

 	<b>PROGETTISTA</b>  <b>Snamprogetti</b>	<b>COMMESSA</b> <b>P66990</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	<b>SPC. LA-E-80082</b>	
	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 1 di 44	<b>Rev.</b> <b>0</b>

**Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore  
DN 900 (36"), P 75 bar**

**ATTRAVERSAMENTO TORRENTE GORDANA  
STUDIO IDROLOGICO-IDRAULICO**

0	Emissione	Aureli	Sabbatini	Sciosci	Feb. '10
<b>Rev.</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Elaborato</b>	<b>Verificato</b>	<b>Approvato</b>	<b>Data</b>

 	<b>PROGETTISTA</b>  <b>Snamprogetti</b>	<b>COMMESSA</b> <b>P66990</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	<b>SPC. LA-E-80082</b>	
	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 2 di 44	<b>Rev.</b> <b>0</b>

## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE</b>	<b>3</b>
1.1	Oggetto della relazione	3
1.2	Elaborati progettuali di riferimento	3
1.3	Sistema di qualità	4
<b>2</b>	<b>INQUADRAMENTO TERRITORIALE</b>	<b>5</b>
2.1	Caratterizzazione generale del sito di intervento	5
2.2	Morfometria del bacino sotteso	7
2.3	Opere di derivazione e presa	9
<b>3</b>	<b>STUDIO IDROLOGICO</b>	<b>12</b>
3.1	Criteri generali di analisi	12
3.2	Procedure di regionalizzazione idrologica	13
3.3	Applicazione dei modelli di calcolo	15
3.4	Conclusioni dello studio idrologico	21
<b>4</b>	<b>STUDIO IDRAULICO</b>	<b>23</b>
4.1	Finalità e presupposti dello studio idraulico	23
4.2	Assetto geometrico e modellazione dell'alveo	23
4.3	Parametri del deflusso di piena	26
<b>5</b>	<b>VALUTAZIONE DEI FENOMENI EROSIVI IN ALVEO</b>	<b>29</b>
5.1	Fenomeni potenziali oggetto di indagine	29
5.3	Stima dei massimi approfondimenti attesi	32
<b>6</b>	<b>SINTESI E CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE</b>	<b>35</b>
	<b>APPENDICE I - STRALCI TOPOGRAFICI DI DETTAGLIO</b>	<b>37</b>
	<b>APPENDICE II - TABELLE DATI E REPORT</b>	<b>40</b>
	<b>APPENDICE III - METODOLOGIA DI VERIFICA IDRAULICA</b>	<b>43</b>

 	<b>PROGETTISTA</b>  <b>Snamprogetti</b>	<b>COMMESSA</b> <b>P66990</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	<b>SPC. LA-E-80082</b>	
	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 3 di 44	<b>Rev.</b> <b>0</b>

## 1 INTRODUZIONE

### 1.1 Oggetto della relazione

La realizzazione del metanodotto "Pontremoli - Cortemaggiore", costituito da condotta DN 900 mm (36"), comporta l'attraversamento in sub-alveo del torrente "Gordana"<sup>1</sup>, nel territorio del Comune di Pontremoli, in provincia di Massa Carrara.

L'ottimizzazione planimetrica del tracciato ed il profilo di posa della condotta attraverso l'alveo del corso d'acqua sono stati individuati in funzione di valutazioni di tipo geomorfologico, geologico ed idraulico. A tali fini, le caratteristiche morfologiche e geologiche dell'area, in particolare, sono state valutate sulla base dei seguenti elementi:

- documentazione bibliografica e cartografica disponibile;
- rilievi topografici di dettaglio;
- evidenze emerse nel corso di sopralluoghi di controllo appositamente effettuati.

Gli stessi elementi hanno permesso la definizione dei seguenti aspetti progettuali:

- metodologia esecutiva per la posa del metanodotto;
- caratteristiche tipologiche e dimensionali degli interventi di ripristino e di eventuale integrazione delle opere di difesa idraulica esistenti.

Nella presente relazione sono descritte le analisi condotte per la valutazione della portata di piena e per la stima dei parametri di deflusso di tale portata nel corso d'acqua, in corrispondenza della sezione di attraversamento.

In relazione ai risultati ottenuti è possibile verificare che la profondità minima prevista per la posa della condotta risulta tale da garantirne la sicurezza nei riguardi degli effetti erosivi che potrebbero verificarsi sul fondo d'alveo.

Le analisi sono state effettuate sulla base di valutazioni idrologiche ed idrauliche, condotte come di seguito descritto:

- sono stati analizzati i risultati dei rilievi topografici di dettaglio;
- è stato elaborato uno studio idrologico del corso d'acqua, per la porzione di bacino sottesa dalla sezione di interesse, al fine di valutare la portata di massima piena corrispondente a prefissato tempo di ritorno;
- si sono determinati i parametri di deflusso idrico in moto uniforme, per il riscontro dei potenziali effetti dell'evento di piena, diretti ed indiretti, in corrispondenza della sezione di attraversamento.

### 1.2 Elaborati progettuali di riferimento

Per le caratteristiche progettuali dell'attraversamento, comprendenti le specifiche geometriche e strutturali della condotta, il profilo di posa della stessa, nonché gli

<sup>1</sup> Denominato anche "Gordiano".

 	<b>PROGETTISTA</b>  <b>Snamprogetti</b>	<b>COMMESSA</b> <b>P66990</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	<b>SPC. LA-E-80082</b>	
	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 4 di 44	<b>Rev.</b> <b>0</b>

elementi tipologici e dimensionali degli interventi previsti, la presente relazione ha riferimento nell'elaborato

- Attraversamento: S.P. n.36 di Arzelato - torrente Gordiano, LC-13E-81121.

Esso costituisce anche la caratterizzazione di dettaglio del sito.

A tale elaborato si rimanda per quanto non espressamente descritto nella presente relazione e per ogni correlato approfondimento.

### 1.3 Sistema di qualità

Le attività relative al presente studio sono sviluppate seguendo quanto stabilito dalle procedure ed istruzioni di lavoro applicabili nell'ambito del sistema di qualità aziendale SAIPEM S.p.A., certificato dal DNV ai sensi UNI EN ISO 9001:2000 (Certificate No: LRC 160247/D – Original approval: 08/12/1994).

 	<b>PROGETTISTA</b>  <b>Snamprogetti</b>	<b>COMMESSA</b> <b>P66990</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	<b>SPC. LA-E-80082</b>	
	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 5 di 44	<b>Rev.</b> <b>0</b>

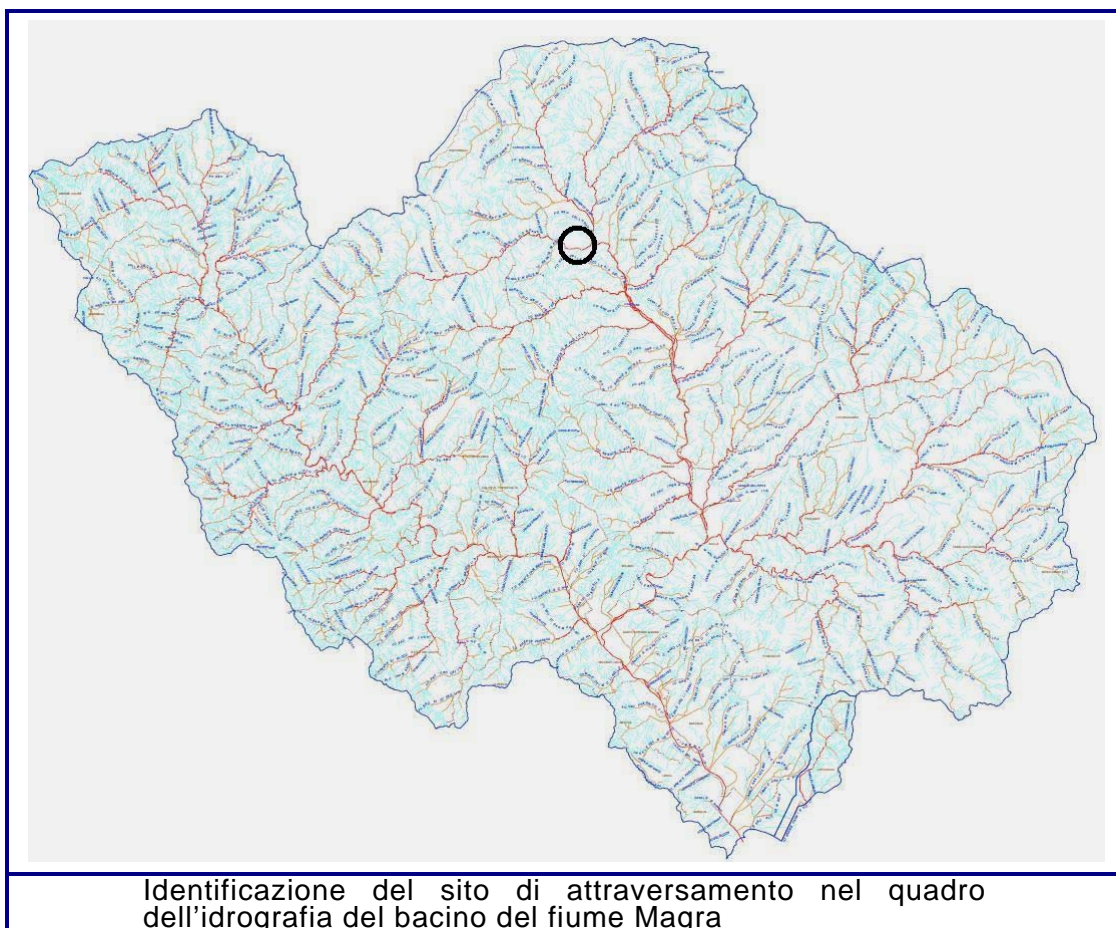
## 2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

### 2.1 Caratterizzazione generale del sito di intervento

Il torrente Gordana è un corso d'acqua di significative dimensioni, direttamente tributario nel fiume Magra, in destra di questo; in cui confluisce circa 0,6 km (misurati lungo lo sviluppo dell'asta cartografata) a valle del sito di attraversamento.

Quest'ultimo è localizzato tra le località "Gropo Montone", "Orsola" e "Fiesolane", ove la valle del torrente si apre sulla pianura alluvionale del Magra.

L'incisione che può identificarsi come genesi dell'asta principale ha inizio dai rilievi del monte "Tecchione", in prossimità dello spartiacque tra il bacino del Magra e quello del fiume Vara, suo principale tributario medio-vallivo.



Il torrente Gordana, dopo un primo tronco montano in asse nord-sud, si snoda essenzialmente in direzione ovest-est, con un corso caratterizzato da vasti archi. Il regime torrentizio delle acque, in massima parte ristrette in valli dai versanti acclivi, si nota soprattutto nella parte alta del corso, fino alla diga di Giaredo; oltre la quale

 	<b>PROGETTISTA</b>  <b>Snamprogetti</b>	<b>COMMESSA</b> <b>P66990</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	<b>SPC. LA-E-80082</b>	
	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 6 di 44	<b>Rev.</b> <b>0</b>

cominciano gli omonimi stretti, che, nei pressi di Cavezzana Gordana assumono aspetto di piccoli canyon, incisi in formazioni calcaree e silicee molto antiche.

Il tronco terminale, pressoché ortogonale all'asta del Magra (come la maggior parte delle direttrici naturali degli affluenti in destra), ricevendo, prima del tronco di attraversamento, il contributo rilevante del torrente "Mezzemola", è caratterizzato invece dal progressivo degradare dei versanti sulla pianura alluvionale del fiume Magra. Qui si sovrappongono vari ordini di depositi alluvionali relativamente recenti, dotati di elevata permeabilità e sedi di acquiferi anche cospicui.

Le forme del terreno sono sub pianeggianti, con ampi terrazzi, delimitati da piccole scarpate, ai margini delle quali sono presenti tracciati stradali quali la SP 36 di Arzelato ed altri di interesse locale.

L'attraversamento è previsto in un tratto in cui il corso d'acqua ha un andamento rettilineo, a circa 70 metri a monte del ponte autostradale della A15. Qui l'alveo ha una larghezza di circa 15 m, ed è inciso per circa 3,0÷4,0 m. Il profilo longitudinale del fondo, nel tronco di stretto interesse, è caratterizzato da pendenza media pari a 1,7%.



Rappresentazione fotografica dell'alveo a monte del sito di attraversamento (metanodotto esistente)

In progetto si prevede un rivestimento in massi delle sponde e un approfondimento della condotta per il tratto di alveo attraversato. L'intervento non apporterà alterazioni alle condizioni geometriche ed idrauliche dell'alveo, non si realizzeranno restringimenti,

 	<b>PROGETTISTA</b>  <b>Snamprogetti</b>	<b>COMMESSA</b> <b>P66990</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	<b>SPC. LA-E-80082</b>	
	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 7 di 44	<b>Rev.</b> <b>0</b>

deviazioni dell'asta o modifiche morfologiche e non si ipotizza alcuna considerevole variazione delle condizioni locali di scabrezza.

In concomitanza dei maggiori eventi di piena, tale tronco del corso d'acqua è oggetto riconosciuto di possibili fenomeni di esondazione, identificati in ambito PAI. Specificatamente nell'intorno della sezione di interesse sono state perimetrare aree a pericolosità idraulica media, ovvero aree inondabili con tempo di ritorno pari a 200 anni (oltre che aree a pericolosità molto elevata, con tempo di ritorno 30 anni; queste in diretta prossimità all'alveo inciso).

Tale riferimento probabilistico di base si ritiene significativo, in ragione della natura dell'intervento previsto, quale fondamento dell'analisi dell'evento di piena e delle relative verifiche idrauliche, finalizzate ad attestare la sussistenza di idonee condizioni di sicurezza per la condotta in progetto.

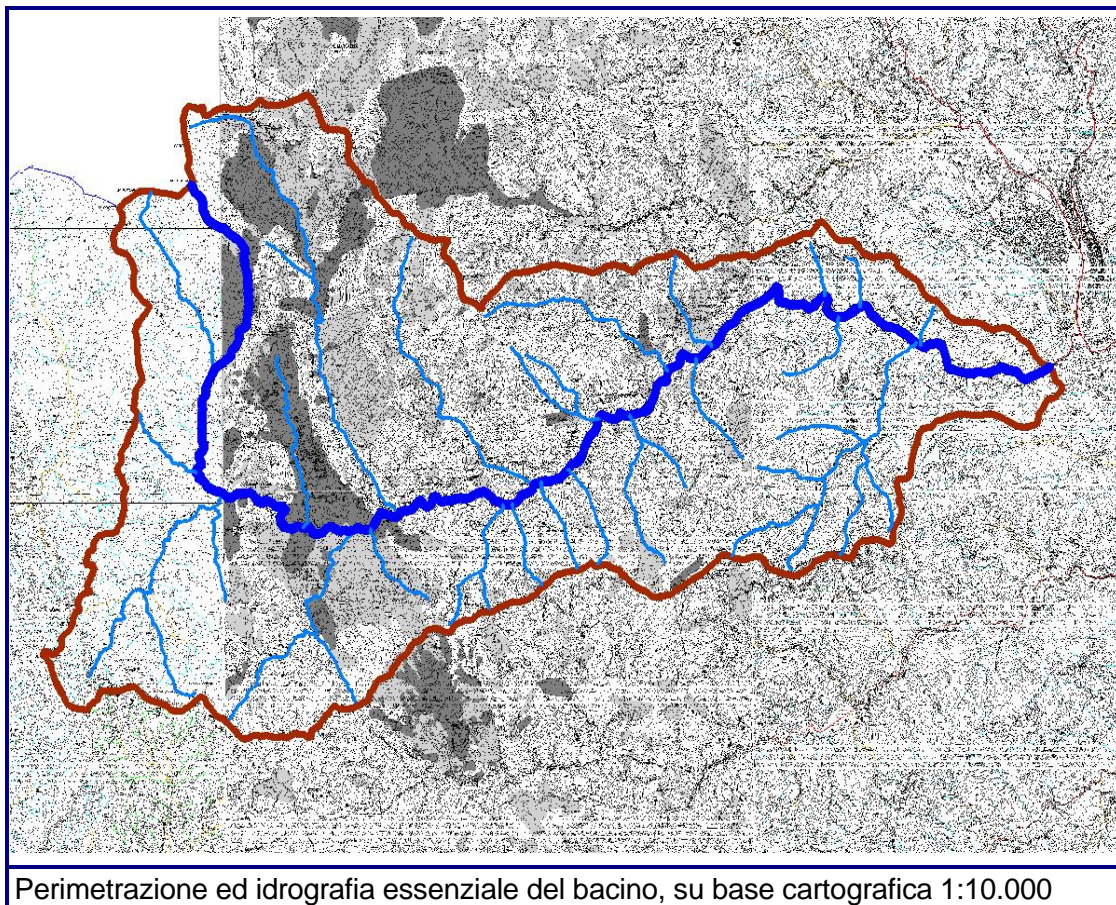
## 2.2 Morfometria del bacino sotteso

Il bacino, sotteso dalla sezione identificata come elemento di chiusura ai fini delle modellazioni idrauliche, è stato delimitato, appositamente per il presente studio, su base cartografica 1:10.0002.

