

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI TOSCANA E UMBRIA	LSC-139/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 1 di 29	Rev. 0

Progetto:

RIFACIMENTO METANODOTTO SANSEPOLCRO – FOLIGNO
E OPERE CONNESSE

STUDIO
IDROLOGICO-IDRAULICO

ATTRAVERSAMENTO FIUME CHIASCIO
CON MICROTUNNEL
IN COMUNE DI BASTIA UMBRA (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 REGIONI TOSCANA E UMBRIA	LSC-139/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 2 di 29	Rev. 0

INDICE

1	PREMESSA.....	3
2	LOCALIZZAZIONE DELL'AREA	4
3	STUDIO IDROLOGICO	6
4	STUDIO IDRAULICO.....	10
4.1	Metodologia adottata	10
4.2	Ricostruzione dei livelli di piena.....	12
4.3	Risultati della modellazione	13
5	RISCHI IDRAULICI.....	15
5.1	Erosione di fondo alveo	15
5.2	Approfondimento di fondo alveo	16
5.3	Erosione spondale	16
5.4	Cambio di percorso e taglio di meandro	17
5.5	Stima dello spessore di erosione generalizzata in caso di evento critico	17
5.6	Approfondimenti localizzati (buche in alveo).....	19
5.7	Risultati delle verifiche	21
6	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	23

ALLEGATO 1: RISULTATI DELLA MODELLAZIONE IDRAULICA

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI TOSCANA E UMBRIA	LSC-139/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 3 di 29	Rev. 0

1 PREMESSA

La presente relazione è relativa allo studio idrologico e idraulico in corrispondenza dell'attraversamento subalveo del F. Chiascio da parte del "Metanodotto Sansepolcro-Foligno DN 400 (16") – DP 75 bar", alla progressiva PK 81+789, che ricade nel territorio del comune di Bastia Umbra (PG). Esso è previsto con la tecnologia trenchless del *Microtunneling*.

Lo studio è di supporto alla Relazione di Compatibilità Idraulica LSC-139 (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 valutare 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 geonostiche in loco.

	PROGETTISTA  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI TOSCANA E UMBRIA	LSC-139/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 4 di 29	Rev. 0

2 LOCALIZZAZIONE DELL'AREA

L'area in cui si colloca l'intervento in oggetto è localizzata lungo il corso d'acqua del F. Chiascio nella parte bassa del suo sviluppo, nel territorio del comune Bastia Umbra presso la località Costano, 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.

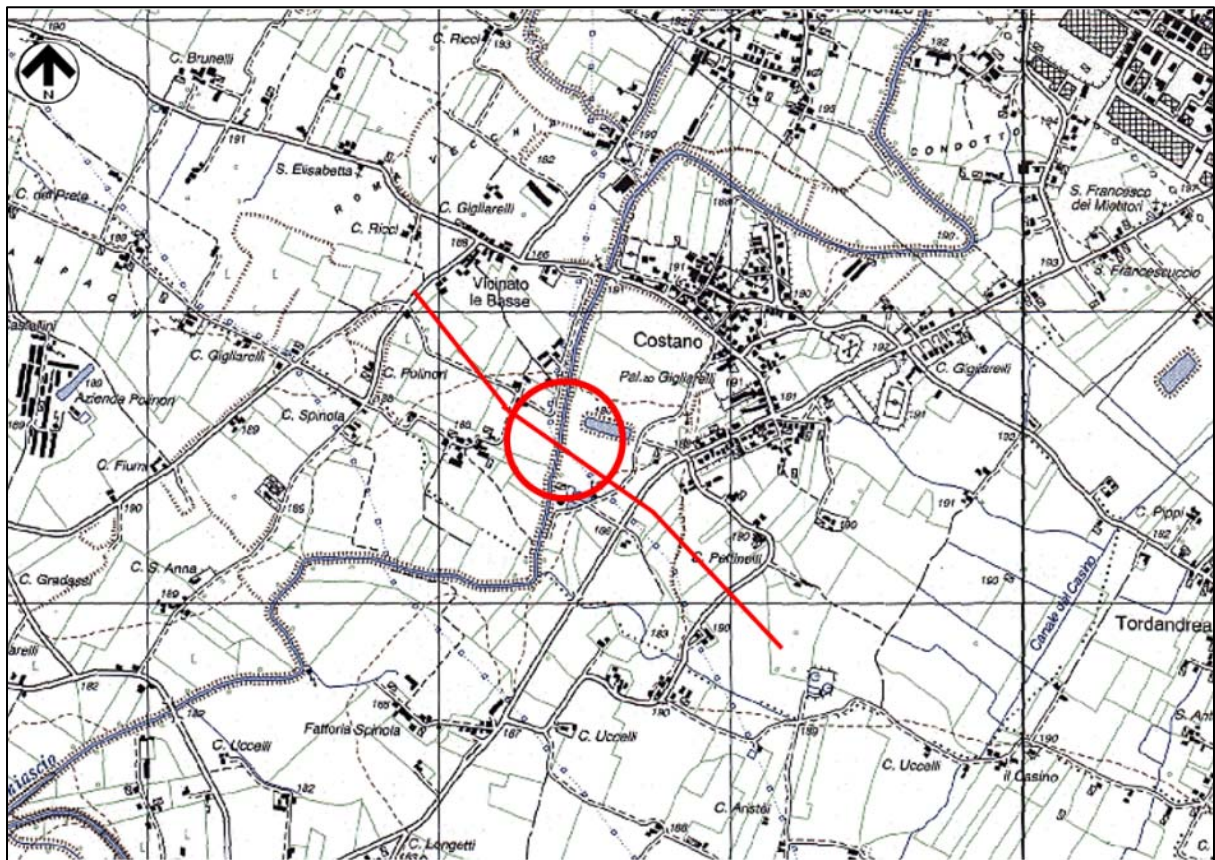


Figura 2/A – Inquadramento a scala 1:25.000 con indicata la posizione dell'attraversamento in studio

A livello della cartografia CTR della regione Umbria, l'attraversamento si ubica nel foglio 311110, 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 e l'area di attraversamento del corso d'acqua con cerchio rosso. E' indicato schematicamente con sagoma rettangolare il tratto di condotta in subalveo la cui installazione è prevista tramite posa con la metodologia trenchless del microtunneling. 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 REGIONI TOSCANA E UMBRIA	LSC-139/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 5 di 29	Rev. 0

