

	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/19372</b>	<b>UNITA'</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE LAZIO</b>	<b>LSC-208/AII. A</b>	
	<b>PROGETTO</b> Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar	Pagina 1 di 38	<b>Rev.</b>

Metanodotto:

POTENZIAMENTO METANODOTTO DERIVAZIONE  
CELLENO – CIVITAVECCHIA DN 900 (36") – DP 75 bar

**STUDIO**  
**IDROLOGICO-IDRAULICO**

Fosso Rigomero  
(Progr. Km 13+436)



0	Emissione	Polloni	Gasperini	Luminari	20/01/2020
Rev.	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato	Data

	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/19372</b>	<b>UNITÀ</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE LAZIO</b>	<b>LSC-208/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar	Pagina 2 di 38	<b>Rev.</b>

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>LOCALIZZAZIONE DELL'AREA .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>STUDIO IDROLOGICO .....</b>	<b>7</b>
<b>3.1</b>	<b>Generalità .....</b>	<b>7</b>
<b>3.2</b>	<b>Metodologia afflussi deflussi .....</b>	<b>9</b>
<b>3.3</b>	<b>Tempo di concentrazione .....</b>	<b>9</b>
<b>3.4</b>	<b>Intensità di pioggia .....</b>	<b>10</b>
3.4.1	Metodo regionalizzazione .....	10
3.4.2	Intensità da misure pluviometriche .....	10
<b>3.5</b>	<b>Coefficiente di ragguaglio .....</b>	<b>12</b>
<b>3.6</b>	<b>Coefficiente di deflusso.....</b>	<b>12</b>
<b>3.7</b>	<b>Portata di massima piena.....</b>	<b>12</b>
<b>4</b>	<b>STUDIO IDRAULICO.....</b>	<b>13</b>
<b>4.1</b>	<b>Metodologia adottata .....</b>	<b>13</b>
<b>4.2</b>	<b>Ricostruzione dei livelli di piena.....</b>	<b>15</b>
<b>4.3</b>	<b>Risultati della modellazione .....</b>	<b>17</b>
<b>5</b>	<b>RISCHI IDRAULICI.....</b>	<b>19</b>
<b>5.1</b>	<b>Erosione di fondo alveo .....</b>	<b>19</b>
<b>5.2</b>	<b>Approfondimento di fondo alveo .....</b>	<b>20</b>
<b>5.3</b>	<b>Erosione spondale .....</b>	<b>20</b>
<b>5.4</b>	<b>Cambio di percorso e taglio di meandro .....</b>	<b>21</b>
<b>5.5</b>	<b>Stima dello spessore di erosione generalizzata in caso di evento critico .....</b>	<b>21</b>
<b>5.6</b>	<b>Approfondimenti localizzati (buche in alveo).....</b>	<b>23</b>

	<b>PROGETTISTA</b>	 <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/19372</b>	<b>UNITA'</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITA'</b>	<b>REGIONE LAZIO</b>	<b>LSC-208/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar		Pagina 3 di 38	<b>Rev.</b>

**5.7 Risultati delle verifiche ..... 24**

**6 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....25**

**ALLEGATO 1: RISULTATI DELLA MODELLAZIONE IDRAULICA**

**ALLEGATO 2: DIMENSIONAMENTO MASSI PER SCOGLIERA**

	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/19372</b>	<b>UNITÀ</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE LAZIO</b>	<b>LSC-208/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> <b>Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar</b>	Pagina 4 di 38	<b>Rev.</b>

## 1 PREMESSA

La presente relazione è relativa allo studio idrologico e idraulico del F.so. Rigomero nella sezione interessata dall'attraversamento in subalveo da parte del metanodotto "Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno-Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar".

L'intervento ricade nel territorio del comune di Viterbo (VT).

L'opera in progetto consiste nella realizzazione di un nuovo tratto di metanodotto finalizzato a potenziare l'esistente al fine di meglio soddisfare le richieste di utenza. Tale metanodotto si sviluppa per una lunghezza di km 17+762 km interamente nel territorio della provincia di Viterbo.

Lungo il suo percorso il tracciato attraversa alcuni corsi d'acqua demaniali, tra i quali quello in oggetto alla progressiva 13+436 quello in oggetto.

Scopo dello studio è di valutare le caratteristiche idrologiche del corso d'acqua per quanto attiene le portate di massima piena al colmo con i relativi livelli idrici e di definire i parametri idraulici in corrispondenza del tratto di torrente interessato dagli interventi, permettendo pertanto la corretta progettazione delle opere.

Le elaborazioni idrauliche sono state compiute mediante modellazione del corso d'acqua in condizione di moto permanente con portata bicentennale tramite il programma di calcolo HEC-RAS, vers. 5.

Per effettuare la modellazione si sono condotti specifici rilievi topografici, nonché accurati sopralluoghi da parte di tecnici esperti. Sono state inoltre eseguite indagini geognostiche in loco.

Vengono inoltre analizzati eventuali rischi per la condotta dovuti alla dinamica fluviale e dimensionati i massi da impiegare per il ripristino dell'alveo.

	<b>PROGETTISTA</b>  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	<b>COMMESSA</b> NR/19372	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> REGIONE LAZIO	<b>LSC-208/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar	Pagina 5 di 38	Rev.

## 2 LOCALIZZAZIONE DELL'AREA

L'area in cui si colloca l'intervento in oggetto è localizzata nel territorio del comune di Viterbo, in provincia di Viterbo (v. Corografia in 2/A).

Essa ricade nel foglio IGM 137 Viterbo a scala 1:100.000 e nel foglio 354042 della cartografia tecnica della Regione Lazio a scala 1:5.000 (v. Figura 2/B). In Figura 2/C viene riportata la ubicazione su immagine aerea Google.

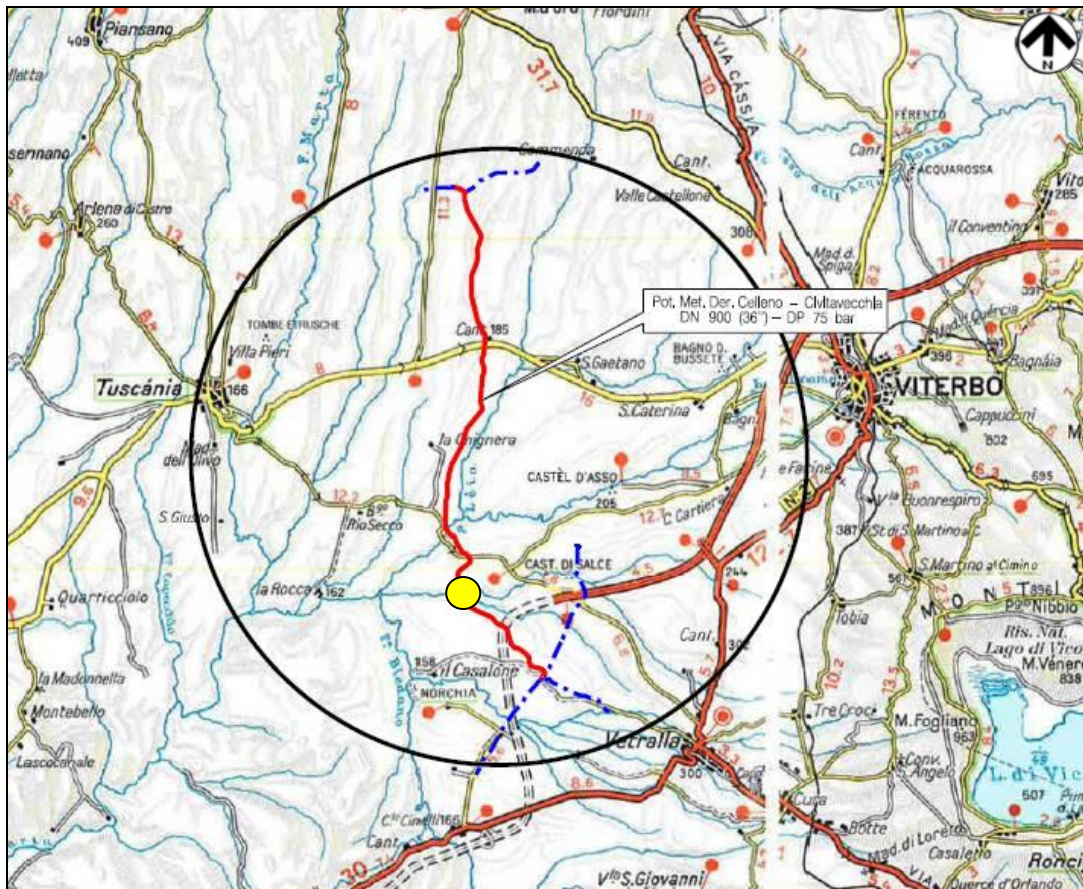


Figura 2/A – Corografia a scala 1:200.000 con indicata la posizione dell'attraversamento in studio (cerchio giallo) lungo il tracciato del metanodotto (linea rossa)

	<b>PROGETTISTA</b>  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	<b>COMMESSA</b> NR/19372	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> REGIONE LAZIO	<b>LSC-208/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar	Pagina 6 di 38	Rev.

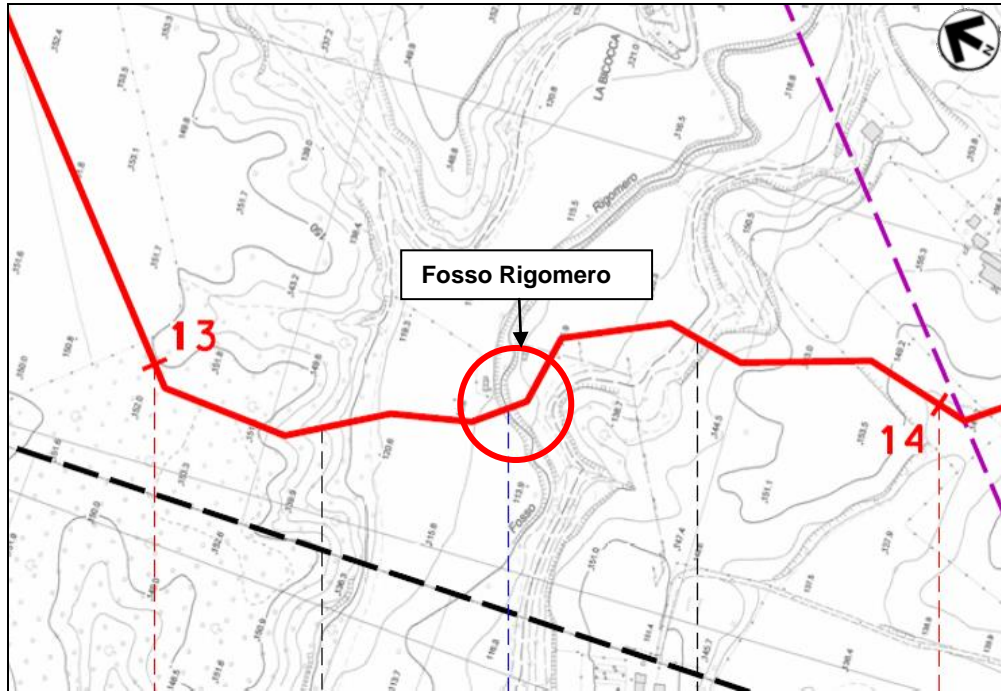


Figura 2/B – Stralcio planimetrico con localizzazione dell'attraversamento (progr. Km 13+436)



Figura 2/C – Immagine aerea con localizzazione della sezione di attraversamento (su base Google Earth)

	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/19372</b>	<b>UNITÀ</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE LAZIO</b>	<b>LSC-208/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia <b>DN 900 (36") – DP 75 bar</b>	Pagina 7 di 38	<b>Rev.</b>

### 3 STUDIO IDROLOGICO

#### 3.1 Generalità

Il F.so Rigomero è un corso d'acqua demaniale appartenente al bacino del F. Marta (v. Fig. 3.1/A), lungo il quale non sono presenti stazioni idrometrografiche e pertanto non esistono misure dirette dei valori di portata.

Il presente studio è stato redatto in conformità agli indirizzi dettati per il settore specifico dal "Piano stralcio per l'assetto idrogeologico" (PAI), predisposto dall'Autorità dei Bacini Regionali del Lazio e delle relative "Norme di Attuazione" ed Allegati tecnici.

Per calcolare le portate del corso d'acqua, e quindi i relativi parametri idraulici, si è utilizzato il metodo degli afflussi-deflussi, tramite il quale partendo dalla stime delle piovosità massime attese si risale alla portata in termini probabilistici.

