

	<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-206/ALL. 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 Catenaccio  
(progr. Km 6+112)



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>UNITA'</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE LAZIO</b>	<b>LSC - 206/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar	Pagina 2 di 38	Rev.

## 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>14</b>
4.1.1	Metodologia adottata .....	14
4.1.2	Ricostruzione dei livelli di piena .....	16
4.1.3	Risultati della modellazione .....	17
<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>5.7</b>	<b>Risultati delle verifiche .....</b>	<b>24</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....</b>	<b>25</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 - 206/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar	Pagina 3 di 38	<b>Rev.</b>

**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 - 206/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. del Catenaccio nella sezione interessata dall'attraversamento in subalveo da parte del metanodotto "Potenziamento Derivazione Celleno-Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar".

L'intervento ricade nel territorio dei comuni di Monte Romano e 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 km 6+112. L'attraversamento del corso d'acqua verrà realizzato in subalveo tramite la tecnica tradizionale dello scavo di trincea, posa della condotta e successivo ritombamento e ripristino.

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 attraversamento del fosso.

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.

	<b>PROGETTISTA</b>  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	<b>COMMESSA</b> NR/19372	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE LAZIO</b>	<b>LSC - 206/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 dei comuni di Monte Romano e 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 344162 della cartografia tecnica della Regione Lazio a scala 1:5.000 (v. Figura 2/B). In Figura 2/C viene riportata l'ubicazione su immagine aerea Google.

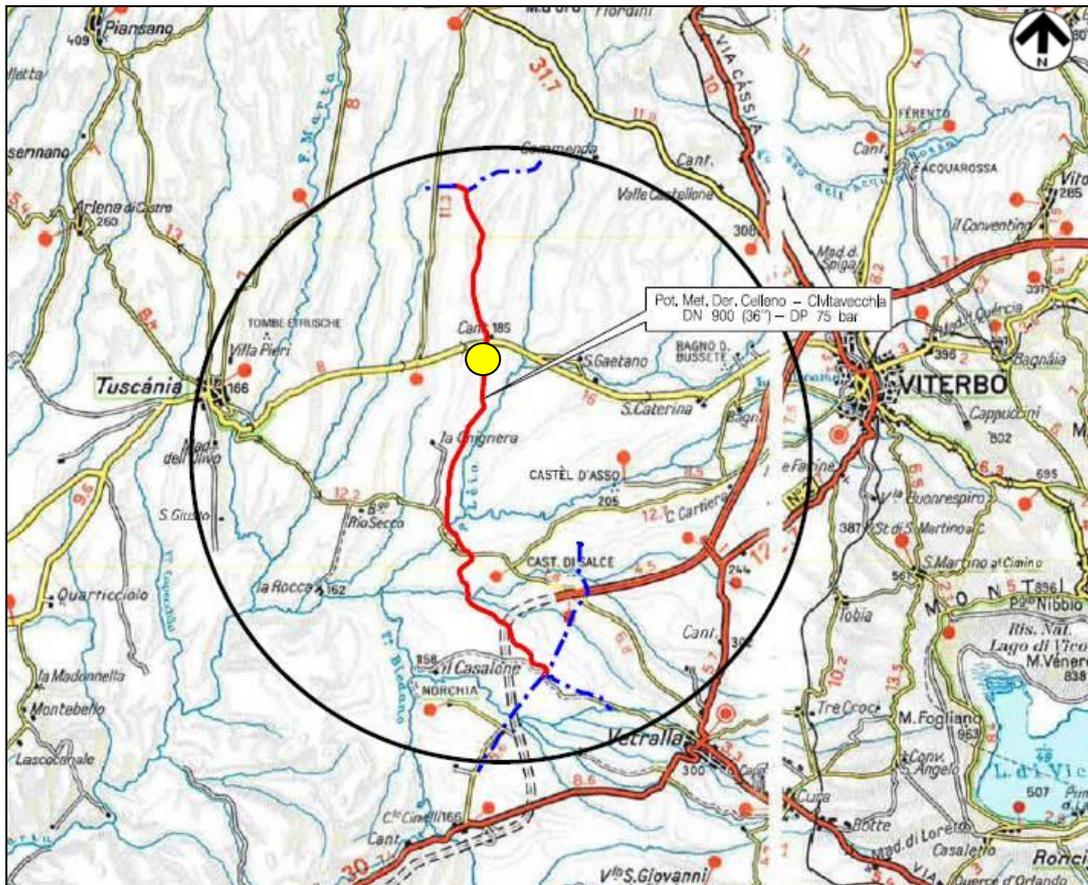


Figura 2/A – Corografia a scala 1:200.000 con indicata la posizione dell'attraversamento in studio (cerchio giallo) lungo il tracciato del metanodotto (linea rossa)

	<b>PROGETTISTA</b>  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	<b>COMMESSA</b> NR/19372	<b>UNITA'</b> 00
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE LAZIO	<b>LSC - 206/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar	Pagina 6 di 38	Rev.

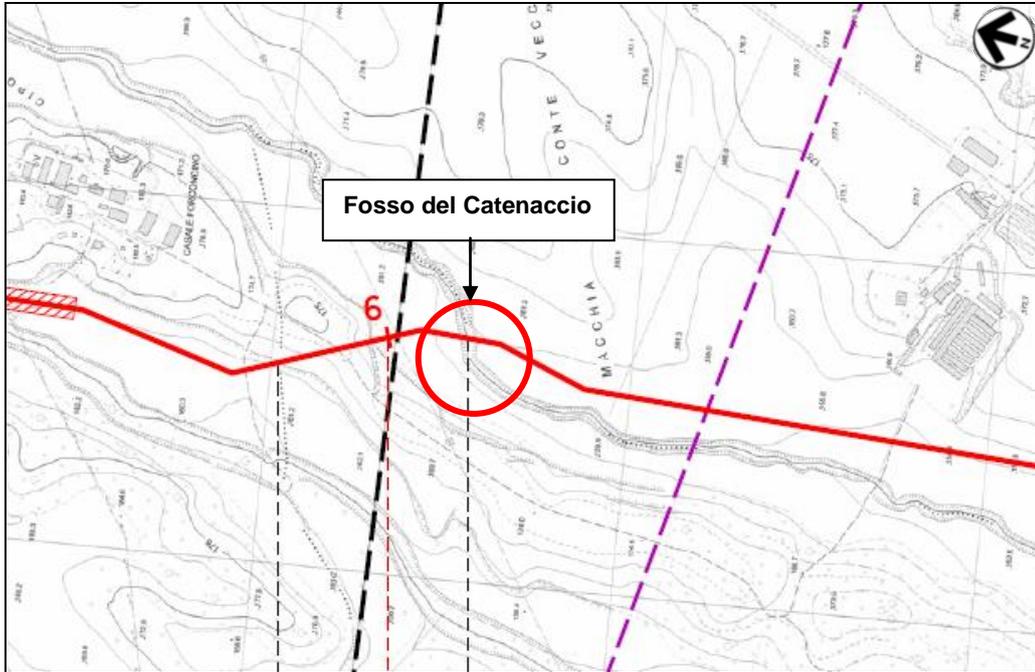


Figura 2/B – Stralcio planimetrico con localizzazione dell'attraversamento (progr. Km 6+112)



Figura 2/C – Immagine aerea con localizzazione dell'attraversamento del F.sso del Catenaccio (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 - 206/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar	Pagina 7 di 38	<b>Rev.</b>

### 3 STUDIO IDROLOGICO

#### 3.1 Generalità

Il F.so del Catenaccio è un modesto 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 (%)
6.5	11.0	450	158	260	2.65

La zona oggetto della modellazione sta a cavallo della sezione di attraversamento per una lunghezza totale di circa 100 m. In tale tratto il corso d'acqua scorre in un dolce fondovalle collinare, con alveo incassato nel substrato tufaceo affiorante. Le sponde risultano vegetate con alberi e arbusti per una fascia di circa 35 m a cavallo del fosso (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> REGIONE LAZIO	<b>LSC - 206/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar	Pagina 8 di 38	Rev.

