

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-100-003	Foglio 1 di 104	Data 31-05-2023	N° documento Cliente: REL-CI-09103



**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTI FIUME ELSA**



00	31-05-2023	EMMISSIONE PER COMMENTI	VANNI	STROPPIA	MONTONI
REV	DATA	TITOLO REVISIONE	PREPARATO	CONTROLLATO	APPROVATO

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 FIUME ELSA			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003	Foglio 2 di 104	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09103

INDICE

1	PREMESSA E CARATTERISTICHE GENERALI.....	3
2	CARATTERISTICHE DELLE OPERE IN PROGETTO	7
3	STUDIO IDROLOGICO-IDRAULICO	11
3.1	Individuazione del bacino idrografico.....	11
3.2	Analisi idrologica e determinazione della portata al colmo di piena.....	14
3.3	Studio idraulico	30
	Modellazione attraversamento n. 1	33
	Modellazione attraversamenti n. 2 e 3.....	55
	Modellazione attraversamento n. 4.....	77
4	DETERMINAZIONE DELLA MASSIMA PROFONDITÀ DI EROSIONE	88
5	CONCLUSIONI.....	93
	ANNESSO 1: STRALCIO PLANIMETRICO DEL TRATTO MODELLATO	94
	ANNESSO 2: GENERALITÀ SUL MODELLO HEC-RAS	97
	Descrizione del modello di simulazione idraulica.....	97
	Calcolo del profilo di moto permanente.....	99
	ANNESSO 3: TABELLE DI LETTERATURA	104
	Grafico per il calcolo del parametro β_c per l'erosione da barre alterne	104
	Grafico per il calcolo del coefficiente d_0 per l'erosione in curva	104

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTI FIUME ELSA**

N° Documento:
P22IT04321-PPL-RE-100-003

Foglio
3 di 104

Rev.:
00

N° documento Cliente:
REL-CI-09103

1 PREMESSA E CARATTERISTICHE GENERALI

La presente relazione è finalizzata alla determinazione delle caratteristiche idrologico-idrauliche del fiume Elsa, 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 (8") MOP75 bar che attraverserà il corso d'acqua in quattro punti, come evidenziato negli stralci planimetrici riportati di seguito.

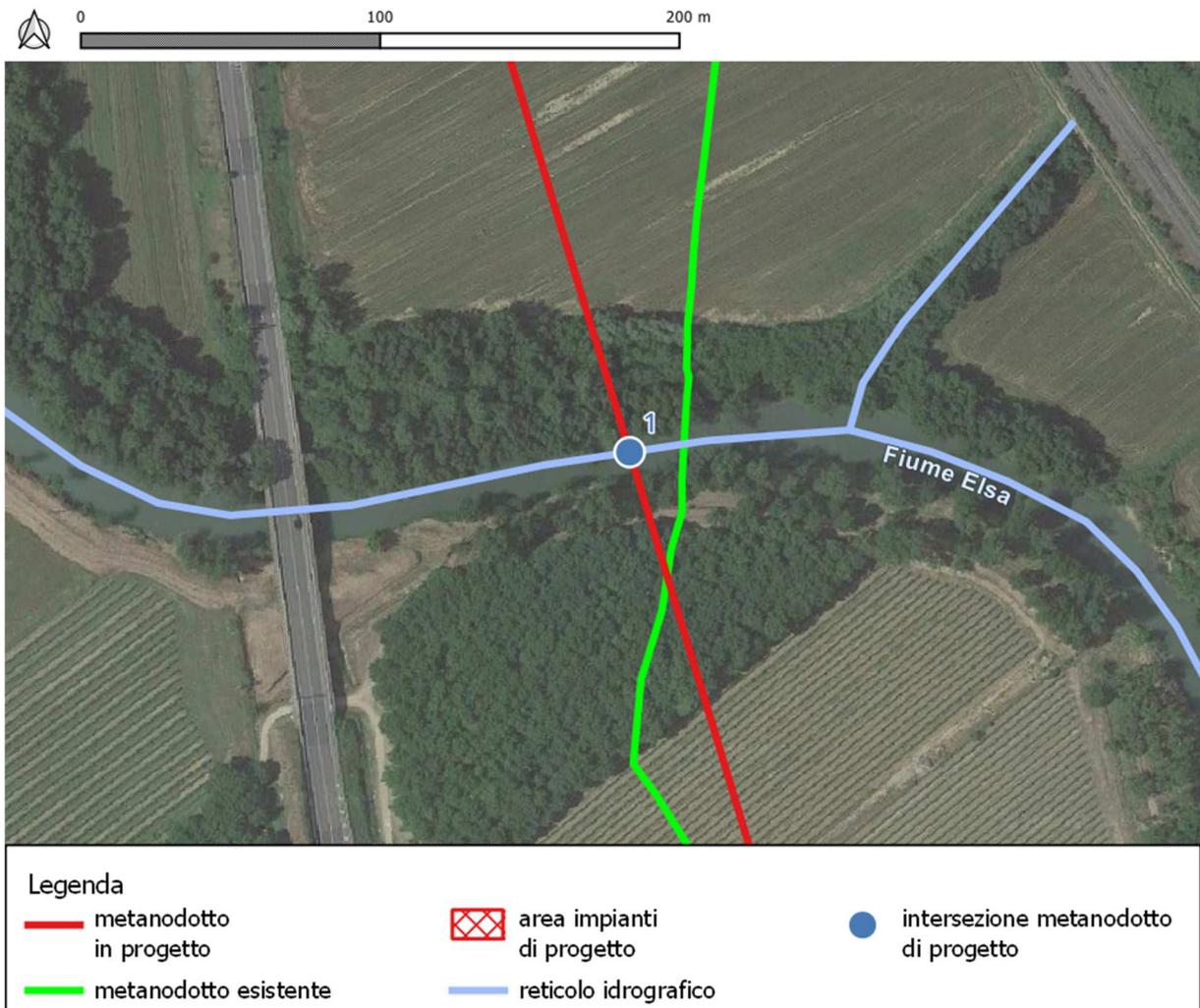


Figura 1: Planimetria della zona dell'attraversamento n. 1 del fiume Elsa.

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 FIUME ELSA**

N° Documento:
P22IT04321-PPL-RE-100-003

Foglio
4 di 104

Rev.:
00

N° documento Cliente:
REL-CI-09103

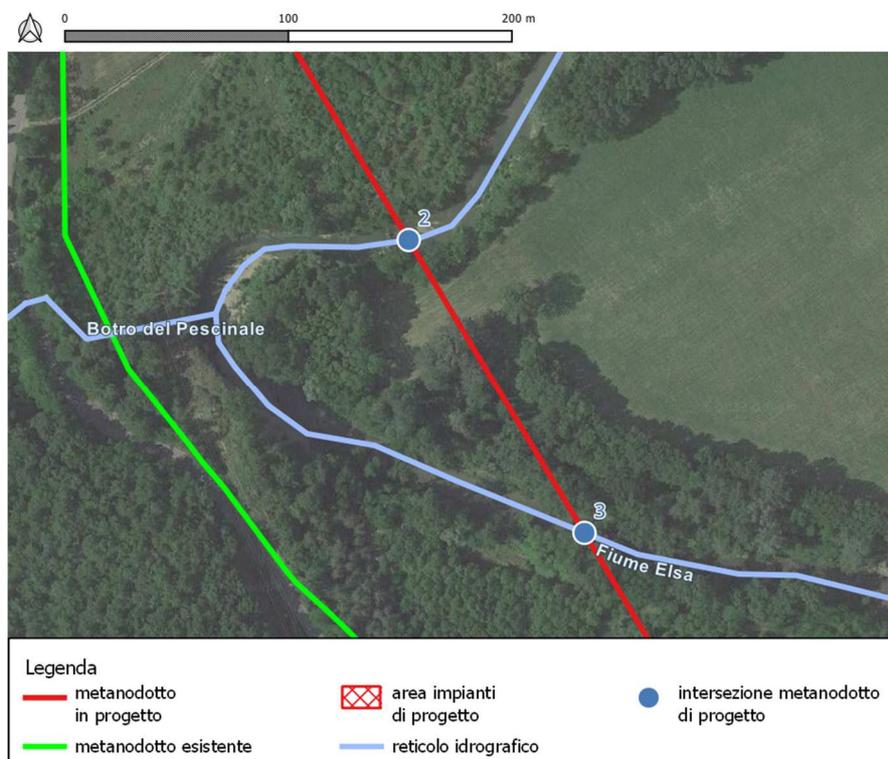


Figura 2: Planimetria della zona dell'attraversamento n. 2 e 3 del fiume Elsa.

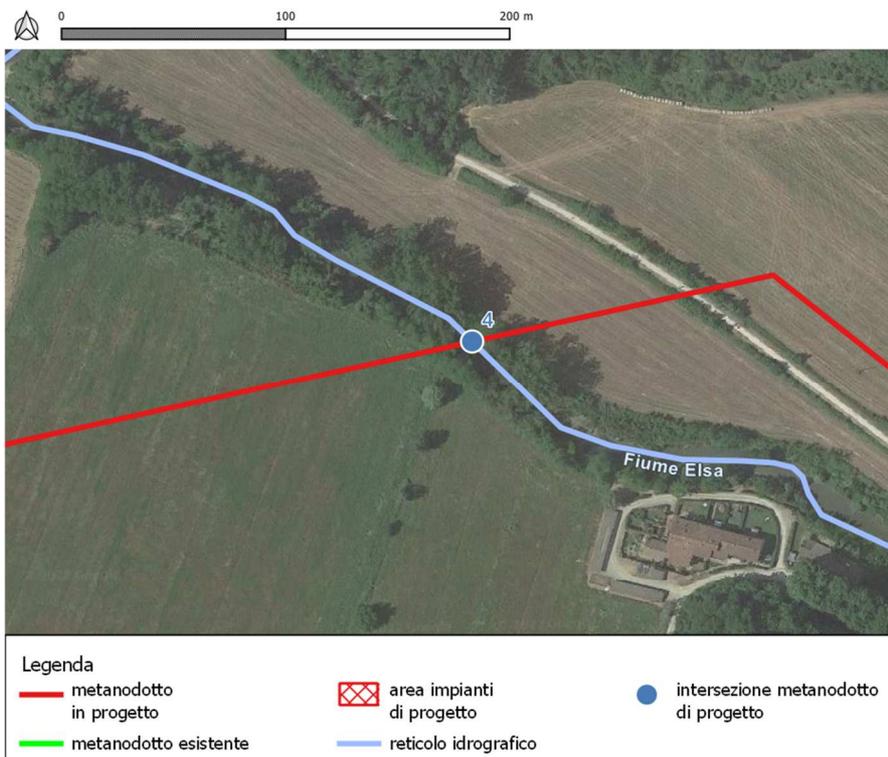


Figura 3: Planimetria della zona dell'attraversamento n. 4 del fiume Elsa.

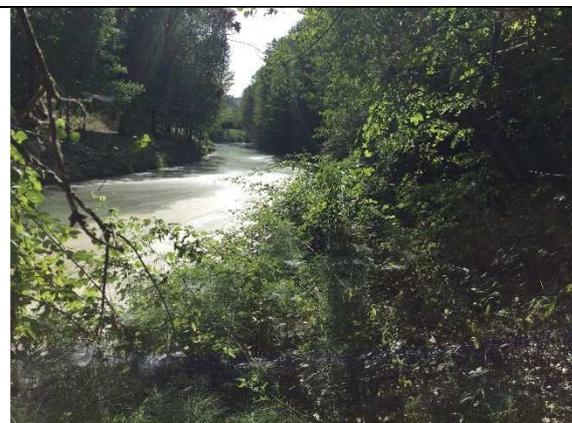
**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTI FIUME ELSA**

N° Documento:
P22IT04321-PPL-RE-100-003

Foglio
5 di 104

Rev.:
00

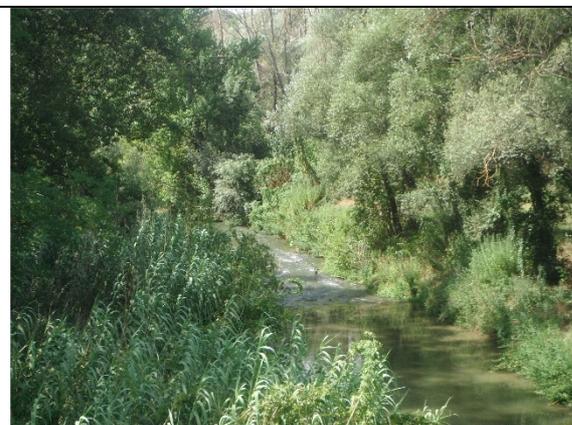
N° documento Cliente:
REL-CI-09103



Att. 1



Att. 2



Att. 3



Att. 4

Figura 4: Vista del corso d'acqua in corrispondenza dei 4 attraversamenti di progetto.

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

numero attraversamento	progressiva chilometrica
1	1+965
2	7+316
3	7+469
4	13+531

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 FIUME ELSA						
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003		Foglio 6 di 104		Rev.:		N° documento Cliente: REL-CI-09103
				00		

A tal fine sono state eseguite specifiche modellazioni idrauliche di tratti d'alveo per le lunghezze riportate nella seguente tabella, ritenute significative in considerazioni delle dimensioni dell'alveo inciso riportate alle pagine seguenti:

numero attraversamento	lunghezza di modellazione (m)
1	680
2 e 3	530
4	180

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 13. I valori così calcolati sono stati poi utilizzati per le verifiche della profondità di posa della nuova condotta eseguite al Paragrafo 0.

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 FIUME ELSA			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003	Foglio 7 di 104	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09103

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:

numero attraversamento	Modalità di attraversamento	Profondità di posa della tubazione * (m)	Elaborato grafico di riferimento
1	no dig (trivellazione orizzontale controllata)	11,30	DIS-AT-09108
2	no dig (trivellazione orizzontale controllata) **	10,60	DIS-AT-09110
3	no dig (trivellazione orizzontale controllata) **	14,00	DIS-AT-09110
4	no dig (direct pipe)	7,45	DIS-AT-09118

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.

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
 ATTRAVERSAMENTI FIUME ELSA

N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003	Foglio 8 di 104	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09103
--	--------------------	-------------	---------------------------------------

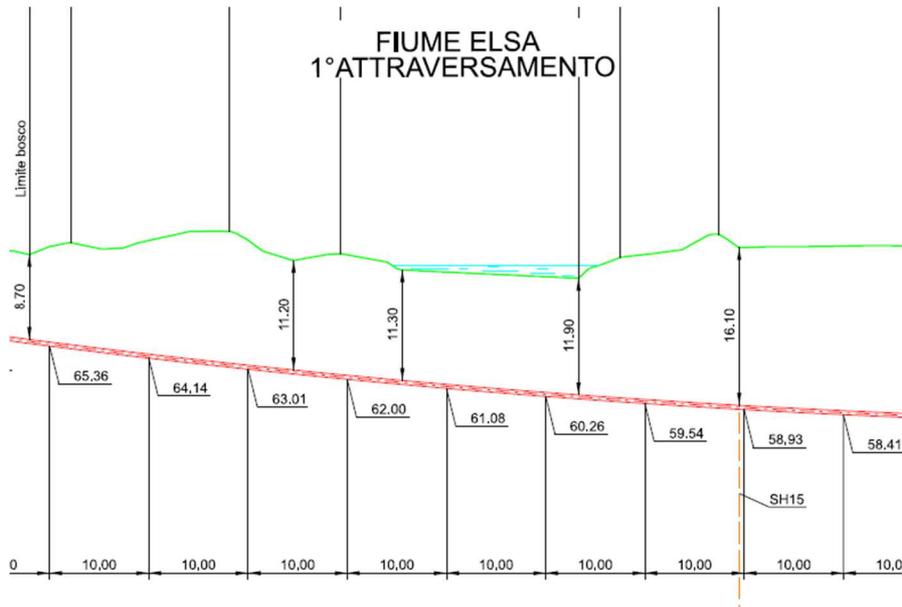
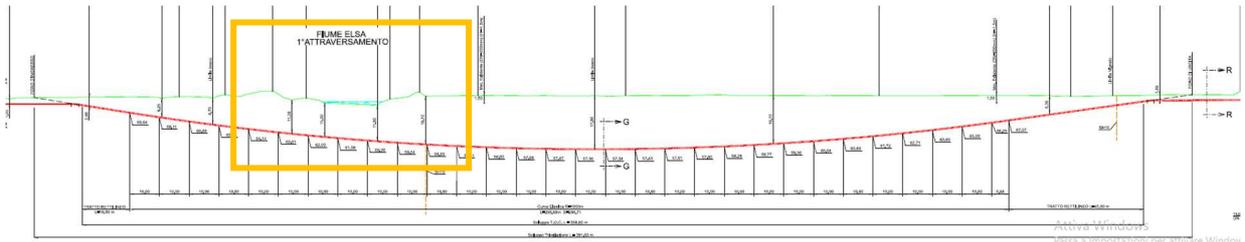


Figura 5: Attraversamento fiume Elsa (n. 1) - Sezione schematica di progetto.

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTI FIUME ELSA**

N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003	Foglio 9 di 104	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09103
--	--------------------	-------------	---------------------------------------

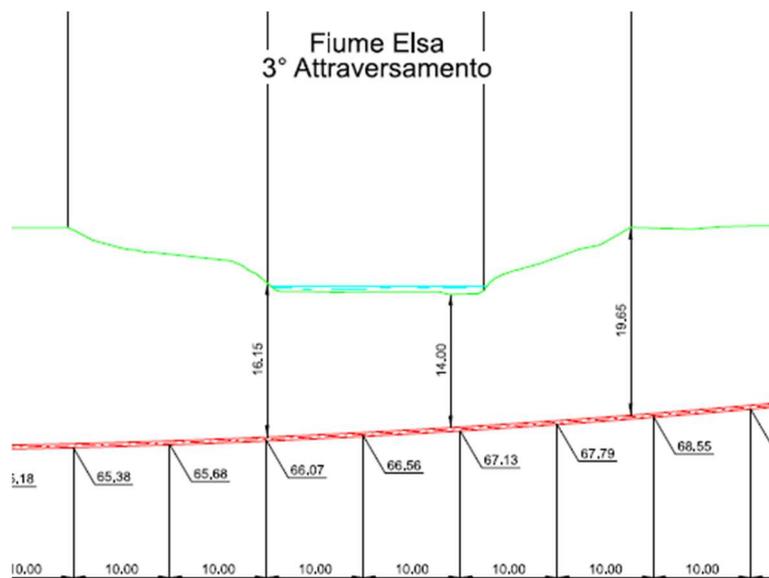
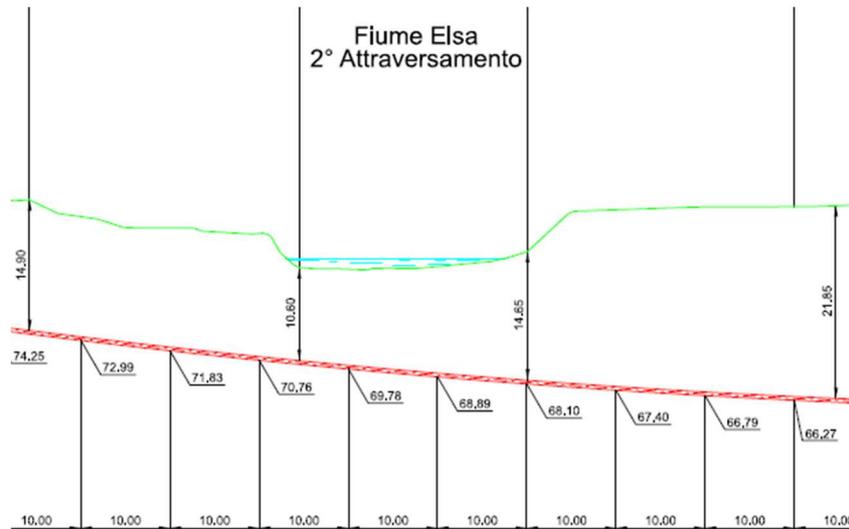


Figura 6: Attraversamenti fiume Elsa (n. 2 e 3) - Sezioni schematiche di progetto.

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 FIUME ELSA**

N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003	Foglio 10 di 104	Rev.:				N° documento Cliente: REL-CI-09103
		00				

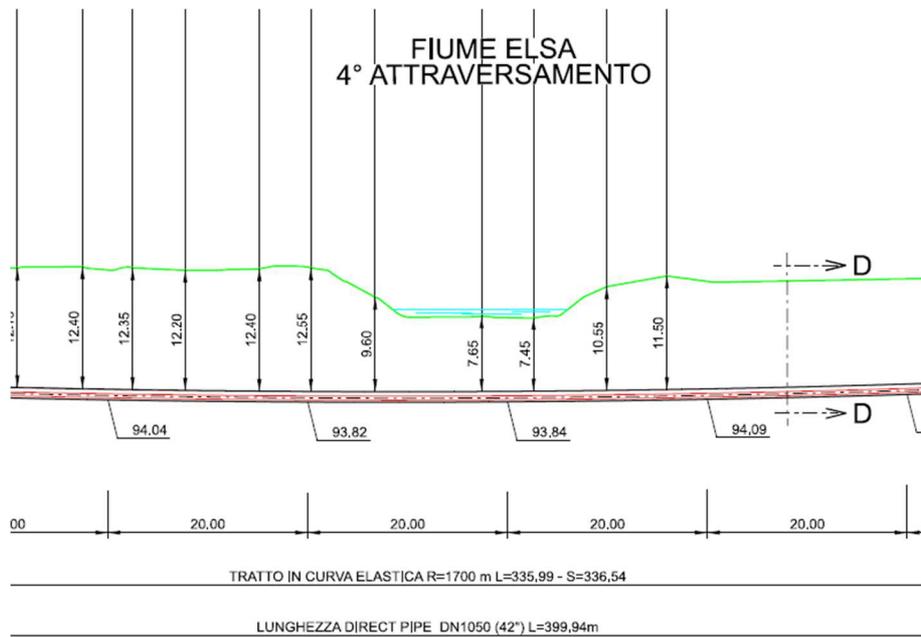
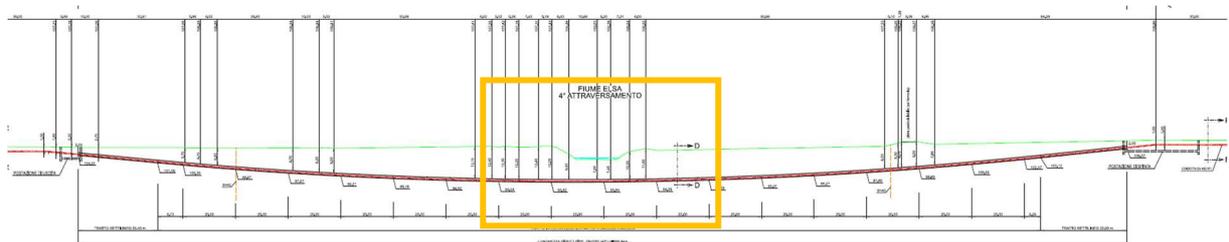


Figura 7: Attraversamento fiume Elsa (n. 4) - Sezione schematica di progetto.

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 FIUME ELSA					
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003		Foglio 11 di 104		Rev.: 00	
				N° documento Cliente: REL-CI-09103	

3 STUDIO IDROLOGICO-IDRAULICO

Poichè il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) non fornisce le portate al colmo di piena per il fiume Elsa, 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 seguenti figure si riportano i bacini idrografici così ottenuti.

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

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 FIUME ELSA**

N° Documento:
P22IT04321-PPL-RE-100-003

Foglio
12 di 104

Rev.:
00

N° documento Cliente:
REL-CI-09103

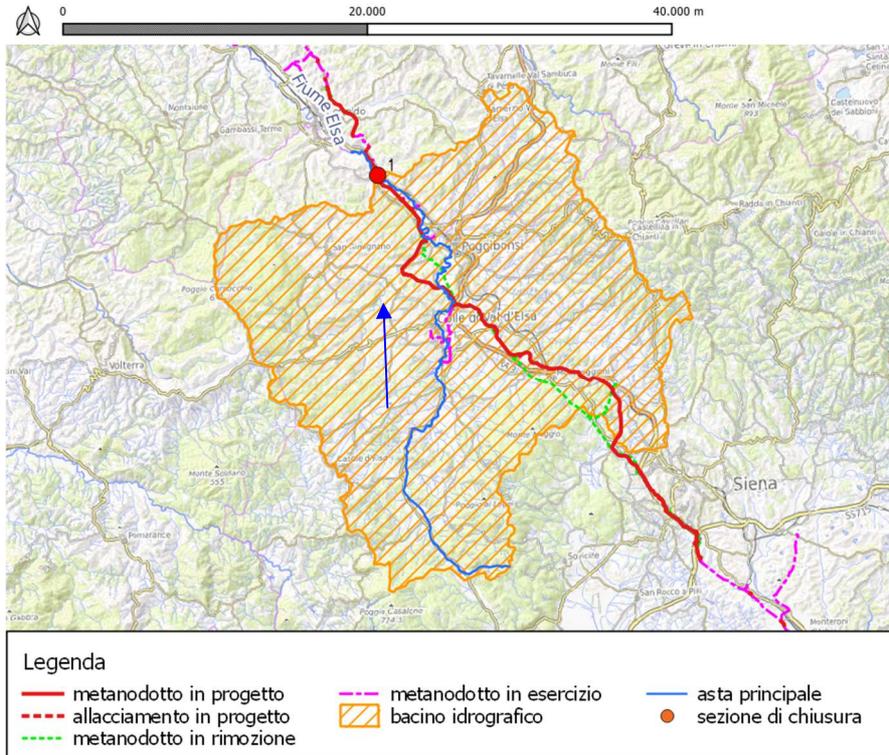


Figura 8: Bacino idrografico del fiume Elsa chiuso all'intersezione n. 1 del metanodotto di progetto.

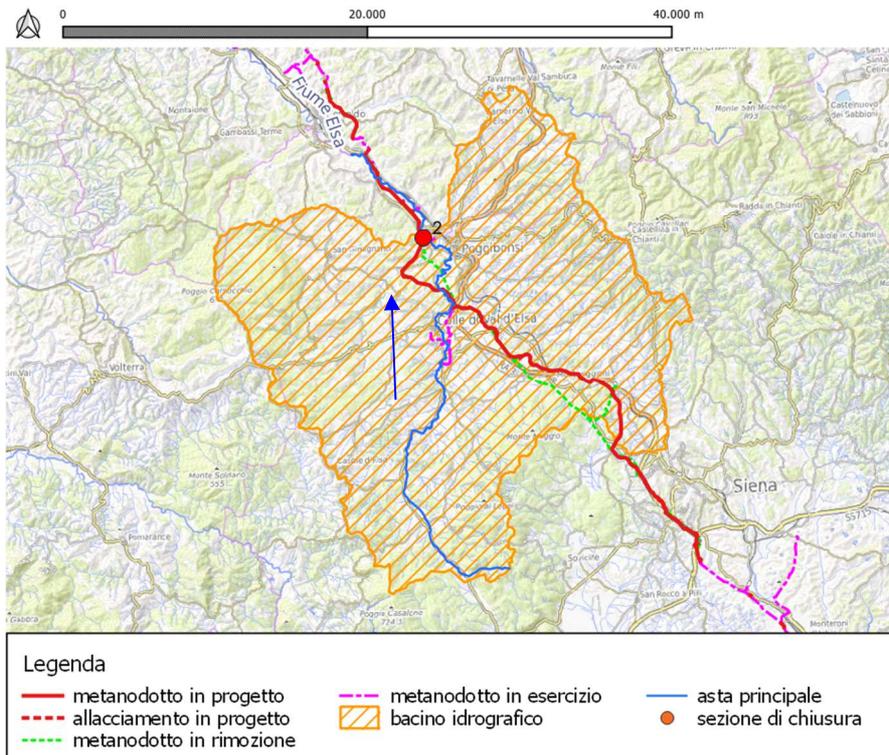


Figura 9: Bacino idrografico del fiume Elsa chiuso all'intersezione n. 2 del metanodotto di progetto.

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTI FIUME ELSA**

N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003	Foglio 13 di 104	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09103
--	---------------------	-------------	---------------------------------------

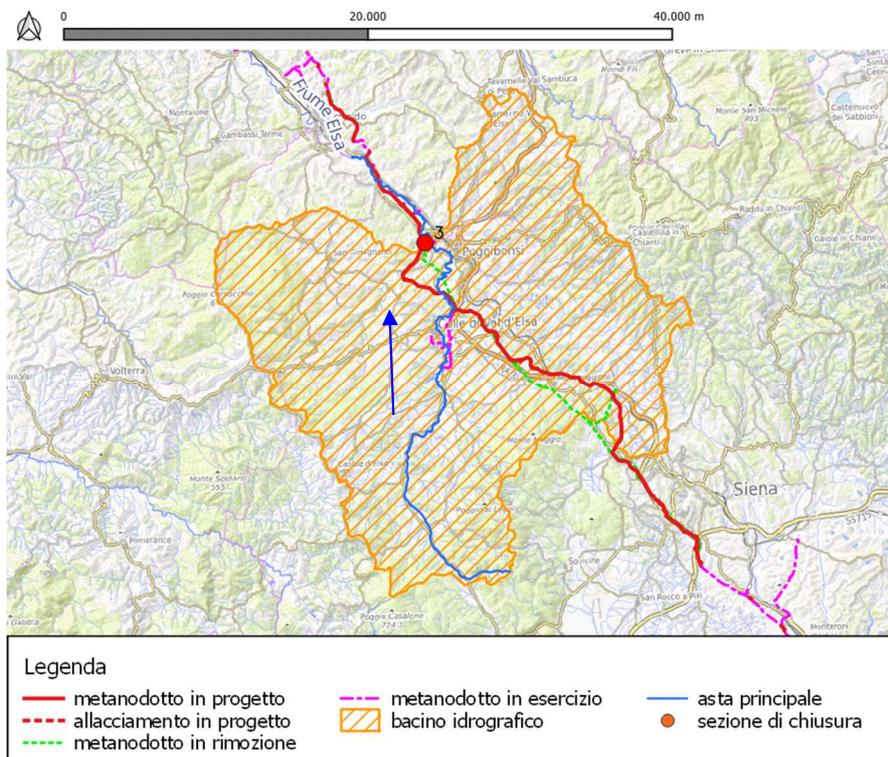


Figura 10: Bacino idrografico del fiume Elsa chiuso all'intersezione n. 3 del metanodotto di progetto.

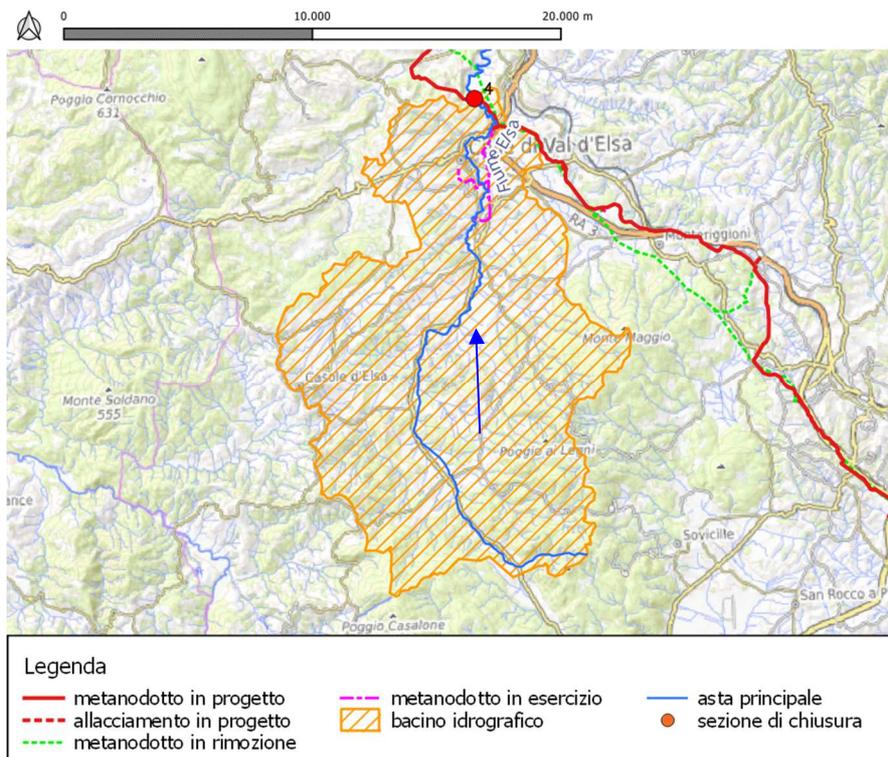


Figura 11: Bacino idrografico del fiume Elsa chiuso all'intersezione n. 4 del metanodotto di progetto.

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 FIUME ELSA					
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003		Foglio 14 di 104		Rev.: 00	
				N° documento Cliente: REL-CI-09103	

Per determinare le portate da inserire nei modelli di calcolo, si sono generati i bacini idrografici sottesi alle sezioni di attraversamento e da questo 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	37,57	561,04	98,8	278,6	681,0
2	33,30	536,39	107,6	284,9	681,0
3	33,30	535,57	107,8	285,1	681,0
4	27,98	173,60	115,6	291,3	681,0

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

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)

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 FIUME ELSA			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003	Foglio 15 di 104	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09103

- 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:

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

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 sui bacini in esame (da Figura 12 a Figura 15) 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.

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 FIUME ELSA**

N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003	Foglio 16 di 104	Rev.:	N° documento Cliente: REL-CI-09103
		00	

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	Foraggere
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.

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
 ATTRAVERSAMENTI FIUME ELSA

N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003	Foglio 17 di 104	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09103
--	---------------------	-------------	---------------------------------------

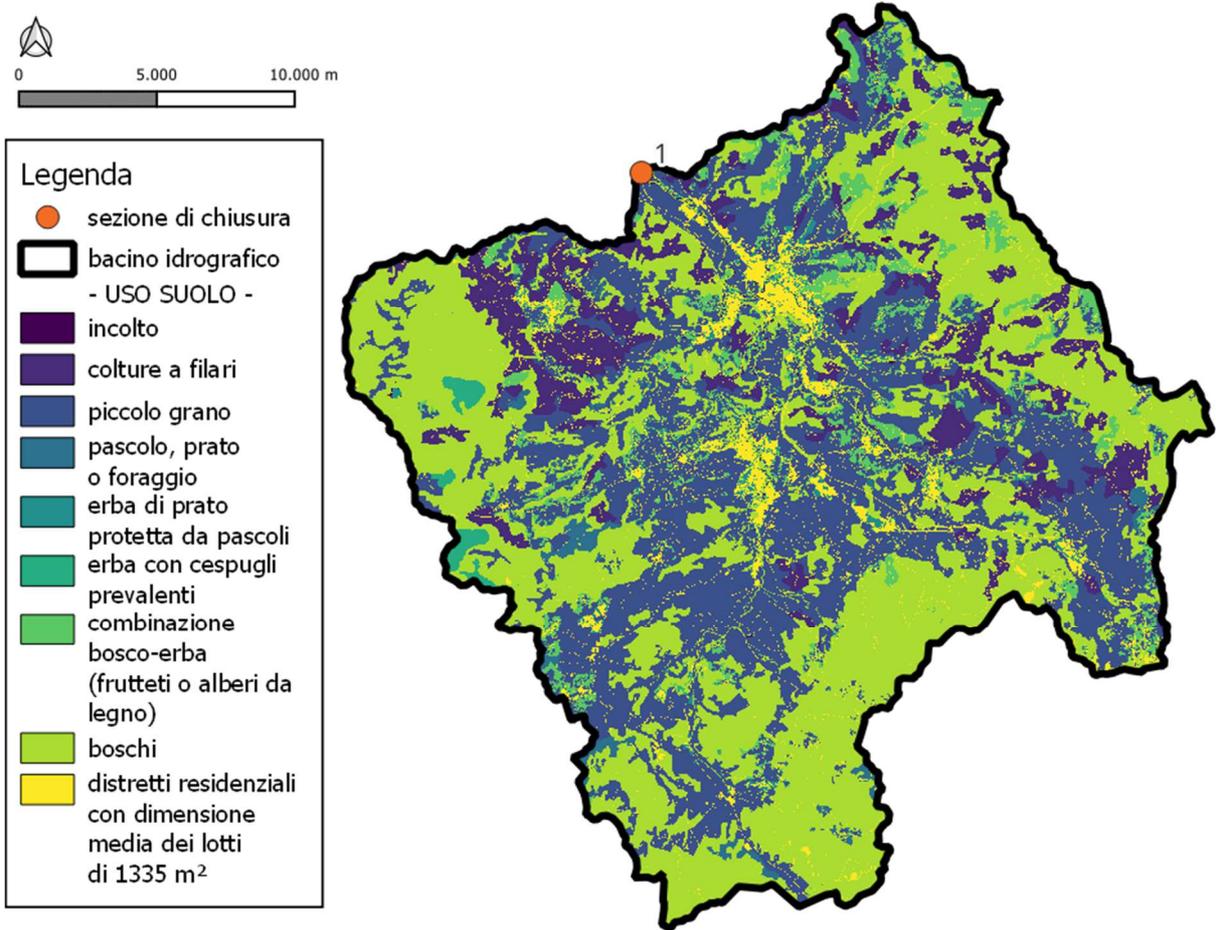


Figura 42: Uso del suolo presente sul 1° bacino del fiume Elsa riclassificato per il calcolo del CN, derivante dal Corine Land Cover come descritto in Tabella 5.