Il bacino, riportato in Figura 3.1/A, alla sezione di attraversamento ha le seguenti caratteristiche morfometriche:

Area (km <sup>2</sup> )	Lunghezza asta (km)	Quota massima (m)	Quota sezione (m)	Quota media (m)	Pendenza media (%)
54.9	16.2	965	115	282	5.25

La zona oggetto della modellazione sta a cavallo della sezione di attraversamento per una lunghezza totale di circa 140 m. In tale tratto il corso d'acqua scorre in una piana di ampiezza pari a circa 200-250 m, con alveo incassato nel terreno alluvionale che ricopre il substrato argilloso sopra il quale si sono depositi i terreni piroclastici affioranti sui fianchi del vallone. Le sponde risultano vegetate con alberi e arbusti, il resto della piana è a prato (v. Foto 3.1/A).

	<b>PROGETTISTA</b>  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	<b>COMMESSA</b> NR/19372	<b>UNITA</b> 00
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE LAZIO</b>	<b>LSC-208/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar	Pagina 8 di 38	Rev.

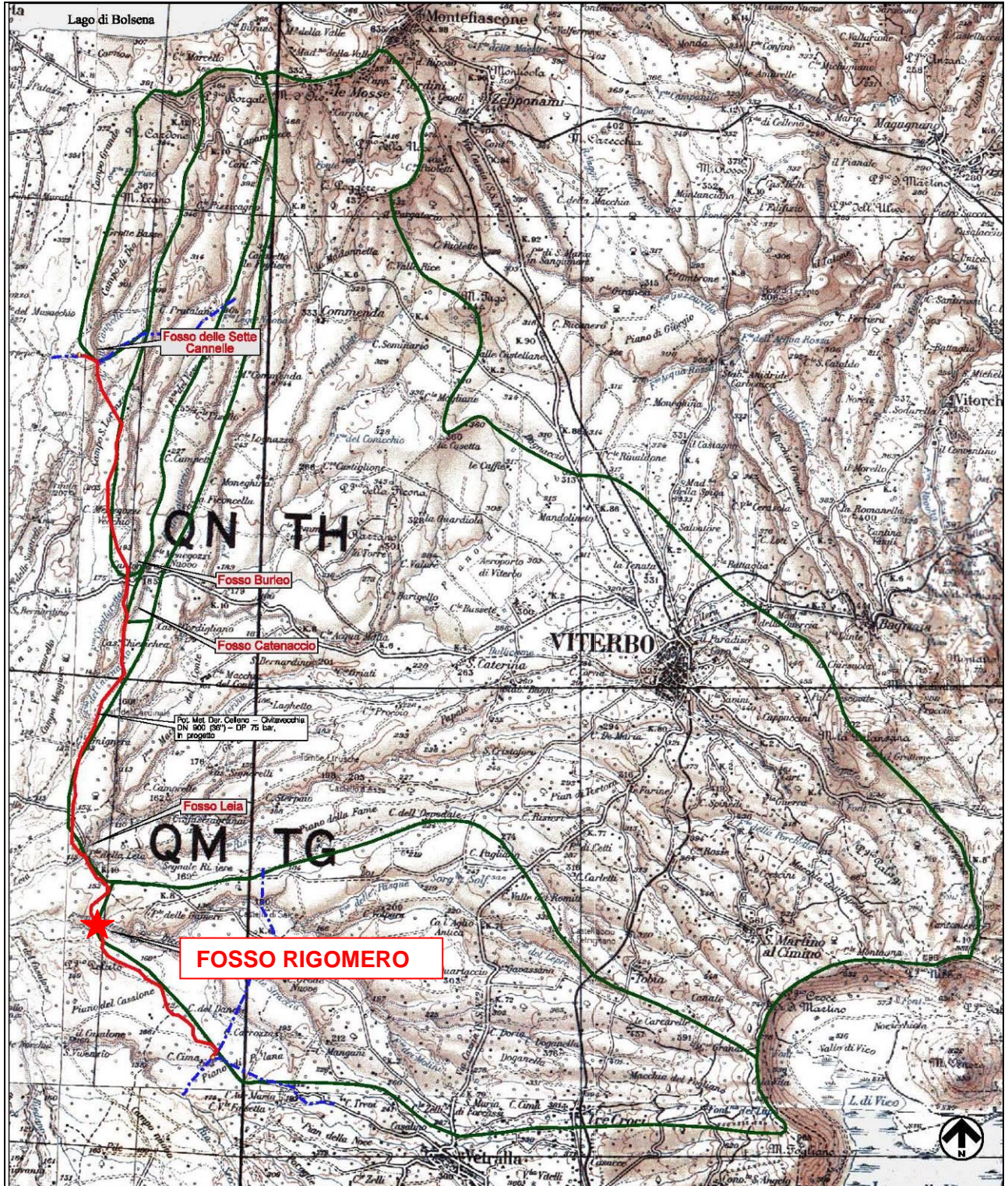


Figura 3.1/A – Planimetria con localizzazione dei fossi interferenti con il tracciato (tratto rosso) e relativi bacini idrografici. Evidenziato il fosso Rigomero.



	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/19372</b>	<b>UNITÀ</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE LAZIO</b>	<b>LSC-208/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> <b>Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar</b>	Pagina 9 di 38	<b>Rev.</b>



Foto 3.1/A – Tratto di alveo in corrispondenza dell'attraversamento

### 3.2 Metodologia afflussi deflussi

La portata  $Q(T)$  viene calcolata con la seguente relazione:

$$Q(T) = 278 \cdot \phi(T) \cdot A_b \cdot i(t_c, T) \cdot r(A_b, t_c)$$

in cui:

$T$  = tempo di ritorno, in anni

$Q(T)$  = massima portata al colmo relativa al tempo di ritorno, in  $m^3/s$

$A_b$  = area del bacino, in  $km^2$

$t_c$  = tempo di concentrazione, in ore

$i(t_c, T)$  = intensità di pioggia di durata  $\tau_b$  con tempo di ritorno  $T$ , in  $m/h$

$r(A_b, \tau_b)$  = coefficiente di ragguaglio all'area delle piogge.

### 3.3 Tempo di concentrazione

Il tempo di concentrazione  $t_c$  esprime la durata di precipitazione, che per il fine del calcolo idrologico della portata di piena corrisponde al cosiddetto tempo di corrivazione, definibile come il tempo che una particella d'acqua impiega dal punto più distante ad arrivare alla sezione di interesse.

Tra le varie relazioni proposte per la stima del tempo di corrivazione  $t_c$ , si è utilizzata quella di Giandotti:

	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/19372</b>	<b>UNITÀ</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE LAZIO</b>	<b>LSC-208/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> <b>Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar</b>	Pagina 10 di 38	<b>Rev.</b>

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,8\sqrt{H_m - H_0}}$$

in cui:

- $A$  = superficie del bacino (km<sup>2</sup>)
- $L$  = lunghezza dell'asta (km)
- $H_m$  = altezza media del bacino (m)
- $H_0$  = quota della sezione (m)

Nel caso in studio deriva:

$$t_c = 5.22 \text{ h}$$

### 3.4 Intensità di pioggia

#### 3.4.1 Metodo regionalizzazione

Con tale metodo per il calcolo dell'intensità di pioggia si fa riferimento alla legge intensità-durata-frequenza (IDF) a 3 parametri:

$$i_i(T) = a(T)/(b+t)^m$$

dove

- $t$  = durata della pioggia critica, supposta uguale a  $t_c$  (h)
- $b$  = parametro di deformazione della scala temporale (h)
- $m$  = parametro adimensionale compreso tra 0 e 1, indipendente sia dalla durata che dal tempo di ritorno
- $a(T)$  = parametro dipendente dal tempo di ritorno, ma indipendente dalla durata.

I valori di  $b$ ,  $m$ ,  $a(T)$  vengono desunti dalla Tabella 4.1 degli "Studi per l'aggiornamento del piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico", predisposto a cura dell' *Autorità dei Bacini Regionali* della Regione Lazio e dall' *Università degli Studi di Roma Tre*, sulla base della regionalizzazione delle precipitazioni di seguito riportati.

$$\text{F.so Rigomero: } \quad b=0.158 \quad m= 0.769 \quad a(T=200)= 0.103$$

Con la relazione sopra riportata si ottiene una intensità di pioggia per  $T= 200$  anni e per  $t_c= 5.22$  ore:

$$i = 0.02825 \text{ m/h}$$

#### 3.4.2 Intensità da misure pluviometriche

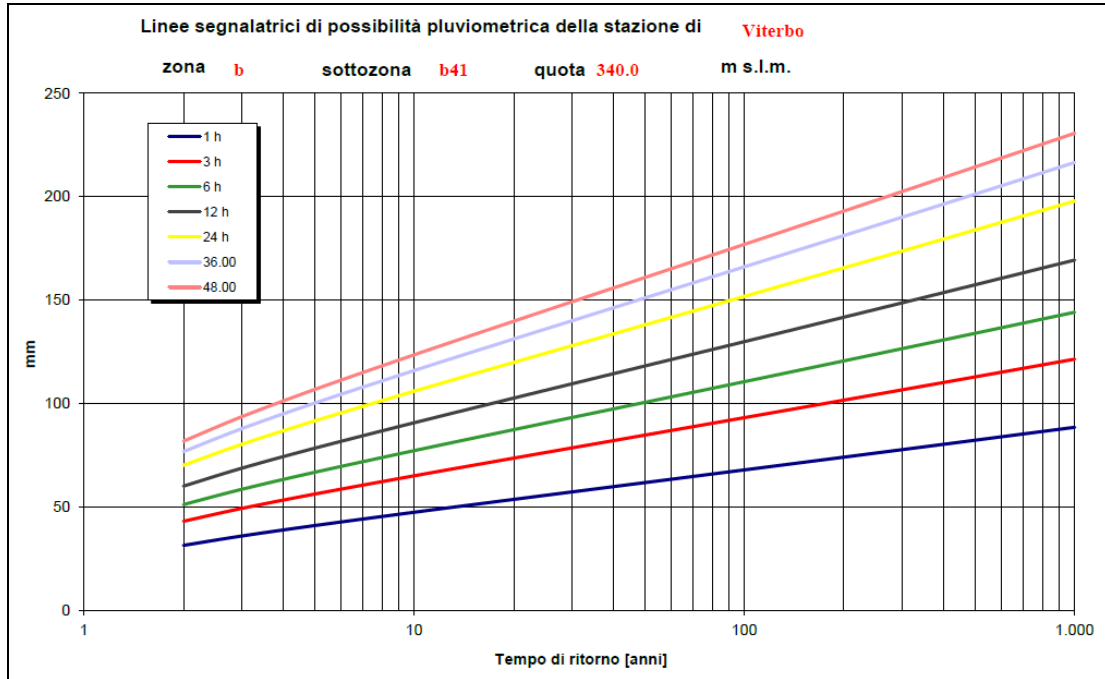
Esistono in prossimità del bacino del corso d'acqua in studio 2 stazioni pluviometriche, Viterbo e Vetralla, dalla cui elaborazione dei dati storici si sono derivate le curve segnalatrici di possibilità pluviometrica di seguito riportate nelle figure 3.4.2/A e 3.4.2/B.

Per un tempo di corrvazione  $t_c= 5.22$  h, da tali curve derivano altezze di precipitazione molto simili pari a 110-120 mm per un tempo di ritorno duecentennale.