Per la caratterizzazione del bacino, ai fini delle valutazioni idrologiche, si è proceduto a determinare i parametri e le grandezze geometriche e morfometriche principali. Gli elementi di forma stimati riguardano proprietà lineari, areali e di rilievo. Le proprietà lineari sono quelle che attengono al drenaggio e quindi ai caratteri della rete idrografica; le proprietà areali definiscono le superfici di alimentazione ed alcune peculiarità dei versanti; le proprietà del rilievo caratterizzano il bacino dal punto di vista altimetrico ed esprimono il rapporto tra le dimensioni verticali e le proprietà lineari ed areali.

<sup>2</sup> Le valutazioni di lunghezza e superficie qui riportate, espresse in km e km<sup>2</sup>, con riferimento a dati noti, si stima possano essere affette da errore medio rispettivamente compreso tra  $\pm 0,008\%$  e  $\pm 0,015\%$ , derivante dall'errore di riproduzione e vettorializzazione delle carte, di composizione dei fogli e dall'errore di graficismo.

 	<b>PROGETTISTA</b>  <b>Snamprogetti</b>	<b>COMMESSA</b> <b>P66990</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	<b>SPC. LA-E-80082</b>	
	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 8 di 44	<b>Rev.</b> <b>0</b>



La scelta dei parametri morfometrici, in particolare, è stata limitata a quelli ritenuti utili a rappresentare i caratteri geomorfologici funzionali, anche se indirettamente, ai modelli idrologici utilizzati per individuare le relazioni che possono intercorrere tra detti caratteri e la massima portata attesa<sup>3</sup>.

Si specifica che la lunghezza dell'asta principale è assunta come LDP (Longest Drainage Path length), ovvero il percorso tra la sezione di chiusura ed il punto più lontano da essa, sullo spartiacque delimitante il bacino, seguendo le direzioni di drenaggio<sup>4</sup>.

<sup>3</sup> Ciò in quanto la morfometria del bacino condiziona alcuni fenomeni idrologici che in esso si verificano, quali i tempi di trasferimento dei deflussi.

<sup>4</sup> Tale percorso coincide per la maggior parte con l'asta principale idrografica, estendendosi tuttavia fino ai limiti del bacino; l'asta principale ha, di norma, identificazione cartografica e/o sorgente più a valle.



 	<b>PROGETTISTA</b>  <b>Snamprogetti</b>	<b>COMMESSA</b> <b>P66990</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	<b>SPC. LA-E-80082</b>	
	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 9 di 44	<b>Rev.</b> <b>0</b>

La quota della sezione di chiusura è quella della massima incisione nella sezione rilevata di valle. La pendenza media dell'asta principale è stata conseguentemente calcolata come

$$i = \frac{H_{L_{max}} - H_0}{L_p}$$

<i>Parametri morfometrici del bacino</i>		
Quota rilevata sezione di chiusura (m s.l.m.)	<b><math>H_0</math></b>	220,13
Quota massima bacino sotteso (m s.l.m.)	<b><math>H_{MAX}</math></b>	1582,0
Quota massima asta LPD (m s.l.m.)	<b><math>H_{L_{max}}</math></b>	1589,0
Superficie bacino sotteso (km <sup>2</sup> )	<b><math>A</math></b>	49,8
Lunghezza asta LPD (km)	<b><math>L_p</math></b>	18,1
Perimetro bacino sotteso (km)	<b><math>P</math></b>	39,4
Fattore di forma bacino sotteso	$F_f = \frac{A}{L_p^2}$	0,152
Rapporto di allungamento bacino sotteso	$R_{all} = \frac{2\sqrt{A}}{L_p\sqrt{\pi}}$	0,440
Rapporto inverso di allungamento	<b><math>1/R_{all}</math></b>	2,271
Rapporto di circolarità	$R_c = \frac{4\pi A}{P^2}$	0,404
Coefficiente di Gravelius	<b><math>(1/R_c)^{1/2}</math></b>	1,573
Pendenza media asta principale	<b><math>i</math></b>	0,0757

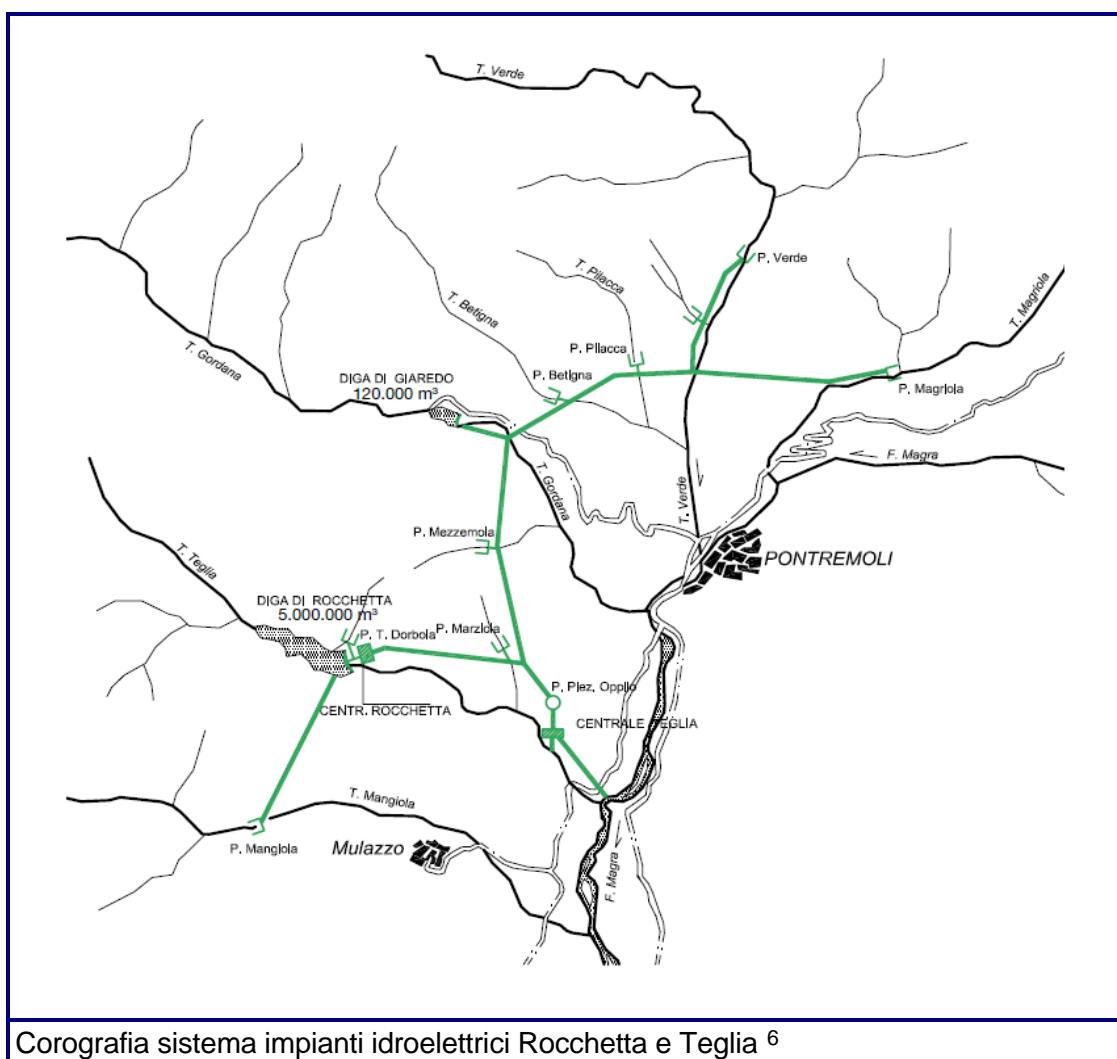
### 2.3 Opere di derivazione e presa

Il corso d'acqua è interessato da opere di presa che rientrano nel quadro complessivo del sistema degli impianti idroelettrici "Rocchetta" e "Teglia". Ciò è realizzato mediante sbarramento ad arco, tracimabile, di altezza oltre 27,0 m, con scarico di superficie con ciglio sfiorante, cui segue una galleria in pressione, che veicola anche le acque provenienti dai torrenti Verde e Gordana, a monte, e Mezzemola, a valle, oltre che di altri corsi d'acqua, e che si collega alla galleria del serbatoio Rocchetta sul Teglia. Tale

 	<b>PROGETTISTA</b>  <b>Snamprogetti</b>	<b>COMMESSA</b> <b>P66990</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	<b>SPC. LA-E-80082</b>	
	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 10 di 44	<b>Rev.</b> <b>0</b>

presa<sup>5</sup> sottende una superficie imbriferà diretta avente area pari ad oltre il 75% del bacino di interesse.

La portata prelevata, che ammonterebbero ad un massimo di 11 m<sup>3</sup>/s è condotta all'impianto di Teglia, I e II salto. I volumi utilizzati da tale sistema vengono scaricati nel fiume Magra; in caso di necessità, le acque derivanti dal I salto possono essere scaricate direttamente nel torrente Teglia, indipendentemente dalla centrale di II salto.



Per quanto noto e descritto, l'influenza del sistema di prelievo non ha notevole rilevanza sul regime dei deflussi ordinari ma non è dato prevedere quale possa l'effetto in concomitanza con gli eventi estremi. Relativamente alla riduzione dei picchi di

<sup>5</sup> Fonte "Edison, Organizzazione gestione idroelettrica – polo 2; Impianti idroelettrici Rocchetta e Teglia, aggiornamento delle informazioni, anno 2005"; Rev. 1 del 19/07/2006; Edison SpA, Foro Bonaparte 31, Milano.

<sup>6</sup> Edison, fonte citata.

 	<b>PROGETTISTA</b>  <b>Snamprogetti</b>	<b>COMMESSA</b> <b>P66990</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	<b>SPC. LA-E-80082</b>	
	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 11 di 44	<b>Rev.</b> <b>0</b>

portata per laminazione, è indubbio invece che la presenza di opere di sbarramento possano incidano su tale fenomeno, con una entità che può non essere costante nel tempo.

Durante gli eventi di piena, l'invaso è gestito secondo quanto previsto da apposito "Documento di Protezione Civile" (che, sulla base della circolare Ministero LL.PP. 352/87 e circolare PCM - DSTN/2/7019 del 19/03/1996, individua le condizioni che devono verificarsi sull'impianto di ritenuta perché si debba attivare il sistema di Protezione Civile e quali siano le procedure da mettere in atto).

A parte tali indicazioni sommarie<sup>7</sup>, per quanto riguarda il sistema di gestione delle piene, in particolare dal punto di vista quantitativo, non sono concretamente note le attività finalizzate alla regolazione dei deflussi nonché gli eventuali piani preventivi di laminazione. Non disponendo di informazioni significative, in estrema sintesi, gli effetti delle derivazioni e dell'invaso sull'andamento delle portate massime eccezionali non sono direttamente valutabili nell'ambito del presente studio.

E' quindi obbligato e, nel caso specifico, opportuno non considerare alcun effetto di laminazione per ottenere risultati a favore di sicurezza sulla valutazione delle caratteristiche della corrente in corrispondenza delle opere che interessano il presente studio, pur sapendo che ricorrerebbe la necessità di adattamento dei risultati derivanti da analisi effettuate a scala "regionale", per la "taratura" locale dei modelli applicati. Si osserva infatti che analisi idrologiche basate su correlazioni tra funzioni probabilistiche operanti sui dati storici e parametri geomorfoclimatici possono essere rese, dal punto di vista concettuale, di non immediata applicabilità, a causa di elementi non naturali che intervengono, in modo variabile, lungo il corso principale del torrente.

E' parimenti evidente che risultano estranee alle modellazioni idrauliche qui presentate le condizioni conseguenti ad analisi di crisi dello sbarramento.

<sup>7</sup> Ai sensi della Circolare Ministero LL.PP. 04/12/1987, n. 352 (Prescrizioni inerenti l'applicazione del regolamento sulle dighe di ritenuta approvato con decreto del Presidente della Repubblica 1° Novembre 1959, n. 1363), ai fini della protezione civile, per tutte le «opere di ritenuta» soggette al regolamento, il concessionario o richiedente la concessione o, in mancanza di questo, il proprietario delle opere, dovrebbe determinare le caratteristiche dell'onda di piena conseguente ad ipotetico collasso dello sbarramento e la individuazione delle aree soggette ad allagamento.

 	<b>PROGETTISTA</b>  <b>Snamprogetti</b>	<b>COMMESSA</b> <b>P66990</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	<b>SPC. LA-E-80082</b>	
	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 12 di 44	<b>Rev.</b> <b>0</b>

### 3 STUDIO IDROLOGICO

#### 3.1 Criteri generali di analisi

Le presenti valutazioni idrologiche hanno come fine la determinazione, per prefissati tempi di ritorno, della portata di piena relativa alla parte di interesse del corso d'acqua in studio, per analizzare e caratterizzare le condizioni idrauliche di deflusso, in corrispondenza delle opere in progetto.

Ai fini delle verifiche idrauliche, il tronco d'alveo di diretto interesse viene rappresentato sulla base dei dati della sezione rilevata di attraversamento, che costituisce l'estremo di indagine; pertanto le valutazioni idrologiche, atte a caratterizzare il bacino imbrifero sono effettuate considerando tale limite come sezione di chiusura: in corrispondenza di essa si determina la portata al colmo, che si attribuisce all'intero tratto di analisi.

Come è noto, la valutazione degli eventi idrologici estremi, appartenendo ad un ambito prettamente probabilistico, si configura come elaborazione di un legame tra il valore della grandezza (portata di piena o pioggia intensa) ed il rischio (inteso qui in senso puramente idrologico) del suo superamento, "espresso" nel tempo di ritorno. Dato  $x^\circ$  valore massimo del campione costituito da tutti i valori assunti dalla grandezza idrologica  $X$  in un generico anno, data la probabilità  $P(x^\circ)$  con cui l'evento, rappresentato quantitativamente da  $x^\circ$ , può verificarsi, tale rischio, in termini statistici, è definibile come segue:

- $P(x^\circ)$  misura la probabilità che il massimo valore assunto dalla grandezza in un generico anno non superi  $x^\circ$  (*probabilità di non superamento*);
- $P(x') = 1 - P(x^\circ)$  è di conseguenza la probabilità che lo stesso evento venga superato da un altro ( $x' > x^\circ$ ) (*probabilità di superamento*);
- $[1 - P(x^\circ)] \cdot n$  è il numero di volte che (con assegnata probabilità) l'evento  $x' > x^\circ$  si verificherà in un periodo di  $n$  anni;
- $T_r$ , *tempo di ritorno*, definisce il periodo medio, espresso in anni, in cui è statisticamente previsto, una sola volta, il verificarsi del fenomeno  $x'$  (ovvero il periodo in cui mediamente  $x^\circ$  è superato una sola volta), ed è dato dalla relazione  $T_r \cdot [1 - P(x^\circ)] = 1$ .