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTI FIUME ELSA

N° Documento:
P22IT04321-PPL-RE-100-003

Foglio
18 di 104

Rev.:
00

N° documento Cliente:
REL-CI-09103

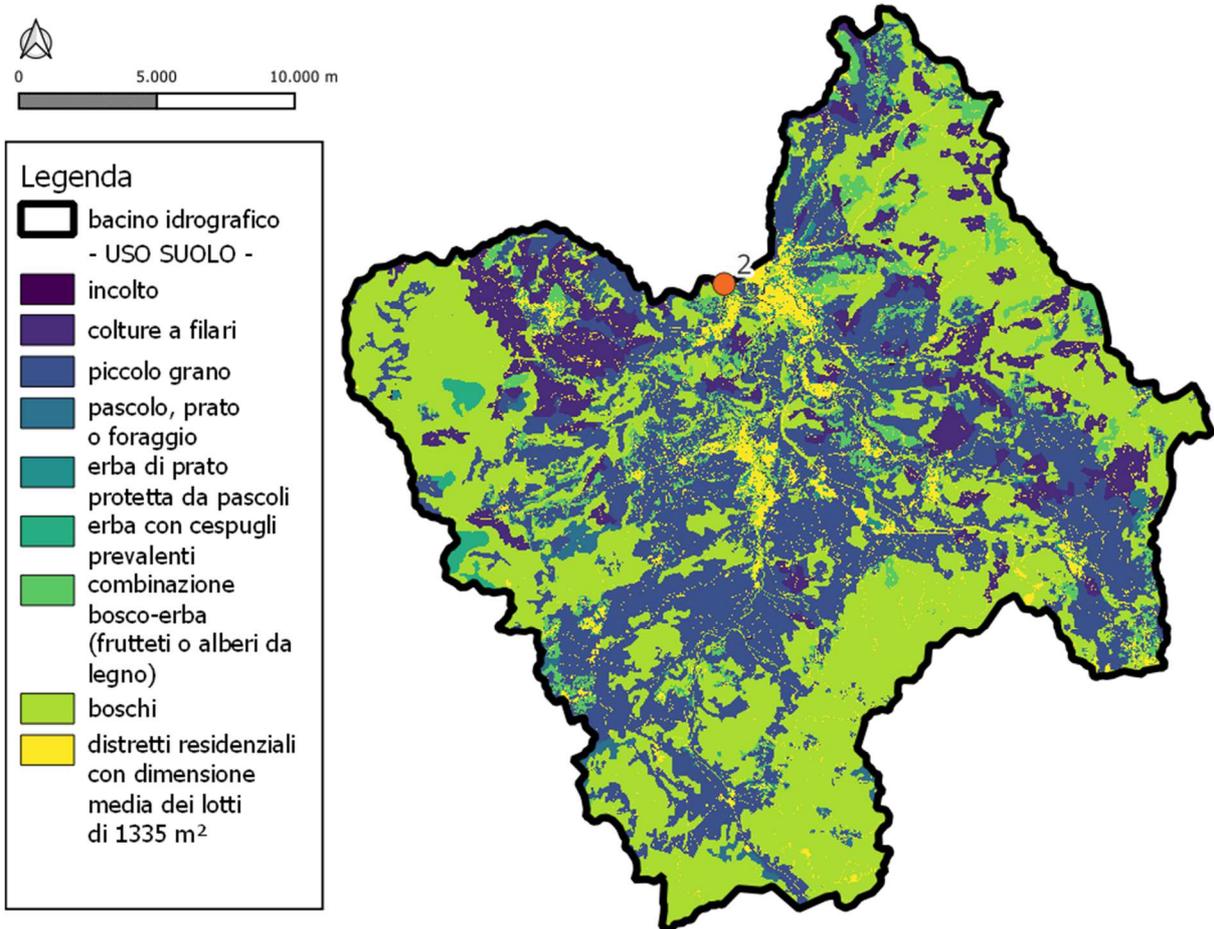


Figura 13: Uso del suolo presente sul 2° bacino del fiume Elsa riclassificato per il calcolo del CN, derivante dal Corine Land Cover come descritto in Tabella 5.

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTI FIUME ELSA

N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003	Foglio 19 di 104	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09103
--	---------------------	-------------	---------------------------------------

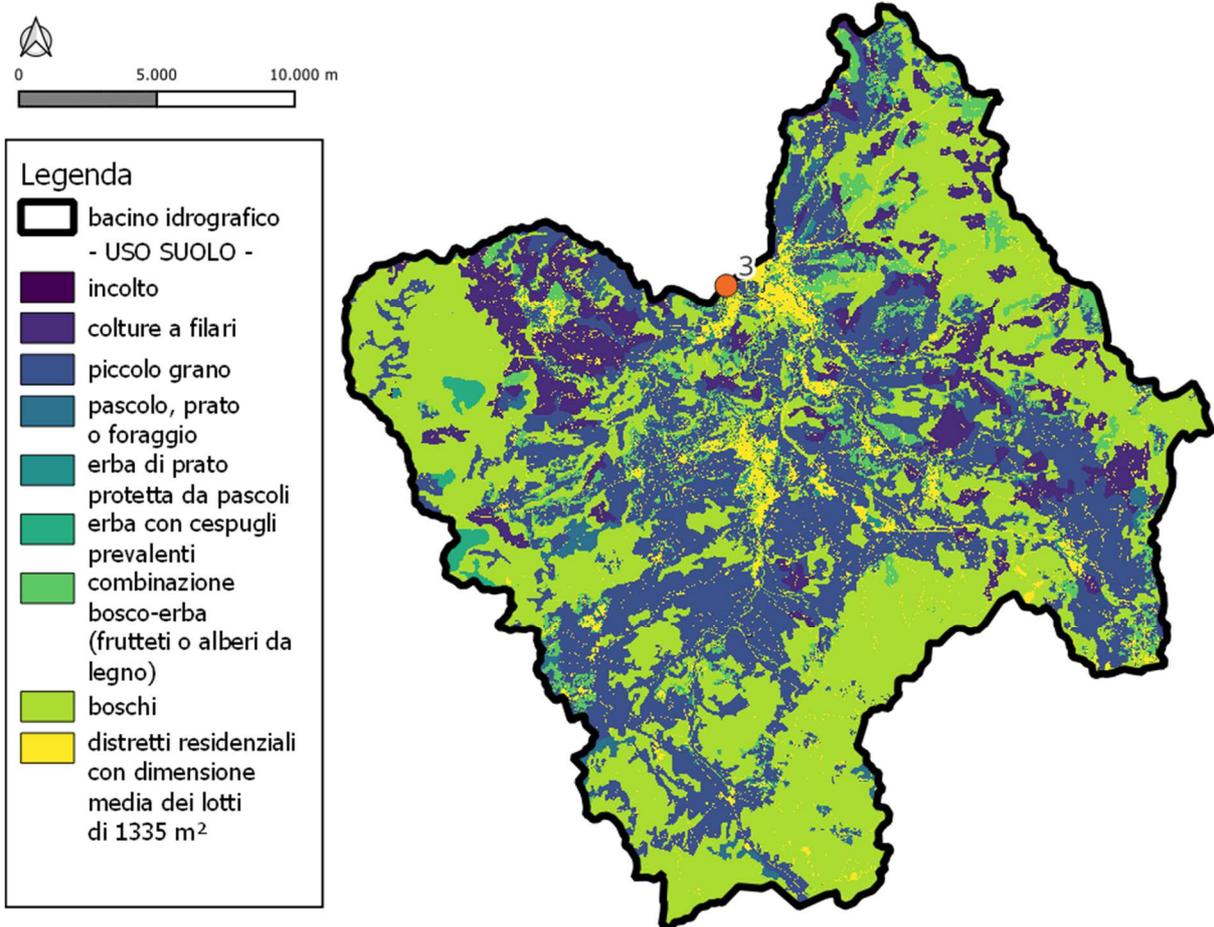


Figura 14: Uso del suolo presente sul 3° bacino del fiume Elsa riclassificato per il calcolo del CN, derivante dal Corine Land Cover come descritto in Tabella 5.

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTI FIUME ELSA

N° Documento:
P22IT04321-PPL-RE-100-003

Foglio
20 di 104

Rev.:
00

N° documento Cliente:
REL-CI-09103

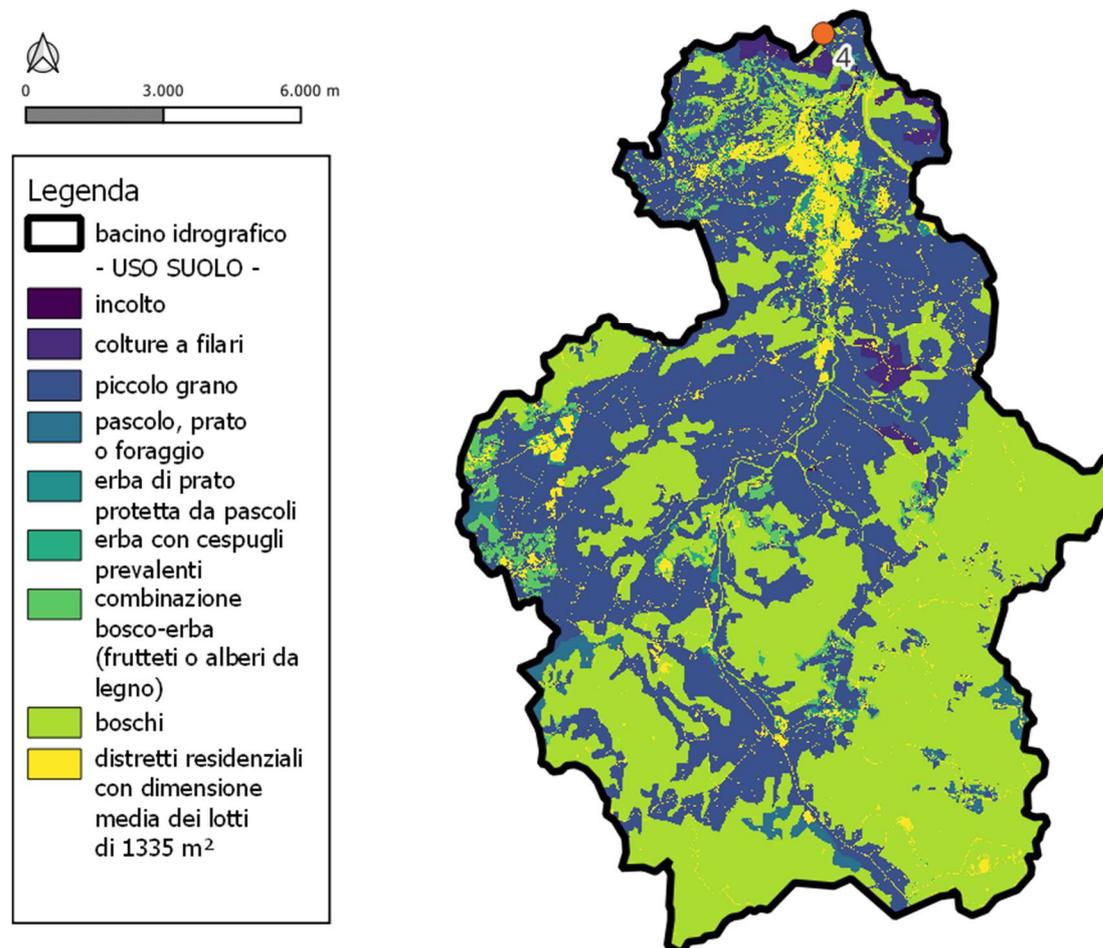


Figura 15: Uso del suolo presente sul 4° bacino del fiume Elsa riclassificato per il calcolo del CN, derivante dal Corine Land Cover come descritto in Tabella 5.

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

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTI FIUME ELSA

N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003	Foglio 21 di 104	Rev.:	N° documento Cliente: REL-CI-09103
		00	

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.

I gruppi idrologici dei suoli nel territorio in esame (da Figura 16 a Figura 19) sono stati ottenuti dal file reso disponibile dalla Regione Toscana sull'applicativo webGIS⁸, le aree in assenza di dato, corrispondenti alle aree urbanizzate, sono state supposte appartenenti al gruppo D.

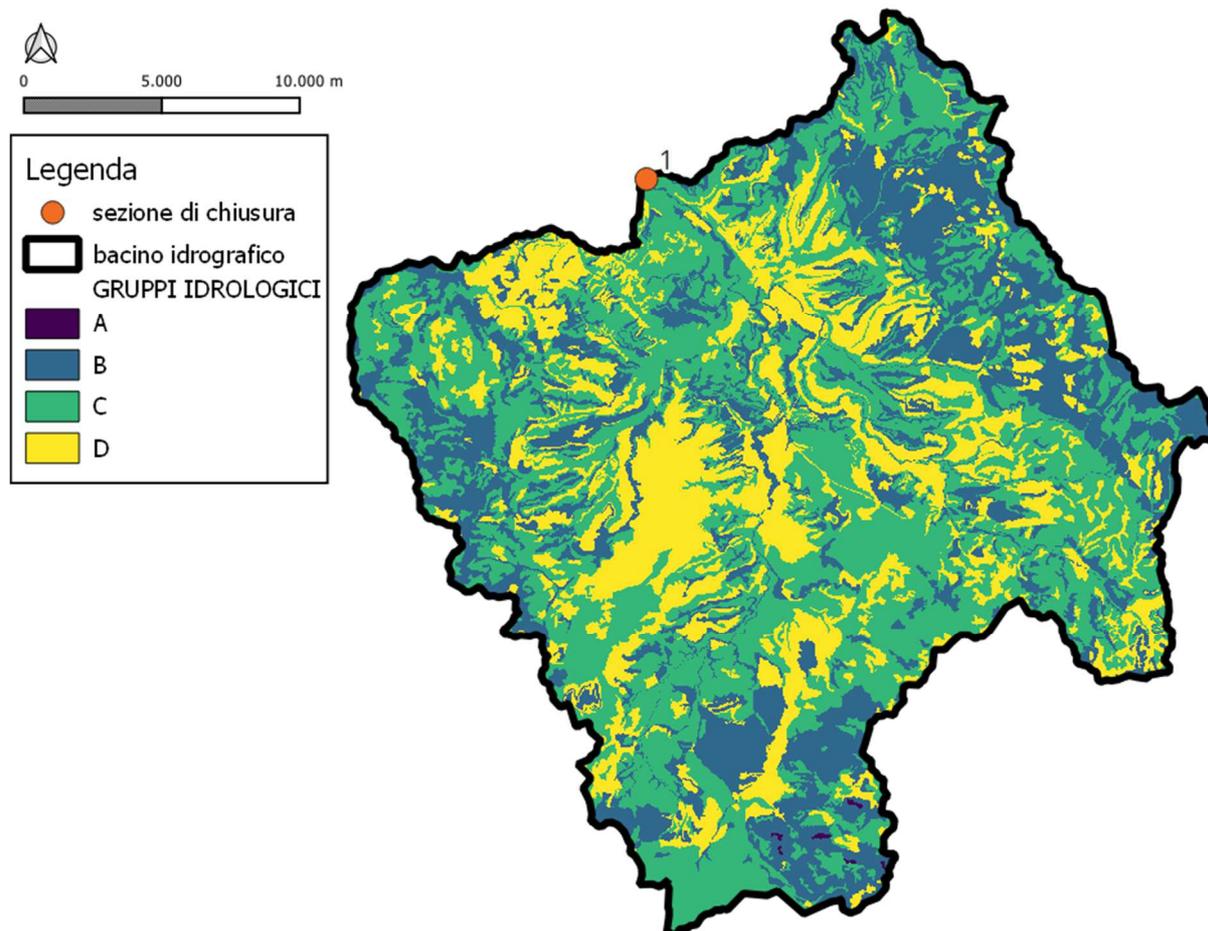


Figura 16: Gruppi idrologici presenti sul bacino 1 del fiume Elsa per il calcolo del CN.

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

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 FIUME ELSA

N° Documento:
P22IT04321-PPL-RE-100-003

Foglio
22 di 104

Rev.:
00

N° documento Cliente:
REL-CI-09103

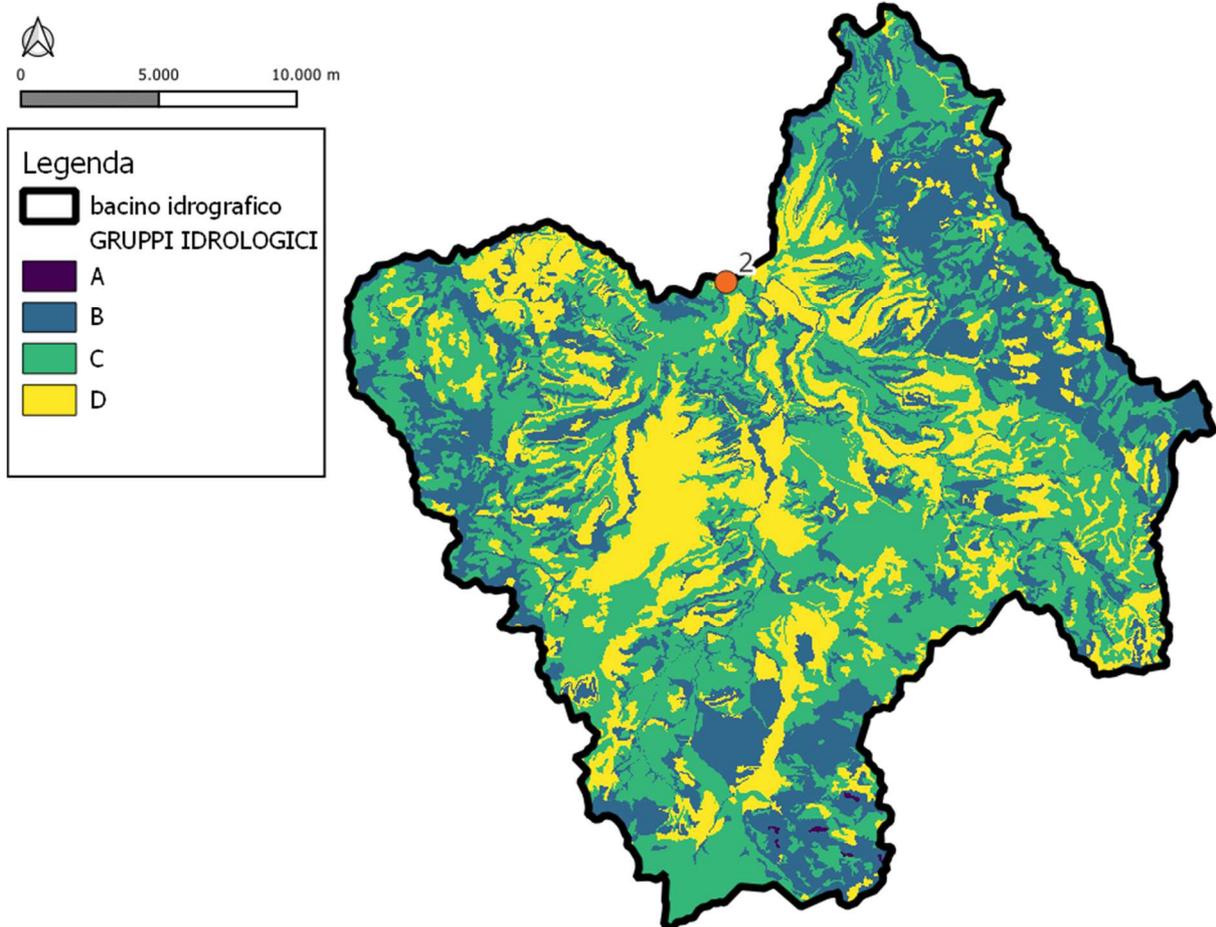


Figura 17: Gruppi idrologici presenti sul bacino 2 del fiume Elsa per il calcolo del CN.

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 FIUME ELSA

N° Documento:
P22IT04321-PPL-RE-100-003

Foglio
23 di 104

Rev.:
00

N° documento Cliente:
REL-CI-09103

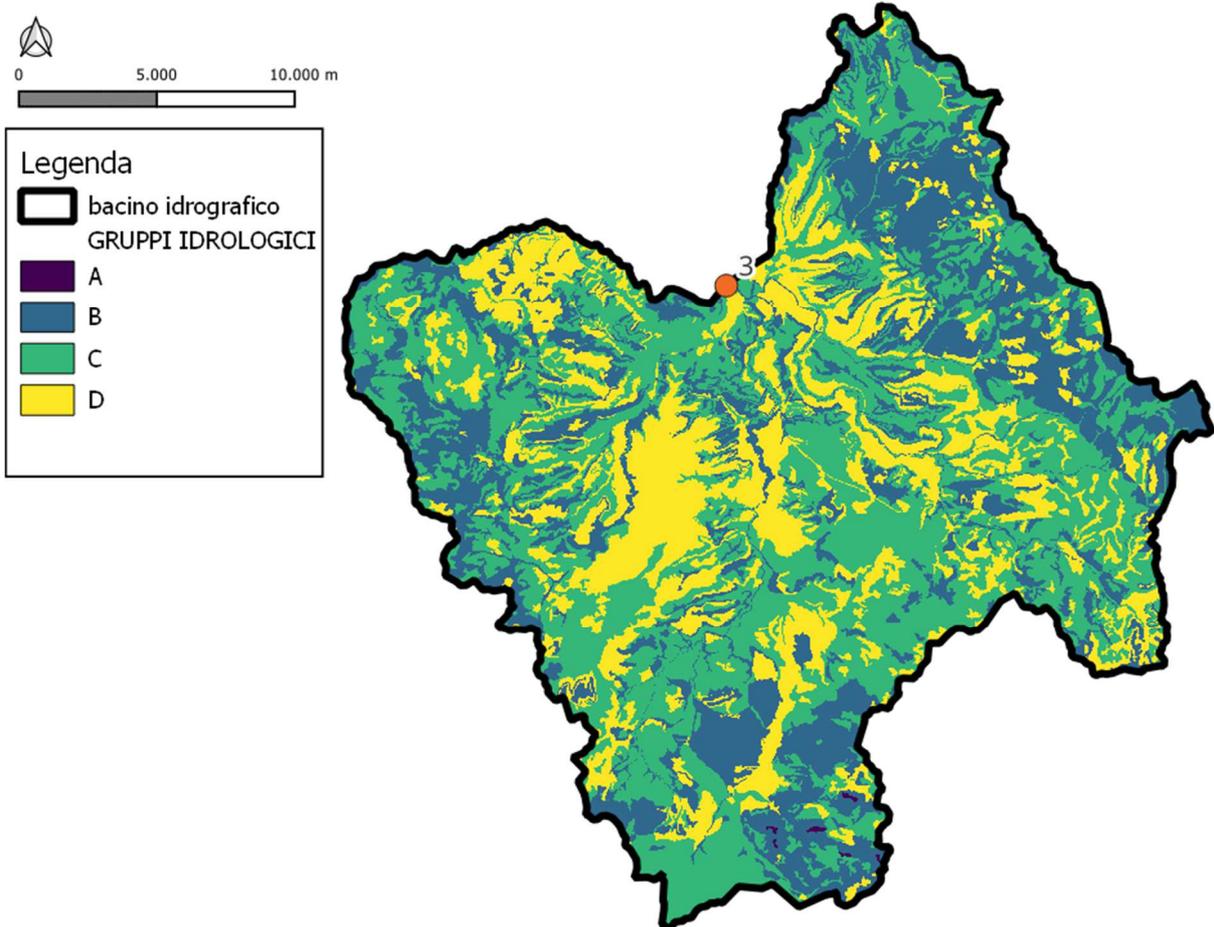


Figura 18: Gruppi idrologici presenti sul bacino 3 del fiume Elsa per il calcolo del CN.

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 FIUME ELSA

N° Documento:
P22IT04321-PPL-RE-100-003

Foglio
24 di 104

Rev.:
00

N° documento Cliente:
REL-CI-09103

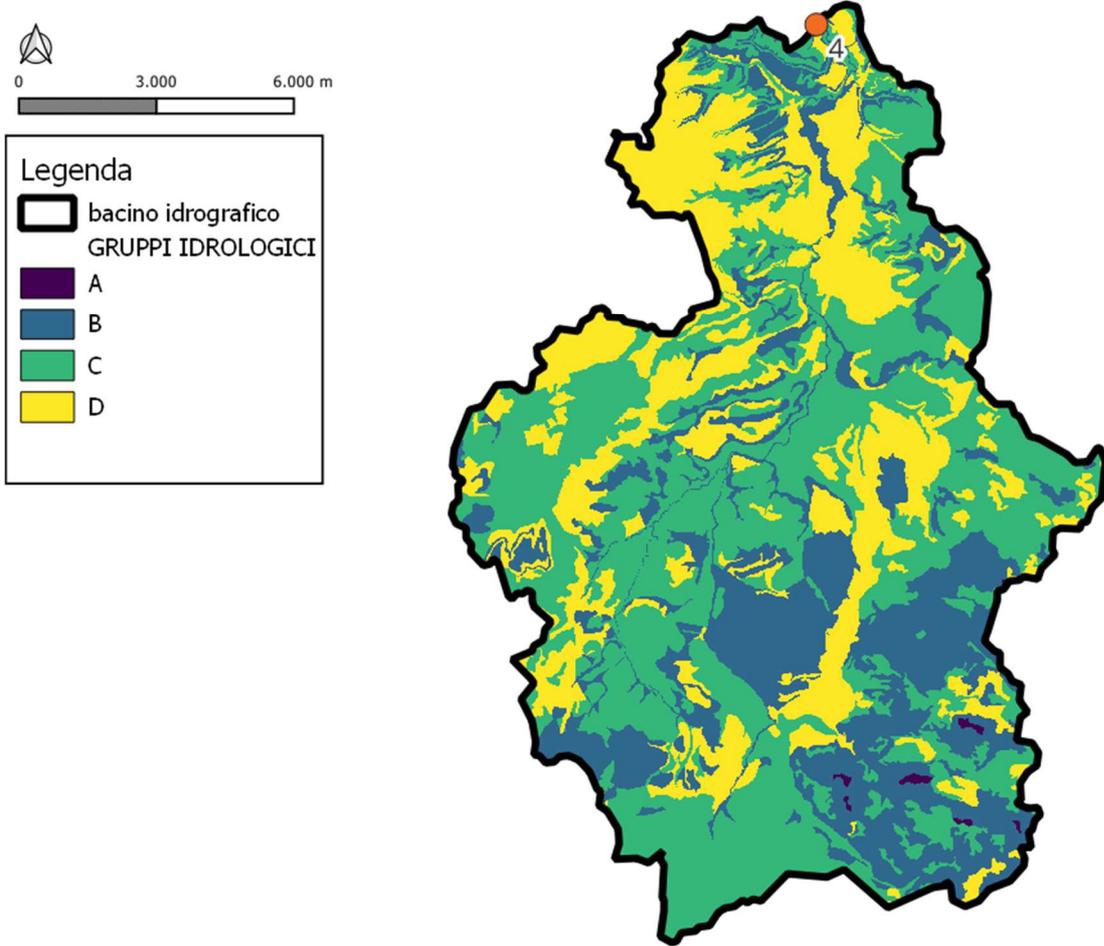


Figura 19: Gruppi idrologici presenti sul bacino 4 del fiume Elsa per il calcolo del CN.

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 FIUME ELSA					
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003		Foglio 25 di 104		Rev.: 00	
				N° documento Cliente: REL-CI-09103	

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'USDA⁹.

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.egov.usda.gov/viewerFS.aspx?hid=21422>

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTI FIUME ELSA

N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003	Foglio 26 di 104	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09103
--	---------------------	-------------	---------------------------------------

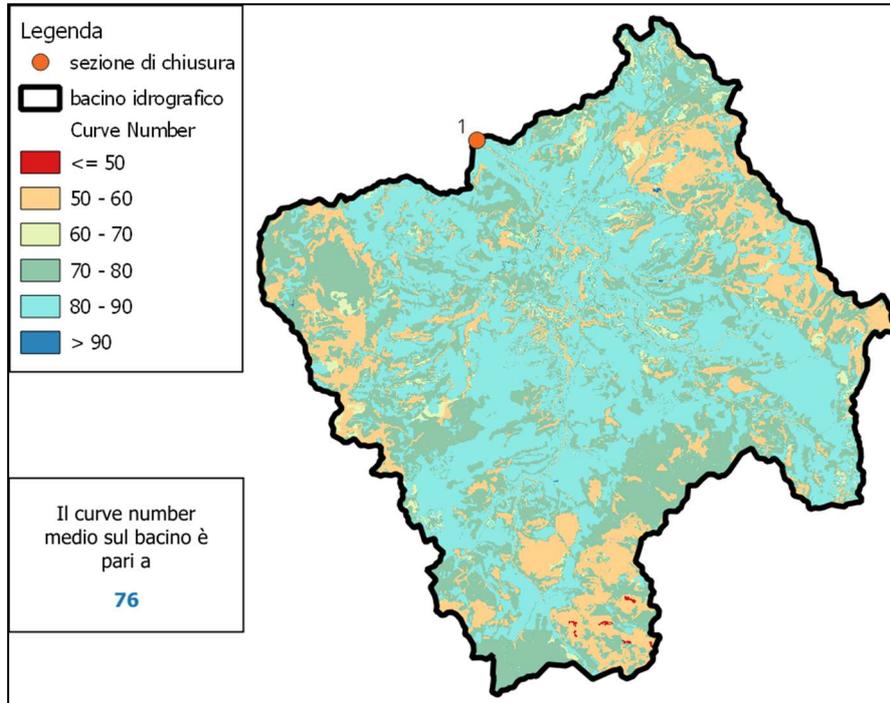


Figura 20: Mappa dei valori del curve number nel bacino chiuso all'intersezione n. 1.

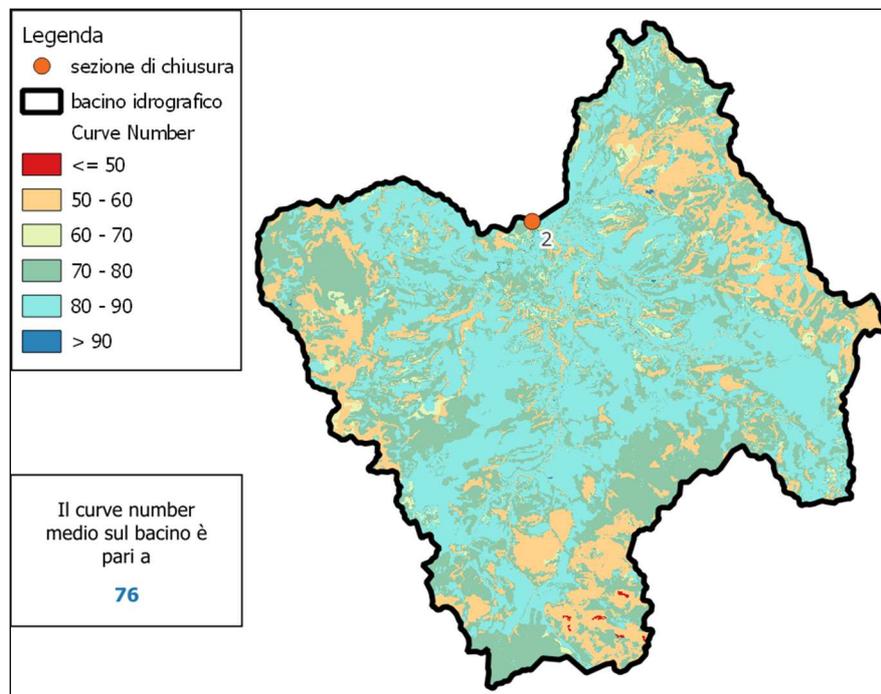


Figura 21: Mappa dei valori del curve number nel bacino chiuso all'intersezione n. 2.

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTI FIUME ELSA

N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003	Foglio 27 di 104	Rev.:				N° documento Cliente: REL-CI-09103
		00				

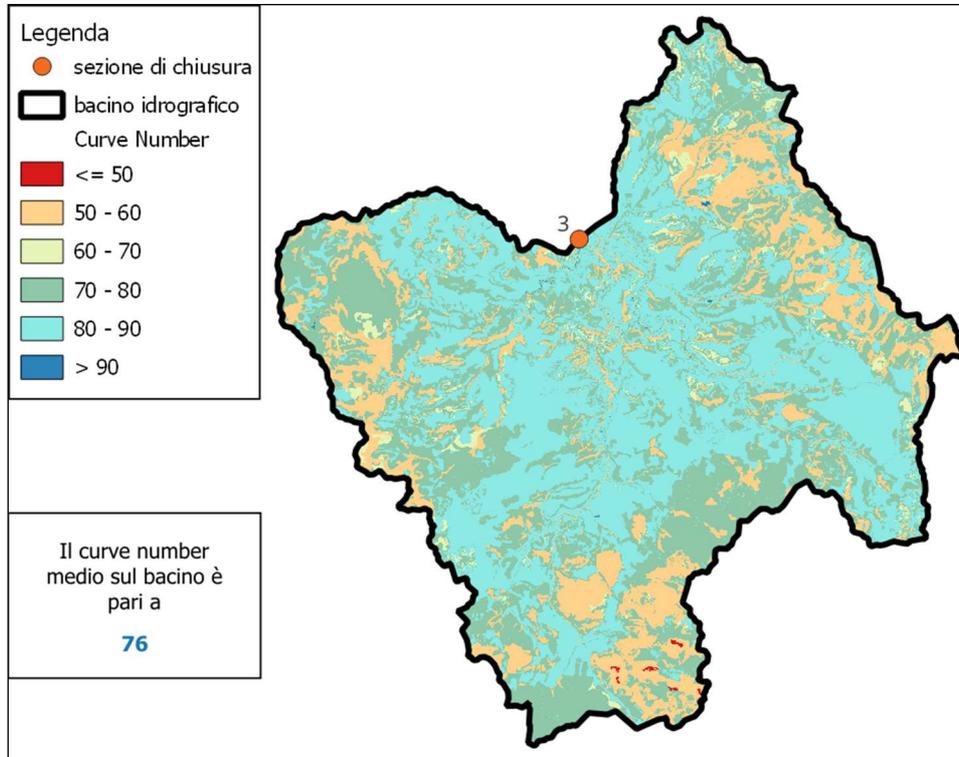


Figura 22: Mappa dei valori del curve number nel bacino chiuso all'intersezione n. 3.