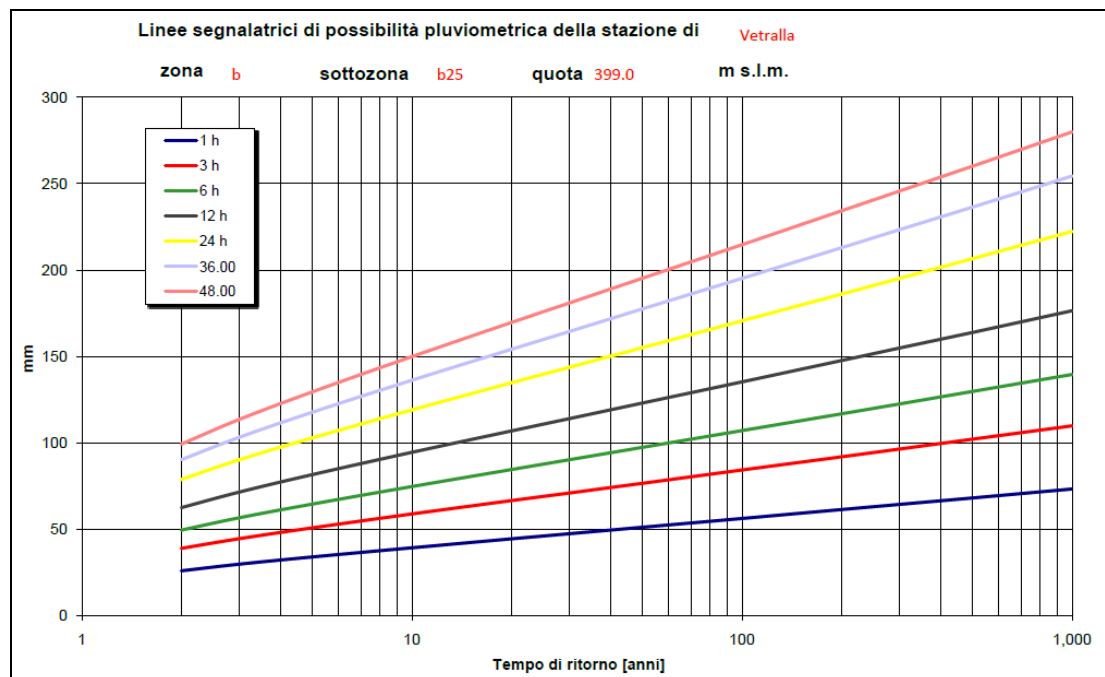
Pur assumendo il valore più elevato, l'intensità di pioggia nel tempo di corrvazione diventa:

	<b>PROGETTISTA</b>  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	<b>COMMESSA</b> NR/19372	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> REGIONE LAZIO	<b>LSC-208/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar	Pagina 11 di 38	Rev.

$$i = 0.023 \text{ m/h}$$



**Tabella 3.4.2/A – Curve segnalatrici di possibilità pluviometrica della stazione di Viterbo**



**Tabella 3.4.2/B – Curve segnalatrici di possibilità pluviometrica della stazione di Vetralla**

	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/19372</b>	<b>UNITÀ</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE LAZIO</b>	<b>LSC-208/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar	Pagina 12 di 38	<b>Rev.</b>

### 3.5 Coefficiente di ragguglio

Per il coefficiente di ragguglio si è usata la formula:

$$r = 1 - e^{(-1.1 \cdot t^{0.25})} + e^{(-1.1 \cdot t^{0.25} - 0.00386Ab)} = 0.961$$

### 3.6 Coefficiente di deflusso

Per il coefficiente di deflusso si utilizza il valore indicato in Tab. 4.2 del sopra menzionato studio dell'Autorità dei Bacini Regionali:

$$\phi_{(T=200 \text{ anni})} = 0.37$$

### 3.7 Portata di massima piena

Tramite la sopra riportata relazione afflussi-deflussi:

$$Q(T) = 278 \cdot \phi(T) \cdot A_b \cdot i(t_c, T) \cdot r(A_b, t_c)$$

La portata di massima piena risulta pari a:

- col metodo di regionalizzazione delle piovosità  $Q_{(T=200)} = 153 \text{ m}^3/\text{s}$
- utilizzando le curve segnalatrici di possibilità pluviometrica  $Q_{(T=200)} = 125 \text{ m}^3/\text{s}$

	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/19372</b>	<b>UNITÀ</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE LAZIO</b>	<b>LSC-208/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia <b>DN 900 (36") – DP 75 bar</b>	Pagina 13 di 38	<b>Rev.</b>

## 4 STUDIO IDRAULICO

Lo scopo dello studio idraulico è la valutazione delle caratteristiche di deflusso della corrente fluida, associate ad eventi di piena critici. È stata pertanto eseguita una modellazione a moto permanente del corso d'acqua sulla base della situazione geometrica attuale considerando che essa non viene modificata per nulla dalla realizzazione delle opere previste dal progetto.

### 4.1 Metodologia adottata

L'elaborazione è stata eseguita per un tratto di fiume sufficientemente esteso a cavallo dell'attraversamento da parte del gasdotto in progetto, prendendo in considerazione il valore di portata relativo al tempo di ritorno di 200 anni pari a  $Q_{200} = 153 \text{ m}^3/\text{s}$ .

I calcoli del profilo in moto permanente sono stati eseguiti per mezzo della costruzione di un modello numerico, utilizzando il codice HEC-RAS, Hydrologic Engineering Center - River Analysis System, prodotto dall'U.S. Army Corps of Engineers, di cui ampi riferimenti bibliografici sono disponibili in letteratura a riguardo sia delle basi teoriche, sia dello sviluppo numerico delle equazioni, sia di esperienze analoghe di applicazione già maturate in Italia e nel mondo.

Per le simulazioni è stata utilizzata la recente versione 5.0, che simula il flusso monodimensionale in condizioni stazionarie di fluidi verticalmente omogenei in qualsiasi sistema di canali o aste fluviali.

Il modello Hec-Ras permette di calcolare, per canali naturali od artificiali, il profilo idrico di correnti gradualmente variate ed in condizioni di moto stazionario (sia in regime di corrente lenta che di corrente veloce).

La scelta di operare con un modello che simuli le condizioni di moto permanente, scaturisce dalle seguenti considerazioni:

- la verifica idraulica considera un tratto limitato dell'asta fluviale nell'intorno della zona di interesse;
- il dimensionamento dell'intervento non dipende dallo sviluppo temporale dell'evento di piena, ma solo dal massimo valore di livello idrico raggiunto durante l'evento stesso e dai regimi delle velocità previste.

Le equazioni di conservazione del volume e della quantità di moto (equazioni di De Saint Venant) risolte nel modello sono derivate sulla base delle seguenti assunzioni:

- il fluido (acqua) è incomprimibile ed omogeneo, cioè senza significativa variazione di densità;
- la pendenza del fondo è piccola;
- le lunghezze d'onda sono grandi se paragonate all'altezza d'acqua, in modo da poter considerare la direzione della corrente in ogni punto parallela al fondo; è cioè trascurabile la componente verticale dell'accelerazione e su ogni sezione trasversale alla corrente si può assumere una variazione idrostatica della pressione.

Integrando le equazioni di conservazione della massa e della quantità di moto ed introducendo la resistenza idraulica (attrito) e le portate laterali adottate si ottiene:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q$$

	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/19372</b>	<b>UNITÀ</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE LAZIO</b>	<b>LSC-208/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> <b>Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar</b>	Pagina 14 di 38	<b>Rev.</b>

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \alpha \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 AR} = 0$$

dove:

- A : area della sezione bagnata (m<sup>2</sup>);
- C : coefficiente di attrito di Chezy (m<sup>1/2</sup>/s);
- g : accelerazione di gravità (m/s<sup>2</sup>);
- h : altezza del pelo libero rispetto ad un livello di riferimento orizzontale (m);
- Q : portata (m<sup>3</sup>/s);
- R : raggio idraulico (m);
- α : coefficiente di distribuzione della quantità di moto;
- q : portata laterale addotta (m<sup>3</sup>/s).

#### Assetto geometrico

HEC-RAS richiede la schematizzazione del corso d'acqua con tratti successivi di lunghezza variabile individuati alle estremità da sezioni di geometria nota. La posizione delle sezioni trasversali va scelta in modo da descrivere in maniera adeguata il tratto considerato prevedendo, in linea di massima, sezioni più fitte nei tratti dove la geometria trasversale dell'alveo risulta molto variabile e più rade nei tratti in cui la geometria si mantiene piuttosto uniforme. In ogni sezione sono individuati l'alveo principale e le golene, i relativi coefficienti di Manning (scabrezza) e le eventuali arginature. Il modello è in grado di simulare gli effetti indotti sui livelli dalla presenza di sezioni singolari quali ponti, tombini, stramazzi ed ostruzioni dell'alveo.

Nel caso della modellazione in oggetto non si è fatto riferimento ad alcuna ramificazione dell'alveo simulato, implementando modelli completamente monodimensionali sulla base della geometria dell'alveo.

#### Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno sono necessarie per stabilire il livello del pelo libero dell'acqua all'estremità del sistema (a monte e/o a valle). In un regime di corrente lenta, la condizione al contorno necessaria è quella di valle (se la corrente è lenta non si risente di ciò che accade a monte), mentre nel caso di corrente veloce vale l'opposto. Se invece viene effettuato un calcolo in regime di flusso misto, allora le condizioni al contorno devono essere definite a valle e a monte.

#### Calcolo della velocità di deflusso

Il valore della velocità media, calcolato dal modello in riferimento alla geometria complessiva di ogni sezione trasversale, è oggetto di una reinterpretazione all'interno della sezione trasversale per la corretta valutazione del valore della velocità di deflusso da attribuire all'alveo e alla zona golenale (qualora presente) e da considerare nel calcolo del carico totale.

Il calcolo è eseguito in riferimento alle seguenti formulazioni, che si basano sulla conservazione del valore della pendenza motrice per l'intera sezione:

$$Q = M \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot \sqrt{i}$$

	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/19372</b>	<b>UNITÀ</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE LAZIO</b>	<b>LSC-208/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> <b>Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar</b>	Pagina 15 di 38	<b>Rev.</b>

è l'equazione di Chezy, scritta con la notazione di Manning-Strickler per la scabrezza, con:

- M coefficiente di scabrezza di Manning-Strickler (0.06 per l'alveo e 0.04 per le aree golenali)
- A area della sezione bagnata (m<sup>2</sup>)
- R raggio idraulico (m)
- i pendenza motrice

Si assume che la scabrezza possa variare lungo i singoli tratti di una sezione, e che la pendenza motrice sia costante nei tratti compresi tra due sezioni del modello.

#### Risultati dei calcoli idraulici

Oltre ai valori di portata e di livello calcolati direttamente dal codice di calcolo, il modello fornisce in output anche i valori dell'area, larghezza del pelo libero, della velocità, dell'altezza d'acqua e del numero di Froude per ogni sezione di calcolo. E' fornita anche la linea del carico totale ottenuta come:

$$H = h + \alpha \frac{V^2}{2g}$$

dove:

- h livello idrico (m)
- $\alpha$  coefficiente di ragguglio
- V velocità media nella sezione trasversale (m/s)
- g accelerazione di gravità (m/s<sup>2</sup>).

## 4.2 Ricostruzione dei livelli di piena

La verifica idraulica ha lo scopo di valutare i livelli idrici raggiunti dalla piena di progetto nel tratto di interesse ed i relativi parametri idraulici, in situazione ante e post intervento, qualora diverse. Per la caratterizzazione geometrica del tratto di alveo del F.so Rigomero in studio ci si è basati su di serie di 5 sezioni trasversali la cui ubicazione è riportata e nella planimetria di Figura 4.2/A e nello schema planimetrico di Figura 4.2/B.

	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/19372</b>	<b>UNITÀ</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE LAZIO</b>	<b>LSC-208/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> <b>Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar</b>	Pagina 16 di 38	Rev.

