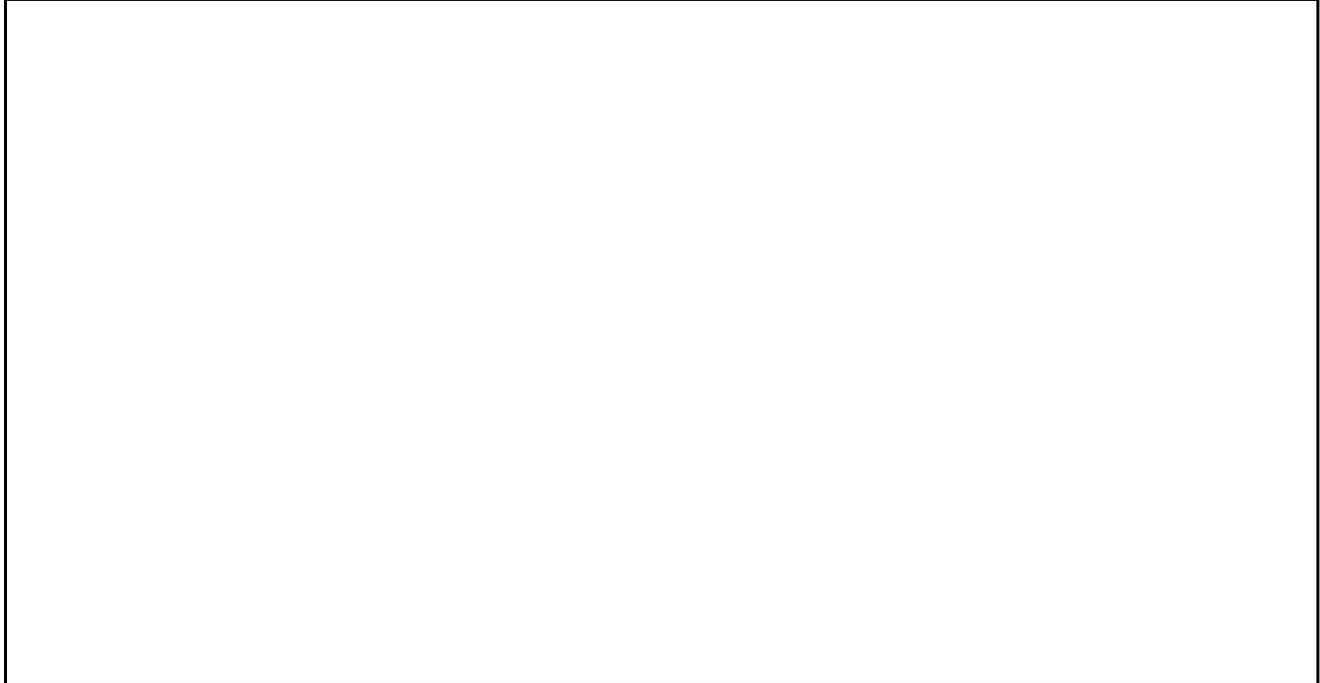


<b>Contraente:</b> 	<b>Progetto:</b> <b>RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE</b>		<b>Cliente:</b> 
	<b>N° Contratto :</b> <b>N° Commessa :</b>		

<b>N° documento:</b> P22IT04321-PPL-RE-100-002	<b>Foglio</b> 1 di 47	<b>Data</b> 31-05-2023	<b>N° documento Cliente:</b> REL-CI-09102
---	--------------------------	---------------------------	--



**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA  
ATTRAVERSAMENTO TORRENTE AGLIENA**



00	31-05-2023	EMISSIONE	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				
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE AGLIENA</b>				
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-002	Foglio 2 di 47	Rev.:		N° documento Cliente: REL-CI-09102
		00		

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA E CARATTERISTICHE GENERALI.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>CARATTERISTICHE DELL'OPERA IN PROGETTO.....</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>STUDIO IDROLOGICO-IDRAULICO .....</b>	<b>7</b>
3.1	Individuazione del bacino idrografico.....	7
3.2	Analisi idrologica e determinazione della portata al colmo di piena.....	9
3.3	Studio idraulico .....	17
<b>4</b>	<b>DETERMINAZIONE DELLA MASSIMA PROFONDITÀ DI EROSIONE .....</b>	<b>30</b>
<b>5</b>	<b>VERIFICA DI STABILITÀ DELLA SOGLIA NEI CONFRONTI DELL'AZIONE DELLA CORRENTE.....</b>	<b>35</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>38</b>
	<b>ANNESSO 1: STRALCIO PLANIMETRICO DEL TRATTO MODELLATO .....</b>	<b>39</b>
	<b>ANNESSO 2: GENERALITÀ SUL MODELLO HEC-RAS .....</b>	<b>40</b>
	Descrizione del modello di simulazione idraulica.....	40
	Calcolo del profilo di moto permanente.....	42
	<b>ANNESSO 3: TABELLE DI LETTERATURA .....</b>	<b>47</b>
	Grafico per il calcolo del parametro $\beta_c$ per l'erosione da barre alterne .....	47
	Grafico per il calcolo del coefficiente $d_0$ per l'erosione in curva .....	47

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA  
ATTRAVERSAMENTO TORRENTE AGLIENA**

N° Documento:  
P22IT04321-PPL-RE-100-002

Foglio  
3 di 47

Rev.:  
00

N° documento Cliente:  
REL-CI-09102

## 1 PREMESSA E CARATTERISTICHE GENERALI

La presente relazione è finalizzata alla determinazione delle caratteristiche idrologiche-idrauliche del torrente Agliena, 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 nel punto evidenziato nello stralcio planimetrico riportato in Figura 1 (Intervento n. 6a – km 2+056).

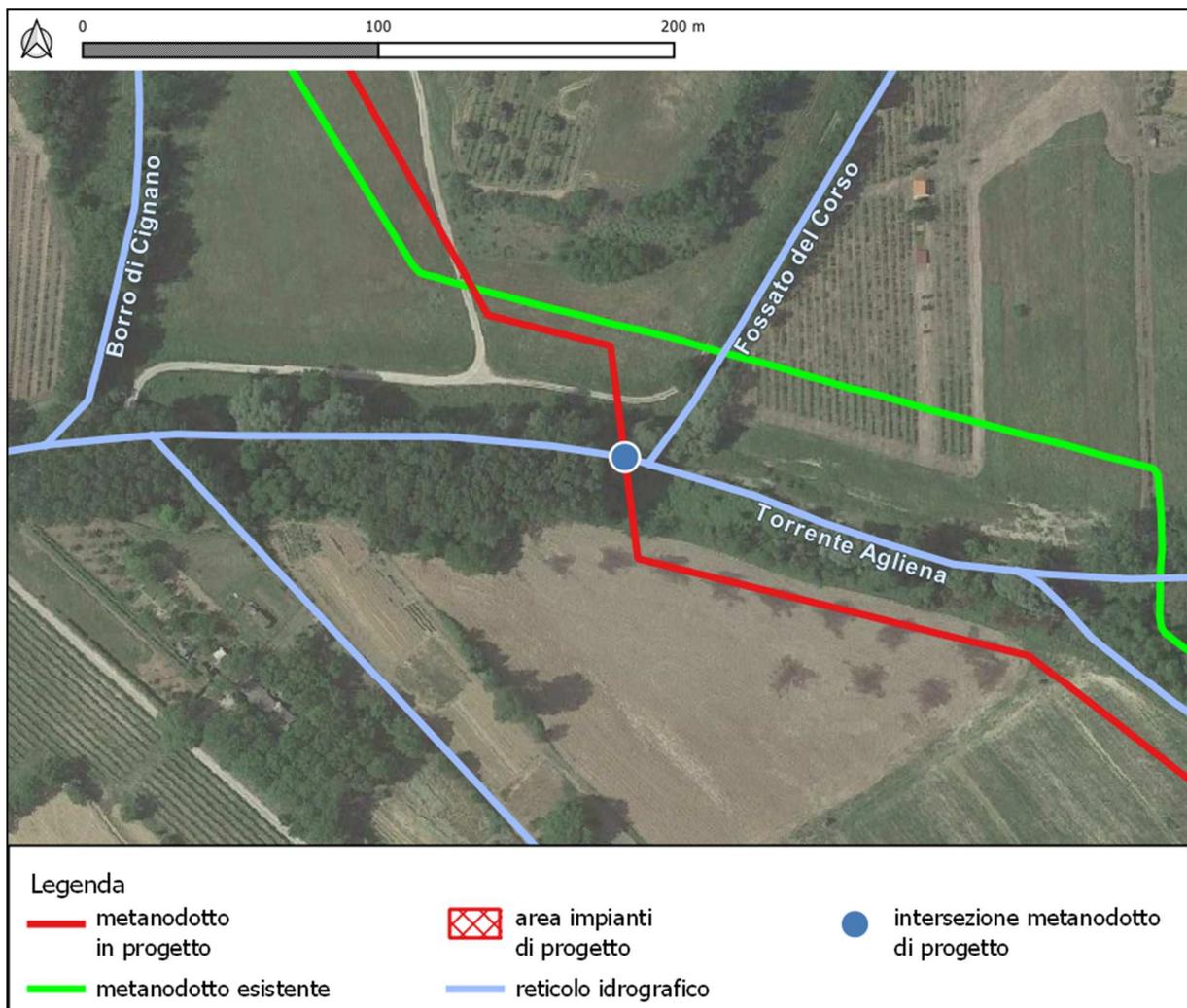


Figura 1: Vista planimetrica della zona dell'attraversamento, del tracciato del metanodotto di progetto ed esistente e del corso d'acqua.

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					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE AGLIENA</b>					
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-002		Foglio 4 di 47		Rev.: 00	
				N° documento Cliente: REL-CI-09102	



*Figura 2: Vista del corso d'acqua in corrispondenza dell'attraversamento 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.

A tal fine è stata eseguita una specifica modellazione idraulica di un tratto d'alveo significativo per una lunghezza complessiva di circa 100 m, lunghezza ritenuta significativa in considerazione delle dimensioni dell'alveo inciso che nella sezione di attraversamento ha una larghezza sommitale di circa 9 m e una profondità di circa 3,60 m. Per la modellazione 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).

<b>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</b>					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE AGLIENA</b>					
<b>N° Documento:</b> P22IT04321-PPL-RE-100-002		<b>Foglio</b> 5 di 47		<b>Rev.:</b> 00	
				<b>N° documento Cliente:</b> REL-CI-09102	

Si è provveduto in tal modo alla determinazione delle grandezze caratteristiche del deflusso in alveo riportate nella tabella riepilogativa n.9. I valori così calcolati sono stati poi utilizzati per le verifiche della profondità di posa della nuova condotta eseguite al Paragrafo 4.

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE			
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE AGLIENA</b>			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-002	Foglio 6 di 47	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09102

## 2 CARATTERISTICHE DELL'OPERA IN PROGETTO

La posa della nuova condotta verrà eseguita tramite scavo a cielo aperto ad una profondità che è stata definita sulla base delle verifiche riportate ai paragrafi successivi ed avente un minimo pari a 3,61 m in corrispondenza del punto più depresso del fondo alveo del tratto in attraversamento.

Nel tratto posto in subalveo la tubazione verrà posata e successivamente rinterrata con il terreno di risulta dagli scavi.

Il ripristino verrà eseguito tramite ricostruzione spondale con rivestimento in massi (riferimento tipologico STD-000-367): la sezione verrà ricostruita con le stesse dimensioni di quella presente ante operam con inserimento di un rivestimento delle sponde in massi (dalla geometria tale da rivestire completamente anche il fondo per via delle modeste dimensioni dell'alveo), per una lunghezza di 20 m, per proteggere le zone più esposte all'azione di dilavamento della corrente. Le caratteristiche dimensionali del pietrame da utilizzare sono state verificate nei confronti delle massime sollecitazioni prodotte dai deflussi in alveo come dettagliato al successivo paragrafo 6.

Per il dettaglio dell'intervento e le caratteristiche costruttive di dettaglio si rimanda all'elaborato grafico di progetto denominato DIS-AT-09103.