La scelta dei modelli e dei criteri di calcolo atti a fornire i valori da utilizzare per la valutazione degli eventi estremi comporta quindi l'assunzione di un rischio, commisurato alla finalità della indagine. Nel caso delle piene, ciò si concretizza nel confronto tra i valori delle portate, stimati per assegnati tempi di ritorno, e la capacità di deflusso della rete idrografica, procedendo alla verifica degli eventuali effetti sull'alveo, sulle sponde e sulle opere in progetto.

In termini di assetto idrogeologico del territorio, ai fenomeni idrologici ed alla loro analisi stocastica, si associa il concetto di pericolosità, intesa come probabilità, espressa in termini di tempo di ritorno, che un evento eccezionale, di determinata intensità, si verifichi in una data area.

Nel caso in studio, si ritiene significativo, in ragione della natura dell'intervento previsto, porre a fondamento dell'analisi dell'evento di piena e delle analisi idrauliche

 	<b>PROGETTISTA</b>  <b>Snamprogetti</b>	<b>COMMESSA</b> <b>P66990</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	<b>SPC. LA-E-80082</b>	
	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 13 di 44	<b>Rev.</b> <b>0</b>

tempo di ritorno  $Tr = 200$  anni. Le determinazioni idrologiche che seguono, oltre che per tale dato, sono tuttavia elaborate per un più ampio intervallo di valori temporali. Decidere di verificare o dimensionare opere e azioni di salvaguardia per una portata di progetto che ha periodo di ritorno duecentennale corrisponde a decidere sulla base di “una portata sufficientemente più alta di quella massima osservata nella serie storica, ma che tuttavia è stimabile con rilevante affidabilità, specie se si esegue un’analisi regionale evitando i classici errori delle stime a sito singolo”<sup>8</sup>.

### 3.2 Procedure di regionalizzazione idrologica

Gli attuali modelli maggiormente in uso per la determinazione delle condizioni di pericolosità idraulica, basano lo studio idrologico a livello di bacino, finalizzato alla determinazione delle portate attese con diversi tempi di ritorno, sulle metodologie ed i risultati del progetto Valutazione Piene (VAPI) del Gruppo Nazionali Difesa Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI).

Il progetto VAPI è fondato sull’analisi statistica a base regionale dei massimi annuali delle piogge di breve durata e delle piene, relative a vaste aree idrologicamente omogenee.

L’analisi si sviluppa attraverso indagini metodologiche relative alla stima integrata dei parametri di alcuni modelli probabilistici tra cui tra cui il TCEV ed il GEV9.

Di tali modelli è stata predisposta una verifica accurata, che ne ha dimostrato il successo nella applicazione all’ambiente idrologico italiano, sia con riguardo alle serie dei massimi di pioggia, sia con riguardo alle serie delle piene, mediante tecniche di analisi regionale (regionalizzazione) ormai standardizzate. Tali procedure di regionalizzazione, se applicate alla grandezza “portate”, consentono di determinare immediatamente relazioni atte a fornire il valore di massima piena, in funzione di alcuni parametri geomorfoclimatici.

La metodologia di base si fonda su uno stimatore della grandezza idrologica  $X$  (nel caso di interesse, la massima piena attesa), definito secondo un approccio di gerarchizzazione su scala spaziale in tre livelli; ciascun livello consente la stima dei parametri della legge di distribuzione. Tale gerarchizzazione si basa sull’ipotesi che esistano zone geografiche, che possono essere considerate, in senso statistico, omogenee nei confronti dei parametri della legge distribuzione; cosicché la varianza spaziale di questi possa essere trascurabile nei confronti della varianza campionaria.

<sup>8</sup> Autorità di bacino interregionale del fiume Magra, Piano stralcio “assetto idrogeologico” del bacino del fiume Magra e del torrente Parmignola, approvato con Delibera di Consiglio Regionale 05.07.06, n. 69 (BURT Parte II n. 32 del 09.08.06) per il territorio toscano – Relazione generale, paragrafo 2.9.1, “Incertezza idrologica dei risultati”.

<sup>9</sup> I modelli TCEV o GEV ipotizzano che i valori estremi delle grandezze idrologiche provengano da popolazione differenti, legate a differenti fenomeni meteorologici, che corrispondono a componenti che potrebbero definirsi “ordinaria” e “straordinaria” o “generalizzata”. L’espressione matematica dei modelli rappresenta la legge di probabilità del valore massimo di tali due variabili, così da fornire la stima della probabilità corrispondente ad un evento estremo.

 	<b>PROGETTISTA</b>  <b>Snamprogetti</b>	<b>COMMESSA</b> <b>P66990</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	<b>SPC. LA-E-80082</b>	
	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 14 di 44	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Al primo livello, a “scala regionale” (o “sovraregionale”), si procede alla stima dei parametri di forma. Al secondo livello, a scala subregionale (o regionale), si procede alla stima dei parametri di scala. Al terzo livello, a scala di bacino, si procede alla stima di un valore-indice, che può coincidere con un dato medio della grandezza indagata.

Mediante l’approccio di tipo gerarchico, su più livelli successivi, si individuano regioni progressivamente ristrette, in cui è possibile identificare un numero crescente di relazioni tra i parametri della distribuzione e le caratteristiche climatiche e geomorfologiche del territorio. Più precisamente il primo livello consiste nell’individuare zone omogenee, alle quali competono valori costanti di alcuni coefficienti della serie dei massimi annuali della variabile idrologica, da cui discende che in tali zone omogenee possono determinarsi come costanti alcuni parametri della legge di distribuzione; il secondo livello riguarda l’individuazione di sottozone omogenee, interne alle precedenti, nelle quali risultano costanti ulteriori coefficienti, e definisce la funzione di probabilità cumulata, detta curva di crescita. Il terzo livello di regionalizzazione si basa su relazioni locali, all’interno della sottozona omogenea di interesse, tra grandezze geomorfologiche e la grandezza idrologica indagata.

I primi due livelli della analisi regionale operano direttamente sulla variabile idrologica, di conseguenza si identificano zone e sottozone, omogenee dal punto di vista idrometrico o pluviometrico. Il terzo livello di gerarchizzazione dipende sia dalla natura della variabile idrologica sia da teorie ed ipotesi, la validità delle quali è oggetto di accurate verifiche; esso si basa sulla individuazione di legami di correlazione tra un parametro statistico (comunemente coincidente con un valore medio delle serie) e grandezze oggettive, che caratterizzano le località delle stazioni di misura, con l’obiettivo di ottenere una stima del corrispondente parametro teorico (comunemente una media teorica della legge di distribuzione), nei siti ove l’informazione è insufficiente.

In alternativa o ad integrazione delle procedure dirette di analisi regionale delle piene, può ricorrersi a modelli semi-deterministici di formazione dei deflussi, partendo dalla analisi regionale delle piogge, in specie dove il ridotto numero di stazioni idrometriche e la scarsa numerosità campionaria delle serie storiche non permettano di giungere ad una stima affidabile utilizzando la metodologia diretta.

Tali modelli si propongono di rappresentare, con adeguate espressioni matematiche, il legame tra la distribuzione spaziale e temporale della pioggia ed il corrispondente idrogramma, e possono essere utilizzati per la determinazione della “portata indice locale”, che particolarizza la curva di crescita adimensionale delle portate massime annue.

Questa metodologia è quella impiegata nell’ambito del PAI10, “Piano stralcio assetto idrogeologico”, redatto dalla Autorità di bacino del fiume Magra. Per tale studio si è utilizzato il metodo un modello afflussi-deflussi di tipo semi distribuito, tarato e validato sulla base d’eventi storici di piena per i quali si avevano a disposizione sia dati di precipitazione sia misure idrometriche. Le portate al colmo sono ottenute a partire dalla

<sup>10</sup> Autorità di bacino interregionale del fiume Magra, Piano stralcio “assetto idrogeologico” del bacino del fiume Magra e del torrente Parmignola – Relazione generale; Op. cit.

 	<b>PROGETTISTA</b>  <b>Snamprogetti</b>	<b>COMMESSA</b> <b>P66990</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	<b>SPC. LA-E-80082</b>	
	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 15 di 44	<b>Rev.</b> <b>0</b>

conoscenza delle precipitazioni intense regionalizzate, delle caratteristiche morfometriche dei bacini imbriferi e delle proprietà d'assorbimento dei suoli.

L'approccio usato per la costruzione degli ietogrammi di progetto è stato differenziato relativamente ai sottobacini principali, Vara e Magra, a monte della confluenza, al tratto a valle della stessa ed ai piccoli torrenti che affluiscono nel tratto terminale.

I dati di carattere territoriale quali la litologia, l'uso del suolo, la copertura vegetale sono sintetizzate nel metodo "Curve number" dell'U.S. Soil Conservation Service (SCS-USDA, 1968), che, opportunamente "tarato", consente una sintesi di tale complesso di fenomeni. Il metodo è idoneo a rappresentare, globalmente ed in modo "quantitativo", l'influenza delle caratteristiche geologiche e di uso del suolo nei bacini sul fenomeno d'invaso e di infiltrazione degli afflussi<sup>11</sup>.

I risultati conseguiti in ambito PAI, per i diversi tempi di ritorno d'interesse, sono interpretati, del tutto analogamente a quanto in ambito VAPI, con una legge che correla le portate massime all'area della superficie drenata. Gli studi VAPI hanno inoltre determinato relazioni tra le massime portate attese ed altri parametri morfometrici di bacino.

### 3.3 Applicazione dei modelli di calcolo

I risultati dello studio effettuato in ambito PAI<sup>12</sup>, si concretizzano in relazioni di regressione distinte, costruite al variare della estensione del bacino e del tempo di ritorno.

Per l'applicazione del modello afflussi-deflussi costruito su analisi regionale delle piogge intense alla scala di bacino del Magra, è stata utilizzata la procedura basata sull'utilizzo della distribuzione di probabilità TCEV.

La fattispecie di interesse ricade nella casistica dei bacini di media estensione areale, tributari del Magra a monte della confluenza con il corso del fiume Vara; la formulazione proposta è data da

$$Q = K_T \cdot A^\alpha$$

con  $K_T$  dipendente dal tempo di ritorno ed  $\alpha$  variabile secondo la grandezza del bacino.

<sup>11</sup> Il parametro adimensionale CN, per cui  $0 < CN < 100$  (nessun deflusso, massimo deflusso), viene assegnato in funzione della permeabilità, della copertura vegetale ma soprattutto gode di variabilità secondo le condizioni potenziali di imbibimento del suolo all'inizio dell'evento di pioggia significativo.

<sup>12</sup> Allegato 4 alle Norme di attuazione, "Piano stralcio assetto idrogeologico del bacino del fiume Magra"; Op. cit.

 	<b>PROGETTISTA</b>  <b>Snamprogetti</b>	<b>COMMESSA</b> <b>P66990</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	<b>SPC. LA-E-80082</b>	
	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 16 di 44	<b>Rev.</b> <b>0</b>

<i>AdB fiume Magra, parametri per la determinazione della portata al colmo di piena - alto Magra ed affluenti a monte della confluenza con il fiume Vara</i>								
$T_r$	30 anni		100 anni		200 anni		500 anni	
A (km <sup>2</sup> )	A < 39	A > 39	A < 50	A > 50	A < 65	A > 65	A < 80	A > 80
$K_T$	15	26	20	36	23	43	28	54
$\alpha$	0.85	0.70	0.85	0.70	0.85	0.70	0.85	0.70

Posto A = 49,8 km<sup>2</sup>, segue:

$T_r$	30 anni	100 anni	200 anni	500 anni
Q (m <sup>3</sup> /s)	401	554	637	776

Secondo lo studio effettuato in ambito VAPI13, l'Italia nord-occidentale può essere suddivisa in quattro sottozone omogenee. Tale suddivisione è ottenuta attraverso l'analisi delle piene massime annuali. Come distribuzione di probabilità cumulata del coefficiente di crescita del massimo annuale delle portate al colmo, è stata adottata la distribuzione generalizzata del valore estremo GEV.

Il bacino di interesse ricade nella zona denominata C, che include Appennino nord occidentale e bacini tirrenici. Per essa è stata determinata la relazione

$$K_T = 0,643 - (0,377/0,276) \cdot [1 - \exp(0,276 \cdot y_T)]$$

dove  $y_T$  indica la variabile ridotta di Gumbel,  $y_T = -\ln\left(\ln\frac{T_r}{T_r - 1}\right)$ .

Per la stima del valor medio (portata indice),  $q_m$  tale che

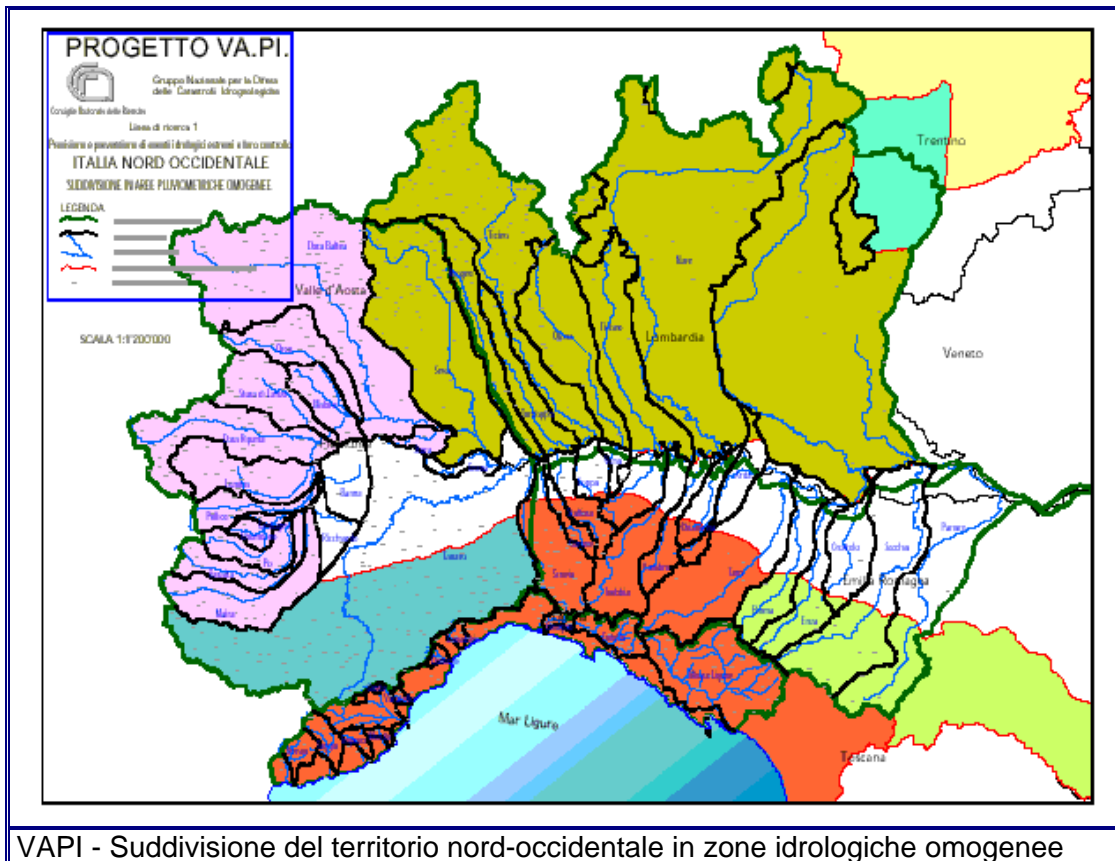
$$Q = K_T \cdot q_m$$

l'identificazione delle aree omogenee è stata effettuata con riferimento al valor medio annuo della portata al colmo di piena istantanea, e sono state tarate diverse formule empiriche, con il metodo della regressione statistica.