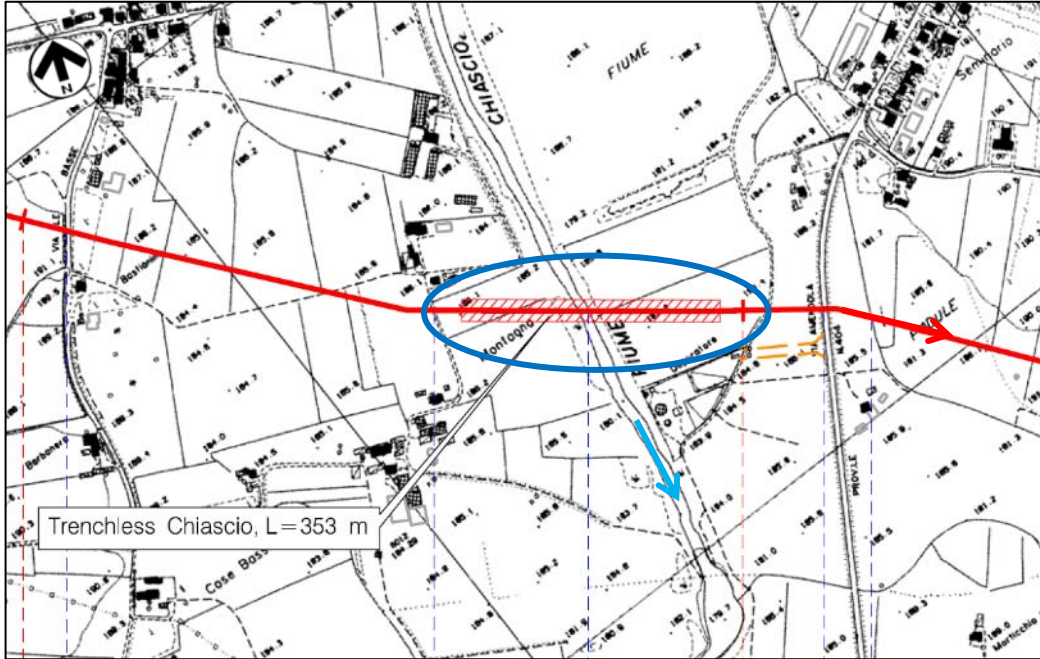


Figura 1/B – Stralcio CTR con localizzazione dell’attraversamento

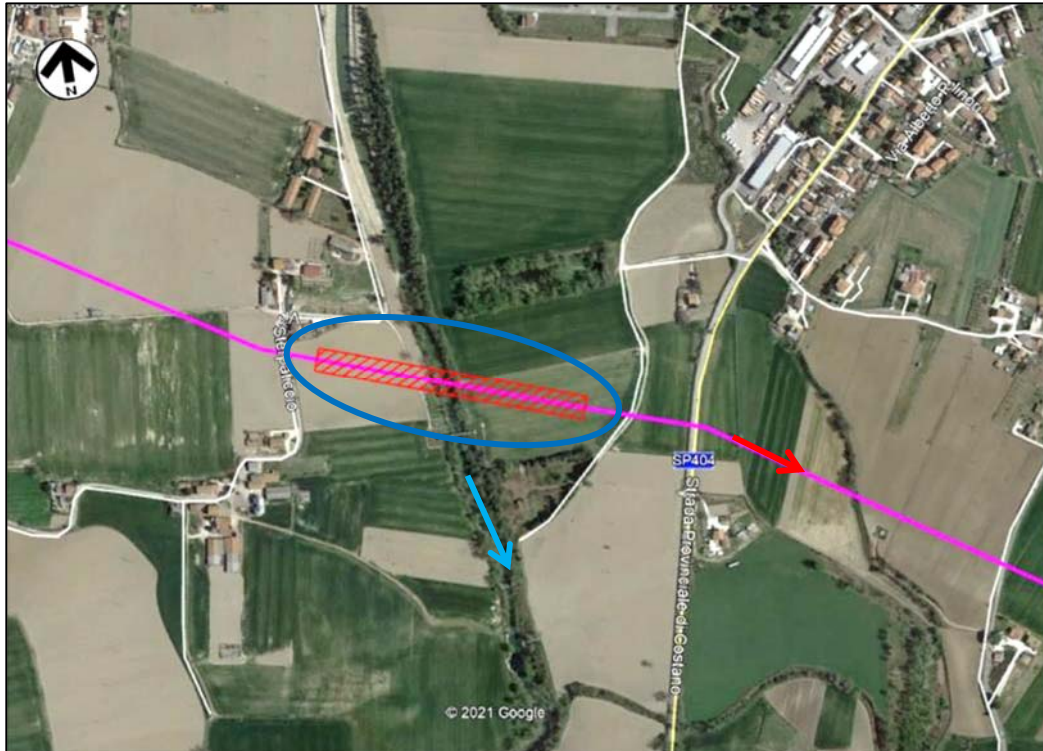


Figura 2/C – Immagine aerea con localizzazione della sezione di attraversamento (su base Google Earth)

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI TOSCANA E UMBRIA	LSC-139/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 6 di 29	Rev. 0

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, come previsto da NTA di AdB Tevere.

Portate di massima piena al colmo

Lungo l'asta del Chiascio sono presenti due stazioni di misura, poste a:

- Torgiano, sull'asta del Chiascio dopo la confluenza con il Topino, poco a monte della confluenza col Tevere (bacino sotteso 1956 km²), 37 anni di osservazione;
- Ponte Bettona, sull'asta del Topino immediatamente a monte della confluenza col Chiascio (bacino sotteso 1220 km²), 30 anni di osservazione.

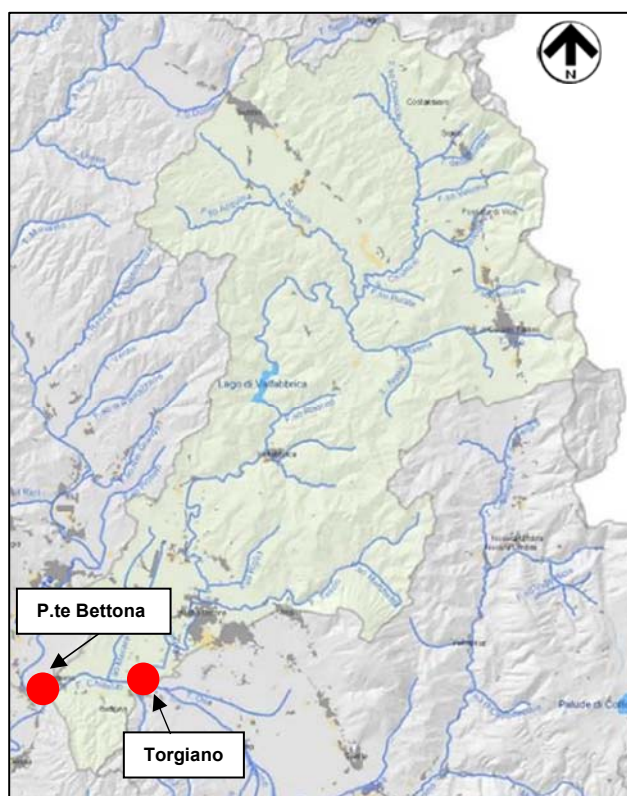


Figura 3/A – Bacino del Chiascio: ubicazione delle stazioni idrometrografiche

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI TOSCANA E UMBRIA	LSC-139/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 7 di 29	Rev. 0

Stazione	Tr= 10 anni	Tr= 50 anni	Tr= 100 anni	Tr= 200 anni	Tr= 500 anni
Torgiano	>500/700	>700/950	>800/1100	>900/1300	>1200/1500
Ponte Bettona	>220/280	>300/400	>350/450	>400/550	>550/750

Tabella 3/A – Portate di massima piena al colmo F. Chiascio (m³/s)
 (stimate dalla modellazione/indicate dalla serie storica)
 (da AdB, Piano Direttorio Bacino F. Tevere)

Per il F. Chiascio si è osservata una disomogeneità morfologica tra i due sottobacini sottesi alle stazioni di misura, motivo per il quale AdB non ha utilizzato, come invece per il bacino dell'Alto Tevere, il metodo morfologico speditivo per il calcolo delle portate per diversi sottobacini, che lega le portate di massima piena con l'area sottesa secondo una relazione esponenziale, basandosi sulle portate di riferimento alle stazioni di misura.

