 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 1 di 73	Rev. 0

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

**ATTRAVERSAMENTO TORRENTE BETIGNA
STUDIO IDROLOGICO-IDRAULICO**

0	Emissione	Aureli	Sabbatini	Sciosci	Feb '10
Rev.	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato	Data

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 2 di 73	Rev. 0

INDICE

1	INTRODUZIONE	3
	1.1 Oggetto della relazione	3
	1.2 Elaborati progettuali di riferimento	3
	1.3 Sistema di qualità	4
2	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	5
	2.1 Caratterizzazione generale del sito di intervento	5
	2.2 Morfometria del bacino sotteso	7
	2.3 Opere di derivazione e presa	9
3	STUDIO IDROLOGICO	12
	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
4	STUDIO IDRAULICO	23
	4.1 Finalità e presupposti dello studio idraulico	23
	4.2 Assetto geometrico e modellazione dell'alveo	24
	4.3 Perdite localizzate di energia e fattori di attrito	29
	4.4 Parametri del deflusso di piena	30
5	VALUTAZIONE DEI FENOMENI EROSIVI IN ALVEO	39
	5.1 Fenomeni potenziali oggetto di indagine	39
	5.2 Stima dei massimi approfondimenti attesi	42
6	SINTESI E CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	45
	APPENDICE I - STRALCI TOPOGRAFICI DI DETTAGLIO	48
	APPENDICE II - METODOLOGIA DI VERIFICA IDRAULICA	50
	APPENDICE III – REPORT CODICE DI CALCOLO	55

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 3 di 73	Rev. 0

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 "Betigna", nel territorio del Comune di Pontremoli, in provincia di Massa Carrara. Tale attraversamento prevede una percorrenza lungo la sede di deflusso per una lunghezza di qualche decina di metri, in direzione sud-ovest nord-est.

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 del tronco 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 permanente, 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

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 4 di 73	Rev. 0

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

- Attraversamento: canale Betigna / S.C. di Scorano, LC-13D-81131.

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).

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 5 di 73	Rev. 0

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

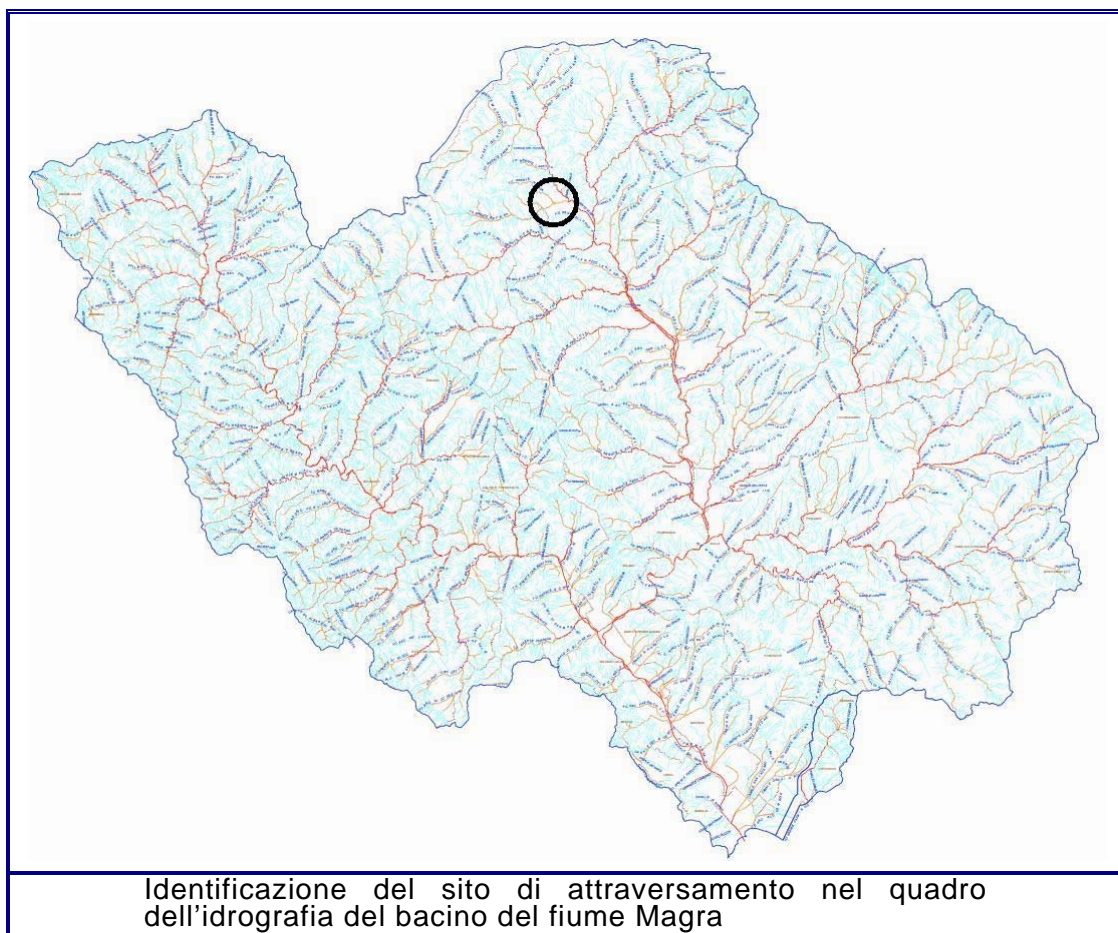
2.1 Caratterizzazione generale del sito di intervento

Il torrente Betigna è un corso d'acqua di non significative dimensioni, tributario destro del torrente Verde, a sua volta confluyente nel fiume Magra, in destra di questo. L'immissione del Betigna nel Verde si realizza circa 0,5 km (misurati lungo lo sviluppo dell'asta cartografata) a valle del sito di attraversamento.

Quest'ultimo è localizzato tra le località "Stello" e "Miana", ove la valle del torrente degrada verso la sponda del T. Verde, in corrispondenza del tronco terminale di tale corso d'acqua, che occupa parte dalla pianura alluvionale del fiume Magra, in corrispondenza della conca di Pontremoli.

Qui su antichi depositi di ambiente lacustre si sovrappongono vari ordini di depositi alluvionali terrazzati relativamente recenti, dotati di elevata permeabilità e sedi di acquiferi anche cospicui.

L'incisione che può identificarsi come genesi dell'asta principale ha inizio dai rilievi del monte "Spiaggi"; essa si snoda essenzialmente in direzione ovest-est, ricevendo numerosi contributi, specie in sinistra idrografica, tra cui quello del torrente Pilaca (circa 270 m a monte del sito di interesse), il cui bacino è rilevante rispetto al totale della superficie imbrifera sottesa dalla sezione di attraversamento.



 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 6 di 73	Rev. 0

Il regime torrentizio delle acque, in massima parte ristrette in valli dai versanti acclivi, si nota soprattutto nella parte alta del corso, fino all'abitato di Sergola.

Nel tronco terminale, variamente urbanizzato, le forme del terreno sono progressivamente più pianeggianti, con terrazzi, delimitati da modesti rilievi, ai margini dei quali sono presenti molteplici tracciati stradali, alcuni dei quali sovrappassano il corso d'acqua in ponti.

L'attraversamento lungo l'alveo è previsto in un tratto in cui il torrente ha un andamento leggermente sinuoso; qui l'alveo di magra ha una larghezza di circa 10 m e si presenta inciso in terreni quaternari di natura alluvionale, su cui si riscontrano elementi di varia pezzatura, a testimonianza di eventi di trasporto associati alla energia della corrente.

La sede dei deflussi di piena è si allarga verso valle, con il degradare dei rilievi che delimitano il corso d'acqua.

In destra idrografica, localmente e a monte, la sponda ha un'altezza superiore a 7,0 m e pendenza elevata, ed è ricoperta da una fitta vegetazione arbustiva. La sponda in sinistra idrografica ha un'altezza locale di circa 2,0 m ed una pendenza minore rispetto all'opposto versante.



Rappresentazione fotografica del sito di attraversamento

Il terrazzo in destra è in parte costituito da un deposito di frana quiescente.

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 7 di 73	Rev. 0

Il profilo longitudinale del fondo, nel tronco di stretto interesse (oltre un primo tratto di forma ancora ristretta tra alti margini, avente pendenza locale superiore al 7%), è caratterizzato da pendenza media pari a 3,4%.

Per difendere la condotta dalla dinamica erosiva delle sponde ed eventualmente del fondo alveo, si prevede, oltre che un adeguato approfondimento di posa, il ripristino delle sponde con scogliere in massi e la realizzazione di tre soglie in massi.

Le opere saranno dimensionate in modo da ricostruire l'originaria morfologia delle sponde e da non alterare le caratteristiche geometriche della sezione di deflusso e il profilo del corso d'acqua.

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 porzione del corso d'acqua è oggetto riconosciuto di possibili circoscritti fenomeni di esondazione, identificati in ambito PAI.

Specificatamente nell'intorno del tronco di interesse sono state perimetrare molto ristrette aree a pericolosità idraulica media, ovvero aree inondabili con tempo di ritorno pari a 200 anni. Aree a pericolosità molto elevata, con tempo di ritorno 30 anni, sono riferite essenzialmente all'alveo inciso, nel tronco di percorrenza in sub-alveo, ma più a valle risultano ben più estese, in coincidenza con la confluenza nel torrente Verde.

Il riferimento probabilistico corrispondente a tempo di ritorno 200 anni 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 1:10.000¹.

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.

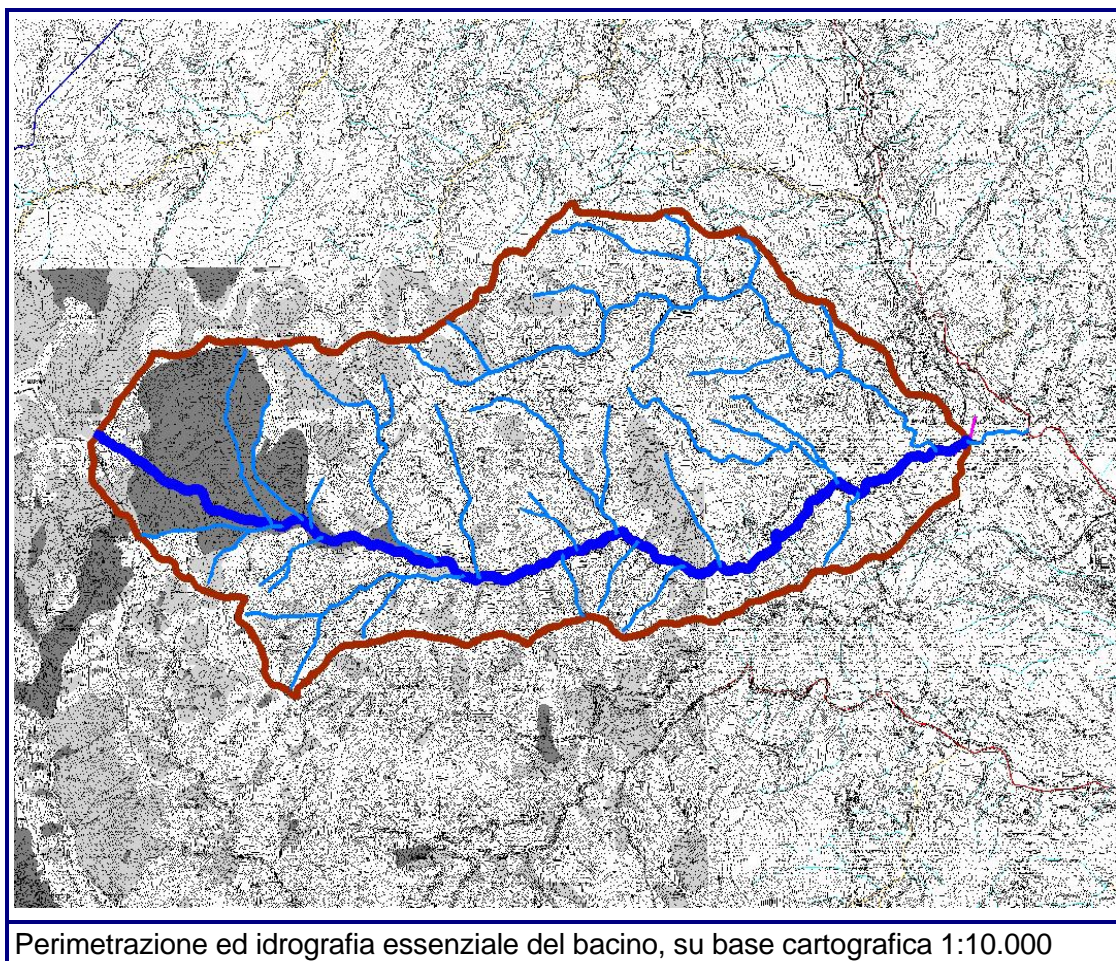
Le proprietà lineari sono quelle che attengono al drenaggio e quindi ai caratteri della rete idrografica; le proprietà areali definiscono le superfici di alimentazione ed alcune peculiarità dei versanti; le proprietà del rilievo caratterizzano il bacino dal punto di vista altimetrico ed esprimono il rapporto tra le dimensioni verticali e le proprietà lineari ed areali.

¹ Le valutazioni di lunghezza e superficie qui riportate, espresse in km e km², con riferimento a dati noti, si stima possano essere affette da errore medio rispettivamente compreso tra ±0,008% e ±0,015%, derivante dall'errore di riproduzione e vettorializzazione delle carte, di composizione dei fogli e dall'errore di graficismo.

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 8 di 73	Rev. 0

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 attesa².

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 drenaggio³.



La quota della sezione di chiusura è quella della massima incisione nella sezione rilevata di valle.

² Ciò in quanto la morfometria del bacino condiziona alcuni fenomeni idrologici che in esso si verificano, quali i tempi di trasferimento dei deflussi.

³ 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.

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 9 di 73	Rev. 0

La pendenza media dell'asta principale è stata conseguentemente calcolata come

$$i = \frac{H_{Lmax} - H_0}{L_p}$$

<i>Parametri morfometrici del bacino</i>		
Quota rilevata sezione di chiusura (m s.l.m.)	H₀	285,53
Quota massima bacino sotteso (m s.l.m.)	H_{MAX}	1558,0
Quota massima asta LPD (m s.l.m.)	H_{Lmax}	1558,0
Superficie bacino sotteso (km ²)	A	17,0
Lunghezza asta LPD (km)	L_p	8,7
Perimetro bacino sotteso (km)	P	19,0
Fattore di forma bacino sotteso	$F_f = \frac{A}{L_p^2}$	0,225
Rapporto di allungamento bacino sotteso	$R_{all} = \frac{2\sqrt{A}}{L_p\sqrt{\pi}}$	0,536
Rapporto inverso di allungamento	1/R_{all}	1,867
Rapporto di circolarità	$R_c = \frac{4\pi A}{P^2}$	0,591
Coefficiente di Gravelius	(1/R_c)^{1/2}	1,301
Pendenza media asta principale	i	0,1467

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 traversa ad arco, tracimabile, munita di bocca di presa e vasca di calma con sfioratore, da cui i volumi captati stramazzano in una vasca di raccolta e quindi veicolati ad un pozzo d'immissione ed ad una galleria in cui integrano le portate prelevate dal torrente Verde. La portata massima derivabile⁴, comprensiva delle prese sui torrenti Pilacca, Lanza, è complessivamente pari a 2 m³/s. La galleria in pressione veicola anche le

⁴ 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.

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 10 di 73	Rev. 0

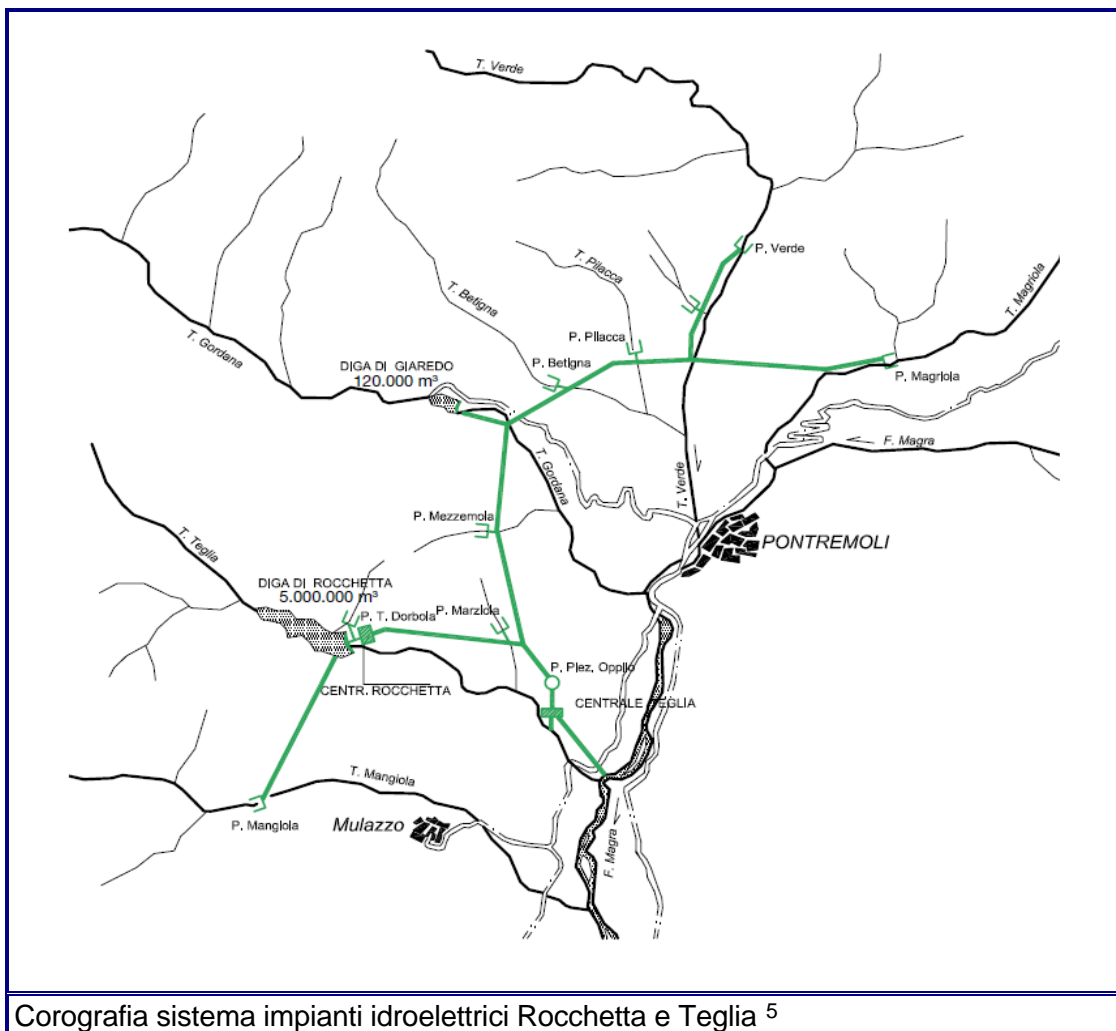
acque provenienti dai torrenti Mangriola, Gordana e Mezzemola, e si collega alla galleria del serbatoio Rocchetta sul Teglia. Le portate prelevate sono condotte all'impianto di Teglia, I e II salto. I volumi utilizzati da tale sistema vengono scaricati nel fiume Magra; in caso di necessità, le acque 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 portata per laminazione, è indubbio infatti che la presenza di opere di sbarramento possano incidere su tale fenomeno, con una entità che può non essere costante nel tempo. 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.

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 11 di 73	Rev. 0



⁵ Edison, fonte citata.

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 12 di 73	Rev. 0

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 di cinque sezioni, ricavate da un piano quotato appositamente rilevato, entro il quale è attestato il tracciato di attraversamento. Le valutazioni idrologiche, atte a caratterizzare il bacino imbrifero, sono effettuate considerando l'ultima sezione di valle corrispondente alla posa in alveo 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° 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° , 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° (*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° 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,

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 13 di 73	Rev. 0

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 *tempo di ritorno* $T_r = 200$ 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"⁶.

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 il TCEV ed il GEV7. 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,

⁶ 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".

⁷ 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.

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 14 di 73	Rev. 0

omogenee nei confronti dei parametri della legge distribuzione; cosicché la varianza spaziale di questi possa essere trascurabile nei confronti della varianza campionaria. 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 PAI8, “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 conoscenza delle precipitazioni intense regionalizzate, delle caratteristiche

⁸ Autorità di bacino interregionale del fiume Magra, Piano stralcio “assetto idrogeologico” del bacino del fiume Magra e del torrente Parmignola – Relazione generale; Op. cit.

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 15 di 73	Rev. 0

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 afflussi⁹.

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 PAI¹⁰, 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 α variabile secondo la grandezza del bacino.

⁹ 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.

¹⁰ Allegato 4 alle Norme di attuazione, "Piano stralcio assetto idrogeologico del bacino del fiume Magra"; Op. cit.