<sup>13</sup> C.N.R. -GNDCI Linea 1 – GNDCI, progetto VAPI, "Rapporto di sintesi sulla valutazione delle piene in Italia", settori Parma e Genova; 2001.



 	<b>PROGETTISTA</b>  <b>Snamprogetti</b>	<b>COMMESSA</b> <b>P66990</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	<b>SPC. LA-E-80082</b>	
	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 17 di 44	<b>Rev.</b> <b>0</b>



VAPI - Suddivisione del territorio nord-occidentale in zone idrologiche omogenee

A tale valore, per il territorio della sottozona C, si associano le seguenti relazioni

<i>Progetto VAPI, parametri per la determinazione della portata indice al colmo di piena – bacini appenninici nord occidentali e bacini tirrenici</i>				
	$c_0$	$c_1$	$c_2$	$c_3$
$q_m = c_0 \cdot A^{c_1}$	5,20	0,750		
$q_m = c_0 \cdot A^{c_1} \cdot H_m^{c_2}$	2,62	0,807	0,0626	
$q_m = c_0 \cdot A^{c_1} \cdot H_m^{c_2} \cdot F_f^{c_3}$	2,51	0,874	0,0717	0,265

Posto

- $A = 49,8 \text{ km}^2$ ,
- $H_m^{14} = 904,6 \text{ m s.l.m.}$ ,

<sup>14</sup> Ai fini di una valutazione della portata di piena, nel quadro di un confronto tra i risultati delle relazioni elencate, si assegna al parametro  $H_m$  il valore della quota media dell'asta LPD.

 	<b>PROGETTISTA</b>  <b>Snamprogetti</b>	<b>COMMESSA</b> <b>P66990</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	<b>SPC. LA-E-80082</b>	
	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 18 di 44	<b>Rev.</b> <b>0</b>

-  $F_f = 0,152,$

si riportano le tabelle di sintesi relative alla applicazione delle procedura descritte al caso in studio.

Fattore di crescita: $K_T = 0.643 - (0.377/0.276) \cdot [1 - \exp(0.276 \cdot y_T)]$				
$T_r$	30 anni	100 anni	200 anni	500 anni
$K_T$	2,75	4,14	5,17	6,87
Portata indice : $q_m = c_0 \cdot A^{c1}$				
Q (m <sup>3</sup> /s)	268	404	504	670
Portata indice : $q_m = c_0 \cdot A^{c1} \cdot H_m^{c2}$				
Q (m <sup>3</sup> /s)	258	389	486	646
Portata indice : $q_m = c_0 \cdot A^{c1} \cdot H_m^{c2} \cdot F_f^{c3}$				
Q (m <sup>3</sup> /s)	208	313	391	519

Da cui si evince una tendenza a valori progressivamente minori della portata di massima piena quando si considera l'influenza di un maggior numero di parametri geomorfometrici del bacino (risultato apparentemente equivalente una più appropriata referenziazione locale dei modelli regionali).

Una metodologia di tipo tradizionale, utile per validare il dato di massima piena derivante da analisi di tipo regionale, fa riferimento al contributo unitario di piena, dedotto dai valori delle medie dei colmi di bacini idrologicamente simili e prossimi al bacino in esame, dotati di stazione idrometrica.

Pur nella difficoltà della definizione pratica del concetto di "similitudine idrologica", per un confronto tra i modelli disponibili fin qui descritti, sussiste così la possibilità di una verifica "locale", in base ad elementi oggettivi riferiti alle caratteristiche idrologiche del territorio<sup>15</sup>.

La stima della portata indice, in questo caso, si ottiene moltiplicando il contributo unitario medio del bacino "simile" per la superficie del bacino di interesse.

A tal fine (in assenza di più idonee alternative in termini di superficie sottesa), è possibile ricorrere alla serie costituita dai deflussi specifici di piena derivata dalla serie storica delle portate al colmo registrate nella stazione idrometrica di Magra a Calamazza, dotata di sufficiente estensione campionaria e la cui quota media del

<sup>15</sup> VAPI, "Rapporto di sintesi sulla valutazione delle piene in Italia", settori Parma e Genova; Op. cit.

 	<b>PROGETTISTA</b>  <b>Snamprogetti</b>	<b>COMMESSA</b> <b>P66990</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	<b>SPC. LA-E-80082</b>	
	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 19 di 44	<b>Rev.</b> <b>0</b>

bacino a monte (612 m s.l.m.) è del tutto comparabile con quella relativa al corso d'acqua in studio.

<i>Magra a Calamazza (A = 939 km<sup>2</sup>), serie storica del contributo unitario di massimo deflusso annuo: <math>q_c = Q_{Max}/A</math> (m<sup>3</sup>/s·km<sup>2</sup>)</i>			
anno	$q_c$	anno	$q_c$
1930	0,44	1951	3,27
1931	1,22	1952	2,51
1932	0,96	1953	1,12
1933	0,45	1954	2,02
1934	3,30	1955	1,20
1935	2,69	1956	0,72
1936	0,81	1957	0,73
1937	1,30	1958	1,60
1938	1,42	1959	2,77
1939	1,50	1960	3,71
1940	3,30	1961	1,52
1941	2,63	1962	0,86
1942	0,99	1963	1,08
1943	0,62	1964	1,61
1944	0,48	1965	1,75
1946	1,11	1966	2,00
1947	1,56	1967	1,56
1948	1,14	1968	2,04
1949	2,18	1969	2,69
1950	1,52	1970	1,59

Per tale serie sperimentale si è determinata, oltre che il valor medio, la distribuzione di frequenza sulla base della legge asintotica di probabilità di Gumbel, con parametri calcolati con il metodo dei momenti.

<i>Magra a Calamazza, regolarizzazione di Gumbel (metodo dei momenti) della serie storica del contributo unitario di massimo deflusso annuo</i>					
M(dati)	S(dati)	$\alpha$		$u$	
1,65	0,86	1,500		1,265	
Tempo di ritorno $T_r$ (anni)		30	100	200	500
$q_c$ (m <sup>3</sup> /s·km <sup>2</sup> )		3,52	4,33	4,80	5,41

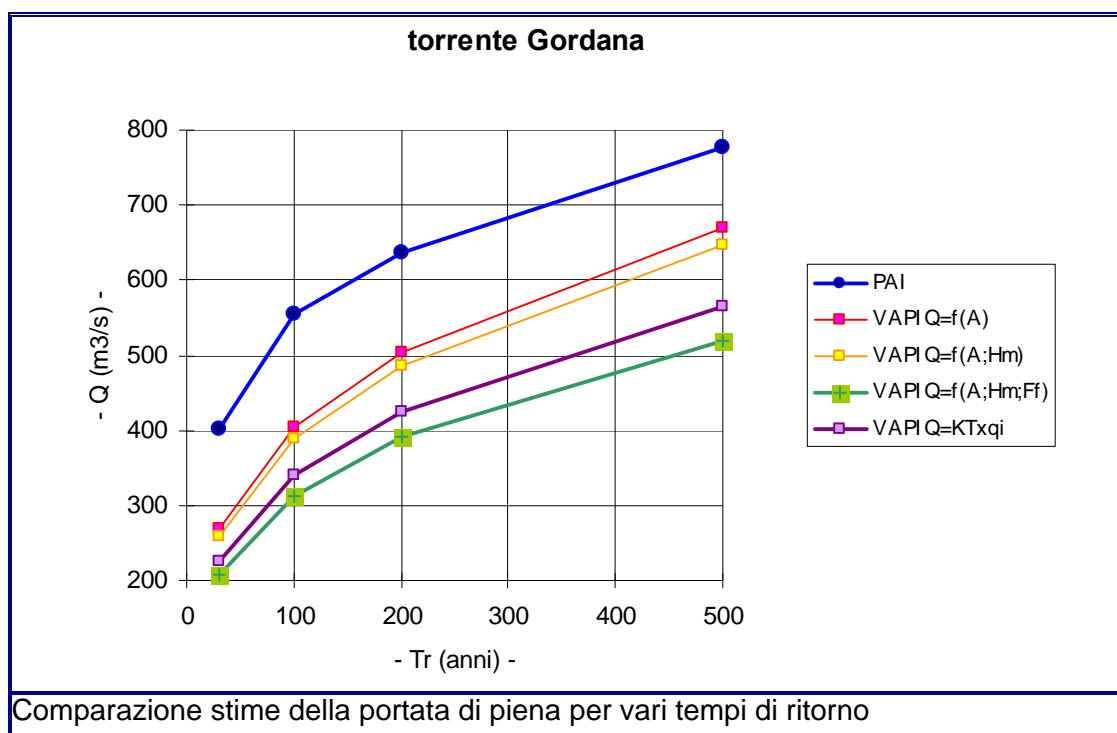
 	<b>PROGETTISTA</b>  <b>Snamprogetti</b>	<b>COMMESSA</b> <b>P66990</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	<b>SPC. LA-E-80082</b>	
	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 20 di 44	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Utilizzando il valor medio quale portata indice ( $q_i$ ) della procedura VAPI, segue:

Fattore di crescita: $K_T = 0.643 - (0.377/0.276) \cdot [1 - \exp(0.276 \cdot y_T)]$				
$T_r$	30 anni	100 anni	200 anni	500 anni
$K_T$	2,75	4,14	5,17	6,87
Portata indice : $q_m = 1,65$				
Q (m <sup>3</sup> /s)	226	340	425	564

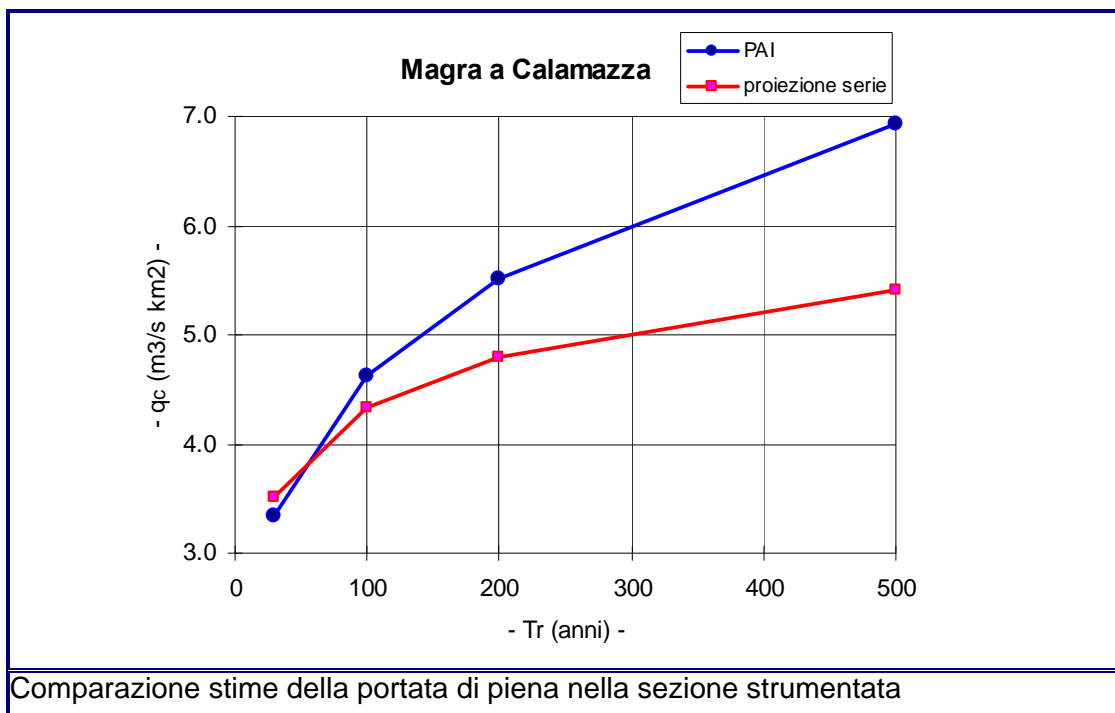
In merito ai valori determinati sulla base delle procedure presentate si osserva quanto segue:

- l'applicazione del modello PAI al caso in esame fornisce valori costantemente maggiori rispetto alla applicazione del modello VAPI;



- l'applicazione del modello PAI al bacino sotteso dalla stazione strumentata Magra a Calamazza, in termini di deflusso specifico massimo per unità d'area, determina, per  $T_r = 200$  anni, stime superiori ai valori probabilistici (regolarizzazione di Gumbel) relativi alla serie storica, (almeno relativamente ai dati disponibili).

 	<b>PROGETTISTA</b>  <b>Snamprogetti</b>	<b>COMMESSA</b> <b>P66990</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	<b>SPC. LA-E-80082</b>	
	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 21 di 44	<b>Rev.</b> <b>0</b>



### 3.4 Conclusioni dello studio idrologico

Si evidenzia che la proiezione probabilistica della portata al colmo, valutata sulla base del modello PAI, sebbene potenzialmente più aderente alla realtà idrologica locale, fornisce valori del tutto prudenziali rispetto a quanto derivante dall'applicazione degli altri modelli disponibili.

Ai fini delle verifiche idrauliche, in ragione dell'importanza dell'opera più che degli effetti che essa potrebbe indurre sull'assetto idrografico, si ritiene di poter operare in chiave conservativa, facendo diretto riferimento ai valori derivanti dalla procedura PAI di stima della massima piena attesa.

Ciò trova motivazione anche in quanto, sulla base di rilievi statistici e di altri riscontri scientificamente attendibili, non consolidati a causa della insufficiente estensione del periodo di osservazione, sussiste la tendenza ad identificare il periodo presente come caratterizzato da effetti climatici di transizione, di cui settori degli ambienti scientifici individuano l'origine in cause antropiche, e che si manifestano in un aumento di intensità degli eventi piovosi ed in una diminuzione di detti eventi nel corso dell'anno.

Poiché tale constatazione non può essere compresa nelle analisi idrologiche derivanti da serie storiche di osservazioni, è recente orientamento della ingegneria idraulica proporre, laddove potenzialmente necessario, ed in specie per i piccoli bacini (ove le maggiori intensità hanno una diretta incidenza), un fattore di cautela mirato ad evitare sottostime degli eventi di piena.

Ne consegue che, per il dato di portata al colmo, di utilizzo per l'analisi del deflusso nel corso d'acqua in studio, si assume, per  $T_r = 200$  anni,  $Q_{Max} = 640 \text{ m}^3/\text{s}$ .

 	<b>PROGETTISTA</b>  <b>Snamprogetti</b>	<b>COMMESSA</b> <b>P66990</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	<b>SPC. LA-E-80082</b>	
	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 22 di 44	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Tale assunzione risulta congruente con i presupposti dello studio, non richiedendosi all'analisi idrologica di addivenire a risultati di valenza assoluta ma solo di fornire un utile dato cautelativo per l'analisi degli effetti della piena.

 	<b>PROGETTISTA</b>  <b>Snamprogetti</b>	<b>COMMESSA</b> <b>P66990</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	<b>SPC. LA-E-80082</b>	
	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 23 di 44	<b>Rev.</b> <b>0</b>

## 4 STUDIO IDRAULICO

### 4.1 Finalità e presupposti dello studio idraulico

Come precedentemente esposto, la superficie imbrifera soggetta alle valutazioni idrologiche condotte è delimitata dalla sezione di attraversamento, che costituisce l'estremo di indagine. Tutte le valutazioni sono pertanto riferite a tale limite come sezione di chiusura.

