

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00422
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 1 di 69	Rev. 0	

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

## PROGETTO

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

#### Attraversamento in subalveo

#### FOSSO DELLE ROZZE

(km: 65,850)

### 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-00422
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 2 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

## 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	9
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 Comune di S. Vincenzo – Descrizione sintetica	15
4.4.1	<i>Premessa</i>	15
4.4.2	<i>Analisi idrologiche - Cenni</i>	15
4.5	Studio Com. di S. Vincenzo – Modellazione idrologica F. delle Rozze	16
4.5.1	<i>Sottobacini e parametri idrologici</i>	16
4.5.2	<i>Risultati della modellazione idrologica</i>	18
4.6	Selezione dei risultati d'interesse e portata di progetto	20
4.6.1	<i>Selezione dei risultati d'interesse</i>	20
4.6.2	<i>Portata di progetto</i>	21
<b>5</b>	<b>STUDIO IDRAULICO IN MOTO PERMANENTE</b>	<b>22</b>
5.1	Presupposti e limiti dello studio	22
5.2	Assetto geometrico e modellazione dell'alveo	23
5.2.1	<i>Assetto geometrico di modellazione</i>	23
5.2.2	<i>Dati di input e condizioni al contorno</i>	25
5.3	Risultati della simulazione idraulica	25
5.4	Analisi dei risultati conseguiti	31
<b>6</b>	<b>VALUTAZIONE EROSIONI DI FONDO ALVEO</b>	<b>32</b>
6.1	Generalità	32
6.2	Criteri di calcolo	33
6.3	Stima dei massimi approfondimenti d'alveo attesi	35
6.4	Analisi dei risultati e considerazioni progettuali	35
<b>7</b>	<b>METODOLOGIA COSTRUTTIVA E SCELTE PROGETTUALI</b>	<b>36</b>

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00422
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 3 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

7.1	Metodologia costruttiva: Microtunnelling	36
7.2	Configurazione geometrica di progetto	36
<b>8</b>	<b>DESCRIZIONE DELLA TECNICA COSTRUTTIVA DEL MICROTUNNEL</b>	<b>38</b>
8.1	Generalità	38
8.2	Requisiti generali del sistema costruttivo	38
8.3	Fasi Operative	40
8.4	Considerazioni sulla stabilità per filtrazione in sub-alveo	43
<b>9</b>	<b>VALUTAZIONI INERENTI ALLA COMPATIBILITA' IDRAULICA</b>	<b>45</b>
9.1	Quadro normativo generale	45
9.1.1	<u>Direttiva 2007/60/CE (Floods Directive - FD")</u>	45
9.1.2	<u>D.Lgs. 49/2010</u>	45
9.1.3	<u>Piani di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)</u>	46
9.2	Quadro normativo di riferimento per l'ambito in esame	48
9.2.1	<u>Premessa</u>	48
9.2.2	<u>PGRA del Distretto Appennino Settentrionale</u>	48
9.2.3	<u>L.R. n. 41/2018</u>	50
9.3	Interferenze con PGRA nell'ambito di attraversamento del corso d'acqua	51
9.4	Analisi delle condizioni di compatibilità idraulica	52
9.4.1	<u>Considerazioni di carattere generale</u>	52
9.4.2	<u>Considerazioni specifiche inerenti all'ambito di attraversamento dell'alveo</u>	52
9.4.3	<u>Considerazioni specifiche inerenti ai tratti di percorrenza di linea delle aree inondabili</u>	54
9.5	Considerazioni conclusive sulla compatibilità idraulica	54
<b>10</b>	<b>CONCLUSIONI</b>	<b>55</b>
	<b>APPENDICE 1: COLONNE STRATIGRAFICHE DEI SONDAGGI</b>	<b>57</b>
	<b>APPENDICE 2: STUDIO IDRAULICO / METODOLOGIA DI CALCOLO</b>	<b>58</b>
	<b>APPENDICE 3: STUDIO IDRAULICO / REPORT PROGRAMMA HEC RAS</b>	<b>63</b>
	<b>ANNESSO:</b>	
•	<b>Disegno di Attraversamento (cfr. par.1.3)</b>	

	<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-00422</b>	
	<b>PROGETTO</b> RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 4 di 69	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

## 1 GENERALITÀ

### 1.1 Premessa

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

Il suddetto tracciato del metanodotto in progetto (DN 750) interseca l'alveo del fosso delle ROZZE in un ambito di confine tra i territori comunali di Castagneto Carducci (LI) e di San Vincenzo (LI), in prossimità della località "P. Santa Rosa".

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

### 1.2 Scopo e descrizione dell'elaborato

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

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

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

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

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00422
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 5 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

- 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-5B-01516**  
*"Rifacimento Metanodotto Livorno-Piombino", DN750 (30");*  
 Microtunnel "Poggio Cervialesi"

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-00422
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 6 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

## 2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'attraversamento dell'alveo del fosso delle Rozze da parte del metanodotto in progetto "Rifacimento Met. Livorno – Piombino, DN750" ricade in un ambito di confine tra i territori comunali di Castagneto Carducci (LI) e di San Vincenzo (LI), in prossimità P. Santa Rosa.

Dal punto di vista idrografico, l'ambito di attraversamento ricade nel tratto basso dello sviluppo del corso d'acqua, a circa 1.7km a monte 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 sulla medesima direttrice (DN400) è indicato tramite una linea in verde e l'area di attraversamento del corso d'acqua da parte del metanodotto in progetto (DN750) è indicata mediante un cerchio in colore blu.

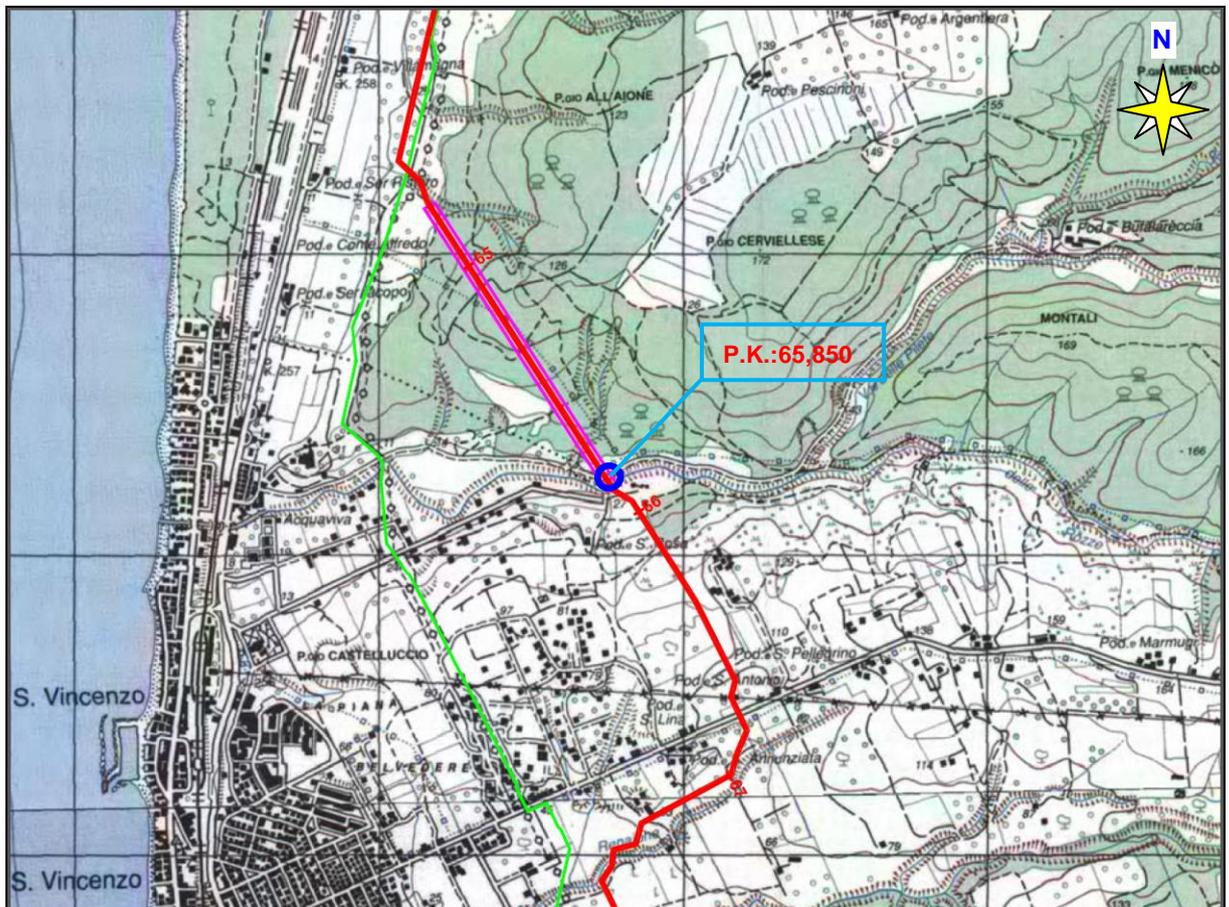


Fig.2.1/A: Corografia generale in scala 1:25.000 (dalle tavolette IGM)

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

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

Coordinate ambito di attraversamento del corso d'acqua		
Coordinate Piane (EPSG: 3003): Est /Nord	1626708 m E	4774060 m N

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00422
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fig. 7 di 69		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

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 microtunnel).

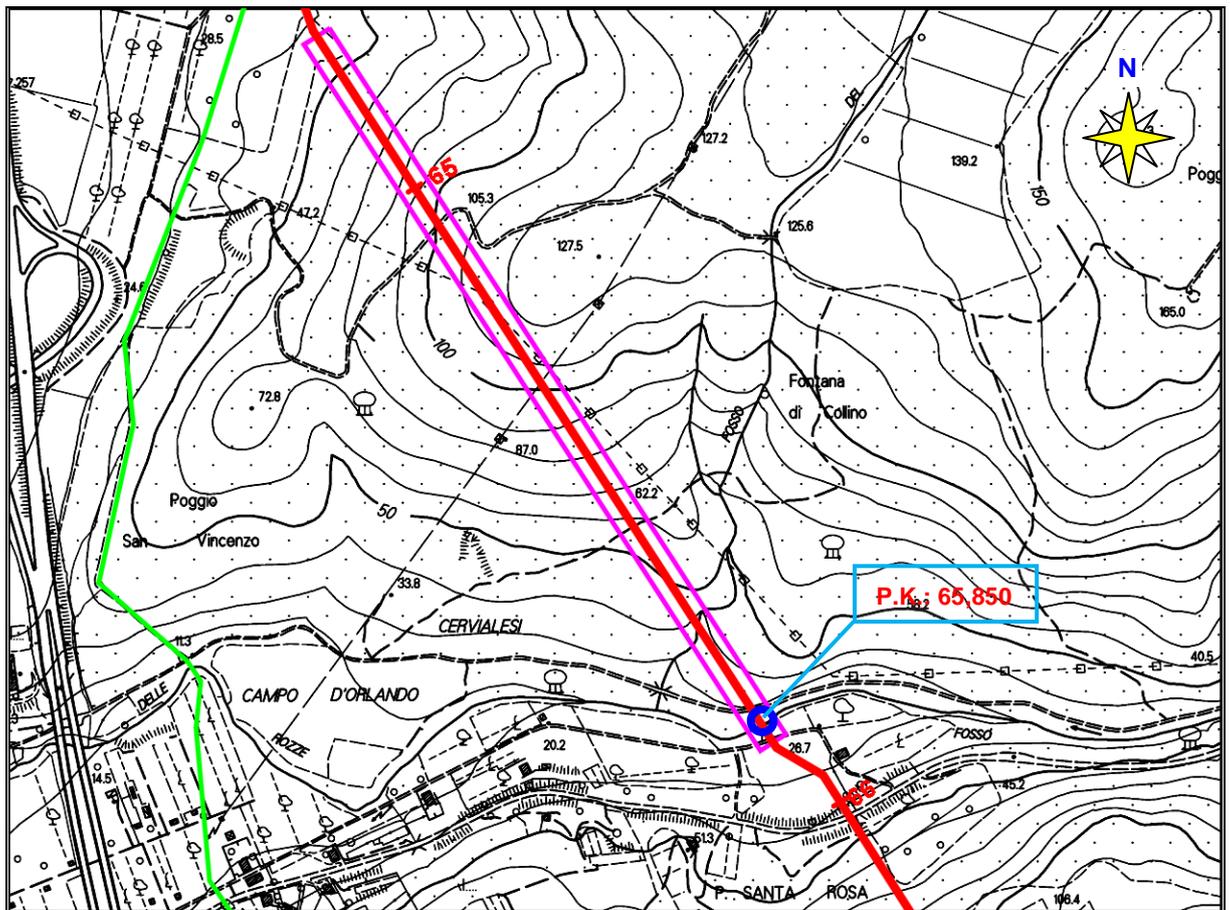


Fig.2.1/B: Stralcio planimetrico in scala 1:10.000 (C.T.R. Regionali)

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 circa 900m a monte nei confronti dell'attraversamento del metanodotto in esercizio (DN400).

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00422
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 8 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

### 3 CARATTERIZZAZIONE DELL'AMBITO IN ESAME

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

Il fosso delle Rozze è un corso d'acqua di media rilevanza, ricadente nell'UoM Toscana Costa del Distretto Idrografico dell'Appennino Settentrionale.

Il fosso delle Rozze è caratterizzato da un bacino complessivo di superficie di circa 20 km<sup>2</sup>, ricadente nei territori comunali di Castagneto Carducci e di San Vincenzo (LI).

