto.

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE			
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 42 di 81	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09104

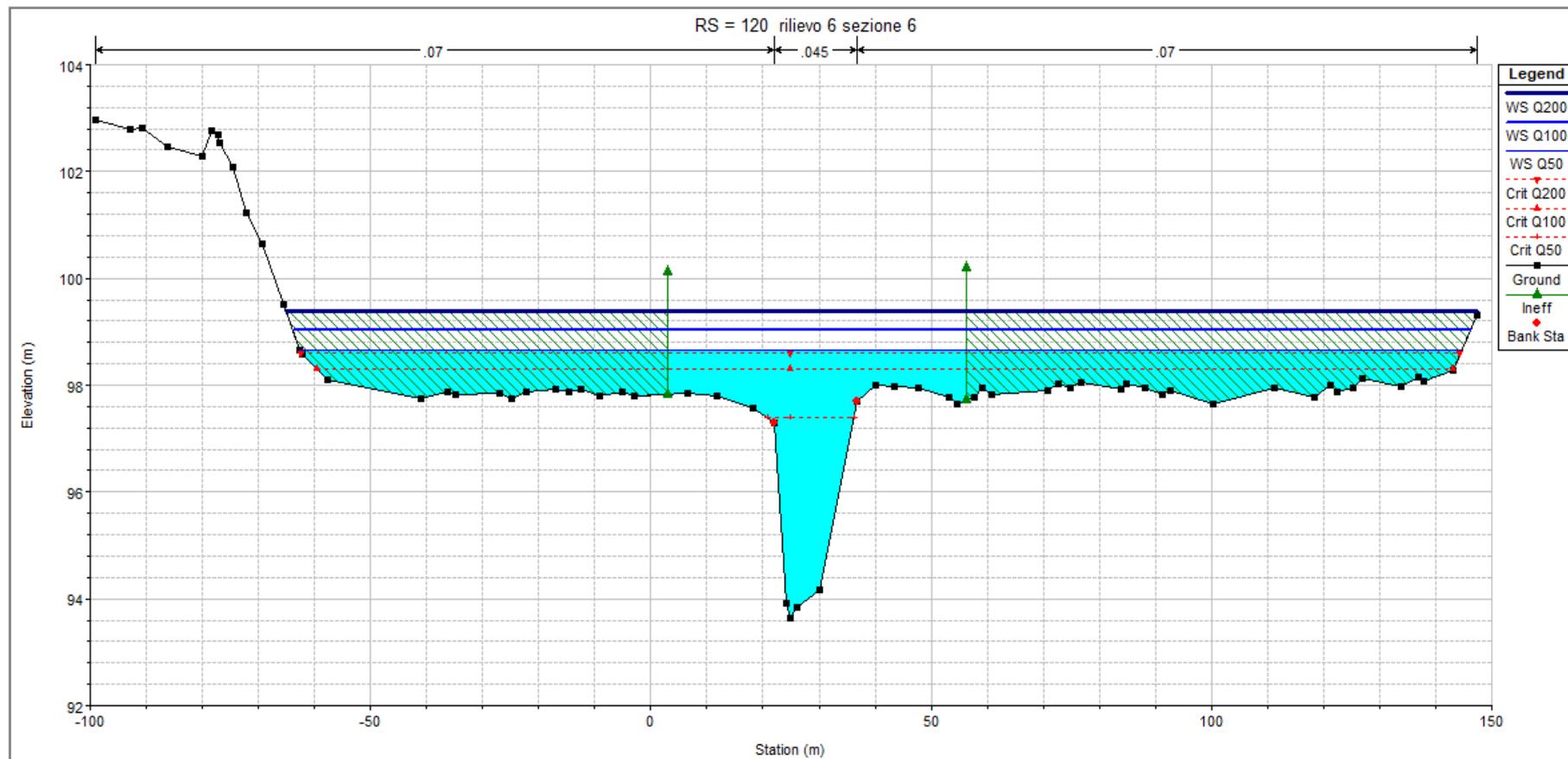


Figura 34: **RS=120** - Sezione trasversale a valle dell'attraversamento n. 2 del nuovo metanodotto.

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE			
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 43 di 81	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09104

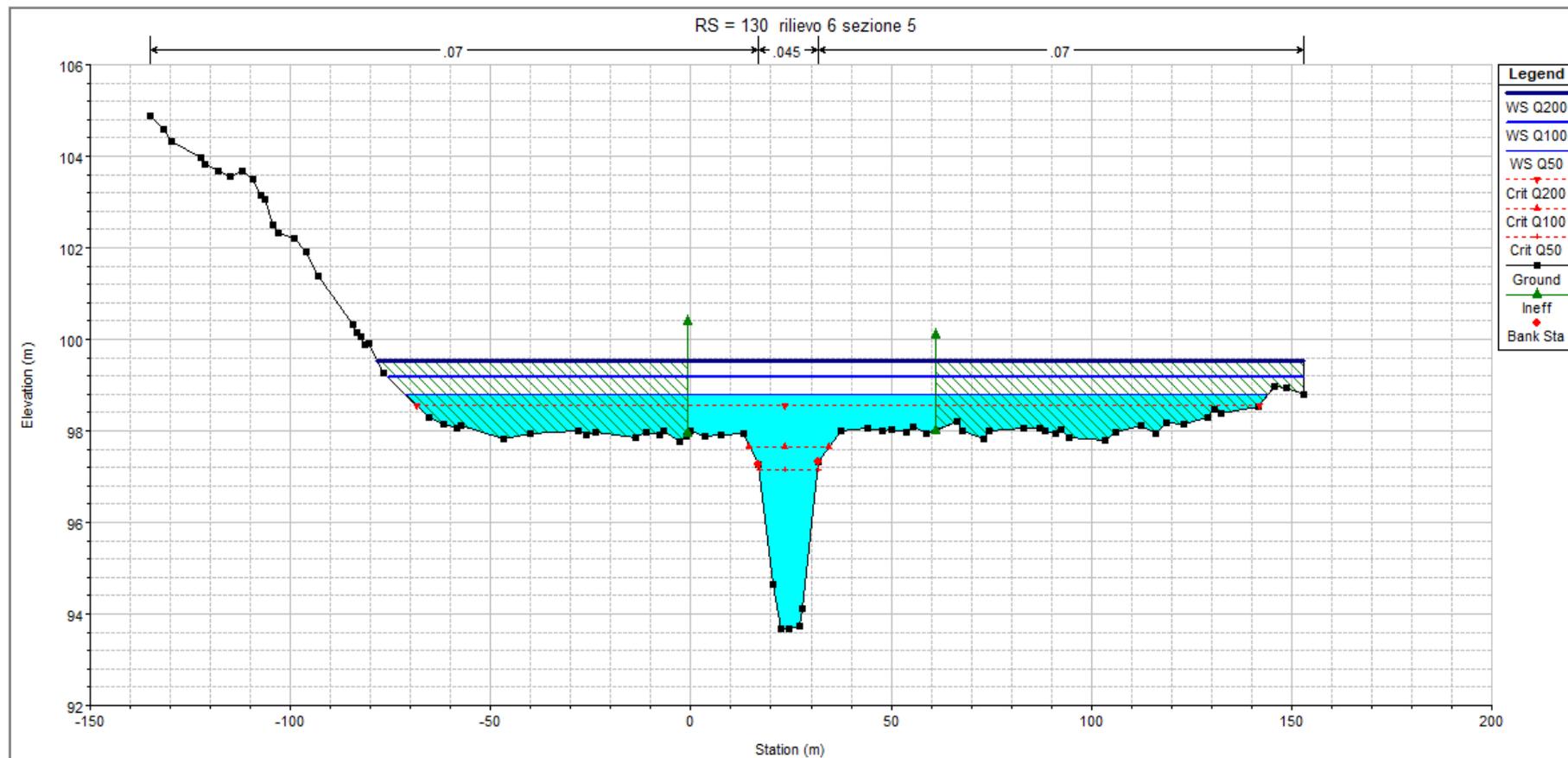


Figura 35: **RS=130** - Sezione trasversale a valle dell'attraversamento n. 2 del nuovo metanodotto.

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE			
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 44 di 81	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09104

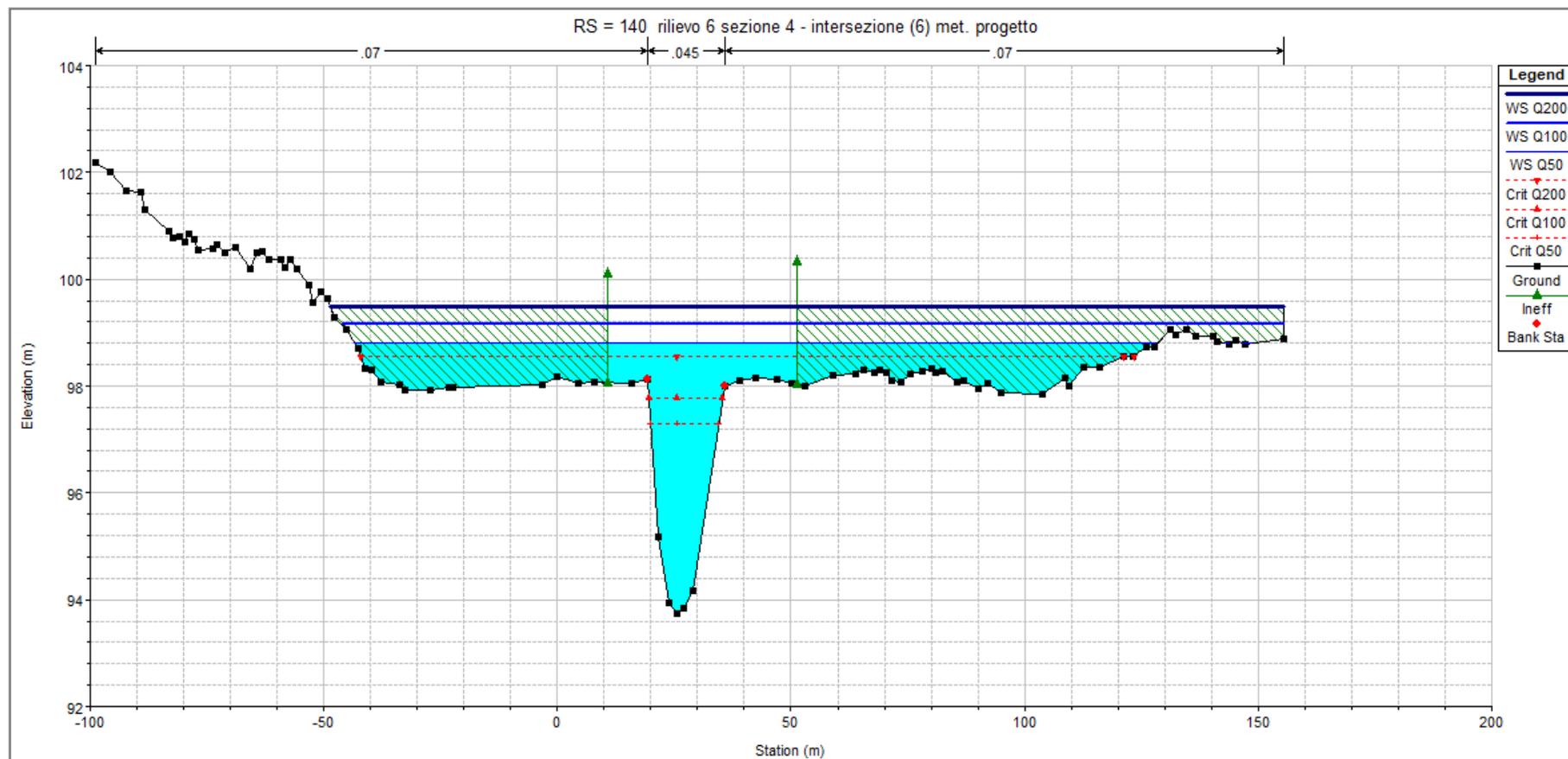


Figura 36: **RS=140** - Sezione trasversale in corrispondenza dell'attraversamento n. 2 del nuovo metanodotto.

