

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI TOSCANA E UMBRIA	LSC - 141/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 1 di 31	Rev. 0

Progetto:

RIFACIMENTO METANODOTTO SANSEPOLCRO – FOLIGNO
E OPERE CONNESSE

STUDIO
IDROLOGICO-IDRAULICO

ATTRAVERSAMENTO TORRENTE VERTOLA
CON TRIVELLAZIONE SPINGITUBO
IN COMUNE DI SAN GIUSTINO (PG)



0	Emissione	Polloni	Battisti	Luminari	30/09/2021
Rev.	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato	Data

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA E UMBRIA	LSC - 141/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 2 di 31	Rev. 0

INDICE

1	PREMESSA.....	3
2	LOCALIZZAZIONE DELL'AREA	4
3	CARATTERISTICHE IDROLOGICHE	6
4	STUDIO IDRAULICO.....	9
4.1	Studio Comune di San Giustino.....	9
4.2	Modellazione locale	13
4.2.1	Metodologia adottata	13
4.2.2	Ricostruzione dei livelli di piena.....	15
4.3.3	Risultati della modellazione	16
5	RISCHI IDRAULICI.....	18
5.1	Erosione di fondo alveo	18
5.2	Approfondimento di fondo alveo	19
5.3	Erosione spondale	19
5.4	Cambio di percorso e taglio di meandro	20
5.5	Stima dello spessore di erosione generalizzata in caso di evento critico	20
5.6	Approfondimenti localizzati (buche in alveo).....	22
5.7	Risultati delle verifiche	24
6	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	25

ALLEGATO 1: RISULTATI DELLA MODELLAZIONE IDRAULICA

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA E UMBRIA	LSC - 141/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 3 di 31	Rev. 0

1 PREMESSA

La presente relazione è relativa allo studio idrologico e idraulico in corrispondenza dell'attraversamento del T. Vertola da parte del "Metanodotto Sansepolcro-Foligno DN 400 (16") – DP 75 bar", alla progressiva PK 8+330, che ricade nel territorio del comune di San Giustino (PG).

Tale studio è di supporto alla Relazione di Compatibilità Idraulica (LSC-141) (alla quale è allegato), volta a dimostrare come l'intervento in progetto, che risulta non altrimenti localizzabile, "non costituisce significativo ostacolo al libero deflusso e/o significativa riduzione dell'attuale capacità d'invaso".

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

Sono stati tenuti in conto i precedenti studi idraulici effettuati in ambito PAI e in particolare lo studio di CNR IRPI di Perugia e lo studio eseguito dal Comune di San Giustino in merito alla progettazione delle opere di protezione del centro artigianale e industriale a valle del centro abitato.

Le elaborazioni idrauliche eseguite nell'ambito del presente progetto hanno avuto lo scopo di evidenziare le caratteristiche locali della corrente, verificandone la congruità con i risultati ottenuti dai precedenti studi, in considerazione anche dell'attuale conformazione morfologica dell'alveo. La modellazione è stata compiuta in condizione di moto permanente con portata bicentennale tramite il programma di calcolo HEC-RAS, vers. 6.0.0.

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

Il progetto di attraversamento, comprensivo di planimetria, profilo, caratteristiche geometriche e strutturali della condotta e caratteristiche delle eventuali opere di ripristino e protezione è raffigurato nell'elaborato grafico allegato allo Studio di impatto ambientale (SIA):

- AT-20047L01-04 Attraversamento Torrente Vertola.

al quale si rimanda per approfondimenti.

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA E UMBRIA	LSC - 141/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 4 di 31	Rev. 0

2 LOCALIZZAZIONE DELL'AREA

L'area in cui si colloca l'intervento in oggetto è localizzata lungo il corso d'acqua del T. Vertola nella parte terminale del suo sviluppo, compresa tra la superstrada E45 Orte-Ravenna e la sua confluenza in Tevere. Ricade nel territorio del comune San Giustino in provincia di Perugia. Nello stralcio allegato in Fig. 2/A, tratto dalla base cartografica IGM a scala 1:25.000, si riporta la localizzazione del sito.

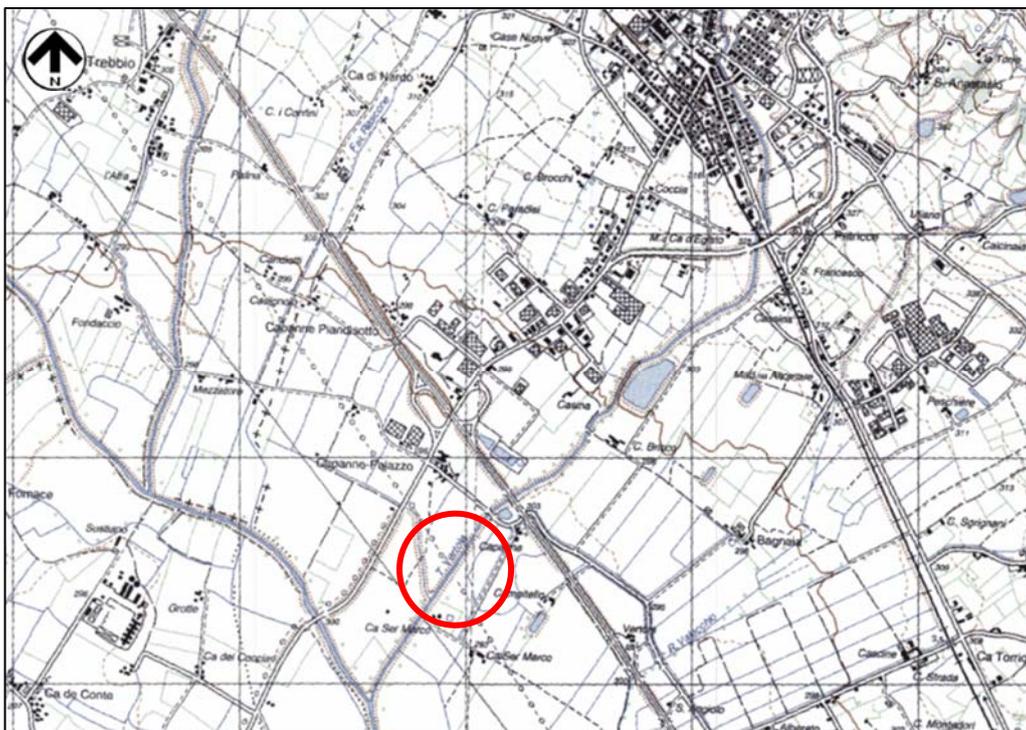


Figura 2/A – Inquadramento a scala 1:25.000 con indicata la posizione dell'attraversamento in studio

A livello della cartografia CTR della regione Umbria, l'attraversamento si ubica nel foglio 289060, di cui si riporta il particolare con la localizzazione dell'opera in progetto (v. Fig. 2/B). In tale immagine il tracciato in progetto è individuato dalla linea in colore rosso, il metanodotto in fase di dismissione dalla linea di colore verde e l'area di attraversamento del corso d'acqua con cerchio rosso. In Figura 2/C viene riportata anche la ubicazione su immagine aerea Google.

	PROGETTISTA  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA E UMBRIA	LSC - 141/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 5 di 31	Rev. 0

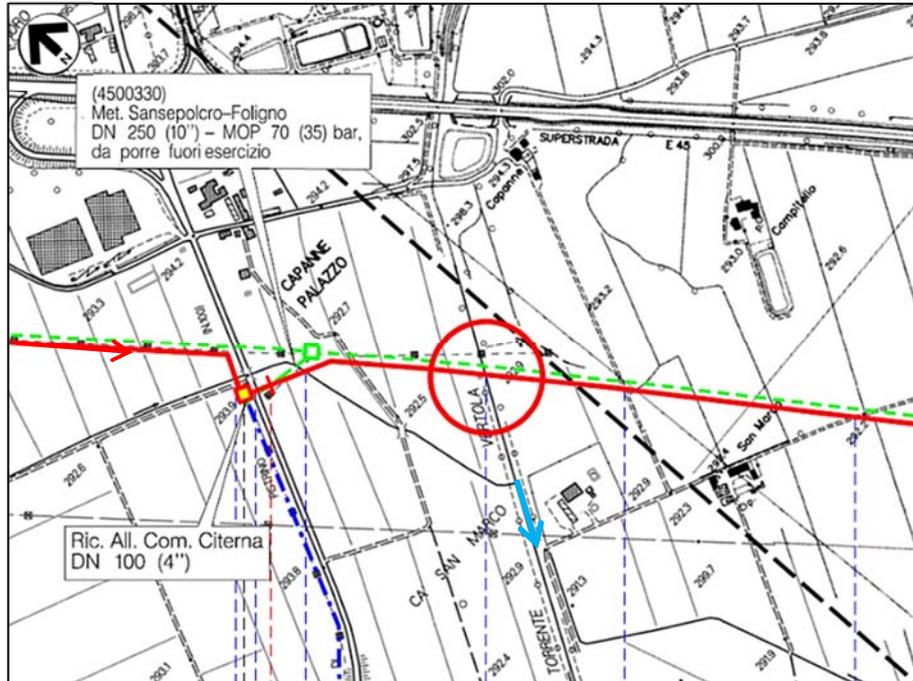


Figura 2/B – Stralcio CTR con localizzazione dell'attraversamento



Figura 2/C – Immagine aerea con localizzazione dell'attraversamento (su base Google Earth)

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA E UMBRIA	LSC - 141/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 6 di 31	Rev. 0

3 CARATTERISTICHE IDROLOGICHE

Lo studio idraulico effettuato da CNR IRPI di Perugia ¹ si è basato sulla stima della portata di massima piena al colmo in funzione del tempo di ritorno calcolata tramite un modello afflussi-deflussi semi-distribuito a scala di evento (MISD), In considerazione che la trasformazione afflussi-deflussi non comporta trasformazioni del tempo di ritorno, è stato assunto che l'idrogramma di progetto abbia lo stesso tempo di ritorno della precipitazione che lo ha generato. L'evento pluviometrico è stato schematizzato attraverso uno ietogramma sintetico del tipo a blocchi alterni con intensità stimata dalle linee di possibilità pluviometrica (LSPP), ricavate con l'adattamento della distribuzione di probabilità del valore estremo a doppia componente (TCEV). Le LSPP puntuali stimate vengono estese all'intero bacino mediante un fattore di riduzione areale (v. Fig. 3/A).