Il corso d'acqua si origina nel margine orientale del territorio di Castagneto C., in prossimità del Poggio Linai, per poi percorrere per vari km una stretta vallecchia fino alla località San Carlo, dove inizia una modesta piana alluvionale larga circa 100 m che si mantiene morfologicamente con la stessa configurazione geomorfologia fino in località "Podere Santa Rosa", dove riceve da destra il contributo del suo maggior affluente fosso delle Pilete. Da questo punto, la valle diventa più ampia fino allo sbocco in mare, che avviene dopo un percorso di circa 10 km, nella parte settentrionale dell'abitato di San Vincenzo.

Il regime idrologico del corso d'acqua è spiccatamente torrentizio, con piene primaverili ed invernali.

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 e del reticolo idrografico significativo (in blu), e del reticolo minore (in celeste). Nella stessa figura è anche indicato, mediante un cerchio in rosso, l'ambito d'interferenza in esame tra il metanodotto in progetto (riportato mediante una linea in rosso) e l'alveo del corso d'acqua.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00422
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 9 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

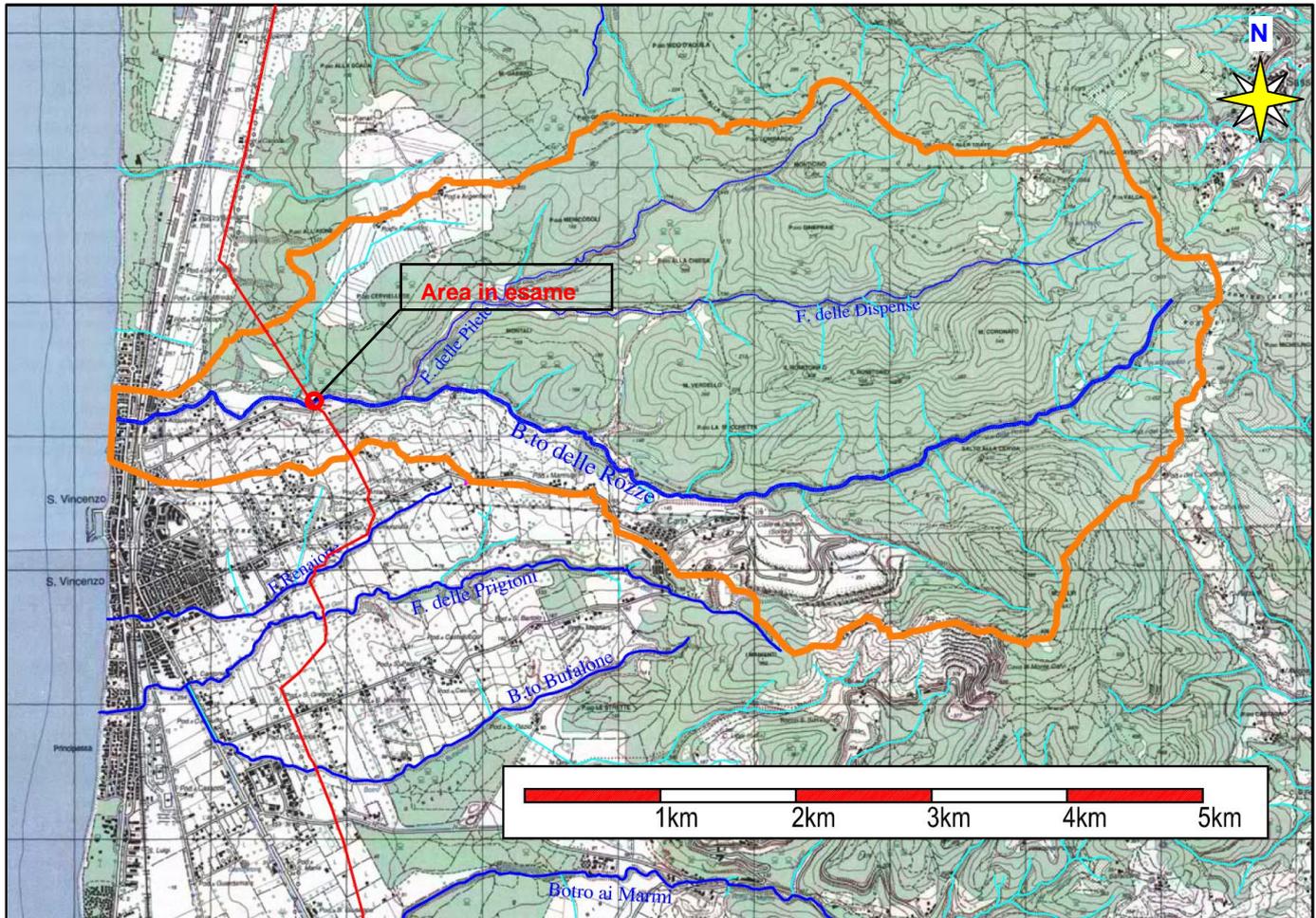


Fig.3.1/A: Bacino complessivo del corso d'acqua ed indicazione dell'ambito di studio

Dall'esame della figura precedente si rileva che l'attraversamento del metanodotto in progetto ricade nel tratto basso dello sviluppo del corso d'acqua, a circa 700m a valle dell'immissione del fosso delle Pilete e a circa 1.7km a monte dalla foce in mare.

### 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 basso dello sviluppo dell'asta del corso d'acqua.

In prossimità dell'area di attraversamento il corso d'acqua assume un assetto longitudinale moderatamente sinuoso; seppur il punto di attraversamento ricade in un breve tratto dove l'asta del corso d'acqua assume uno sviluppo sub-rettilineo.

L'alveo si presenta con una configurazione incisa e un assetto molto naturale (ossia non si individuano interventi antropici di regimazione), con ampiezza del fondo molto variabile (dell'ordine dei 2÷4m) e sponde con sagome irregolari che si elevano dal letto del fosso di circa 3m.

Sul fondo si rileva la presenza di ghiaie e ciottoli in matrice sabbiosa, oltre a qualche elemento di massi per rotolamento dal versante in destra idrografica.

Le sponde sono coperte da una caotica vegetazione arbustiva ed arborea e sono interessate da lievi fenomeni erosivi connessi alla non regolarità della sagoma dell'alveo.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00422
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 10 di 69		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

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.

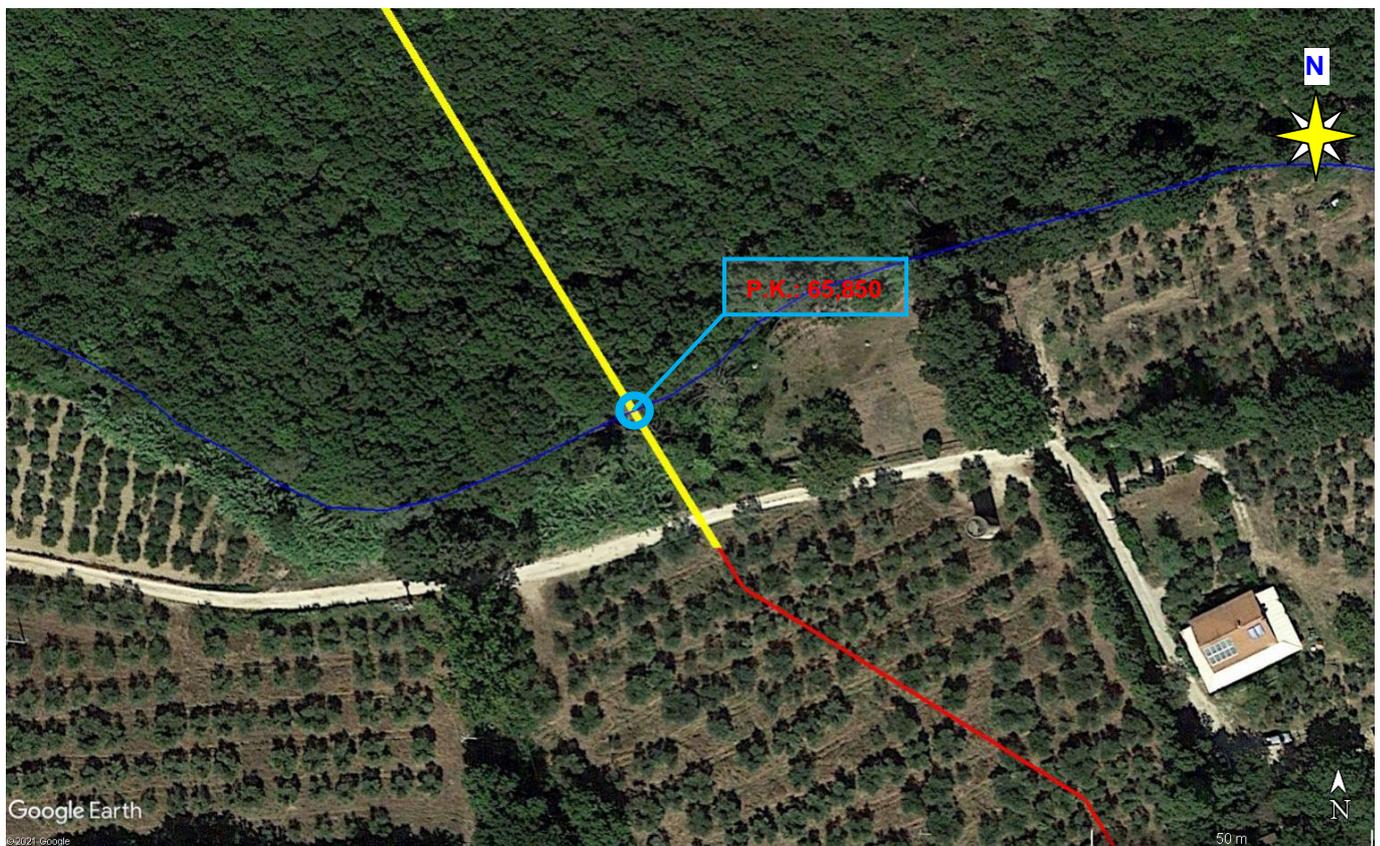


Fig.3.2/A: Foto aerea dell'ambito di attraversamento (estratta da Google Earth)

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00422
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 11 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

Nella figura seguente è inoltre riportata una foto relativa all'ambito d'attraversamento in esame del corso d'acqua, scattata in alveo con vista verso monte.

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, ci si riferisce espressamente ad un sondaggio geognostico denominato S9 (spinto sino alla profondità di 15m), effettuato nel 2009, nell'ambito del progetto del metanodotto SRG "Piombino - Collesalvetti" (intervento mai realizzato).

Nella figura seguente si riporta una foto aerea dell'ambito in esame (estratta da Google Earth) con l'ubicazione del sondaggio geognostico.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00422
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 12 di 69		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

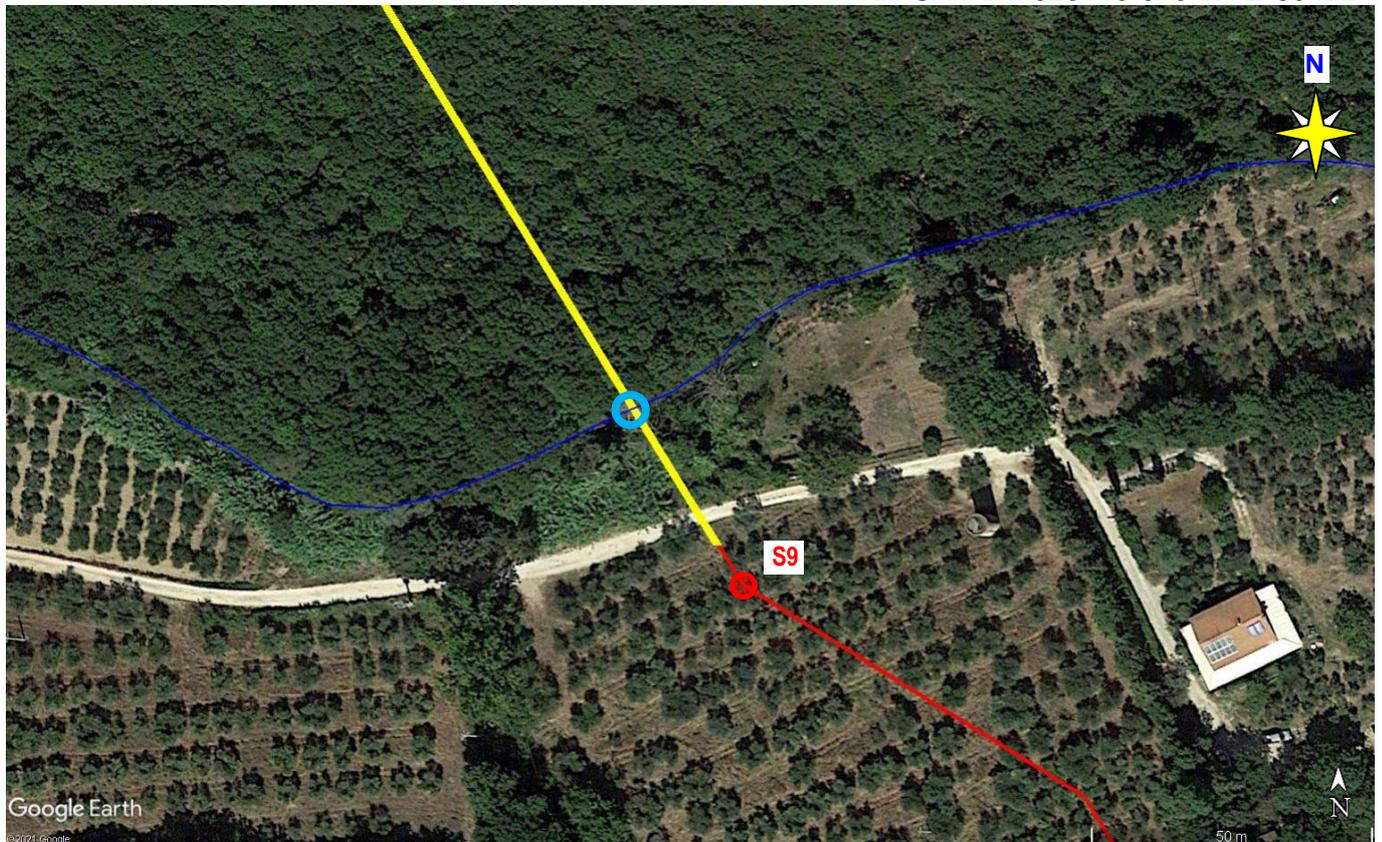


Fig.3.3/A: Foto aerea dell'ambito di attraversamento, con ubicazione del sondaggio geognostico

Per l'esame della colonna stratigrafica del sondaggio di riferimento si rimanda alla visione dell'Appendice 1.