Lo studio è finalizzato alle seguenti determinazioni:

- stima ed analisi dei parametri idraulici che caratterizzano il deflusso della portata di piena assunta come riferimento, in corrispondenza della sezione interessata dalle opere in progetto;
- valutazione dei potenziali fenomeni erosivi del fondo alveo e degli approfondimenti, che generalmente si verificano in concomitanza di eventi di piena eccezionale.

La modellazione è condotta in condizioni di moto uniforme, in quanto l'analisi è limitata agli effetti del massimo valore di livello idrico raggiunto durante l'evento di piena ed al corrispondente regime di velocità, per la sola sezione di interesse, appositamente rilevata.

Poiché l'intervento non comporta variazioni della geometria d'alveo, lo studio idraulico è eseguito pertanto sia con riferimento alla situazione attuale sia alla configurazione post opera.

### 4.2 Assetto geometrico e modellazione dell'alveo

I dati geometrici di base derivano da apposito rilievo topografico, che ha consentito la redazione di un piano quotato e la definizione di dettaglio delle caratteristiche geometriche dell'alveo e delle sponde nella sezione di attraversamento, oltre che la determinazione della pendenza media lungo il profilo d'asta inciso, nel tronco prossimo al sito di intervento. In particolare, il rilievo della sezione è stato effettuato lungo la direttrice di posa in sub-alveo della condotta.

Ai fini della verifica idraulica, si effettua la trasformazione geometrica della sezione del tracciato di posa, in quanto non ortogonale all'asse di deflusso di piena (doppio angolo di incidenza, in ragione della spezzata dell'asse di progetto: 0,21 r; 0,25 r); a tale scopo, la sezione di verifica viene perciò rideterminata, mediante le componenti normali all'asse longitudinale dell'andamento idrico presunto in coincidenza con la portata al colmo<sup>16</sup>. Il risultato è una trasversale giacente su un piano ortogonale al

<sup>16</sup> Secondo le modalità operative previste, ad esempio, in "PODIS, Progetto operativo difesa del suolo – Metodologie e linee guida per la prevenzione ed il controllo del rischio idrogeologico ; Rischio idraulico", Istituto poligrafico dello Stato, Roma, 2006.

 	<b>PROGETTISTA</b>  <b>Snamprogetti</b>	<b>COMMESSA</b> <b>P66990</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	<b>SPC. LA-E-80082</b>	
	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 24 di 44	<b>Rev.</b> <b>0</b>

vettore velocità della piena; convenientemente estesa alle aree golenali e, nelle porzioni arginate, estesa fino al piano di campagna esterno<sup>17</sup>.

Quest'ultimo è identificato tenendo conto dell'andamento medio dell'alveo inciso e delle presumibili influenze delle protezioni spondali esistenti sulla direttrice del deflusso eccezionale (tale condizione deriva dalla considerazione che il modello d'alveo è funzione della entità della corrente, per cui le sinuosità di magra tendono a scomparire durante il deflusso di piena e l'asta del corso d'acqua ne risulta "rettificata"<sup>18</sup>).

La sezione di verifica è costruita con progressive da sinistra a destra e con osservazione da monte verso valle; i relativi dati di elaborazione sono riportati in appendice. Gli stralci cartografici di dettaglio ivi compreso quello del rilievo planimetrico sono parimenti riportati in appendice.

Per quanto concerne la rappresentazione dei fattori locali di attrito, sulla base di ciò che si è descritto in sede di caratterizzazione del sito, si riscontrano motivi di differenziazione tra alveo inciso e le eventuali aree di esondazione oltre le sponde. Ai fini della simulazione, come parametro si adotta l'indice di scabrezza di Manning "n". Il campo di valori da assegnare all'indice di Manning, discende dalle osservazioni effettuate da Horton e Ramser (VenTeChow, 1959), e dal Dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti; in particolare per "corsi d'acqua naturali, con argini, cespugli sommersi solo per grandi portate e con fondo costituito da ghiaia, ciottoli ed alcuni macigni", il minimo valore per dell'indice n di Manning è 0,030, mentre quello massimo è 0,050. I valori assunti sono peraltro coincidenti con quelli consigliati nella letteratura tecnica, per corsi d'acqua in regime di piena, aventi alveo naturale con depositi e sezioni soggette a variazioni geometriche, e derivano dall'applicazione della formula generale proposta da Cowan (1956) e VenTeChow (1959), secondo la quale:

$$n = (n_{\text{superficie}} + n_{\text{vegetazione}} + n_{\text{restr/allarg}} + n_{\text{irregolarità}} + n_{\text{ostruzioni}}) \cdot m_{\text{curve}};$$

ove, secondo i valori componenti sottoposti a verifica per i corsi d'acqua italiani:

		m
frequenza di deviazioni longitudinali e meandri	ridotta (massima piena)	1,000
	moderate	1,150
	elevate (portate ordinarie)	1,300

<sup>17</sup> Punto 5, allegato 5 alle Norme di attuazione, "Piano stralcio assetto idrogeologico del bacino del fiume Magra"; Op. cit.

<sup>18</sup> La difesa idraulica delle aree urbane – Atti del corso di aggiornamento 1-5/10/2001 – Politecnico di Milano. A cura di Maione U., Brath. A., Mignosa P. - Editoriale Bios



 	<b>PROGETTISTA</b>  <b>Snamprogetti</b>	<b>COMMESSA</b> <b>P66990</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	<b>SPC. LA-E-80082</b>	
	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 25 di 44	<b>Rev.</b> <b>0</b>

		n/m
materiale del fondo	terra	0,020
	roccia	0,025
	sedimenti fini	0,020-0,024
	sedimenti grossolani	0,025-0,028
aspetto medio della vegetazione	vegetazione bassa	0,000-0,010
	vegetazione media	0,010-0,025
	vegetazione alta e rada	0,025-0,050
	vegetazione alta e fitta	0,050-0,100
variazione di forma della sezione	graduale	0,000
	variazione occasionale larghezza	0,005
	variazione frequente di forma o larghezza	0,010-0,015
regolarità del contorno	sponde lisce e regolari	0,000
	irregolarità ridotta	0,005
	irregolarità moderata	0,010
	irregolarità elevata	0,020
effetto relativo di ostruzioni e singolarità	assenti o trascurabili	0,000
	ridotte	0,010-0,015
	moderate	0,020-0,030
	elevate	0,040-0,060

Da cui:

- $n = (0,025+0,000+0,005+0,005+0,000) \cdot 1,000 = 0,035$ , per l'alveo principale;
- $n = (0,020+0,020+0,000+0,000+0,000) \cdot 1,000 = 0,040$ , per le aree di deflusso oltre i limiti di sponda rilevati.

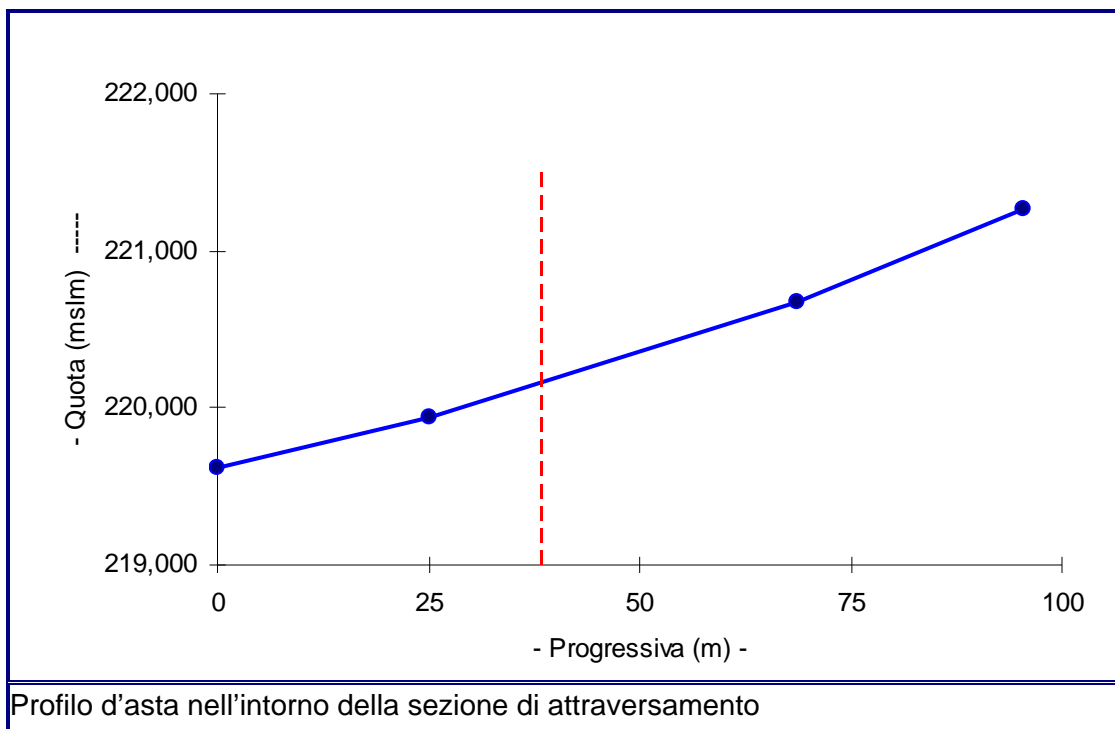
Tali valori corrispondono a  $25 \div 30 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$  del coefficiente  $K_s$  nei termini di scabrezza di Gauckler-Strickler; essi sono quindi aderenti agli intervalli consigliati dalla Autorità di bacino<sup>19</sup> e negli atti del "Progetto operativo difesa del suolo"<sup>20</sup>.

Per quanto riguarda la pendenza del fondo alveo, se ne valuta l'andamento attuale nell'immediato intorno della sezione di attraversamento.

<sup>19</sup> Punto 2, allegato 5 alle Norme di attuazione, "Piano stralcio assetto idrogeologico del bacino del fiume Magra"; Op. cit.

<sup>20</sup> PODIS, Progetto operativo difesa del suolo; Op. cit.

 	<b>PROGETTISTA</b>  <b>Snamprogetti</b>	<b>COMMESSA</b> <b>P66990</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	<b>SPC. LA-E-80082</b>	
	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 26 di 44	<b>Rev.</b> <b>0</b>



In particolare, si evidenziano una pendenza media, su una lunghezza di oltre 95 m, pari a circa 1,70 %, ed una pendenza locale (tra due punti rilevati nelle immediate vicinanze dell'attraversamento) pari a 1,72%. Si assume quindi  $i = 1,7\%$ . Tale campo di valori si può considerare utile per rappresentare anche le condizioni successive all'intervento, giacché questo tenderà a ripristinare la situazione plano-altimetrica originale del corso d'acqua.

### 4.3 Parametri del deflusso di piena

I parametri idraulici caratteristici nella sezione di attraversamento sono determinati attraverso il programma di calcolo FLOWMASTER v6.021 (Report riportato in appendice). Si procede ad ulteriore verifica mediante il codice di calcolo HEC-RAS22, applicato, per il caso di moto uniforme, ad un tronco teorico di deflusso, identificato sulla base della pendenza media assegnata, ed avente costante sviluppo geometrico, e costanti caratteristiche di resistenza.

Tali due simulazioni si differenziano per le modalità di calcolo degli effetti di scabrezza, per profili bagnati che interessano porzioni alle quali si attribuiscono parametri di attrito diversificati. Il codice HEC-RAS, in particolare, consente anche una analisi frazionata del deflusso, nel caso che esso interessi aree di esondazione oltre i limiti del canale

<sup>21</sup> Haestad Methods Inc. – 37 Brookside road, Waterbury, CT 06708 U.S.A.

<sup>22</sup> River Analysis System, versione 3.1.3, maggio 2005, sviluppata da U.S. Army Corp of Engineers - Hydrologic Engineering Center - 609 Second Street, Davis, CA, (U.S.A..)

 	<b>PROGETTISTA</b>  <b>Snamprogetti</b>	<b>COMMESSA</b> <b>P66990</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	<b>SPC. LA-E-80082</b>	
	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 27 di 44	<b>Rev.</b> <b>0</b>

principale, in particolare per quanto attiene alla determinazione della tensione tangenziale.

Dai risultati del modello idraulico, si evince che in regime di piena, relativa al tempo di ritorno prefissato ( $T_r = 200$  anni), l'alveo medio, identificato come canale principale di deflusso, è in grado di contenere la portata entro gli elementi di sponda in sinistra, per come essi sono identificati sulla base della sezione rilevata (e rideterminata); in destra, le acque, pur estendendosi oltre il canale medio principale, rimangono confinate entro limiti geometricamente definiti, coincidenti con elementi morfologici esterni al terrazzo alluvionale.

Le condizioni di deflusso comportano altezza idrica rispetto alla minima quota d'alveo pari a circa 3,7 m, in regime di corrente veloce, con numero di Froude  $> 1,5$ .

La velocità media della corrente si stima pari a circa 5,6 m/s. Il carico cinetico è pari a  $1,6 \div 1,8$  m.

I parametri idraulici fondamentali risultano coerenti tra loro ed attendibili, nei limiti del modello utilizzato. Da ciò discende che anche le valutazioni in merito ai potenziali fenomeni erosivi interessanti l'alveo, in regime di massima piena, conducono a valori aventi sufficienti margini di significatività.

I principali parametri determinati, riportati nel seguito in forma tabellare, sono i seguenti:

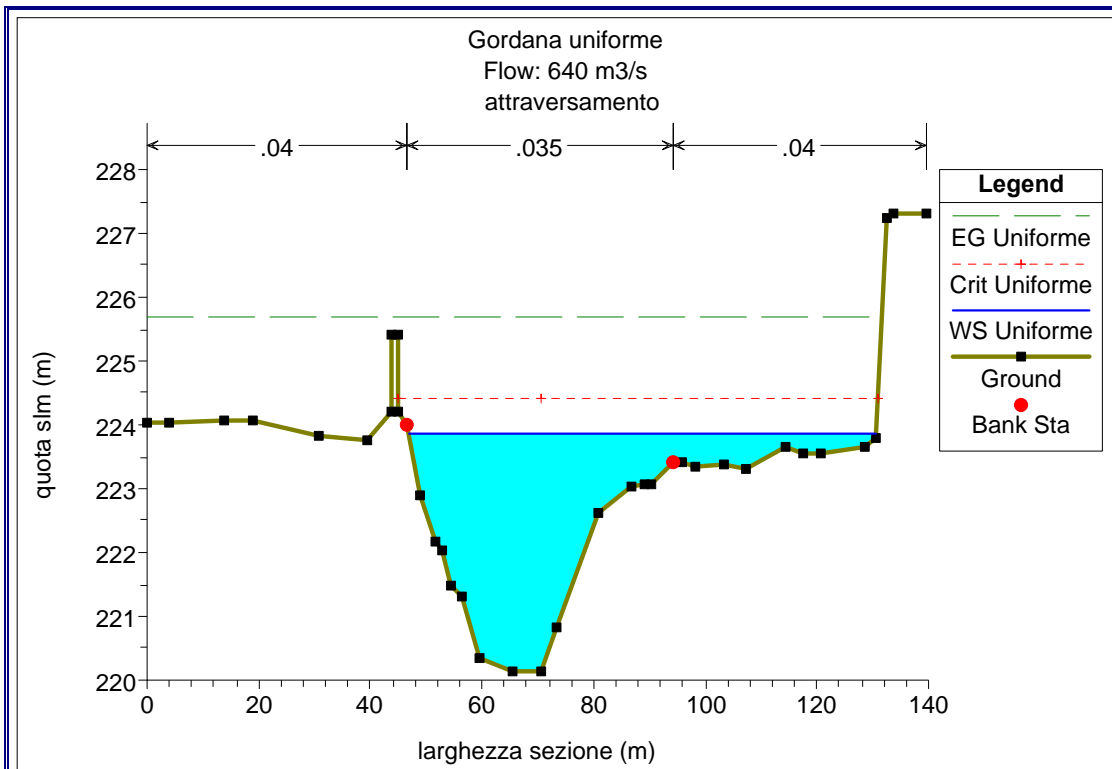
*parametri globali di deflusso*

- E.G. Elev, quota della linea dell'energia per il profilo liquido calcolato;
- Vel Head, carico cinetico;
- W.S. Elev, quota del pelo libero;
- Crit W.S, quota corrispondente all'altezza critica del pelo libero;
- E.G. Slope, pendenza della linea dell'energia;
- Vel. Total, velocità complessiva di flusso;
- Max Chl Dpth, profondità massima in alveo;
- Froude # Chl, numero di Froude;

*parametri parziali delle componenti di deflusso oltre i limiti di sponda sinistra (LeftOB), nell'alveo medio principale (Chan) ed oltre i limiti di sponda destra (RightOB)*

- Wt. n-Val., coefficiente di scabrezza di Manning;
- Wetted Per., lunghezza del contorno bagnato;
- Flow Area, superficie della sezione di deflusso;
- Flow, deflusso parziale;
- Top Width, larghezza superficiale della sezione liquida;
- Avg. Vel., velocità nelle aree di deflusso parziale,
- Hydr Depth, altezza liquida equivalente.