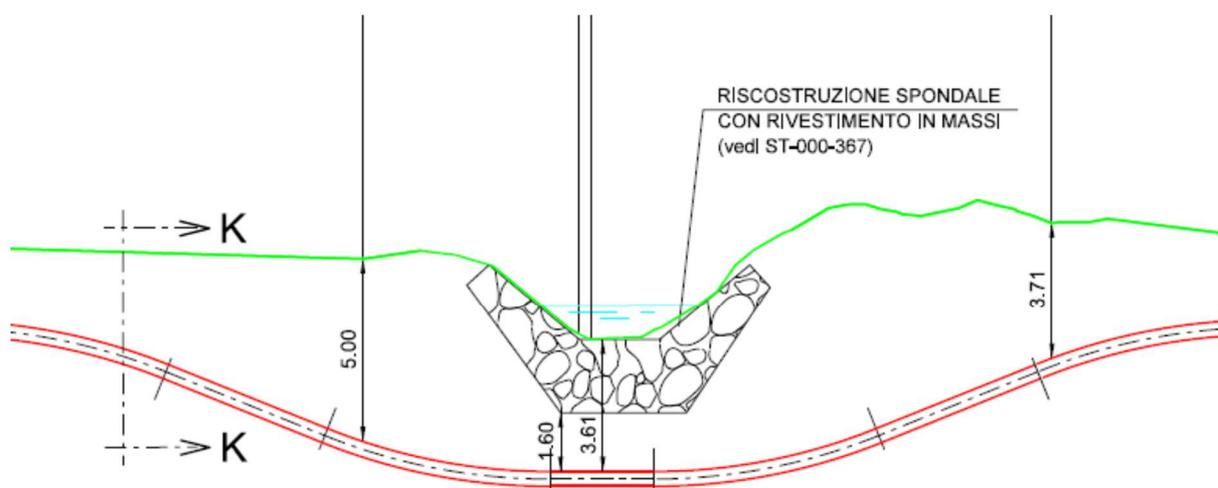


Figura 2: Attraversamento torrente Agliena - Sezione schematica di progetto.

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			
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE AGLIENA</b>			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-002	Foglio 7 di 47	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09102

### 3 STUDIO IDROLOGICO-IDRAULICO

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

E' 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)<sup>[1]</sup> tramite i software QGIS<sup>[2]</sup> e SAGA<sup>[3]</sup>.

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<sup>[4]</sup>.

In Figura 3 si riporta il bacino idrografico così ottenuto, con sezione di chiusura posta in corrispondenza dell'attraversamento di progetto.

<sup>1</sup> MATTM, Geoportale Nazionale, [http://wms.pcn.minambiente.it/wcs/dtm\\_20m](http://wms.pcn.minambiente.it/wcs/dtm_20m)

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

<sup>3</sup> 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.

<sup>4</sup> 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](http://wms.pcn.minambiente.it/ogc?map=ms_ogc/WMS_v1.3/raster/IGM_25000.map)

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA  
ATTRAVERSAMENTO TORRENTE AGLIENA**

N° Documento:  
P22IT04321-PPL-RE-100-002

Foglio  
8 di 47

Rev.:  
00

N° documento Cliente:  
REL-CI-09102

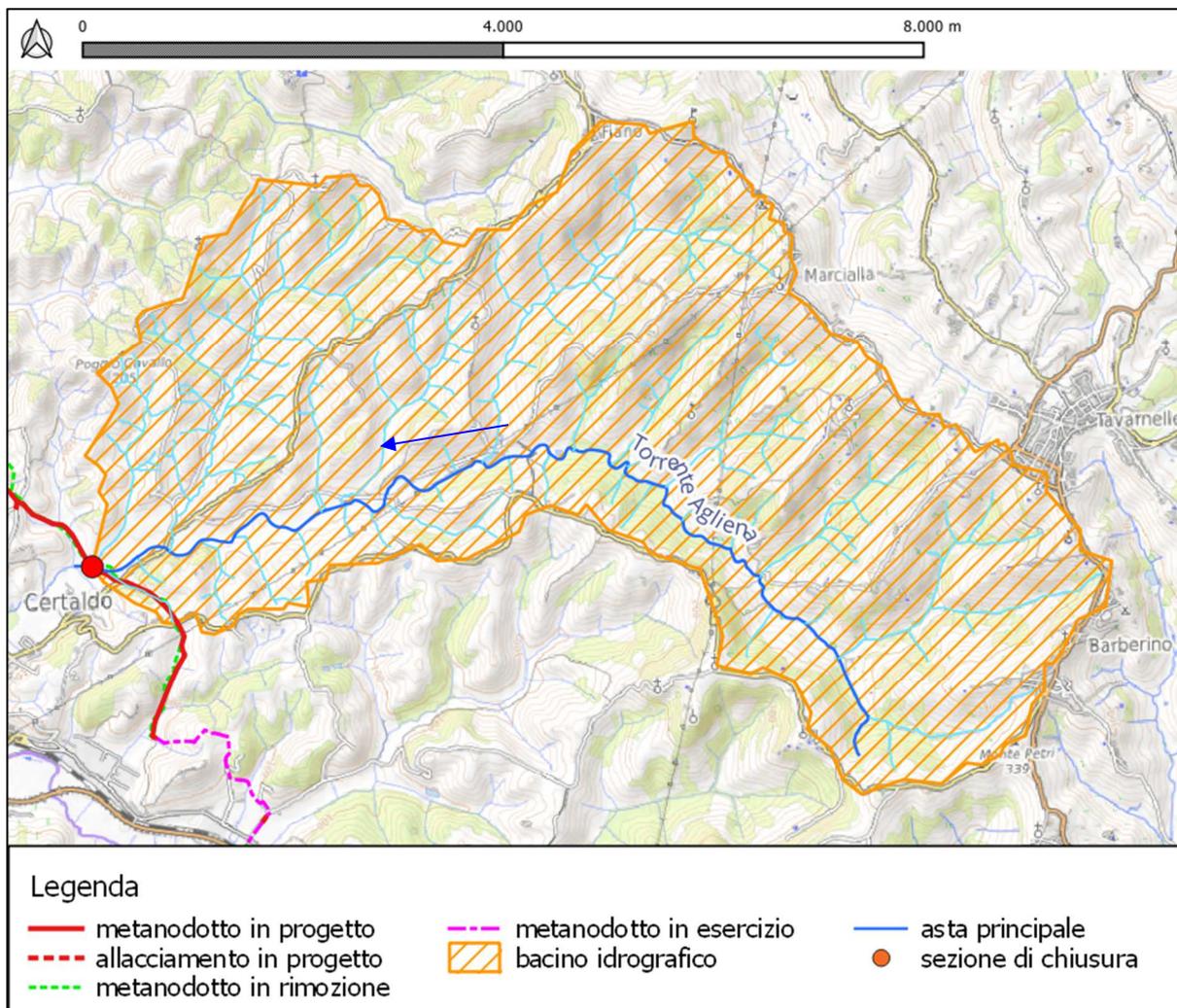


Figura 3: Bacino idrografico del torrente Agliena alla sezione di chiusura posta in corrispondenza dell'attraversamento di progetto.

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

Lunghezza asta principale [km]	Superficie [km <sup>2</sup> ]	Quota minima [m s.l.m.]	Quota media [m s.l.m.]	Quota massima [m s.l.m.]
11,94	32,56	92,0	202,5	404,0

Tabella 1: Caratteristiche geomorfologiche del bacino relativo alla sezione di chiusura.

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE			
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE AGLIENA</b>			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-002	Foglio 9 di 47	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09102

### 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<sup>[5]</sup>; 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;<sup>[6]</sup> esso si basa sull'approssimazione della curva afflussi-deflussi e sulla conservazione della massa, tramite la formula:

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

dove:

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

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

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

Quindi si ottiene:

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

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

<sup>6</sup> 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						
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE AGLIENA</b>						
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-002		Foglio 10 di 47		Rev.:		N° documento Cliente: REL-CI-09102
				00		

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 sul bacino in esame (Figura 4) è stato ricavato dall'elaborazione dell'ISPRA,<sup>[7]</sup> 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 3.

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 <sup>2</sup>	30 % di area impermeabile	Superfici artificiali ed edifici
Incolto	-	Suolo nudo, rocce, falesie, rupi, affioramenti
		Corpi idrici permanenti

Tabella 2: 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.

<sup>7</sup> 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  
 ATTRAVERSAMENTO TORRENTE AGLIENA

N° Documento:  
 P22IT04321-PPL-RE-100-002

Foglio  
 11 di 47

Rev.:  
 00

N° documento Cliente:  
 REL-CI-09102

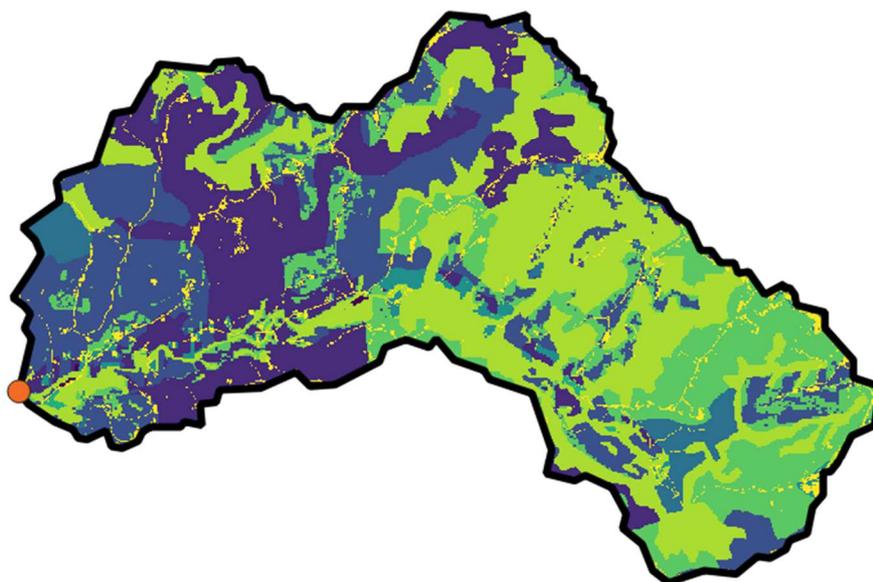
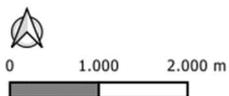


Figura 4: Uso del suolo presente sul bacino d'interesse riclassificato per il calcolo del CN, derivante dal Corine Land Cover come descritto in Tabella 2.

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  
ATTRAVERSAMENTO TORRENTE AGLIENA

N° Documento:  
P22IT04321-PPL-RE-100-002

Foglio  
12 di 47

Rev.:  
00

N° documento Cliente:  
REL-CI-09102

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 (Figura 5) sono stati ottenuti dal file reso disponibile dalla Regione Toscana sull'applicativo webGIS<sup>[8]</sup>, le aree in assenza di dato, corrispondenti alle aree urbanizzate, sono state supposte appartenenti al gruppo D.

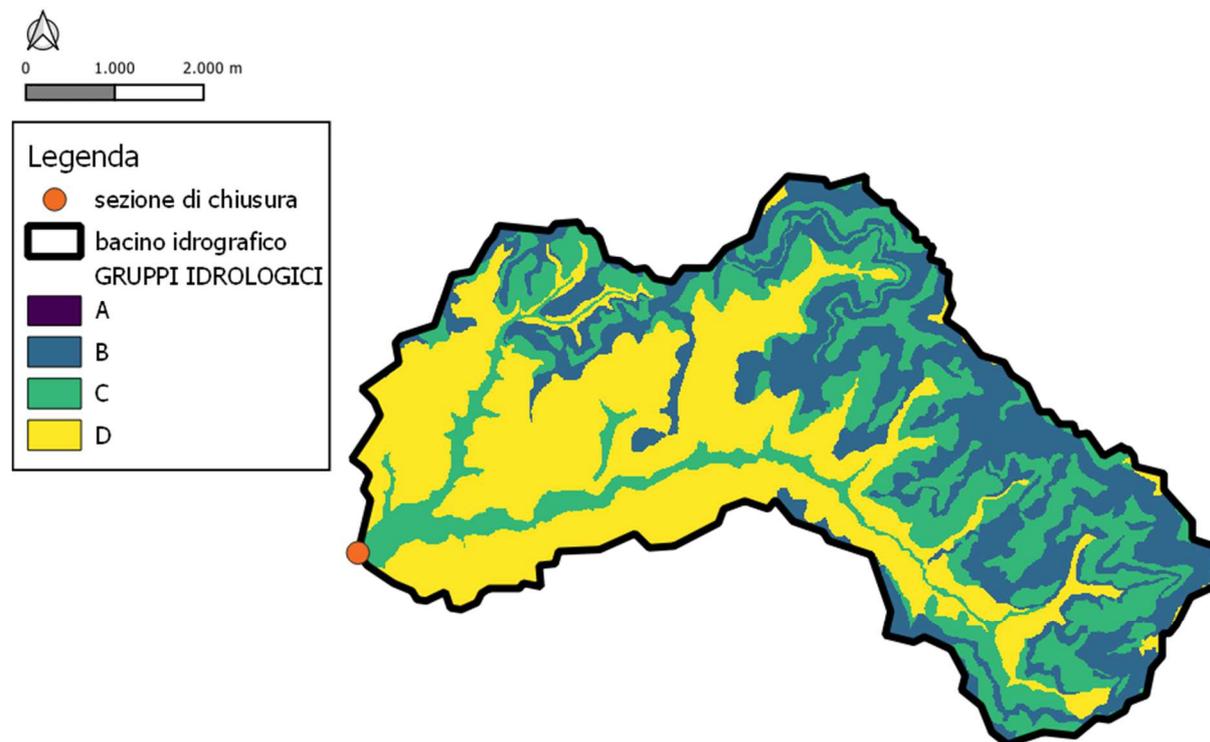


Figura 5: Gruppi idrologici presenti sul bacino d'interesse per il calcolo del CN.