Dall'analisi della colonna stratigrafica, s'individua che il sottosuolo dell'ambito in esame risulta costituito da un'alternanza di strati di detriti e di blocchi lapidei (provenienti dal versante del rilievo morfologico localizzato in destra idrografica), con dei livelli costituiti prevalentemente da sabbie e da limi.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00422
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 13 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

## 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" ricomprendenti l'asta fluviale del corso d'acqua e con particolare riferimento allo "Studio idrologico ed idraulico a supporto del Piano Operativo Comunale – Rev.01 (feb.2021)" redatto dalla società Dream Italia Soc. Coop., su incarico del Comune di San Vincenzo.

In tal senso, nel seguito, si provvederà a riportare dei cenni sulle metodologie di elaborazione impiegate nello studio. Quindi si procederà a selezionare i risultati di interesse per le finalità dello specifico elaborato.

### 4.3 Sezione di studio - Parametri morfometrici del bacino

Si assume come sezione di studio quella di attraversamento da parte della linea in progetto, che ricade nel tratto basso dello sviluppo del corso d'acqua, a circa 700m a valle dell'immissione del fosso delle Pilete e a circa 1.7km a monte dalla 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 del reticolo idrografico. Nella stessa figura il tracciato di progetto è indicato mediante una linea in colore rosso.

	<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-00422</b>	
	<b>PROGETTO</b> RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fig. 14 di 69	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

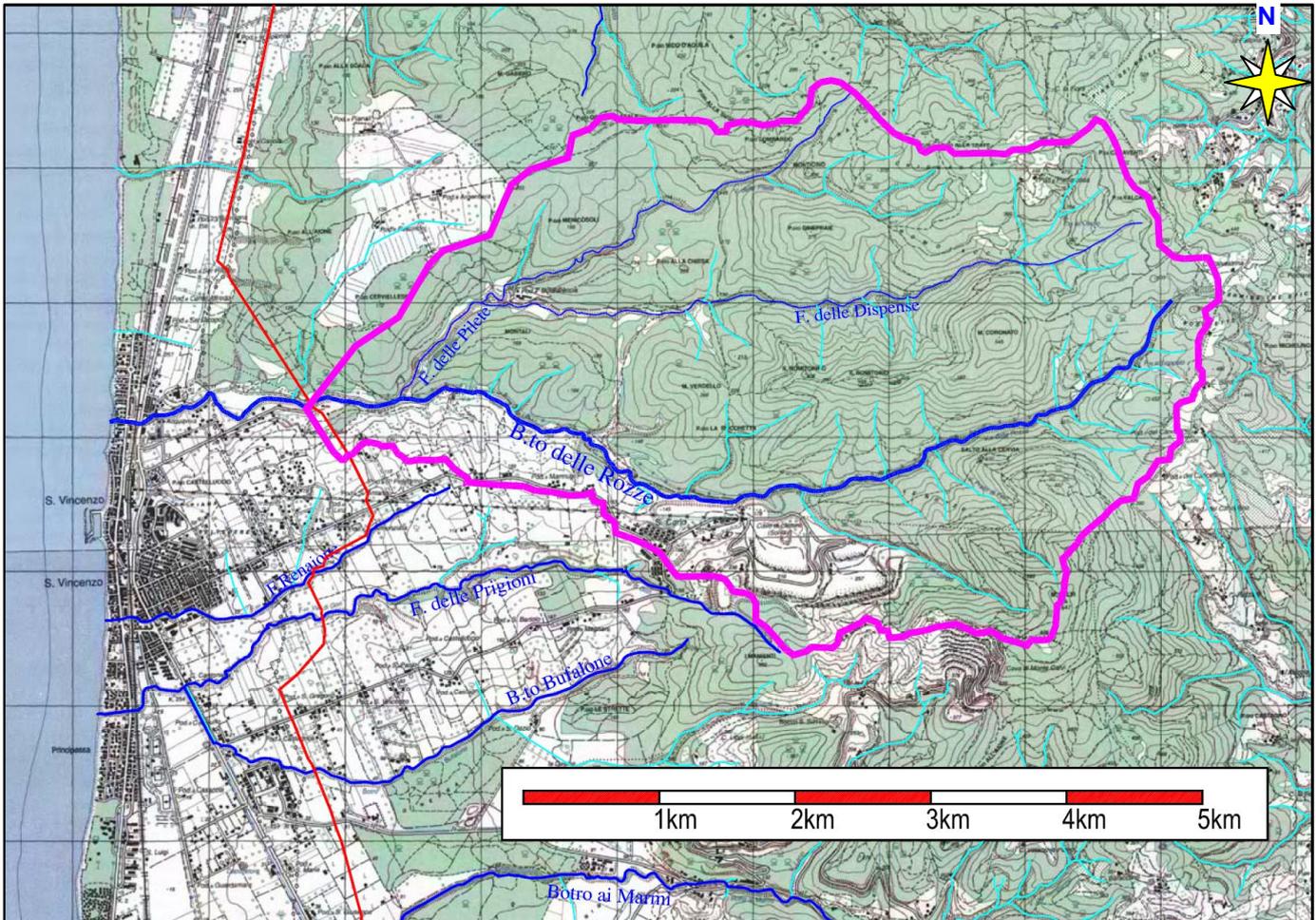


Fig.4.3/A: Bacino Imbrifero sotteso dalla sezione di studio

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)
Fosso delle Rozze	Sez. Attrav.	17.5	7.5	647	22

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00422
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 15 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

#### 4.4 Studio Comune di S. Vincenzo – Descrizione sintetica

##### 4.4.1 Premessa

Lo studio è stato redatto dalla società Dream Italia Soc. Coop., su incarico del Comune di San Vincenzo, con lo scopo di costituire un elaborato specialistico a supporto del Piano Operativo del Comune di San Vincenzo.

Lo studio ha la finalità di definire i battenti di esondazione significativi e le classi di pericolosità idraulica delle zone di maggior interesse urbanistico del Comune di San Vincenzo ed ha analizzato i seguenti corsi d'acqua, da nord a sud:

- Fosso dei Cipressetti;
- Fosso delle Rozze;
- Fosso del Renaione;
- Fosso delle Prigioni e Botro Bufalone;
- Botro ai Marmi.

##### 4.4.2 Analisi idrologiche - Cenni

L'analisi idrologica è stata compiuta contestualmente per tutto il territorio comunale, con la medesima metodologia; la modellazione idrologica ha previsto una schematizzazione della trasformazione degli afflussi in deflussi superficiali con il metodo del Curve Number. L'analisi idrologica è stata implementata tramite il software HEC-HMS, ed è stata svolta con riferimento agli eventi caratterizzati da tempi di ritorno di 30 e 200 anni.

##### Pluviometria

L'analisi idrologica è stata condotta tenendo conto delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica (LSPP) aggiornate nel 2012, dall'Università di Firenze (Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale) nell'ambito dell'accordo di collaborazione con la Regione Toscana di cui alla DGRT 1133/2012. I parametri delle LSPP aggiornate sono disponibili e consultabili al link <http://www.sir.toscana.it/lssp-2012>. Le curve di possibilità pluviometrica definiscono i parametri dell'espressione monomia per l'altezza di precipitazione:

$$h = a t^n$$

dove h è l'altezza di precipitazione espressa in mm, t è la durata di pioggia ed a e n sono i parametri caratteristici delle curve. Per l'area in esame si è fatto riferimento alla stazione pluviometrica di San Vincenzo (TOS 11000035), che per vicinanza è la più significativa. I parametri della curva sono riportati nella tabella sottostante:

Tab.4.4/C: Parametri della curva di possibilità pluviometrica

Stazione di San Vincenzo	a	n
Tr = 200 anni	80.7130	0.3535
Tr = 30 anni	58.0270	0.2901

Tuttavia, per tener conto della variabilità spaziale dell'evento pluviometrico su bacini piuttosto ampi si è utilizzato la spazializzazione delle piogge su maglia 1 x 1 km fornita dalla Regione Toscana, con ogni cella che riporta valori di a ed n leggermente diversi rispetto a quelli indicati per la stazione di San Vincenzo, proprio per tener conto della variabilità spaziale della pioggia. In pratica su ogni sottobacino è stata effettuata una media ponderata sulle altezze di pioggia ricavate a partire dalla spazializzazione, in

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00422
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 16 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

modo da ricavare l'input di altezza di pioggia più rappresentativo da inserire per i sottobacini analizzati nel modello idrologico.

L'andamento temporale dell'evento pluviometrico è stato schematizzato ricorrendo ad uno ietogramma sintetico, che pur non rappresentando il reale andamento dell'evento di pioggia, introduce, nelle procedure di trasformazione afflussi-deflussi, una variabilità temporale della pioggia in grado di produrre risultati tali da ritenersi cautelativi. Per lo studio in questione, tra gli ietogrammi noti in letteratura, si è deciso di utilizzare quello di tipo triangolare, con picco di scroscio a 0.5 volte la durata dell'evento.

#### Perdite idrologiche: metodo CN

Per la determinazione dei deflussi netti corrispondente allo scorrimento superficiale dei bacini si è utilizzato il metodo del Curve Number (CN) del Soil Conservation Service. Il metodo si basa sul concetto che il flusso superficiale è nullo fino al raggiungimento di un valore di soglia di infiltrazione iniziale  $I_a$ , da letteratura tecnica legata alla capacità di ritenzione potenziale  $S$  dalla relazione:

$$I_a = 0.2 \cdot S$$

dove  $S$  è definita dall'espressione:

$$S = 25.4 \left( \frac{1000}{CN} - 10 \right) [mm]$$

Il parametro adimensionale Runoff Curve Number può variare tra 0 e 100 ed è determinabile mediante apposite tabelle, in funzione della natura del terreno, dal tipo di copertura vegetale, della tessitura del terreno, dell'uso del suolo e del grado di saturazione. Si è fatto quindi riferimento al gruppo idrologico USDA (A: suoli con deflusso superficiale basso, B: suoli con deflusso superficiale moderatamente basso, C: suoli con deflusso superficiale moderatamente alto, D: suoli con deflusso superficiale alto) grazie alla cartografia resa disponibile dal Geoscopio della Regione Toscana. È stato poi analizzato l'uso del suolo sulla cartografia della Regione Toscana che riporta i valori del codice Corine Land cover, con riferimento alla carta di uso del suolo riferita al 2016.

#### Trasformazione afflussi - deflussi

Tramite il confronto tecnico con gli Uffici del Genio Civile e dopo aver effettuato il confronto con il metodo dell'onda cinematica (che forniva risultati sostanzialmente uguali) si è optato per l'utilizzo dell'idrogramma unitario del SCS, considerando il tempo di ritardo come 0.6 volte il tempo di corrivazione.

La valutazione del tempo di corrivazione è stata effettuata mediando i valori che si ottengono dalle molteplici formulazioni impiegate in letteratura: Ventura, Pasini, Pezzoli e Ferro.

## **4.5 Studio Com. di S. Vincenzo – Modellazione idrologica F. delle Rozze**

### 4.5.1 Sottobacini e parametri idrologici

Nell'ambito della modellazione idrologica del corso d'acqua in esame sono stati individuati dei sottobacini, le cui caratteristiche morfometriche sono riportate nella tabella seguente.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00422
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 17 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

Tab.4.5/A: Sottobacini - Parametri morfometrici

Nome bacino	A (km2)	L (km)	Hmax	Hmin	Hmedia	Zmax asta	i	iB
ROZZE1	2.13	1.5	498	240	129	450	0.1173	0.1441
ROZZE2	3.9	3.35	636	120	258	240	0.08	0.1779
ROZZE3	2.75	2.15	410	40	185	120	0.05	0.1548
ROZZE4	1.88	1.55	539	230	154.5	480	0.1359	0.1679
ROZZE5	2.88	1	480	63	208.5	230	0.19	0.3723
ROZZE6	3.18	3.42	480	63	208.5	400	0.105	0.1219
ROZZE7	0.55	0.8	155	40	57.5	63	0.053	0.1438
ROZZE8	0.77	1.5	120	20	50	100	0.5	0.1429
ROZZE9	1.31	2.02	162	20	71	144	0.09	0.0703
ROZZE10	0.28	0.78	120	16	52	80	0.092	0.1333
ROZZE11	0.35	0.8	58	6.6	25.7	30	0.05	0.0643
ROZZE12	0.06	0.4	20	6	7	13	0.029	0.035
ROZZE13	0.15	0.89	9	1.6	3.7	5	0.009	0.0083
ROZZE14	0.04	0.24	6.6	1.6	2.5	4	0.019	0.0208

Nella figura seguente è riportato uno stralcio planimetrico estrapolato dal software Hec Hms, con la delimitazione dei sottobacini del corso d'acqua. Nella stessa figura è stato inserito il tracciato del metanodotto in progetto (linea in rosso) e l'ambito di attraversamento in esame (cerchio in rosso).