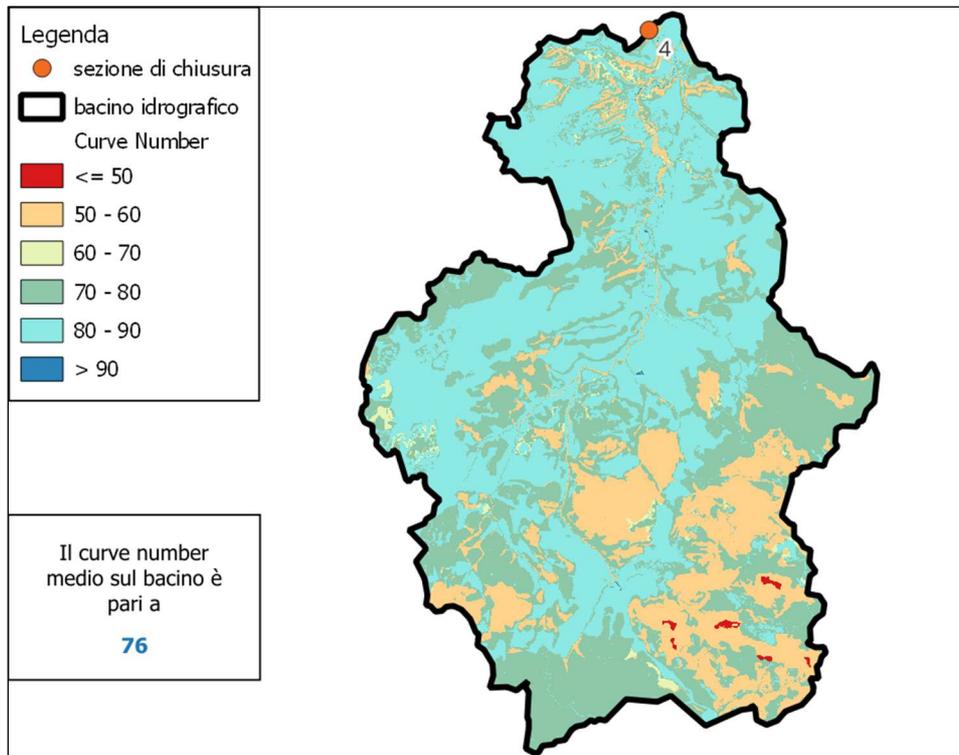


Figura 23: Mappa dei valori del curve number nel bacino chiuso all'intersezione n. 4.

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 FIUME ELSA						
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003		Foglio 28 di 104		Rev.:		N° documento Cliente: REL-CI-09103
				00		

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 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	55,79	62,97	70,27	0,272	0,282	0,29
2	55,87	63,06	70,37	0,272	0,282	0,29
3	55,87	63,06	70,38	0,272	0,282	0,29
4	56,43	63,7	71,08	0,281	0,291	0,298

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	114,56	132,77	151,33
2	113,14	131,05	149,31
3	113,12	131,03	149,31
4	104,39	120,45	136,48

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

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 FIUME ELSA				
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003	Foglio 29 di 104	Rev.:	N° documento Cliente: REL-CI-09103	
		00		

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 fiume Elsa alla sezione dell'attraversamento 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	4
Tempo di corrivazione (h)	14,09	13,38	13,38	8,93

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

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

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 FIUME ELSA			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003	Foglio 30 di 104	Rev.:	N° documento Cliente: REL-CI-09103
		00	

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} [m^3/s]	Q_{100} [m^3/s]	Q_{200} [m^3/s]
1	604,9	770,0	944,7
2	593,3	755,8	927,9
3	592,5	754,9	926,9
4	251,3	320,2	391,9

Tabella 10: Valori di portata calcolati nella sezione 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 eseguito ad hoc, integrato, dove necessario, con il rilievo Lidar disponibile lungo il tracciato del metanodotto o con la CTR 1:5.000 della Regione Toscana.

Nel caso specifico si è provveduto ad implementare tre modelli idraulici distinti, rispettivamente per gli attraversamenti n. 1 (sezioni RS da 10 a 150), n. 2 e 3 (sezioni RS da 150 a 300), e n. 4 (sezioni RS da 300 a 360), in quanto solo gli attraversamenti n. 2 e 3 erano sufficientemente ravvicinati e corredati di sezioni intermedie rilevate per consentire l'elaborazione di un unico modello idraulico locale con sufficiente precisione.

La modellazione è stata eseguita con riferimento alle portate con tempo di ritorno rispettivamente di 50, 100 e 200 anni, mentre per le verifiche sono stati utilizzati i dati determinati per l'evento di tempo duecentennale. Si evidenzia che per quanto riguarda il modello relativo all'attraversamento 1, vista la configurazione locale dell'alveo di deflusso, caratterizzate da una porzione centrale arginata, al di fuori del quale è presente un'ampia area di espansione, e tenuto conto che la sommità arginale viene raggiunta dalle piene già associate a TR=50 anni, ai fini del calcolo delle grandezze idrauliche per la stima dell'erosione, si è ritenuto più pertinente considerare la portata massima transitante all'interno degli argini (Qlim).

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 FIUME ELSA					
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003		Foglio 31 di 104		Rev.: 00	
				N° documento Cliente: REL-CI-09103	

Infatti superato tale valore si avrà la fuoriuscita d'acqua dalle sponde con innesco di ruscellamenti diffusi trasversali alla direzione di flusso principale¹¹. In tali condizioni di fatto si determina un aumento repentino delle dimensioni della sezione d'alveo cui corrisponderanno, anche in caso di aumenti significativi di portata, modesti aumenti delle velocità, dei tiranti idrici e delle relative sollecitazioni.

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.

La modellazione è stata eseguita direttamente nello stato di progetto, in quanto tutti e quattro gli attraversamenti vengono eseguiti con modalità trenchless.

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 letteratura¹² 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 di spalle di ponti o di anse in zona golenale, aree caratterizzate da velocità pressochè nulle. Si tratta pertanto di aree di non-convogliamento di flussi.

¹¹ Per livelli superiori a quello di riempimento della sezione d'alveo pertanto vengono a mancare le condizioni al contorno per la modellazione monodimensionale del flusso ipotizzata dal modello di calcolo utilizzato, pertanto i valori restituiti dal modello stesso sono del tutto indicativi.

¹² 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 FIUME ELSA			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003	Foglio 32 di 104	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09103

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.

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 FIUME ELSA					
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003		Foglio 33 di 104		Rev.: 00	
				N° documento Cliente: REL-CI-09103	

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 FIUME ELSA

N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003	Foglio 35 di 104	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09103
--	---------------------	-------------	---------------------------------------

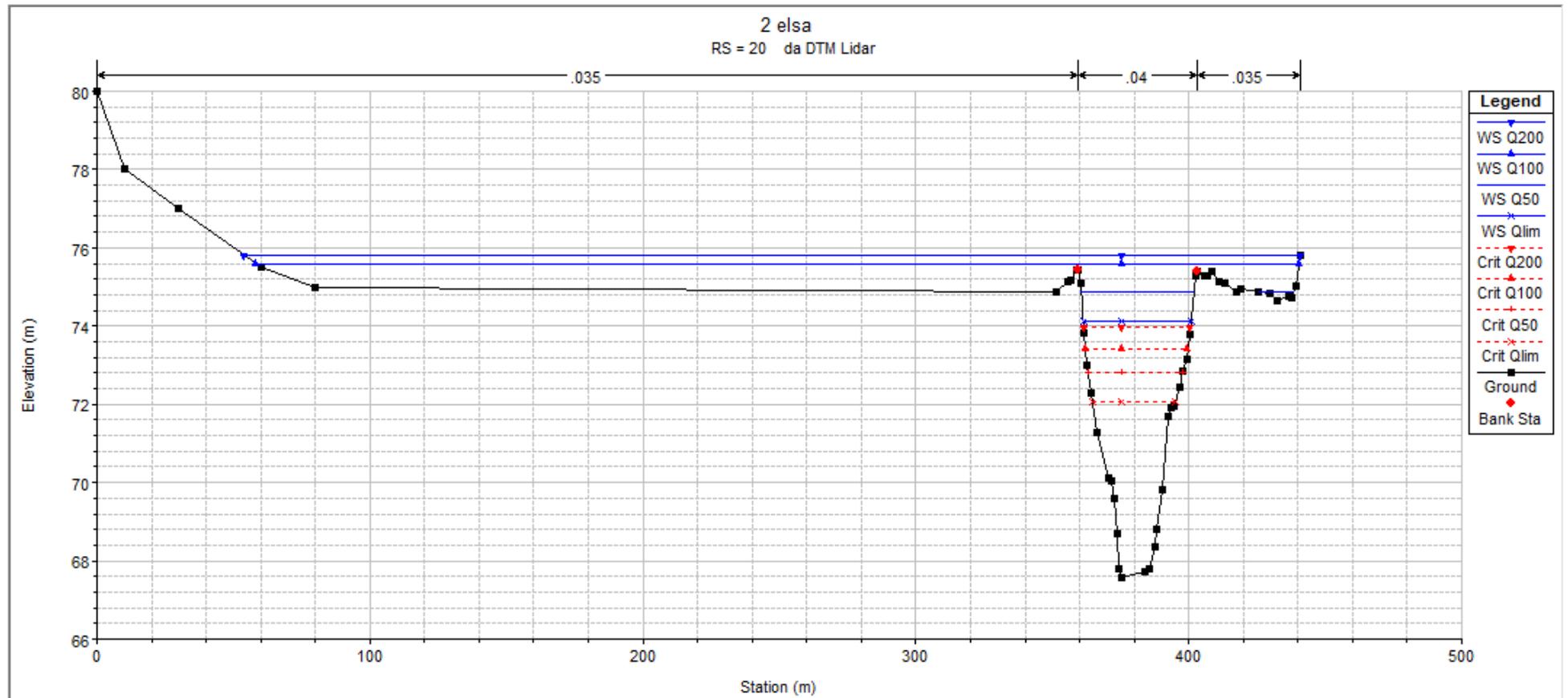


Figura 25: **RS=20** - Sezione trasversale a valle dell'attraversamento n. 1 del nuovo metanodotto.

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 FIUME ELSA			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003	Foglio 36 di 104	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09103

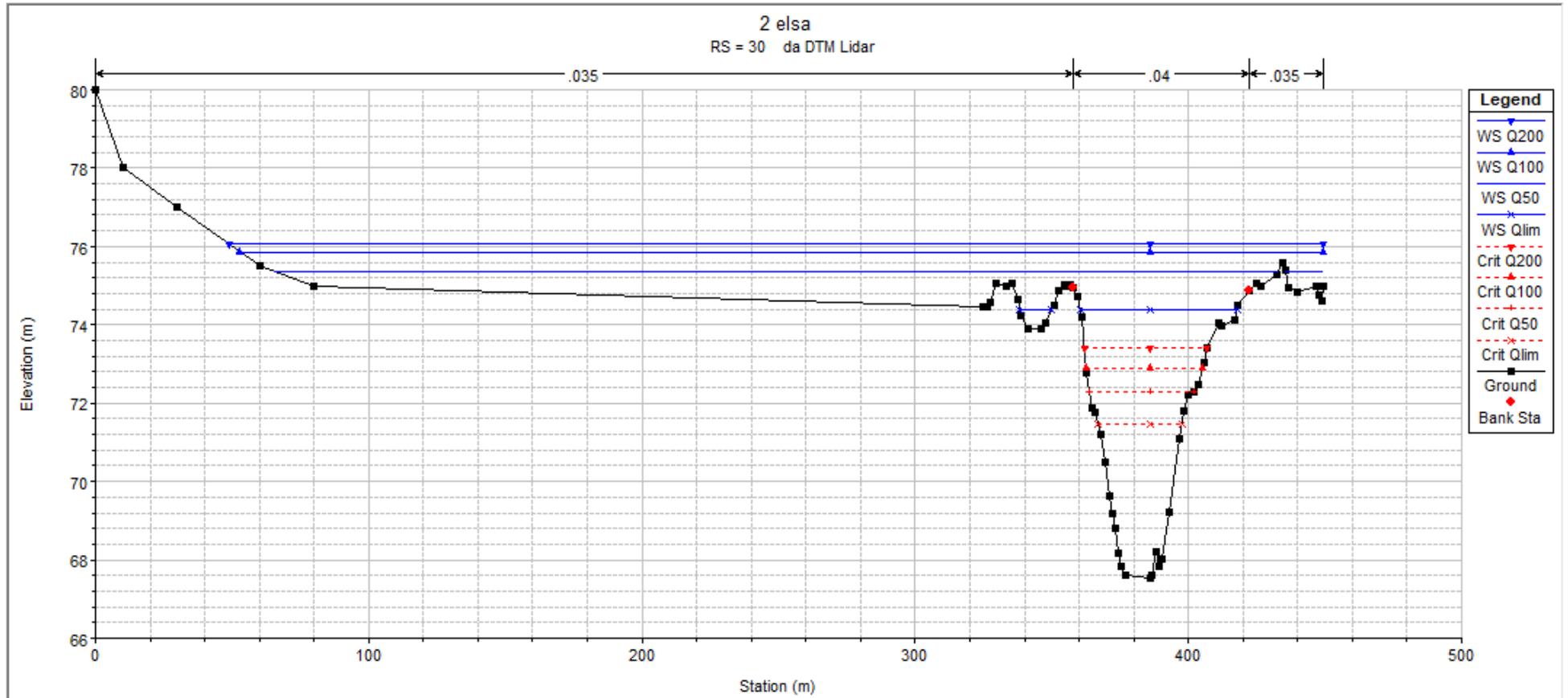


Figura 26: **RS=30** - Sezione trasversale a valle dell'attraversamento n. 1 del nuovo metanodotto.

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 FIUME ELSA			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003	Foglio 37 di 104	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09103

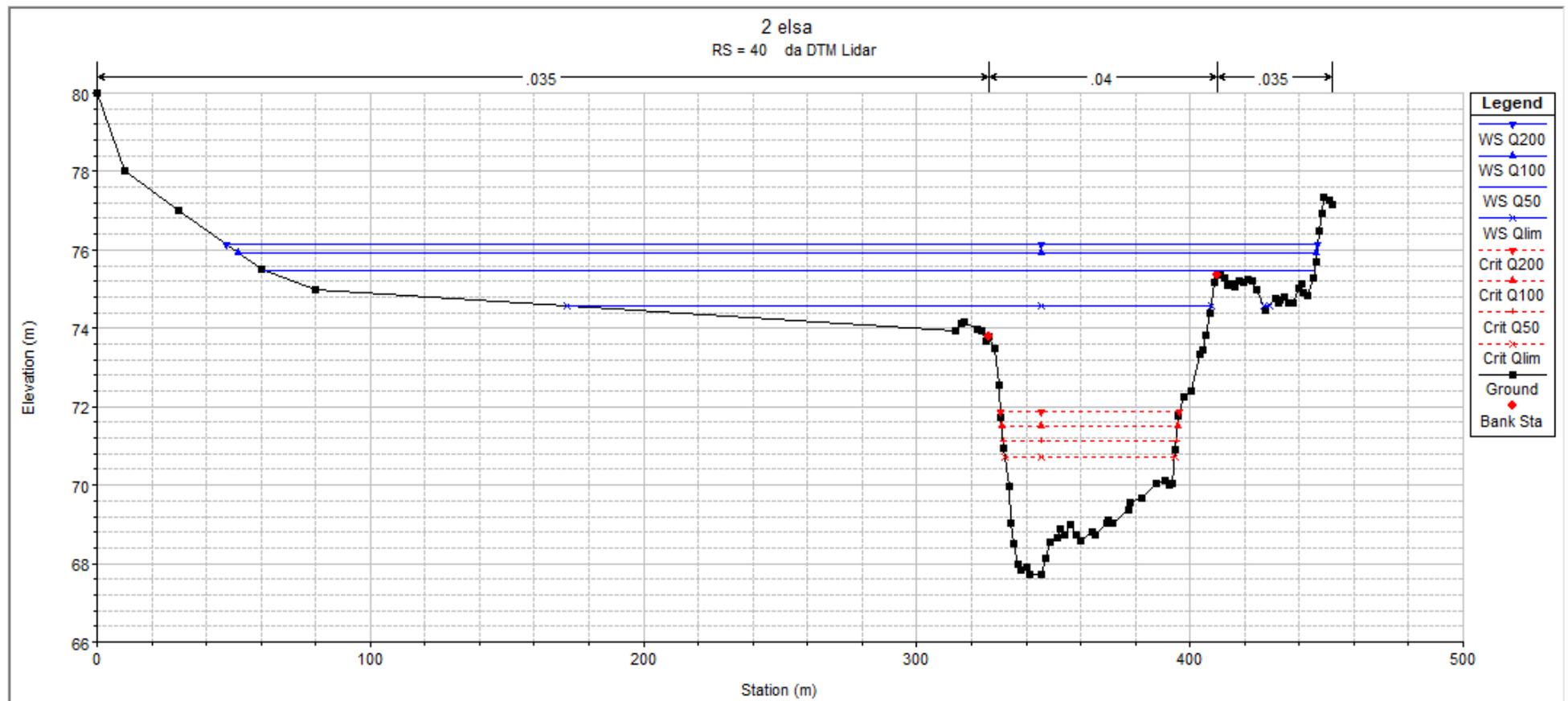


Figura 27: **RS=40** - Sezione trasversale a valle dell'attraversamento n. 1 del nuovo metanodotto.

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 FIUME ELSA			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003	Foglio 38 di 104	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09103

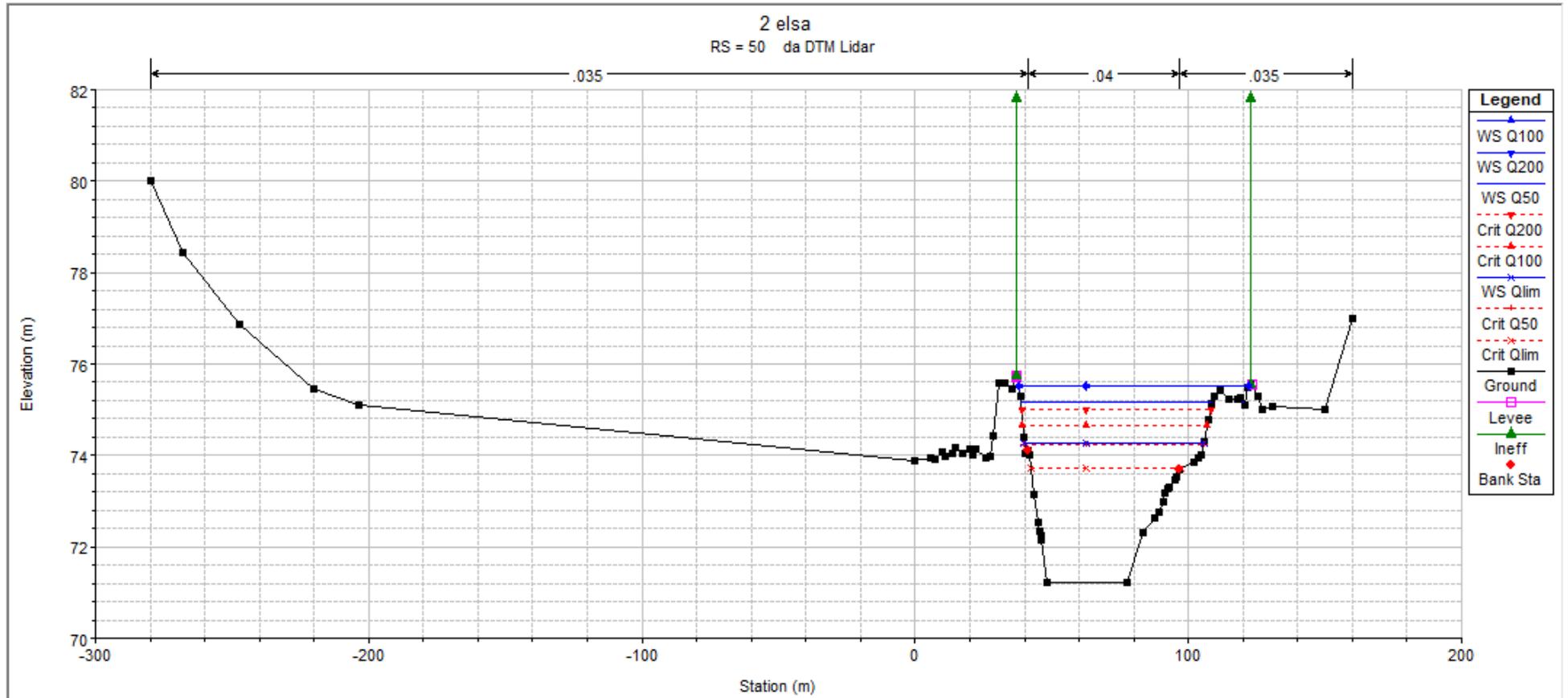


Figura 28: **RS=50** - Sezione trasversale a valle dell'attraversamento n. 1 del nuovo metanodotto.

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 FIUME ELSA			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003	Foglio 39 di 104	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09103

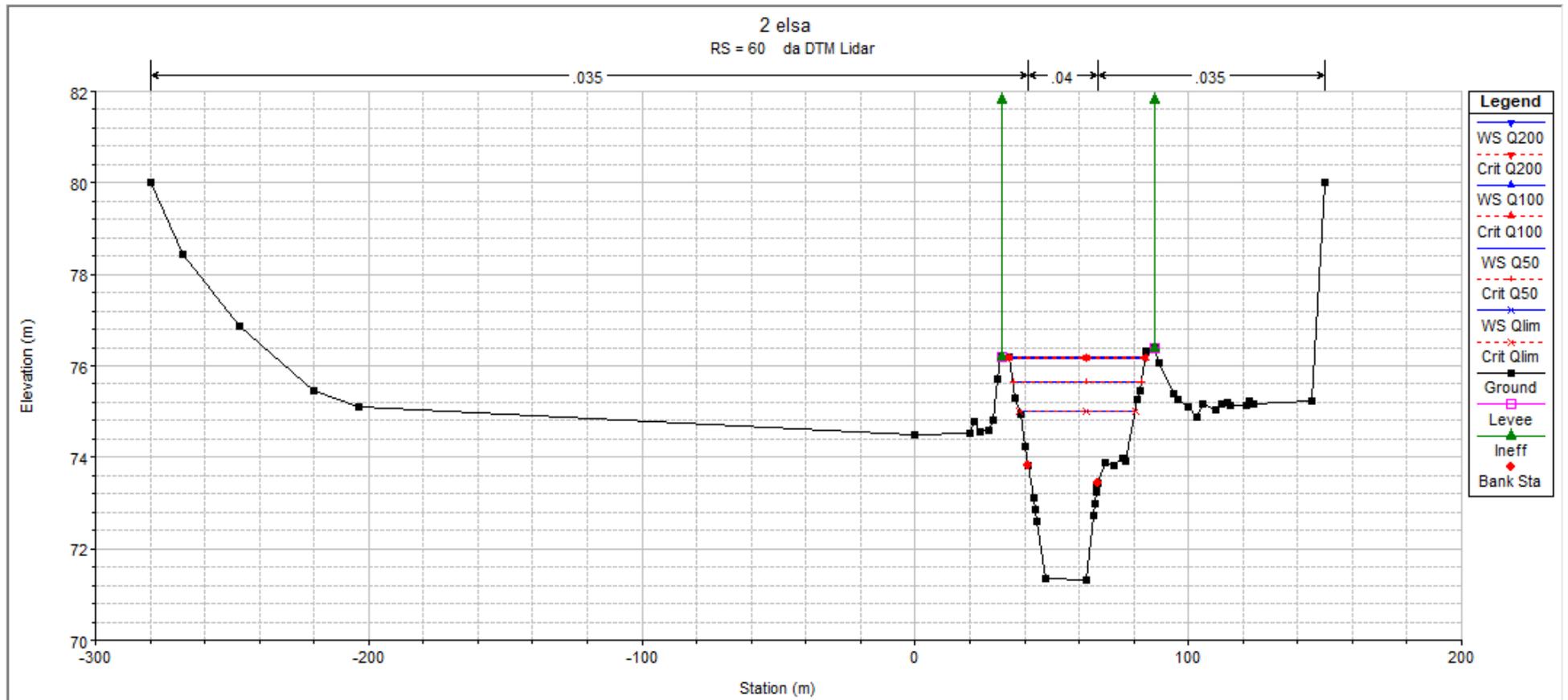


Figura 29: **RS=60** - Sezione trasversale a valle dell'attraversamento n. 1 del nuovo metanodotto.

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 FIUME ELSA			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003	Foglio 40 di 104	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09103

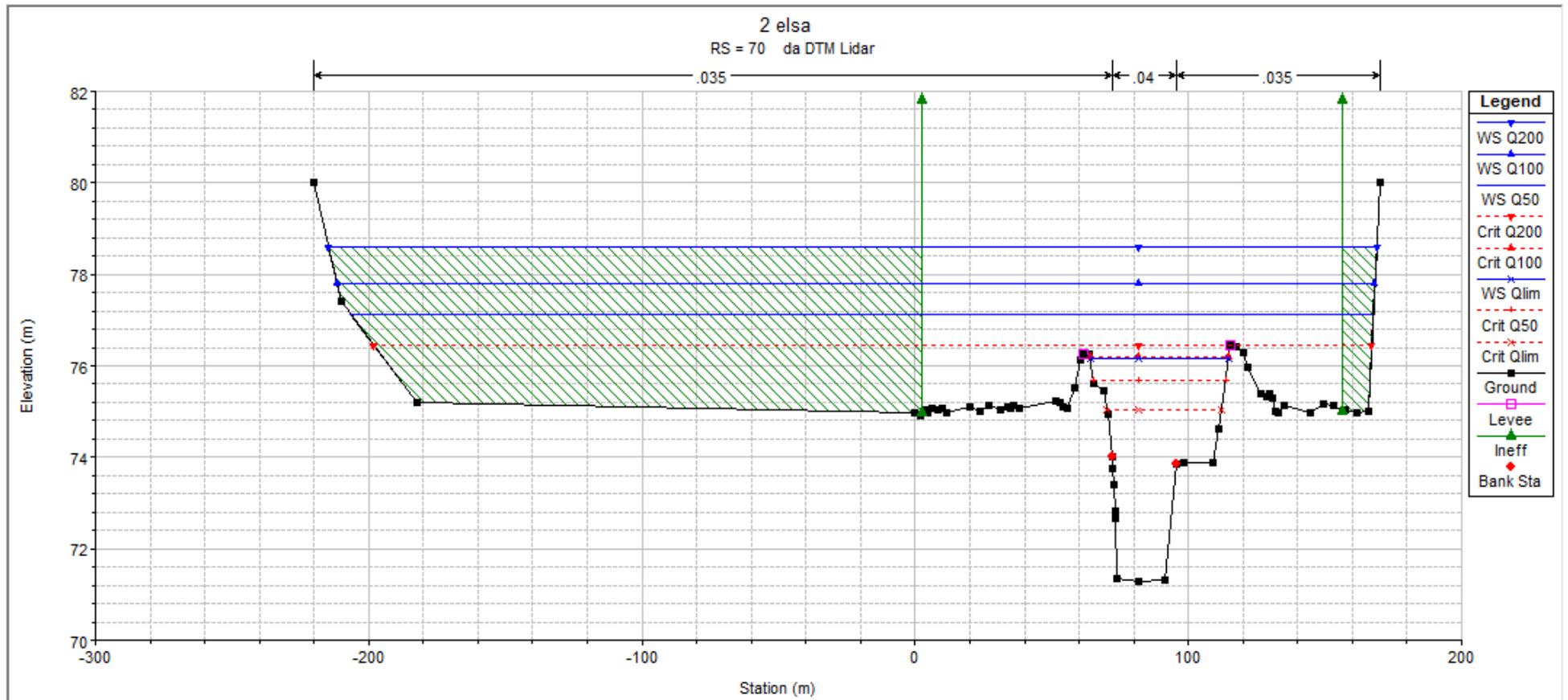


Figura 30: **RS=70** - Sezione trasversale a valle dell'attraversamento n. 1 del nuovo metanodotto.

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 FIUME ELSA

N° Documento:
 P22IT04321-PPL-RE-100-003

Foglio
 41 di 104

Rev.:
 00

N° documento Cliente:
 REL-CI-09103

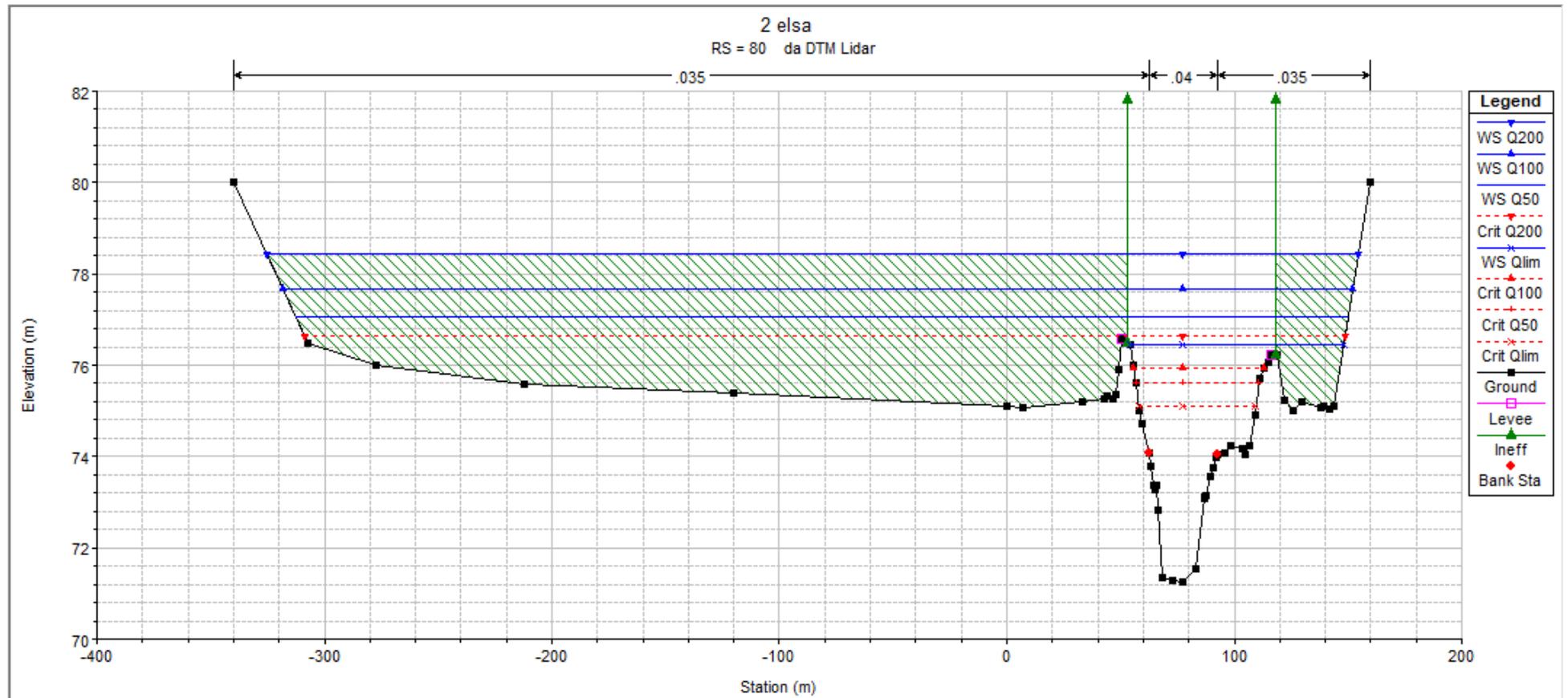


Figura 31: **RS=80** - Sezione trasversale a valle dell'attraversamento n. 1 del nuovo metanodotto.

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 FIUME ELSA			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003	Foglio di 104	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09103

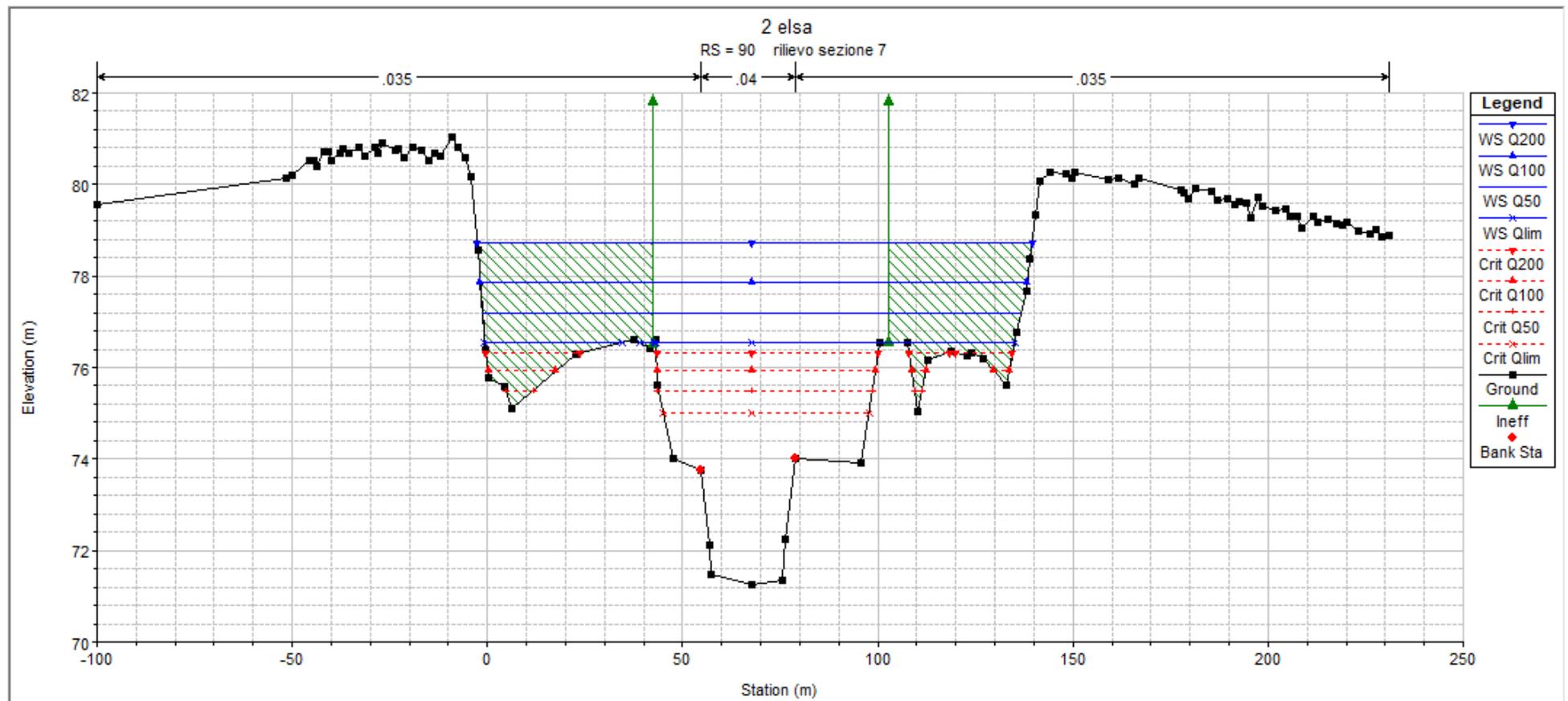


Figura 32: **RS=90** - Sezione trasversale a valle dell'attraversamento n. 1 del nuovo metanodotto.