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 16 di 73	Rev. 0

<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 ²)	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
α	0.85	0.70	0.85	0.70	0.85	0.70	0.85	0.70

Nel caso in studio, in cui il bacino di interesse presenta una estensione superficiale contenuta, l'applicazione delle procedure di regionalizzazione comporta inevitabilmente un rilevante margine di errore, in quanto i modelli derivano da dati di base relativi a superfici di ben altra ampiezza areale; tuttavia l'assenza di osservazioni dirette e l'aleatorietà di stime locali di tipo indiretto inducono all'applicazione di tali procedure, riservando ad una valutazione comparativa la valutazione del livello di significatività dei dati conseguibili.

Posto $A = 17,0 \text{ km}^2$, segue:

T_r	30 anni	100 anni	200 anni	500 anni
Q (m ³ /s)	167	222	256	311

Secondo lo studio effettuato in ambito VAPI11, 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, $y_T = -\ln\left(\ln\frac{T_r}{T_r - 1}\right)$.

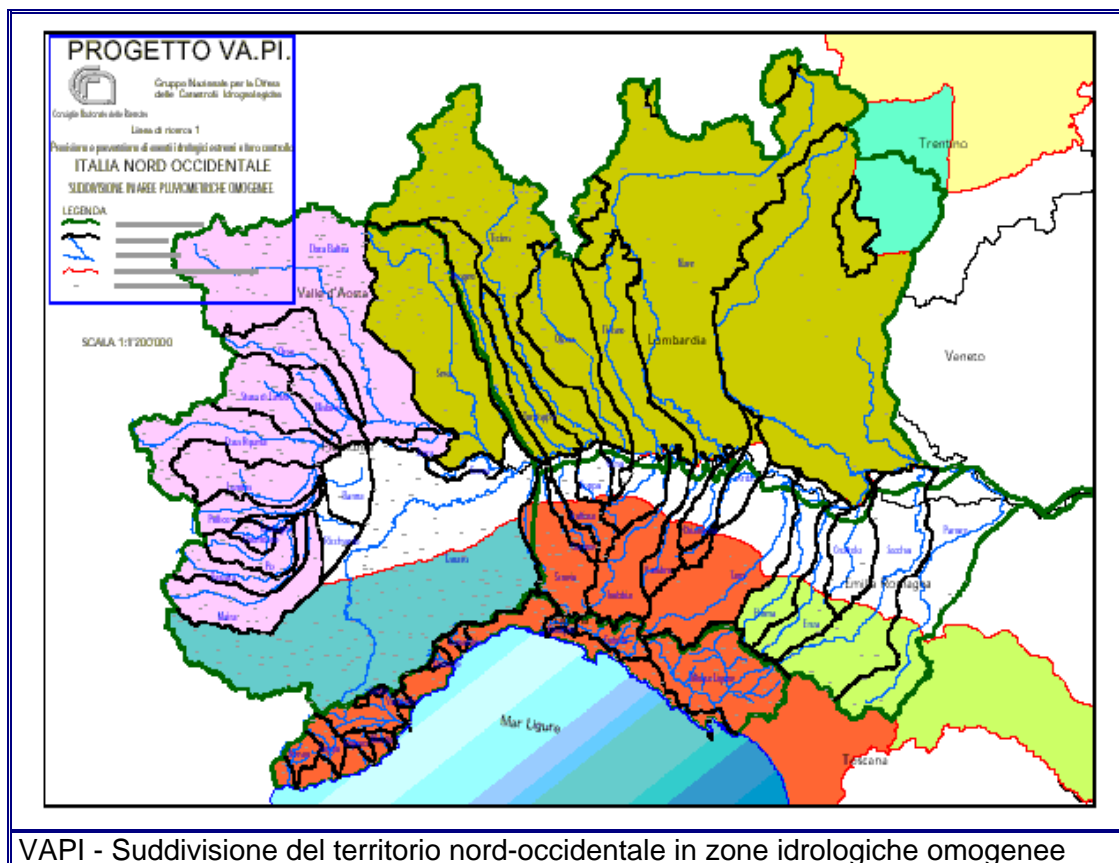
Per la stima del valor medio (portata indice), q_m tale che

$$Q = K_T \cdot q_m$$

¹¹ C.N.R. -GNDCI Linea 1 – GNDCI, progetto VAPI, "Rapporto di sintesi sulla valutazione delle piene in Italia", settori Parma e Genova; 2001.

 Eni Snam Rete Gas	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 17 di 73	Rev. 0

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.



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

- $A = 17,0 \text{ km}^2$,

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 18 di 73	Rev. 0

- $H_m^{12} = 921,8$ m s.l.m.,

- $F_f = 0,225$,

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 ³ /s)	120	180	225	299
Portata indice : $q_m = c_0 \cdot A^{c1} \cdot H_m^{c2}$				
Q (m ³ /s)	109	164	204	272
Portata indice : $q_m = c_0 \cdot A^{c1} \cdot H_m^{c2} \cdot F_f^{c3}$				
Q (m ³ /s)	90	136	170	225

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 territorio¹³.

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

¹² 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.

¹³ VAPI, "Rapporto di sintesi sulla valutazione delle piene in Italia", settori Parma e Genova; Op. cit.

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 19 di 73	Rev. 0

<i>Magra a Calamazza (A = 939 km²), serie storica del contributo unitario di massimo deflusso annuo: $q_c = Q_{Max} / A$ (m³/s·km²)</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)	α		u	
1,65	0,86	1,500		1,265	
Tempo di ritorno T_r (anni)		30	100	200	500
q_c (m ³ /s·km ²)		3,52	4,33	4,80	5,41

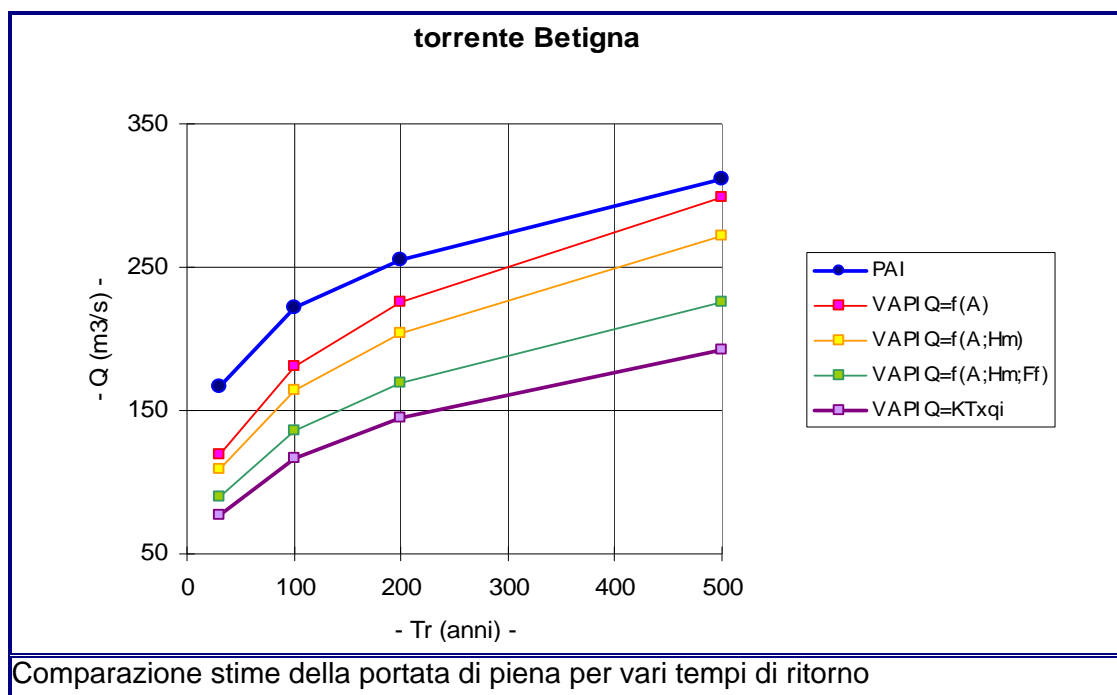
 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 20 di 73	Rev. 0

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 ³ /s)	77	116	145	193

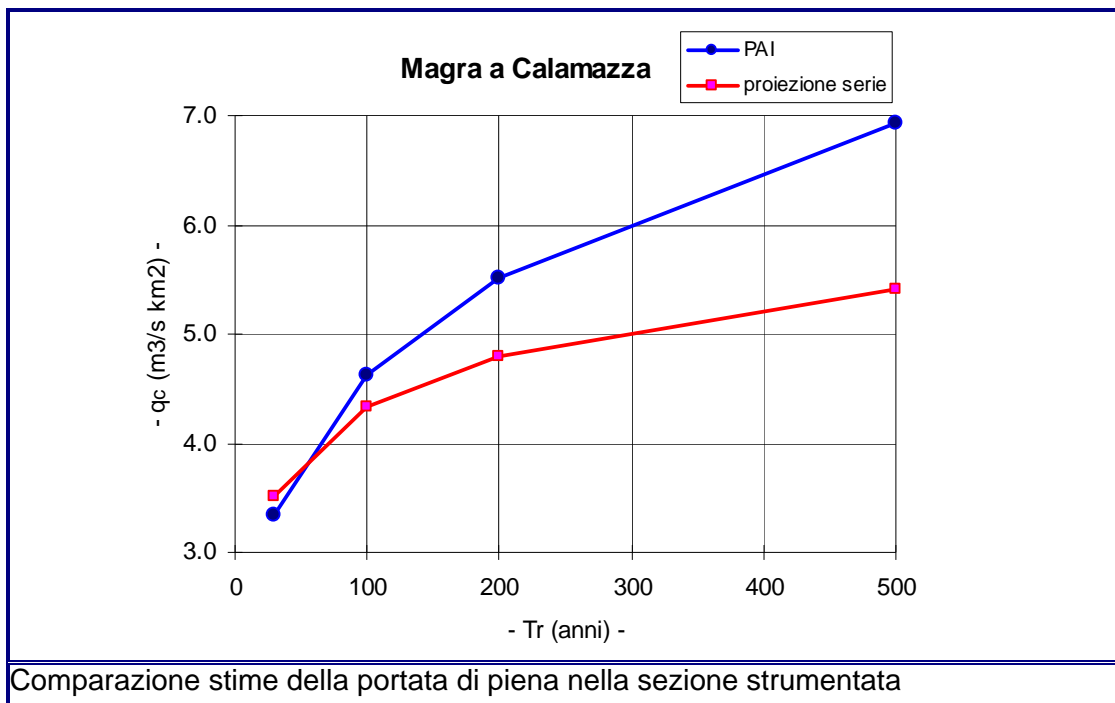
In merito ai valori determinati sulla base delle procedure presentate si osserva quanto segue:

- 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).

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 21 di 73	Rev. 0



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.

Consapevoli delle incertezze proprie della applicazione di modelli regionali ad un bacino di ridotta estensione areale, 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, $Q_{Max} = 260 \text{ m}^3/\text{s}$.

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 22 di 73	Rev. 0

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.

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 23 di 73	Rev. 0

4 STUDIO IDRAULICO

4.1 Finalità e presupposti dello studio idraulico

Nella presente parte sono descritte le procedure operative ed i risultati delle analisi condotte per la verifica delle condizioni idrauliche di piena del torrente Betigna nel tronco di interesse.

Lo studio è finalizzato alle seguenti determinazioni:

- stima ed analisi dei parametri idraulici che caratterizzano il deflusso della portata al colmo 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.

Lo schema utilizzato per la determinazione del profilo idrico è quello di moto permanente monodimensionale (portata costante e geometria variabile), con corrente gradualmente variata e pendenze longitudinali del fondo dell'alveo non eccessive. Per quanto attiene specificatamente al caso in studio, la validità della modellazione in condizioni di moto permanente è avvalorata dalle seguenti considerazioni:

- l'analisi è condotta per un tratto limitato del corso d'acqua;
- l'analisi è limitata agli effetti del massimo valore di livello idrico raggiunto durante l'evento di piena ed al corrispondente regime di velocità.

Il modello di calcolo utilizzato per le verifiche idrauliche in moto permanente è HEC-RAS¹⁴, versione 4.0 Beta. Le procedure di modellazione adottate sono quelle descritte e consigliate nei documenti "RAS Hydraulic reference manual", "RAS user's manual", "RAS applications guide"¹⁵.

Ai fini della simulazione, l'assetto idrografico è delimitato a valle da una sezione terminale di indagine, identificata a sufficiente distanza dal tracciato di attraversamento, per poter modellare adeguatamente i parametri locali di deflusso. Come precedentemente esposto, tutte le valutazioni sono riferite ad un valore di portata che si attribuisce costante all'intero tratto di analisi.

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.

Le principali conclusioni del modello di deflusso riguardano in particolare la porzione d'alveo compresa tra la sezione numerata 2 e la sezione numerata 4, coincidente con la percorrenza d'attraversamento in sub-alveo prevista in progetto.

¹⁴ River Analysis System, versione 4.0 Beta, novembre 2006, sviluppato da U.S. Army Corp of Engineers - Hydrologic Engineering Center - 609 Second Street, Davis, CA (U.S.A.).

¹⁵ Le caratteristiche del modello di calcolo automatico e le modalità di simulazione proprie del programma sono illustrate in APPENDICE II. Il rapporto dei dati di modellazione propri del codice di calcolo HEC-RAS costituisce l'APPENDICE III.

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 24 di 73	Rev. 0

4.2 Assetto geometrico e modellazione dell'alveo

Come descritto in premessa, ai fini del presente lavoro, è stata effettuata una campagna di rilievi topografici, che ha permesso la restituzione di sezioni trasversali dell'alveo, delle sponde e delle relative potenziali aree di esondazione, oltre che della sezione longitudinale al tracciato dell'attraversamento. Il tutto relativamente allo sviluppo di un tronco di lunghezza pari a circa 150 m.

Le sezioni trasversali e l'asse direttore del corso d'acqua sono stati oggetto di preliminari analisi di adeguamento ai fini di costruzione del modello idraulico. In linea di principio, la posizione e l'inclinazione di ciascuna sezione di modellazione sono state preliminarmente determinate sulla base dei punti di minima quota osservati all'interno dell'alveo, al fine di rappresentare nella simulazione di deflusso tutte le variazioni altimetriche più significative del profilo di fondo (variazioni di pendenza, eventuali soglie naturali o artificiali ed approfondimenti significativi) e di identificare, in prima istanza, l'asse ideale di moto, il cui sviluppo è associato agli stessi punti di minimo.

Tale ultima condizione discende dalle procedure operative di calcolo, secondo le quali l'asse viene ad essere determinato dalla spezzata congiungente i punti di minima quota delle sezioni implementate (RS, "Reach lines"). Queste ultime sono considerate giacenti su piani ortogonali alle direttrici longitudinali di deflusso (ed in particolare al segmento componente di valle), cui è associata la direzione locale del vettore di velocità dell'andamento idrico.

Questa modalità di calcolo consente una simulazione in cui si evita di introdurre arbitrarie variazioni nello sviluppo planimetrico del deflusso di piena; solo eccezionalmente si inseriscono le correzioni atte a far coincidere l'asse di modellazione con la direttrice presunta della corrente, identificata su base topografica e tenendo conto dell'andamento medio dell'alveo inciso, e delle presumibili influenze delle protezioni spondali esistenti sulla direzione del deflusso eccezionale; tale necessità 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"¹⁶.

Le sezioni di modellazione sono costruite su piani perpendicolari all'asse longitudinale dell'andamento idrico¹⁷.

Per ottimizzare la significatività delle sezioni di calcolo, sono introdotte modeste variazioni ed integrazioni alle quote rilevate del fondo alveo (rilievi peraltro sempre e comunque da considerare solo indicativi, per quanto riguarda i punti sotto il livello del pelo libero, a causa delle variazioni inevitabili di carattere idrodinamico su fondi incoerenti), al fine di "centrare" le sezioni stesse rispetto all'asse del deflusso, con parziali e non rilevanti modifiche alle quote del letto e/o con l'introduzione di savanelle di minima portata.

Tale operazione ha l'ordine di grandezza al massimo del decimetro ed è tesa anche a definire la pendenza longitudinale del fondo alveo, che, in caso contrario, il programma di calcolo identificherebbe sulla base delle sole quote minime assolute delle sezioni e

¹⁶ "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.

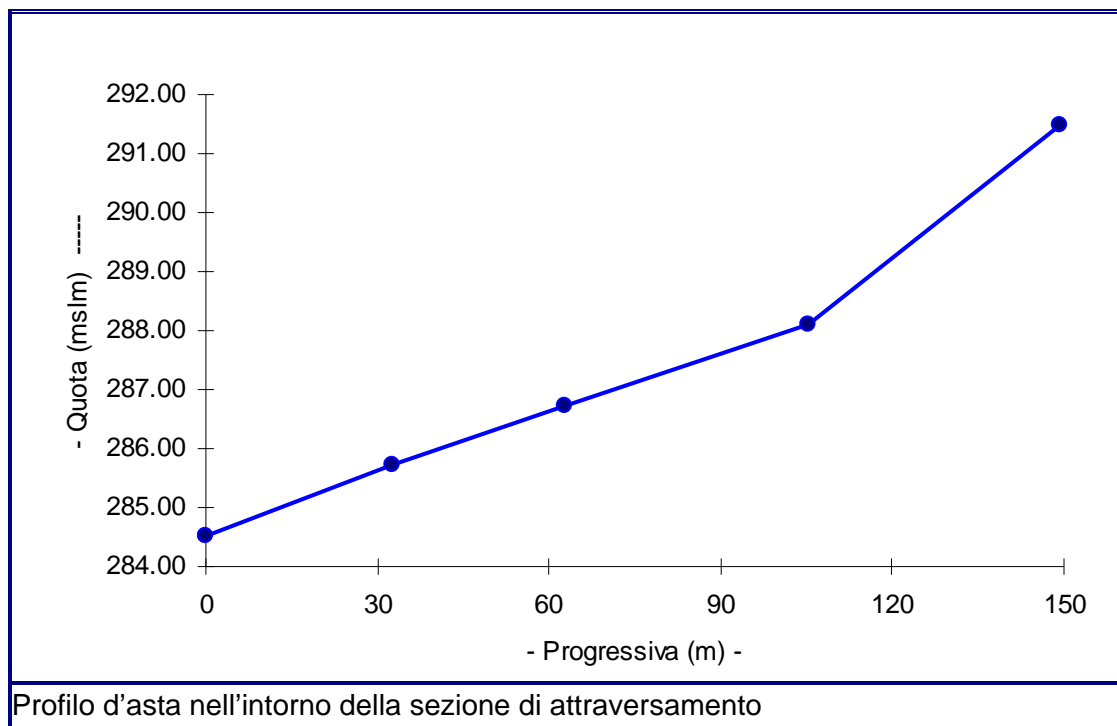
¹⁷ Secondo le modalità operative previste, ad esempio, in "PODIS, Progetto operativo difesa del suolo – Metodologie e linee guida per la prevenzione ed il controllo del rischio idrogeologico ; Rischio idraulico", Istituto poligrafico dello Stato, Roma, 2006.

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 25 di 73	Rev. 0

non delle quote medie o più significative (connesse a parti stabili del fondo), risultando la pendenza influenzata da approfondimenti e buche locali (spesso temporanee e contingenti), di nessuna rilevanza nella rappresentazione geometrica globale, in specie in relazione ai deflussi di massima portata. Ove invece i punti di minima quota tendono bene a rappresentare l'andamento planimetrico del deflusso oppure appaiono potenzialmente indicativi a rappresentare fenomeni idrodinamici persistenti (non ulteriormente indagabili), l'informazione di rilievo viene mantenuta inalterata, anche in considerazione delle modeste alterazioni che, grazie alla ridotta distanza tra le sezioni di calcolo, le correzioni possono indurre sulla lunghezza e quindi sulla pendenza dei singoli tratti dell'asse di calcolo, ed, in definitiva, sui risultati.

Ulteriori variazioni, del medesimo ordine di grandezza, nella quota di alcuni isolati punti rappresentativi del letto sono introdotte al fine di evitare frammentazione della corrente, cioè la suddivisione del deflusso a causa di creste temporanee e non significative. Tale condizione risponde alle esigenze di calcolo e deriva da un processo di successivo affinamento della modellazione, per tentativi ed iterazioni.

Per quanto attiene al profilo del fondo nel tronco di indagine, rilevato lungo l'asse geometrico assegnato (sulla base dei rilievi e con le correzioni apportate per la modellazione), si evidenzia pendenza sostanzialmente costante, pari a circa 3,4%, con eccezione della porzione più a monte. L'inclinazione media, valutata tra le sezioni estreme, è pari a 4,7%.