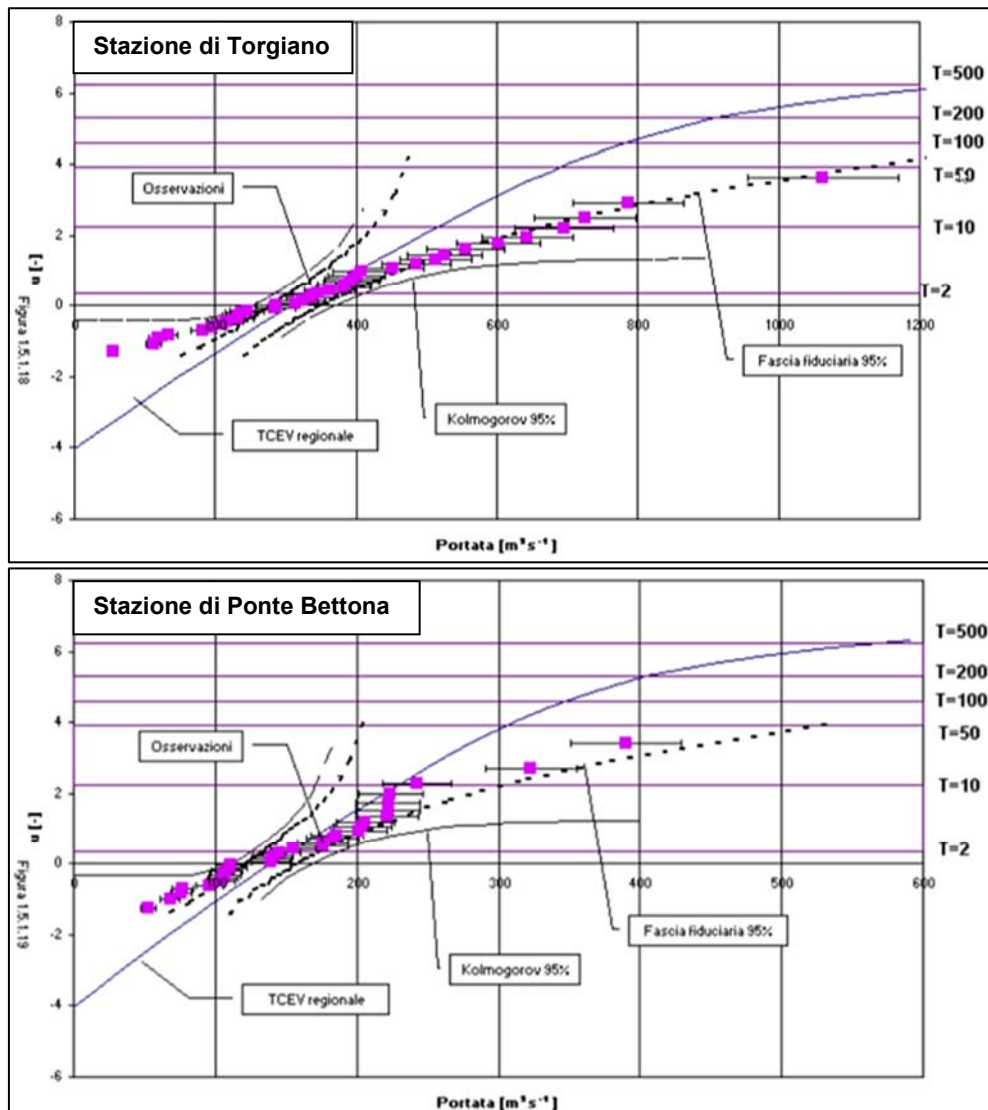


Figura 3/B – Distribuzione di probabilità cumulata delle portate al colmo di piena massime annuali in funzione del tempo di ritorno. Bacino Chiascio (da AdB, Piano Direttorio Bacino F. Tevere)

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI TOSCANA E UMBRIA	LSC-139/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 8 di 29	Rev. 0

Il calcolo delle portate di massima piena, da utilizzare come riferimento per la modellistica idraulica, è stato effettuato da AdB secondo la metodologia sintetica di tipo cinematico, secondo la quale la massima portata al colmo di piena è stimabile con la classica formula razionale:

$$Q_{\max,Tr} = (h_{d,Tr} \cdot \phi \cdot r \cdot A) / 3.6 \cdot t_c$$

in cui:

- $Q_{\max,Tr}$ portata di picco di assegnato tempo di ritorno Tr
- $h_{d,Tr}$ altezza di pioggia di durata d e tempo di ritorno Tr
- ϕ coefficiente di deflusso
- r coefficiente di ragguaglio
- d durata della pioggia critica
- t_c tempo di corrivazione
- A superficie del bacino

Per quanto riguarda la stima delle altezze di pioggia, si utilizzano le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica LSPP regionalizzate.

LSPP BACINO CHIASCIO METODO ABT				
d [ore]	R50 [mm]	R100 [mm]	R200 [mm]	R500 [mm]
0	0,00	0,00	0,00	0,00
1	53,70	61,93	70,47	81,95
2	65,65	75,72	86,16	100,20
3	73,84	85,17	96,91	112,70
4	80,27	92,58	105,34	122,51
5	85,63	98,77	112,38	130,70
6	90,28	104,13	118,49	137,79
7	94,41	108,89	123,90	144,09
8	98,14	113,19	128,79	149,78
9	101,55	117,12	133,27	154,99
10	104,70	120,75	137,40	159,80
11	107,63	124,14	141,26	164,28
12	110,38	127,31	144,86	168,47
13	112,98	130,30	148,27	172,43
14	115,43	133,13	151,49	176,18
15	117,76	135,82	154,55	179,74
16	119,99	138,39	157,47	183,13
17	122,12	140,84	160,26	186,38
18	124,16	143,20	162,94	189,49
19	126,12	145,46	165,52	192,49
20	128,01	147,64	168,00	195,37

Tabella 3/B - LSPP per il bacino del Chiasco per diversi Tr

La durata della pioggia critica viene assunta pari al tempo di corrivazione del bacino t_c , che può essere calcolato mediante la relazione di Giandotti:

$$t_c = (4 \cdot A^{1/2} + 1.5 \cdot L) / 0.8 \cdot H_m^{1/2}$$

essendo:

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI TOSCANA E UMBRIA	LSC-139/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 9 di 29	Rev. 0

A superficie del bacino
 L lunghezza dell'asta principale
 H_m altitudine media del bacino sulla sezione

Nell'ambito dello studio in oggetto, al fine di omogeneità di assunzione dell'input idrologico, sono stati assunti 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 CH 0043 prossima alla sezione di attraversamento in esame (v. Fig. 3/C) sono riportati nella seguente tabella.

