

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 1 di 60	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

PROGETTO

RIFACIMENTO METANODOTTO LIVORNO – PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75bar e opere connesse

Attraversamento in subalveo

BOTRO ZIMBRONE

(km: 33,005)

STUDIO IDROLOGICO - IDRAULICO E RELAZIONE TECNICA DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA

0	Emissione		Vitelli	Caccavo	Santi
Rev.	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato	Data

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 2 di 60	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

INDICE

1	GENERALITÀ	4
1.1	Premessa	4
1.2	Scopo e descrizione dell'elaborato	4
1.3	Disegno di Attraversamento	5
2	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	6
3	CARATTERIZZAZIONE DELL'AMBITO IN ESAME	8
3.1	Assetto idrografico e descrizione generale del bacino del corso d'acqua	8
3.2	Descrizione dell'area di attraversamento	9
4	VALUTAZIONI IDROLOGICHE	11
4.1	Generalità	11
4.2	Considerazioni specifiche preliminari	11
4.3	Sezione di studio - Parametri morfometrici del bacino	11
4.4	Metodo Indiretto (Afflussi-Deflussi)	13
4.4.1	<u>Generalità</u>	13
4.4.2	<u>Criteri generali di valutazione dei parametri idrologici</u>	14
4.4.3	<u>Individuazione dei parametri idrologici</u>	18
4.4.4	<u>Risultati delle elaborazioni idrologiche</u>	21
4.4.5	<u>Validazione dei risultati</u>	21
4.5	Portata di progetto	21
5	STUDIO IDRAULICO IN MOTO PERMANENTE	22
5.1	Presupposti e limiti dello studio	22
5.2	Assetto geometrico e modellazione dell'alveo	23
5.2.1	<u>Assetto geometrico di modellazione</u>	23
5.2.2	<u>Dati di input e condizioni al contorno</u>	25
5.3	Risultati della simulazione idraulica	25
5.4	Analisi dei risultati conseguiti	30
6	VALUTAZIONE EROSIONI DI FONDO ALVEO	31
6.1	Generalità	31
6.2	Criteri di calcolo	32
6.3	Stima dei massimi approfondimenti d'alveo attesi	34
6.4	Analisi dei risultati e considerazioni progettuali	34
7	METODOLOGIA COSTRUTTIVA E SCELTE PROGETTUALI	35
7.1	Premessa	35
7.2	Metodologia operativa: Scavi a cielo aperto	35
7.3	Geometria della condotta ed interventi di ripristino	37

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 3 di 60	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

8	VALUTAZIONI INERENTI ALLA COMPATIBILITA' IDRAULICA	38
8.1	Quadro normativo generale	38
8.1.1	<u>Direttiva 2007/60/CE (Floods Directive - FD")</u>	38
8.1.2	<u>D.Lgs. 49/2010</u>	38
8.1.3	<u>Piani di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)</u>	39
8.2	Quadro normativo di riferimento per l'ambito in esame	41
8.2.1	<u>Premessa</u>	41
8.2.2	<u>PGRA del Distretto Appennino Settentrionale</u>	41
8.2.3	<u>L.R. n. 41/2018</u>	43
8.3	Interferenze con PGRA nell'ambito di attraversamento del corso d'acqua	44
8.4	Analisi delle condizioni di compatibilità idraulica	45
8.4.1	<u>Considerazioni di carattere generale</u>	45
8.4.2	<u>Considerazioni specifiche inerenti all'ambito di attraversamento dell'alveo</u>	46
8.4.3	<u>Considerazioni specifiche inerenti ai tratti di percorrenza di linea delle aree inondabili</u>	47
8.5	Considerazioni conclusive sulla compatibilità idraulica	47
9	CONCLUSIONI	49
	APPENDICE 1: STUDIO IDRAULICO / METODOLOGIA DI CALCOLO	50
	APPENDICE 2: STUDIO IDRAULICO / REPORT PROGRAMMA HEC RAS	55
	ANNESSO:	
	• Disegno di Attraversamento (cfr. par.1.3)	

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 4 di 60	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

1 GENERALITÀ

1.1 Premessa

La Snam Rete Gas, nell'ambito del progetto generale denominato "Rifacimento metanodotto Livorno – Piombino DN 750 (30"), DP 75bar e opere connesse", intende realizzare un metanodotto caratterizzato da una lunghezza complessiva di circa 84km, che si sviluppa dal comune di Collesalveti al comune di Piombino (interessando i territori delle province di Livorno e di Pisa), in sostanziale parallelismo al metanodotto "Livorno - Piombino" DN 400 (16") in esercizio.

Il suddetto tracciato del metanodotto in progetto (DN 750) interseca l'alveo del botro ZIMBRONE nel territorio comunale di Castellina Marittima (PI), in prossimità della località "P. Capannino".

In corrispondenza del sopracitato ambito di attraversamento del corso d'acqua, il tracciato del metanodotto in progetto interferisce con delle aree censite a pericolosità da alluvioni fluviali, ai sensi del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) redatto dal Distretto Idrografico dell'Appennino Settentrionale.

1.2 Scopo e descrizione dell'elaborato

Lo scopo del presente elaborato è quello di analizzare le condizioni di compatibilità idraulica del metanodotto in progetto nell'ambito specifico d'interferenza con le aree a pericolosità idraulica.

Nell'ambito della presente relazione vengono inoltre illustrati gli studi effettuati al fine di individuare le caratteristiche di progettazione nell'attraversamento in subalveo del corso d'acqua, con particolare riferimento alla definizione della metodologia operativa, del profilo di posa della condotta e delle caratteristiche delle eventuali opere di ripristino e di presidio idraulico.

Le scelte sono state effettuate in funzione di valutazioni di tipo geomorfologico, geologico, idrologico ed idraulico, con lo scopo di garantire la sicurezza del metanodotto per tutto il periodo di esercizio, nonché di assicurare la compatibilità dell'infrastruttura in considerazione del contesto idraulico del corso d'acqua, subordinandola alla dinamica evolutiva dello stesso.

In tal senso le valutazioni specifiche di cui al presente elaborato sono state condotte in riferimento alle fasi di studio qui di seguito sinteticamente descritte:

- Inquadramento territoriale dell'area d'attraversamento, in modo da consentire di individuare in maniera univoca il tratto del corso d'acqua interessato dall'interferenza con l'infrastruttura lineare in progetto;
- Caratterizzazione idrografica del corso d'acqua e descrizione dell'ambito di attraversamento;
- Valutazioni idrologiche al fine di stimare le portate al colmo di piena di progetto in corrispondenza della sezione di studio (coincidente con quella dell'attraversamento in esame);
- Valutazioni idrauliche, volte ad individuare i parametri caratteristici di deflusso idrico ed i fenomeni associati alla dinamica fluviale locale in corrispondenza dell'ambito di attraversamento, con particolare riferimento alla valutazione dei fenomeni erosivi di fondo alveo;
- Descrizione delle scelte progettuali inerenti alla metodologia costruttiva, alla geometria della condotta in subalveo ed alle eventuali opere di presidio idraulico;

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 5 di 60		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

- Valutazioni sulle condizioni di compatibilità idraulica del sistema d'attraversamento, in riferimento alle misure di salvaguardia stabilite nella Disciplina di Piano del PGRA ed in considerazione della regolamentazione di normativa per gli interventi ricadenti in ambiti censiti a pericolosità da alluvione fluviale.

1.3 Disegno di Attraversamento

Il progetto dell'attraversamento del corso d'acqua, comprendente le caratteristiche geometriche e strutturali della condotta, il profilo di posa della stessa, nonché le caratteristiche tipologiche e dimensionali delle eventuali opere di sistemazione, è stato sviluppato nel seguente elaborato grafico:

- **AT-13E-01320**
"Rifacimento Metanodotto Livorno-Piombino", DN750 (30");
 Attraversamento Botro Zimbrone

Pertanto, per gli approfondimenti di alcune tematiche affrontate nel presente documento, si rimanda alla visione dell'elaborato grafico di progetto sopra citato.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA	REL-CI-E-00407	
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 6 di 60	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'attraversamento dell'alveo del botro Zimbrone da parte del metanodotto in progetto "Rifacimento Met. Livorno – Piombino, DN750" ricade nel territorio comunale di Castellina Marittima (PI), in prossimità della località "P. Capannino".

Dal punto di vista idrografico, l'ambito di attraversamento ricade circa 750m a monte della confluenza del Botro del Salice, a valle della quale il corso d'acqua assume la denominazione di torrente Ricavo.

Al fine di fornire un inquadramento territoriale generale dell'ambito di attraversamento, qui di seguito si riporta una corografia in scala 1:25.000 (estratta dalle tavolette IGM), dove il tracciato del metanodotto in progetto (DN750) è riportato mediante una linea in rosso, il metanodotto in esercizio sulla medesima direttrice (DN400) è indicato tramite una linea in verde e l'area di attraversamento del corso d'acqua da parte del metanodotto in progetto (DN750) è indicata mediante un cerchio in colore blu.

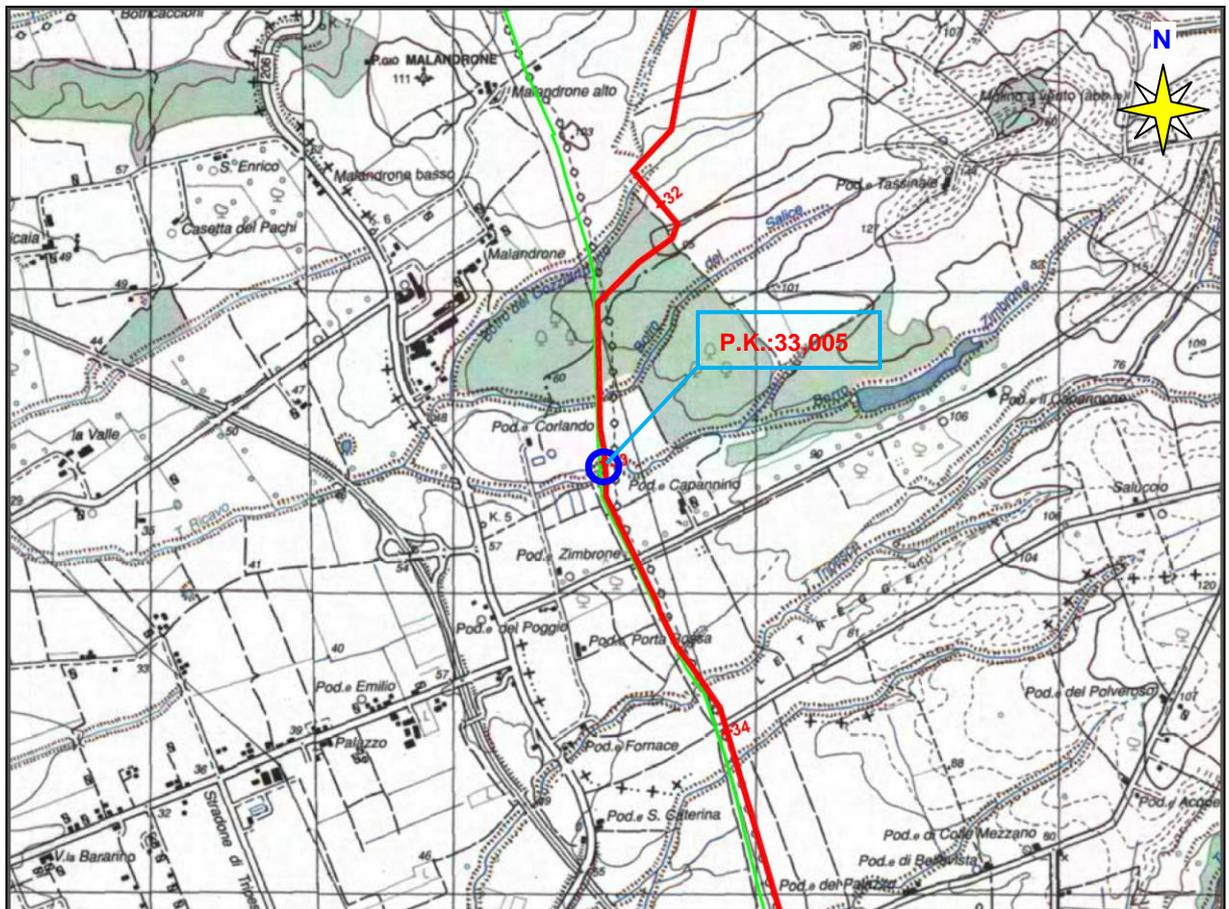


Fig.2.1/A: Corografia generale in scala 1:25.000 (dalle tavolette IGM)

Le coordinate piane dell'ambito di attraversamento del corso d'acqua sono riportate nella tabella seguente:

Tab.2.1/A: Coordinate ambito di attraversamento del corso d'acqua

Coordinate ambito di attraversamento del corso d'acqua		
Coordinate Piane (EPSG: 3003): Est /Nord	1622452 m E	4803243 m N

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 7 di 60

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

Nella figura seguente è riportato uno stralcio planimetrico di maggior dettaglio (dalle CTR in scala 1:10.000), nel quale sono riportate le medesime informazioni di cui allo stralcio precedente.

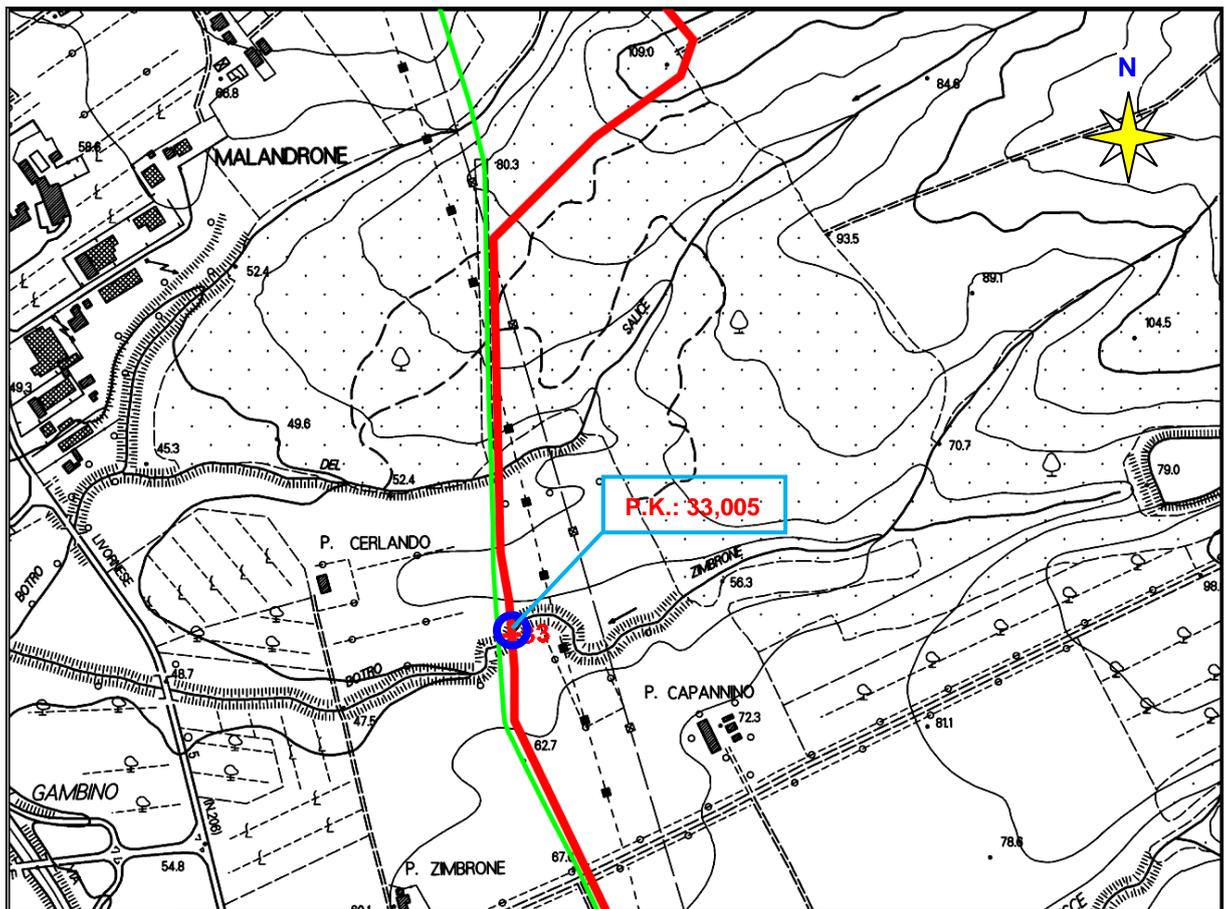


Fig.2.1/B: Stralcio planimetrico in scala 1:10.000 (C.T.R. Regionali)

Dall'analisi della figura precedente si rileva che l'ambito di attraversamento del corso d'acqua da parte del tracciato del metanodotto in progetto (DN750) è ubicato immediatamente a monte dell'attraversamento del metanodotto in esercizio (DN400).

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 8 di 60

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

3 CARATTERIZZAZIONE DELL'AMBITO IN ESAME

3.1 Assetto idrografico e descrizione generale del bacino del corso d'acqua

Il Botro Zimbrone rappresenta un corso d'acqua minore affluente del torrente Ricavo a sua volta tributario di sinistra del fiume Fine, dunque ricadente nell'UoM Toscana Costa e facente parte della pertinenza del Distretto Appennino Settentrionale.

Il Botro Zimbrone è caratterizzato da un bacino complessivo di superficie di circa 1.45 km², ricadente nei territori dei comuni di Castellina Marittima (PI) e di Rosignano Marittimo (LI).

Il Botro si origina nelle aree collinari poste ad Est dell'abitato di "Terriccio". Si sviluppa in direzione Ovest per circa 3km, fino alla confluenza con il Botro del Salice, nei pressi di "Malandrone". Dall'unione dei 2 corsi d'acqua tra origine il torrente Ricavo, tributario di sinistra del fiume Fine.

Nella figura seguente è riportato il bacino complessivo del torrente Ricavo (in color arancione), su una base cartografica estrapolata dalle tavolette IGM, con indicazione del reticolo idrografico significativo (in blu), e del reticolo minore (in celeste). Nella stessa figura è anche indicato, mediante un cerchio in rosso, l'ambito d'interferenza in esame tra il metanodotto in progetto (riportato mediante una linea in rosso) e l'alveo del Botro Zimbrone.

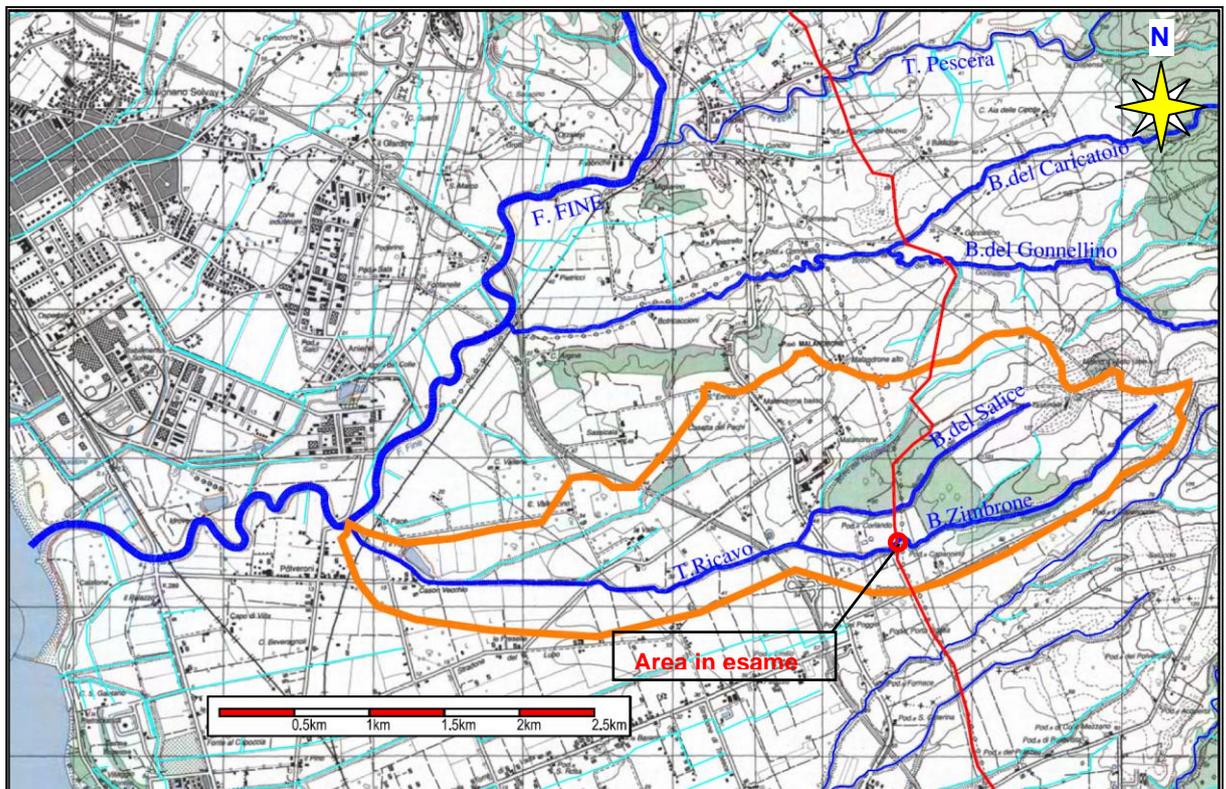


Fig.3.1/A: Bacino complessivo del T.Ricavo ed indicazione attraversamento del B.Zimbrone

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 9 di 60	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

Dall'esame della figura precedente si rileva che l'attraversamento del Botro Zimbrone ricade nel tratto basso dello sviluppo del corso d'acqua, a circa 750m dalla confluenza con il Botro del Salice.