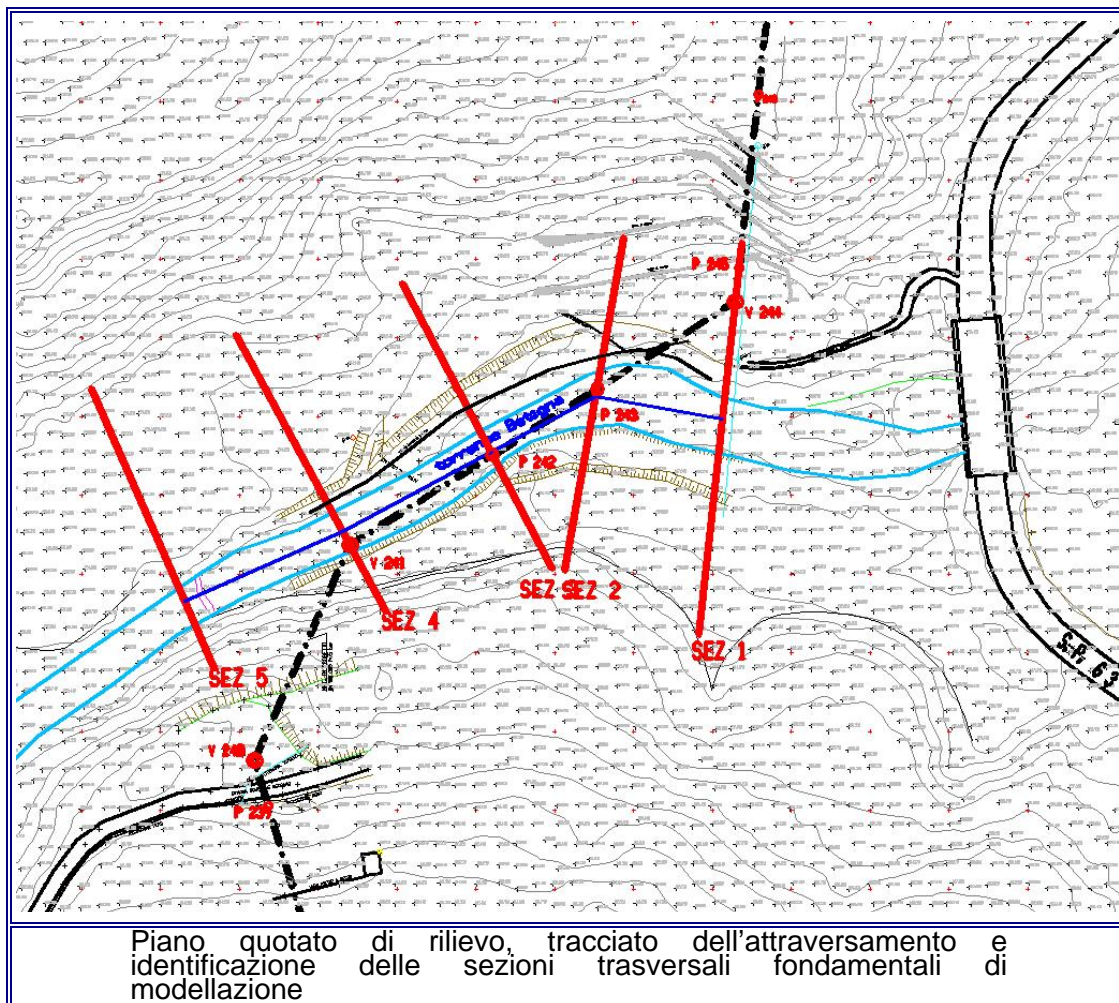
Con riferimento al codice di calcolo utilizzato, l'alveo rappresentato in ciascuna sezione trasversale è suddiviso in più parti, in cui la velocità si può ritenere uniformemente distribuita, ed alle quali è associata normalmente una variazione delle condizioni di

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 26 di 73	Rev. 0

scabrezza: la parte centrale o canale principale, interessata dalle portate medie ordinarie e presumibilmente anche dalle piene, le sponde protette da opere (scogliere, argini, muri) e le aree di potenziale esondazione laterale, potenzialmente interessate dalle portate di piena.

La determinazione della cadente, sezione per sezione, avviene tramite l'equazione di Manning, nella quale il coefficiente di trasporto viene valutato separatamente nelle tre porzioni di deflusso; il valore per l'intera sezione è quindi determinato dalla somma delle corrispondenti aliquote.

La cadente è conseguentemente esprimibile mediante un valore rappresentativo, che tra due sezioni successive è valutato mediante relazioni che il codice di calcolo seleziona in funzione delle condizioni locali di corrente (lenta o veloce, accelerata o decelerata).



Per ciascun tronco, sono inserite nel codice di calcolo, oltre che le lunghezze parziali dell'asta principale tra le sezioni, anche le distanze dei limiti di sponda laterali dell'alveo. Per la determinazione delle perdite di carico continue, appositi algoritmi

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 27 di 73	Rev. 0

determinano un valore della lunghezza pari alla media delle tre distanze, pesata sulle portate medie, riferite anch'esse all'alveo centrale ed alle golene o aree di esondazione.

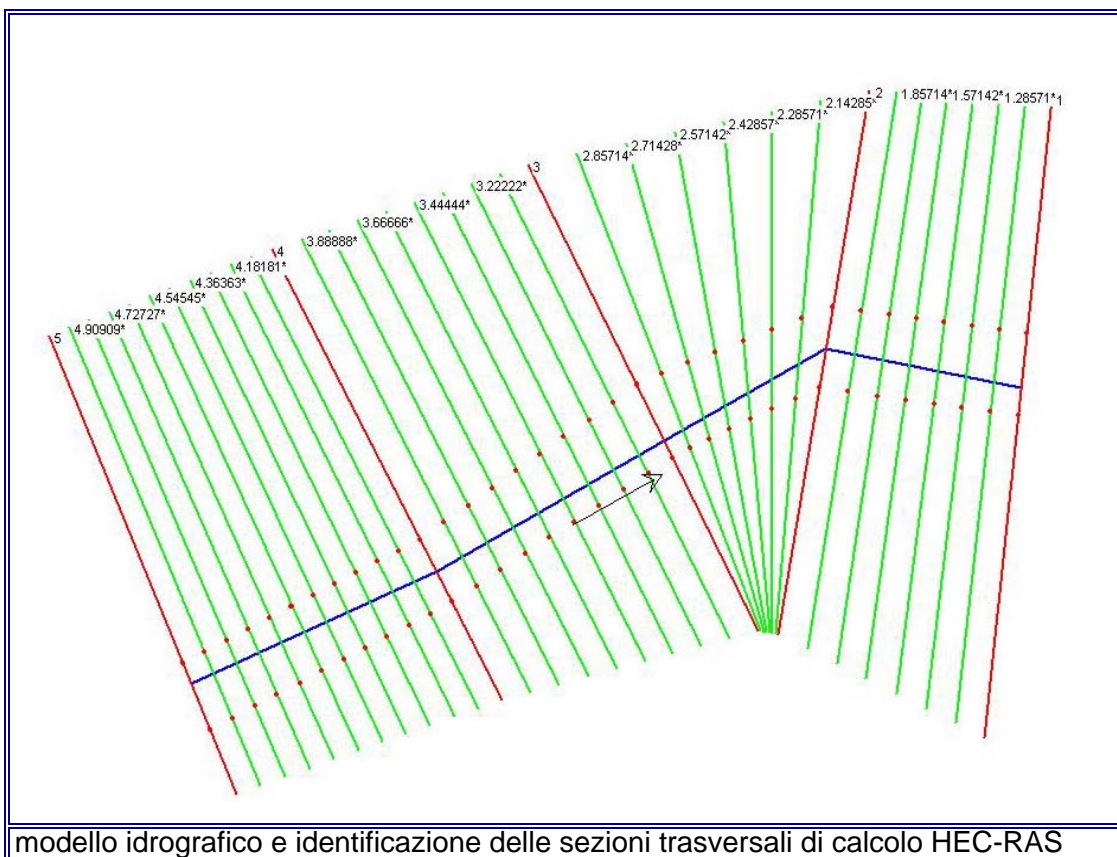
Nelle sezioni di calcolo, pertanto, in coincidenza con le singolarità nell'andamento morfologico delle sponde, è stata identificata la posizione dei limiti laterali d'alveo (LOB, "*left overbank*", e ROB, "*right overbank*"), utili per schematizzare l'andamento plano-altimetrico dei volumi ordinariamente disponibili al deflusso e, come descritto, considerati dal programma di calcolo automatico come delimitazione teorica dell'alveo principale (entro cui, nella prima iterazione della procedura, viene delimitata, ove possibile, la portata).

Premesso ciò, la procedura di implementazione dei dati nel codice di calcolo è la seguente:

- si rappresentano numericamente le sezioni fondamentali e si introducono le sezioni intermedie necessarie (sezioni di modellazione), congruenti con l'asse di deflusso, costruite mediante le informazioni topografiche e di rilievo disponibili, atte a fungere da caposaldo delle presumibili deviazioni planimetriche dell'asse di piena; le informazioni geografiche di tutte le sezioni sono associate alle coordinate locali referenziate, mantenendo per ciascun punto la corrispondente informazione geografica; a ciascuna sezione di calcolo (RS, "*river station*") è assegnato un numero identificativo crescente da valle verso monte;
- si procede a verifica, in ciascuna sezione, della eventuale presenza di zone che possono invadere acqua senza però contribuire al deflusso ("*ineffective flow areas*"), perché in esse la velocità della corrente è assumibile pari o prossima a zero, in particolare in prossimità di repentine variazioni della sezione d'alveo;
- si studia l'evento di piena sulla base di differenti presupposti di calcolo, consistenti nelle condizioni al contorno assunte ("*boundary conditions*"), sulle quali si basa la determinazione dell'integrale particolare dell'equazione differenziale che regola il moto permanente, e che, al fine di effettuare il calcolo in regime teorico di flusso misto, riguardano entrambe le estremità del sistema esaminato e quindi del tronco d'alveo; nel caso specifico, esse consistono nella introduzione della pendenza teorica della linea di energia, utilizzata dal modello di calcolo per determinare l'altezza di moto uniforme relativa alla sezione di monte o di valle e/o nel porre come condizione la determinazione preliminare del valore di altezza critica relativa alle sezioni estreme; le condizioni di regime, conseguentemente accertate, determinano la scelta finale congruente;
- ove necessario si introducono limiti di deflusso ("*levees*"), a definire i punti delle sezioni trasversali entro cui il programma di calcolo delimita la presenza d'acqua, affinché non vengano occupate aree a quota inferiore, esterne alla sede naturale della corrente, tali che la superficie del pelo libero risulti inferiore all'ordinata dei punti stessi;
- si procede a successive iterazioni di prova del modello ed, in ragione delle condizioni idrauliche progressivamente determinate, in conseguenza della variazione di alcune grandezze (sostanzialmente la perdita di energia tra due sezioni consecutive) superiore ad un dato intervallo di controllo, si introducono sezioni intermedie, costruite per interpolazione geometrica delle sezioni principali limitrofe (di monte e di valle), fino al miglior risultato conseguibile in termini di convergenza dei parametri di deflusso.

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 28 di 73	Rev. 0

Nel caso in studio non si esegue modellazione di manufatti interferenti con la corrente, in quanto non presenti nel tronco di interesse e sufficientemente lontani da questo (anche in ragione del regime di moto che vi si instaura, per il deflusso di piena).



modello idrografico e identificazione delle sezioni trasversali di calcolo HEC-RAS

Nel dettaglio, le principali sezioni di calcolo del tronco d'alveo studiato, con numerazione decrescente da monte a valle, e la geometria dell'asse idrografico di riferimento, con cui è schematizzato il tronco fluviale, sono così determinate. Ad esse sono associate ulteriori 30 sezioni intermedie.

RS	reach lengths channel (m)	reach length progres. (m)	channel elevation m s.l.m.	i	Q (m ³ /s)	RS lengths (m)	chan.-leftpont (m)	LOB lengths (m)	LOB-leftpoint (m)	ROB lengths (m)	ROB-leftpoint (m)
5	43,85	149,20	291,49	0,077	260	77,35	58,89	55,35	43,43	66,70	44,37
4	42,66	105,35	288,10	0,032	260	79,52	56,71	51,19	43,00	62,25	42,68
3	30,08	62,69	286,74	0,034	260	81,53	48,17	38,58	34,47	51,26	26,50
2	32,62	32,62	285,72	0,036	260	85,70	40,92	34,17	32,10	46,85	32,94
1	0,00	0,00	284,53	0,000	260	99,94	45,13	36,81	0,00	49,49	0,00

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 29 di 73	Rev. 0

4.3 Perdite localizzate di energia e fattori di attrito

Per introdurre nel modello di deflusso le modificazioni eventualmente apportate dalla variazione della sezione d'alveo in corrispondenza di singolarità, gli effetti sono rappresentati in termini di perdite dovute alle contrazioni ed alle espansioni del flusso tra sezioni trasversali; tali perdite sono determinate nella procedura di integrazione delle equazioni di energia.

Poiché nel modello di calcolo esse sono valutate tramite i relativi coefficienti moltiplicativi del valore assoluto della variazione dell'altezza cinetica, per contrazione (m_c) ed espansione (m_e) della corrente idrica, ovvero

$$m_{c/e} \left| \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} - \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} \right|$$

e poiché detti coefficienti dipendono dal segno della variazione di modulo (accelerazione/decelerazione), dalla gradualità di tale variazione, dal numero di Froude della corrente, si è preliminarmente proceduto ad una verifica delle condizioni di regime del deflusso.

Per successivi tentativi, partendo dai valori proposti in letteratura tecnica¹⁸, i valori dei coefficienti m_c ed m_e sono posti (tronco d'asta libero da singolarità ed ostruzioni) rispettivamente pari a 0,1 e 0,3.

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).

I valori caratteristici, assunti costantemente per l'intero tronco di analisi, sono:

- 0,045, per le aree di deflusso oltre i limiti d'alveo (LOB, ROB), che si presentano intensamente vegetate;
- 0,035 per l'alveo medio principale (Chan), sostanzialmente regolare in larghezza e privo di ostruzioni, dal letto nudo ma irregolare, caratterizzato da modesta variabilità delle quote di fondo.

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 bacino¹⁹ e negli atti del "Progetto operativo difesa del suolo"²⁰.

¹⁸ Punto 8, allegato 5 alle Norme di attuazione, "Piano stralcio assetto idrogeologico del bacino del fiume Magra"; Op. cit.

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

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 30 di 73	Rev. 0

Poiché il progetto dell'attraversamento prevede il ripristino del letto e delle sponde del fiume nell'esatta conformazione plano-altimetrica dell'alveo, non si prevede alcuna variazione delle condizioni di scabrezza.

Per quanto riguarda la presenza occasionale di materiale trasportato dalle piene, che potrebbe comportare incremento localizzato delle condizioni di resistenza relativamente alle portate successive oppure restringimenti localizzati delle sezioni di deflusso, stanti le caratteristiche litologiche del bacino e per quanto descritto in merito al regime dei deflussi, deve presumersi che gli effetti di tali eventuali fenomeni (peraltro non schematizzabili mediante valori medi dell'indice di scabrezza) possano considerarsi trascurabili.

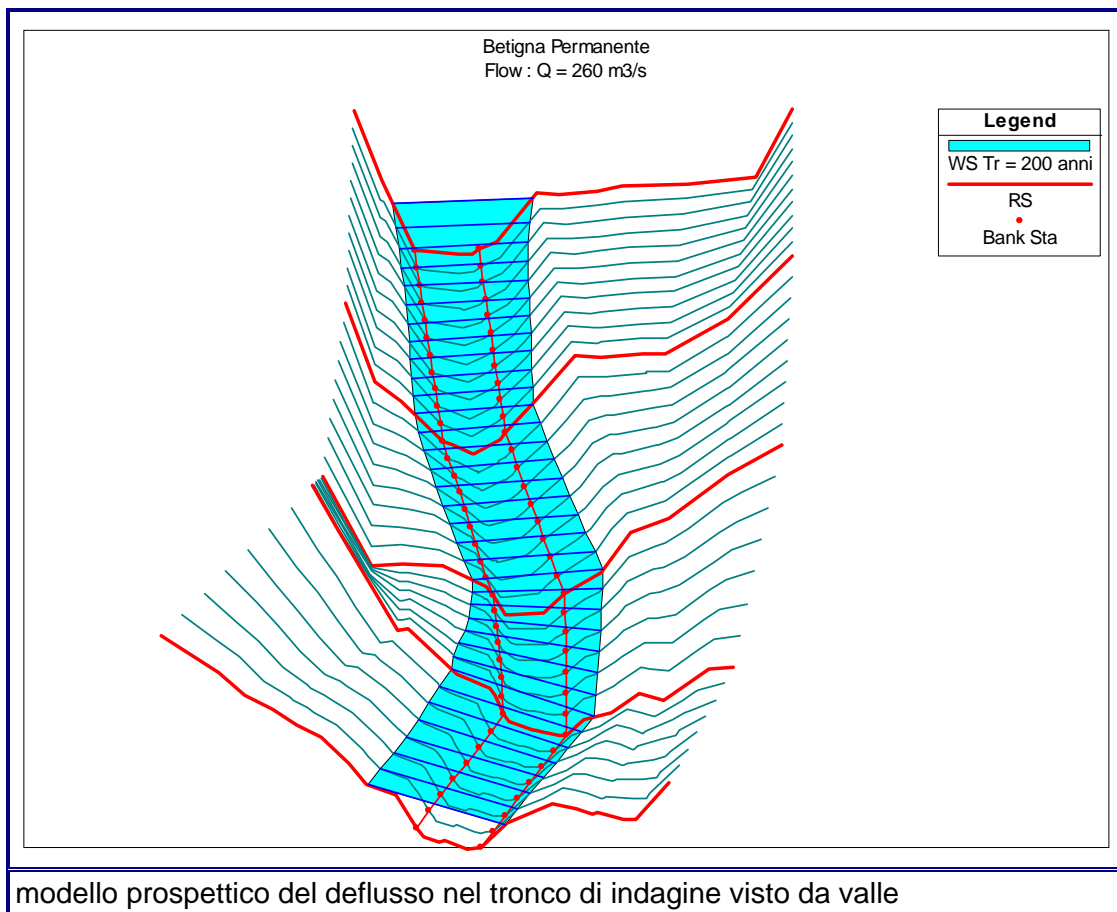
4.4 Parametri del deflusso di piena

Dai risultati del modello idraulico si evince che in regime di piena, sulla base della portata definita mediante apposite valutazioni idrologiche, relativa al tempo di ritorno prefissato ($T_r = 200$ anni), l'alveo non è in grado di contenere la portata entro gli elementi identificati come limite di sponda, sulla base delle sezioni derivanti dal rilievo; ciò è del tutto contingente alla scelta operata per la definizione dei corrispondenti confini (LOB, ROB) imposti in ragione dell'incisione principale e delle condizioni di copertura vegetale, sì da associare all'alveo naturale ed ai versanti delle sponde diverse condizioni di scabrezza.

Le acque, pur estendendosi oltre il canale medio principale, rimangono comunque confinate entro limiti geometricamente definiti, coincidenti con elementi morfologici ivi presenti; è ovunque possibile determinare un limite fisico alla corrente. Tale risultato è del tutto aderente alla realtà dell'area, il cui andamento plano-altimetrico è caratterizzato, come detto, da sedi al deflusso, in parte terrazzate, delimitate dai versanti dei rilievi laterali.

²⁰ PODIS, Progetto operativo difesa del suolo; Op. cit.

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 31 di 73	Rev. 0



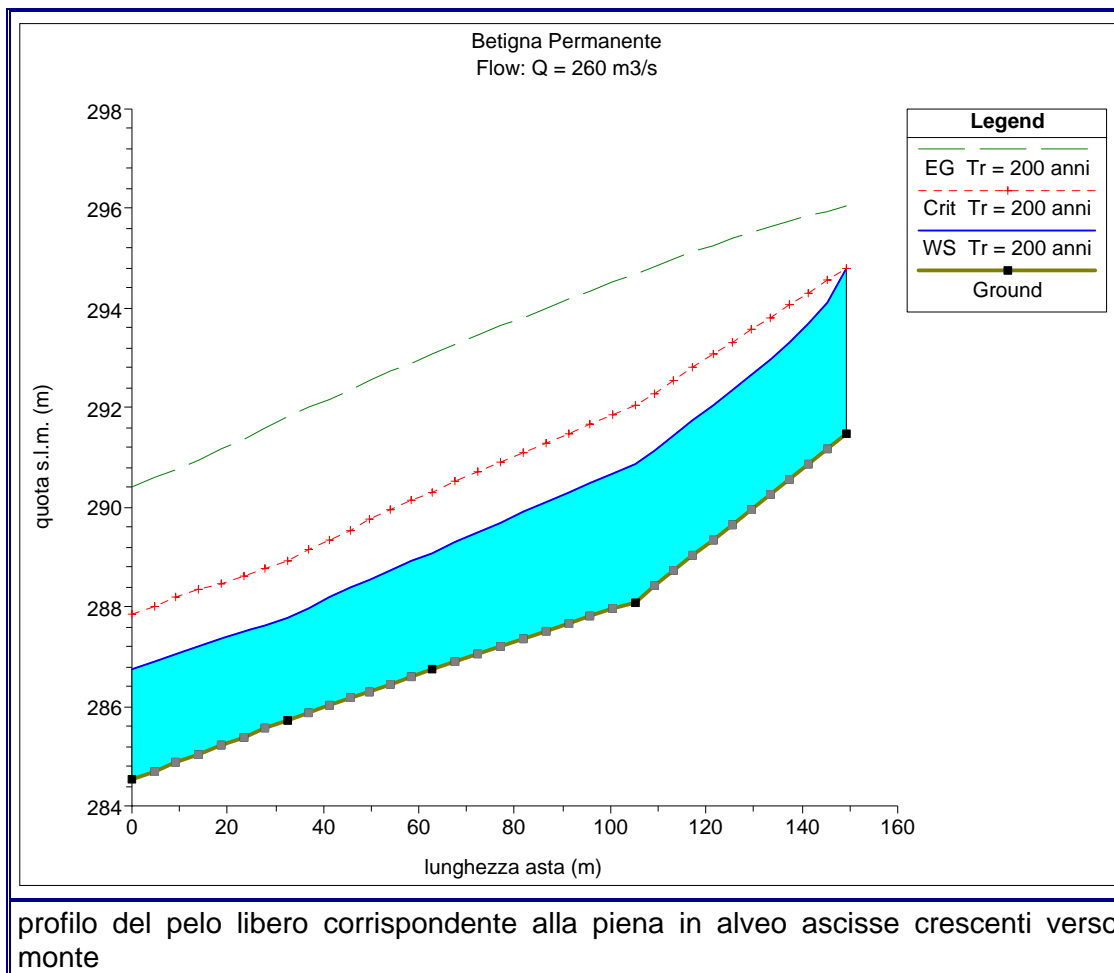
La portata è smaltita costantemente in regime di corrente veloce, con numero di Froude $1,95 \div 2,13$; appare evidente che, in ragione della pendenza effettiva del tronco in analisi, a prescindere dalle modalità di modellazione, la corrente di piena defluirebbe comunque secondo tale regime.