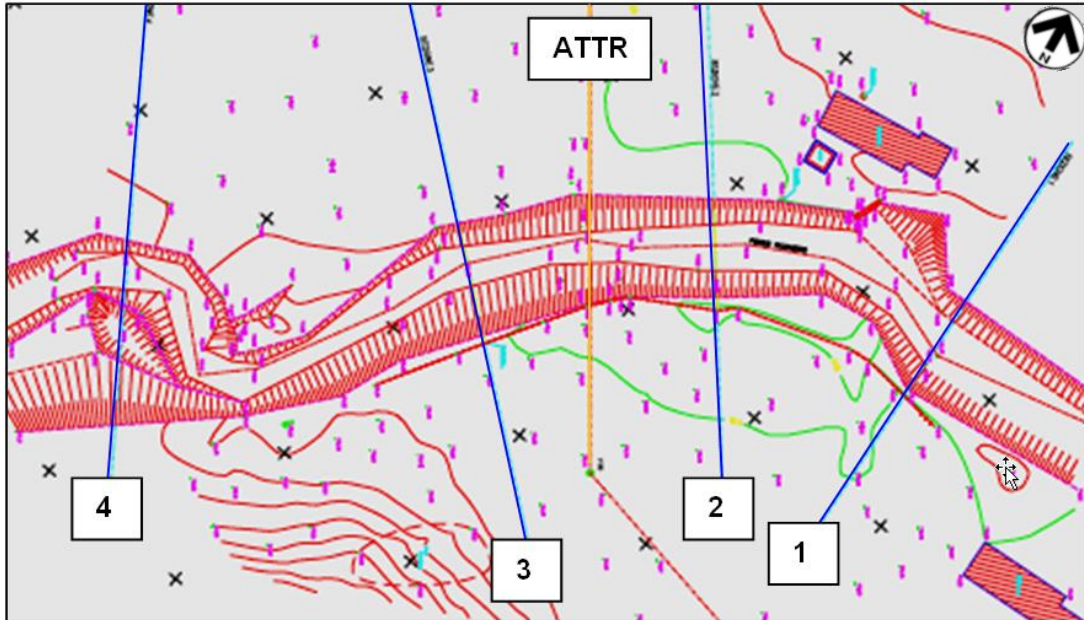


Figura 4.2/A – Schema planimetrico delle sezioni utilizzate per la modellazione

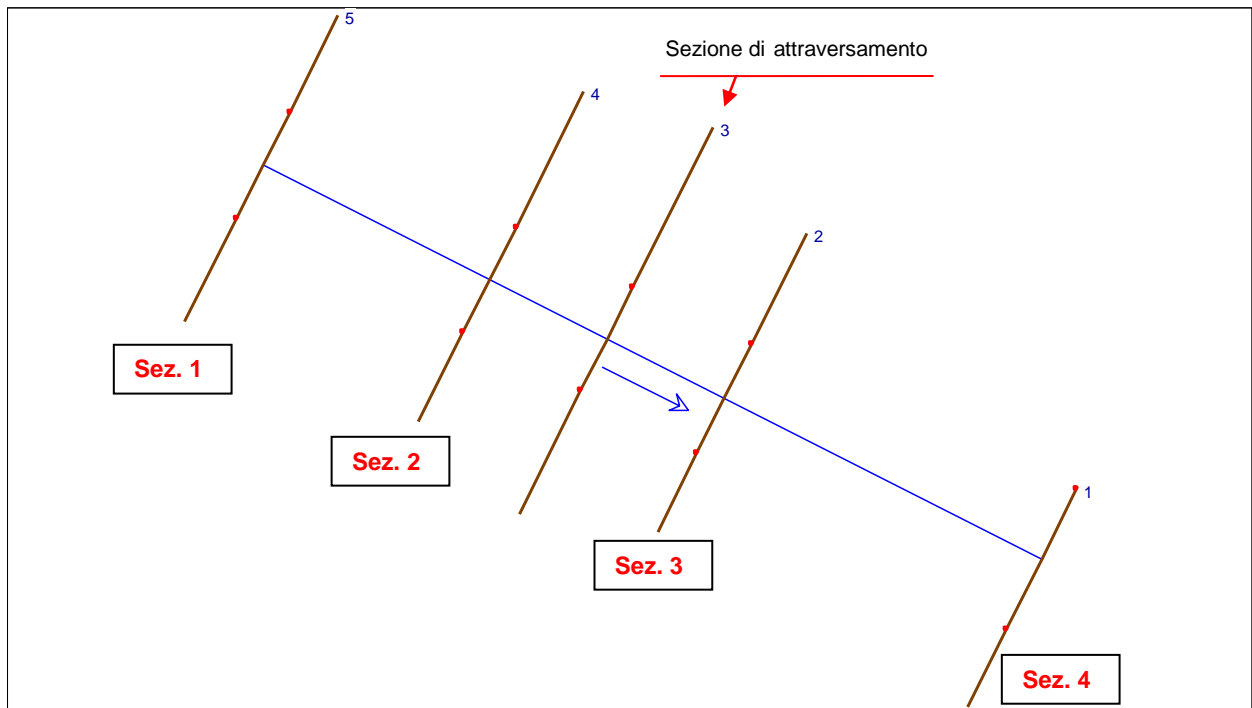


Figura 4.2/B – Schema delle sezioni utilizzate nella modellazione idraulica



	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/19372</b>	<b>UNITÀ</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE LAZIO</b>	<b>LSC-208/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> <b>Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar</b>	Pagina 17 di 38	<b>Rev.</b>

### 4.3 Risultati della modellazione

I risultati della modellazione sono riportati in allegato 1, dove figurano il profilo idrico, le sezioni indicanti i livelli raggiunti dalle portate di piena di progetto nonché le tabelle di dettaglio con i vari parametri idraulici per le singole sezioni che interessano il tracciato del metanodotto in esame.

I valori dei principali parametri vengono riassunti nella tabella di seguito riportata (v. Tab. 4.3/A). Si ricorda che essi sono relativi ad un evento critico di tempo di ritorno 200 anni. In Figura 4.3./A si riporta l'assonometria del tratto modellato.

In sintesi, in relazione al tratto interesse dai lavori in oggetto, si può osservare quanto segue:

- per tutto il tratto modellato, l'alveo, a causa della sezione non molto approfondita nella piana alluvionale (circa 2.5 m), in caso di piena duecentennale non è sufficiente a contenere la piena di progetto ma può aver luogo esondazione;
- i battenti idrici in alveo possono arrivare lungo il tratto modellato a valori di 2÷2.7 m, ai quali si sommano le altezze di esondazione dell'ordine di 1÷1.3 m; nelle aree di esondazione, a parte la vegetazione arborea ripariale, sono presenti campi coltivati o a prato e il progetto non prevede alcuna opera fuori terra;
- nella sezione di attraversamento le velocità del flusso idrico in alveo sono pari a 2.33 m/s; nella piana alluvionale le velocità del flusso d'esondazione sono dell'ordine di 1.5 m/s.

Sezione	Portata	Quota fondo	Livelli idrici	Battenti idrici	Vel. Canale	Sezione flusso	Larghezza sommità	n. Froude
	(m <sup>3</sup> /s)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m <sup>2</sup> )	(m)	
1	153	112.37	116.15	3.78	2.97	61.14	39.12	0.58
2	153	112.48	116.05	3.57	3.01	61.59	42.1	0.59
<b>ATTR.</b>	<b>153</b>	<b>112.36</b>	<b>116.12</b>	<b>3.76</b>	<b>2.33</b>	<b>79.22</b>	<b>49.25</b>	<b>0.45</b>
3	153	112.44	115.62	3.18	3.76	47.68	38.05	0.79
4	153	111.88	115.16	3.28	3.53	46.2	27.6	0.74

**Tabella 4.3/A - Principali parametri idraulici nel tratto modellato**  
(in grassetto la sezione d'attraversamento del metanodotto)

	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/19372</b>	<b>UNITÀ</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE LAZIO</b>	<b>LSC-208/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> <b>Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar</b>	Pagina 18 di 38	Rev.

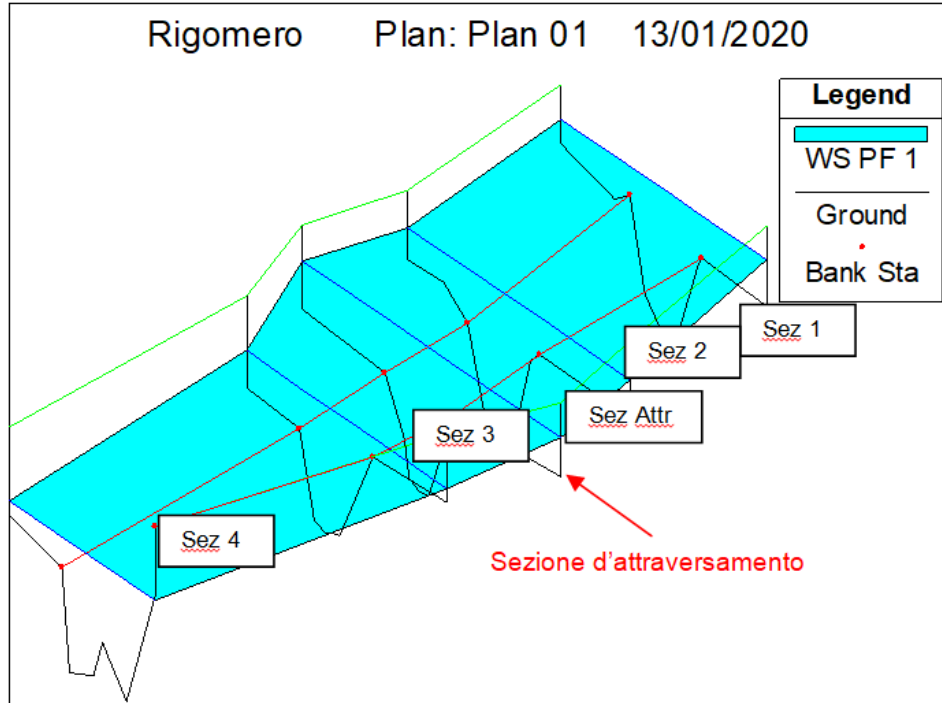


Figura 4.3/A – Vista assometrica del tratto modellato

	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/19372</b>	<b>UNITÀ</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE LAZIO</b>	<b>LSC-208/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar	Pagina 19 di 38	<b>Rev.</b>

## 5 RISCHI IDRAULICI

I rischi cui è soggetta una tubazione in corrispondenza di un attraversamento fluviale, o di un tratto di parallelismo, sono i seguenti:

1. Erosione di fondo alveo
2. Approfondimento di fondo alveo
3. Erosione spondale e relativo spostamento laterale dell'alveo
4. Cambio di percorso e taglio di meandro

### 5.1 Erosione di fondo alveo

L'erosione del fondo alveo può aver luogo a seguito della velocità della corrente rispetto ad una situazione di equilibrio, come avviene in concomitanza con le fasi di piena e in corrispondenza di zone singolari come anse, confluenze, restringimenti. Si distingue tra erosione generale lungo un tratto di corso ed erosione locale (v. Figura ).

L'erosione generale avviene a seguito di complesse interazioni tra flusso idrico, trasporto solido e morfologia del canale in genere in fase di piena. Erosione "intermittente" ha luogo durante piene in corsi d'acqua a fondo mobile quando il fondo alveo si abbassa per asportazione del materiale al fondo in corrispondenza delle massime portate (quindi massima velocità), per poi essere soggetto a sedimentazione nelle code di piena, quando la velocità diminuisce.

L'occorrenza di questo pericoloso fenomeno risulta di difficile riscontro a posteriori perché spesso non si ha una variazione del profilo di fondo pre e post piena, ma, appunto per questo, rappresenta un serio pericolo per le tubazioni installate sotto i fondo alvei a letto mobile, che possono risultare danneggiate (abrasione della protezione, bugnatura, ecc.) senza che ce ne sia evidenza, se non con esami tipo passaggio di pig.

L'erosione locale si verifica a causa di un'accelerazione della corrente a causa di una ostruzione o costrizione del flusso in corrispondenza di pile e spalle dei ponti, scogliere, massi o grossi tronchi presenti sul fondo che determinano vortici con aumento della velocità e conseguente erosione locale dei sedimenti.

I valori della profondità d'erosione possono essere stimati quantitativamente, seppur con grande cautela, sulla base delle caratteristiche idrauliche e morfologiche del corso, come indicato nel successivo paragrafo.