3.2 Descrizione dell'area di attraversamento

Come si rileva dalla precedente Fig.3.1/A l'attraversamento da parte del metanodotto in progetto ricade nel tratto terminale dello sviluppo dell'asta del Botro Zimbrone.

In corrispondenza dell'area di attraversamento lo Zimbrone si sviluppa con un andamento moderatamente sinuoso, all'interno di una modesta piana alluvionale.

La sezione d'alveo nel punto di attraversamento si presenta relativamente ampia e bassa ed è costituita da una appena accennata savanella centrale e da aree laterali a dolce pendenza (di ampiezza di circa una decina di metri) comunque frequentemente interessate dal deflusso delle acque. La sezione di deflusso risulta in buona parte ostruita da una folta vegetazione ripariale di tipo arbustivo ed arboreo.

Sono presenti lievi fenomeni erosivi a carico delle sponde e dell'alveo legati sostanzialmente a scarsa manutenzione.

Al fine di consentire una visione diretta dell'ambito d'interferenza tra il metanodotto in progetto (DN750) e l'alveo del corso d'acqua, nella figura seguente è riportata una foto aerea (estratta da Google Earth), dove il tracciato del metanodotto in progetto è riportato mediante una linea in rosso e l'area di attraversamento in esame è indicata mediante un cerchio in colore celeste.

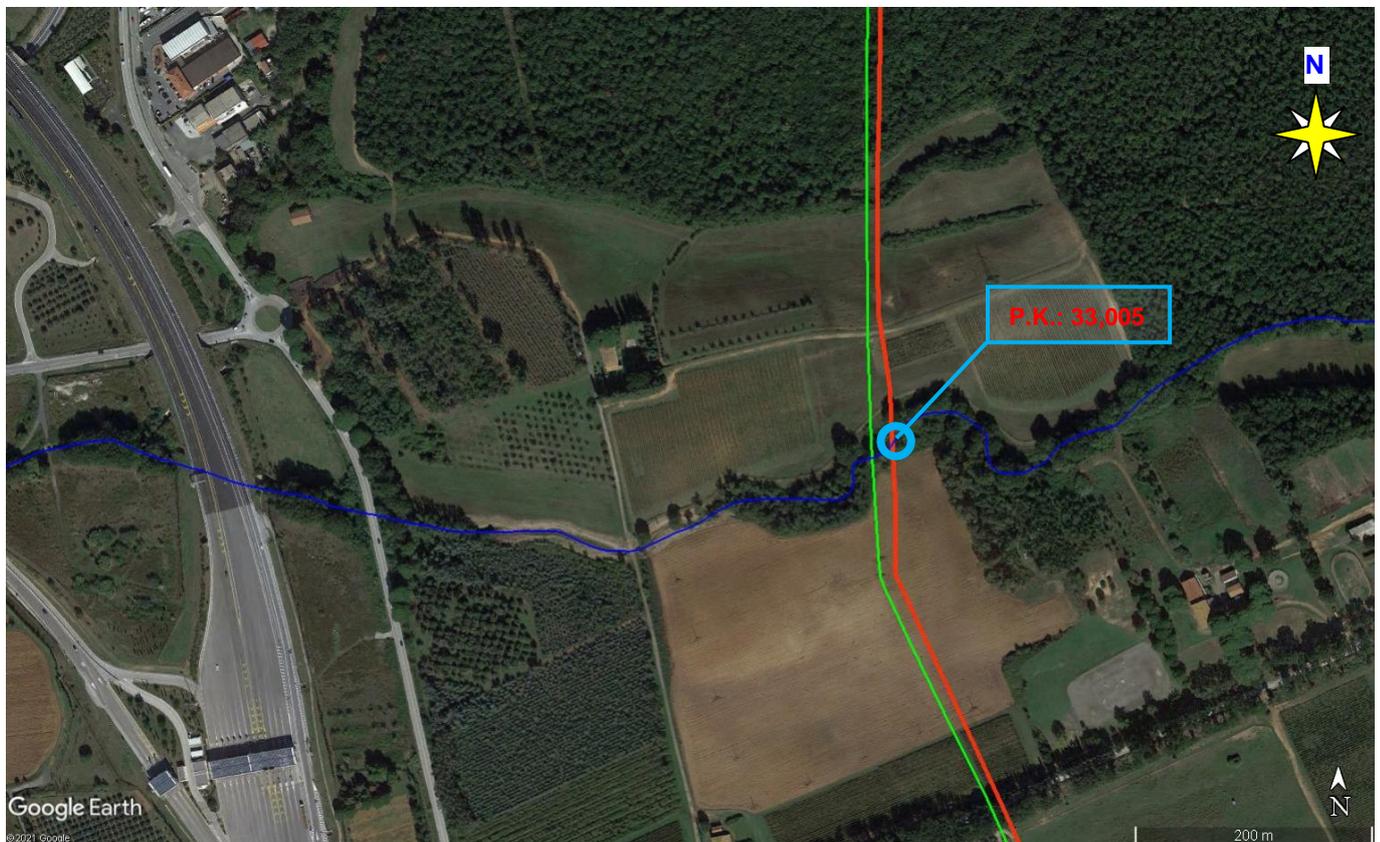


Fig.3.2/A: Foto aerea dell'ambito di attraversamento (estratta da Google Earth)

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 10 di 60		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

Nella figura seguente è inoltre riportata una foto relativa all'ambito d'attraversamento in esame del corso d'acqua (scattata dal lato in destra idrografica), con indicazione del tracciato di linea in progetto.



Fig.3.2/B: Foto ambito d'attraversamento

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407	
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 11 di 60	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

4 VALUTAZIONI IDROLOGICHE

4.1 Generalità

Lo studio idrologico in generale assume la finalità di determinazione delle portate al colmo di piena e/o degli idrogrammi di piena di uno o più corsi d'acqua in prefissate sezioni di studio ed in funzione di associati tempi di ritorno.

I risultati di tale studio nello specifico costituiscono la base per le verifiche idrauliche, in relazione alle quali verranno analizzate le condizioni di deflusso del corso d'acqua ed individuati i valori di copertura della linea in progetto, per la sua posa in sicurezza.

La valutazione delle portate può essere eseguita con diverse metodologie di calcolo, in funzione della natura dei dati disponibili.

In generale, avendo a disposizione dati di portata registrati in continuo da una stazione idrometrica presente sul corso d'acqua, si esegue l'elaborazione statistica degli eventi estremi disponibili (metodo diretto).

In mancanza di detti dati, si verifica se sono disponibili dati di portata di altri corsi d'acqua, siti nelle circostanze del fiume oggetto di studio, con le medesime caratteristiche idrologiche. In detto caso si esegue l'elaborazione statistica di dati disponibili e successivamente si cerca di interpretare le portate del corso d'acqua in esame sulla base dei risultati ottenuti (metodo della similitudine idrologica).

In molti casi è possibile utilizzare i cosiddetti "metodi di regionalizzazione", attraverso i quali è possibile valutare le portate di piena in riferimento a parametri idrologici caratteristici del bacino in esame.

Infine, è possibile ricorrere al metodo indiretto (Afflussi- Deflussi), che permette la valutazione delle portate al colmo in funzione delle precipitazioni intense.

4.2 Considerazioni specifiche preliminari

Per il corso d'acqua in esame, non sono disponibili dati ufficiali di valutazioni idrologiche rappresentativi per la sezione di chiusura in esame.

In tal senso per la valutazione delle portate di piena sul corso d'acqua nella sezione di studio è stata utilizzata la seguente metodologia di calcolo:

- *il metodo indiretto* (Afflussi- Deflussi), che permette la valutazione delle portate al colmo in funzione delle precipitazioni intense specifiche per l'ambito di riferimento.

4.3 Sezione di studio - Parametri morfometrici del bacino

Si assume come sezione di studio quella di attraversamento da parte del metanodotto in progetto, che ricade nel tratto terminale dello sviluppo dello Zimbrone e a circa 750m dalla confluenza con il Botro del Salice.

Nella figura seguente è riportato uno stralcio planimetrico, ricavato dalle tavolette IGM, con la delimitazione del bacino sotteso dalla sezione di studio (in color magenta) e con indicazione del reticolo idrografico. Nella stessa figura il tracciato di progetto è indicato mediante una linea in colore rosso.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 12 di 60	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

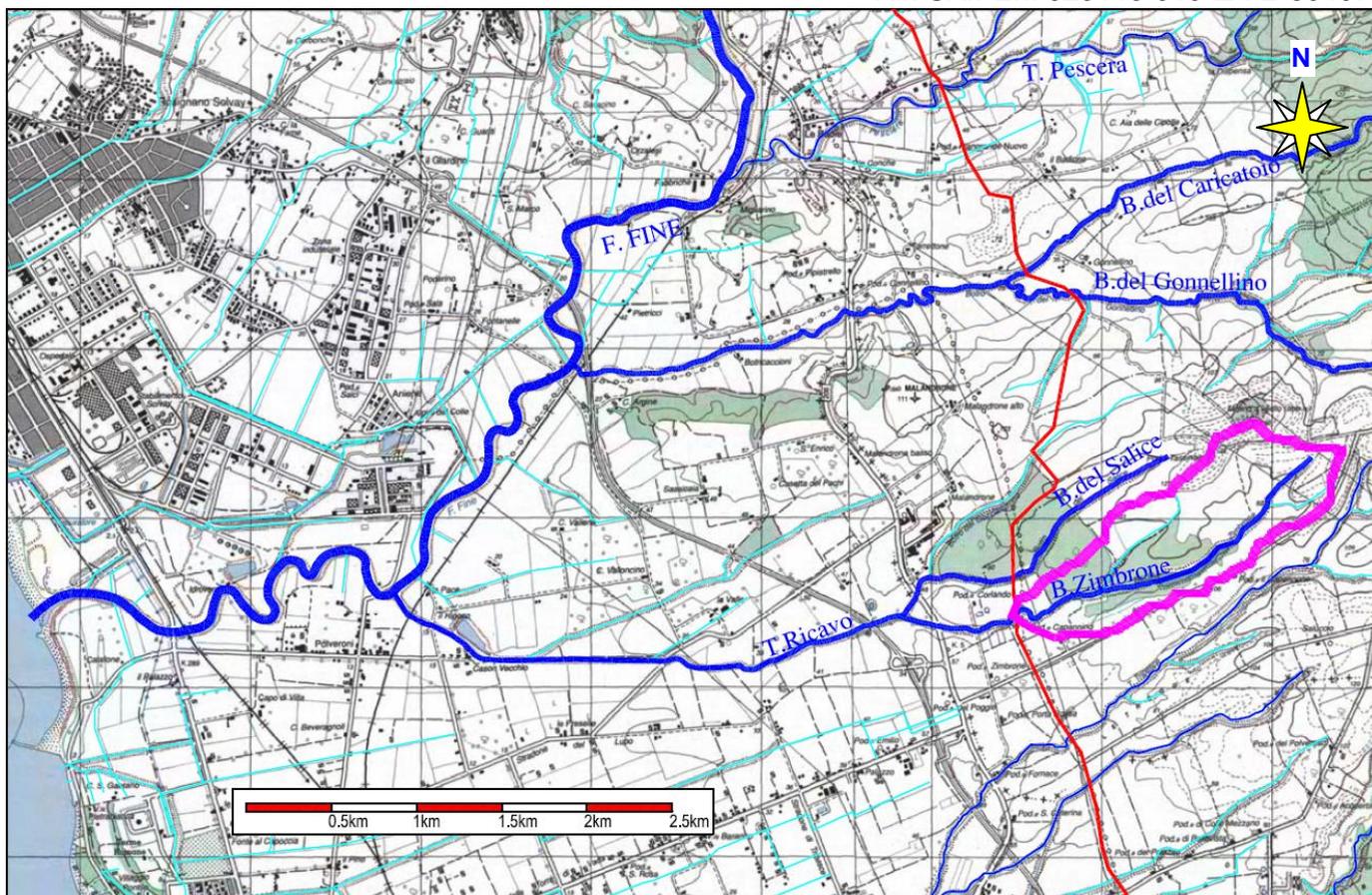


Fig.4.3/A: Bacino Imbrifero sotteso dalla sezione di studio

Nella tabella seguente sono riportati i parametri morfometrici del bacino sotteso dalla sezione di studio (sezione di attraversamento), valutati mediante l'analisi idrologica e morfologica del bacino effettuate sul DTM 10x10 idrologico della Regione Toscana.

Tab.4.3/A: Parametri morfometrici

Corso d'acqua	Sezione di studio	Superficie Bacino (kmq)	Lungh. asta principale (km)	Pendenza media asta principale	Pendenza media del suolo	Altitudine max del Bacino (m)	Altitudine media del Bacino (m)	Altitudine Sezione chiusura (m)
B. Zimbrone	Sez. Attrav.	1.06	2.25	2.6%	6.78%	151	95	50

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 13 di 60	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

4.4 Metodo Indiretto (Afflussi-Deflussi)

4.4.1 Generalità

Conoscendo le precipitazioni meteoriche che interessano il bacino idrografico di un qualsiasi corso d'acqua è possibile valutare la relativa portata di piena adottando metodologie di carattere statistico, che si inquadrano nella teoria dei sistemi di variabili casuali e che conducono allo studio della correlazione tra la portata di piena ed una o più grandezze caratterizzanti il bacino stesso (superficie, quota media, precipitazioni, tempo di corrivazione).

Le ipotesi fondamentali di questo metodo prendono lo spunto da alcuni risultati forniti dai metodi della corrivazione (o metodo cinematico) e dell'invaso e sono:

- la portata di massima piena di un bacino deriva da precipitazioni di intensità costante che hanno una durata pari al tempo di corrivazione "tc" e si manifesta dopo un intervallo di tempo "tc" dall'inizio del fenomeno;
- il valore della portata di piena dipende dalla laminazione esercitata dalle capacità naturali ed artificiali del bacino.

In corrispondenza della sezione di studio, le portate di piena al colmo sono state calcolate utilizzando la relazione nota come "formula razionale".

$$Q_c = 0.278 \cdot c \cdot \varepsilon \cdot A \cdot h_{\text{ragg}} / t_c$$

in cui:

- Q_c (mc/s): portata di progetto al colmo di piena (in funzione del tempo di ritorno "TR" (anni);
- c (-): coefficiente di deflusso, pari al rapporto tra il volume totale affluito (pioggia totale effettivamente caduta sul bacino) e volume defluito attraverso la sezione di chiusura (pioggia totale depurata delle perdite per infiltrazione ed evapotraspirazione). Il parametro tiene in considerazione della capacità di assorbimento del terreno e del fattore di laminazione (capacità di invaso sulla superficie del bacino e nel reticolo idrografico);
- ε (-): coefficiente di laminazione (capacità di invaso sulla superficie del bacino e nel reticolo idrografico);
- A (kmq): superficie del bacino imbrifero, riferita alla sezione di chiusura;
- t_c (h) - tempo di corrivazione: è il tempo che una goccia di pioggia, caduta nel punto idraulicamente più lontano dalla sezione considerata, impiega a raggiungere la sezione stessa;
- h_{ragg} (mm) – altezza di pioggia ragguagliata al bacino: viene valutata per piogge di durata pari al tempo di corrivazione "tc" ed è funzione del tempo di ritorno "TR", intendendo con tale locuzione l'inverso della probabilità di superamento di un certo evento.

Il metodo, dunque, considera il bacino idrografico come una singola unità e stima il valore al colmo della portata con le seguenti assunzioni:

- la precipitazione è uniformemente distribuita sul bacino;
- La portata stimata ha lo stesso tempo di ritorno T di quello dell'intensità di pioggia;
- Il tempo di formazione del colmo della piena è pari a quello di riduzione.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 14 di 60	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

4.4.2 Criteri generali di valutazione dei parametri idrologici

Superficie del bacino (A)

La delimitazione della superficie del bacino scolante, unitamente all'individuazione dei parametri morfometrici caratteristici del bacino stesso, viene eseguita sulla base della documentazione cartografica disponibile.

Tempo di corrivazione (tc)

La valutazione del tempo di corrivazione può essere eseguita mediante diversi algoritmi di calcolo, normalmente proposti in letteratura scientifica.

La scelta tra un metodo e l'altro può essere condotta in funzione della conformità dei parametri caratteristici del bacino oggetto di studio (superficie, localizzazione, pendenza dei versanti, ecc.) nei confronti di quelli analizzati dai vari autori nella fase di predisposizione degli algoritmi stessi.

Qui di seguito si riportano alcune delle espressioni più rappresentative, proposte in letteratura.

- *Formula di Giandotti (1934-1937)*

La formula proposta da GIANDOTTI (sperimentata dall'autore per bacini da 170 a 70000 kmq, tuttavia ampiamente impiegata in Italia anche per piccoli bacini) rappresenta l'espressione maggiormente utilizzata e viene espressa nel seguente modo:

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

dove:

A = Superficie del bacino (kmq);

L = lunghezza dell'asta fluviale principale (km);

H = altitudine media del bacino riferita alla quota della sezione di chiusura (m);

- *Formula di Pezzoli (1970)*

$$t_c = 0.055 \cdot L / i^{0.5}$$

dove:

L = lunghezza dell'asta fluviale principale (km);

i = pendenza media dell'alveo (-)

- *Formula di Pasini*

$$t_c = 0.108 \cdot i_a^{-1/2} \cdot (A \cdot L)^{1/3}$$

dove:

L = lunghezza dell'asta fluviale principale (km);

A = Superficie del bacino (kmq);

i_a = pendenza media dell'alveo (-)

- *Formula di Watt, Chow e Ward*

Viene proposta con la seguente espressione:

$$t_c = 0.1273 \cdot (L^{2/3} / i_a^{1/3})^{0.79}$$

dove:

L = lunghezza dell'asta fluviale principale (km);

i_a = pendenza media dell'alveo (-)

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 15 di 60		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

Coefficiente di Deflusso (c)

Il valore di tale parametro viene stabilito in dipendenza della natura litologica dei terreni della superficie del bacino e del suo grado di saturazione, del livello di forestazione e dall'uso del suolo e della pendenza dei versanti.

La scelta del coefficiente di deflusso, quindi, rappresenta una fase estremamente difficile e costituisce l'elemento di maggiore incertezza nella valutazione della portata.

Esistono in letteratura scientifica numerose tabulazioni e grafici utili per la valutazione di questo parametro; qui di seguito si riportano alcune tra le tabelle maggiormente impiegate.

Coefficienti di deflusso raccomandati da Handbook of Applied Hydrology, Ven Te Chow, 1964

Tipo di suolo	c	
	Uso del suolo	
	Coltivato	Bosco
Suolo con infiltrazione elevata, normalmente sabbioso o ghiaioso	0,20	0,10
Suolo con infiltrazione media, senza lenti argillose; suoli limosi e simili	0,40	0,30
Suolo con infiltrazione bassa, suoli argillosi e suoli con lenti argillose vicine alla superficie, strati di suolo sottile al di sopra di roccia impermeabile	0,50	0,40

Coefficienti di deflusso raccomandati da American Society of Civil Engineers e da Pollution Control Federation, con riferimento prevalente ai bacini urbani

Caratteristiche del bacino	c
Superfici pavimentate o impermeabili (strade, aree coperte, ecc.)	0,70 – 0,95
Suoli sabbiosi a debole pendenza (2%)	0,05 – 0,10
Suoli sabbiosi a pendenza media (2 - 7%)	0,10 – 0,15
Suoli sabbiosi a pendenza elevata (7%)	0,15 – 0,20
Suoli argillosi a debole pendenza (2%)	0,13 – 0,17
Suoli argillosi a pendenza media (2 - 7%)	0,18 – 0,22
Suoli argillosi a pendenza elevata (7%)	0,25 – 0,35

In una guida della FAO (1976), sono proposti i seguenti valori orientativi:

Tipo di suolo	Copertura del bacino		
	coltivazioni	pascoli	boschi
Suoli molto permeabili sabbiosi o ghiaiosi	0.20	0.15	0.10
Suoli mediamente permeabili (senza strati di argilla). Terreni di medio impasto o simili	0.40	0.35	0.30
Suoli poco permeabili. Suoli fortemente argillosi o simili, con strati di argilla vicino alla superficie. Suoli poco profondi sopra roccia impermeabile	0.50	0.45	0.40

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 16 di 60	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

Si riporta infine una tabella del coefficiente di deflusso proposta da G. Benini ("Sistemazioni idraulico forestali" -1990), la quale risulta essere quella maggiormente interessante per bacini poco urbanizzati, in quanto tiene conto del tipo di vegetazione, del tipo di suolo e della pendenza dei versanti.