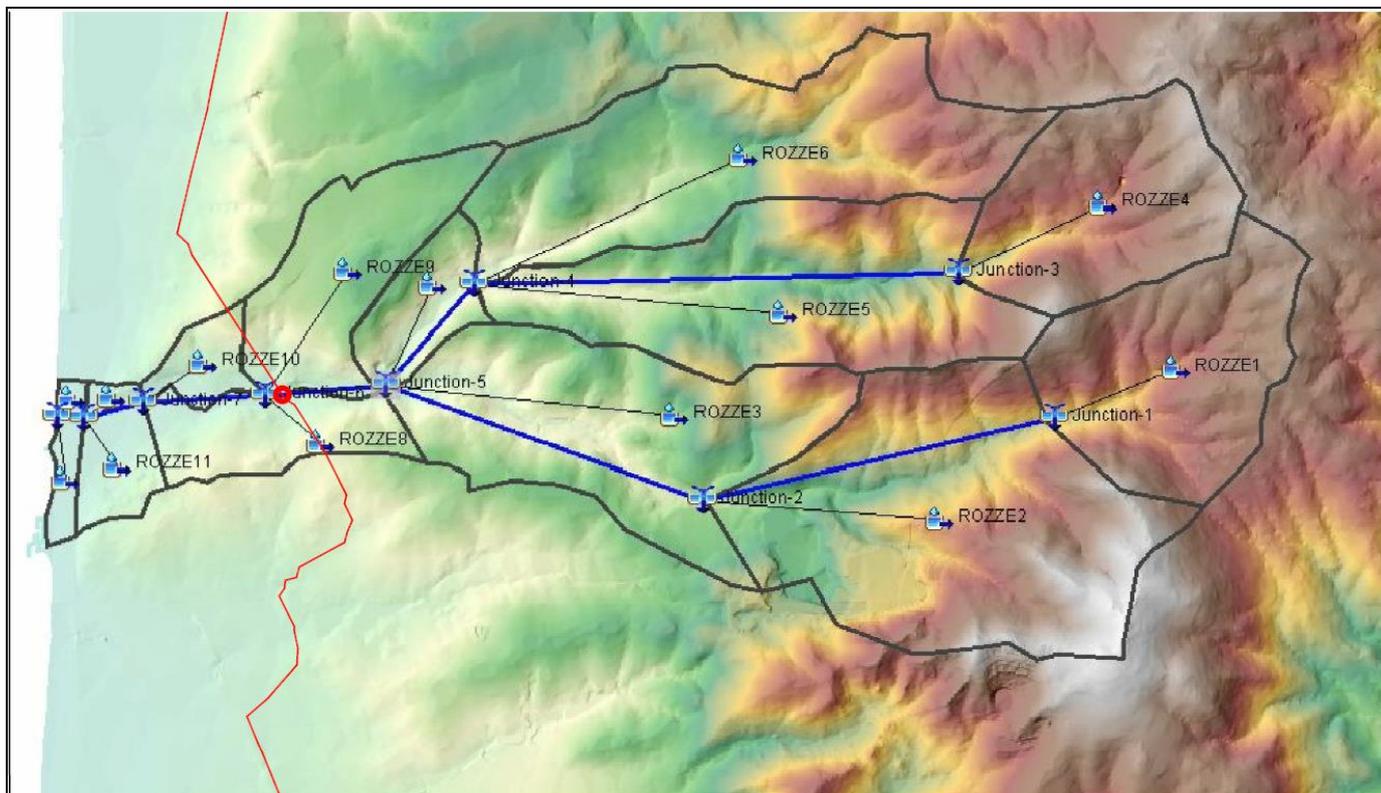


Fig.4.5/A: Planimetria con sottobacini ed elementi idrologici considerati

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00422
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 18 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

I parametri idrologici utilizzati nella modellazione idrologica, per ciascun sottobacino, sono riepilogati nella tabella seguente.

*Tab.4.5/B: Sottobacini - Parametri idrologici*

ROZZE	Ventura	Pasini	Pezzoli	Ferro	Tc (h)	T rit (h)	T rit LAG (min)	CN III
ROZZE1	0.22	0.28	0.11	0.53	0.54	0.32	19	78
ROZZE2	0.49	0.46	0.24	0.99	0.87	0.52	31	82
ROZZE3	0.59	0.89	0.65	1.33	0.76	0.45	27	74
ROZZE4	0.54	0.87	0.53	1.12	0.50	0.30	18	78
ROZZE5	0.42	0.42	0.23	0.93	0.49	0.29	17	73
ROZZE6	0.35	0.35	0.13	1.15	0.79	0.47	28	69
ROZZE7	0.65	0.73	0.58	1.20	0.32	0.19	12	57
ROZZE8	0.25	0.36	0.19	0.50	0.29	0.17	10	77
ROZZE9	0.29	0.16	0.12	0.59	0.55	0.33	20	73
ROZZE10	0.55	0.50	0.37	0.77	0.22	0.13	8	72
ROZZE11	0.18	0.22	0.14	0.36	0.30	0.18	11	90
ROZZE12	0.30	0.32	0.20	0.40	0.16	0.09	6	92
ROZZE13	0.17	0.19	0.13	0.17	0.48	0.29	17	96
ROZZE14	0.54	0.59	0.52	0.26	0.14	0.08	5	93

#### 4.5.2 Risultati della modellazione idrologica

Qui di seguito si riporta una sintesi dei risultati idrologici sul corso d'acqua esplicitati nelle Tabelle n.10 e n.11 dell'elaborato "Relazione idrologica ed idraulica – Rev.01 (feb.2021)", dove sono riportate le portate al colmo di piena riferite alla sezione di inizio della simulazione idraulica e alla sezione di chiusura (sbocco a mare).

*Tab.4.5/C: Portate al colmo di piena (TR=30, 200 anni)*

Sezione	Sup. Bacino (kmq)	Qpicco TR=30anni	Qpicco TR=200anni	Q200/kmq [mc/s*kmq]
Sez. inizio simulazione idraulica (RS.42)	17.3	91.7	179.3	10.38
Sez. di chiusura (foce in mare)	20.2	99.3	195.4	9.65

Mentre nella figura seguente si riportano le curve degli idrogrammi di piena sul corso d'acqua, con tempi di ritorno di 30 e 200 anni, e riferiti alla sezione J5 di cui alla Fig.4.5/A (2<sup>a</sup> riga della tabella precedente).



PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA	REL-CI-E-00422	
PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 19 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

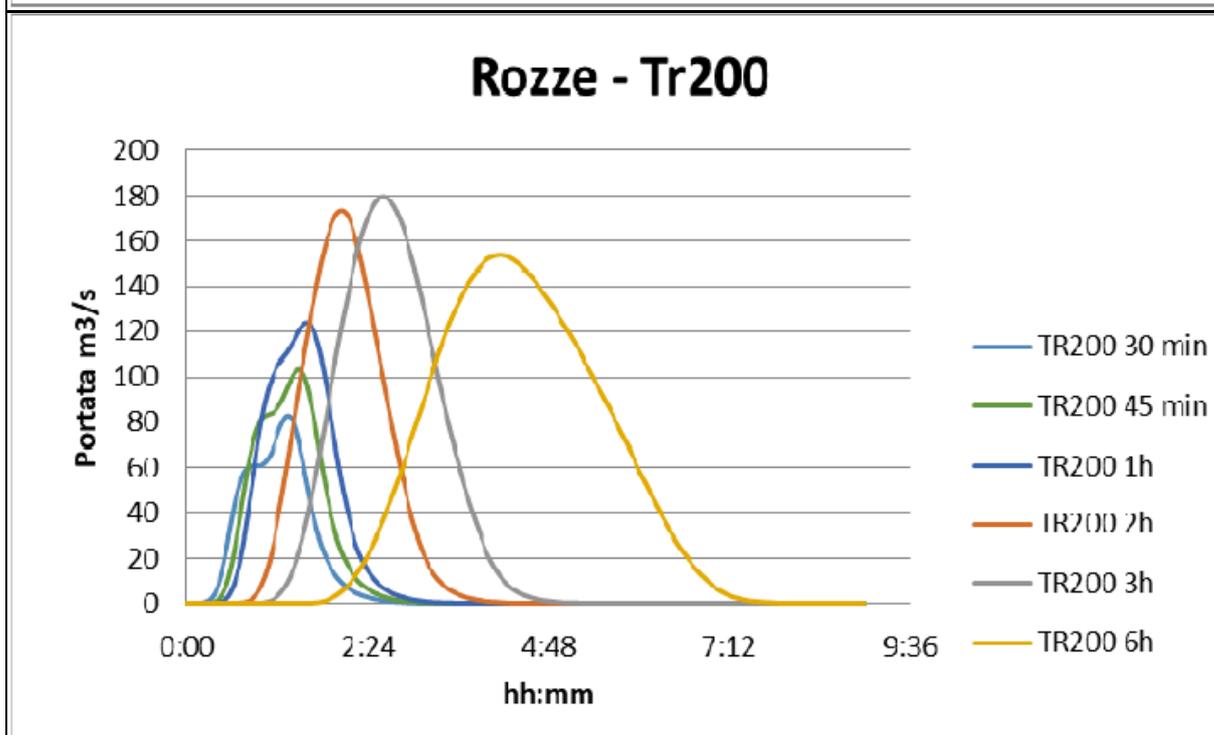
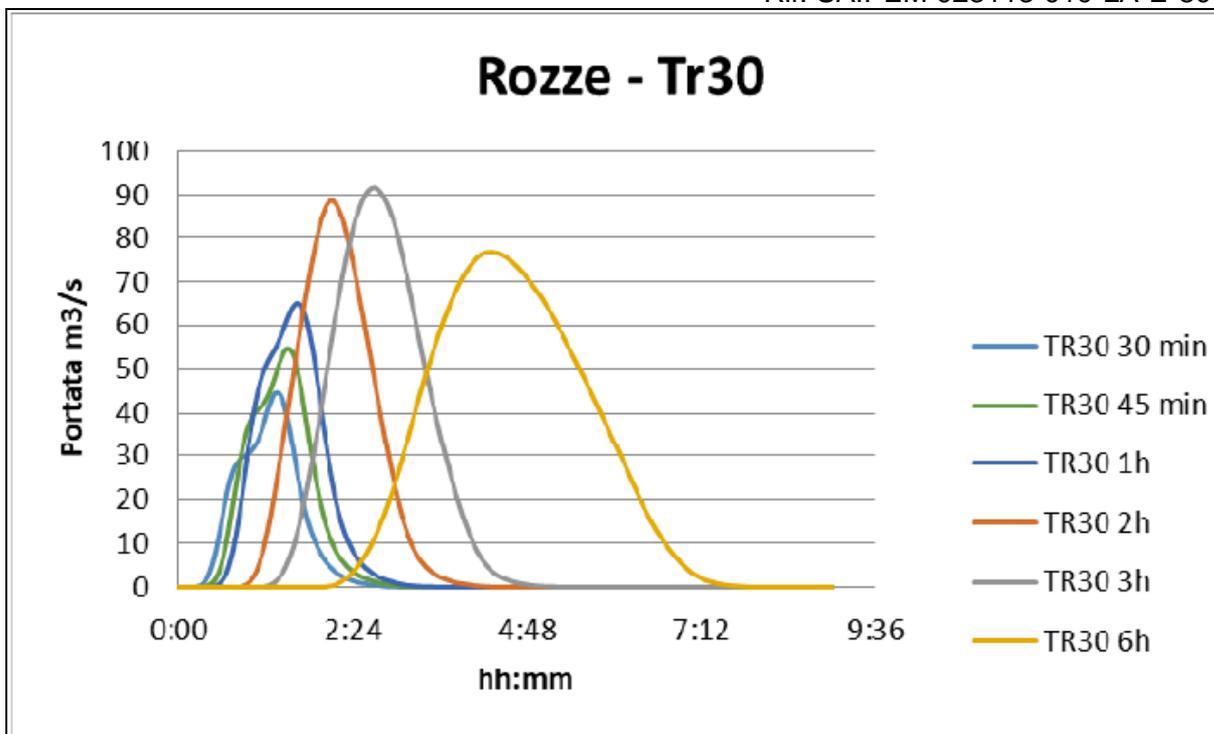


Fig.4.5/B: Idrogrammi di piena

	<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-00422</b>
	<b>PROGETTO</b> RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 20 di 69

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

## 4.6 Selezione dei risultati d'interesse e portata di progetto

### 4.6.1 *Selezione dei risultati d'interesse*

Nella figura seguente si riporta uno stralcio della "Tav. IDR.01 – Inquadramento reticolo idrografico – aggiornam. Febb.2021" dello studio del Comune di S. Vincenzo, nel quale è stato inserito il tracciato del metanodotto in progetto (linea in rosso) e l'ambito di attraversamento del corso d'acqua in esame (cerchio in rosso). Nella stessa figura è inoltre stata evidenziata (in magenta) la posizione della sezione RS.42 dello studio del Comune, i cui valori di portata sono riportati nella riga n.2 della Tab.4.5/C