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 FIUME ELSA			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003	Foglio 43 di 104	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09103

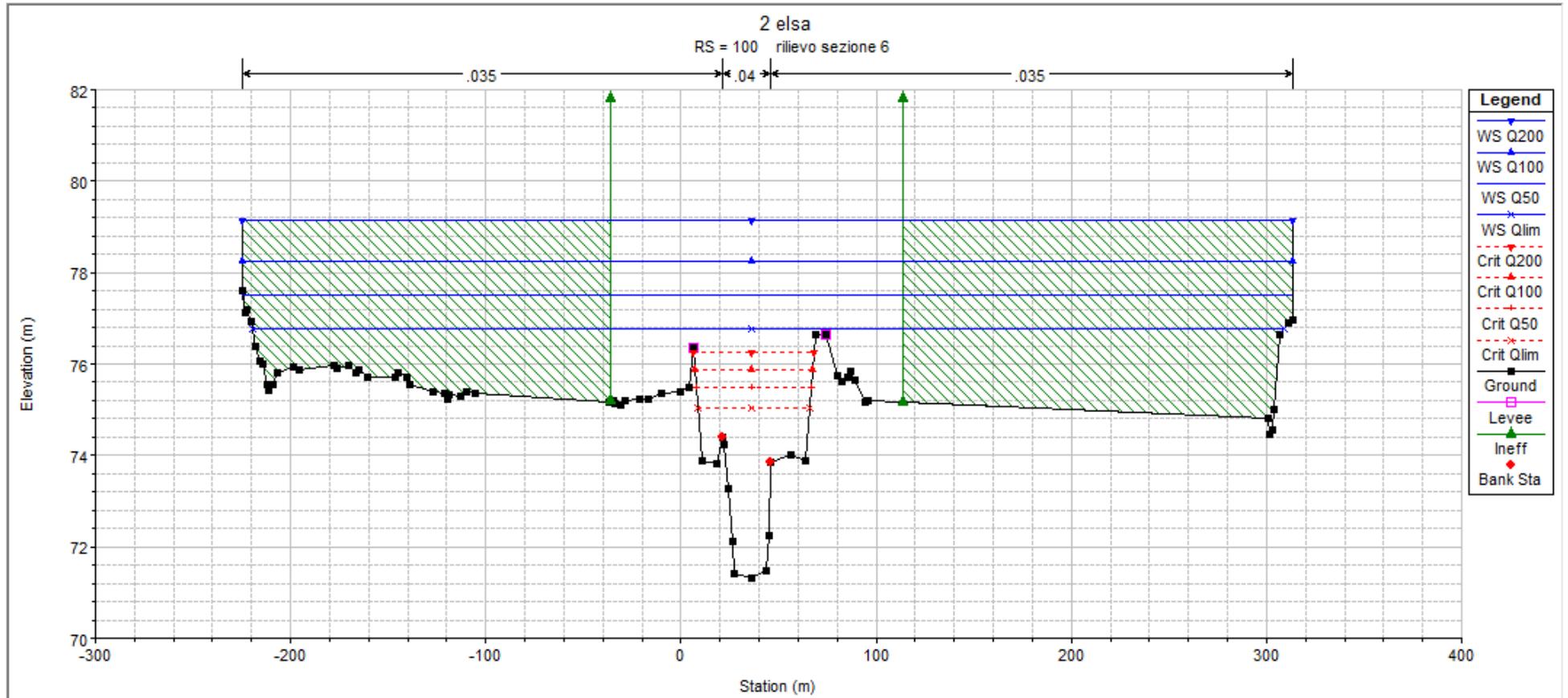


Figura 33: **RS=100** - Sezione trasversale a valle dell'attraversamento n. 1 del nuovo metanodotto.

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 FIUME ELSA			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003	Foglio 44 di 104	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09103

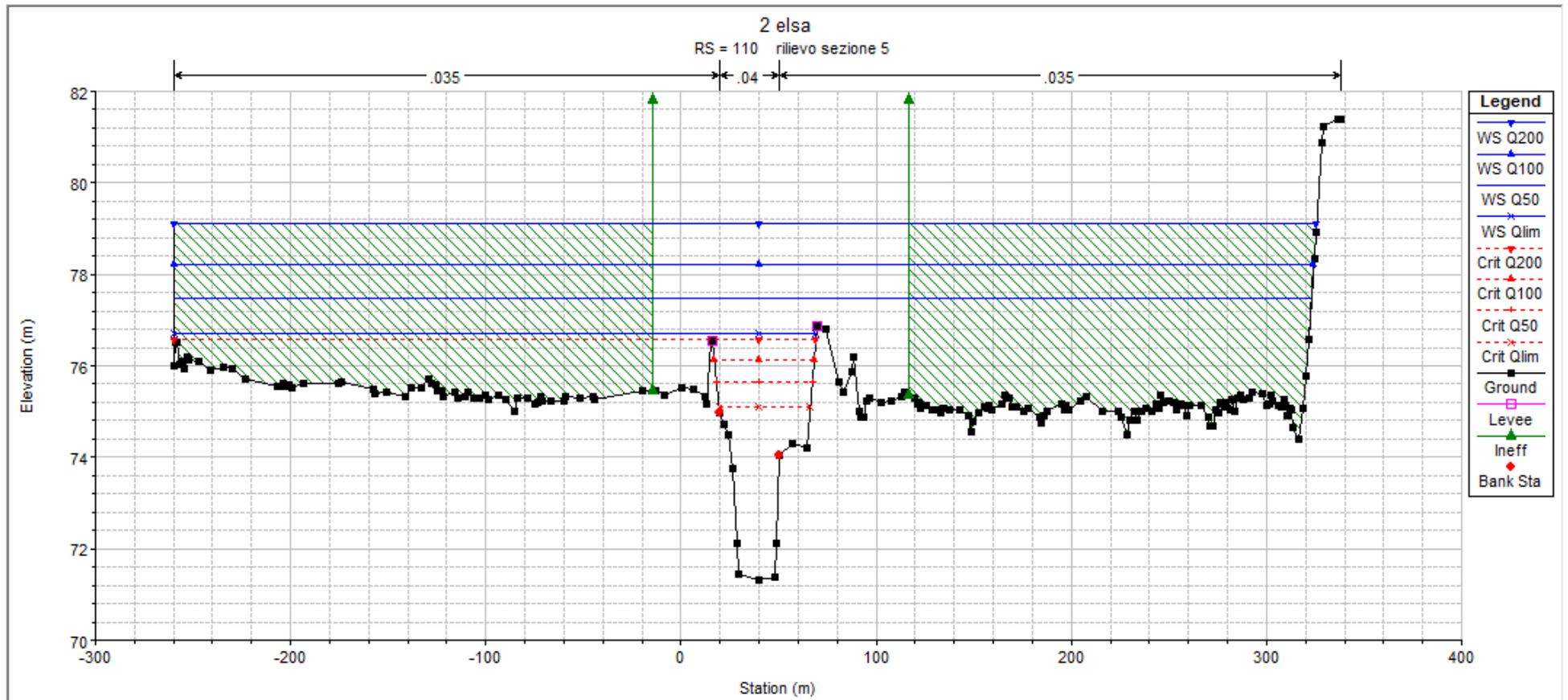


Figura 34: **RS=110** - Sezione trasversale a valle dell'attraversamento n. 1 del nuovo metanodotto.

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 FIUME ELSA			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003	Foglio di 45 di 104	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09103

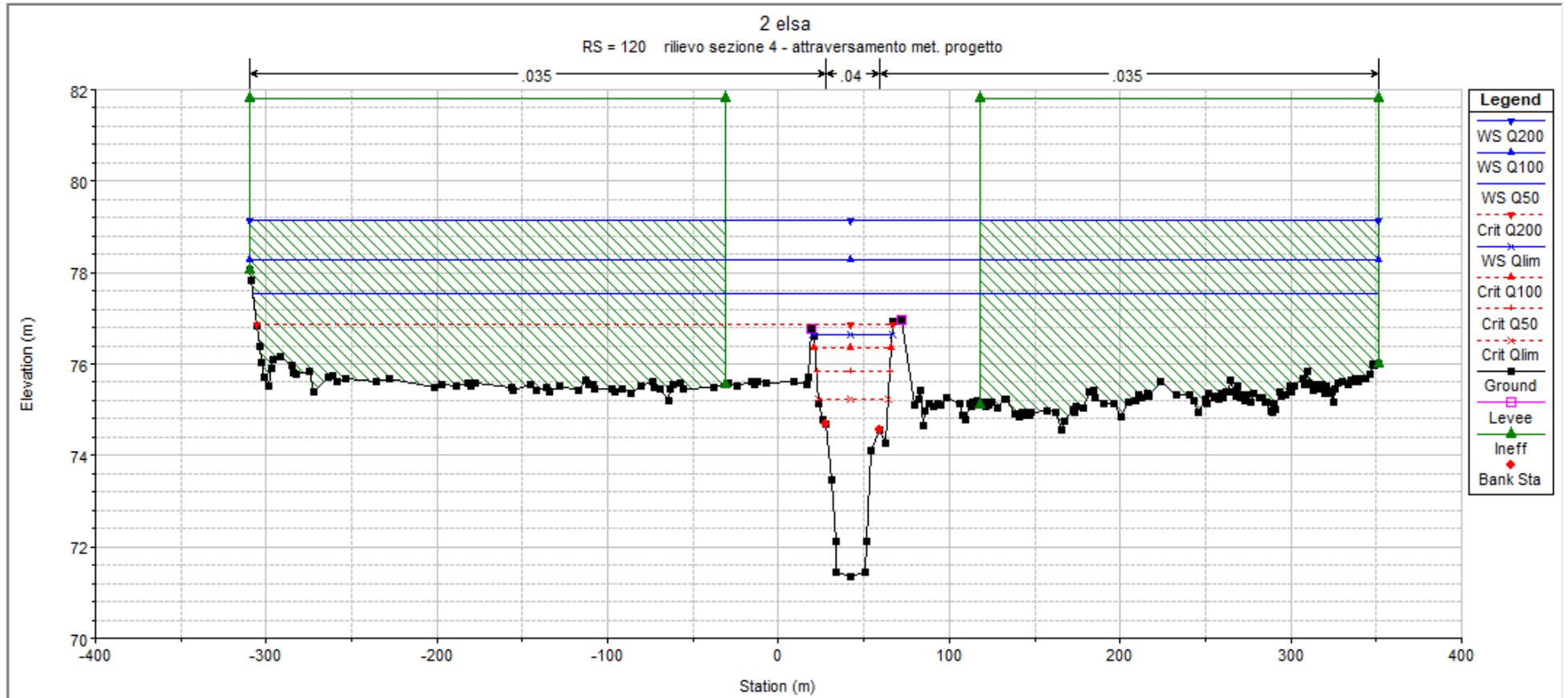


Figura 35: **RS=120** - Sezione trasversale in corrispondenza dell'attraversamento n. 1 del nuovo metanodotto.

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 FIUME ELSA			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003	Foglio 46 di 104	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09103

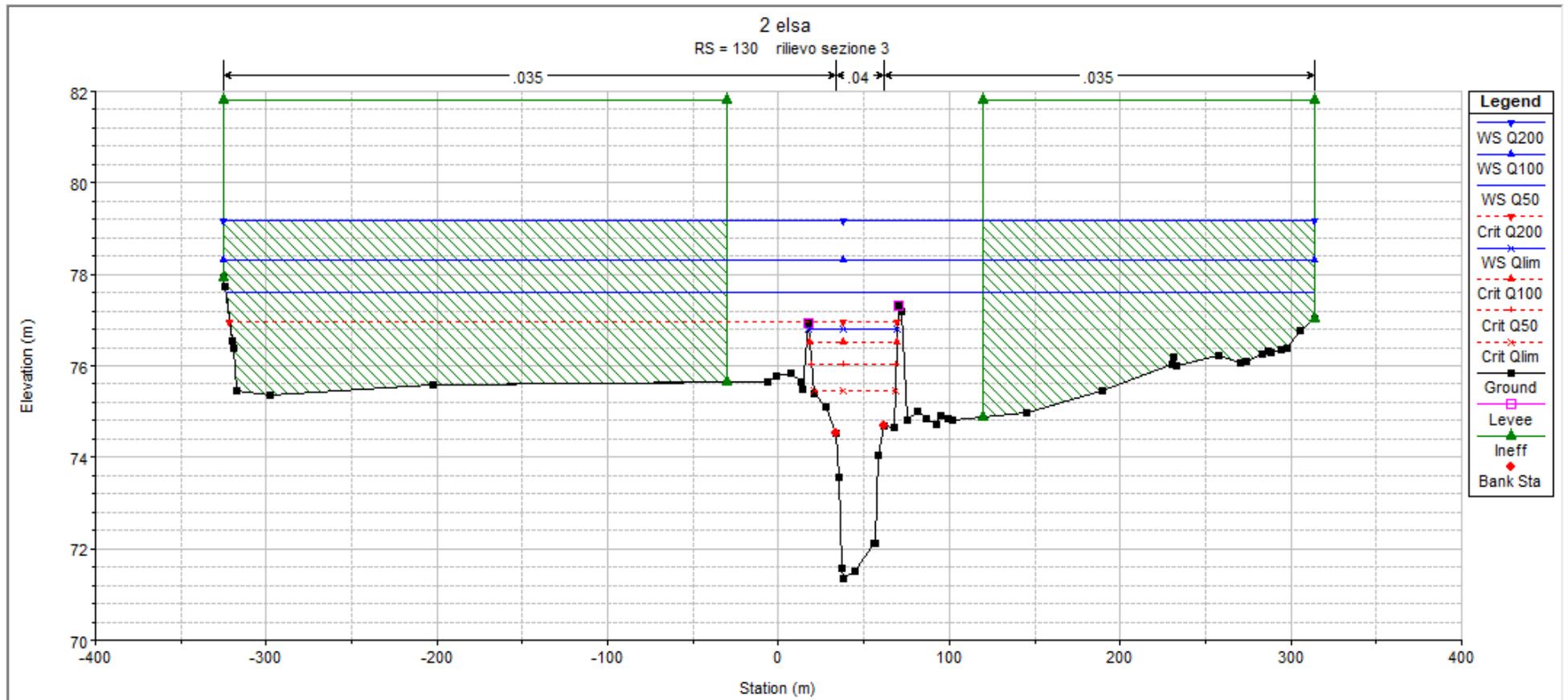


Figura 36: **RS=130** - Sezione trasversale a monte dell'attraversamento n. 1 del nuovo metanodotto.

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 FIUME ELSA			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003	Foglio 47 di 104	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09103

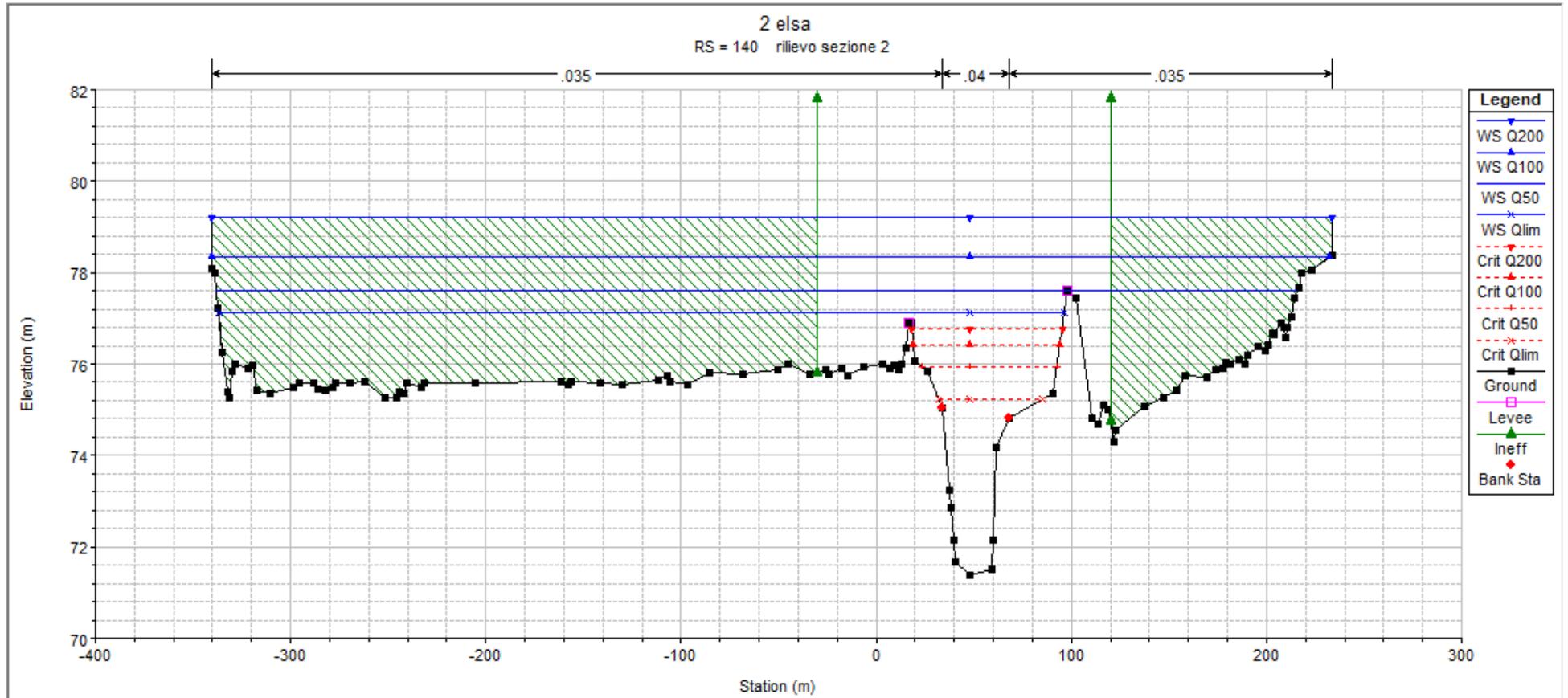


Figura 37: **RS=140** - Sezione trasversale a monte dell'attraversamento n. 1 del nuovo metanodotto.

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 FIUME ELSA			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003	Foglio 48 di 104	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09103

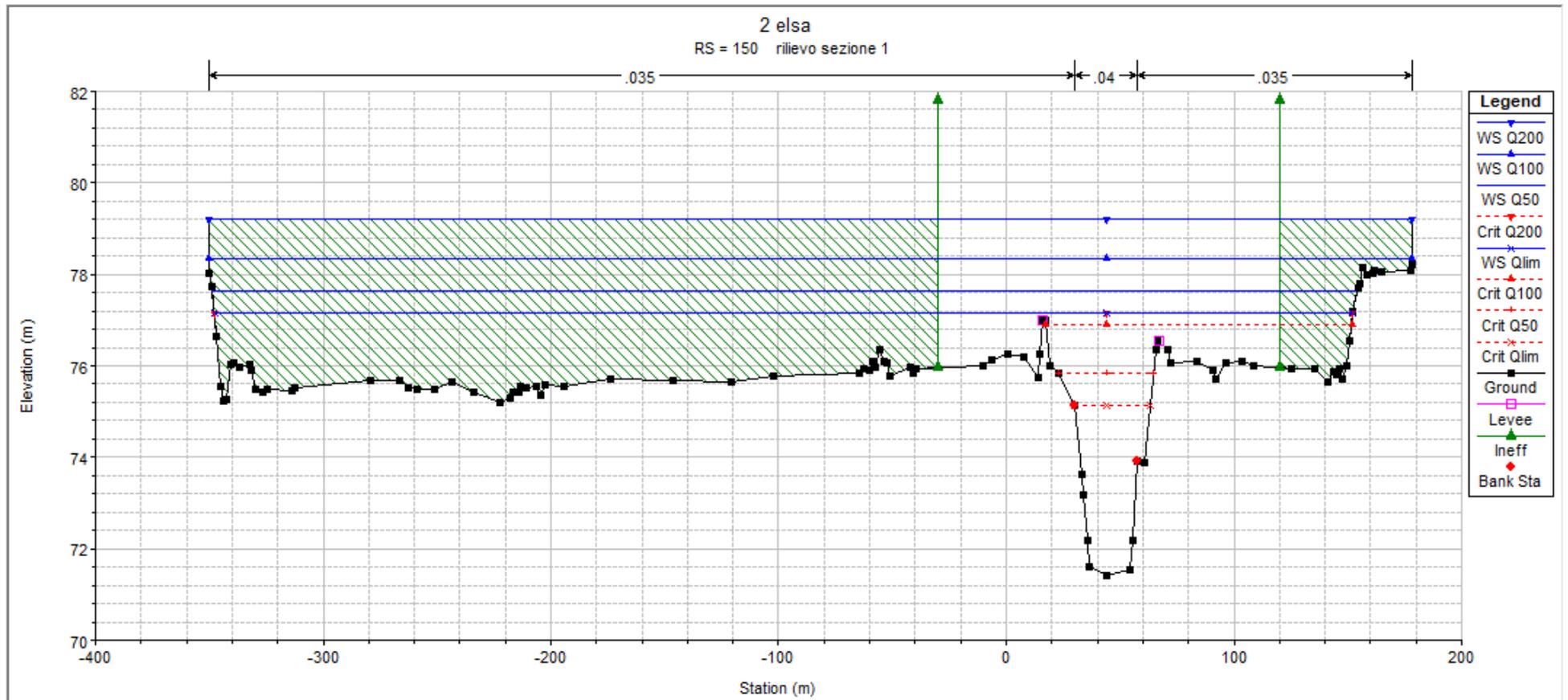


Figura 38: **RS=150** - Sezione trasversale a monte dell'attraversamento n. 1 del nuovo metanodotto.

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 FIUME ELSA			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003	Foglio 49 di 104	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09103

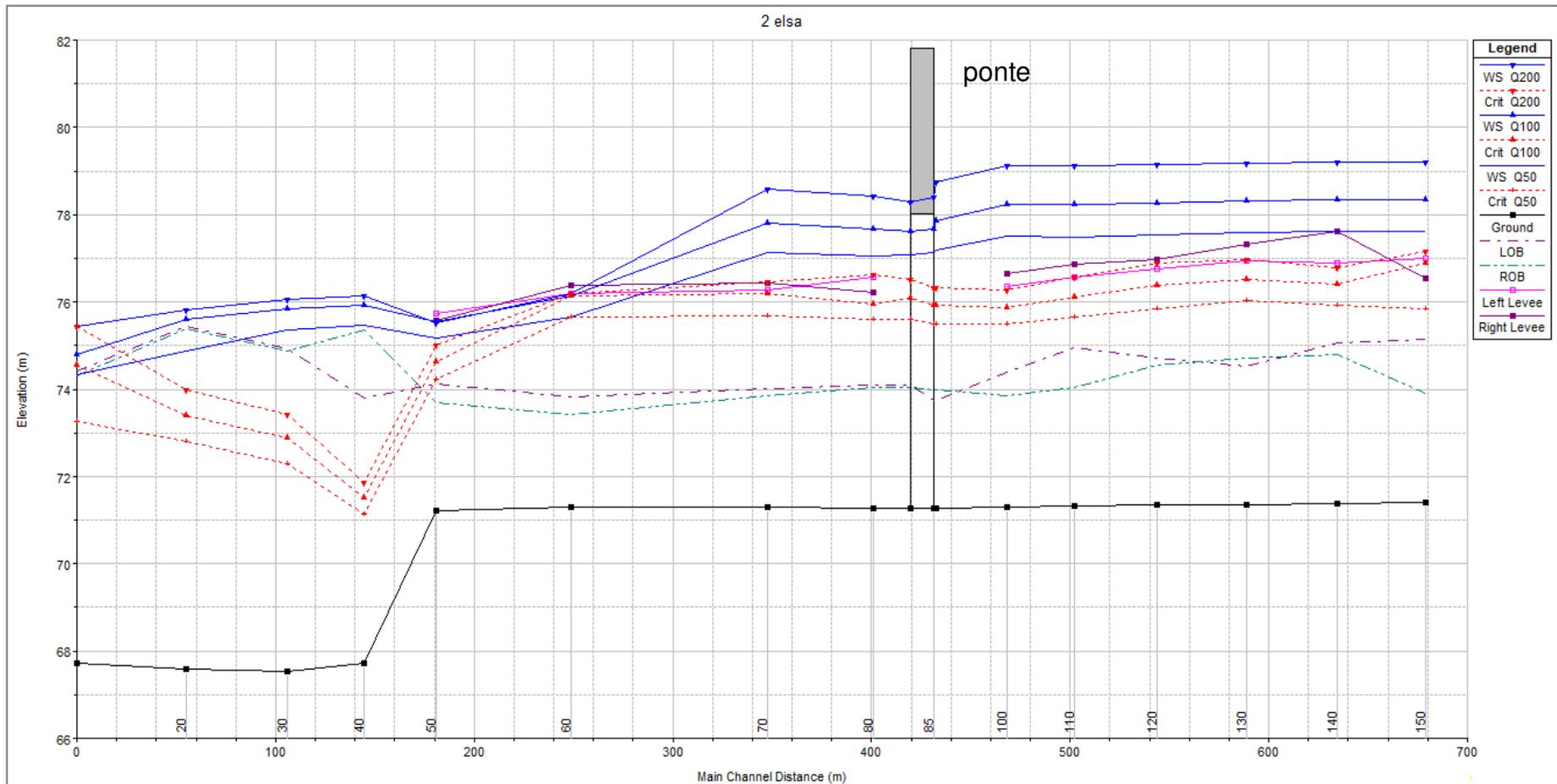


Figura 39: Profilo longitudinale del tratto modellato per il calcolo della profondità di erosione in corrispondenza dell'attraversamento n. 1 del fiume Elsa.

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTI FIUME ELSA

N° Documento:
P22IT04321-PPL-RE-100-003

Foglio
50 di 104

Rev.:
00

N° documento Cliente:
REL-CI-09103

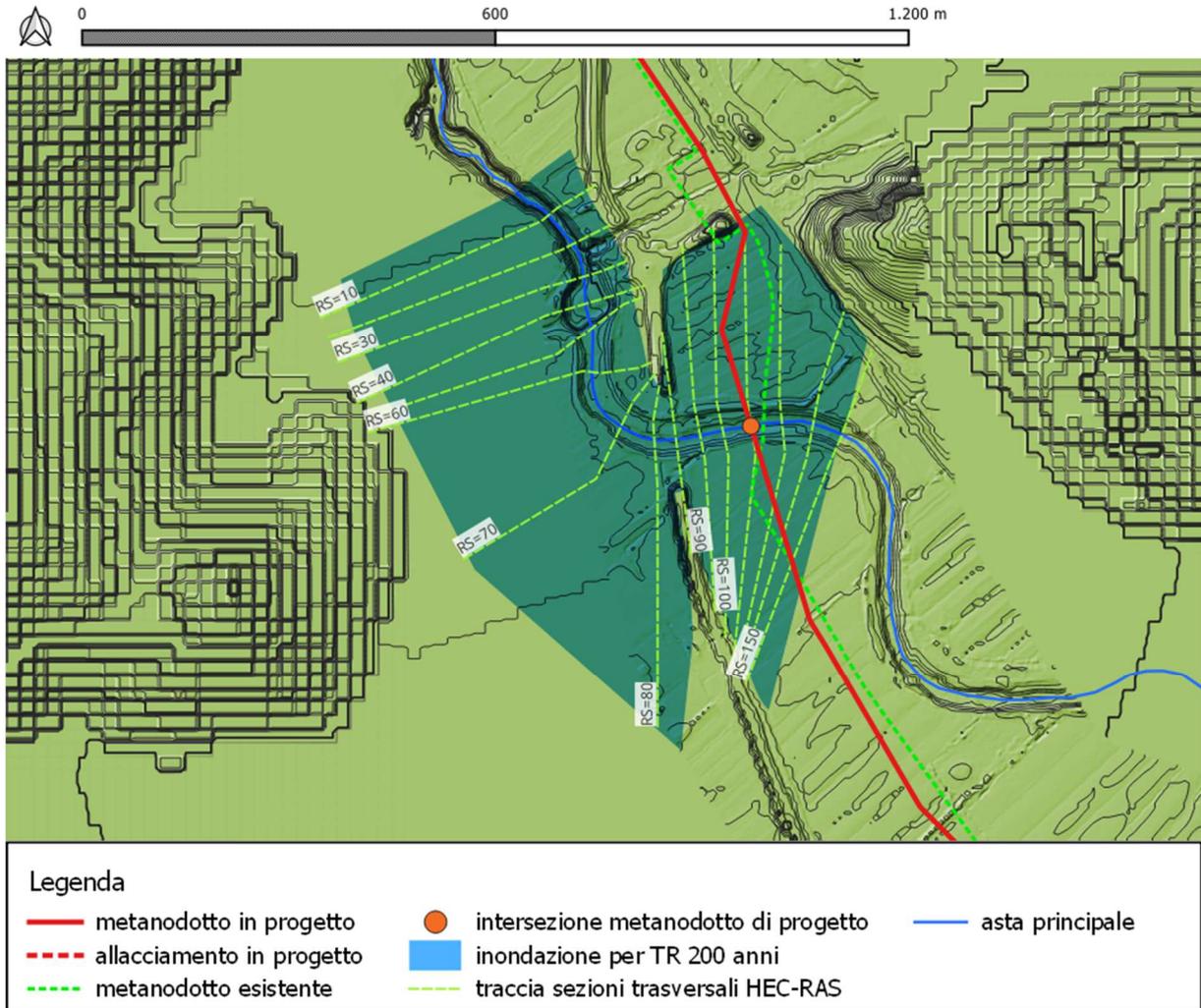


Figura 40: Area inondabile per TR 200 anni su DTM.

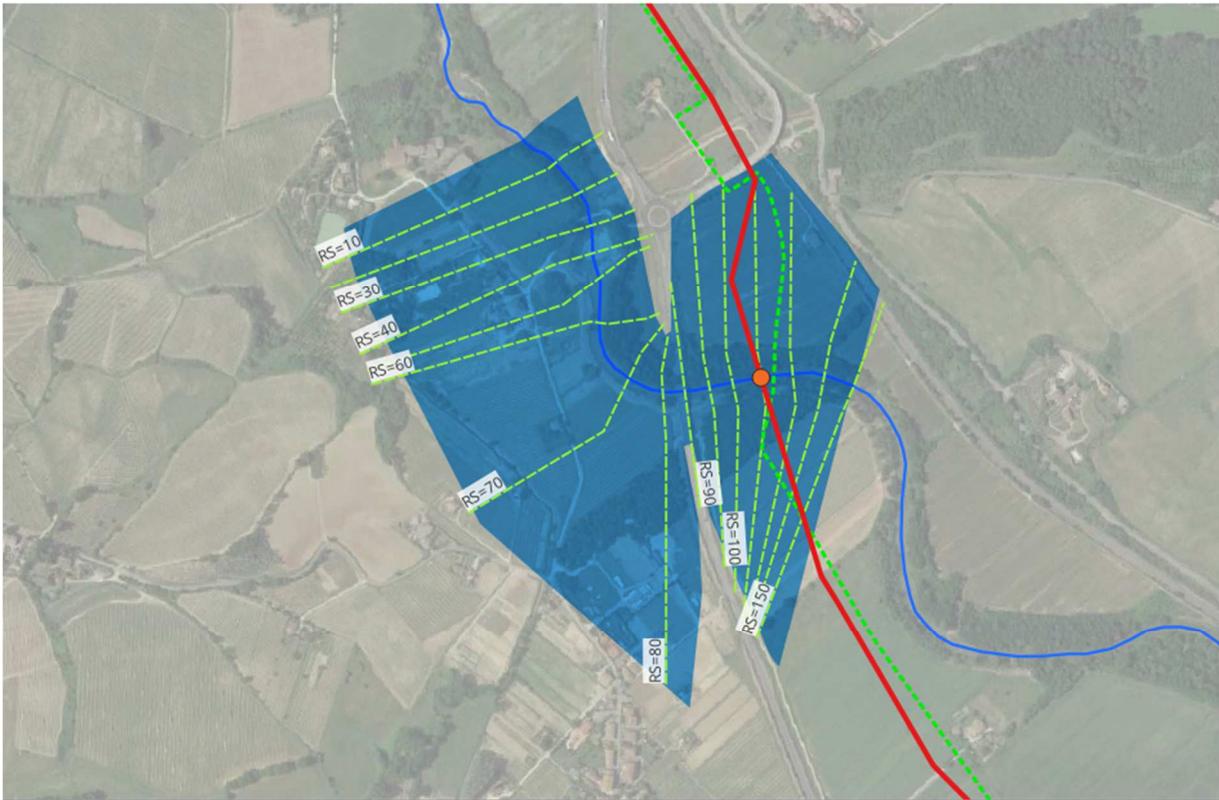
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTI FIUME ELSA

N° Documento:
P22IT04321-PPL-RE-100-003

Foglio
51 di 104

Rev.:
00

N° documento Cliente:
REL-CI-09103



Legenda

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

Figura 41: Area inondabile per TR 200 anni su ortofoto.