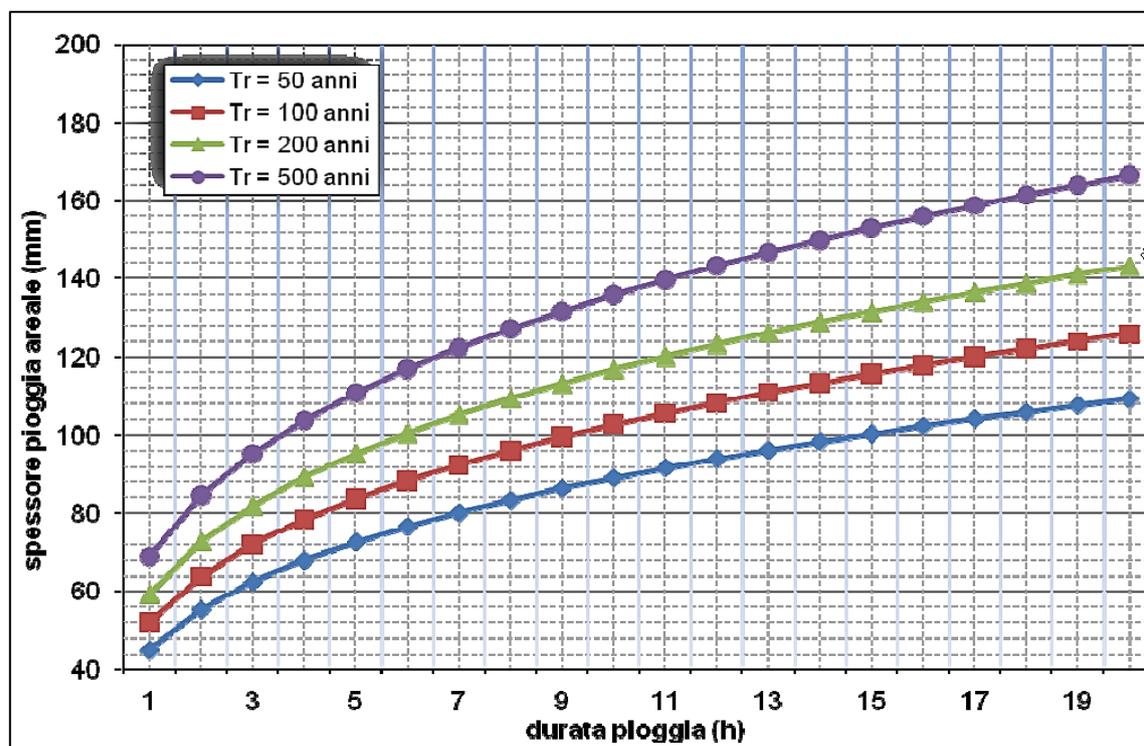


Figura 3/A – Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica per il bacino del T. Vertola (da studio CNR-IRPI)

Anche per lo studio effettuato dal comune di San Giustino ² la stima delle portate è stata calcolata col metodo afflussi-deflussi, derivando i valori delle precipitazioni secondo le linee di possibilità pluviometrica LSPP per diversi tempi di ritorno (v. Fig. 3/B).

Tale linee però sono state ottenute da un aggiornamento del quadro conoscitivo regionale delle precipitazioni estreme aggiornato al 2012, che ha portato tramite regressione logaritmica alla definizione per un griagliato di 1 km² dei relativi parametri *a* e *n*.

¹ "Redazione Mappe delle Aree Allagabili nei tratti fluviali reticolo secondario Fiume Tevere"

² "Relazione idrologica-idraulica: Interventi di messa in sicurezza dell'abitato Zona industriale e artigianale di San Giustino capoluogo"

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA E UMBRIA	LSC - 141/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 7 di 31	Rev. 0

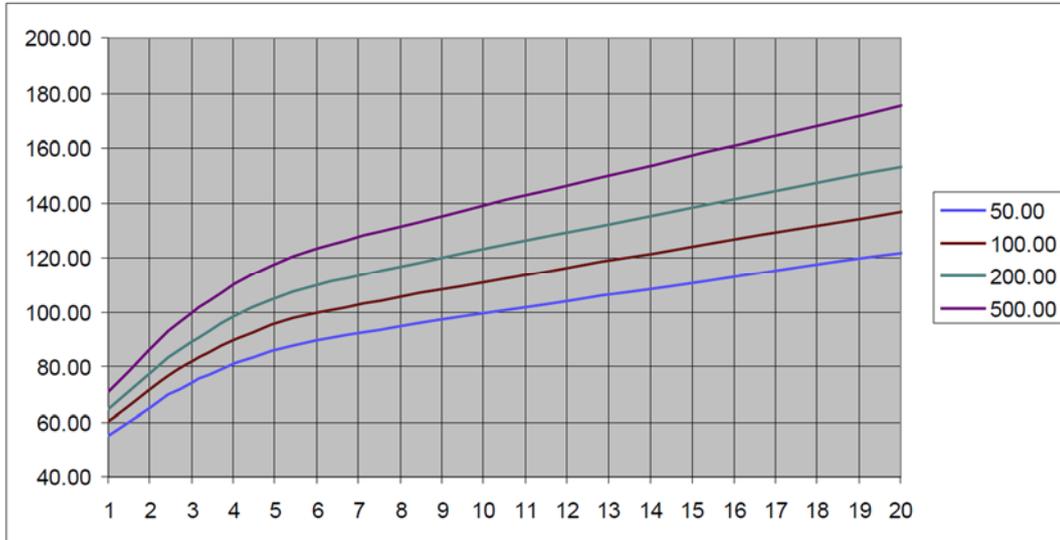


Figura 3/B– Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica per il bacino del T. Vertola (da studio Comune San Giustino)

I risultati ottenuti dallo studio comunale risultano assai simili a quelli del CNR-IRPI, leggermente superiori di circa il 10%.

Dall'applicazione del metodo di trasformazione afflussi-deflussi, sono stati ottenuti da i due suddetti studi gli idrogrammi di seguito riportati.

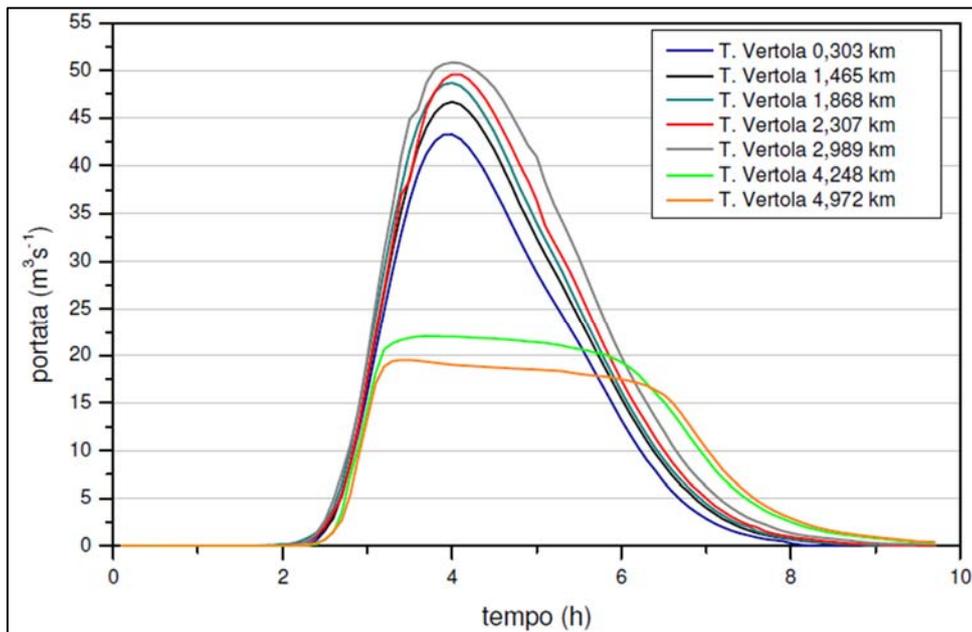


Figura 3/C – Idrogramma di piena CNR-IRPI per $T_r=200$ anni in varie sezioni del torrente

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA E UMBRIA	LSC - 141/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 8 di 31	Rev. 0

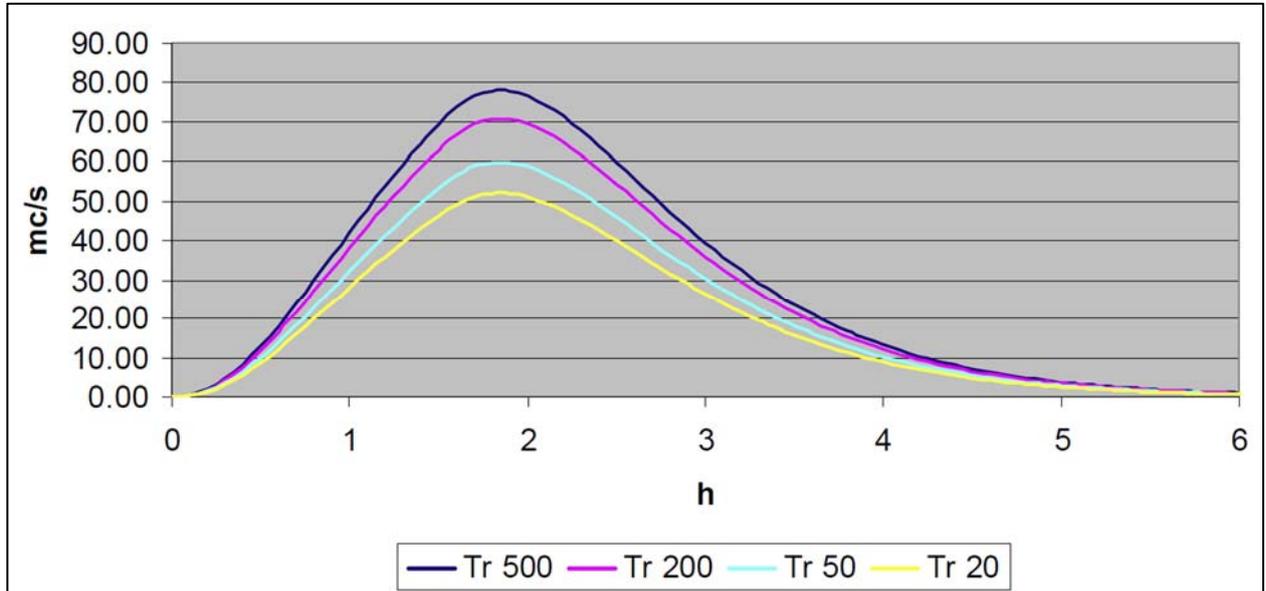


Figura 3/D – Idrogramma di piena Studio Comunale per vari Tr alla sezione di chiusura

Nella seguente figura 3/E si mostra il confronto tra gli idrogrammi duecentennali ottenuti dai due diversi studi. Come si può notare quello dello studio comunale, più recente, presenta un picco di 70.91 m³/s più elevato rispetto a quello del CNR-IRPI che risulta di 52.89 m³/s.