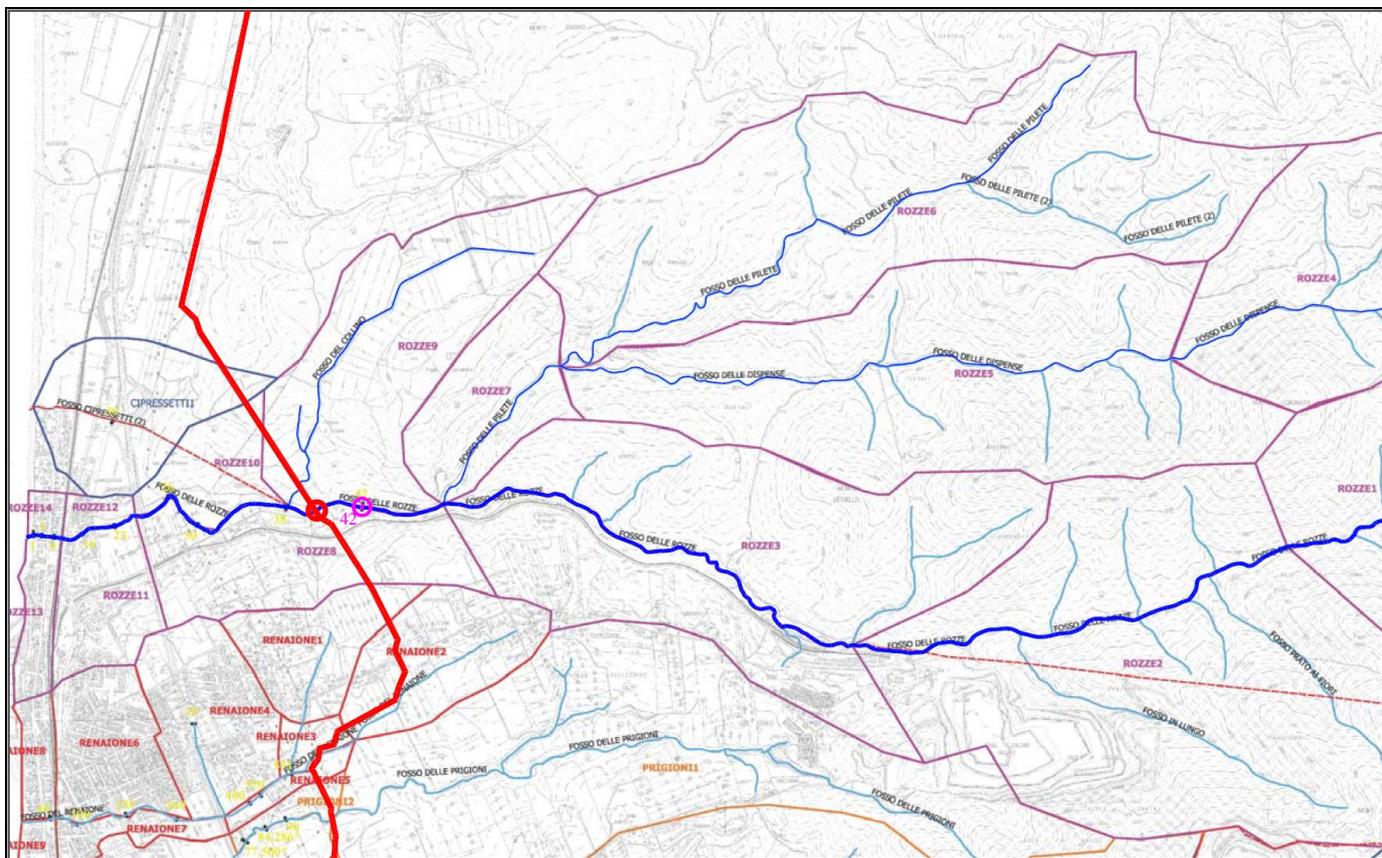


Fig.4.6/A: *Inquadramento reticolo e sottobacini*

Come si rileva dalla figura precedente, l'ambito di attraversamento del corso d'acqua ricade nel tronco d'alveo localizzato a valle della confluenza del fosso delle Pilete ed a monte dell'immissione del fosso del Collino. Per detto ambito i valori di portata sono riportati nella riga n.2 della Tab.4.5/C.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00422
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 21 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

#### 4.6.2 Portata di progetto

Conformemente a quanto previsto in normativa, si adotta come portata di progetto per la sezione di studio in esame quella associata ad un tempo di ritorno (TR) pari a 200 anni e, nello specifico, riferita al tronco d'alveo localizzato a valle dell'elemento "Junction 5" dello studio del Comune di San Vincenzo, il cui valore di portata è riportato nella cella evidenziata in giallo della Tab.4.5/C.

Nella tabella seguente si riepiloga dunque la portata di progetto, la quale verrà presa in considerazione per le verifiche idrauliche di cui al capitolo seguente.

*Tab.4.6/B: Portata di progetto*

Corso d'acqua	Sezione Idrologica	Sup. Bacino (kmq)	Qprogetto (mc/s)	qmax (mc/s*kmq)
Fosso delle Rozze	Sezione di Attrav.	17.5	<b>179.3</b>	10.25

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00422
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 22 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

## 5 STUDIO IDRAULICO IN MOTO PERMANENTE

### 5.1 Presupposti e limiti dello studio

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

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

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

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

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

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

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

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00422
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 23 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

## 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 150mm.

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

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

La sezione 1 (RS60) coincide con la sezione di monte del tronco idraulico; la sezione 6 (RS10) rappresenta quella di valle.

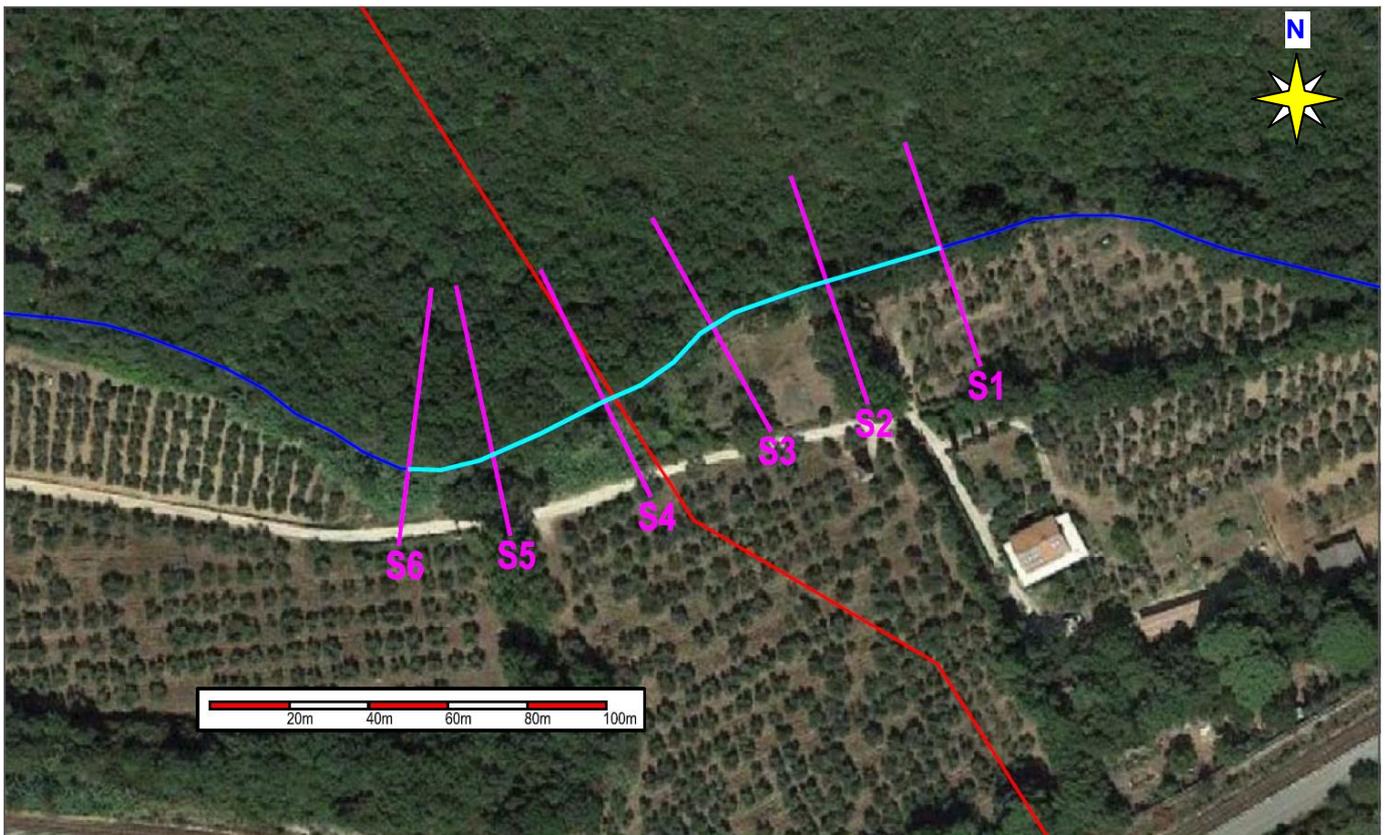


Fig.5.2/A: Foto aerea, con tronco d'alveo analizzato e sezioni di input

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00422
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 24 di 69		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

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	30.02	Sezione di monte
RS50	Sez.2	30.02	31.44	
RS40	Sez.3	61.46	33.36	
RS30	Sez.4	94.82	31.28	Sez. in prossimità dell'Attrav.
RS20	Sez.5	126.10	21.90	
RS10	Sez.6	148.00	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.

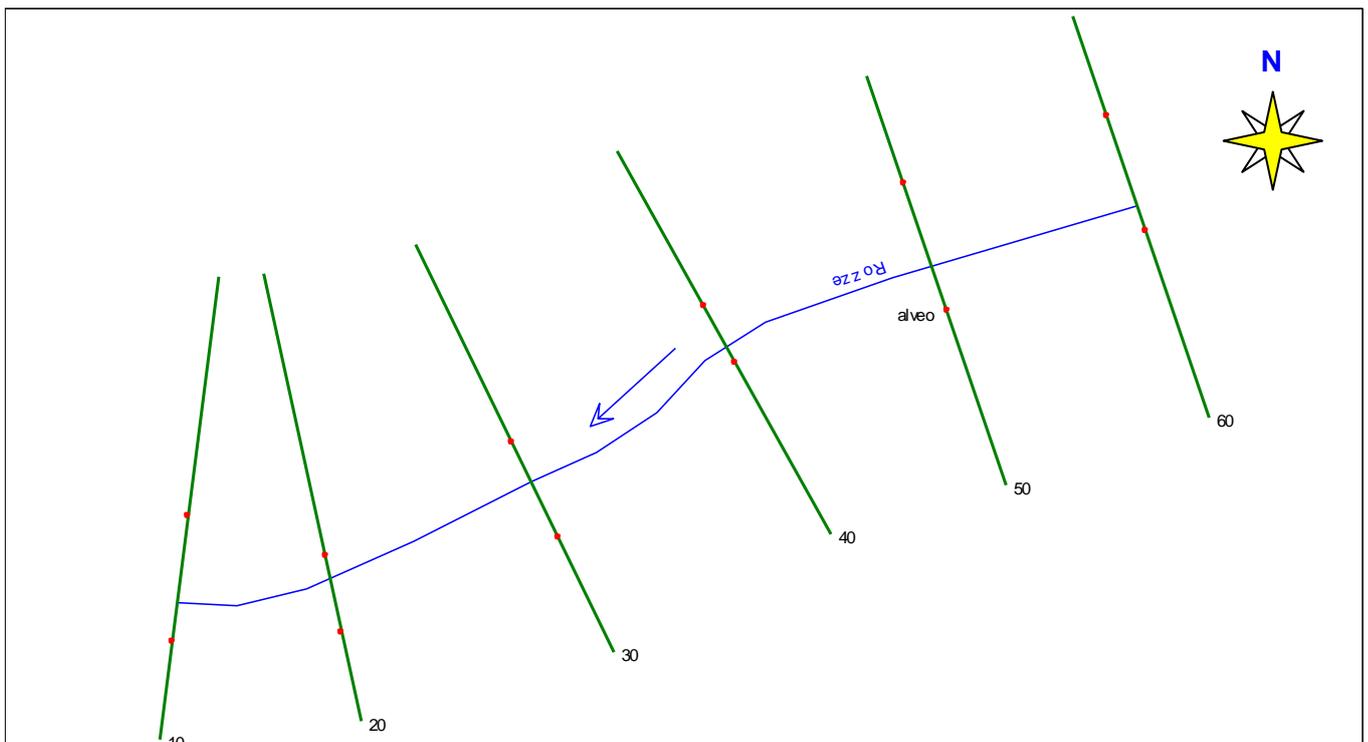


Fig.5.2/B: Modellazione geometrica in Hec Ras (RS60 a monte e RS10 a valle)

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00422
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 25 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

### 5.2.2 Dati di input e condizioni al contorno

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

- $Q_{200}=179.3$  mc/s

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

Le condizioni al contorno imposte alle estremità del tronco d'alveo oggetto di studio sono costituite da un flusso in moto uniforme "normal depth" a monte (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:

- 0,035 per l'alveo medio principale (Chan);
- 0,055 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.