<sup>8</sup> 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					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE AGLIENA</b>					
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-002		Foglio 13 di 47		Rev.: 00	
				N° documento Cliente: REL-CI-09102	

La Tabella 3 è stata utilizzata per la determinazione del CN, sulla base dell'uso del suolo e del gruppo idrologico di suolo, adattata sulla base dell'originale riportato nel National Engineering Handbook dell'USDA<sup>9</sup>.

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 <sup>2</sup>	30 % di area impermeabile	57	72	81	86

*Tabella 3: Tabella per il calcolo del curve number (CN) in funzione del gruppo idrologico di suolo e dell'uso del suolo.*

In Figura 6 si riporta il valore del CN su tutto il bacino oggetto di studio, e il relativo valore mediato.

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

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA  
 ATTRAVERSAMENTO TORRENTE AGLIENA

N° Documento:  
 P22IT04321-PPL-RE-100-002

Foglio  
 14 di 47

Rev.:  
 00

N° documento Cliente:  
 REL-CI-09102

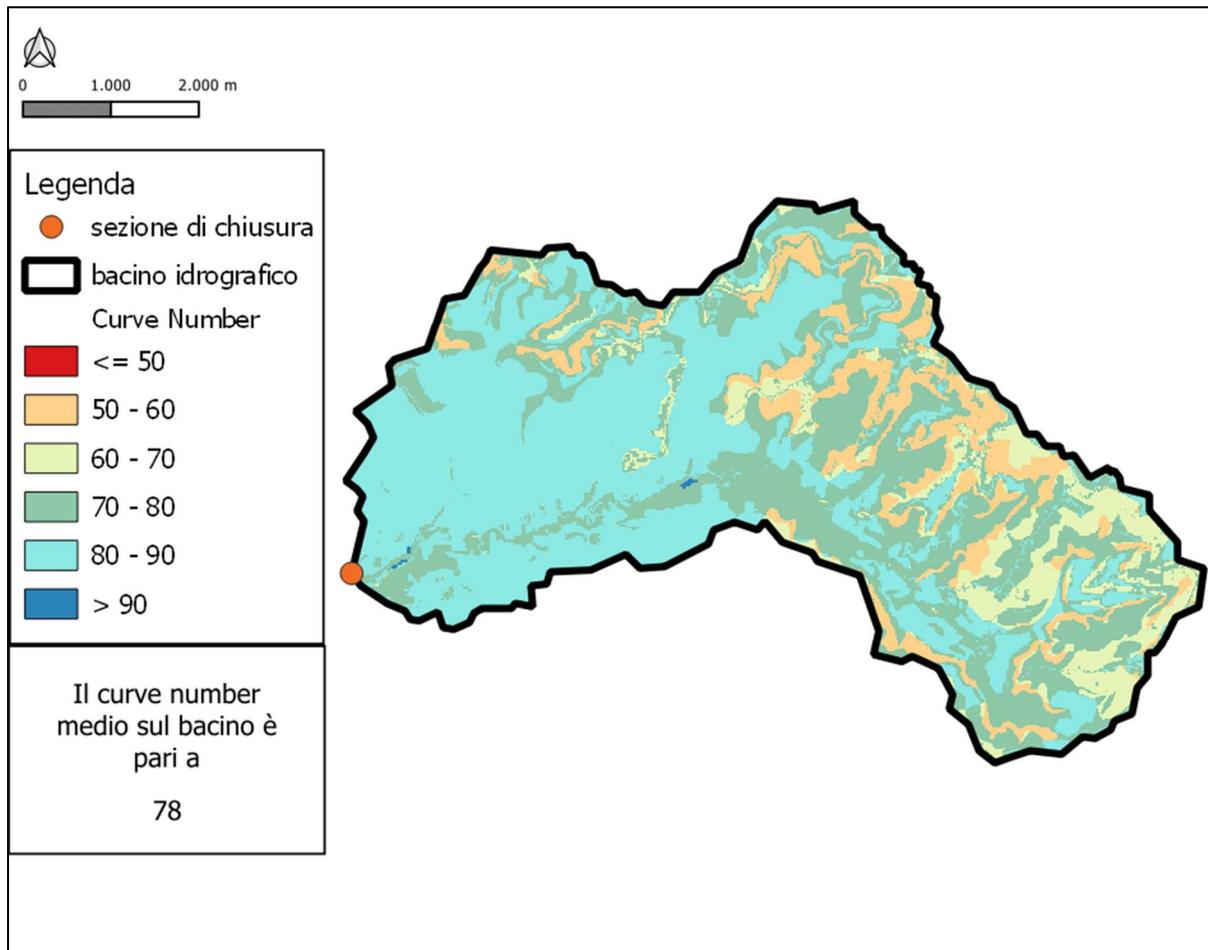


Figura 6: Mappa dei valori del curve number nel bacino oggetto di studio.

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

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					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE AGLIENA</b>					
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-002		Foglio 15 di 47		Rev.: 00	
				N° documento Cliente: REL-CI-09102	

Ambientale dell'Università degli Studi di Firenze,<sup>[10]</sup> 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.

<i>a</i>			<i>n</i>		
TR=50	TR=100	TR=200	TR=50	TR=100	TR=200
53,66	60,57	67,59	0,251	0,261	0,269

Tabella 4: Parametri di possibilità pluviometrica mediati sul bacino oggetto di studio.

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

$h_{50}$ [mm]	$h_{100}$ [mm]	$h_{200}$ [mm]
78,23	89,64	101,24

Tabella 5: Valori di altezze di pioggia calcolati nella sezione di interesse.

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

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

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

Con riferimento alla precedente Tabella 1, essendo la superficie del bacino del torrente Agliena alla sezione dell'attraversamento in progetto minore di  $100 \text{ km}^2$ , si è proceduto con l'espressione di Ventura.

Il tempo di corrivazione risulta quindi pari a **4,49 ore**.

<sup>10</sup> 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						
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE AGLIENA</b>						
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-002		Foglio 16 di 47		Rev.:		N° documento Cliente: REL-CI-09102
				00		

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  $\text{m}^2$ ,  $T_c$  in ore,  $Q$  in mm

Con i valori sopra calcolati si è pertanto proceduto alla determinazione delle portate di progetto nella sezione di interesse, riportate in Tabella 6.

$Q_{50} [\text{m}^3/\text{s}]$	$Q_{100} [\text{m}^3/\text{s}]$	$Q_{200} [\text{m}^3/\text{s}]$
59,2	76,1	94,1

*Tabella 6: Valori di portata calcolati nella sezione di interesse.*

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					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE AGLIENA</b>					
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-002		Foglio 17 di 47		Rev.: 00	
				N° documento Cliente: REL-CI-09102	

### 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.

La lunghezza complessiva del tratto modellato è di circa 100 m.

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

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

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

Nella fincatura superiore delle sezioni riportate nelle pagine seguenti sono mostrati i valori di scabrezza (secondo Manning) utilizzati per i vari tratti, desunti da valori di letteratura<sup>[11]</sup> richiamati in Tabella 8.

In alcune delle sezioni seguenti è inoltre presente un tratteggio verde che indica l'area ineffettiva ai fini del deflusso. Nel caso specifico è stata utilizzata per descrivere con maggior precisione possibile il comportamento di alcune zone depresse non collegate all'alveo attivo, in cui pertanto i deflussi sono caratterizzati da velocità pressochè nulle. Si tratta pertanto di aree di non-convogliamento di flussi.

---

<sup>11</sup> 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			
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE AGLIENA</b>			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-002	Foglio 18 di 47	Rev.:	N° documento Cliente: REL-CI-09102
		00	

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

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

Tabella 8: 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			
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE AGLIENA</b>			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-002	Foglio 19 di 47	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09102

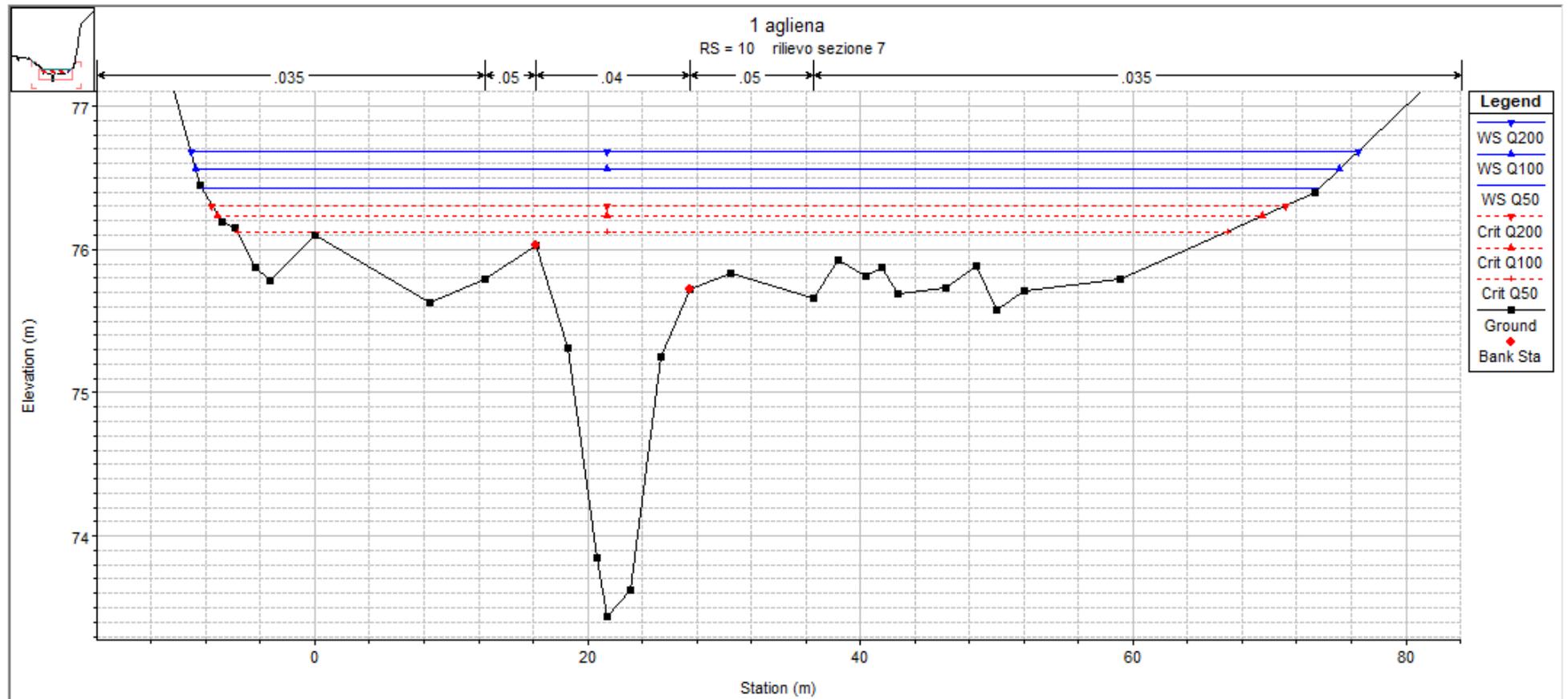


Figura 7: **RS=10** - Sezione trasversale a valle dell'attraversamento del nuovo metanodotto.