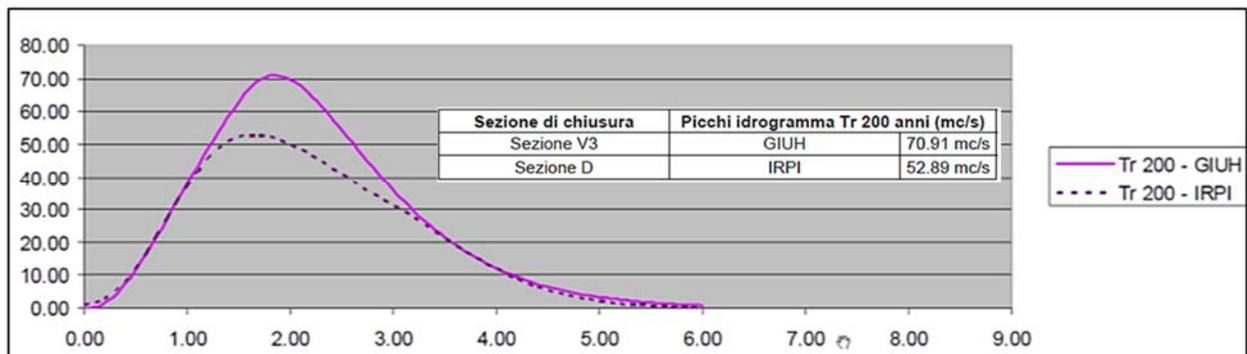


Figura 3/E – Confronto degli idrogrammi e portate per la sezione di chiusura

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA E UMBRIA	LSC - 141/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 9 di 31	Rev. 0

4 STUDIO IDRAULICO

4.1 Studio Comune di San Giustino

Lo studio idraulico del Comune di San Giustino per gli “*Interventi di messa in sicurezza dell’abitato Zona industriale e artigianale di San Giustino capoluogo*” ha modellato un tratto di corso d’acqua dal centro abitato fino alla confluenza in Tevere, con il rilievo di numerose sezioni una della quali (la sez. 02.5) quasi in corrispondenza della sezione di attraversamento in oggetto. (v. Fig. 4.1/A).

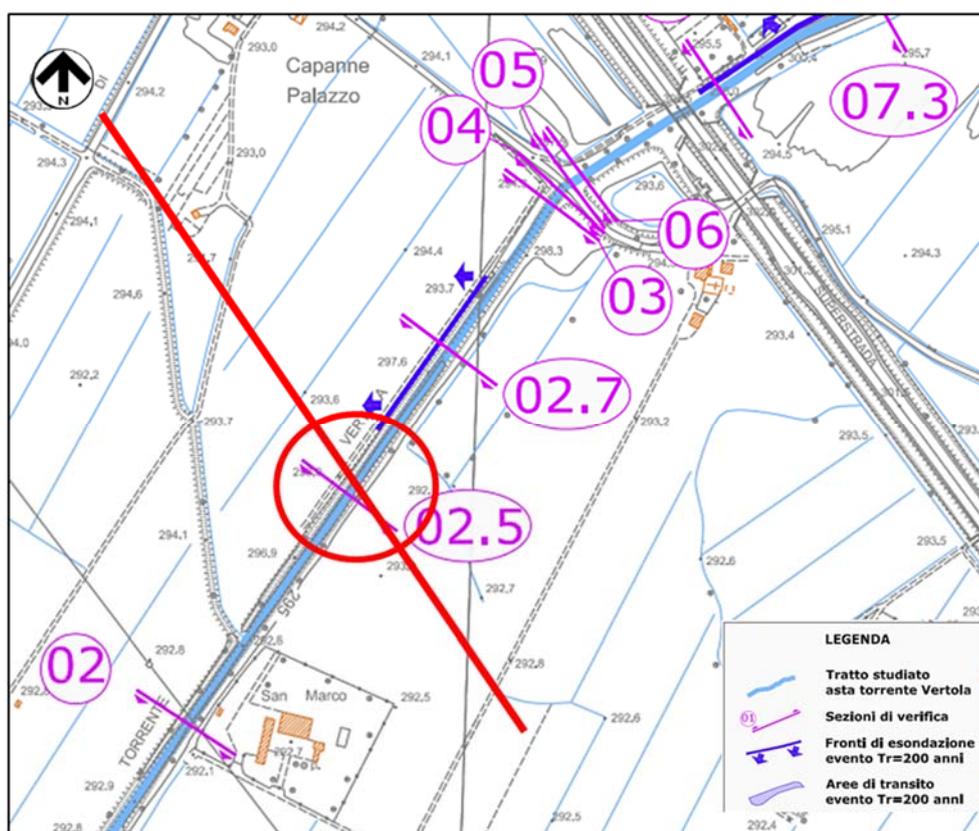


Figura 4.1/A – Stralcio della mappa con riportate le sezioni di modellazione dello studio idraulico comunale (in rosso tracciato metanodotto)

Dalla modellazione della corrente nel tratto di corso d’acqua studiato sono risultati i parametri idraulici del flusso, tra cui i principali di altezza del battente idrico e della velocità, per diversi tempi di ritorno.

Il profilo longitudinale viene riportato per il tratto di interesse in figura 4.1/B e le sezioni in corrispondenza dell’attraversamento (sez. 02.5, v. Fig. 4.1/E) e anche quelle direttamente a monte (sez. 02.7, v. Fig. 4.1/D) e a valle (sez. 02, v. Fig. 4.1/G).

Nella tabella (Fig. 4.1/C) sono riportati i valori dei parametri idraulici nelle sezioni nell’intorno del tratto di interesse.

	PROGETTISTA  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA E UMBRIA	LSC - 141/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 10 di 31	Rev. 0

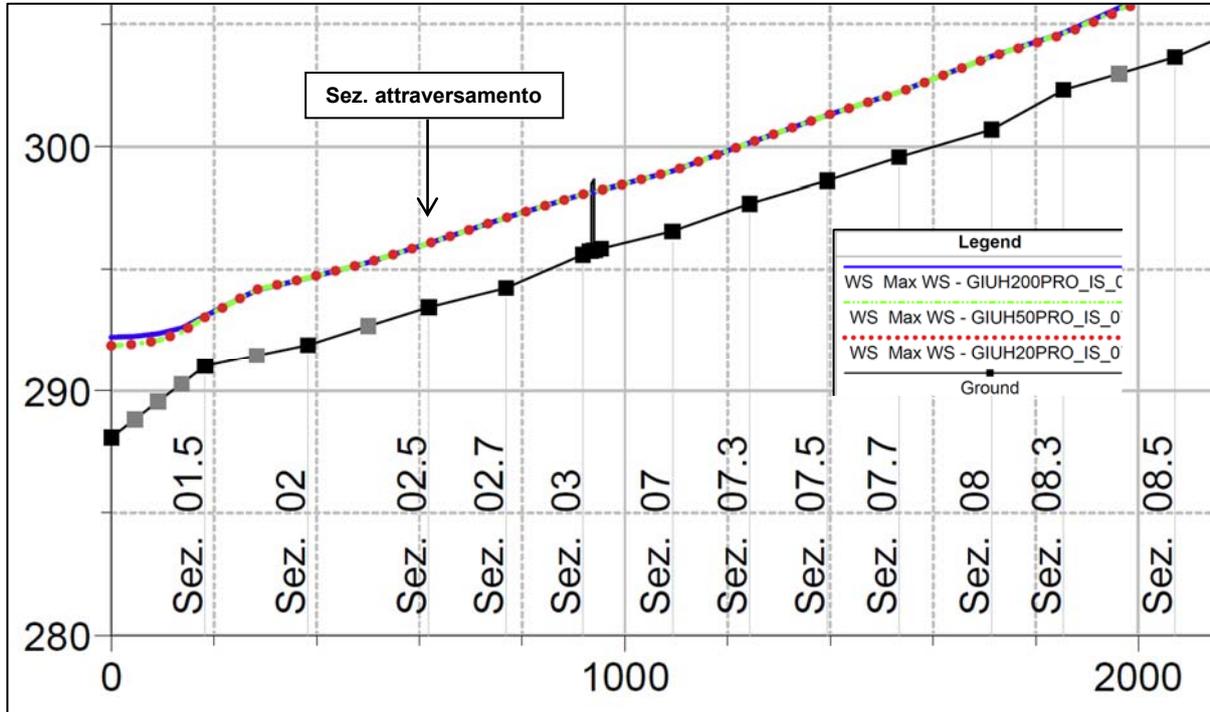


Figura 4.1/B – Profilo longitudinale con livelli idrici (da studio Comune San Giustino)