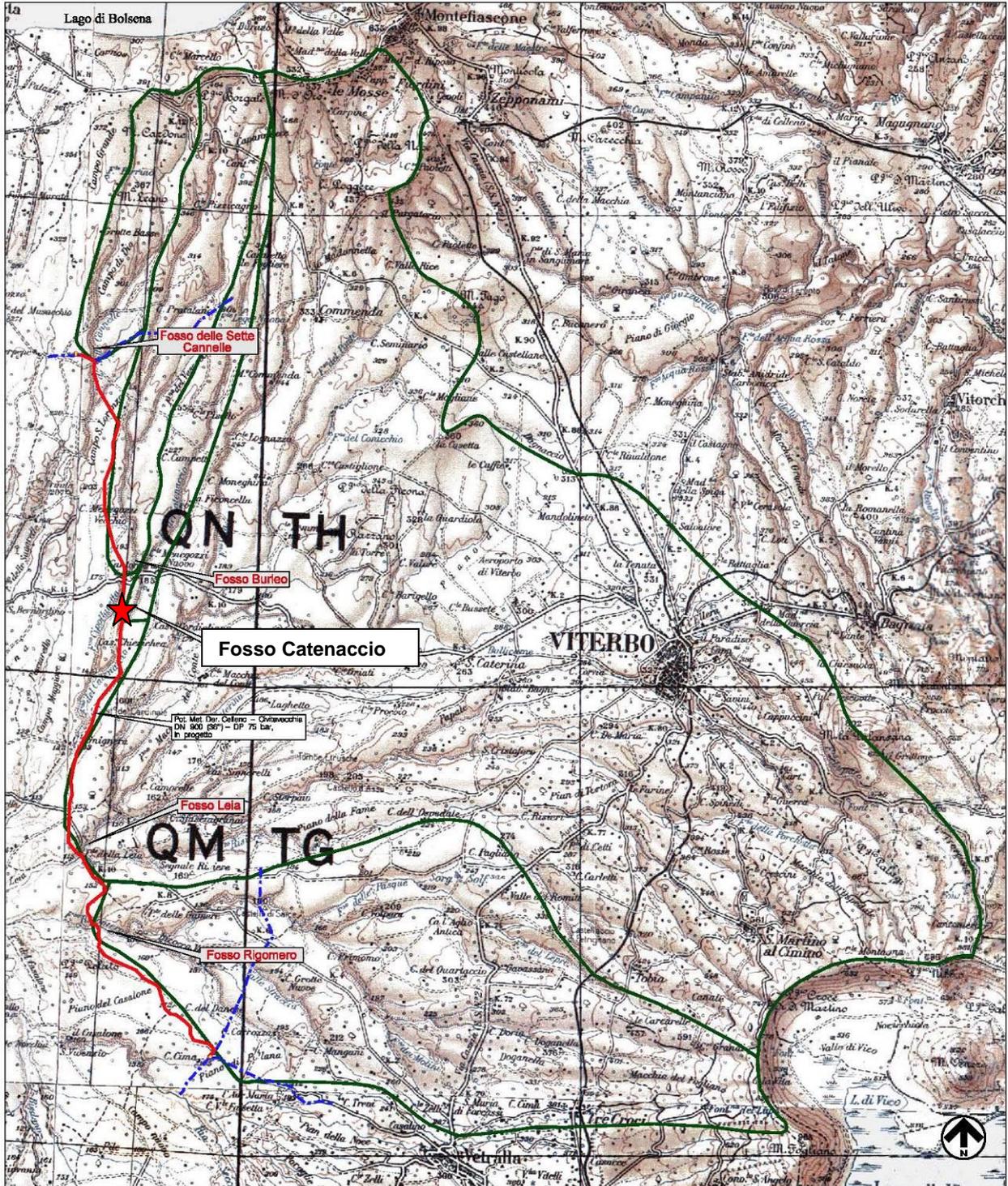


Figura 3.1/A – Corografia con rappresentati i bacini dei corsi d'acqua attraversati dal metanodotto. Evidenziato il F.so Catenaccio (Limiti di bacino linea verde)

	<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 - 206/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> <b>Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar</b>	Pagina 9 di 38	Rev.



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.

	<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 - 206/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>

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

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

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:

$$t_c = 3.29 \text{ h}$$

### 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.

$$b=0.158 \quad m=0.769 \quad a(T=200)=0,103$$

Con la relazione sopra riportata si ottiene una intensità di pioggia per  $T=200$  anni e per  $t_c=3.29$  ore:

$$i = 0.0398 \text{ m/h}$$

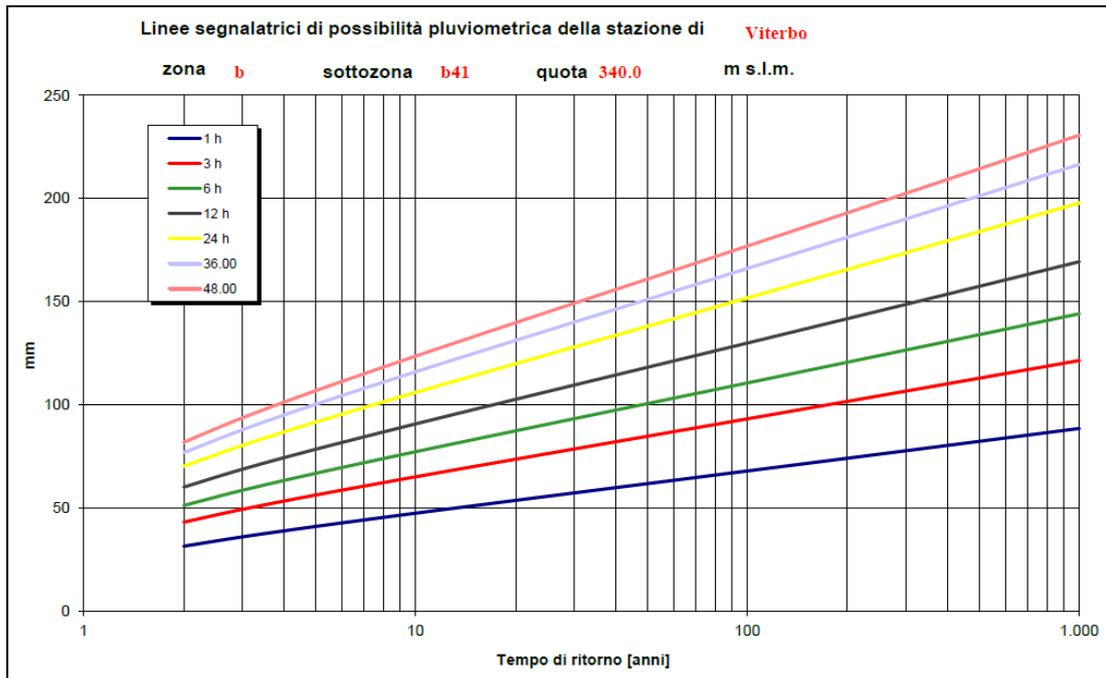
#### 3.4.2 Intensità da misure pluviometriche

Esistono in prossimità del bacino del corso d'acqua in studio 2 stazioni pluviometriche, Viterbo e Tuscania, 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.