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 ATTRAVERSAMENTO TORRENTE AGLIENA			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-002	Foglio 20 di 47	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09102

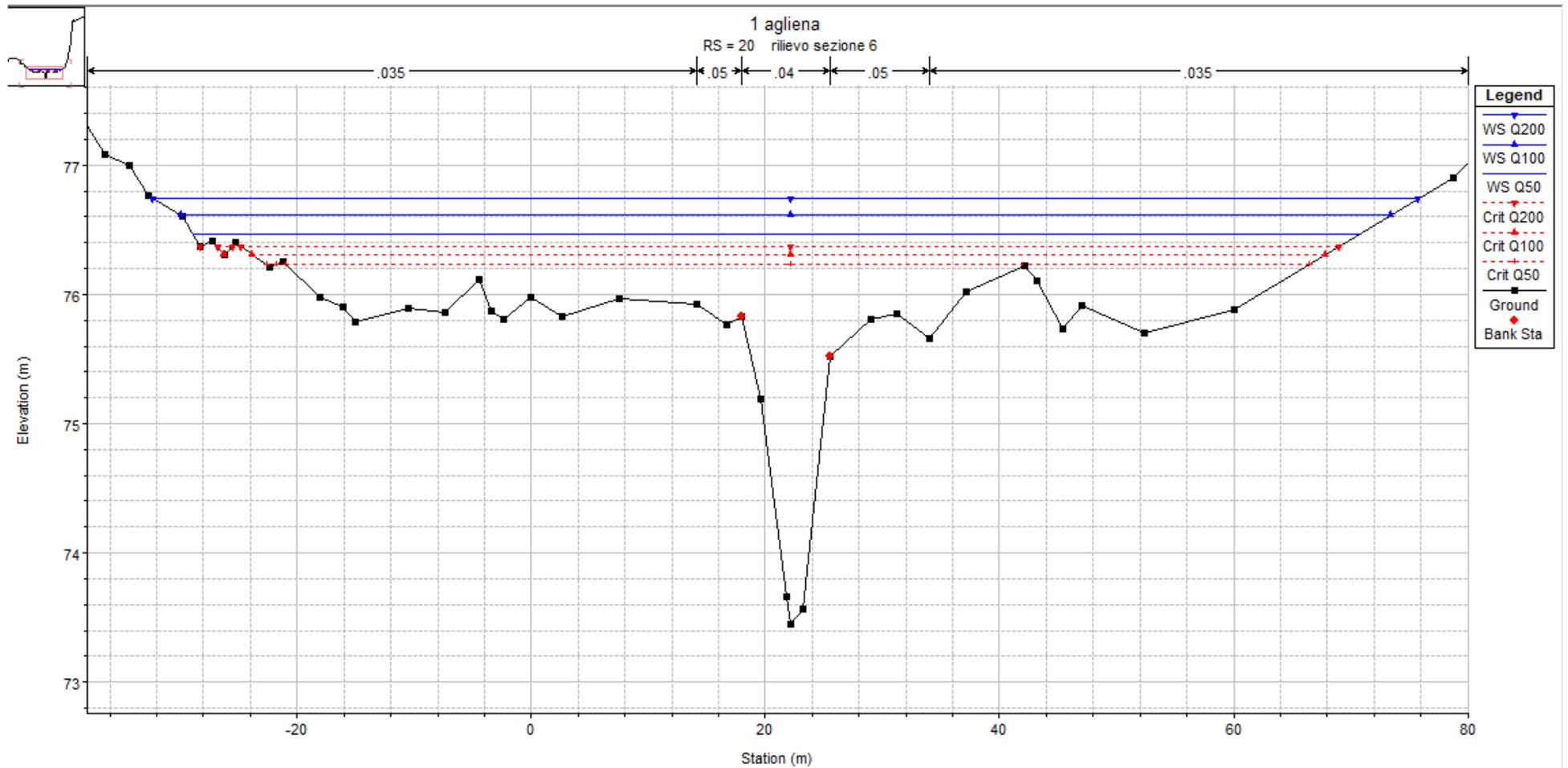


Figura 8: **RS=20** - Sezione trasversale a valle dell'attraversamento del nuovo metanodotto.

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			
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE AGLIENA</b>			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-002	Foglio 21 di 47	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09102

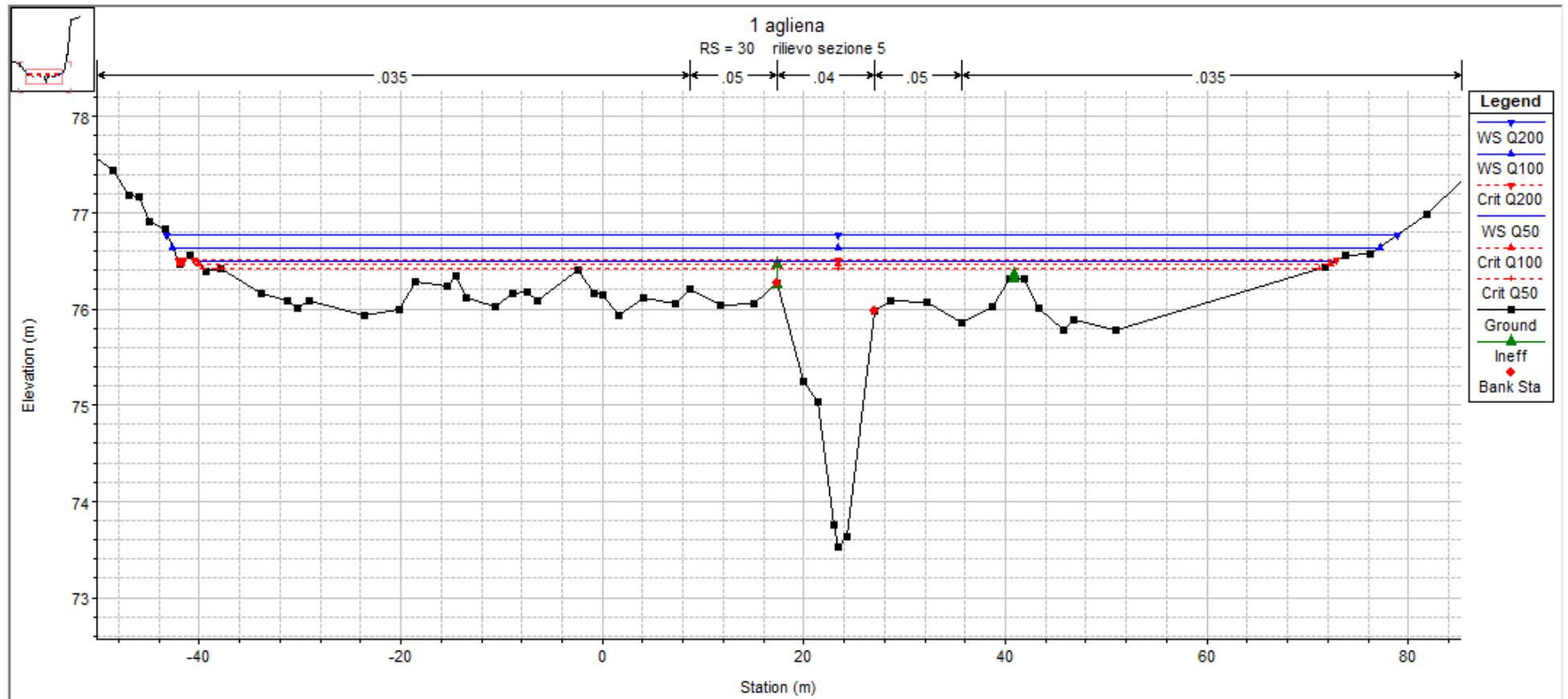


Figura 9: **RS=30** - Sezione trasversale a valle dell'attraversamento del nuovo metanodotto.

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			
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE AGLIENA</b>			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-002	Foglio 22 di 47	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09102

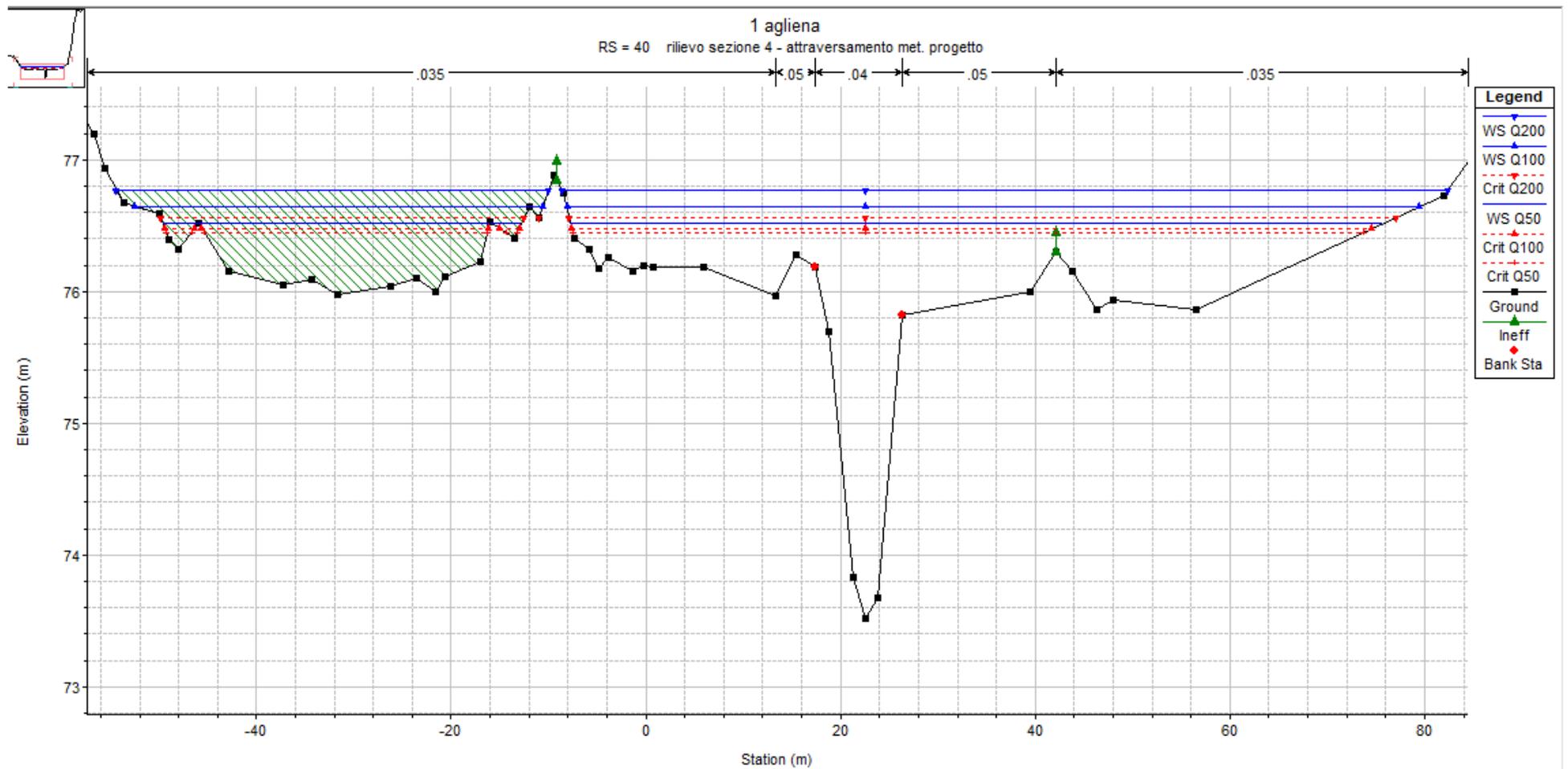


Figura 10: **RS=40** - Sezione trasversale in corrispondenza dell'attraversamento del nuovo metanodotto.