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 FIUME ELSA

N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003	Foglio 52 di 104	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09103
--	---------------------	-------------	---------------------------------------

Sezione	TR	Q (m³/s)	Quota di fondo (m s.l.m.)	Quota p.l. (m s.l.m.)	Quota idr. critica (m s.l.m.)	Carico totale (m s.l.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	Q50	604.9	71.41	77.63	75.85	77.82	0.0007	0.00095	2.32	356.54	502.85	0.32	2.33	48.88
150	Q100	770	71.41	78.34	76.9	78.51	0.0007	0.00071	2.18	464.15	528.43	0.28	3.03	41.27
150	Q200	944.7	71.41	79.21	77.16	79.35	0.0007	0.00050	1.99	594.32	528.43	0.24	3.88	32.89
150	Qlim	440	71.41	77.16	75.12	77.33	0.0007	0.00091	2.15	286.12	500.13	0.3	1.87	42.93
140	Q50	604.9	71.38	77.62	75.93	77.77	0.0004	0.00078	2	388.35	554.08	0.28	2.53	37.05
140	Q100	770	71.38	78.34	76.41	78.47	0.0004	0.00060	1.91	495.75	572.53	0.25	3.23	32.63
140	Q200	944.7	71.38	79.21	76.78	79.33	0.0004	0.00043	1.78	626.08	573.46	0.22	4.08	27.01
140	Qlim	440	71.38	77.14	75.22	77.29	0.0004	0.00083	1.92	288.31	433.37	0.28	2.23	35.43
130	Q50	604.9	71.36	77.6	76.03	77.71	0	0.00062	1.8	424.93	637.51	0.25	2.74	30
130	Q100	770	71.36	78.31	76.51	78.43	0	0.00049	1.75	532.79	639.1	0.23	3.44	27.16
130	Q200	944.7	71.36	79.19	76.97	79.3	0	0.00036	1.65	663.86	639.1	0.2	4.28	23.09
130	Qlim	440	71.36	76.81	75.44	77.2	0	0.00200	2.91	166.93	51.76	0.44	3.02	82.41
120	Q50	604.9	71.36	77.54	75.84	77.67	0.0007	0.00072	1.92	402.67	658.62	0.27	2.63	34.09
120	Q100	770	71.36	78.27	76.37	78.4	0.0007	0.00055	1.84	511.76	661.05	0.24	3.34	29.97
120	Q200	944.7	71.36	79.16	76.88	79.27	0.0007	0.00040	1.71	643.74	661.05	0.21	4.21	24.92
120	Qlim	440	71.36	76.65	75.23	77.09	0.0007	0.00231	3.03	155.16	46.36	0.47	3.14	90.59
110	Q50	604.9	71.33	77.48	75.64	77.64	0.0009	0.00081	2.05	370.88	583.15	0.29	2.73	38.89
110	Q100	770	71.33	78.22	76.12	78.37	0.0009	0.00063	1.99	468.05	584.2	0.26	3.45	34.97
110	Q200	944.7	71.33	79.11	76.58	79.25	0.0009	0.00047	1.87	585.62	585.67	0.23	4.31	29.58
110	Qlim	440	71.33	76.72	75.11	76.96	0.0009	0.00134	2.37	217.97	329.15	0.36	2.49	54.79
100	Q50	604.9	71.3	77.5	75.48	77.61	0.0011	0.00055	1.77	439.06	538.36	0.24	2.86	28.32
100	Q100	770	71.3	78.24	75.88	78.34	0.0011	0.00044	1.71	549.86	538.7	0.22	3.58	25.48

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 FIUME ELSA**

N° Documento:
P22IT04321-PPL-RE-100-003

Foglio
di 104

Rev.:
00

N° documento Cliente:
REL-CI-09103

Sezione	TR	Q (m³/s)	Quota di fondo (m s.l.m.)	Quota p.l. (m s.l.m.)	Quota idr. critica (m s.l.m.)	Carico totale (m s.l.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)
100	Q200	944.7	71.3	79.13	76.27	79.23	0.0011	0.00032	1.61	683.76	538.7	0.19	4.45	21.62
100	Qlim	440	71.3	76.78	75.03	76.89	0.0011	0.00069	1.8	331.26	528.89	0.26	2.16	30.78
90	Q50	604.9	71.26	77.18	75.5	77.55	0	0.00158	2.95	231.61	137.93	0.4	3.62	79.23
90	Q100	770	71.26	77.86	75.93	78.29	0	0.00152	3.13	272.73	140.18	0.4	4.26	85.71
90	Q200	944.7	71.26	78.74	76.33	79.18	0	0.00129	3.15	325.32	142.25	0.38	5.09	83.18
90	Qlim	440	71.26	76.55	75	76.84	0	0.00145	2.6	193.89	130.78	0.38	3.06	64.06
80	Q50	604.9	71.26	77.05	75.6	77.47	-0.0006	0.00195	3.08	220.58	462.8	0.45	3.29	89.33
80	Q100	770	71.26	77.67	75.94	78.14	-0.0006	0.00187	3.28	260.75	470.59	0.45	3.89	96.76
80	Q200	944.7	71.26	78.43	76.63	78.92	-0.0006	0.00162	3.32	310.12	480.16	0.42	4.63	95.32
80	Qlim	440	71.26	76.44	75.09	76.78	-0.0006	0.00187	2.76	180.59	93.91	0.43	2.74	75.02
70	Q50	604.9	71.29	77.13	75.68	77.27	-0.0002	0.00081	2.08	389.8	374.45	0.28	2.48	39.7
70	Q100	770	71.29	77.8	76.19	77.94	-0.0002	0.00063	1.99	492.75	379.95	0.26	3.14	34.97
70	Q200	944.7	71.29	78.6	76.45	78.72	-0.0002	0.00047	1.86	615.16	383.59	0.23	3.92	29.3
70	Qlim	440	71.29	76.15	75.04	76.64	-0.0002	0.00268	3.31	148.69	50.59	0.5	2.77	107.35
60	Q50	604.9	71.31	75.65	75.65	76.96	0.0013	0.00805	5.34	125.22	47.16	0.87	2.57	290.17
60	Q100	770	71.31	76.15	76.15	77.64	0.0013	0.00785	5.73	149.64	49.61	0.88	2.91	320.45
60	Q200	944.7	71.31	76.18	76.18	78.38	0.0013	0.01151	6.97	151.07	49.75	1.07	2.93	472.49
60	Qlim	440	71.31	75.01	75.01	76.17	0.0013	0.00881	4.95	96.55	42.34	0.89	2.21	264.59
50	Q50	604.9	71.22	75.18	74.24	75.68	0.0964	0.00332	3.17	198.38	70.98	0.56	2.74	106.1
50	Q100	770	71.22	75.53	74.64	76.18	0.0964	0.00380	3.62	226.39	84.31	0.61	2.64	134.41
50	Q200	944.7	71.22	75.53	75.01	76.5	0.0964	0.00576	4.46	225.73	84.15	0.75	2.63	203.5
50	Qlim	440	71.22	74.28	73.72	74.82	0.0964	0.00545	3.28	136.83	66.07	0.68	2.04	126.64

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 FIUME ELSA									
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003		Foglio 54 di 104		Rev.:				N° documento Cliente: REL-CI-09103	

Sezione	TR	Q (m³/s)	Quota di fondo (m s.l.m.)	Quota p.l. (m s.l.m.)	Quota idr. critica (m s.l.m.)	Carico totale (m s.l.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)
40	Q50	604.9	67.72	75.47	71.13	75.52	0.0046	0.00020	1.09	730.47	384.38	0.15	1.88	10.72
40	Q100	770	67.72	75.93	71.5	75.98	0.0046	0.00020	1.14	907.51	394.88	0.15	2.28	11.48
40	Q200	944.7	67.72	76.14	71.87	76.2	0.0046	0.00024	1.29	990.96	399.41	0.17	2.46	14.4
40	Qlim	440	67.72	74.59	70.71	74.65	0.0046	0.00026	1.12	435.92	237.86	0.16	1.81	11.82
30	Q50	604.9	67.54	75.36	72.3	75.5	-0.001	0.00083	1.83	460.4	381.17	0.28	1.2	32.95
30	Q100	770	67.54	75.86	72.9	75.96	-0.001	0.00061	1.69	654.11	396.6	0.25	1.63	27.2
30	Q200	944.7	67.54	76.06	73.42	76.18	-0.001	0.00069	1.84	736.03	400.71	0.27	1.82	31.67
30	Qlim	440	67.54	74.39	71.47	74.61	-0.001	0.00134	2.1	213.18	69.3	0.35	2.95	45.57
20	Q50	604.9	67.59	74.87	72.81	75.39	-0.0024	0.00247	3.21	189.6	54.34	0.48	3.25	100.72
20	Q100	770	67.59	75.6	73.41	75.89	-0.0024	0.00153	2.7	434.52	382.42	0.38	1.12	68.82
20	Q200	944.7	67.59	75.8	73.99	76.11	-0.0024	0.00164	2.87	512.09	386.83	0.4	1.31	76.77
20	Qlim	440	67.59	74.11	72.06	74.51	-0.0024	0.00219	2.79	157.67	39.44	0.45	3.68	79.15
10	Q50	604.9	67.72	74.35	73.26	75.18		0.00490	4.09	161.95	89.56	0.66	1.73	171.93
10	Q100	770	67.72	74.79	74.55	75.7		0.00490	4.38	203.52	97.55	0.67	2	190.61
10	Q200	944.7	67.72	75.43	75.43	75.97		0.00292	3.71	391.22	380.94	0.53	1.02	130.25
10	Qlim	440	67.72	73.57	72.45	74.3		0.00490	3.78	116.38	35.3	0.64	3	152.65

Tabella 13: Grandezze caratteristiche dei deflussi nel tratto modellato per il calcolo della profondità di erosione in corrispondenza dell'attraversamento n. 1 del fiume Elsa 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 FIUME ELSA					
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003		Foglio 55 di 104		Rev.: 0A	
				REL-CI-09103	

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 FIUME ELSA				
N° Documento:	Foglio	Rev.:		REL-CI-09103
P22IT04321-PPL-RE-100-003	56 di 104	0A		

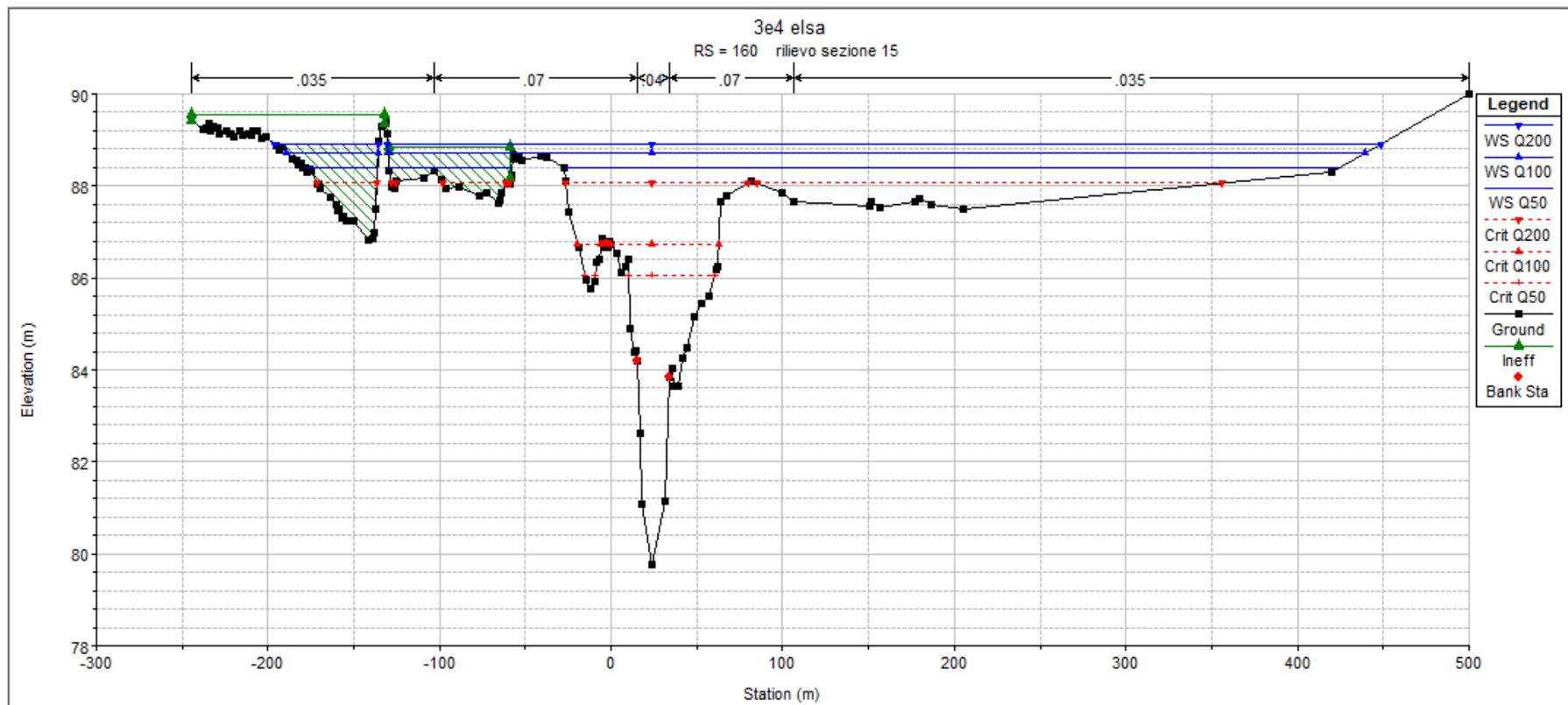


Figura 42: **RS=160** - Sezione trasversale a valle dell'attraversamento n. 2 del nuovo metanodotto.

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 FIUME ELSA				
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003	Foglio 57 di 104	Rev.:		REL-CI-09103
		0A		

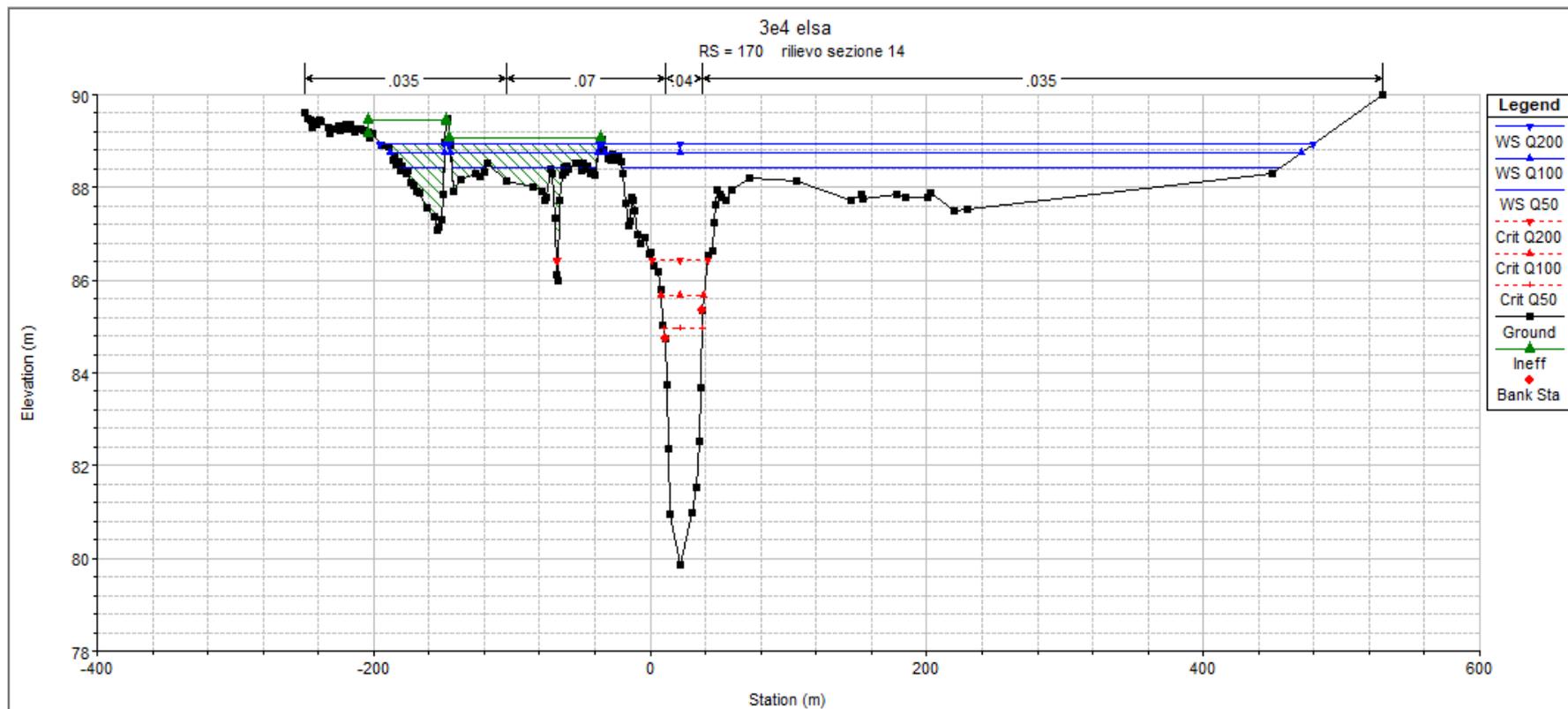


Figura 43: **RS=170** - Sezione trasversale a valle dell'attraversamento n. 2 del nuovo metanodotto.

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 FIUME ELSA				
N° Documento:	Foglio	Rev.:		REL-CI-09103
P22IT04321-PPL-RE-100-003	58 di 104	0A		

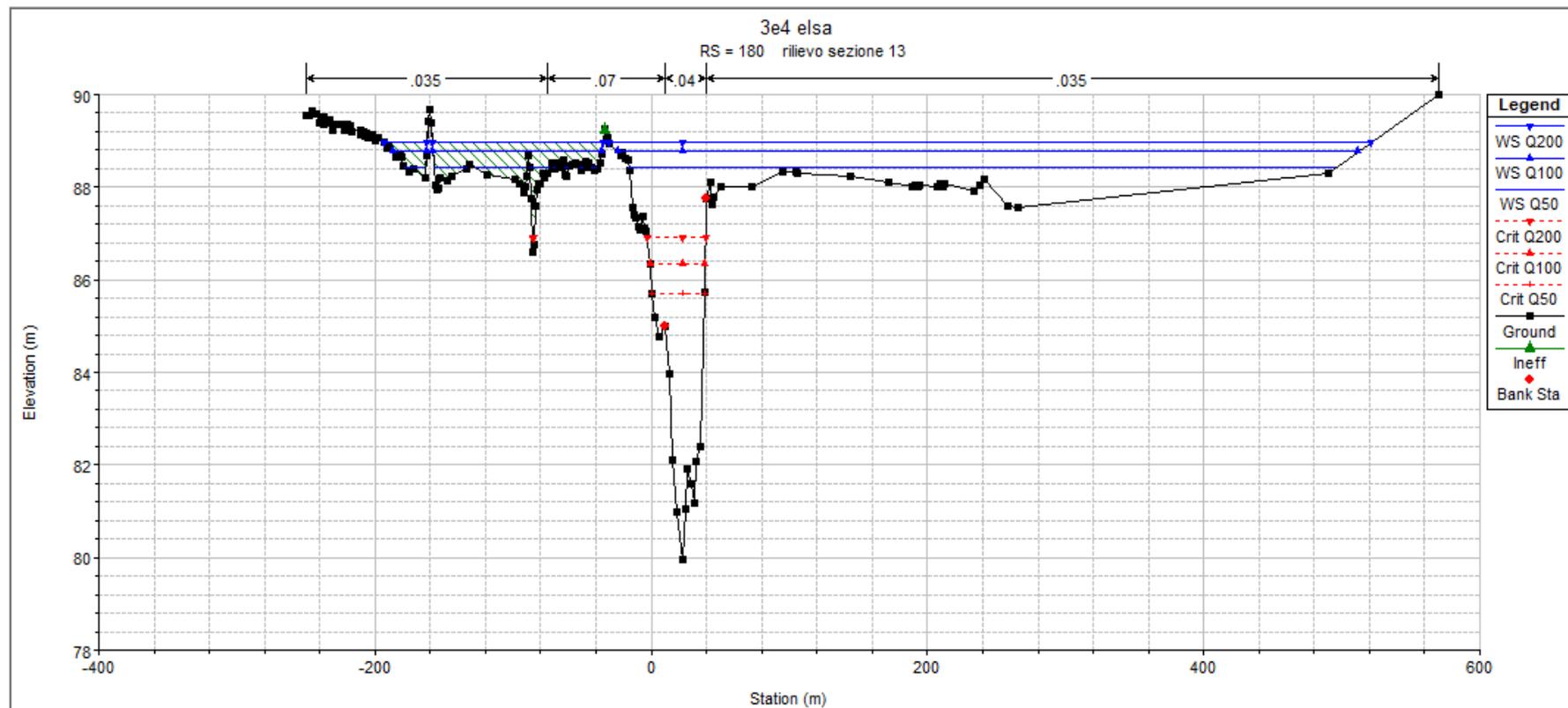


Figura 44: **RS=180** - Sezione trasversale a valle dell'attraversamento n. 2 del nuovo metanodotto.

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 FIUME ELSA			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003	Foglio 59 di 104	Rev.: 0A	REL-CI-09103

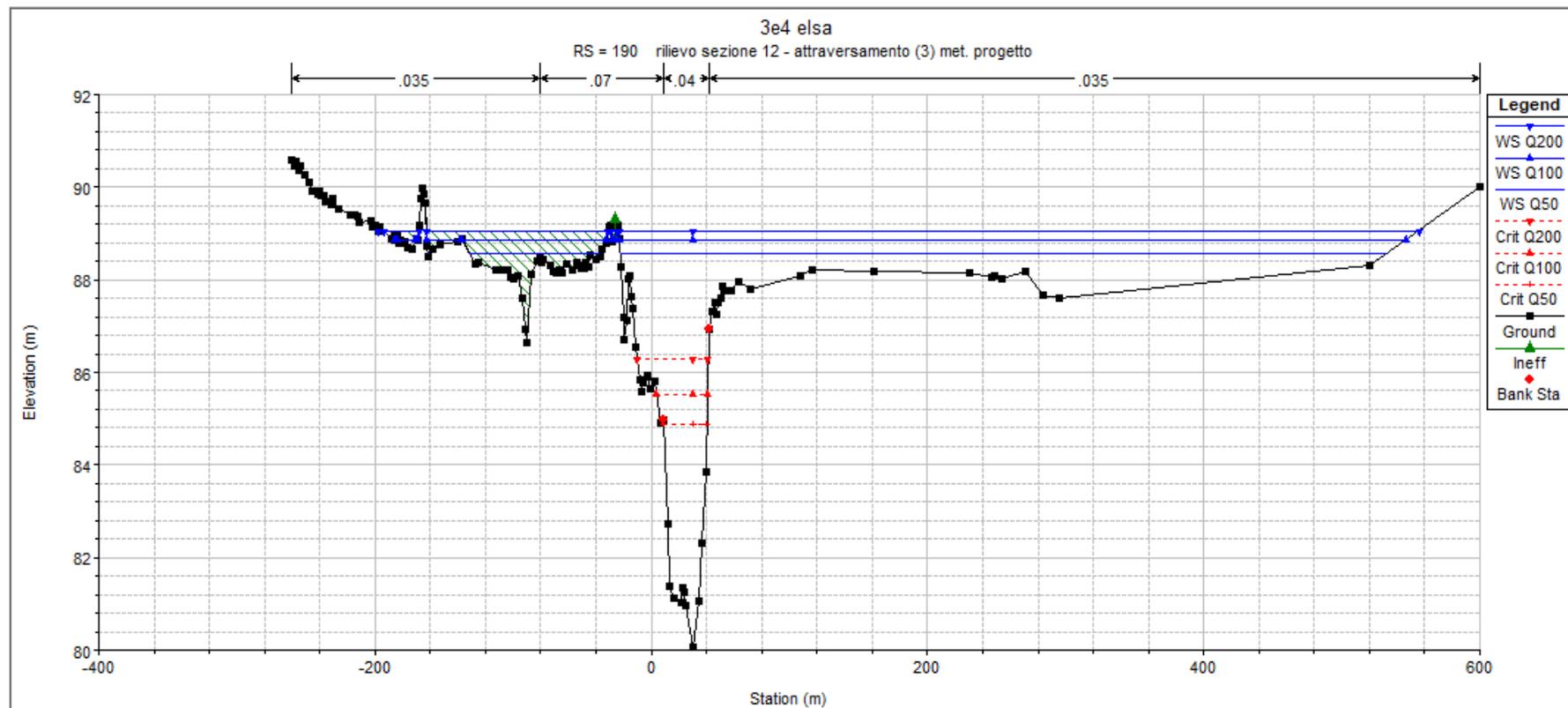


Figura 45: **RS=190** - Sezione trasversale in corrispondenza dell'attraversamento n. 2 del nuovo metanodotto.

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 FIUME ELSA				
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003	Foglio 60 di 104	Rev.: 0A		REL-CI-09103

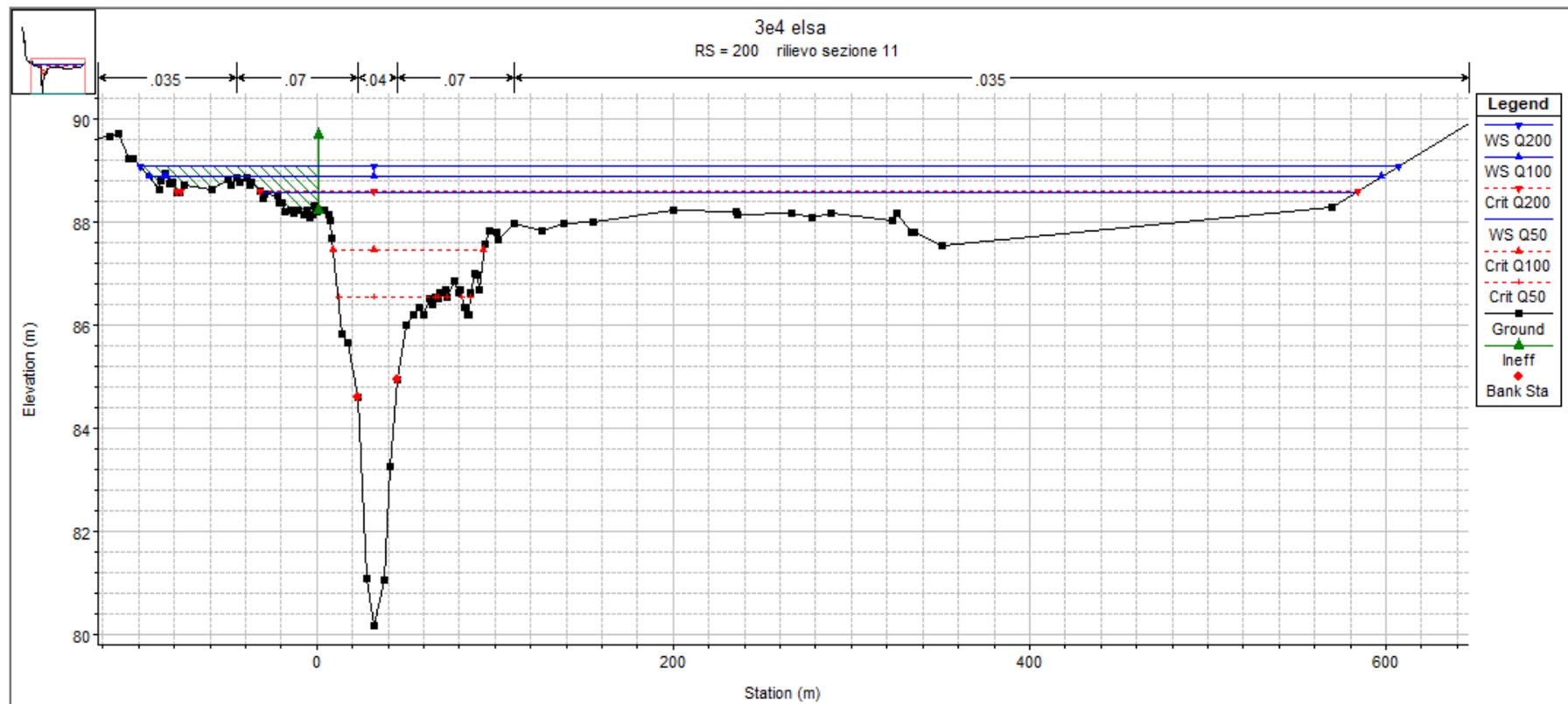


Figura 46: **RS=200** - Sezione trasversale a monte dell'attraversamento n. 2 del nuovo metanodotto.

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 FIUME ELSA				
N° Documento:	Foglio	Rev.:		REL-CI-09103
P22IT04321-PPL-RE-100-003	61 di 104	0A		

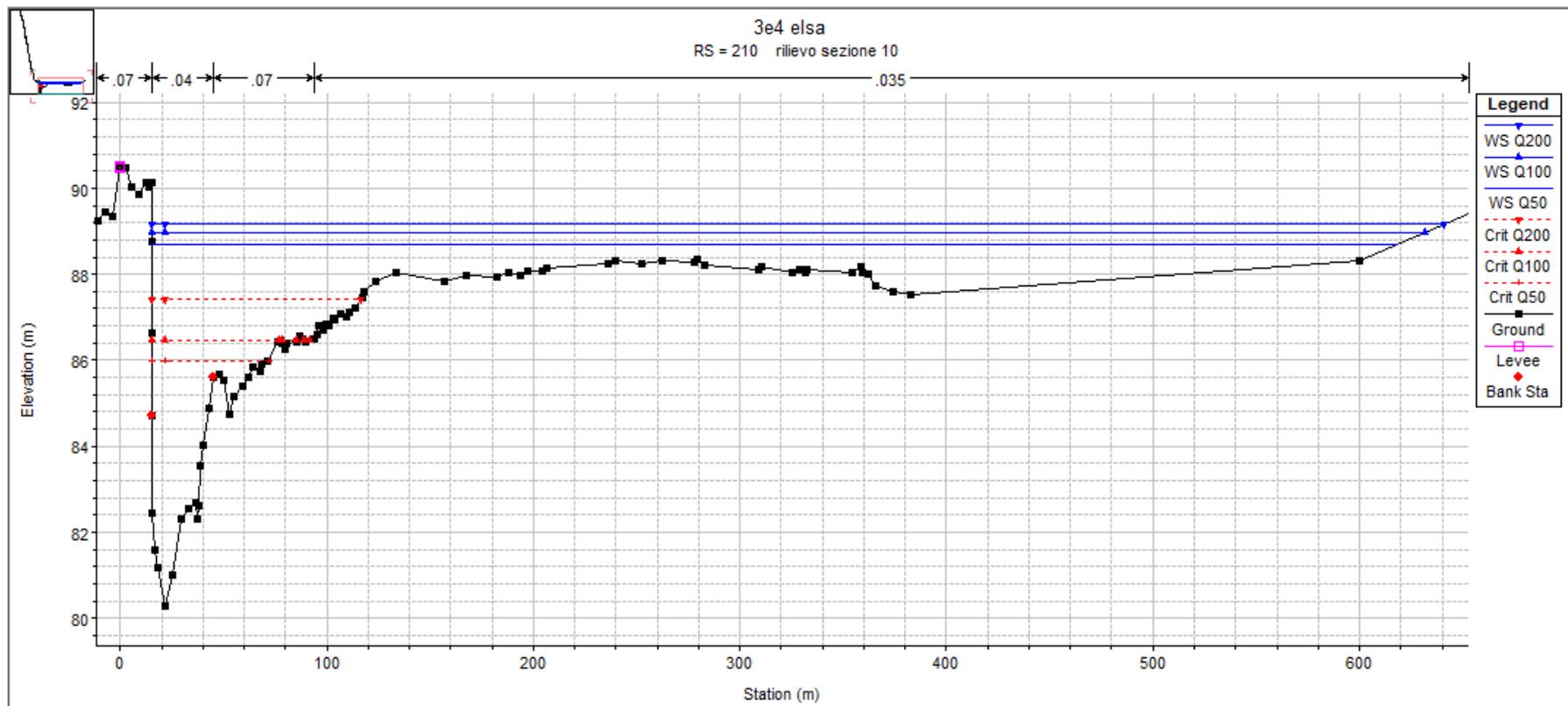


Figura 47: **RS=210** - Sezione trasversale a monte dell'attraversamento n. 2 del nuovo metanodotto.

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 FIUME ELSA				
N° Documento:	Foglio	Rev.:		REL-CI-09103
P22IT04321-PPL-RE-100-003	62 di 104	0A		

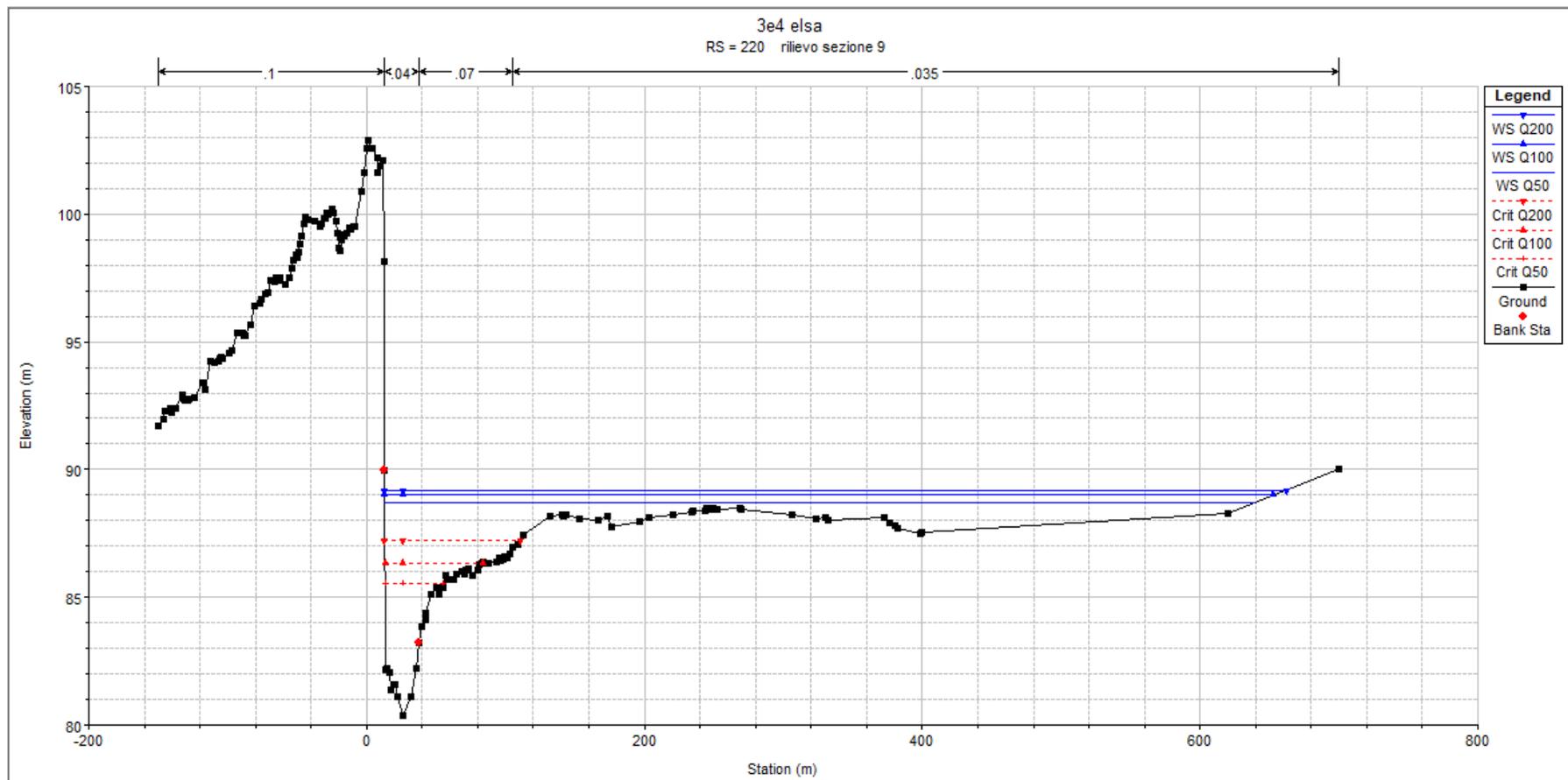


Figura 48: **RS=220** - Sezione trasversale a monte dell'attraversamento n. 2 del nuovo metanodotto.