	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/19372</b>	<b>UNITÀ</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE LAZIO</b>	<b>LSC-208/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar	Pagina 20 di 38	<b>Rev.</b>

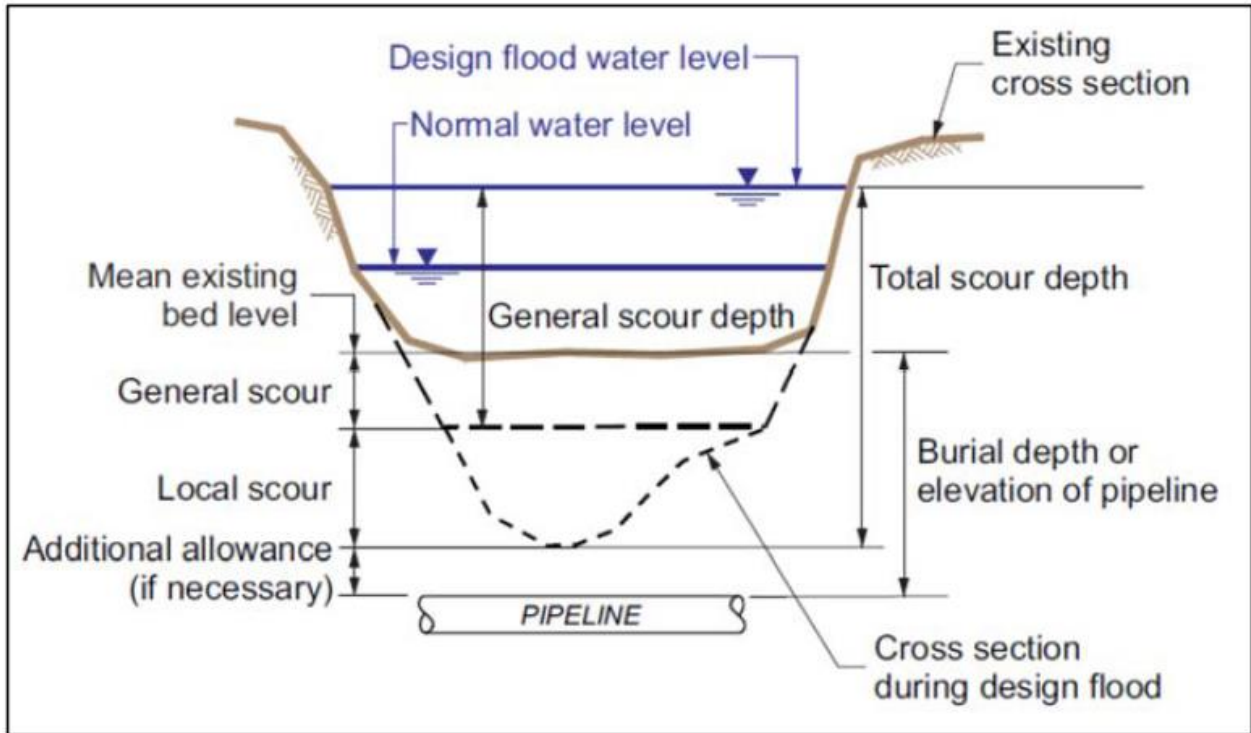


Figura 5.1/A – Schema di erosione generale e locale (da Veldeman, 2008)

## 5.2 Approfondimento di fondo alveo

Mentre per erosione di fondo si intende il fenomeno causato dal singolo evento di piena, il termine approfondimento si rivolge alla modellazione che interessa in genere lunghi tratti fondo alveo a seguito di prolungati periodi di flusso. Si potrebbe chiamare tendenza evolutiva all'approfondimento del fondo alveo.

Questo fenomeno è il risultato di un complicato processo di modellazione della morfologia del canale che tende a trovare un equilibrio con il regime di flusso.

Esso può aver luogo per aumento delle portate nel tempo, per diminuzione del materiale solido disponibile, per modifiche alla tipologia di corso (ad es. da multicursale a monocursale).

La stima della tendenza evolutiva necessita del confronto di profili fluviali rilevati in tempi diversi, nonché di osservazioni su manufatti presenti lungo il corso da tempo.

## 5.3 Erosione spondale

Le complesse modalità di trasporto e deposito del materiale alluvionale e le variazioni di velocità lungo il profilo e le sezioni fluviali, possono comportare l'erosione e lo spostamento laterale delle sponde. Tale fenomeno risulta accentuato nella parte esterna delle anse e dei meandri e nei corsi d'acqua a rami intrecciati. L'erosione può svilupparsi lentamente su lunghi periodi, ma anche nel breve volgere di una piena. La stima dell'esistenza del fenomeno si basa su osservazioni morfologiche delle sponde, delle condizioni della copertura vegetazionale e quando disponibili da misure topografiche effettuate nel tempo. Più difficile risulta stimare la potenzialità del processo quando esso non si è ancora manifestato o è quiescente da tempo.

	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/19372</b>	<b>UNITÀ</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE LAZIO</b>	<b>LSC-208/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> <b>Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar</b>	Pagina 21 di 38	<b>Rev.</b>

Il processo erosivo delle sponde comporta forti rischi per le curve di discesa/risalita delle tubazioni, che, se non localizzate a sufficiente distanza, possono venir direttamente coinvolte dal flusso idrico.

#### 5.4 Cambio di percorso e taglio di meandro

In particolari situazioni il corso d'acqua può abbandonare il suo percorso e formare un nuovo canale. Tipiche situazioni sono in corrispondenza delle conoidi in ambiente montano, dove l'elevato trasporto solido può provocare al cambio di pendenza improvvisi depositi e ostruzioni del corso, di corsi d'acqua a rami intrecciati con passaggio da un ramo all'altro e di meandri nelle zone di bassa pianura con la formazione del cosiddetto "*taglio di meandro*". La differenza tra i vari processi è che nei primi due casi il fenomeno si compie in genere nel corso di un singolo evento di piena, mentre nell'ultimo progressivamente su tempi molto più lunghi.

Condotte posizionate in corrispondenza delle zone di nuovo percorso del fiume sono ovviamente a rischio di essere coinvolte dal fenomeno. In particolare potrebbe accadere che il flusso si imponga lungo la trincea di posa della tubazione, grazie alla generale minore resistenza dei terreni di riempimento rispetto al terreno in posto.

#### 5.5 Stima dello spessore di erosione generalizzata in caso di evento critico

L'erosione generale del fondo di un corso d'acqua corrisponde all'abbassamento del letto che si può verificare durante una piena in un tratto di corso. La possibilità che una tubazione venga esposta a causa dell'erosione in un evento di piena si stima tramite la valutazione del massimo spessore di fondo alveo asportabile dalla piena di dato periodo di ritorno. Se la quota della generatrice superiore della condotta è superiore al livello di erosione previsto, allora la tubazione è da considerarsi vulnerabile nei confronti dell'evento di piena considerato.

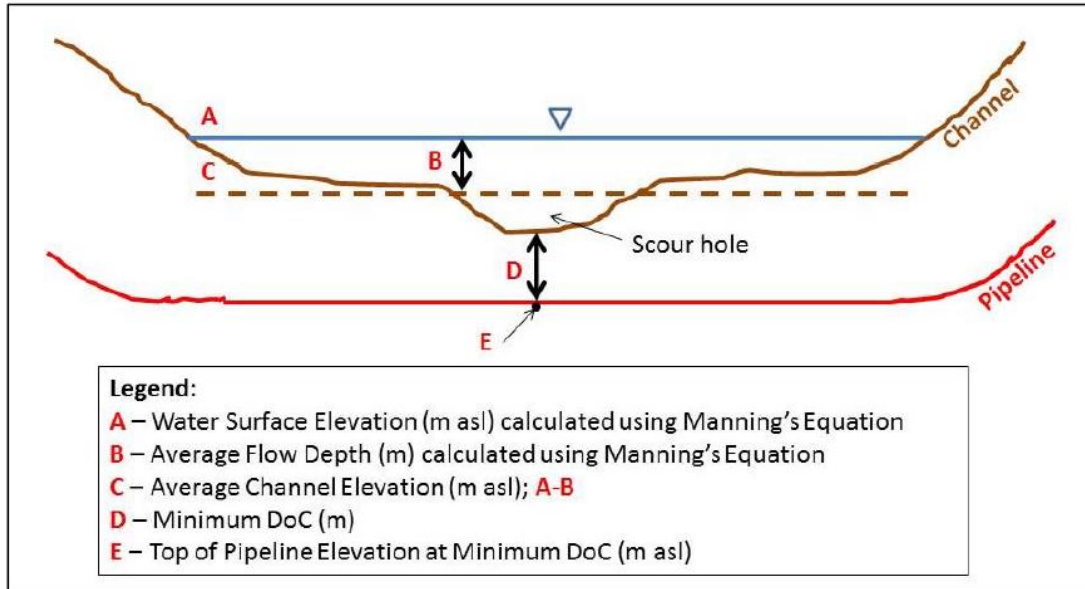
Il fenomeno è rappresentato da abbassamenti spesso transitori e reversibili dell'alveo a fondo mobile in fase di piena di difficile valutazione sia sperimentale che analitica. Essi dipendono dalle caratteristiche idrodinamiche della corrente e dal tipo di materiale costituente il fondo.

Le ricerche condotte portano ad interpretare il fenomeno nei terreni prevalentemente sabbiosi come la conseguenza di una pronunciata ondulazione del fondo che, ad opera dei cavi, incide il profilo d'alveo. Poiché il sistema di tali dune trasla verso valle, tutto l'alveo gradatamente viene interessato dalla massima depressione dei cavi.

Negli alvei torrentizi con terreni grossolani (ghiaia e ciottoli), invece, il fenomeno consiste nel rapido ed intenso modellamento del fondo con formazione di profondi solchi divaganti tra le sponde.

Il fenomeno dell'aratura di fondo è di difficile modellazione a causa delle numerosissime variabili che entrano in gioco e soprattutto delle condizioni locali, difficilmente prevedibili, che governano la dinamica del fenomeno stesso.

	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/19372</b>	<b>UNITÀ</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE LAZIO</b>	<b>LSC-208/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> <b>Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar</b>	Pagina 22 di 38	<b>Rev.</b>



**Figura 5.5/A – Schema di calcolo dell'erosione di fondo (da Veldeman, 2008)**  
(DoC=depth of cover, spessore di copertura)

La stima dello spessore di erosione per una data portata di progetto è assai problematica stanti i vari parametri che in effetti governano il fenomeno: geometria della sezione, caratteristiche del sedimento in posto, trasporto solido, caratteristiche del flusso idrico, ecc.; pertanto, al di là delle trattazioni analitiche, richiede grande sensibilità ed esperienza.

Tra i metodi analitici di facile approccio si segnala quello proposto da *Yamremko and Cooper (1983)* che assume la proporzionalità dello spessore di erosione in corrispondenza di un dato evento idrologico critico con l'altezza idrometrica media (=rapporto tra area del flusso e perimetro bagnato) secondo la seguente relazione:

$$d_s = z_n \cdot d_m$$

dove:  $d_s$  = spessore dell'erosione al di sotto del letto

$d_m$  = altezza idrometrica al di sopra del livello medio del canale inciso

$z_n$  = fattore di correzione, funzione della morfologia del canale (v. Tab. 5.5/A)

Channel Morphology	Correction Factor (z-factor)
Straight Reach	0.25
Moderate Bend	0.5
Severe Bend	0.75

**Tabella 5.5/A – Fattore empirico di correzione**  
(da Joyce and Chandler, 2004)

	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/19372</b>	<b>UNITÀ</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE LAZIO</b>	<b>LSC-208/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> <b>Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar</b>	Pagina 23 di 38	<b>Rev.</b>

Simile al metodo soprariportato di *Yamremko and Cooper*, si può far ricorso al metodo cosiddetto *Regime di Neill* (1964) secondo il quale:

$$d_s = z'_n \cdot d_i \cdot (q_i/q_f)^m$$

dove:  $d_s$  = spessore dell'erosione al di sotto del letto

$d_f$  = altezza idrometrica sopra il livello medio del canale inciso in caso di piene rive

$z'_n$  = fattore di correzione, funzione della morfologia del canale (v. Tab. 5.5/B)

$q_i, q_f$  = rispettivamente la portata unitaria nel caso di piene rive e di piena di progetto

$m$  = esponente pari a  $0.67 \div 0.85$  in funzione della granulometria.

Channel Morphology	Correction Factor (z-factor)
Straight Reach	0.5
Moderate Bend	0.6
Severe Bend	0.7

**Tabella 5.5/B – Fattore empirico di correzione**  
(da Pemberton and Lara, 1984)

Nel tratto in esame si calcola che eventuali fenomeni di erosione generalizzata potrebbero avere una profondità massima di 1.20 m, in assenza di opere di protezione e stabilizzazione d'alveo.

## 5.6 Approfondimenti localizzati (buche in alveo)

Essi consistono in fenomeni di scavo localizzato, che si producono nel letto di un fiume in genere in fase di piena, dovuti perlopiù ai seguenti motivi:

- allontanamento della corrente dalle condizioni di moto uniforme e creazione di filetti particolarmente veloci
- presenza di ostacoli trasversali al moto
- irregolarità geometriche dell'alveo.

In qualche caso essi sono ben prevedibili, come ad es. in corrispondenza di manufatti (pile di ponti, testa di pennelli, a valle di briglie, etc.); in altri casi essi dipendono da situazioni contingenti, spesso casuali, che si vengono a produrre in fase di piena (tronchi d'albero, trovanti, etc.).

Il meccanismo che porta alla formazione delle buche può avvenire secondo i due seguenti schemi:

- vena veloce superficiale con sottostante zona di turbolenza in cui il materiale di fondo viene eroso all'indietro, indi sollevato e portato via dalla vena superficiale

	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/19372</b>	<b>UNITÀ</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE LAZIO</b>	<b>LSC-208/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> <b>Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar</b>	Pagina 24 di 38	<b>Rev.</b>

- vena veloce aderente al fondo che trasporta il materiale verso valle, con sovrastante zona di turbolenza.