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			
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE AGLIENA</b>			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-002	Foglio 23 di 47	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09102

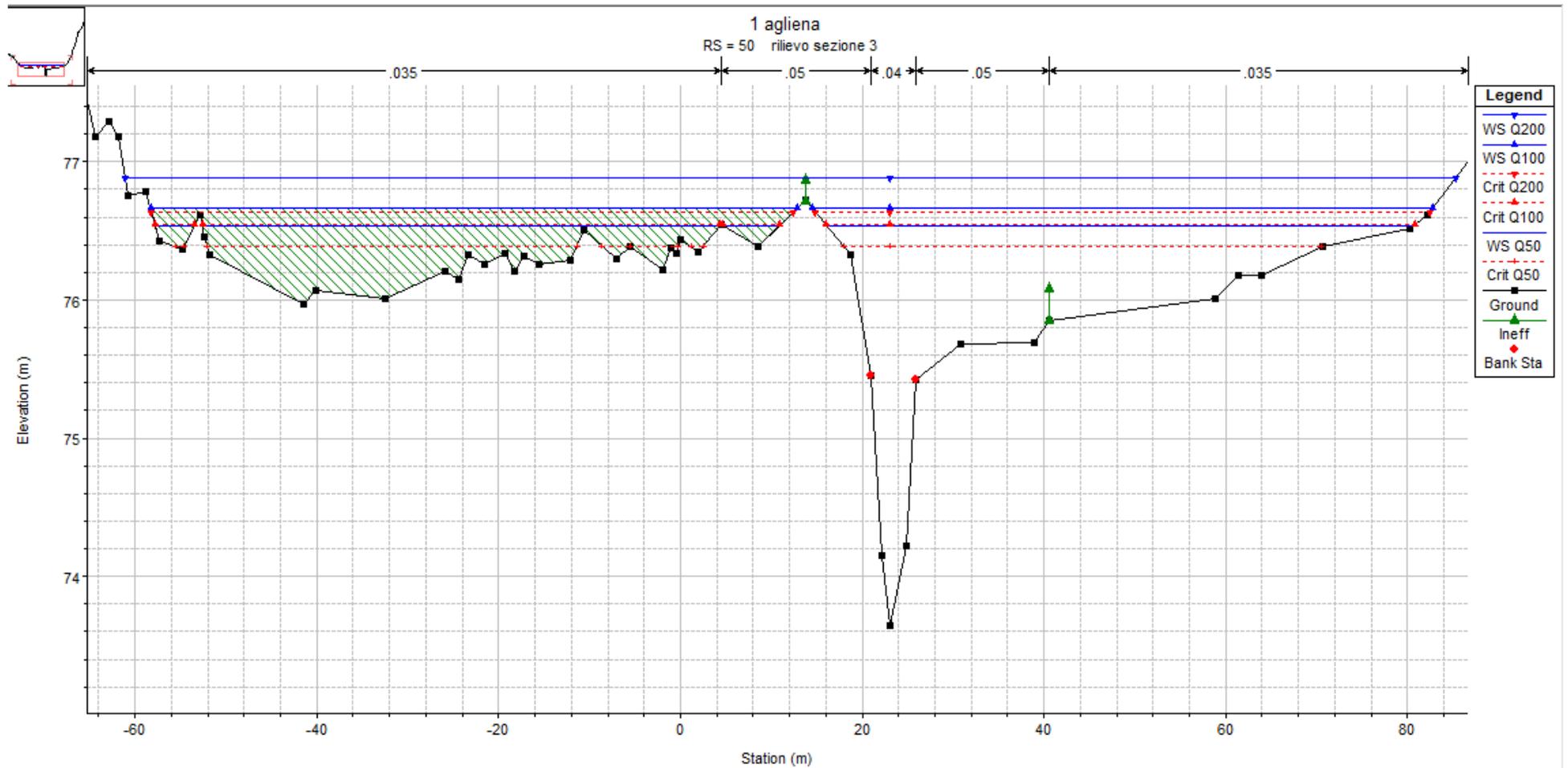


Figura 11: **RS=50** - Sezione trasversale a monte dell'attraversamento del nuovo metanodotto.

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  
 ATTRAVERSAMENTO TORRENTE AGLIENA

N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-002	Foglio 24 di 47	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09102
--	--------------------	-------------	---------------------------------------

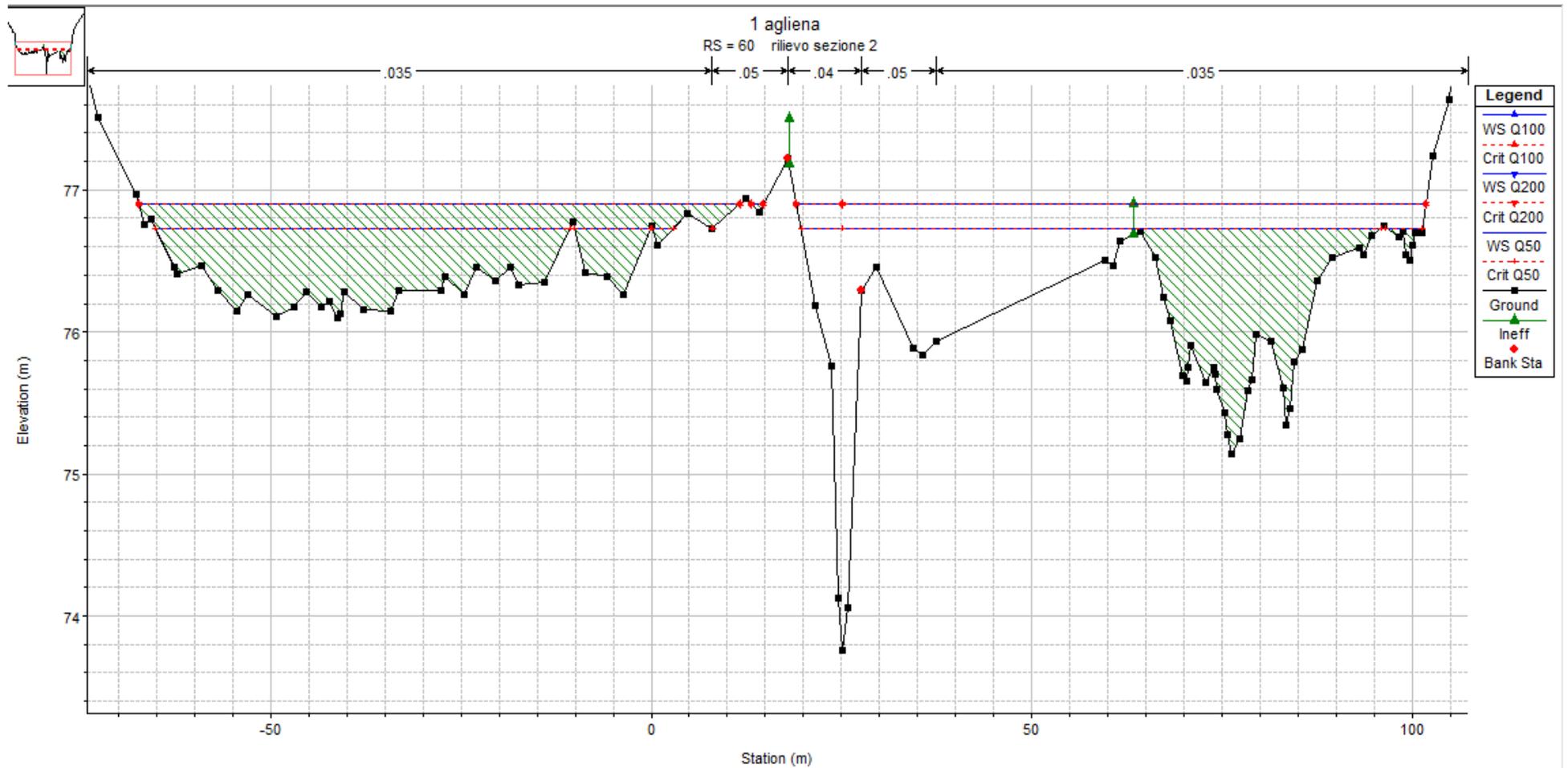


Figura 12: **RS=60** - Sezione trasversale a monte dell'attraversamento del nuovo metanodotto.

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			
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE AGLIENA</b>			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-002	Foglio 25 di 47	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09102

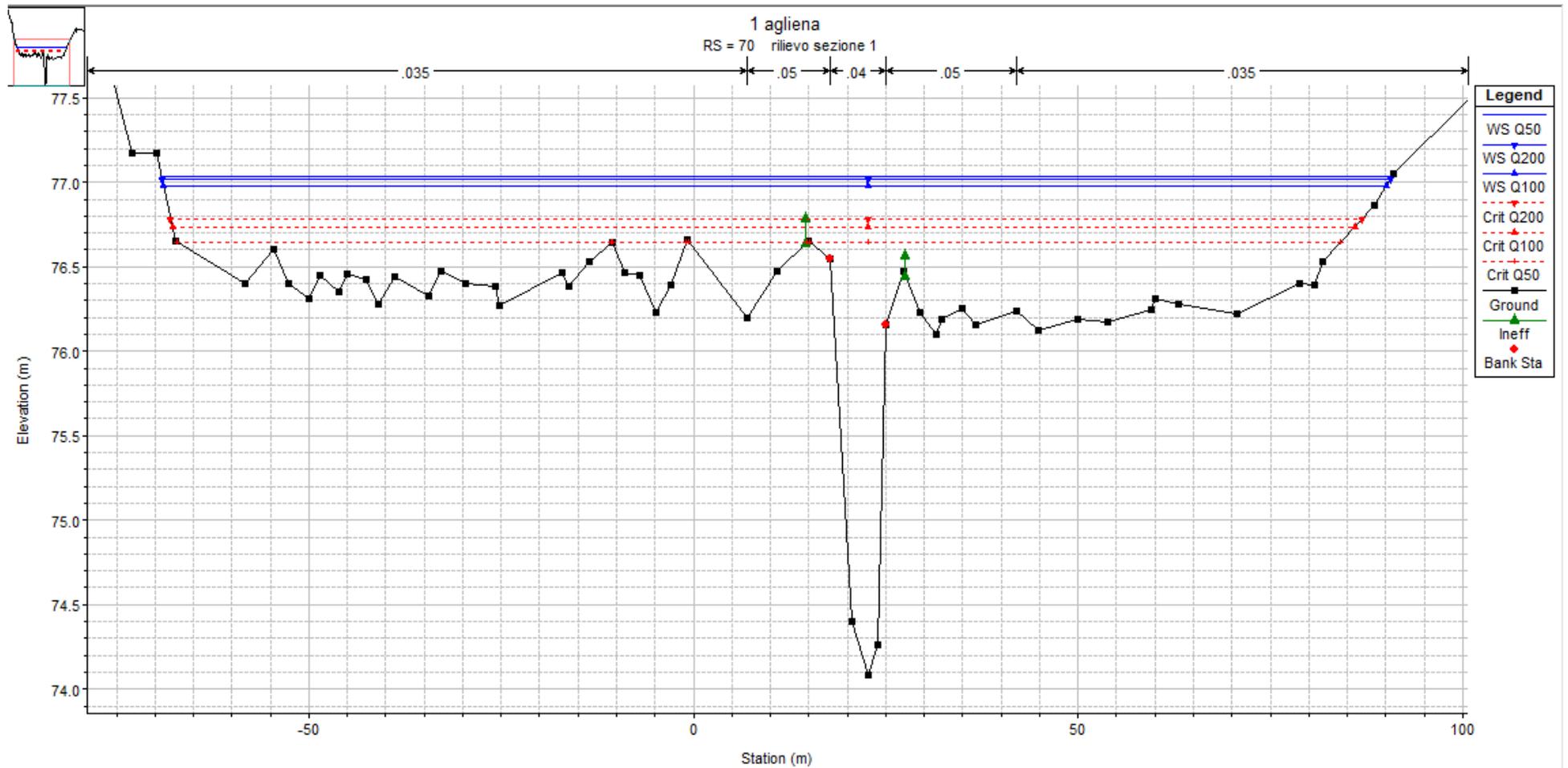


Figura 13: **RS=70** - Sezione trasversale a monte dell'attraversamento del nuovo metanodotto.

