

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00428
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 1 di 73		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

## PROGETTO

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

#### Attraversamento in subalveo

#### FIUME CORNIA

(km: 79,785)

### STUDIO IDROLOGICO - IDRAULICO E RELAZIONE TECNICA DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA

0	Emissione	Vitelli	Caccavo	Santi	Gen. 2022
<b>Rev.</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Elaborato</b>	<b>Verificato</b>	<b>Approvato</b>	<b>Data</b>

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00428
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 2 di 73	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

## INDICE

<b>1</b>	<b>GENERALITÀ</b>	<b>4</b>
1.1	Premessa	4
1.2	Scopo e descrizione dell'elaborato	4
1.3	Disegno di Attraversamento	5
<b>2</b>	<b>INQUADRAMENTO TERRITORIALE</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE DELL'AMBITO IN ESAME</b>	<b>8</b>
3.1	Assetto idrografico e descrizione generale del bacino del corso d'acqua	8
3.2	Descrizione dell'area di attraversamento	10
3.3	Indagini di caratterizzazione litostratigrafica	11
<b>4</b>	<b>VALUTAZIONI IDROLOGICHE</b>	<b>13</b>
4.1	Generalità	13
4.2	Considerazioni specifiche preliminari	13
4.3	Sezione di studio - Parametri morfometrici del bacino	13
4.4	Studio Prof. Pagliara – informazioni di carattere idrologico idraulico	15
4.5	Considerazioni specifiche e portata di riferimento	15
<b>5</b>	<b>STUDIO IDRAULICO IN MOTO PERMANENTE</b>	<b>16</b>
5.1	Presupposti e limiti dello studio	16
5.2	Assetto geometrico e modellazione dell'alveo	17
5.2.1	<u>Assetto geometrico di modellazione</u>	17
5.2.2	<u>Dati di input e condizioni al contorno</u>	19
5.3	Risultati della simulazione idraulica	19
5.4	Analisi dei risultati conseguiti	24
<b>6</b>	<b>VALUTAZIONE EROSIONI DI FONDO ALVEO</b>	<b>25</b>
6.1	Generalità	25
6.2	Criteri di calcolo	26
6.3	Stima dei massimi approfondimenti d'alveo attesi	28
6.4	Analisi dei risultati e considerazioni progettuali	28
<b>7</b>	<b>METODOLOGIA COSTRUTTIVA E SCELTE PROGETTUALI</b>	<b>29</b>
7.1	Metodologia costruttiva: TOC	29
7.2	Configurazione geometrica di progetto	29
7.3	Considerazione inerenti alla geometria di trivellazione	30
7.4	Descrizione del sistema operativo TOC	30
<b>8</b>	<b>ANALISI DELLA PROBLEMATICHE DEL SIFONAMENTO</b>	<b>36</b>
8.1	Premessa	36

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		<b>REL-CI-E-00428</b>
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 3 di 73	Rev. <b>0</b>

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

8.2	Generalità	36
8.3	Metodologie di calcolo	36
8.4	Risultati	41
<b>9</b>	<b>VALUTAZIONI INERENTI ALLA COMPATIBILITA' IDRAULICA</b>	<b>42</b>
9.1	Quadro normativo generale	42
9.1.1	<u>Direttiva 2007/60/CE (Floods Directive - FD")</u>	42
9.1.2	<u>D.Lgs. 49/2010</u>	42
9.1.3	<u>Piani di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)</u>	43
9.2	Quadro normativo di riferimento per l'ambito in esame	45
9.2.1	<u>Premessa</u>	45
9.2.2	<u>PGRA del Distretto Appennino Settentrionale</u>	45
9.2.3	<u>L.R. n. 41/2018</u>	47
9.3	Interferenze con PGRA nell'ambito di attraversamento del corso d'acqua	48
9.4	Analisi delle condizioni di compatibilità idraulica	49
9.4.1	<u>Considerazioni di carattere generale</u>	49
9.4.2	<u>Considerazioni specifiche inerenti all'ambito di attraversamento del corso d'acqua</u>	49
9.4.3	<u>Considerazioni specifiche inerenti ai tratti di percorrenza di linea delle aree inondabili</u>	51
9.5	Considerazioni conclusive sulla compatibilità idraulica	51
<b>10</b>	<b>CONCLUSIONI</b>	<b>52</b>
	<b>APPENDICE 1: COLONNE STRATIGRAFICHE DEI SONDAGGI</b>	<b>54</b>
	<b>APPENDICE 2: STUDIO IDRAULICO / METODOLOGIA DI CALCOLO</b>	<b>57</b>
	<b>APPENDICE 3: STUDIO IDRAULICO / REPORT PROGRAMMA HEC RAS</b>	<b>62</b>
	<b>ANNESSO:</b>	
	• <b>Disegno di Attraversamento (cfr. par.1.3)</b>	

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00428
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 4 di 73	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

## 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 in esercizio "Livorno - Piombino" DN 400 (16") ed al metanodotto in esercizio "Coll. Torr.-Piombino con Liv.-Piombino" DN 500 (20") nella parte terminale del tracciato.

Il suddetto tracciato del metanodotto in progetto (DN 750) interseca l'alveo del fiume CORNIA, nel tratto terminale dello sviluppo del corso d'acqua, nell'ambito del territorio comunale Campiglia Marittima (LI).

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;

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00428
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 5 di 73	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

- Descrizione delle scelte progettuali inerenti alla metodologia costruttiva, alla geometria della condotta in subalveo ed alle eventuali opere di presidio idraulico;
- 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-4B-01622**  
*"Rifacimento Metanodotto Livorno-Piombino", DN750 (30");*  
 Attraversamento Fiume Cornia

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-00428
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 6 di 73

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

## 2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Nel tratto in esame il metanodotto DN750 (30") in progetto "Rifacimento Met. Livorno – Piombino" si sviluppa in parallelismo ad un metanodotto di collegamento DN500 (20") in esercizio.

In particolare, l'attraversamento dell'alveo del fiume Cornia da parte del metanodotto DN750 in progetto "Livorno - Piombino" ricade circa 1.5km a valle del ponte della ferrovia "Roma – Pisa", nell'ambito del territorio comunale Campiglia Marittima (LI).

Dal punto di vista idrografico, l'ambito di attraversamento ricade nel tratto terminale del corso d'acqua, a circa 7km dalla foce in mare.

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 (DN500) 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.

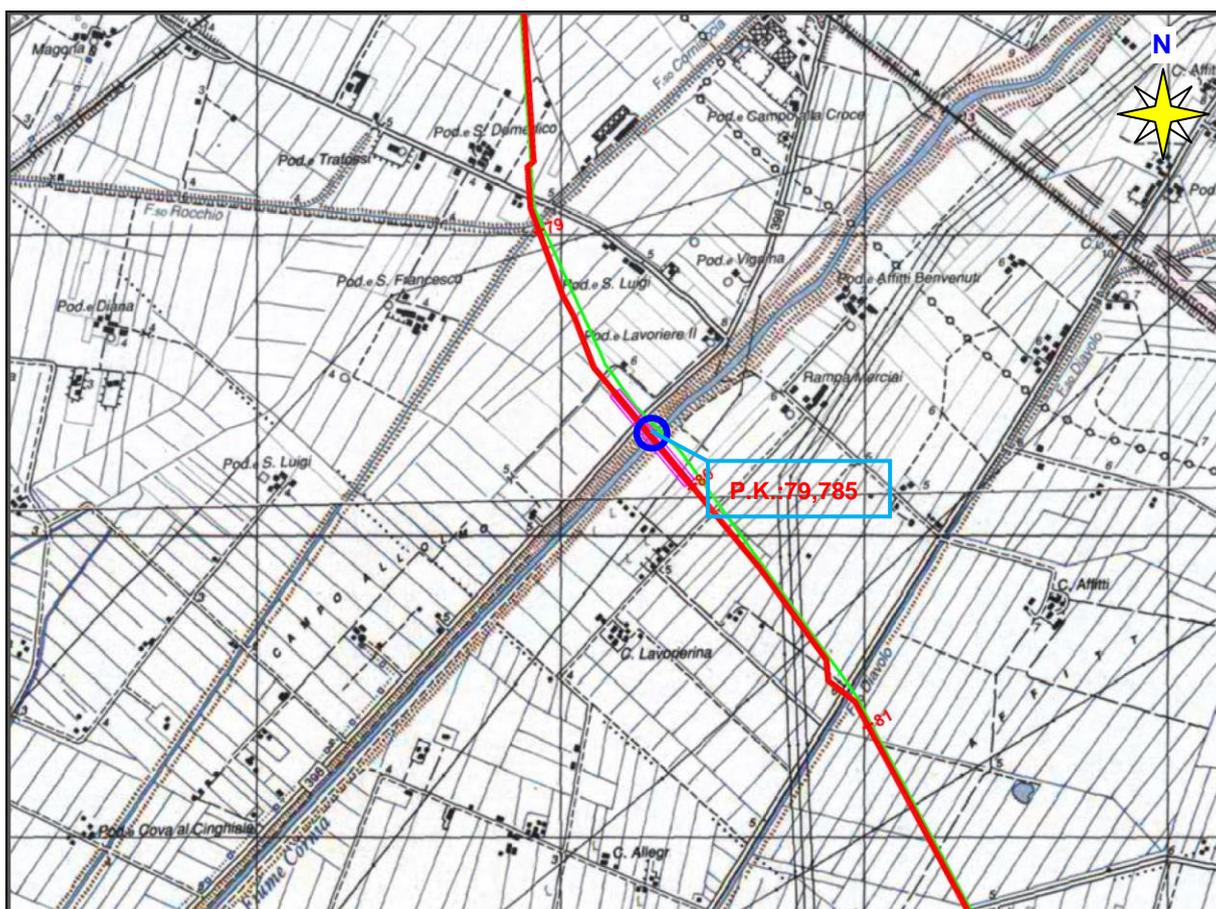


Fig.2.1/A: Corografia generale in scala 1:25.000 (dalle tavolette IGM)

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	1629255 m E	4762145 m N

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20049</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> REGIONE TOSCANA		<b>REL-CI-E-00428</b>
	<b>PROGETTO</b> RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 7 di 73

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

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.

Nella stessa figura è inoltre indicato schematicamente (mediante una sagoma rettangolare in color magenta) il tratto di condotta con posa prevista in trivellazione. Ciò in quanto (come meglio specificato in seguito) l'attraversamento dell'alveo del corso d'acqua in esame verrà eseguito in trenchless (in TOC).

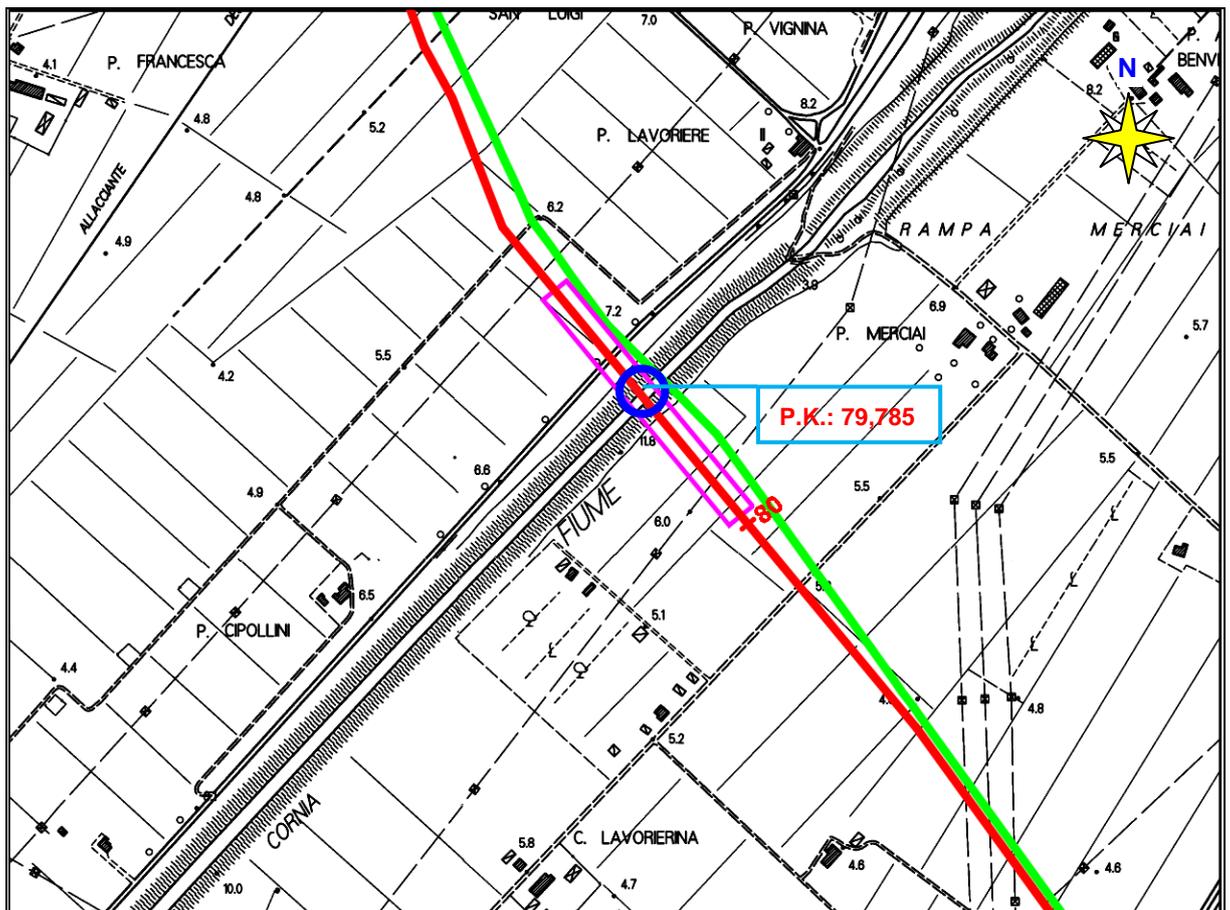


Fig.2.1/B: Stralcio planimetrico in scala 1:10.000 (C.T.R. Regionali)

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 valle dell'attraversamento del metanodotto in esercizio (DN500).

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00428
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 8 di 73	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

### 3 CARATTERIZZAZIONE DELL'AMBITO IN ESAME

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

Il fiume Cornia, unitamente al Cecina ed al Fine, rappresenta uno dei corsi d'acqua principali ricadenti nell'UoM Toscana Costa del Distretto Idrografico dell'Appennino Settentrionale.

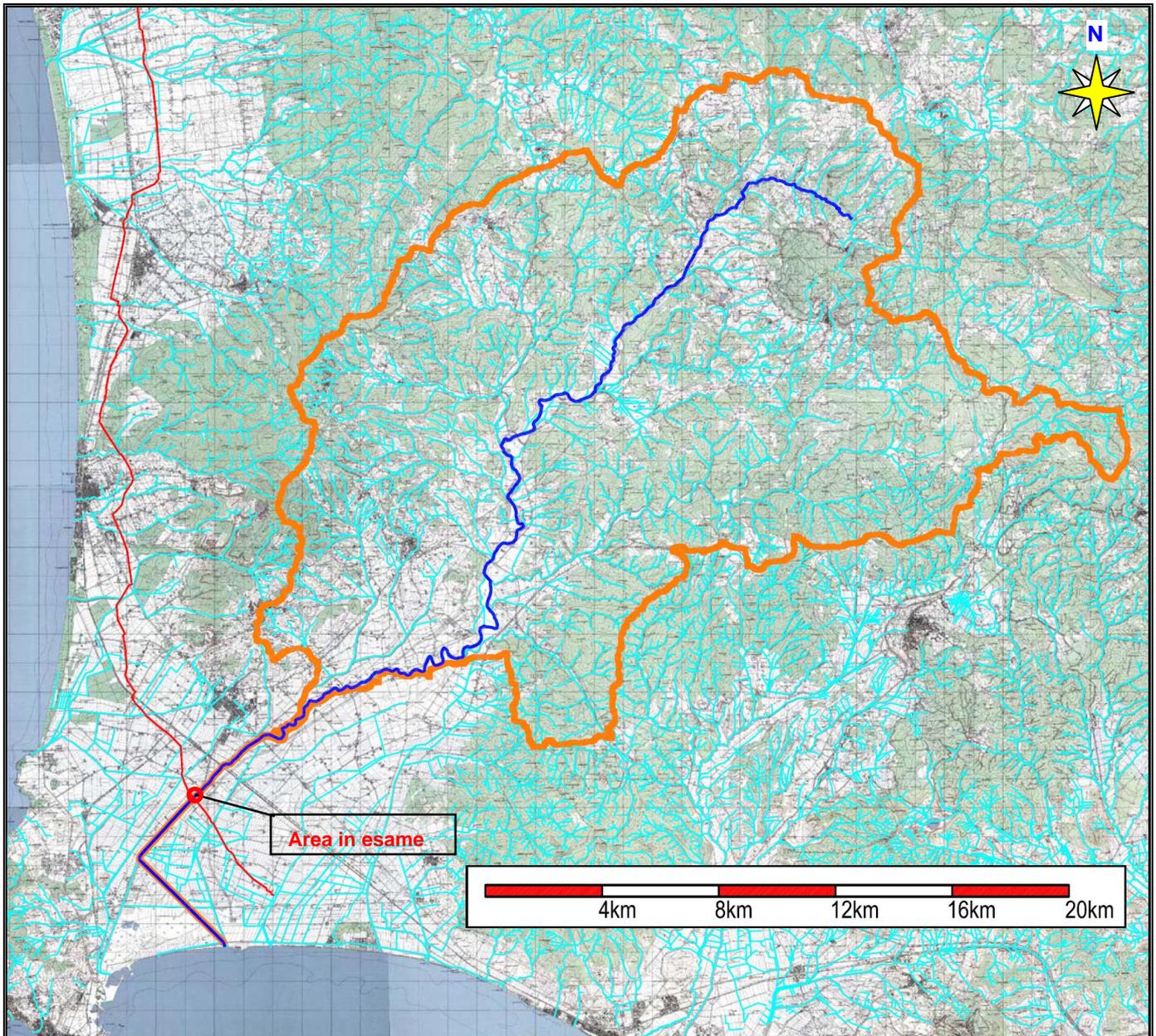
Il corso d'acqua è caratterizzato da un bacino complessivo di superficie di circa 355 km<sup>2</sup>, che si sviluppa in Toscana nelle province di Grosseto, Pisa e Livorno.

Il Fiume Cornia nasce dal monte Aia de Diavoli (Colline Metallifere) ad una quota di 875 m sul livello del mare e sfocia sul mar Tirreno in località Torre del Sale in comune di Piombino (LI). All'altezza della località "La Sdriscia" in comune di Piombino, il fiume Cornia si divide in due rami: Il vecchio corso "Cornia Vecchia" che sfocia in località "Ponte Oro" in comune di Piombino ed il corso vero e proprio artificialmente canalizzato, denominato "Fiume Cornia" che sfocia a "Torre del Sale". Ha una lunghezza totale di circa 50 Km e attraversa le province di Pisa, Grosseto e Livorno. I tributari di sinistra più importanti sono il Rio Secco ed il torrente Milia, mentre in destra idrografica confluiscono il torrente Massera ed il fosso Riomerdancio. La sua portata d'acqua è irregolare e generalmente molto scarsa (tipico corso d'acqua a regime torrentizio dell'Anti-Appennino); molto spesso durante il periodo tardo primaverile ed estivo le sue acque non riescono nemmeno a raggiungere la foce ma si arrestano all'altezza del borgo di Suvereto. Durante il periodo autunnale sono frequenti improvvise piene che a volte hanno provocato la rottura degli argini provocando problematiche anche ingenti alla viabilità fino ad interessare anche la ferrovia tirrenica Roma-Genova. Il suo corso che si sviluppa all'interno dell'ampia valle omonima, è costeggiato dalla strada statale n.398 della val Cornia. In prossimità della foce sono ancora presenti lembi delle antiche paludi che caratterizzavano il tratto terminale del suo corso.

Nella figura seguente è riportato il bacino complessivo del corso d'acqua (in color arancione), su una base cartografica estrapolata dalle tavolette IGM, con indicazione dell'asta del corso d'acqua (in blu) e del reticolo idrografico (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 corso d'acqua.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20049</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> REGIONE TOSCANA		<b>REL-CI-E-00428</b>
	<b>PROGETTO</b> RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 9 di 73

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428



*Fig.3.1/A: Bacino complessivo del corso d'acqua ed indicazione dell'ambito di studio*

Dall'esame della figura precedente si rileva che l'attraversamento del metanodotto in progetto ricade nel tratto terminale dello sviluppo dell'asta fluviale del corso d'acqua, a circa 7km dalla foce in mare.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20049</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> REGIONE TOSCANA		<b>REL-CI-E-00428</b>
	<b>PROGETTO</b> RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 10 di 73

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

### 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 fluviale del corso d'acqua, nei pressi della zona industriale "Campo alla Croce".

Il tracciato del metanodotto in progetto intercetta il fiume Cornia in un tratto in cui il corso d'acqua presenta un andamento longitudinale perfettamente rettilineo e parallelo alla strada statale S.S.398.