Reach	River Sta	Plan	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
T.Vertola	3.98											
		Lat Struct										
T.Vertola	03	GIUH200PRO_IS_07	18.40	295.60	298.07		298.15	0.006040	1.28	14.83	11.44	0.29
T.Vertola	03	GIUH50PRO_IS_07	18.40	295.60	298.07		298.15	0.006040	1.28	14.83	11.44	0.29
T.Vertola	03	GIUH20PRO_IS_07	18.40	295.60	298.07		298.15	0.006040	1.28	14.83	11.44	0.29
T.Vertola	02.7	GIUH200PRO_IS_07	17.90	294.23	297.11		297.19	0.006801	1.27	14.33	8.28	0.29
T.Vertola	02.7	GIUH50PRO_IS_07	17.90	294.23	297.11		297.19	0.006800	1.27	14.33	8.28	0.29
T.Vertola	02.7	GIUH20PRO_IS_07	17.90	294.23	297.11		297.19	0.006800	1.27	14.33	8.28	0.29
T.Vertola	02.5	GIUH200PRO_IS_07	17.44	293.45	296.07		296.14	0.007166	1.22	14.23	8.28	0.30
T.Vertola	02.5	GIUH50PRO_IS_07	17.43	293.45	296.07		296.14	0.007158	1.22	14.24	8.28	0.30
T.Vertola	02.5	GIUH20PRO_IS_07	17.43	293.45	296.07		296.14	0.007158	1.22	14.24	8.28	0.30
T.Vertola	02	GIUH200PRO_IS_07	17.44	291.89	294.64		294.69	0.004735	1.00	17.42	10.24	0.24
T.Vertola	02	GIUH50PRO_IS_07	17.43	291.89	294.65		294.70	0.004668	0.99	17.53	10.29	0.24
T.Vertola	02	GIUH20PRO_IS_07	17.43	291.89	294.65		294.70	0.004667	0.99	17.53	10.29	0.24

Figura 4.1/C – Parametri idraulici da modellazione comune San Giustino (evidenziata in rosso la piena Tr= 200 per la sezione 02.5 di attraversamento)

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA E UMBRIA	LSC - 141/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 11 di 31	Rev. 0

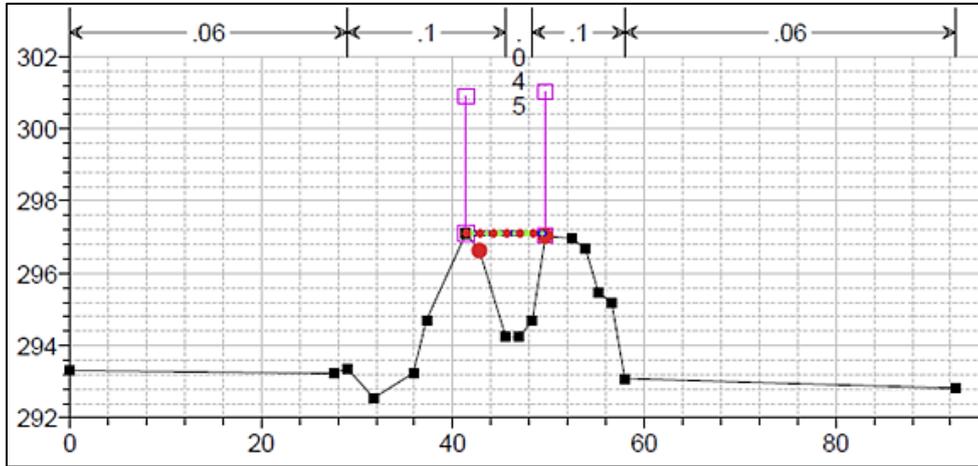


Figura 4.1/D – Sezione 02.7, a monte della sezione di attraversamento

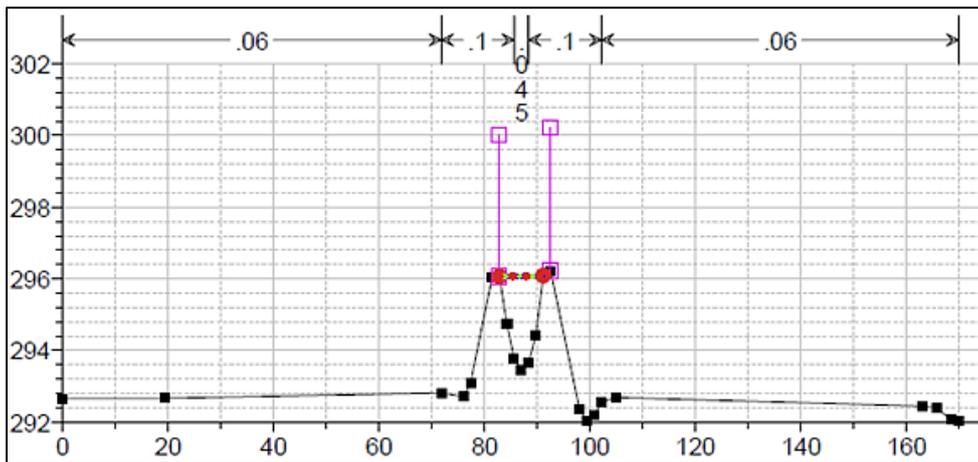


Figura 4.1/E – Sezione 02.5, corrispondente alla sezione di attraversamento

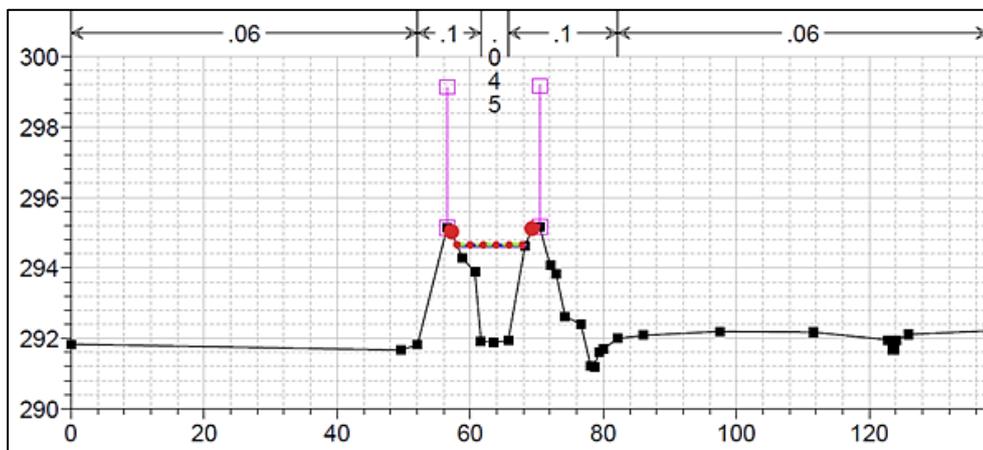


Figura 4.1/F – Sezione 02 a valle della sezione di attraversamento

Dalla modellazione eseguita è emerso che nel tratto compreso tra il viadotto della superstrada E45 e la confluenza nel fiume Tevere il torrente risulta quasi ovunque contenuto con franchi prossimi allo zero, in alcune sezioni si verifica il sormonto della sommità arginale seppur con battenti minimi.

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA E UMBRIA	LSC - 141/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 12 di 31	Rev. 0

Tuttavia si deve osservare che la portata transitante nel tratto in oggetto risulta laminata dalle esondazioni che si verificano nel tratto di monte, di modo che il valore della portata scende a circa 17 m³/s.

Si osserva che la sensibile diminuzione della portata transitante nelle sezioni via via che ci si sposta verso la confluenza in Tevere è stata messa in evidenza anche nello studio CNR-IRPI, come ben raffigurato in figura 4.1/G; i valori di portata nel tratto terminale (ove cade anche l'attraversamento in oggetto) sono dell'ordine di 20-17 m³/s, convergendo in tal modo con quanto stimato nello studio del Comune.

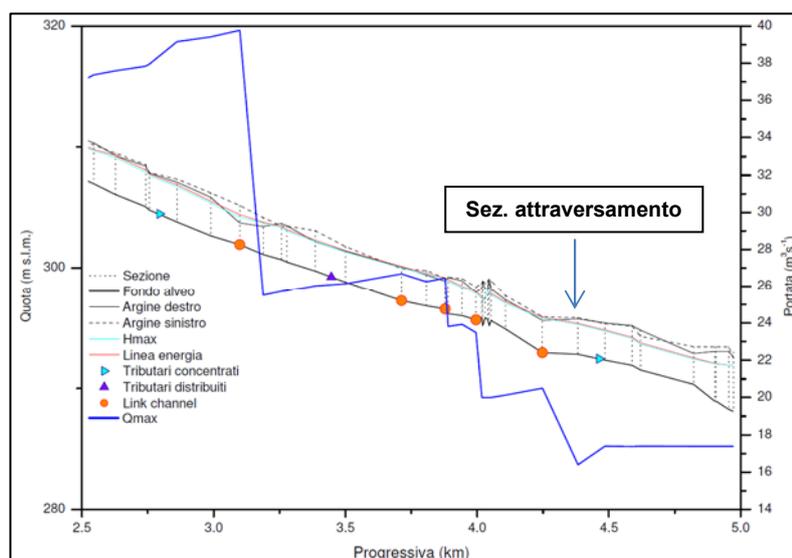


Figura 4.1/G – Profilo del tratto terminale del torrente con livelli e portate (da studio CNR-IRPI)

Infine si segnala che la recente realizzazione di una vasca di laminazione (di capacità di 113.000 m³) poco a valle della linea ferroviaria, produrrà un'effetto positivo sulla tracimazione degli argini, nel senso che le portate di massima piena verranno sensibilmente ridotte da 70 m³/s a 35 m³/s (per Tr= 200 anni), ma non incideranno sui livelli duecentennali nella sezione di attraversamento che ne permette il transito solo nella misura di 17 m³/s.



Figura 4.3/H – Immagine della vasca di espansione con sfioro e troppopieno in massi ciclopici intasati

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA E UMBRIA	LSC - 141/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 13 di 31	Rev. 0

4.2 Modellazione locale

Per confronto con la modellazione del torrente Vertola eseguita nell'ambito del PS del comune di Sansepolcro, è stata condotta una verifica locale sempre a moto permanente con tempo di ritorno pari a 200 anni (come prescritto da NTA di AdB Tevere) in corrispondenza della sezione di attraversamento, sulla base dell'attuale situazione geometrica dell'alveo ricostruita tramite sezioni rilevate allo scopo.

4.2.1 Metodologia adottata

L'elaborazione è stata eseguita per un tratto di fiume esteso a cavallo dell'attraversamento da parte del gasdotto in progetto per una lunghezza di circa 445 m, prendendo in considerazione più valori di portata, sia quelli teorici relativi al tempo di ritorno di 200 anni (tempo di ritorno come prescritto da NTA di AdB Tevere), come risultati dagli studi idrologici pregressi (pari a $Q_{200} = 71 \text{ m}^3/\text{s}$ e $54 \text{ m}^3/\text{s}$), che altri via via inferiori per stimare la portata effettiva a piene rive.

