

	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20047</b>	<b>UNITÀ</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONI TOSCANA E UMBRIA</b>	<b>LSC-134/ALL. A</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse</b>	Pagina 1 di 32	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Progetto:

RIFACIMENTO METANODOTTO SANSEPOLCRO – FOLIGNO  
E OPERE CONNESSE

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

ATTRAVERSAMENTO FIUME TEVERE 4  
CON MICROTUNNEL  
IN COMUNE DI UMBERTIDE (PG)



0	Emissione	Polloni	Battisti	Luminari	30.09.2021
<b>Rev.</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Elaborato</b>	<b>Verificato</b>	<b>Approvato</b>	<b>Data</b>

	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20047</b>	<b>UNITÀ</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONI TOSCANA E UMBRIA</b>	<b>LSC-134/ALL. A</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse</b>	Pagina 2 di 32	<b>Rev.</b> <b>0</b>

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>LOCALIZZAZIONE DELL'AREA .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>STUDIO IDROLOGICO .....</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>STUDIO IDRAULICO.....</b>	<b>9</b>
<b>4.1</b>	<b>Metodologia adottata .....</b>	<b>9</b>
<b>4.2</b>	<b>Ricostruzione dei livelli di piena.....</b>	<b>11</b>
<b>4.3</b>	<b>Risultati della modellazione .....</b>	<b>12</b>
<b>5</b>	<b>RISCHI IDRAULICI.....</b>	<b>14</b>
<b>5.1</b>	<b>Erosione di fondo alveo .....</b>	<b>14</b>
<b>5.2</b>	<b>Approfondimento di fondo alveo.....</b>	<b>15</b>
<b>5.3</b>	<b>Erosione spondale.....</b>	<b>15</b>
<b>5.4</b>	<b>Cambio di percorso e taglio di meandro .....</b>	<b>16</b>
<b>5.5</b>	<b>Stima dello spessore di erosione generalizzata in caso di evento critico .....</b>	<b>16</b>
<b>5.6</b>	<b>Approfondimenti localizzati (buche in alveo).....</b>	<b>18</b>
<b>5.7</b>	<b>Risultati delle verifiche .....</b>	<b>20</b>
<b>6</b>	<b>CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....</b>	<b>22</b>

## **ALLEGATO 1: RISULTATI DELLA MODELLAZIONE IDRAULICA**

	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20047</b>	<b>UNITÀ</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONI TOSCANA E UMBRIA</b>	<b>LSC-134/ALL. A</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse</b>	Pagina 3 di 32	<b>Rev.</b> <b>0</b>

## 1 PREMESSA

La presente relazione è relativa allo studio idrologico e idraulico in corrispondenza dell'attraversamento subalveo del F. Tevere n. 4 da parte del "Metanodotto Sansepolcro-Foligno DN 400 (16") – DP 75 bar" alla progressiva PK 49+857 km del tracciato, che ricade nel territorio del comune di Perugia, località Bosco (PG).

Tale attraversamento è previsto tramite la tecnologia trenchless del *Microtunneling*.

Lo studio è di supporto alla Relazione di Compatibilità Idraulica LSC-134 (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-idrauliche 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 corso d'acqua interessato dall'attraversamento del metanodotto, permettendo pertanto la sua corretta progettazione e di valutare l'assenza di significativo ostacolo e/o riduzione della capacità di invaso.

Sono stati tenuti in conto i precedenti studi idraulici effettuati in ambito PAI, mirati in particolare alla modellazione del tratto di corso di interesse per il progetto in oggetto.

Le elaborazioni idrauliche eseguite hanno avuto lo scopo di caratterizzare 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 (come richiesto da NTA AdB Tevere) 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.

	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20047</b>	<b>UNITÀ</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONI TOSCANA E UMBRIA</b>	<b>LSC-134/ALL. A</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse</b>	Pagina 4 di 32	<b>Rev.</b> <b>0</b>

## 2 LOCALIZZAZIONE DELL'AREA

L'area in cui si colloca l'intervento in oggetto è localizzata lungo il corso d'acqua del F. Tevere nella parte medio-alta del suo sviluppo, nel territorio del comune Umbertide presso la località Pierantonio, in provincia di Perugia. Nello stralcio corografico allegato in Fig. 2/A, tratto dalla base cartografica IGM a scala 1:100.000, si riporta la localizzazione del sito.

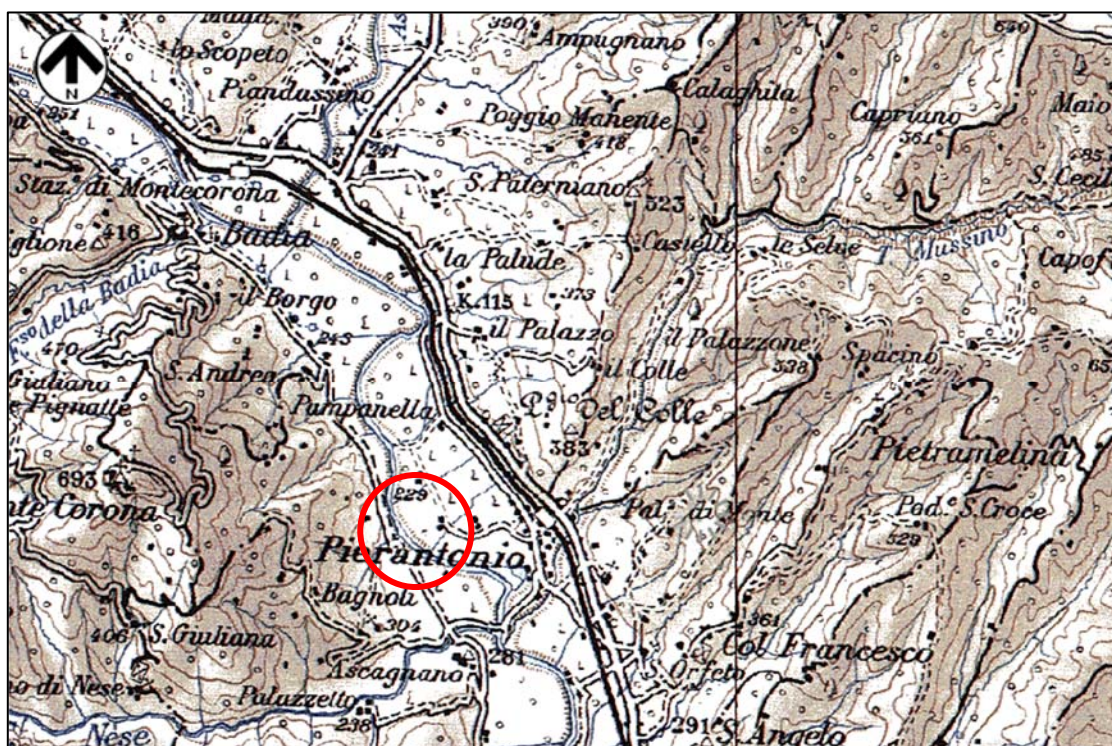


Figura 2/A – Inquadramento a scala 1:25.000 con indicata la posizione dell'attraversamento in studio

A livello della cartografia CTR della regione Umbria, l'attraversamento si ubica nel foglio 300090, di cui si riporta il particolare con l'ubicazione 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 blu. E' indicato schematicamente con sagoma rettangolare il tratto di condotta in subalveo la cui installazione è prevista tramite posa con la metodologia trenchless della trivellazione orizzontale controllata (TOC). In Figura 2/C viene riportata anche la ubicazione su immagine aerea Google.

	<b>PROGETTISTA</b>  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	<b>COMMESSA</b> NR/20047	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONI TOSCANA E UMBRIA</b>	<b>LSC-134/ALL. A</b>	
	<b>PROGETTO</b> Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 5 di 32	<b>Rev.</b> <b>0</b>

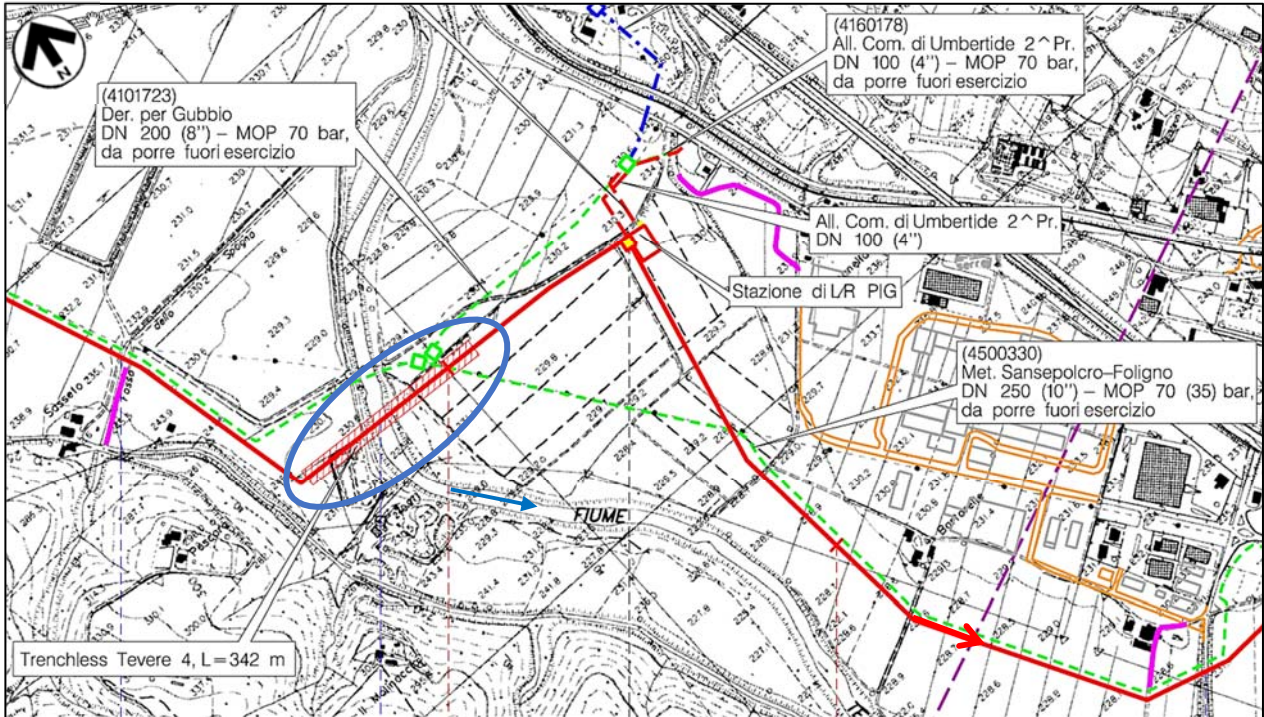


Figura 1/B – Stralcio CTR con localizzazione dell’attraversamento



Figura 2/C – Immagine aerea con localizzazione del tracciato in attraversamento del F. Tevere (su base Google Earth)