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 FIUME ELSA				
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003	Foglio 63 di 104	Rev.: 0A		REL-CI-09103

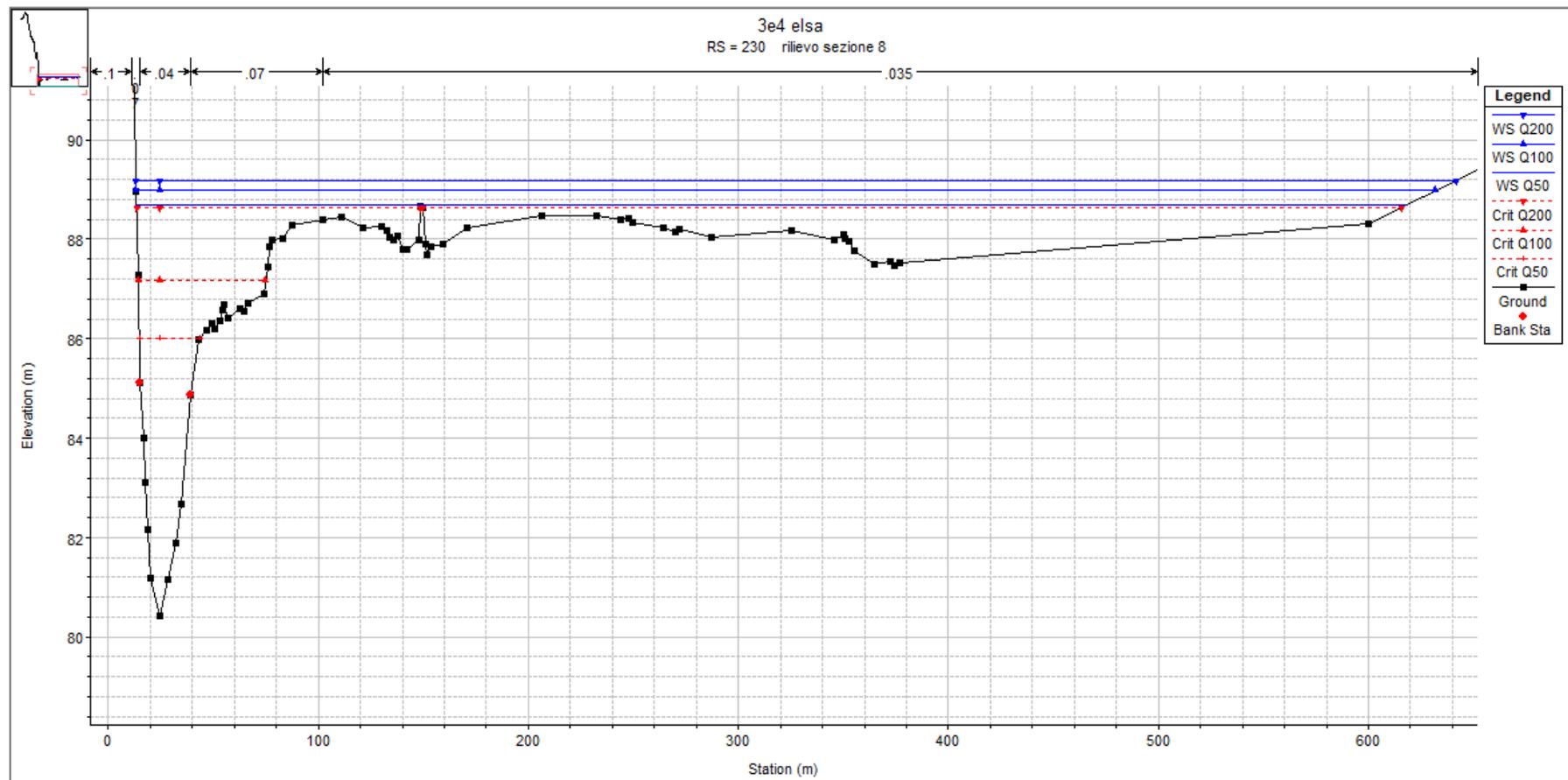


Figura 49: **RS=230** - Sezione trasversale a monte dell'attraversamento n. 2 del nuovo metanodotto.

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 FIUME ELSA				
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003		Foglio 64 di 104	Rev.: 0A	
				REL-CI-09103

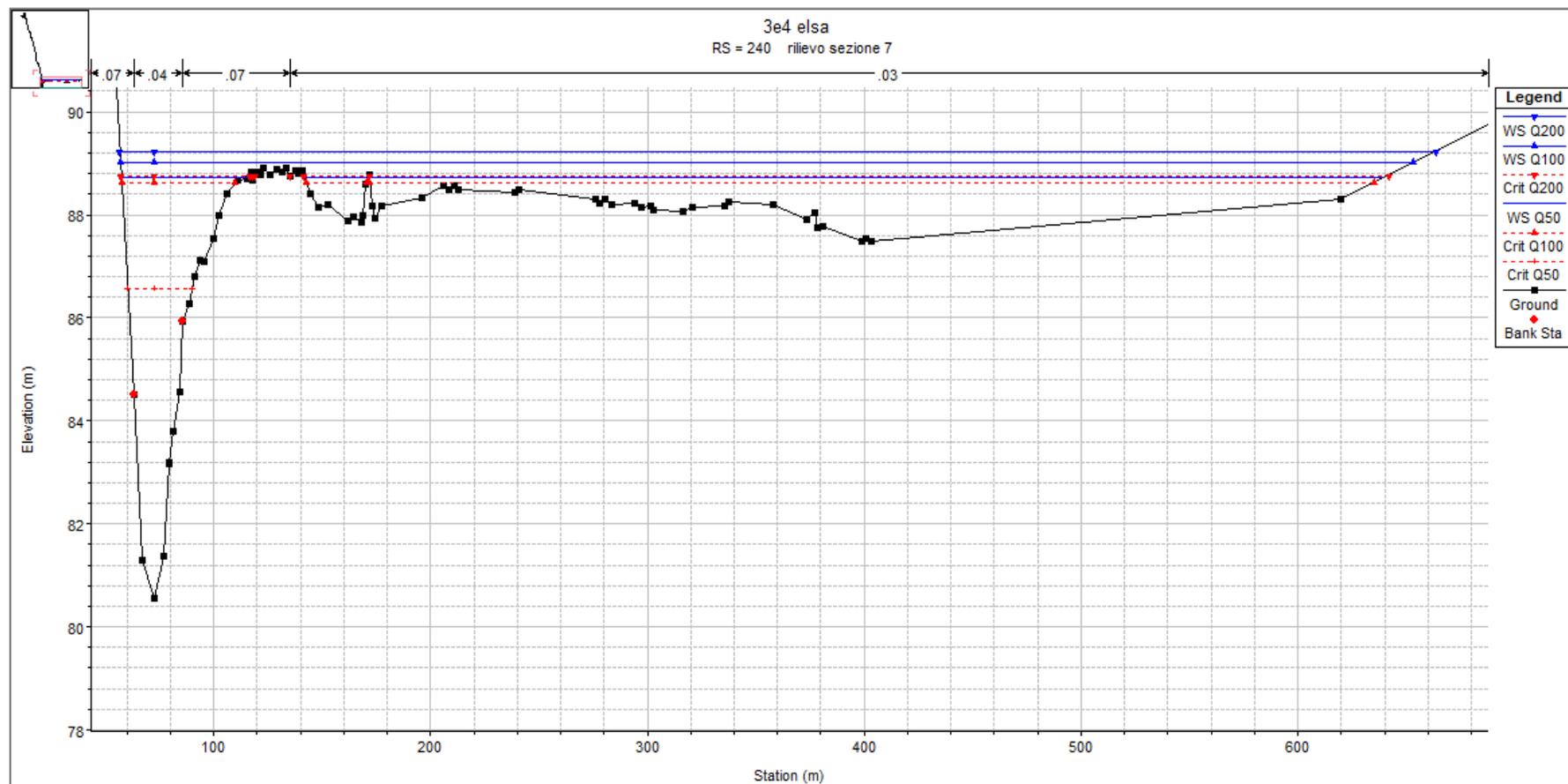


Figura 50: **RS=240** - Sezione trasversale a valle dell'attraversamento n. 3 del nuovo metanodotto.

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 FIUME ELSA			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003	Foglio 65 di 104	Rev.: 0A	REL-CI-09103

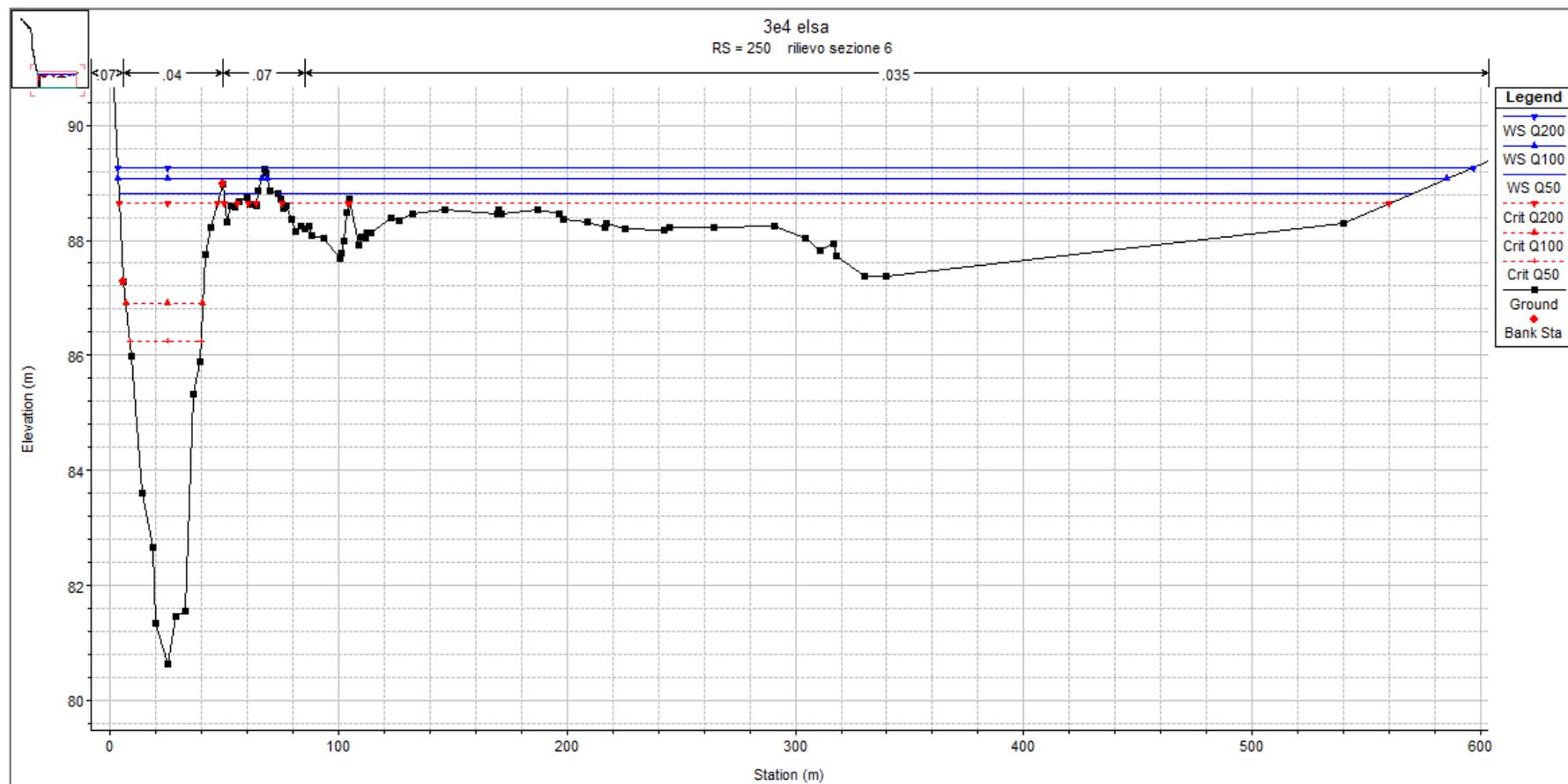


Figura 51: **RS=250** - Sezione trasversale a valle dell'attraversamento n. 3 del nuovo metanodotto.

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 FIUME ELSA				
N° Documento:	Foglio	Rev.:		REL-CI-09103
P22IT04321-PPL-RE-100-003	66 di 104	0A		

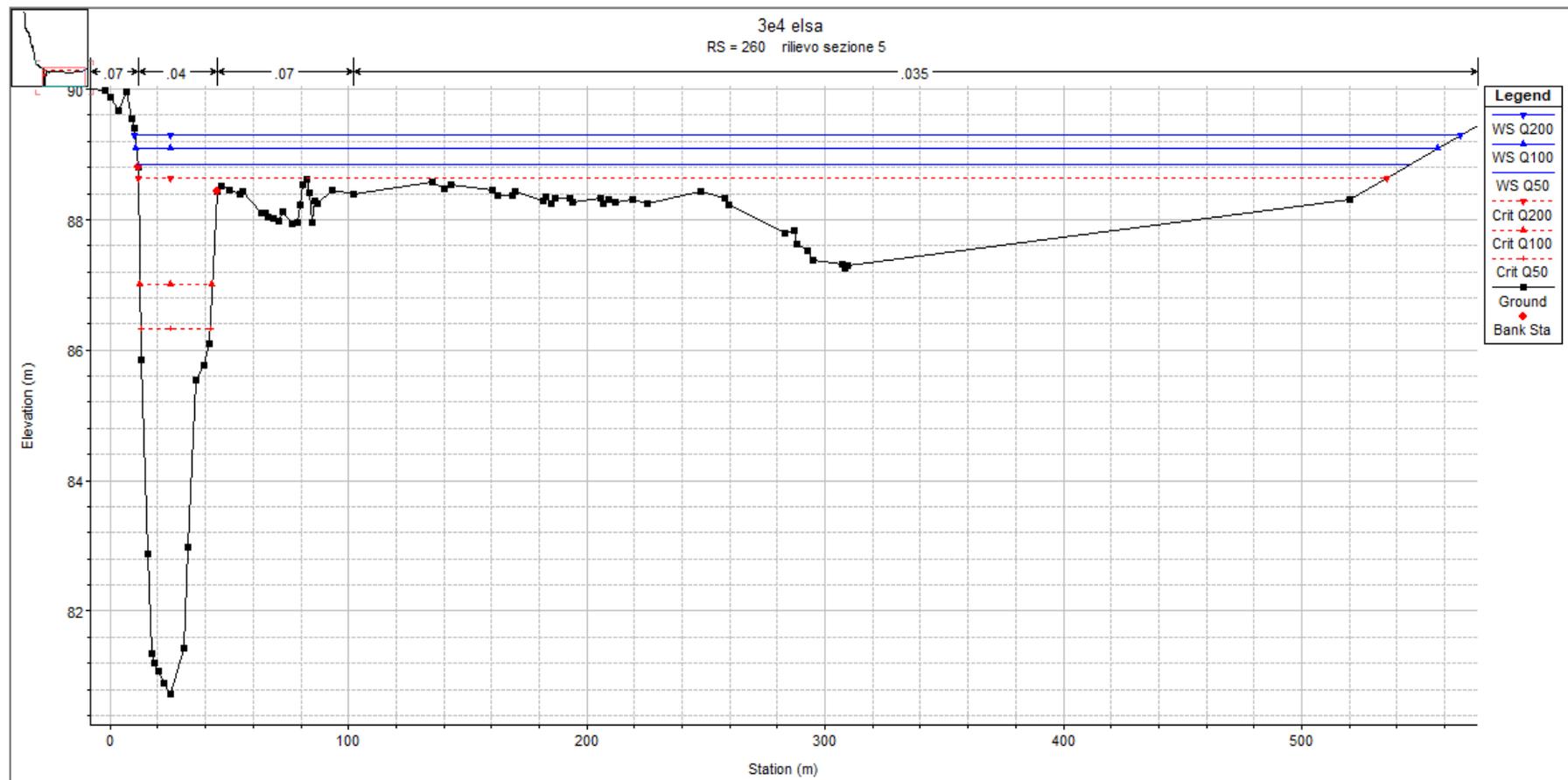


Figura 52: **RS=260** - Sezione trasversale a valle dell'attraversamento n. 3 del nuovo metanodotto.

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 FIUME ELSA				
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003	Foglio 67 di 104	Rev.:		REL-CI-09103
		0A		

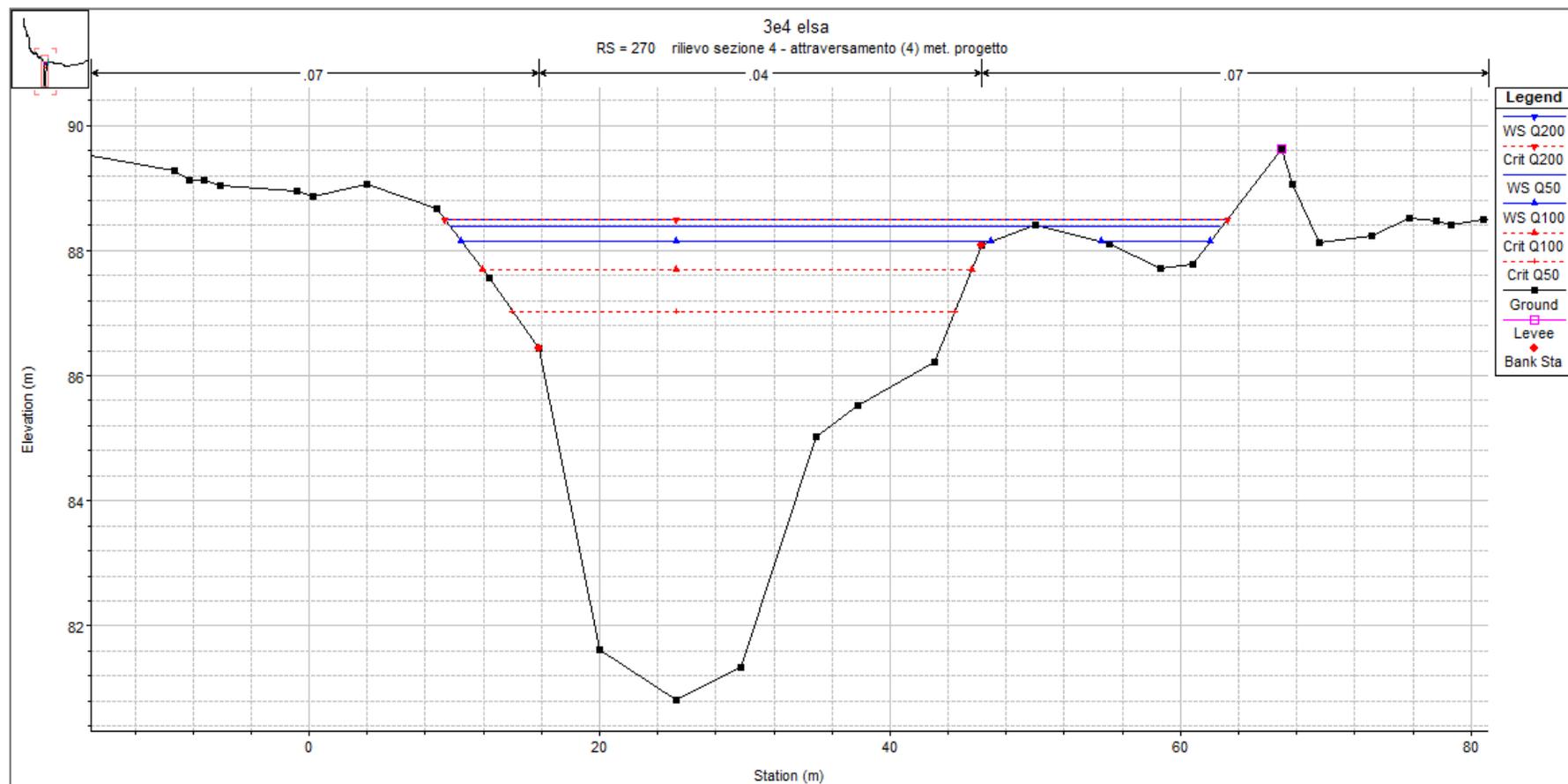


Figura 53: **RS=270** - Sezione trasversale in corrispondenza dell'attraversamento n. 3 del nuovo metanodotto.

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 FIUME ELSA				
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003	Foglio 69 di 104	Rev.: 0A		REL-CI-09103

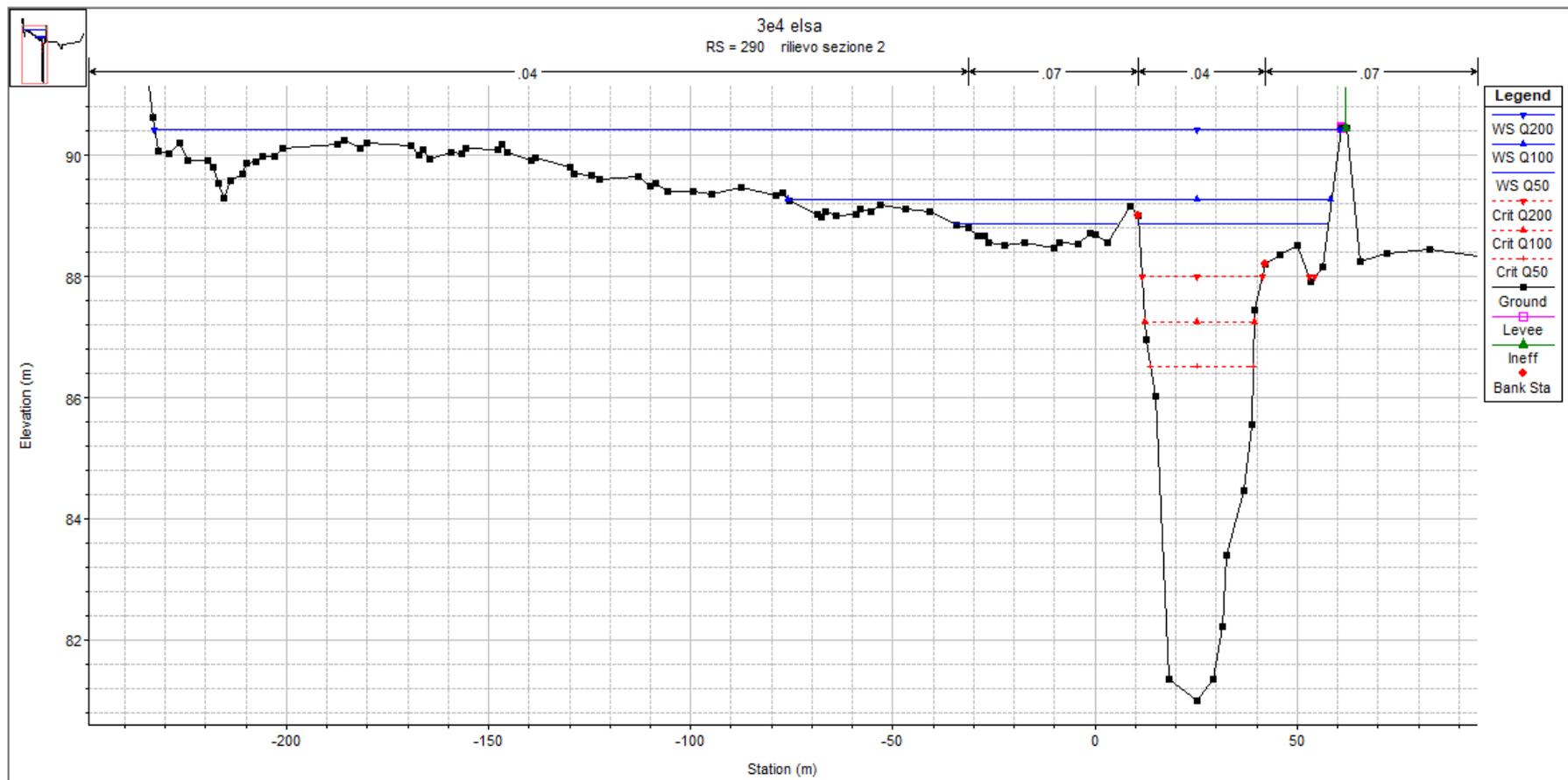


Figura 55: **RS=290** - Sezione trasversale a monte dell'attraversamento n. 3 del nuovo metanodotto.

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 FIUME ELSA				
N° Documento:	Foglio	Rev.:		REL-CI-09103
P22IT04321-PPL-RE-100-003	70 di 104	0A		

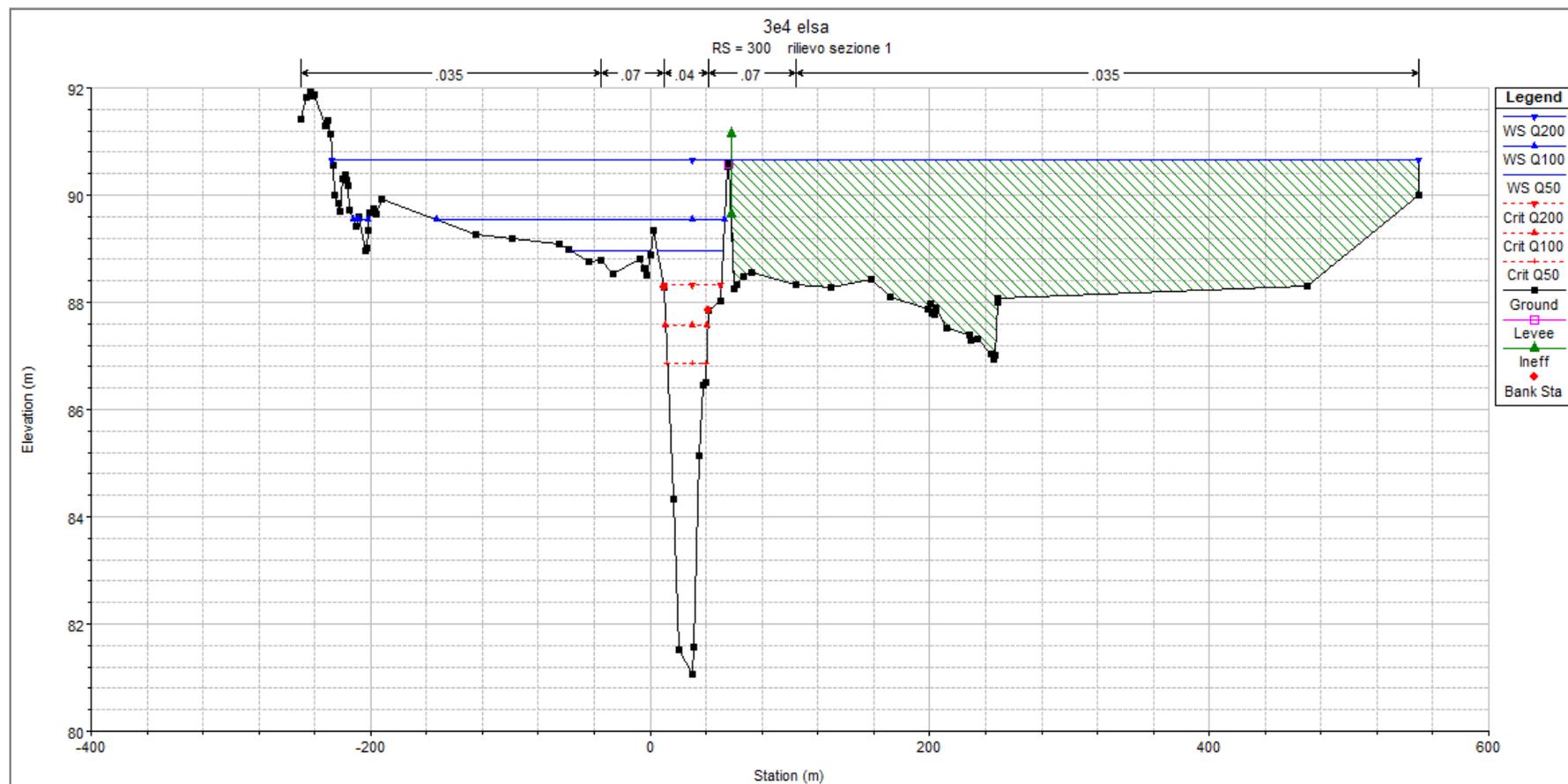


Figura 56: **RS=300** - Sezione trasversale a monte dell'attraversamento n. 3 del nuovo metanodotto.

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 FIUME ELSA				
N° Documento:	Foglio	Rev.:		REL-CI-09103
P22IT04321-PPL-RE-100-003	71 di 104	0A		

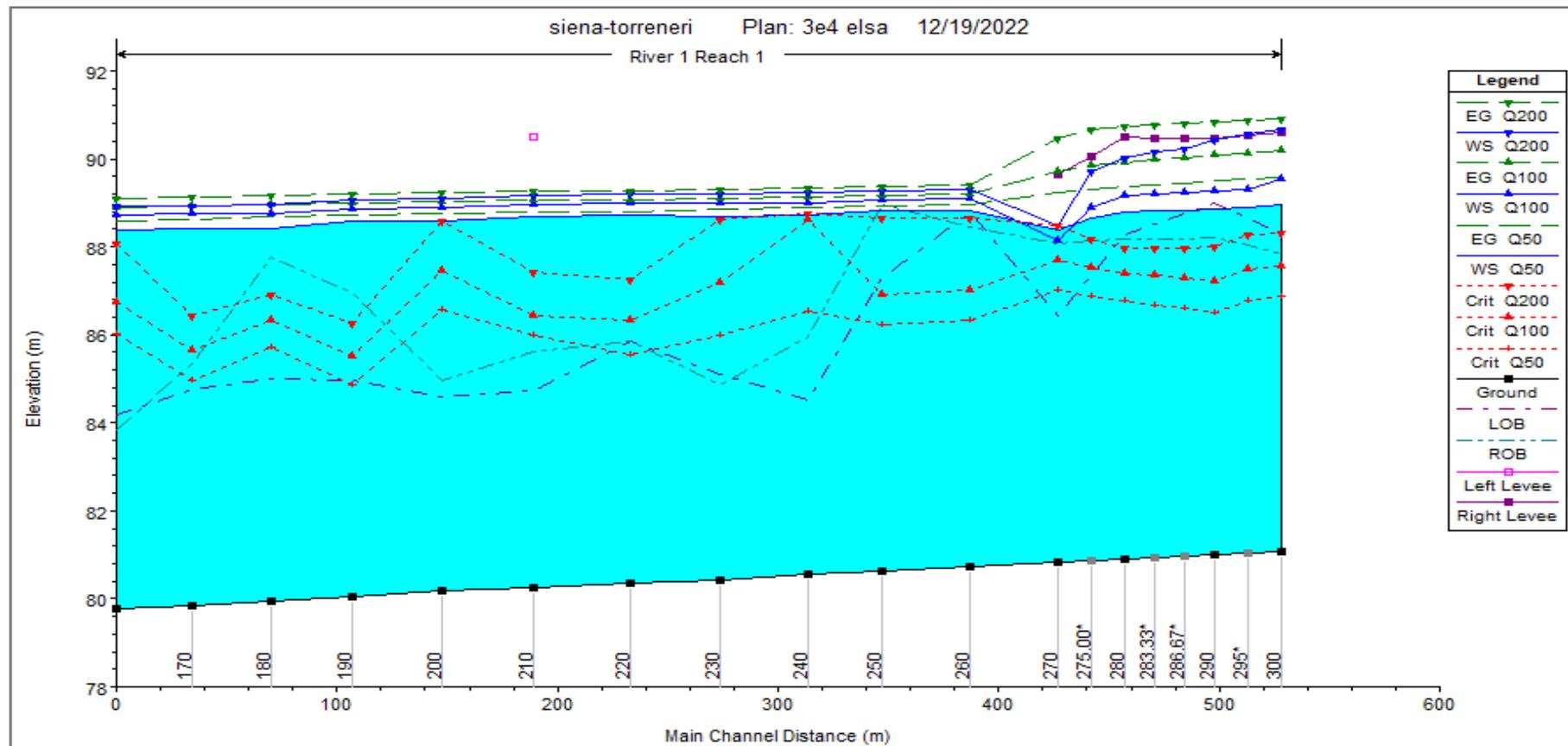


Figura 57: Profilo longitudinale dello stato di fatto del tratto modellato per il calcolo della profondità di erosione in corrispondenza dell'attraversamento n. 2 e 3 del fiume Elsa.

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTI FIUME ELSA

N° Documento:
P22IT04321-PPL-RE-100-003

Foglio
72 di 104

Rev.:
0A

REL-CI-09103

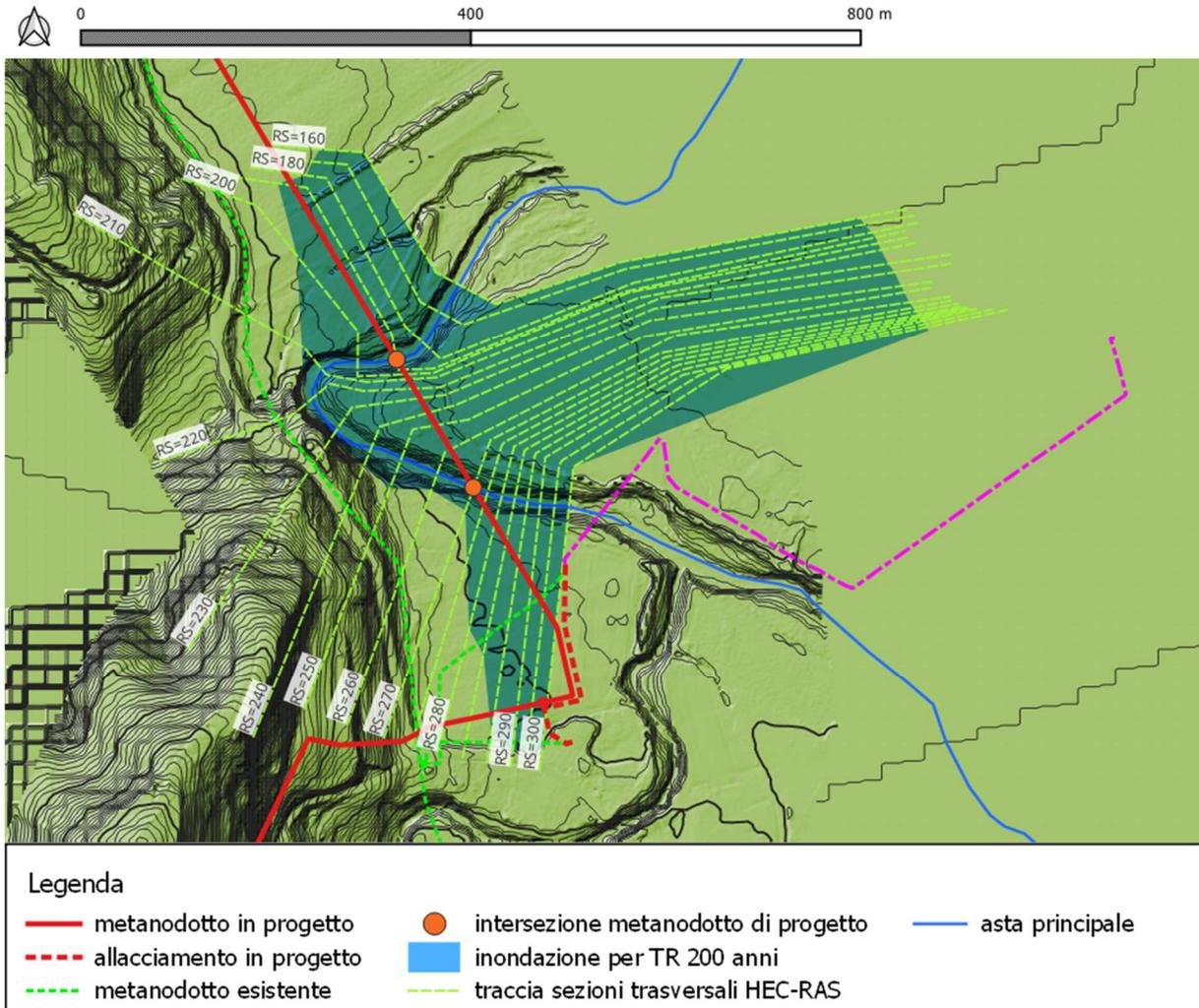


Figura 58: Area inondabile per TR 200 anni su DTM.