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE			
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 45 di 81	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09104

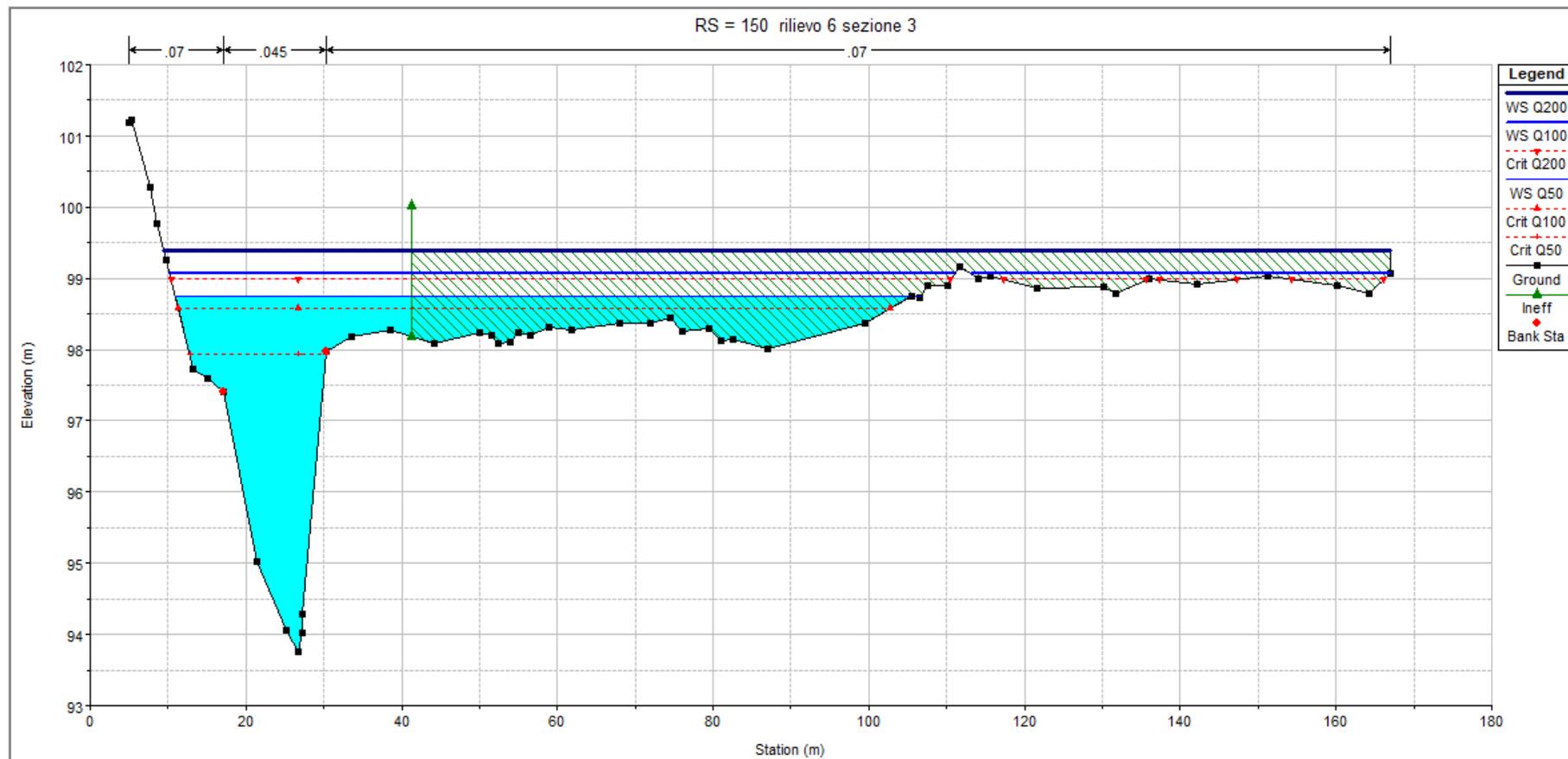


Figura 37: **RS=150** - Sezione trasversale a monte dell'attraversamento n. 2 del nuovo metanodotto.

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE			
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 46 di 81	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09104

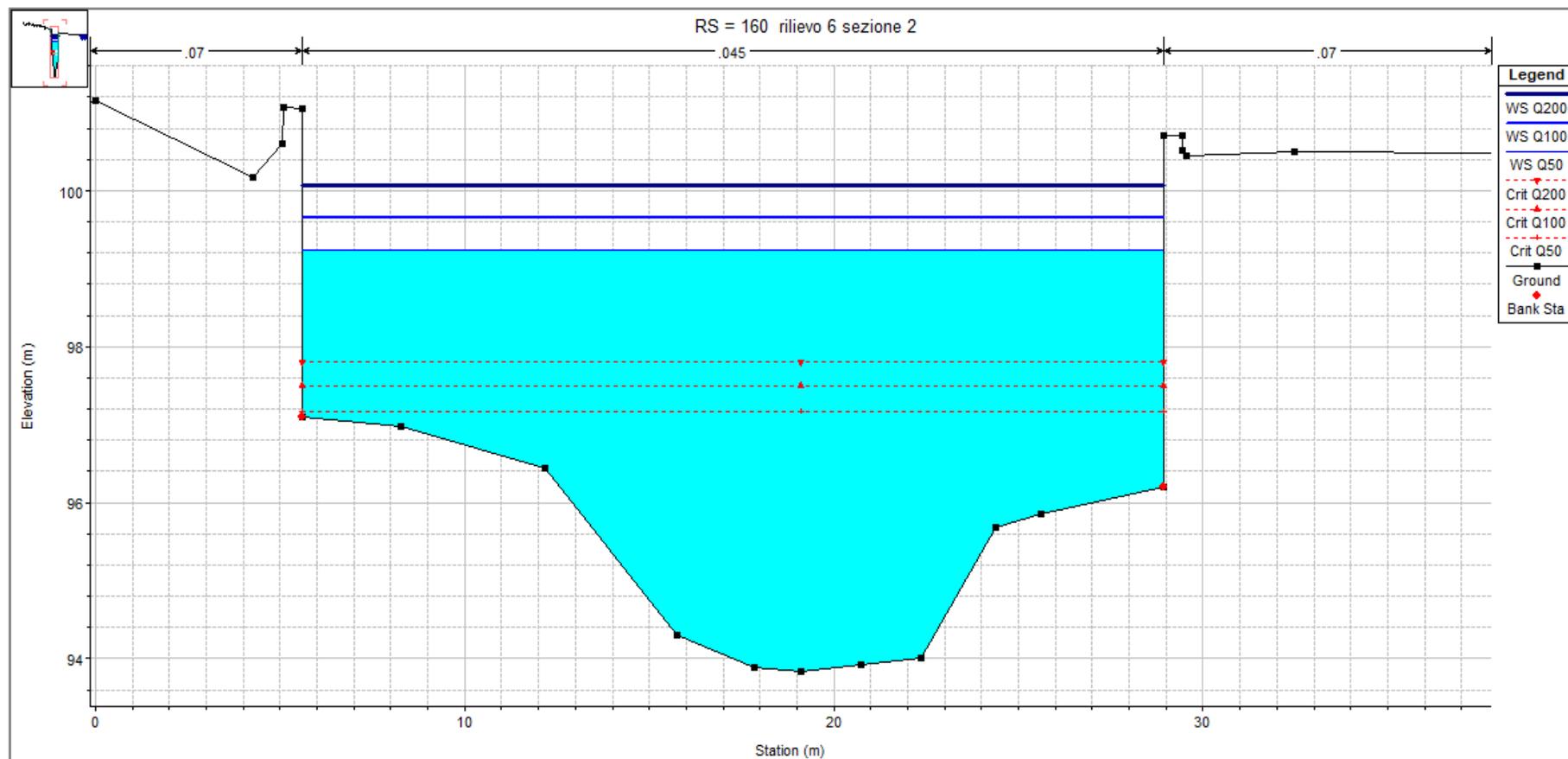


Figura 38: **RS=160** - Sezione trasversale a monte dell'attraversamento n. 2 del nuovo metanodotto.

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE			
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 47 di 81	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09104

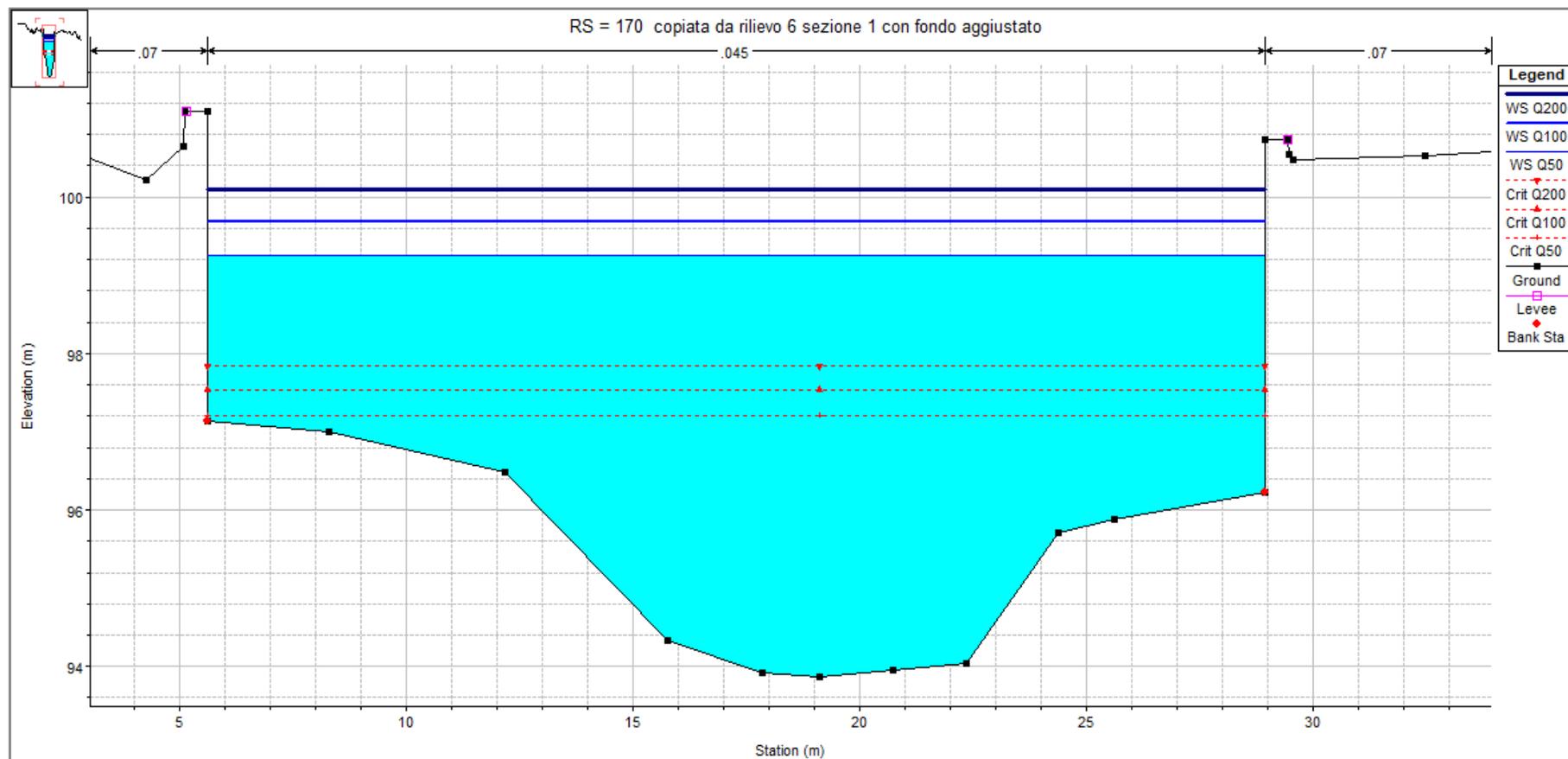


Figura 39: **RS=170** - Sezione trasversale a monte dell'attraversamento n. 2 del nuovo metanodotto.