	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20047</b>	<b>UNITÀ</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONI TOSCANA E UMBRIA</b>	<b>LSC-134/ALL. A</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse</b>	Pagina 6 di 32	<b>Rev.</b> <b>0</b>

### 3 STUDIO IDROLOGICO

I parametri di interesse al fine delle valutazioni del rischio idraulico e della progettazione degli interventi di attraversamento dei corsi d'acqua e di protezione dell'alveo sono quelli relativi alle portate di massima piena al colmo e, in mancanza di dati diretti di queste ultime, delle precipitazioni di massima intensità in funzione della loro durata. Naturalmente tutti questi dati devono essere valutati in termini probabilistici, riferiti cioè alla loro probabilità di accadimento e pertanto con riferimento al relativo tempo di ritorno ( $T_r$ ).

Per l'intervento in progetto, sia la condotta del metanodotto che le opere ad esso connesse, si fa riferimento a fenomeni idrologici di tempo di ritorno pari a 200 anni.

#### Portate di massima piena al colmo

La distribuzione dei deflussi del F. Tevere nell'arco dell'anno ha un andamento simile su tutto il suo bacino, con un unico massimo nel tardo inverno (in genere in febbraio) e un unico minimo in estate (in agosto).

Lungo l'asta del F. Tevere dalle sorgenti fino a Ponte Nuovo di Torgiano (tratto in cui ricade la percorrenza della piana alluvionale del Tevere da parte del tracciato del metanodotto) sono presenti tre stazioni di misura significative, poste a:

- Santa Lucia (bacino sotteso 934 km<sup>2</sup>), 35 anni di osservazione
- Ponte Felcino (bacino sotteso 2033 km<sup>2</sup>), 33 anni di osservazione
- Ponte Nuovo (bacino sotteso 4147 km<sup>2</sup>), 52 anni di osservazione

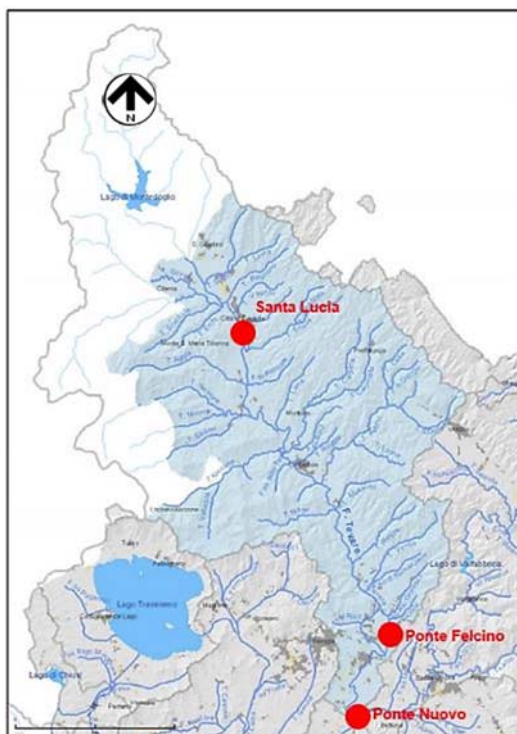


Figura 3/A – Bacino dell'Alto Tevere: ubicazione delle stazioni idrometrografiche

	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20047</b>	<b>UNITÀ</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONI TOSCANA E UMBRIA</b>	<b>LSC-134/ALL. A</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse</b>	Pagina 7 di 32	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Per quanto riguarda le portate di massima piena al colmo, l'Autorità di Bacino del F. Tevere ha condotto modellazioni idrologiche sulla base dei dati idrometrici registrati e dal paragone dei risultati ottenuti con le osservazioni storiche si è evidenziato che l'alto bacino del F. Tevere si comporta in modo morfologicamente omogeneo rispetto alle sollecitazioni pluviometriche estreme. Nella tabella 3/A si riportano i valori di riferimento delle portate di piena determinati con la modellazione per le varie stazioni di misura.

Stazione	Tr= 10 anni	Tr= 50 anni	Tr= 100 anni	Tr= 200 anni	Tr= 500 anni
Santa Lucia	370	490	550	650	900
Ponte Felcino	750	1000	1150	1350	1850
Ponte Nuovo	1000	1400	1600	1800	2500

**Tabella 3/A – Portate di massima piena al colmo F. Tevere (m<sup>3</sup>/s), stimate dalla modellazione**  
(da AdB, Piano Directorio Bacino F. Tevere)

Per la modellazione idraulica del Tevere e dei suoi principali affluenti, l'AdB Tevere ha fatto riferimento ai valori di portata calcolati in termini probabilistici con l'applicazione del metodo razionale, basandosi sui risultati della modellazione idrologica delle piogge di massima intensità confrontati con i dati idrometrici registrati nelle stazioni presenti lungo il corso.

Le elaborazioni idrologiche effettuate da AdB Tevere hanno determinato le seguenti portate del Tevere nel tratto interessato dal metanodotto in progetto:

Tratto F. Tevere A	Portata Tr= 50 anni	Portata Tr= 200 anni	Portata Tr= 500 anni
Dalla diga di Montedoglio a Ponte Felcino	208÷1013	275÷1377	381÷1824

**Tabella 3/B – Portate F. Tevere nel tratto di interesse (m<sup>3</sup>/s)**  
(da Piano Gestione Rischio Alluvioni, Scheda conoscitiva Area omogenea A09)

Nell'ambito dello studio in oggetto, al fine di omogeneità di assunzione dell'input idrologico, sono state assunte gli stessi valori di portata di piena al colmo utilizzati per la modellazione idraulica del PAI in funzione del tempo di ritorno.

Tali valori per la sezione PAI 839, prossima alla sezione di attraversamento in esame (v. Fig. 3/B), sono riportati nella seguente tabella.

Tempo di ritorno (anni)	Portata massima piena al colmo (m <sup>3</sup> /s)
50	914
100	1064
<b>200</b>	<b>1243</b>
500	1660

**Figura 3/C – Portate di massima piena al colmo per la sezione 839 (da PAI AbB Tevere)**

	<b>PROGETTISTA</b>  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	<b>COMMESSA</b> NR/20047	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> REGIONI TOSCANA E UMBRIA	<b>LSC-134/ALL. A</b>	
	<b>PROGETTO</b> Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 8 di 32	Rev. 0

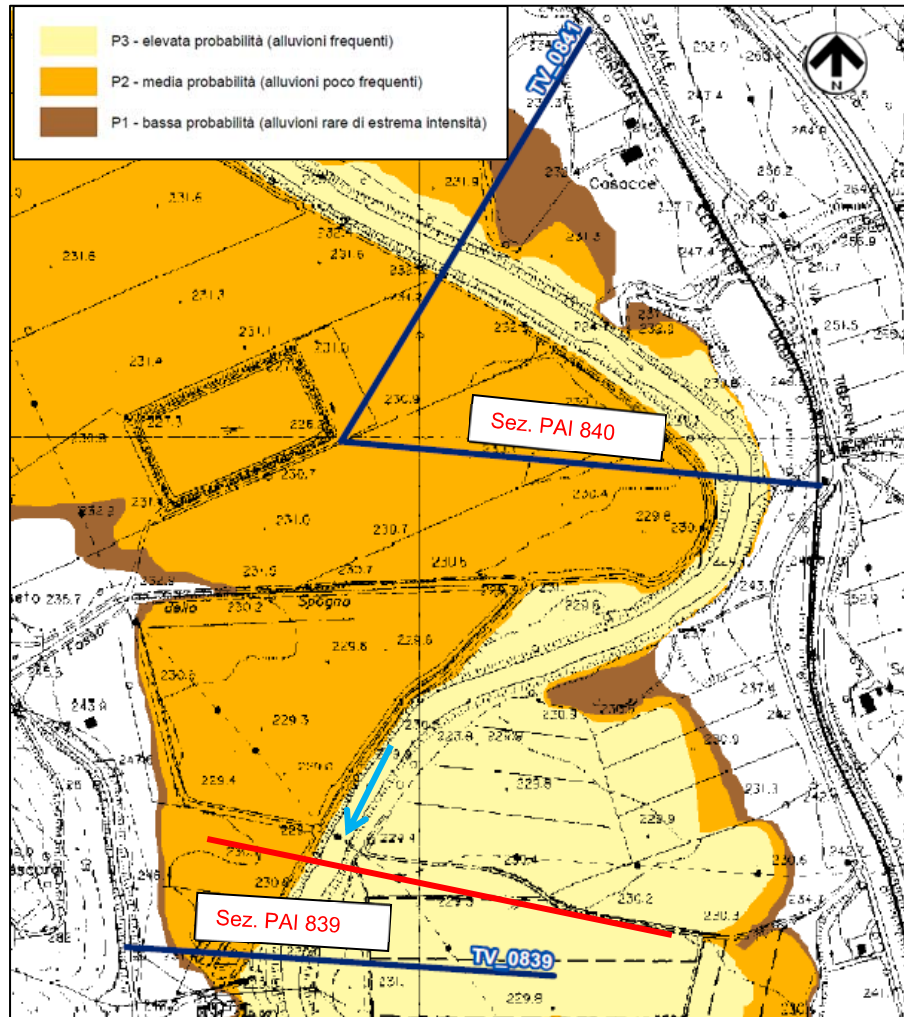


Figura 3/B – Stralcio della mappa di pericolosità del PGRAAC (TAV. 18 P) con ubicazione sezioni PAI