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTI FIUME ELSA

N° Documento:
P22IT04321-PPL-RE-100-003

Foglio
73 di 104

Rev.:
0A

REL-CI-09103

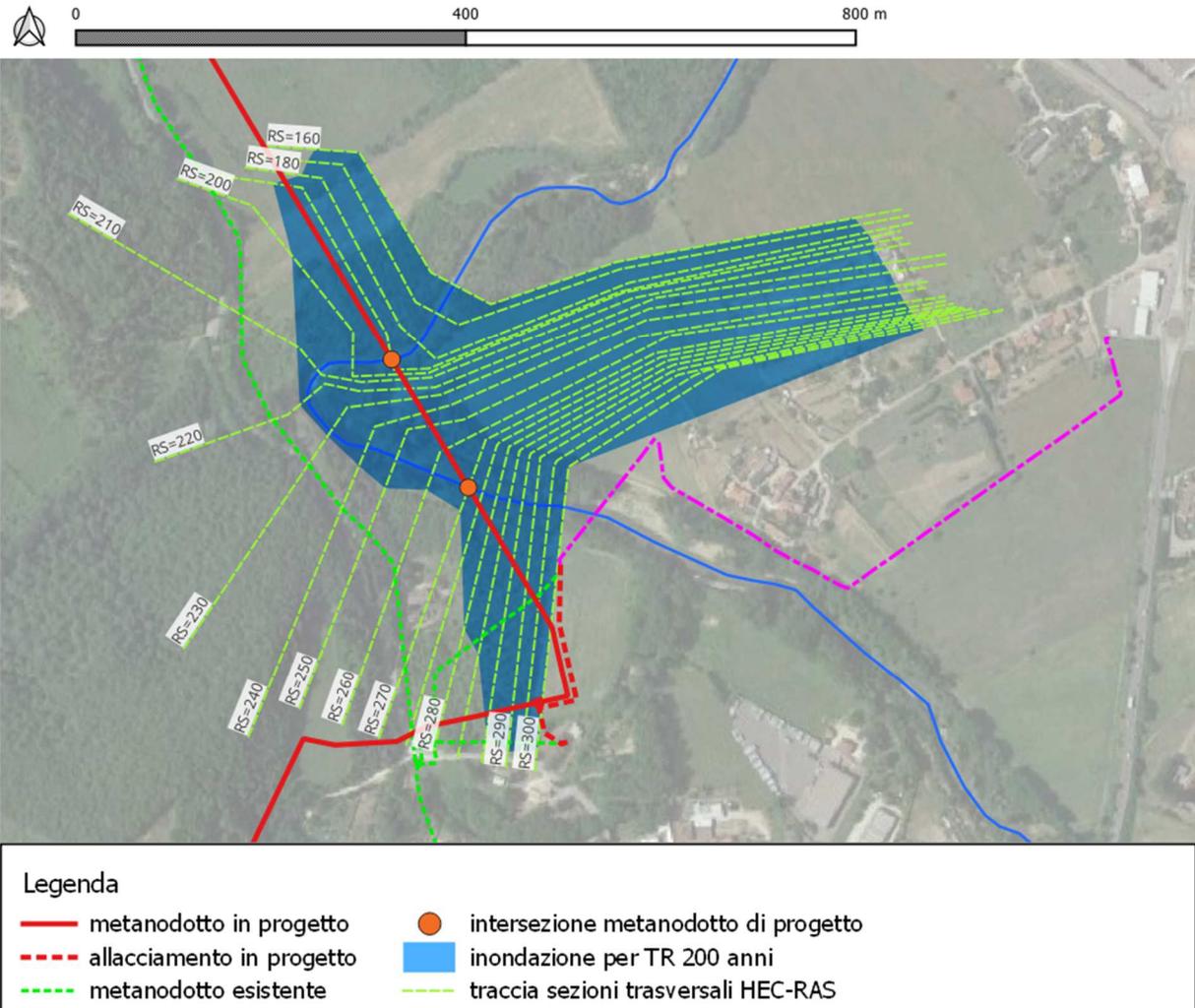


Figura 59: Area inondabile per TR 200 anni su ortofoto.

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 FIUME ELSA													
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003			Foglio 74 di 104		Rev.: 0A				REL-CI-09103				

Sezione	TR	Q (m³/s)	Quota di fondo (m s.l.m.)	Quota p.l. (m s.l.m.)	Quota idr. critica (m s.l.m.)	Carico totale (m s.l.m.)	Pend. tratto (m/m)	P. linea carichi (m/m)	Velocità (m/s)	Area bagnata (m²)	Larghezz a p.l. (m)	n. Froude	Raggio idr. (m)	Tension e tan. (N/m²)
300	Q50	592.5	81.06	88.95	86.87	89.59	0.0023	0.00266	3.56	187.54	104.07	0.5	1.73	119.52
300	Q100	754.9	81.06	89.55	87.57	90.19	0.0023	0.00255	3.74	283.95	216.76	0.5	1.28	127.28
300	Q200	926.9	81.06	90.67	88.32	90.91	0.0023	0.00101	2.65	584.44	777.44	0.32	2.01	60.53
290	Q50	592.5	80.99	88.86	86.5	89.49	0.0024	0.00280	3.56	183.58	87.47	0.5	1.96	120.99
290	Q100	754.9	80.99	89.27	87.23	90.08	0.0024	0.00332	4.06	229.51	134.38	0.55	1.63	154.23
290	Q200	926.9	80.99	90.43	88	90.85	0.0024	0.00166	3.25	480.76	293.33	0.4	1.6	92.99
280	Q50	592.5	80.89	88.8	86.78	89.36	0.0023	0.00258	3.34	188.71	74.34	0.48	2.37	107.99
280	Q100	754.9	80.89	89.18	87.4	89.93	0.0023	0.00316	3.89	219.44	86.08	0.54	2.4	142.64
280	Q200	926.9	80.89	90.03	87.98	90.73	0.0023	0.00255	3.86	318.78	153.69	0.5	2	133.95
270	Q50	592.5	80.82	88.38	87.02	89.24	0.0022	0.00415	4.13	152.3	52.49	0.61	2.67	167.18
270	Q100	754.9	80.82	88.14	87.7	89.71	0.0022	0.00809	5.57	140.91	43.93	0.85	2.92	309.03
270	Q200	926.9	80.82	88.5	88.5	90.48	0.0022	0.00927	6.28	158.76	53.92	0.92	2.72	382.98
260	Q50	592.5	80.73	88.84	86.33	88.95	0.0022	0.00077	1.91	564.37	533.73	0.26	1.04	34.64
260	Q100	754.9	80.73	89.09	87	89.2	0.0022	0.00075	1.95	702	546.44	0.26	1.27	35.35
260	Q200	926.9	80.73	89.29	88.64	89.41	0.0022	0.00078	2.03	812.71	556.45	0.27	1.44	38.14
250	Q50	592.5	80.64	88.81	86.24	88.92	0.0024	0.00077	1.82	562.91	555.92	0.27	1	32.26
250	Q100	754.9	80.64	89.07	86.91	89.17	0.0024	0.00075	1.83	709.41	579.13	0.27	1.21	32.13
250	Q200	926.9	80.64	89.27	88.64	89.37	0.0024	0.00077	1.91	826.73	593.88	0.27	1.38	34.36
240	Q50	592.5	80.56	88.72	86.55	88.89	0.0032	0.00088	2.36	506.1	556.28	0.3	0.9	49.1
240	Q100	754.9	80.56	89.01	88.62	89.14	0.0032	0.00074	2.24	676.56	596.35	0.28	1.13	43.29
240	Q200	926.9	80.56	89.22	88.76	89.34	0.0032	0.00071	2.24	804.9	606.68	0.27	1.32	43.1

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 FIUME ELSA										
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003			Foglio 75 di 104		Rev.: 0A			REL-CI-09103		

Sezione	TR	Q (m³/s)	Quota di fondo (m s.l.m.)	Quota p.l. (m s.l.m.)	Quota idr. critica (m s.l.m.)	Carico totale (m s.l.m.)	Pend. tratto (m/m)	P. linea carichi (m/m)	Velocità (m/s)	Area bagnata (m²)	Larghezz a p.l. (m)	n. Froude	Raggio idr. (m)	Tension e tan. (N/m²)
230	Q50	592.5	80.43	88.69	86.01	88.85	0.0015	0.00073	2.25	579.92	604.9	0.28	0.95	43.73
230	Q100	754.9	80.43	88.98	87.18	89.11	0.0015	0.00066	2.2	757.53	618.76	0.27	1.21	41.19
230	Q200	926.9	80.43	89.19	88.63	89.32	0.0015	0.00068	2.27	887.34	628.65	0.27	1.4	43.35
220	Q50	593.3	80.37	88.73	85.55	88.8	0.0023	0.00044	1.67	747.12	627	0.2	1.18	24.51
220	Q100	755.8	80.37	89	86.35	89.07	0.0023	0.00044	1.7	920.39	639.89	0.2	1.42	25.2
220	Q200	927.9	80.37	89.2	87.25	89.28	0.0023	0.00047	1.79	1050.68	649.41	0.21	1.6	27.69
210	Q50	593.3	80.27	88.7	86	88.78	0.0024	0.00046	1.7	707.38	603.32	0.22	1.16	25.49
210	Q100	755.8	80.27	88.97	86.45	89.05	0.0024	0.00045	1.74	874.3	616.24	0.22	1.4	26.26
210	Q200	927.9	80.27	89.17	87.41	89.26	0.0024	0.00049	1.84	997.99	625.64	0.22	1.57	29.1
200	Q50	593.3	80.17	88.57	86.56	88.75	0.003	0.00085	2.4	565.02	614.06	0.3	0.97	49.77
200	Q100	755.8	80.17	88.89	87.45	89.02	0.003	0.00074	2.3	750.2	690.12	0.28	1.25	45.12
200	Q200	927.9	80.17	89.09	88.6	89.23	0.003	0.00076	2.38	873.9	706.43	0.29	1.43	47.83
190	Q50	593.3	80.05	88.57	84.87	88.71	0.0024	0.00053	1.92	572.57	651.23	0.24	1.02	31.74
190	Q100	755.8	80.05	88.87	85.52	88.99	0.0024	0.00052	1.97	738.91	714.1	0.24	1.29	32.97
190	Q200	927.9	80.05	89.06	86.27	89.2	0.0024	0.00058	2.11	851.52	740.3	0.25	1.45	37.4
180	Q50	593.3	79.96	88.42	85.71	88.67	0.0028	0.00107	2.51	422.27	615.09	0.32	0.82	56.39
180	Q100	755.8	79.96	88.77	86.34	88.96	0.0028	0.00093	2.42	603.19	683.31	0.3	1.11	51.79
180	Q200	927.9	79.96	88.97	86.92	89.16	0.0028	0.00098	2.54	713.06	705.71	0.31	1.28	56.29
170	Q50	593.3	79.86	88.41	84.95	88.63	0.0029	0.00075	2.35	468.11	592.33	0.28	0.97	46.79
170	Q100	755.8	79.86	88.74	85.66	88.93	0.0029	0.00073	2.37	628.42	649.78	0.28	1.24	47.16
170	Q200	927.9	79.86	88.93	86.42	89.13	0.0029	0.00081	2.55	724.59	669.57	0.29	1.4	53.86

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 FIUME ELSA									
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003			Foglio 76 di 104		Rev.:			REL-CI-09103	
					0A				

Sezione	TR	Q (m ³ /s)	Quota di fondo (m s.l.m.)	Quota p.l. (m s.l.m.)	Quota idr. critica (m s.l.m.)	Carico totale (m s.l.m.)	Pend. tratto (m/m)	P. linea carichi (m/m)	Velocità (m/s)	Area bagnata (m ²)	Larghezz a p.l. (m)	n. Froude	Raggio idr. (m)	Tension e tan. (N/m ²)
160	Q50	593.3	79.76	88.39	86.04	88.6		0.00090	2.57	530.77	565.75	0.3	1.16	56.15
160	Q100	755.8	79.76	88.71	86.73	88.9		0.00090	2.65	682.11	622.7	0.3	1.36	58.57
160	Q200	927.9	79.76	88.92	88.06	89.09		0.0009	2.69	851.54	640.29	0.31	1.46	60.07

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 fiume Elsa 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 FIUME ELSA					
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003		Foglio 77 di 104		Rev.: 0A	
				REL-CI-09103	

Modellazione attraversamento n. 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 FIUME ELSA				
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003	Foglio 78 di 104	Rev.:		REL-CI-09103
		0A		

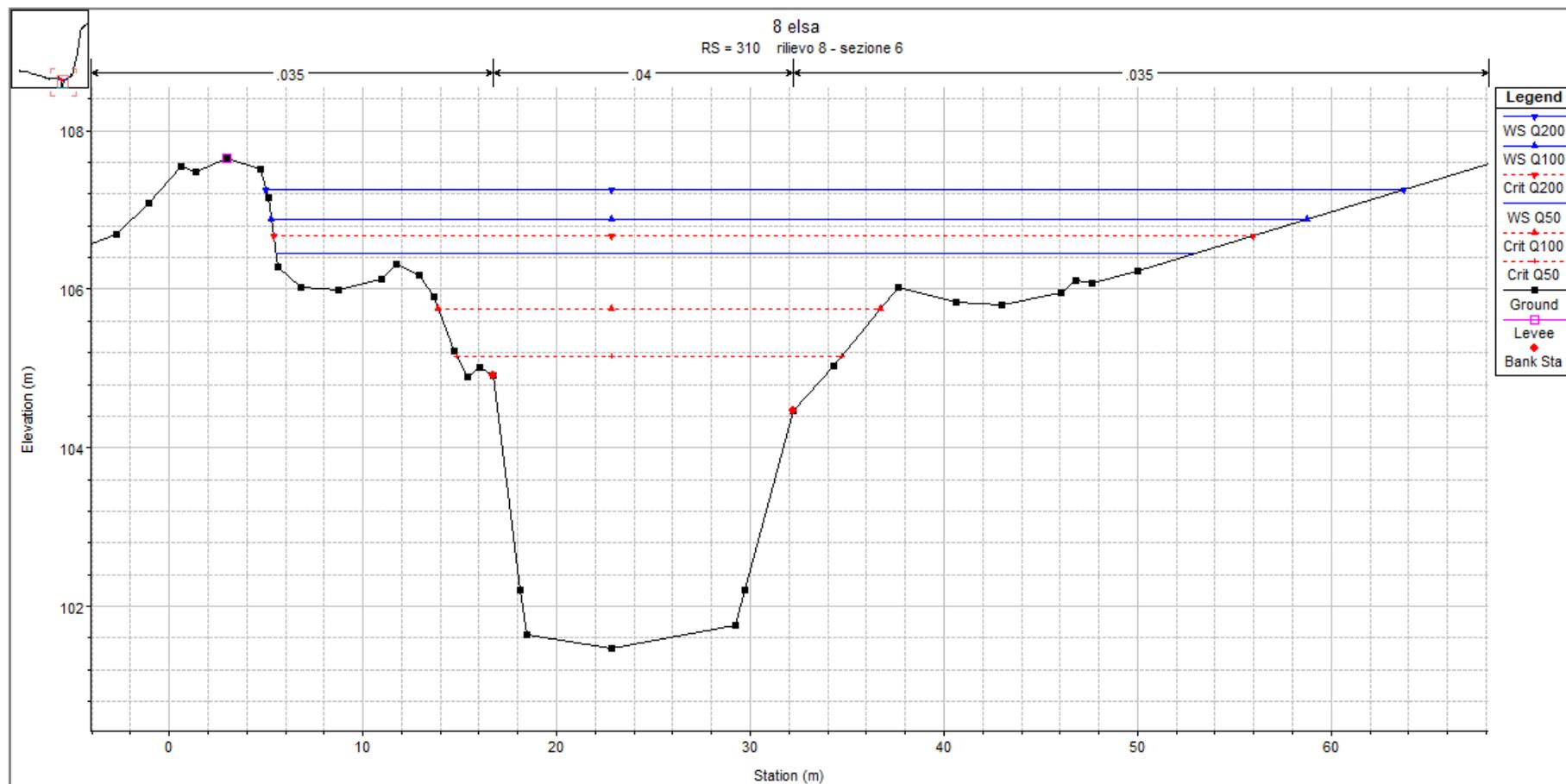


Figura 50: **RS=310** - Sezione trasversale a valle dell'attraversamento n. 4 del nuovo metanodotto.

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 FIUME ELSA				
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003	Foglio 79 di 104	Rev.:		REL-CI-09103
		0A		

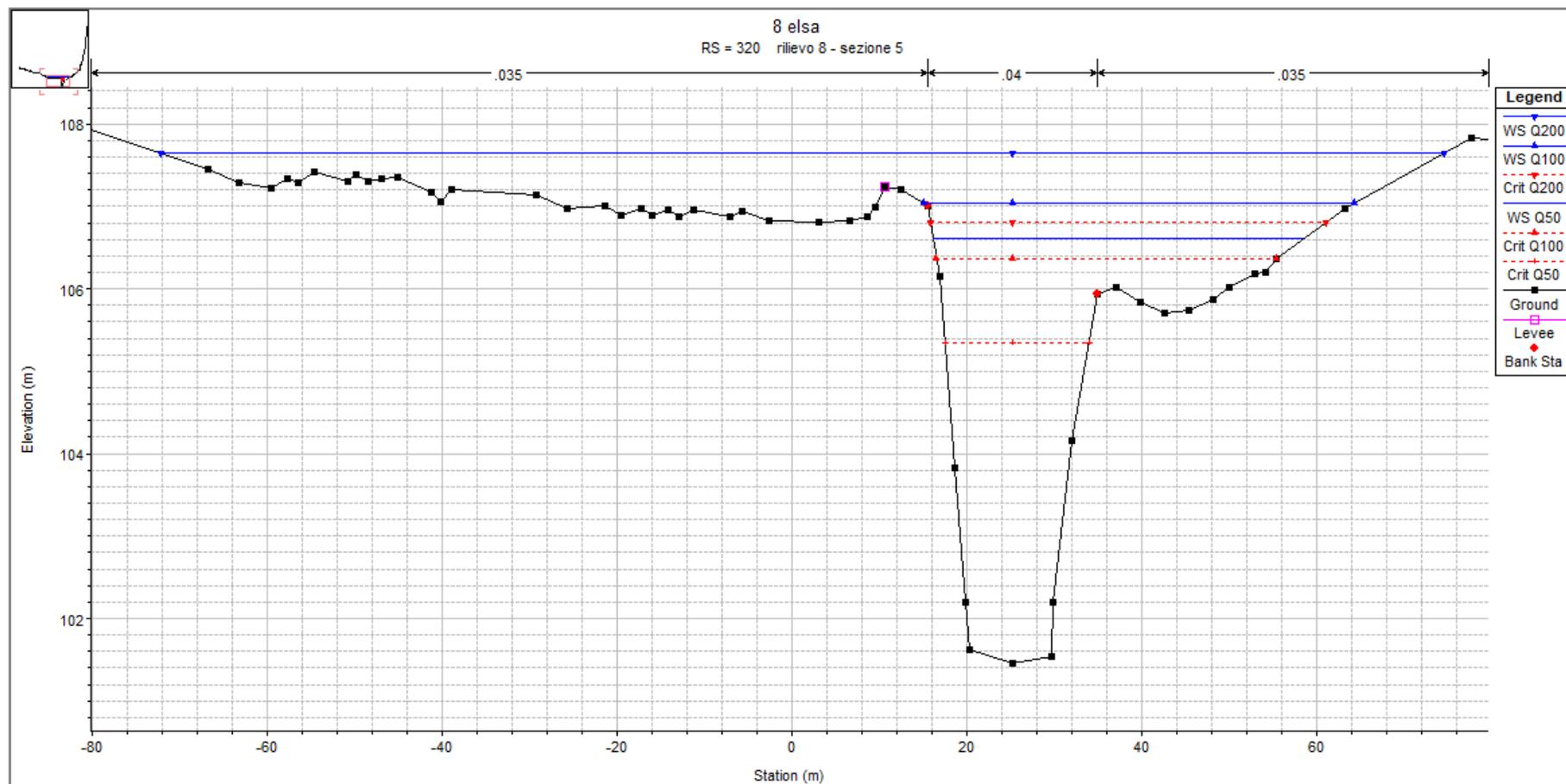


Figura 61: **RS=320** - Sezione trasversale a valle dell'attraversamento n. 4 del nuovo metanodotto.

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 FIUME ELSA				
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003	Foglio 80 di 104	Rev.:		REL-CI-09103
		0A		

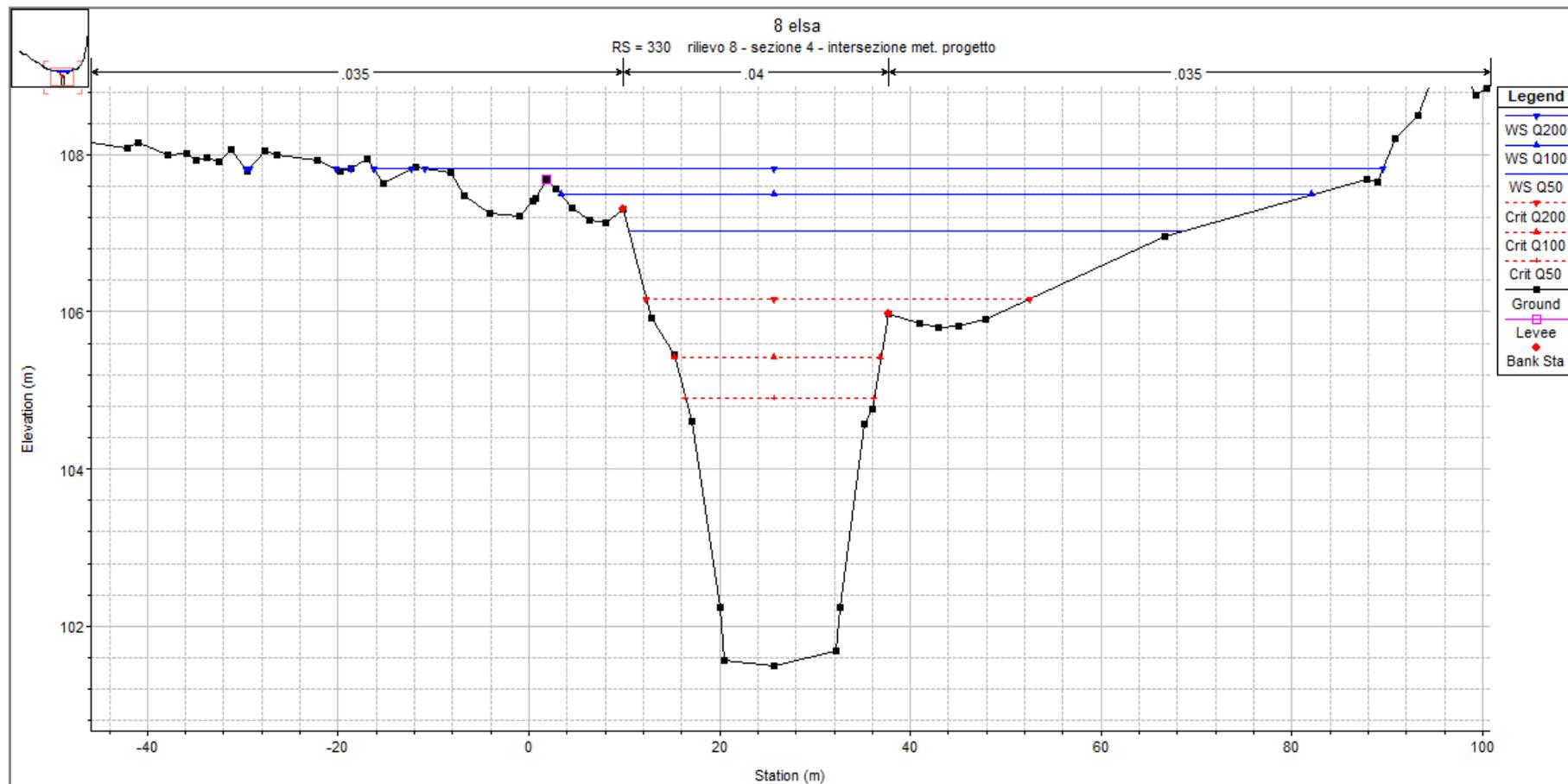


Figura 62: **RS=330** - Sezione trasversale in corrispondenza dell'attraversamento n. 4 del nuovo metanodotto.

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 FIUME ELSA				
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003	Foglio 81 di 104	Rev.:		REL-CI-09103
		0A		

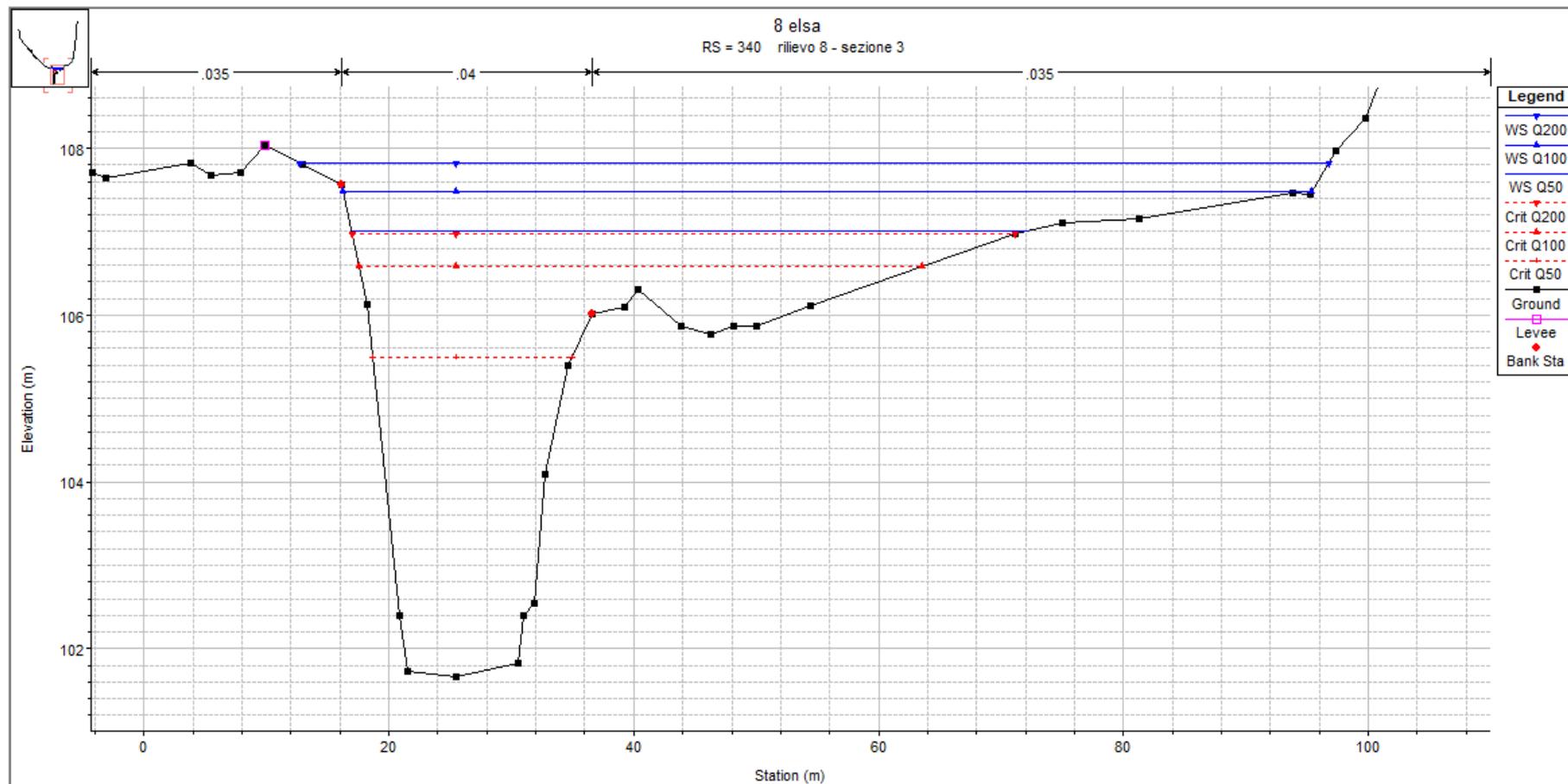


Figura 63: **RS=340** - Sezione trasversale a monte dell'attraversamento n. 4 del nuovo metanodotto.

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 FIUME ELSA				
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003	Foglio 82 di 104	Rev.:		REL-CI-09103
		0A		

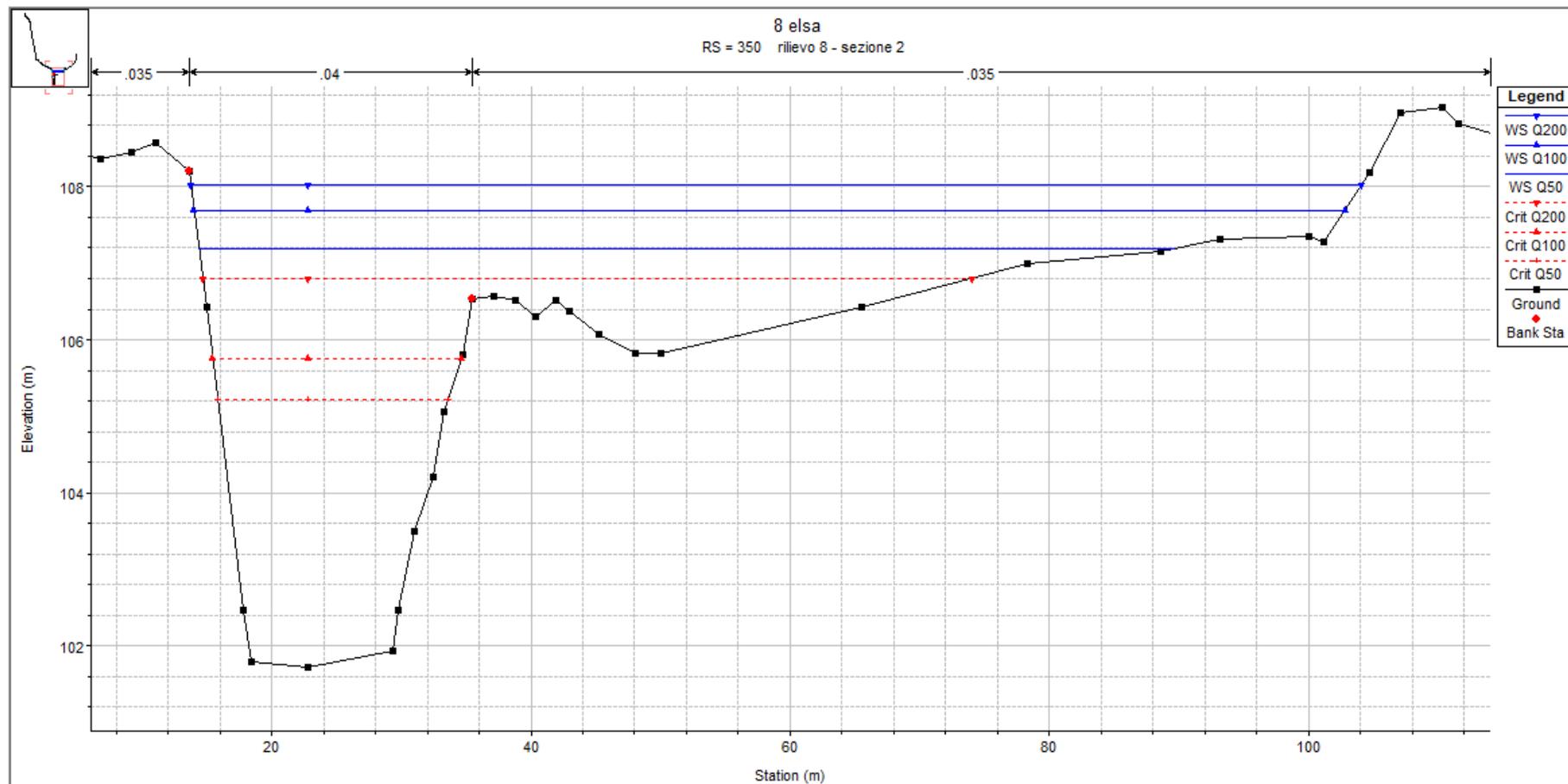


Figura 64: **RS=350** - Sezione trasversale a monte dell'attraversamento n. 4 del nuovo metanodotto.

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 FIUME ELSA				
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003	Foglio 83 di 104	Rev.:		REL-CI-09103
		0A		

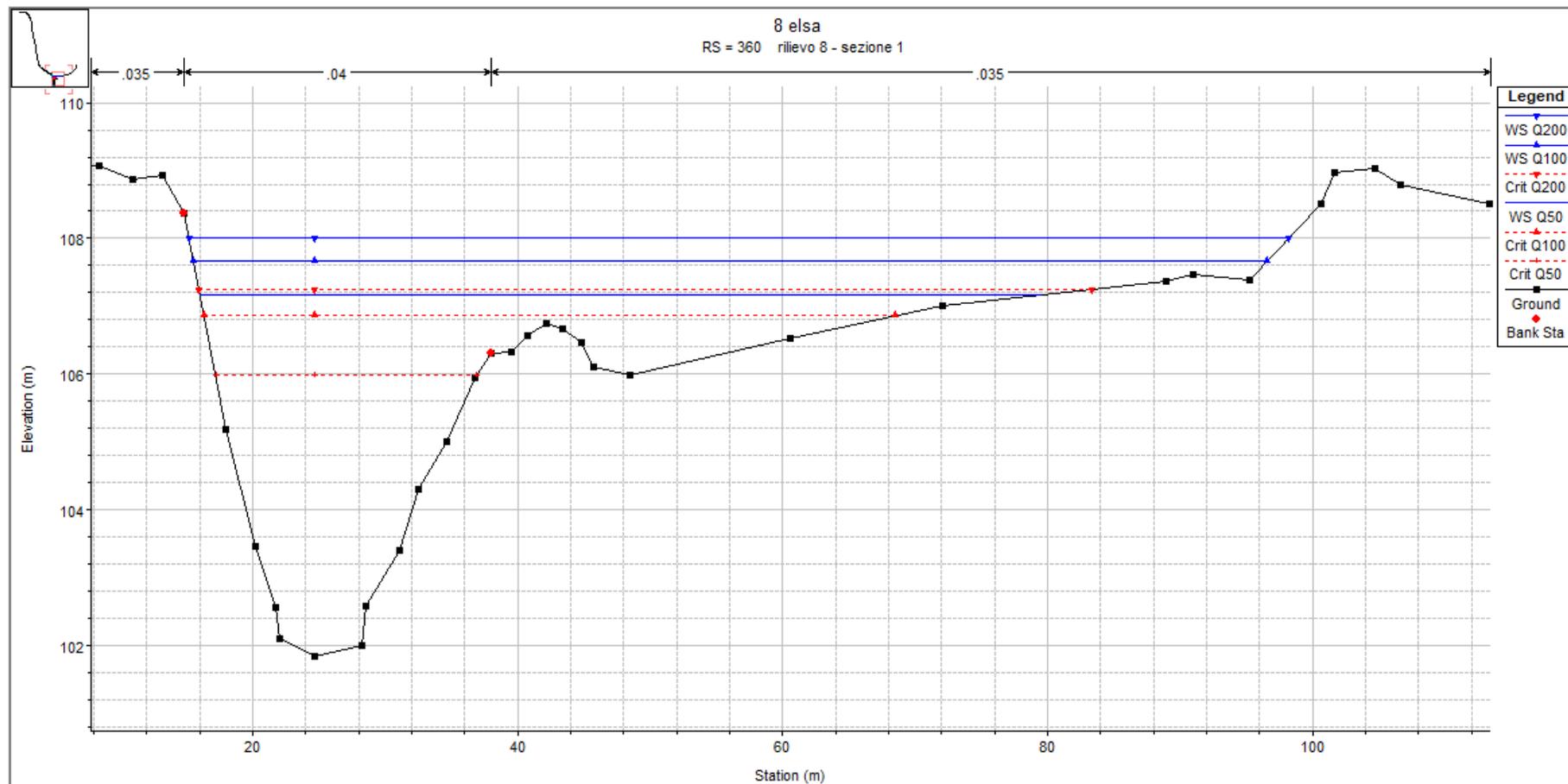


Figura 65: **RS=360** - Sezione trasversale a monte dell'attraversamento n. 4 del nuovo metanodotto.