VEGETAZIONE	PENDENZA	TIPO SUOLO		
		Terreno leggero	Terreno impasto medio	Terreno Compatto
Boschi	<10%	0.13	0.18	0.25
	>10%	0.16	0.21	0.36
Pascoli	<10%	0.16	0.36	0.56
	>10%	0.22	0.42	0.62
Colture agrarie	<10%	0.40	0.60	0.70
	>10%	0.52	0.72	0.82

Nella tabella precedente, relativamente al tipo del suolo, per *terreni compatti* si intendono terreni a bassa permeabilità (superfici prevalentemente argillosi o con rocce affioranti), per *terreni leggeri* si intendono terreni ad elevata permeabilità (superfici con materiali granulari, quali sabbie e argille), e per terreni ad impasto medio si intendono terreni media permeabilità (situazioni intermedie tra i casi precedente citati).

Coefficiente di laminazione (ε)

Per quanto attiene alle perdite per laminazione, è indubbio che lo sviluppo della rete drenante e la natura dei terreni incidano su tale fenomeno proporzionalmente all'estensione del bacino. Si ritiene pertanto di stimare ε sulla scorta delle valutazioni proposte in letteratura tecnica, che ne correlano il valore all'estensione della superficie drenante, quale la relazione tabellare proposta da Maione¹ (derivante da alcune ipotesi circa la forma dell'onda di piena e con riferimento al modello dell'invaso lineare), che prevede valore pari a 0,8 per bacini impermeabili di area inferiore a 100 km². La sussistenza della condizione di impermeabilità della superficie imbriferà, ai fini della valutazione degli effetti di laminazione, è di norma appropriata, essendo deputato al fattore "c" la rappresentazione degli aspetti di natura litologica.

L'altezza di pioggia ragguagliata (h_{ragg})

Considerando le grandezze appena descritte, è evidente che l'unica che può essere elaborata statisticamente è l'altezza di pioggia ragguagliata al bacino " h_{ragg} "; In generale il procedimento finalizzato alla determinazione del valore " h_{ragg} " si articola nelle seguenti fasi:

- reperimento dei dati sperimentali sulle precipitazioni;
- elaborazione statistica per mezzo del metodo di Gumbel;
- tracciamento delle curve di possibilità climatica o pluviometrica;
- applicazione del metodo dei topoietai.

¹ U. Maione, "Le piene Fluviali" - La Goliardica Pavese, 1981.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 17 di 60	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

A) Reperimento dati sperimentali sulle precipitazioni

Dall'analisi dei dati riportati negli annali idrologici del Servizio Idrografico Italiano vengono reperiti i dati di pioggia (1, 3, 6, 12, e 24 ore) relative alle stazioni pluviografiche, dotate di pluviografo registratore, ubicate nei bacini oggetto dello studio o in quelli limitrofi.

Le rilevazioni di piovosità massima si adattano ad essere elaborate con metodi statistici e permettono di ottenere particolari equazioni del tipo:

$$h = a \cdot t^n$$

dove:

h = altezza di pioggia (mm);

a, n = coefficienti costanti;

t = durata della pioggia (ore).

B) Elaborazione probabilistica per mezzo del metodo di Gumbel

Secondo la legge di Gumbel la probabilità "P(h)" che il massimo valore di una precipitazione di durata pari al tempo di corrvazione "t_c" non venga superato nel corso di un determinato anno è data da:

$$P(h) = e^{-e^{-\alpha(h-u)}}$$

α, u = parametri della distribuzione che, qualora i dati disponibili siano in numero sufficientemente elevato, possono essere più facilmente valutati determinando lo scarto quadratico medio "σ" e la media "μ" perché esistono dei legami espressi dalle seguenti relazioni:

$$\alpha = 1.283/\sigma$$

$$u = \mu - (0.577/\alpha);$$

Ciò premesso, occorre introdurre una nuova grandezza, il tempo di ritorno "T", che definisce il numero di anni in cui, mediamente, l'evento considerato viene superato una sola volta. Dato che tra tempo di ritorno "T" e la probabilità "P(h)" esiste la seguente relazione:

$$T = 1/(1-P(h))$$

facendo le opportune sostituzioni ed esplicitando si ottiene:

$$h(T) = u - \left(\frac{1}{\alpha}\right) \cdot \ln \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right]$$

che rappresenta, quindi, il valore massimo che una precipitazione meteorica potrà superare, mediamente, una sola volta in un qualsiasi anno del tempo di ritorno "T".

C) Tracciamento delle curve di possibilità climatica o pluviometrica

Per ciascuna stazione pluviografica e per ogni tempo di ritorno si otterranno cinque valori di altezza di pioggia, corrispondenti ai cinque intervalli di tempo considerati (1, 3, 6, 12, 24 ore). E' possibile riportare questi valori su un sistema di assi cartesiani ortogonali (h,t) e determinare la curva di regressione, definita dall'equazione "h=atⁿ", che meglio approssimi la loro distribuzione sul piano h, t; si ottengono così le curve di possibilità climatica o pluviometrica. A tal fine, per semplificare il procedimento, l'equazione "h=atⁿ" viene trasformata in:

$$\log h = \log a + n \log t$$

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 18 di 60	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

che nel piano h,t, in scala bilogarithmica, rappresenta una retta.

Operata questa trasformazione, occorre ricercare la retta di regressione che meglio approssimi la distribuzione suddetta; tale ricerca è eseguita con il metodo dei minimi quadrati che consiste nel determinare, tra le possibili rette, quella che minimizza la sommatoria dei quadrati delle differenze tra le ordinate dei punti e le corrispondenti ordinate della retta di regressione.

Questo processo, automatizzato, consente anche il plottaggio, su scala naturale, delle curve di possibilità climatica corrispondenti ai tempi di ritorno considerati.

D) Applicazione del metodo dei topoieti (solo per bacini rappresentati da più stazioni pluviometriche).

Per ogni stazione pluviografica sono state tracciate le curve di possibilità climatica o pluviometrica, definite da equazioni del tipo "h=atⁿ", dalle quali è possibile ricavare, per i vari tempi di ritorno, il valore delle precipitazioni meteoriche corrispondenti al tempo di corrivazione "tc" del bacino.

Anche se il valore così ricavato è un valore puntuale, che ha un senso solo per un intorno molto limitato della stazione, si può comunque ipotizzare che il regime pluviografico di tale intorno non si discosti molto da quello ben più vasto dell'area circostante la stazione stessa.

Il problema, dunque, è quello di delimitare il perimetro delle aree di competenza delle stazioni, o, ciò che è lo stesso, la suddivisione dell'intera superficie del bacino in diverse zone (tante quante sono le stazioni) ad ognuna delle quali spetti un regime pluviografico omogeneo e che comprendano, all'interno, la relativa stazione pluviografica. L'applicazione del metodo dei topoieti permette, appunto, la suddivisione del bacino sotteso da ciascuna sezione di studio, e quindi la valutazione delle aree di competenza di ogni stazione.

A questo punto è possibile calcolare l'altezza di pioggia ragguagliata all'intero bacino utilizzando la relazione:

$$h_{ragg} = \sum_{i=1}^n \frac{S_i \cdot h_i}{S}$$

dove:

h_i= precipitazione relativa alla stazione pluviografica i-esima (mm); tale precipitazione ha una durata pari al tempo di corrivazione "tc" e si ricava dalle curve di possibilità climatica relative alla stazione i-esima;

S_i= superficie del bacino di competenza della stazione pluviografica i-esima (km²);

S= superficie del bacino sotteso dalla sezione di studio (km²).

4.4.3 Individuazione dei parametri idrologici

Parametri morfometrici

Le grandezze caratteristiche dei parametri morfometrici sono riportate nella precedente Tab.4.3/A.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 19 di 60	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

Tempo di corrivazione

Nella tabella seguente sono riportati i diversi valori relativi al tempo di corrivazione "t_c", stimati con le metodologie descritte nel paragrafo precedente per la sezione idrologica di riferimento.

Tab.4.4/A: Valutazione del tempo di corrivazione

Metodo	Tempo di corrivazione (h) -
Formula di Giandotti	1.40
Formula di Pezzoli	0.76
Formula di Pasini	0.89
Formula di Watt	1.02
Valore medio	1.02
Dev. Stand. (0<Dev. St.<Inf.)	0.27

Nelle elaborazioni idrologiche si è dunque scelto di utilizzare come tempo di corrivazione il valor medio dei risultati conseguiti (riportato in grassetto nella tabella precedente).

Coefficiente di deflusso (c)

Facendo seguito a quanto indicato nel sottoparagrafo precedente, il valore del coefficiente di deflusso dipende sostanzialmente dall'uso del suolo (ossia dal livello di antropizzazione del suolo del bacino, dalla presenza e dalla tipologia della vegetazione), dalla natura litologica dei terreni e dalla pendenza dei versanti.

In tal senso, a titolo rappresentativo, si riporta una foto aerea con la delimitazione del bacino sotteso dalla sezione di studio.

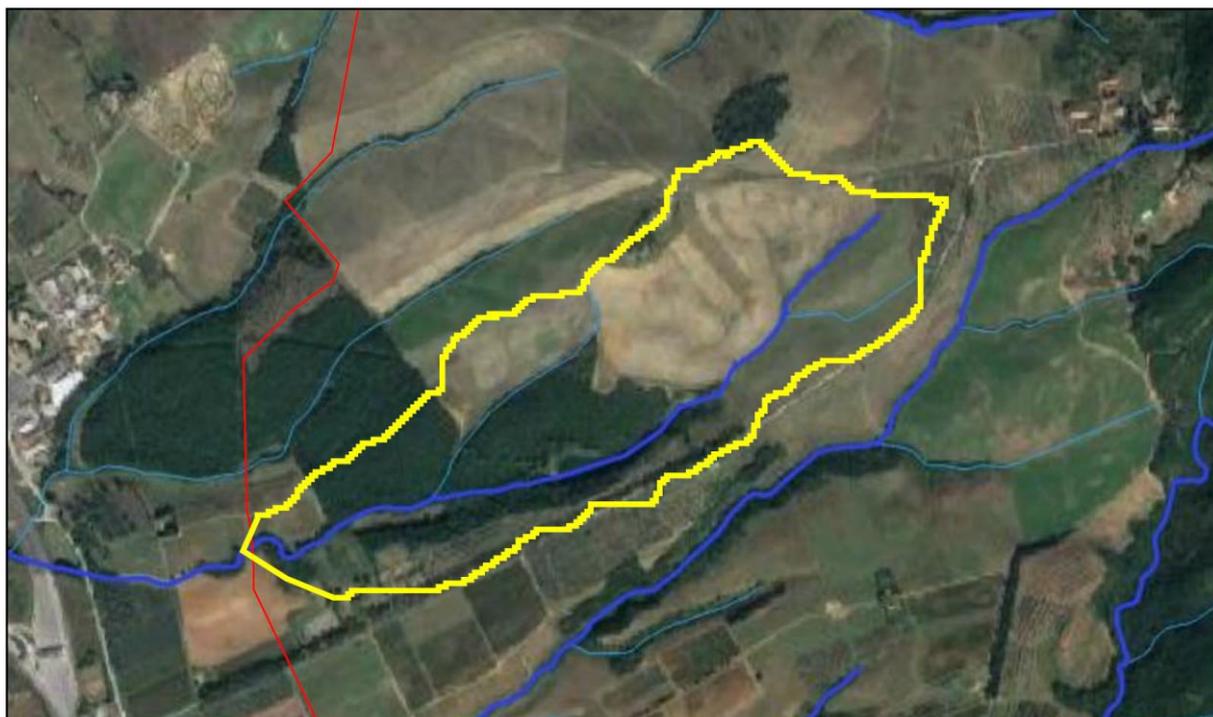


Fig.4.4/A: Foto area, con delimitazione del bacino del corso d'acqua

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 20 di 60	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

Per la valutazione del coefficiente di deflusso, qui di seguito, sono stati presi in esame i parametri fondamentali che ne contribuiscono alla sua adeguata definizione.

Uso del Suolo

Per l'analisi dell'uso del suolo si è fatto riferimento ai dati sulla copertura e sull'uso del suolo estrapolati dal progetto "Corine Land Cover", i cui shp file (aggiornati al 2018) sono stati scaricati dal sito di isprambiente.

I risultati dell'elaborazione, condotta sulla superficie del bacino sotteso dalla sezione di attraversamento, sono sintetizzati nella tabella seguente.

CORINE Land Cover_2018	Code_18 Corine	Descrizione	% - Sup /SupTot Livello3	% - Sup /SupTot Livello1
1_ SUPERFICI ARTIFICIALI				
2_ SUPERFICI AGRICOLE UTILIZZATE	211	Seminativi in aree non irrigue	70%	70%
3_ TERRITORI BOSCATI E AMBIENTI SEMI-NATURALI	311	Boschi di latifoglie	30%	30%
4_ ZONE UMIDE				
5_ CORPI IDRICI				

Dall'esame della tabella precedente si rileva il 70% del bacino è utilizzato per scopi agricoli (coltivazioni a seminativo), mentre il restante 30% della superficie è interessato da territori boscati. Non si individua la presenza di aree urbanizzate.

Pendenza media dei versanti

La valutazione della pendenza dei versanti è stata eseguita tramite analisi morfologica del bacino, i cui risultati sono riportati nella Tab.4.3/A.

Nello specifico la pendenza media risulta del 6.78%.

Esame della natura litologica dei terreni

L'esame di caratterizzazione dei terreni presenti nel bacino è stato effettuato mediante l'analisi dei dati vettoriali della carta geolitologica nazionale e del data_base geologico della Regione Toscana.

Dall'analisi delle elaborazioni è emerso che circa il 40% della superficie del bacino è ricadente in dei complessi prevalentemente argillosi, mentre il restante 60% della superficie ricade in ambiti costituiti da sabbie e conglomerati.

Coefficiente di deflusso – scelta del valore

Pertanto in considerazione delle caratteristiche peculiari del bacino e facendo riferimento (in maniera ponderale) ai valori suggeriti nelle tabelle di cui al sottoparagrafo precedente (con principale riferimento alla tabella proposta da Benini) ed adottando un approccio conservativo, si è assegnato un coefficiente di deflusso (c) pari a 0.63.

Coefficiente di laminazione (ϵ)

Per quanto riguarda il coefficiente di laminazione, si assume cautelativamente $\epsilon=1$

Curve di possibilità pluviometrica - altezza di pioggia ragguagliata (h_{ragg})

Dall'utilizzo del metodo dei topoietai risulta che il bacino in esame risulta rappresentata dalla stazione pluviometrica di "Cecina" (TOS11000002).

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 21 di 60	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

Per la valutazione delle curve di possibilità pluviometrica ($h = a \times t^n$), si sono utilizzati gli studi regionale delle precipitazioni estreme effettuati dalla Regione Toscana e desumibili da sistemi cartografici disponibili in rete al sito: <http://www.sir.toscana.it/lsp-2012>.

In particolare, nella tabella seguente si riportano i valori dei parametri "a" e "n" relativamente alla stazione pluviometrica citata, relativamente ai tempi di ritorno di 30, 100 e 200 anni.

<i>Staz. "Cecina" – parametri "a" e "n"</i>		
TR	a	n
30	62.743	0.26259
100	78.066	0.30846
200	87.273	0.32606

4.4.4 Risultati delle elaborazioni idrologiche

I risultati delle elaborazioni idrologiche (condotte con il "metodo razionale") sono sintetizzati nella tabella seguente.

Tab.4.4/B: Portate di piena valutate con il metodo indiretto

TR	a	n	tc(h)	hr	FI	S (kmq)	Q (mc/s)
30	62.743	0.26259	1.02	63.0	0.63	1.06	11.5
100	78.066	0.30846	1.02	78.5	0.63	1.06	14.3
200	87.273	0.32606	1.02	87.7	0.63	1.06	16.0

4.4.5 Validazione dei risultati

Al fine di validare i risultati delle valutazioni idrologiche, si è proceduto ad effettuare un'analisi di confronto (tramite il criterio della similitudine idrologica) con i valori di portata di altri corsi d'acqua con caratteristiche idrologiche simili e ricadenti in prossimità (nella medesima regione idrologica) e di cui si dispongono dei "dati ufficiali" di valutazione.

Dalle operazioni di raffronto è emerso che i risultati conseguiti nel presente elaborato risultano compatibili e leggermente conservativi.

4.5 Portata di progetto

Conformemente a quanto previsto in normativa, si assume come portata di progetto (per le verifiche idrauliche di cui al capitolo seguente) la portata duecentennale (associata ad un tempo di ritorno di 200 anni), valutata con il metodo Afflussi-Deflussi (si veda il valore in grassetto nella Tab.4.4/B) e riportata anche nella tabella seguente:

Tab.4.5/A: Portata di progetto - tabella riepilogativa

Sezione	Superficie Bacino (kmq)	Qprogetto (mc/s)	qmax (mc/s-kmq)
Botro Zimbrone / Sez. di attraversamento	1.06	16.0	15.1

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 22 di 60	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

5 STUDIO IDRAULICO IN MOTO PERMANENTE

5.1 Presupposti e limiti dello studio

Nel presente capitolo sono descritte le procedure ed i risultati delle elaborazioni condotte per la verifica delle condizioni idrauliche del deflusso di piena del corso d'acqua nel tronco oggetto dell'intervento. In particolare, nello specifico si è deciso di svolgere l'analisi idraulica, attraverso una *modellazione in moto permanente* in un tronco d'alveo idraulicamente significativo a cavallo dell'ambito di attraversamento della condotta.

In generale le finalità ultime degli studi idraulici sono rappresentate dalla valutazione dei battenti idraulici e dall'individuazione delle eventuali fasce di esondazione e dei relativi tiranti idraulici, in concomitanza di prestabiliti eventi di piena.

Relativamente agli attraversamenti in subalveo da parte di metanodotti, lo studio è incentrato principalmente all'individuazione dei parametri idraulici di deflusso in alveo necessari per la valutazione delle erosioni al fondo nell'ambito d'attraversamento. Ciò con lo scopo di determinare i valori di copertura in alveo della condotta che assicurino gli adeguati margini di sicurezza nei confronti dei processi erosivi del letto fluviale, relativamente a tutta la vita utile dell'opera.

Come esposto nel capitolo precedente, le valutazioni idrauliche sono effettuate sulla base dell'evento di piena corrispondente al tempo di ritorno $T_r = 200$ anni (al quale si associa la probabilità di non superamento del 99.5%). Tale valore è utilizzato per la stima degli eventuali fenomeni erosivi, che devono dimostrarsi limitati entro condizioni compatibili con le opere di ripristino previste, al fine di assicurare la sussistenza di condizioni di stabilità per la condotta e l'assenza di eventuali interferenze tra questa ed i fenomeni associati al deflusso di piena.

Lo schema utilizzato nello studio per la determinazione dei profili idrici è quello di moto permanente monodimensionale (deflusso costante e geometria variabile), con corrente gradualmente variata (fatta eccezione per le sezioni in cui si risente della presenza di strutture), variazioni di forma dell'alveo e di pendenza longitudinale del fondo compatibili con il modello. I limiti dello studio sono quelli intrinseci del modello di calcolo e che le valutazioni idrauliche sono condotte comunque in riferimento ad un tratto limitato del corso d'acqua.

I criteri ed i modelli di calcolo utilizzati per le verifiche idrauliche in moto permanente derivano dall'applicazione del software HEC-RAS e descritti nei documenti "RAS Hydraulic reference manual", "RAS user's manual", "RAS applications guide".

In *Appendice 1* della presente relazione viene descritta la metodologia di calcolo utilizzata; mentre in *Appendice 2* sono riportati i tabulati di report del programma di calcolo.

Infine, si ritiene opportuno evidenziare che lo studio risulta pertinente sia all'attuale configurazione idraulica del corso d'acqua, che a quella di fine lavori. Ciò in quanto, con i lavori di costruzione del metanodotto, non verranno apportate al corso d'acqua alterazioni tali da modificarne le condizioni di deflusso della corrente.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 23 di 60	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

5.2 Assetto geometrico e modellazione dell'alveo

5.2.1 Assetto geometrico di modellazione

Al fine di eseguire la modellazione idraulica nell'ambito di riferimento è stato considerato un tronco d'alveo idraulicamente significativo a cavallo della sezione di attraversamento del metanodotto, per uno sviluppo complessivo di circa 85mm.

I dati geometrici di base derivano dai DTM ricavati tramite voli Lidar con risoluzione 1x1 ("Fonte dei dati: Regione Toscana – "Rilievi Lidar" e scaricati dal portale "Geoscopio - Regione Toscana"), che hanno consentito la definizione delle caratteristiche geometriche dell'alveo e delle sponde lungo lo sviluppo del tronco d'alveo oggetto di analisi.

Entrando nello specifico, nella figura seguente è riportata una foto aerea, estrapolata da Google Earth, nella quale l'asta del corso d'acqua è indicata in colore celeste, le sezioni trasversali utilizzate per il calcolo idraulico sono riportate in magenta, mentre il tracciato del metanodotto in progetto è indicato in rosso.

La sezione 1 (RS50) coincide con la sezione di monte del tronco idraulico; la sezione 5 (RS10) rappresenta quella di valle.