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

Per le simulazioni è stata utilizzata la versione 6.0.0, che simula il flusso monodimensionale in condizioni stazionarie di fluidi verticalmente omogenei in qualsiasi sistema di canali o aste fluviali.

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

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

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

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

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

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

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

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA E UMBRIA	LSC - 141/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 14 di 31	Rev. 0

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

dove:

- A : area della sezione bagnata (m²);
- C : coefficiente di attrito di Chezy (m^{1/2}/s);
- g : accelerazione di gravità (m/s²);
- h : altezza del pelo libero rispetto ad un livello di riferimento orizzontale (m);
- Q : portata (m³/s);
- R : raggio idraulico (m);
- α : coefficiente di distribuzione della quantità di moto;
- q : portata laterale addotta (m³/s).

Assetto geometrico

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

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

Condizioni al contorno

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

Calcolo della velocità di deflusso

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

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

$$Q = k_s \cdot A \cdot R^{2/3} \cdot i^{1/2}$$

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

- k_s coefficiente di scabrezza di Strickler
- A area della sezione bagnata (m²)
- R raggio idraulico (m)
- i pendenza motrice.

	PROGETTISTA  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA E UMBRIA	LSC - 141/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 15 di 31	Rev. 0

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

Risultati dei calcoli idraulici

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

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

dove:

- h livello idrico (m)
- α coefficiente di ragguglio
- V velocità media nella sezione trasversale (m/s)
- g accelerazione di gravità (m/s²).

4.2.2 Ricostruzione dei livelli di piena

La verifica idraulica ha lo scopo di valutare i livelli idrici raggiunti dalla piena di progetto nel tratto di interesse ed i relativi parametri idraulici, in situazione ante e post intervento, qualora diverse. Per la caratterizzazione geometrica del tratto di alveo del torrente Vertola in studio ci si è basati su di serie di 6 sezioni trasversali, di cui 3 rilevate e 3 interpolate, la cui ubicazione è riportata nello schema planimetrico di Figura e nella immagine aerea di Fig. 4.2.2/B.

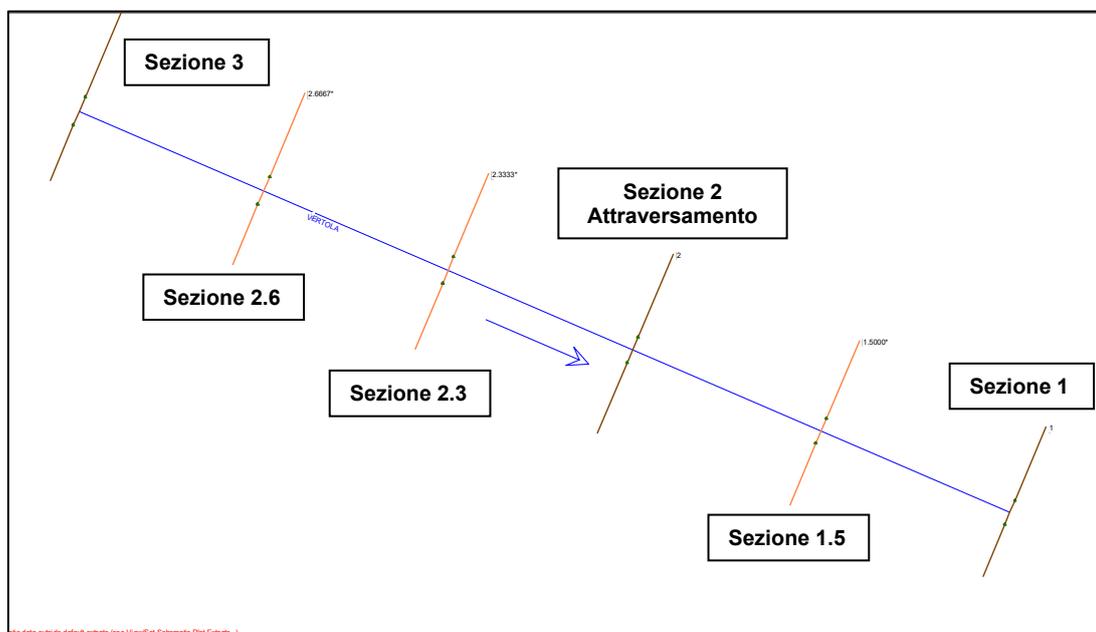


Figura 4.2.2/A – Schema delle sezioni utilizzate nella modellazione idraulica

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA E UMBRIA	LSC - 141/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 16 di 31	Rev. 0

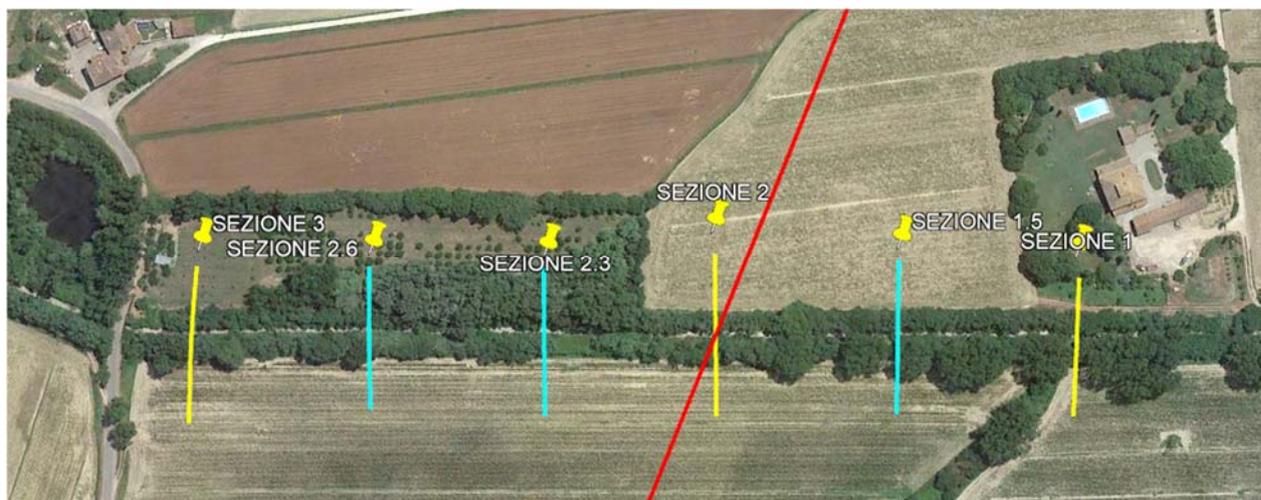


Figura 4.2.2/B – Ubicazione delle sezioni idrauliche
(in rosso tracciato metanodotto, in giallo sezioni rilevate, in azzurro sezioni interpolate)

4.3.3 Risultati della modellazione

La modellazione è stata eseguita dapprima con i valori di portata di massima piena al colmo come dalle valutazioni idrologiche sia dello studio CNR-IRPI ($Q= 53 \text{ m}^3/\text{s}$) che dello studio comunale ($Q= 71 \text{ m}^3/\text{s}$).

Le verifiche hanno evidenziato che i relativi flussi idrici non sono contenuti nelle sezioni di deflusso, ma determinano esondazione sia in destra che in sinistra in tutte le sezioni considerate. Pertanto si è quindi proceduto a verificare quale è il valore di portata contenibile nelle sezioni (“piene rive”) e le relative caratteristiche idrauliche del flusso. Tale portata è risultata di $40 \text{ m}^3/\text{s}$.

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

I valori dei principali parametri vengono riassunti nella tabella di seguito riportata (v. Tab. 4.3.3/A) e il profilo longitudinale viene raffigurato in Figura 4.3.3/A.

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

- per tutto il tratto modellato, in caso di piena duecentennale, le sezioni non sono in grado di smaltire le portate idrologiche attese per il tempo di ritorno di 200 anni, che determinano esondazione, probabilmente già in sezioni a monte;
- la portata smaltibile a piene rive risulta di $40 \text{ m}^3/\text{s}$ sia nella sezione di attraversamento che, con leggere differenze, anche nelle altre sezioni;
- la corrente è di tipo lento con n. Froude pari a 0.48;
- il battente idrico nella sezione di attraversamento risulta essere di 3.0 m;
- la velocità della corrente nel canale è di 1.99 m/s.

	PROGETTISTA  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITA' REGIONE TOSCANA E UMBRIA	LSC - 141/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 17 di 31	Rev. 0

Sezione	Portata (m3/s)	Quota fondo (m)	Livelli idrici (m)	Battenti idrici (m)	Vel. golena sin (m/s)	Vel. canale (m/s)	Vel. golena dx (m/s)	n. Froude
								-
3	40	295.21	297.99	2.78	-	2.17	-	0.57
2.6	40	294.6	297.36	2.76	-	2.27	-	0.56
2.3	40	294	296.83	2.83	-	2.17	-	0.52
2	40	293.39	296.39	3	-	1.99	-	0.48
1.5	40	292.95	295.95	3	-	1.98	-	0.48
1	40	292.52	295.52	3	-	1.97	-	0.48

Tabella 4.3.3/A - Principali parametri idraulici nel tratto modellato
(in grassetto la sezione d'attraversamento del metanodotto)