Tempo di ritorno (anni)	Portata massima piena al colmo (m ³ /s)
50	551
100	636
200	723
500	841

Tabella 3/C – Portate di massima piena al colmo (da PAI AbB Tevere)

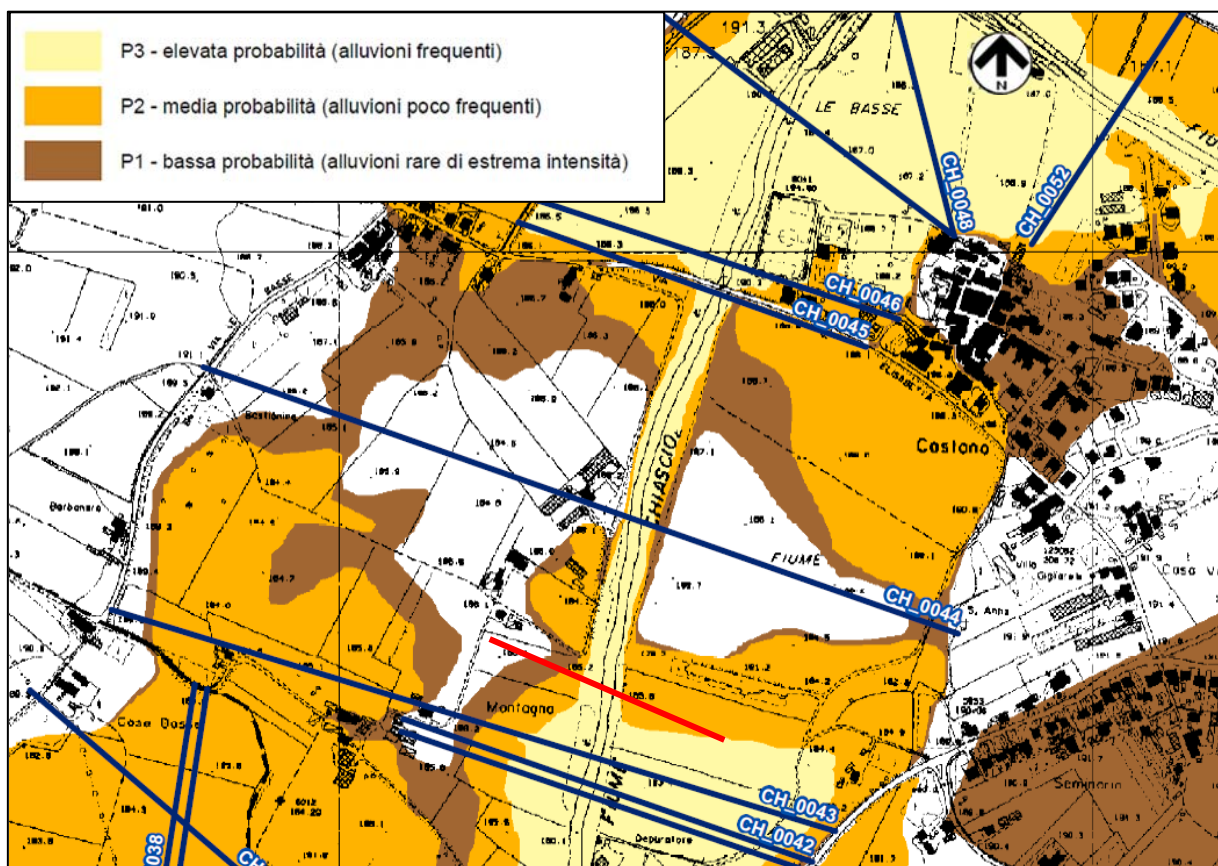


Figura 3/C – Stralcio della mappa di pericolosità del PGRAAC (TAV. 22 P) con localizzazione sezioni PAI (in rosso sezione di attraversamento)

Pertanto le elaborazioni idrauliche sono state condotte, considerando il tempo di ritorno di progetto pari a 200 anni, per una portata di piena al colmo di:

$$Q_{200} = 723 \text{ m}^3/\text{s}$$

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI TOSCANA E UMBRIA	LSC-139/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 10 di 29	Rev. 0

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 (come prescritto da NTA di AdB Tevere) pari a $Q_{200} = 723 \text{ m}^3/\text{s}$.

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 addotte si ottiene:

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI TOSCANA E UMBRIA	LSC-139/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 11 di 29	Rev. 0

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

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

dove:

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

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI TOSCANA E UMBRIA	LSC-139/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 12 di 29	Rev. 0

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.

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 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 6 sezioni trasversali di cui 3 rilevate ad hoc e 3 interpolate, la cui ubicazione è riportata nella planimetria di **Errore**. **L'origine riferimento non è stata trovata..**

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA E UMBRIA	LSC-139/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 13 di 29	Rev. 0

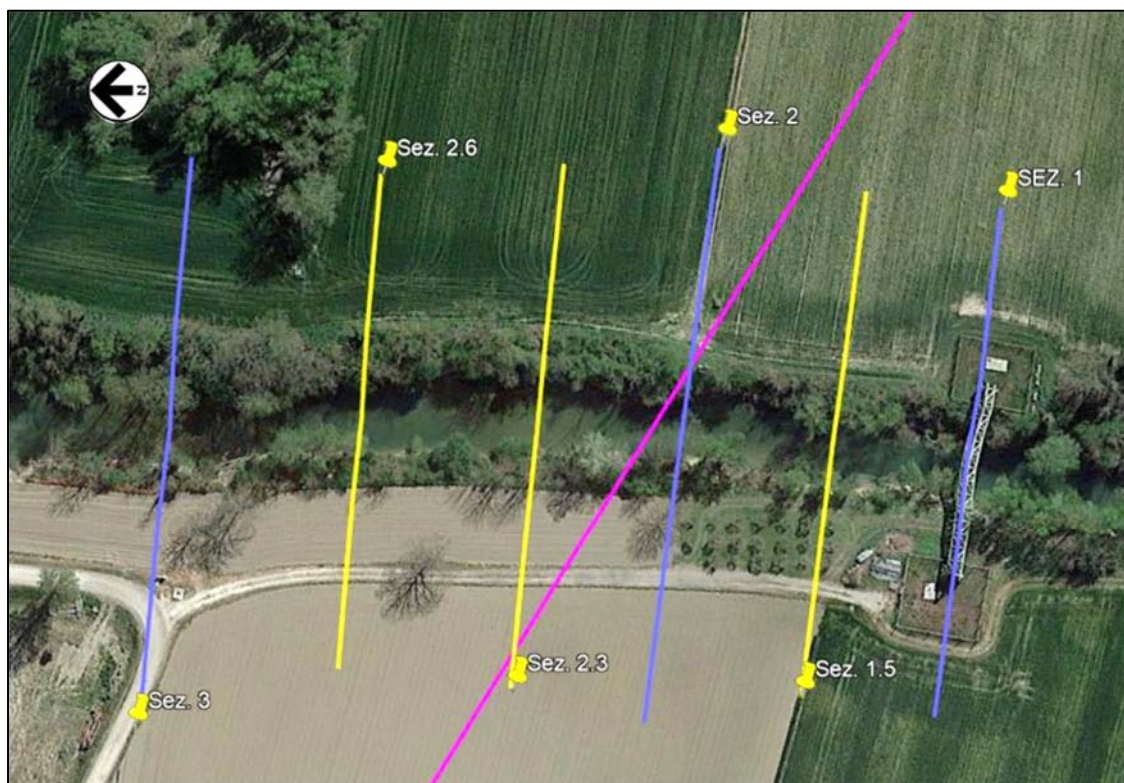


Figura 4.2/A – Planimetria del tratto di corso modellato con riportate le sezioni di studio
(in blu sezioni rilevate, in giallo interpolate)

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 di fondo e del livello idrico, output del programma, è rappresentata in Figura 4.3/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, l'alveo inciso nella piana alluvionale di circa 7 m non è sufficiente a contenere la piena di progetto ma può aver luogo esondazione, sia in destra che in sinistra;
- i battenti idrici in alveo a piene rive possono arrivare lungo il tratto modellato a valori anche di poco superiori di 7 m, ai quali si sommano nel caso di piena $T_r = 200$ anni le altezze di esondazione arrivando a valori nella sezione di attraversamento a 7.24 m;
- nella sezione di attraversamento le velocità del flusso idrico in alveo sono pari a 4.51 m/s; nella piana alluvionale le velocità del flusso d'esondazione possono arrivare a circa 1 m/s.