Relativamente alle quote di massima incisione dell'alveo naturale, l'altezza del pelo libero nel tronco interessato dall'attraversamento, risulta compreso nel campo di valori $2,0 \div 2,7$ m.

La velocità media della corrente è stimabile in circa 8,0 m/s; essa in particolare risulta pari ad oltre 9,0 m/s nell'alveo medio. Il carico cinetico è pari a circa 4,0 m.

Le principali oscillazioni del profilo sono quelle attese e si manifestano in associazione alle variazioni locali dell'andamento del fondo. La pendenza della linea dell'energia non presenta anomalie idrauliche.

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 32 di 73	Rev. 0



Con eccezione delle sezioni estreme (RS1, RS5), cui si associano configurazioni idrauliche influenzate dalle condizioni al contorno imposte e dalle esigenze di convergenza, e pertanto da non considerarsi significative se non in termini relativi, il programma di calcolo è in condizione di determinare i parametri energetici fondamentali in corrispondenza di tutte le sezioni di indagine. Possono quindi ritenersi congruenti e validi i risultati dell'analisi, quale attestazione delle condizioni di deflusso, 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 per la portata prefissata, determinano dati aventi sufficienti margini di significatività e, per quanto successivamente esposto, cautelativi.

La tabella seguente riporta, per le principali sezioni di calcolo (di input da rilievo), il prospetto sintetico dei valori dei parametri fondamentali di deflusso.

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 33 di 73	Rev. 0

RS	Q total (m ³ /s)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Froude # Chl
5	260	294,80	294,80	296,04	0,0079	5,47	59,49	0,98
4	260	290,86	292,05	294,70	0,0357	9,16	33,59	1,95
3	260	289,09	290,28	293,07	0,0406	9,14	32,42	2,03
2	260	287,77	288,91	291,81	0,0441	9,35	33,73	2,13
1	260	286,76	287,86	290,40	0,0365	8,84	34,92	1,95

Nel seguito sono presentate le tabelle ed i grafici di sintesi dei risultati della simulazione, relativamente a tali sezioni trasversali, di maggiore interesse idraulico. I principali parametri di modellazione, riportati in precedenza e nel seguito in forma tabellare, sono i seguenti:

elementi della geometria d'alveo

- RS (river station), numero identificativo della sezione;
- Min Ch El, quota minima dell'alveo medio principale;
- Reach Len., distanze degli elementi della sezione dai corrispondenti immediatamente a valle (LOB, Channel, ROB), misurate lungo gli assi di modellazione²¹;
- Wt. n-Val., coefficiente di scabrezza di Manning (medio, laddove parzializzato);

parametri globali di deflusso

- W.S. Elev, quota del pelo libero;
- Max Chl Dpth, profondità massima in alveo;
- Crit W.S, quota corrispondente all'altezza critica del pelo libero;
- E.G. Elev, quota della linea dell'energia per il profilo liquido calcolato;
- E.G. Slope, pendenza della linea dell'energia;
- Vel. Total, velocità complessiva media di flusso;
- Vel Head, carico cinetico;
- Froude # Chl, numero di Froude relativo al deflusso nell'alveo inciso;
- C & E Loss, perdita di carico localizzata per contrazione od espansione;
- Frctn Loss, perdita di carico continua tra la sezione e quella immediatamente a valle;
- Length Wtd., lunghezza media del tronco d'asta, basata sulla distribuzione della portata nell'alveo principale ed oltre i limiti di sponda;

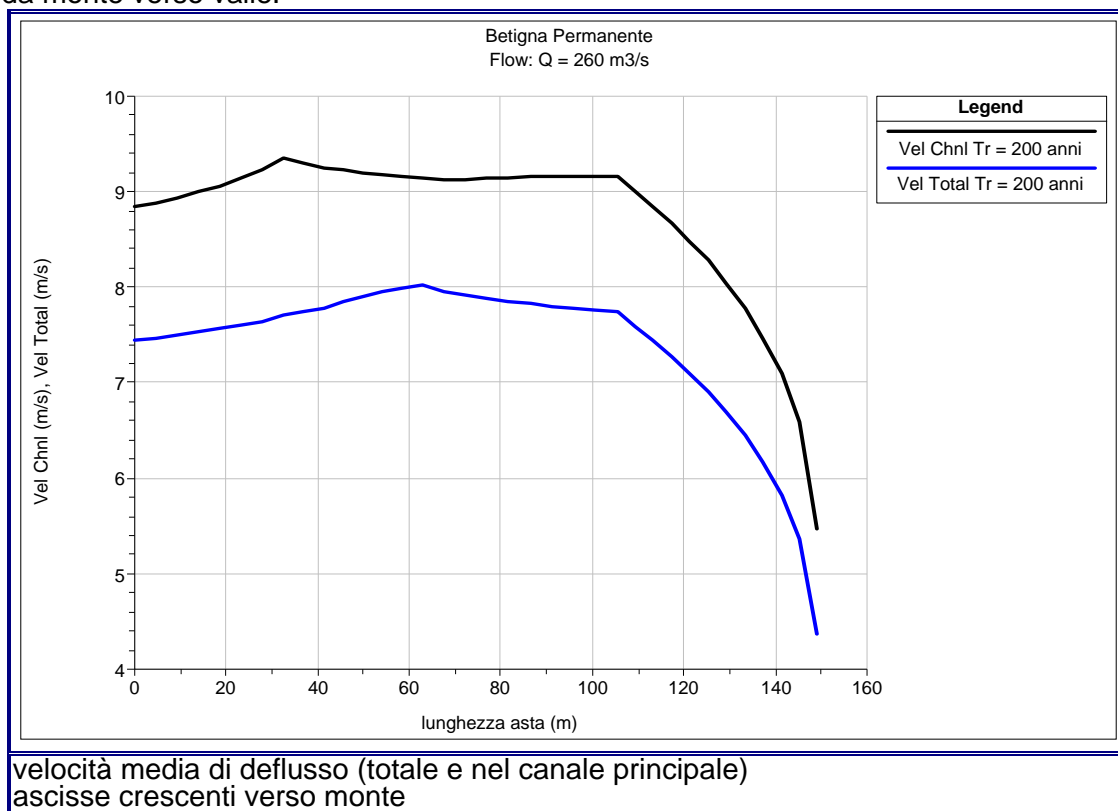
²¹ Sebbene sia indicata la distanza degli elementi di ciascuna sezione da quelli della sezione di valle, quest'ultima può non essere esposta come grafico di deflusso e nelle tabelle dei risultati, laddove ritenuta non strettamente significativa, come nel caso delle sezioni intermedie di interpolazione.




 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 34 di 73	Rev. 0

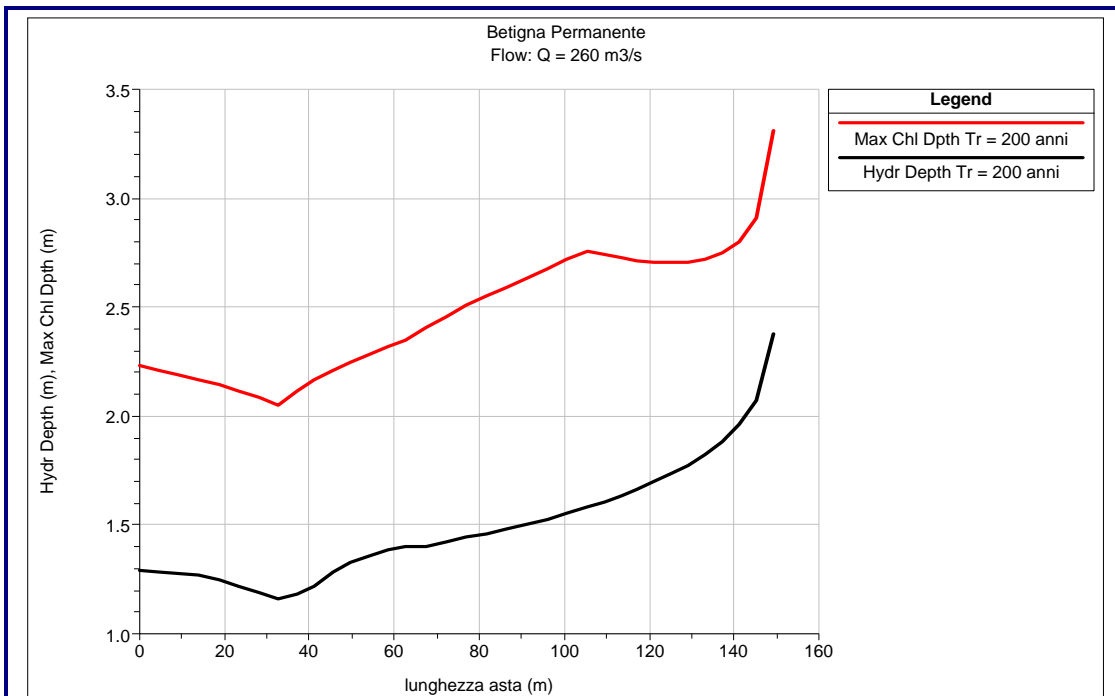
parametri parziali delle componenti di deflusso oltre i limiti di sponda sinistra (*Left OB*), nell'alveo medio principale (*Chan*) ed oltre i limiti di sponda destra (*Right OB*)

- Wetted Per., lunghezza del contorno bagnato;
- Flow Area, superficie parziale della sezione di deflusso;
- Flow, deflusso parziale;
- Top Width, larghezza superficiale della sezione liquida;
- Avg. Vel., velocità media nelle aree di deflusso parziale (Vel Chnl, velocità media nell'alveo);
- Hydr Depth, altezza liquida equivalente;
- Shear LOB, Shear ROB, tensione di attrito al perimetro oltre i limiti di sponda;
- Shear Chan, tensione di attrito entro i margini d'alveo;
- Power Chan, prodotto tra tensione di attrito e velocità media, entro i margini d'alveo.

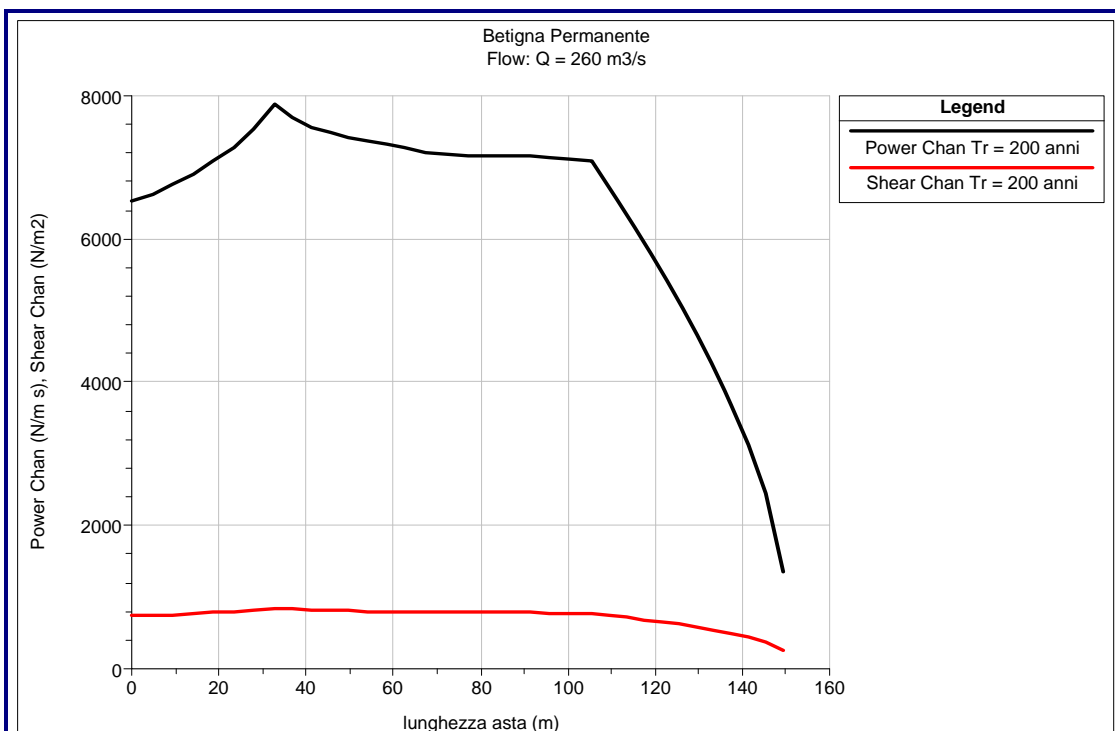
Tutte le sezioni sono costruite con progressive da sinistra a destra e con osservazione da monte verso valle.



 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 35 di 73	Rev. 0

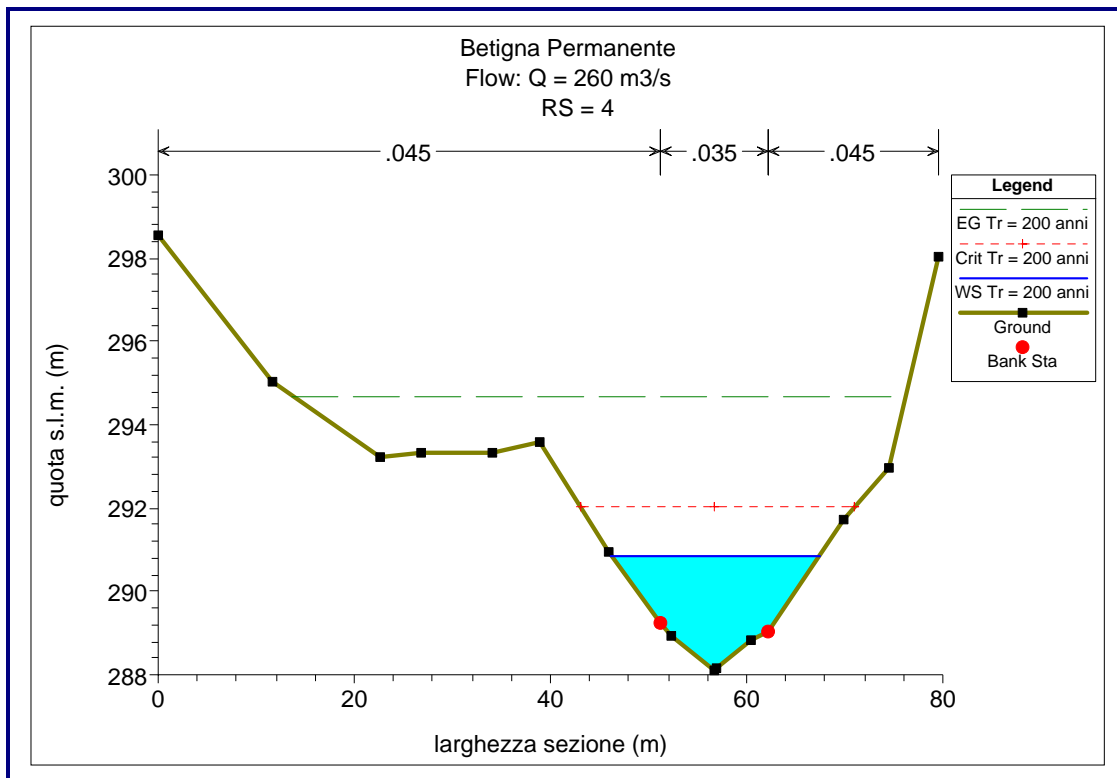


profondità massima in alveo (Max Chl Dpth) ed altezza liquida equivalente (Hydr Depth)
 ascisse crescenti verso monte



Potenza della corrente (Power Chan) e tensione di attrito (Shear Chan) in alveo
 ascisse crescenti verso monte

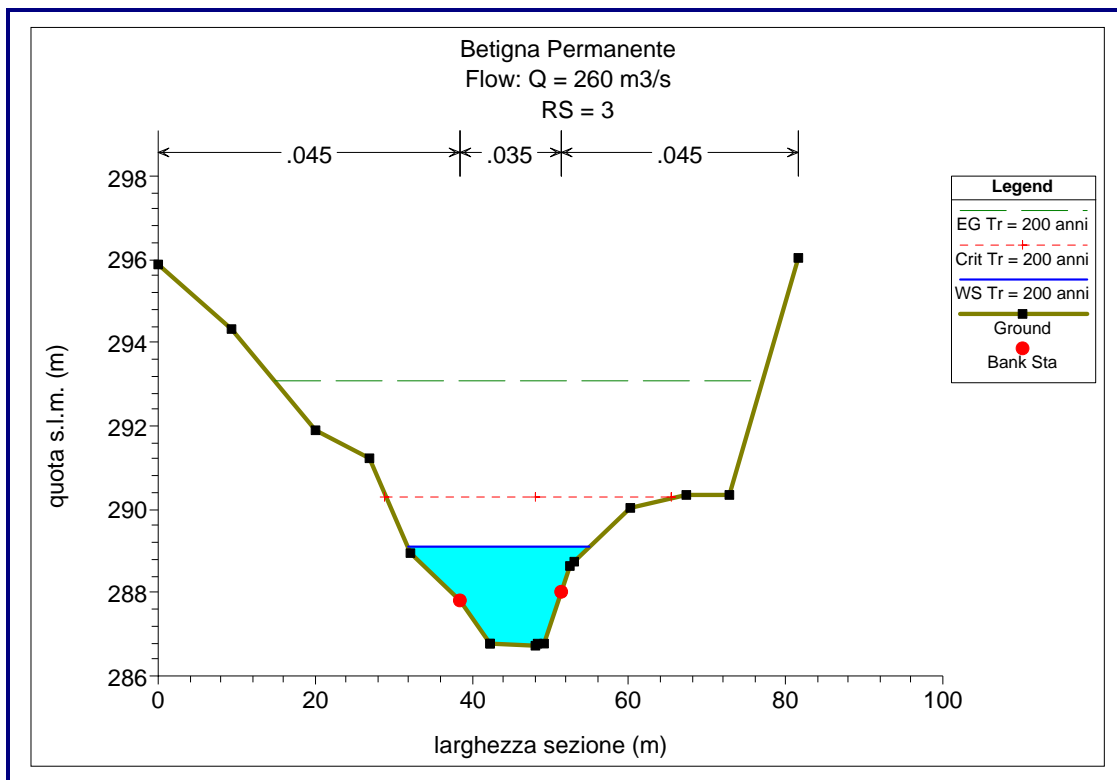
 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 36 di 73	Rev. 0



Plan: Betigna Permanente River: Betigna RS: 4 Profile: T _r = 200 anni Flow: 260 m ³ /s					
E.G. Elev (m)	294,70	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	3,84	Wt. n-Val.	0,045	0,035	0,045
W.S. Elev (m)	290,86	Reach Len. (m)	4,78	4,74	4,74
Crit W.S. (m)	292,05	Flow Area (m ²)	4,03	24,92	4,64
E.G. Slope (m/m)	0,035675	Area (m ²)	4,03	24,92	4,64
Q Total (m ³ /s)	260,00	Flow (m ³ /s)	14,16	228,33	17,51
Top Width (m)	21,19	Top Width (m)	5,01	11,06	5,13
Vel Total (m/s)	7,74	Avg. Vel. (m/s)	3,51	9,16	3,78
Max Chl Dpth (m)	2,76	Hydr. Depth (m)	0,80	2,25	0,90
Conv. Total (m ³ /s)	1376,60	Conv. (m ³ /s)	75,00	1208,90	92,70
Length Wtd. (m)	4,74	Wetted Per. (m)	5,26	11,27	5,44
Min Ch El (m)	288,10	Shear (N/m ²)	268,06	773,73	298,49
Alpha	1,26	Stream Power (N/m s)	942,14	7087,81	1127,04
Frctn Loss (m)	0,14	Cum Volume (1000 m ³)	0,47	2,71	0,36
C & E Loss (m)	0,01	Cum SA (1000 m ²)	0,63	1,30	0,71