	<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 - 206/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> <b>Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar</b>	Pagina 11 di 38	<b>Rev.</b>

Per un tempo di corrivazione  $t_c = 3.29$  h, da tali curve derivano altezze di precipitazione rispettivamente pari a circa 110 e 160 mm per un tempo di ritorno duecentennale. Stante il sito all'incirca in posizione centrale tra le due, si assume un valore pari a 135 mm.  
Con tale valore l'intensità di pioggia nel tempo di corrivazione diventa:

$$i = 0.0410 \text{ m/h}$$



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

	<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 - 206/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> <b>Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar</b>	Pagina 12 di 38	<b>Rev.</b>

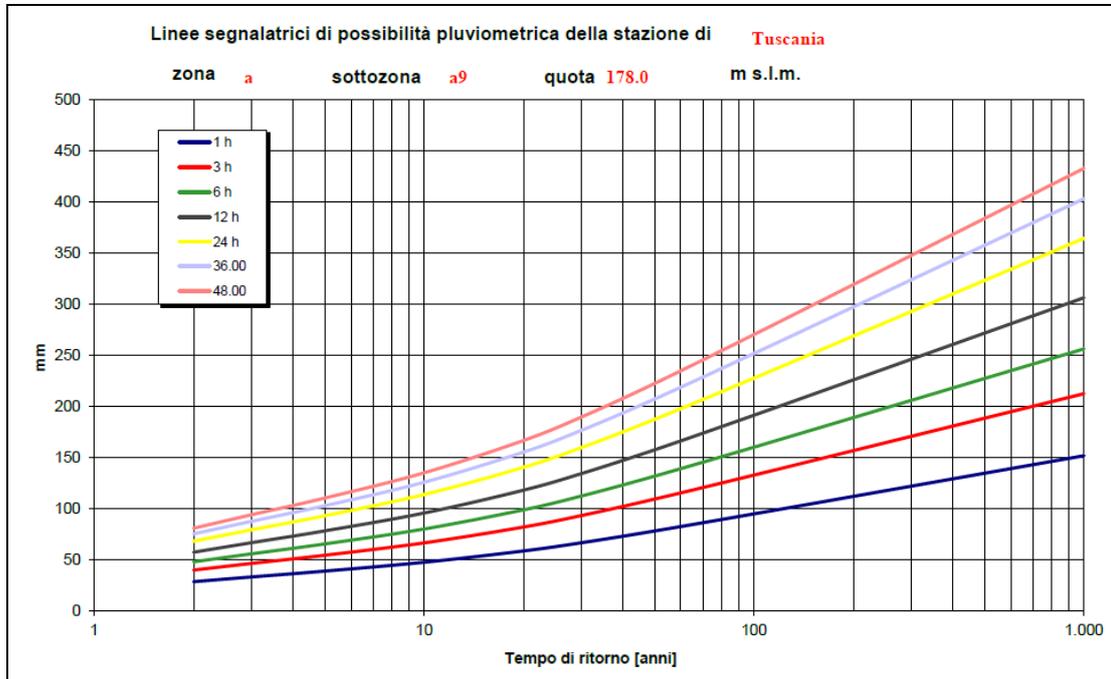


Figura 3.4.2/B – Curve segnalatrici di possibilità pluviometrica della stazione di Tuscania

### 3.5 Coefficiente di ragguglio

Per il coefficiente di ragguglio si è usata la formula:

$$r = 1 - e^{(-1.1 \cdot t^{0.25})} + e^{(-1.1 \cdot t^{0.25} - 0.00386Ab)} = 0.994$$

### 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  $Q_{(T=200)} = 26.5 \text{ m}^3/\text{s}$
- utilizzando le curve segnalatrici di possibilità pluviometrica  $Q_{(T=200)} = 27.2 \text{ m}^3/\text{s}$

	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/19372</b>	<b>UNITA'</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE LAZIO</b>	<b>LSC - 206/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> <b>Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar</b>	Pagina 13 di 38	<b>Rev.</b>

Come si vede i valori di portata ottenuti con i due diversi approcci sono praticamente coincidenti. Per precauzione, nella modellazione si utilizza il valore leggermente più elevato, cioè

$$Q_{(T=200)} = 27 \text{ m}^3/\text{s}$$

	<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 - 206/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia <b>DN 900 (36") – DP 75 bar</b>	Pagina 14 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.

### 4.1.1 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  $Q_{200} = 27 \text{ m}^3/\text{s}$ .

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 - 206/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>

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

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 - 206/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> <b>Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar</b>	Pagina 16 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>).

#### **4.1.2 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 Catenaccio in studio ci si è basati su di serie di 6 sezioni trasversali la cui ubicazione è riportata nella planimetria di Figura 4.1.2/A.

	<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 - 206/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> <b>Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar</b>	Pagina 17 di 38	Rev.

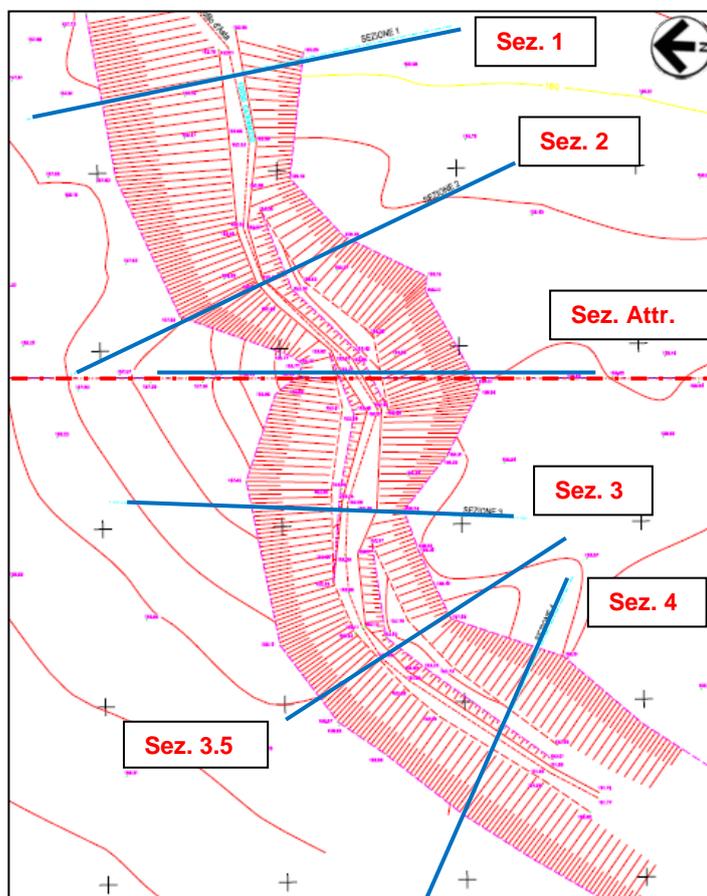


Figura 4.1.2/A – Planimetria del tratto di corso modellato con riportate le sezioni

#### 4.1.3 Risultati della modellazione

I risultati della modellazione sono riportati in Allegato A, 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. 4.1.3/A). Si ricorda che essi sono relativi ad un evento critico di tempo di ritorno 200 anni. Il profilo longitudinale in corrispondenza delle varie sezioni utilizzate per la modellazione è rappresentato in Figura 4.1.3/A.