La buca non si approfondisce indefinitamente, ma tende ad una condizione d'equilibrio con pendenze prossime all'angolo di riposo del materiale d'alveo. La profondità della buca (s) è di incerta stima; fra le numerose relazioni proposte dagli Autori si ricordano le seguenti:

$$s = 0,378 \cdot H^{0,5} \cdot q^{0,35} + 2,15 \cdot a \quad \text{(Schoklitsch)}$$

$$s = 0,65 \cdot (H-h') \cdot q^{3/5} \cdot D_{90}^{-2/5} - h \quad \text{(Eggemberger)}$$

$$s = h \cdot (1,82 - 1,64(1 - e^{-(\lg \tau / \rho v^2 + 7)})) \cdot (94 - 8 \lg \tau / \rho v^2)^{-1} \cdot 10^3 \quad \text{(Adami)}$$

Nel presente studio è stata utilizzata la relazione di Schoklitsch nella quale:

**s** = profondità massima della buca sulla quota media dell'alveo (m);

**H** =  $h + v^2/2g$ : carico totale a monte della buca (m);

**q** = Q/L: portata per unità di larghezza dell'alveo ( $m^3/\text{sec m}$ );

**a** = dislivello delle quote d'alveo a monte e a valle (0.1÷0.5 m, in funzione della dimensione del materiale)

Nel tratto in esame si calcola che eventuali buche, in assenza di opere di protezione del fondo alveo, potrebbero avere una profondità massima di 1.5 m.

## 5.7 Risultati delle verifiche

Sulla base dei risultati delle verifiche idrauliche effettuate, delle informazioni cartografiche e di immagini aeree riprese in periodi diversi, nonché dei sopralluoghi condotti in posto, si possono effettuare le seguenti osservazioni:

- stabilità planimetrica: essendo l'alveo di modeste dimensioni, con le sponde fissate dalla vegetazione, privo di evidenti sintomi di erosione spondale, si ritiene che il corso d'acqua risulti planimetricamente stabile;
- stabilità altimetrica: non si sono osservati evidenti segni di tendenza all'approfondimento generalizzato dell'alveo;
- approfondimenti temporanei in fase di piena: gli spessori di fondo alveo mobilizzabili temporaneamente in fase di piena, nel caso non si adottassero misure di prevenzione, si sono stimati, utilizzando la metodologia sopra riportata, in circa 1.2 m, e la profondità di buche locali in alveo risulta pari a circa 1.5 m.



	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/19372</b>	<b>UNITA</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE LAZIO</b>	<b>LSC-208/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> <b>Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar</b>	Pagina 25 di 38	<b>Rev.</b>

## 6 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il tracciato del metanodotto Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno-Civitavecchia attraversa l'alveo del Fosso Rigomero, nel territorio del comune di Viterbo.

La sezione prevista di attraversamento si localizza nell'ambito di un fondovalle pianeggiante, largo circa 200 m.

L'alveo ha una sezione incisa di circa 2.5 m ed una larghezza dell'ordine di 4÷5 m.

L'alveo è costituito in superficie da alluvione limosa con frammenti di roccia piroclastica. A profondità dell'ordine di 4 m dalla piana alluvionale è presente il substrato argilloso.

Le sponde sono fissate dalla vegetazione che favoriscono la stabilità planimetrica del corso. Non si sono riscontrati fenomeni di approfondimento generalizzato di fondo alveo.

Lo studio idrologico-idraulico, condotto per un tempo di ritorno pari a 200 anni, ha evidenziato i parametri della corrente di piena in corrispondenza dell'attraversamento riassumibili essenzialmente nel battente idrico a piene rive di circa 2.4 m con possibile ulteriore battente in caso di piena dell'ordine di 1.3 m; la velocità in alveo ha valori di 2.33 m/s.

Sulla base di tali parametri si sono stimati anche gli eventuali massimi approfondimenti che l'alveo, qualora privo di interventi di protezione, potrebbe subire in fase di piena critica (circa 1.5 m).

Al fine di garantire la sicurezza del metanodotto nel tratto di attraversamento, il progetto prevede le seguenti opere, come illustrato sul disegno di progetto Dis. AT – 19732-06 e sul disegno tipologico ST.G15

- copertura di non meno di 2.5 m al sopra della generatrice superiore della condotta per il tratto di attraversamento del letto del corso d'acqua;
- copertura di 2.0 m per il rimanente tratto di attraversamento del fondovalle;
- rivestimento delle sponde e del fondo alveo per uno spessore di 1 m con massi di volume pari a 0.7 m<sup>3</sup> intasati con scapolame e terreno vegetale che permetta il successivo rinverdimento;
- impiego di tubazione gunitata con funzione antigalleggiamento in fase di posa, nonché di ulteriore garanzia nei confronti della protezione meccanica della condotta.

In tal modo la tubazione del metanodotto in attraversamento del corso d'acqua in oggetto risulterà adeguatamente protetta nei confronti di qualsiasi evento di approfondimento dell'alveo e nel contempo l'alveo stesso sarà ripristinato nella situazione ante operam.

	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/19372</b>	<b>UNITA'</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE LAZIO</b>	<b>LSC-208/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar	Pagina 26 di 38	<b>Rev.</b>

## ALLEGATO 1

### RISULTATI DELLA MODELLAZIONE IDRAULICA

Tr= 200 anni

	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/19372</b>	<b>UNITA</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE LAZIO</b>	<b>LSC-208/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> <b>Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar</b>	Pagina 27 di 38	<b>Rev.</b>

## LEGENDA

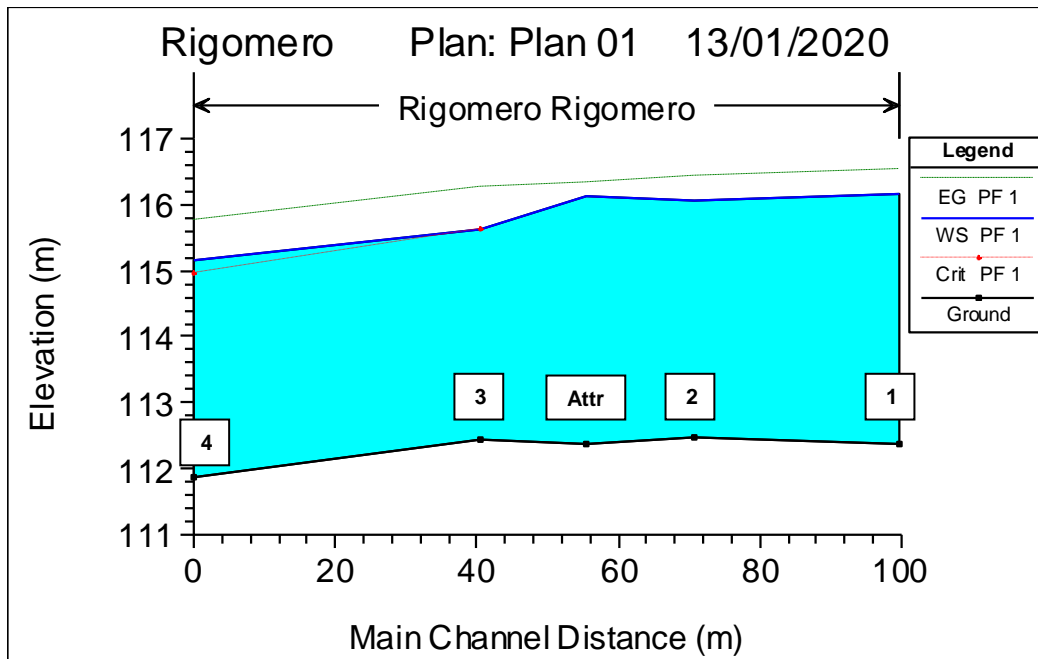
Reach	Ramo fluviale
River Sta	Sezione fluviale
Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Portata complessiva defluente nell'intera sezione trasversale
Min Ch El (m)	Minima quota dell'alveo nel canale principale
W.S. Elev (m)	Quota del pelo libero
Crit W.S. (m)	Quota critica del pelo libero
E.G. Elev (m)	Quota della linea del carico totale per il profilo liquido calcolato
E.G. Slope (m/m)	Pendenza della linea del carico totale
Vel Chnl (m/s)	Velocità media nel canale principale
Flow Area (m <sup>2</sup> )	Area totale della sezione liquida effettiva
Top Width (m)	Larghezza superficiale della sezione liquida
Froude # Chl	Numero di Froude nell'alveo principale
EG PF....	Linea del carico totale per il profilo liquido calcolato
WS PF....	Linea del pelo libero per il profilo liquido calcolato
Ground	Profilo del terreno
Bank Sta	Limite della sponda fluviale

	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/19372</b>	<b>UNITA</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE LAZIO</b>	<b>LSC-208/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> <b>Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar</b>	Pagina 28 di 38	<b>Rev.</b>

### TABELLA RIASSUNTIVA RISULTATI MODELLAZIONE

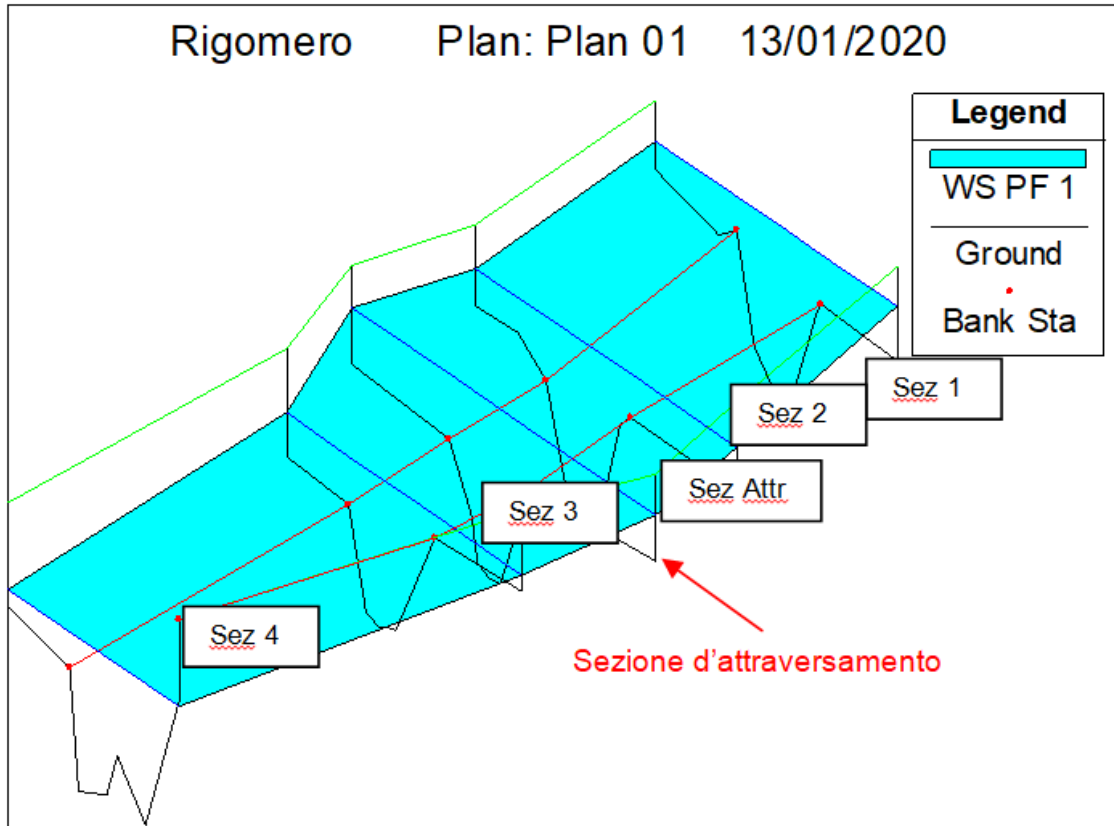
Sezione	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude
1	5	PF 1	153	112.37	116.15		116.52	0.003348	2.97	61.14	39.12	0.58
2	4	PF 1	153	112.48	116.05		116.42	0.003439	3.01	61.59	42.1	0.59
Attrav.	3	PF 1	153	112.36	116.12		116.34	0.001952	2.33	79.22	49.25	0.45
3	2	PF 1	153	112.44	115.62	115.62	116.25	0.006363	3.76	47.68	38.05	0.79
4	1	PF 1	153	111.88	115.16	114.96	115.76	0.006076	3.53	46.2	27.6	0.74