La sezione d'alveo si presenta con una configurazione geometrica a doppio trapezio, con alveo di magra di ampiezza complessiva di circa 20÷30 m, delle strette fasce golenali (larghe di circa 10÷15 metri per lato) e degli imponenti rilevati arginali che si elevano di circa 6÷7m nei confronti del piano golena e del piano campagna circostante. Le golene e gli argini sono coperti da una cotica erbosa.

In prossimità del punto di attraversamento si individuano delle rilevanti erosioni in corrispondenza delle sponde dell'alveo di magra, in particolare le erosioni maggiormente significative si individuano nella sponda in destra idrografica.

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.

L'attraversamento in esame, come meglio specifico nel seguito, verrà eseguito in trenchless, il cui sviluppo di trivellazione in subalveo è schematicamente indicato mediante una campitura in giallo.

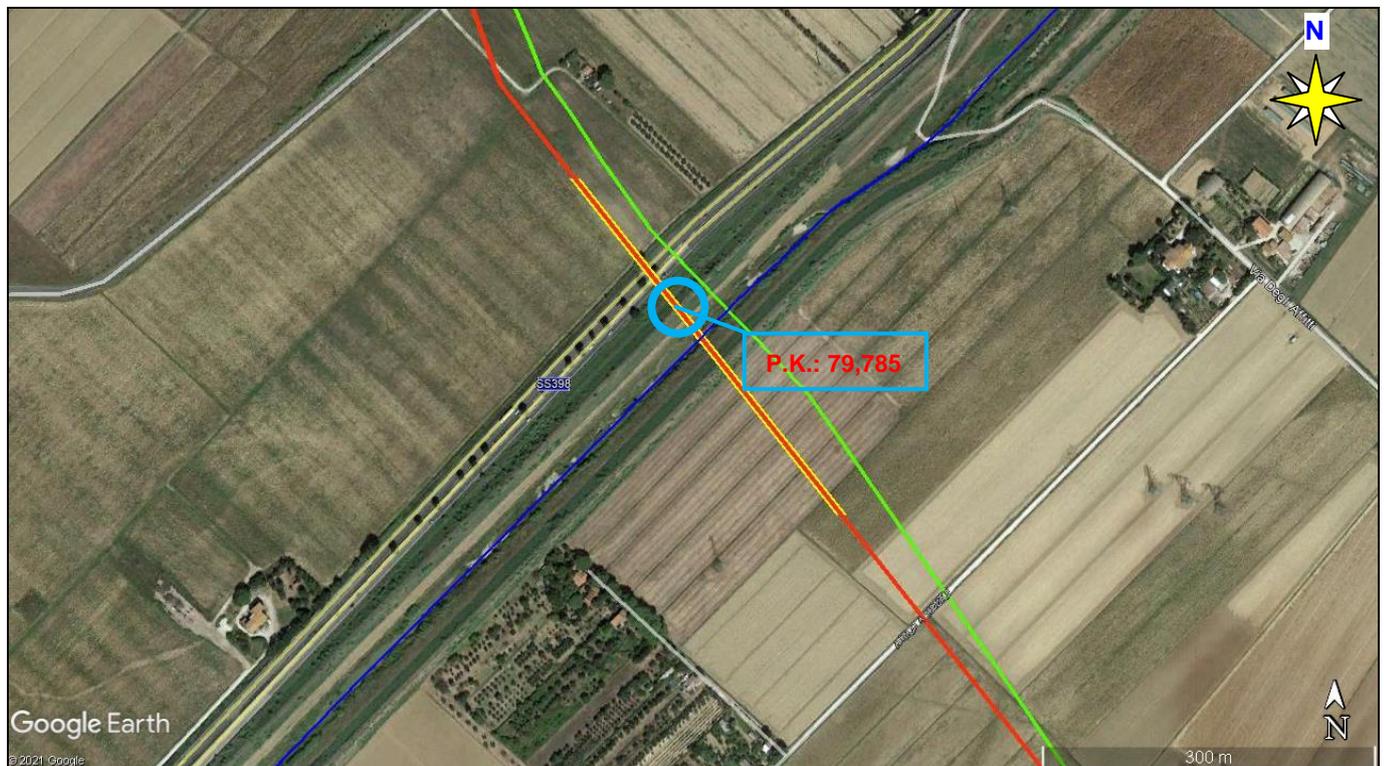


Fig.3.2/A: Foto aerea dell'ambito di attraversamento (estratta da Google Earth)

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>COMMESSA</b> <b>NR/20049</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b>	<b>REGIONE TOSCANA</b>		<b>REL-CI-E-00428</b>
	<b>PROGETTO</b> RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 11 di 73	<b>Rev.</b> <b>0</b>	

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

Nella figura seguente è inoltre riportata una foto relativa all'ambito d'attraversamento in esame del corso d'acqua, scattata dall'argine in sinistra idrografica.

La linea indicata in rosso rappresenta la posizione del tracciato del metanodotto in progetto. La stessa linea è stata riportata tratteggiata per indicare che l'attraversamento verrà eseguito in trivellazione.



*Fig.3.2/B: Foto ambito d'attraversamento*

### 3.3 Indagini di caratterizzazione litostratigrafica

Per l'acquisizione degli elementi che hanno permesso di esprimere un giudizio sui litotipi dei terreni presenti nell'ambito fluviale in esame, recentemente (nel 2021), è stata eseguita una campagna geognostica consistente nell'esecuzione di n.2 prove penetrometriche statiche e delle prospezioni geoelettriche sviluppate lungo il profilo di trivellazione.

In aggiunta sono stati recuperati le colonne stratigrafiche di n.3 sondaggi effettuati nel 2009 nella medesima area di attraversamento, nell'ambito del progetto del metanodotto SRG "Piombino -Collesalveti" (intervento mai realizzato).

Nella figura seguente si riporta una foto aerea dell'area in esame (estratta da Google Earth) con l'ubicazione dei sondaggi geognostici. In particolare, i sondaggi localizzati in figura sono i seguenti:

- S1 (anno 2009): nel lato in sx idrografica del corso d'acqua (prof.25m);
- S2 (anno 2009): nel lato in sx idrografica del corso d'acqua (prof.25m);
- S3 (anno 2009): nel lato in dx idrografica del corso d'acqua (prof.25m);

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00428
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 12 di 73	Rev. 0	

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

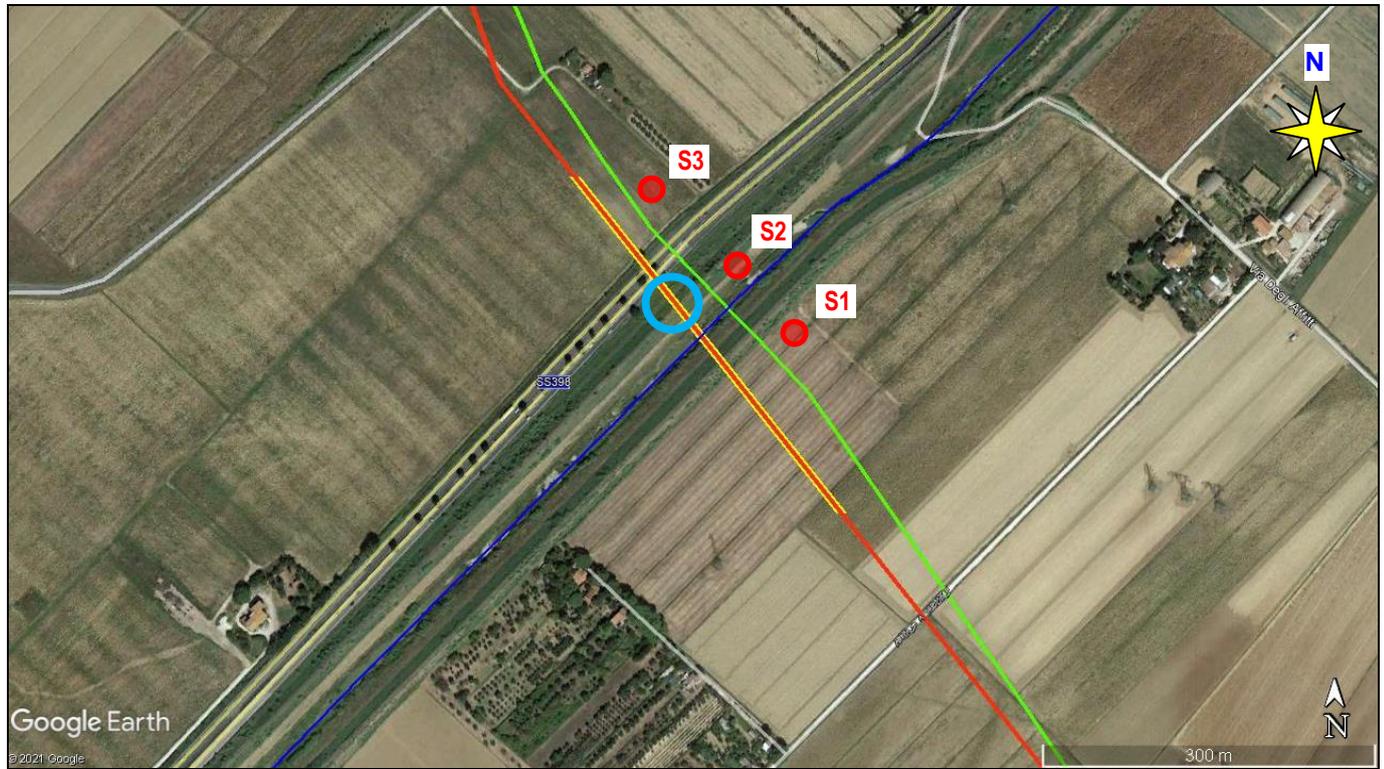


Fig.3.3/A: Foto aerea dell'ambito di attraversamento, con ubicazione dei sondaggi geognostici

Le colonne stratigrafiche dei sondaggi geognostici sono visualizzabili in *Appendice 1* della presente relazione; mentre per l'eventuale analisi dei risultati delle altre prove geognostiche in sito e di quelle del laboratorio geotecnico si rimanda alla consultazione degli specifici report d'indagine.

In particolare, dall'esame delle colonne stratigrafiche dei sondaggi, emerge la presenza per i primi 10m circa di profondità di livelli di argille alternate con dei livelli costituiti da limi argillosi e da sabbie con ghiaie.

Da 10m circa di profondità in poi, s'individua la presenza esclusiva di sabbie medio-fine, con dei livelli centimetrici di sabbie cementate.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00428
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 13 di 73	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

## 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 le valutazioni idrologiche nell'ambito specifico in esame, ci si riferisce esplicitamente ai risultati degli "studi ufficiali" condotti lungo l'asta fluviale del corso d'acqua e con particolare riferimento "*Studio idrologico-idraulico di Adeguamento delle indagini idrauliche contenute nel Piano Strutturale d'area (Comuni di Campiglia Marittima, Piombino, Suvereto)*" redatto dal Prof. Ing. Pagliara.

### 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 dell'asta fluviale del corso d'acqua, a circa 7 km a monte della foce in mare.

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 dell'asta fluviale del corso d'acqua (in blu) e del reticolo idrografico (in celeste). Nella stessa figura il tracciato di progetto è indicato mediante una linea in colore rosso.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		<b>REL-CI-E-00428</b>
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 14 di 73	Rev. <b>0</b>

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

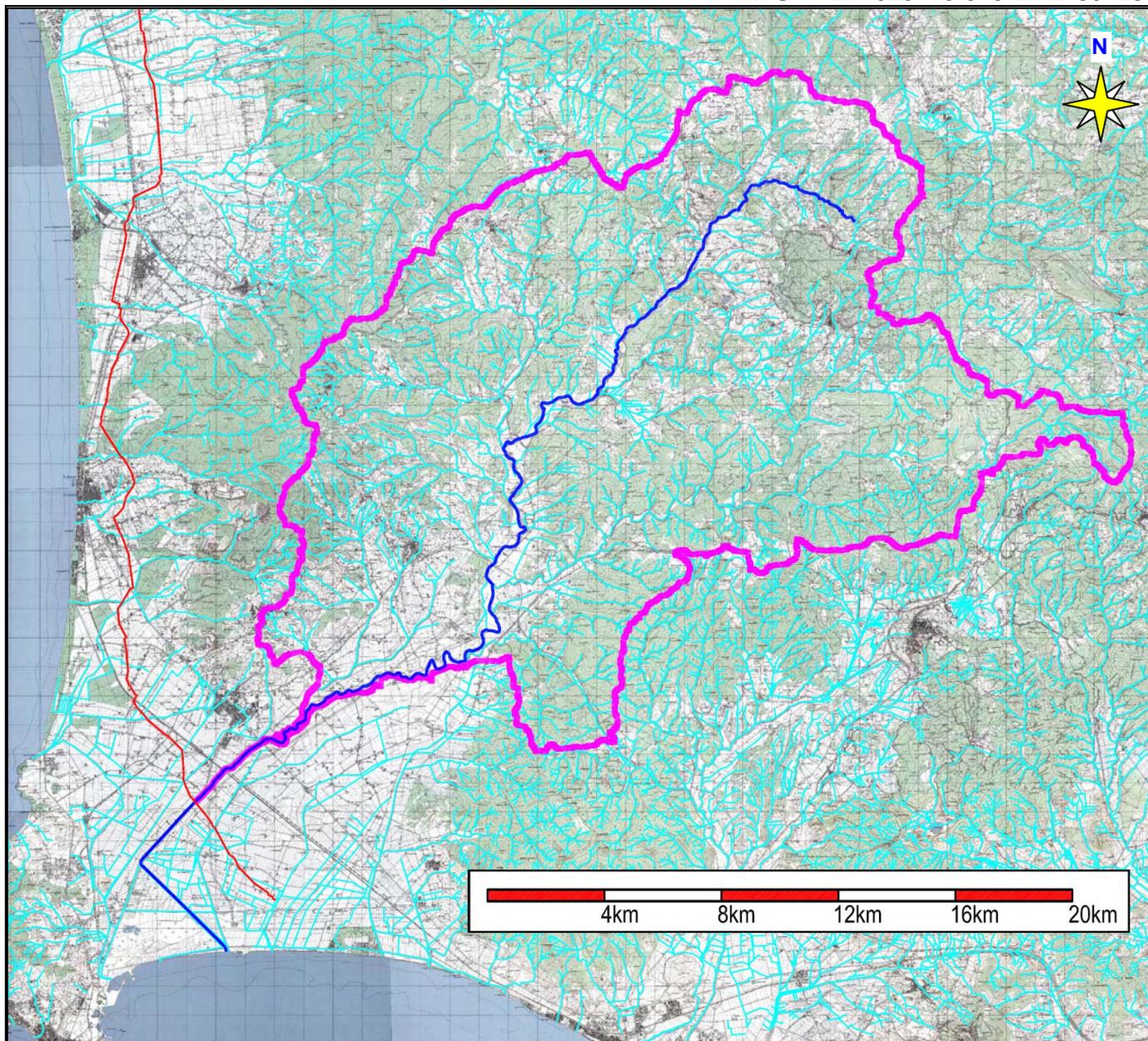


Fig.4.3/A: Bacino Imbrifero sotteso dalla sezione di studio

Nella tabella seguente sono riportati i parametri morfometrici del bacino sotteso dalla sezione di studio (sezione di attraversamento).

Tab.4.3/A: Parametri morfometrici

Corso d'acqua	Sez. di studio	Superficie Bacino (kmq)	Lunghezza asta principale (km)	Altitudine max del Bacino (m)	Altitudine Sezione chiusura (m)
Fiume Cornia	Sez. Attrav.	355	44	914	3

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00428
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 15 di 73	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

#### 4.4 Studio Prof. Pagliara – informazioni di carattere idrologico idraulico

Nell'ambito dell'elaborato "Relazione idrologico-idraulica" si cita che: *Il profilo longitudinale è calcolato per una portata di circa 1230 mc/s a monte del ponte di Cafaggio in cui si hanno delle esondazioni; diventa pari al massimo pari a 1350 mc/s e a valle dell'immissione del Rio Merdancio. Dal ponte della ex SS1 ne transitano solamente circa 1200 mc/s; a valle del ponte sulla FF.SS ne transitano solamente 1100 mentre a valle del P.di Ferro ne transitano 950 mc/s (che diventano 1100 mc/s nel caso di sua demolizione).*

#### 4.5 Considerazioni specifiche e portata di riferimento

L'ambito di attraversamento del metanodotto ricade nel tratto tra il ponte della linea FF.SS. e la località Ponte di Ferro, dove in considerazione di quanto riportato nel paragrafo la portata di riferimento risulta di 1100mc/s.

Tuttavia, è opportuno evidenziare, che proprio sulla base delle criticità idrauliche evidenziate dallo stesso studio del Prof. Pagliara, negli ultimi anni sono stati eseguiti degli interventi di mitigazione (suddivisi in vari lotti funzionali) nel tratto tra la località Cafaggio (nel Comune di Campiglia Marittima) e Ponte di Ferro, tra cui la demolizione del ponte di ferro e il ringrosso dei rilevati arginali sia in sinistra che in destra idrografica. Pertanto, l'assetto idraulico nel tronco d'alveo in questione ha subito una certa evoluzione.

Per contro si evidenzia che lo studio idraulico sviluppato nel presente elaborato viene redatto sulla base dei dati topografici estrapolati dai DTM 1x1 (aggiornati al 2008), che ovviamente non possono tenere conto delle eventuali modifiche morfologiche sopraggiunte successivamente.

Onde per cui ai fini delle valutazioni idrauliche di cui al capitolo seguente viene assunto come input idrologico: il valore di portata pari a 1100 mc/s.

Infine si pone in evidenza che, seppur lo studio non è completamente aggiornato in riferimento alla attuale configurazione e facendo seguito a quanto meglio specificato nel successivo paragrafo 5.1, i risultati possono essere ritenuti comunque rappresentativi ed adeguati alle finalità di cui al presente elaborato.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00428
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 16 di 73		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

## 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.

È tuttavia opportuno evidenziare che l'attraversamento in subalveo del corso d'acqua in esame (come meglio specificato nel seguito) verrà realizzato con posa della condotta in trenchless attraverso la tecnica della "TOC", che prevede una configurazione in subalveo curvilinea e che assicura profondità di posa molto elevate nei confronti delle quote di fondo del letto fluviale (ossia la condotta verrà posizionata con profondità ben oltre ogni ragionevole previsione dei processi erosivi del fondo alveo e dunque in condizioni di assoluta sicurezza).

Detto ciò, le valutazioni idrauliche di cui al capitolo presente (nonché le valutazioni dei processi erosivi di cui al capitolo seguente) sono state sviluppate esclusivamente per completezza dell'elaborato ed assumono una funzione a titolo prettamente conoscitivo in merito alle specifiche argomentazioni in esame.

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 2* della presente relazione viene descritta la metodologia di calcolo utilizzata; mentre in *Appendice 3* sono riportati i tabulati di report del programma.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20049</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> REGIONE TOSCANA		<b>REL-CI-E-00428</b>
	<b>PROGETTO</b> RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 17 di 73

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

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.

## 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 750m.

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 riportato uno stralcio planimetrico delle CTR regionali (in scala 1:10.000) nel quale l'asta del corso d'acqua è indicata in colore blu, 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 (RS60) coincide con la sezione di monte del tronco idraulico; la sezione 6 (RS10) rappresenta quella di valle.

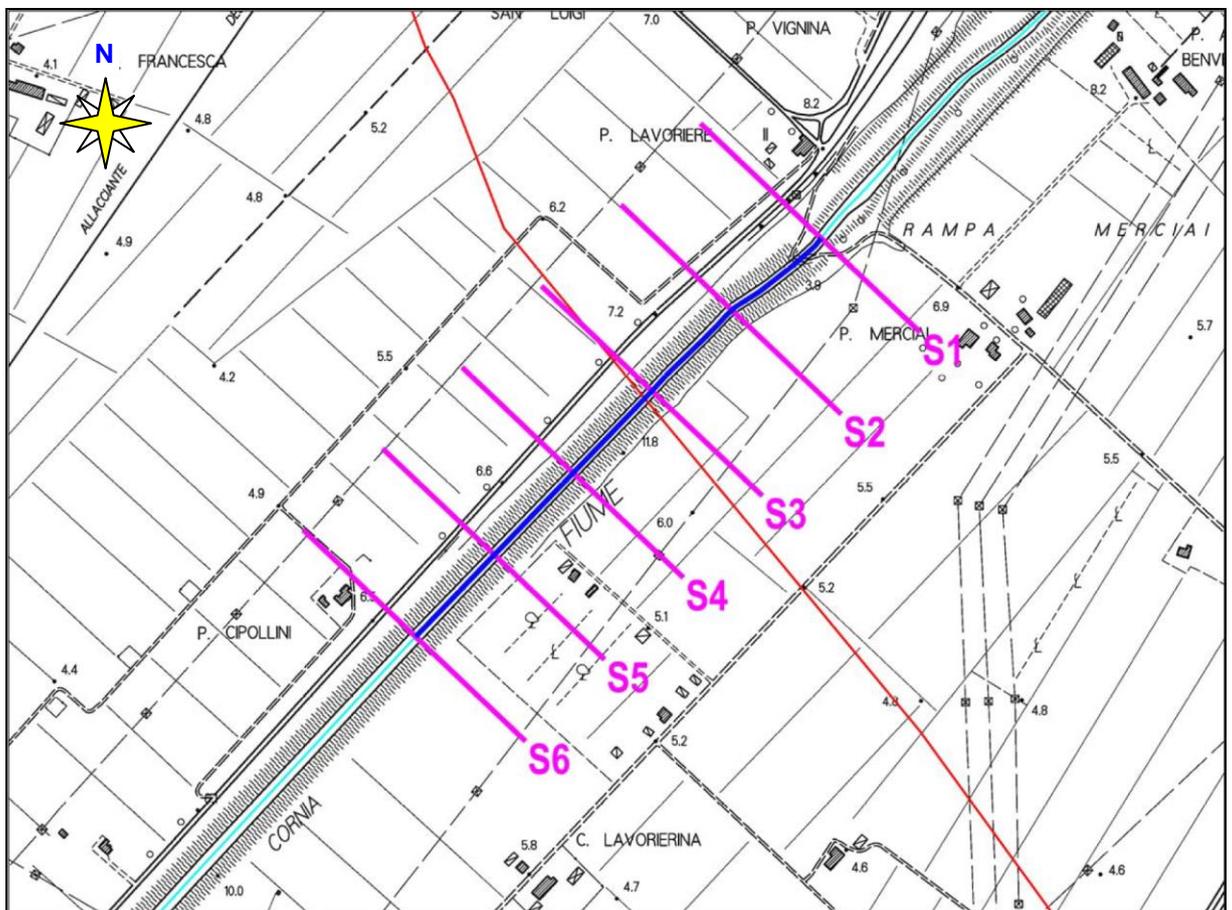


Fig.5.2/A: Stralcio CTR regionali, con tronco d'alveo analizzato e sezioni di input

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		<b>REL-CI-E-00428</b>
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 18 di 73	Rev. <b>0</b>

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

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.