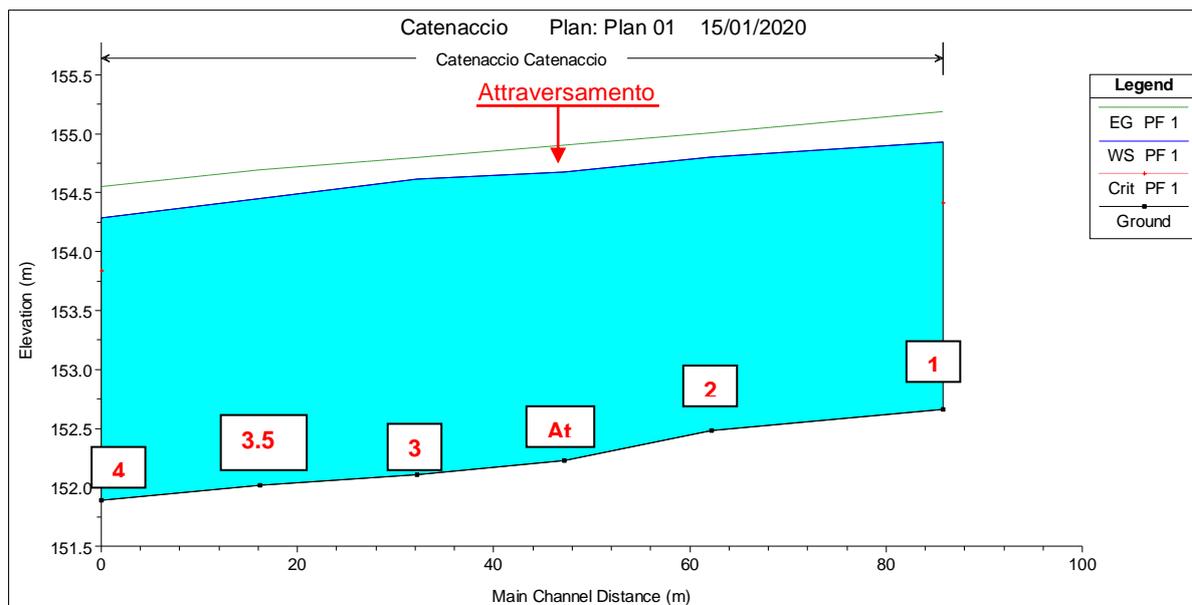
In sintesi, in relazione al tratto di interesse per i lavori in oggetto, si può osservare quanto segue:

- il corso d'acqua ha un canale molto inciso nel piano campagna dell'ordine di 6 m;
- il flusso idrico ha battenti di circa 2.5 m, per cui è sempre contenuto nella sezione;
- la corrente è sempre di tipo "lento" (cioè n. Froude <1); le velocità in canale sono dell'ordine di 2÷2.3 m/s;
- nella sezione di attraversamento il battente idrico è di 2.45 con velocità del flusso di 2.09 m/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 - 206/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> <b>Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar</b>	Pagina 18 di 38	Rev.

Sezione	Portata (m <sup>3</sup> /s)	Quota fondo (m)	Livelli idrici (m)	Battenti idrici (m)	Vel. Canale (m/s)	Sezione flusso (m <sup>2</sup> )	Larghezza sommità (m)	n. Froude
1	27	152.66	154.93	2.27	2.22	12.14	8.6	0.6
2	27	152.48	154.81	2.33	1.97	13.74	10.14	0.54
<b>Attrav.</b>	<b>27</b>	<b>152.23</b>	<b>154.68</b>	<b>2.45</b>	<b>2.09</b>	<b>12.9</b>	<b>9.37</b>	<b>0.57</b>
3	27	152.11	154.62	2.51	1.89	14.26	9.1	0.48
3.5	27	152.02	154.45	2.43	2.15	12.57	9.9	0.61
4	27	151.89	154.28	2.39	2.28	11.87	8.72	0.62

**Tabella 4.1.3/A - Principali parametri idraulici nel tratto modellato**  
(in grassetto la sezione d'attraversamento del metanodotto)



**Figura 4.1.3/A – Profilo longitudinale 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 - 206/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> <b>Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar</b>	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 5.1/A).

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>UNITA'</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE LAZIO</b>	<b>LSC - 206/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar	Pagina 20 di 38	<b>Rev.</b>

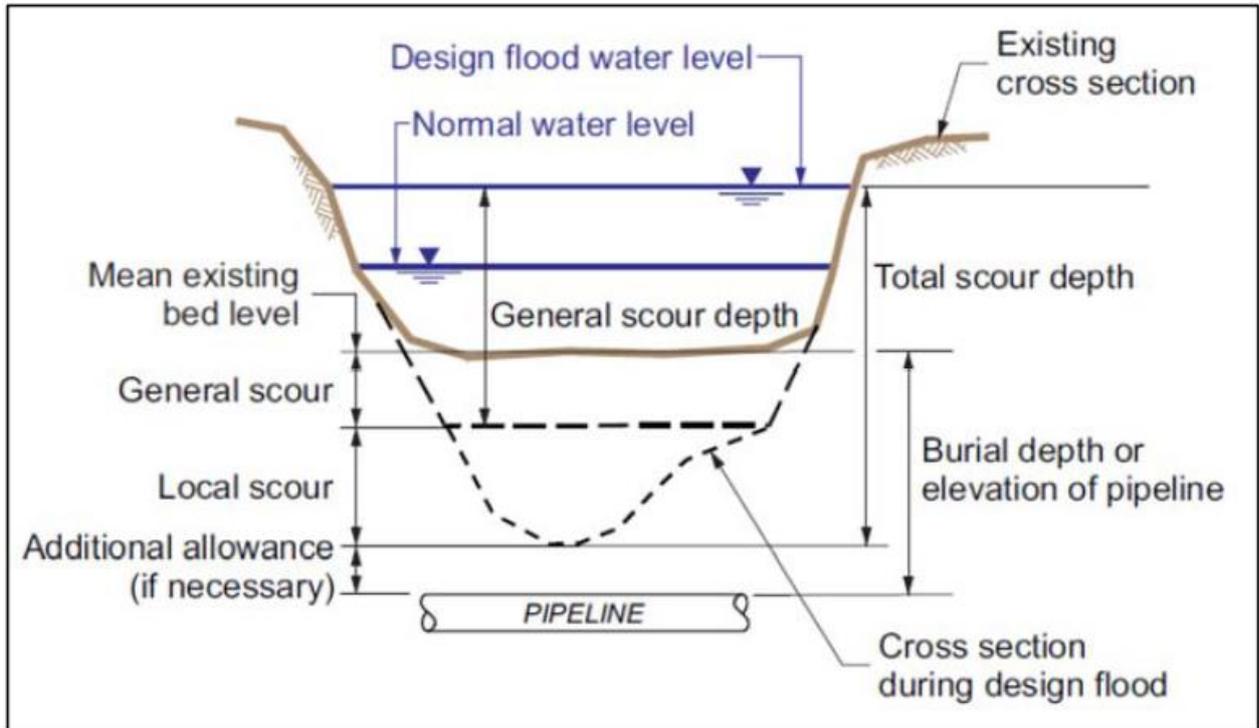


Figura 5.1/A – Schema di erosione generale e locale (da Veldeman, 2008)