Pertanto le elaborazioni idrauliche sono state condotte, considerando il tempo di ritorno di progetto pari a 200 anni, come previsto da NTA PAI AdB Tevere, per una portata di piena al colmo di:

$$Q_{200} = 1243 \text{ m}^3/\text{s}.$$



	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20047</b>	<b>UNITÀ</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONI TOSCANA E UMBRIA</b>	<b>LSC-134/ALL. A</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse</b>	Pagina 9 di 32	<b>Rev.</b> <b>0</b>

## 4 STUDIO IDRAULICO

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

### 4.1 Metodologia adottata

L'elaborazione è stata eseguita per un tratto di fiume sufficientemente esteso a cavallo dell'attraversamento da parte del gasdotto in progetto, prendendo in considerazione il valore di portata relativo al tempo di ritorno di 200 anni pari a  $Q_{200} = 1243 \text{ m}^3/\text{s}$ .

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

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

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

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

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

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

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

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

	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20047</b>	<b>UNITÀ</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONI TOSCANA E UMBRIA</b>	<b>LSC-134/ALL. A</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse</b>	Pagina 10 di 32	<b>Rev.</b> <b>0</b>

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

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

dove:

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

#### Assetto geometrico

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

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

#### Condizioni al contorno

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

#### Calcolo della velocità di deflusso

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

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

	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20047</b>	<b>UNITÀ</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONI TOSCANA E UMBRIA</b>	<b>LSC-134/ALL. A</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse</b>	Pagina 11 di 32	<b>Rev.</b> <b>0</b>

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

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 ( $m^2$ )
- $R$  raggio idraulico (m)
- $i$  pendenza motrice

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

#### Risultati dei calcoli idraulici

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

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

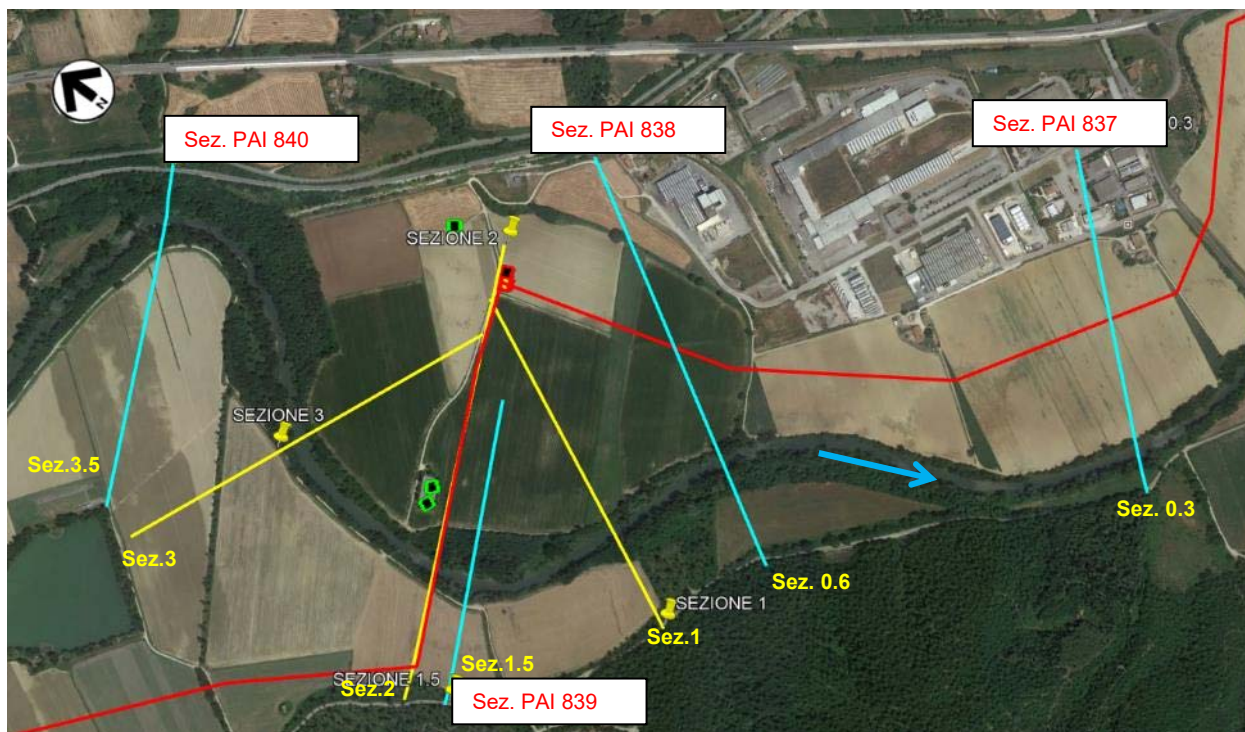
dove:

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

## **4.2 Ricostruzione dei livelli di piena**

La verifica idraulica ha lo scopo di valutare i livelli idrici raggiunti dalla piena di progetto nel tratto di interesse ed i relativi parametri idraulici, in situazione ante e post intervento, qualora diverse. Per la caratterizzazione geometrica del tratto di alveo del corso d'acqua in studio ci si è basati su una serie di 3 sezioni trasversali rilevate allo scopo e di 4 sezioni nel tratto di interesse utilizzate per la modellazione PAI; in totale per la ricostruzione dei livelli di piena sono state usate 7 sezioni la cui ubicazione è riportata sulla visione aerea Google di Figura 4.2/A.

	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20047</b>	<b>UNITÀ</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONI TOSCANA E UMBRIA</b>	<b>LSC-134/ALL. A</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse</b>	Pagina 12 di 32	<b>Rev.</b> <b>0</b>



**Figura 4.2/A– Immagine aerea del tratto di corso modellato con riportate le sezioni di studio**  
(in rosso tracciato del metanodotto, in azzurro sez. PAI, in giallo sez. rilevate)

### 4.3 Risultati della modellazione

I risultati della modellazione sono riportati in allegato 1, dove figurano il profilo idrico, le sezioni indicanti i livelli raggiunti dalle portate di piena di progetto nonché le tabelle di dettaglio con i vari parametri idraulici per le singole sezioni che interessano il tracciato del metanodotto in esame. I valori dei principali parametri vengono riassunti nella tabella di seguito riportata (v. Tab. 4.3/A). Si ricorda che essi sono relativi ad un evento critico di tempo di ritorno 200 anni. Il profilo longitudinale output del programma è rappresentato in **Figura 4.3/A**.

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

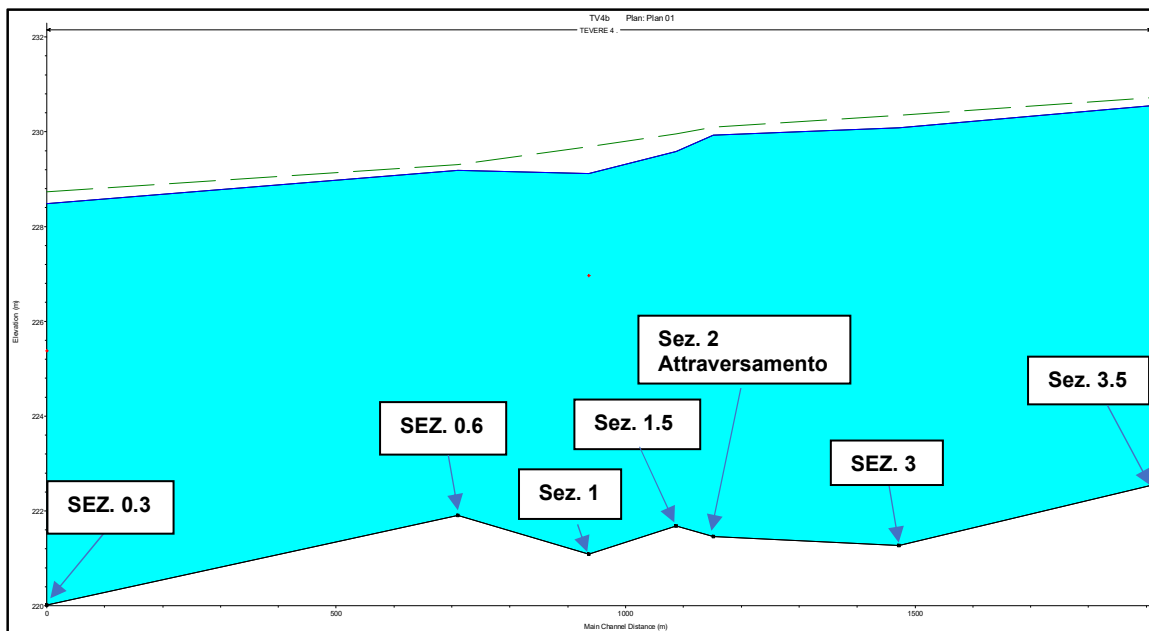
In sintesi, in relazione al tratto di interesse per i lavori in oggetto, si può osservare quanto segue:

- in tutto il tratto l'alveo del Tevere non è di sufficiente ampiezza per contenere le piene di progetto duecentennali, determinando pertanto vaste esondazioni
- i battenti idrici in alveo a piene rive possono arrivare lungo il tratto modellato a valori di 7 m, ai quali si sommano nel caso di piena  $T_r = 200$  anni le altezze di esondazione arrivando fino a valori di circa 8-9 m;
- nella sezione di attraversamento il battente è di 8.5 m, le velocità del flusso idrico in alveo sono pari a 2.18 m/s; nella piana alluvionale le velocità del flusso d'esondazione sono di circa di 0.7 m/s.