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

RIVER STATION	SEZIONE TOPOGRAFICA	PROGRESSIVA (m)	Dist. dalla Sez. successiva (m)	DESCRIZIONE
RS60	Sez.1	0.00	151.82	Sezione di monte
RS50	Sez.2	151.82	150.07	
RS40	Sez.3	301.89	150.00	Sez. in prossimità dell'Attrav.
RS30	Sez.4	451.89	150.00	
RS20	Sez.5	601.89	150.01	
RS10	Sez.6	751.90	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.

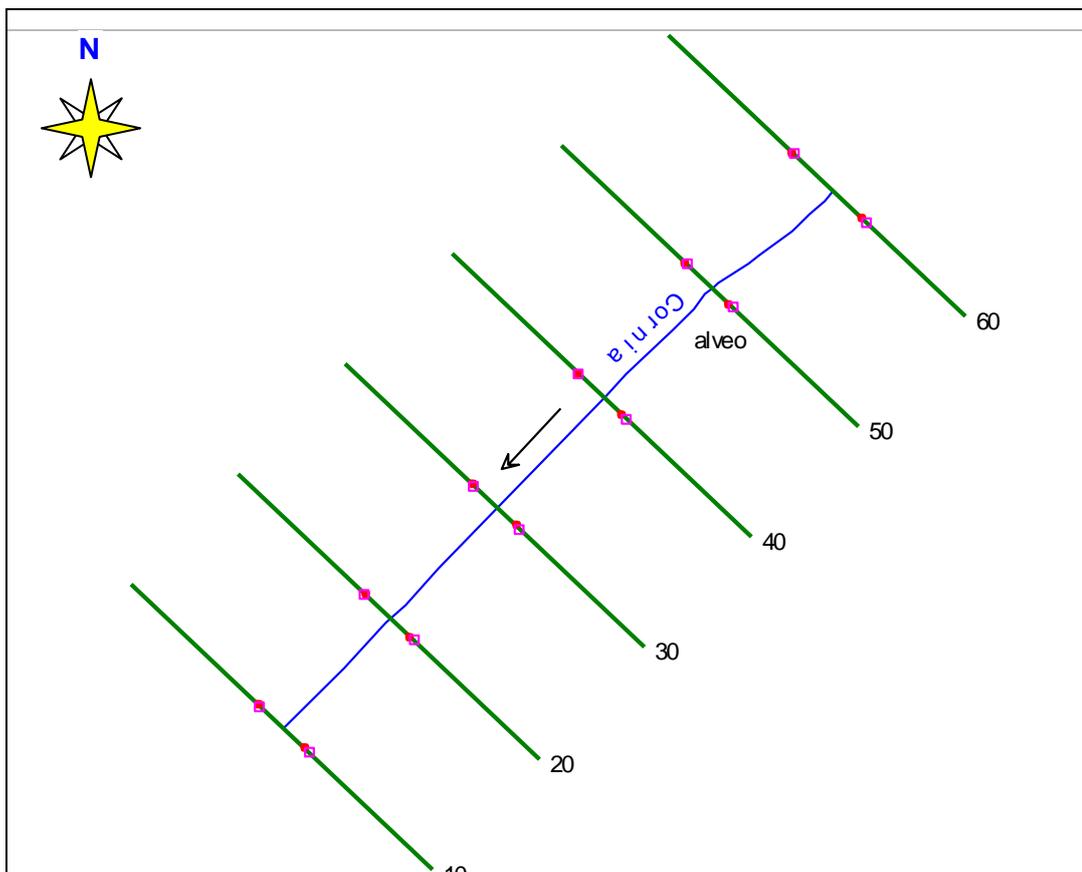


Fig.5.2/B: Modellazione geometrica in Hec Ras (RS60 a monte e RS10 a valle)

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00428
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 19 di 73		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

### 5.2.2 Dati di input e condizioni al contorno

Le elaborazioni sono state effettuate considerando l'evento di piena con portata pari 1100 mc/s (cfr. par.4.5).

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 (RS60) 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:

- 0,030 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 3*, 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.

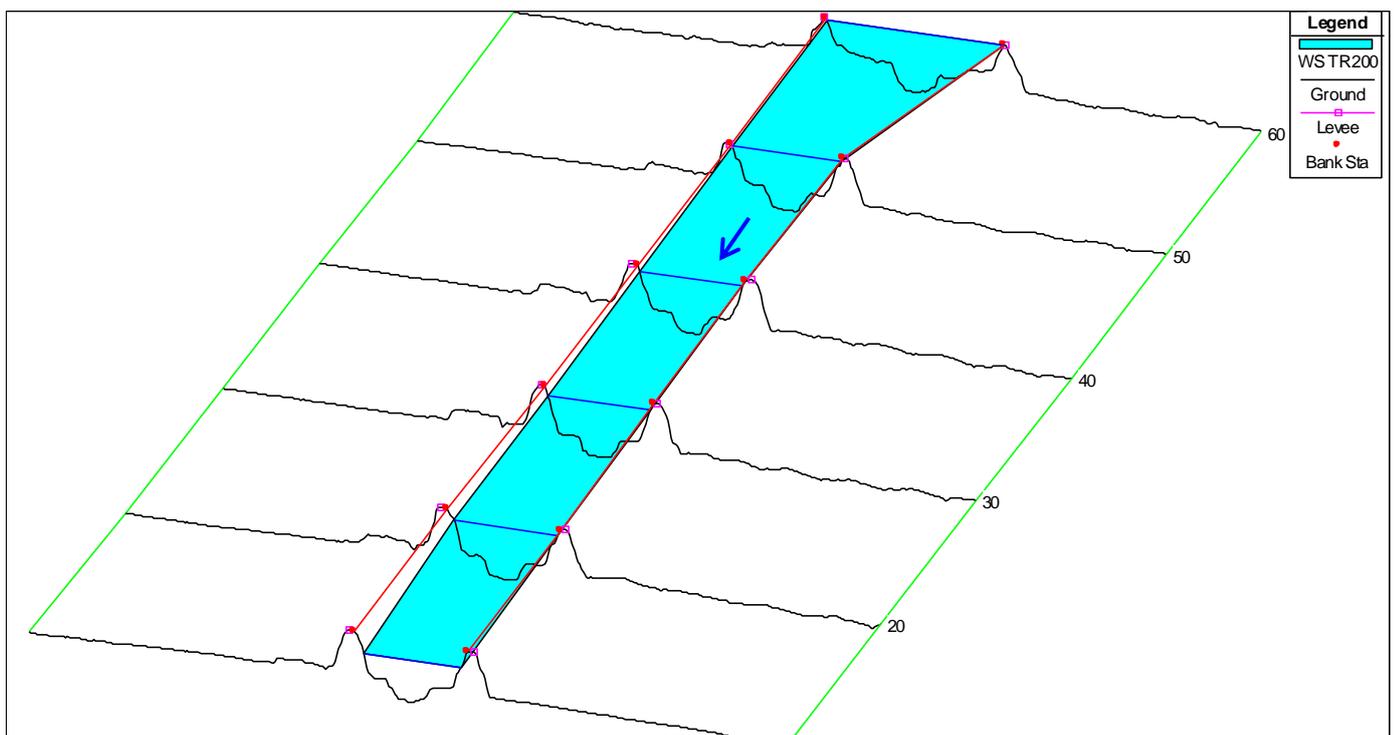


Fig.5.3/A: Schermata di Output del programma – visione prospettica (RS60: monte /RS10: valle)



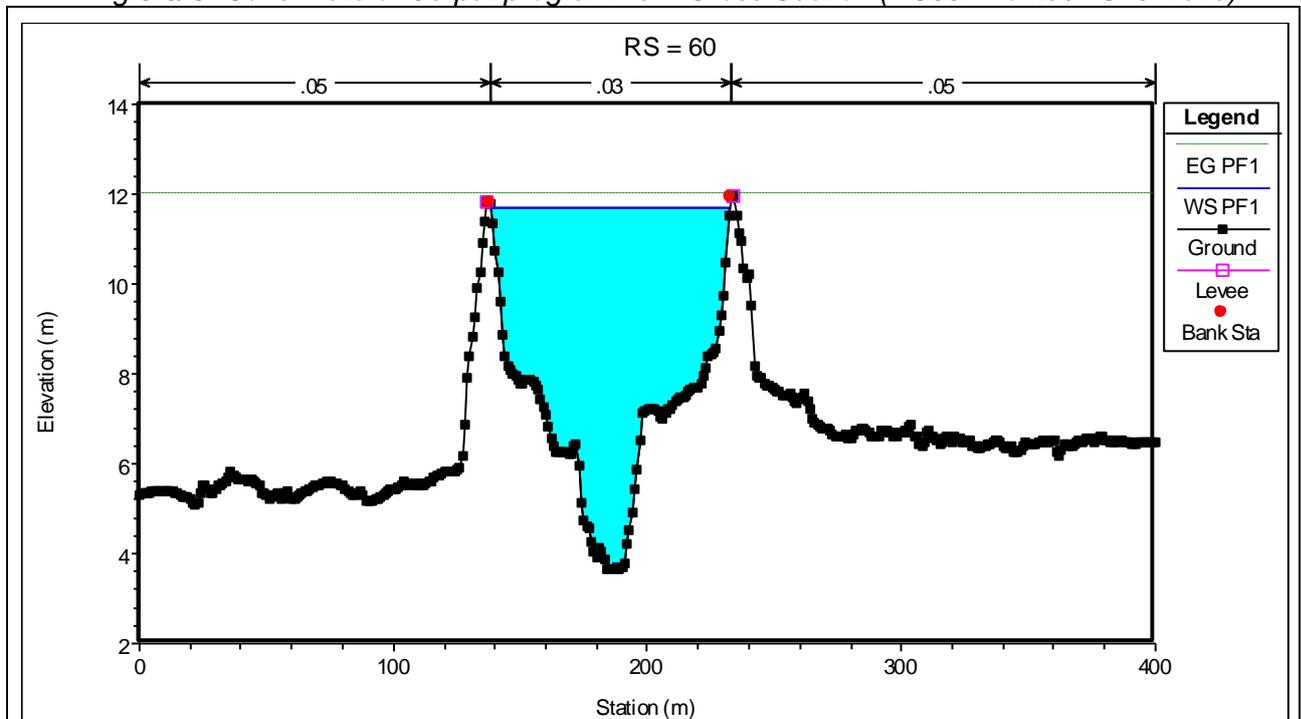
	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00428
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 21 di 73	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

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.

Fig.5.3/C: Schermate di Output programma – Cross Section (RS60: monte /RS10: valle)





PROGETTISTA



COMMESSA  
NR/20049

UNITÀ  
000

LOCALITÀ

REGIONE TOSCANA

REL-CI-E-00428

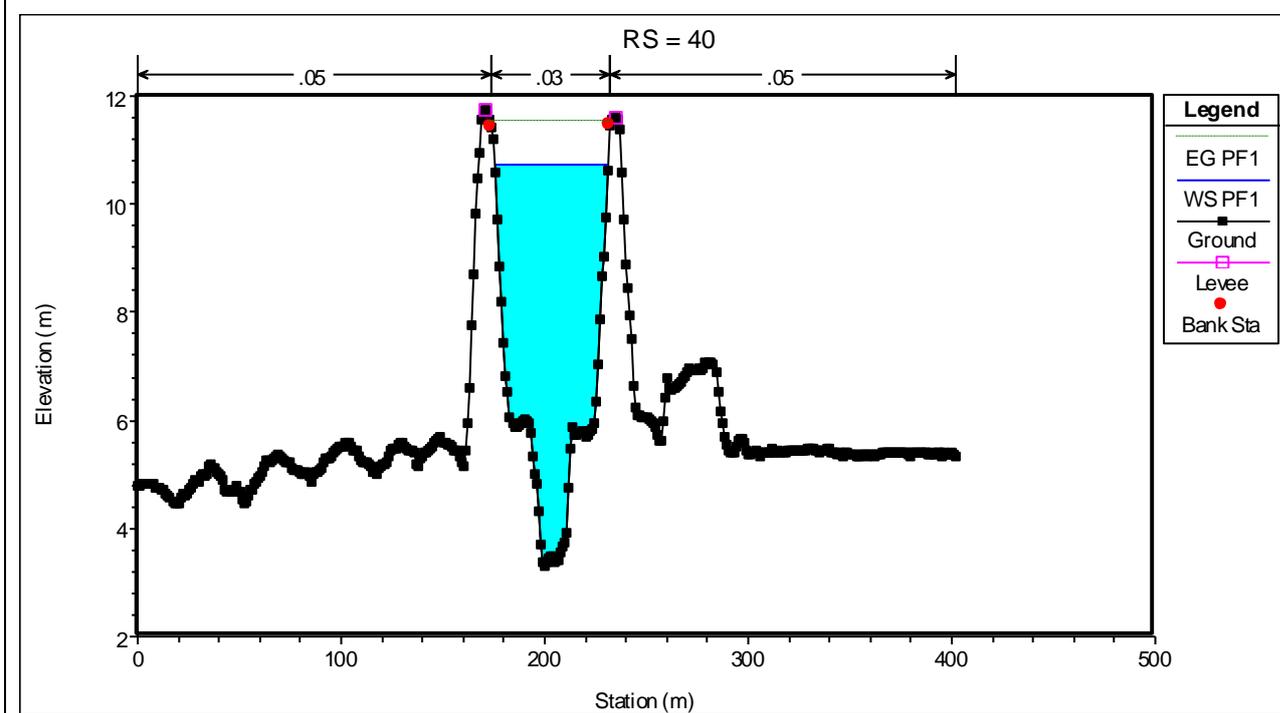
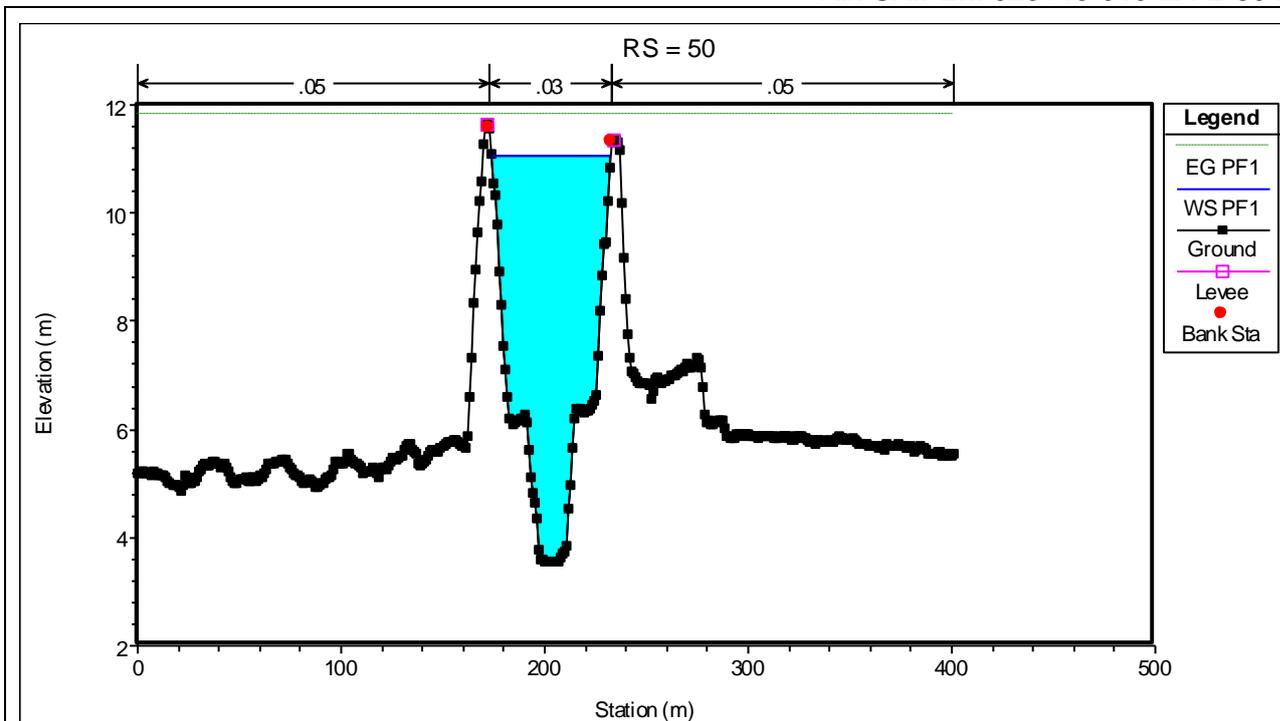
PROGETTO

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

Fg. 22 di 73

Rev.  
0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428





PROGETTISTA



COMMESSA  
NR/20049

UNITÀ  
000

LOCALITÀ

REGIONE TOSCANA

REL-CI-E-00428

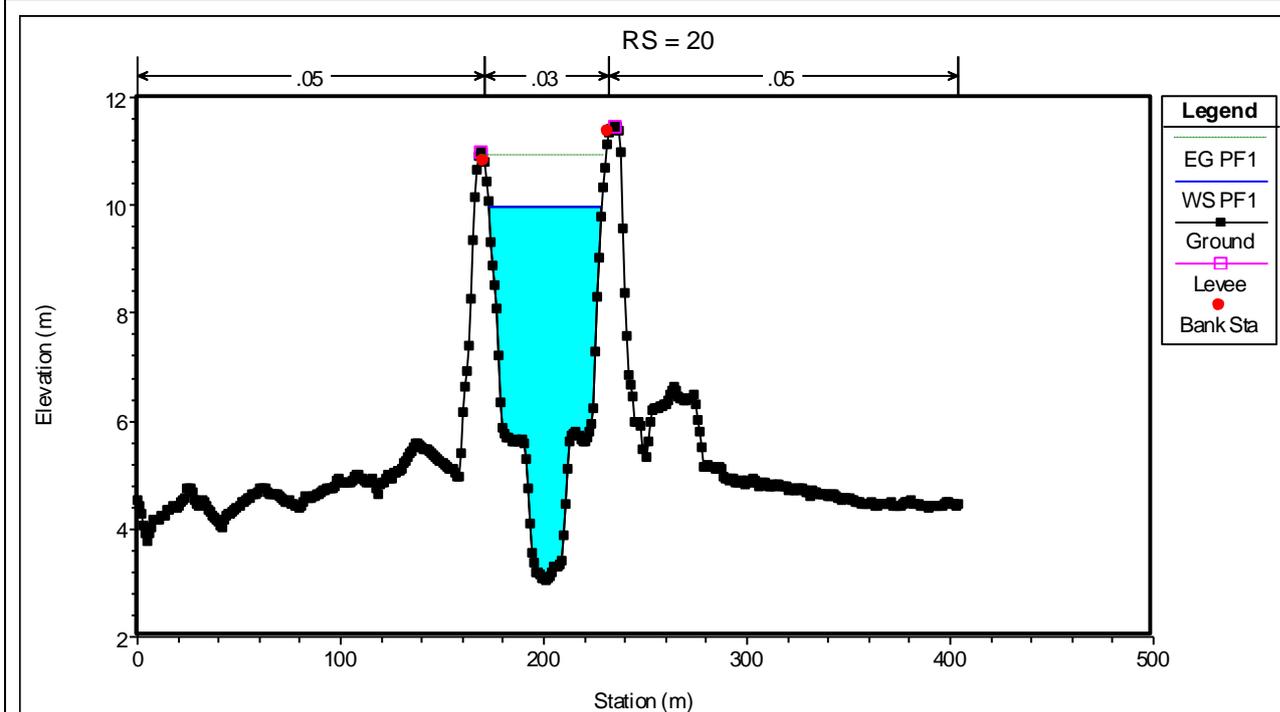
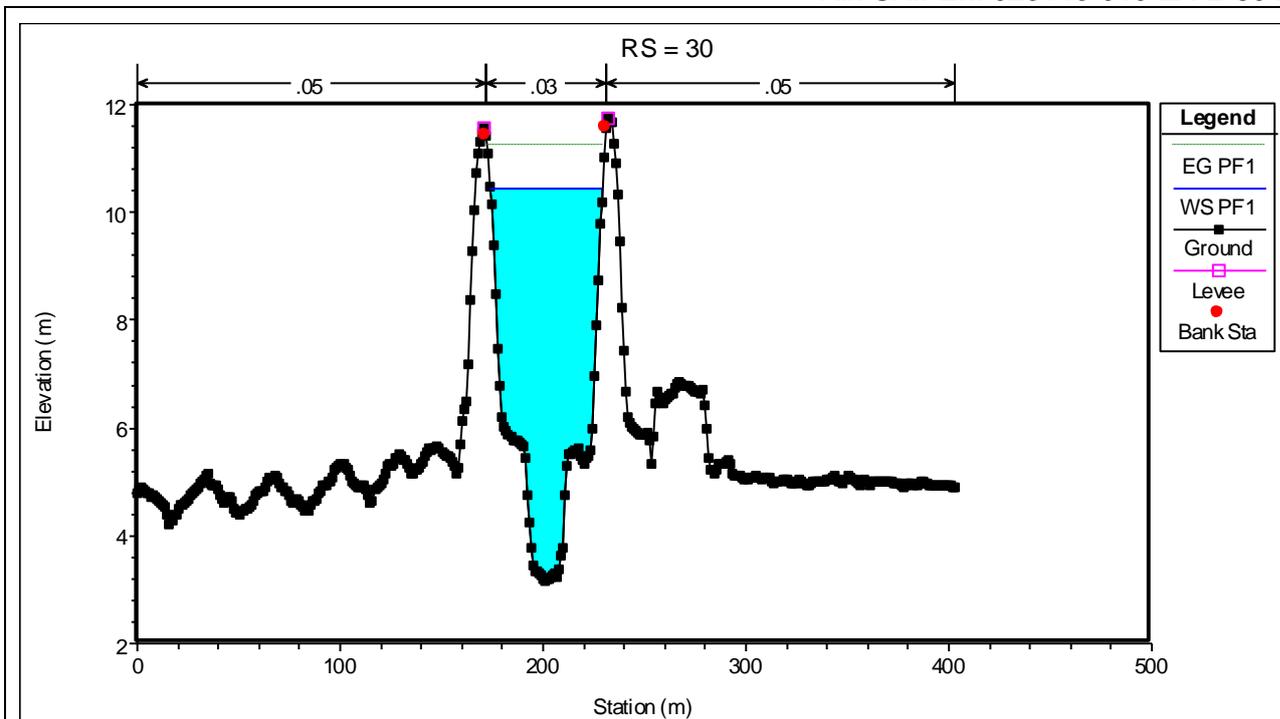
PROGETTO