### PROFILO LONGITUDINALE



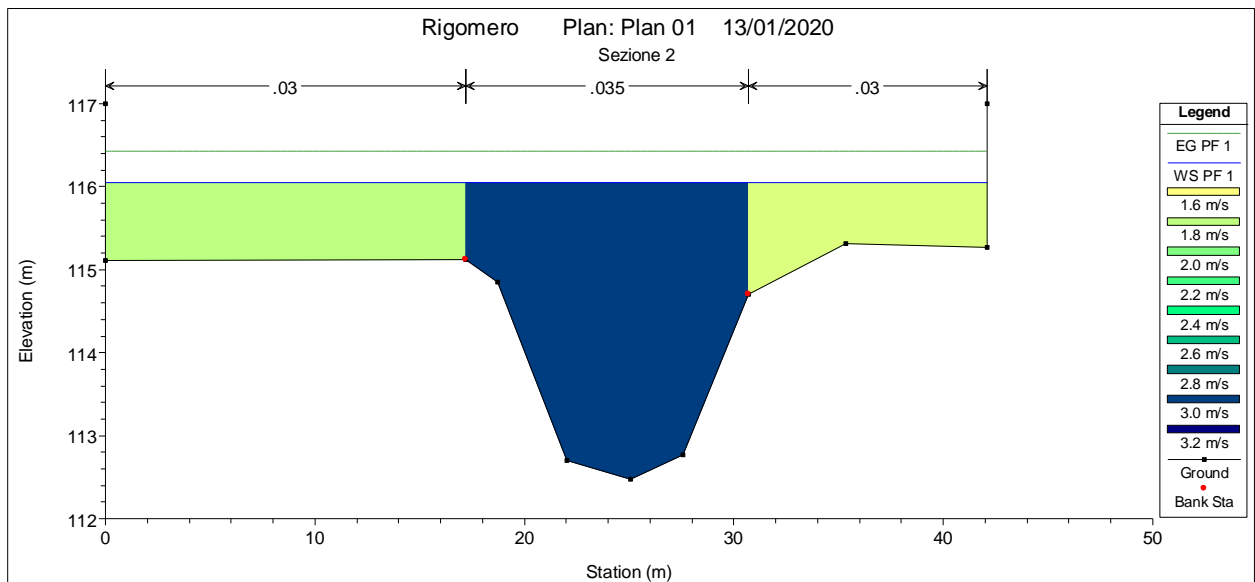
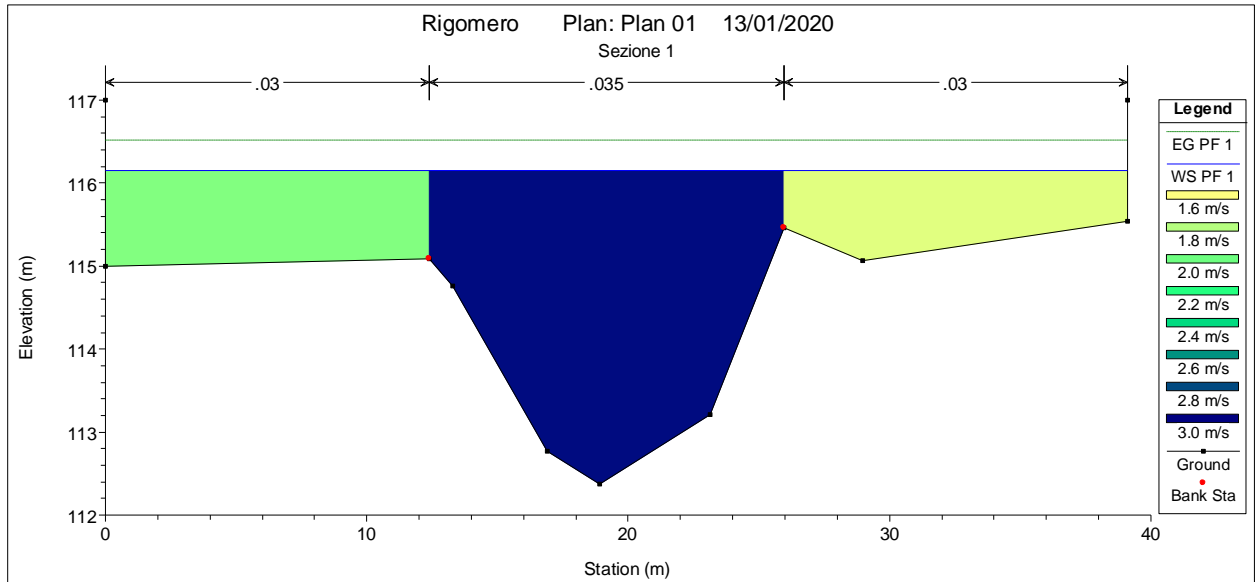
	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> NR/19372	<b>UNITA</b> 00
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE LAZIO	<b>LSC-208/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar	Pagina 29 di 38	Rev.

VISTA 3D

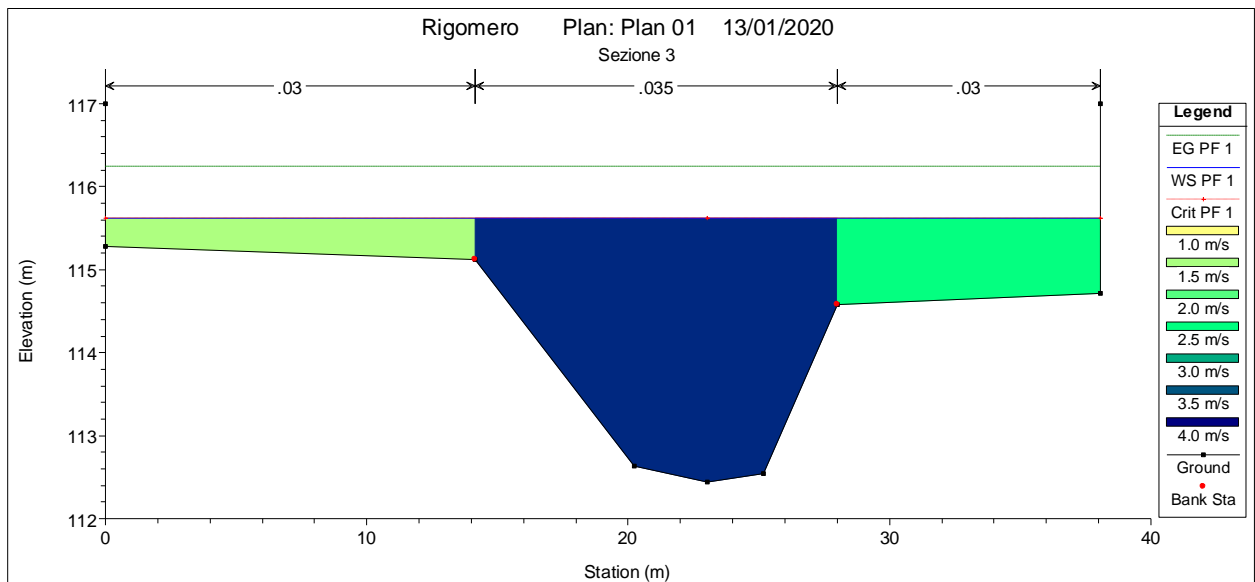
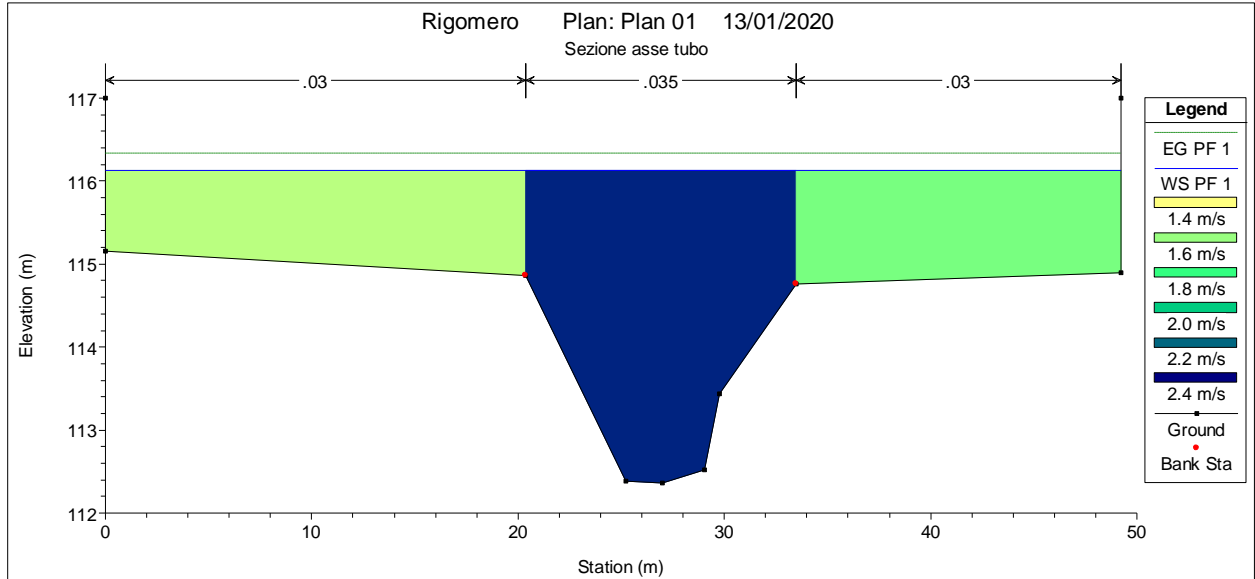


	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/19372</b>	<b>UNITA'</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE LAZIO</b>	<b>LSC-208/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> <b>Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar</b>	Pagina 30 di 38	Rev.

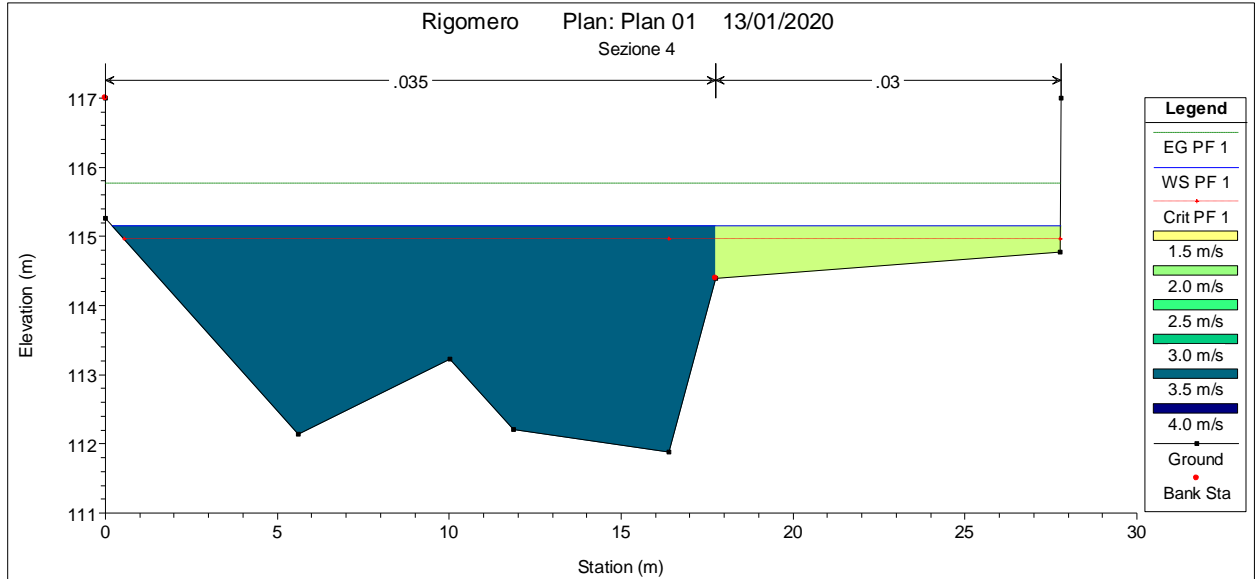
SEZIONI (da monte a valle)



	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/19372</b>	<b>UNITA</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE LAZIO</b>	<b>LSC-208/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> <b>Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar</b>	Pagina 31 di 38	<b>Rev.</b>



	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/19372</b>	<b>UNITA</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE LAZIO</b>	<b>LSC-208/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> <b>Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar</b>	Pagina 32 di 38	<b>Rev.</b>





	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/19372</b>	<b>UNITÀ</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE LAZIO</b>	<b>LSC-208/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> <b>Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar</b>	Pagina 33 di 38	<b>Rev.</b>