RS 4: grafico della sezione di deflusso e tabella risultati

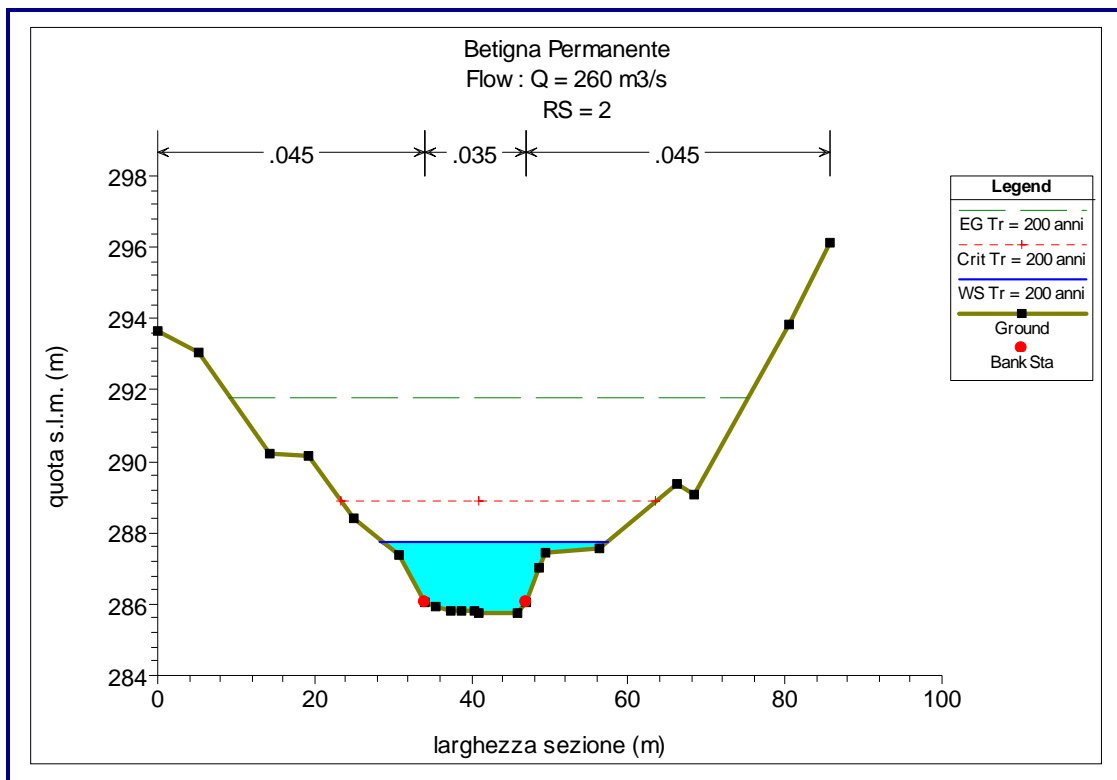
 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 37 di 73	Rev. 0



Plan: Betigna Permanente River: Betigna RS: 3 Profile: $T_r = 200$ anni Flow: $260 \text{ m}^3/\text{s}$					
E.G. Elev (m)	293,07	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	3,98	Wt. n-Val.	0,045	0,035	0,045
W.S. Elev (m)	289,09	Reach Len. (m)	4,92	4,30	3,79
Crit W.S. (m)	290,28	Flow Area (m^2)	4,64	26,33	1,45
E.G. Slope (m/m)	0,0406	Area (m^2)	4,64	26,33	1,45
Q Total (m^3/s)	260,00	Flow (m^3/s)	15,86	240,70	3,44
Top Width (m)	23,09	Top Width (m)	6,82	12,68	3,58
Vel Total (m/s)	8,02	Avg. Vel. (m/s)	3,42	9,14	2,37
Max Chl Dpth (m)	2,35	Hydr. Depth (m)	0,68	2,08	0,41
Conv. Total (m^3/s)	1290,40	Conv. (m^3/s)	78,70	1194,60	17,00
Length Wtd. (m)	4,33	Wetted Per. (m)	6,95	13,16	3,78
Min Ch El (m)	286,74	Shear (N/m^2)	265,64	796,76	152,88
Alpha	1,22	Stream Power ($\text{N}/\text{m s}$)	908,23	7284,24	361,62
Frctn Loss (m)	0,19	Cum Volume (1000 m^3)	0,29	1,61	0,22
C & E Loss (m)	0,00	Cum SA (1000 m^2)	0,39	0,80	0,50

RS 3: grafico della sezione di deflusso e tabella risultati

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 38 di 73	Rev. 0



Plan: Betigna Permanente River: Betigna RS: 4 Profile: $T_r = 200$ anni Flow: 260 m ³ /s					
E.G. Elev (m)	291,81	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	4,03	Wt. n-Val.	0,045	0,035	0,045
W.S. Elev (m)	287,77	Reach Len. (m)	4,59	4,66	4,71
Crit W.S. (m)	288,91	Flow Area (m ²)	4,22	24,80	4,71
E.G. Slope (m/m)	0,044076	Area (m ²)	4,22	24,80	4,71
Q Total (m ³ /s)	260,00	Flow (m ³ /s)	15,49	231,96	12,56
Top Width (m)	29,03	Top Width (m)	5,78	12,68	10,56
Vel Total (m/s)	7,71	Avg. Vel. (m/s)	3,67	9,35	2,66
Max Chl Dpth (m)	2,05	Hydr. Depth (m)	0,73	1,96	0,45
Conv. Total (m ³ /s)	1238,40	Conv. (m ³ /s)	73,80	1104,90	59,80
Length Wtd. (m)	4,66	Wetted Per. (m)	6,06	12,74	10,91
Min Ch El (m)	285,72	Shear (N/m ²)	301,26	841,62	186,59
Alpha	1,33	Stream Power (N/m s)	1104,85	7871,96	497,23
Frctn Loss (m)	0,19	Cum Volume (1000 m ³)	0,13	0,84	0,15
C & E Loss (m)	0,00	Cum SA (1000 m ²)	0,17	0,41	0,32

RS 3: grafico della sezione di deflusso e tabella risultati

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 39 di 73	Rev. 0

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.

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

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 40 di 73	Rev. 0

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 studiate²² 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 prudenziale, 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 piena²³.

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.

²² Si veda la sintesi di questi lavori in Graf W.H., "Hydraulics of sediment transport"; McGraw-Hill, U.S.A.; 1971.

²³ Vollo L., "L'aratura di fondo nell'alveo dei fiumi durante le piene"; L'energia elettrica, vol. XXIX; Milano, 1952. Zanovello A., "Sulle variazioni del fondo degli alvei durante le piene"; L'energia elettrica, vol. XXXV; Milano, 1959.

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 41 di 73	Rev. 0

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

- è il diametro delle particelle;
- τ_0 è la tensione tangenziale in alveo;
- γ_s è il peso specifico delle particelle;
- γ_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

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 42 di 73	Rev. 0

fondo (**Z**) è stimabile, in corrispondenza di una assegnata sezione, al massimo in ragione del 50% del battente idrometrico di piena (**h_o**), ovvero

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

5.2 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 permanente, corrispondente alla portata di piena prefissata a base di studio. In particolare il programma di calcolo automatico, per ciascuna sezione di analisi, fornisce i seguenti dati:

- Shear, tensione tangenziale τ_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).

Per quanto di interesse, in relazione al tronco di attraversamento, si ha:

RS	Shear LOB (N/m ²)	Shear Chan (N/m ²)	Shear ROB (N/m ²)	LOB elev (m)	Min Ch elev (m)	ROB elev (m)	Vel LOB (m/s)	Vel Chnl (m/s)	Vel ROB (m/s)
4	268,06	773,73	298,49	289,25	288,10	289,05	3,51	9,16	3,78
3	265,64	796,76	152,88	287,81	286,74	288,00	3,42	9,14	2,37
2	301,26	841,62	186,59	286,04	285,72	286,04	3,67	9,35	2,66

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/m³, dai risultati della verifica idraulica e sulla base della media di tali valori seguono:

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

Si riporta, per le sezioni relative all'attraversamento, il prospetto sintetico dei valori relativi alla portata di verifica, determinati in corrispondenza della massima incisione e

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 43 di 73	Rev. 0

dei limiti di sponda imposti al codice di calcolo (quindi suscettibili di una qualche arbitrarietà).

RS	γ_s (N/m ³)	δ (LOB) (cm)	δ (Chan) (cm)	δ (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)
4	18000	54,6	157,5	60,7	5,45	6,60	5,65	1,61	2,76	1,81	1,19
3	18000	54,1	162,1	31,1	5,26	6,33	5,07	1,28	2,35	1,09	0,73
2	18000	61,3	171,3	38,0	5,77	6,09	5,77	1,73	2,05	1,73	0,34

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 del tutto 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 validi solo in chiave "qualitativa"²⁴.

Limitando l'analisi al valore della pendenza media del tronco d'alveo tra le sezioni che delimitano il tronco di attraversamento (da RS4 a RS2) ed essendo nota l'altezza idrica di piena massima ivi stimata, si determina il dislivello di quota, a monte ed a valle delle potenziali buche che si potrebbero manifestare:

pendenza alveo	=	0,033
h_o Chan massimo (m)	=	2,76
a stimato [per lunghezza pari a h_o Chan] (m)	=	0,090

Dal modello di calcolo si ricavano inoltre:

- 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 di deflusso.

²⁴ 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 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) conduce ad una sovrastima delle manifestazioni di trasporto (che andrebbero semmai valutate mediante apposite simulazioni, che esulano dalle necessità del presente contesto).

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 44 di 73	Rev. 0

Nel dettaglio, dalla simulazione della piena in alveo, in coincidenza del tempo di ritorno prefissato, si ha:

RS	Q Left (m ³ /s)	Q Channel (m ³ /s)	Q Right (m ³ /s)	Top W Left (m)	Top W Chnl (m)	Top W Right (m)
4	14,16	228,33	17,51	5,01	11,06	5,13
3	15,86	240,70	3,44	6,82	12,68	3,58
2	15,49	231,96	12,56	5,78	12,68	10,56

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, per le sezioni di maggior interesse, si determina il seguente prospetto sintetico dei valori relativi alla portata di verifica:

RS	q (LOB) (m ³ /s m)	q (Chan) (m ³ /s m)	q (ROB) (m ³ /s m)	a (m)	S (LOB) (m)	S (Chan) (m)	S (ROB) (m)	Z (LOB) (m)	Z (Chan) (m)	Z (ROB) (m)
4	2,83	20,64	3,41	0,09	1,46	3,00	1,57	0,81	1,38	0,91
3	2,33	18,98	0,96	0,09	1,36	2,86	1,03	0,64	1,17	0,54
2	2,68	18,29	1,19	0,09	1,48	2,77	1,16	0,86	1,02	0,86

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. Lungo l'asse di posa si ha una certa variabilità nella entità degli eventuali fenomeni: da 3,0 m a 2,8 m. 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 al massimo a 3,0 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) inferiore a 1,3 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.

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 45 di 73	Rev. 0

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 "Betigna", nel territorio del Comune di Pontremoli. Tale attraversamento prevede una percorrenza lungo la sede di deflusso per una lunghezza di qualche decina di metri, in direzione sud-ovest nord-est.

Il tronco del torrente direttamente interessato dalle opere corrisponde alla porzione terminale del corso d'acqua, circa 0,5 km (misurati lungo lo sviluppo dell'asta cartografata) a monte della confluenza nel torrente "Verde", a sua volta tributario del fiume Magra.

Nell'area di attraversamento, il torrente Betigna è ampio circa 10 metri ed inciso in terreni quaternari di natura alluvionale, su cui si riscontrano elementi di varia pezzatura, a testimonianza di eventi di trasporto associati alla energia della corrente.

Le forme del terreno, inizialmente caratterizzate da sponde più acclivi, ricoperte da una fitta vegetazione arbustiva, qui divengono progressivamente più pianeggianti, con terrazzi, delimitati da modesti rilievi, ai margini dei quali sono presenti molteplici tracciati stradali, alcuni dei quali sovrapassano il corso d'acqua in ponti. La sede dei deflussi di piena è si allarga verso valle, con il degradare dei versanti che delimitano il corso d'acqua.

Il profilo longitudinale del fondo, nel tronco di stretto interesse (oltre il primo tratto di forma ancora ristretta tra alti margini, avente pendenza locale superiore al 7%), è caratterizzato da pendenza media pari a 3,4%.

Per difendere la condotta dalla dinamica erosiva delle sponde ed eventualmente del fondo alveo, si prevede, oltre che un adeguato approfondimento di posa, il ripristino delle sponde con scogliere in massi e la realizzazione di tre soglie in massi. 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 porzione del corso d'acqua è oggetto riconosciuto di possibili fenomeni di esondazione, identificati in ambito PAI. Specificatamente nell'intorno del tronco di interesse sono state perimetrare molto ristrette aree a pericolosità idraulica media, ovvero aree inondabili con tempo di ritorno pari a 200 anni. Aree a pericolosità molto elevata, con tempo di ritorno 30 anni, sono riferite essenzialmente all'alveo inciso, nel tronco di percorrenza in sub-alveo, ma più a valle risultano ben più estese, in coincidenza con la confluenza nel torrente Verde.

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

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 46 di 73	Rev. 0

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 colmo, di utilizzo per l'analisi del deflusso nel corso d'acqua, è stato quindi assunto $Q_{Max} = 260 \text{ m}^3/\text{s}$. 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 delle sezioni interessate 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 del tronco torrentizio di interesse, consentendo una rappresentazione fedele delle caratteristiche geometriche dell'alveo e delle sponde.

Lo schema utilizzato per la determinazione del profilo idrico è quello di moto permanente monodimensionale (portata costante e geometria variabile), con corrente gradualmente variata. La validità della modellazione in condizioni di moto permanente è avvalorata dalle seguenti considerazioni: l'analisi è condotta per un tratto limitato del corso d'acqua; l'analisi è limitata agli effetti del massimo valore di livello idrico raggiunto durante l'evento di piena ed al corrispondente regime di velocità.

Il modello di calcolo utilizzato per le simulazioni in moto permanente è HEC-RAS, versione 4.0 Beta. Le procedure di modellazione adottate sono quelle descritte e consigliate nei documenti "RAS Hydraulic reference manual", "RAS user's manual", "RAS applications guide".

Le condizioni idrauliche che s'instaurano nella porzione di interesse del corso d'acqua, sono state determinate sulla base di 5 sezioni trasversali di base, opportunamente determinate in base ai dati di rilievo, e sulla modellazione rappresentativa dell'asta. Per una compiuta applicazione del codice di calcolo sono state introdotte ulteriori 30 sezioni intermedie, ottenute per interpolazione geometrica delle sezioni principali limitrofe (di monte e di valle).

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 non è in grado di contenere la portata entro gli elementi identificati come limite di sponda (ciò è del tutto contingente alla scelta operata per la definizione dei corrispondenti confini, imposti in ragione dell'incisione principale e delle condizioni di copertura vegetale, si da associare all'alveo naturale ed ai versanti delle sponde diverse condizioni di scabrezza). Le acque, pur estendendosi oltre il canale medio principale, rimangono comunque confinate entro limiti geometricamente definiti, coincidenti con elementi morfologici ivi presenti; è ovunque possibile determinare un limite fisico alla corrente. Tale risultato è del tutto aderente alla realtà dell'area, il cui

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 47 di 73	Rev. 0

andamento plano-altimetrico è caratterizzato, come detto, da sedi al deflusso, in parte terrazzate, delimitate dai versanti dei rilievi laterali.

La portata è smaltita costantemente in regime di corrente veloce, con numero di Froude $1,95 \div 2,13$; appare evidente che, in ragione della pendenza effettiva del tronco in analisi, a prescindere dalle modalità di modellazione, la corrente di piena defluirebbe comunque secondo tale regime. Relativamente alle quote di massima incisione dell'alveo naturale, l'altezza del pelo libero nel tronco interessato dall'attraversamento, risulta compreso nel campo di valori $2,0 \div 2,7$ m. La velocità media della corrente è stimabile in circa 8,0 m/s (pari ad oltre 9,0 m/s nell'alveo medio). Il carico cinetico è pari a circa 4,0 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 delle sezioni 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.

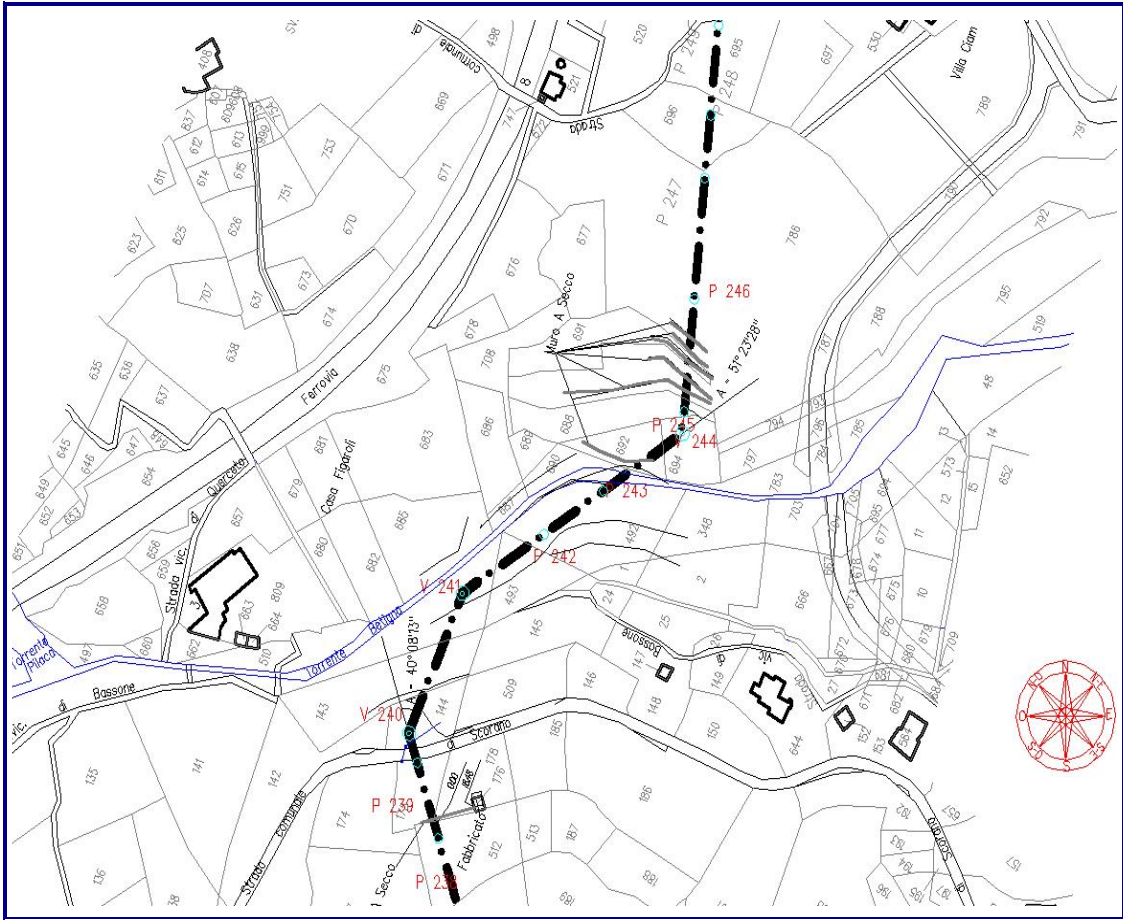
In particolare, si evidenziano le condizioni per rilevanti fenomeni di trasporto di fondo, correlati alla energia della corrente, in caso di piena. La dimensione dei clasti potenzialmente movimentati è del tutto compatibile con la struttura del letto naturale d'alveo, e pertanto possibile che si inneschino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

Anche i fenomeni potenziali di approfondimento del fondo sono rilevanti: stime numeriche del tutto prudenziali presentano, per l'evoluzione di erosioni locali, valore massimo pari a 3,0 m (con una certa variabilità nella entità degli eventuali fenomeni, lungo l'asse di posa), da ritenersi comunque sovrastimato, in ragione della concreta morfologia dell'incisione principale.

In sintesi, essendo previsto un franco minimo di copertura della condotta non inferiore a 3,8 m, le opere in progetto possono ritenersi tecnicamente fattibili e la profondità di posa idonea per la sicurezza del metanodotto nella collocazione in sub-alveo.