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

Fg. 23 di 73

Rev.  
0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428



	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00428
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 24 di 73	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

#### 5.4 Analisi dei risultati conseguiti

Nel paragrafo precedente sono state riportate le principali schermate di output del programma Hec Ras; mentre in *Appendice 3* 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 emerge che nel tronco d'alveo analizzato i rilevati arginali risultano in grado di contenere la portata di progetto, seppur in alcuni tratti i franchi idraulici sono estremamente ridotti.

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-00428
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 25 di 73		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

## 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-00428
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 26 di 73	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

## 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 Schoklitsh<sup>1</sup> 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<sub>o</sub>** = 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

<sup>1</sup> Schoklitsh A., "Stauraum verlandung und kolkbewehr", Springer ed., Vienna, 1935.

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>COMMESSA</b> <b>NR/20049</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> REGIONE TOSCANA		<b>REL-CI-E-00428</b>	
	<b>PROGETTO</b> RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 27 di 73	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

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 studiate<sup>2</sup> da Yalin (1964), Nordin (1965) ed Altri, che hanno proposto di assegnare a tali escavazioni un valore cautelativo pari ad una percentuale dell'altezza idrometrica di piena ivi determinata. In particolare, nel caso di regime di corrente lenta, venne concluso che, per granulometrie comprese nel campo delle sabbie, la profondità del fenomeno risulta comunque inferiore a 1/6 o al massimo 1/3 dell'altezza idrica. Una generalizzazione prudenziale, proposta in Italia<sup>3</sup>, 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<sub>o</sub>**), 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.

<sup>2</sup> Si veda la sintesi di questi lavori in Graf W.H., "Hydraulics of sediment transport"; McGraw-Hill, U.S.A.; 1971.

<sup>3</sup> 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-00428
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 28 di 73	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

### 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 (m <sup>3</sup> /s)	Q Chan (m <sup>3</sup> /s)	Vel Chnl (m/s)	Top Width Act Chl (m)	Hydr Depth C (m)	Portata specifica (m <sup>3</sup> /s m)	Carico totale (m)	Approfond. Localizzati (m)	Arature di fondo (m)
60	1100	1100.00	2.42	94.37	4.81	11.66	5.11	2.23	2.41
50	1100	1100.00	3.81	58.41	4.94	18.83	5.68	2.73	2.47
40	1100	1100.00	4.01	55.30	4.97	19.89	5.79	2.81	2.49
30	1100	1100.00	3.98	55.18	5	19.93	5.81	2.81	2.50
20	1100	1100.00	4.32	55.19	4.61	19.93	5.56	2.76	2.31
10	1100	1100.00	5.93	51.89	3.57	21.20	5.36	2.76	1.79

### 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 2.81m.

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 7.2.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00428
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 29 di 73		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

## 7 METODOLOGIA COSTRUTTIVA E SCELTE PROGETTUALI

### 7.1 Metodologia costruttiva: TOC

La scelta del sistema d'attraversamento, particolarmente nel caso di corsi d'acqua di rilevanti dimensioni, deve essere effettuata in modo da garantire la massima sicurezza dal punto di vista idraulico e geotecnico, sia in fase operativa che a lungo termine, tanto per la condotta di linea in progetto quanto per il fiume.

In tal senso l'insieme delle caratteristiche morfologiche, geologiche, geometriche ed idrauliche dell'ambito d'attraversamento ha condotto alla individuazione del sistema di attraversamento in trenchless mediante la tecnica della *Trivellazione Orizzontale Controllata (TOC)*, ovvero *Horizontal Directional Drilling (HDD)*.

Tale tecnica costruttiva è stata individuata nel caso specifico con lo scopo di salvaguardare dalle operazioni di scavo i corpi arginali presenti nell'area di attraversamento, nonché in considerazione della configurazione morfologica dell'alveo, delle caratteristiche idrologiche del corso d'acqua, ed al seguito della verifica di disponibilità di spazi per l'allestimento della colonna varo.

Detta tecnica consente dunque di evitare le interferenze con il regime idraulico del corso d'acqua (anche durante le fasi costruttive) e sostanzialmente di eliminare gli impatti sul territorio della regione fluviale.

Il sistema peraltro consente di posizionare la condotta ad elevate profondità in subalveo (quindi ben oltre ad ogni prevedibile fenomeno d'approfondimento); permettendo inoltre di prevedere una configurazione della condotta in subalveo "a corda molle", tale da assicurare adeguate distanze di sicurezza della pipeline anche nei confronti dell'alveo e degli argini del corso d'acqua.

### 7.2 Configurazione geometrica di progetto

#### Considerazioni preliminari

Il sistema permette la realizzazione di una geometria di attraversamento con elevate coperture rispetto al fondo alveo; questa caratteristica, unitamente a quelle esecutive, intrinseche del sistema operativo, garantisce la minimizzazione di ogni possibile interferenza con il sistema idrico di subalveo e con il terreno di trivellazione.

In particolare la definizione geometrica del tunnel e quindi della condotta, viene effettuata in modo da soddisfare ai vincoli attinenti sia l'aspetto idraulico del corso d'acqua che quello costruttivo della trivellazione e della condotta.

E' necessario infatti, assicurare adeguate profondità del cavo al di sotto dell'alveo e dei manufatti in superficie, rispettando allo stesso tempo i raggi di curvatura minimi consentiti dalla tubazione di linea (in generale di almeno 1200 volte il diametro della condotta), sia in termini di sollecitazioni indotte nel terreno che nei riguardi delle operazioni di varo della condotta.

La garanzia rispetto ai fenomeni di filtrazione in sub-alveo ed alle sollecitazioni indotte in superficie è insita nella configurazione geometrica del tunnel stesso. Infatti, nel corso della sua definizione geometrica è stata privilegiata la geometria di progetto che, interessando terreni posti ad "elevate profondità", soddisfa sostanzialmente ai seguenti criteri di sicurezza:

- le elevate profondità di posa del tunnel presuppongono percorsi preferenziali di filtrazione lungo il suo profilo molto più lunghi di quelli che si avrebbero naturalmente;

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>COMMESSA</b> <b>NR/20049</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> REGIONE TOSCANA		<b>REL-CI-E-00428</b>	
	<b>PROGETTO</b> RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 30 di 73	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

- le distanze in orizzontale e le profondità della trivellazione dalle sponde sono particolarmente elevate e dunque sono tali da escludere qualsiasi alterazione dello stato tensionale e di deformazione in superficie.
- La copertura minima individuata per la trivellazione in progetto risulta inoltre tale da assicurare ampi margini di sicurezza rispetto agli eventuali fenomeni erosivi di fondo alveo determinati dalla corrente idrica.

#### Configurazione di progetto

Il profilo di trivellazione è caratterizzato da una configurazione costituita da 1 arco di circonferenza nel tratto centrale e da 2 tratti rettilinei alle estremità.

Le principali caratteristiche geometriche del tunnel sono:

- Lunghezza dello sviluppo complessivo della trivellazione: di 421m circa;
- Sviluppo complessivo dei tratti rettilinei: 160 m circa;
- Sviluppo del tratto curvilineo: 261 m circa;
- Raggio di curvatura del tratto curvilineo pari a: 1000 m;
- Postazione Rig (entrata trivellazione): in destra idrografica, nel lato monte in senso gas;
- Postazione uscita trivellazione (lato pista di varo): in sinistra idrografica, nel lato valle in senso gas;
- angoli sull'orizzontale di entrata e di uscita della trivellazione: rispettivamente di 6° e 8°;
- copertura minima dal piede arginale: 17.60m circa (in destra idrografica)
- copertura minima della trivellazione dalle quote di fondo alveo: di 15 metri circa;

Per l'analisi di dettaglio della configurazione geometrica d'attraversamento si rimanda alla visione dell'elaborato grafico di progetto precedentemente richiamato.

### 7.3 Considerazione inerenti alla geometria di trivellazione

La copertura minima in subalveo di progetto, essendo di circa 15m, risulta ben oltre ad ogni ragionevole possibilità di erosione di fondo alveo del corso d'acqua.

Le profondità di trivellazione e i distacchi orizzontali delle estremità dalle sponde sono particolarmente elevate e dunque sono tali da escludere qualsiasi alterazione dello stato tensionale e di deformazione in superficie.

Pertanto la configurazione di progetto della trivellazione di posa della condotta consente di assicurare l'adeguata sicurezza nei confronti dei potenziali processi erosivi che possano interessare sia il fondo che le sponde del corso d'acqua; inoltre la stessa consente di assicurare l'assenza di alterazioni indotte nel contesto morfologico dell'alveo durante le fasi costruttive dell'opera.

### 7.4 Descrizione del sistema operativo TOC

Il procedimento della Trivellazione Orizzontale Controllata è un miglioramento della tecnologia e dei metodi sviluppati per la perforazione direzionale dei pozzi petroliferi. L'uso del metodo si sviluppò rapidamente a partire dai primi anni '80, prima negli Stati Uniti e poi in Europa, trovando applicazione in numerosi attraversamenti fluviali, in un vasto campo di diametri, lunghezze e situazioni litologiche.

Tra le tecnologie di attraversamento di tipo *trenchless*, la T.O.C. presenta la caratteristica di permettere la posa della condotta operando direttamente dal piano campagna, senza la necessità di opere accessorie quali pozzi di partenza e di arrivo.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20049</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> REGIONE TOSCANA		<b>REL-CI-E-00428</b>
	<b>PROGETTO</b> RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 31 di 73	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

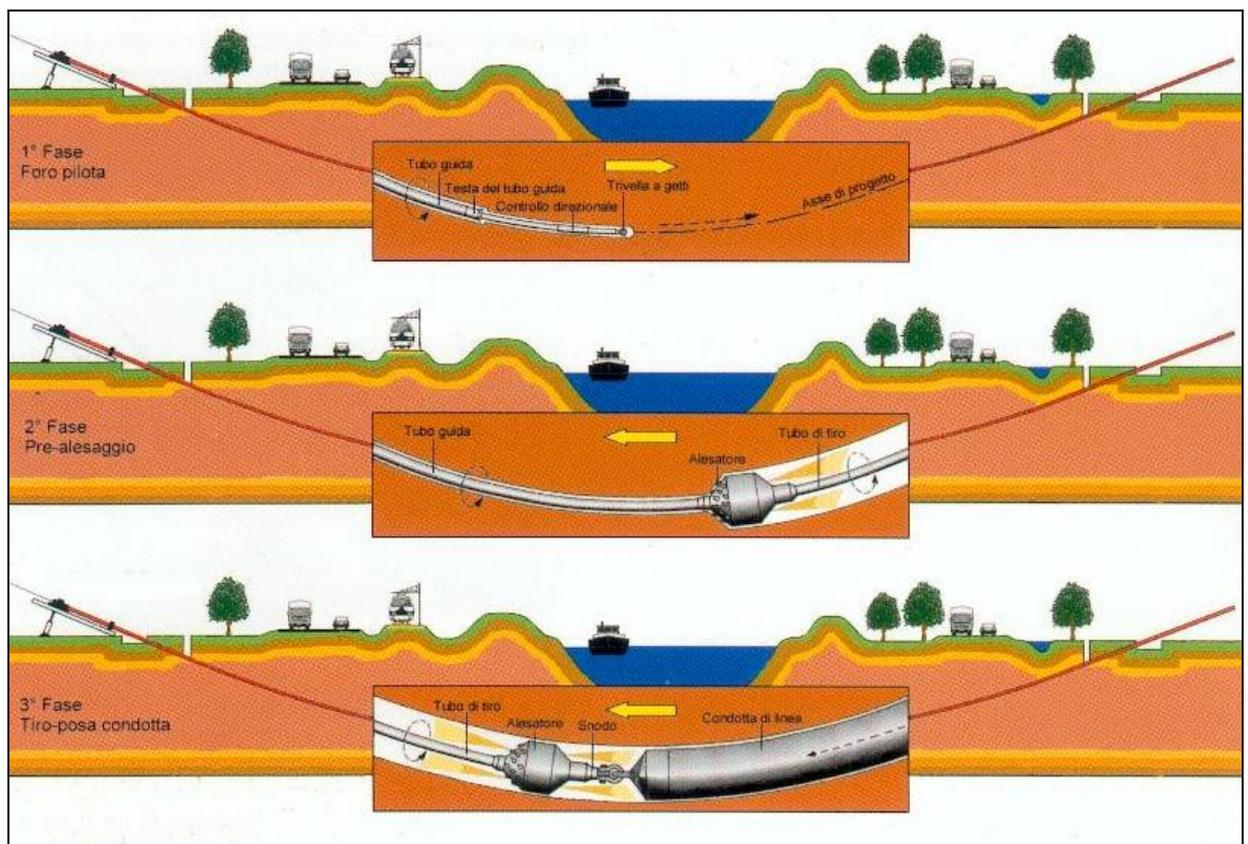
In generale il procedimento impiegato negli attraversamenti mediante l'impiego della metodologia "Trivellazione Orizzontale Controllata" è composto da tre fasi.

La *prima fase* consiste nella trivellazione di un foro pilota (di piccolo diametro) lungo un profilo direzionale prestabilito.

La *seconda fase* implica l'allargamento (pre-alesaggio) del foro pilota, con lo scopo di incrementare il diametro del foro precedentemente eseguito. Il numero dei pre-alesaggi dipende dal diametro della condotta da posare. In taluni casi, per la posa di piccole condotte non risulta necessario eseguire la fase di pre-alesaggio, quindi dopo la realizzazione del foro pilota, si passa direttamente all'esecuzione della condotta tiro-posa della condotta.

La *terza fase* (denominata tiro-posa della condotta) viene eseguita al termine della fase di alesatura (oppure contemporaneamente a questa) e consiste nel tiro- posa della condotta da installare entro il perforo opportunamente allargato a partire dall'estremità opposta alla posizione del RIG di perforazione.

Nella figura seguente è riportata uno schema grafico illustrativo delle fasi di lavoro.



T.O.C.- Fasi di lavoro

### Esecuzione del foro pilota

Il foro pilota viene realizzato facendo avanzare la batteria di aste pilota (di piccolo diametro) con in testa una lancia a getti di fango bentonitico che consente il taglio del terreno (jetting).

Nelle fasi di esecuzione del foro pilota, così come nelle successive fasi di alesaggio e di varo della condotta, sarà previsto il monitoraggio in continuo della pressione del

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00428
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 32 di 73	Rev. 0	

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

fango di perforazione al fine di eliminare ogni possibile interferenza tra le operazioni di trivellazione ed il sistema fisico circostante.

Al fine di minimizzare le interferenze con l'ambiente esterno e con le falde acquifere (a carattere esclusivamente fisico e comunque di entità molto limitata) si prevederà l'utilizzo di miscele bentonitiche.

Questi accorgimenti consentiranno la saturazione di eventuali microfessurazioni che dovessero formarsi nell'intorno dell'asse di trivellazione, garantendo che durante l'esecuzione dell'attraversamento non si verifichi la formazione di vie preferenziali di filtrazione lungo l'asse di trivellazione.

I cambi di direzione necessari sono ottenuti ruotando le aste di perforazione in modo tale che la direzione della deviazione coincida con quella desiderata (asse trivellazione).

Il tracciato del foro pilota sarà controllato durante la trivellazione da frequenti letture dell'inclinazione e dell'azimut all'estremità della testa di perforazione.

Ad intervalli regolari la perforazione del foro pilota viene interrotta per consentire l'inserimento di un tubo guida (*wash pipe*) mediante movimento di rotazione ed avanzamento; il tubo guida riduce l'attrito tra asta e terreno, permette di orientare l'asta senza difficoltà e facilita il trasporto verso la superficie dei materiali di scavo; esso, inoltre, serve a mantenere aperto il foro qualora sia necessario ritirare l'asta pilota.

Il foro pilota sarà completato quando sia l'asta pilota che il tubo guida fuoriusciranno alla superficie sul lato opposto al Rig. La testa di perforazione sull'asta pilota viene rimossa e l'asta stessa viene quindi ritirata, lasciando il tubo guida lungo il profilo di progetto.

A titolo di esempio nelle figure seguenti si riportano delle foto inerenti alle fasi di esecuzione del foro pilota.



Attravers. F. Po con met. 30" – "Rig", durante la realizzazione del foro pilota

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00428
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 33 di 73		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428



*Attraversamento F. Po con met. 30" – fase di uscita dell'asta pilota*

#### Alesaggio del foro e tiro-posa della condotta

In base ai riscontri ottenuti durante la perforazione del foro pilota ed in base alle caratteristiche dei terreni attraversati, verrà deciso se effettuare contemporaneamente l'alesaggio ed il tiro della condotta oppure eseguire ulteriori alesaggi.

Questa fase consisterà nell'allargamento del foro pilota per mezzo di un alesatore. Tale operazione potrà essere eseguita prima del tiro-posa della condotta o contemporaneamente ad esso.

Nel caso di prealesatura, la fresa ed i relativi accessori verranno fissati al tubo guida nel punto di uscita. Quindi la fresa verrà fatta ruotare e contemporaneamente tirata dal rig di perforazione, allargando in questo modo il foro pilota. Contestualmente all'avanzamento della testa fresante, dietro di essa verranno assemblate nuove aste di tubo guida per garantire la continuità di collegamento all'interno del foro.

Durante le fasi di trivellazione, di prealesatura e di tiro-posa, verrà impiegato del fango bentonitico. Questo fango, opportunamente dosato in base al tipo di terreno, avrà molteplici funzioni quali ridurre gli attriti nelle fasi di scavo, trasportare alla superficie i materiali di scavo, mantenere aperto il foro, lubrificare la condotta nella fase di tiro-posa e garantirne il galleggiamento.

L'insieme del cantiere di perforazione è costituito dal rig vero e proprio, dall'unità di produzione dell'energia, dalla cabina di comando, dall'unità fanghi, dall'unità approvvigionamento idrico, dall'unità officina e ricambi, dalla trivella, dalle aste pilota, dalle aste di tubo guida, dalle attrezzature di alesaggio e tiro-posa e da una gru di servizio.

Tutte queste attrezzature saranno assemblate ed immagazzinate in container in modo da essere facilmente trasportabili su strada "in sagoma".

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00428
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 34 di 73		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

#### Montaggio della condotta

Dal lato opposto a quello dove sarà posizionato il Rig verrà eseguita la prefabbricazione della colonna di varo.

Ove le dimensioni del cantiere e le attrezzature a disposizione lo consentano, la colonna di varo verrà preferibilmente assemblata in un'unica soluzione per evitare tempi di arresto, per saldature ed operazioni di controllo e rivestimento dei giunti, durante la fase di tiro-posa.