 	<b>PROGETTISTA</b>  <b>Snamprogetti</b>	<b>COMMESSA</b> <b>P66990</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	<b>SPC. LA-E-80082</b>	
	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 28 di 44	<b>Rev.</b> <b>0</b>



E.G. Elev (m)	225,70	<i>Element</i>	<i>Left OB</i>	<i>Channel</i>	<i>Right OB</i>
Vel Head (m)	1,85	Wt. n-Val.		0,035	0,040
W.S. Elev (m)	223,85	Wetted Per. (m)		48,17	36,32
Crit W.S. (m)	224,42	Flow Area (m <sup>2</sup> )		101,21	12,97
E.G. Slope (m/m)	0,0170	Flow (m <sup>3</sup> /s)		618,72	21,28
Vel Total (m/s)	5,61	Top Width (m)		47,28	36,26
Max Chl Dpth (m)	3,72	Avg. Vel. (m/s)		6,11	1,64
Froude # Chl	1,53	Hydr. Depth (m)		2,14	0,36

*Grafico della sezione di deflusso e tabella risultati (moto uniforme)*

 	<b>PROGETTISTA</b>  <b>Snamprogetti</b>	<b>COMMESSA</b> <b>P66990</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	<b>SPC. LA-E-80082</b>	
	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 29 di 44	<b>Rev.</b> <b>0</b>

## 5 VALUTAZIONE DEI FENOMENI EROSIVI IN ALVEO

### 5.1 Fenomeni potenziali oggetto di indagine

Nel corso degli eventi di piena, il fondo degli alvei subisce modifiche morfologiche, spesso anche di notevole entità, innescate da cause che possono essere definite "intrinseche" (dovute cioè a fenomeni naturali quali confluenze, curve, ostacoli naturali ecc.) o "indotte" (legate ad alterazioni di origine antropica diretta o indiretta, quali opere in alveo, escavazioni, ecc.). La valutazione di tali fenomeni riveste notevole importanza ai fini del dimensionamento degli interventi in alveo.

Allo stato attuale delle conoscenze tecniche, la valutazione dell'entità degli approfondimenti, dei fenomeni di escavazione e di trasporto localizzato, nella maggioranza dei casi, dipende da un puntuale riscontro sul campo, atto a valutare lo stato generale dell'alveo. La stima del valore atteso per tali fenomeni rimane, nella maggioranza dei casi, un'attività dipendente in massima parte dall'esperienza e dalla sensibilità del progettista, il quale deve avvalersi in misura preponderante degli esiti di appositi sopralluoghi per valutare lo stato generale dell'alveo. Le analisi di natura sperimentale disponibili, pur fornendo utili indicazioni circa l'entità dei fenomeni, risultano spesso legate alle particolari condizioni al contorno, poste a base della indagine, ed ai modelli rappresentativi realizzati. Il lavoro di ricerca ha prodotto negli ultimi 50 anni una serie di risultati che forniscono utili indicazioni circa l'entità dei fenomeni di escavazione e trasporto localizzato, solo in alcuni casi tipici. Va sottolineato che tali risultati sono in generale caratterizzati da due limiti principali:

- a) la quasi totalità dei dati utilizzati per la definizione delle metodologie di valutazione delle escavazioni proviene da prove effettuate in laboratorio, su modelli in scala ridotta e su terreni di fondo alveo a granulometria maggiormente omogenea di quanto effettivamente riscontrabile in natura;
- b) ogni formula è strettamente legata a casi particolari di escavazione in alveo e risulta difficilmente estrapolabile a casi simili a quelli sperimentati in laboratorio.

Le considerazioni sopra riportate devono condurre pertanto ad un atteggiamento di estrema cautela nell'uso delle relazioni utilizzate per il calcolo degli approfondimenti, avendo cura di utilizzare ciascuna di esse per casi simili a quelli per cui sono state ricavate ed associando comunque alle valutazioni condotte su scala locale (buche, approfondimenti localizzati) considerazioni ed analisi sulla dinamica d'alveo generale nella zona di interesse (presenza o meno di trasporto solido, variazioni storiche della planimetria d'alveo, granulometria dei sedimenti ed indagine geotecnica sui litotipi presenti nei primi metri al di sotto del fondo, ecc.).

Va osservato che l'applicazione dei procedimenti di calcolo disponibili porta sovente a risultati alquanto diversi tra loro, dovuti ad una più o meno corretta valutazione delle diverse grandezze idrauliche e geometriche esplicitate nelle singole formule. Il principale tra i termini fondamentali di analisi è comunque direttamente conseguente agli effetti idraulici del deflusso di piena, in relazione alle caratteristiche geometriche dell'alveo, e quindi ai parametri idraulici della corrente.

 	<b>PROGETTISTA</b>  <b>Snamprogetti</b>	<b>COMMESSA</b> <b>P66990</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	<b>SPC. LA-E-80082</b>	
	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 30 di 44	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Per quanto attiene alla formazione locale di buche ed approfondimenti, le posizioni e le caratteristiche di queste erosioni sono talvolta abbastanza prevedibili, come ad esempio nel punto di gorgo dei meandri o in corrispondenza di manufatti, ed a volte del tutto imprevedibili, specialmente in alvei a fondo mobile, cioè costituiti da un materiale di fondo essenzialmente granulare. Infatti, in tali alvei, anche in assenza di manufatti, sul fondo possono crearsi buche di notevole profondità; le condizioni necessarie per lo sviluppo del fenomeno sembrano individuarsi nella formazione di correnti particolarmente veloci sul fondo e nella presenza di irregolarità geometriche dell'alveo, che innescano il fenomeno stesso. In questi casi, e quando le dimensioni granulometriche del materiale di fondo sono inferiori a 5 cm, i valori raggiungibili dalle suddette erosioni sono generalmente indipendenti dalla granulometria; per dimensioni dei grani maggiori di 5 cm, invece, all'aumentare della pezzatura diminuisce la profondità dell'erosione. Occorre quindi poter stimare quale sia il diametro limite dei clasti trasportabili dalla piena e quindi valutare gli eventuali approfondimenti. Fra i modelli più noti a tal fine (Schoklitsh, Eggemberger, Adami), la formula di Schoklitsh è quella che presenta minori difficoltà nella determinazione dei parametri caratteristici.

Per quanto attiene al fenomeno di scavo temporaneo durante le piene o "aratura di fondo", esso raggiunge valori modesti, se inteso come generale abbassamento del fondo alveo, mentre può assumere valori consistenti, localmente, se inteso come migrazione trasversale o longitudinale dei materiali incoerenti. Nel primo caso si tratta della formazione di canali effimeri di fondo alveo sotto l'azione di vene particolarmente veloci; nel secondo caso, tali approfondimenti possono derivare, durante il deflusso di massima piena, dalla formazione di dune disposte trasversalmente alla corrente fluida, che comportano un temporaneo abbassamento della quota d'alveo, in corrispondenza del cavo tra le dune stesse. Allo stato attuale non potendosi fare che semplici ipotesi sul fenomeno, non è possibile proporre algoritmi per calcolare la profondità degli scavi. Le proprietà geometriche del fondo alveo, in relazione all'entità delle tensioni tangenziali indotte dalla corrente, sono state studiate<sup>23</sup> da Yalin (1964), Nordin (1965) ed Altri, che hanno proposto di assegnare a tali escavazioni un valore cautelativo pari ad una percentuale dell'altezza idrometrica di piena ivi determinata. In particolare, nel caso di regime di corrente lenta, venne concluso che, per granulometrie comprese nel campo delle sabbie, la profondità del fenomeno risulta comunque inferiore a 1/6 o al massimo 1/3 dell'altezza idrica. Una generalizzazione prudentiale, proposta in Italia, sulla base di osservazioni dirette nei corsi d'acqua della pianura padana, estende il limite massimo dei fenomeni di escavazione per aratura, indipendentemente dalla natura del fondo e dal regime di corrente, ad un valore cautelativo pari al 50% dell'altezza idrometrica di piena.

Nel seguito si descrivono quindi le espressioni generali che si ritengono utilizzabili nel caso in oggetto, per la valutazione delle erosioni localizzate e dei potenziali fenomeni di escavazione in alveo, in specie al fine di quantificare il valore che un eventuale approfondimento potrebbe raggiungere rispetto alla quota media iniziale del fondo, interessando quindi la quota di collocazione della condotta.

<sup>23</sup> Si veda la sintesi di questi lavori in Graf W.H., "Hydraulics of sediment transport"; McGraw-Hill, U.S.A.; 1971.

 	PROGETTISTA  <b>Snamprogetti</b>	COMMESSA <b>P66990</b>	UNITÀ <b>000</b>
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	<b>SPC. LA-E-80082</b>	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 31 di 44	Rev. <b>0</b>

#### Diametro limite dei clasti trasportabili

In merito al problema della determinazione del diametro limite dei clasti trasportabili dalla piena, si ricorre alla formula di Shields, che, per i casi di regime turbolento ( $Re^* > 1000$ ), diviene

$$\delta = \frac{\tau_0}{[0.06 \cdot (\gamma_s - \gamma_w)]}$$

dove

- $\delta$  è il diametro delle particelle;
- $\tau_0$  è la tensione tangenziale in alveo;
- $\gamma_s$  è il peso specifico delle particelle;
- $\gamma_w$  è il peso specifico dell'acqua, considerata, per semplicità, limpida.

#### Approfondimenti localizzati

Per quanto attiene al rischio di formazione di approfondimenti localizzati, come già esposto, le condizioni necessarie per lo sviluppo di tali fenomeni possono individuarsi nella formazione di correnti particolarmente veloci sul fondo e nella contestuale presenza di irregolarità geometriche dell'alveo. A seguito delle opere in progetto, non dovrebbero potersi manifestare tali particolari condizioni.

Per determinare un valore medio rappresentativo dell'eventuale approfondimento rispetto alla quota media iniziale del fondo, si ricorre alla formula di Schoklitsh:

$$S = 0.378 \cdot H^{1/2} \cdot q^{0.35} + 2.15 \cdot a$$

dove

- $S$  è la profondità massima degli approfondimenti rispetto alla quota media del fondo, nella sezione d'alveo considerata;
- $H = h_0 + v^2/2g$  rappresenta il carico totale relativo alla sezione immediatamente a monte della buca;
- $q = Q_{Max}/L$  è la portata specifica per unità di larghezza  $L$  della corrente in alveo;
- $a$  è dato dal dislivello delle quote d'alveo a monte e a valle della buca.

Il valore di  $a$  viene assunto in funzione delle caratteristiche geometriche del corso d'acqua, sulla base del dislivello locale del fondo alveo, in corrispondenza della massima incisione, relativo ad una lunghezza pari all'altezza idrica massima ivi determinata.

#### Arature di fondo

Per quanto riguarda il fenomeno di scavo temporaneo durante le piene, come detto, non disponendo allo stato di algoritmi opportunamente tarati, atti a determinare la potenziale entità del fenomeno in relazione alle specificità del sito di attraversamento, ci si basa sulle considerazioni empiriche proposte in letteratura tecnica, secondo le quali un valore del tutto cautelativo della profondità di tali potenziali escavazioni del fondo ( $Z$ ) è stimabile, in corrispondenza di una assegnata sezione, al massimo in ragione del 50% del battente idrometrico di piena ( $h_0$ ), ovvero

 	<b>PROGETTISTA</b>  <b>Snamprogetti</b>	<b>COMMESSA</b> <b>P66990</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	<b>SPC. LA-E-80082</b>	
	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 32 di 44	<b>Rev.</b> <b>0</b>

$$Z = 0,5 \cdot h_o$$

### 5.3 Stima dei massimi approfondimenti attesi

Nelle seguenti tabelle si riportano i valori utili alle determinazioni fin qui descritte, derivati dalla simulazione idraulica in regime di moto uniforme, corrispondenti alla portata di piena definita per il tempo di ritorno  $T_r$ , fissato a base di studio. In particolare:

- Shear, tensione tangenziale  $\tau_o$  agente sul fondo di scorrimento, distinta nelle componenti di flusso oltre i limiti di sponda sinistra (LOB), nell'alveo principale (Chan) ed oltre i limiti di sponda destra (ROB);
- la terna di valori LOB Elev, Min Ch Elev, ROB Elev, quote geodetiche dei limiti di sponda e quota geodetica minima del fondo d'alveo principale, da cui si ricavano (nota la quota del pelo libero "W.S. Elev") i corrispondenti valori dell'altezza idrometrica locale;
- Vel LOB, Vel Chnl, Vel ROB, valori della velocità media di deflusso nelle aree rispettive che lo compongono (oltre i limiti di sponda e nell'alveo principale).

Shear LOB (N/m <sup>2</sup> )	Shear Chan (N/m <sup>2</sup> )	Shear ROB (N/m <sup>2</sup> )	LOB Elev (m)	Min Ch Elev (m)	ROB Elev (m)	Vel LOB (m/s)	Vel Chnl (m/s)	Vel ROB (m/s)
	350,50	59,56	224,01	220,13	223,42		6,11	1,64

Assumendo che la natura e le caratteristiche meccaniche dei sedimenti in alveo possano essere qualificati da un valore medio del peso di volume  $\gamma_s = 17,0 \div 19,0$  kN/m<sup>3</sup>, dai risultati della verifica idraulica e sulla base della media di tali valori seguono:

- $\delta$ , diametro limite dei clasti trasportabili;
- **H**, carico totale rispetto alla quota d'alveo;
- $h_o$ , altezza idrometrica.

Si riporta il prospetto sintetico dei valori relativi alla portata di verifica:

$\gamma_s$ (N/m <sup>3</sup> )	$\delta$ (LOB) (cm)	$\delta$ (Chan) (cm)	$\delta$ (ROB) (cm)	H (LOB) (m)	H (Chan) (m)	H (ROB) (m)	$h_o$ (LOB) (m)	$h_o$ (Chan) (m)	$h_o$ (ROB) (m)	$h_o - \delta$ (Chan) (m)
18000	0,0	71,3	12,1	0,00	5,57	2,28	0,00	3,72	0,43	3,01



 	<b>PROGETTISTA</b>  <b>Snamprogetti</b>	<b>COMMESSA</b> <b>P66990</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	<b>SPC. LA-E-80082</b>	
	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 33 di 44	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Nello specifico, si evidenziano le condizioni per rilevanti fenomeni di trasporto di fondo, correlati alla energia della corrente, in caso di piena. La dimensione dei clasti potenzialmente movimentati è compatibile con la struttura del fondo alveo naturale ed è pertanto possibile che si inneschino fenomeni di distacco e/o trascinamento.