	<b>PROGETTISTA</b>  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	<b>COMMESSA</b> NR/20047	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA E UMBRIA</b>	<b>LSC-134/ALL. A</b>	
	<b>PROGETTO</b> Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 13 di 32	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Sezione	Portata	Quota fondo	Livelli idrici	Battenti idrici	Vel. golena sin	Vel. canale	Vel. golena dx	n. Froude
	(m <sup>3</sup> /s)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	-
3.5	1243	222.54	230.55	8.01	0.66	2.30	-	0.39
3	1243	221.27	230.08	8.81	0.59	2.63	0.88	0.35
<b>2</b>	<b>1243</b>	<b>221.46</b>	<b>229.93</b>	<b>8.47</b>	<b>0.64</b>	<b>2.18</b>	<b>0.72</b>	<b>0.31</b>
1.5	1243	221.68	229.59	7.91	0.61	2.85	0.56	0.46
1	1243	221.09	229.11	8.02	0.61	3.65	0.50	0.49
0.6	1243	221.90	229.18	7.28	0.54	2.08	0.86	0.29
0.3	1243	220.01	228.49	8.48	-	2.44	0.84	0.36

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



**Figura 4.3/A – Profilo longitudinale con livelli di piena duecentennali**

	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20047</b>	<b>UNITÀ</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONI TOSCANA E UMBRIA</b>	<b>LSC-134/ALL. A</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse</b>	Pagina 14 di 32	<b>Rev.</b> <b>0</b>

## 5 RISCHI IDRAULICI

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

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

### 5.1 Erosione di fondo alveo

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

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

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

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

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

	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20047</b>	<b>UNITÀ</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONI TOSCANA E UMBRIA</b>	<b>LSC-134/ALL. A</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse</b>	Pagina 15 di 32	<b>Rev.</b> <b>0</b>

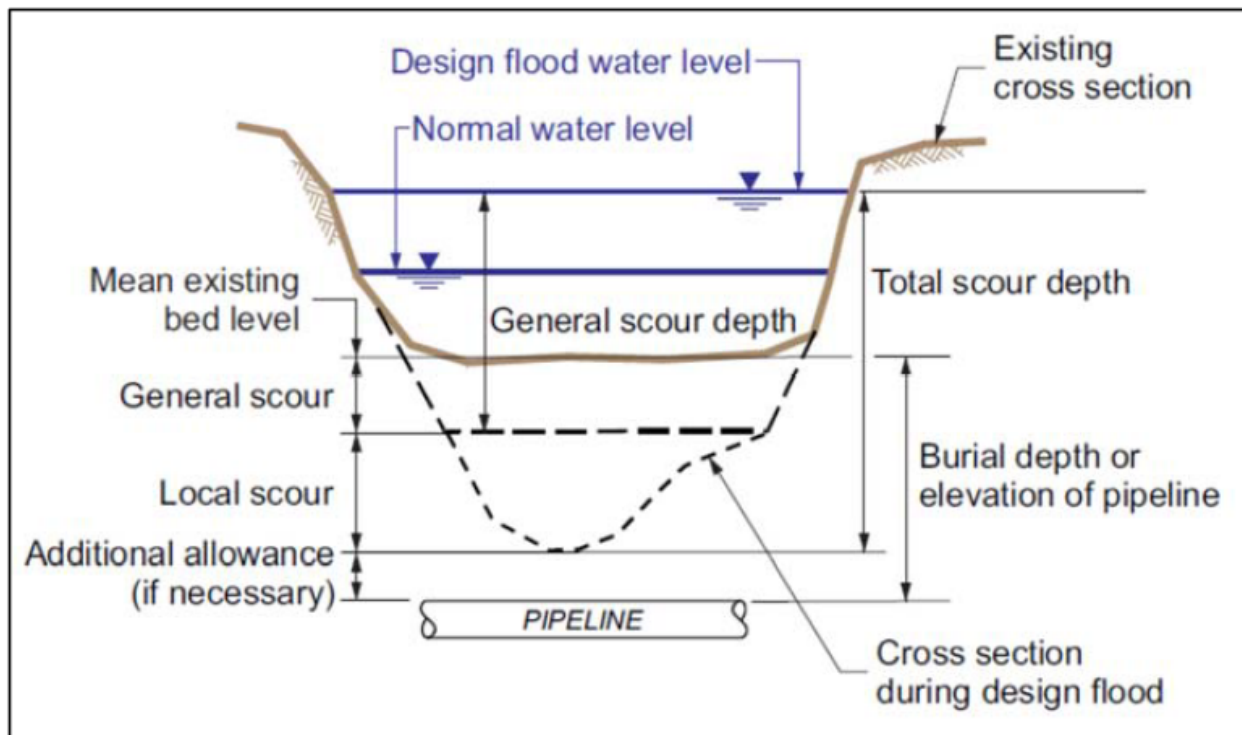


Figura 5.1/A – Schema di erosione generale e locale (da Veldeman, 2008)

## 5.2 Approfondimento di fondo alveo

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

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

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

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

## 5.3 Erosione spondale

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

	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20047</b>	<b>UNITÀ</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONI TOSCANA E UMBRIA</b>	<b>LSC-134/ALL. A</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse</b>	Pagina 16 di 32	<b>Rev.</b> <b>0</b>

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

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

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

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

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

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

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

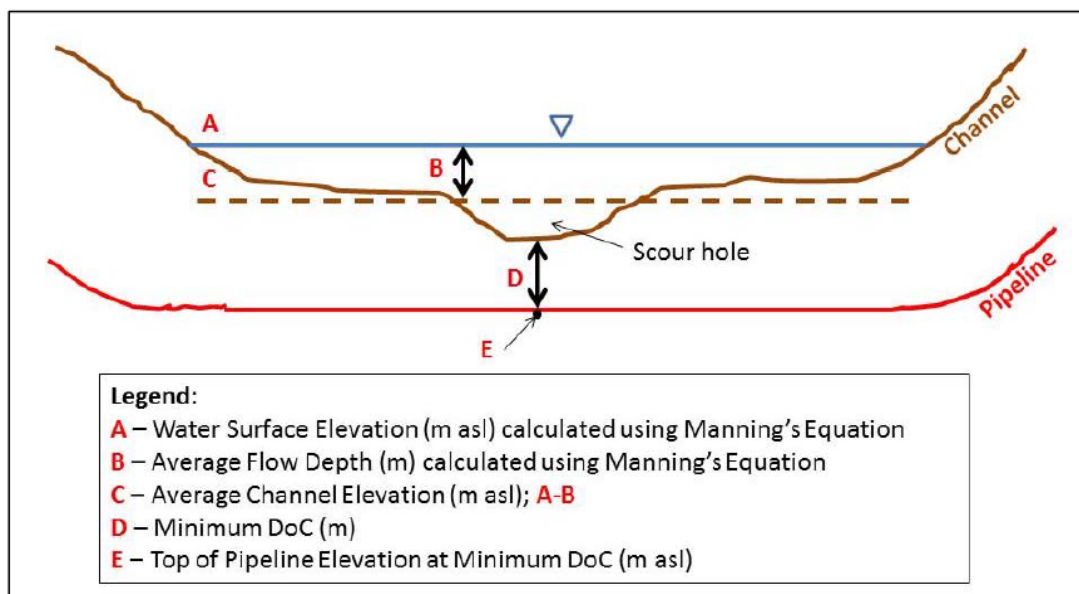
Le ricerche condotte portano ad interpretare il fenomeno nei terreni prevalentemente sabbiosi come la conseguenza di una pronunciata ondulazione del fondo che, ad opera dei cavi, incide il profilo d'alveo. Poiché il sistema di tali dune trasla verso valle, tutto l'alveo gradatamente viene interessato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

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

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



	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20047</b>	<b>UNITÀ</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONI TOSCANA E UMBRIA</b>	<b>LSC-134/ALL. A</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse</b>	Pagina 17 di 32	<b>Rev.</b> <b>0</b>



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

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

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

$$d_s = z_n \cdot d_m$$

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

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

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

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

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

	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20047</b>	<b>UNITÀ</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONI TOSCANA E UMBRIA</b>	<b>LSC-134/ALL. A</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse</b>	Pagina 18 di 32	<b>Rev.</b> <b>0</b>

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

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

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

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

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

$q_i, q_p$  = 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)

Nel tratto in esame si calcola che eventuali fenomeni di erosione generalizzata potrebbero avere una profondità massima di 2.56, 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.