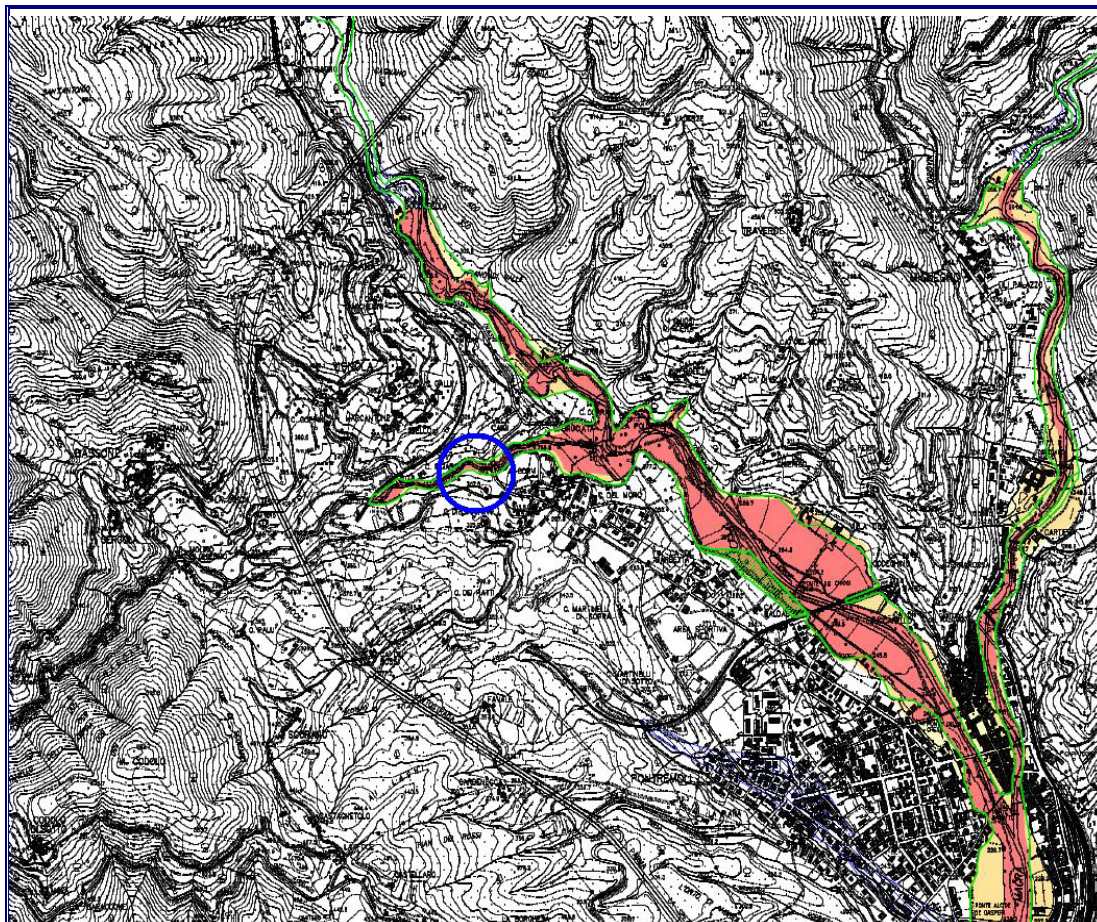
 Snam Rete Gas	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 48 di 73	Rev. 0

APPENDICE I - STRALCI TOPOGRAFICI DI DETTAGLIO



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

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 49 di 73	Rev. 0



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

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 50 di 73	Rev. 0

APPENDICE II - METODOLOGIA DI VERIFICA IDRAULICA

Codice di calcolo

Il codice di calcolo utilizzato per le modellazioni è HEC-RAS, Hydrologic Engineering Center - River Analysis System, prodotto dal U.S. Army Corp of Engineer, che simula il flusso monodimensionale, stazionario, di fluidi verticalmente omogenei, in qualsiasi sistema di canali o aste fluviali, sul quale ampi riferimenti bibliografici sono disponibili in letteratura, in relazione sia alle basi teoriche sia allo sviluppo numerico delle equazioni, così come in merito ad esperienze analoghe di applicazione già maturate in Italia e nel mondo nell'ultimo decennio.

Il calcolo del profilo in moto permanente è stato eseguito per mezzo della versione 4.0 Beta, novembre 2006.

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:

- a) la verifica idraulica considera un tratto limitato dell'asta torrentizia nell'intorno del punto di interesse;
- b) il risultato d'analisi 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 osservate.

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:

- a) il fluido (acqua) è incomprimibile ed omogeneo, cioè senza significativa variazione di densità;
- b) la pendenza del fondo è contenuta;
- c) le lunghezze d'onda sono grandi se paragonate all'altezza d'acqua, in modo da poter considerare in ogni punto parallela al fondo la direzione della corrente: 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:

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

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

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 51 di 73	Rev. 0

dove:

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

Condizioni di moto

Le simulazioni numeriche dell'interazione idrodinamica tra il deflusso di piena e la geometria dell'alveo sono state eseguite, come accennato precedentemente, in condizioni di moto permanente (stazionario), assumendo la portata al colmo definita per mezzo dell'analisi idrologica.

La soluzione stazionaria fornisce condizioni di verifica cautelative e permette di impostare un confronto corretto tra diversi profili idraulici, mantenute fisse le condizioni al contorno.

Si tenga presente che in relazione alla formazione del fenomeno del cappio di piena nelle simulazioni di moto vario non si ha concomitanza tra livelli massimi e portate massime, condizione di verifica cautelativa che è invece garantita dalla semplificazione del moto stazionario.

Nelle ipotesi di condizioni di moto permanente unidimensionale, corrente gradualmente variata (fatta eccezione per le sezioni in cui si risente della presenza di strutture, quali ponti o tombini per attraversamento) e pendenze longitudinali del fondo dell'alveo non eccessive, per un dato tratto fluviale elementare, di lunghezza finita, il modello si basa sulla seguente equazione di conservazione dell'energia tra le generiche sezioni trasversali di monte e di valle, rispettivamente indicate con i pedici $_2$ e $_1$

$$Y_2 + Z_2 + \alpha_2 V_2^2 / (2g) = Y_1 + Z_1 + \alpha_1 V_1^2 / (2g) + \Delta H$$

in cui

- Y_2 e Y_1 sono le profondità d'acqua,
- Z_2 e Z_1 le quote dei punti più depressi delle sezioni trasversali rispetto a un piano di riferimento (superficie livello medio del mare),
- V_2 e V_1 le velocità medie (rapporto tra portata e area bagnata della sezione),
- α_2 e α_1 i coefficienti di Coriolis di ragguglio delle potenze cinetiche,
- g l'accelerazione di gravità,
- ΔH le perdite di carico nel tratto considerato.

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 52 di 73	Rev. 0

Le perdite energetiche per unità di peso che subisce la corrente fluida fra due sezioni trasversali sono espresse come segue:

$$\Delta H = L J_m + C \left| \frac{a_2 V_2^2}{2g} - \frac{a_1 V_1^2}{2g} \right|$$

in cui

- L è la lunghezza del tratto in analisi,
- J_m è un valore medio rappresentativo della cadente (perdita di carico per unità di lunghezza) nel tratto medesimo,
- C è il coefficiente di contrazione o espansione.

In tal modo, si tiene conto sia delle perdite di carico continue o distribuite, rappresentate dal primo addendo del membro di destra, sia delle perdite di carico localizzate o concentrate, rappresentate dal secondo addendo del membro di destra e dovute alle variazioni di sezione trasversale e/o alla presenza di ostacoli strutturali.

La determinazione della cadente, J , sezione per sezione avviene tramite l'equazione di moto uniforme di Manning:

$$Q = K J^{0.5}$$

essendo Q la portata totale e K un coefficiente di trasporto, espresso dalla relazione

$$K = A R_i^{2/3} / n$$

in cui A è l'area bagnata della sezione trasversale, R_i il raggio idraulico (rapporto tra area e perimetro bagnato), n il coefficiente di scabrezza.

Il coefficiente di trasporto K viene valutato separatamente per il canale principale e le golene; il suo valore per l'intera sezione trasversale è la somma delle tre aliquote. La cadente è quindi esprimibile come $J = (Q/K)^2$, in ciascuna sezione; il suo valore rappresentativo, J_m , nel tratto considerato è valutato mediante l'equazione più appropriata, automaticamente selezionata dal programma, a seconda che, nel tratto di volta in volta considerato, l'alveo sia a forte o debole pendenza e la corrente sia lenta o veloce, accelerata o decelerata.

Per ciascun tronco compreso tra due sezioni trasversali si considerano la lunghezza del canale centrale, L_c , e le lunghezze delle banchine laterali, L_{sx} e L_{dx} rispettivamente per la golena sinistra e quella destra. Per la determinazione delle perdite di carico continue, si adopera un valore della lunghezza pari alla media pesata di L_c , L_{sx} e L_{dx} sulle portate medie riferite anch'esse all'alveo centrale e alle golene ($Q_{c,m}$, $Q_{sx,m}$ e $Q_{dx,m}$):

$$L = (L_{sx} Q_{sx,m} + L_c Q_{c,m} + L_{dx} Q_{dx,m}) / (Q_{sx,m} + Q_{c,m} + Q_{dx,m})$$

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 53 di 73	Rev. 0

Il coefficiente di Coriolis si esprime in funzione dei coefficienti di trasporto, K_i , e delle aree bagnate, A_i , del canale principale e delle golene; ovvero:

$$\alpha = \frac{A^2}{K^3} \sum_i \frac{K_i^3}{A_i^2}$$

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.

Le sezioni trasversali sono suddivise in tre parti, caratterizzate da differenti valori della scabrezza, in cui la velocità si possa ritenere uniformemente distribuita: la parte centrale o canale principale, interessata dalle portate più basse, e le banchine laterali o golene, interessate dalle portate più alte. 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 in oggetto non si è fatto riferimento ad alcuna ramificazione dell'alveo, implementando un modello completamente monodimensionale, che si estende lungo il tracciato del corso d'acqua.

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 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.

Le condizioni al contorno disponibili sono:

- quota nota del pelo libero;
- altezza critica;
- altezza di moto uniforme;
- scala di deflusso

Risultati dei calcoli idraulici

La procedura di calcolo per la determinazione della profondità d'acqua in ogni sezione è iterativa: si assegna una condizione iniziale a valle o a monte e si procede verso monte o valle, in dipendenza dalle condizioni di analisi di un profilo di corrente lenta o veloce; si assume una quota della superficie libera, $WSI=YI+ZI$, di primo tentativo nella sezione in cui essa è incognita; si determinano K e V ; si calcolano Jm e ΔH ; si ottiene quindi dall'equazione dell'energia un secondo valore della quota dell'acqua, $WSII$, che viene posto a confronto con il valore assunto inizialmente; tale ciclo viene ripetuto finché la differenza tra le quote della superficie libera risulta inferiore ad un valore massimo di tolleranza prestabilito dall'operatore. La profondità Y della corrente viene quindi paragonata con l'altezza critica, Y_{cr} , per stabilire se il regime di moto è subcritico

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 54 di 73	Rev. 0

o supercritico. L'altezza critica è definita come la profondità per cui il carico totale, H , assume valore minimo.

Si possono presentare situazioni in cui la curva dell'energia, data dalla funzione $H(WS)$, presenta più di un minimo (ad esempio in presenza di ampie golene oppure in caso di esondazione oltre gli argini identificati in fase di modellazione geometrica); il codice di calcolo può individuare fino a tre minimi nella curva, tra i quali seleziona il valore minore.

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

$$H = WS + V^2/2g$$

dove

- h è il livello idrico (m);
- V la velocità media nella sezione trasversale (m/s).

Note la profondità d'acqua e l'altezza critica in una sezione, si determina se nella data sezione il regime è di corrente lenta o veloce. Se tale regime risulta differire da quanto identificato per la sezione precedente, la profondità d'acqua determinata perde di significato ed alla sezione viene assegnato il valore dell'altezza critica.

Nel caso di passaggio da regime supercritico a subcritico tramite risalto idraulico, la corrente perde il carattere gradualmente variato e l'equazione dell'energia non può essere applicata. In tal caso, il codice di calcolo ricorre all'equazione di conservazione della quantità di moto, che, indicando con i e j rispettivamente le sezioni di monte e di valle del tratto considerato, si esprime come

$$\frac{\beta_2 Q_2^2}{g A_2} + A_2 Y_{2,b} + \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) \cdot L \cdot i - \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) \cdot L \cdot j - \frac{\beta_1 Q_1^2}{g A_1} - A_1 Y_{1,b} = 0$$

dove:

- il primo ed il quinto termine rappresentano le spinte idrodinamiche dovute alle quantità di moto (con β coefficiente di ragguaglio dei flussi di quantità di moto);
- il secondo e il sesto termine rappresentano le spinte idrostatiche dovute alle pressioni (essendo $Y_{2,b}$ e $Y_{1,b}$ gli affondamenti dei baricentri delle sezioni bagnate);
- il terzo termine rappresenta la componente del peso lungo la direzione del moto (con i pendenza longitudinale del fondo dell'alveo, calcolata in base alle quote medie in ciascuna sezione);
- il quarto termine rappresenta i fattori di resistenza al moto.

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 55 di 73	Rev. 0

APPENDICE III – REPORT CODICE DI CALCOLO

HEC-RAS Version 4.0 Beta
 U.S. Army Corp of Engineers
 Hydrologic Engineering Center
 609 Second Street
 Davis, California

```

X      X  XXXXXX      XXXX      XXXX      XX      XXXX
X      X  X          X      X      X  X      X  X      X
X      X  X          X          X  X      X  X      X
XXXXXXXX XXXX      X          XXX XXXX      XXXXXX      XXXX
X      X  X          X          X  X      X  X          X
X      X  X          X      X      X  X      X  X          X
X      X  XXXXXX      XXXX      X      X      X  X      XXXXX
  
```

PROJECT DATA

Project in SI units

Project Description:

Modellazione percorrenza torrente Betigna moto permanente

PLAN DATA

Plan Summary Information:

Number of:	Cross Sections =	35	Multiple Openings =	0
	Culverts =	0	Inline Structures =	0
	Bridges =	0	Lateral Structures =	0

Computational Information

Water surface calculation tolerance =	0.0001
Critical depth calculation tolerance =	0.0001
Maximum number of iterations =	40
Maximum difference tolerance =	0.1
Flow tolerance factor =	0.0001

Computation Options

Critical depth computed at all cross sections	
Conveyance Calculation Method:	At breaks in n values only
Friction Slope Method:	Program Selects Appropriate method
Computational Flow Regime:	Supercritical Flow

FLOW DATA

Flow Title: Q = 260 m3/s

Flow Data (m3/s)

River	Reach	RS	Tr = 200 anni
Betigna	Betigna	5	260

Boundary Conditions

River	Reach	Profile	Upstream	Downstream
Betigna	Betigna	Tr = 200 anni	Critical	Critical

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 56 di 73	Rev. 0

GEOMETRY DATA

CROSS SECTION

RIVER: torrente Betigna

REACH: torrente Betigna RS: 5

INPUT

Description: Sezione costruita su basi topografiche

Station Elevation Data		num=		15					
Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev
0	299.64	6.51	295.6	18.55	295.33	30.11	295.28	34.44	295.11
41.19	294.99	44.96	295.07	52.1	292.15	55.35	291.82	56.59	291.5
58.89	291.49	65.53	291.79	66.7	291.87	72.5	296.14	77.35	300.51

Manning's n Values		num=		3	
Sta	n Val	Sta	n Val	Sta	n Val
0	.045	55.35	.035	66.7	.045

Bank Sta:	Left	Right	Lengths:	Left Channel	Right	Coeff Contr.	Expan.
	55.35	66.7		3.948	3.986	4.034	.1 .3

CROSS SECTION OUTPUT Profile #Tr = 200 anni

	E.G. Elev (m)	296.04	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	1.25	Wt. n-Val.	0.045	0.035	0.045	
W.S. Elev (m)	294.80	Reach Len. (m)	3.95	3.99	4.03	
Crit W.S. (m)	294.80	Flow Area (m2)	17.72	35.94	5.83	
E.G. Slope (m/m)	0.007934	Area (m2)	17.72	35.94	5.83	
Q Total (m3/s)	260.00	Flow (m3/s)	50.49	196.64	12.87	
Top Width (m)	25.06	Top Width (m)	9.73	11.35	3.98	
Vel Total (m/s)	4.37	Avg. Vel. (m/s)	2.85	5.47	2.21	
Max Chl Dpth (m)	3.31	Hydr. Depth (m)	1.82	3.17	1.46	
Conv. Total (m3/s)	2919.0	Conv. (m3/s)	566.8	2207.6	144.5	
Length Wtd. (m)	3.98	Wetted Per. (m)	10.26	11.40	4.94	
Min Ch El (m)	291.49	Shear (N/m2)	134.34	245.28	91.75	
Alpha	1.28	Stream Power (N/m s)	382.71	1342.04	202.71	
Frctn Loss (m)		Cum Volume (1000 m3)	0.83	3.92	0.55	
C & E Loss (m)		Cum SA (1000 m2)	0.93	1.79	0.89	

CROSS SECTION

RIVER: torrente Betigna

REACH: torrente Betigna RS: 4.90909*

INPUT

Description:

Station Elevation Data		num=		18					
Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev
0	299.542	6.982	295.547	18.92	295.139	29.805	295.103	34.405	294.95
40.542	294.841	44.408	294.936	50.377	292.515	51.668	291.999	54.972	291.586
56.193	291.265	58.692	291.182	59.18	291.206	65.073	291.519	66.295	291.614
72.258	295.739	72.682	295.854	77.547	300.284				

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 57 di 73	Rev. 0

Manning's n Values num= 3
 Sta n Val Sta n Val Sta n Val
 0 .045 54.972 .035 66.295 .045

Bank Sta: Left Right Lengths: Left Channel Right Coeff Contr. Expan.
 54.972 66.295 3.948 3.986 4.034 .1 .3

CROSS SECTION

RIVER: torrente Betigna

REACH: torrente Betigna RS: 4.81818*

INPUT

Description:

Station Elevation Data num= 18
 Sta Elev Sta Elev Sta Elev Sta Elev Sta Elev
 0 299.444 7.454 295.495 19.29 294.948 29.499 294.925 34.371 294.79
 39.894 294.692 43.856 294.803 49.923 292.36 51.235 291.848 54.594 291.353
 55.795 291.029 58.494 290.874 58.962 290.9 64.615 291.248 65.891 291.357
 72.016 295.338 72.864 295.567 77.745 300.057

Manning's n Values num= 3
 Sta n Val Sta n Val Sta n Val
 0 .045 54.594 .035 65.891 .045

Bank Sta: Left Right Lengths: Left Channel Right Coeff Contr. Expan.
 54.594 65.891 3.948 3.986 4.034 .1 .3

CROSS SECTION

RIVER: torrente Betigna

REACH: torrente Betigna RS: 4.72727*

INPUT

Description:

Station Elevation Data num= 18
 Sta Elev Sta Elev Sta Elev Sta Elev Sta Elev
 0 299.345 7.925 295.442 19.66 294.757 29.194 294.748 34.336 294.63
 39.245 294.543 43.305 294.669 49.47 292.206 50.803 291.696 54.215 291.119
 55.398 290.794 58.295 290.565 58.744 290.593 64.158 290.977 65.486 291.101
 71.775 294.937 73.045 295.281 77.942 299.831

Manning's n Values num= 3
 Sta n Val Sta n Val Sta n Val
 0 .045 54.215 .035 65.486 .045

Bank Sta: Left Right Lengths: Left Channel Right Coeff Contr. Expan.
 54.215 65.486 3.948 3.986 4.034 .1 .3

CROSS SECTION

RIVER: torrente Betigna

REACH: torrente Betigna RS: 4.63636*

INPUT

Description:

Station Elevation Data num= 18
 Sta Elev Sta Elev Sta Elev Sta Elev Sta Elev

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 58 di 73	Rev. 0

0	299.247	8.397	295.389	20.03	294.566	28.888	294.571	34.302	294.47
38.597	294.394	42.753	294.535	49.016	292.051	50.37	291.545	53.837	290.885
55.001	290.558	58.097	290.257	58.526	290.286	63.701	290.706	65.082	290.845
71.533	294.536	73.227	294.995	78.139	299.605				

Manning's n Values num= 3

Sta	n Val	Sta	n Val	Sta	n Val
0	.045	53.837	.035	65.082	.045

Bank Sta:	Left	Right	Lengths:	Left	Channel	Right	Coeff	Contr.	Expan.
	53.837	65.082		3.948	3.986	4.034		.1	.3

CROSS SECTION

RIVER: torrente Betigna

REACH: torrente Betigna RS: 4.54545*

INPUT

Description:

Station Elevation Data num= 18

Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev
0	299.149	8.869	295.336	20.4	294.375	28.583	294.394	34.267	294.31
37.949	294.245	42.201	294.402	48.562	291.897	49.938	291.394	53.459	290.652
54.604	290.323	57.899	289.949	58.308	289.98	63.244	290.435	64.677	290.588
71.291	294.135	73.409	294.708	78.336	299.378				

Manning's n Values num= 3

Sta	n Val	Sta	n Val	Sta	n Val
0	.045	53.459	.035	64.677	.045

Bank Sta:	Left	Right	Lengths:	Left	Channel	Right	Coeff	Contr.	Expan.
	53.459	64.677		3.948	3.986	4.034		.1	.3

CROSS SECTION

RIVER: torrente Betigna

REACH: torrente Betigna RS: 4.45454*

INPUT

Description:

Station Elevation Data num= 18

Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev
0	299.051	9.341	295.284	20.77	294.185	28.277	294.216	34.233	294.15
37.301	294.095	41.649	294.268	48.109	291.742	49.505	291.243	53.081	290.418
54.206	290.087	57.701	289.641	58.09	289.673	62.786	290.165	64.273	290.332
71.049	293.735	73.591	294.422	78.534	299.152				

Manning's n Values num= 3

Sta	n Val	Sta	n Val	Sta	n Val
0	.045	53.081	.035	64.273	.045

Bank Sta:	Left	Right	Lengths:	Left	Channel	Right	Coeff	Contr.	Expan.
	53.081	64.273		3.948	3.986	4.034		.1	.3

CROSS SECTION

RIVER: torrente Betigna

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna		SPC. LA-E-80083
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore		Fg. 59 di 73

REACH: torrente Betigna RS: 4.36363*

INPUT

Description:

Station Elevation Data num= 18

Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev
0	298.953	9.813	295.231	21.14	293.994	27.972	294.039	34.198	293.99
36.653	293.946	41.097	294.135	47.655	291.588	49.073	291.092	52.703	290.185
53.809	289.852	57.503	289.333	57.872	289.367	62.329	289.894	63.868	290.075
70.807	293.334	73.773	294.135	78.731	298.925				

Manning's n Values num= 3

Sta	n Val	Sta	n Val	Sta	n Val
0	.045	52.703	.035	63.868	.045

Bank Sta: Left Right Lengths: Left Channel Right Coeff Contr. Expan.