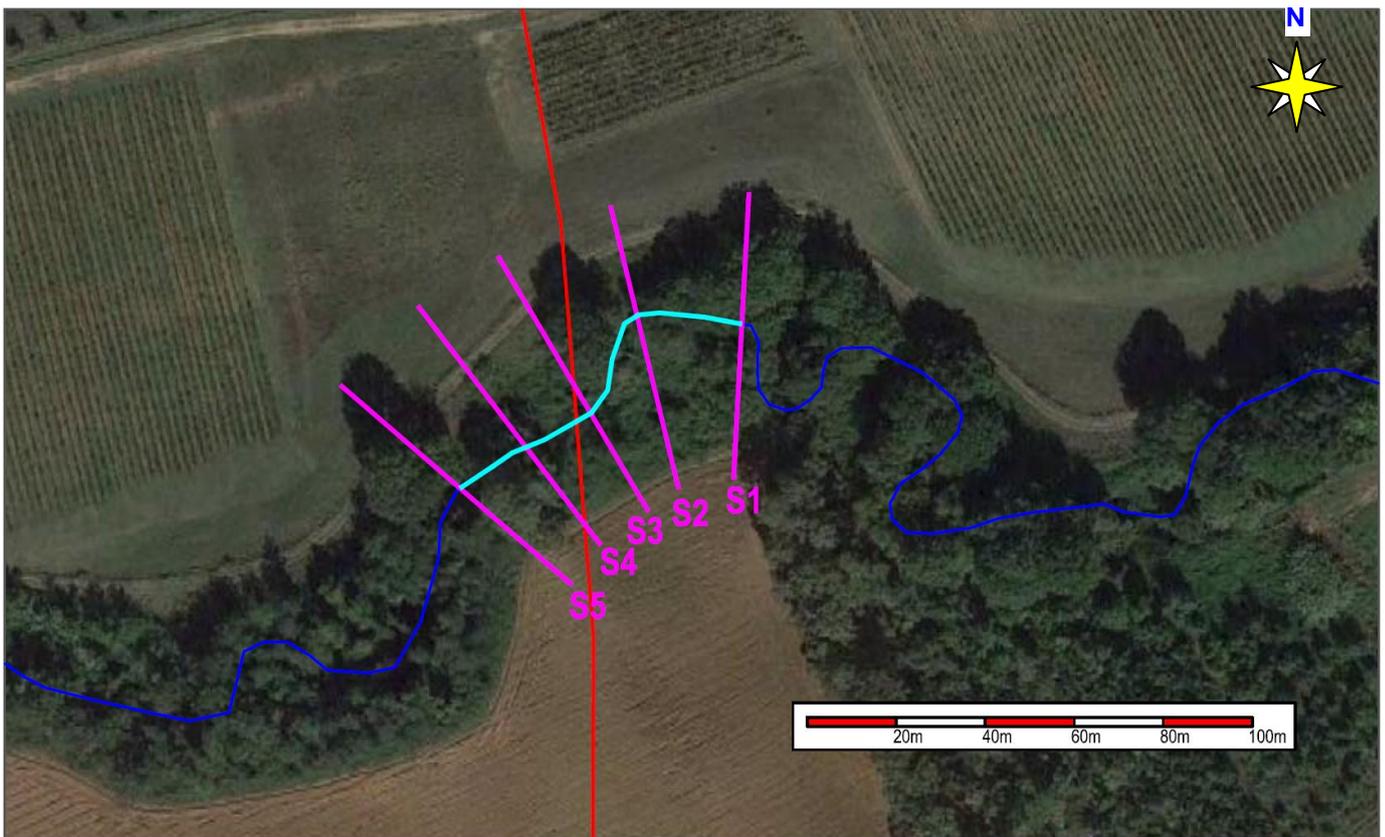


Fig.5.2/A: Foto aerea, con tronco d'alveo analizzato e sezioni di input

Invece nella successiva tabella vengono riportate le denominazioni delle "River Station" di input nella modellazione idraulica (con la corrispondenza con le sezioni topografiche), nonché vengono indicate le progressive metriche lungo l'asta fluviale e le distanze reciproche tra le varie sezioni.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 24 di 60		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

Tab.5.2/A: Sezioni di calcolo nella modellazione idraulica

RIVER STATION	SEZIONE TOPOGRAFICA	PROGRESSIVA (m)	Dist. dalla Sez. successiva (m)	DESCRIZIONE
RS50	Sez.1	0.00	23.81	Sezione di monte
RS40	Sez.2	23.81	25.40	
RS30	Sez.3	49.21	16.46	Sez. in prossimità dell'Attrav.
RS20	Sez.4	65.67	17.53	
RS10	Sez.5	83.20	0.00	Sezione di valle

Nella figura seguente si riporta lo schema planimetrico di input geometrico utilizzato per la modellazione idraulica, dove le sezioni in verde scuro sono di input.

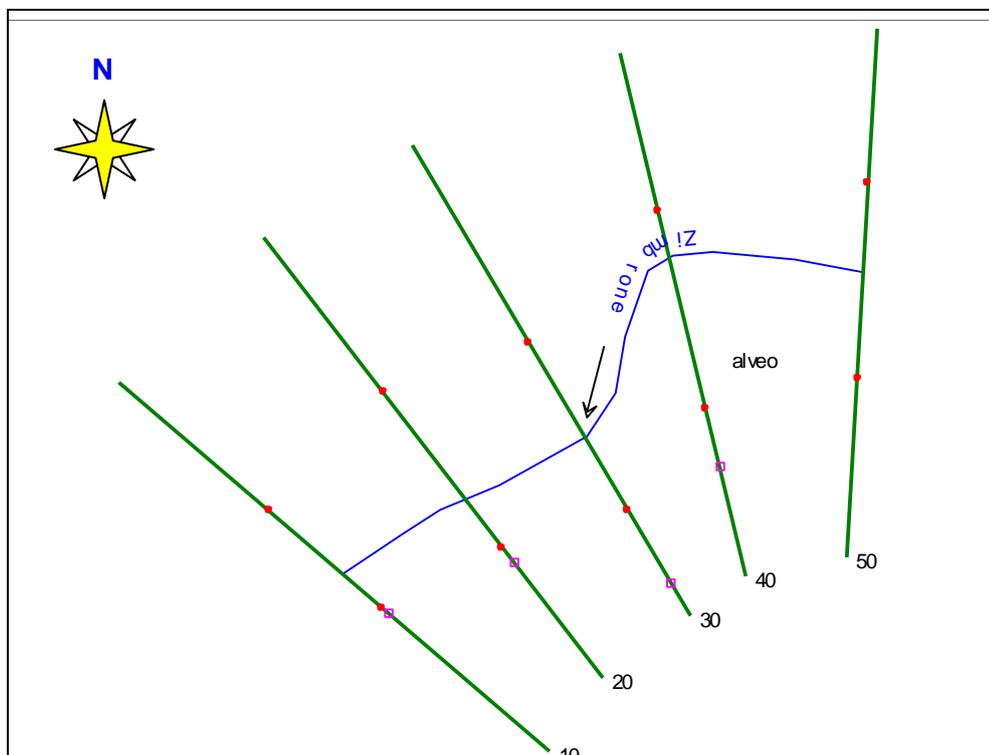


Fig.5.2/B: Modellazione geometrica in Hec Ras (RS50 a monte e RS10 a valle)

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 25 di 60	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

5.2.2 Dati di input e condizioni al contorno

Le elaborazioni sono state effettuate considerando l'evento di piena associato ad un tempo di ritorno di 200 anni, per il quale (in riferimento alle valutazioni idrologiche di cui al capitolo precedente) è stata valutata una portata al colmo di piena Q pari a:

- $Q_{200}=16$ mc/s

Il valore di portata è stato mantenuto costante per tutto il tronco d'alveo in esame nella modellazione idraulica. Inoltre, la portata è stata mantenuta costante nel tempo, in conformità ad una delle ipotesi del moto permanente.

Le condizioni al contorno imposte alle estremità del tronco d'alveo oggetto di studio sono costituite da un flusso in moto uniforme "normal depth" a monte (RS50) ed a valle (RS10), in considerazione delle pendenze al fondo individuate per i tratti immediatamente esterni all'estremità del tronco.

Per quanto concerne il coefficiente d'attrito si è fatto riferimento agli indici di scabrezza di Manning "n", individuati in relazione alle caratteristiche peculiari rilevate nell'ambito in esame. Ossia:

- 0,033 per l'alveo medio principale (Chan);
- 0,050 per le aree di deflusso oltre i limiti d'alveo (LOB, ROB).

5.3 Risultati della simulazione idraulica

I tabulati di Report dell'elaborazione idraulica (in forma estesa) sono riportati in *Appendice 2*, mentre qui di seguito si riportano alcuni grafici e tabelle che consentono una più rapida visualizzazione dell'output dell'elaborazione.

Al fine di fornire un inquadramento visivo generale sull'assetto geometrico, sull'ubicazione delle sezioni di studio e sui risultati conseguiti, qui di seguito si riporta una visione prospettica dell'output di elaborazione ed il profilo longitudinale.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 26 di 60

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

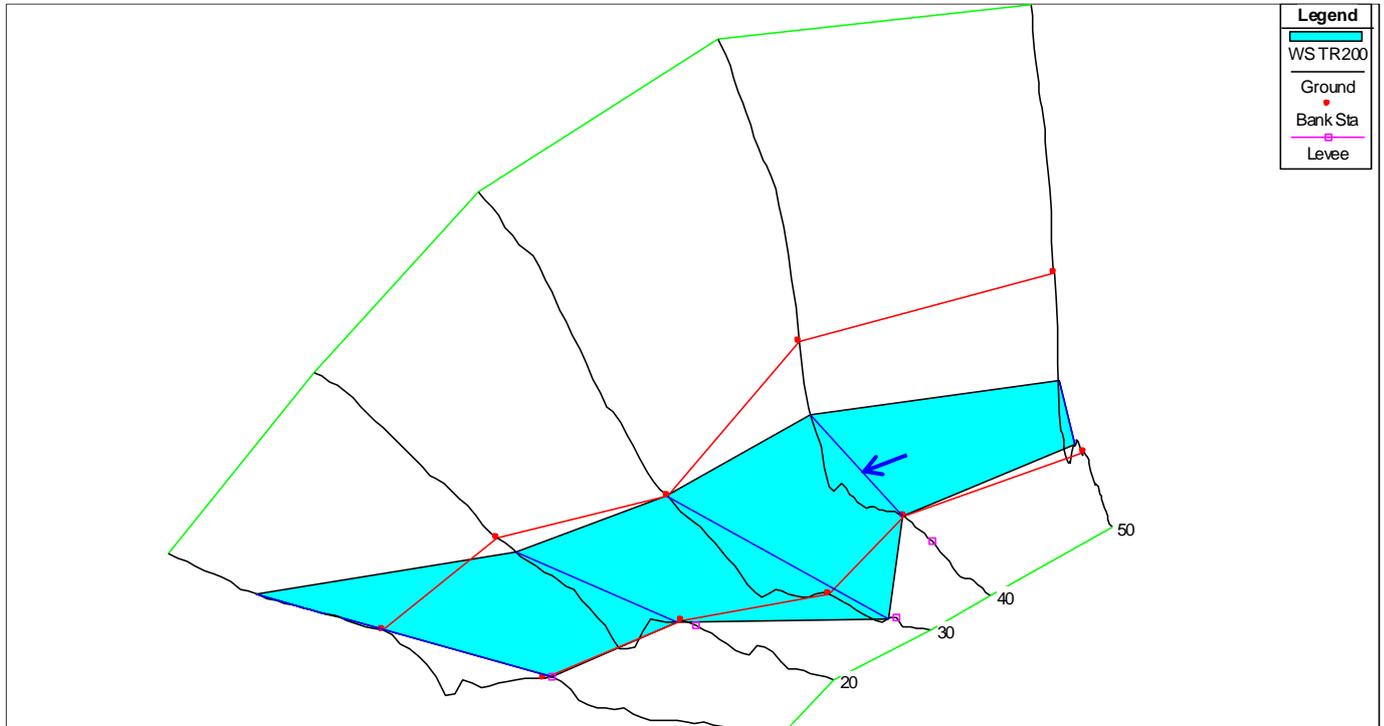


Fig.5.3/A: Schermata di Output del programma – visione prospettica (RS50: monte /RS10: valle)

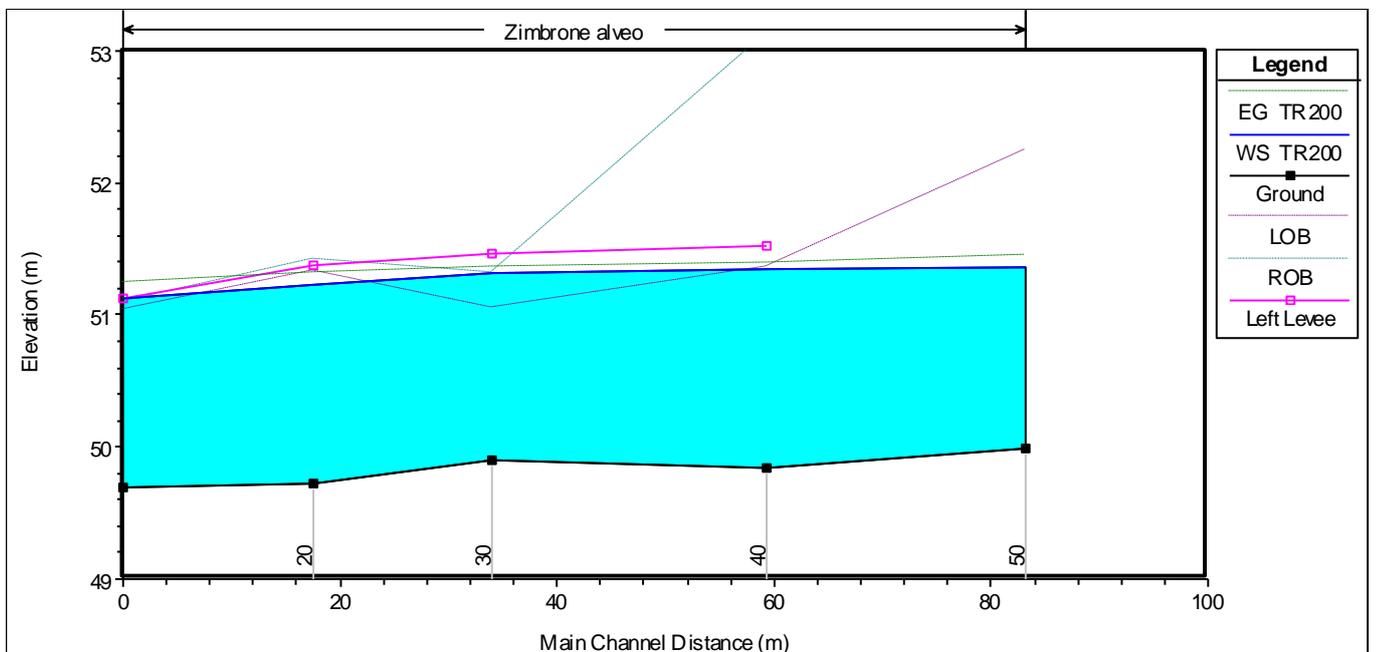


Fig.5.3/B: Schermata di Output del programma – Profilo longitudinale

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 27 di 60	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

Qui di seguito è riportata la tabella riepilogativa dei risultati conseguiti nell'elaborazione idraulica, relativa alle varie sezioni di calcolo.

Tab.5.3/A: Tabella Riepilogativa di Output

River Station	Q Total (m3/s)	Q Chan (m3/s)	Min Ch Elev (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Top Width Act Chl (m)	Hydr Depth C (m)	Shear Chnl (N/m2)	Froude Chl
50	16	16.00	49.99	51.37	50.83	51.45	0.0020	1.26	12.65	13.12	13.12	0.96	17.58	0.41
40	16	16.00	49.84	51.35	50.83	51.4	0.0015	0.95	16.89	22.35	22.35	0.76	10.58	0.35
30	16	15.39	49.90	51.32	50.83	51.36	0.0013	0.87	19.82	32.90	24.00	0.74	9.03	0.32
20	16	16.00	49.73	51.23	50.93	51.32	0.0042	1.34	11.98	21.15	21.15	0.57	23.16	0.57
10	16	15.94	49.70	51.13	50.92	51.24	0.0050	1.49	11.10	31.64	18.00	0.59	28.52	0.62

Nella tabella di "output", i parametri riportati assumono i significati qui di seguito specificati.

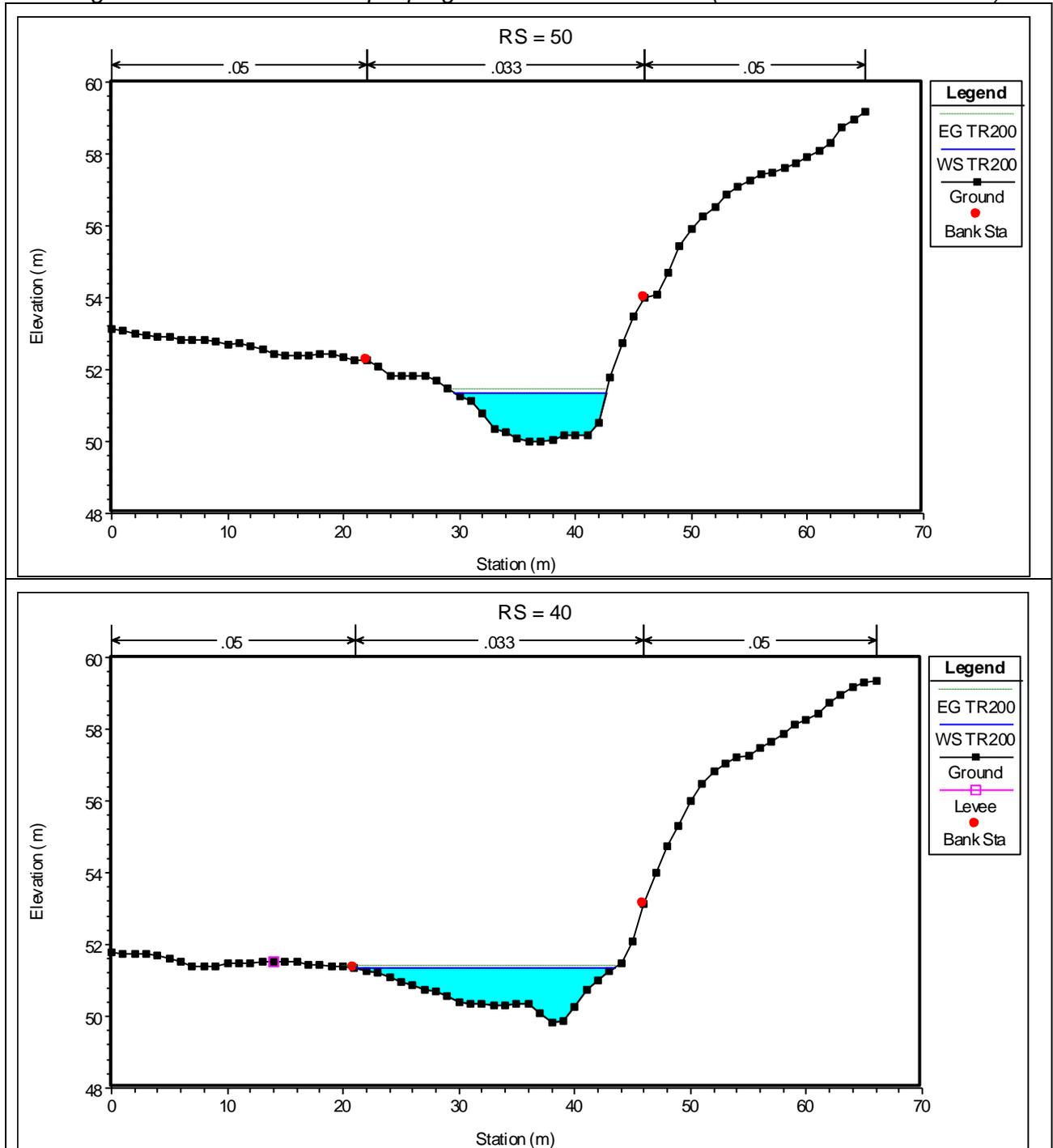
River Station:	Numero identificativo della sezione;
Q Total:	Portata complessiva defluente nell'intera sezione trasversale;
Q Chan:	Portata defluente nel canale principale (alveo attivo)
Min. Ch Elev:	Quota minima di fondo alveo;
W.S. Elev:	Quota del pelo libero;
Crit W.S.:	Quota critica del pelo libero (corrispondente al punto di minimo assoluto della curva dell'energia);
E.G. Elev:	Quota della linea dell'energia per il profilo liquido calcolato;
E.G. Slope:	Pendenza della linea dell'energia;
Vel Chnl:	Velocità media nel canale principale (alveo attivo);
Flow Area:	Area della sezione liquida effettiva;
Top Width:	Larghezza superiore della sezione liquida complessiva;
Top Width Act Chl:	Larghezza superiore della sezione liquida in alveo, senza includere eventuali flussi inefficaci;
Hydr Depth C:	Altezza liquida media nel canale principale (alveo attivo);
Shear Chnl:	Tensione di attrito nel canale principale (alveo attivo);
Froude Chnl:	Numero di Froude nel canale principale (alveo attivo);

Inoltre nella figura seguente si riportano le schermate di output delle varie sezioni principali di calcolo (Cross Section) considerate nell'elaborazione di calcolo.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 28 di 60

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

Fig.5.3/C: Schermate di Output programma – Cross Section (RS50: monte /RS10: valle)