A saldatura completata verranno eseguiti i controlli non distruttivi delle saldature (radiografie) e successivamente si provvederà al rivestimento dei giunti di saldatura.

La colonna, prima del tiro-posa, verrà precollaudata idraulicamente.

Per l'esecuzione del tiro-posa verrà predisposta una linea di scorrimento della colonna (rulli, carrelli o sostentamento con mezzi d'opera).

A titolo di esempio nella figura seguente si riporta una foto di una colonna preassemblata, prima del varo.



*Attrav. F. Po con met. 30" – Colonna pipeline preassemblata sulla pista di varo*

Durante il varo, l'ingresso della condotta nel foro verrà facilitato, facendole assumere una catenaria predeterminata in base all'angolo d'ingresso nel terreno, al diametro ed al materiale della condotta; ciò permetterà di evitare sollecitazioni potenzialmente dannose sulla condotta da varare.

Al fine di ridurre al massimo le sollecitazioni indotte alla tubazione, durante la fase di tiro-posa, dovranno essere rigorosamente rispettati i valori di raggio minimo di curvatura elastica della tubazione.

Al termine dei lavori verrà redatto un elaborato riportante l'esatto posizionamento della condotta così come realmente posta in opera.

#### Ripristino dell'area di attraversamento

Al termine dei lavori, effettuati i collegamenti della sezione in tunnel con la tubazione di linea alle due estremità della trivellazione, si procede alle operazioni di recupero

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>COMMESSA</b> <b>NR/20049</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b>	REGIONE TOSCANA		<b>REL-CI-E-00428</b>
	<b>PROGETTO</b> RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 35 di 73		<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

ambientale dei luoghi. Smobilitato il cantiere di trivellazione, si passa ai movimenti terra per il ripristino morfologico del piano di campagna.

Vengono dunque rinterrate le buche e risistemata la pista di varo. Successivamente si effettua il livellamento superficiale, riportando lo strato di humus accantonato al momento dell'inizio lavori.

Infine, in funzione della natura e della sensibilità ambientale dei luoghi, si procede ai ripristini mediante interventi di rinaturalizzazione per il completo recupero ambientale dell'area.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00428
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 36 di 73		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

## 8 ANALISI DELLA PROBLEMÁTICA DEL SIFONAMENTO

### 8.1 Premessa

Poiché in corrispondenza dell'ambito di attraversamento in esame si rileva la presenza di rilevati arginali che si elevano per delle imponenti altezze nei confronti del piano campagna circostante, nel presente capitolo viene presa in esame la problematica del sifonamento, connessa alla metodologia di trivellazione individuata, alla geometria di posa in subalveo prevista in progetto, nonché alla natura dei terreni intercettati nel sottosuolo.

### 8.2 Generalità

Come è noto, il sifonamento può essere descritto come un flusso concentrato di acqua in cui la velocità è sufficientemente alta da provocare il trasporto delle particelle più fini, anche in direzione verticale. L'inizio del trasporto è associato al raggiungimento di un gradiente di efflusso, detto gradiente critico, il cui valore è ricavabile dal rapporto tra il peso di volume del terreno immerso e quello del fluido in movimento.

Il fenomeno, una volta avviato, può innescare un processo regressivo di erosione con la formazione di buche e cavità nel terreno di fondazione dell'argine, conducendo di conseguenza ad una continua amplificazione delle portate e della erosione.

Nonostante sia noto che i terreni maggiormente soggetti a rischio di sifonamento siano quelli non coesivi, sabbiosi ed uniformemente gradati, la previsione del rischio effettivo presenta ampi margini di incertezza. Le difficoltà di previsione scaturiscono dal peso che, nella dinamica del problema, assumono una serie di fattori locali quali la effettiva distribuzione granulometrica del terreno, l'omogeneità delle caratteristiche di permeabilità e granulometria, la disponibilità di eventuali componenti di resistenza al taglio di natura coesiva dovuta alla presenza di materiali fini.

Vale la pena, tuttavia, precisare come le esperienze acquisite nel campo del *Horizontal Directional Drilling*, tanto in Italia quanto all'estero, mostrano che se correttamente eseguite (elevate profondità di perforazione, ridotta cavità tra tubo e terreno), sono adeguatamente sufficienti per prevenire i rischi di sifonamento.

Da tali considerazioni emerge come, in fase di progetto, sia necessario verificare che il sistema venga configurato in modo da garantire adeguati coefficienti di sicurezza al sifonamento; questo tipo di verifica deve essere condotto, valutando di volta in volta se esistono condizioni geotecniche, idrauliche e geometriche tali da innescare il fenomeno ed adottando coefficienti di sicurezza commisurati al livello di conoscenza acquisito.

### 8.3 Metodologie di calcolo

Con lo scopo di mostrare quanto la geometria della trivellazione individuata per il progetto d'interesse sia tale da configurare elevate condizioni di sicurezza per sifonamento, nelle verifiche mostrate nei paragrafi seguenti, si suppone che l'asse di trivellazione costituisca un percorso preferenziale di filtrazione a permeabilità superiore rispetto al terreno in situ.

Si presuppone quindi che la fase più critica per tale configurazione si abbia a breve termine e precisamente a conclusione delle fasi di avanzamento nella trivellazione del tunnel in quanto a lungo termine le presupposte cavità presenti in prossimità della condotta si intasano velocemente per effetto del consolidamento del terreno.

Nelle condizioni ordinarie per le quali le trivellazioni sono giudicate fattibili si può senz'altro escludere la possibilità che, a lungo termine, attorno alla condotta possa

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00428
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 37 di 73	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

configurarsi, in modo continuo lungo il profilo di trivellazione, una fascia di terreno che rispetto a quello in situ possa rappresentare una "via preferenziale" per i moti di filtrazione delle acque di sub-alveo.

Le problematiche legate alla interferenza tra la realizzazione dell'attraversamento ed il regime di filtrazione di sub-alveo, assumono importanza progettuale crescente con l'aumentare del carico idraulico; mentre nessun problema può rilevarsi per alvei incisi, il cui moto di filtrazione avviene longitudinalmente lungo il corso d'acqua, all'opposto di quanto avviene per alvei pensili il cui moto può avvenire trasversalmente al corso d'acqua.

Le metodologie disponibili per i calcoli di verifica variano dai metodi basati su soluzioni semplificate di tipo empirico, analitico e numerico in grado di fornire rapide valutazioni fino ai metodi a differenze ed elementi finiti, in grado di descrivere situazioni complesse nello spazio tridimensionale.

Tuttavia, alla precisione matematica dei modelli più sofisticati non corrisponde un'altrettanta affidabilità dei dati di input che ne definiscono il campo; relativamente al coefficiente di permeabilità, sono infatti da evidenziare due ordini di difficoltà.

La prima è relativa alla schematizzazione spaziale delle caratteristiche di permeabilità dei terreni in situ: il gradiente del coefficiente di permeabilità dipende spiccatamente dalla variabilità litologica e stratigrafica dei terreni, dal loro grado di consolidazione e dal loro comportamento anisotropo; da qui la necessità di disporre di un esteso campionamento, spesso oneroso. A questo, sono da aggiungere le difficoltà legate alla omogeneità dei valori misurati con le prove di permeabilità (per i coefficienti di permeabilità sono rilevabili differenze dell'ordine di 10 volte tra le prove in situ e quelle su campioni indisturbati).

La seconda difficoltà è attinente alla determinazione del coefficiente di permeabilità dell'insieme "terreno - fango di perforazione" in quanto esso è dipendente da numerosi fattori, come la composizione reologica del fango, le modalità esecutive e la natura del terreno. In aggiunta, tale valore è generalmente variabile nel tempo (con la consolidazione) e lungo il profilo della trivellazione stessa.

Per questi motivi in determinate situazioni può risultare praticamente inutile ricorrere a modelli di calcolo estremamente sofisticati. Viceversa, l'impiego di soluzioni analitiche semplificate può condurre a soluzioni affidabili, in termini di sicurezza, se i modelli di calcolo e le schematizzazioni introdotte sono attinenti alle situazioni reali.

Le metodologie di calcolo di seguito utilizzate sono i seguenti:

- Metodo del gradiente
- Metodo di Lane
- Metodo olandese

A tal proposito qui di seguito si riporta la sezione schematica di riferimento per le verifiche di sifonamento (a scopo precauzionale si assume che il franco idraulico sia nullo).

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00428
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 38 di 73		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

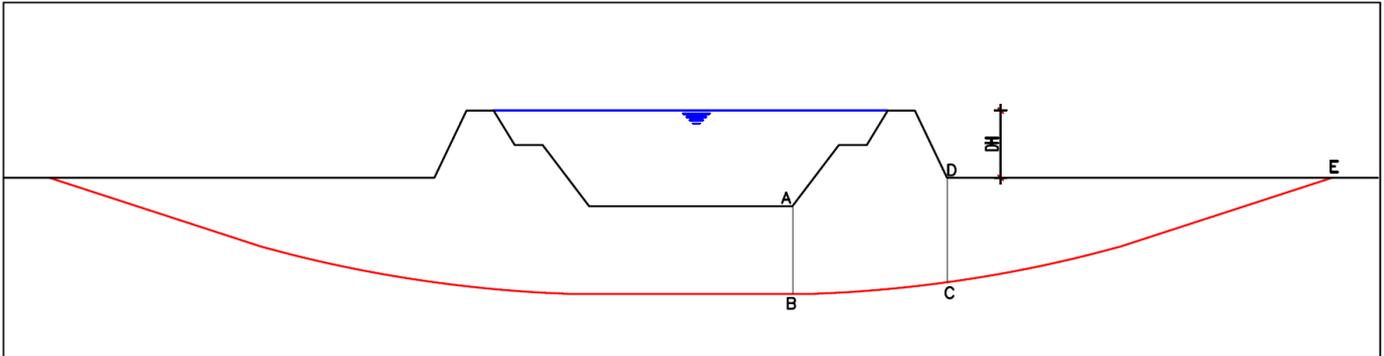


Fig. 8.3/A: Sezione schematica per le verifiche al sifonamento

### Metodo del gradiente

L'azione viscosa dell'acqua provoca un trasferimento di energia fra l'acqua e il terreno: fra due punti distanti  $\Delta s$  lungo una linea di corrente, infatti, si ha una perdita di carico  $\Delta h$ . La forza corrispondente si chiama forza di filtrazione: al suo aumentare al di sopra di un certo valore può provocare il fenomeno del sifonamento che consiste nell'asportazione di granuli di terreno e il conseguente sempre più veloce moto di filtrazione fino al formarsi di veri e propri canali di flusso.

La velocità limite del moto di filtrazione al di sopra della quale si inizia ad avere asportazione di particelle di terreno corrisponde ad un cosiddetto gradiente critico  $i_{cr}$  dato da:

$$i_{cr} = (\gamma_s - \gamma_w) / \gamma_w = \gamma' / \gamma_w$$

dove:

- $\gamma_s$ : peso specifico dei granuli
- $\gamma_w$ : peso specifico dell'acqua
- $\gamma'$ : peso specifico sommerso dei granuli

Il gradiente idraulico che determinerebbe il moto di filtrazione lungo il percorso di trivellazione è funzione della sua lunghezza  $L$  (minimo percorso tra ABCE e ABCD, si veda Fig. 8.3/A) e della perdita di carico  $\Delta h$ , cioè il dislivello tra livello di massima piena prevista e piede dell'argine secondo la relazione:

$$i = \Delta h / L$$

Il fattore di sicurezza nei confronti del sifonamento risulta pertanto:

$$F_s = i_{cr} / i = i_{cr} \cdot L / \Delta h$$

Il metodo non tiene conto di differenziazioni tra percorsi orizzontali e percorsi verticali; nel calcolo, per tenere in conto il disturbo provocato dalla trivellazione lungo il tratto orizzontale, si considera un peso di volume del terreno ridotto di circa il 15% rispetto al valore del terreno indisturbato in posto. In tal modo si tiene conto della situazione peggiore che si ha quando il terreno intorno al foro non ha ancora avuto modo di consolidarsi del tutto.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00428
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 39 di 73	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

In aggiunta, per ulteriore cautela, al fine di tenere conto anche dell'eventuale scadimento delle proprietà dei terreni lungo la zona trivellata, il tratto orizzontale viene ulteriormente penalizzato di un fattore 2.

In accordo con le nuove NTC 2018 (6.2.4.2 Verifiche nei confronti degli stati limite ultimi idraulici) si ritiene soddisfatta la verifica quando si ottiene un  $F_s \geq 3$  (v. stralcio NTC nella Figura seguente).

nel caso di frontiera di efflusso libera, la verifica a sifonamento si esegue controllando che il gradiente idraulico i risulti non superiore al gradiente idraulico critico  $i_c$  diviso per un coefficiente parziale  $\gamma_R = 3$ , se si assume come effetto delle azioni il gradiente idraulico medio, e per un coefficiente parziale  $\gamma_R = 2$  nel caso in cui si consideri il gradiente idraulico di efflusso;

Fig. 8.3/B: Stralcio NTC 2018 – 6.2.4.2

### Criterio di Lane

Dall'osservazione sperimentale di una numerosa casistica, Lane verificò che i percorsi sub-orizzontali H (con inclinazione inferiore a 45°) offrono una resistenza dell'ordine di 1/3 rispetto a quella dei percorsi sub-verticali V. Conseguentemente il coefficiente di sicurezza medio ponderale è data da:

$$F_s = (1/3 H + V) / \Delta h$$

I valori di  $F_s$  minimi raccomandati da Lane sono funzione del tipo di terreno, in accordo con la tabella qui di seguito riportata

MATERIALE	$F_s$
Sabbia fine o limo	8.5 ÷ 7
Sabbia media	6
Sabbia grossolana	5
Ghiaia fine	4
Ghiaia media	3.5
Ghiaia grossolana	3
Argilla tenera	2
Argilla dura	1.6 ÷ 1.8

Nel caso di terreni significativamente stratificati, il coefficiente di sicurezza può essere valutato effettuando una media ponderata dei valori proposti in tabella per ciascuna tipologia di terreno, in funzione degli sviluppi di trivellazione ricadenti in ciascuno strato interessato. Nello specifico in considerazione della tipologia di terreno individuata nella campagna geognostica (cfr. par.3.3), si assume un coefficiente di Lane pari 6.

Nei calcoli si è considerato il percorso più breve tra ABCD (AB e CD verticali, BC orizzontale) e il percorso ABCE (AB verticale, BCE orizzontale).

L'effetto turbativo dovuto dalla presenza della perforazione nel tratto orizzontale viene tenuto in conto dal fattore riduttivo di 1/3 da applicarsi ai percorsi di filtrazione nella direzione orizzontale.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00428
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 40 di 73	Rev. 0	

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

### Metodo olandese

Il metodo olandese (NEN 3050-3051 Provincie di Zuid, Holland, 1985) rappresenta il confronto tra la lunghezza totale del percorso di filtrazione a seguito della trivellazione e quello più breve ipotizzabile nel corpo arginale nella situazione preesistente alla trivellazione. La lunghezza del percorso L a lavori eseguiti è stata assunta come il minimo tra i percorsi ABCD e ABCE, tenendo in conto la differenziazione tra percorso orizzontale (penalizzato di un fattore 1/3) e percorso verticale.

Il percorso di filtrazione nell'ambito del rilevato arginale  $L_{arg}$  viene stimato, per cautela, come il più lungo, cioè quello corrispondente al tratto congiungente il piede interno con quello esterno (tratto AD).

Il fattore di sicurezza indica quanto più lungo è il tragitto dell'acqua di filtrazione lungo la zona interessata dal passaggio della TOC (ABCD o ABCE) rispetto al percorso più sfavorevole nel corpo arginale nelle condizioni antecedenti la trivellazione (AD) ( $FS = L / L_{arg}$ ).

Per ulteriore cautela, al fine di tenere conto anche dell'eventuale scadimento delle proprietà dei terreni lungo la zona trivellata, il tratto orizzontale viene ulteriormente penalizzato di un fattore 2, così da portare ad 1/6 il peso della sua lunghezza di filtrazione, mentre il percorso nel rilevato arginale viene penalizzato solo di un fattore 3.

L'effetto turbativo dovuto dalla presenza della perforazione nel tratto orizzontale viene tenuto in conto dal fattore riduttivo di 1/6 da applicarsi ai percorsi di filtrazione nella direzione orizzontale.

La verifica si ritiene soddisfatta se risulta  $F_s = (AB + 1/6BC + CD) / (AD/3) > 1$ .

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00428
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 41 di 73	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

#### 8.4 Risultati

Sono state eseguite le verifiche a sifonamento in entrambi i rilevati arginali (sia in sinistra, che in destra idrografica), in considerazione delle n.3 metodologie di calcolo descritte nel paragrafo precedente.

Per quanto riguarda i battenti idraulici, a scopo conservativo, non è stato considerato l'eventuale presenza di franchi idraulici, ossia il carico totale è stato valutato in considerazione dell'altezza massima dei rilevati arginali.

I risultati dei calcoli sono stati riportati nella tabella seguente.

Tab.8.4/A: Caratteristiche geometriche (rif. Fig.8.3/A) e risultati del calcolo di filtrazione

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE							
CORSO D'ACQUA	ARGINE	PERCORSI IDRICI					BATTENTE
		AB	BC	CD	CE	AD	
FIUME CORNIA	Argine dx	15.01	35.65	18.57	>>AD	35.88	5.57
	Argine sx	14.96	37.96	17.57	>>AD	38.06	6.38
RISULTATI VERIFICHE AL SIFONAMENTO							
METODO GRADIENTE		CRITERIO DI LANE			METODO OLANDESE		
$L=AB+1/2BC+CD$	$Fs=i_{cr} \cdot L/DH$	$L=AB+1/3BC+CD$	$F_{lane}$	$F_s (>F_{lane})$	$L=AB+1/6BC+CD$	$Larg=AD/3$	$Fs=L/Larg$
51.41	5.54	45.46	6	8.16	39.52	11.96	3.30
51.51	4.84	45.18	6	7.08	38.86	12.69	3.06
	<b>&gt;=3</b>			<b>&gt;=Flane</b>			<b>&gt;1</b>

Dall'esame della tabella precedente si rileva che, seppur sono stati adottati degli approcci cautelativi, tutte le verifiche effettuate hanno mostrato fattori di sicurezza soddisfacenti.

Pertanto, si può affermare che la tecnica e la geometria d'attraversamento garantiscono margini di sicurezza adeguati nei confronti della problematica del sifonamento.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00428
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 42 di 73		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

## 9 VALUTAZIONI INERENTI ALLA COMPATIBILITA' IDRAULICA

### 9.1 Quadro normativo generale

#### 9.1.1 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.

#### 9.1.2 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-00428
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 43 di 73	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

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.

#### 9.1.3 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-00428
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 44 di 73	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

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-00428
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 45 di 73		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

## 9.2 Quadro normativo di riferimento per l'ambito in esame

### 9.2.1 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.

### 9.2.2 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-00428
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 46 di 73	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

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-00428
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 47 di 73	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

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.*

### 9.2.3 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;*

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20049</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> REGIONE TOSCANA		<b>REL-CI-E-00428</b>
	<b>PROGETTO</b> RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fig. 48 di 73

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

### 9.3 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 fiume (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).

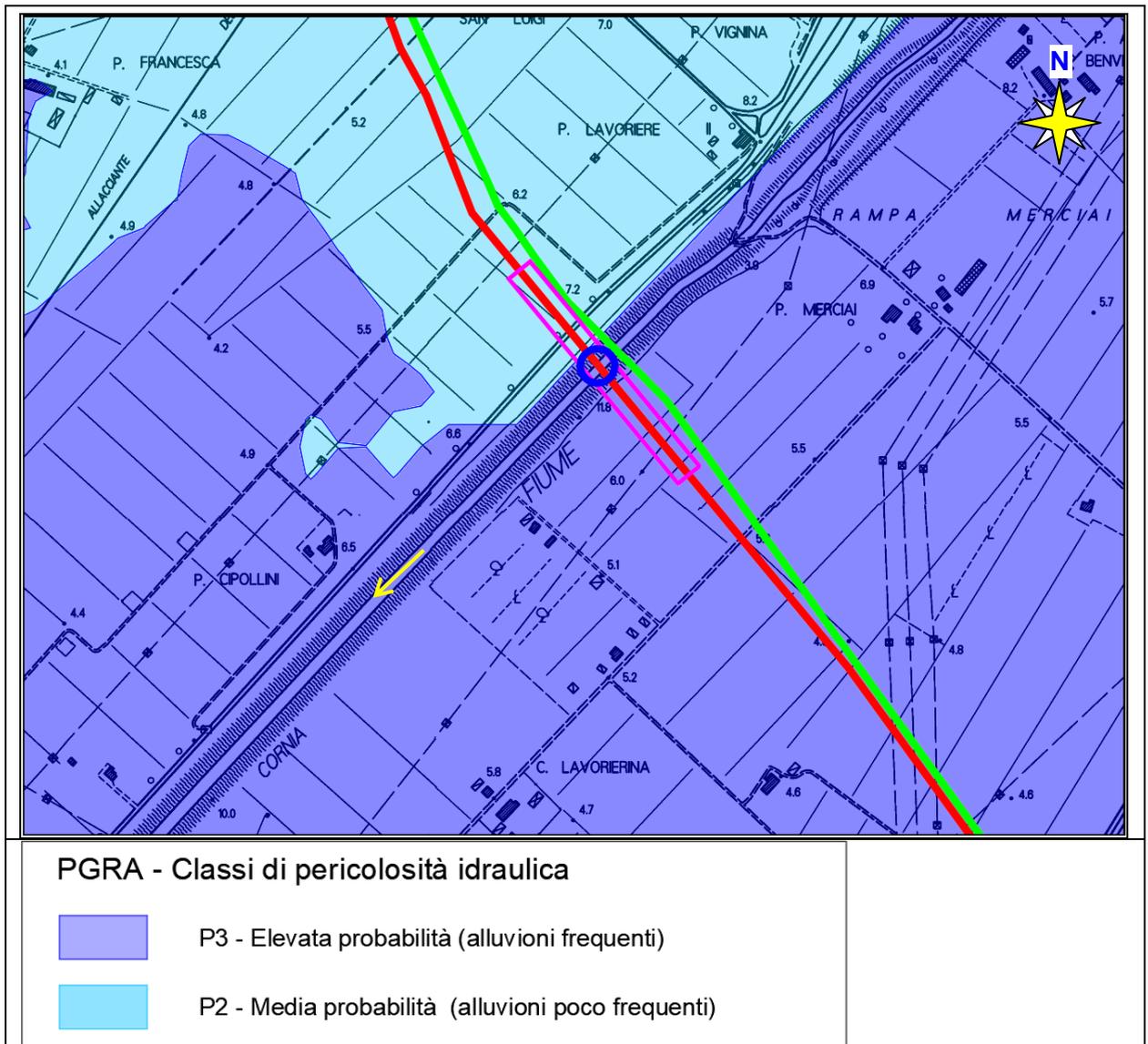


Fig.9.3/A: Interferenze tra metanodotto in progetto con le aree P2 e P3 dal PGRA

Dall'analisi della figura precedente si rileva che l'attraversamento del corso d'acqua ricade in un ambito dove nell'intorno s'individuano delle vaste aree potenzialmente inondabili e dunque censite a pericolosità idraulica.