52.703	63.868	3.948	3.986	4.034	.1	.3
--------	--------	-------	-------	-------	----	----

CROSS SECTION

RIVER: torrente Betigna

REACH: torrente Betigna RS: 4.27272*

INPUT

Description:

Station Elevation Data num= 18

Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev
0	298.855	10.285	295.178	21.51	293.803	27.666	293.862	34.164	293.83
36.005	293.797	40.545	294.001	47.201	291.433	48.64	290.94	52.325	289.951
53.412	289.616	57.305	289.025	57.654	289.06	61.872	289.623	63.464	289.819
70.565	292.933	73.955	293.849	78.928	298.699				

Manning's n Values num= 3

Sta	n Val	Sta	n Val	Sta	n Val
0	.045	52.325	.035	63.464	.045

Bank Sta: Left Right Lengths: Left Channel Right Coeff Contr. Expan.

52.325	63.464	3.948	3.986	4.034	.1	.3
--------	--------	-------	-------	-------	----	----

CROSS SECTION

RIVER: torrente Betigna

REACH: torrente Betigna RS: 4.18181*

INPUT

Description:

Station Elevation Data num= 18

Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev
0	298.756	10.756	295.125	21.88	293.612	27.361	293.685	34.129	293.67
35.356	293.648	39.994	293.867	46.747	291.279	48.208	290.789	51.946	289.717
53.015	289.381	57.106	288.716	57.436	288.753	61.415	289.352	63.059	289.563
70.324	292.532	74.136	293.563	79.125	298.473				

Manning's n Values num= 3

Sta	n Val	Sta	n Val	Sta	n Val
0	.045	51.946	.035	63.059	.045

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 60 di 73	Rev. 0

Bank Sta:	Left	Right	Lengths:	Left Channel	Right	Coeff	Contr.	Expan.
	51.946	63.059		3.948 3.986	4.034		.1	.3

CROSS SECTION

RIVER: torrente Betigna

REACH: torrente Betigna RS: 4.09090*

INPUT

Description:

Station Elevation Data	num=	18
Sta Elev Sta Elev Sta Elev Sta Elev Sta Elev		
0 298.658 11.228 295.073 22.25 293.421 27.055 293.507 34.095 293.51		
34.708 293.499 39.442 293.734 46.294 291.124 47.775 290.638 51.568 289.484		
52.617 289.145 56.908 288.408 57.218 288.447 60.957 289.081 62.655 289.306		
70.082 292.131 74.318 293.276 79.323 298.246		

Manning's n Values	num=	3
Sta n Val Sta n Val Sta n Val		
0 .045 51.568 .035 62.655 .045		

Bank Sta:	Left	Right	Lengths:	Left Channel	Right	Coeff	Contr.	Expan.
	51.568	62.655		3.948 3.986	4.034		.1	.3

CROSS SECTION

RIVER: torrente Betigna

REACH: torrente Betigna RS: 4

INPUT

Description: Sezione costruita su basi topografiche

Station Elevation Data	num=	16
Sta Elev Sta Elev Sta Elev Sta Elev Sta Elev		
0 298.56 11.7 295.02 22.62 293.23 26.75 293.33 34.06 293.35		
38.89 293.6 45.84 290.97 51.19 289.25 52.22 288.91 56.71 288.1		
57 288.14 60.5 288.81 62.25 289.05 69.84 291.73 74.5 292.99		
79.52 298.02		

Manning's n Values	num=	3
Sta n Val Sta n Val Sta n Val		
0 .045 51.19 .035 62.25 .045		

Bank Sta:	Left	Right	Lengths:	Left Channel	Right	Coeff	Contr.	Expan.
	51.19	62.25		4.778 4.74	4.742		.1	.3

CROSS SECTION OUTPUT Profile #Tr = 200 anni

E.G. Elev (m)	294.70	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	3.84	Wt. n-Val.	0.045	0.035	0.045
W.S. Elev (m)	290.86	Reach Len. (m)	4.78	4.74	4.74
Crit W.S. (m)	292.05	Flow Area (m2)	4.03	24.92	4.64
E.G. Slope (m/m)	0.035675	Area (m2)	4.03	24.92	4.64
Q Total (m3/s)	260.00	Flow (m3/s)	14.16	228.33	17.51
Top Width (m)	21.19	Top Width (m)	5.01	11.06	5.13
Vel Total (m/s)	7.74	Avg. Vel. (m/s)	3.51	9.16	3.78
Max Chl Dpth (m)	2.76	Hydr. Depth (m)	0.80	2.25	0.90
Conv. Total (m3/s)	1376.6	Conv. (m3/s)	75.0	1208.9	92.7

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna		SPC. LA-E-80083
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore		Fg. 61 di 73

Length Wtd. (m)	4.74	Wetted Per. (m)	5.26	11.27	5.44
Min Ch El (m)	288.10	Shear (N/m2)	268.06	773.73	298.49
Alpha	1.26	Stream Power (N/m s)	942.14	7087.81	1127.04
Frctn Loss (m)	0.14	Cum Volume (1000 m3)	0.47	2.71	0.36
C & E Loss (m)	0.01	Cum SA (1000 m2)	0.63	1.30	0.71

CROSS SECTION

RIVER: torrente Betigna

REACH: torrente Betigna RS: 3.88888*

INPUT

Description:

Station Elevation Data num= 29

Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev
0	298.262	11.38	294.952	12.118	294.83	22.001	293.156	25.837	293.166
26.018	293.168	33.128	293.124	34.586	293.18	37.826	293.214	41.426	291.837
44.585	290.697	49.789	289.09	50.903	288.731	52.074	288.498	52.118	288.49
55.761	287.949	56.037	287.985	56.17	288.009	57.364	288.225	59.365	288.658
61.029	288.933	61.765	289.215	62.061	289.315	66.494	290.743	69.254	291.565
70.977	291.961	74.278	292.692	74.303	292.701	79.743	297.8		

Manning's n Values num= 3

Sta	n Val	Sta	n Val	Sta	n Val
0	.045	49.789	.035	61.029	.045

Bank Sta: Left	Right	Lengths: Left	Channel	Right	Coeff	Contr.	Expan.
49.789	61.029	4.778	4.74	4.742	.1	.3	

CROSS SECTION

RIVER: torrente Betigna

REACH: torrente Betigna RS: 3.77777*

INPUT

Description:

Station Elevation Data num= 29

Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev
0	297.964	11.06	294.883	11.777	294.765	21.382	293.083	25.109	293.006
25.286	293.007	32.196	292.898	33.613	292.933	36.761	292.829	40.26	291.475
43.331	290.424	48.388	288.93	49.587	288.552	50.846	288.28	50.893	288.272
54.812	287.798	55.074	287.83	55.2	287.852	56.332	288.043	58.23	288.506
59.808	288.817	60.6	289.141	60.92	289.243	65.695	290.655	68.667	291.4
70.523	291.762	74.079	292.401	74.107	292.411	79.967	297.58		

Manning's n Values num= 3

Sta	n Val	Sta	n Val	Sta	n Val
0	.045	48.388	.035	59.808	.045

Bank Sta: Left	Right	Lengths: Left	Channel	Right	Coeff	Contr.	Expan.
48.388	59.808	4.778	4.74	4.742	.1	.3	

CROSS SECTION

RIVER: torrente Betigna

REACH: torrente Betigna RS: 3.66666*

INPUT

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna		SPC. LA-E-80083
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore		Fg. 62 di 73

Description:

Station Elevation Data num= 29									
Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev
0	297.667	10.739	294.815	11.436	294.7	20.763	293.009	24.382	292.847
24.553	292.845	31.263	292.672	32.64	292.685	35.697	292.443	39.095	291.113
42.076	290.151	46.987	288.77	48.27	288.373	49.618	288.063	49.668	288.055
53.863	287.647	54.111	287.676	54.23	287.695	55.3	287.861	57.095	288.354
58.587	288.7	59.436	289.066	59.779	289.171	64.896	290.567	68.081	291.234
70.07	291.563	73.881	292.109	73.91	292.122	80.19	297.36		

Manning's n Values num= 3					
Sta	n Val	Sta	n Val	Sta	n Val
0	.045	46.987	.035	58.587	.045

Bank Sta:	Left	Right	Lengths:	Left	Channel	Right	Coeff	Contr.	Expan.
	46.987	58.587		4.778	4.74	4.742		.1	.3

CROSS SECTION

RIVER: torrente Betigna

REACH: torrente Betigna RS: 3.55555*

INPUT

Description:

Station Elevation Data num= 29									
Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev
0	297.369	10.419	294.747	11.095	294.635	20.143	292.935	23.655	292.688
23.821	292.684	30.331	292.446	31.666	292.438	34.632	292.058	37.929	290.751
40.821	289.878	45.586	288.61	46.953	288.194	48.39	287.846	48.444	287.837
52.914	287.496	53.147	287.521	53.26	287.537	54.269	287.68	55.96	288.202
57.366	288.583	58.272	288.992	58.637	289.099	64.096	290.479	67.495	291.069
69.617	291.364	73.683	291.818	73.714	291.833	80.413	297.14		

Manning's n Values num= 3					
Sta	n Val	Sta	n Val	Sta	n Val
0	.045	45.586	.035	57.366	.045

Bank Sta:	Left	Right	Lengths:	Left	Channel	Right	Coeff	Contr.	Expan.
	45.586	57.366		4.778	4.74	4.742		.1	.3

CROSS SECTION

RIVER: torrente Betigna

REACH: torrente Betigna RS: 3.44444*

INPUT

Description:

Station Elevation Data num= 29									
Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev
0	297.071	10.099	294.679	10.754	294.57	19.524	292.861	22.928	292.528
23.089	292.522	29.399	292.219	30.693	292.19	33.568	291.672	36.763	290.388
39.567	289.605	44.184	288.45	45.636	288.014	47.162	287.629	47.219	287.62
51.966	287.344	52.184	287.366	52.29	287.38	53.237	287.498	54.824	288.05
56.144	288.467	57.107	288.918	57.496	289.027	63.297	290.391	66.909	290.904
69.163	291.165	73.484	291.526	73.517	291.544	80.637	296.92		

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 63 di 73	Rev. 0

Manning's n Values num= 3
 Sta n Val Sta n Val Sta n Val
 0 .045 44.184 .035 56.144 .045

Bank Sta: Left Right Lengths: Left Channel Right Coeff Contr. Expan.
 44.184 56.144 4.778 4.74 4.742 .1 .3

CROSS SECTION

RIVER: torrente Betigna

REACH: torrente Betigna RS: 3.33333*

INPUT

Description:

Station Elevation Data num= 29

Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev
0	296.773	9.779	294.61	10.413	294.505	18.905	292.788	22.201	292.368
22.357	292.36	28.467	291.993	29.72	291.943	32.503	291.286	35.597	290.026
38.312	289.332	42.783	288.29	44.32	287.835	45.934	287.412	45.994	287.402
51.017	287.193	51.221	287.211	51.32	287.222	52.205	287.316	53.689	287.898
54.923	288.35	55.943	288.843	56.354	288.955	62.498	290.304	66.322	290.739
68.71	290.967	73.285	291.235	73.321	291.254	80.86	296.7		

Manning's n Values num= 3
 Sta n Val Sta n Val Sta n Val
 0 .045 42.783 .035 54.923 .045

Bank Sta: Left Right Lengths: Left Channel Right Coeff Contr. Expan.
 42.783 54.923 4.778 4.74 4.742 .1 .3

CROSS SECTION

RIVER: torrente Betigna

REACH: torrente Betigna RS: 3.22222*

INPUT

Description:

Station Elevation Data num= 29

Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev
0	296.476	9.458	294.542	10.072	294.44	18.286	292.714	21.474	292.209
21.625	292.199	27.534	291.767	28.747	291.695	31.439	290.901	34.432	289.664
37.057	289.059	41.382	288.13	43.003	287.656	44.706	287.194	44.769	287.185
50.068	287.042	50.258	287.056	50.35	287.065	51.173	287.134	52.554	287.746
53.702	288.233	54.779	288.769	55.213	288.884	61.699	290.216	65.736	290.574
68.257	290.768	73.087	290.943	73.124	290.965	81.083	296.48		

Manning's n Values num= 3
 Sta n Val Sta n Val Sta n Val
 0 .045 41.382 .035 53.702 .045

Bank Sta: Left Right Lengths: Left Channel Right Coeff Contr. Expan.
 41.382 53.702 4.778 4.74 4.742 .1 .3

CROSS SECTION

RIVER: torrente Betigna

REACH: torrente Betigna RS: 3.11111*

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna		SPC. LA-E-80083
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore		Fg. 64 di 73

INPUT

Description:

Station Elevation Data	num=	29
Sta Elev Sta Elev Sta Elev Sta Elev Sta Elev		
0 296.178 9.138 294.474 9.731 294.375 17.667 292.64 20.747 292.049		
20.893 292.037 26.602 291.541 27.773 291.448 30.374 290.515 33.266 289.302		
35.803 288.786 39.981 287.97 41.686 287.477 43.478 286.977 43.545 286.967		
49.119 286.891 49.295 286.902 49.38 286.907 50.142 286.952 51.419 287.594		
52.481 288.117 53.614 288.694 54.071 288.812 60.899 290.128 65.15 290.408		
67.803 290.569 72.889 290.651 72.928 290.676 81.307 296.26		

Manning's n Values	num=	3
Sta n Val Sta n Val Sta n Val		
0 .045 39.981 .035 52.481 .045		

Bank Sta: Left Right Lengths: Left Channel Right Coeff Contr. Expan.		
39.981 52.481 4.778 4.74 4.742 .1 .3		

CROSS SECTION

RIVER: torrente Betigna

REACH: torrente Betigna RS: 3

INPUT

Description: Sezione costruita su basi topografiche

Station Elevation Data	num=	18
Sta Elev Sta Elev Sta Elev Sta Elev Sta Elev		
0 295.88 9.39 294.31 20.02 291.89 26.8 291.2 32.1 288.94		
38.58 287.81 42.25 286.76 42.32 286.75 48.17 286.74 48.41 286.75		
49.11 286.77 51.26 288 52.45 288.62 52.93 288.74 60.1 290.04		
67.35 290.37 72.69 290.36 81.53 296.04		

Manning's n Values	num=	3
Sta n Val Sta n Val Sta n Val		
0 .045 38.58 .035 51.26 .045		

Bank Sta: Left Right Lengths: Left Channel Right Coeff Contr. Expan.		
38.58 51.26 4.924 4.297 3.786 .1 .3		

CROSS SECTION OUTPUT Profile #Tr = 200 anni

E.G. Elev (m)	293.07	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	3.98	Wt. n-Val.	0.045	0.035	0.045
W.S. Elev (m)	289.09	Reach Len. (m)	4.92	4.30	3.79
Crit W.S. (m)	290.28	Flow Area (m2)	4.64	26.33	1.45
E.G. Slope (m/m)	0.040597	Area (m2)	4.64	26.33	1.45
Q Total (m3/s)	260.00	Flow (m3/s)	15.86	240.70	3.44
Top Width (m)	23.09	Top Width (m)	6.82	12.68	3.58
Vel Total (m/s)	8.02	Avg. Vel. (m/s)	3.42	9.14	2.37
Max Chl Dpth (m)	2.35	Hydr. Depth (m)	0.68	2.08	0.41
Conv. Total (m3/s)	1290.4	Conv. (m3/s)	78.7	1194.6	17.0
Length Wtd. (m)	4.33	Wetted Per. (m)	6.95	13.16	3.78
Min Ch El (m)	286.74	Shear (N/m2)	265.64	796.76	152.88
Alpha	1.22	Stream Power (N/m s)	908.23	7284.24	361.62
Frctn Loss (m)	0.19	Cum Volume (1000 m3)	0.29	1.61	0.22

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 65 di 73	Rev. 0

C & E Loss (m) 0.00 Cum SA (1000 m2) 0.39 0.80 0.50

CROSS SECTION

RIVER: torrente Betigna

REACH: torrente Betigna RS: 2.85714*

INPUT

Description:

Station Elevation Data num= 34

Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev
0	295.563	5.775	294.636	9.237	293.99	15.771	292.427	19.693	291.644
21.502	291.481	26.362	290.856	27.821	290.255	31.576	288.772	34.096	288.33
37.95	287.557	39.723	287.091	41.465	286.632	41.532	286.623	42.195	286.618
44.331	286.614	46.4	286.607	47.134	286.594	47.406	286.603	48.198	286.621
49.982	287.395	50.63	287.72	51.868	288.368	52.146	288.451	52.368	288.515
52.835	288.621	58.356	289.469	59.828	289.737	66.228	290.186	67.372	290.198
68.02	290.18	72.928	290.514	77.894	293.489	82.126	296.049		

Manning's n Values num= 3

Sta	n Val	Sta	n Val	Sta	n Val
0	.045	37.95	.035	50.63	.045

Bank Sta:	Left	Right	Lengths:	Left	Channel	Right	Coeff	Contr.	Expan.
	37.95	50.63		4.924	4.297	3.786		.1	.3

CROSS SECTION

RIVER: torrente Betigna

REACH: torrente Betigna RS: 2.71428*

INPUT

Description:

Station Elevation Data num= 34

Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev
0	295.246	5.679	294.373	9.083	293.67	15.509	292.056	19.366	291.397
21.145	291.259	25.925	290.511	27.359	289.943	31.052	288.604	33.53	288.167
37.32	287.304	39.015	286.901	40.679	286.505	40.744	286.496	41.378	286.486
43.419	286.484	45.396	286.472	46.099	286.449	46.402	286.456	47.285	286.471
49.276	287.117	50	287.44	51.286	288.116	51.575	288.216	51.805	288.289
52.291	288.421	58.027	289.154	59.556	289.433	66.205	290.051	67.393	290.027
68.066	289.992	73.166	290.669	78.325	293.551	82.721	296.057		

Manning's n Values num= 3

Sta	n Val	Sta	n Val	Sta	n Val
0	.045	37.32	.035	50	.045

Bank Sta:	Left	Right	Lengths:	Left	Channel	Right	Coeff	Contr.	Expan.
	37.32	50		4.924	4.297	3.786		.1	.3

CROSS SECTION

RIVER: torrente Betigna

REACH: torrente Betigna RS: 2.57142*

INPUT

Description:

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna		SPC. LA-E-80083
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore		Fg. 66 di 73

Station Elevation Data num= 34

Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev
0	294.929	5.583	294.11	8.93	293.35	15.247	291.684	19.039	291.151
20.788	291.037	25.487	290.167	26.897	289.63	30.527	288.436	32.964	288.003
36.69	287.051	38.306	286.711	39.894	286.377	39.955	286.37	40.56	286.355
42.508	286.353	44.393	286.338	45.063	286.303	45.397	286.309	46.373	286.322
48.571	286.84	49.37	287.16	50.705	287.864	51.004	287.981	51.243	288.064
51.747	288.221	57.697	288.839	59.284	289.13	66.182	289.917	67.415	289.855
68.113	289.804	73.403	290.823	78.756	293.612	83.317	296.066		

Manning's n Values num= 3

Sta	n Val	Sta	n Val	Sta	n Val
0	.045	36.69	.035	49.37	.045

Bank Sta:	Left	Right	Lengths:	Left	Channel	Right	Coeff	Contr.	Expan.
	36.69	49.37		4.924	4.297	3.786		.1	.3

CROSS SECTION

RIVER: torrente Betigna

REACH: torrente Betigna RS: 2.42857*

INPUT

Description:

Station Elevation Data num= 34

Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev
0	294.611	5.488	293.848	8.777	293.03	14.985	291.313	18.712	290.905
20.431	290.816	25.049	289.822	26.436	289.318	30.003	288.268	32.398	287.84
36.06	286.799	37.598	286.521	39.109	286.249	39.167	286.243	39.743	286.224
41.596	286.222	43.39	286.203	44.027	286.157	44.393	286.162	45.461	286.172
47.866	286.562	48.74	286.88	50.123	287.612	50.433	287.746	50.68	287.838
51.203	288.021	57.368	288.524	59.012	288.827	66.159	289.783	67.436	289.684
68.16	289.615	73.641	290.978	79.187	293.674	83.913	296.074		