	<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-00422</b>
	<b>PROGETTO</b> RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 26 di 69

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

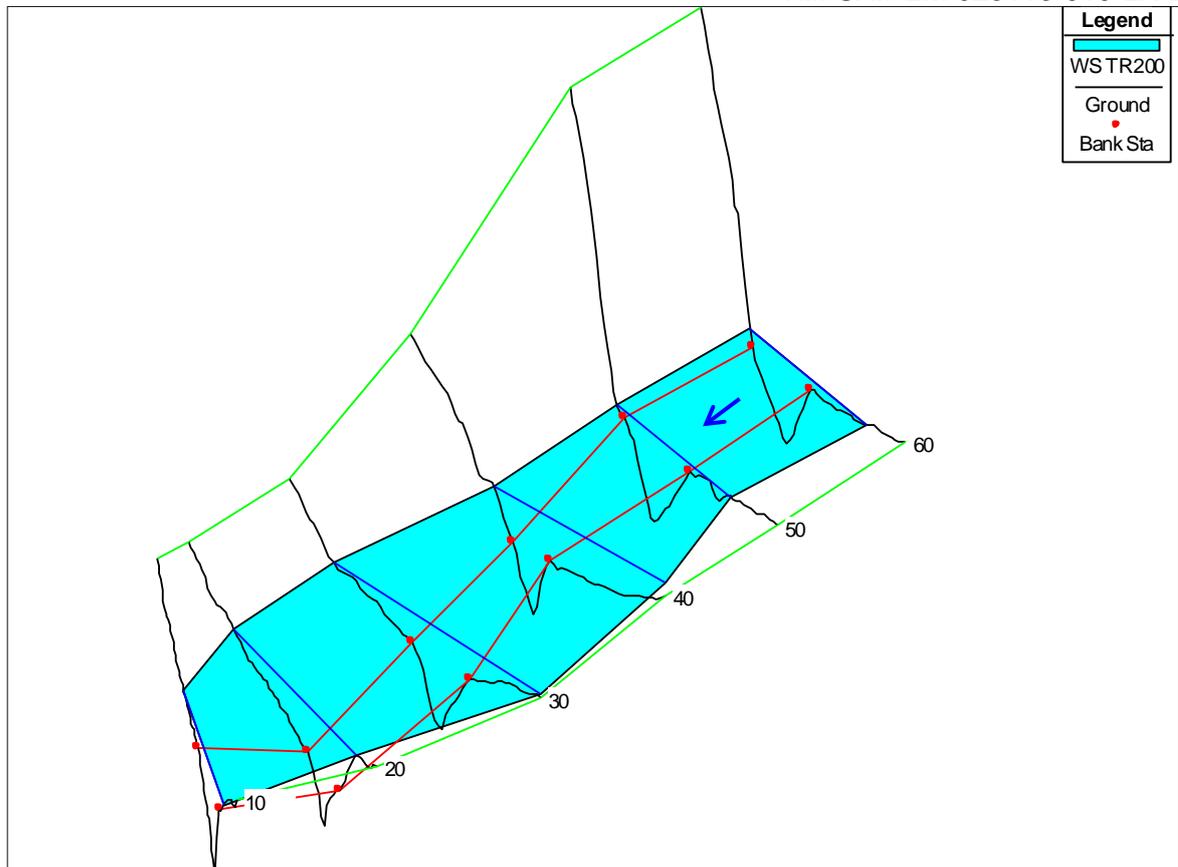


Fig.5.3/A: Schermata di Output del programma – visione prospettica (RS60: monte /RS10: valle)

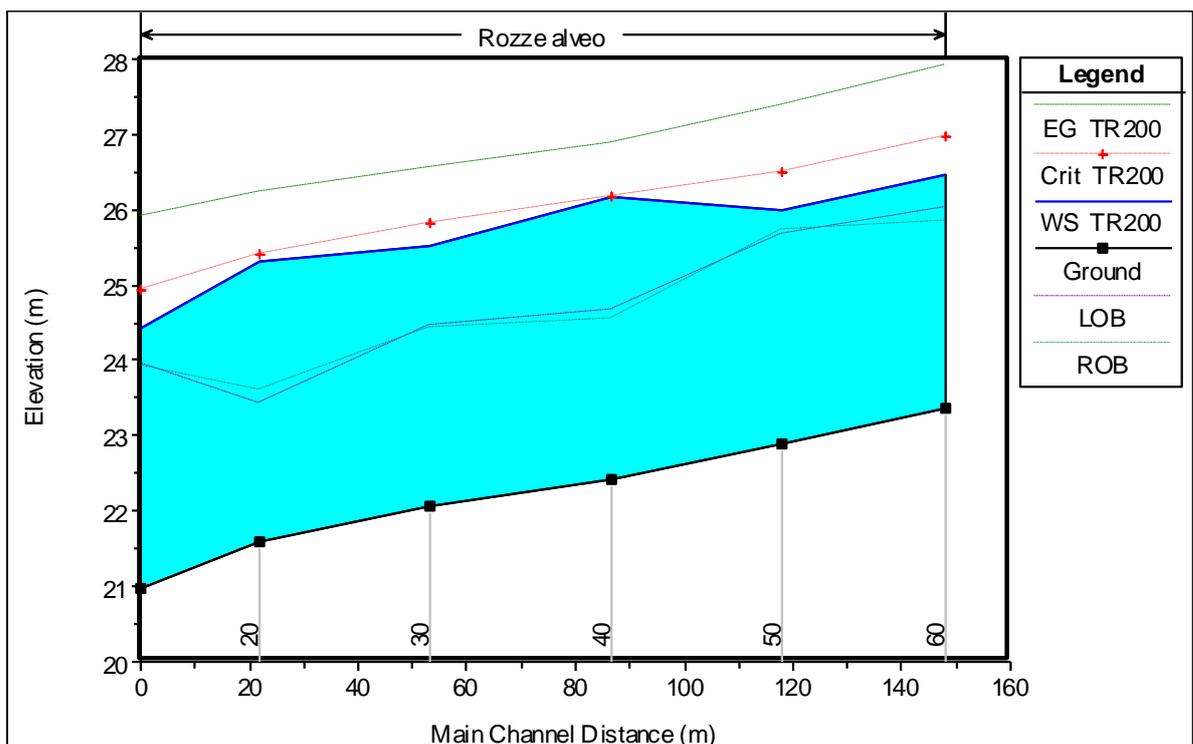


Fig.5.3/B: Schermata di Output del programma – Profilo longitudinale

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITÀ</b> 000
	<b>LOCALITÀ</b>	REGIONE TOSCANA		<b>REL-CI-E-00422</b>
	<b>PROGETTO</b>	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 27 di 69
				<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

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

*Tab.5.3/A: Tabella Riepilogativa di Output*

River Station	Q Total (m3/s)	Q Chan (m3/s)	Min Ch Elev (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Top Width Act Chl (m)	Hydr Depth C (m)	Shear Chnl (N/m2)	Froude Chl
60	179.3	174.31	23.36	26.46	26.97	27.9	0.0160	5.38	37.44	34.57	17.00	1.91	284.98	1.24
50	179.3	176.68	22.90	26.00	26.50	27.39	0.0170	5.26	36.66	33.45	19.00	1.77	280.04	1.26
40	179.3	109.82	22.42	26.18	26.18	26.89	0.0078	4.52	63.00	41.64	9.00	2.70	183.38	0.88
30	179.3	159.24	22.06	25.52	25.81	26.55	0.0103	4.76	51.40	52.93	15.00	2.23	212.57	1.02
20	179.3	134.62	21.60	25.31	25.39	26.22	0.0088	4.79	56.34	42.21	11.00	2.56	206.09	0.96
10	179.3	173.86	20.98	24.44	24.92	25.89	0.0188	5.43	36.73	32.83	18.00	1.78	300.71	1.30

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

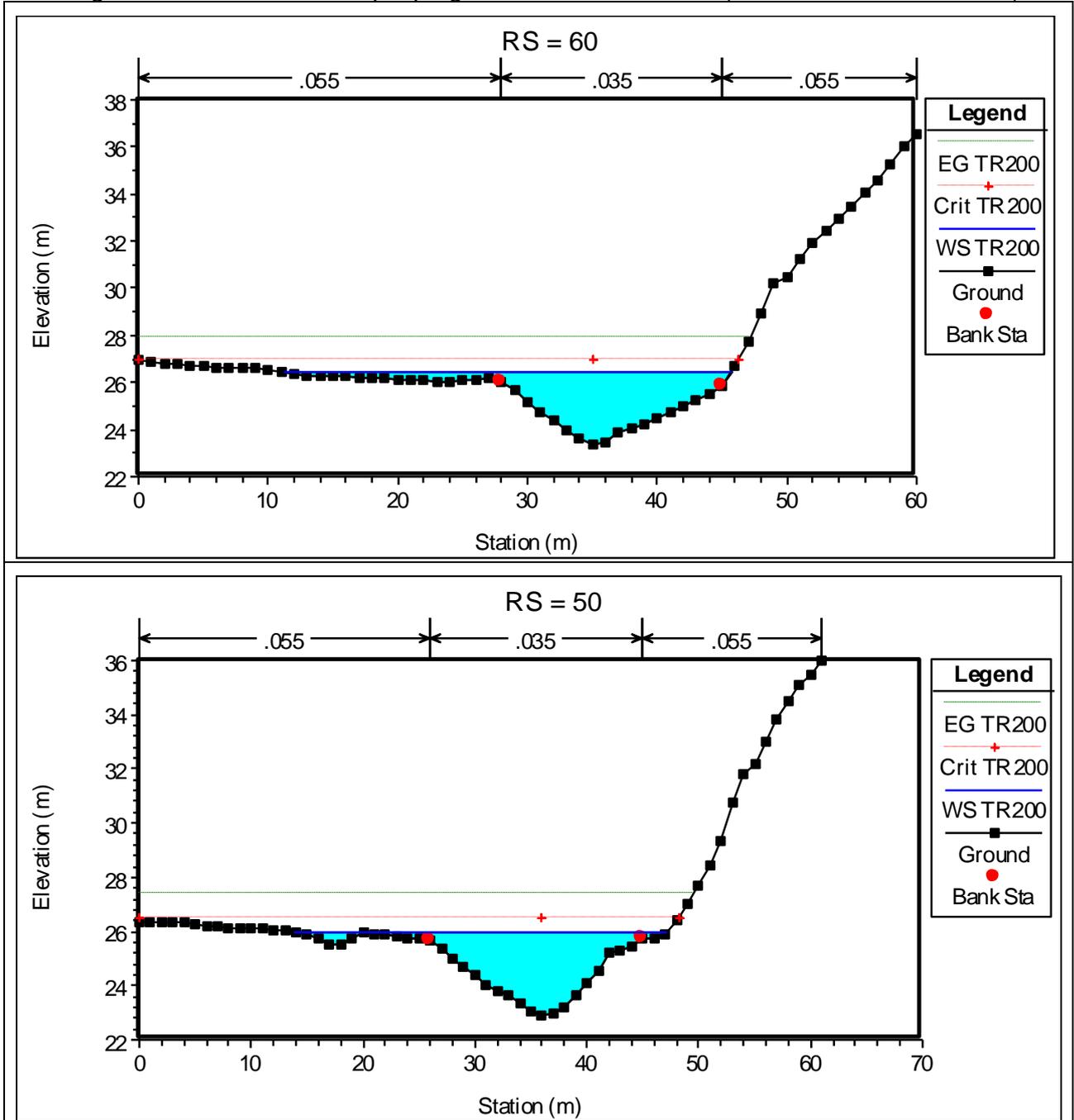
River Station:	Numero identificativo della sezione;
Q Total:	Portata complessiva defluente nell'intera sezione trasversale;
Q Chan:	Portata defluente nel canale principale (alveo attivo)
Min. Ch Elev:	Quota minima di fondo alveo;
W.S. Elev:	Quota del pelo libero;
Crit W.S.:	Quota critica del pelo libero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

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00422
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 28 di 69		Rev. 0