PROGETTISTA



COMMESSA
NR/20049

UNITÀ
000

LOCALITÀ

REGIONE TOSCANA

REL-CI-E-00407

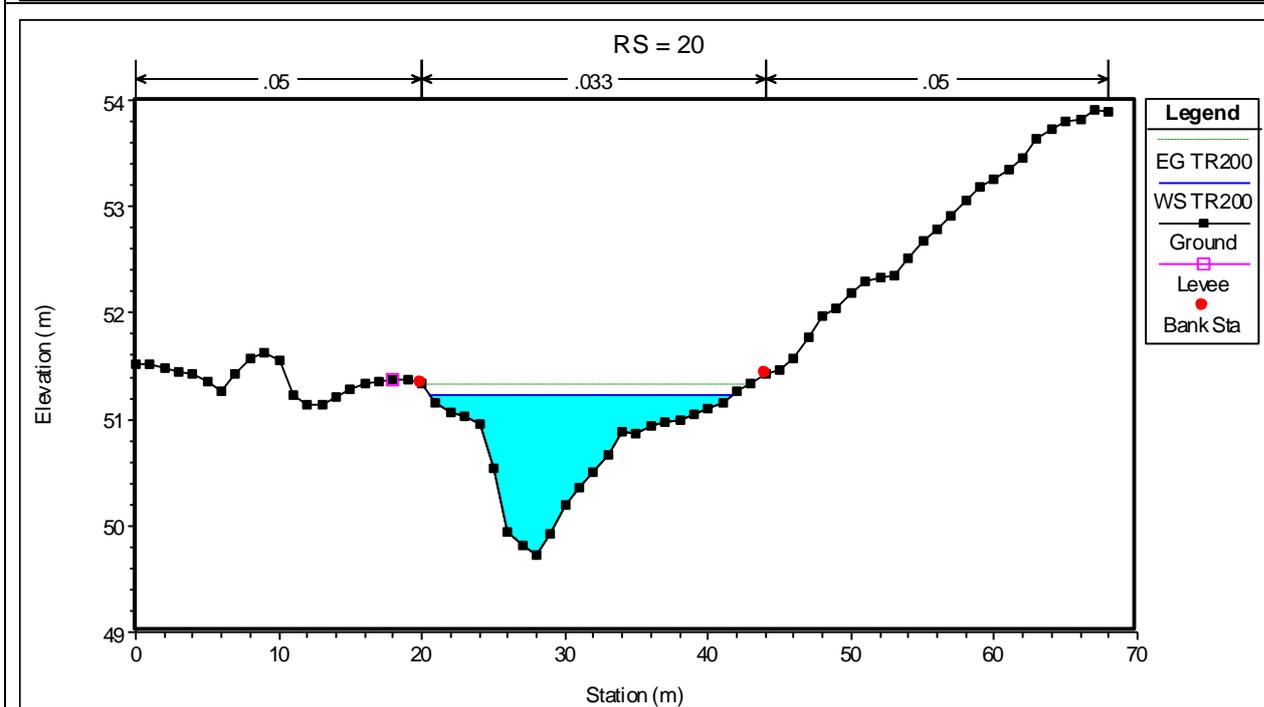
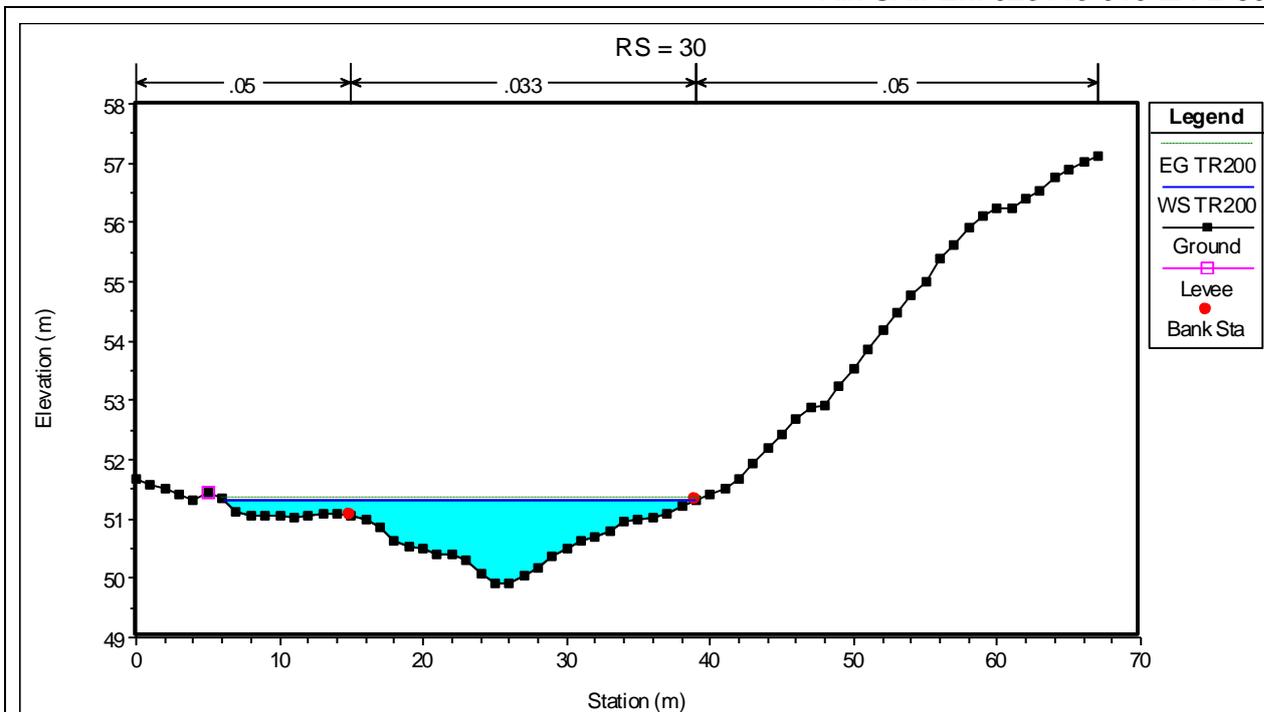
PROGETTO

RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar

Fg. 29 di 60

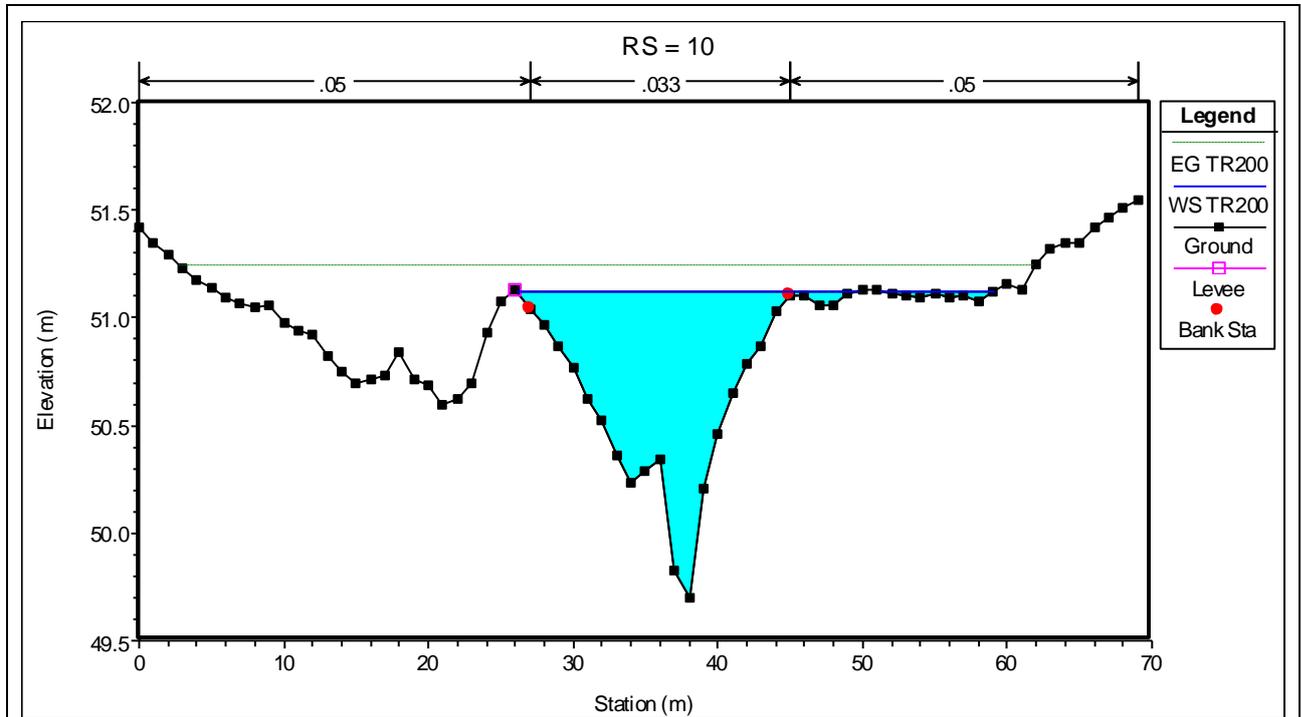
Rev.
0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407



	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 30 di 60	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407



5.4 Analisi dei risultati conseguiti

Nel paragrafo precedente sono state riportate le principali schermate di output del programma Hec Ras; mentre in *Appendice 2* sono riportati i tabulati di Report in forma estesa del programma, al quale si rimanda per gli eventuali approfondimenti di dettaglio.

Dall'esame dei risultati della simulazione idraulica, si rileva che nel tronco idraulico considerato la sezione d'alveo risulta grossomodo in grado di contenere la portata di progetto (portata duecentennale). Delle locali esondazioni si rilevano talvolta nelle sezioni esaminate, ma rimangono comunque confinate nelle immediate vicinanze dell'alveo stesso.

Per le valutazioni dei fenomeni erosivi in alveo della corrente in considerazione della piena di progetto, si rimanda a quanto riportato nel capitolo seguente.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 31 di 60	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

6 VALUTAZIONE EROSIONI DI FONDO ALVEO

6.1 Generalità

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

Allo stato attuale delle conoscenze tecniche, la valutazione dell'entità degli approfondimenti, dei fenomeni di escavazione e di trasporto localizzato, nella maggioranza dei casi, dipende da un puntuale riscontro sul campo, atto a valutare lo stato generale dell'alveo. La stima del valore atteso per tali fenomeni rimane, nella maggioranza dei casi, un'attività dipendente in massima parte dall'esperienza e dalla sensibilità del progettista, il quale deve avvalersi in misura preponderante degli esiti di appositi sopralluoghi per valutare lo stato generale dell'alveo. Le analisi di natura sperimentale disponibili, pur fornendo utili indicazioni circa l'entità dei fenomeni, risultano spesso legate alle particolari condizioni al contorno poste a base delle indagini, ed ai modelli rappresentativi utilizzati.

Il lavoro di ricerca ha prodotto negli ultimi cinquanta anni una serie di risultati, che forniscono utili indicazioni circa l'entità dei fenomeni di escavazione e trasporto localizzato solo in alcuni casi tipici. Va sottolineato che tali risultati sono in generale caratterizzati dai seguenti limiti principali:

- la quasi totalità dei dati utilizzati per la definizione delle metodologie di valutazione delle escavazioni proviene da prove effettuate in laboratorio, su modelli in scala ridotta e su terreni di fondo alveo a granulometria maggiormente omogenea di quanto effettivamente riscontrabile in natura;
- ogni formula determinata per via sperimentale è strettamente legata a casi particolari di escavazione in alveo e risulta difficilmente estrapolabile a casi dissimili da quelli direttamente analizzati in campo o in laboratorio;
- non si dispone di analisi effettuate su ripristini di scavo e su rivestimenti eseguiti in opera, che si differenzino dalle condizioni teoriche di depositi aventi una granulometria ordinaria;
- le sperimentazioni sono in massima parte riferite a condizioni che prevedono una portata di base sostanzialmente costante e non tengono conto di fenomeni di estrema variabilità che caratterizzano gli eventi di piena in alvei a regime torrentizio;
- gli studi sono condotti essenzialmente per alvei di pianura di grandi dimensioni.

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

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 32 di 60	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

6.2 Criteri di calcolo

Approfondimenti localizzati

Per quanto attiene alla formazione locale di buche ed approfondimenti, le posizioni e le caratteristiche di queste erosioni sono talvolta abbastanza prevedibili, come ad esempio nel punto di gorgo dei meandri o in corrispondenza di manufatti, ed a volte del tutto imprevedibili, specialmente in alvei a fondo mobile, cioè costituiti da un materiale di fondo essenzialmente granulare.

Infatti, in tali alvei, anche in assenza di manufatti, sul fondo possono crearsi buche di notevole profondità; le condizioni necessarie per lo sviluppo del fenomeno sembrano individuarsi nella formazione di correnti particolarmente veloci sul fondo e nella presenza di irregolarità geometriche dell'alveo, che innescano il fenomeno stesso.

Fra i modelli più noti atti a determinare il valore dell'eventuale approfondimento rispetto alla quota iniziale del fondo alveo durante la manifestazione di piene (Schoklitsh, Eggemberger, Adami, ecc.), la formula di Schoklitsh² è quella che presenta minori difficoltà nella determinazione dei parametri caratteristici ed è quella maggiormente impiegata (con risultati soddisfacenti) per gli attraversamenti in subalveo di corsi d'acqua da parte delle condotte (soprattutto nel campo dei metanodotti).

In ragione di quanto detto, per la valutazione degli approfondimenti localizzati in alveo rispetto alla quota iniziale del fondo si ricorre alla citata formula di Schoklitsh:

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

dove

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

Il valore di **a** viene assunto in funzione delle caratteristiche geometriche del corso d'acqua, sulla base della pendenza locale del fondo alveo in corrispondenza della massima incisione, moltiplicata per una lunghezza (in asse alveo) pari all'altezza idrica di piena considerata.

Arature di fondo

Per quanto attiene al fenomeno di scavo temporaneo durante le piene o "aratura di fondo", esso raggiunge valori modesti, se inteso come generale abbassamento del fondo alveo, mentre può assumere valori consistenti, localmente, se inteso come migrazione trasversale o longitudinale dei materiali incoerenti.

Nel primo caso si tratta della formazione di canali effimeri di fondo alveo sotto l'azione di vene particolarmente veloci.

Nel secondo caso, tali approfondimenti possono derivare, durante il deflusso di massima piena, dalla formazione di dune disposte trasversalmente alla corrente fluida, che comportano un temporaneo abbassamento della quota d'alveo, in corrispondenza

² Schoklitsh A., "Stauraum verlandung und kolkbewehr", Springer ed., Vienna, 1935.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 33 di 60	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

del cavo tra le dune stesse.

Allo stato attuale non potendosi fare che semplici ipotesi sul fenomeno, non è possibile proporre algoritmi per calcolare la profondità degli scavi. Le proprietà geometriche del fondo alveo, in relazione all'entità delle tensioni tangenziali indotte dalla corrente, sono state studiate³ da Yalin (1964), Nordin (1965) ed Altri, che hanno proposto di assegnare a tali escavazioni un valore cautelativo pari ad una percentuale dell'altezza idrometrica di piena ivi determinata. In particolare, nel caso di regime di corrente lenta, venne concluso che, per granulometrie comprese nel campo delle sabbie, la profondità del fenomeno risulta comunque inferiore a 1/6 o al massimo 1/3 dell'altezza idrica. Una generalizzazione prudenziale, proposta in Italia⁴, sulla base di osservazioni dirette nei corsi d'acqua della pianura padana, estende il limite massimo dei fenomeni di escavazione per aratura, indipendentemente dalla natura del fondo e dal regime di corrente, ad un valore cautelativo pari al 50% dell'altezza idrometrica di piena.

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

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

Considerazioni sui metodi di calcolo impiegati

In Italia, negli ultimi 50÷60 anni circa, per la progettazione di attraversamenti in subalveo dei metanodotti, l'applicazione dei metodi sopracitati (che si completano con la valutazione dell'erosione massima in alveo, in considerazione del valore maggiore tra gli approfondimenti localizzati e le arature di fondo individuati nel tronco fluviale in esame) risultano quelli maggiormente impiegati, anche in considerazione di una vastissima casistica di situazioni litologiche e morfologiche nei contesti fluviali d'intervento.

Sulla base delle esperienze acquisite, ossia sulla base dei riscontri conseguiti nel tempo, i risultati sono assolutamente positivi. Infatti, dall'analisi storica, problematiche di erosioni in alveo che hanno determinato la scopertura di condotte si sono verificate solo in rarissimi casi correlabili a situazioni estremamente particolari e non considerate adeguatamente in fase di progetto, ossia per il crollo di briglie localizzate poco a valle degli attraversamenti, oppure per effetto di azioni antropiche in alveo (ad esempio per estrazioni incontrollate di ingenti quantitativi di inerti).

In definitiva, sulla base dei riscontri delle esperienze acquisite, si può ritenere che l'impiego dei metodi sopracitati, unitamente all'applicazione di adeguati coefficienti di sicurezza (valutati anche in funzione delle condizioni peculiari rilevati nel contesto d'intervento), consentono di garantire all'infrastruttura lineare in progetto condizioni di sicurezza adeguate nei confronti dei processi erosivi di fondo alveo.

³ Si veda la sintesi di questi lavori in Graf W.H., "Hydraulics of sediment transport"; McGraw-Hill, U.S.A.; 1971.

⁴ Zanovello A., Sulle variazioni di fondo degli alvei durante le piene; L'Energia elettrica, XXXIV, n. 8; 1959.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 34 di 60	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

6.3 Stima dei massimi approfondimenti d'alveo attesi

Le valutazioni dei fenomeni erosivi sono state eseguite in riferimento all'evento di piena duecentennale (TR=200 anni), i cui parametri di deflusso nelle sezioni di studio sono riportati nel capitolo precedente.

A tal proposito nella tabella seguente si riportano i valori delle erosioni di fondo alveo, valutati nelle varie sezioni considerate nello studio idraulico.

In particolare, i valori riportati in nero sono stati estrapolati dai parametri caratteristici del deflusso (di cui alla Tab.5.3/A); mentre i valori riportati in blu sono stati valutati in considerazione degli algoritmi descritti nel paragrafo precedente. Le ultime due colonne rappresentano rispettivamente i valori relativi agli approfondimenti localizzati e alle arature di fondo.

Tab.6.3/A: Erosioni nel fondo alveo

River Station	Q Total (m3/s)	Q Chan (m3/s)	Vel Chnl (m/s)	Top Width Act Chl (m)	Hydr Depth C (m)	Portata specifica (m ³ /s m)	Carico totale (m)	Approfond. Localizzati (m)	Arature di fondo (m)
50	16	16.00	1.26	13.12	0.96	1.22	1.04	0.63	0.48
40	16	16.00	0.95	22.35	0.76	0.72	0.81	0.52	0.38
30	16	15.39	0.87	24.00	0.74	0.64	0.78	0.50	0.37
20	16	16.00	1.34	21.15	0.57	0.76	0.66	0.49	0.29
10	16	15.94	1.49	18.00	0.59	0.89	0.70	0.52	0.30

6.4 Analisi dei risultati e considerazioni progettuali

Sulla base delle valutazioni di cui al paragrafo precedente si evince che, relativamente al tronco d'alveo analizzato (all'interno del quale ricade l'interferenza del metanodotto in progetto), la massima erosione attesa al fondo alveo, in concomitanza dell'evento di piena di progetto, è stata valutata in 0.63m.

Tuttavia, a livello conservativo, si raccomanda comunque di assegnare una copertura minima di subalveo pari ad almeno: il valore stimato di massima erosione incrementato di un coefficiente amplificativo del 50%.

A tal proposito si pone in evidenza che, per l'individuazione dell'effettivo valore di copertura in subalveo considerato nell'attraversamento in esame si rimanda a quanto riportato nel paragrafo 7.3.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407	
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 35 di 60	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

7 METODOLOGIA COSTRUTTIVA E SCELTE PROGETTUALI

7.1 Premessa

La definizione del progetto dell'attraversamento in esame è stata effettuata in riferimento a valutazioni di tipo geomorfologico, geotecnico ed idraulico, condotte nell'ambito specifico d'intervento.

In particolare, in considerazione delle caratteristiche del corso d'acqua e dei risultati delle valutazioni conseguiti, sono state definite le scelte progettuali inerenti ai punti qui di seguito elencati:

- la metodologia costruttiva per la realizzazione dell'opera;
- la geometria di posa "in subalveo", con particolare riferimento alla profondità di posa;
- le caratteristiche tipologiche e dimensionali delle opere di difesa idraulica.

7.2 Metodologia operativa: Scavi a cielo aperto

La scelta del sistema di posa in subalveo della condotta, particolarmente nel caso di corsi d'acqua di significativa importanza, deve essere effettuata in modo da garantire la massima sicurezza dal punto di vista idraulico e geotecnico, sia nella fase operativa che a lungo termine, tanto per la condotta in progetto quanto per la configurazione d'alveo del corso d'acqua (fondo, sponde ed eventuali manufatti esistenti).

Nello specifico, l'insieme delle caratteristiche morfologiche, geologiche, geometriche ed idrauliche dell'ambito d'interferenza ha condotto all'individuazione del sistema di posa in subalveo della pipeline mediante la metodologia degli "scavi a cielo aperto". Ciò in quanto, in corrispondenza dell'ambito di attraversamento in esame, la configurazione d'alveo presenta dimensioni sostanzialmente modeste, nonché non si rileva la presenza di manufatti e/o infrastrutture significative in prossimità dell'alveo stesso. Pertanto nel caso in esame si individuano condizioni favorevoli per il corretto sviluppo dei lavori senza particolari criticità.