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE			
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 48 di 81	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09104

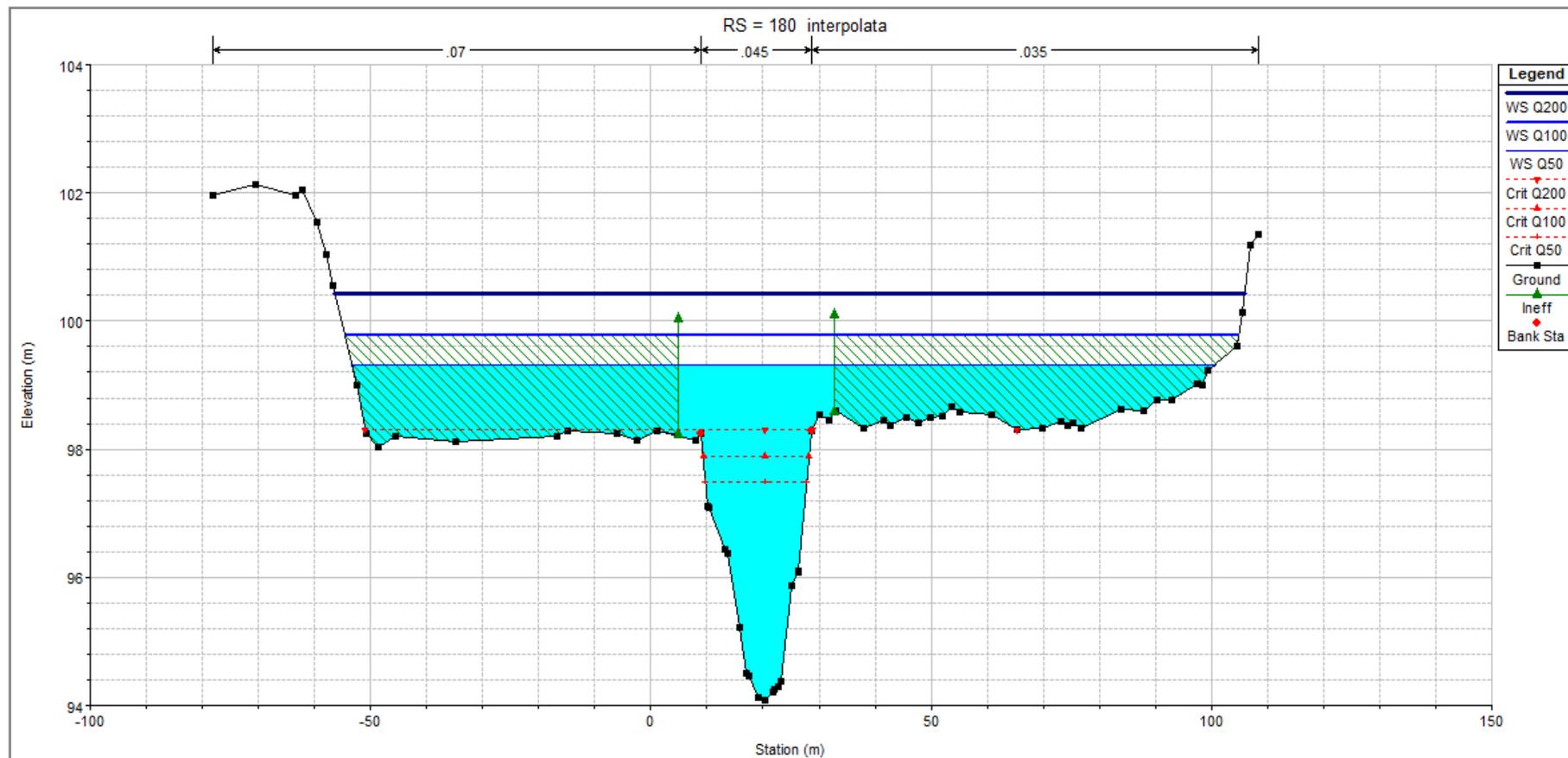


Figura 40: **RS=180** - Sezione trasversale a monte dell'attraversamento n. 2 del nuovo metanodotto.

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE			
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 50 di 81	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09104

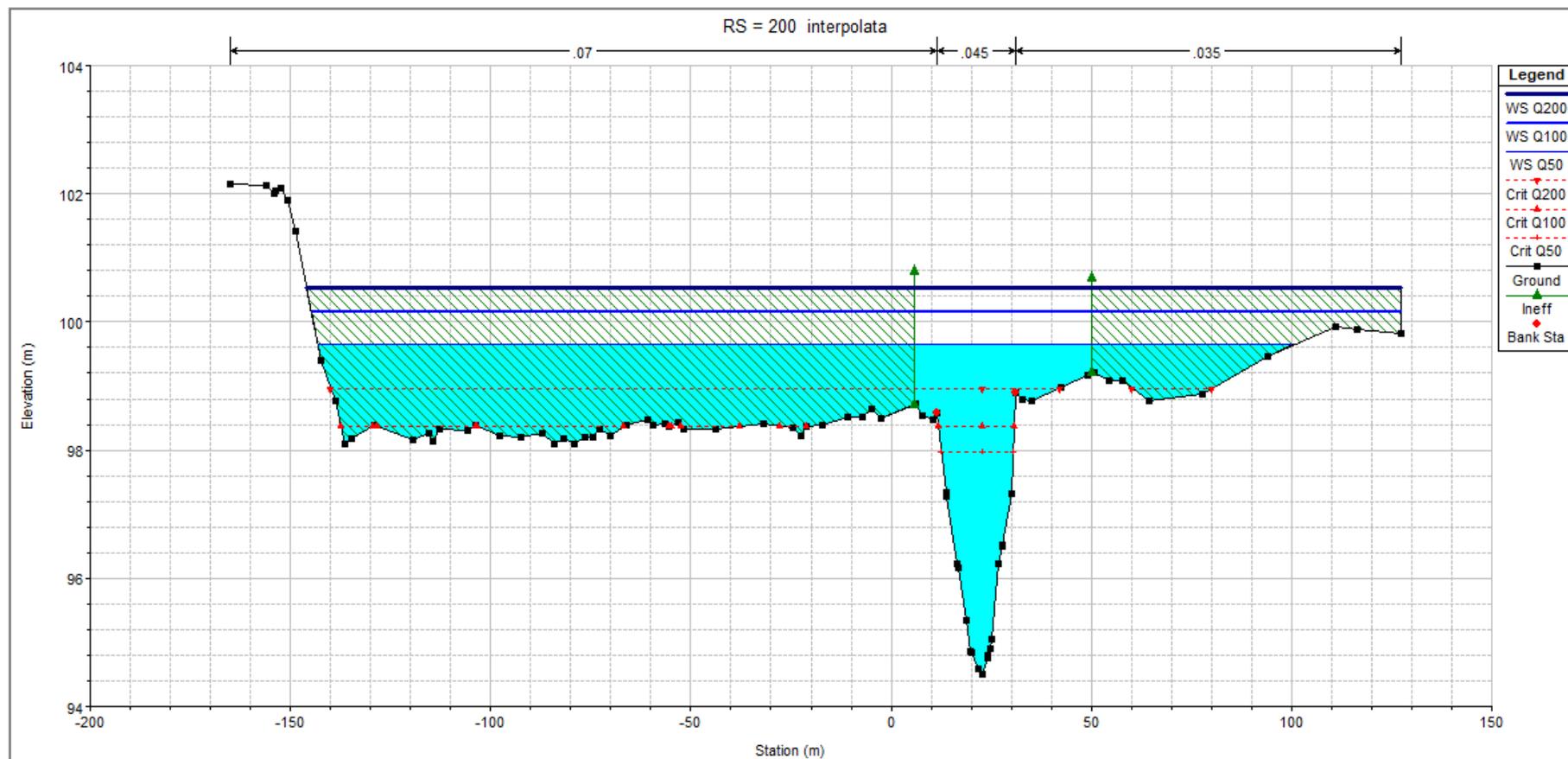


Figura 42: **RS=200** - Sezione trasversale a monte dell'attraversamento n. 2 del nuovo metanodotto.

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE			
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 52 di 81	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09104

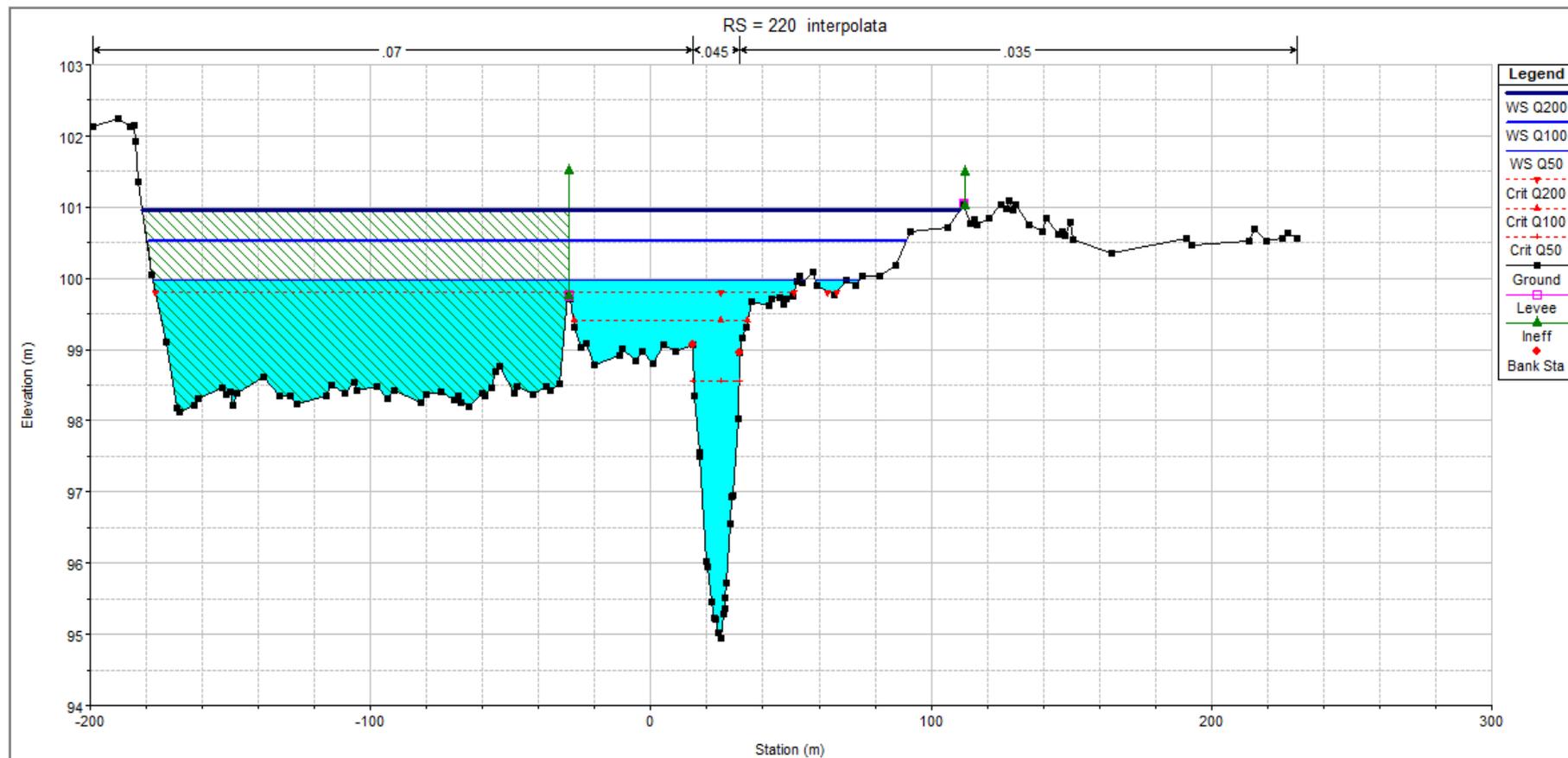


Figura 44: **RS=220** - Sezione trasversale a monte dell'attraversamento n. 2 del nuovo metanodotto.

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE			
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 53 di 81	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09104

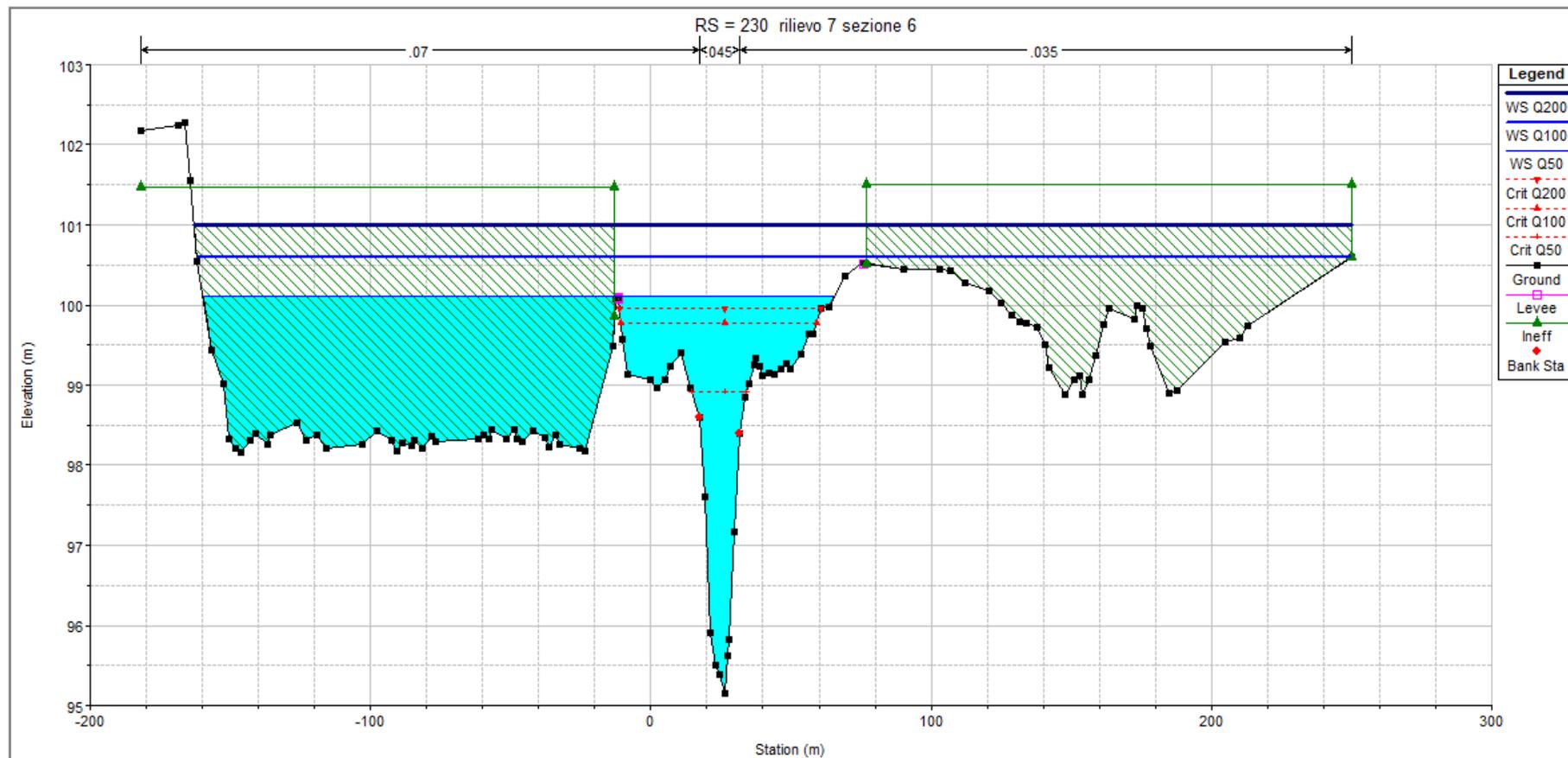


Figura 45: **RS=230** - Sezione trasversale a valle dell'attraversamento n. 3 del nuovo metanodotto.