	PROGETTISTA  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA E UMBRIA	LSC-139/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 14 di 29	Rev. 0

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	723	177.75	184.47	6.72	0.34	4.48	0.94	0.64
2.6667*	723	177.41	184.34	6.93	0.44	4.38	0.97	0.61
2.3333*	723	177.07	184.19	7.12	0.52	4.38	1.00	0.61
2	723	176.73	183.97	7.24	0.58	4.51	1.03	0.64
1.5000*	723	176.15	183.74	7.59	0.47	4.58	0.82	0.66
1	723	175.58	183.53	7.95	0.37	4.61	0.60	0.68

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

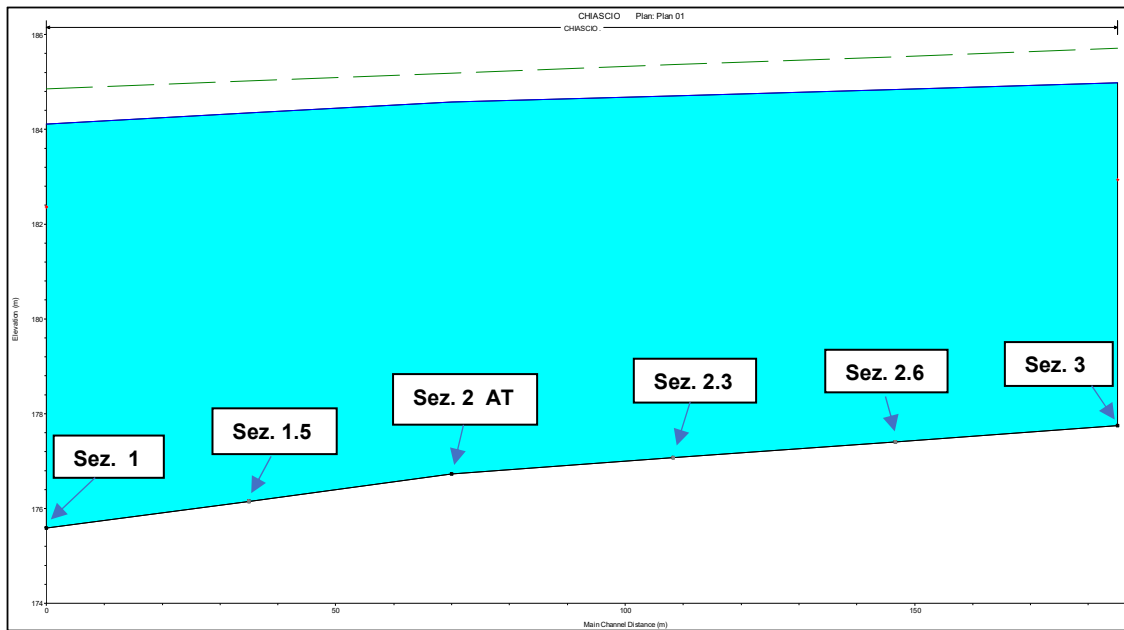


Figura 4.3/A – Profilo di fondo e del livello idrico duecentennale del tratto modellato

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI TOSCANA E UMBRIA	LSC-139/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 15 di 29	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 REGIONI TOSCANA E UMBRIA	LSC-139/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 16 di 29	Rev. 0

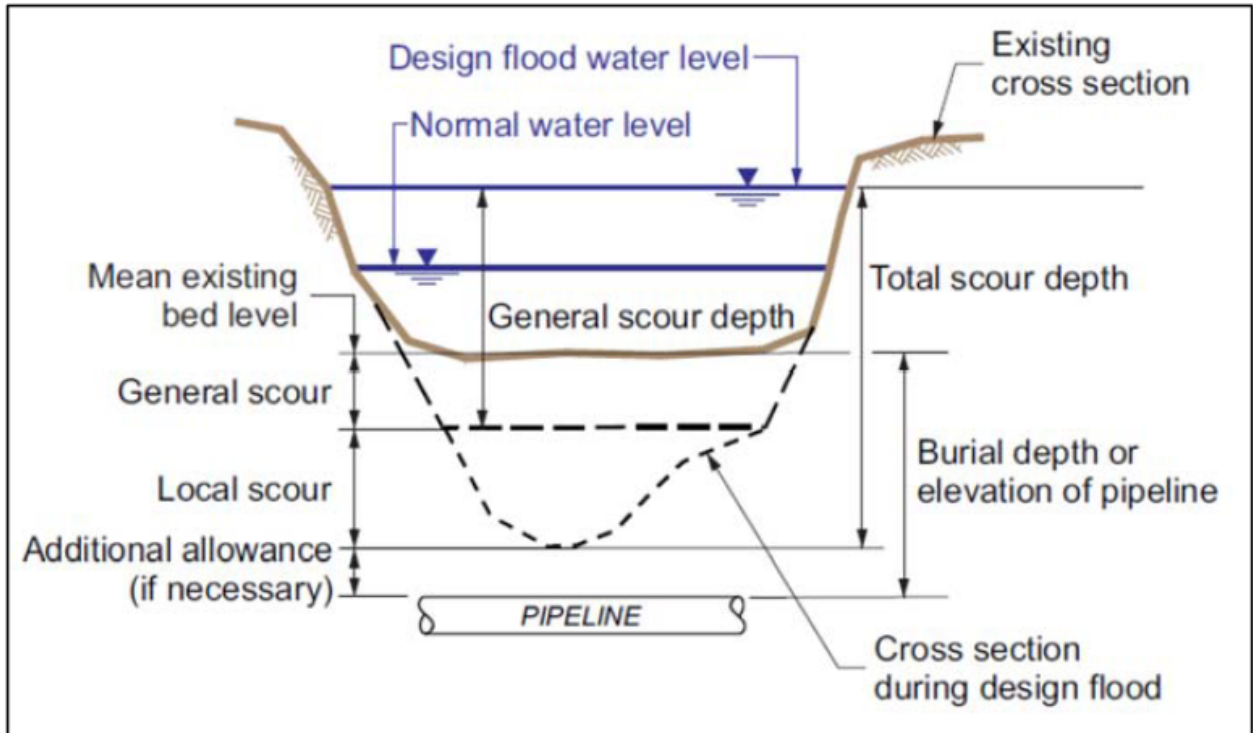


Figura 5.1/A – Schema di erosione generale e locale (da Veldeman, 2008)

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.

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI TOSCANA E UMBRIA	LSC-139/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 17 di 29	Rev. 0

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.