## 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 - 206/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.

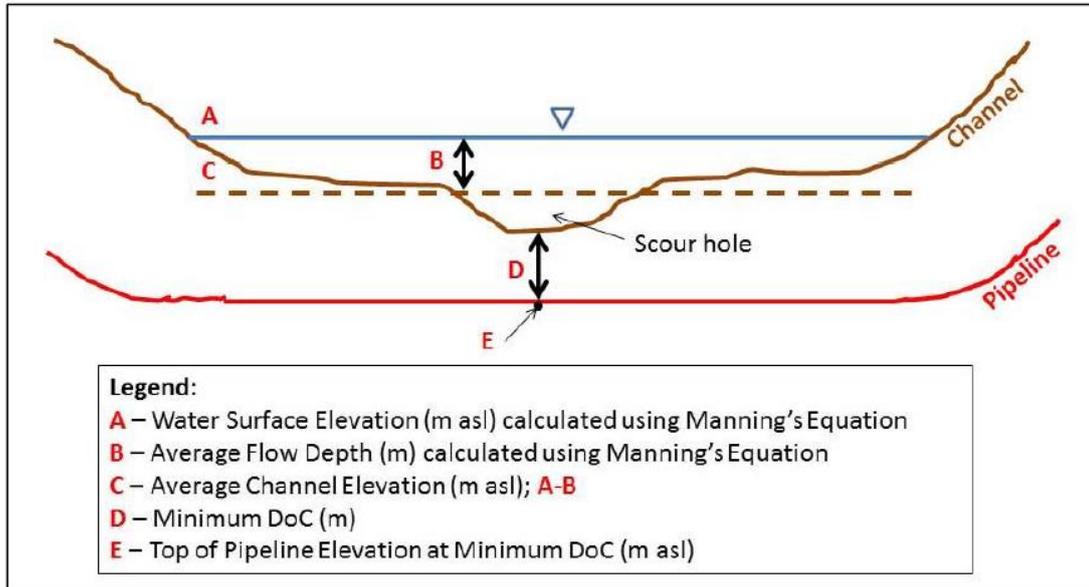
Il fenomeno è rappresentato da abbassamenti spesso transitori e reversibili dell'alveo a fondo mobile in fase di piena di difficile valutazione sia sperimentale che analitica. Essi dipendono dalle caratteristiche idrodinamiche della corrente e dal tipo di materiale costituente il fondo.

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 - 206/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> <b>Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar</b>	Pagina 22 di 38	Rev.



**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>UNITA</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE LAZIO</b>	<b>LSC - 206/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:

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

dove:

$d_s$  = spessore dell'erosione al di sotto del letto  
 $d_i$  = 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)  
 $q_p, q_i$  = 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 con questo secondo metodo che eventuali fenomeni di erosione generalizzata potrebbero avere una profondità massima di 1.25 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 - 206/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 ( $m^3/sec \ m$ );

**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 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, inciso direttamente nel substrato tufaceo e con le sponde fissate dalla vegetazione, 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. La presenza del substrato roccioso fa ritenere il fondo stabile;
- approfondimenti temporanei in fase di piena: gli spessori di fondo alveo mobilizzabili temporaneamente in fase di piena, utilizzando la metodologia sopra riportata, potrebbero arrivare teoricamente ad uno spessore di circa 1.25 m, fenomeno che tuttavia si esclude data la presenza di roccia nel letto.

	<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 - 206/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 Derivazione Celleno-Civitavecchia attraversa l'alveo del Fosso del Catenaccio, nel territorio dei comuni di Monte Romano e di Viterbo.

La sezione prevista di attraversamento si localizza nell'ambito di un tratto di corso d'acqua molto inciso nel substrato tufaceo, ubicato sul fondo di un dolce impluvio collinare.

L'alveo ha una sezione incisa di circa 6 m ed una larghezza dell'ordine di 5 m.

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 di circa 2.5 m e nella velocità in alveo, con valori di poco più di 2 m/s.

Sulla base di tali parametri si sono stimati anche gli eventuali massimi approfondimenti che l'alveo, nella ipotesi di fondo mobile, potrebbe subire in fase di piena critica (circa 1.25 m).

Tuttavia la presenza di roccia tufacea affiorante nel letto fa escludere la possibilità di avere fenomeni di erosione di fondo apprezzabili.

Al fine di garantire la sicurezza del metanodotto nel tratto di attraversamento interessato dai lavori di scavo della trincea, il progetto prevede le seguenti opere:

- copertura della tubazione di non meno di 2.5 m al sopra della generatrice superiore;
- rivestimento delle sponde e del fondo alveo con massi di volume pari a 0.7 m<sup>3</sup> per uno spessore di 1 m 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 cella 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 - 206/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>UNITÀ</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONE LAZIO</b>	<b>LSC - 206/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

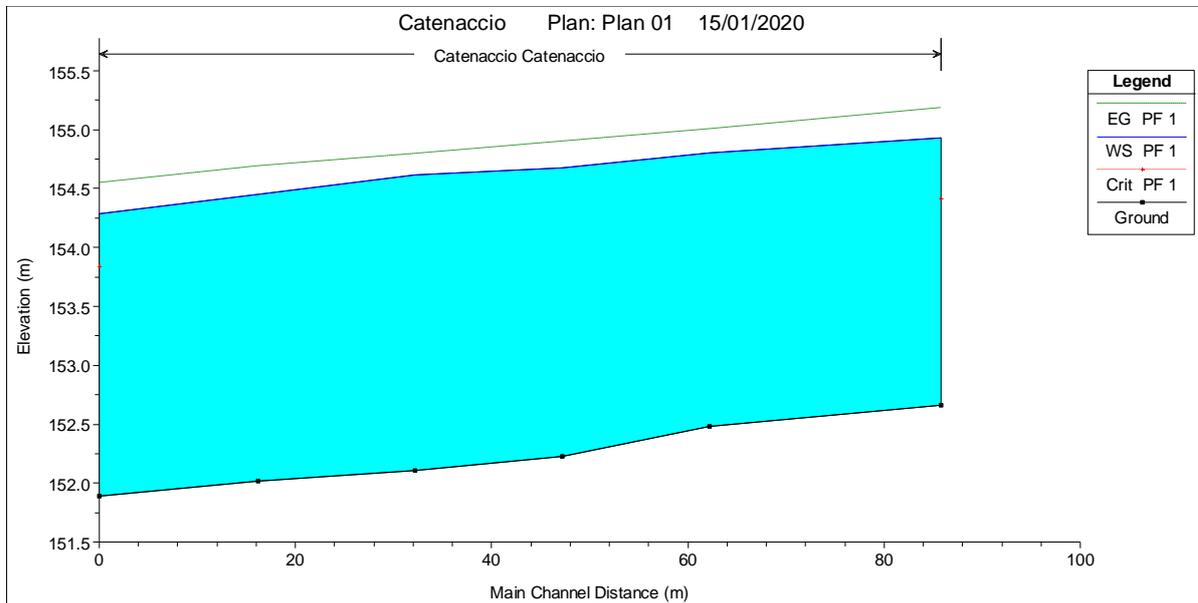
Reach	Ramo fluviale
River Sta	Sezione fluviale
Q Total (m <sup>3</sup> /s)	Portata complessiva defluente nell'intera sezione trasversale
Min Ch El (m)	Minima quota dell'alveo nel canale principale
W.S. Elev (m)	Quota del pelo libero
Crit W.S. (m)	Quota critica del pelo libero
E.G. Elev (m)	Quota della 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 - 206/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