Dalla stessa figura si rileva, inoltre, che l'alveo del corso d'acqua (delimitato da rilevati arginali e indicato con un cerchio in blu) e le aree inondabili più prossime all'alveo stesso verranno superate mediante una trivellazione in TOC (il cui sviluppo longitudinale è indicato mediante una sagoma rettangolare in magenta) e pertanto ad elevate profondità di posa in subalveo.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00428
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 49 di 73		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

Mentre negli ambiti esterni dal tratto in trivellazione (nei quali la condotta in progetto verrà posizionata mediante la tradizionale tecnica degli scavi a cielo aperto) la linea continua ad interferire per tratti di lunghezza molto significativa con delle aree inondabili a pericolosità P2 in destra idrografica e con delle aree inondabili a pericolosità P3 in sinistra idrografica del corso d'acqua.

## 9.4 Analisi delle condizioni di compatibilità idraulica

### 9.4.1 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 di 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.

### 9.4.2 Considerazioni specifiche inerenti all'ambito di attraversamento del corso d'acqua

Nel paragrafo precedente è stato evidenziato che l'alveo del corso d'acqua e le aree inondabili più prossime all'alveo stesso verranno attraversate in trivellazione (in TOC) ad elevate profondità di posa. Pertanto, alla luce della metodologia operativa individuata e delle scelte progettuali, si evidenzia quanto segue:

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00428
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 50 di 73		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

- L'attraversamento fluviale avviene in "subalveo" e prevede una profondità di posa della condotta di adeguate garanzie 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 la tubazione e il flusso della corrente;
- La configurazione morfologica d'alveo verrà mantenuta inalterata nei confronti della situazione originaria. Essendo i lavori previsti in trivellazione non si prevedono lavori in superficie nell'ambito dell'alveo del corso d'acqua;
- La tecnica costruttiva di posa della condotta (in trivellazione), unitamente alla geometria in progetto (elevate coperture in subalveo), consentono inoltre in generale di escludere interferenze con il regime idraulico del corso d'acqua anche nella fase costruttiva dell'opera;
- La configurazione geometrica della linea 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 involuppo di piena*

Non generando alterazioni dell'assetto morfologico (tubazione completamente interrata, con posa in trivellazione), non sarà determinato dalla costruzione della condotta nessun effetto di variazione dei livelli idrici e quindi del profilo d'involuppo di piena.

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

La linea 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, sia dal punto di vista planimetrico che altimetrico, essendo questa localizzata in subalveo ad una profondità superiore ad ogni prevedibile fenomeno d'approfondimento.

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

Il sistema operativo previsto ha consentito di prevedere il posizionamento della condotta ad elevata profondità di subalveo, quindi ben oltre ad ogni prevedibile fenomeno d'approfondimento. La configurazione in subalveo a "corda molle" (con risalite a coperture ordinarie a distanze molto elevate dall'alveo attivo) consente peraltro di essere abbondantemente in sicurezza anche nei confronti di eventuali fenomeni di divagazione laterale dell'alveo attivo del corso d'acqua.

5. *Modifiche indotte sulle caratteristiche naturali e paesaggistiche della regione fluviale*

Essendo l'opera del tutto interrata, nonché essendo prevista la metodologia costruttiva in trivellazione, non saranno introdotte alterazioni al contesto naturale della regione fluviale.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00428
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 51 di 73		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

#### 9.4.3 Considerazioni specifiche inerenti ai tratti di percorrenza di linea delle aree inondabili

Relativamente ai tratti di percorrenza delle aree censite a pericolosità idraulica e ricadenti esternamente alla trivellazione (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 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.

#### 9.5 **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;
- 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-00428
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 52 di 73	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

## 10 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 fiume CORNIA, nel tratto terminale dello sviluppo del corso d'acqua, nell'ambito del territorio comunale Campiglia Marittima (LI).

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 in esame è stata prevista l'adozione di un sistema di attraversamento in trenchless, mediante la metodologia esecutiva della Trivellazione Orizzontale Controllata (TOC), ovvero Horizontal Directional Drilling (HDD).

Detta soluzione operativa consentirà dunque di evitare interferenze tra i lavori di posa del metanodotto con il deflusso naturale del corso d'acqua, nonché eviterà di interrompere la contiguità delle eventuali opere e/o strutture presenti a terra.

La geometria curvilinea della trivellazione è stata configurata in modo da soddisfare ai vincoli attinenti sia l'aspetto idraulico del corso d'acqua che quello costruttivo della condotta, assicurando adeguate profondità al di sotto dell'alveo e dei manufatti a terra e rispettando allo stesso tempo, i raggi di curvatura minimi consentiti alla tubazione ed alla trivellazione stessa. Peraltro si evidenzia che è stata prevista una configurazione di posa in subalveo che assicura profondità molto elevate nei confronti delle quote di fondo del letto del corso d'acqua, dunque in assoluta sicurezza nei confronti dei processi erosivi in alveo.

L'adozione ed il rispetto dei criteri e dei vincoli suddetti, sia quelli propri del sistema di trivellazione che quelli più strettamente dipendenti dalla configurazione geometrica della tubazione, offrono pertanto ottime garanzie della stabilità dell'insieme, a breve ed a lungo termine. Pertanto, si può affermare che la tecnica operativa individuata e la geometria della trivellazione garantiscono i necessari livelli di sicurezza sia per il metanodotto che per l'alveo e gli eventuali manufatti sovrastanti.

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 determina alcuna modifica significativa allo stato dei luoghi, non implica trasformazioni del territorio e/o cambiamenti circa l'uso del suolo e pertanto non introducono alterazioni al regime attuale di deflusso delle acque e/o riduzioni della capacità di invaso e di laminazione del corso d'acqua. 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.

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>COMMESSA</b> <b>NR/20049</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b>	REGIONE TOSCANA		<b>REL-CI-E-00428</b>
	<b>PROGETTO</b> RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 53 di 73		<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

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-00428
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 54 di 73	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

**APPENDICE 1: COLONNE STRATIGRAFICHE DEI SONDAGGI**

**STRATIGRAFIA**

SCALA 1 : 125 Pagina 1/1

Riferimento: SAIPEM FANO										Sondaggio: S. 1				
Località: PIOMBINO										Quota:				
Impresa esecutrice: PANGEA S.R.L.										Data: 20/08/09				
Coordinate:										Redattore: BEDUSCHI				
Perforazione: CAROTAGGIO CONTINUO														
Ø mm	R v	A r	Pz	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0-100	S.P.T. S.P.T.	N	RQD % 0-100	prof. m	DESCRIZIONE
				1										LIMO ARGILLOSO MARRONE, MOLTO CONSISTENTE, PRIVO DI UMIDITA' FINO A 2.0 mt.
				2										
				3									2.7	SABBIA MARRONE -GRIGIO, CON GHIAIA (Ø MAX 4-5 cm) MEDIA. MODERATAMENTE ADDENSATA.
				4						4-7-6	13			
				5										
				6			3.5						5.8	ARGILLA MARRONE A MACULATURE NERO-GRIGIASTRE, CON FIAMME DI OSSIDAZIONE.
				7		1) She < 5,50 7,00	3							
				8			4							ARGILLA MARRONE CHIARO A MACULATURE DA NERASTRE A GRIGIO CHIARO/AZZURRO, PRESENZA DI ABBONDANTI CONCREZIONI CALCAREE MOLTO CONSISTENTE.
				9			3							
				10									9.9	SABBIA MARRONE CHIARO- ORO, MEDIO-FINE, MODERATAMENTE ADDENSATA. PRESENTI LIVELLI CENTIMETRICI DI SABBIA CEMENTATA FINO A 13 mt.
				11						4-8-9	17			
				12										
				13										
				14										
				15										
				16										
				17										
				18									18.0	SABBIA COME SOPRA DI GRANULOMETRIA PIU' FINE
				19										
				20										
				21										
				22										
				23										
				24										
101				25									25.0	

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00428
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 55 di 73	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

Riferimento: SAIPEM FANO	Sondaggio: S. 2
Località: PIOMBINO	Quota:
Impresa esecutrice: PANGEA S.R.L.	Data: 20-21/08/09
Coordinate:	Redattore: BEDUSCHI
Perforazione: CAROTAGGIO CONTINUO	

Ø mm	R v	A r	Pz	metri bat.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	S.P.T.		RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE
										S.P.T.	N			
				1										LIMO MARRONE SCURO DEBOLMENTE ARGILLOSO.
				2										
				3								3,0		
				4						9-10-11	21			SABBIA GROSSOLANA, GRIGIO-MARRONE, CON GHIAIA ARROTONDATA ( Ø 4-5 cm) DA ADDENSATA A MODERATAMENTE ADDENSATA.
				5									5,5	
				6			3							ARGILLA MARRONE SCURO, CON OSSIDAZIONI E PUNTI NERI, CONSISTENTE.
				7									6,8	
				8										ARGILLA MARRONE CHIARO CON MACULATURE GRIGIO CHIARO-AZZURRO. SONO PRESENTI ABBONDANTI CONCREZIONI CALCAREE E FIAMME DI OSSIDAZIONE ROSSASTRE, MOLTO CONSISTENTE.
				8		1) She < 8,00 8,50	4							
				9									3,5	
				9		2) She < 9,50 10,00								
				10									10,0	SABBIA MARRONE CHIARO-ORO, MEDIO-FINE, MODERATAMENTE ADDENSATA. SONO PRESENTI LIVELLI CENTIMETRICI DI SABBIA CEMENTATA FINO A 15 mt.
				11										
				12						5-10-7	17			
				13										
				14										
				15										
				16										
				17										
				18										
				19										
				20										
				21										
				22										
				23										
				23,5						6-7-10	17		23,5	SABBIA GRIGIA POCO ADDENSATA, FINE, DEB. LIMOSA
				24,5									24,5	ARGILLA GRIGIO SCURO, CON RESTI CONCHIGLIARI, POCO CONSISTENTE.
				25									25,0	

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00428
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 56 di 73	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

Riferimento: SAIPEM FANO	Sondaggio: S. 3
Località: PIOMBINO	Quota:
Impresa esecutrice: PANGEA S.R.L.	Data: 21/08/09
Coordinate:	Redattore: BEDUSCHI
Perforazione: CAROTAGGIO CONTINUO	

ø mm	R v	A r s	Pz	metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	RP	VT	Prel. % 0 --- 100	S.P.T.		ROD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE
										S.P.T.	N			
				1										LIMO MARRONE ARGILLOSO, DEBOLMENTE SABBIOSO.
				2										
				3										
				4								3,4		SABBIA MARRONE GRIGIO, CON GHIAIA ARROTONDATA, ADDENSATA, (Ø MAX 5-6 cm).
				5						10-10-11	21			
				6										
				7			2,5							ARGILLA MARRONE SCURO A MACULATURE ROSSO-NERASTRE, CON OSSIDAZIONI PUNTI NERI, CONSISTENTE.
				8			3							ARGILLA MARRONE CHIARO A MACULATURE GRIGIO AZZURRE, MOLTO CONSISTENTE.
				9			3,5							
				10			4							SABBIA MARRONE CHIARO-ORO, MEDIO-FINE, MEDIAMENTE ADDENSATA, FINO A 13.50 mt SONO PRESENTI LIVELLETTI CENTIMETRICI DI SABBIA CEMENTATA
				11										
				12						8-4-6	10			
				13										
				14										
				15										
				16										
				17										
				18										
				19										
				20										
				21										
				22										
				23								22,6		SABBIA MARRONE GRIGIO, MEDIA, LIMOSA, POCO ADDENSATA.
				24										
				25			0,5							ARGILLA GRIGIO NERASTRA LIMOSA, CON RESTI CONCHIGLIARI.
101							0,3					25,0		

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00428
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 57 di 73		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

**APPENDICE 2:**  
**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 (m<sup>2</sup>);
- Λ, coefficiente di attrito di Chezy (m<sup>1/2</sup>/s);

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00428
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 58 di 73	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

- $g$ , accelerazione di gravità (m/s<sup>2</sup>);
- $h$ , altezza del pelo libero rispetto ad un livello di riferimento orizzontale (m);
- $Q$ , portata (m<sup>3</sup>/s);
- $R$ , raggio idraulico (m);
- $\alpha$ , coefficiente di distribuzione della quantità di moto;
- $q$ , portata laterale addotta (m<sup>2</sup>/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),
- $\alpha_2$  e  $\alpha_1$  i coefficienti di Coriolis di ragguaglio delle potenze cinetiche,
- $g$  l'accelerazione di gravità,
- $\Delta H$  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-00428
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 59 di 73		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

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-00428
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 60 di 73	Rev. 0	

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

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  $\Delta H$ ; 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-00428
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 61 di 73	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

- $h$  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  $m$  i pedici 2 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  $\beta$  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.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>COMMESSA</b> <b>NR/20049</b>	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>
	<b>LOCALITÀ</b> REGIONE TOSCANA		<b>REL-CI-E-00428</b>
	<b>PROGETTO</b> RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 62 di 73

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

**APPENDICE 3:**  
**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: Cornia  
 Project File : Cornia.prj

Project in SI units

PLAN DATA

Plan Title: Plan 01  
 Plan File : C:\Users\Marco\Desktop\HEC studi miei 5.0.7\Liv-Pb\29Cornia\Cornia.p01

Geometry Title: Cornia  
 Geometry File : C:\Users\Marco\Desktop\HEC studi miei 5.0.7\Liv-Pb\29Cornia\Cornia.g01

Flow Title : Cornia  
 Flow File : C:\Users\Marco\Desktop\HEC studi miei 5.0.7\Liv-Pb\29Cornia\Cornia.f01

Plan Summary Information:

Number of: Cross Sections = 6 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: Cornia  
 Flow File : C:\Users\Marco\Desktop\HEC studi miei 5.0.7\Liv-Pb\29Cornia\Cornia.f01

Flow Data (m3/s)

River	Reach	RS	PF1
Cornia	alveo	60	1100

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00428	
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 63 di 73	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

Boundary Conditions

River	Reach	Profile	Upstream	Downstream
Cornia	alveo	PF1	Normal S = 0.001	Normal S = 0.0006

GEOMETRY DATA

Geometry Title: Cornia

Geometry File : C:\Users\Marco\Desktop\HEC studi miei 5.0.7\Liv-Pb\29Cornia\Cornia.g01

CROSS SECTION

RIVER: Cornia

REACH: alveo RS: 60

INPUT

Description:

Station Elevation Data num= 401

Sta	Elev								
0	5.31	1	5.35	2	5.36	3	5.36	4	5.36
5	5.37	6	5.38	7	5.4	8	5.41	9	5.41
10	5.41	11	5.41	12	5.39	13	5.37	14	5.34
15	5.36	16	5.32	17	5.28	18	5.28	19	5.27
20	5.2	21	5.13	22	5.08	23	5.14	24	5.34
25	5.5	26	5.5	27	5.42	28	5.33	29	5.35
30	5.44	31	5.51	32	5.54	33	5.58	34	5.6
35	5.69	36	5.82	37	5.73	38	5.68	39	5.67
40	5.67	41	5.64	42	5.64	43	5.62	44	5.64
45	5.63	46	5.56	47	5.51	48	5.36	49	5.36
50	5.32	51	5.22	52	5.25	53	5.3	54	5.33
55	5.31	56	5.22	57	5.35	58	5.4	59	5.27
60	5.22	61	5.23	62	5.26	63	5.3	64	5.34
65	5.37	66	5.4	67	5.45	68	5.47	69	5.5
70	5.5	71	5.5	72	5.56	73	5.58	74	5.59
75	5.63	76	5.58	77	5.56	78	5.55	79	5.52
80	5.51	81	5.44	82	5.39	83	5.33	84	5.31
85	5.3	86	5.34	87	5.37	88	5.3	89	5.17
90	5.18	91	5.18	92	5.16	93	5.2	94	5.21
95	5.24	96	5.29	97	5.35	98	5.37	99	5.42
100	5.44	101	5.44	102	5.49	103	5.54	104	5.59
105	5.58	106	5.54	107	5.56	108	5.57	109	5.54
110	5.5	111	5.55	112	5.54	113	5.58	114	5.59
115	5.62	116	5.71	117	5.72	118	5.75	119	5.79
120	5.82	121	5.84	122	5.84	123	5.81	124	5.82
125	5.85	126	5.92	127	6.18	128	6.86	129	7.93
130	8.4	131	8.81	132	9.25	133	9.91	134	10.28
135	10.91	136	11.41	137	11.81	138	11.78	139	11.36
140	10.73	141	10.26	142	9.61	143	8.89	144	8.37
145	8.16	146	8.09	147	8.02	148	7.97	149	7.86
150	7.79	151	7.78	152	7.88	153	7.87	154	7.86
155	7.83	156	7.76	157	7.66	158	7.45	159	7.28
160	7.07	161	6.83	162	6.57	163	6.4	164	6.28
165	6.25	166	6.27	167	6.24	168	6.24	169	6.22
170	6.23	171	6.38	172	6.44	173	5.95	174	5.11
175	4.72	176	4.61	177	4.55	178	4.24	179	4.06
180	3.93	181	4.11	182	4.05	183	3.87	184	3.64
185	3.66	186	3.64	187	3.66	188	3.69	189	3.67
190	3.69	191	3.79	192	4.21	193	4.54	194	4.9
195	5.45	196	5.88	197	6.51	198	7.11	199	7.18
200	7.21	201	7.2	202	7.2	203	7.22	204	7.16
205	7.04	206	6.98	207	7.11	208	7.2	209	7.21
210	7.31	211	7.37	212	7.44	213	7.47	214	7.48
215	7.54	216	7.59	217	7.64	218	7.68	219	7.71
220	7.7	221	7.79	222	7.95	223	8.13	224	8.39
225	8.45	226	8.47	227	8.55	228	8.95	229	9.32
230	9.72	231	10.49	232	11.5	233	11.9	234	11.95
235	11.53	236	11.13	237	10.94	238	10.33	239	10.14

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITÀ</b> 000
	<b>LOCALITÀ</b>		REGIONE TOSCANA	<b>REL-CI-E-00428</b>
	<b>PROGETTO</b>	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 64 di 73	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

240	10.2	241	9.54	242	8.17	243	7.94	244	7.92
245	7.9	246	7.77	247	7.74	248	7.72	249	7.71
250	7.67	251	7.62	252	7.61	253	7.54	254	7.5
255	7.5	256	7.55	257	7.46	258	7.4	259	7.33
260	7.42	261	7.49	262	7.55	263	7.41	264	7.22
265	7.02	266	6.91	267	6.85	268	6.82	269	6.77
270	6.78	271	6.79	272	6.73	273	6.67	274	6.61
275	6.59	276	6.59	277	6.62	278	6.65	279	6.57
280	6.56	281	6.64	282	6.75	283	6.76	284	6.77
285	6.79	286	6.72	287	6.7	288	6.62	289	6.6
290	6.59	291	6.61	292	6.74	293	6.73	294	6.74
295	6.7	296	6.69	297	6.62	298	6.61	299	6.68
300	6.68	301	6.73	302	6.71	303	6.82	304	6.86
305	6.62	306	6.62	307	6.44	308	6.41	309	6.5
310	6.7	311	6.73	312	6.62	313	6.56	314	6.54
315	6.43	316	6.48	317	6.56	318	6.59	319	6.55
320	6.49	321	6.59	322	6.57	323	6.56	324	6.48
325	6.48	326	6.52	327	6.54	328	6.37	329	6.4
330	6.36	331	6.34	332	6.41	333	6.4	334	6.43
335	6.43	336	6.46	337	6.54	338	6.51	339	6.49
340	6.39	341	6.36	342	6.35	343	6.4	344	6.28
345	6.25	346	6.25	347	6.29	348	6.4	349	6.46
350	6.42	351	6.42	352	6.42	353	6.44	354	6.46
355	6.5	356	6.51	357	6.49	358	6.5	359	6.51
360	6.51	361	6.24	362	6.16	363	6.29	364	6.42
365	6.42	366	6.4	367	6.4	368	6.45	369	6.46
370	6.52	371	6.5	372	6.54	373	6.55	374	6.55
375	6.56	376	6.5	377	6.55	378	6.6	379	6.6
380	6.52	381	6.51	382	6.49	383	6.51	384	6.49
385	6.49	386	6.53	387	6.51	388	6.49	389	6.46
390	6.47	391	6.45	392	6.45	393	6.46	394	6.48
395	6.49	396	6.49	397	6.48	398	6.48	399	6.49
400	6.5								