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI TOSCANA E UMBRIA	LSC-139/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 18 di 29	Rev. 0

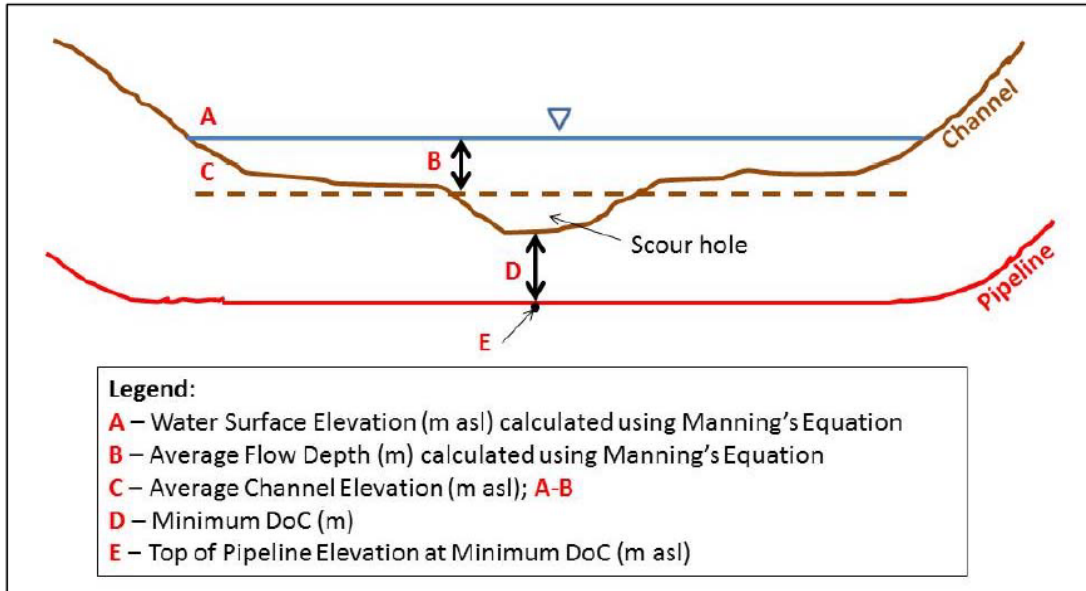


Figura 5.5/A – Schema di calcolo dell’erosione di fondo (da Veldeman, 2008)
 (DoC=depth of cover, spessore di copertura)

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)

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI TOSCANA E UMBRIA	LSC-139/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 19 di 29	Rev. 0

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

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

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_r, q_i = rispettivamente la portata unitaria nel caso di piene rive e di piena di progetto

m = esponente pari a 0.67 ± 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.

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI TOSCANA E UMBRIA	LSC-139/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 20 di 29	Rev. 0

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 fondo³;
- v** = velocità media nell'alveo inciso (m/s);
- q** = Q/L: portata per unità di larghezza dell'alveo (m³/s m);
- Q** = portata nell'alveo inciso (m³/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}	5,13 m
Velocità canale	v_{ch}	4,51 m/s
Portata canale	Q_{ch}	691,26 m ³ /s
Larghezza canale	L_{ch}	29,88 m
Portata unitaria	q_{ch}	23,13 m ³ /s/m
Carico totale	H_{ch}	5,24 m
Dislivello buca	a	0,01 m
Approf. local.	s	2,62 m

Il calcolo ha evidenziato che nella sezione di attraversamento gli approfondimenti localizzati possono avere una profondità di 2.62 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:

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

¹ Schoklitsch, A, Stauraum verlandung und kolkbewehr, Springer Ed., Vienna, 1935.

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

³ 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 REGIONI TOSCANA E UMBRIA	LSC-139/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 21 di 29	Rev. 0

in cui:

τ_0 =tensione tangenziale (kg/m^2);
 γ_s =peso specifico delle particelle (kg/m^3);
 γ_w =peso specifico dell'acqua (1000 kg/m^3);
 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:

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

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_0 " 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 " $\tau_0 / [(\gamma_s - \gamma_w)d]$ " 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 nella sezione interessata dall'attraversamento del metanodotto in progetto la corrente può esercitare nel canale una tensione tangenziale massima in caso di piena duecentennale $\tau_0 = 208 \text{ N/m}^2$, cui corrisponde una capacità di trasporto massima di un clasto di circa 26 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 in materiale prevalentemente incoerente, fenomeni di erosione spondale si ritengono possibili. La vegetazione ripariale attualmente presente rallenta eventuali fenomeni di spostamento delle sponde. Dall'esame delle immagini aeree disponibili riguardanti gli ultimi decenni non si è apprezzata una sensibile instabilità planimetrica. Si consideri che l'attraversamento verrà realizzato con un

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI TOSCANA E UMBRIA	LSC-139/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 22 di 29	Rev. 0

microtunnel lungo 353 m e che pertanto la tubazione rimane per un lungo tratto molto approfondita rispetto al fondo alveo, così che eventuali spostamenti delle sponde non costituiscono un rischio per il gasdotto;

- stabilità altimetrica: non si sono osservati evidenti segni di tendenza all'approfondimento generalizzato dell'alveo; la presenza di soglie a monte (di nuova realizzazione) e a valle contribuiscono a stabilizzare l'alveo;
- 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 in circa 2.56 m, e la profondità di buche locali in alveo risulta pari a circa 2.62 m.

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI TOSCANA E UMBRIA	LSC-139/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 23 di 29	Rev. 0

6 CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Il tracciato del metanodotto Sansepolcro-Foligno attraversa l'alveo del F. Chiasco in località Costano, nel territorio del comune di Bastia Umbra (PG) alla progressiva PK 81+789 km. L'attraversamento è previsto con l'impiego della tecnologia trenchless del microtunnel.

La sezione prevista di attraversamento si localizza nell'ambito dell'ampio fondovalle del fiume in corrispondenza di un tratto di corso subrettilineo.

L'alveo ha una sezione incisa profonda circa 7 m ed una larghezza tra i cigli spondali dell'ordine di 20 m. I terreni presenti sono costituiti prevalentemente da alluvione grossolana, ghiaiosa e ciottolosa.

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'esondazione di circa 7.24 m e nella velocità della corrente, con valori di circa 4.5 m/s in alveo e di circa 1 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 (circa 2.56 m per le "arature di fondo, 2.62 m per le "buche in alveo").

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI TOSCANA E UMBRIA	LSC-139/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 24 di 29	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 REGIONI TOSCANA E UMBRIA	LSC-139/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 25 di 29	Rev. 0