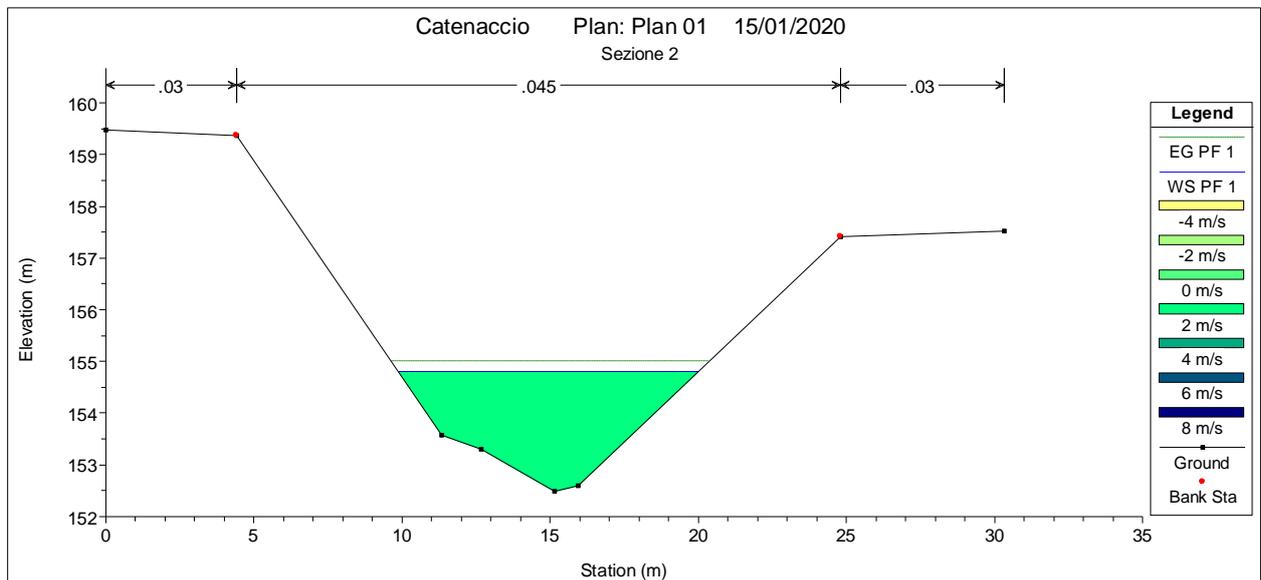
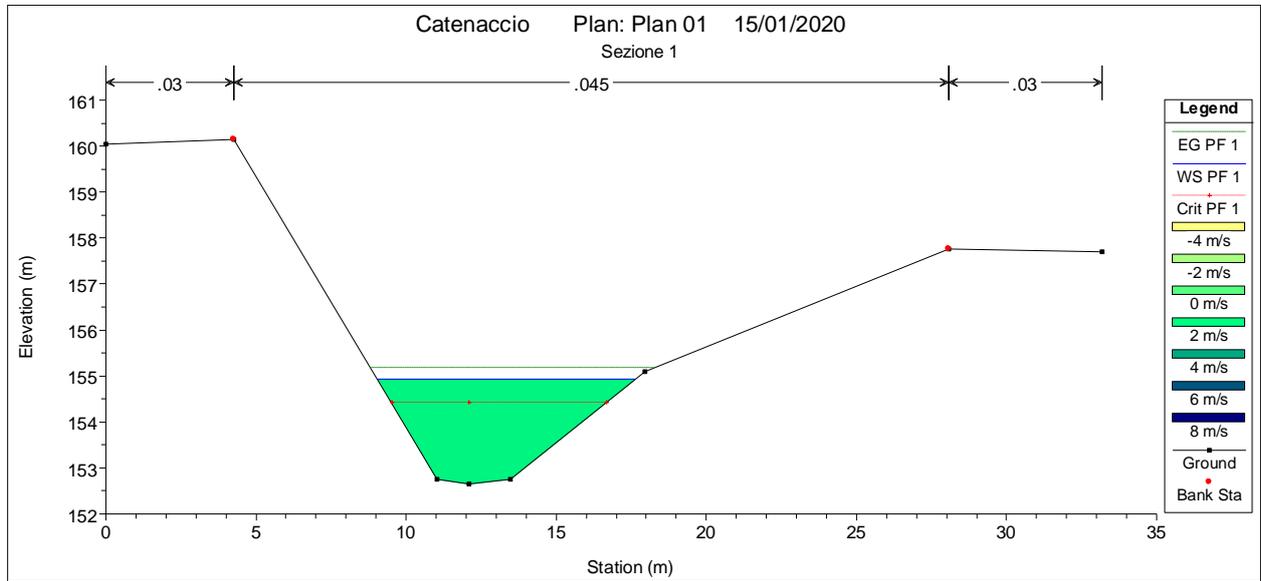
Sezione	Portata (m3/s)	Quota fondo (m)	Livelli idrici (m)	Battenti idrici (m)	Vel. Canale (m/s)	Sezione flusso (m2)	Larghezza sommità (m)	n. Froude
1	27	152.66	154.93	2.27	2.22	12.14	8.6	0.6
2	27	152.48	154.81	2.33	1.97	13.74	10.14	0.54
<b>Attrav.</b>	<b>27</b>	<b>152.23</b>	<b>154.68</b>	<b>2.45</b>	<b>2.09</b>	<b>12.9</b>	<b>9.37</b>	<b>0.57</b>
3	27	152.11	154.62	2.51	1.89	14.26	9.1	0.48
3.5	27	152.02	154.45	2.43	2.15	12.57	9.9	0.61
4	27	151.89	154.28	2.39	2.28	11.87	8.72	0.62

### PROFILO LONGITUDINALE

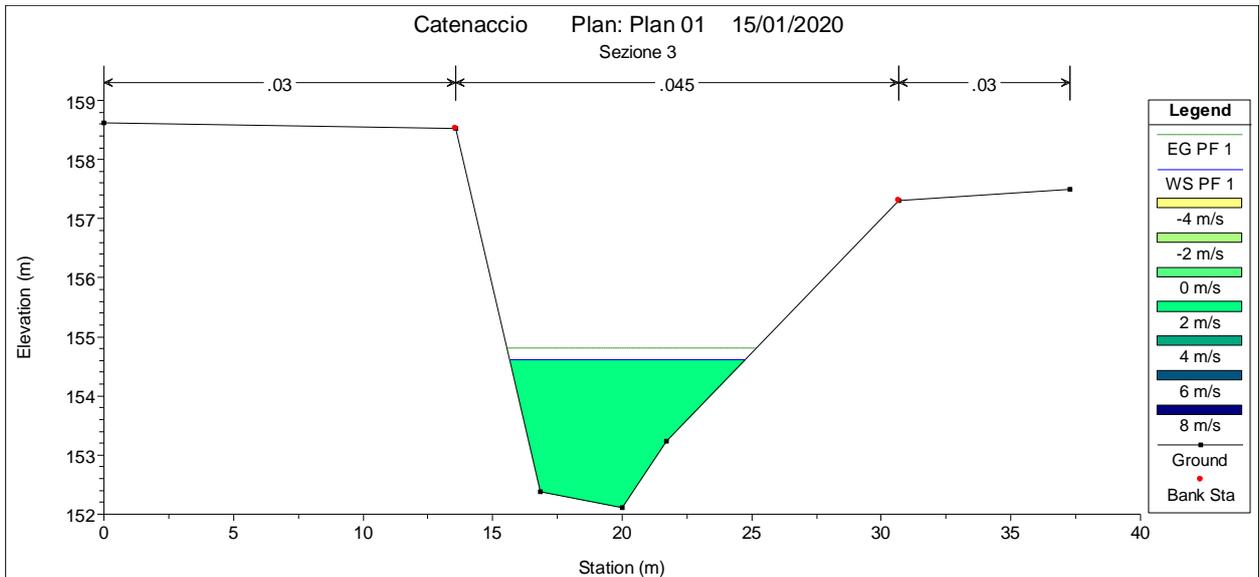
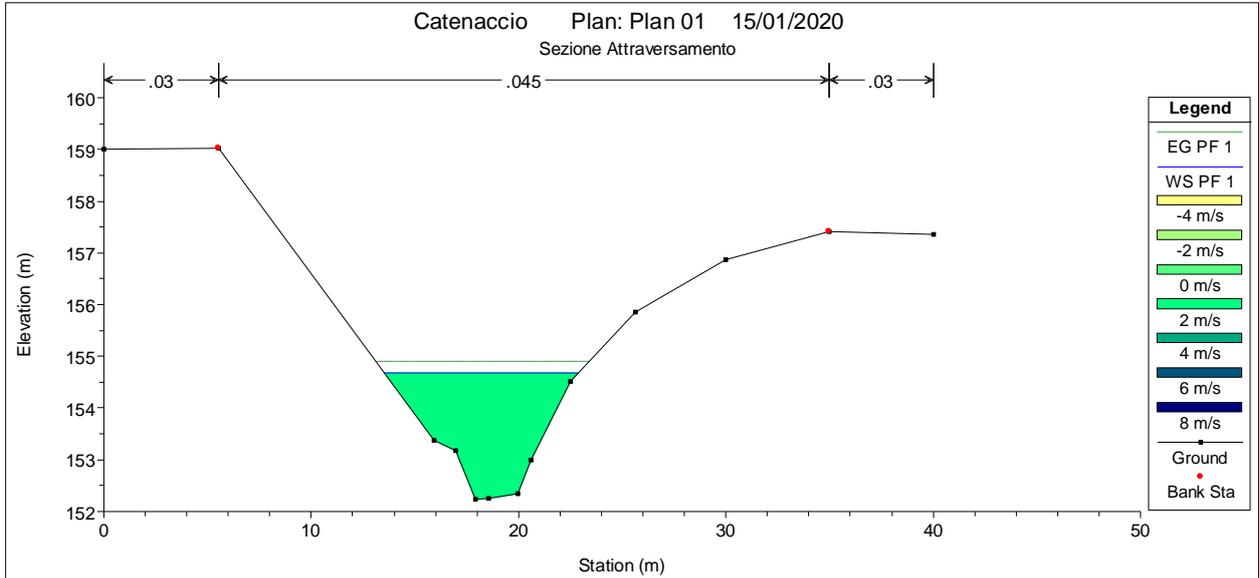