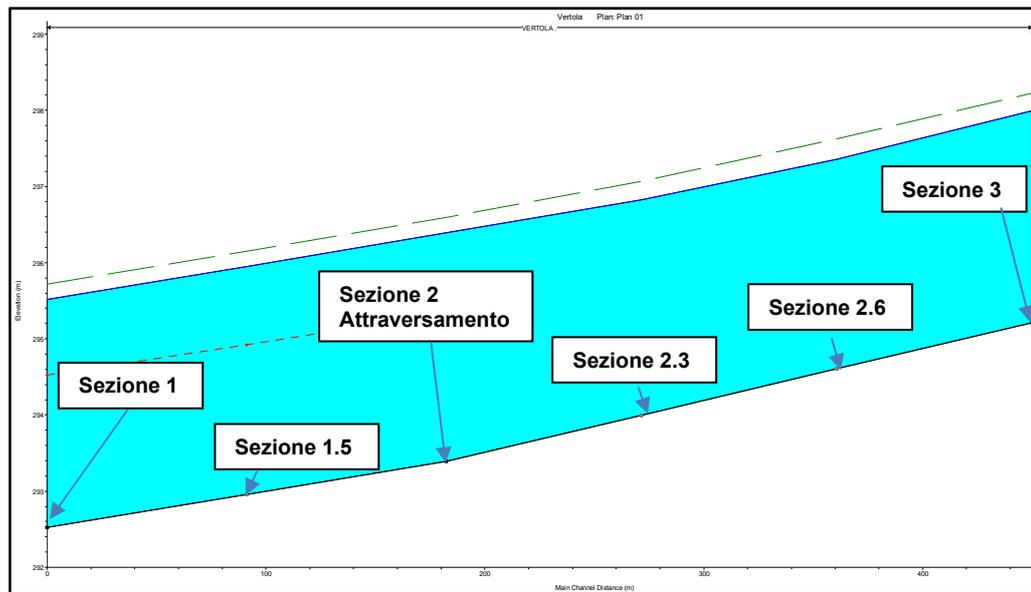


Figura 4.3.3/A – Profilo longitudinale con livello idrico duecentennale

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA E UMBRIA	LSC - 141/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 18 di 31	Rev. 0

5 RISCHI IDRAULICI

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

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

5.1 Erosione di fondo alveo

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

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

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

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

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

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA E UMBRIA	LSC - 141/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 19 di 31	Rev. 0

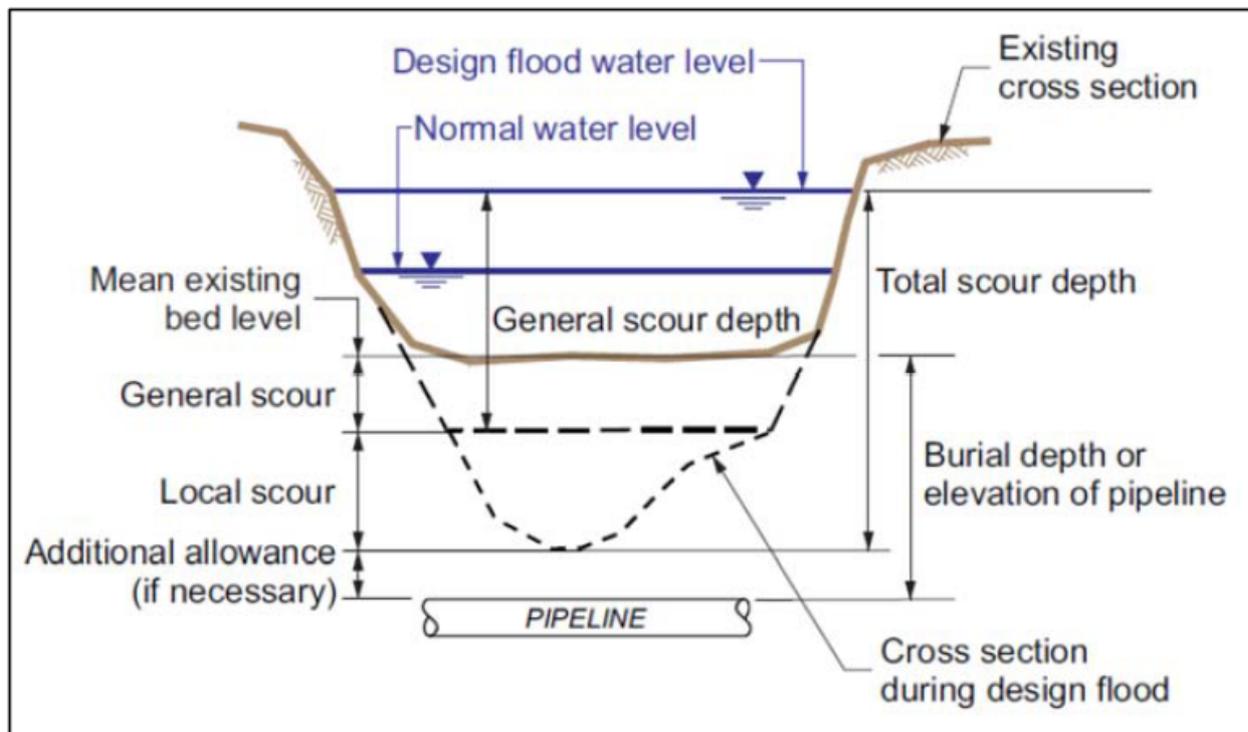


Figura 5.1/A – Schema di erosione generale e locale (da Veldeman, 2008)

5.2 Approfondimento di fondo alveo

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

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

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

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

5.3 Erosione spondale

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

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

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA E UMBRIA	LSC - 141/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 20 di 31	Rev. 0

5.4 Cambio di percorso e taglio di meandro

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

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

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

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

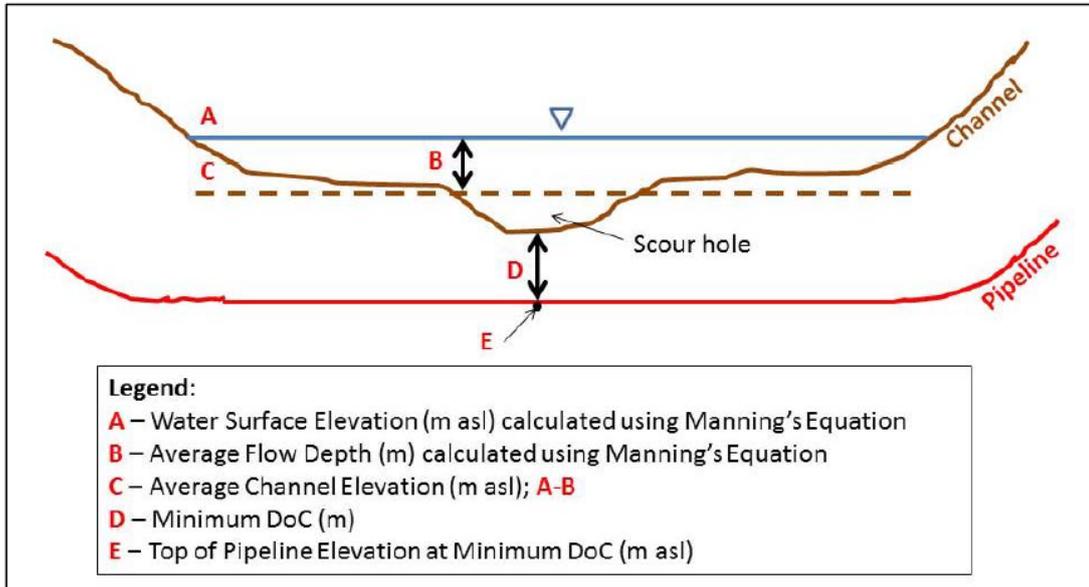
Il fenomeno è rappresentato da abbassamenti spesso transitori e reversibili dell'alveo a fondo mobile in fase di piena di difficile valutazione sia sperimentale che analitica. Essi dipendono dalle caratteristiche idrodinamiche della corrente e dal tipo di materiale costituente il fondo.

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

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

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

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA E UMBRIA	LSC - 141/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 21 di 31	Rev. 0



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

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

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

$$d_s = z_n \cdot d_m$$

dove: d_s = spessore dell’erosione al di sotto del letto
 d_m = altezza idrometrica al di sopra del livello medio del canale inciso
 z_n = fattore di correzione, funzione della morfologia del canale (v. Tab. 5.5/A)

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

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

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

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

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

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA E UMBRIA	LSC - 141/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 22 di 31	Rev. 0

d_r = altezza idrometrica sopra il livello medio del canale inciso in caso di piene rive
 z'_n = fattore di correzione, funzione della morfologia del canale (v. Tab. 5.5/B)
 q_r, q_p = rispettivamente la portata unitaria nel caso di piene rive e di piena di progetto
 m = esponente pari a $0.67 \div 0.85$ in funzione della granulometria.

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

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

In Italia è anche prassi utilizzare una prudenziale generalizzazione, proposta da Zanovello³, che valuta l'erosione di fondo transitoria durante le piene pari al 50% del battente idrico, indipendentemente dalla natura del fondo e dal regime di corrente.

Nel tratto in esame si calcola che eventuali fenomeni di erosione generalizzata potrebbero avere una profondità massima di 0.87, in assenza di opere di protezione e stabilizzazione d'alveo.

5.6 Approfondimenti localizzati (buche in alveo)

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

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

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

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

- vena veloce superficiale con sottostante zona di turbolenza in cui il materiale di fondo viene eroso all'indietro, indi sollevato e portato via dalla vena superficiale
- vena veloce aderente al fondo che trasporta il materiale verso valle, con sovrastante zona di turbolenza.

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

³ Zanovello A., Sulle variazioni di fondo alveo durante le piene. L'Energia elettrica, XXXIV, n. 8; 1959.

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA E UMBRIA	LSC - 141/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 23 di 31	Rev. 0

$$s = 0,378 \cdot H^{0,5} \cdot q^{0,35} + 2,15 \cdot a \quad (\text{Schoklitsch})^4$$

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

$$s = h \cdot (1,82 - 1,64(1 - e^{-(\lg \tau_c / \rho v^2)})) \cdot (94 - 8 \lg \tau_c / \rho v^2)^{-1} \cdot 10^3 \quad (\text{Adami})^5.$$

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

- s** = profondità massima della buca sulla quota media dell'alveo (m);
- H** = $h + v^2/2g$; carico totale a monte della buca (m);
- h** = altezza idrometrica sul livello medio del fondo⁶;
- v** = velocità media nell'alveo inciso (m/s);
- q** = Q/L: portata per unità di larghezza dell'alveo ($m^3/s \cdot m$);
- Q** = portata nell'alveo inciso (m^3/s);
- L** = larghezza dell'alveo inciso (m);
- a** = dislivello delle quote d'alveo a monte e a valle della buca.

E' stato eseguito il calcolo per la sezione di attraversamento, utilizzando i valori dei parametri output del programma di calcolo Hec Ras per tale sezione, come riportato nella seguente tabella:

Altezza canale	h_{ch}	1,74	m
Velocità canale	v_{ch}	1,99	m/s
Portata canale	Q_{ch}	40,00	m^3/s
Larghezza canale	L_{ch}	11,51	m
Portata unitaria	q_{ch}	3,48	$m^3/s/m$
Carico totale	H_{ch}	1,81	m
Dislivello buca	a	0,01	m
Approf. local.	s	0,81	m

Il calcolo ha evidenziato che nella sezione di attraversamento gli approfondimenti localizzati possono avere una profondità di 0.81 m dal livello medio dell'alveo.