Manning's n Values num= 3  
Sta n Val Sta n Val Sta n Val  
0 .05 138 .03 233 .05

Bank Sta: Left Right Lengths: Left Channel Right Coeff Contr. Expan.  
138 233 151.82 151.82 151.82 .1 .3  
Left Levee Station= 137 Elevation= 11.81  
Right Levee Station= 234 Elevation= 11.95

CROSS SECTION OUTPUT Profile #PF1

E.G. Elev (m)	12.01	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.30	Wt. n-Val.		0.030	
W.S. Elev (m)	11.71	Reach Len. (m)	151.82	151.82	151.82
Crit W.S. (m)	9.11	Flow Area (m2)		454.39	
E.G. Slope (m/m)	0.000682	Area (m2)		454.39	
Q Total (m3/s)	1100.00	Flow (m3/s)		1100.00	
Top Width (m)	94.37	Top Width (m)		94.37	
Vel Total (m/s)	2.42	Avg. Vel. (m/s)		2.42	
Max Chl Dpth (m)	8.07	Hydr. Depth (m)		4.81	
Conv. Total (m3/s)	42127.0	Conv. (m3/s)		42127.0	
Length Wtd. (m)	151.82	Wetted Per. (m)		97.96	
Min Ch El (m)	3.64	Shear (N/m2)		81.01	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		75.08	
Frctn Loss (m)	0.16	Cum Volume (1000 m3)		212.74	
C & E Loss (m)	0.04	Cum SA (1000 m2)		44.72	

CROSS SECTION

RIVER: Cornia  
REACH: alveo RS: 50

INPUT

Description:

Station Elevation Data num= 402  
Sta Elev Sta Elev Sta Elev Sta Elev Sta Elev

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>COMMESSA NR/20049</b>	<b>UNITÀ 000</b>
	<b>LOCALITÀ</b>	REGIONE TOSCANA		<b>REL-CI-E-00428</b>
	<b>PROGETTO</b>	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 65 di 73

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

0	5.18	1	5.2	2	5.21	3	5.21	4	5.2
5	5.2	6	5.18	7	5.17	8	5.21	9	5.2
10	5.18	11	5.16	12	5.15	13	5.14	14	5.1
15	5.05	16	4.99	17	4.97	18	4.96	19	4.96
20	4.94	21	4.86	22	4.98	23	5.14	24	5.11
25	5.02	26	5.02	27	5.03	28	5.05	29	5.11
30	5.21	31	5.27	32	5.34	33	5.38	34	5.33
35	5.33	36	5.36	37	5.39	38	5.39	39	5.37
40	5.38	41	5.31	42	5.33	43	5.36	44	5.31
45	5.21	46	5.11	47	5.04	48	5.01	49	5
50	5.08	51	5.08	52	5.09	53	5.1	54	5.05
55	5.04	56	5.12	57	5.11	58	5.06	59	5.09
60	5.14	61	5.12	62	5.2	63	5.25	64	5.36
65	5.38	66	5.37	67	5.37	68	5.39	69	5.41
70	5.41	71	5.46	72	5.44	73	5.43	74	5.37
75	5.29	76	5.26	77	5.2	78	5.14	79	5.16
80	5.12	81	5.04	82	5.01	83	5.06	84	5.07
85	5.05	86	5	87	4.95	88	4.95	89	4.97
90	5.02	91	5.02	92	5.07	93	5.11	94	5.11
95	5.17	96	5.27	97	5.39	98	5.41	99	5.38
100	5.36	101	5.36	102	5.41	103	5.55	104	5.54
105	5.45	106	5.4	107	5.37	108	5.36	109	5.33
110	5.28	111	5.19	112	5.22	113	5.23	114	5.23
115	5.24	116	5.29	117	5.18	118	5.12	119	5.25
120	5.28	121	5.28	122	5.27	123	5.33	124	5.4
125	5.47	126	5.47	127	5.45	128	5.47	129	5.52
130	5.53	131	5.61	132	5.68	133	5.73	134	5.73
135	5.61	136	5.6	137	5.54	138	5.36	139	5.32
140	5.37	141	5.41	142	5.44	143	5.52	144	5.59
145	5.64	146	5.62	147	5.59	148	5.6	149	5.67
150	5.71	151	5.75	152	5.77	153	5.76	154	5.78
155	5.79	156	5.79	157	5.76	158	5.72	159	5.7
160	5.69	161	5.67	162	5.87	163	6.6	164	7.33
165	8.33	166	8.96	167	9.63	168	10.22	169	10.59
170	11.28	171	11.59	172	11.63	173	11.55	174	11.11
175	10.56	176	10.35	177	9.78	178	8.93	179	8.29
180	7.55	181	7.1	182	6.61	183	6.22	184	6.09
185	6.13	186	6.15	187	6.17	188	6.19	189	6.22
190	6.28	191	6.12	192	5.63	193	5.12	194	4.83
195	4.63	196	4.36	197	3.76	198	3.59	199	3.58
200	3.56	201	3.55	202	3.54	203	3.56	204	3.57
205	3.57	206	3.55	207	3.55	208	3.62	209	3.69
210	3.75	211	3.85	212	4.54	213	4.97	214	5.66
215	6.21	216	6.37	217	6.37	218	6.36	219	6.32
220	6.33	221	6.36	222	6.39	223	6.44	224	6.53
225	6.65	226	7.37	227	8.2	228	8.86	229	9.42
230	9.48	231	10.22	232	10.85	233	11.31	234	11.34
235	11.33	236	11.31	237	11.18	238	10.19	239	9.16
240	8.41	241	7.76	242	7.32	243	7.09	244	7.03
245	6.97	246	6.89	247	6.86	248	6.85	249	6.86
250	6.86	251	6.81	252	6.56	253	6.72	254	6.93
255	6.96	256	6.89	257	6.86	258	6.89	259	6.9
260	6.94	261	6.94	262	6.99	263	7.01	264	7.01
265	7.03	266	7.06	267	7.11	268	7.09	269	7.14
270	7.21	271	7.16	272	7.15	273	7.18	274	7.19
275	7.33	276	7.28	277	7.14	278	6.8	279	6.26
280	6.12	281	6.15	282	6.11	283	6.09	284	6.12
285	6.15	286	6.16	287	6.15	288	6.03	289	5.89
290	5.88	291	5.85	292	5.83	293	5.83	294	5.9
295	5.91	296	5.93	297	5.89	298	5.93	299	5.93
300	5.91	301	5.89	302	5.88	303	5.89	304	5.87
305	5.85	306	5.89	307	5.89	308	5.89	309	5.88
310	5.88	311	5.87	312	5.86	313	5.85	314	5.83
315	5.85	316	5.86	317	5.88	318	5.87	319	5.85
320	5.86	321	5.82	322	5.81	323	5.83	324	5.86
325	5.86	326	5.87	327	5.85	328	5.83	329	5.82
330	5.77	331	5.77	332	5.79	333	5.74	334	5.79
335	5.78	336	5.78	337	5.79	338	5.78	339	5.76
340	5.78	341	5.82	342	5.77	343	5.82	344	5.85
345	5.87	346	5.83	347	5.83	348	5.8	349	5.8
350	5.79	351	5.83	352	5.81	353	5.76	354	5.72

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITÀ</b> 000
	<b>LOCALITÀ</b>		REGIONE TOSCANA	
	<b>PROGETTO</b>	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 66 di 73

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

355	5.73	356	5.73	357	5.73	358	5.73	359	5.71
360	5.71	361	5.69	362	5.7	363	5.69	364	5.65
365	5.68	366	5.7	367	5.64	368	5.72	369	5.71
370	5.71	371	5.71	372	5.69	373	5.71	374	5.72
375	5.7	376	5.7	377	5.71	378	5.67	379	5.66
380	5.68	381	5.66	382	5.6	383	5.64	384	5.68
385	5.67	386	5.66	387	5.62	388	5.54	389	5.54
390	5.54	391	5.55	392	5.56	393	5.6	394	5.57
395	5.52	396	5.53	397	5.54	398	5.53	399	5.54
400	5.53	401	5.55						

Manning's n Values num= 3  
Sta n Val Sta n Val Sta n Val  
0 .05 173 .03 233 .05

Bank Sta: Left Right Lengths: Left Channel Right Coeff Contr. Expan.  
173 233 150.07 150.07 150.07 .1 .3  
Left Levee Station= 172 Elevation= 11.63  
Right Levee Station= 234 Elevation= 11.34

CROSS SECTION OUTPUT Profile #PF1

E.G. Elev (m)	11.81	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.74	Wt. n-Val.		0.030	
W.S. Elev (m)	11.07	Reach Len. (m)	150.07	150.07	150.07
Crit W.S. (m)	9.17	Flow Area (m2)		288.53	
E.G. Slope (m/m)	0.001696	Area (m2)		288.53	
Q Total (m3/s)	1100.00	Flow (m3/s)		1100.00	
Top Width (m)	58.41	Top Width (m)		58.41	
Vel Total (m/s)	3.81	Avg. Vel. (m/s)		3.81	
Max Chl Dpth (m)	7.53	Hydr. Depth (m)		4.94	
Conv. Total (m3/s)	26713.2	Conv. (m3/s)		26713.2	
Length Wtd. (m)	150.07	Wetted Per. (m)		62.33	
Min Ch El (m)	3.54	Shear (N/m2)		126.97	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		293.46	
Frctn Loss (m)	0.27	Cum Volume (1000 m3)		156.34	
C & E Loss (m)	0.01	Cum SA (1000 m2)		33.13	

CROSS SECTION

RIVER: Cornia  
REACH: alveo RS: 40

INPUT

Description:

Station Elevation Data num= 403

Sta	Elev								
0	4.79	1	4.78	2	4.82	3	4.81	4	4.82
5	4.83	6	4.82	7	4.81	8	4.81	9	4.77
10	4.77	11	4.75	12	4.71	13	4.7	14	4.66
15	4.6	16	4.58	17	4.5	18	4.45	19	4.46
20	4.48	21	4.58	22	4.64	23	4.62	24	4.66
25	4.72	26	4.77	27	4.82	28	4.9	29	4.87
30	4.86	31	4.96	32	5	33	4.96	34	5.01
35	5.15	36	5.19	37	5.13	38	5.12	39	5.04
40	5.02	41	4.97	42	4.89	43	4.73	44	4.69
45	4.73	46	4.68	47	4.67	48	4.7	49	4.79
50	4.67	51	4.54	52	4.45	53	4.5	54	4.62
55	4.71	56	4.71	57	4.81	58	4.88	59	4.95
60	4.97	61	5.06	62	5.15	63	5.25	64	5.25
65	5.23	66	5.26	67	5.28	68	5.34	69	5.37
70	5.33	71	5.29	72	5.26	73	5.24	74	5.23
75	5.22	76	5.13	77	5.08	78	5.09	79	5.07
80	5.04	81	5.02	82	5.01	83	5.04	84	4.97
85	4.88	86	4.99	87	5.03	88	5.03	89	5.09
90	5.13	91	5.21	92	5.3	93	5.31	94	5.29
95	5.34	96	5.42	97	5.46	98	5.47	99	5.51
100	5.51	101	5.53	102	5.58	103	5.6	104	5.59
105	5.51	106	5.44	107	5.44	108	5.43	109	5.34
110	5.26	111	5.24	112	5.23	113	5.21	114	5.19

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITÀ</b> 000
	<b>LOCALITÀ</b>	REGIONE TOSCANA		<b>REL-CI-E-00428</b>
	<b>PROGETTO</b>	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 67 di 73
				<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

115	5.14	116	5.06	117	5.01	118	5.11	119	5.15
120	5.18	121	5.19	122	5.24	123	5.34	124	5.46
125	5.49	126	5.47	127	5.48	128	5.56	129	5.59
130	5.58	131	5.51	132	5.47	133	5.44	134	5.43
135	5.43	136	5.39	137	5.2	138	5.15	139	5.3
140	5.35	141	5.39	142	5.4	143	5.45	144	5.48
145	5.53	146	5.6	147	5.62	148	5.67	149	5.68
150	5.6	151	5.59	152	5.56	153	5.56	154	5.51
155	5.46	156	5.45	157	5.45	158	5.33	159	5.21
160	5.16	161	5.45	162	5.95	163	6.6	164	7.77
165	8.7	166	9.84	167	10.48	168	10.95	169	11.57
170	11.62	171	11.75	172	11.69	173	11.58	174	11.41
175	11.22	176	10.59	177	9.71	178	8.83	179	8.2
180	7.44	181	6.81	182	6.52	183	6.07	184	5.95
185	5.88	186	5.87	187	5.91	188	5.95	189	5.99
190	6.01	191	5.98	192	5.94	193	5.76	194	5.35
195	5.01	196	4.82	197	4.32	198	3.72	199	3.38
200	3.32	201	3.39	202	3.46	203	3.49	204	3.47
205	3.39	206	3.4	207	3.42	208	3.54	209	3.66
210	3.75	211	3.91	212	4.74	213	5.48	214	5.86
215	5.74	216	5.73	217	5.77	218	5.81	219	5.78
220	5.71	221	5.74	222	5.81	223	5.85	224	5.96
225	6.36	226	7.02	227	7.86	228	8.66	229	9.03
230	9.75	231	10.64	232	11.45	233	11.57	234	11.6
235	11.61	236	11.58	237	11.38	238	10.57	239	9.73
240	8.9	241	8.44	242	7.93	243	7.49	244	6.65
245	6.23	246	6.09	247	6.08	248	6.07	249	6.07
250	6.05	251	6.02	252	5.97	253	5.94	254	5.89
255	5.73	256	5.61	257	5.61	258	6	259	6.42
260	6.77	261	6.59	262	6.57	263	6.6	264	6.6
265	6.65	266	6.68	267	6.72	268	6.77	269	6.82
270	6.88	271	6.96	272	6.94	273	6.91	274	6.94
275	6.92	276	6.95	277	6.94	278	6.98	279	7.06
280	7.05	281	7.07	282	7.09	283	7.03	284	6.89
285	6.54	286	6.16	287	5.95	288	5.69	289	5.56
290	5.44	291	5.4	292	5.39	293	5.39	294	5.51
295	5.64	296	5.66	297	5.65	298	5.57	299	5.44
300	5.37	301	5.38	302	5.4	303	5.42	304	5.43
305	5.39	306	5.34	307	5.39	308	5.39	309	5.4
310	5.4	311	5.42	312	5.47	313	5.42	314	5.42
315	5.43	316	5.42	317	5.41	318	5.42	319	5.46
320	5.44	321	5.45	322	5.45	323	5.43	324	5.43
325	5.45	326	5.46	327	5.43	328	5.45	329	5.49
330	5.48	331	5.49	332	5.49	333	5.43	334	5.45
335	5.41	336	5.43	337	5.43	338	5.44	339	5.47
340	5.47	341	5.41	342	5.42	343	5.41	344	5.37
345	5.39	346	5.37	347	5.35	348	5.41	349	5.39
350	5.38	351	5.37	352	5.37	353	5.35	354	5.33
355	5.38	356	5.38	357	5.36	358	5.35	359	5.36
360	5.36	361	5.37	362	5.35	363	5.38	364	5.38
365	5.38	366	5.41	367	5.4	368	5.39	369	5.41
370	5.41	371	5.39	372	5.4	373	5.4	374	5.4
375	5.4	376	5.41	377	5.41	378	5.39	379	5.38
380	5.35	381	5.39	382	5.41	383	5.41	384	5.4
385	5.42	386	5.4	387	5.41	388	5.36	389	5.37
390	5.4	391	5.36	392	5.38	393	5.42	394	5.41
395	5.35	396	5.39	397	5.37	398	5.36	399	5.36
400	5.39	401	5.36	402	5.33				

Manning's n Values num= 3  
Sta n Val Sta n Val Sta n Val  
0 .05 174 .03 232 .05

Bank Sta: Left Right Lengths: Left Channel Right Coeff Contr. Expan.  
174 232 150 150 150 .1 .3  
Left Levee Station= 171 Elevation= 11.75  
Right Levee Station= 235 Elevation= 11.61

CROSS SECTION OUTPUT Profile #PF1

E.G. Elev (m) 11.54 Element Left OB Channel Right OB

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00428
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 68 di 73	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

Vel Head (m)	0.82	Wt. n-Val.	0.030		
W.S. Elev (m)	10.72	Reach Len. (m)	150.00	150.00	150.00
Crit W.S. (m)	9.03	Flow Area (m2)		274.64	
E.G. Slope (m/m)	0.001878	Area (m2)		274.64	
Q Total (m3/s)	1100.00	Flow (m3/s)		1100.00	
Top Width (m)	55.30	Top Width (m)		55.30	
Vel Total (m/s)	4.01	Avg. Vel. (m/s)		4.01	
Max Chl Dpth (m)	7.40	Hydr. Depth (m)		4.97	
Conv. Total (m3/s)	25382.7	Conv. (m3/s)		25382.7	
Length Wtd. (m)	150.00	Wetted Per. (m)		59.49	
Min Ch El (m)	3.32	Shear (N/m2)		135.03	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		340.55	
Frctn Loss (m)	0.28	Cum Volume (1000 m3)		114.09	
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)		24.60	

CROSS SECTION

RIVER: Cornia

REACH: alveo RS: 30

INPUT

Description:

Station Elevation Data		num= 404									
Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev
0	4.8	1	4.87	2	4.91	3	4.85	4	4.82		
5	4.79	6	4.78	7	4.72	8	4.74	9	4.7		
10	4.69	11	4.65	12	4.6	13	4.58	14	4.52		
15	4.39	16	4.22	17	4.3	18	4.38	19	4.4		
20	4.51	21	4.56	22	4.58	23	4.61	24	4.63		
25	4.69	26	4.74	27	4.8	28	4.84	29	4.87		
30	4.91	31	4.97	32	5.01	33	5.03	34	5.1		
35	5.15	36	4.96	37	4.92	38	4.95	39	4.93		
40	4.88	41	4.77	42	4.68	43	4.62	44	4.64		
45	4.72	46	4.71	47	4.65	48	4.5	49	4.43		
50	4.4	51	4.46	52	4.48	53	4.5	54	4.51		
55	4.54	56	4.59	57	4.64	58	4.74	59	4.78		
60	4.81	61	4.82	62	4.83	63	4.9	64	5.01		
65	5.07	66	5.05	67	5.05	68	5.11	69	5.08		
70	4.96	71	4.91	72	4.89	73	4.84	74	4.84		
75	4.76	76	4.66	77	4.62	78	4.64	79	4.67		
80	4.65	81	4.59	82	4.53	83	4.48	84	4.48		
85	4.59	86	4.63	87	4.63	88	4.69	89	4.78		
90	4.82	91	4.93	92	4.95	93	4.95	94	4.99		
95	4.99	96	5.09	97	5.21	98	5.27	99	5.28		
100	5.33	101	5.31	102	5.33	103	5.26	104	5.21		
105	5.11	106	5	107	4.97	108	4.94	109	4.89		
110	4.9	111	4.92	112	4.92	113	4.85	114	4.75		
115	4.6	116	4.63	117	4.85	118	4.89	119	4.93		
120	4.96	121	5.03	122	5.16	123	5.3	124	5.32		
125	5.3	126	5.35	127	5.43	128	5.46	129	5.5		
130	5.47	131	5.4	132	5.39	133	5.34	134	5.26		
135	5.16	136	5.16	137	5.22	138	5.24	139	5.27		
140	5.32	141	5.37	142	5.47	143	5.55	144	5.61		
145	5.58	146	5.61	147	5.64	148	5.65	149	5.62		
150	5.55	151	5.5	152	5.47	153	5.48	154	5.45		
155	5.37	156	5.3	157	5.15	158	5.27	159	5.69		
160	6.12	161	6.35	162	6.51	163	7.17	164	8.36		
165	9.27	166	10.03	167	10.73	168	11.11	169	11.31		
170	11.49	171	11.56	172	11.43	173	11.1	174	10.49		
175	10.15	176	9.39	177	8.48	178	7.48	179	6.8		
180	6.19	181	6.01	182	5.96	183	5.89	184	5.84		
185	5.78	186	5.76	187	5.77	188	5.75	189	5.71		
190	5.66	191	5.43	192	4.76	193	4.23	194	3.76		
195	3.46	196	3.34	197	3.33	198	3.31	199	3.26		
200	3.21	201	3.15	202	3.18	203	3.2	204	3.23		
205	3.28	206	3.3	207	3.24	208	3.38	209	3.64		
210	3.77	211	4.77	212	5.31	213	5.5	214	5.53		
215	5.54	216	5.57	217	5.61	218	5.48	219	5.42		
220	5.34	221	5.43	222	5.49	223	5.6	224	5.98		
225	6.96	226	7.9	227	8.75	228	9.8	229	10.19		