E' tuttavia evidente che i valori determinati per la dimensione dei clasti massimi trasportabili godono di significatività unicamente se l'altezza idrica in alveo risulta ad essi sensibilmente superiore, ovvero  $h_o - \delta \gg 0$ ; in questo senso, i risultati determinati possono intendersi del tutto validi, sebbene solo in chiave "qualitativa"<sup>24</sup>.

Avendo fissato il valore della pendenza media del tronco d'alveo in corrispondenza della sezione di attraversamento ed essendo nota l'altezza idrica di piena, si determina il dislivello di quota, a monte ed a valle delle potenziali buche che si potrebbero manifestare:

pendenza alveo	=	0,017
$h_o$ Chan massimo (m)	=	3,72
$a$ stimato [per lunghezza pari a $h_o$ Chan] (m)	=	0,063

Essendo inoltre noti

- Q Left, Q Channel, Q Right, portate defluenti nella sezione trasversale, distinta nelle componenti di flusso oltre i limiti di sponda sinistra (LOB), nell'alveo medio principale (Chan) ed oltre i limiti di sponda destra (ROB),
  - Top W Left, Top W Chnl, Top W Right, larghezza superficiale della sezione liquida, distinta nelle componenti parziali di deflusso,
- da tali valori e dai precedenti seguono:

- $q$ , portata specifica per unità di larghezza della corrente in alveo;
- $S$ , profondità massima dei potenziali approfondimenti localizzati;
- $Z$ , profondità massima delle potenziali arature di fondo.

Nel dettaglio, si ricava:

$q$ (LOB) (m <sup>3</sup> /s m)	$q$ (Chan) (m <sup>3</sup> /s m)	$q$ (ROB) (m <sup>3</sup> /s m)	$a$ (m)	$S$ (LOB) (m)	$S$ (Chan) (m)	$S$ (ROB) (m)	$Z$ (LOB) (m)	$Z$ (Chan) (m)	$Z$ (ROB) (m)
0,00	13,09	0,59	0,06	0,00	2,32	0,00	0,00	1,86	0,22

<sup>24</sup> Occorre considerare che condizioni straordinarie di velocità della corrente alterano i risultati delle valutazioni, che sono effettuate sulla base di formulazioni adatte al caso di alvei fluviali di pianura e che pertanto possono mal adattarsi alla situazione di tronchi torrentizi. È inoltre da rilevare che le modalità di analisi, condotte in condizioni di moto uniforme, e il dato di portata al colmo assunto a base delle verifiche, in quanto prudenziale nei confronti dei fenomeni di maggiore interesse (ovvero l'eventuale erosione del fondo in corrispondenza dell'attraversamento) conducono ad una sovrastima delle manifestazioni di trasporto (che andrebbero semmai valutate mediante apposite simulazioni, che esulano dalle necessità del presente contesto).

 	<b>PROGETTISTA</b>  <b>Snamprogetti</b>	<b>COMMESSA</b> <b>P66990</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	<b>SPC. LA-E-80082</b>	
	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 34 di 44	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Sulla base dei dati determinati, si desume che i valori delle potenziali erosioni localizzate in alveo, approfondimenti **S** ed arature **Z**, corrispondenti all'evento di piena (per  $T_r = 200$  anni), presentano prevalenza per il primo fenomeno.

E' evidente che la stima quantitativa del potenziale effetto della piena sull'assetto del fondo del corso d'acqua, con profondità d'erosione localizzata pari ad oltre 2,3 m, deve essere comparata con quello che è l'attuale stato dell'incisione principale d'alveo; in altri termini, l'attuale conformazione geometrica, derivante dalla evoluzione geomorfologica, più o meno naturale del corso d'acqua deve poter far presagire la sussistenza del rischio stimato. In tal senso, essendo l'altezza dell'alveo inciso (pur con i limiti relativi alla arbitrarietà di identificazione dei limiti di sponda del canale principale) pari a 3,3÷3,8 m, parrebbe sovrastimata la potenzialità del fenomeno.

E' evidente che maggiori profondità di posa della condotta, in corrispondenza della collocazione in sub-alveo, forniscono ampia garanzia in merito ai potenziali fenomeni di erosione in caso di massima piena.

 	<b>PROGETTISTA</b>  <b>Snamprogetti</b>	<b>COMMESSA</b> <b>P66990</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	<b>SPC. LA-E-80082</b>	
	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 35 di 44	<b>Rev.</b> <b>0</b>

## 6 SINTESI E CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Nell'ambito del progetto di realizzazione del metanodotto "Pontremoli-Cortemaggiore", costituito da condotta DN 900 mm (36"), è previsto l'attraversamento in sub-alveo del torrente "Gordana", nel territorio del Comune di Pontremoli.

Il tronco del corso d'acqua direttamente interessato dalle opere corrisponde all'inizio dell'asta terminale del torrente, direttamente tributario del fiume Magra, in destra di questo; in cui confluisce circa 0,6 km (misurati lungo lo sviluppo dell'asta cartografata) a valle del sito di attraversamento. Qui le forme del terreno sono sub pianeggianti, con ampi terrazzi, delimitati da piccole scarpate, ai margini delle quali sono presenti tracciati stradali quali la SP 36 di Arzelato ed altri di interesse locale.

Nella sezione di attraversamento, a circa 70 metri a monte del ponte autostradale della A15, il torrente è ampio circa 15 metri ed inciso per circa 3,0÷4,0 metri.

In progetto si prevede un rivestimento in massi delle sponde e un approfondimento della condotta per il tratto di alveo attraversato. L'intervento non apporterà alterazioni alle condizioni geometriche ed idrauliche dell'alveo, non si realizzeranno restringimenti, deviazioni dell'asta o modifiche morfologiche e non si ipotizza alcuna considerevole variazione delle condizioni locali di scabrezza.

In concomitanza dei maggiori eventi di piena, tale tronco del corso d'acqua è oggetto riconosciuto di possibili fenomeni di esondazione, identificati in ambito PAI. Specificatamente nell'intorno della sezione di interesse sono state perimetrate aree a pericolosità idraulica media, ovvero aree inondabili con tempo di ritorno pari a 200 anni (oltre che aree a pericolosità molto elevata, con tempo di ritorno 30 anni; queste in diretta prossimità all'alveo inciso).

Per analizzare le condizioni idrauliche del deflusso di massima piena in corrispondenza della sezione di interesse e per stimare i potenziali effetti sulla stabilità della condotta è stato eseguito apposito studio idrologico-idraulico.

Il bacino, sotteso dalla sezione identificata come elemento di chiusura ai fini delle modellazioni idrauliche, è stato delimitato, appositamente per il presente studio, su base cartografica 1:10.000. Per la caratterizzazione del bacino, ai fini delle valutazioni idrologiche, si è proceduto a determinare i parametri e le grandezze geometriche e morfometriche principali.

Per determinare la portata al colmo, l'analisi idrologica è stata effettuata seguendo i modelli elaborati in ambito PAI-Magra, discendenti dall'analisi regionale delle piogge, e le stime regionali delle portate, propri del progetto VAPI. I valori così determinati sono stati oggetto di analisi comparativa. In ragione della natura dell'intervento previsto, si è considerato significativo porre a fondamento dell'analisi dell'evento di piena e delle modellazioni idrauliche il riferimento probabilistico correlato a *tempo di ritorno*  $T_r = 200$  anni.

Il valore di massima piena è stato assunto pari al dato massimo derivante dai modelli idrologici adottati, sebbene esso si dimostri estremamente cautelativo, in virtù dell'analisi del deflusso specifico per unità d'area relativo alla elaborazione di osservazioni idrometriche dirette. Ai fini delle verifiche idrauliche, tuttavia, in ragione dell'importanza dell'opera più che degli effetti che essa potrebbe indurre sull'assetto idrografico, si è ritenuto di operare in chiave conservativa. Quale dato di portata al

 	<b>PROGETTISTA</b>  <b>Snamprogetti</b>	<b>COMMESSA</b> <b>P66990</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	<b>SPC. LA-E-80082</b>	
	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 36 di 44	<b>Rev.</b> <b>0</b>

colmo, di utilizzo per l'analisi del deflusso nel corso d'acqua, è stato quindi assunto  $Q_{Max} = 640 \text{ m}^3/\text{s}$ . Tale assunzione risulta congruente con i presupposti dello studio, non richiedendosi all'analisi idrologica di addivenire a risultati di valenza assoluta ma solo di fornire un utile dato cautelativo per l'analisi degli effetti della piena.

Si è quindi effettuato lo studio idraulico, finalizzato a determinare i parametri che caratterizzano il deflusso della portata di piena, in corrispondenza della sezione interessata dall'attraversamento, ed a valutare i potenziali fenomeni erosivi localizzati del fondo alveo.

I dati geometrici di base derivano da apposito rilievo topografico, che ha consentito la definizione di dettaglio della sezione di interesse, consentendo una rappresentazione fedele delle caratteristiche geometriche dell'alveo e delle sponde.

Le simulazioni numeriche del deflusso sono state eseguite in condizioni di moto uniforme.

Poiché l'intervento non comporta variazioni della geometria d'alveo, lo studio idraulico si applica indifferentemente alla situazione attuale ed alla configurazione post opera.

Sulla base dei risultati conseguiti, si evince che, in coincidenza della prefissata portata al colmo, l'alveo inciso è in grado di contenere la portata entro gli elementi di sponda in sinistra, per come essi sono identificati sulla base della sezione rilevata; in destra, le acque, pur estendendosi oltre il canale medio principale, rimangono confinate entro limiti geometricamente definiti, coincidenti con elementi morfologici esterni al terrazzo alluvionale.



Le condizioni di deflusso comportano altezza idrica rispetto alla minima quota di fondo pari a circa 3,7 m, in regime di corrente veloce. La velocità media della corrente si stima pari a circa 5,6 m/s. Il carico cinetico risulta pari a 1,6÷1,8 m. L'intervento non comporterà riduzioni in tali aspetti del deflusso di piena nel corso d'acqua, né altererà la capacità di laminazione naturale del bacino o la portata naturalmente rilasciata a valle.

In corrispondenza della sezione di attraversamento, i parametri idraulici fondamentali sono risultati congruenti tra loro ed attendibili, ed hanno consentito la stima di potenziali erosioni localizzate, approfondimenti ed arature dell'alveo, conseguenti all'evento di piena.

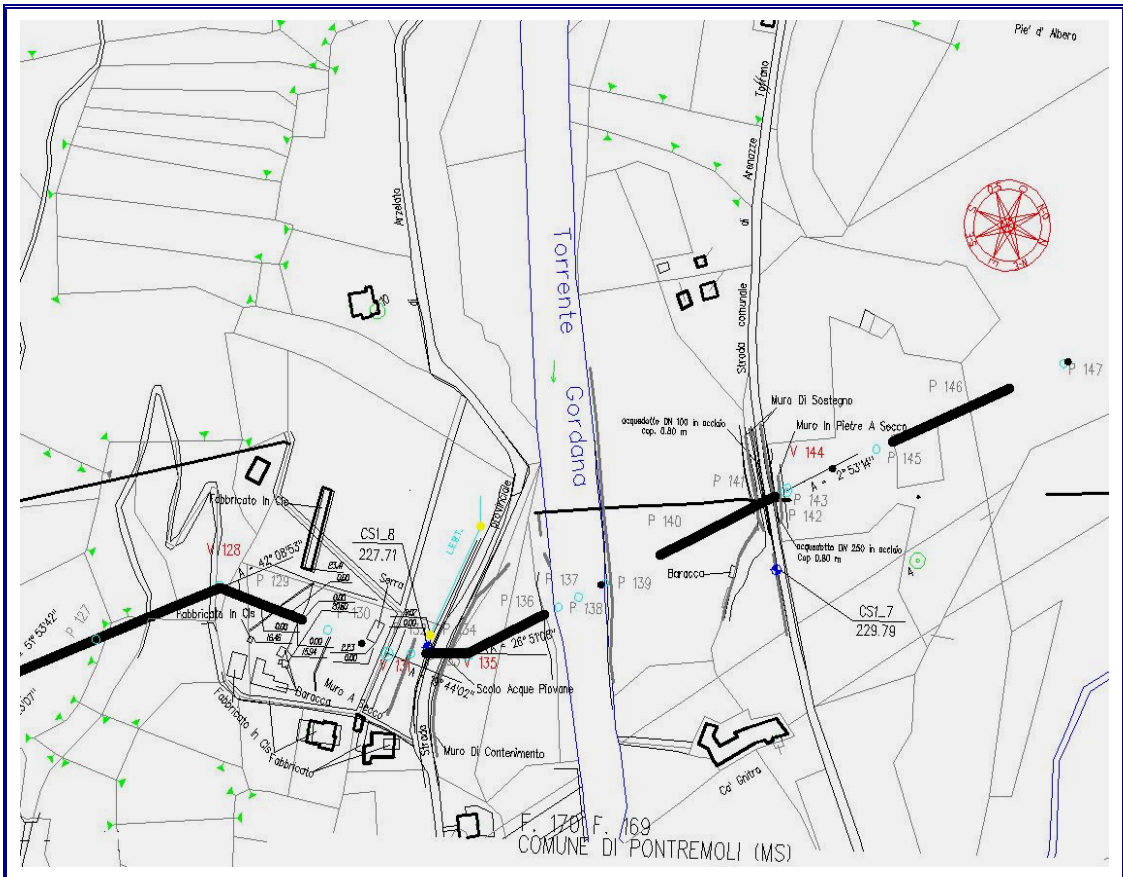
In particolare, si evidenziano le condizioni per rilevanti fenomeni di trasporto di fondo, correlati alla energia della corrente, in caso di piena. La dimensione dei clasti potenzialmente movimentati è compatibile con la struttura del letto naturale d'alveo, e pertanto possibile che si inneschino fenomeni di distacco e/o trascinarsi.

Anche i fenomeni potenziali di approfondimento del fondo sono rilevanti: stime numeriche del tutto prudenziali presentano, per l'evoluzione di erosioni locali, valore massimo circa pari a 2,3 m, da ritenersi comunque sovrastimato, in ragione della concreta morfologia dell'incisione principale d'alveo.

In sintesi, essendo previsto un franco minimo di copertura della condotta pari a 4,5 m, le opere in progetto possono ritenersi tecnicamente fattibili e la profondità di posa più che prudenziale per la sicurezza del metanodotto nella collocazione in sub-alveo.