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA  
ATTRAVERSAMENTO TORRENTE AGLIENA

N° Documento:  
P22IT04321-PPL-RE-100-002

Foglio  
26 di 47

Rev.:  
00

N° documento Cliente:  
REL-CI-09102

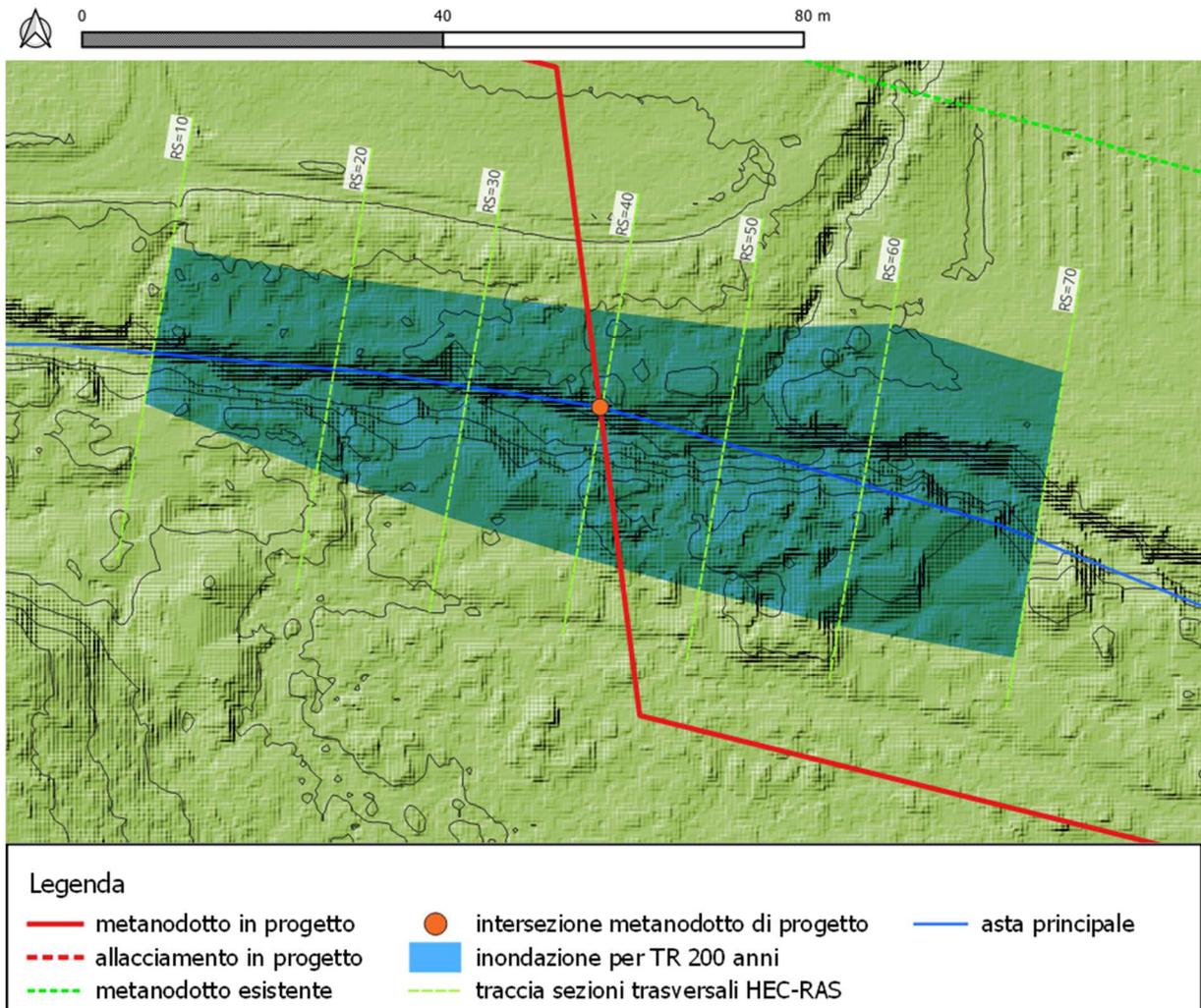


Figura 14: Area inondabile per TR 200 su rilievo Lidar.

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA  
ATTRAVERSAMENTO TORRENTE AGLIENA

N° Documento:  
P22IT04321-PPL-RE-100-002

Foglio  
27 di 47

Rev.:  
00

N° documento Cliente:  
REL-CI-09102

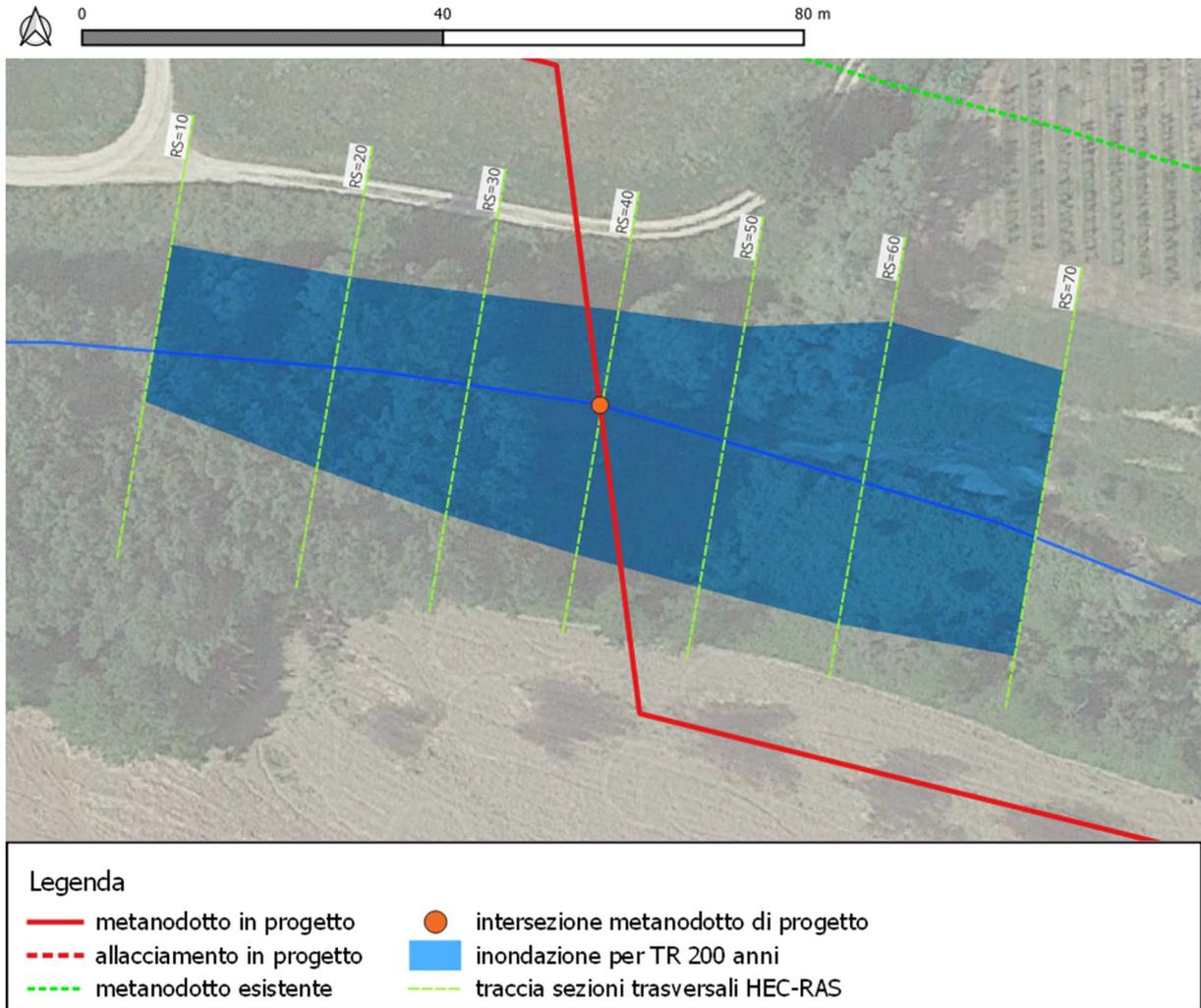


Figura 15: Area inondabile per TR 200 su ortofoto.

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  
 ATTRAVERSAMENTO TORRENTE AGLIENA

N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-002	Foglio 28 di 47	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09102
--	--------------------	-------------	---------------------------------------

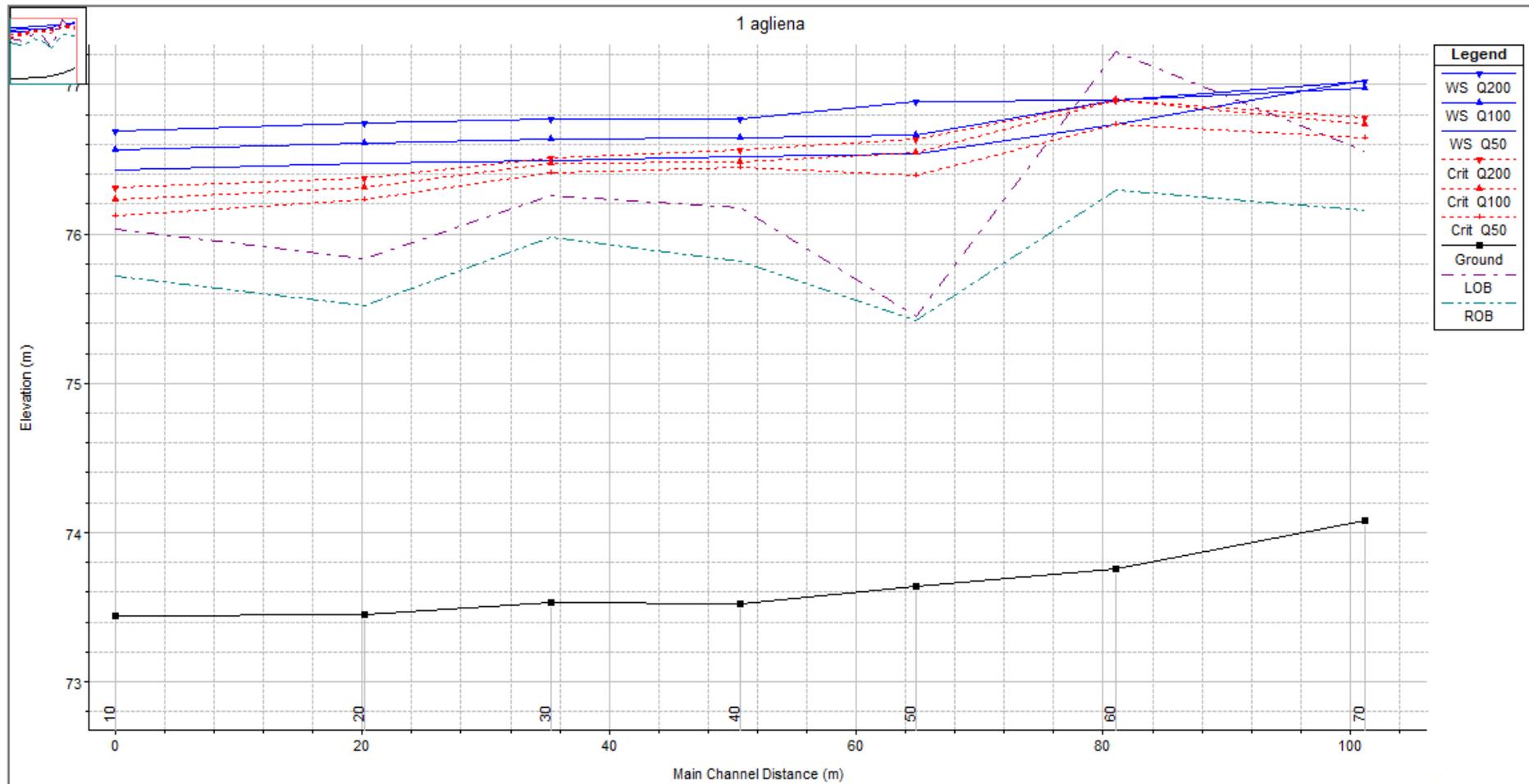


Figura 16: Profilo longitudinale del tratto modellato.