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE			
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 54 di 81	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09104

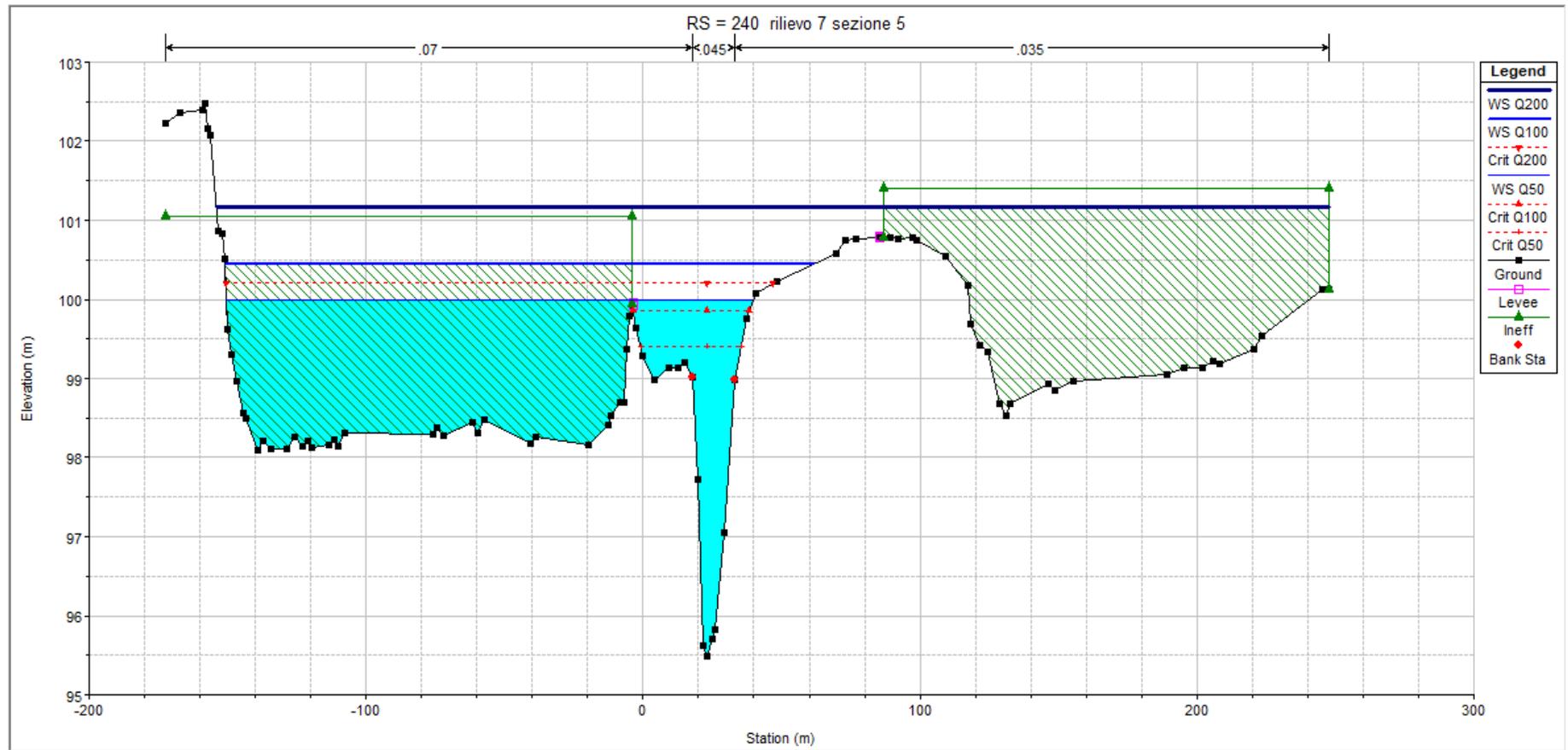


Figura 46: **RS=240** - Sezione trasversale a valle dell'attraversamento n. 3 del nuovo metanodotto.

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE			
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 55 di 81	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09104

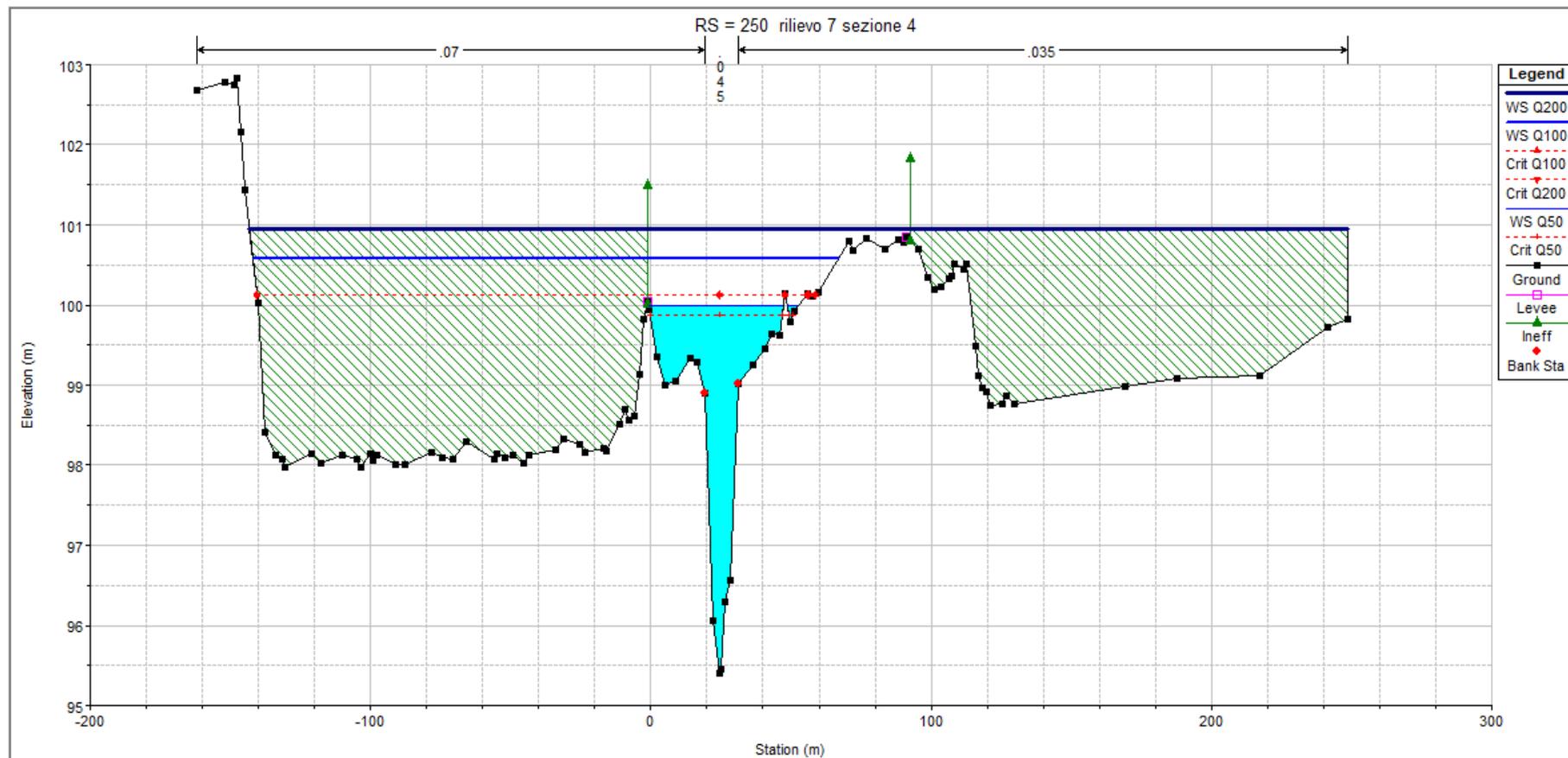


Figura 47: **RS=250** - Sezione trasversale a valle dell'attraversamento n. 3 del nuovo metanodotto.

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE			
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 56 di 81	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09104

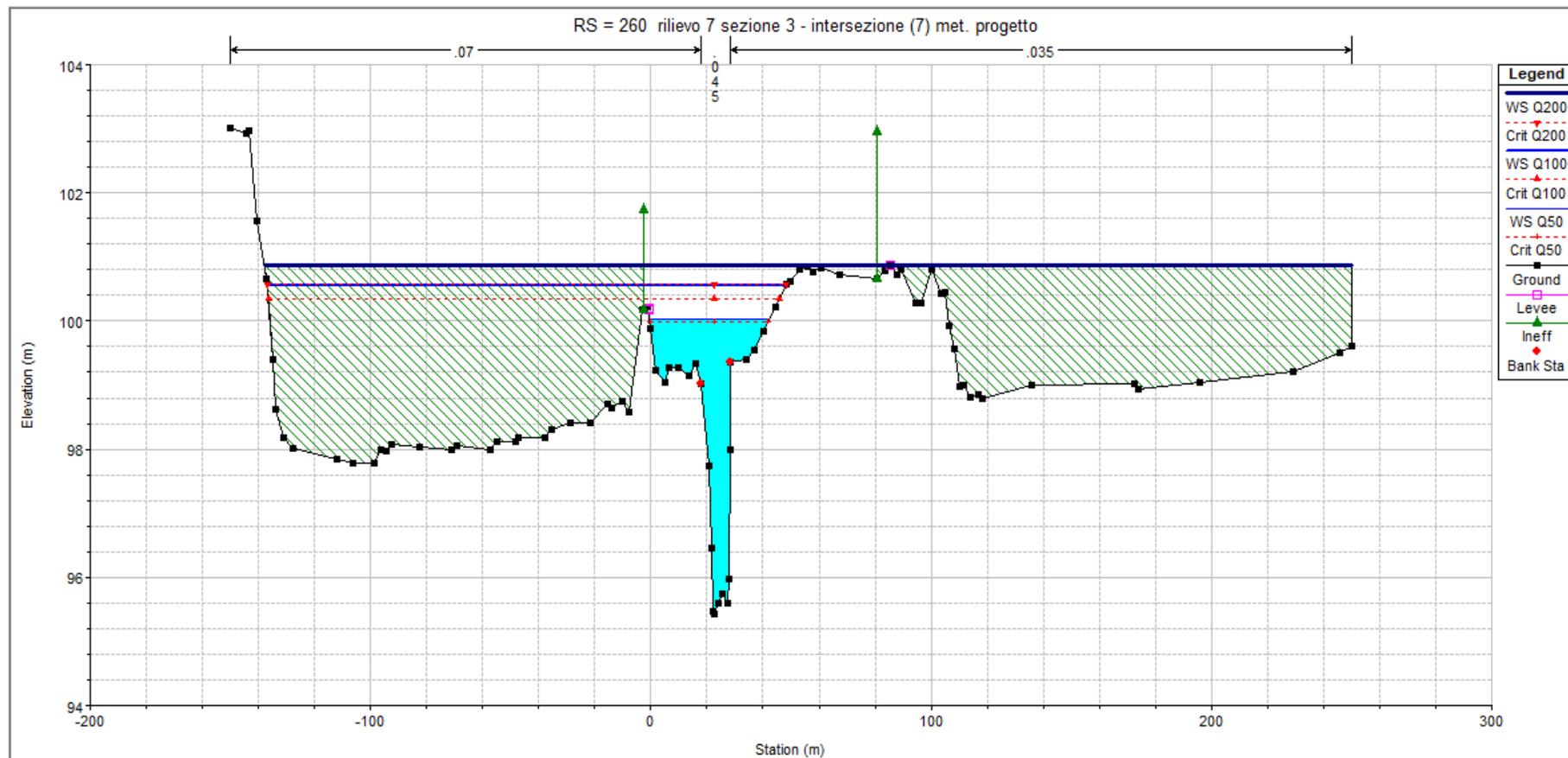


Figura 48: **RS=260** - Sezione trasversale a valle dell'attraversamento n. 3 del nuovo metanodotto.