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 FIUME ELSA				
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003		Foglio 84 di 104		Rev.: 0A
				REL-CI-09103

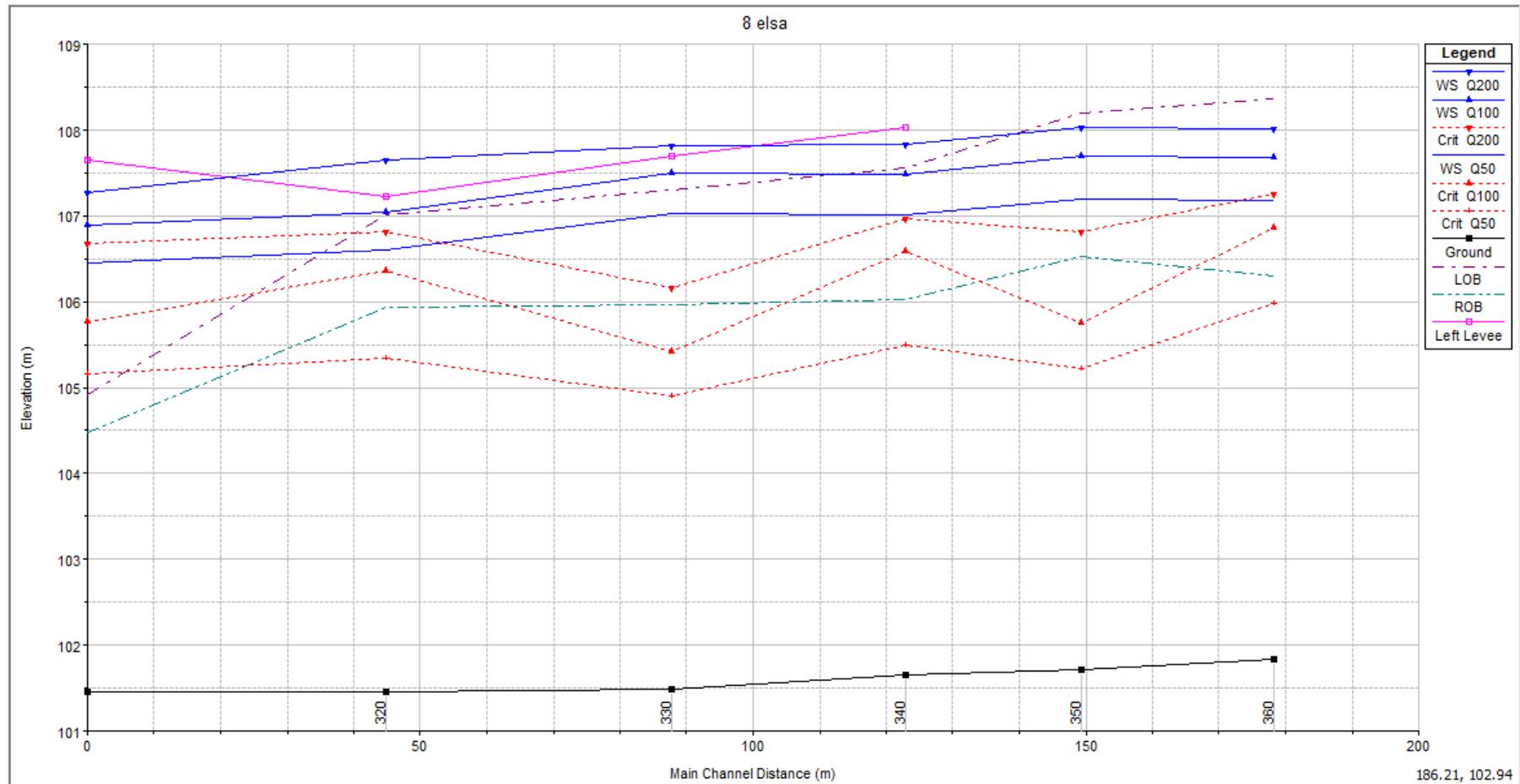


Figura 66: Profilo longitudinale del tratto modellato per il calcolo della profondità di erosione in corrispondenza dell'attraversamento n. 4 del fiume Elsa.

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTI FIUME ELSA

N° Documento:
P22IT04321-PPL-RE-100-003

Foglio
85 di 104

Rev.:
0A

REL-CI-09103

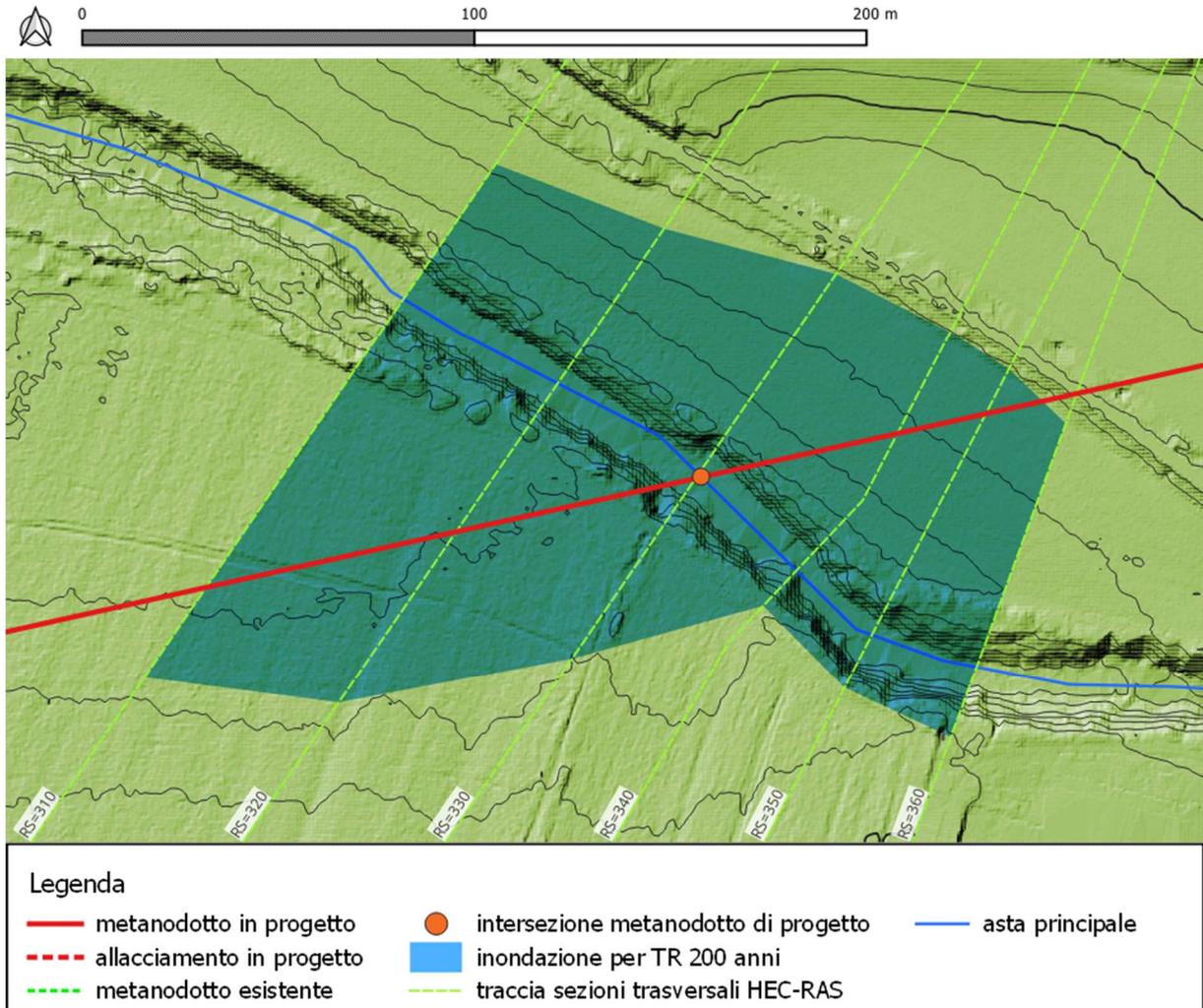


Figura 67: Area inondabile per TR 200 anni su DTM.

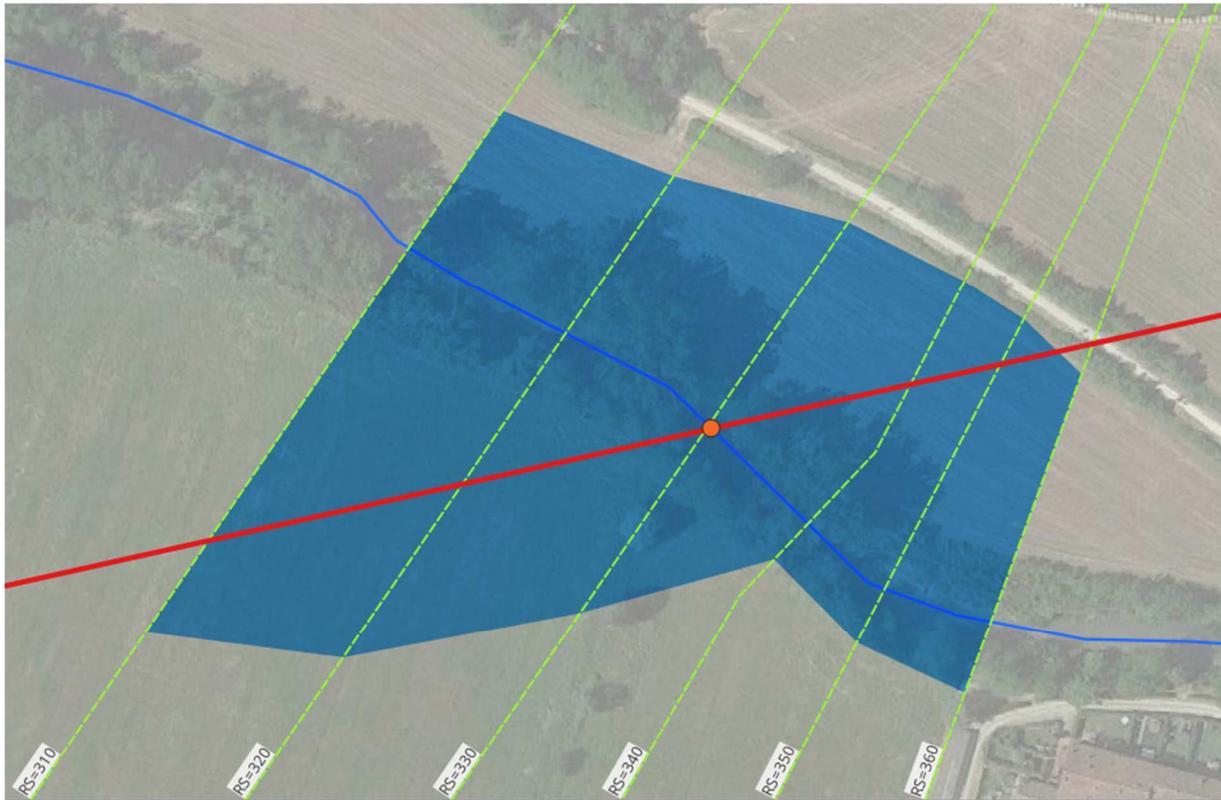
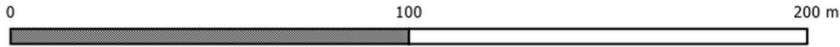
RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTI FIUME ELSA

N° Documento:
P22IT04321-PPL-RE-100-003

Foglio
86 di 104

Rev.:
0A

REL-CI-09103



Legenda

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

Figura 68: Area inondabile per TR 200 anni su ortofoto.

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 FIUME ELSA										
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003			Foglio 87 di 104		Rev.: 0A			REL-CI-09103		

Sezione	TR	Q (m³/s)	Quota di fondo (m s.l.m.)	Quota p.l. (m s.l.m.)	Quota idr. critica (m s.l.m.)	Carico totale (m s.l.m.)	Pend. tratto (m/m)	P. linea carichi (m/m)	Velocità (m/s)	Area bagnata (m²)	Larghezz a p.l. (m)	n. Froude	Raggio idr. (m)	Tension e tan. (N/m²)
360	Q50	251.3	101.83	107.17	105.98	107.58	0.0038	0.00320	2.96	100.13	63.59	0.51	1.5	94.95
360	Q100	320.2	101.83	107.67	106.86	108.03	0.0038	0.00266	2.9	137.76	81.11	0.47	1.63	88.17
360	Q200	391.9	101.83	108.01	107.25	108.36	0.0038	0.00252	2.95	165.21	83.03	0.46	1.91	89.34
350	Q50	251.3	101.72	107.2	105.22	107.47	0.0023	0.00184	2.45	125.47	75.31	0.38	1.57	62.32
350	Q100	320.2	101.72	107.7	105.75	107.94	0.0023	0.00160	2.43	167.95	88.8	0.36	1.8	59.4
350	Q200	391.9	101.72	108.03	106.81	108.27	0.0023	0.00159	2.51	197.46	90.35	0.36	2.07	62.25
340	Q50	251.3	101.66	107.01	105.49	107.39	0.0048	0.00294	2.91	101.19	55.25	0.48	1.7	90.75
340	Q100	320.2	101.66	107.47	106.58	107.87	0.0048	0.00285	3.03	132.59	79.1	0.48	1.59	95.76
340	Q200	391.9	101.66	107.83	106.97	108.21	0.0048	0.00263	3.07	161.12	84.11	0.46	1.82	95.49
330	Q50	251.3	101.49	107.03	104.9	107.27	0.0007	0.00163	2.25	124.92	58.32	0.37	2.03	53.41
330	Q100	320.2	101.49	107.49	105.42	107.75	0.0007	0.00164	2.41	156.44	78.74	0.38	1.9	59.05
330	Q200	391.9	101.49	107.82	106.17	108.1	0.0007	0.00167	2.56	189.2	106.65	0.39	1.72	64.95
320	Q50	251.3	101.46	106.61	105.35	107.14	0	0.00401	3.33	84.07	42.3	0.55	1.81	120.28
320	Q100	320.2	101.46	107.04	106.36	107.62	0	0.00410	3.56	103.58	49.15	0.57	1.94	133.24
320	Q200	391.9	101.46	107.65	106.81	108.01	0	0.00251	3.06	182.73	146.74	0.45	1.21	93.83
310	Q50	251.3	101.46	106.45	105.16	106.98		0.00320	3.36	87.58	47.38	0.51	1.71	115.21
310	Q100	320.2	101.46	106.88	105.76	107.45		0.00320	3.58	109.59	53.46	0.52	1.9	126.64
310	Q200	391.9	101.46	107.26	106.68	107.86		0.00320	3.77	130.8	58.79	0.53	2.07	136.53

Tabella 15: Grandezze caratteristiche dei deflussi nel tratto modellato per il calcolo della profondità di erosione in corrispondenza dell'attraversamento n. 4 del fiume Elsa nello stato di progetto (evidenziate 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 FIUME ELSA					
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003	Foglio 88 di 104	Rev.:			REL-CI-09103
		0A			

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 duecentennale¹³ 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, gli effetti dovuti ai manufatti in alveo utilizzando le formule specifiche.

¹³ Ad esclusione dell'attraversamento n. 1 per il quale è stata considerata la massima portata transitabile all'interno delle arginature

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 FIUME ELSA					
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003		Foglio 89 di 104		Rev.: 0A	
					REL-CI-09103

Caso 3

Le barre alterne sono onde di sedimenti che si propagano molto lentamente sul fondo di corsi d'acqua dando luogo a sequenza di zone di scavo e di deposito; ipotizzando che l'evento di piena abbia una durata temporale abbastanza lunga da instaurare condizioni di moto assimilabili a quelle di moto permanente e uniforme, il criterio per l'esistenza di barre alterne, in moto permanente uniforme in un alveo rettilineo, è che:

$$\beta > \beta_c$$

dove il parametro β è definito come:

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

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

I valori di β_c si trovano rappresentati in un grafico sperimentale in funzione della scabrezza relativa D/Y (intesa come rapporto tra il diametro medio dei sedimenti D e la profondità media della corrente Y) e della tensione $\theta = \frac{i_f \cdot R_H}{D \cdot (s-1)}$ di Shields (riportato in Annesso 3), con i_f pendenza di fondo, R_H è il raggio idraulico, s parametro pari a 2,5.

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

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

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:

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 FIUME ELSA					
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003	Foglio 90 di 104	Rev.: 0A			REL-CI-09103

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

dove B_f è la larghezza del fondo alveo; Y il tirante idrico della sezione all'inizio della curva, r_c è il raggio di curvatura, d_0 è il coefficiente ottenuto dal grafico sperimentale riportato in Annesso 3 in funzione del numero di Shields θ e del rapporto D/Y , con D diametro rappresentativo del sedimento.

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

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

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 gli attraversamenti in esame si può sempre escludere la casistica di cui al punto 2 in quanto non sono presenti manufatti in alveo.

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 FIUME ELSA						
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003		Foglio 91 di 104		Rev.:		REL-CI-09103
				0A		

Caso 1

Utilizzando le grandezze caratteristiche del moto determinate al Paragrafo 3.3 e sintetizzate in Tabella 13, Tabella 14 e Tabella 15, per il tempo di ritorno di 200 anni per tutti gli attraversamenti ad esclusione del n. 1, dove le valutazioni sono state effettuate sulla base della massima portata transitante in alveo, 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	3,03	3,44	3,44
2	3,31	5,86	5,86
3	5,78	4,99	5,78
4	3,11	4,11	4,11

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

Tabella 16: Valori di profondità di erosione per gli attraversamenti del fiume Elsa per il caso di discontinuità di fondo.

Caso 3

Con riferimento alle grandezze caratteristiche calcolate in Tabella 13, Tabella 14 e Tabella 15, 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	18	5.29	10	0.01	12.1	NO
2	21	9.01	10	0.01	12.8	NO
3	10	7.68	10	0.03	11.7	NO
4	18	5.29	10	0.01	12.1	NO

Tabella 17: 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 1 e 2 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

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 FIUME ELSA						
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003		Foglio 92 di 104		Rev.:		REL-CI-09103
				0A		

seguinte Tabella 18 (in cui il significato dei vari simboli utilizzato è indicato in precedenza).

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)
1	18	300	3,35	10	9,1	0,94	0,53	0,74
2	21	100	1,15	10	11,8	7,25	1,01	4,13

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

Tabella 18: Profondità di scavo prevedibile per la presenza di curve.

Definizione della profondità di posa per gli attraversamenti n. 1, 2, 3 e 4

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 nella successiva Tabella 19, comprensivi di un coefficiente di sicurezza di 1,30. A tale valore di profondità andrà poi aggiunto il valore del ricoprimento minimo da assicurare sempre alla condotta per ragioni di sicurezza, stabilito in 1,50 m.

Numero attraversamento	1	2	3	4
Profondità massima di erosione* (m)	3,44	5,86	5,78	4,11
Profondità minima di posa** (m)	4,94	7,36	7,28	5,61
Profondità di posa di progetto *** (m)	11,90	10,60	14,00	7,45

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 19: Profondità massime di erosione per i vari attraversamenti del fiume Elsa.

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 FIUME ELSA					
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003		Foglio 93 di 104		Rev.: 0A	
					REL-CI-09103

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 fiume Elsa che, si ricorda, verranno tutti eseguiti con tecnologia no dig.

Alla luce dei calcoli eseguiti su può concludere che le profondità di posa di progetto risultano compatibili con la previsione dell'erosione fluviale con tempo di ritorno di fino a 200 anni.

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTI FIUME ELSA

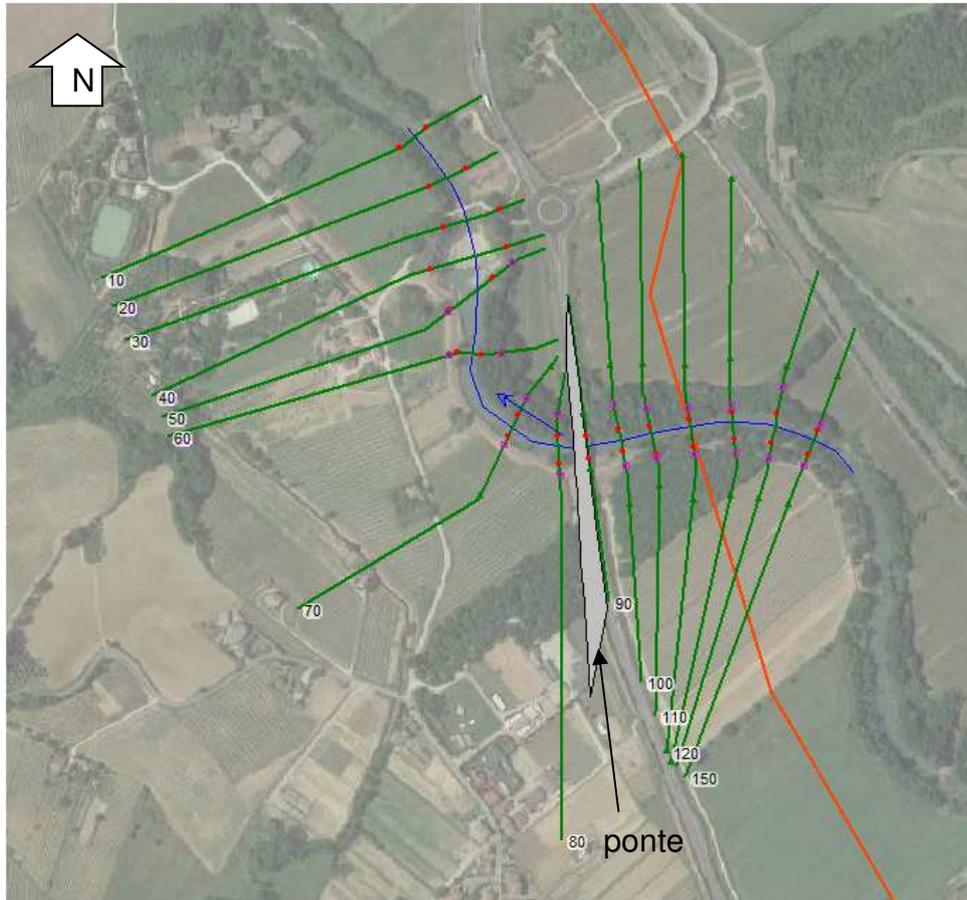
N° Documento:
P22IT04321-PPL-RE-100-003

Foglio
94 di 104

Rev.:
0A

REL-CI-09103

ANNESNO 1: STRALCIO PLANIMETRICO DEL TRATTO MODELLATO



Primo tratto modellato in HEC-RAS (attraversamento n. 1), con relativi codici numerici delle sezioni trasversali inserite. La campitura grigia rappresenta un ponte stradale esistente

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

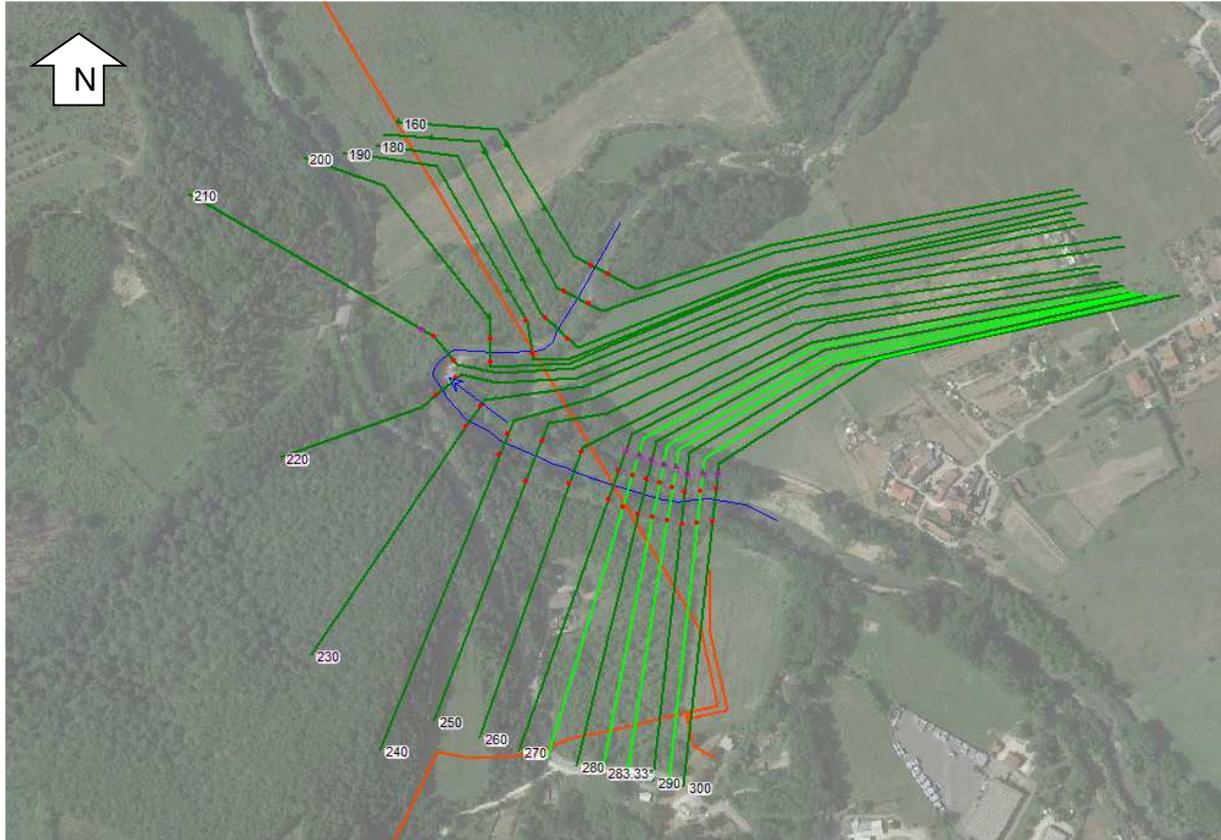
**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTI FIUME ELSA**

N° Documento:
P22IT04321-PPL-RE-100-003

Foglio
95 di 104

Rev.:
0A

REL-CI-09103



Secondo tratto modellato in HEC-RAS (attraversamenti n. 2 e 3), con relativi codici numerici delle sezioni trasversali inserite

Legenda

-  Metanodotto di progetto
-  Sezioni trasversali
-  Asta fluviale

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTI FIUME ELSA

N° Documento:
P22IT04321-PPL-RE-100-003

Foglio
96 di 104

Rev.:
0A

REL-CI-09103



Terzo tratto modellato in HEC-RAS (attraversamento n. 4), con relativi codici numerici delle sezioni trasversali inserite

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 FIUME ELSA					
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003		Foglio 97 di 104		Rev.: 0A	
					REL-CI-09103

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 FIUME ELSA					
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003	Foglio 98 di 104	Rev.:			REL-CI-09103
		0A			

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 FIUME ELSA**

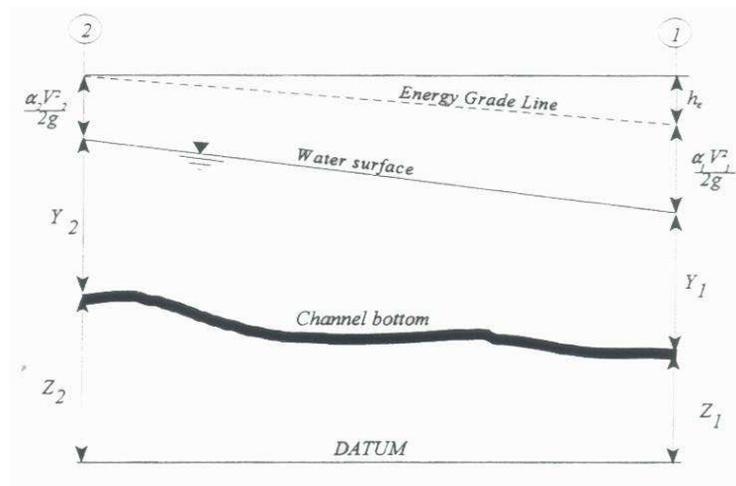
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003	Foglio 99 di 104	Rev.:								REL-CI-09103
--	---------------------	-------	--	--	--	--	--	--	--	--------------

- 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;

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTI FIUME ELSA

N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003	Foglio 100 di 104	Rev.: 0A	REL-CI-09103
--	----------------------	-------------	--------------

- 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 FIUME ELSA

N° Documento:
P22IT04321-PPL-RE-100-003

Foglio
101 di 104

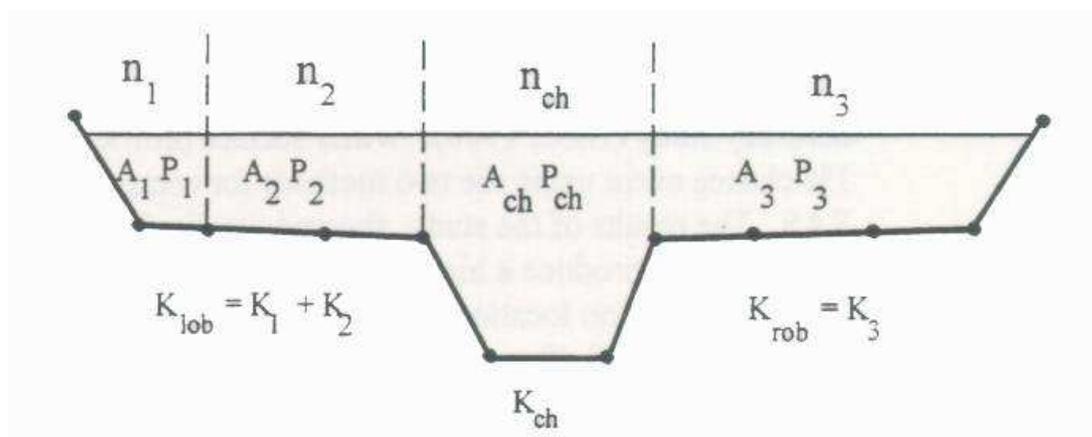
Rev.:
0A

REL-CI-09103

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 FIUME ELSA

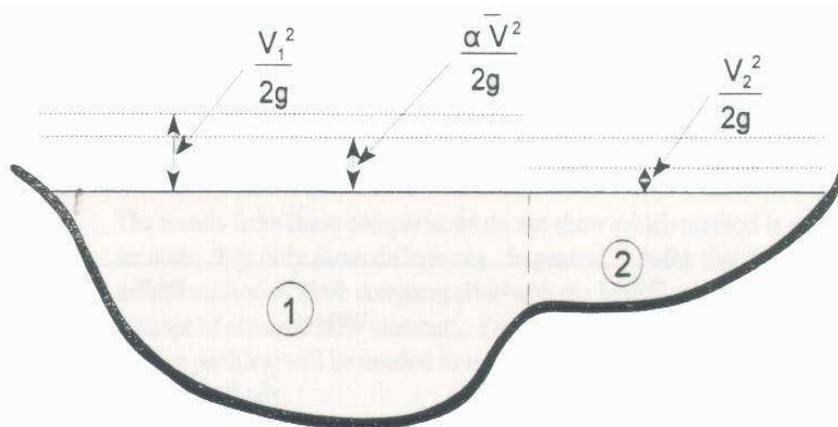
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003	Foglio 102 di 104	Rev.: 0A	REL-CI-09103
--	----------------------	-------------	--------------

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.



V_1 = mean velocity for subarea 1

V_2 = mean velocity for subarea 2

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 FIUME ELSA					
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003		Foglio 103 di 104		Rev.: 0A	
				REL-CI-09103	

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

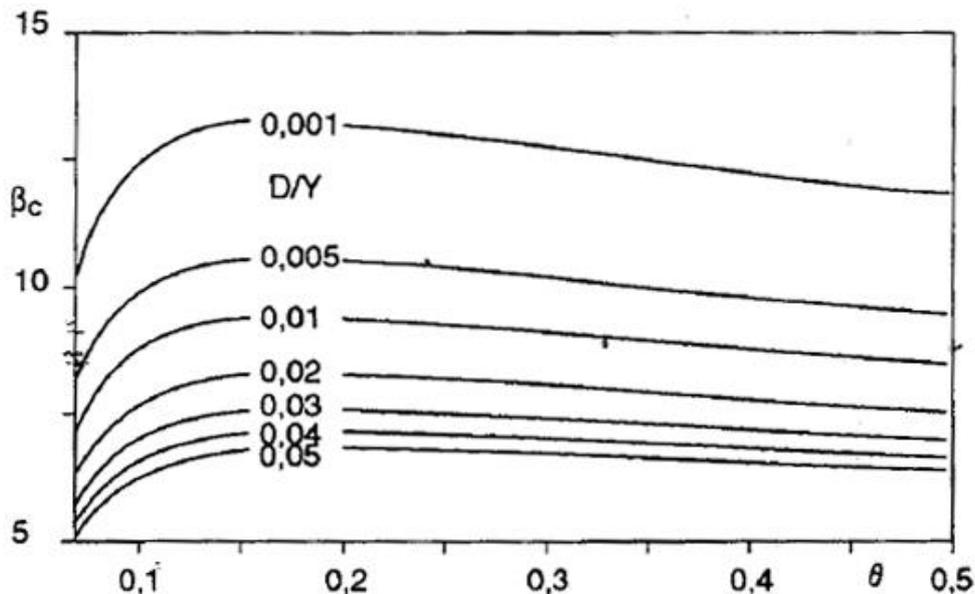
dove C rappresenta il già citato coefficiente di contrazione/espansione.

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
 ATTRAVERSAMENTI FIUME ELSA

N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-003	Foglio 104 di 104	Rev.: 0A	REL-CI-09103
--	----------------------	-------------	--------------

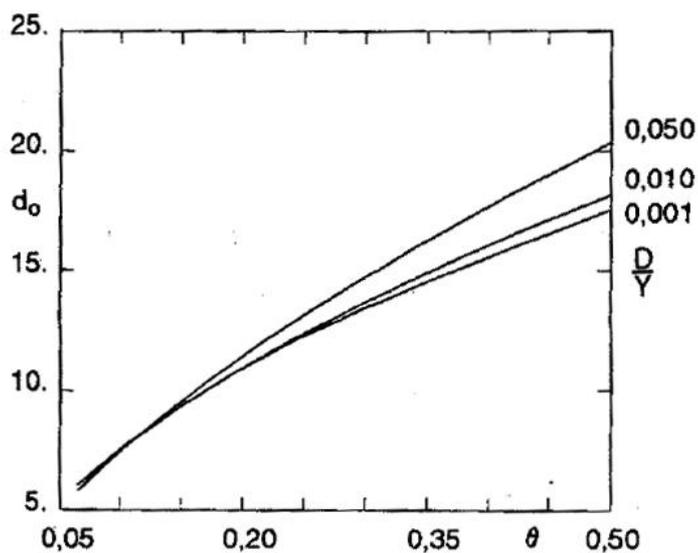
ANNESSE 3: TABELLE DI LETTERATURA

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