Diametro limite dei clasti

Si è proceduto alla determinazione del diametro limite dei clasti trasportabili dalla piena, utilizzando il procedimento di Shields secondo il quale sussiste la relazione sottoriportata che lega la spinta idrodinamica su particelle di granulometria uniforme e la distribuzione delle velocità lungo la verticale:

$$\tau_o / [(\gamma_s - \gamma) d] = f [(d(ghi)^{1/2} / \mu)] = f (V^* d / \mu)$$

in cui:

- τ_o = tensione tangenziale (kg/m^2);
- γ_s = peso specifico delle particelle (kg/m^3);
- γ_w = peso specifico dell'acqua (1000 kg/m^3);

⁴ Schoklitsch, A, Stauraum verlandung und kolkbewehr, Springer Ed., Vienna, 1935.

⁵ Adami A., Fenomeni localizzati ed erosioni negli alvei, Atti "Moderne vedute sulla meccanica dei fenomeni fluviali", CNR; P.F. Conservazione del suolo, 1979.

⁶ Hydr Depth C Hydraulic depth in channel (channel flow area/topwidth of channel flow)

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA E UMBRIA	LSC - 141/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 24 di 31	Rev. 0

d =diametro medio del materiale di fondo ($d=d_{50}$) (m);

g =accelerazione di gravità ($g = 9.81 \text{ m/s}^2$);

h =profondità della corrente idrica (m);

i =pendenza del fondo alveo;

μ =viscosità cinematica (m^2/s);

V^* =velocità d'attrito (m/s);

Si ha inoltre:

$$V^* = (\tau_o / \delta)^{1/2} \quad \text{e} \quad \tau_o = (V^2 / X^2)$$

in cui:

δ = densità dell'acqua (= $102 \text{ kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$);

V =velocità media della corrente idrica (m/s);

X =coefficiente di scabrezza.

Queste ultime grandezze sono note per cui è possibile determinare il valore di " τ_o " e di " V^* "; inoltre, per valori di " V^*d / μ " maggiori di 500, che nei corsi d'acqua naturali si verificano con alvei ciottolosi, il valore " $\tau_o / [(\gamma_s - \gamma_w)d]$ " è costante ed è pari a 0.06, cioè:

$$\tau_o / [(\gamma_s - \gamma_w)d] = 0.06$$

Esplicitando tale relazione in funzione dell'unica incognita si otterrà il diametro limite dei clasti trasportabili:

$$d = \tau_o / [0.06 (\gamma_s - \gamma_w)]$$

Sulla base dei risultati della modellazione idraulica è emerso che nella sezione interessata dall'attraversamento del metanodotto in progetto la corrente può esercitare nel canale una tensione tangenziale massima in caso di piena duecentennale $\tau_o = 86 \text{ N/m}^2$, cui corrisponde una capacità di trasporto massima di un clasto di circa 10 cm. Questo in corrispondenza dell'alveo attivo, mentre in golena tale capacità di trasporto risulta sensibilmente inferiore, dell'ordine centimetrico.

5.7 Risultati delle verifiche

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

- stabilità planimetrica: essendo l'alveo definito da rilevati arginali, con le sponde fissate dalla vegetazione, si ritiene che il corso d'acqua risulti planimetricamente stabile;
- stabilità altimetrica: non si sono osservati evidenti segni di tendenza all'approfondimento generalizzato dell'alveo;
- approfondimenti temporanei in fase di piena: gli spessori di fondo alveo mobilizzabili temporaneamente in fase di piena si sono stimati, utilizzando la metodologia sopra riportata, in circa 0.87 m, e la profondità di buche locali in alveo risulta pari a circa 0.81 m.

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA E UMBRIA	LSC - 141/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 25 di 31	Rev. 0

6 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il tracciato del metanodotto in oggetto “*Metanodotto Sansepolcro-Foligno, DN 400 (16”) – DP 75 bar*” attraversa l’alveo del torrente Vertola alla progressiva PK 8+330, nel territorio del comune di San Giustino (PG).

La sezione prevista di attraversamento si localizza nell’ambito della parte terminale del corso d’acqua, poco distante dalla sua confluenza in Tevere. L’alveo, inciso nel fondovalle pianeggiante tiberino, è limitato da robusti rilevati arginali.

L’alveo ha una larghezza di fondo di circa 5 m e di circa 10 m tra le sommità interne degli argini. Il terreno che costituisce il fondo alveo è costituito da alluvione fluviale prevalentemente di natura incoerente con sabbia.

Più in profondità sono presenti terreni sabbiosi-limosi e argillosi.

Lo studio idrologico-idraulico, condotto per il tratto terminale del torrente dal comune di San Giustino e integrato, nell’ambito del presente studio, da una modellazione locale, ha evidenziato che le portate di massima piena non sono contenute nelle sezioni arginate ma provocano esondazione. I parametri della corrente a piene rive in corrispondenza dell’attraversamento sono così riassumibili:

- portata smaltibile a piene rive: 40 m³/s
- battente idrico: 3.0 m
- velocità della corrente: 1.99 m/s

Sulla base di tali parametri si sono stimati anche gli eventuali massimi approfondimenti che l’alveo, qualora privo di interventi di protezione, potrebbe subire in fase di piena critica (circa 0.9 m).

Data la tecnica di installazione della condotta in subalveo tramite la metodologia trenchless della trivellazione con spingitubo, che permette l’attraversamento sicuro con copertura di 3.40 m circa e senza interferenze con l’alveo né con i rilevati arginali, il progetto non prevede alcun intervento di protezione dell’alveo.

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA E UMBRIA	LSC - 141/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 26 di 31	Rev. 0

ALLEGATO 1

RISULTATI DELLA MODELLAZIONE IDRAULICA

Tr= 200 anni

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA E UMBRIA	LSC - 141/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 27 di 31	Rev. 0

LEGENDA

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

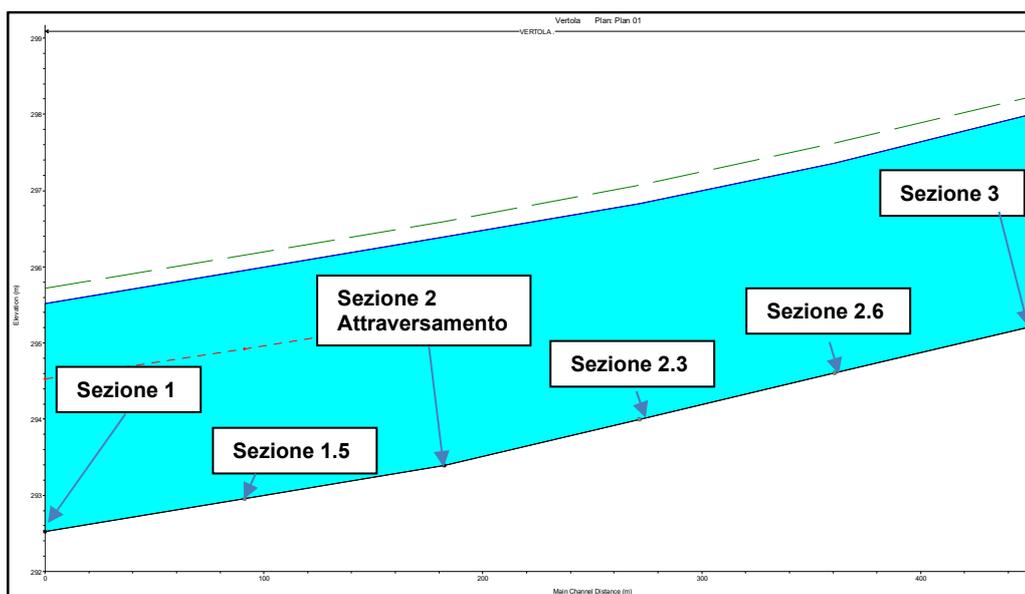
	PROGETTISTA  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITA' REGIONE TOSCANA E UMBRIA	LSC - 141/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 28 di 31	Rev. 0

TABELLA RIASSUNTIVA RISULTATI MODELLAZIONE

Sezione	Portata	Quota fondo	Livelli idrici	Battenti idrici	Vel. golena sin	Vel. canale	Vel. golena dx	n. Froude
	(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	-
3	40	295.21	297.99	2.78	-	2.17	-	0.57
2.6	40	294.6	297.36	2.76	-	2.27	-	0.56
2.3	40	294	296.83	2.83	-	2.17	-	0.52
2	40	293.39	296.39	3	-	1.99	-	0.48
1.5	40	292.95	295.95	3	-	1.98	-	0.48
1	40	292.52	295.52	3	-	1.97	-	0.48

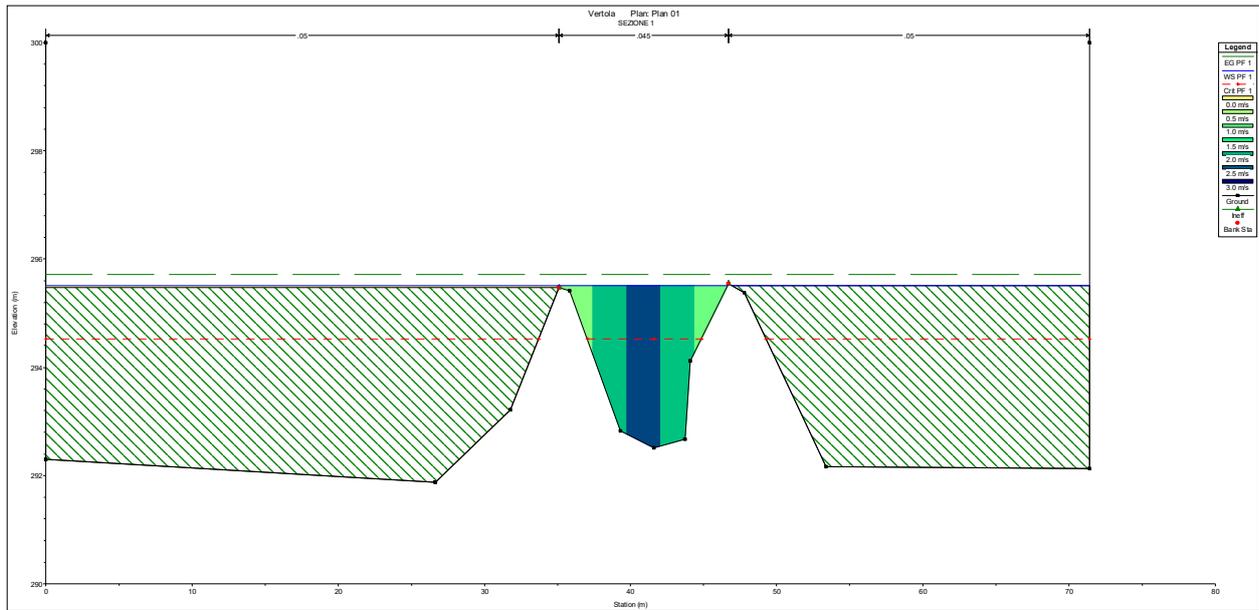
(in grassetto la sezione d'attraversamento del metanodotto)