<b>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</b>														
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE AGLIENA</b>														
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-002			Foglio 29 di 47		Rev.: 00				N° documento Cliente: REL-CI-09102					

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)
70	Q50	59.2	74.08	77.03	76.64	77.05	0.0158	0.000548	0.84	113.65	159.95	0.18	0.7	9.3
70	Q100	76.1	74.08	76.98	76.73	77.01	0.0158	0.001145	1.2	105.05	158.98	0.26	0.65	18.96
70	Q200	94.1	74.08	77.02	76.78	77.06	0.0158	0.001449	1.37	111.93	159.76	0.3	0.69	24.48
60	Q50	59.2	73.76	76.73	76.73	76.99	0.0074	0.012508	2.73	27.79	148.42	0.78	0.6	118.1
60	Q100	76.1	73.76	76.9	76.9	76.97	0.0074	0.002825	1.36	64.2	163.28	0.38	0.75	28.65
60	Q200	94.1	73.76	76.9	76.9	77.01	0.0074	0.004319	1.68	64.2	163.28	0.46	0.75	43.82
50	Q50	59.2	73.64	76.54	76.39	76.7	0.0085	0.004422	2.39	41.45	132.27	0.51	0.63	74.98
50	Q100	76.1	73.64	76.67	76.54	76.84	0.0085	0.004555	2.52	49.76	139.54	0.53	0.71	81.57
50	Q200	94.1	73.64	76.88	76.64	76.93	0.0085	0.001413	1.49	108.88	146.46	0.3	0.73	27.66
40	Q50	59.2	73.52	76.52	76.45	76.64	-0.0007	0.003155	1.94	48.79	119.93	0.45	0.57	50.33
40	Q100	76.1	73.52	76.65	76.48	76.77	-0.0007	0.003117	2.02	59.89	129.49	0.45	0.67	53.1
40	Q200	94.1	73.52	76.77	76.56	76.9	-0.0007	0.003006	2.06	71.18	135.32	0.45	0.77	54.38
30	Q50	59.2	73.53	76.49	76.41	76.58	0.0053	0.003007	1.71	56.41	113.5	0.43	0.49	40.95
30	Q100	76.1	73.53	76.64	76.47	76.71	0.0053	0.002494	1.64	73.06	119.8	0.4	0.6	36.97
30	Q200	94.1	73.53	76.77	76.51	76.84	0.0053	0.002126	1.59	89.25	122.2	0.37	0.72	33.91
20	Q50	59.2	73.45	76.47	76.23	76.54	0.0005	0.002001	1.55	61.84	99.73	0.36	0.61	32.17
20	Q100	76.1	73.45	76.61	76.31	76.68	0.0005	0.001846	1.56	76.06	103.31	0.35	0.73	31.83
20	Q200	94.1	73.45	76.74	76.37	76.81	0.0005	0.001761	1.59	90.01	108.16	0.34	0.82	32.3
10	Q50	59.2	73.44	76.43	76.12	76.5		0.002002	1.48	57.78	81.91	0.36	0.69	29.87
10	Q100	76.1	73.44	76.56	76.23	76.64		0.002003	1.56	68.88	83.86	0.37	0.81	32.25
10	Q200	94.1	73.44	76.69	76.31	76.77		0.002001	1.63	79.67	85.65	0.37	0.91	34.47

Tabella 9: Grandezze caratteristiche dei deflussi nel tratto modellato 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					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE AGLIENA</b>					
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-002		Foglio 30 di 47		Rev.: 00	
				N° documento Cliente: REL-CI-09102	

#### 4 DETERMINAZIONE DELLA MASSIMA PROFONDITÀ DI EROSIONE

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

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

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

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

##### Caso 1

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

a) espressione di Schoklitsch:

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

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

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

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

##### Caso 2

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

##### Caso 3

Le barre alterne sono onde di sedimenti che si propagano molto lentamente sul fondo di corsi d'acqua dando luogo a sequenza di zone di scavo e di deposito; ipotizzando che l'evento di piena abbia una durata temporale

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					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE AGLIENA</b>					
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-002		Foglio 31 di 47		Rev.: 00	
				N° documento Cliente: REL-CI-09102	

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  $\beta$  è definito come:

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

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

I valori di  $\beta_c$  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  $\eta_{\max}$  si può ricavare dall'espressione:

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

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

RIF. MET. DER. PER SIENA DN400 (16"), DP 75 BAR E PIGGABILITÀ MET. DER. PER SIENA-TORRENIERI DN200 (8"), DP 75 BAR E MET. CHIUSI-TORRENIERI DN250 (10"), DP 75 BAR ED OPERE CONNESSE					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE AGLIENA</b>					
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-002		Foglio 32 di 47		Rev.: 00	
				N° documento Cliente: REL-CI-09102	

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 questo attraversamento si può escludere la casistica di cui al punto 2 in quanto nella sezione in esame non sono presenti manufatti in alveo.

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

### Caso 1

Utilizzando le grandezze caratteristiche del moto determinate al Paragrafo 3.3 e sintetizzate in Tabella 9, per il tempo di ritorno di 200 anni e considerando il fattore di sicurezza pari a 1,30, dall'espressione (a) di Schoklitsch, risulta:

$$S_{max\ buche\ (a)} = 1,50\ m$$

e dall'espressione (b), considerando il fattore di sicurezza pari a 1,30, si ottiene:

$$S_{max\ buche\ (b)} = 2,11\ m$$

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						
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE AGLIENA</b>						
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-002		Foglio 33 di 47		Rev.:		N° documento Cliente: REL-CI-09102

Perciò il valore di erosione dovuto al caso 1 è il valore maggiore, pari a **2,11 m**.

### Caso 3

Con riferimento alle grandezze caratteristiche riportate in Tabella 9, si ricavano i seguenti risultati:

$B_f$ [m]	$Y$ [m]	$D$ [mm]	$\beta$	$\beta_c$	erosione $\beta > \beta_c$	Erosione massima
2.6	3.25	10	0.05	10.8	NO	-

Tabella 10: Profondità di scavo prevedibile per la presenza di barre alterne.

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

### Caso 4

L'attraversamento in progetto cade in prossimità di una confluenza del fiume con un suo immissario in destra idraulica, evenienza che, in caso di piena, può determinare l'innescò di turbolenze con possibili fenomeni erosivi su fondo e sponde. Per valutare la possibile incidenza di tali fenomeni si è ritenuto di equiparare tale comportamento alla presenza di una curva, ricorrendo quindi alle formule empiriche per la determinazione dell'erosione in curva; dall'applicazione delle formule suddette, utilizzando i dati di Tabella 9 per la sezione di progetto si sono ottenuti i risultati riportati nella seguente Tabella 11 (in cui il significato e le unità di misura dei vari simboli utilizzati è indicato in precedenza):

$B_f$ [m]	$r_c$ [m]	$Y_m$ [m]	$D$ [mm]	$d_0$	$\eta_{max}$ (eq. a) [m]	$h_{scavo}$ (eq. b) [m]	Profondità di scavo media [m]
2.6	70	0.53	10	14.4	0.43	0.02	0.30

Tabella 11: Profondità di scavo prevedibile per la presenza di curve.

Con un coefficiente di sicurezza pari ad 1,30 applicato alla media tra  $\eta_{max}$  e  $h_{scavo}$  si ottiene:

$$S_{max\ curva} = 0,30\ m$$

### Definizione della profondità di posa per l'attraversamento

Alla luce delle analisi di cui ai punti precedenti, si ritiene pertanto che la condizione più gravosa sia quella analizzata al Paragrafo 4 – Caso 1, erosione dovuta alla presenza di discontinuità di fondo, pertanto la profondità minima di posa della

<b>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</b>					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE AGLIENA</b>					
<b>N° Documento:</b> P22IT04321-PPL-RE-100-002		<b>Foglio</b> 34 di 47		<b>Rev.:</b> 00	
				<b>N° documento Cliente:</b> REL-CI-09102	

condotta dovrebbe risultare non inferiore a 2,11 m, con un coefficiente di sicurezza di 1,30.

A tale valore di profondità viene poi aggiunto il valore del ricoprimento minimo da assicurare alla condotta per ragioni di sicurezza, stabilito in 1,50 m, portando la profondità minima di posa della condotta a 3,61 m dal fondo alveo (distanza riferita alla generatrice superiore del tubo).

Ad ulteriore garanzia per la stabilità della condotta è stato previsto di realizzare una soglia protettiva in massi sul fondo e sulle sponde dell'alveo inciso, in modo da proteggere la condotta dall'azione erosiva delle correnti. Il dimensionamento dei massi risulta dalle verifiche effettuate al successivo Paragrafo 5.

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					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE AGLIENA</b>					
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-002		Foglio 35 di 47		Rev.: 00	
				N° documento Cliente: REL-CI-09102	

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

La verifica viene condotta secondo due diverse modalità, in particolare utilizzando la teoria di Shields per la verifica della stabilità del rivestimento sul fondo alveo (considerato in piano) e con l'equilibrio delle forze per quanto riguarda la verifica di stabilità di quello posto sulla sponda.

### Verifica di stabilità del materiale di rivestimento sul fondo alveo

La formula di Shields fornisce la relazione tra le caratteristiche del materiale di fondo con le condizioni di moto incipiente, ovvero quello che si trova in condizioni di equilibrio limite:

$$\phi_c = \frac{\tau_c}{(\gamma_s - \gamma) \cdot d} = 0,06 \quad \text{formula di Shields valida per per } Re > 400 \text{ [12]}$$

dove:

- $\phi_c$  parametro di Shields critico
- $\gamma = 10 \text{ kN/m}^3$  peso specifico del liquido (acqua)
- $\gamma_s = 24 \text{ kN/m}^3$  peso specifico del sedimento
- $d$  diametro del materiale costituente il fondo alveo, in questo caso costituente il rivestimento in massi di progetto
- $\tau_c$  tensione tangenziale al fondo critica,

Sostituendo i termini dell'equazione si può ottenere il diametro del masso che si trova nella condizione di moto incipiente in funzione della tensione di trascinamento presente in una data sezione per un determinato valore di portata:

$$d = \frac{\tau_c}{(\gamma_s - \gamma) \cdot 0,06}$$

Da cui si ricava:

$\tau_c$ (N/m <sup>2</sup> )	diametro limite (cm)	diametro progetto (cm)
54,38	6,2	8,6

Tabella 12: Verifica del diametro limite dei massi da utilizzare per il rivestimento di fondo alveo.

<sup>12</sup> si verificherà la validità dell'assunzione del campo di moto turbolento una volta ricavato il diametro del masso

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			
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE AGLIENA</b>			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-002	Foglio 36 di 47	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09102

Si ricava pertanto che con la portata di tempo di ritorno 200 anni calcolata al paragrafo precedente, sono in equilibrio limite i massi con diametro pari a 6,2 cm. Adottando un coefficiente di sicurezza di 1,3, il diametro dei massi di progetto dovrà risultare non inferiore a 8,6 cm.

Il progetto prevede l'utilizzo di massi di natura "calcarea, basaltica, granitica o trachitica" con una pezzatura non inferiore a 0,7 mc, corrispondente ad un diametro equivalente pari a 111 cm; l'ipotesi di regime turbolento è verificata poichè il numero di Reynolds associato a tali massi è pari a:

$$Re = \frac{u^* \cdot d}{\nu} = \frac{\sqrt{\tau_c/\rho} \cdot d}{\nu} = \frac{\sqrt{\frac{54,38 \text{ N/m}^2}{1000 \text{ kg/m}^3}} \cdot 1,11 \text{ m}}{8,9 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}} = 3 \times 10^5 > 400$$

#### Verifica di stabilità del materiale di rivestimento delle sponde

Per la verifica della stabilità dei massi sulle sponde si può procedere considerando invece l'azione delle tensioni di trascinamento ricavate dalla modellazione e riportate in Tabella 9 sui singoli elementi in pietra, trascurando, a favore di sicurezza, l'azione di mutuo incastro tra i massi stessi.

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

$$P = 0,7 \cdot 2400 = 1680 \text{ kg}$$

In caso di piena, il peso immerso risulta:

$$P_i = 1680 - 1000 \cdot 0,7 = 980 \text{ kg}$$

L'inclinazione di progetto della sponda in massi sull'orizzontale risulta non superiore a 60° per cui la forza ortogonale al piano di appoggio<sup>[13]</sup> risulterà:

$$P_i \cos 60^\circ = 490 \text{ kg}$$

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

<sup>13</sup> L'altra componente della forza peso, parallela al piano inclinato, tenderebbe a fare scivolare i massi lungo il piano inclinato stesso, tale forza viene tuttavia scaricata da ciascun elemento lapideo su quello sottostante, fino allo strato di base, appoggiato sullo strato di fondazione, pertanto si annulla.

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					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE AGLIENA</b>					
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-002		Foglio 37 di 47		Rev.: 00	
				N° documento Cliente: REL-CI-09102	

$$F_s = 490 * 0,7 = 343 \text{ kg} = 3430 \text{ N}$$

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

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

Moltiplicando tale valore per la tensione tangenziale massima desumibile dalla Tabella 9 (si assume a favore di sicurezza la tensione tangenziale della sezione 40, per la piena con Tr 200 anni, che risulta pari a 54,38 N/mq) risulta:

$$F_d = \tau * S = 54,38 * 3,87 = 210,45 \text{ N}$$

Poiché  $F_s \gg 1,3 F_d = 273 \text{ N}$ , la verifica è soddisfatta.

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					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE AGLIENA</b>					
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-002		Foglio 38 di 47		Rev.: 00	
				N° documento Cliente: REL-CI-09102	

## 6 CONCLUSIONI

Il presente studio ha lo scopo di valutare l' idoneità della profondità di posa della nuova condotta in corrispondenza dell' attraversamento in subalveo del torrente Agliena che, si ricorda, verrà eseguito con scavo a sezione obbligata con una profondità dalla quota di fondo alveo di 3,61 m. Ad ulteriore garanzia è stata inoltre prevista la realizzazione di una soglia protettiva in massi sul fondo e sulle sponde dell' alveo inciso, in modo da proteggere la condotta dall' azione erosiva delle correnti.