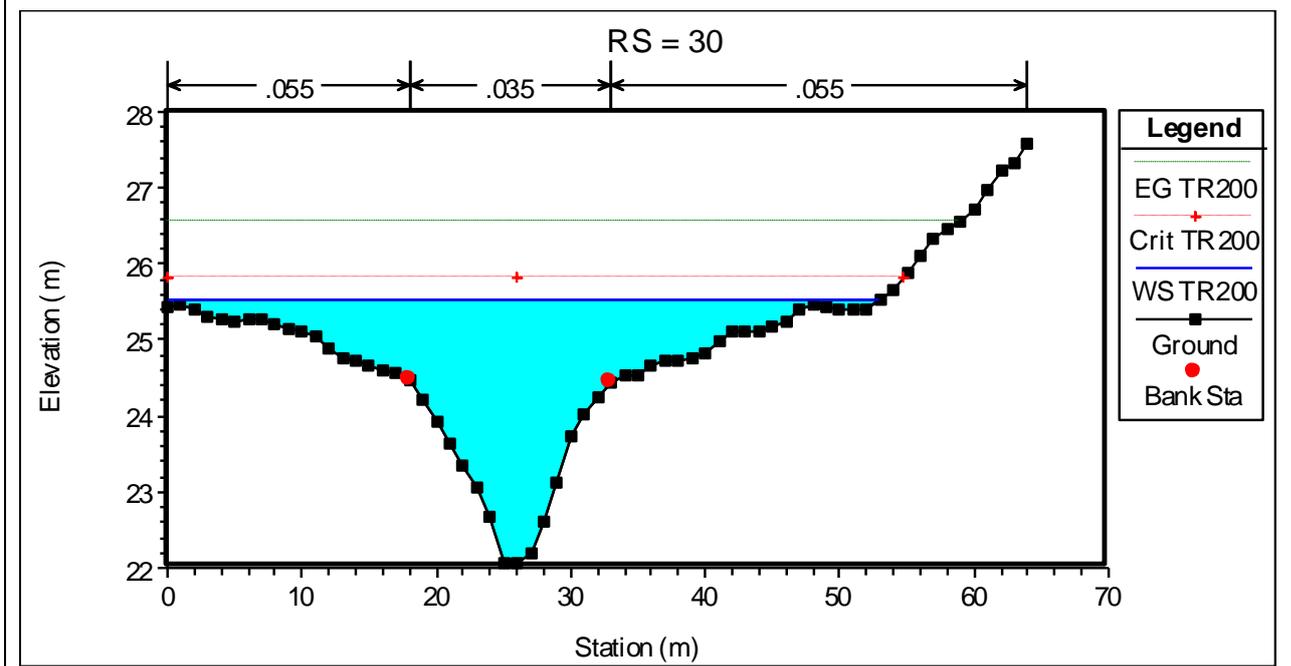
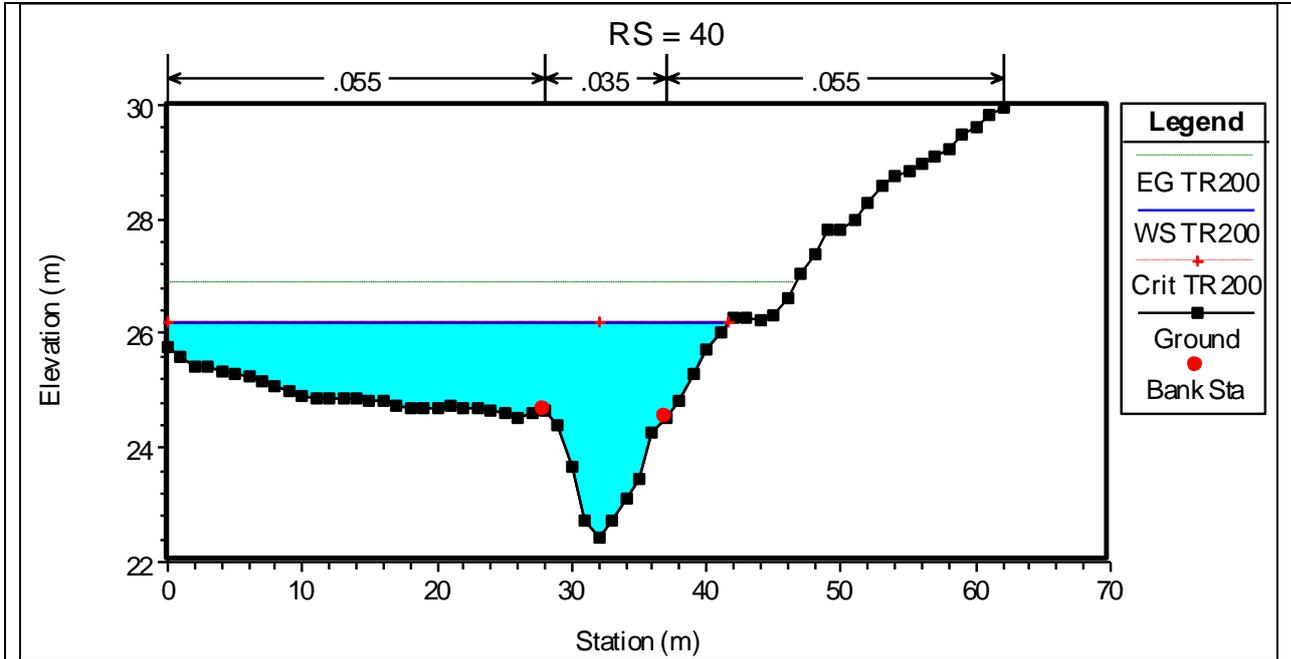
Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

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



	<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-00422</b>
	<b>PROGETTO</b> RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 29 di 69

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422





PROGETTISTA



COMMESSA  
NR/20049

UNITÀ  
000

LOCALITÀ

REGIONE TOSCANA

REL-CI-E-00422

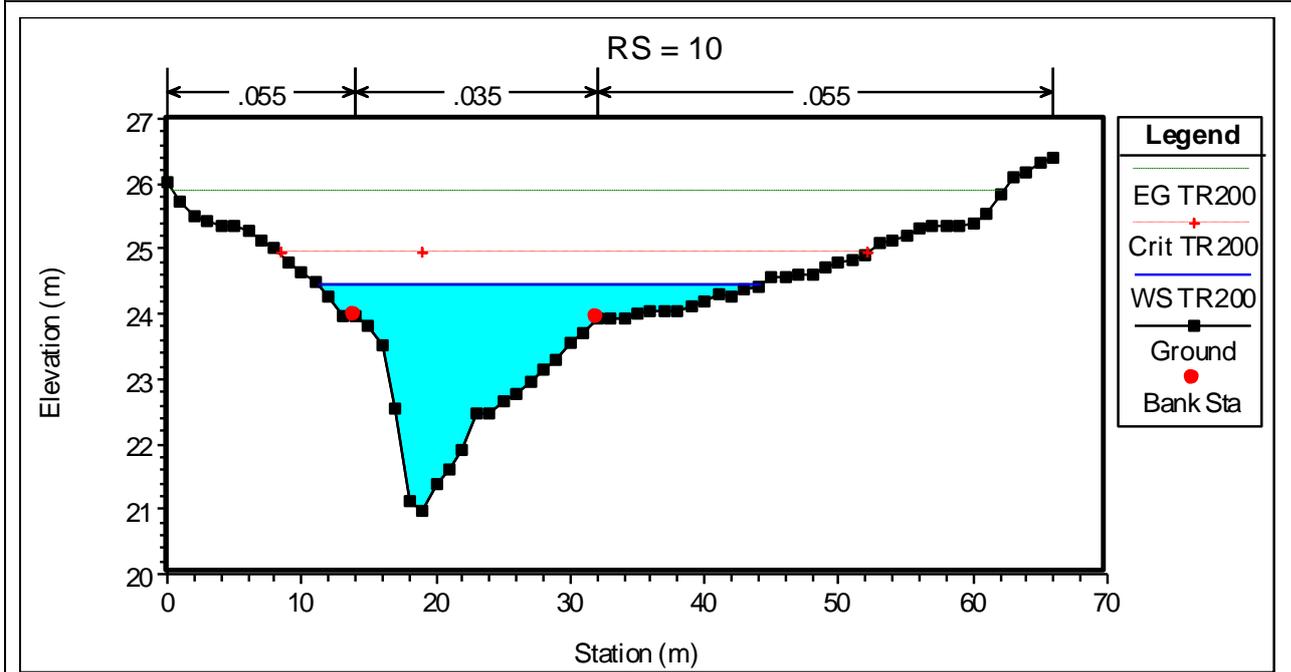
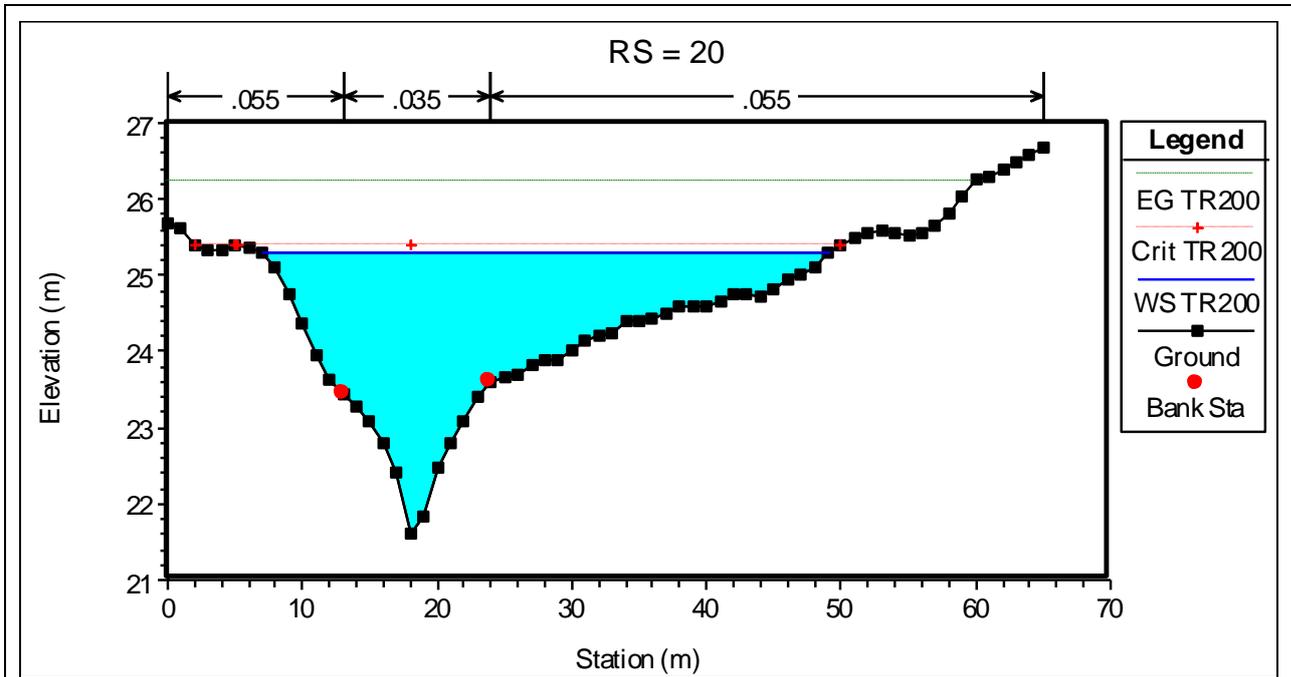
PROGETTO

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

Fg. 30 di 69

Rev.  
0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422



	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00422
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 31 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

#### 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 idraulica, si rileva che nel tronco idraulico considerato la sezione d'alveo non risulta in grado di contenere completamente la portata di progetto (portata duecentennale). Infatti, esondazioni si rilevano sia in destra, che in sinistra idrografica, seppur confinati in prossimità dell'alveo del corso d'acqua.

La velocità media di deflusso, in concomitanza dell'evento considerato, risulta particolarmente elevata (dell'ordine dei 4.5÷5.5 m/s).

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-00422
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 32 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

## 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-00422
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 33 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

## 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-00422</b>	
	<b>PROGETTO</b> RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 34 di 69	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

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-00422
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 35 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

### 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	179.3	174.31	5.38	17.00	1.91	10.25	3.39	1.79	0.96
50	179.3	176.68	5.26	19.00	1.77	9.30	3.18	1.69	0.89
40	179.3	109.82	4.52	9.00	2.70	12.20	3.74	1.97	1.35
30	179.3	159.24	4.76	15.00	2.23	10.62	3.38	1.80	1.12
20	179.3	134.62	4.79	11.00	2.56	12.24	3.73	1.97	1.28
10	179.3	173.86	5.43	18.00	1.78	9.66	3.28	1.73	0.89

### 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 1.97m.

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.

	<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-00422</b>	
	<b>PROGETTO</b> RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 36 di 69	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

## 7 METODOLOGIA COSTRUTTIVA E SCELTE PROGETTUALI

### 7.1 Metodologia costruttiva: Microtunnelling

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 corso d'acqua.

In tal senso l'insieme delle caratteristiche morfologiche, ambientali, geometriche ed idrauliche dell'ambito d'attraversamento ha condotto alla individuazione del sistema di attraversamento mediante trivellazione con la tecnica del "microtunnelling", prevedendo l'utilizzo di una fresa a scudo chiuso, con bilanciamento di pressione in testa.

Tale sistema operativo è stato individuato nel caso specifico in considerazione delle pregevoli caratteristiche naturalistiche dell'ambito di attraversamento, in prosecuzione del tunnel previsto per il superamento del rilievo morfologico presente in destra idrografica nei pressi della località Poggio Cerviellese.

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.

### 7.2 Configurazione geometrica di progetto

La definizione geometrica del tunnel (e quindi delle condotte), viene effettuata in modo da soddisfare ai vincoli attinenti sia l'aspetto idraulico del corso d'acqua che quello costruttivo del minitunnel e della condotta.

E' necessario infatti, assicurare adeguate profondità del cavo al di sotto dell'alveo rispettando allo stesso tempo i raggi di curvatura minimi consentiti dalla tubazione di linea, sia in termini di sollecitazioni indotte nel terreno che nei riguardi delle operazioni di varo della condotta.

Qui di seguito vengono descritte le caratteristiche geometriche del profilo di trivellazione del tunnel. Per l'analisi di dettaglio della configurazione geometrica d'attraversamento in subalveo, si rimanda alla visione dell'elaborato grafico di progetto precedentemente richiamato.

#### Geometria d'attraversamento

Il profilo di trivellazione presenta una configurazione costituita da due tratti rettilinei alle estremità e da un arco di circonferenza intermedio.

Le principali caratteristiche geometriche del tunnel sono:

- lunghezza dello sviluppo complessivo del microtunnel: di circa 1125 metri (di cui complessivamente circa 820m relativamente ai due tratti rettilinei e circa 305m per il tratto curvilineo);
- diametro interno minimo del microtunnel: 2400mm;
- raggio di curvatura per il tratto curvilineo pari a 2000 m;
- copertura minima della generatrice superiore del tunnel dalle quote di fondo dell'alveo attivo di circa 4m;
- postazione di partenza (di spinta): nel lato in destra idrografica del corso d'acqua (a monte senso gas), con profondità del pozzo di circa 5m dal piano campagna. Distanza dalla sponda dell'alveo attivo del corso d'acqua di diverse centinaia di metri (in quanto localizzato dall'altra parte del rilievo morfologico);

	<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-00422</b>	
	<b>PROGETTO</b> RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 37 di 69	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

- postazione di arrivo (di recupero): in sinistra idrografica del corso d'acqua (valle senso gas), con profondità del fondo della postazione di circa 6.5m da un piano di presbancamento. Distanza dalla sponda del corso d'acqua di oltre i 25m (misurata lungo lo sviluppo della condotta);

Tale configurazione di progetto consente di realizzare il tunnel ad adeguate profondità sia dal fondo alveo che dalle sponde del corso d'acqua; nonché di eseguire le postazioni di estremità con appropriati distacchi di sicurezza dall'alveo del corso d'acqua.

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00422
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 38 di 69		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

## 8 DESCRIZIONE DELLA TECNICA COSTRUTTIVA DEL MICROTUNNEL

### 8.1 Generalità

Questa tecnologia consiste nella realizzazione di un tunnel di piccolo diametro (tra i 300 mm e fino a 3000 mm) mediante l'avanzamento controllato di uno scudo cilindrico, cui è applicato frontalmente un sistema di scavo e che consente di realizzare trivellazioni di sviluppi anche superiori ai 1000 m.