Infatti, in attraversamenti, come quello in esame, che non necessitano dell'applicazione di differenti metodologie (per presenza di infrastrutture prossime alle sponde quali argini, strade, ferrovie e sottoservizi significativi), la posa di una condotta mediante scavi e successivi rinterri è il sistema più frequentemente utilizzato. Ciò in considerazione della sua versatilità costruttiva, della semplicità nell'organizzazione delle fasi di lavoro e della possibilità di adattare la geometria della condotta a quella della sezione di attraversamento. Inoltre, ostacoli incontrati nelle fasi di scavo, o variazioni di progetto in corso d'opera, generalmente non sono tali da inficiarne la fattibilità o la corretta esecuzione.

La metodologia esecutiva consiste sostanzialmente nelle seguenti fasi:

- nello scavo di una trincea lungo il profilo d'attraversamento fino al raggiungimento delle quote di posa;
- nel successivo alloggiamento della colonna di condotta (precedentemente preassemblata fuori dall'ambito fluviale) nel fondo-scavo;
- infine nel rinterro degli scavi, con il medesimo materiale di scavo (precedentemente accantonato), per il ripristino morfologico dell'area, ivi comprese la realizzazione e/o ripristino di eventuali opere di protezione idraulica.

In relazione alle specifiche caratteristiche idrauliche del corso d'acqua, al periodo climatico di esecuzione, ai volumi di deflusso attesi nel corso delle operazioni esecutive ed alla durata delle stesse, la sequenza operativa dei lavori può essere articolata con uno dei seguenti modi:

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 36 di 60	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

- lavori in continuità con quelli di linea; tale procedura riguarda l'attraversamento di corsi d'acqua "poco importanti" (in relazione all'aspetto idraulico, alla morfologia dei terreni e a rischi di tipo operativo) o caratterizzati da periodi di "secca" o di magra, anche se di breve durata; in tali condizioni i lavori di scavo, posa e rinterro della condotta vengono effettuati in continuità con quelli lungo la linea; in genere si tratta di torrenti, o canali, caratterizzati da modesti valori di portata, che pertanto non necessitano di una specifica struttura atta a consentirne il minimo deflusso, che può essere garantito mediante dispositivi ordinari;
- lavori per "fasi chiuse"; tale procedura prevede che si completi ogni fase prima dell'inizio della successiva; eseguendo in progressione scavo, posa della condotta e rinterri; questa sequenza viene adottata ogni qualvolta è necessario garantire lo smaltimento di un'eventuale portata non trascurabile, che dovesse manifestarsi durante la costruzione.

Preliminarmente alla fase di scavo verranno in generale realizzati dei by-pass, costituiti tomboni e/o da argini, ture ecc., per consentire il normale deflusso delle acque.

Per i corsi d'acqua ampi e/o con deflusso significativo di acqua, i lavori verranno eseguiti per tratti successivi. In questo caso anche gli interventi temporanei di deviazione del flusso verranno adattati nel corso dei lavori, con lo scopo di operare sempre nelle condizioni favorevoli.

Al termine dei lavori, tutte le eventuali opere di deviazione e di regimentazione temporanea del deflusso idraulico verranno rimosse e sarà integralmente ripristinata la configurazione dell'alveo preesistente.

Si precisa inoltre che durante le fasi operative i mezzi ed il personale presenti in alveo saranno quelli strettamente necessari per l'esecuzione dei lavori, con deposito dei materiali e delle attrezzature fuori dall'ambito fluviale. Ciò con lo scopo di agevolare il rapido allontanamento dei mezzi e del personale dall'ambito fluviale in caso di manifestazione di un evento di piena significativo. In ogni caso le procedure di sicurezza connesse a sistemi di preallertamento e alle disposizioni operative in caso di manifestazione di eventi di piena verranno stabilite nel PSC.

I tempi operativi saranno quelli strettamente necessari per lo svolgimento dei lavori, individuando il periodo d'intervento in considerazione delle peculiarità idrologiche stagionali del corso d'acqua.

Si pone in evidenza infine che al completamento dei lavori necessari per dare l'opera finita, si ristabilirà l'originale conformazione plano-altimetrica delle aree interessate, senza alcuna modificazione della sezione idrica offerta al deflusso di piena. In tal modo, l'intervento in progetto non apporterà alterazioni alle condizioni geometriche ed idrauliche dell'alveo. Considerata inoltre la natura dei lavori, non si prevede alcuna variazione delle condizioni di scabrezza dei terreni e pertanto non si darà luogo ad alcuna alterazione della capacità di laminazione naturale dell'alveo e della portata naturalmente rilasciata a valle: l'opera risulta ininfluenza sulle condizioni di smaltimento delle portate del corso d'acqua.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 37 di 60	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

7.3 Geometria della condotta ed interventi di ripristino

Copertura di progetto

Relativamente al profilo di posa della condotta in progetto in subalveo in corrispondenza dell'attraversamento in esame, in considerazione dei risultati degli studi precedentemente riportati e delle condizioni peculiari rilevate nel contesto d'intervento, è stato previsto di posizionare la condotta in progetto con una copertura minima in alveo di 2.5 m (riferita alla profondità della generatrice superiore del tubo nei confronti della quota minima di fondo alveo).

Detta profondità di posa delle condotte, unitamente alle opere di presidio d'alveo previste in progetto, assicurano la sicurezza dell'infrastruttura lineare per tutto il periodo d'esercizio nei confronti dei potenziali processi erosivi.

Interventi di ripristino

Le opere di difesa idraulica previste nell'ambito sono:

- Presidi spondali con palizzate in legname, da realizzare per tutta la fascia interessata dai lavori;

Detti interventi assicureranno dunque il ripristino della configurazione morfologica d'alveo preesistente ed un'efficace funzione di stabilizzazione locale dell'alveo stesso (presidio idraulico nei confronti dei potenziali fenomeni erosivi in concomitanza ad eventi di piena).

Le opere presentano caratteristiche tipologiche ottimali al fine di inserirsi nel contesto naturale esistente.

I lavori di ripristino si completano con la ripresa, stendimento e riprofilatura dello strato superficiale di terreno accantonato, per il ripristino morfologico e vegetazionale dell'intera area. Gli interventi vegetazionali consistono in generale nell'inerbimento dell'area e la messa a dimora di vegetazione arbustiva ed arborea costituite da essenze autoctone.

Si precisa inoltre che, per un esame di dettaglio della configurazione tipologica e dimensionale delle opere in progetto e del profilo geometrico della condotta, si rimanda alla visione del disegno di attraversamento.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 38 di 60	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

8 VALUTAZIONI INERENTI ALLA COMPATIBILITA' IDRAULICA

8.1 Quadro normativo generale

8.1.1 Direttiva 2007/60/CE (Floods Directive - FD)

La *Direttiva 2007/60/CE* cosiddetta "Direttiva alluvioni, Floods Directive – FD", entrata in vigore il 26 novembre 2007, ha istituito "un quadro per la valutazione e la gestione dei rischi di alluvioni volto a ridurre le conseguenze negative per la salute umana, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche connesse con le alluvioni all'interno della Comunità".

In linea con i principi internazionali di gestione dei bacini idrografici già sostenuti dalla *Direttiva 2000/60/CE* (Direttiva Acque), la Direttiva Alluvioni promuove un approccio specifico per la gestione dei rischi di alluvioni e un'azione concreta e coordinata a livello comunitario, in base alla quale gli Stati membri dovranno essere realizzati i seguenti prodotti:

- valutazione preliminare del rischio di alluvione (individuazione di tutte le aree a potenziale rischio di inondazioni);
- mappe della pericolosità e del rischio di alluvione (mappare l'estensione dell'inondazione e gli elementi esposti al rischio in queste aree);
- piani di gestione del rischio di alluvione (adottare misure adeguate e coordinate per ridurre il rischio di alluvione).

La Direttiva promuove anche il coinvolgimento del pubblico nel processo di pianificazione, attraverso idonei strumenti di informazione e consultazione.

Ai sensi della Direttiva, tutti gli Stati membri devono dotarsi di *Piani di Gestione del Rischio di Alluvioni* (PGRA) che contemplino tutti gli aspetti della gestione del rischio e in particolare "la prevenzione, la protezione, e la preparazione, comprese la previsione di alluvioni e i sistemi di allertamento".

La Direttiva delinea un percorso per la redazione dei Piani, definito da una serie di stadi di implementazione, caratterizzati da specifici obblighi e scadenze, all'interno di un ciclo di gestione con periodicità pari a 6 anni.

La Direttiva prevede, altresì, che entro 3 mesi dalle scadenze stabilite per ciascuno stadio di implementazione, vengano riportati alla Commissione Europea una serie di informazioni (reporting), secondo modalità e formati ben definiti.

I Piani di gestione del rischio di alluvione sono stati predisposti dalle Autorità di bacino distrettuali dei 5 distretti idrografici in cui è suddiviso il territorio nazionale (fiume Po, Alpi Orientali, Appennino Settentrionale, Appennino Centrale, Appennino Meridionale) nonché dalle regioni Sardegna e Sicilia. Il periodico riesame e l'eventuale aggiornamento dei Piani ogni 6 anni consente di adeguare la gestione del rischio di alluvioni alle mutate condizioni del territorio, anche tenendo conto del probabile impatto dei cambiamenti climatici sul verificarsi di alluvioni.

8.1.2 D.Lgs. 49/2010

La Direttiva 2007/60/CE è stata recepita nell'ordinamento italiano con il con il D.Lgs. 49/2010, tenendo conto anche della normativa nazionale vigente, in particolar modo del D.Lgs. 152/2006 (recepimento italiano della Direttiva 2000/60/CE) e del DPCM 29 settembre 1998.

L'attuazione della Direttiva 2007/60/CE richiede l'individuazione preliminare delle unità di gestione (Unit of Management – UoM) o porzione di distretto e delle relative autorità competenti (Competent Authority – CA).

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 39 di 60	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

La competenza per la predisposizione delle valutazioni preliminari del rischio, dell'elaborazione delle mappe di pericolosità e rischio e della redazione dei piani di gestione è affidata alle Autorità di Bacino distrettuali a norma del D.Lgs. 152/2006, in conformità con le attività di predisposizione dei Piani di Assetto Idrogeologico già svolte. Alle Regioni e province autonome, in coordinamento tra loro e con il Dipartimento di Protezione Civile, spetta il compito di predisporre la parte dei piani di gestione per il distretto idrografico di riferimento relativa al sistema di allertamento nazionale e regionale per il rischio idraulico ai fini di protezione civile.

Mappe della pericolosità e del rischio di alluvioni

Sulla base della valutazione preliminare del rischio si individuano le aree per le quali sussisterebbe un rischio potenziale significativo di alluvioni o si possa ritenere probabile che questo si generi. Per queste zone riconosciute potenzialmente esposte a rischio di alluvioni sono state predisposte mappe di pericolosità e rischio di alluvioni.

Le mappe di pericolosità contengono la perimetrazione delle aree geografiche che potrebbero essere interessate dall'esondazione di un corso d'acqua secondo i seguenti scenari:

1. scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi;
2. media probabilità di alluvioni;
3. elevata probabilità di alluvioni;

Le mappe di rischio indicano le potenziali conseguenze negative derivanti da alluvioni per ciascuno dei tre scenari di pericolosità. Il D.Lgs 49/2010, di recepimento della Direttiva, prevede 4 classi di rischio espresse in termini di:

- numero di abitanti potenzialmente interessati;
- infrastrutture e strutture strategiche;
- beni ambientali, storici e culturali;
- distribuzione e tipologia delle attività economiche;
- presenza di impianti potenzialmente inquinanti (Allegato I D.Lgs 59/2005) e di aree protette (Allegato 9 parte III D.Lgs 152/2006);
- altre informazioni considerate utili, come le aree soggette ad alluvioni con elevato volume di trasporto solido e colate detritiche o informazioni su fonti rilevanti di inquinamento.

L'esistenza nel territorio italiano dei Piani di Assetto Idrogeologico (PAI), redatti ai sensi della Legge 183/89, ha fornito un'adeguata base di partenza, opportunamente aggiornata, omogenizzata e valorizzata, per l'adempimento agli obblighi di cui alla Direttiva. Quindi le mappe di pericolosità e rischio di alluvioni sono state realizzate a partire dai PAI ed in accordo con gli "Indirizzi operativi" emanati dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare, con il contributo di ISPRA Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale, delle Autorità di Bacino Nazionali e del Tavolo tecnico Stato-Regioni.

8.1.3 Piani di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)

I piani di gestione definiscono gli obiettivi della gestione del rischio di alluvioni per le zone in cui può sussistere un rischio potenziale ritenuto significativo, al fine di ridurre le possibili conseguenze negative per la salute umana, il territorio, i beni, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche e sociali, attraverso l'attuazione prioritaria di interventi strutturali e non strutturali e di azioni per la riduzione della pericolosità.

Sulla base delle mappe di pericolosità e rischio di alluvioni le autorità competenti hanno predisposto i Piani di gestione del rischio di alluvioni coordinati a livello di

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 40 di 60	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

distretto idrografico.

I piani riguardano tutti gli aspetti della gestione del rischio di alluvioni, e in particolare la prevenzione, la protezione e la preparazione, comprese le previsioni di alluvioni e i sistemi di allertamento, e tengono conto delle caratteristiche del bacino idrografico o del sottobacino interessato.

Il D.Lgs. 49/2010 dispone che i piani di gestione siano predisposti nell'ambito delle attività di pianificazione di bacino di cui al D.Lgs. 152/2006, facendo salvi gli strumenti già approntati in attuazione della normativa previgente e tenendo conto dei seguenti aspetti:

- la portata della piena e l'estensione dell'inondazione;
- le vie di deflusso delle acque e le zone con capacità di espansione naturale delle piene;
- gli obiettivi ambientali di cui alla parte terza, titolo II, del D.Lgs. 152/2006;
- la gestione del suolo e delle acque;
- la pianificazione e le previsioni di sviluppo del territorio;
- l'uso del territorio;
- la conservazione della natura;
- la navigazione e le infrastrutture portuali;
- i costi e i benefici;
- le condizioni morfologiche e meteomarine alla foce.

Riesami e aggiornamenti

Gli elementi dei piani di gestione del rischio di alluvioni dovranno essere riesaminati periodicamente e, se necessario, aggiornati tenendo conto delle probabili ripercussioni dei cambiamenti climatici sul verificarsi delle alluvioni.

La Direttiva dispone i termini per il riesame della valutazione preliminare del rischio di alluvioni al 22 dicembre 2018 e successivamente ogni sei anni, delle mappe di pericolosità e rischio di alluvioni al 22 dicembre 2019 e successivamente ogni sei anni, e dei Piani di Gestione al 22 dicembre 2021 e successivamente ogni sei anni.

Informazione e Partecipazione Pubblica

La comunicazione e la partecipazione pubblica all'iter di elaborazione dei piani di gestione del rischio di alluvioni rivestono, secondo la Direttiva, un ruolo strategico ai fini della condivisione e legittimazione dei piani stessi.

A tal fine, le Autorità di bacino distrettuali e le Regioni afferenti il bacino idrografico, in coordinamento tra loro e con il Dipartimento nazionale della Protezione Civile, ciascuna per le proprie competenze, devono mettere a disposizione del pubblico la valutazione preliminare del rischio di alluvioni, le mappe della pericolosità e del rischio di alluvioni ed i piani di gestione del rischio di alluvioni. Le stesse Autorità promuovono poi la partecipazione attiva all'elaborazione, al riesame e all'aggiornamento dei piani di gestione di tutti i soggetti competenti interessati.

Il Ministero dell'Ambiente e della tutela del Territorio e del Mare mette a disposizione del pubblico e della Comunità Europea le informazioni relative alla valutazione preliminare, alle mappe di rischio e pericolosità ed ai Piani di gestione del rischio di alluvioni sul Geoportale Nazionale, già punto di accesso nazionale alle informazioni territoriali e ambientali per la Direttiva INSPIRE 2007/2/EC.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 41 di 60		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

8.2 Quadro normativo di riferimento per l'ambito in esame

8.2.1 Premessa

Dal 17 febbraio 2017, con la pubblicazione nella G.U.R.I. n. 27 del 2 febbraio 2017, è entrato in vigore il DM n.294 del 25/10/2016 dell'ex Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM); da tale data sono sopresse su tutto il territorio nazionale, le Autorità di bacino nazionali, interregionali e regionali e il trasferimento delle competenze alle Autorità di bacino distrettuali.

Pertanto, con l'entrata in vigore della norma summenzionata, l'ambito specifico in esame (collocato all'interno del territorio dell'ex Autorità di bacino Toscana Costa) ricade nelle pertinenze territoriali dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale.

Lo strumento operativo previsto dalla legge italiana (D.Lgs. n.49 del 2010, che dà attuazione alla Direttiva Europea 2007/60/CE) per individuare e programmare le azioni necessarie a ridurre le conseguenze negative delle alluvioni per la salute umana, per il territorio, per i beni, per l'ambiente, per il patrimonio culturale e per le attività economiche e sociali è rappresentato dal Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGR). Esso deve essere predisposto a livello di distretto idrografico.

Il PGR sostituisce a tutti gli effetti, con una nuova cartografia e nuove norme, i PAI (Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico) riguardanti gli ambiti a pericolosità e rischio idraulico, redatti dalle ex Autorità di bacino nazionali, interregionali e regionali che attualmente sono ricomprese nelle pertinenze dell'Autorità di Bacino Distrettuale.

In particolare, nel bacino del fiume Arno e negli ex bacini regionali toscani la parte del PAI relativa alla pericolosità idraulica è stata abrogata e sostituita integralmente dal PGR. Il PAI si applica esclusivamente per la parte relativa alla pericolosità da frana e da dissesti di natura geomorfologica.

Conseguentemente il Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGR), redatto dal distretto idrografico dell'Appennino Settentrionale, costituisce l'unico strumento di riferimento pianificatorio e normativo per la gestione del rischio di alluvioni e il governo del territorio nell'ex bacino del fiume Arno e negli ex bacini regionali toscani.

8.2.2 PGR del Distretto Appennino Settentrionale

Generalità

Il Piano di gestione del rischio di Alluvioni del Distretto idrografico dell'Appennino Settentrionale è stato approvato con il DPCM del 27 ottobre 2016, pubblicato in gazzetta ufficiale n.28 del 3 febbraio 2017.

Il PGR supera, nell'ex bacino del fiume Arno e negli ex bacini regionali toscani, il PAI sia dal punto di vista cartografico che dal punto di vista della disciplina della pericolosità da alluvioni, introducendo una nuova Disciplina di piano con allegati orientata alla gestione del rischio e alla responsabilizzazione degli enti locali in tale gestione, alla tutela e salvaguardia della naturalità dei corsi d'acqua.

In sostanza, con l'adozione definitiva del PGR le norme di PAI continuano a mantenere la loro operatività rispetto alla pericolosità idraulica esclusivamente per quanto non espressamente in contrasto con la Disciplina dello stesso PGR. Il PAI mantiene integralmente i propri contenuti e le proprie norme d'uso per quanto riguarda la pericolosità da processi geomorfologici di versante e da frana.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 42 di 60	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

Il PGRA racchiude pertanto in sé sia la parte di regole ed indirizzi (misure di prevenzione) per una gestione del territorio orientata a mitigare e gestire i rischi con particolare riguardo al patrimonio esistente, sia gli interventi (misure di protezione) da attuare per mitigare gli effetti delle alluvioni sugli elementi esposti al rischio. La Disciplina di Piano include inoltre le modalità con cui si preservano e si integrano le aree destinate alla realizzazione degli interventi. Infine il PGRA introduce, con la definizione delle aree di contesto fluviale e delle aree con particolare predisposizione al verificarsi di fenomeni tipo flash flood, particolari indirizzi per il governo del territorio tesi anche questi alla mitigazione degli effetti al suolo.

Le misure di prevenzione (Disciplina di Piano) e quelle di protezione (interventi) contribuiscono al raggiungimento degli obiettivi generali stabiliti alla scala dell'intero distretto dell'Appennino settentrionale. Nel PGRA tali obiettivi sono declinati in dettaglio nelle varie porzioni del bacino (aree omogenee). Al raggiungimento degli obiettivi concorrono anche le misure di preparazione (azioni di protezione civile quali il sistema di allertamento, il servizio di piena, i piani di Protezione civile, etc.) che sono di competenza delle Regioni e del Dipartimento nazionale di Protezione civile.

PGRA - Disciplina di Piano - Cenni

Nell'ambito dell'art.1 della Disciplina di Piano sono riportate le finalità del PGRA. In particolare nel comma 4 si cita quanto qui di seguito riportato.

In coerenza con le finalità generali della direttiva 2007/60/CE e del decreto legislativo n. 49/2010, il PGRA delle U.O.M. Arno, Toscana Nord, Toscana Costa e Ombrone persegue i seguenti obiettivi generali che sono stati definiti alla scala del distretto idrografico dell'Appennino Settentrionale:

1. Obiettivi per la salute umana

- a) riduzione del rischio per la vita delle persone e la salute umana;
- b) mitigazione dei danni ai sistemi che assicurano la sussistenza e l'operatività delle strutture strategiche.