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00428
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 69 di 73	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

230	11.01	231	11.56	232	11.76	233	11.76	234	11.69
235	11.29	236	10.93	237	10.34	238	9.47	239	8.25
240	7.43	241	6.68	242	6.19	243	6.1	244	6.03
245	5.97	246	5.95	247	5.92	248	5.89	249	5.87
250	5.87	251	5.91	252	5.78	253	5.34	254	5.85
255	6.44	256	6.67	257	6.58	258	6.48	259	6.46
260	6.53	261	6.56	262	6.6	263	6.64	264	6.64
265	6.73	266	6.83	267	6.84	268	6.82	269	6.8
270	6.78	271	6.78	272	6.8	273	6.74	274	6.71
275	6.68	276	6.67	277	6.66	278	6.64	279	6.7
280	6.42	281	5.97	282	5.44	283	5.24	284	5.14
285	5.22	286	5.33	287	5.34	288	5.34	289	5.35
290	5.36	291	5.39	292	5.34	293	5.15	294	5.11
295	5.12	296	5.1	297	5.12	298	5.08	299	5.05
300	5.07	301	5.06	302	5.08	303	5.08	304	5.08
305	5.13	306	5.09	307	5.08	308	5.05	309	5.07
310	5.09	311	5.08	312	5.07	313	5.01	314	4.97
315	4.99	316	4.99	317	5.02	318	5.05	319	5.04
320	5.04	321	4.99	322	4.96	323	4.96	324	4.97
325	4.99	326	5.03	327	5.01	328	4.98	329	4.97
330	4.94	331	4.93	332	4.97	333	5	334	5.01
335	5.01	336	5.01	337	5.01	338	5	339	5.01
340	5.05	341	5.04	342	5.03	343	5.07	344	5.11
345	5.04	346	5.02	347	4.99	348	4.98	349	5.04
350	5.1	351	5.08	352	5.04	353	5.04	354	4.99
355	4.96	356	4.95	357	5	358	5.03	359	5.02
360	5.02	361	4.95	362	5	363	4.99	364	5
365	5.01	366	5.01	367	5	368	5	369	5
370	5	371	5.01	372	5.02	373	4.98	374	4.98
375	4.98	376	4.96	377	4.92	378	4.9	379	4.93
380	4.96	381	4.96	382	4.97	383	4.93	384	4.94
385	4.96	386	4.99	387	5	388	4.96	389	4.96
390	4.94	391	4.94	392	4.93	393	4.95	394	4.94
395	4.94	396	4.95	397	4.93	398	4.94	399	4.95
400	4.95	401	4.94	402	4.9	403	4.89		

Manning's n Values num= 3  
 Sta n Val Sta n Val Sta n Val  
 0 .05 172 .03 231 .05

Bank Sta: Left Right Lengths: Left Channel Right Coeff Contr. Expan.  
 172 231 150 150 150 .1 .3  
 Left Levee Station= 171 Elevation= 11.56  
 Right Levee Station= 232 Elevation= 11.76

CROSS SECTION OUTPUT Profile #PF1

E.G. Elev (m)	11.25	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.81	Wt. n-Val.		0.030	
W.S. Elev (m)	10.45	Reach Len. (m)	150.00	150.00	150.00
Crit W.S. (m)	8.67	Flow Area (m2)		276.14	
E.G. Slope (m/m)	0.001849	Area (m2)		276.14	
Q Total (m3/s)	1100.00	Flow (m3/s)		1100.00	
Top Width (m)	55.18	Top Width (m)		55.18	
Vel Total (m/s)	3.98	Avg. Vel. (m/s)		3.98	
Max Chl Dpth (m)	7.30	Hydr. Depth (m)		5.00	
Conv. Total (m3/s)	25581.9	Conv. (m3/s)		25581.9	
Length Wtd. (m)	150.00	Wetted Per. (m)		59.60	
Min Ch El (m)	3.15	Shear (N/m2)		134.01	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		334.64	
Frctn Loss (m)	0.31	Cum Volume (1000 m3)		72.78	
C & E Loss (m)	0.01	Cum SA (1000 m2)		16.31	

CROSS SECTION

RIVER: Cornia  
 REACH: alveo RS: 20

INPUT  
 Description:

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>COMMESSA NR/20049</b>	<b>UNITÀ 000</b>
	<b>LOCALITÀ</b>		<b>REL-CI-E-00428</b>	
	REGIONE TOSCANA		Fg. 70 di 73	<b>Rev. 0</b>
<b>PROGETTO</b>				
RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar				

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

Station Elevation Data		num= 405							
Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev
0	4.52	1	4.44	2	4.28	3	4.08	4	3.91
5	3.77	6	3.92	7	4.04	8	4.17	9	4.19
10	4.19	11	4.18	12	4.23	13	4.23	14	4.24
15	4.37	16	4.37	17	4.41	18	4.4	19	4.4
20	4.44	21	4.49	22	4.52	23	4.58	24	4.74
25	4.76	26	4.74	27	4.68	28	4.54	29	4.46
30	4.42	31	4.47	32	4.52	33	4.51	34	4.43
35	4.36	36	4.32	37	4.23	38	4.2	39	4.16
40	4.15	41	4.05	42	4.02	43	4.18	44	4.24
45	4.28	46	4.3	47	4.32	48	4.36	49	4.39
50	4.43	51	4.5	52	4.51	53	4.55	54	4.56
55	4.59	56	4.64	57	4.66	58	4.66	59	4.69
60	4.74	61	4.77	62	4.77	63	4.75	64	4.69
65	4.63	66	4.64	67	4.65	68	4.65	69	4.66
70	4.61	71	4.57	72	4.53	73	4.51	74	4.51
75	4.52	76	4.48	77	4.45	78	4.44	79	4.41
80	4.39	81	4.41	82	4.51	83	4.61	84	4.58
85	4.59	86	4.6	87	4.62	88	4.64	89	4.66
90	4.68	91	4.71	92	4.73	93	4.75	94	4.74
95	4.74	96	4.75	97	4.79	98	4.91	99	4.93
100	4.88	101	4.87	102	4.88	103	4.88	104	4.87
105	4.86	106	4.91	107	4.97	108	5.01	109	5.01
110	4.95	111	4.93	112	4.89	113	4.87	114	4.87
115	4.89	116	4.92	117	4.75	118	4.64	119	4.83
120	4.85	121	4.87	122	4.94	123	4.99	124	4.95
125	4.95	126	5.03	127	5.06	128	5.08	129	5.07
130	5.13	131	5.22	132	5.27	133	5.34	134	5.39
135	5.46	136	5.51	137	5.6	138	5.57	139	5.55
140	5.51	141	5.49	142	5.49	143	5.47	144	5.44
145	5.4	146	5.36	147	5.32	148	5.3	149	5.25
150	5.22	151	5.18	152	5.16	153	5.12	154	5.1
155	5.1	156	5.04	157	4.97	158	4.98	159	5.39
160	6.16	161	6.64	162	6.91	163	7.39	164	8.27
165	9.35	166	10.16	167	10.66	168	10.93	169	11
170	10.98	171	10.8	172	10.44	173	10.07	174	9.33
175	8.88	176	8.53	177	8.07	178	7.22	179	6.36
180	5.87	181	5.76	182	5.7	183	5.68	184	5.64
185	5.64	186	5.65	187	5.62	188	5.63	189	5.65
190	5.6	191	5.29	192	4.77	193	4.11	194	3.57
195	3.36	196	3.19	197	3.18	198	3.15	199	3.09
200	3.07	201	3.06	202	3.08	203	3.13	204	3.2
205	3.29	206	3.31	207	3.3	208	3.35	209	3.42
210	3.89	211	4.47	212	5.13	213	5.63	214	5.75
215	5.78	216	5.81	217	5.75	218	5.66	219	5.64
220	5.63	221	5.68	222	5.8	223	5.96	224	6.25
225	7.28	226	8.3	227	9.02	228	9.8	229	10.34
230	10.68	231	11.13	232	11.33	233	11.42	234	11.45
235	11.47	236	11.45	237	11.37	238	10.99	239	9.56
240	8.37	241	7.57	242	6.87	243	6.68	244	6.45
245	6	246	5.97	247	5.98	248	5.91	249	5.47
250	5.34	251	5.62	252	5.98	253	6.19	254	6.23
255	6.25	256	6.25	257	6.27	258	6.28	259	6.3
260	6.31	261	6.4	262	6.5	263	6.55	264	6.65
265	6.56	266	6.45	267	6.42	268	6.42	269	6.39
270	6.38	271	6.43	272	6.41	273	6.41	274	6.5
275	6.31	276	6.01	277	5.8	278	5.53	279	5.17
280	5.14	281	5.18	282	5.14	283	5.14	284	5.13
285	5.13	286	5.16	287	5.1	288	4.98	289	4.92
290	4.95	291	4.9	292	4.95	293	4.95	294	4.85
295	4.88	296	4.86	297	4.89	298	4.9	299	4.83
300	4.9	301	4.87	302	4.88	303	4.92	304	4.91
305	4.88	306	4.8	307	4.82	308	4.85	309	4.86
310	4.82	311	4.8	312	4.78	313	4.82	314	4.79
315	4.84	316	4.84	317	4.79	318	4.79	319	4.78
320	4.73	321	4.75	322	4.77	323	4.72	324	4.73
325	4.74	326	4.75	327	4.76	328	4.72	329	4.69
330	4.68	331	4.62	332	4.71	333	4.69	334	4.67
335	4.65	336	4.65	337	4.65	338	4.65	339	4.64
340	4.62	341	4.61	342	4.65	343	4.64	344	4.61

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITÀ</b> 000
	<b>LOCALITÀ</b>		REGIONE TOSCANA	
	<b>PROGETTO</b>	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 71 di 73

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

345	4.56	346	4.56	347	4.55	348	4.57	349	4.57
350	4.57	351	4.53	352	4.53	353	4.51	354	4.51
355	4.49	356	4.45	357	4.47	358	4.46	359	4.45
360	4.46	361	4.49	362	4.45	363	4.44	364	4.43
365	4.48	366	4.47	367	4.45	368	4.45	369	4.46
370	4.47	371	4.51	372	4.44	373	4.44	374	4.44
375	4.44	376	4.44	377	4.47	378	4.51	379	4.49
380	4.49	381	4.53	382	4.47	383	4.46	384	4.46
385	4.43	386	4.41	387	4.41	388	4.41	389	4.39
390	4.41	391	4.43	392	4.41	393	4.41	394	4.42
395	4.42	396	4.43	397	4.45	398	4.5	399	4.49
400	4.48	401	4.46	402	4.45	403	4.44	404	4.45

Manning's n Values num= 3  
Sta n Val Sta n Val Sta n Val  
0 .05 171 .03 232 .05

Bank Sta: Left Right Lengths: Left Channel Right Coeff Contr. Expan.  
171 232 150.01 150.01 150.01 .1 .3  
Left Levee Station= 169 Elevation= 11  
Right Levee Station= 235 Elevation= 11.47

CROSS SECTION OUTPUT Profile #PF1

E.G. Elev (m)	10.93	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.95	Wt. n-Val.		0.030	
W.S. Elev (m)	9.97	Reach Len. (m)	150.01	150.01	150.01
Crit W.S. (m)	8.66	Flow Area (m2)		254.37	
E.G. Slope (m/m)	0.002400	Area (m2)		254.37	
Q Total (m3/s)	1100.00	Flow (m3/s)		1100.00	
Top Width (m)	55.19	Top Width (m)		55.19	
Vel Total (m/s)	4.32	Avg. Vel. (m/s)		4.32	
Max Chl Dpth (m)	6.91	Hydr. Depth (m)		4.61	
Conv. Total (m3/s)	22453.0	Conv. (m3/s)		22453.0	
Length Wtd. (m)	150.01	Wetted Per. (m)		59.03	
Min Ch El (m)	3.06	Shear (N/m2)		151.42	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		438.59	
Frctn Loss (m)	0.55	Cum Volume (1000 m3)		32.99	
C & E Loss (m)	0.08	Cum SA (1000 m2)		8.03	

CROSS SECTION

RIVER: Cornia  
REACH: alveo RS: 10

INPUT

Description:

Station Elevation Data num= 406

Sta	Elev								
0	4.48	1	4.48	2	4.5	3	4.53	4	4.53
5	4.54	6	4.55	7	4.54	8	4.56	9	4.56
10	4.61	11	4.59	12	4.62	13	4.63	14	4.61
15	4.62	16	4.65	17	4.69	18	4.69	19	4.69
20	4.68	21	4.73	22	4.72	23	4.72	24	4.76
25	4.73	26	4.74	27	4.78	28	4.78	29	4.75
30	4.74	31	4.74	32	4.78	33	4.83	34	4.86
35	4.88	36	4.87	37	4.88	38	4.87	39	4.85
40	4.92	41	4.94	42	4.92	43	4.93	44	4.94
45	4.93	46	4.95	47	4.95	48	4.94	49	4.96
50	4.97	51	4.96	52	4.94	53	4.99	54	5
55	5.01	56	5.01	57	5.01	58	5.02	59	5.02
60	5.05	61	5.01	62	5	63	4.98	64	5
65	5	66	4.96	67	4.96	68	4.95	69	4.96
70	4.96	71	4.94	72	4.96	73	4.99	74	4.99
75	4.97	76	4.96	77	4.96	78	4.95	79	4.94
80	4.97	81	5	82	4.98	83	4.97	84	4.96
85	4.96	86	4.98	87	5	88	5.01	89	5.01
90	5.04	91	5.06	92	5.07	93	5.07	94	5.09

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITÀ</b> 000
	<b>LOCALITÀ</b>	REGIONE TOSCANA		<b>REL-CI-E-00428</b>
	<b>PROGETTO</b>	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 72 di 73
				<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

95	5.09	96	5.09	97	5.04	98	5.06	99	5.06
100	5.04	101	5.04	102	5.05	103	5.06	104	5.04
105	5.05	106	5.04	107	5.07	108	5.07	109	5.08
110	5.09	111	5.1	112	5.1	113	5.11	114	5.15
115	5.15	116	5.14	117	5.17	118	5.14	119	5.14
120	5.14	121	5.15	122	5.18	123	5.19	124	5.18
125	5.17	126	5.18	127	5.22	128	5.21	129	5.19
130	5.18	131	5.16	132	5.19	133	5.18	134	5.16
135	5.18	136	5.17	137	5.22	138	5.21	139	5.2
140	5.18	141	5.15	142	5.15	143	5.1	144	5.14
145	5.14	146	5.14	147	5.13	148	5.12	149	5.13
150	5.13	151	5.12	152	5.17	153	5.19	154	5.16
155	5.14	156	5.15	157	5.17	158	5.24	159	5.75
160	6.52	161	7.52	162	8.17	163	8.82	164	9.38
165	10.41	166	10.72	167	10.9	168	10.92	169	10.87
170	10.8	171	10.53	172	9.71	173	8.97	174	8.37
175	7.85	176	7.6	177	6.72	178	5.97	179	5.71
180	5.61	181	5.55	182	5.46	183	5.46	184	5.45
185	5.44	186	5.46	187	5.43	188	5.42	189	5.33
190	5.14	191	4.59	192	4.16	193	3.89	194	3.7
195	3.65	196	3.38	197	3.31	198	3.21	199	3.13
200	3.09	201	3.02	202	2.99	203	3.08	204	3.28
205	3.18	206	3.14	207	3.22	208	3.46	209	3.67
210	4.02	211	4.44	212	4.74	213	5.19	214	5.56
215	5.6	216	5.58	217	5.54	218	5.5	219	5.44
220	5.48	221	5.61	222	5.93	223	6.16	224	6.78
225	7.73	226	8.87	227	9.56	228	10.29	229	10.9
230	11.16	231	11.35	232	11.42	233	11.49	234	11.37
235	11.16	236	10.84	237	10.58	238	9.57	239	8.77
240	7.77	241	7	242	6.55	243	6.25	244	6.21
245	5.94	246	5.63	247	5.87	248	6.05	249	6.12
250	6.16	251	6.15	252	6.18	253	6.21	254	6.22
255	6.17	256	6.16	257	6.24	258	6.42	259	6.6
260	6.56	261	6.35	262	6.29	263	6.29	264	6.26
265	6.26	266	6.25	267	6.22	268	6.25	269	6.4
270	6.32	271	6.32	272	6.3	273	5.75	274	5.5
275	5.51	276	5.56	277	5.55	278	5.52	279	5.49
280	5.51	281	5.49	282	5.49	283	5.49	284	5.47
285	5.43	286	5.43	287	5.46	288	5.47	289	5.47
290	5.46	291	5.46	292	5.48	293	5.49	294	5.5
295	5.52	296	5.55	297	5.54	298	5.51	299	5.48
300	5.49	301	5.54	302	5.52	303	5.49	304	5.48
305	5.49	306	5.53	307	5.52	308	5.51	309	5.5
310	5.51	311	5.51	312	5.49	313	5.45	314	5.44
315	5.46	316	5.43	317	5.42	318	5.42	319	5.38
320	5.44	321	5.37	322	5.36	323	5.35	324	5.35
325	5.34	326	5.33	327	5.32	328	5.37	329	5.37
330	5.32	331	5.32	332	5.28	333	5.29	334	5.3
335	5.32	336	5.33	337	5.33	338	5.35	339	5.3
340	5.27	341	5.24	342	5.24	343	5.2	344	5.16
345	5.15	346	5.21	347	5.22	348	5.21	349	5.15
350	5.17	351	5.19	352	5.16	353	5.07	354	5.03
355	5.01	356	5	357	4.97	358	4.97	359	4.95
360	4.93	361	4.95	362	5.01	363	5.04	364	5.05
365	5.02	366	5	367	5.04	368	4.96	369	5
370	5.05	371	4.98	372	4.9	373	4.8	374	4.93
375	4.98	376	4.99	377	4.97	378	4.97	379	4.97
380	4.94	381	4.92	382	4.92	383	4.94	384	4.94
385	4.9	386	4.91	387	4.91	388	4.93	389	4.91
390	4.86	391	4.84	392	4.82	393	4.75	394	4.77
395	4.88	396	4.86	397	4.84	398	4.81	399	4.76
400	4.75	401	4.75	402	4.82	403	4.85	404	4.83
405	4.81								

Manning's n Values num= 3  
 Sta n Val Sta n Val Sta n Val  
 0 .05 170 .03 231 .05

Bank Sta: Left Right Lengths: Left Channel Right Coeff Contr. Expan.  
 170 231 0 0 0 .1 .3  
 Left Levee Station= 167 Elevation= 10.9

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITÀ</b> 000
	<b>LOCALITÀ</b>	REGIONE TOSCANA		<b>REL-CI-E-00428</b>
	<b>PROGETTO</b>	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 73 di 73	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80428

Right Levee Station= 233 Elevation= 11.49

CROSS SECTION OUTPUT Profile #PF1

E.G. Elev (m)		Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	10.29	Wt. n-Val.		0.030	
W.S. Elev (m)	1.79	Reach Len. (m)			
Crit W.S. (m)	8.50	Flow Area (m2)		185.46	
E.G. Slope (m/m)	8.50	Area (m2)		185.46	
Q Total (m3/s)	0.006186	Flow (m3/s)		1100.00	
Top Width (m)	1100.00	Top Width (m)		51.89	
Vel Total (m/s)	51.89	Avg. Vel. (m/s)		5.93	
Max Chl Dpth (m)	5.93	Hydr. Depth (m)		3.57	
Conv. Total (m3/s)	5.51	Conv. (m3/s)		13985.6	
Length Wtd. (m)	13985.6	Wetted Per. (m)		54.50	
Min Ch El (m)	2.99	Shear (N/m2)		206.43	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		1224.40	
Frctn Loss (m)		Cum Volume (1000 m3)			
C & E Loss (m)		Cum SA (1000 m2)			

SUMMARY OF MANNING'S N VALUES

River: Cornia

Reach	River Sta.	n1	n2	n3
alveo	60	.05	.03	.05
alveo	50	.05	.03	.05
alveo	40	.05	.03	.05
alveo	30	.05	.03	.05
alveo	20	.05	.03	.05
alveo	10	.05	.03	.05

SUMMARY OF REACH LENGTHS

River: Cornia

Reach	River Sta.	Left	Channel	Right
alveo	60	151.82	151.82	151.82
alveo	50	150.07	150.07	150.07
alveo	40	150	150	150
alveo	30	150	150	150
alveo	20	150.01	150.01	150.01
alveo	10	0	0	0

SUMMARY OF CONTRACTION AND EXPANSION COEFFICIENTS

River: Cornia

Reach	River Sta.	Contr.	Expan.
alveo	60	.1	.3
alveo	50	.1	.3
alveo	40	.1	.3
alveo	30	.1	.3
alveo	20	.1	.3
alveo	10	.1	.3