LEGENDA

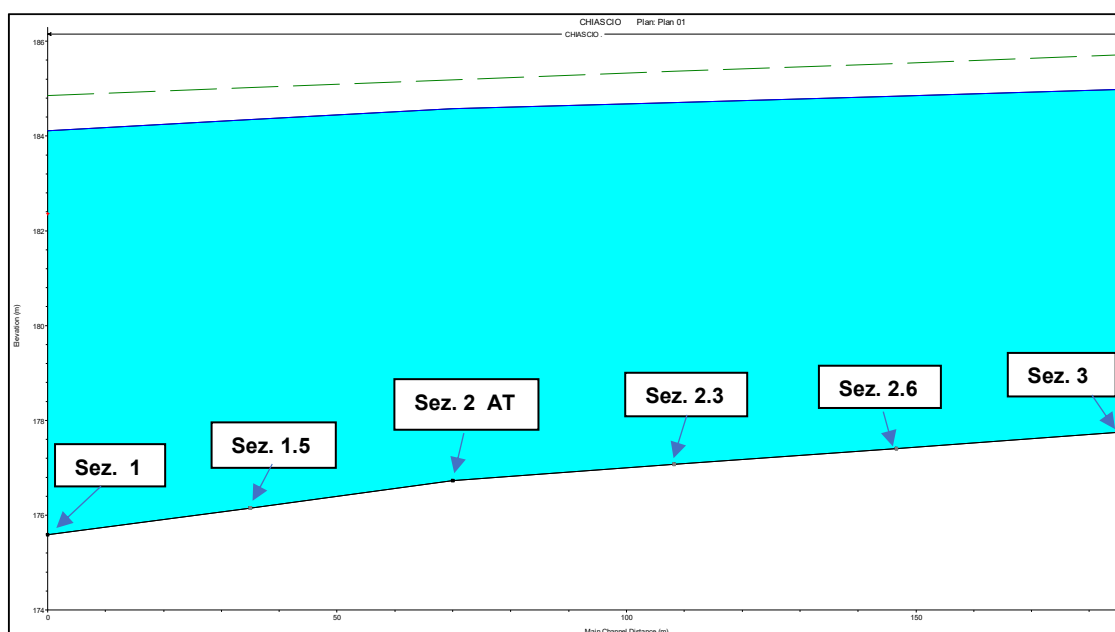
Reach	Ramo fluviale
River Sta	Sezione fluviale
Q Total (m ³ /s)	Portata complessiva defluente nell'intera sezione trasversale
Min Ch El (m)	Minima quota dell'alveo nel canale principale
W.S. Elev (m)	Quota del pelo libero
Crit W.S. (m)	Quota critica del pelo libero
E.G. Elev (m)	Quota della linea del 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' REGIONI TOSCANA E UMBRIA	LSC-139/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 26 di 29	Rev. 0

TABELLA RIASSUNTIVA DEI RISULTATI DELLA MODELLAZIONE

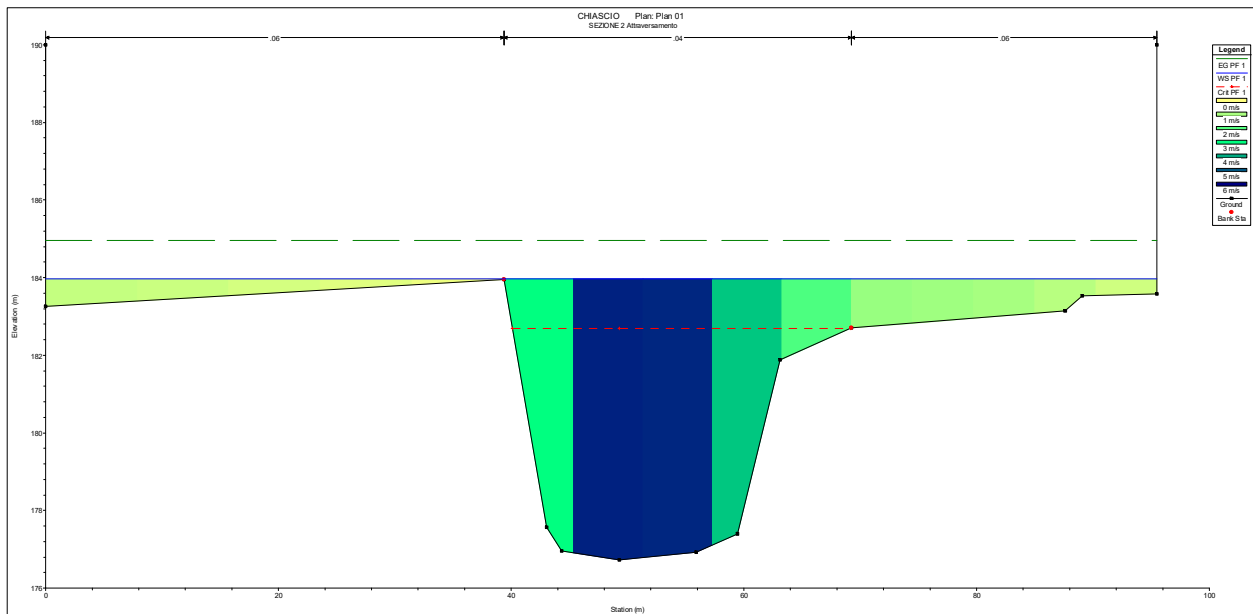
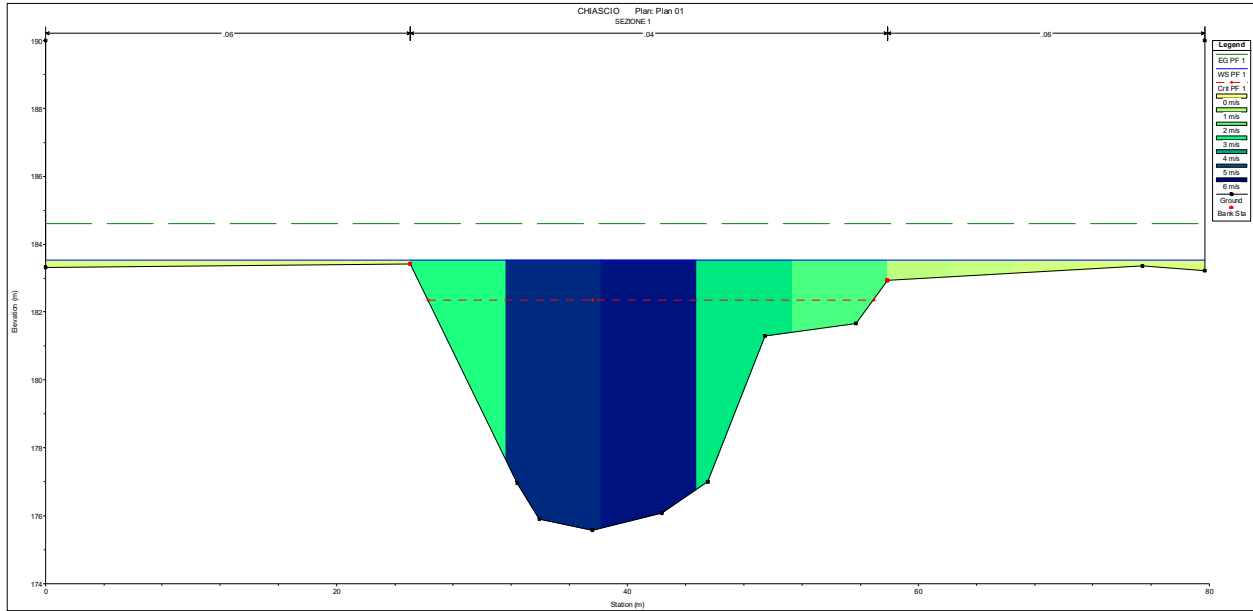
Sezione	Portata	Quota fondo	Livelli idrici	Battenti idrici	Vel. golena sin	Vel. canale	Vel. golena dx	n. Froude
	(m ³ /s)	(m)	(m)	(m)	(m/s)	(m/s)	(m/s)	-
3	723	177.75	184.47	6.72	0.34	4.48	0.94	0.64
2.6667*	723	177.41	184.34	6.93	0.44	4.38	0.97	0.61
2.3333*	723	177.07	184.19	7.12	0.52	4.38	1.00	0.61
2	723	176.73	183.97	7.24	0.58	4.51	1.03	0.64
1.5000*	723	176.15	183.74	7.59	0.47	4.58	0.82	0.66
1	723	175.58	183.53	7.95	0.37	4.61	0.60	0.68