	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20047</b>	<b>UNITÀ</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONI TOSCANA E UMBRIA</b>	<b>LSC-134/ALL. A</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse</b>	Pagina 19 di 32	<b>Rev.</b> <b>0</b>

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

$$s = 0,378 \cdot H^{0,5} \cdot q^{0,35} + 2,15 \cdot a \quad (\text{Schoklitsch})^1$$

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

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

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 fondo<sup>3</sup>;
- v** = velocità media nell'alveo inciso (m/s);
- q** = Q/L: portata per unità di larghezza dell'alveo (m<sup>3</sup>/s m);
- Q** = portata nell'alveo inciso (m<sup>3</sup>/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	$h_{ch}$	5,12 m
Velocità canale	$v_{ch}$	2,18 m/s
Portata canale	$Q_{ch}$	798,59 m <sup>3</sup> /s
Larghezza canale	$L_{ch}$	71,57 m
Portata unitaria	$q_{ch}$	11,16 m <sup>3</sup> /s/m
Carico totale	$H_{ch}$	5,20 m
Dislivello buca	a	0,01 m
<b>Approf. local.</b>	<b>s</b>	<b>2,03 m</b>

Il calcolo ha evidenziato che nella sezione di attraversamento gli approfondimenti localizzati possono avere una profondità di 2.03 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:

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

<sup>1</sup> Schoklitsch. A, Stauraum verlandung und kolkbewehr, Springer Ed., Vienna, 1935.

<sup>2</sup> Adami A., Fenomeni localizzati ed erosioni negli alvei, Atti "Moderne vedute sulla meccanica dei fenomeni fluviali", CNR; P.F. Conservazione del suolo, 1979.

<sup>3</sup> Hydr Depth C Hydraulic depth in channel (channel flow area/topwidth of channel flow)

	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20047</b>	<b>UNITÀ</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONI TOSCANA E UMBRIA</b>	<b>LSC-134/ALL. A</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse</b>	Pagina 20 di 32	<b>Rev.</b> <b>0</b>

in cui:

$\tau_0$ =tensione tangenziale (kg/m<sup>2</sup>);  
 $\gamma_s$ =peso specifico delle particelle (kg/m<sup>3</sup>);  
 $\gamma_w$ =peso specifico dell'acqua (1000 kg/m<sup>3</sup>);  
d=di diametro medio del materiale di fondo (d=d<sub>50</sub>) (m);  
g=accelerazione di gravità (g = 9.81 m/s<sup>2</sup>);  
h=profondità della corrente idrica (m);  
i=pendenza del fondo alveo;  
 $\mu$ =viscosità cinematica (m<sup>2</sup>/s);  
V\*=velocità d'attrito (m/s);

Si ha inoltre:

$$V^* = (\tau_0 / \delta)^{1/2} \quad \text{e} \quad \tau_0 = (V^* X^2)$$

in cui:

$\delta$ = densità dell'acqua (= 102 kg·s<sup>2</sup>/m<sup>4</sup>);  
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 " $\tau_0$ " e di "V\*"; inoltre, per valori di " $V^*d / \mu$ " maggiori di 500, che nei corsi d'acqua naturali si verificano con alvei ciottolosi, il valore " $\tau_0 / [(\gamma_s - \gamma_w)d]$ " è costante ed è pari a 0.06, cioè:

$$\tau_0 / [(\gamma_s - \gamma_w)d] = 0.06$$

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

$$d = \tau_0 / [0.06 (\gamma_s - \gamma_w)]$$

Sulla base dei risultati della modellazione idraulica è emerso che nel tratto interessato dall'attraversamento del metanodotto in progetto la corrente può esercitare nel canale una tensione tangenziale massima in caso di piena duecentennale  $\tau_0 = 93 \text{ N/m}^2$ , cui corrisponde una capacità di trasporto massima di un clasto di circa 11 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 inciso, 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;

	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20047</b>	<b>UNITÀ</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA E UMBRIA</b>	<b>LSC-134/ALL. A</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse</b>	Pagina 21 di 32	<b>Rev.</b> <b>0</b>

- approfondimenti temporanei in fase di piena: gli spessori di fondo alveo mobilizzabili temporaneamente in fase di piena, nel caso non si adottassero misure di prevenzione, si sono stimati, utilizzando la metodologia sopra riportata, in circa 2.56 m, e la profondità di buche locali in alveo risulta pari a circa 2.03 m.

	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20047</b>	<b>UNITÀ</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONI TOSCANA E UMBRIA</b>	<b>LSC-134/ALL. A</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse</b>	Pagina 22 di 32	<b>Rev.</b> <b>0</b>

## 6 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il tracciato del metanodotto Sansepolcro-Foligno attraversa l'alveo del F. Tevere alla progressiva PK 49+857 km in località Pierantonio, nel territorio del comune di Umbertide (PG).

L'attraversamento è previsto tramite la tecnologia trenchless del *Microtunneling* e si localizza nell'ambito dell'ampio fondovalle del fiume in corrispondenza di un tratto di corso ad andamento ansiforme; l'attraversamento si colloca nella parte centrale di un'ansa destrorsa.

L'alveo ha una sezione incisa di circa 7 m ed una larghezza dell'ordine di 40 m.

I terreni di fondovalle nella zona in oggetto sono costituiti da alluvioni grossolane ghiaiose-ciottole fine a profondità di circa 10, al di sotto delle quali sono presenti sabbie limose con ghiaie.

Non si sono riscontrati fenomeni di approfondimento generalizzato di fondo alveo in atto, né sensibili fenomeni di instabilità planimetrica.

Lo studio idrologico-idraulico, condotto per un tempo di ritorno pari a 200 anni, ha evidenziato i parametri della corrente di piena in corrispondenza dell'attraversamento riassumibili essenzialmente nel battente idrico a piene rive di circa 7 m e in caso d'esonazione fino a circa 8.5 m e nella velocità della corrente nella sezione di attraversamento di circa 2.18 m/s in alveo e di circa 0.7 m/s nelle aree golenali.

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 pari a circa 2.5 m.

	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20047</b>	<b>UNITÀ</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA E UMBRIA</b>	<b>LSC-134/ALL. A</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse</b>	Pagina 23 di 32	<b>Rev.</b> <b>0</b>

## ALLEGATO 1

### RISULTATI DELLA MODELLAZIONE IDRAULICA

Tr= 200 anni

	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20047</b>	<b>UNITÀ</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONI TOSCANA E UMBRIA</b>	<b>LSC-134/ALL. A</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse</b>	Pagina 24 di 32	<b>Rev.</b> <b>0</b>

## LEGENDA

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



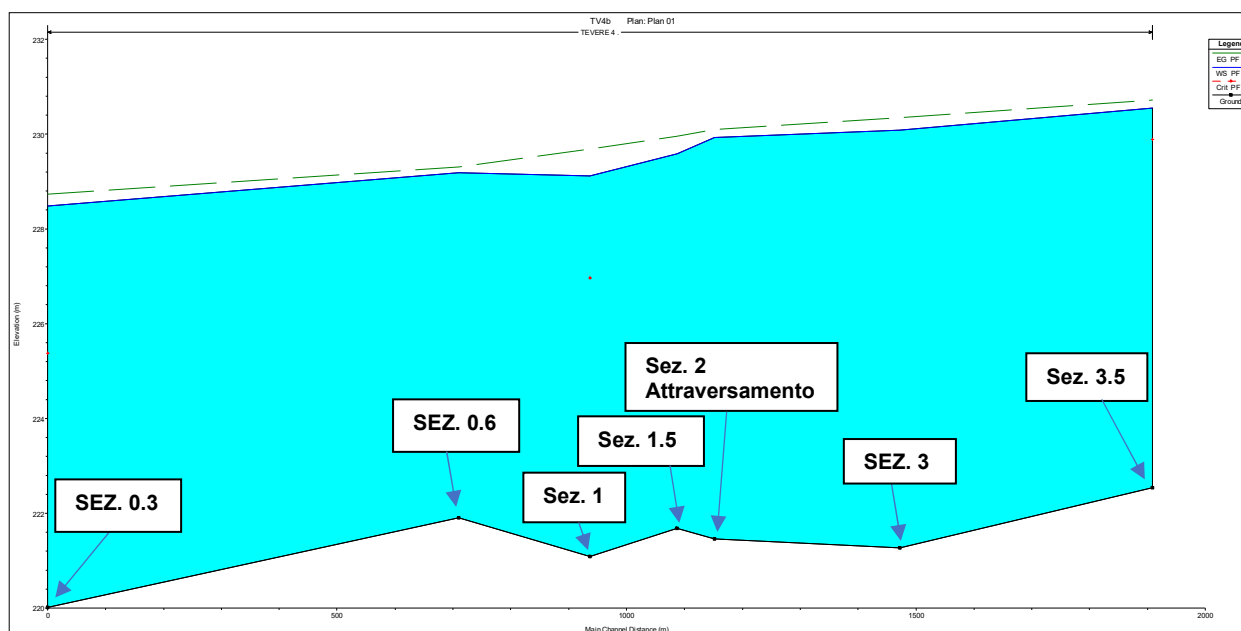
	<b>PROGETTISTA</b>  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	<b>COMMESSA</b> NR/20047	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> <b>REGIONI TOSCANA E UMBRIA</b>	<b>LSC-134/ALL. A</b>	
	<b>PROGETTO</b> Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 25 di 32	<b>Rev.</b> <b>0</b>

### TABELLA RIASSUNTIVA RISULTATI MODELLAZIONE

Sezione	Portata	Quota fondo	Livelli idrici	Battenti idrici	Vel. golena sin	Vel. canale	Vel. golena dx	n. Froude
	(m <sup>3</sup> /s)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	-
3.5	1243	222.54	230.55	8.01	0.66	2.30	-	0.39
3	1243	221.27	230.08	8.81	0.59	2.63	0.88	0.35
<b>2</b>	<b>1243</b>	<b>221.46</b>	<b>229.93</b>	<b>8.47</b>	<b>0.64</b>	<b>2.18</b>	<b>0.72</b>	<b>0.31</b>
1.5	1243	221.68	229.59	7.91	0.61	2.85	0.56	0.46
1	1243	221.09	229.11	8.02	0.61	3.65	0.50	0.49
0.6	1243	221.90	229.18	7.28	0.54	2.08	0.86	0.29
0.3	1243	220.01	228.49	8.48	-	2.44	0.84	0.36