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE			
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 58 di 81	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09104

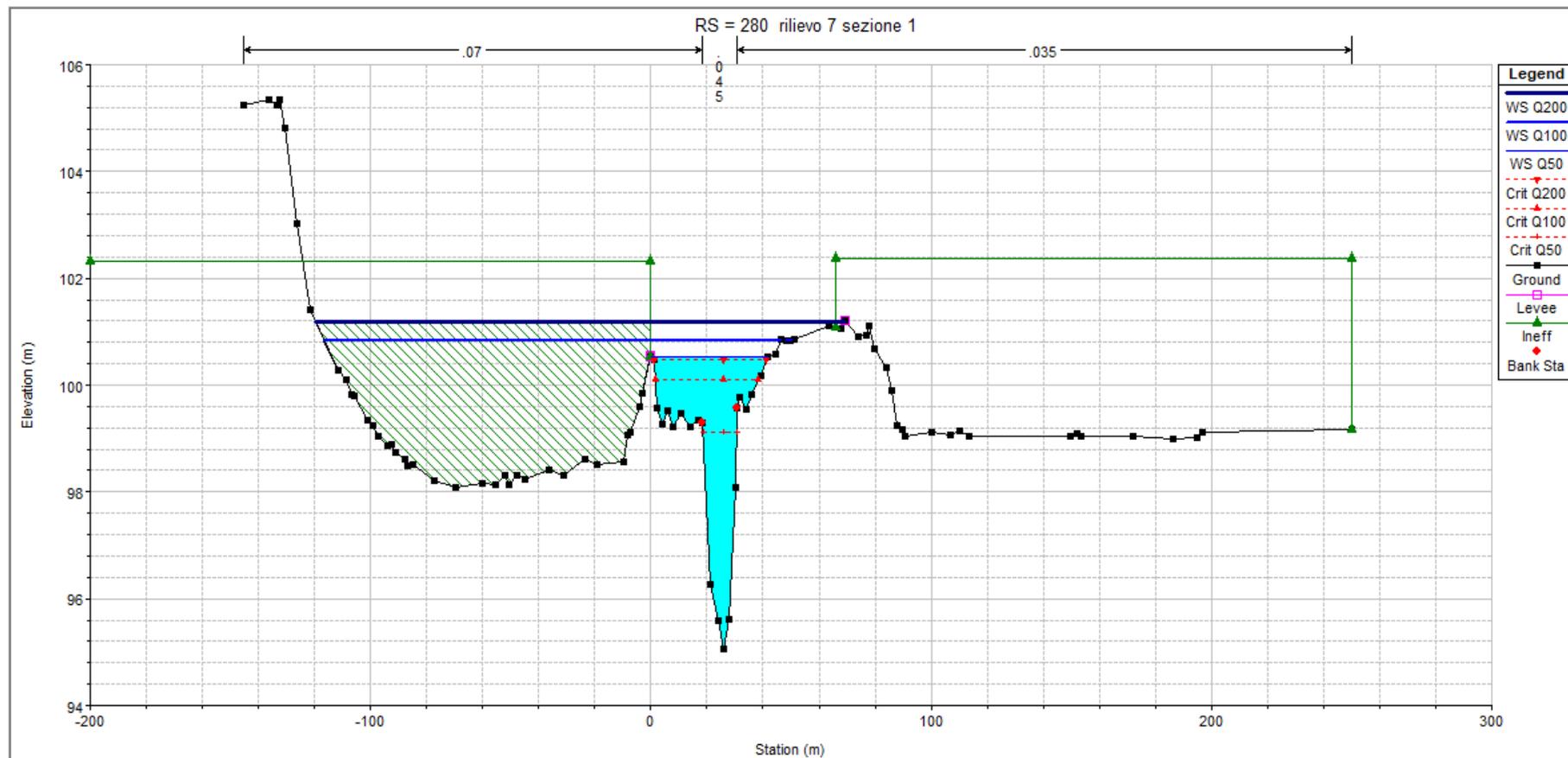


Figura 50: **RS=280** - Sezione trasversale a monte dell'attraversamento n. 3 del nuovo metanodotto.

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE				
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI				
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004		Foglio 59 di 81		Rev.: 00
				N° documento Cliente: REL-CI-09104

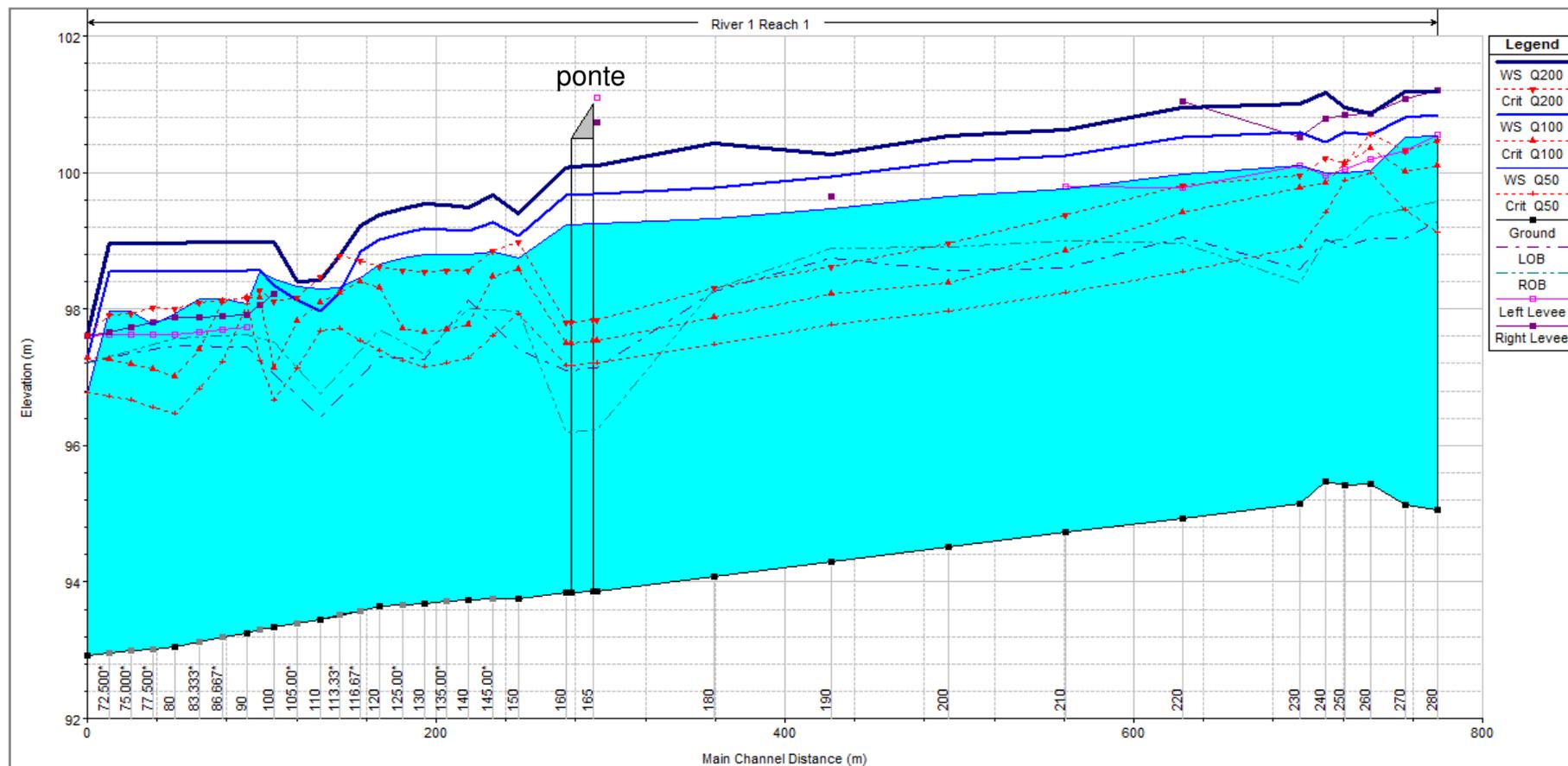


Figura 51: Profilo del tratto modellato per il calcolo della profondità di erosione in corrispondenza dell'attraversamento n. 2 e 3 del torrente Foci. Le variazioni delle quote del ciglio di sponda in sinistra e destra (LOB/ROB) sono legate alla conformazione geometrica delle sezioni d'alveo esistenti. Allo stesso modo le brusche diminuzioni dei livelli in alcuni tratti sono dovute ad una brusca variazione localizzata delle dimensioni geometriche delle sezioni

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
 ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI**

N° Documento:
 P22IT04321-PPL-RE-100-004

Foglio
 60 di 81

Rev.:
 00

N° documento Cliente:
 REL-CI-09104

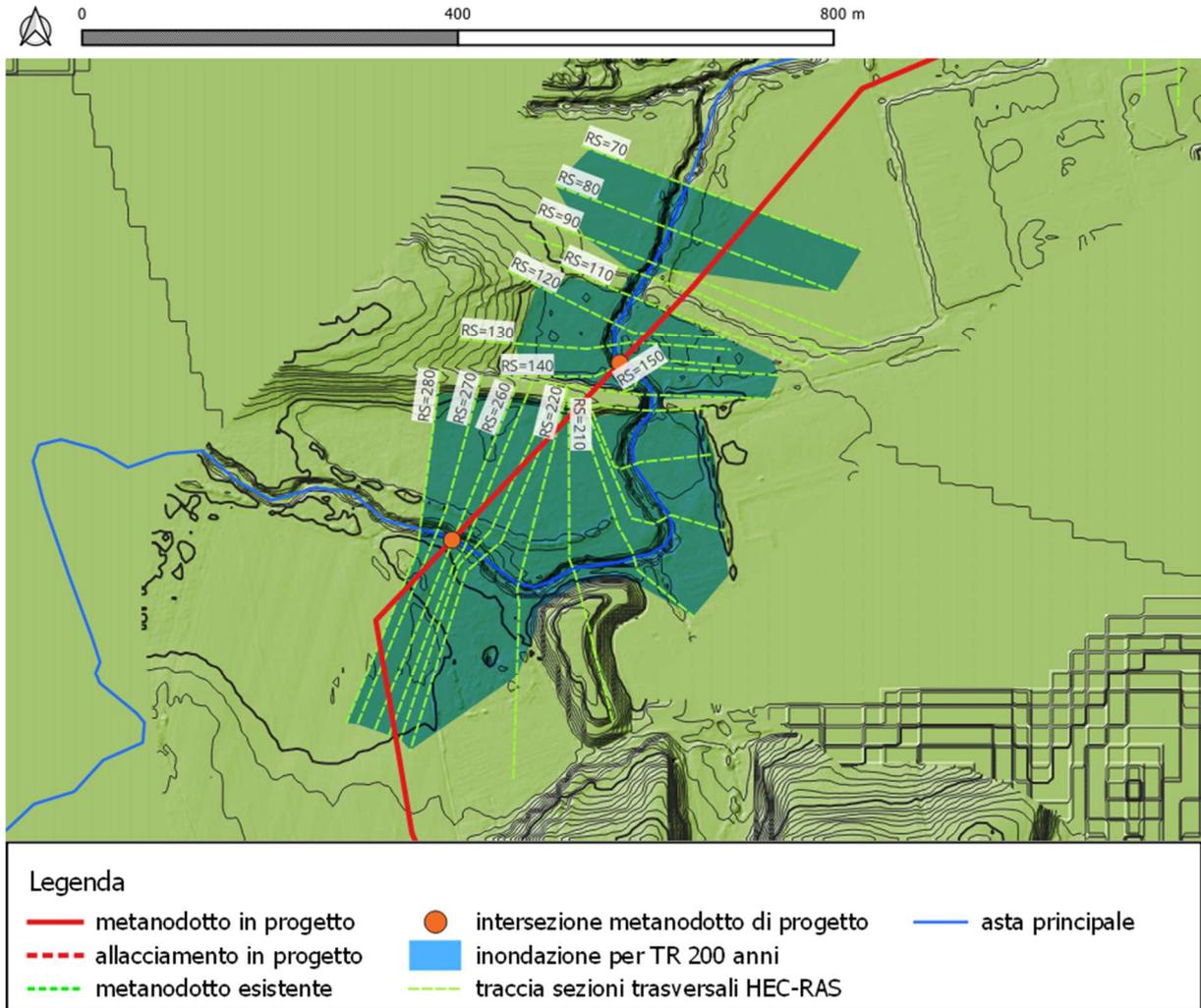


Figura 52: Area inondabile per TR 200 anni su DTM (attraversamenti n. 2 e 3).