Manning's n Values num= 3

Sta	n Val	Sta	n Val	Sta	n Val
0	.045	36.06	.035	48.74	.045

Bank Sta:	Left	Right	Lengths:	Left	Channel	Right	Coeff	Contr.	Expan.
	36.06	48.74		4.924	4.297	3.786		.1	.3

CROSS SECTION

RIVER: torrente Betigna

REACH: torrente Betigna RS: 2.28571*

INPUT

Description:

Station Elevation Data num= 34

Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev
0	294.294	5.392	293.585	8.623	292.71	14.724	290.942	18.385	290.658
20.074	290.594	24.612	289.478	25.974	289.005	29.479	288.1	31.832	287.677
35.43	286.546	36.89	286.332	38.324	286.121	38.379	286.116	38.925	286.092
40.684	286.091	42.387	286.069	42.991	286.011	43.389	286.015	44.549	286.023
47.161	286.285	48.11	286.6	49.541	287.361	49.862	287.51	50.118	287.613
50.658	287.82	57.039	288.21	58.74	288.523	66.136	289.649	67.458	289.512

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 67 di 73	Rev. 0

68.207 289.427 73.879 291.132 79.618 293.736 84.509 296.083

Manning's n Values num= 3
 Sta n Val Sta n Val Sta n Val
 0 .045 35.43 .035 48.11 .045

Bank Sta: Left Right Lengths: Left Channel Right Coeff Contr. Expan.
 35.43 48.11 4.924 4.297 3.786 .1 .3

CROSS SECTION

RIVER: torrente Betigna

REACH: torrente Betigna RS: 2.14285*

INPUT

Description:

Station Elevation Data num= 34

Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev
0	293.977	5.296	293.323	8.47	292.39	14.462	290.571	18.058	290.412
19.717	290.372	24.174	289.133	25.512	288.693	28.955	287.932	31.266	287.513
34.8	286.293	36.181	286.142	37.538	285.994	37.591	285.989	38.108	285.961
39.772	285.961	41.383	285.934	41.956	285.866	42.385	285.868	43.636	285.873
46.455	286.007	47.48	286.32	48.959	287.109	49.291	287.275	49.556	287.388
50.114	287.62	56.709	287.895	58.468	288.22	66.113	289.514	67.479	289.341
68.253	289.238	74.117	291.286	80.049	293.798	85.104	296.091		

Manning's n Values num= 3
 Sta n Val Sta n Val Sta n Val
 0 .045 34.8 .035 47.48 .045

Bank Sta: Left Right Lengths: Left Channel Right Coeff Contr. Expan.
 34.8 47.48 4.924 4.297 3.786 .1 .3

CROSS SECTION

RIVER: torrente Betigna

REACH: torrente Betigna RS: 2

INPUT

Description: Sezione costruita su basi topografiche

Station Elevation Data num= 21

Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev
0	293.66	5.2	293.06	14.2	290.2	19.36	290.15	25.05	288.38
30.7	287.35	34.17	286.04	35.473	285.952	37.29	285.83	38.86	285.83
40.38	285.8	40.92	285.72	45.75	285.73	46.85	286.04	48.72	287.04
49.57	287.42	56.38	287.58	66.09	289.38	68.3	289.05	80.48	293.86
85.7	296.1								

Manning's n Values num= 3
 Sta n Val Sta n Val Sta n Val
 0 .045 34.17 .035 46.85 .045

Bank Sta: Left Right Lengths: Left Channel Right Coeff Contr. Expan.
 34.17 46.85 4.586 4.66 4.706 .1 .3

CROSS SECTION OUTPUT Profile #Tr = 200 anni

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna		SPC. LA-E-80083
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore		Fg. 68 di 73

E.G. Elev (m)	291.81	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	4.03	Wt. n-Val.	0.045	0.035	0.045
W.S. Elev (m)	287.77	Reach Len. (m)	4.59	4.66	4.71
Crit W.S. (m)	288.91	Flow Area (m2)	4.22	24.80	4.71
E.G. Slope (m/m)	0.044076	Area (m2)	4.22	24.80	4.71
Q Total (m3/s)	260.00	Flow (m3/s)	15.49	231.96	12.56
Top Width (m)	29.03	Top Width (m)	5.78	12.68	10.56
Vel Total (m/s)	7.71	Avg. Vel. (m/s)	3.67	9.35	2.66
Max Chl Dpth (m)	2.05	Hydr. Depth (m)	0.73	1.96	0.45
Conv. Total (m3/s)	1238.4	Conv. (m3/s)	73.8	1104.9	59.8
Length Wtd. (m)	4.66	Wetted Per. (m)	6.06	12.74	10.91
Min Ch El (m)	285.72	Shear (N/m2)	301.26	841.62	186.59
Alpha	1.33	Stream Power (N/m s)	1104.85	7871.96	497.23
Frctn Loss (m)	0.19	Cum Volume (1000 m3)	0.13	0.84	0.15
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)	0.17	0.41	0.32

CROSS SECTION

RIVER: torrente Betigna

REACH: torrente Betigna RS: 1.85714*

INPUT

Description:

Station Elevation Data num= 39

Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev
0	293.451	5.257	292.584	6.044	292.319	8.512	291.625	13.374	290.303
14.097	290.083	14.357	290.014	17.006	290.001	19.574	289.973	21.595	289.434
25.326	288.321	29.958	287.446	31.039	287.216	34.547	285.891	35.893	285.783
36.852	285.705	37.771	285.659	39.393	285.667	40.708	285.653	40.963	285.639
41.521	285.55	45.644	285.559	46.169	285.584	47.227	285.899	49.177	286.883
50.063	287.267	50.656	287.317	55.192	287.426	57.164	287.562	58.083	287.747
62.306	288.542	66.184	289.185	67.288	289.373	69.592	289.133	70.183	289.336
74.414	290.758	78.461	292.215	82.292	293.529	87.734	295.549		

Manning's n Values num= 3

Sta	n Val	Sta	n Val	Sta	n Val
0	.045	34.547	.035	47.227	.045

Bank Sta: Left	Right	Lengths: Left	Channel	Right	Coeff	Contr.	Expan.
34.547	47.227	4.586	4.66	4.706	.1	.3	

CROSS SECTION

RIVER: torrente Betigna

REACH: torrente Betigna RS: 1.71428*

INPUT

Description:

Station Elevation Data num= 39

Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev
0	293.243	5.315	292.108	6.11	291.826	8.605	291.212	13.52	290.098
14.251	289.884	14.513	289.828	17.192	289.828	19.787	289.796	21.831	289.34
25.603	288.262	30.285	287.346	31.378	287.083	34.924	285.743	36.314	285.613
37.304	285.521	38.252	285.488	39.926	285.505	41.284	285.501	41.547	285.478
42.123	285.38	46.083	285.389	46.587	285.438	47.604	285.757	49.634	286.727

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna		SPC. LA-E-80083
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore		Fg. 69 di 73

50.556	287.114	51.173	287.201	55.895	287.317	57.947	287.543	58.904	287.751
63.3	288.59	67.337	289.186	68.486	289.367	70.884	289.217	71.499	289.398
75.903	290.64	80.115	292.021	84.103	293.198	89.769	294.997		

Manning's n Values num= 3

Sta	n Val	Sta	n Val	Sta	n Val
0	.045	34.924	.035	47.604	.045

Bank Sta:	Left	Right	Lengths:	Left	Channel	Right	Coeff	Contr.	Expan.
	34.924	47.604		4.586	4.66	4.706		.1	.3

CROSS SECTION

RIVER: torrente Betigna

REACH: torrente Betigna RS: 1.57142*

INPUT

Description:

Station Elevation Data num= 39

Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev
0	293.034	5.372	291.633	6.176	291.333	8.698	290.8	13.666	289.892
14.404	289.685	14.67	289.641	17.377	289.654	20.001	289.618	22.067	289.246
25.879	288.204	30.612	287.247	31.717	286.949	35.301	285.594	36.734	285.444
37.755	285.337	38.732	285.317	40.459	285.342	41.859	285.348	42.13	285.317
42.724	285.21	46.522	285.219	47.006	285.292	47.981	285.616	50.091	286.57
51.049	286.961	51.69	287.085	56.598	287.207	58.731	287.525	59.725	287.755
64.294	288.638	68.489	289.186	69.683	289.36	72.176	289.3	72.815	289.461
77.393	290.522	81.77	291.827	85.915	292.866	91.803	294.446		

Manning's n Values num= 3

Sta	n Val	Sta	n Val	Sta	n Val
0	.045	35.301	.035	47.981	.045

Bank Sta:	Left	Right	Lengths:	Left	Channel	Right	Coeff	Contr.	Expan.
	35.301	47.981		4.586	4.66	4.706		.1	.3

CROSS SECTION

RIVER: torrente Betigna

REACH: torrente Betigna RS: 1.42857*

INPUT

Description:

Station Elevation Data num= 39

Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev
0	292.826	5.43	291.157	6.242	290.84	8.791	290.387	13.812	289.687
14.558	289.486	14.827	289.455	17.563	289.481	20.215	289.441	22.303	289.152
26.156	288.145	30.939	287.148	32.055	286.815	35.679	285.446	37.155	285.275
38.206	285.153	39.213	285.146	40.992	285.18	42.434	285.196	42.714	285.157
43.326	285.04	46.962	285.05	47.425	285.147	48.359	285.474	50.548	286.413
51.543	286.808	52.208	286.969	57.301	287.098	59.515	287.507	60.546	287.759
65.288	288.686	69.642	289.187	70.881	289.353	73.468	289.383	74.131	289.523
78.882	290.404	83.425	291.632	87.727	292.535	93.837	293.894		

Manning's n Values num= 3

Sta	n Val	Sta	n Val	Sta	n Val
-----	-------	-----	-------	-----	-------

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 70 di 73	Rev. 0

0 .045 35.679 .035 48.359 .045

Bank Sta: Left Right Lengths: Left Channel Right Coeff Contr. Expan.
 35.679 48.359 4.586 4.66 4.706 .1 .3

CROSS SECTION

RIVER: torrente Betigna

REACH: torrente Betigna RS: 1.28571*

INPUT

Description:

Station Elevation Data num= 39

Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev
0	292.617	5.487	290.681	6.308	290.346	8.884	289.975	13.958	289.481
14.712	289.288	14.984	289.269	17.749	289.307	20.428	289.264	22.538	289.058
26.432	288.086	31.266	287.049	32.394	286.682	36.056	285.297	37.575	285.105
38.657	284.968	39.694	284.975	41.525	285.017	43.009	285.044	43.297	284.996
43.927	284.87	47.401	284.88	47.844	285.001	48.736	285.333	51.005	286.256
52.036	286.655	52.725	286.852	58.004	286.989	60.298	287.489	61.368	287.762
66.282	288.734	70.795	289.188	72.079	289.347	74.76	289.467	75.448	289.585
80.371	290.286	85.08	291.438	89.538	292.204	95.871	293.343		

Manning's n Values num= 3

Sta	n Val	Sta	n Val	Sta	n Val
0	.045	36.056	.035	48.736	.045

Bank Sta: Left Right Lengths: Left Channel Right Coeff Contr. Expan.
 36.056 48.736 4.586 4.66 4.706 .1 .3

CROSS SECTION

RIVER: torrente Betigna

REACH: torrente Betigna RS: 1.14285*

INPUT

Description:

Station Elevation Data num= 39

Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev
0	292.409	5.544	290.205	6.374	289.853	8.977	289.562	14.104	289.276
14.866	289.089	15.14	289.083	17.934	289.134	20.642	289.087	22.774	288.964
26.709	288.027	31.593	286.949	32.733	286.548	36.433	285.149	37.996	284.936
39.109	284.784	40.175	284.804	42.058	284.855	43.585	284.892	43.881	284.835
44.529	284.7	47.841	284.71	48.262	284.855	49.113	285.191	51.461	286.1
52.529	286.502	53.243	286.736	58.707	286.879	61.082	287.47	62.189	287.766
67.276	288.782	71.947	289.189	73.277	289.34	76.053	289.55	76.764	289.648
81.861	290.168	86.735	291.244	91.35	291.873	97.906	292.791		

Manning's n Values num= 3

Sta	n Val	Sta	n Val	Sta	n Val
0	.045	36.433	.035	49.113	.045

Bank Sta: Left Right Lengths: Left Channel Right Coeff Contr. Expan.
 36.433 49.113 4.586 4.66 4.706 .1 .3

CROSS SECTION

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 71 di 73	Rev. 0

RIVER: torrente Betigna

REACH: torrente Betigna RS: 1

INPUT

Description: Sezione costruita su basi topografiche

Station Elevation Data num= 23

Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev
0	292.2	6.44	289.36	9.07	289.15	14.25	289.07	15.02	288.89
18.12	288.96	23.01	288.87	31.92	286.85	36.81	285	39.56	284.6
44.16	284.74	45.13	284.53	48.28	284.54	49.49	285.05	53.76	286.62
59.41	286.77	63.01	287.77	68.27	288.83	73.1	289.19	78.08	289.71
83.35	290.05	88.39	291.05	99.94	292.24				

Manning's n Values num= 3

Sta	n Val	Sta	n Val	Sta	n Val
0	.045	36.81	.035	49.49	.045

Bank Sta:	Left	Right	Lengths:	Left Channel	Right	Coeff Contr.	Expan.
	36.81	49.49		0	0	.1	.3

CROSS SECTION OUTPUT Profile #Tr = 200 anni

E.G. Elev (m)	290.40	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	3.64	Wt. n-Val.	0.045	0.035	0.045
W.S. Elev (m)	286.76	Reach Len. (m)			
Crit W.S. (m)	287.86	Flow Area (m2)	4.10	26.48	4.34
E.G. Slope (m/m)	0.036458	Area (m2)	4.10	26.48	4.34
Q Total (m3/s)	260.00	Flow (m3/s)	15.31	234.07	10.62
Top Width (m)	26.96	Top Width (m)	4.66	12.68	9.63
Vel Total (m/s)	7.45	Avg. Vel. (m/s)	3.73	8.84	2.45
Max Chl Dpth (m)	2.23	Hydr. Depth (m)	0.88	2.09	0.45
Conv. Total (m3/s)	1361.7	Conv. (m3/s)	80.2	1225.9	55.6
Length Wtd. (m)		Wetted Per. (m)	4.98	12.84	9.91
Min Ch El (m)	284.53	Shear (N/m2)	294.63	737.48	156.61
Alpha	1.29	Stream Power (N/m s)	1098.85	6519.46	383.27
Frctn Loss (m)	0.17	Cum Volume (1000 m3)			
C & E Loss (m)	0.01	Cum SA (1000 m2)			

SUMMARY OF MANNING'S N VALUES

River: torrente Betigna

Reach	River Sta.	n1	n2	n3
torrente Betigna	5	.045	.035	.045
torrente Betigna	4.90909*	.045	.035	.045
torrente Betigna	4.81818*	.045	.035	.045
torrente Betigna	4.72727*	.045	.035	.045
torrente Betigna	4.63636*	.045	.035	.045
torrente Betigna	4.54545*	.045	.035	.045
torrente Betigna	4.45454*	.045	.035	.045
torrente Betigna	4.36363*	.045	.035	.045
torrente Betigna	4.27272*	.045	.035	.045
torrente Betigna	4.18181*	.045	.035	.045
torrente Betigna	4.09090*	.045	.035	.045
torrente Betigna	4	.045	.035	.045

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 72 di 73	Rev. 0

torrente Betigna	3.88888*	.045	.035	.045
torrente Betigna	3.77777*	.045	.035	.045
torrente Betigna	3.66666*	.045	.035	.045
torrente Betigna	3.55555*	.045	.035	.045
torrente Betigna	3.44444*	.045	.035	.045
torrente Betigna	3.33333*	.045	.035	.045
torrente Betigna	3.22222*	.045	.035	.045
torrente Betigna	3.11111*	.045	.035	.045
torrente Betigna	3	.045	.035	.045
torrente Betigna	2.85714*	.045	.035	.045
torrente Betigna	2.71428*	.045	.035	.045
torrente Betigna	2.57142*	.045	.035	.045
torrente Betigna	2.42857*	.045	.035	.045
torrente Betigna	2.28571*	.045	.035	.045
torrente Betigna	2.14285*	.045	.035	.045
torrente Betigna	2	.045	.035	.045
torrente Betigna	1.85714*	.045	.035	.045
torrente Betigna	1.71428*	.045	.035	.045
torrente Betigna	1.57142*	.045	.035	.045
torrente Betigna	1.42857*	.045	.035	.045
torrente Betigna	1.28571*	.045	.035	.045
torrente Betigna	1.14285*	.045	.035	.045
torrente Betigna	1	.045	.035	.045

SUMMARY OF REACH LENGTHS

River: torrente Betigna

Reach	River Sta.	Left	Channel	Right
torrente Betigna	5	3.948	3.986	4.034
torrente Betigna	4.90909*	3.948	3.986	4.034
torrente Betigna	4.81818*	3.948	3.986	4.034
torrente Betigna	4.72727*	3.948	3.986	4.034
torrente Betigna	4.63636*	3.948	3.986	4.034
torrente Betigna	4.54545*	3.948	3.986	4.034
torrente Betigna	4.45454*	3.948	3.986	4.034
torrente Betigna	4.36363*	3.948	3.986	4.034
torrente Betigna	4.27272*	3.948	3.986	4.034
torrente Betigna	4.18181*	3.948	3.986	4.034
torrente Betigna	4.09090*	3.948	3.986	4.034
torrente Betigna	4	4.778	4.74	4.742
torrente Betigna	3.88888*	4.778	4.74	4.742
torrente Betigna	3.77777*	4.778	4.74	4.742
torrente Betigna	3.66666*	4.778	4.74	4.742
torrente Betigna	3.55555*	4.778	4.74	4.742
torrente Betigna	3.44444*	4.778	4.74	4.742
torrente Betigna	3.33333*	4.778	4.74	4.742
torrente Betigna	3.22222*	4.778	4.74	4.742
torrente Betigna	3.11111*	4.778	4.74	4.742
torrente Betigna	3	4.924	4.297	3.786
torrente Betigna	2.85714*	4.924	4.297	3.786
torrente Betigna	2.71428*	4.924	4.297	3.786
torrente Betigna	2.57142*	4.924	4.297	3.786
torrente Betigna	2.42857*	4.924	4.297	3.786

 	PROGETTISTA  Snamprogetti	COMMESSA P66990	UNITÀ 000
	LOCALITÀ Regione Toscana - Regione Emilia Romagna	SPC. LA-E-80083	
	PROGETTO Metanodotto Pontremoli - Cortemaggiore	Fg. 73 di 73	Rev. 0

torrente Betigna	2.28571*	4.924	4.297	3.786
torrente Betigna	2.14285*	4.924	4.297	3.786
torrente Betigna	2	4.586	4.66	4.706
torrente Betigna	1.85714*	4.586	4.66	4.706
torrente Betigna	1.71428*	4.586	4.66	4.706
torrente Betigna	1.57142*	4.586	4.66	4.706
torrente Betigna	1.42857*	4.586	4.66	4.706
torrente Betigna	1.28571*	4.586	4.66	4.706
torrente Betigna	1.14285*	4.586	4.66	4.706
torrente Betigna	1	0	0	0

SUMMARY OF CONTRACTION AND EXPANSION COEFFICIENTS

River: torrente Betigna

Reach	River Sta.	Contr.	Expan.
torrente Betigna	5	.1	.3
torrente Betigna	4.90909*	.1	.3
torrente Betigna	4.81818*	.1	.3
torrente Betigna	4.72727*	.1	.3
torrente Betigna	4.63636*	.1	.3
torrente Betigna	4.54545*	.1	.3
torrente Betigna	4.45454*	.1	.3
torrente Betigna	4.36363*	.1	.3
torrente Betigna	4.27272*	.1	.3
torrente Betigna	4.18181*	.1	.3
torrente Betigna	4.09090*	.1	.3
torrente Betigna	4	.1	.3
torrente Betigna	3.88888*	.1	.3
torrente Betigna	3.77777*	.1	.3
torrente Betigna	3.66666*	.1	.3
torrente Betigna	3.55555*	.1	.3
torrente Betigna	3.44444*	.1	.3
torrente Betigna	3.33333*	.1	.3
torrente Betigna	3.22222*	.1	.3
torrente Betigna	3.11111*	.1	.3
torrente Betigna	3	.1	.3
torrente Betigna	2.85714*	.1	.3
torrente Betigna	2.71428*	.1	.3
torrente Betigna	2.57142*	.1	.3
torrente Betigna	2.42857*	.1	.3
torrente Betigna	2.28571*	.1	.3
torrente Betigna	2.14285*	.1	.3
torrente Betigna	2	.1	.3
torrente Betigna	1.85714*	.1	.3
torrente Betigna	1.71428*	.1	.3
torrente Betigna	1.57142*	.1	.3
torrente Betigna	1.42857*	.1	.3
torrente Betigna	1.28571*	.1	.3
torrente Betigna	1.14285*	.1	.3
torrente Betigna	1	.1	.3