(in grassetto la sezione d'attraversamento del metanodotto)

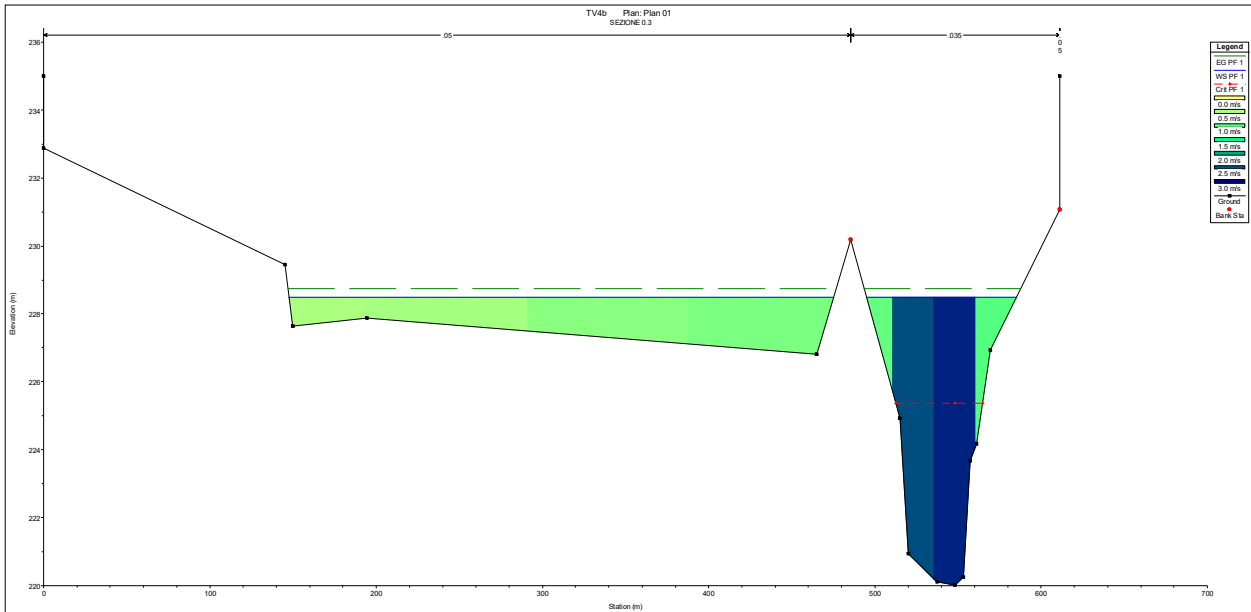
### Profilo longitudinale con livelli di piena duecentennale



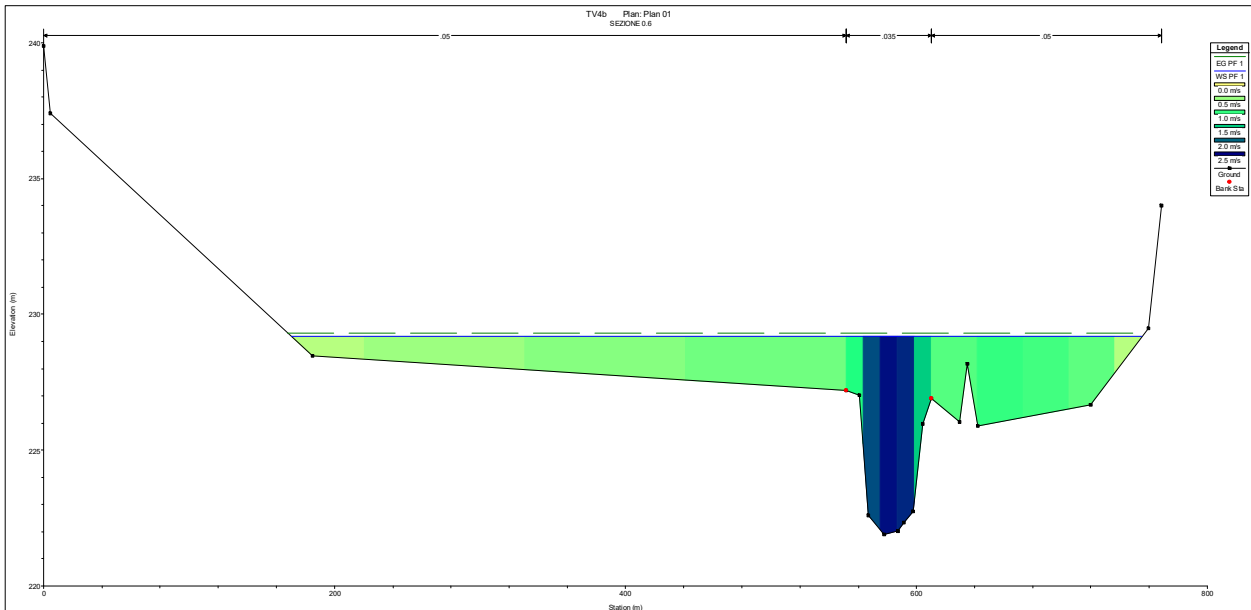
	<b>PROGETTISTA</b>  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	<b>COMMESSA</b> NR/20047	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> REGIONI TOSCANA E UMBRIA	<b>LSC-134/ALL. A</b>	
	<b>PROGETTO</b> Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 26 di 32	<b>Rev.</b> 0

SEZIONI (da valle a monte)

Sezione 03

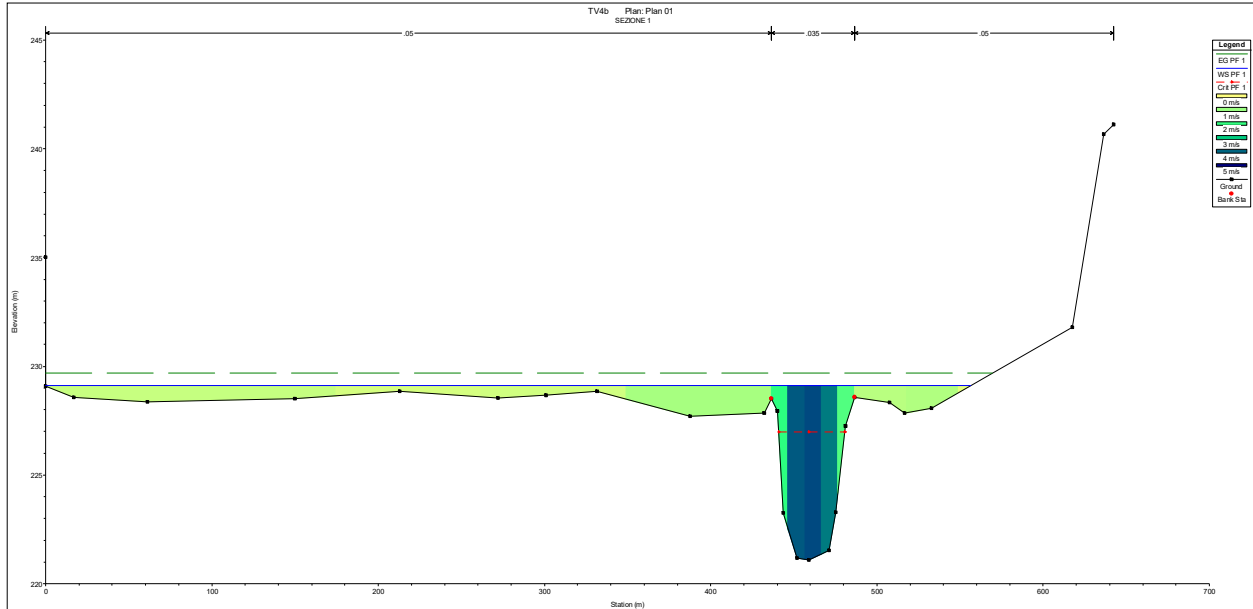


Sezione 06

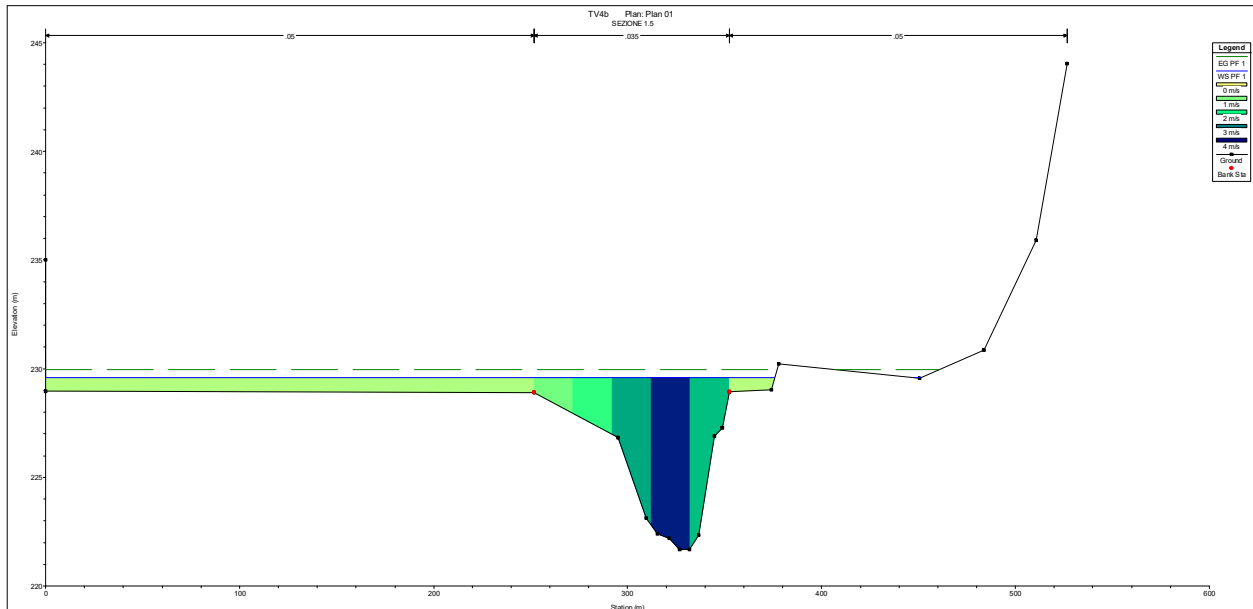


	<b>PROGETTISTA</b>  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	<b>COMMESSA</b> NR/20047	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITA'</b> REGIONI TOSCANA E UMBRIA	<b>LSC-134/ALL. A</b>	
	<b>PROGETTO</b> Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 27 di 32	<b>Rev.</b> 0