PROFILO LONGITUDINALE CON LIVELLO IDRICO DUECENTENNALE

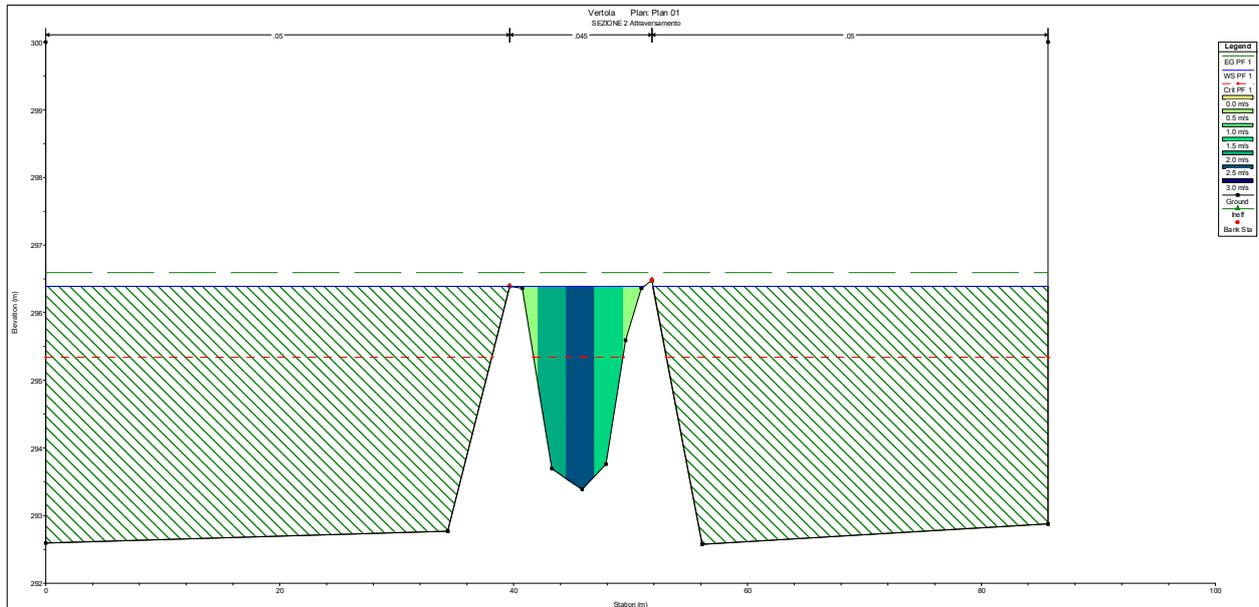


	PROGETTISTA  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA E UMBRIA	LSC - 141/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 29 di 31	Rev. 0

SEZIONI (da valle a monte)

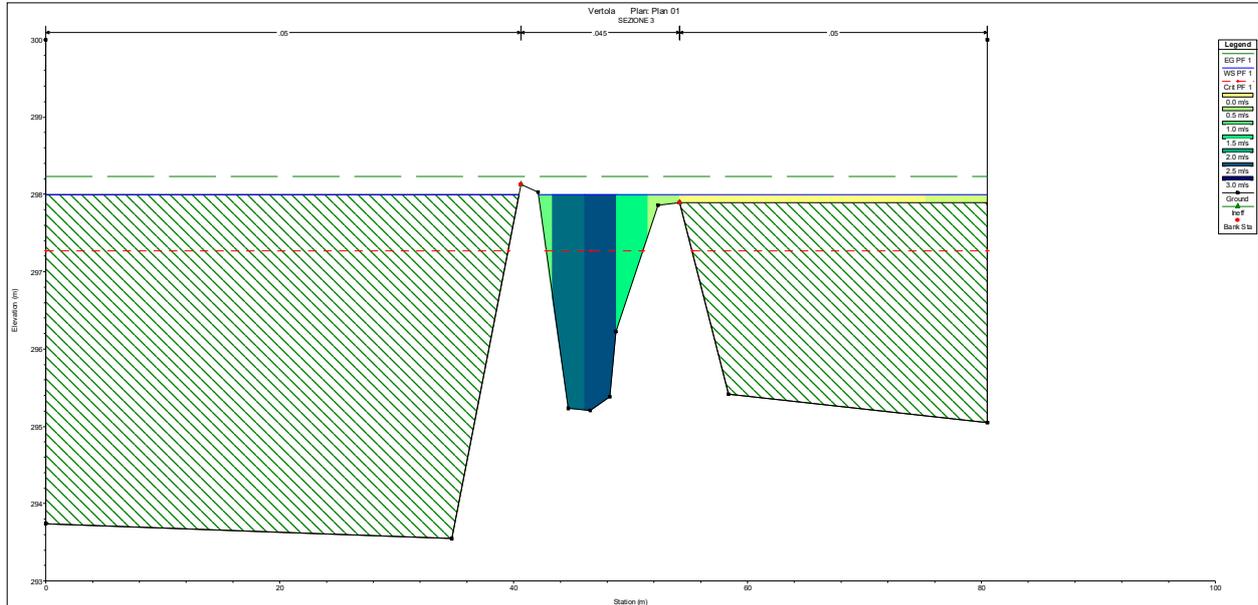


SEZIONE 1



SEZIONE 2 Attraversamento

	PROGETTISTA  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITA' REGIONE TOSCANA E UMBRIA	LSC - 141/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 30 di 31	Rev. 0



SEZIONE 3

RISULTATI DI DETTAGLIO (da valle a monte)

Plan: Plan 01 VERTOLA , RS: 1 Profile: PF 1					
E.G. Elev (m)		Element	Left OB	Channel	Right OB
295.71	0.20	Wt. n-Val.	0.050	0.045	
295.52		Reach Len. (m)			
294.53		Flow Area (m2)	1.63	20.13	
0.004805		Area (m2)	110.42	20.13	70.51
40.00		Flow (m3/s)	0.27	39.73	
71.12		Top Width (m)	35.10	11.53	24.49
1.84		Avg. Vel. (m/s)	0.17	1.97	
3.64		Hydr. Depth (m)	0.05	1.75	
577.0		Conv. (m3/s)	3.9	573.1	
		Wetted Per. (m)	39.18	13.89	
292.52		Shear (N/m2)	1.96	68.32	
1.15		Stream Power (N/m s)	0.33	134.80	
		Cum Volume (1000 m3)			
		Cum SA (1000 m2)			

SEZIONE 1

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA E UMBRIA	LSC - 141/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 31 di 31	Rev. 0

Plan: Plan 01 VERTOLA . RS: 2 Profile: PF 1					
E.G. Elev (m)		Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	296.60	Wt. n-Val.	0.050	0.045	
W.S. Elev (m)	0.20	Reach Len. (m)	91.21	91.21	91.21
Crit W.S. (m)	296.39	Flow Area (m2)	0.15	20.07	
E.G. Slope (m/m)	295.34	Area (m2)	137.06	20.07	116.45
Q Total (m3/s)	0.004850	Flow (m3/s)	0.00	40.00	
Top Width (m)	40.00	Top Width (m)	39.67	11.51	33.80
Vel Total (m/s)	84.98	Avg. Vel. (m/s)	0.03	1.99	
Max Chl Dpth (m)	1.98	Hydr. Depth (m)	0.00	1.74	
Conv. Total (m3/s)	3.81	Conv. (m3/s)	0.1	574.3	
Length Wtd. (m)	574.4	Wetted Per. (m)	44.58	13.73	
Min Ch El (m)	91.21	Shear (N/m2)	0.16	69.51	
Alpha	293.39	Stream Power (N/m s)	0.00	138.53	
Frctn Loss (m)	1.01	Cum Volume (1000 m3)	22.54	3.67	16.93
C & E Loss (m)	0.44	Cum SA (1000 m2)	6.82	2.12	5.32
	0.00				

SEZIONE 2 Attraversamento

Plan: Plan 01 VERTOLA . RS: 3 Profile: PF 1					
E.G. Elev (m)		Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	298.23	Wt. n-Val.		0.045	0.050
W.S. Elev (m)	0.23	Reach Len. (m)	89.19	89.19	89.19
Crit W.S. (m)	297.99	Flow Area (m2)		18.02	2.71
E.G. Slope (m/m)	297.27	Area (m2)	163.68	18.02	66.57
Q Total (m3/s)	0.006898	Flow (m3/s)		39.09	0.91
Top Width (m)	40.00	Top Width (m)	40.45	12.09	26.28
Vel Total (m/s)	78.82	Avg. Vel. (m/s)		2.17	0.34
Max Chl Dpth (m)	1.93	Hydr. Depth (m)		1.49	0.10
Conv. Total (m3/s)	4.44	Conv. (m3/s)		470.7	11.0
Length Wtd. (m)	481.6	Wetted Per. (m)		14.14	29.90
Min Ch El (m)	89.19	Shear (N/m2)		86.20	6.14
Alpha	295.21	Stream Power (N/m s)		187.01	2.06
Frctn Loss (m)	1.24	Cum Volume (1000 m3)	62.04	8.58	40.61
C & E Loss (m)	0.60	Cum SA (1000 m2)	17.51	5.04	13.35
	0.00				

SEZIONE 3