2. Obiettivi per l'ambiente

- a) riduzione del rischio per le aree protette derivante dagli effetti negativi dovuti al possibile inquinamento in caso di eventi alluvionali;
- b) mitigazione degli effetti negativi per lo stato ambientale dei corpi idrici dovuti al possibile inquinamento in caso di eventi alluvionali, con riguardo al raggiungimento degli obiettivi ambientali di cui alla direttiva 2000/60/CE.

3. Obiettivi per il patrimonio culturale

- a) Riduzione del rischio per il patrimonio culturale, costituito dai beni culturali, storici ed architettonici esistenti;
- b) mitigazione dei possibili danni dovuti ad eventi alluvionali sul sistema del paesaggio.

4. Obiettivi per le attività economiche

- a) mitigazione dei danni alla rete infrastrutturale primaria;
- b) mitigazione dei danni al sistema economico e produttivo pubblico e privato;
- c) mitigazione dei danni alle proprietà immobiliari;
- d) mitigazione dei danni ai sistemi che consentono il mantenimento delle attività economiche.

Le norme di disciplina degli interventi nelle aree a Pericolosità da alluvione fluviale sono riportate nell'ambito del Capo II - Sezione I della Disciplina di piano.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407	
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 43 di 60	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

In particolare, per quanto riguarda le aree a pericolosità da alluvione elevate (P3), nell'art.7, comma 4 si riporta:

Le Regioni disciplinano le condizioni di gestione del rischio idraulico per la realizzazione degli interventi nelle aree P3.

Per quanto riguarda le aree a pericolosità da alluvione media (P2), nell'art.9, comma 3 si riporta:

Le Regioni disciplinano le condizioni di gestione del rischio idraulico per la realizzazione degli interventi nelle aree P2.

Per quanto riguarda le aree a pericolosità da alluvione bassa (P1), nell'art.11, comma 3 si riporta:

La Regione disciplina le condizioni di gestione del rischio idraulico per la realizzazione degli interventi nelle aree P1.

8.2.3 L.R. n. 41/2018

La Regione Toscana, in data 24/07/2018, ha emanato L.R.41/2018 "*Disposizioni in materia di rischio di alluvioni e di tutela dei corsi d'acqua in attuazione del decreto legislativo 23 febbraio 2010, n. 49 (Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni). Modifiche alla l.r. 80/2015 e alla l.r. 65/2014.*

La Legge regionale è stata emanata, nel rispetto del decreto legislativo 23 febbraio 2010, n. 49 (Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni), al fine di ridurre le conseguenze negative, derivanti dalle alluvioni, per la salute umana, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche, nonché al fine di mitigare i fenomeni di esondazione e dissesto idrogeologico, disciplina la gestione del rischio di alluvioni in relazione alle trasformazioni del territorio e la tutela dei corsi d'acqua (cfr: art.1 - oggetto).

La Legge regionale all'art.3, comma 2, lettera b) stabilisce che negli alvei, nelle golene sono consentite le realizzazione di reti dei servizi essenziali e opere sovrappassanti o sottopassanti il corso d'acqua.

Ciò a condizione che, ai sensi dell'art.3, comma 5, vi sia previa autorizzazione della struttura regionale competente, che verifica la compatibilità idraulica nel rispetto delle seguenti condizioni:

- a) *sia assicurato il miglioramento o la non alterazione del buon regime delle acque;*
- b) *non interferiscano con esigenze di regimazione idraulica, accessibilità e manutenzione del corso d'acqua e siano compatibili con la presenza di opere idrauliche;*
- c) *non interferiscano con la stabilità del fondo e delle sponde;*
- d) *non vi sia aggravio del rischio in altre aree derivante dalla realizzazione dell'intervento;*
- e) *non vi sia aggravio del rischio per le persone e per l'immobile oggetto dell'intervento;*

L'art. 13, comma 4, stabilisce che nelle aree a pericolosità per alluvioni frequenti o poco frequenti, indipendentemente dalla magnitudo idraulica, gli interventi di seguito indicati possono essere realizzati alle condizioni stabilite:

- c) *nuove infrastrutture a rete per la distribuzione della risorsa idrica, il convogliamento degli scarichi idrici, il trasporto di energia e gas naturali nonché l'adeguamento e l'ampliamento di quelle esistenti, a condizione che sia assicurato il non aggravio delle condizioni di rischio;*

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 44 di 60

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

8.3 Interferenze con PGRA nell'ambito di attraversamento del corso d'acqua

Nella figura seguente è riportato uno stralcio planimetrico in scala 1:10.000, dal quale si può individuare l'ambito d'interferenza tra il metanodotto in progetto (riportato mediante una linea in colore rosso) con l'alveo del corso d'acqua (indicato con un cerchio in blu) e più in generale con le aree censite dal PGRA a pericolosità elevata e media (riportate mediante campiture semi-trasparenti con varie tonalità di blu).

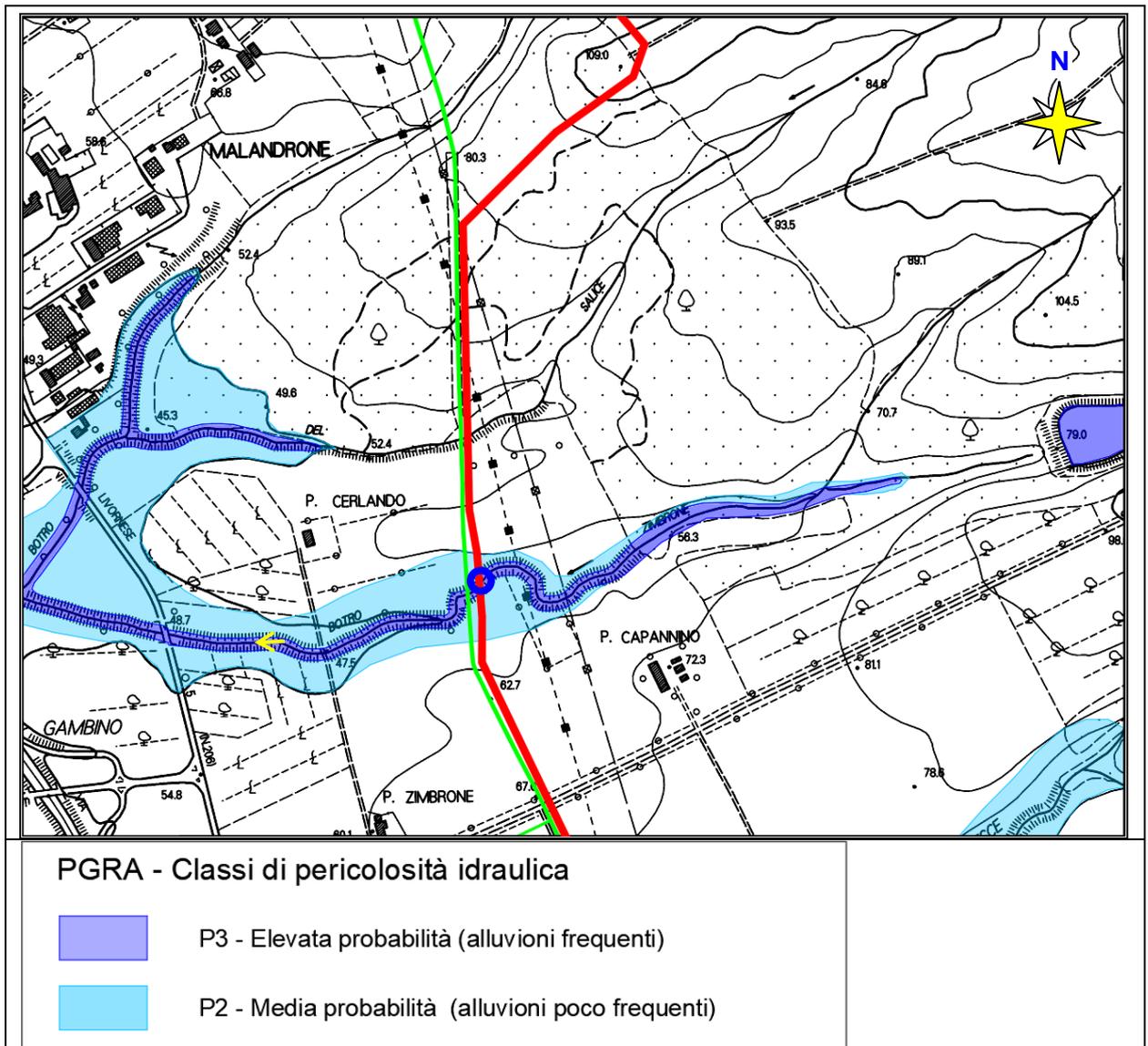


Fig.8.3/A: Interferenze tra metanodotto in progetto con le aree P2 e P3 dal PGRA

Dall'analisi della figura precedente si rileva che il tracciato del metanodotto in progetto in corrispondenza dell'attraversamento dell'alveo del corso d'acqua (indicato schematicamente mediante un cerchio in blu) ricade in un ambito censito a pericolosità da alluvioni fluviali elevata (P3).

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 45 di 60	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

Fuori dall'ambito di attraversamento dell'alveo del corso d'acqua (dove la condotta verrà comunque posizionata mediante la tradizionale tecnica degli "scavi a cielo aperto"), il tracciato del metanodotto continua a svilupparsi (sia in sinistra, che in destra idrografica) per dei brevi tratti entro delle porzioni di territorio potenzialmente inondabili, censite a pericolosità media (P2).

8.4 Analisi delle condizioni di compatibilità idraulica

8.4.1 Considerazioni di carattere generale

Il metanodotto in progetto rappresenta un'infrastruttura lineare (di interesse pubblico) di trasporto del gas, che risulta tra le tipologie d'intervento per le quali, ai sensi della L.R. n. 41/2018, è consentito l'interferenza con le aree a pericolosità per alluvioni (frequenti o poco frequenti), a condizione che sia assicurato il non aggravio delle condizioni di rischio.

L'interferenza specifica con le aree censite a pericolosità idraulica del corso d'acqua è stata determinata da considerazioni a più ampia scala che riguardano l'intera direttrice del tracciato del metanodotto, per la quale sono state attentamente valutate varie alternative di progetto. In particolare, si pone in evidenza che (in ogni caso) non è risultato possibile evitare l'interessamento delle aree a pericolosità idraulica di pertinenza del corso d'acqua in esame. Ciò in considerazione che il metanodotto prende origine nel territorio di Collesalveti (in località Mortaiolo) e termina nel territorio di Piombino (in località Vignarca), e pertanto nell'ambito del proprio sviluppo la linea in progetto deve necessariamente interferire con i vari corsi d'acqua che si sviluppano nel territorio tra le località di estremità precedentemente citate.

In ogni caso, si evidenzia che il metanodotto in progetto risulta un'opera completamente interrata e, essendo costituita da tubazioni in acciaio saldate rivestite in polietilene, non presenta alcun problema operativo e di sicurezza in caso di innalzamento della falda e/o di allagamento dell'area.

Le uniche strutture visibili risulteranno essere le paline ed i cartelli indicatori e pertanto, anche in occasione delle piene eccezionali del corso d'acqua, non si introdurranno interferenze idrauliche significative per la laminazione delle piene e/o riduzioni della capacità di invaso.

La costruzione dell'infrastruttura lineare, inoltre, non determina alcuna forma di trasformazione del territorio. Non sono previsti cambiamenti di destinazioni d'uso del suolo, né azioni di esproprio; ma unicamente una servitù di una stretta fascia a cavallo dell'asse della tubazione, lasciando dunque inalterate le possibilità di sfruttamento agricolo dei fondi.

Pertanto, in ragione di quanto esposto, si ritiene che la costruzione dell'opera non determini alcun mutamento significativo sulle condizioni idrologiche ed idrauliche nell'ambito fluviale interessato dall'attraversamento.

Infine, in considerazione della tipologia di opera (tubazione interrata), non è previsto alcun incremento del carico insediativo nell'area di intervento.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 46 di 60	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

8.4.2 Considerazioni specifiche inerenti all'ambito di attraversamento dell'alveo

Entrando in maggior dettaglio in merito agli aspetti connessi alla specifica interferenza idraulica in corrispondenza dell'alveo del corso d'acqua, dove la posa della condotta è prevista mediante "scavi a cielo aperto", si evidenzia quanto segue:

- L'attraversamento fluviale avviene in "subalveo" e prevede una profondità di posa della condotta di sufficiente garanzia nei confronti d'eventuali fenomeni di erosione di fondo (anche localizzati e/o temporanei) che si possono produrre anche in concomitanza di piene eccezionali, cosicché è da escludere qualsiasi interferenza tra tubazione e flusso della corrente;
- La configurazione morfologica dell'alveo, sia dal punto di vista planimetrico che altimetrico, verrà mantenuta praticamente invariata nei confronti della situazione preesistente. Le opere complementari (presidi spondali in legname) sono infatti unicamente finalizzate al ripristino della configurazione originaria dell'alveo, oltre che al presidio idraulico dell'infrastruttura nei confronti di potenziali fenomeni erosivi in ambito locale da parte della corrente;
- La configurazione geometrica della condotta nell'ambito di intervento (quote in subalveo e profili di risalita) è stata stabilita anche in considerazione delle potenziali dinamiche fluviali del corso d'acqua e sono tali da non precludere la possibilità di effettuare interventi futuri in alveo, finalizzati ad attenuare o eliminare le condizioni di rischio idraulico (es: risagomature dell'alveo, realizzazione di eventuali opere di regimazione idraulica, ecc.).

In ragione delle scelte progettuali e del sistema d'attraversamento, si possono dunque esprimere le seguenti considerazioni inerenti alle interferenze con la dinamica fluviale del corso d'acqua:

1. *Modifiche indotte sul profilo inviluppo di piena*

Non generando alterazioni dell'assetto morfologico (tubazione completamente interrata, con ripristino definitivo dei terreni allo stato preesistente), non sarà determinato dalla costruzione della condotta nessun effetto di variazione dei livelli idrici e quindi del profilo d'inviluppo di piena.

2. *Riduzione della capacità di laminazione e/o di invaso dell'alveo*

La condotta in progetto, essendo completamente interrata, non crea alcun ostacolo al corretto deflusso delle acque e/o all'azione di laminazione delle piene, né contrazioni areali delle fasce d'esondazione e pertanto non sottrae capacità d'invaso.

3. *Modifiche indotte sull'assetto morfologico planimetrico ed altimetrico dell'alveo*

L'opera in progetto non induce alcuna modifica all'assetto morfologico dell'alveo inciso, sia dal punto di vista planimetrico che altimetrico, essendo questa localizzata in subalveo ad una profondità superiore ad ogni prevedibile fenomeno d'approfondimento, e garantendo con la realizzazione d'opere di ripristino le preesistenti caratteristiche idrauliche della sezione di deflusso.

4. *Interazioni in considerazione delle potenziali dinamiche fluviali del corso d'acqua*

Gli interventi previsti non costituiscono elementi d'interferenza con il regime idraulico naturale del corso d'acqua (quali restringimenti e/o modifiche dell'assetto longitudinale), in quanto le opere sono finalizzate al ripristino della configurazione originaria dell'alveo ed al presidio idraulico nei confronti di potenziali fenomeni erosivi. Le caratteristiche tipologiche delle opere previste si inseriscono perfettamente nel contesto naturale esistente.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 47 di 60	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

5. *Modifiche indotte sulle caratteristiche naturali e paesaggistiche della regione fluviale*
Essendo l'opera del tutto interrata non saranno indotti effetti particolarmente impattanti con il contesto naturale della regione fluviale che possano pregiudicare in maniera "irreversibile" l'attuale assetto paesaggistico. Condizioni d'impatto sono limitate alle sole fasi di costruzione e per questo destinate a scomparire nel tempo, con la ricostituzione delle componenti naturalistiche ed ambientali.

8.4.3 Considerazioni specifiche inerenti ai tratti di percorrenza di linea delle aree inondabili

Infine relativamente ai tratti del tracciato ricadenti esternamente dall'ambito di attraversamento dell'alveo del corso d'acqua, ma comunque collocati all'interno di aree censite a pericolosità idraulica (dove il metanodotto verrà posizionato mediante scavi a cielo aperto) si evidenzia quanto segue.

Queste interferenze riguardano delle porzioni di territorio che rappresentano delle aree di laminazione e/o di invaso del corso d'acqua in occasione di piene eccezionali (o comunque molto significative) ed in quanto tali, risultano degli ambiti di assoluta sicurezza per la condotta nei confronti dei processi di dinamica fluviale.

A tal proposito si mette in evidenza che il metanodotto in progetto risulta un'opera completamente interrata ed essendo costituita da tubazioni in acciaio saldate rivestite in polietilene, non presenta alcun problema operativo e di sicurezza in caso di innalzamento della falda e allagamento dell'area.

L'intervento prevede il completo interrimento della tubazione (alla profondità di almeno 1,5 m nei confronti del piano campagna, salvo eventuali tratti a copertura ulteriormente maggiorata) e l'integrale ripristino morfologico e vegetazionale delle aree interessate dai lavori.

In detti ambiti di percorrenza non sono previste modifiche circa lo stato dei luoghi, trasformazioni del territorio e/o cambiamenti di destinazione d'uso dei fondi. Le uniche strutture visibili risulteranno essere le paline, i cartelli indicatori ed eventuali sfiati in corrispondenza degli attraversamenti stradali e pertanto non si introdurranno interferenze idrauliche significative per la laminazione delle piene del corso d'acqua e/o riduzione della capacità di invaso, né tantomeno alterazioni all'eventuale deflusso in occasione delle piene eccezionali.

8.5 **Considerazioni conclusive sulla compatibilità idraulica**

Alla luce di quanto evidenziato si ritiene che, in riferimento alle specificità dell'opera (infrastruttura interrata) e alle scelte progettuali effettuate nell'ambito in esame (metodologie costruttive e configurazione geometrica della condotta), l'intervento in progetto:

- non introduca alcun elemento di ostacolo al libero deflusso e dunque non determini alcuna alterazione del regime attuale di deflusso delle acque;
- non determini l'inserimento di elementi di riduzione della capacità di laminazione e di invaso in corrispondenza delle aree potenzialmente inondabili dalle piene del corso d'acqua;
- non comporti l'alterazione delle caratteristiche naturali e paesaggistiche della regione fluviale;
- non implichi alcuna forma di trasformazione dello stato dei luoghi del territorio e non sono previsti cambiamenti di destinazioni d'uso del suolo;

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 48 di 60	Rev. 0	

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

- non determini alcun aggravio delle condizioni di pericolosità e di rischio nell'area (non è previsto l'incremento del carico insediativo), né tantomeno provochi degli aggravamenti delle condizioni di pericolosità e di rischio per le aree esterne a quella d'intervento;
- non introduca elementi di impedimento per l'eventuale realizzazione di interventi di attenuazione e/o eliminazione delle condizioni di rischio nell'ambito fluviale in esame.

In conclusione si ritiene che l'opera in progetto sia congruente con le misure di protezione e prevenzione stabilite nella Disciplina di piano del PGRA, nonché **COMPATIBILE** con le disposizioni stabilite nella L.R. n.41/2018 della Regione Toscana.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 49 di 60	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

9 CONCLUSIONI

La Snam Rete Gas, nell'ambito del progetto generale denominato "Rifacimento metanodotto Livorno – Piombino DN 750 (30")", DP 75bar e opere connesse", intende realizzare un metanodotto caratterizzato da una lunghezza complessiva di circa 84km, che si sviluppa dal comune di Collesalveti, sino al comune di Piombino.

Il suddetto tracciato del metanodotto in progetto (DN 750) interseca l'alveo del botro ZIMBRONE nel territorio comunale di Castellina Marittima (PI), in prossimità della località "P. Capannino".

Con lo scopo di individuare le soluzioni tecnico-operative più idonee per l'attraversamento in esame (metodologia costruttiva, profilo di posa in subalveo della condotta, eventuali opere di ripristino) sono state eseguite specifiche valutazioni di tipo geomorfologico, idrologico ed idraulico.

Alla luce dei risultati conseguiti, per il superamento in subalveo del corso d'acqua, è stata prevista l'adozione di un sistema di attraversamento mediante "scavi a cielo aperto", con posizionamento della condotta in progetto con coperture di sicurezza adeguatamente cautelative nei confronti dei potenziali processi erosivi.

In aggiunta sono state previste delle opere di protezione idraulica dell'alveo (presidi spondali in legname), con lo scopo di ripristinare la configurazione d'alveo esistente prima dell'inizio dei lavori. Gli interventi di progetto assicurano dunque il ripristino della configurazione d'alveo preesistente e garantiscono inoltre le adeguate condizioni di sicurezza della condotta, per tutto il periodo di esercizio.

Le opere previste non costituiscono elementi di interferenza con il regime idraulico naturale del corso d'acqua e non determinano delle variazioni significative all'assetto piano-altimetrico preesistente del corso d'acqua (quali restringimenti e/o modifiche dell'assetto longitudinale). Le stesse opere sono state scelte con caratteristiche tipologiche ottimali al fine di inserirsi nel contesto naturale esistente.