### Sezione 1

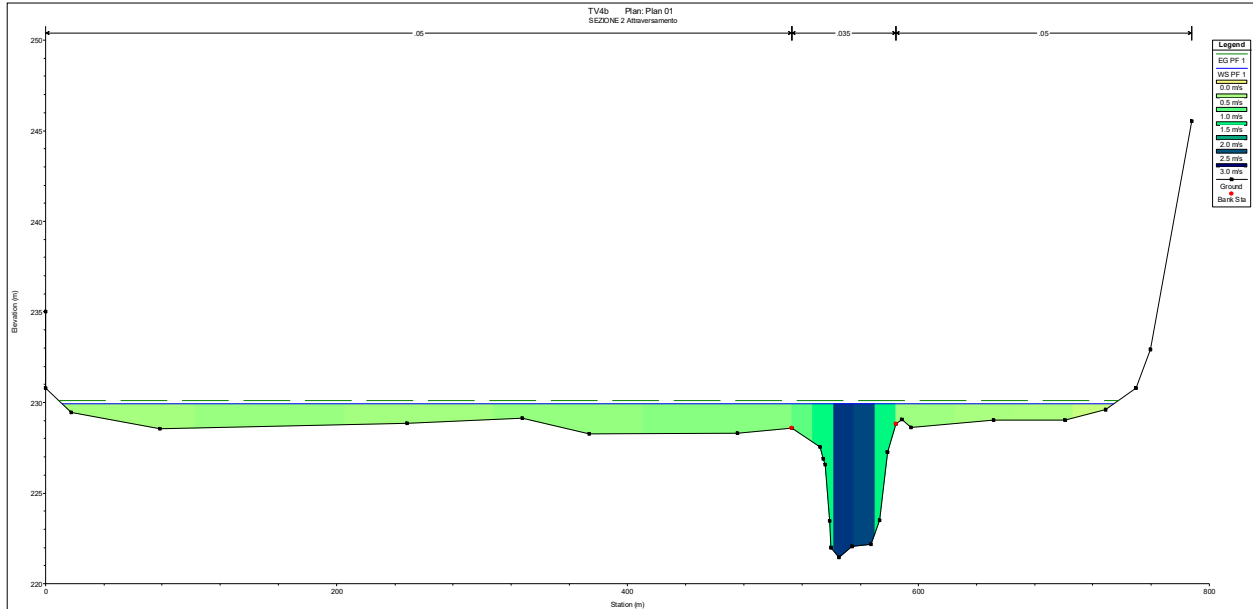


### Sezione 1.5

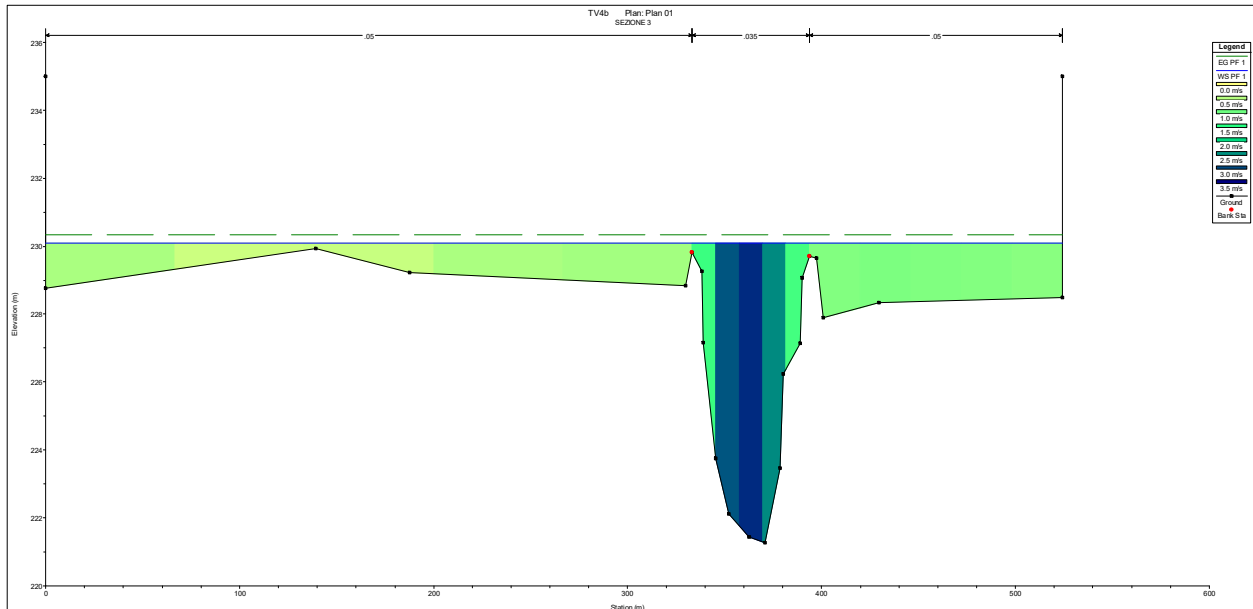


	<b>PROGETTISTA</b>  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	<b>COMMESSA</b> NR/20047	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITA'</b> REGIONI TOSCANA E UMBRIA	<b>LSC-134/ALL. A</b>	
	<b>PROGETTO</b> Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 28 di 32	<b>Rev.</b> 0

### SEZIONE 2 ATTRAVERSAMENTO

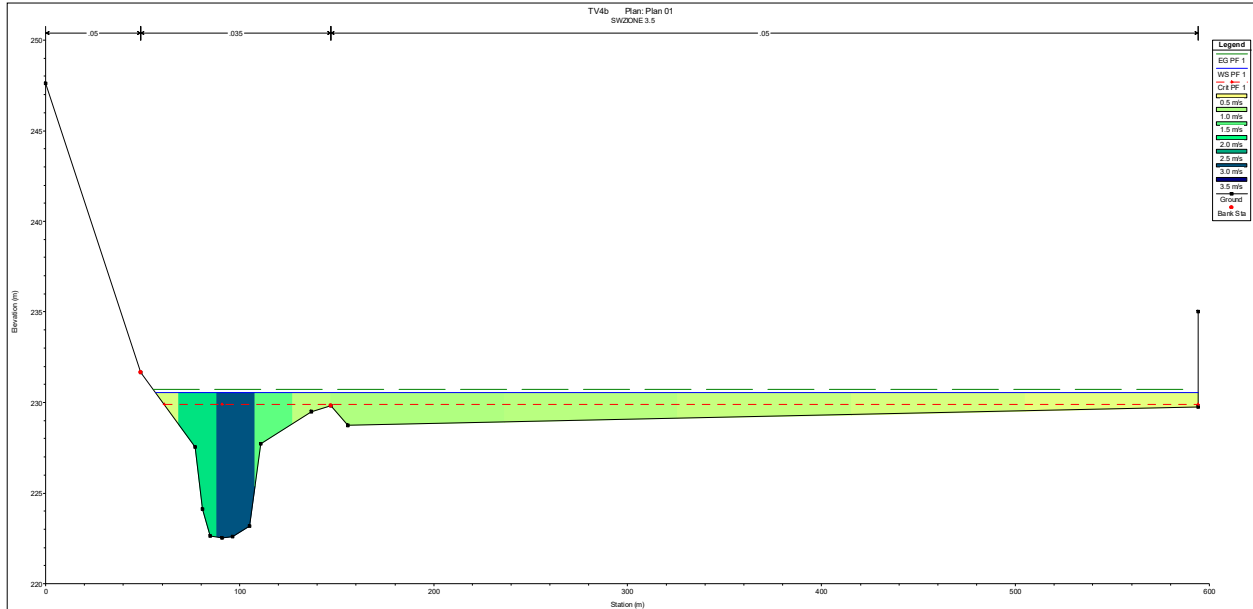


### SEZIONE 3



	<b>PROGETTISTA</b>  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	<b>COMMESSA</b> NR/20047	<b>UNITÀ</b> 00
	<b>LOCALITÀ</b> REGIONI TOSCANA E UMBRIA	<b>LSC-134/ALL. A</b>	
	<b>PROGETTO</b> Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 29 di 32	<b>Rev.</b> 0