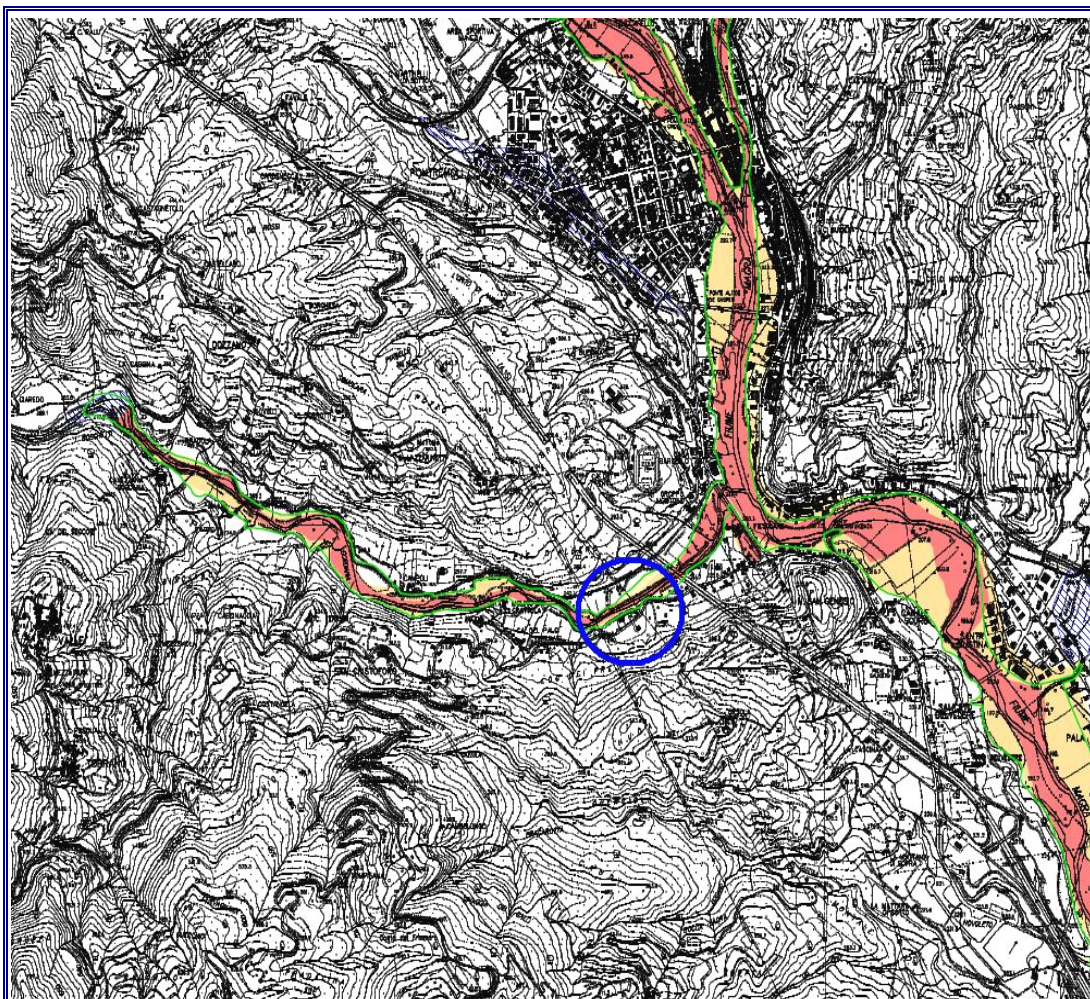
 	<b>PROGETTISTA</b>  <b>Snamprogetti</b>	<b>COMMESSA</b> <b>P66990</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	<b>SPC. LA-E-80082</b>	
	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 37 di 44	<b>Rev.</b> <b>0</b>

**APPENDICE I - STRALCI TOPOGRAFICI DI DETTAGLIO**




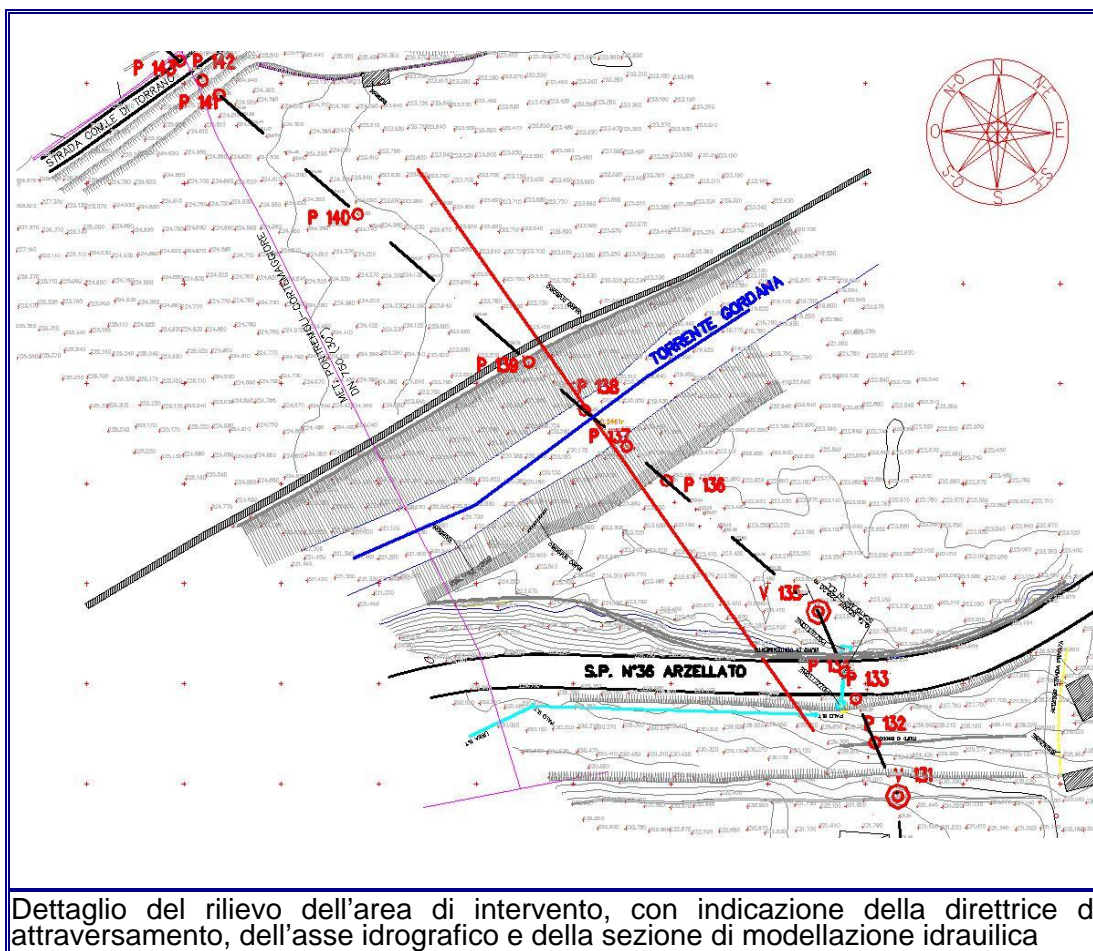
Planimetria dell'area di attraversamento, su base scala catastale 1:2.000

 	<b>PROGETTISTA</b>  <b>Snamprogetti</b>	<b>COMMESSA</b> <b>P66990</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	<b>SPC. LA-E-80082</b>	
	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 38 di 44	<b>Rev.</b> <b>0</b>



Indicazione dell'area di attraversamento, su stralcio cartografia P.A.I. (Carta della pericolosità idraulica con fascia di riassetto fluviale e aree inondabili; Tav. 4-08), base 1:10.000

 <b>Snam</b> Rete Gas	PROGETTISTA  <b>Snamprogetti</b>	COMMESSA <b>P66990</b>	UNITÀ <b>000</b>
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	<b>SPC. LA-E-80082</b>	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 39 di 44	Rev. <b>0</b>



 	<b>PROGETTISTA</b>  <b>Snamprogetti</b>	<b>COMMESSA</b> <b>P66990</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	<b>SPC. LA-E-80082</b>	
	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 40 di 44	<b>Rev.</b> <b>0</b>

## APPENDICE II - TABELLE DATI E REPORT

### COORDINATE SEZIONE DI ATTRAVERSAMENTO

<i>Determinazione della sezione ortogonale al flusso di piena, sulla base della sezione rilevata in asse condotta</i>	angolo di incidenza <b>0,2088 r</b> <b>0,2461 r</b>
---	--

vertici	progressive lungo la condotta (m)	progressive ortogonali al flusso (m)	quota rilevata (m s.l.m.)	parziali lungo la condotta (m)	parziali ortogonali al flusso (m)
<b>P140</b>	0,00	0,00	224,03	0,00	0,00
	4,03	3,91	224,05	4,03	3,91
	14,42	13,99	224,07	10,39	10,08
	19,64	19,05	224,07	5,22	5,06
	31,67	30,72	223,82	12,03	11,67
	40,58	39,36	223,75	8,91	8,64
	44,94	43,59	224,20	4,36	4,23
	44,95	43,60	225,40	0,01	0,01
	46,27	44,88	225,40	1,32	1,28
<b>V135</b>	46,28	44,89	224,20	0,01	0,01
	48,10	46,65	224,01	1,82	1,77
	50,47	48,95	222,90	2,37	2,30
	53,21	51,61	222,18	2,74	2,66
	54,42	52,78	222,05	1,21	1,17
	56,27	54,57	221,48	1,85	1,79
	58,02	56,27	221,32	1,75	1,70
<b>P138</b>	61,34	59,49	220,34	3,32	3,22
	67,69	65,65	220,15	6,35	6,16
<b>P137</b>	72,61	70,42	220,13	4,92	4,77
	75,59	73,31	220,82	2,98	2,89
<b>P136</b>	83,43	80,92	222,61	7,84	7,60
	89,49	86,79	223,04	6,06	5,88
	91,96	89,19	223,08	2,47	2,40
	93,28	90,47	223,07	1,32	1,28
	97,19	94,26	223,42	3,91	3,79
	98,68	95,71	223,42	1,49	1,45
	101,22	98,17	223,35	2,54	2,46
	106,38	103,17	223,38	5,16	5,00
	110,61	107,28	223,30	4,23	4,10
	118,12	114,56	223,64	7,51	7,28
	121,26	117,61	223,55	3,14	3,05
<b>V135</b>	124,40	120,65	223,54	3,14	3,05
	132,57	128,64	223,67	8,17	7,99
	134,46	130,49	223,79	1,89	1,85
	136,44	132,43	227,23	1,98	1,94
<b>P134</b>	137,58	133,55	227,31	1,14	1,12
<b>P133</b>	143,64	139,47	227,30	6,06	5,93



 	<b>PROGETTISTA</b>  <b>Snamprogetti</b>	<b>COMMESSA</b> <b>P66990</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	<b>SPC. LA-E-80082</b>	
	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 41 di 44	<b>Rev.</b> <b>0</b>

## REPORT FLOWMASTER v 6.0 [614e]

### Project Description

Worksheet	Torrente Gordana q. 220
Flow Element	Irregular Channel
Method	Manning's Formula
Solve For	Channel Depth

### Section Data

Slope	0,017000 m/m
Elevation Range	220,13 to 227,31
Discharge	640,0000 m <sup>3</sup> /s

### Roughness Segments

Start Station	End Station	Mannings Coefficient
0+43,60	0+46,65	0,040
0+46,65	0+94,26	0,035
0+94,26	1+39,47	0,040

### Options

Current Roughness Method	Lotter's Method
Open Channel Weighting Method	Lotter's Method
Closed Channel Weighting Method	Horton's Method

### Natural Channel Points

Station (m)	Elevation (m)
0+43,60	225,40
0+44,88	225,40
0+44,89	224,20
0+46,65	224,01
0+48,95	222,90
0+51,61	222,18
0+52,78	222,05
0+54,57	221,48
0+56,27	221,32
0+59,49	220,34
0+65,65	220,15
0+70,42	220,13
0+73,31	220,82
0+80,92	222,61
0+86,79	223,04
0+89,19	223,08
0+90,47	223,07
0+94,26	223,42
0+95,71	223,42
0+98,17	223,35
1+03,17	223,38
1+07,28	223,30
1+14,56	223,64

 	<b>PROGETTISTA</b>  <b>Snamprogetti</b>	<b>COMMESSA</b> <b>P66990</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	<b>SPC. LA-E-80082</b>	
	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 42 di 44	<b>Rev.</b> <b>0</b>

---

Natural Channel Points

Station (m)	Elevation (m)
1+17,61	223,55
1+20,65	223,54
1+28,64	223,67
1+30,49	223,79
1+32,43	227,23
1+33,55	227,31
1+39,47	227,30

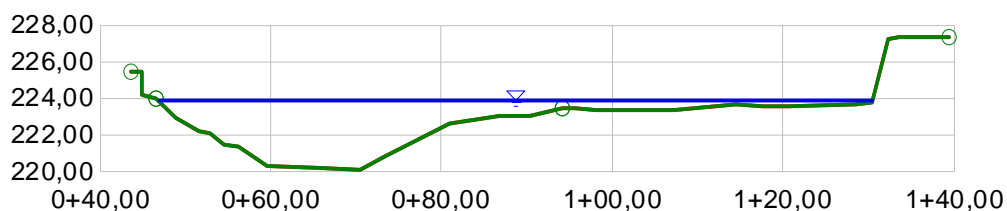
---

Results

Mannings Coefficient	0,037
Water Surface Elevation	223,85 m
Flow Area	114,2 m <sup>2</sup>
Wetted Perimeter	84,48 m
Top Width	83,55 m
Actual Depth	3,72 m
Critical Elevation	224,31 m
Critical Slope	0,006683 m/m
Velocity	5,60 m/s
Velocity Head	1,60 m
Specific Energy	225,45 m
Froude Number	1,53
Flow Type	Supercritical

---

Section



V:2,0  
H:1  
NTS

 	<b>PROGETTISTA</b>  <b>Snamprogetti</b>	<b>COMMESSA</b> <b>P66990</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	<b>SPC. LA-E-80082</b>	
	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 43 di 44	<b>Rev.</b> <b>0</b>

### APPENDICE III - METODOLOGIA DI VERIFICA IDRAULICA

I codici di calcolo utilizzati per le modellazioni permettono di calcolare, per canali naturali od artificiali, l'altezza idrica di moto uniforme, correlata alla corrente a superficie libera unidirezionale (le linee di corrente del moto sono rettilinee e parallele; la velocità del fluido ha un'unica componente non nulla), indipendente dal tempo e dalla coordinata longitudinale che definisce la direzione del moto.

Le generatrici delle sezioni d'alveo sono assunte come rette parallele alla direzione del moto, su direttrici che rappresentano il contorno della corrente, senza variazioni della conformazione geometrica della sezione di deflusso, con pendenza costante del canale.

La modellazione viene così a corrispondere al caso in cui la velocità media della corrente  $V$  è funzione dell'altezza idrometrica, per tramite dell'equazione del moto

$$V = X (R \cdot j)^{1/2} \quad (\text{m/s})$$

dove

- $R$  è il raggio idraulico (m), definito come il rapporto fra l'area della sezione bagnata e la lunghezza del perimetro bagnato;
- $j$  è la pendenza del fondo alveo, nel tratto comprendente la sezione di attraversamento;
- $X$  è il coefficiente di resistenza calcolato secondo la formula di *Manning-Strickler*

$$X = (1/n) \cdot R^{1/6}$$

con

- $n$  = coefficiente di scabrezza, funzione delle caratteristiche geomorfologiche del corso d'acqua.

La portata defluente  $Q$  è legata alla velocità dall'equazione di continuità

$$Q = V \cdot A,$$

dove

- $A$  è l'area della sezione bagnata ( $\text{m}^2$ ).

Con processo iterativo si ricavano l'altezza idrometrica e la velocità relativa alla portata considerata.

Si determina inoltre il numero di Froude  $F_r$ , definito come rapporto fra la forza d'inerzia e la forza di gravità, che caratterizza lo stato energetico del moto (corrente veloce o lenta):

$$F_r = V/(g \cdot h)^{1/2}$$

dove

- $g$  è l'accelerazione di gravità ( $\text{m/s}^2$ ),
- $h$  è il battente idrico (m).

 	<b>PROGETTISTA</b>  <b>Snamprogetti</b>	<b>COMMESSA</b> <b>P66990</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	<b>SPC. LA-E-80082</b>	
	<b>PROGETTO</b> Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 44 di 44	<b>Rev.</b> <b>0</b>

La sezione trasversale è concettualmente suddivisa in tre parti, caratterizzate, laddove necessario, da differenti valori della scabrezza, in cui la velocità si può ritenere uniforme: la parte centrale o canale principale e le banchine laterali o golene. Ciò consente la valutazione di eventuali fenomeni di deflusso oltre limiti d'alveo preassegnati.

La scelta di operare con un modello di moto uniforme, scaturisce dalle seguenti considerazioni:

- la verifica idraulica è di interesse limitatamente ad una sola sezione trasversale;
- i risultati attesi non dipendono dallo sviluppo temporale dell'evento di piena, ma solo dal massimo valore di livello idrico raggiunto durante l'evento stesso e dalla relativa velocità.