Nell'analisi delle interferenze tra la linea in progetto con gli ambiti censiti a pericolosità da alluvione ai sensi del PGRA, si è rilevato che in corrispondenza dell'ambito di attraversamento del corso d'acqua il metanodotto in progetto interferisce con delle aree censite a pericolosità da alluvioni fluviali, ai sensi del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) redatto dal Distretto Idrografico dell'Appennino Settentrionale.

In tal senso, nel presente studio di compatibilità, è stato evidenziato che l'intervento in progetto non introduce alterazioni significative al deflusso della corrente e/o riduzione della capacità di invaso e di laminazione del corso d'acqua e più in generale non determina alcuna modifica significativa allo stato dei luoghi nei territori interessati dai lavori, non implica trasformazioni e/o cambiamenti circa l'uso del suolo. L'intervento, inoltre, non determina alcun aggravio delle condizioni di rischio idraulico nell'area (non è previsto l'incremento del carico insediativo), né tantomeno in ambiti esterni.

Pertanto, si ritiene che le specificità dell'opera (infrastruttura interrata) e le scelte progettuali inerenti allo specifico ambito in esame possano essere ritenute non in contrasto con le misure di protezione e prevenzione stabilite nella Disciplina di piano del PGRA, nonché siano COMPATIBILI con le disposizioni stabilite nella L.R. n.41/2018 della Regione Toscana.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 50 di 60	Rev. 0	

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

APPENDICE 1:
STUDIO IDRAULICO / METODOLOGIA DI CALCOLO

Codice di calcolo

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

Il calcolo del profilo in moto permanente è stato eseguito per mezzo della versione 5.0.7, marzo 2019.

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 torrentizia nell'intorno del punto di interesse;
- il risultato d'analisi non dipende dallo sviluppo temporale dell'evento di piena, ma solo dal massimo valore di livello idrico raggiunto durante l'evento stesso e dai regimi delle velocità osservate.

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

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

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

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

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

dove:

- A, area della sezione bagnata (m²);
- Λ, coefficiente di attrito di Chezy (m^{1/2}/s);

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 51 di 60	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

- g , accelerazione di gravità (m/s²);
- h , altezza del pelo libero rispetto ad un livello di riferimento orizzontale (m);
- Q , portata (m³/s);
- R , raggio idraulico (m);
- α , coefficiente di distribuzione della quantità di moto;
- q , portata laterale addotta (m²/s).

Condizioni di moto

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

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

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

Nelle ipotesi di condizioni di moto permanente unidimensionale, corrente gradualmente variata (fatta eccezione per le sezioni in cui si risente della presenza di strutture, quali ponti o tombini per attraversamento) e pendenze longitudinali del fondo dell'alveo non eccessive, per un dato tratto fluviale elementare, di lunghezza finita, il modello si basa sulla seguente equazione di conservazione dell'energia tra le generiche sezioni trasversali di monte e di valle, rispettivamente indicate con i pedici 2 e 1

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

in cui

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

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

$$\Delta H = L J_m + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

in cui

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 52 di 60	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

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

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

$$Q = KJ^{0,5}$$

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

$$K = AR_i^{2/3}/n$$

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

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

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

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

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

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

Assetto geometrico

HEC-RAS richiede la schematizzazione del corso d'acqua con tratti successivi di lunghezza variabile individuati alle estremità da sezioni di geometria nota. La posizione delle sezioni trasversali va scelta in modo da descrivere in maniera adeguata il tratto considerato, prevedendo in linea di massima, sezioni più fitte nei tratti dove la geometria trasversale dell'alveo risulta molto variabile e più rade nei tratti in cui la geometria si mantiene piuttosto

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 53 di 60	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

uniforme.

Le sezioni trasversali sono suddivise in tre parti, caratterizzate da differenti valori della scabrezza, in cui la velocità si possa ritenere uniformemente distribuita: la parte centrale o canale principale, interessata dalle portate più basse, e le banchine laterali o golene, interessate dalle portate più alte. Il modello è in grado di simulare gli effetti indotti sui livelli dalla presenza di sezioni singolari quali ponti, tombini, stramazzi ed ostruzioni dell'alveo.

Nel caso in oggetto non si è fatto riferimento ad alcuna ramificazione dell'alveo, implementando un modello completamente monodimensionale, che si estende lungo il tracciato del corso d'acqua.

Condizioni al contorno

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

Le condizioni al contorno disponibili sono:

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

Risultati dei calcoli idraulici

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

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

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

E' fornita anche la linea del carico totale ottenuta come

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

dove

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 54 di 60	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

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

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

Nel caso di passaggio da regime supercritico a subcritico tramite risalto idraulico, la corrente perde il carattere gradualmente variato e l'equazione dell'energia non può essere applicata. In tal caso, il codice di calcolo ricorre all'equazione di conservazione della quantità di moto, che, indicando con i e 1 rispettivamente le sezioni di monte e di valle del tratto considerato, si esprime come

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

dove:

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

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 55 di 60

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

APPENDICE 2:
STUDIO IDRAULICO / REPORT PROGRAMMA HEC RAS

HEC-RAS HEC-RAS 5.0.7 March 2019
U.S. Army Corps of Engineers
Hydrologic Engineering Center
609 Second Street
Davis, California

```

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

```

PROJECT DATA

Project Title: zimbrone
Project File : zimbrone.prj
Run Date and Time: 04/06/2021 18:21:20

Project in SI units

PLAN DATA

Plan Title: Plan 01
Plan File : C:\Users\Marco\Desktop\HEC studi miei 5.0.7\Liv-Pb\08Zimbrone\zimbrone.p01

Geometry Title: Zimbrone
Geometry File : C:\Users\Marco\Desktop\HEC studi miei 5.0.7\Liv-Pb\08Zimbrone\zimbrone.g01

Flow Title : Zimbrone
Flow File : C:\Users\Marco\Desktop\HEC studi miei 5.0.7\Liv-Pb\08Zimbrone\zimbrone.f01

Plan Summary Information:

Number of: Cross Sections = 5 Multiple Openings = 0
Culverts = 0 Inline Structures = 0
Bridges = 0 Lateral Structures = 0

Computational Information

Water surface calculation tolerance = 0.003
Critical depth calculation tolerance = 0.003
Maximum number of iterations = 20
Maximum difference tolerance = 0.1
Flow tolerance factor = 0.001

Computation Options

Critical depth computed only where necessary
Conveyance Calculation Method: At breaks in n values only
Friction Slope Method: Average Conveyance
Computational Flow Regime: Mixed Flow

FLOW DATA

Flow Title: Zimbrone
Flow File : C:\Users\Marco\Desktop\HEC studi miei 5.0.7\Liv-Pb\08Zimbrone\zimbrone.f01

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407	
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 56 di 60	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

Flow Data (m3/s)

River	Reach	RS	TR200
Zimbrone	alveo	50	16

Boundary Conditions

River	Reach	Profile	Upstream	Downstream
Zimbrone	alveo	TR200	Normal S = 0.004	Normal S = 0.005

GEOMETRY DATA

Geometry Title: Zimbrone

Geometry File : C:\Users\Marco\Desktop\HEC studi miei 5.0.7\Liv-Pb\08Zimbrone\zimbrone.g01

CROSS SECTION

RIVER: Zimbrone

REACH: alveo RS: 50

INPUT

Description:

Station Elevation Data		num=		66					
Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev
0	53.14	1	53.08	2	52.98	3	52.96	4	52.92
5	52.91	6	52.84	7	52.83	8	52.82	9	52.8
10	52.71	11	52.76	12	52.67	13	52.57	14	52.42
15	52.41	16	52.39	17	52.4	18	52.45	19	52.43
20	52.35	21	52.28	22	52.24	23	52.07	24	51.84
25	51.83	26	51.84	27	51.83	28	51.71	29	51.49
30	51.27	31	51.13	32	50.8	33	50.35	34	50.24
35	50.07	36	50	37	49.99	38	50.04	39	50.19
40	50.19	41	50.18	42	50.51	43	51.78	44	52.74
45	53.49	46	54.02	47	54.09	48	54.68	49	55.45
50	55.91	51	56.25	52	56.52	53	56.86	54	57.08
55	57.26	56	57.44	57	57.47	58	57.6	59	57.75
60	57.91	61	58.08	62	58.3	63	58.72	64	58.97
65	59.16								

Manning's n Values

num=		3	
Sta	n Val	Sta	n Val
0	.05	22	.033
		46	.05

Bank Sta:	Left	Right	Lengths:	Left Channel	Right	Coeff Contr.	Expan.
	22	46		23.81	23.81	23.81	.1 .3

CROSS SECTION OUTPUT Profile #TR200

E.G. Elev (m)	51.45	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.08	Wt. n-Val.		0.033	
W.S. Elev (m)	51.37	Reach Len. (m)	23.81	23.81	23.81
Crit W.S. (m)	50.83	Flow Area (m2)		12.65	
E.G. Slope (m/m)	0.001954	Area (m2)		12.65	
Q Total (m3/s)	16.00	Flow (m3/s)		16.00	
Top Width (m)	13.12	Top Width (m)		13.12	
Vel Total (m/s)	1.26	Avg. Vel. (m/s)		1.26	
Max Chl Dpth (m)	1.38	Hydr. Depth (m)		0.96	
Conv. Total (m3/s)	362.0	Conv. (m3/s)		362.0	
Length Wtd. (m)	23.81	Wetted Per. (m)		13.79	
Min Ch El (m)	49.99	Shear (N/m2)		17.58	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		22.23	
Frctn Loss (m)	0.04	Cum Volume (1000 m3)	0.05	1.23	0.00
C & E Loss (m)	0.01	Cum SA (1000 m2)	0.19	1.73	0.11

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 57 di 60 Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

CROSS SECTION

RIVER: Zimbrone
REACH: alveo RS: 40

INPUT

Description:

Station Elevation Data	num=	67
Sta Elev Sta Elev Sta Elev Sta Elev Sta Elev		
0 51.8 1 51.75 2 51.73 3 51.72 4 51.71		
5 51.63 6 51.51 7 51.41 8 51.38 9 51.41		
10 51.47 11 51.48 12 51.49 13 51.5 14 51.52		
15 51.51 16 51.5 17 51.44 18 51.43 19 51.41		
20 51.4 21 51.36 22 51.27 23 51.22 24 51.1		
25 50.95 26 50.86 27 50.73 28 50.68 29 50.57		
30 50.41 31 50.35 32 50.33 33 50.31 34 50.29		
35 50.34 36 50.34 37 50.07 38 49.84 39 49.87		
40 50.27 41 50.75 42 51.02 43 51.27 44 51.46		
45 52.07 46 53.14 47 54.01 48 54.72 49 55.3		
50 55.99 51 56.47 52 56.83 53 57.06 54 57.22		
55 57.26 56 57.46 57 57.66 58 57.88 59 58.12		
60 58.25 61 58.44 62 58.75 63 58.96 64 59.16		
65 59.31 66 59.34		

Manning's n Values	num=	3
Sta n Val Sta n Val Sta n Val		
0 .05 21 .033 46 .05		

Bank Sta: Left Right Lengths: Left Channel Right	Coeff Contr.	Expan.
21 46 25.4 25.4 25.4	.1	.3
Left Levee Station= 14 Elevation= 51.52		

CROSS SECTION OUTPUT Profile #TR200

E.G. Elev (m)	51.40	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.05	Wt. n-Val.		0.033	
W.S. Elev (m)	51.35	Reach Len. (m)	25.40	25.40	25.40
Crit W.S. (m)	50.83	Flow Area (m2)		16.89	
E.G. Slope (m/m)	0.001452	Area (m2)		16.89	
Q Total (m3/s)	16.00	Flow (m3/s)		16.00	
Top Width (m)	22.35	Top Width (m)		22.35	
Vel Total (m/s)	0.95	Avg. Vel. (m/s)		0.95	
Max Chl Dpth (m)	1.51	Hydr. Depth (m)		0.76	
Conv. Total (m3/s)	420.0	Conv. (m3/s)		420.0	
Length Wtd. (m)	25.40	Wetted Per. (m)		22.74	
Min Ch El (m)	49.84	Shear (N/m2)		10.58	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		10.02	
Frctn Loss (m)	0.03	Cum Volume (1000 m3)	0.05	0.88	0.00
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)	0.19	1.30	0.11

CROSS SECTION

RIVER: Zimbrone
REACH: alveo RS: 30

INPUT

Description:

Station Elevation Data	num=	68
Sta Elev Sta Elev Sta Elev Sta Elev Sta Elev		
0 51.66 1 51.59 2 51.5 3 51.4 4 51.32		
5 51.46 6 51.36 7 51.12 8 51.06 9 51.05		
10 51.04 11 51.03 12 51.07 13 51.08 14 51.09		
15 51.05 16 50.99 17 50.86 18 50.63 19 50.53		
20 50.49 21 50.4 22 50.4 23 50.32 24 50.08		
25 49.9 26 49.9 27 50.04 28 50.18 29 50.36		
30 50.49 31 50.62 32 50.7 33 50.78 34 50.95		
35 50.99 36 51.03 37 51.1 38 51.21 39 51.32		

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ		REGIONE TOSCANA	
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 58 di 60

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

40	51.4	41	51.5	42	51.66	43	51.95	44	52.21
45	52.43	46	52.68	47	52.88	48	52.92	49	53.23
50	53.53	51	53.85	52	54.18	53	54.48	54	54.78
55	54.99	56	55.4	57	55.63	58	55.91	59	56.12
60	56.23	61	56.25	62	56.4	63	56.54	64	56.75
65	56.9	66	57.03	67	57.13				

Manning's n Values num= 3
 Sta n Val Sta n Val Sta n Val
 0 .05 15 .033 39 .05

Bank Sta: Left Right Lengths: Left Channel Right Coeff Contr. Expan.
 15 39 16.46 16.46 16.46 .1 .3
 Left Levee Station= 5 Elevation= 51.46

CROSS SECTION OUTPUT Profile #TR200

E.G. Elev (m)	51.36	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.04	Wt. n-Val.	0.050	0.033	0.000
W.S. Elev (m)	51.32	Reach Len. (m)	16.46	16.46	16.46
Crit W.S. (m)	50.83	Flow Area (m2)	2.18	17.64	0.00
E.G. Slope (m/m)	0.001262	Area (m2)	2.18	17.64	0.00
Q Total (m3/s)	16.00	Flow (m3/s)	0.61	15.39	0.00
Top Width (m)	32.90	Top Width (m)	8.85	24.00	0.05
Vel Total (m/s)	0.81	Avg. Vel. (m/s)	0.28	0.87	0.01
Max Chl Dpth (m)	1.42	Hydr. Depth (m)	0.25	0.74	0.00
Conv. Total (m3/s)	450.4	Conv. (m3/s)	17.0	433.3	0.0
Length Wtd. (m)	16.46	Wetted Per. (m)	8.88	24.18	0.05
Min Ch El (m)	49.90	Shear (N/m2)	3.03	9.03	
Alpha	1.13	Stream Power (N/m s)	0.84	7.88	
Frctn Loss (m)	0.03	Cum Volume (1000 m3)	0.02	0.44	0.00
C & E Loss (m)	0.01	Cum SA (1000 m2)	0.08	0.71	0.11

CROSS SECTION

RIVER: Zimbrone
 REACH: alveo RS: 20

INPUT

Description:

Station Elevation Data num= 69

Sta	Elev								
0	51.52	1	51.52	2	51.48	3	51.44	4	51.43
5	51.35	6	51.27	7	51.42	8	51.57	9	51.62
10	51.56	11	51.22	12	51.14	13	51.14	14	51.21
15	51.28	16	51.33	17	51.35	18	51.38	19	51.38
20	51.33	21	51.16	22	51.07	23	51.02	24	50.96
25	50.54	26	49.95	27	49.82	28	49.73	29	49.92
30	50.2	31	50.35	32	50.5	33	50.67	34	50.88
35	50.87	36	50.93	37	50.97	38	50.99	39	51.05
40	51.1	41	51.15	42	51.26	43	51.34	44	51.42
45	51.46	46	51.58	47	51.77	48	51.97	49	52.05
50	52.19	51	52.29	52	52.33	53	52.36	54	52.51
55	52.67	56	52.79	57	52.91	58	53.05	59	53.19
60	53.25	61	53.35	62	53.45	63	53.64	64	53.72
65	53.8	66	53.81	67	53.91	68	53.9		

Manning's n Values num= 3
 Sta n Val Sta n Val Sta n Val
 0 .05 20 .033 44 .05

Bank Sta: Left Right Lengths: Left Channel Right Coeff Contr. Expan.
 20 44 17.53 17.53 17.53 .1 .3
 Left Levee Station= 18 Elevation= 51.38

CROSS SECTION OUTPUT Profile #TR200

E.G. Elev (m)	51.32	Element	Left OB	Channel	Right OB
---------------	-------	---------	---------	---------	----------

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 59 di 60	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

Vel Head (m)	0.09	Wt. n-Val.		0.033	
W.S. Elev (m)	51.23	Reach Len. (m)	17.53	17.53	17.53
Crit W.S. (m)	50.93	Flow Area (m2)		11.98	
E.G. Slope (m/m)	0.004246	Area (m2)		11.98	
Q Total (m3/s)	16.00	Flow (m3/s)		16.00	
Top Width (m)	21.15	Top Width (m)		21.15	
Vel Total (m/s)	1.34	Avg. Vel. (m/s)		1.34	
Max Chl Dpth (m)	1.50	Hydr. Depth (m)		0.57	
Conv. Total (m3/s)	245.5	Conv. (m3/s)		245.5	
Length Wtd. (m)	17.53	Wetted Per. (m)		21.54	
Min Ch El (m)	49.73	Shear (N/m2)		23.16	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		30.93	
Frctn Loss (m)	0.08	Cum Volume (1000 m3)	0.00	0.20	0.00
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)	0.01	0.34	0.11

CROSS SECTION

RIVER: Zimbrone
REACH: alveo RS: 10

INPUT

Description:

Station Elevation Data		num=	70						
Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev
0	51.42	1	51.35	2	51.29	3	51.23	4	51.18
5	51.14	6	51.09	7	51.07	8	51.05	9	51.06
10	50.98	11	50.94	12	50.92	13	50.82	14	50.75
15	50.7	16	50.71	17	50.73	18	50.84	19	50.71
20	50.69	21	50.6	22	50.62	23	50.7	24	50.93
25	51.08	26	51.13	27	51.04	28	50.97	29	50.87
30	50.77	31	50.62	32	50.52	33	50.36	34	50.23
35	50.29	36	50.34	37	49.83	38	49.7	39	50.21
40	50.46	41	50.65	42	50.79	43	50.87	44	51.03
45	51.1	46	51.1	47	51.06	48	51.06	49	51.11
50	51.13	51	51.13	52	51.11	53	51.1	54	51.09
55	51.11	56	51.09	57	51.1	58	51.08	59	51.12
60	51.16	61	51.13	62	51.25	63	51.32	64	51.35
65	51.35	66	51.42	67	51.47	68	51.51	69	51.55

Manning's n Values		num=	3		
Sta	n Val	Sta	n Val	Sta	n Val
0	.05	27	.033	45	.05

Bank Sta:	Left	Right	Lengths:	Left Channel	Right	Coeff Contr.	Expan.
	27	45		0	0	.1	.3
Left Levee	Station=		26	Elevation=	51.13		

CROSS SECTION OUTPUT Profile #TR200

E.G. Elev (m)	51.24	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.11	Wt. n-Val.	0.050	0.033	0.050
W.S. Elev (m)	51.13	Reach Len. (m)			
Crit W.S. (m)	50.92	Flow Area (m2)	0.04	10.68	0.38
E.G. Slope (m/m)	0.005006	Area (m2)	0.04	10.68	0.38
Q Total (m3/s)	16.00	Flow (m3/s)	0.01	15.94	0.05
Top Width (m)	31.64	Top Width (m)	0.95	18.00	12.68
Vel Total (m/s)	1.44	Avg. Vel. (m/s)	0.17	1.49	0.14
Max Chl Dpth (m)	1.43	Hydr. Depth (m)	0.04	0.59	0.03
Conv. Total (m3/s)	226.1	Conv. (m3/s)	0.1	225.3	0.8
Length Wtd. (m)		Wetted Per. (m)	0.95	18.38	12.69
Min Ch El (m)	49.70	Shear (N/m2)	2.09	28.52	1.48
Alpha	1.07	Stream Power (N/m s)	0.36	42.56	0.21
Frctn Loss (m)		Cum Volume (1000 m3)			
C & E Loss (m)		Cum SA (1000 m2)			

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00407
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 60 di 60	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80407

SUMMARY OF MANNING'S N VALUES

River: Zimbrone

Reach	River Sta.	n1	n2	n3
alveo	50	.05	.033	.05
alveo	40	.05	.033	.05
alveo	30	.05	.033	.05
alveo	20	.05	.033	.05
alveo	10	.05	.033	.05

SUMMARY OF REACH LENGTHS

River: Zimbrone

Reach	River Sta.	Left	Channel	Right
alveo	50	23.81	23.81	23.81
alveo	40	25.4	25.4	25.4
alveo	30	16.46	16.46	16.46
alveo	20	17.53	17.53	17.53
alveo	10	0	0	0

SUMMARY OF CONTRACTION AND EXPANSION COEFFICIENTS

River: Zimbrone

Reach	River Sta.	Contr.	Expan.
alveo	50	.1	.3
alveo	40	.1	.3
alveo	30	.1	.3
alveo	20	.1	.3
alveo	10	.1	.3