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

In conclusione preme sottolineare che le diverse valutazioni effettuate in merito alla natura dei terreni in fase di scavo e a cantiere ultimato saranno tanto più rispettate quanto più sarà presa ogni più opportuna azione per il corretto ripristino delle aree scavate che, nel caso specifico, possono sintetizzarsi in:

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

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA  
ATTRAVERSAMENTO TORRENTE AGLIENA**

N° Documento:  
P22IT04321-PPL-RE-100-002

Foglio  
di 39 di 47

Rev.:  
00

N° documento Cliente:  
REL-CI-09102

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



*Tratto modellato in HEC-RAS, 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					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE AGLIENA</b>					
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-002		Foglio 40 di 47		Rev.: 00	
				N° documento Cliente: REL-CI-09102	

## **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			
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE AGLIENA</b>			
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-002	Foglio 41 di 47	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09102

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;

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA  
ATTRAVERSAMENTO TORRENTE AGLIENA**

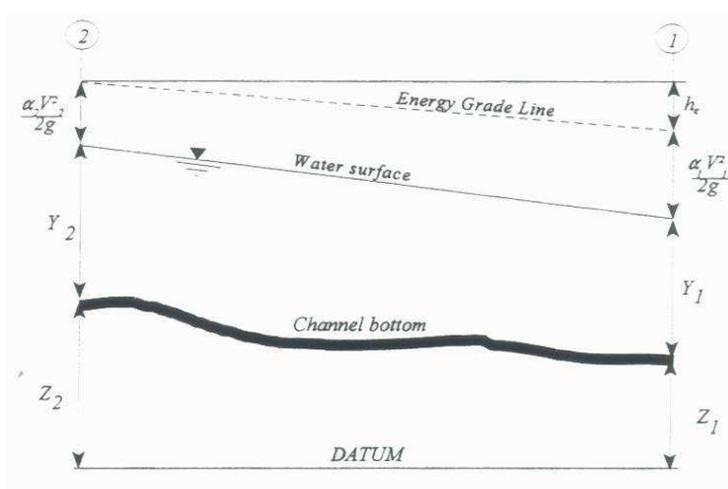
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-002	Foglio 42 di 47	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09102
--	--------------------	-------------	---------------------------------------

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

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

**Calcolo del profilo di moto permanente**

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



*Rappresentazione dei termini dell'equazione di bilancio energetico*

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

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

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

dove:

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA  
ATTRAVERSAMENTO TORRENTE AGLIENA**

N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-002	Foglio 43 di 47	Rev.:	N° documento Cliente: REL-CI-09102
		00	

- WS1, WS2 : quota del pelo libero fra due sezioni di calcolo, con la sezione 2 posta a monte della 1;
- V1, V2 : velocità media;
- $\alpha_1, \alpha_2$  : coefficienti energetici moltiplicativi della velocità;
- g : accelerazione gravitazionale;
- $h_e$  : perdita di carico;
- L : distanza fra le sezioni trasversali;
- Sf : pendenza media;
- C : coefficiente di perdita per contrazione o espansione.

La distanza L viene calcolata utilizzando la seguente espressione:

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

Dove

- $L_{lob}, L_{ch}, L_{rob}$ : sono le distanze tra due sezioni trasversali consecutive, rispettivamente per la golena di sinistra, il torrente di magra e la golena 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*

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA  
ATTRAVERSAMENTO TORRENTE AGLIENA**

N° Documento:  
P22IT04321-PPL-RE-100-002

Foglio  
44 di 47

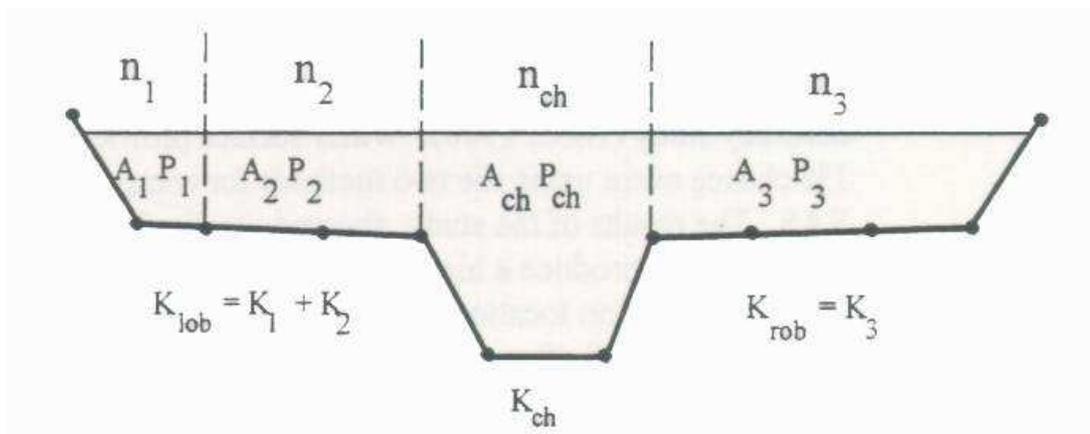
Rev.:  
00

N° documento Cliente:  
REL-CI-09102

Individuata la sezione trasversale del corso d'acqua attraverso la griglia dei punti x (distanze Individuata la sezione trasversale del corso d'acqua attraverso la griglia dei punti x (distanze progressive dall'ascissa  $x = 0$ ) e y (quote m s.l.m. relative ai punti definiti alle varie progressive), nelle aree golenali le unità elementari di deflusso coincidono con la suddivisione creata dalle progressive all'interno della sezione trasversale.

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;

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA  
 ATTRAVERSAMENTO TORRENTE AGLIENA

N° Documento:  
 P22IT04321-PPL-RE-100-002

Foglio  
 45 di 47

Rev.:  
 00

N° documento Cliente:  
 REL-CI-09102

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

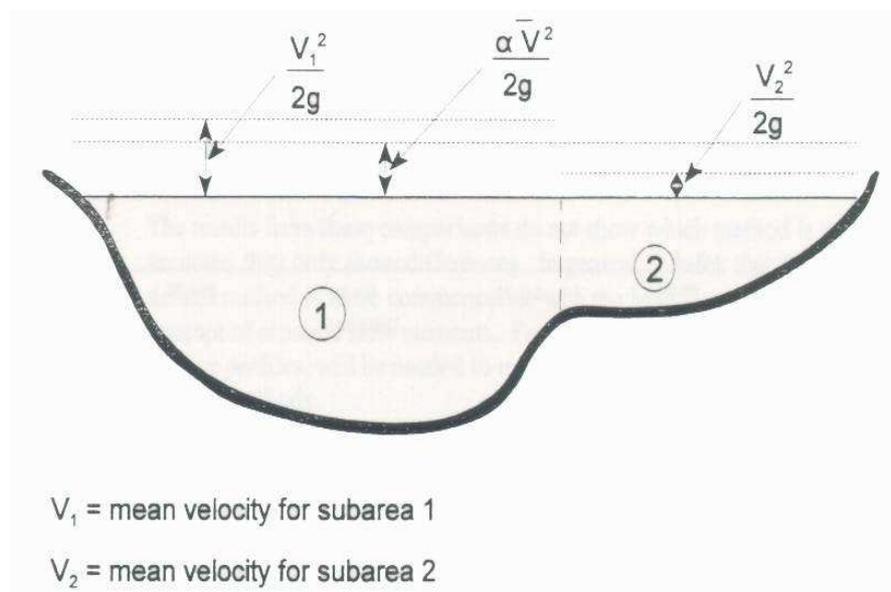
La capacità totale di deflusso per la sezione trasversale è ottenuta per sommatoria delle singole capacità relative alle unità in cui la sezione è stata scomposta.

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

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

dove:

- $A_t$  : area totale di deflusso per la sezione trasversale;
- $A_{lob}$ ,  $A_{ch}$ ,  $A_{rob}$  : area di deflusso per golena sinistra, torrente principale, golena destra;
- $K_t$  : capacità totale di deflusso (conveyance) della sezione trasversale;
- $K_{lob}$ ,  $K_{ch}$ ,  $K_{rob}$  : capacità di deflusso di golena sinistra, torrente principale e golena destra.



*Esempio di calcolo della energia media sulla sezione trasversale*

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

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					
<b>RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO TORRENTE AGLIENA</b>					
N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-002		Foglio 46 di 47		Rev.: 00	
				N° documento Cliente: REL-CI-09102	

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

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

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

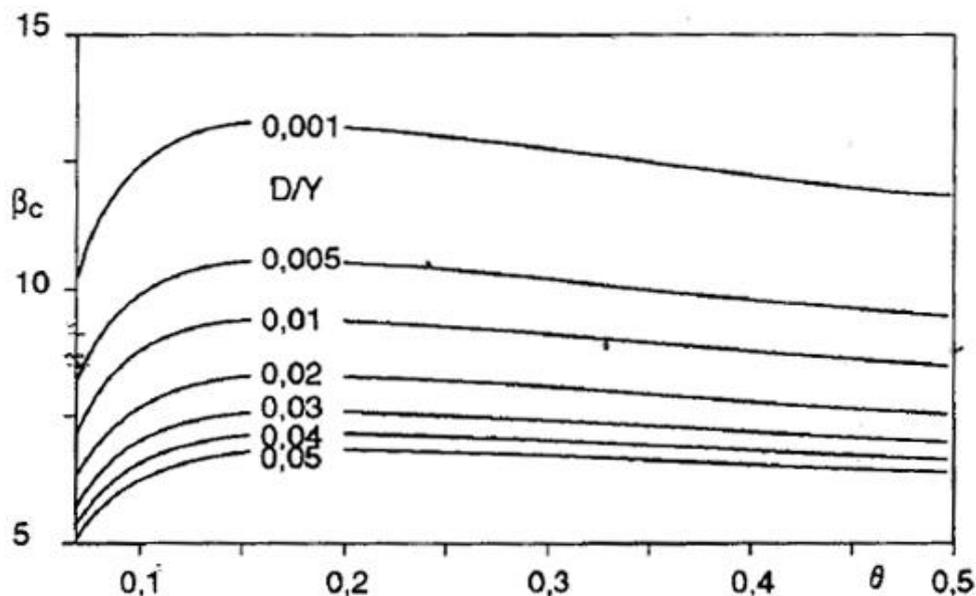
dove C rappresenta il già citato coefficiente di contrazione/espansione.

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA  
ATTRAVERSAMENTO TORRENTE AGLIENA

N° Documento: P22IT04321-PPL-RE-100-002	Foglio 47 di 47	Rev.: 00	N° documento Cliente: REL-CI-09102
--	--------------------	-------------	---------------------------------------

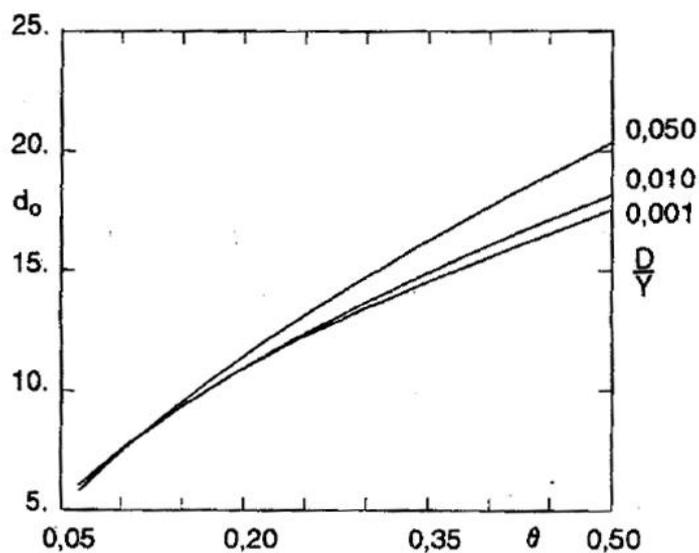
ANNESSE 3: TABELLE DI LETTERATURA

Grafico per il calcolo del parametro  $\beta_c$  per l'erosione da barre alterne



con  $\beta_c$  valore critico del parametro  $\beta$ ,  $D$  diametro dei sedimenti,  $Y$  altezza idrica media,  $\theta$  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,  $\theta$  parametro di Shields