	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/19372</b>	<b>UNITA</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONE LAZIO</b>	<b>LSC - 206/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> <b>Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar</b>	Pagina 29 di 38	Rev.

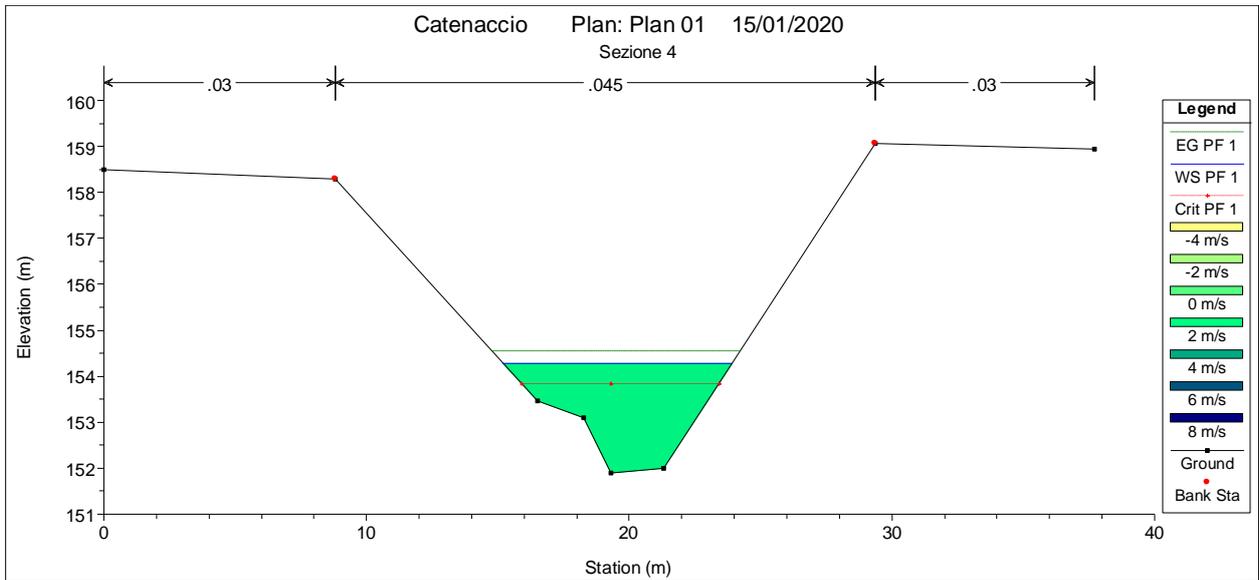
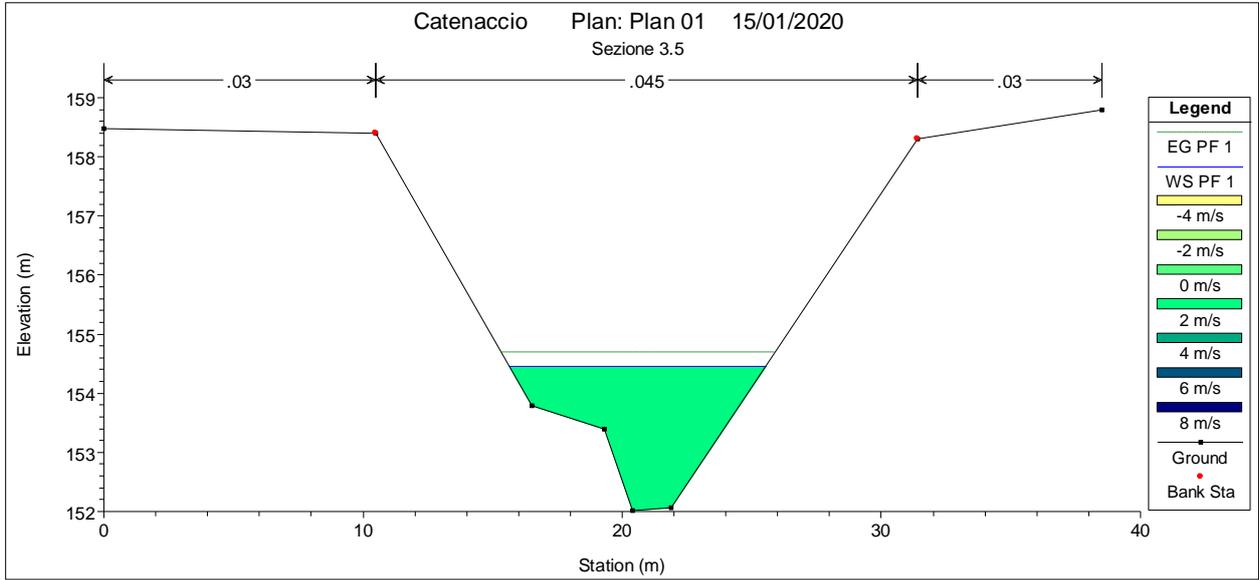
SEZIONI (da monte a valle)



	<b>PROGETTISTA</b>  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	<b>COMMESSA</b> NR/19372	<b>UNITA'</b> 00
	<b>LOCALITA'</b> REGIONE LAZIO	<b>LSC - 206/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar	Pagina 30 di 38	Rev.



	<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 - 206/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> <b>Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar</b>	Pagina 31 di 38	Rev.