**RISULTATI DI DETTAGLIO PER LE VARIE SEZIONI**  
(da monte a valle)

SEZIONE 1					
E.G. Elev (m)	116.52	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.37	Wt. n-Val.	0.03	0.035	0.03
W.S. Elev (m)	116.15	Reach Len. (m)	14.7	29	40.8
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	13.67	36.22	11.24
E.G. Slope (m/m)	0.003348	Area (m2)	13.67	36.22	11.24
Q Total (m3/s)	153	Flow (m3/s)	26.55	107.55	18.9
Top Width (m)	39.12	Top Width (m)	12.38	13.57	13.17
Vel Total (m/s)	2.5	Avg. Vel. (m/s)	1.94	2.97	1.68
Max Chl Dpth (m)	3.78	Hydr. Depth (m)	1.1	2.67	0.85
Conv. Total (m3/s)	2644.2	Conv. (m3/s)	458.9	1858.7	326.6
Length Wtd. (m)	27.79	Wetted Per. (m)	13.53	15.05	13.82
Min Ch El (m)	112.37	Shear (N/m2)	33.18	79.02	26.72

SEZIONE 2					
E.G. Elev (m)	116.42	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.37	Wt. n-Val.	0.03	0.035	0.03
W.S. Elev (m)	116.05	Reach Len. (m)	15.7	15	14.8
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	16.12	35.45	10.02
E.G. Slope (m/m)	0.003439	Area (m2)	16.12	35.45	10.02
Q Total (m3/s)	153	Flow (m3/s)	29.11	106.75	17.14
Top Width (m)	42.1	Top Width (m)	17.21	13.47	11.42
Vel Total (m/s)	2.48	Avg. Vel. (m/s)	1.81	3.01	1.71
Max Chl Dpth (m)	3.57	Hydr. Depth (m)	0.94	2.63	0.88
Conv. Total (m3/s)	2608.9	Conv. (m3/s)	496.4	1820.2	292.3
Length Wtd. (m)	15.11	Wetted Per. (m)	18.15	14.71	12.24
Min Ch El (m)	112.48	Shear (N/m2)	29.95	81.26	27.61

	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/19372</b>	<b>UNITA</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE LAZIO</b>	<b>LSC-208/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> <b>Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar</b>	Pagina 34 di 38	<b>Rev.</b>

SEZIONE D'ATTRAVERSAMENTO					
E.G. Elev (m)	116.34	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.21	Wt. n-Val.	0.03	0.035	0.03
W.S. Elev (m)	116.12	Reach Len. (m)	10.2	15	19.8
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	22.71	36.08	20.43
E.G. Slope (m/m)	0.001952	Area (m2)	22.71	36.08	20.43
Q Total (m3/s)	153	Flow (m3/s)	34.86	84.13	34.01
Top Width (m)	49.25	Top Width (m)	20.37	13.1	15.78
Vel Total (m/s)	1.93	Avg. Vel. (m/s)	1.54	2.33	1.66
Max Chl Dpth (m)	3.76	Hydr. Depth (m)	1.11	2.75	1.29
Conv. Total (m3/s)	3462.8	Conv. (m3/s)	789	1904.1	769.7
Length Wtd. (m)	15.23	Wetted Per. (m)	21.34	14.38	17.01
Min Ch El (m)	112.36	Shear (N/m2)	20.38	48.05	23

SEZIONE 3					
E.G. Elev (m)	116.25	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.62	Wt. n-Val.	0.03	0.035	0.03
W.S. Elev (m)	115.62	Reach Len. (m)	47.4	40.6	36.6
Crit W.S. (m)	115.62	Flow Area (m2)	6.01	31.82	9.84
E.G. Slope (m/m)	0.006363	Area (m2)	6.01	31.82	9.84
Q Total (m3/s)	153	Flow (m3/s)	8.89	119.75	24.36
Top Width (m)	38.05	Top Width (m)	14.16	13.84	10.05
Vel Total (m/s)	3.21	Avg. Vel. (m/s)	1.48	3.76	2.47
Max Chl Dpth (m)	3.18	Hydr. Depth (m)	0.42	2.3	0.98
Conv. Total (m3/s)	1918	Conv. (m3/s)	111.4	1501.2	305.4
Length Wtd. (m)	40.35	Wetted Per. (m)	14.51	15	10.97
Min Ch El (m)	112.44	Shear (N/m2)	25.87	132.4	56.02

SEZIONE 5					
E.G. Elev (m)	115.76	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.61	Wt. n-Val.		0.035	0.03
W.S. Elev (m)	115.16	Reach Len. (m)			
Crit W.S. (m)	114.96	Flow Area (m2)		40.46	5.74
E.G. Slope (m/m)	0.006076	Area (m2)		40.46	5.74
Q Total (m3/s)	153	Flow (m3/s)		142.98	10.02
Top Width (m)	27.6	Top Width (m)		17.58	10.02
Vel Total (m/s)	3.31	Avg. Vel. (m/s)		3.53	1.75
Max Chl Dpth (m)	3.28	Hydr. Depth (m)		2.3	0.57
Conv. Total (m3/s)	1962.8	Conv. (m3/s)		1834.2	128.6
Length Wtd. (m)		Wetted Per. (m)		20.25	10.4
Min Ch El (m)	111.88	Shear (N/m2)		119.08	32.85

	<b>PROGETTISTA</b>	 <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/19372</b>	<b>UNITA'</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITA'</b>	<b>REGIONE LAZIO</b>	<b>LSC-208/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar		Pagina 35 di 38	<b>Rev.</b>

## ALLEGATO 2

### DIMENSIONAMENTO MASSI PER SCOGLIERA

	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/19372</b>	<b>UNITÀ</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE LAZIO</b>	<b>LSC-208/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> <b>Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar</b>	Pagina 36 di 38	<b>Rev.</b>

L'intervento in progetto comprende opere di protezione idraulica sia di sponda che di fondo realizzati in pietrame di grosse dimensioni.

Al fine di dimensionare la dimensione degli elementi da utilizzare si è fatto riferimento al metodo proposto da USACE, NO 10 (US Army Corps of Engineers) e riportato su EM (Engineer Manual 1110-2-1601).

Secondo tale metodo il dimensionamento degli elementi viene stimato secondo la seguente relazione:

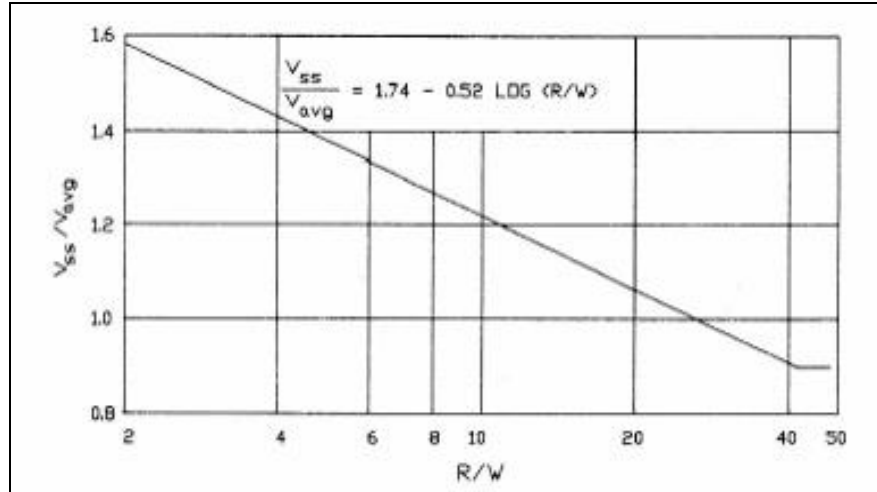
$$D_{30} = S_f \cdot C_s \cdot C_v \cdot C_t \cdot d \cdot ((\gamma_w / (\gamma_s - \gamma_w))^{1/2} \cdot V / (K_1 \cdot g \cdot d)^{1/2})^{2.5}$$

dove:

- $D_{30}$ = dimensione dei massi di cui il 30% è di peso inferiore
- $S_f$ = fattore di sicurezza = 1.1 ÷ 2.0
- $C_s$ = coefficiente di stabilità del blocco = 0.30 ÷ 0.375
- $C_v$ = coefficiente della distribuzione della velocità con la profondità  
= 1 per tratti rettilinei, = 1.283 - 0.2 log R/W parte esterna curve
- $C_t$ = coefficiente di spessore = 1 (per spessore = D100)  
1.5 (per spessore = 1.5 D50)
- $d$ = battente idrico locale
- $\gamma_w$ = peso di volume dell'acqua = 10 kN/m<sup>3</sup>
- $\gamma_s$ = peso di volume dei massi = 24 ÷ 27 kN/m<sup>3</sup>
- $V$ = velocità locale della corrente
- $K_1$ = fattore correttivo per l'inclinazione della scogliera  
=  $(1 - \sin^2 \theta / \sin^2 \phi)^{1/2}$
- $g$ = accelerazione di gravità
- $\theta$  = inclinazione della scogliera
- $\phi$ = angolo di attrito tra massi

Quando le opere di protezione spondale sono localizzate in tratti con curvatura, si tiene conto della differente distribuzione della velocità nell'ambito della sezione, in particolare del fatto che essa risulta maggiore sul lato esterno (v. Fig.1).

	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/19372</b>	<b>UNITÀ</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE LAZIO</b>	<b>LSC-208/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> <b>Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar</b>	Pagina 37 di 38	<b>Rev.</b>



**Figura 1 – Rapporto velocità ansa esterna/ velocità media in funzione del rapporto raggio curvatura/larghezza canale**

Le opere di difesa spondale in progetto comprendono tratti rettilinei e tratti interni ed anche esterni di ansa.

Il tratto di protezione per il quale sono previste opere in massi comprende le sezioni idrauliche n. 2, n. 3 e quella d'attraversamento, con velocità massime del flusso idrico nel canale 3.76 m/s.

Nel calcolo non si tiene in conto l'aumento della velocità nella parte esterna dell'ansa in funzione della sua curvatura in quanto nel caso in studio il corso d'acqua è rettilineo.

Dai calcoli effettuati (v. Fig. 2) si evidenzia che una protezione in massi con paramento di pendenza 2/3 dovrà avere un D<sub>30</sub> pari a circa 45 cm

Sulla base di tali indicazioni, il progetto prevede cautelativamente l'impiego di massi di volume non inferiore a 0.7 m<sup>3</sup> ciascuno, cui corrisponde un peso di circa 1700 kg, intasati con scapolame di minori dimensioni e terra vegetale. Lo spessore sia della platea di fondo che del rivestimento delle sponde è di 1.00 m.

	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/19372</b>	<b>UNITÀ</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE LAZIO</b>	<b>LSC-208/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar	Pagina 38 di 38	<b>Rev.</b>

CALCOLO DIMENSIONE MASSI PER SCOGLIERA			
$D_{30} = S_f \cdot C_s \cdot C_v \cdot C_t \cdot d \cdot \left( \frac{\gamma_w}{(\gamma_s - \gamma_w)} \right)^{1/2} \cdot V / (K_1 \cdot g \cdot d)^{1/2} \cdot 10^{2.5}$			
			INPUT
D30	dimensione dei massi di cui il 30% è di peso inferiore	m	
Sf	fattore di sicurezza = 1.1 ÷ 2.0		1.3
Cs	coefficiente di stabilità del blocco = 0.30 ÷ 0.375		0.3
Cv	coefficiente della distribuzione della velocità con la profondità = 1 per tratti rettilinei, 1.283-0.2 log R/W parte esterna curve		1
Ct	coefficiente di spessore = 1 (per spessore = D100) 1.5 (per spessore = 1.5 D50)		1
d	battente idrico locale	m	3
$\gamma_w$	peso di volume dell'acqua = 10 kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	10
$\gamma_s$	peso di volume dei massi = 24 ÷ 27 kN/m <sup>3</sup>	kN/m <sup>3</sup>	25
V	velocità locale della corrente, media sulla verticale	m/s	3.76
k1	fattore correttivo per l'inclinazione della scogliera = $(1 - \sin^2 \theta / \sin^2 \varphi)^{1/2}$		0.703
$\theta$	inclinazione della scogliera	°	33
$\varphi$	angolo di attrito tra massi	°	50
g	accelerazione di gravità	m/s <sup>2</sup>	9.8
	<b>D<sub>30</sub> = 0.44 m</b>		
	<b>W = 1.1 kN</b> (peso singolo elemento D <sub>30</sub> )		

Figura 2- Calcolo della dimensione del pietrame per la scogliera