PROFILO LONGITUDINALE CON PROFILO DI PIENA DUECENTENANLE

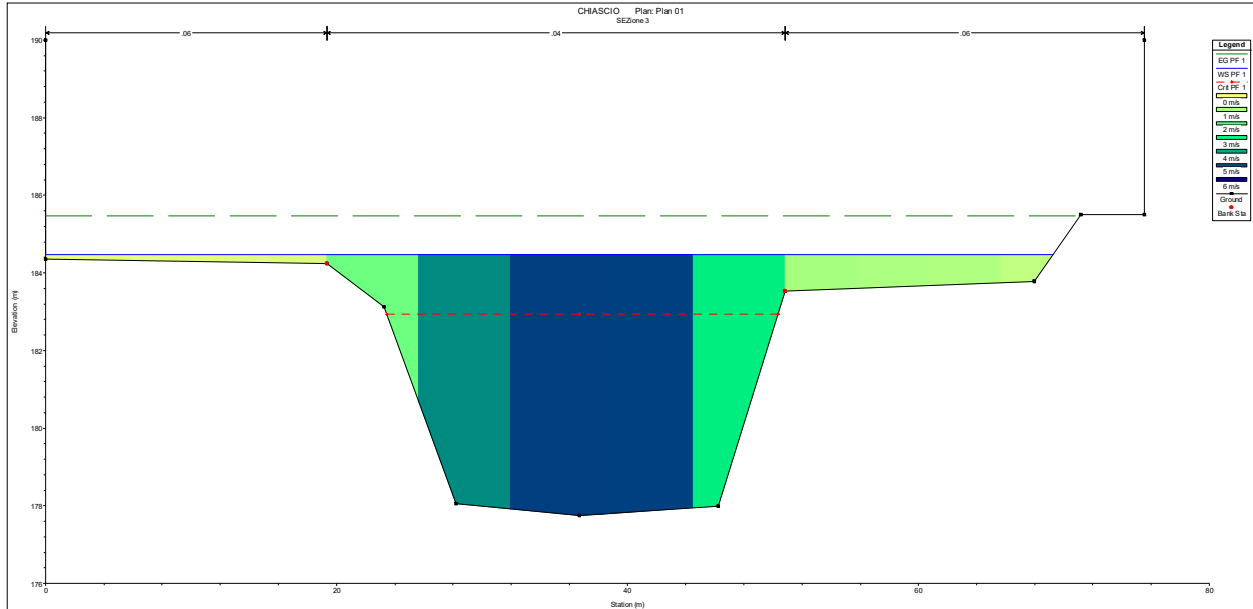


	PROGETTISTA  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA E UMBRIA	LSC-139/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 27 di 29	Rev. 0

SEZIONI (da valle a monte)



	PROGETTISTA  consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI TOSCANA E UMBRIA	LSC-139/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 28 di 29	Rev. 0



SEZIONE 3

RISULTATI DI DETTAGLIO (da valle a monte)

Plan: Plan 01 CHIASCIO , RS: 1 Profile: PF 1					
E.G. Elev (m)	184.61	Element	Right OB	Channel	Left OB
Vel Head (m)	1.07	Wt. n-Val.	0.060	0.040	0.060
W.S. Elev (m)	183.53	Reach Len. (m)			
Crit W.S. (m)	182.35	Flow Area (m2)	4.24	155.46	7.84
E.G. Slope (m/m)	0.005202	Area (m2)	4.24	155.46	7.84
Q Total (m3/s)	723.00	Flow (m3/s)	1.55	716.73	4.72
Top Width (m)	79.68	Top Width (m)	25.05	32.84	21.79
Vel Total (m/s)	4.32	Avg. Vel. (m/s)	0.37	4.61	0.60
Max Chl Dpth (m)	7.95	Hydr. Depth (m)	0.17	4.73	0.36
Conv. Total (m3/s)	10024.0	Conv. (m3/s)	21.5	9937.1	65.4
Length Wtd. (m)		Wetted Per. (m)	25.27	38.03	22.10
Min Ch El (m)	175.58	Shear (N/m2)	8.55	208.57	18.09
Alpha	1.13	Stream Power (N/m s)	3.13	961.58	10.89
Frctn Loss (m)		Cum Volume (1000 m3)			
C & E Loss (m)		Cum SA (1000 m2)			

SEZIONE 1

	PROGETTISTA  <small>consulenza materiali - ispezioni - saldatura progettazione - direzione lavori</small>	COMMESSA NR/20047	UNITÀ 00
	LOCALITÀ REGIONI TOSCANA E UMBRIA	LSC-139/ALL. A	
	PROGETTO Rifacimento Metanodotto Sansepolcro – Foligno e opere connesse	Pagina 29 di 29	Rev. 0

Plan: Plan 01 CHIASCIO . RS: 2 Profile: PF 1					
E.G. Elev (m)	184.96	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.99	Wt. n-Val.	0.060	0.040	0.060
W.S. Elev (m)	183.97	Reach Len. (m)	34.97	34.97	34.97
Crit W.S. (m)	182.69	Flow Area (m2)	14.30	153.27	22.83
E.G. Slope (m/m)	0.004706	Area (m2)	14.30	153.27	22.83
Q Total (m3/s)	723.00	Flow (m3/s)	8.23	691.26	23.51
Top Width (m)	95.49	Top Width (m)	39.36	29.88	26.25
Vel Total (m/s)	3.80	Avg. Vel. (m/s)	0.58	4.51	1.03
Max Chl Dpth (m)	7.24	Hydr. Depth (m)	0.36	5.13	0.87
Conv. Total (m3/s)	10539.8	Conv. (m3/s)	119.9	10077.1	342.7
Length Wtd. (m)	34.97	Wetted Per. (m)	40.07	35.93	26.69
Min Ch El (m)	176.73	Shear (N/m2)	16.47	196.81	39.46
Alpha	1.35	Stream Power (N/m s)	9.47	887.68	40.64
Frctn Loss (m)	0.17	Cum Volume (1000 m3)	0.61	10.80	1.04
C & E Loss (m)	0.01	Cum SA (1000 m2)	2.25	2.19	1.68

SEZIONE 2 ATTRAVERSAMENTO

Plan: Plan 01 CHIASCIO . RS: 3 Profile: PF 1					
E.G. Elev (m)	185.47	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	1.00	Wt. n-Val.	0.060	0.040	0.060
W.S. Elev (m)	184.47	Reach Len. (m)	38.36	38.36	38.36
Crit W.S. (m)	182.93	Flow Area (m2)	3.27	158.16	14.27
E.G. Slope (m/m)	0.004529	Area (m2)	3.27	158.16	14.27
Q Total (m3/s)	723.00	Flow (m3/s)	1.12	708.44	13.44
Top Width (m)	69.22	Top Width (m)	19.33	31.52	18.37
Vel Total (m/s)	4.11	Avg. Vel. (m/s)	0.34	4.48	0.94
Max Chl Dpth (m)	6.72	Hydr. Depth (m)	0.17	5.02	0.78
Conv. Total (m3/s)	10743.3	Conv. (m3/s)	16.6	10527.0	199.8
Length Wtd. (m)	38.36	Wetted Per. (m)	19.44	36.41	18.54
Min Ch El (m)	177.75	Shear (N/m2)	7.47	192.94	34.18
Alpha	1.16	Stream Power (N/m s)	2.55	864.23	32.20
Frctn Loss (m)	0.16	Cum Volume (1000 m3)	1.66	29.04	3.15
C & E Loss (m)	0.01	Cum SA (1000 m2)	5.63	5.73	4.09

SEZIONE 3