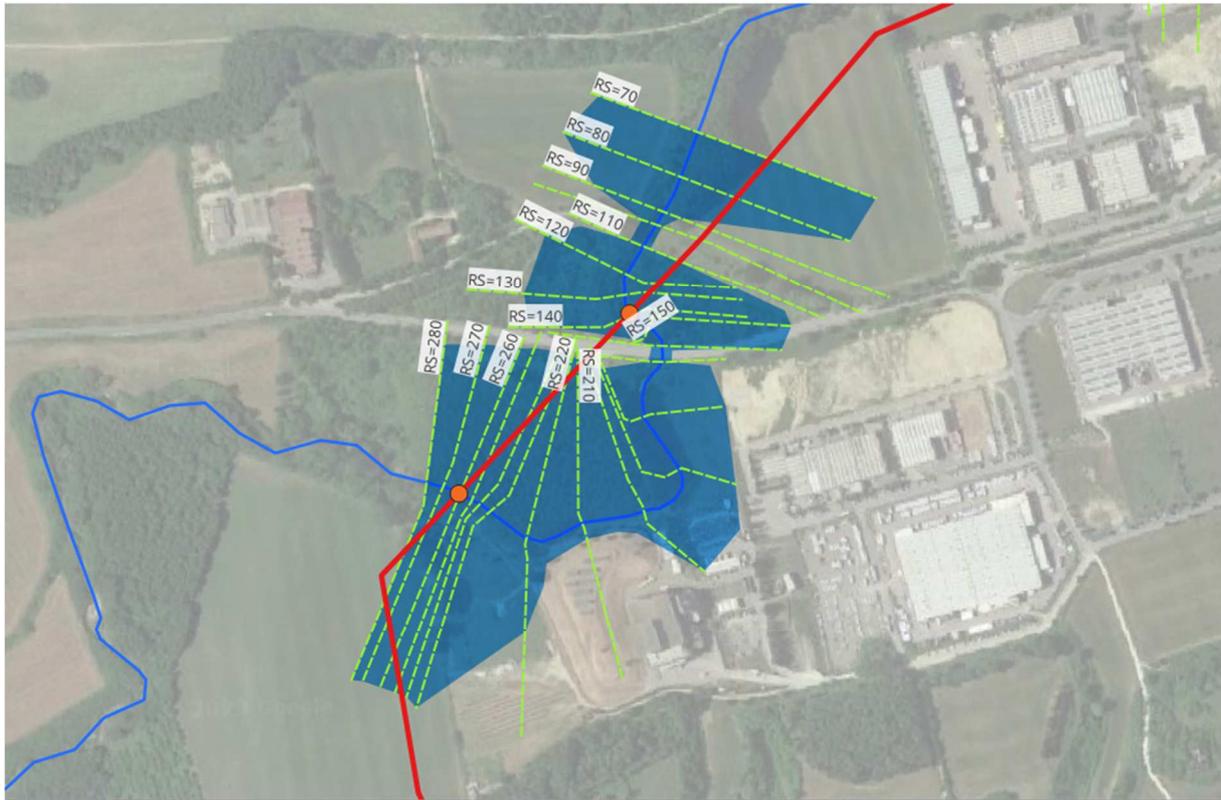
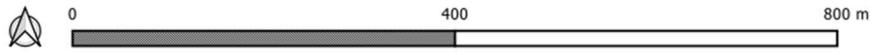
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI

N° Documento:
P22IT04321-PPL-RE-100-004

Foglio
61 di 81

Rev.:
00

N° documento Cliente:
REL-CI-09104



Legenda

- metanodotto in progetto
- - - allacciamento in progetto
- metanodotto esistente

- intersezione metanodotto di progetto
- inondazione per TR 200 anni
- - - traccia sezioni trasversali HEC-RAS

Figura 53: Area inondabile per TR 200 su ortofoto (attraversamenti n. 2 e 3).

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE										
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI										
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004			Foglio 62 di 81		Rev.:			N° documento Cliente: REL-CI-09104		

Sezione	TR	Q (m³/s)	Quota di fondo (m s.m.)	Quota p.l. (m s.m.)	Quota idr. critica (m s.m.)	Carico totale (m s.m.)	Pend. tratto (m/m)	P. linea carichi (m/m)	Velocità (m/s)	Area bagnata (m²)	Larghezza p.l. (m)	n. Froude	Raggio idr. (m)	Tensione tan. (N/m²)
280	Q50	164.8	95.06	100.53	99.13	100.89	-	0.00355	2.82	75.69	41.51	0.45	1.66	108.52
280	Q100	212.7	95.06	100.84	100.09	101.26	-	0.0041	3.18	89.42	165.26	0.49	1.69	134.54
280	Q200	264	95.06	101.18	100.47	101.65	-	0.00424	3.41	109.77	188.82	0.5	1.57	150.47
270	Q50	164.8	95.12	100.51	99.44	100.81	-	0.00315	2.63	81.95	172.95	0.44	1.61	94.85
270	Q100	212.7	95.12	100.81	100.01	101.17	-	0.00355	2.95	97.27	179.85	0.47	1.7	115.61
270	Q200	264	95.12	101.19	100.32	101.55	-	0.00337	3.05	121.61	377.86	0.47	1.69	120.14
260	Q50	164.8	95.43	100.03	99.99	100.67	0.0013	0.00961	3.85	56.25	42.67	0.67	1.18	221.8
260	Q100	212.7	95.43	100.55	100.35	101.06	0.0013	0.00697	3.61	81.06	184.71	0.58	1.46	185.91
260	Q200	264	95.43	100.86	100.58	101.43	0.0013	0.00745	3.93	101.03	387.35	0.61	1.15	214.58
250	Q50	164.8	95.41	99.99	99.88	100.52	-	0.00671	3.51	63.41	52.28	0.62	1.15	176.31
250	Q100	212.7	95.41	100.58	100.13	100.94	-	0.00413	3.08	100.36	209.18	0.5	1.42	128.49
250	Q200	264	95.41	100.95	100.13	101.28	-	0.00378	3.14	129.79	392	0.49	1.35	128.89
240	Q50	164.8	95.48	99.98	99.41	100.43	0.0232	0.00505	3.11	67.45	190.38	0.56	1.46	136.74
240	Q100	212.7	95.48	100.45	99.85	100.88	0.0232	0.00447	3.2	91.61	212.6	0.54	1.35	138.61
240	Q200	264	95.48	101.16	100.21	101.18	0.0232	0.00023	0.83	566.54	401.75	0.13	2.32	8.84
230	Q50	164.8	95.15	100.1	98.91	100.31	0.0032	0.00225	2.31	104.63	225.17	0.39	1.3	71.44
230	Q100	212.7	95.15	100.59	99.77	100.76	0.0032	0.00173	2.2	145.44	411.55	0.35	1.58	62.56
230	Q200	264	95.15	101.01	99.95	101.16	0.0032	0.00140	2.11	182.57	413	0.32	1.98	55.69
220	Q50	164.8	94.94	99.97	98.55	100.17	0.0032	0.00219	2.21	111.53	246.64	0.38	1.11	66.37
220	Q100	212.7	94.94	100.52	99.41	100.65	0.0032	0.00140	1.95	174.85	270.71	0.31	1.42	49.28
220	Q200	264	94.94	100.95	99.81	101.06	0.0032	0.00109	1.84	231.82	291.37	0.28	1.63	42.51

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE										
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI										
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004			Foglio 63 di 81		Rev.: 00			N° documento Cliente: REL-CI-09104		

Sezione	TR	Q (m³/s)	Quota di fondo (m s.m.)	Quota p.l. (m s.m.)	Quota idr. critica (m s.m.)	Carico totale (m s.m.)	Pend. tratto (m/m)	P. linea carichi (m/m)	Velocità (m/s)	Area bagnata (m²)	Larghezza p.l. (m)	n. Froude	Raggio idr. (m)	Tensione tan. (N/m²)
210	Q50	164.8	94.72	99.75	98.24	100.02	0.0032	0.00255	2.4	84.03	42.81	0.41	1.83	78.43
210	Q100	212.7	94.72	100.24	98.85	100.52	0.0032	0.00241	2.55	105.8	182.81	0.4	2.19	84.36
210	Q200	264	94.72	100.62	99.38	100.94	0.0032	0.00248	2.75	123.03	184.08	0.42	2.51	95.1
200	Q50	164.8	94.51	99.64	97.96	99.85	0.0032	0.00198	2.13	88.73	243.64	0.36	1.9	61.31
200	Q100	212.7	94.51	100.15	98.38	100.36	0.0032	0.00177	2.2	111.23	272.16	0.35	2.38	62.53
200	Q200	264	94.51	100.53	98.97	100.77	0.0032	0.00179	2.35	128.17	273.36	0.36	2.74	69.3
190	Q50	164.8	94.3	99.47	97.77	99.7	0.0032	0.00235	2.16	78.9	166.64	0.39	2.31	65.37
190	Q100	212.7	94.3	99.94	98.23	100.21	0.0032	0.00234	2.36	94.21	221.96	0.4	2.63	74.8
190	Q200	264	94.3	100.27	98.61	100.61	0.0032	0.00257	2.63	105.18	223.37	0.42	2.94	89.94
180	Q50	164.8	94.08	99.32	97.48	99.56	0.0032	0.00196	2.17	80.73	154.13	0.36	2.66	63.13
180	Q100	212.7	94.08	99.77	97.88	100.06	0.0032	0.00213	2.44	93.18	159.41	0.38	3.07	76.75
180	Q200	264	94.08	100.43	98.31	100.47	0.0032	0.00031	1.04	375.32	162.35	0.15	2.27	13.27
170	Q50	164.8	93.87	99.26	97.21	99.43	0	0.00130	1.87	87.93	23.33	0.31	2.95	45.66
170	Q100	212.7	93.87	99.69	97.53	99.93	0	0.00151	2.17	98	23.33	0.34	3.2	59.06
170	Q200	264	93.87	100.1	97.84	100.4	0	0.00170	2.45	107.59	23.34	0.36	3.42	73.19
160	Q50	164.8	93.84	99.23	97.18	99.41	0.0029	0.00129	1.87	88.1	23.33	0.31	2.96	45.46
160	Q100	212.7	93.84	99.66	97.5	99.9	0.0029	0.00150	2.16	100.67	39.38	0.34	2.14	58.69
160	Q200	264	93.84	100.07	97.81	100.37	0.0029	0.00165	2.41	119.06	46.08	0.36	2.17	70.79
150	Q50	164.8	93.76	98.74	97.93	99.31	0.0007	0.00599	3.42	56.88	95.1	0.59	1.71	164.99
150	Q100	212.7	93.76	99.07	98.58	99.78	0.0007	0.00682	3.89	67.01	154.83	0.64	1.96	206.08

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE										
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI										
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004			Foglio 64 di 81		Rev.:			N° documento Cliente: REL-CI-09104		

Sezione	TR	Q (m³/s)	Quota di fondo (m s.m.)	Quota p.l. (m s.m.)	Quota idr. critica (m s.m.)	Carico totale (m s.m.)	Pend. tratto (m/m)	P. linea carichi (m/m)	Velocità (m/s)	Area bagnata (m²)	Larghezza p.l. (m)	n. Froude	Raggio idr. (m)	Tensione tan. (N/m²)
150	Q200	264	93.76	99.39	98.98	100.23	0.0007	0.00751	4.3	76.88	157.45	0.68	2.2	246.01
140	Q50	164.8	93.74	98.8	97.28	99.13	0.002	0.00318	2.62	75.63	175.13	0.44	1.74	94.39
140	Q100	212.7	93.74	99.15	97.77	99.55	0.002	0.00354	2.95	89.9	201.63	0.48	2.07	115.57
140	Q200	264	93.74	99.48	98.56	99.95	0.002	0.00383	3.24	103.47	204.03	0.5	2.39	135.87
130	Q50	164.8	93.69	98.79	97.15	99.04	0.0015	0.00222	2.37	99.89	215.54	0.38	1.56	74.13
130	Q100	212.7	93.69	99.18	97.66	99.44	0.0015	0.00229	2.57	123.48	229.08	0.39	1.93	84.2
130	Q200	264	93.69	99.54	98.55	99.83	0.0015	0.00233	2.73	146.07	231.62	0.4	2.28	92.97
120	Q50	164.8	93.65	98.65	97.39	98.96	0.0061	0.00335	2.67	85.61	207.17	0.45	1.53	98.05
120	Q100	212.7	93.65	99.02	98.3	99.36	0.0061	0.00342	2.88	105.42	210.02	0.46	1.88	110.78
120	Q200	264	93.65	99.38	98.62	99.75	0.0061	0.00346	3.07	124.43	212.43	0.47	2.22	121.96
110	Q50	164.8	93.44	98.3	97.68	98.77	0.0036	0.00506	3.25	60.36	34.24	0.56	1.64	146.48
110	Q100	212.7	93.44	97.97	98.09	99.06	0.0036	0.01298	4.88	50.33	29.15	0.88	1.59	340.5
110	Q200	264	93.44	98.42	98.48	99.49	0.0036	0.01110	4.93	64.64	46.66	0.83	1.67	332.25
100	Q50	164.8	93.35	98.43	96.67	98.59	0.0057	0.00163	1.99	128.99	298.95	0.33	1.22	52.8
100	Q100	212.7	93.35	98.35	97.13	98.66	0.0057	0.00310	2.7	120.64	296.37	0.45	1.16	97.85
100	Q200	264	93.35	98.97	98.11	98.98	0.0057	0.00009	0.53	637.76	328.33	0.08	1.92	3.55
90	Q50	164.8	93.26	98.08	98.08	98.5	0.0049	0.00695	3.19	83.17	334.28	0.62	0.77	154.32
90	Q100	212.7	93.26	98.56	98.16	98.56	0.0049	0.00007	0.36	615.28	349.08	0.06	1.74	1.85
90	Q200	264	93.26	98.97	98.16	98.98	0.0049	0.00005	0.35	764.62	365.43	0.06	2.07	1.71
80	Q50	164.8	93.05	97.93	96.46	98.14	0.0026	0.00282	2.22	120.58	320.45	0.41	0.8	71.54