	<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 - 206/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>

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

Sezione 1					
E.G. Elev (m)	155.18	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.25	Wt. n-Val.		0.045	
W.S. Elev (m)	154.93	Reach Len. (m)	20.3	23.6	27.5
Crit W.S. (m)	154.42	Flow Area (m2)		12.14	
E.G. Slope (m/m)	0.007851	Area (m2)		12.14	
Q Total (m3/s)	27	Flow (m3/s)		27	
Top Width (m)	8.6	Top Width (m)		8.6	
Vel Total (m/s)	2.22	Avg. Vel. (m/s)		2.22	
Max Chl Dpth (m)	2.27	Hydr. Depth (m)		1.41	
Conv. Total (m3/s)	304.7	Conv. (m3/s)		304.7	
Length Wtd. (m)	23.6	Wetted Per. (m)		10.1	
Min Ch El (m)	152.66	Shear (N/m2)		92.47	

Sezione 2					
E.G. Elev (m)	155	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.2	Wt. n-Val.		0.045	
W.S. Elev (m)	154.81	Reach Len. (m)	23	15	5
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)		13.74	
E.G. Slope (m/m)	0.006039	Area (m2)		13.74	
Q Total (m3/s)	27	Flow (m3/s)		27	
Top Width (m)	10.14	Top Width (m)		10.14	
Vel Total (m/s)	1.97	Avg. Vel. (m/s)		1.97	
Max Chl Dpth (m)	2.33	Hydr. Depth (m)		1.36	
Conv. Total (m3/s)	347.4	Conv. (m3/s)		347.4	
Length Wtd. (m)	15	Wetted Per. (m)		11.31	
Min Ch El (m)	152.48	Shear (N/m2)		71.91	

	<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 - 206/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>

Sezione Attraversamento					
E.G. Elev (m)	154.9	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.22	Wt. n-Val.		0.045	
W.S. Elev (m)	154.68	Reach Len. (m)	15.8	15	14.7
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)		12.9	
E.G. Slope (m/m)	0.007145	Area (m2)		12.9	
Q Total (m3/s)	27	Flow (m3/s)		27	
Top Width (m)	9.37	Top Width (m)		9.37	
Vel Total (m/s)	2.09	Avg. Vel. (m/s)		2.09	
Max Chl Dpth (m)	2.45	Hydr. Depth (m)		1.38	
Conv. Total (m3/s)	319.4	Conv. (m3/s)		319.4	
Length Wtd. (m)	15	Wetted Per. (m)		10.96	
Min Ch El (m)	152.23	Shear (N/m2)		82.45	

Sezione 3					
E.G. Elev (m)	154.8	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.18	Wt. n-Val.		0.045	
W.S. Elev (m)	154.62	Reach Len. (m)	4	16	27.2
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)		14.26	
E.G. Slope (m/m)	0.005193	Area (m2)		14.26	
Q Total (m3/s)	27	Flow (m3/s)		27	
Top Width (m)	9.1	Top Width (m)		9.1	
Vel Total (m/s)	1.89	Avg. Vel. (m/s)		1.89	
Max Chl Dpth (m)	2.51	Hydr. Depth (m)		1.57	
Conv. Total (m3/s)	374.7	Conv. (m3/s)		374.7	
Length Wtd. (m)	16	Wetted Per. (m)		11.09	
Min Ch El (m)	152.11	Shear (N/m2)		65.47	

	<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 - 206/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 3.5					
E.G. Elev (m)	154.69	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.24	Wt. n-Val.		0.045	
W.S. Elev (m)	154.45	Reach Len. (m)	5	16.2	25.5
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)		12.57	
E.G. Slope (m/m)	0.008337	Area (m2)		12.57	
Q Total (m3/s)	27	Flow (m3/s)		27	
Top Width (m)	9.9	Top Width (m)		9.9	
Vel Total (m/s)	2.15	Avg. Vel. (m/s)		2.15	
Max Chl Dpth (m)	2.44	Hydr. Depth (m)		1.27	
Conv. Total (m3/s)	295.7	Conv. (m3/s)		295.7	
Length Wtd. (m)	16.2	Wetted Per. (m)		11.53	
Min Ch El (m)	152.02	Shear (N/m2)		89.08	

Sezione 4					
E.G. Elev (m)	154.55	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.26	Wt. n-Val.		0.045	
W.S. Elev (m)	154.28	Reach Len. (m)			
Crit W.S. (m)	153.83	Flow Area (m2)		11.87	
E.G. Slope (m/m)	0.008802	Area (m2)		11.87	
Q Total (m3/s)	27	Flow (m3/s)		27	
Top Width (m)	8.72	Top Width (m)		8.72	
Vel Total (m/s)	2.28	Avg. Vel. (m/s)		2.28	
Max Chl Dpth (m)	2.39	Hydr. Depth (m)		1.36	
Conv. Total (m3/s)	287.8	Conv. (m3/s)		287.8	
Length Wtd. (m)		Wetted Per. (m)		10.41	
Min Ch El (m)	151.89	Shear (N/m2)		98.4	

	<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 - 206/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 - 206/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:

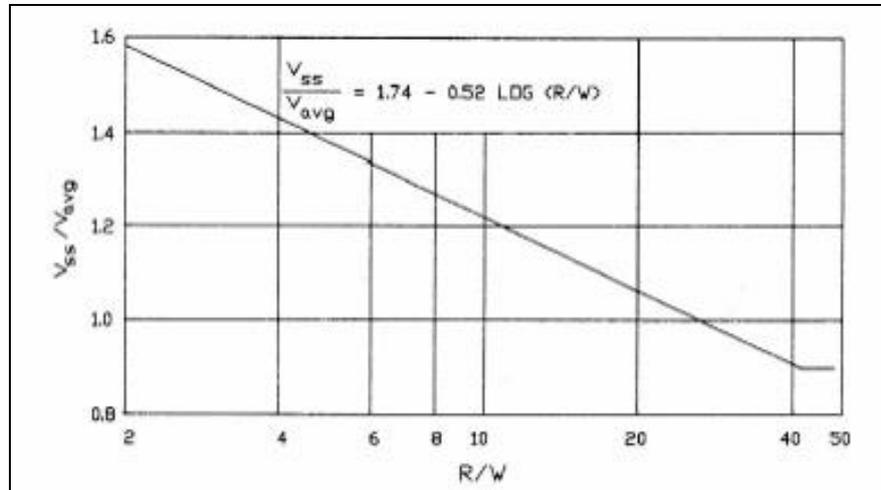
$$D_{30} = S_f \cdot C_s \cdot C_v \cdot C_t \cdot d \cdot ((\gamma_w / (\gamma_s - \gamma_w))^{1/2} \cdot V / (K_1 \cdot g \cdot d)^{1/2})^{2.5}$$

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 - 206/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 3÷6 la velocità massima del flusso idrico nel canale in tale tratto risulta quello in corrispondenza della sezione 4, pari a 3.73 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 20 cm.

In considerazione tuttavia dell'elevata altezza delle sponde da rivestire ed anche della funzione di sostegno che il rivestimento spondale dovrà assolvere, il progetto prevede cautelativamente l'impiego di massi di maggiore dimensione, con un volume non inferiore a 0.5 m<sup>3</sup> ciascuno, cui corrisponde un peso di circa 1250 kg, intasati con scapolame di minori dimensioni e terra vegetale, e con spessore sial della platea di fondo che del rivestimento spondale di 1 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 - 206/ALL.A</b>	
	<b>PROGETTO:</b> Potenziamento Metanodotto Derivazione Celleno – Civitavecchia DN 900 (36") – DP 75 bar	Pagina 38 di 38	Rev.

CALCOLO DIMENSIONE MASSI PER SCOGLIERA			
$D_{30} = S_f \cdot C_s \cdot C_v \cdot C_t \cdot d \cdot ((\gamma_w / (\gamma_s - \gamma_w))^{1/2} \cdot V / (K_1 \cdot g \cdot d)^{1/2})^{2.5}$			
			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	2.1
k1	fattore correttivo per l'inclinazione della scogliera = $(1 - \sin^2 \theta / \sin^2 \varphi)^{1/2}$		0.451
$\theta$	inclinazione della scogliera	°	35
$\varphi$	angolo di attrito tra massi	°	40
g	accelerazione di gravità	m/s <sup>2</sup>	9.8
	<b>D<sub>30</sub> = 0.18 m</b>		
	<b>W = 0.07 kN</b>	(peso singolo elemento D <sub>30</sub> )	

Figura 2- Calcolo della dimensione del pietrame per la scogliera