### SEZIONE 3.5



### RISULTATI DI DETTAGLIO (da valle a monte)

### SEZIONE 0.3

Plan: Plan 01 TEVERE 4 . RS: 0.3 Profile: PF 1					
		Element	Left OB	Channel	Right OB
E.G. Elev (m)	228.74	Wt. n-Val.	0.050	0.035	
Vel Head (m)	0.25	Reach Len. (m)			
W.S. Elev (m)	228.49	Flow Area (m2)	350.67	414.83	
Crit W.S. (m)	225.38	Area (m2)	350.67	414.83	
E.G. Slope (m/m)	0.001001	Flow (m3/s)	232.17	1010.83	
Q Total (m3/s)	1243.00	Top Width (m)	327.35	90.23	
Top Width (m)	417.58	Avg. Vel. (m/s)	0.66	2.44	
Vel Total (m/s)	1.62	Hydr. Depth (m)	1.07	4.60	
Max Chl Dpth (m)	8.48	Conv. (m3/s)	7338.4	31950.1	
Conv. Total (m3/s)	39288.5	Wetted Per. (m)	327.64	93.73	
Length Wtd. (m)		Shear (N/m2)	10.51	43.44	
Min Ch El (m)	220.01	Stream Power (N/m s)	6.96	105.86	
Alpha	1.86	Cum Volume (1000 m3)			
Frctn Loss (m)		Cum SA (1000 m2)			
C & E Loss (m)					

### SEZIONE 0.6

	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20047</b>	<b>UNITÀ</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA E UMBRIA</b>	<b>LSC-134/ALL. A</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse</b>	Pagina 30 di 32	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Plan: Plan 01 TEVERE 4 . RS: 0.6 Profile: PF 1					
E.G. Elev (m)	229.31	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.13	Wt. n-Val.	0.050	0.035	0.050
W.S. Elev (m)	229.18	Reach Len. (m)	829.00	710.00	673.00
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	499.75	307.63	349.09
E.G. Slope (m/m)	0.000609	Area (m2)	499.75	307.63	349.09
Q Total (m3/s)	1243.00	Flow (m3/s)	295.39	639.54	308.06
Top Width (m)	584.72	Top Width (m)	381.13	58.52	145.07
Vel Total (m/s)	1.07	Avg. Vel. (m/s)	0.59	2.08	0.88
Max Chl Dpth (m)	7.28	Hydr. Depth (m)	1.31	5.26	2.41
Conv. Total (m3/s)	50384.5	Conv. (m3/s)	11973.7	25923.6	12487.2
Length Wtd. (m)	730.67	Wetted Per. (m)	381.15	60.74	145.95
Min Ch El (m)	221.90	Shear (N/m2)	7.83	30.23	14.28
Alpha	2.16	Stream Power (N/m s)	4.63	62.85	12.60
Frctn Loss (m)	0.56	Cum Volume (1000 m3)	352.50	256.47	117.47
C & E Loss (m)	0.01	Cum SA (1000 m2)	293.66	52.81	48.82

### SEZIONE 1

Plan: Plan 01 TEVERE 4 . RS: 1 Profile: PF 1					
E.G. Elev (m)	229.68	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.56	Wt. n-Val.	0.050	0.035	0.050
W.S. Elev (m)	229.11	Reach Len. (m)	295.00	227.00	220.00
Crit W.S. (m)	226.97	Flow Area (m2)	280.94	280.66	53.92
E.G. Slope (m/m)	0.001836	Area (m2)	280.94	280.66	53.92
Q Total (m3/s)	1243.00	Flow (m3/s)	179.44	1024.74	38.82
Top Width (m)	556.50	Top Width (m)	436.46	50.05	69.99
Vel Total (m/s)	2.02	Avg. Vel. (m/s)	0.64	3.65	0.72
Max Chl Dpth (m)	8.02	Hydr. Depth (m)	0.64	5.61	0.77
Conv. Total (m3/s)	29011.6	Conv. (m3/s)	4188.2	23917.3	906.1
Length Wtd. (m)	239.01	Wetted Per. (m)	436.55	54.49	70.03
Min Ch El (m)	221.09	Shear (N/m2)	11.58	92.73	13.86
Alpha	2.71	Stream Power (N/m s)	7.40	338.56	9.98
Frctn Loss (m)	0.23	Cum Volume (1000 m3)	467.65	323.25	161.80
C & E Loss (m)	0.13	Cum SA (1000 m2)	414.26	65.13	72.47

### SEZIONE 1.5

	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20047</b>	<b>UNITÀ</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA E UMBRIA</b>	<b>LSC-134/ALL. A</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse</b>	Pagina 31 di 32	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Plan: Plan 01 TEVERE 4 . RS: 1.5 Profile: PF 1					
E.G. Elev (m)	229.97	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.38	Wt. n-Val.	0.050	0.035	0.050
W.S. Elev (m)	229.59	Reach Len. (m)	160.00	150.00	392.00
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	163.71	398.61	13.51
E.G. Slope (m/m)	0.001640	Area (m2)	163.71	398.61	13.51
Q Total (m3/s)	1243.00	Flow (m3/s)	99.36	1136.09	7.55
Top Width (m)	379.34	Top Width (m)	251.73	100.89	26.72
Vel Total (m/s)	2.16	Avg. Vel. (m/s)	0.61	2.85	0.56
Max Chl Dpth (m)	7.91	Hydr. Depth (m)	0.65	3.95	0.51
Conv. Total (m3/s)	30693.8	Conv. (m3/s)	2453.6	28053.9	186.3
Length Wtd. (m)	155.64	Wetted Per. (m)	252.35	103.10	26.81
Min Ch El (m)	221.68	Shear (N/m2)	10.43	62.18	8.11
Alpha	1.60	Stream Power (N/m s)	6.33	177.21	4.53
Frctn Loss (m)	0.27	Cum Volume (1000 m3)	503.23	374.19	175.02
C & E Loss (m)	0.02	Cum SA (1000 m2)	469.31	76.45	91.43

## SEZIONE 2

Plan: Plan 01 TEVERE 4 . RS: 2 Profile: PF 1					
E.G. Elev (m)	230.09	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.16	Wt. n-Val.	0.050	0.035	0.050
W.S. Elev (m)	229.93	Reach Len. (m)	260.00	65.00	70.00
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	617.36	366.21	135.68
E.G. Slope (m/m)	0.000706	Area (m2)	617.36	366.21	135.68
Q Total (m3/s)	1243.00	Flow (m3/s)	376.92	798.59	67.49
Top Width (m)	722.96	Top Width (m)	501.53	71.57	149.86
Vel Total (m/s)	1.11	Avg. Vel. (m/s)	0.61	2.18	0.50
Max Chl Dpth (m)	8.47	Hydr. Depth (m)	1.23	5.12	0.91
Conv. Total (m3/s)	46766.6	Conv. (m3/s)	14181.2	30046.1	2539.3
Length Wtd. (m)	102.51	Wetted Per. (m)	501.57	75.26	149.90
Min Ch El (m)	221.46	Shear (N/m2)	8.53	33.71	6.27
Alpha	2.58	Stream Power (N/m s)	5.21	73.51	3.12
Frctn Loss (m)	0.11	Cum Volume (1000 m3)	604.76	399.05	180.24
C & E Loss (m)	0.02	Cum SA (1000 m2)	567.24	82.05	97.61

## SEZIONE 3

	<b>PROGETTISTA</b>  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20047</b>	<b>UNITÀ</b> <b>00</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA E UMBRIA</b>	<b>LSC-134/ALL. A</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse</b>	Pagina 32 di 32	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Plan: Plan 01 TEVERE 4 . RS: 3 Profile: PF 1					
E.G. Elev (m)	230.35	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.26	Wt. n-Val.	0.050	0.035	0.050
W.S. Elev (m)	230.08	Reach Len. (m)	1.00	320.00	538.00
Crit W.S. (m)		Flow Area (m2)	279.56	343.57	220.32
E.G. Slope (m/m)	0.000937	Area (m2)	279.56	343.57	220.32
Q Total (m3/s)	1243.00	Flow (m3/s)	151.76	901.94	189.30
Top Width (m)	524.35	Top Width (m)	333.37	60.46	130.52
Vel Total (m/s)	1.47	Avg. Vel. (m/s)	0.54	2.63	0.86
Max Chl Dpth (m)	8.81	Hydr. Depth (m)	0.84	5.68	1.69
Conv. Total (m3/s)	40603.1	Conv. (m3/s)	4957.4	29462.1	6183.6
Length Wtd. (m)	274.68	Wetted Per. (m)	334.84	66.08	132.53
Min Ch El (m)	221.27	Shear (N/m2)	7.67	47.79	15.28
Alpha	2.37	Stream Power (N/m s)	4.17	125.45	13.13
Frctn Loss (m)	0.22	Cum Volume (1000 m3)	605.21	512.61	276.01
C & E Loss (m)	0.03	Cum SA (1000 m2)	567.66	103.18	173.03

### SEZIONE 3.5

Plan: Plan 01 TEVERE 4 . RS: 3.5 Profile: PF 1					
E.G. Elev (m)	230.72	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.18	Wt. n-Val.		0.035	0.050
W.S. Elev (m)	230.55	Reach Len. (m)	605.00	436.00	68.00
Crit W.S. (m)	229.90	Flow Area (m2)		325.04	586.30
E.G. Slope (m/m)	0.001240	Area (m2)		325.04	586.30
Q Total (m3/s)	1243.00	Flow (m3/s)		749.20	493.80
Top Width (m)	537.67	Top Width (m)		90.32	447.35
Vel Total (m/s)	1.36	Avg. Vel. (m/s)		2.30	0.84
Max Chl Dpth (m)	8.01	Hydr. Depth (m)		3.60	1.31
Conv. Total (m3/s)	35302.8	Conv. (m3/s)		21278.2	14024.6
Length Wtd. (m)	345.20	Wetted Per. (m)		93.72	448.24
Min Ch El (m)	222.54	Shear (N/m2)		42.16	15.90
Alpha	1.87	Stream Power (N/m s)		97.18	13.39
Frctn Loss (m)	0.37	Cum Volume (1000 m3)	689.78	658.37	303.43
C & E Loss (m)	0.01	Cum SA (1000 m2)	668.50	136.05	192.68