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE										
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI										
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004			Foglio di 81		Rev.:			N° documento Cliente: REL-CI-09104		
			65		00					

Sezione	TR	Q (m³/s)	Quota di fondo (m s.m.)	Quota p.l. (m s.m.)	Quota idr. critica (m s.m.)	Carico totale (m s.m.)	Pend. tratto (m/m)	P. linea carichi (m/m)	Velocità (m/s)	Area bagnata (m²)	Larghezza p.l. (m)	n. Froude	Raggio idr. (m)	Tensione tan. (N/m²)
80	Q100	212.7	93.05	98.55	97.02	98.56	0.0026	0.00009	0.46	570.03	320.45	0.08	1.74	2.87
80	Q200	264	93.05	98.97	98	98.98	0.0026	0.00007	0.45	704.22	320.45	0.07	2.15	2.62
70	Q50	164.8	92.92	96.77	96.77	97.86		0.01782	4.64	35.52	16.15	1	1.96	341.86
70	Q100	212.7	92.92	97.29	97.29	98.44		0.01704	4.75	44.81	20.79	0.99	1.95	350.4
70	Q200	264	92.92	97.62	97.62	98.85		0.01569	4.99	65.38	307.45	0.98	0.53	369.11

Tabella 14: Grandezze caratteristiche dei deflussi nel tratto modellato per il calcolo della profondità di erosione in corrispondenza dell'attraversamento n. 2 e 3 del torrente Foci nello stato di progetto (evidenziate in verde le sezioni interessate dagli attraversamenti).

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE				
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI				
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 66 di 81	Rev.:	N° documento Cliente: REL-CI-09104	
		00		

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:

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

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

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE					
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI					
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004		Foglio 67 di 81		Rev.: 00	
				N° documento Cliente: REL-CI-09104	

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:

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

è poi possibile ricavare la massima profondità di erosione come:

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

Caso 4

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.

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE			
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 68 di 81	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09104

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:

$$h_g = Y_m \cdot \left(0,9 + 3,7 \frac{B_f}{r_c} \right)$$

mentre per angoli al centro inferiori a 60° risulta:

$$h_g = Y_m \cdot \left(1,2 + \frac{B}{r_c} \right)$$

dove, oltre ai simboli già visti in precedenza, Y_m 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:

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

Il valore di erosione finale da considerare nella definizione della profondità di posa della condotta sarà quello maggiore tra i quattro casi sopra descritti.

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 il tratto d'alveo analizzato si può escludere la casistica di cui al punto 2 in quanto nella tratto in esame non sono presenti manufatti in alveo in prossimità delle sezioni di progetto.

Si procede quindi ad analizzare il caso 1, 3 e 4.

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE						
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI						
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004		Foglio 69 di 81		Rev.:		N° documento Cliente: REL-CI-09104
				00		

Caso 1

Utilizzando le grandezze caratteristiche del moto determinate al Paragrafo 3.3 e sintetizzate in Tabella 13 e Tabella 14, per il tempo di ritorno di 200 anni e considerando il fattore di sicurezza pari a 1,30, dall'espressione (a) di Schoklitsch e dall'espressione (b) si ottiene:

Numero attraversamento	Profondità di erosione* (m)		
	Espressione (a)	Espressione (b)	Massimo (a) e (b)
1	2,35	3,39	3,39
2	3,13	3,73	3,73
3	3,05	3,53	3,53

Nota: (*) valori comprensivi del fattore di sicurezza pari a 1,30

Tabella 15: Valori di profondità di erosione per gli attraversamenti del torrente Foci per il caso di discontinuità di fondo.

Caso 3

Con riferimento alle grandezze caratteristiche calcolate in Tabella 13 e Tabella 14, si ricavano i seguenti risultati (in cui il significato dei vari simboli utilizzato è indicato in precedenza):

N. attraversamento	B_f [m]	Y [m]	D [mm]	β	β_c	erosione $\beta > \beta_c$
1	8,6	5,22	10	0,82	9,6	NO
2	5,7	5,74	10	0,50	11,8	NO
3	5,9	5,43	10	0,54	11,3	NO

Tabella 16: Profondità di scavo prevedibile per la presenza di barre alterne.

Poiché $\beta < \beta_c$ non si ha la formazione di barre alterne in nessuno degli attraversamenti considerati.

Caso 4

Gli attraversamenti 2 e 3 del torrente Foci cadono in corrispondenza di curve del fiume, trovano perciò applicazione le formule empiriche per la determinazione dell'erosione in curva; dall'applicazione delle formule suddette, si sono ottenuti i risultati riportati nella seguente Tabella 17 (in cui il significato dei vari simboli utilizzato è indicato in precedenza).

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE									
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI									
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004			Foglio 70 di 81		Rev.:			N° documento Cliente: REL-CI-09104	

N. attraversamento	B_f [m]	r_c [m]	Y_m [m]	D [mm]	d_0	Profondità di erosione* (m)		
						η_{max} (eq. a)	h_{scavo} (eq. b)	media (a) e (b)
2	5,7	75	5,74	10	14,1	2,00	0,12	1,06
3	5,9	400	5,43	10	7,5	0,19	-	0,19

Nota: (*) valori comprensivi del fattore di sicurezza pari a 1,30

Tabella 17: Profondità di scavo prevedibile per la presenza di curve.

Definizione della profondità di posa per gli attraversamenti n. 1, 2 e 3

Alla luce delle analisi di cui ai punti precedenti, la condizione più gravosa per tutti gli attraversamenti è quella relativa al Caso 1, erosione dovuta alla presenza di discontinuità di fondo, pertanto la profondità minima di posa della condotta dovrebbe risultare non inferiore ai valori riportati in Tabella 18, comprensivi di un coefficiente di sicurezza di 1,30; a tale valore di profondità andrebbe poi aggiunto il valore del ricoprimento minimo da assicurare alla condotta per ragioni di sicurezza, stabilito in 1,50 m.

Numero attraversamento	1	2	3
Profondità massima di erosione* (m)	3,39	3,73	3,53
Profondità minima di posa** (m)	4,89	5,23	5,03
Profondità di posa di progetto *** (m)	8,05	23,65	18,75

Note:

(*) valori comprensivi del fattore di sicurezza pari a 1,30

(**) distanza dal fondo alveo alla generatrice superiore del tubo, con ricoprimento minimo stabilito di 1,50 m

(***) valori di progetto già riportati in Tabella 3

Tabella 18: Profondità massime di erosione per i vari attraversamenti del torrente Foci.

Le profondità di scavo sopra determinate risultano compatibili con le profondità di posa di progetto riportate in Tabella 3.

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE					
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI					
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004		Foglio 71 di 81		Rev.: 00	
				N° documento Cliente: REL-CI-09104	

5 CONCLUSIONI

Il presente studio ha lo scopo di valutare l' idoneità della profondità di posa della nuova condotta in corrispondenza degli attraversamenti in subalveo del torrente Foci che, si ricorda, verranno tutti eseguiti con tecnologia no dig, e le profondità di posa risultano compatibili con la previsione dell'erosione fluviale con tempo di ritorno di 200 anni.

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI**

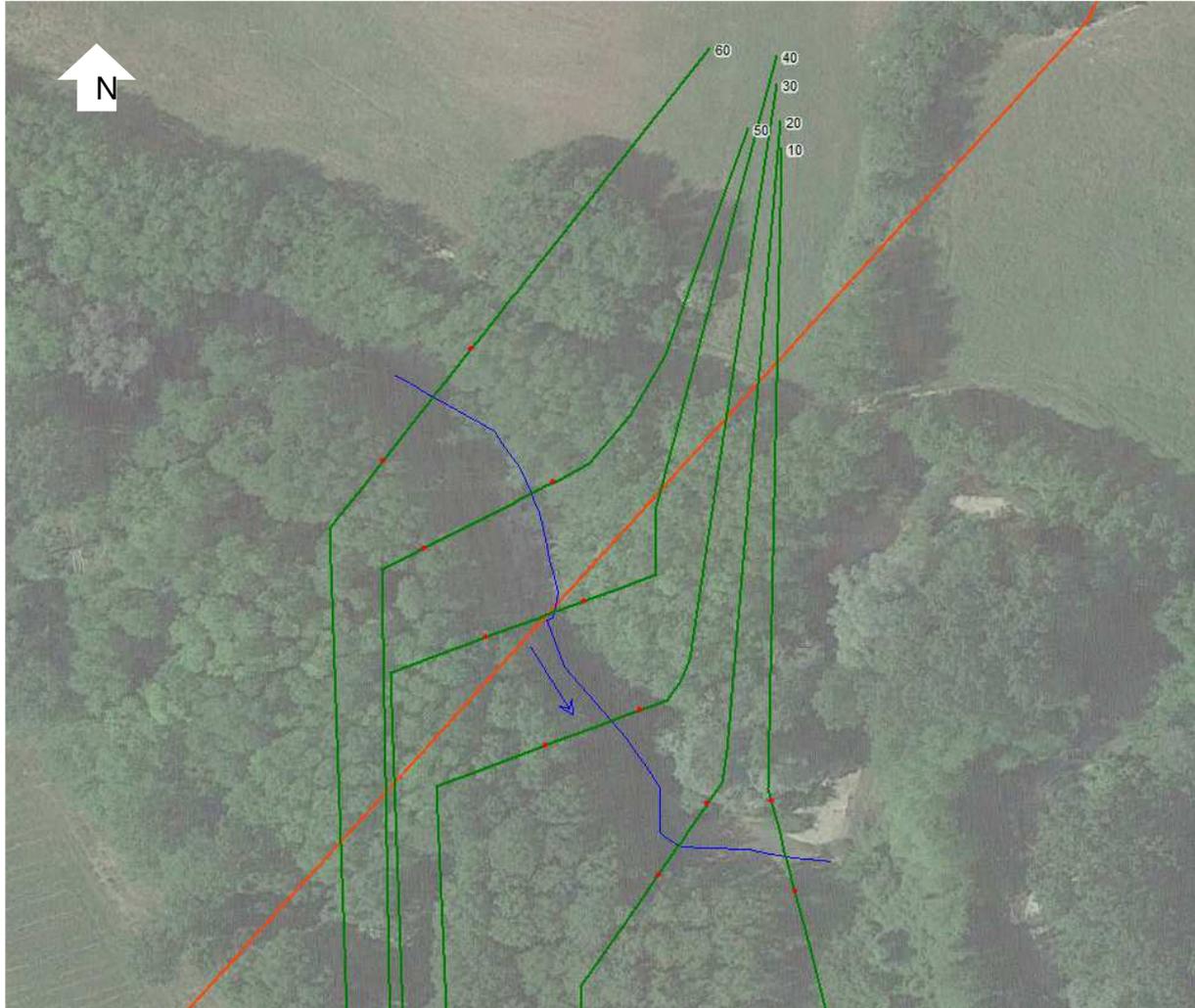
N° Documento:
P22IT04321-PPL-RE-100-004

Foglio
72 di 81

Rev.:
00

N° documento Cliente:
REL-CI-09104

ANNESSO 1: STRALCIO PLANIMETRICO DEL TRATTO MODELLATO



Primo tratto modellato in HEC-RAS (attraversamento n. 1), con relativi codici numerici delle sezioni trasversali inserite

Legenda

- Metanodotto di progetto
- Sezioni trasversali
- Asta fluviale

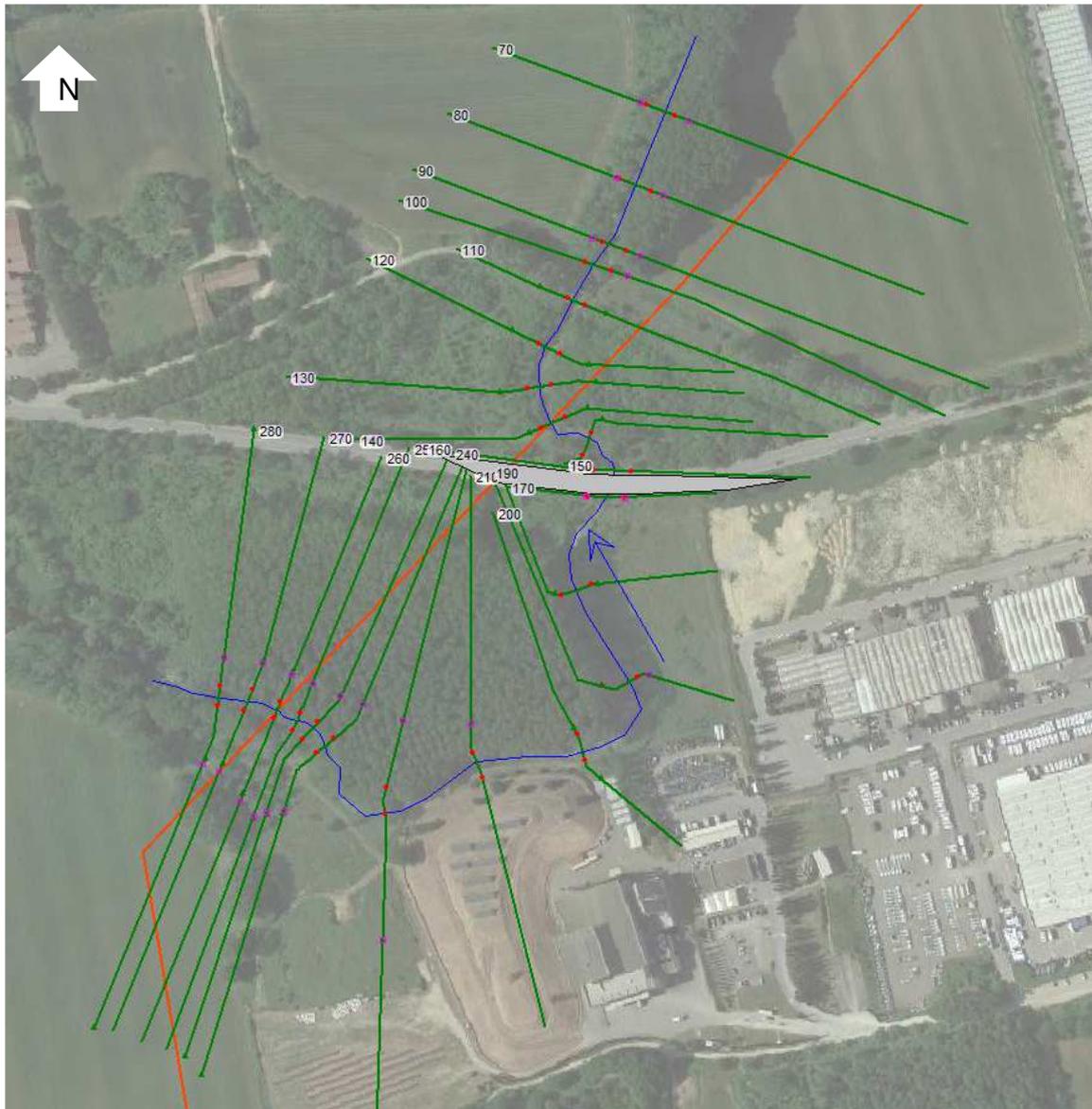
**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI**

N° Documento:
P22IT04321-PPL-RE-100-004

Foglio
73 di 81

Rev.:
00

N° documento Cliente:
REL-CI-09104



Secondo tratto modellato in HEC-RAS (attraversamenti n. 2 e 3), con relativi codici numerici delle sezioni trasversali inserite. La campitura grigia rappresenta un ponte stradale

Legenda

-  Metanodotto di progetto
-  Sezioni trasversali
-  Asta fluviale

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE					
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI					
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004		Foglio 74 di 81		Rev.: 00	
				N° documento Cliente: REL-CI-09104	

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.

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.

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE					
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI					
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004		Foglio 75 di 81		Rev.: 00	
				N° documento Cliente: REL-CI-09104	

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.

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;

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI**

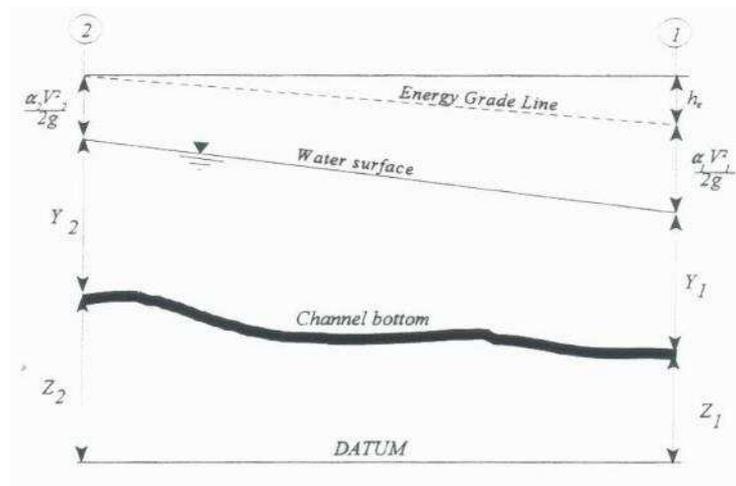
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 76 di 81	Rev.:	N° documento Cliente: REL-CI-09104
		00	

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

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

Calcolo del profilo di moto permanente

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



Rappresentazione dei termini dell'equazione di bilancio energetico

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

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

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

dove:

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

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE			
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 77 di 81	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09104

- V1, V2 : velocità media;
- α_1, α_2 : coefficienti energetici moltiplicativi della velocità;
- g : accelerazione gravitazionale;
- h_e : perdita di carico;
- L : distanza fra le sezioni trasversali;
- Sf : pendenza media;
- C : coefficiente di perdita per contrazione o espansione.

La distanza L viene calcolata utilizzando la seguente espressione:

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

Dove

- L_{lob}, L_{ch}, L_{rob} : sono le distanze tra due sezioni trasversali consecutive, rispettivamente per la gola di sinistra, il 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
ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI**

N° Documento:
P22IT04321-PPL-RE-100-004

Foglio
78 di 81

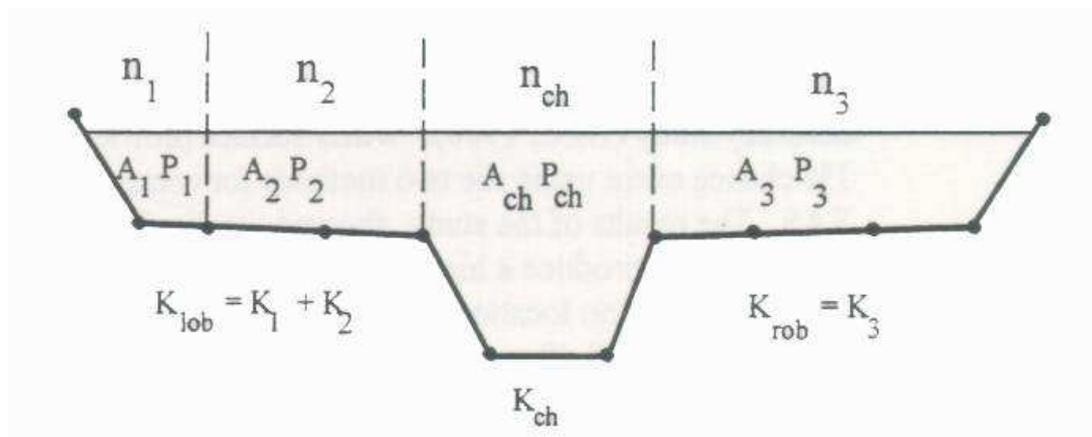
Rev.:
00

N° documento Cliente:
REL-CI-09104

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;
- 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.

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
 ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI

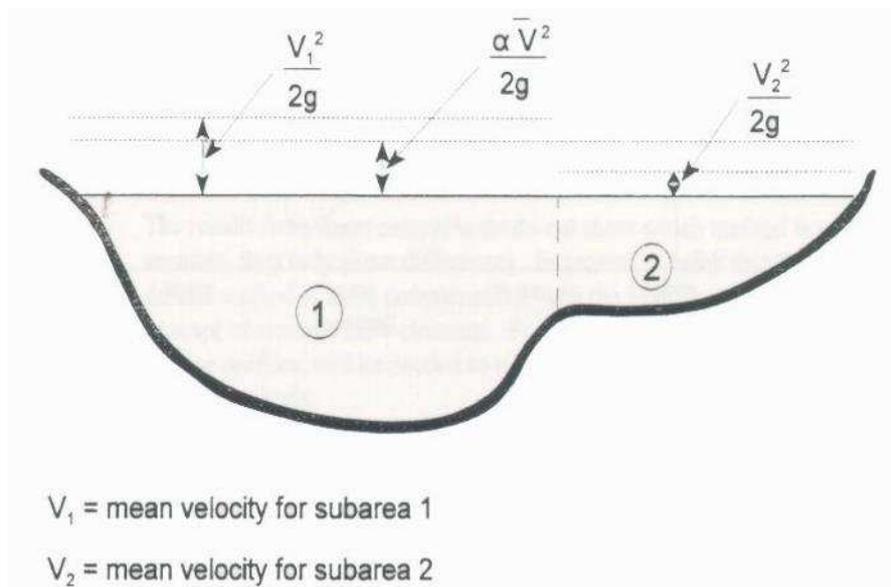
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 79 di 81	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09104
--	--------------------	-------------	---------------------------------------

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.



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:

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE					
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI					
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004		Foglio 80 di 81		Rev.: 00	
				N° documento Cliente: REL-CI-09104	

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

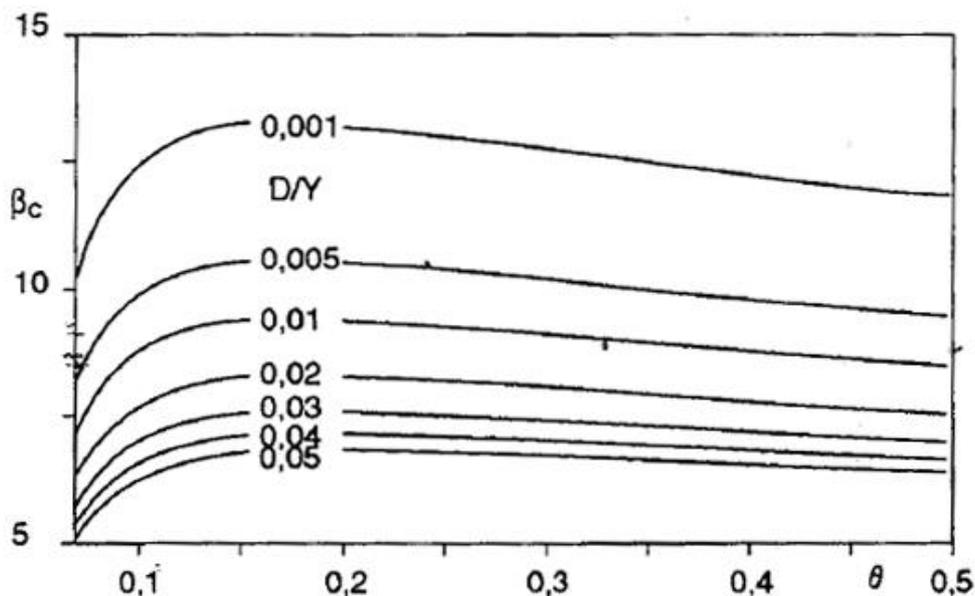
dove C rappresenta il già citato coefficiente di contrazione/espansione.

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
 ATTRAVERSAMENTI TORRENTE FOCI

N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-004	Foglio 81 di 81	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09104
--	--------------------	-------------	---------------------------------------

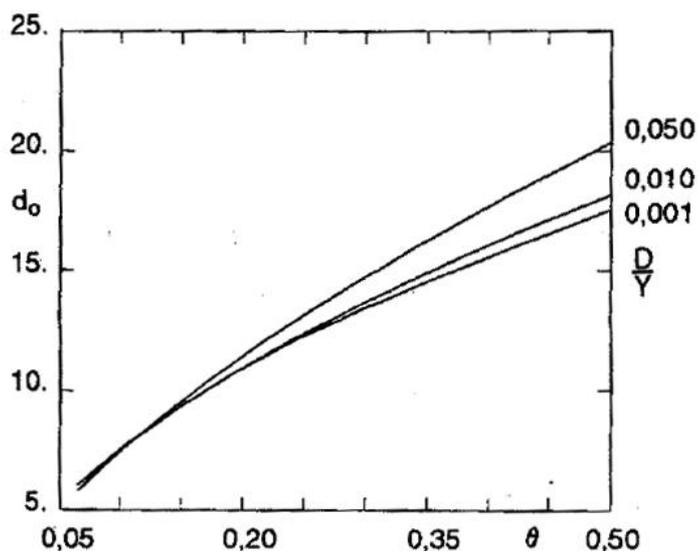
ANNESSE 3: TABELLE DI LETTERATURA

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