L'azione di avanzamento è esercitata da martinetti idraulici ubicati nella postazione di spinta, che agiscono sul tubo di rivestimento del tunnel (che in questo caso è di cemento armato). L'elemento principale del microtunnelling è il microtunneller che è uno scudo telecomandato munito di una fresa rotante che disgrega il materiale durante l'avanzamento.

Le teste fresanti vengono scelte in funzione delle condizioni geologiche dei terreni interessati. Vi è la possibilità di combinare le varie soluzioni per ottenere teste "miste", utilizzabili in terreni che presentano nelle varie stratigrafie materiali diversi.

Qui di seguito si riporta la descrizione del sistema operativo di riferimento.

### 8.2 Requisiti generali del sistema costruttivo

I sistemi di trivellazione che utilizzano le tecniche del microtunnelling presentano una serie di opzioni tali da garantire sia la fattibilità esecutiva del tunnel che il mantenimento di adeguati livelli di sicurezza rispetto alla stabilità dei terreni che del tunnel stesso.

La definizione del sistema operativo da adottare riguarda sostanzialmente i seguenti elementi: tipo di fresa di perforazione, tubi di protezione in c.a., intasamento del terreno di perforazione.

- La testa fresante sarà a tenuta idraulica

E' necessario ricorrere all'uso di un sistema che preveda una fresa integrale con scudo chiuso con bilanciamento della pressione sul fronte di scavo tramite fanghi bentonitici. In questo modo, in corso d'opera l'equilibrio delle pressioni sul fronte di scavo inibisce in modo sostanziale l'afflusso d'acqua verso il tunnel.

- Stazione di spinta principale e stazioni di spinta intermedie

La potenza della stazione di spinta principale sarà adeguata alle previste resistenze all'avanzamento, al numero delle eventuali stazioni intermedie ed alle modalità e caratteristiche esecutive che verranno adottate in fase di avanzamento della trivellazione.

L'unità di spinta principale verrà messa a contrasto con il muro reggispinga, realizzata all'interno della postazione di partenza della trivellazione.

- Sistema di controllo dell'avanzamento della trivellazione

Sarà approntato un sistema per il controllo (durante l'avanzamento) della direzionalità del tunnel (strumentazione ottica e laser), delle potenze impiegate, della velocità di rotazione dello scudo e delle pressioni dei fanghi di perforazione.

In considerazione della precisione di esecuzione richiesta ed essendo necessario il controllo in tempo reale sulla direzionalità del tunnel, il sistema sarà dotato di adeguati strumenti computerizzati per l'elaborazione dei dati rilevati con sistemi di puntamento ottico e laser. L'operatore addetto alla verifica dovrà operare con continuità sulla consolle di comando, posizionata all'esterno della postazione di trivellazione, e tramite il sistema di puntamento laser controllerà l'andamento planimetrico ed altimetrico del tunnel realizzato.

	<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-00422</b>	
	<b>PROGETTO</b> RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 39 di 69	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

- Tubi di rivestimento in c.a.

I tubi di rivestimento che saranno impiegati, sono anelli prefabbricati in conglomerato cementizio armato ( $R_{ck} \geq 35 \text{ N/mm}^2$ , con armatura FeB 44K). In considerazione degli elevati standard di qualità richiesti alle tubazioni, i manufatti in calcestruzzo armato saranno prodotti in stabilimento di prefabbricazione con materiali di qualità e caratteristiche controllate e certificate e dovranno presentare resistenze garantite per le massime sollecitazioni prevedibili. Il tubo di rivestimento sarà, inoltre, a tenuta idraulica, corredato di giunti a tenuta idraulica, capaci di resistere ad una pressione  $\geq 5-7 \text{ atm}$ .

I manufatti, infine, saranno forniti di valvole di iniezione (almeno 3 manchettes per tubo) necessarie per eseguire nel terreno di trivellazione iniezioni fluidificanti con miscele bentonitiche durante le fasi di avanzamento ed iniezioni a base di miscele di cemento e bentonite per l'intasamento dell'intercapedine "terreno-tubo di protezione" nelle fasi finali di costruzione del minitunnel.

- Giunti di tenuta idraulica

Le giunzioni tra i tubi di rivestimento saranno di tipologia idonea per consentire la deviazione angolare del tunnel e la tenuta idraulica: l'incastro ed il centraggio tra due tubi successivi saranno garantiti mediante opportuna sagomatura dei bordi oppure con collari in acciaio annegati nel getto, la tenuta idraulica del giunto viene assicurata da anelli in gomma.

Essendo richiesta l'ispezionabilità del tunnel durante tutte le fasi costruttive del tunnel, si porranno in opera giunti di tenuta idraulica tra i conci di caratteristiche sperimentate e certificate nelle condizioni di esercizio più gravose.

- Iniezioni di intasamento "tubo di rivestimento – terreno"

Al termine delle operazioni di scavo, è richiesta l'esecuzione di iniezioni di miscele cementizie dagli ugelli predisposti lungo le pareti dei tubi di rivestimento. Le iniezioni saranno effettuate per ogni singola valvola fino al rifiuto, con numero, modalità e pressioni d'iniezione adeguate per creare, nell'intorno del tubo, una zona di terreno completamente intasata e a bassa permeabilità.

L'intasamento idraulico delle cavità tra tubo e terreno, riduce la filtrazione che può verificarsi lungo il contatto tra tubo di rivestimento e terreno in corso di realizzazione dell'opera.

- Sistema di evacuazione del materiale di scavo (slurry)

L'evacuazione dal fronte scavo del terreno frantumato verrà effettuato in sospensione per mezzo del circuito idraulico di alimentazione e recupero del fluido di perforazione (slurry). Il sistema deve quindi essere provvisto di un'unità di dissabbiatura o di una vasca di decantazione per la separazione del terreno di scavo dal fluido di perforazione.

- Impianto di produzione dei fanghi di perforazione

Verrà predisposto in cantiere un impianto di produzione di fanghi bentonitici necessari per il sostegno del fronte di scavo, per la lubrificazione della superficie di contatto tra tubo di protezione e terreno e per il trasporto in sospensione del terreno scavato.

L'impianto di produzione sarà dotato di un'unità di miscelazione ad alta turbolenza per la preparazione della miscela, un dosatore a funzionamento automatico, silos di stoccaggio, vasca di dissabbiatura e/o decantazione, circuito idraulico dello slurry e di pompe di ricircolo di potenza adeguata.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00422
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 40 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

- Iniezioni di fluidificazione in corso di avanzamento  
Le iniezioni di fluidificazione per abbattere le resistenze all'avanzamento dovranno essere effettuate con cadenza, quantità e caratteristiche reologiche della miscela in modo da evitare plasticizzazioni anomale del terreno di trivellazione.
- Sigillatura dei giunti tra i tubi di rivestimento  
La sigillatura dei giunti tra i tubi di rivestimento sarà eseguita dall'interno del tunnel successivamente alle operazioni di avanzamento, con malta di cemento ad alta resistenza in modo da ottenere una superficie interna del tunnel perfettamente liscia e priva di risalti con lo scopo di realizzare un'ulteriore garanzia di tenuta dei giunti nei confronti di possibili fenomeni di filtrazione, in aggiunta a quella strutturale del giunto.
- Intasamento interno del tunnel  
Terminate le operazioni di varo ed eseguito il collegamento di linea delle condotte, dovrà essere realizzato il riempimento dell'intercapedine tra tubo di linea e tubo di rivestimento tramite idonee miscele, con lo scopo di saturare l'intercapedine stessa e impedire la formazione di flussi idrici all'interno del tubo di rivestimento ed eliminare la camera d'aria altrimenti presente tra tubo di linea e pareti del tunnel. Le miscele impiegate possono essere conglomerati cementizi addittivati e/o alleggeriti oppure miscele di tipo bentonitico.

### 8.3 Fasi Operative

Di seguito viene fornita la descrizione delle principali fasi operative per la costruzione del microtunnel e la messa in opera, al suo interno, delle condotte in acciaio.

#### Fasi Operative:

- Impianto cantiere;
- Esecuzione delle postazioni di estremità;
- Esecuzione della trivellazione;
- Varo delle condotte;
- Collaudo delle condotte;
- Posa dei cavi;
- Intasamento interno del tunnel;
- Ripristini.

#### Impianto cantiere

Il cantiere sarà costituito da due aree di dimensioni adeguate, ubicate in corrispondenza dei pozzi di spinta e di arrivo.

#### Esecuzione delle postazioni di estremità

Prima dell'installazione delle apparecchiature relative alla realizzazione del tunnel, si procederà alla costruzione del pozzo di spinta. La postazione di arrivo sarà realizzata prima dell'ultimazione della trivellazione (di cui al punto seguente).

Le metodologie realizzative dipendono dalle caratteristiche geomeccaniche dei terreni e dalla presenza della falda. I pozzi (postazione di trivellazione e di recupero) saranno di dimensioni adeguate per effettuare tutte le lavorazioni occorrenti per la realizzazione del minitunnel e per essere equipaggiati con tutti gli impianti a corredo del sistema di trasporto. Saranno realizzate strutture di contenimento verticali adeguate a resistere a tutte le sollecitazioni esterne (spinta delle terre, spinta idrostatica, pressione della stazione di spinta principale e sovraccarichi al piano campagna). In particolare, nella

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00422
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 41 di 69		Rev. 0

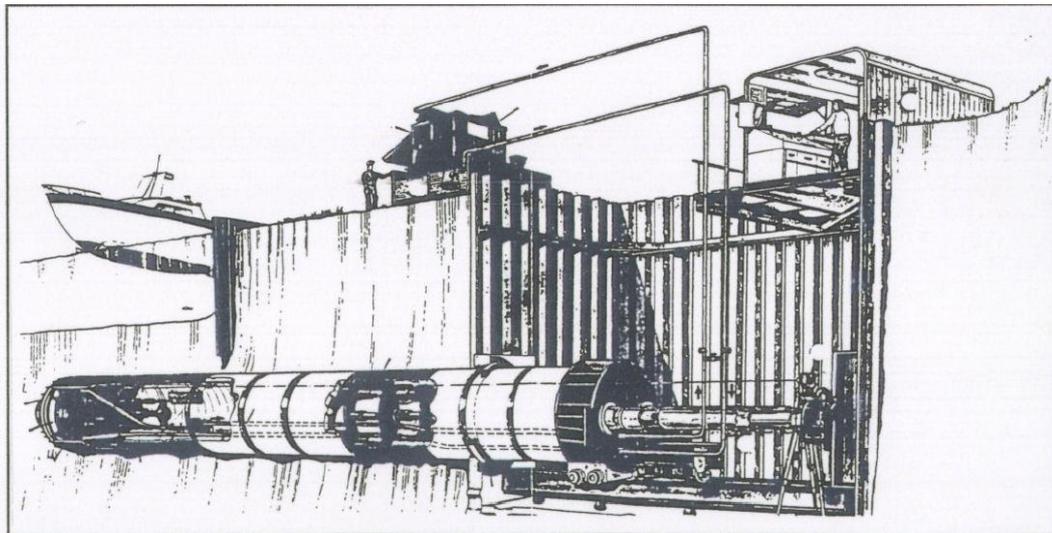
Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

realizzazione dei pozzi, dovendo essere realizzati sottofalda, saranno adottate tipologie strutturali che garantiscano la tenuta idraulica.

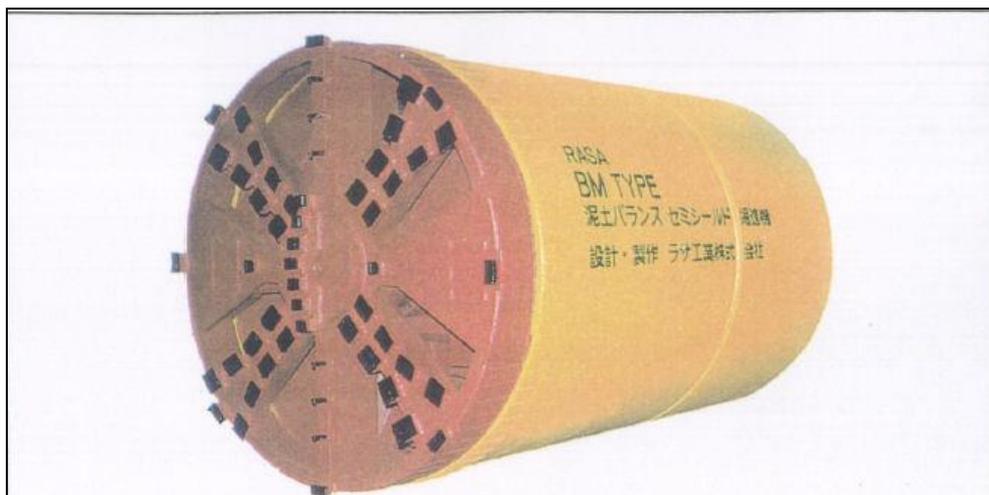
#### Esecuzione della trivellazione

La trivellazione sarà eseguita con una fresa a scudo chiuso con il bilanciamento della pressione sul fronte di scavo. Le caratteristiche tecniche del sistema costruttivo è stato descritto nel capitolo precedente.

Nelle figure seguenti si riportano rispettivamente uno schema di trivellazione, a partire dalla postazione di trivellazione ed uno esempio di scudo a bilanciamento di pressione.



*Schema del sistema di trivellazione con microtunnel*



*Scudo con bilanciamento pressione meccanica del terreno (microtunneller)*

#### Varo delle condotte

Ciascuna condotta potrà essere collocata dentro il microtunnel con due metodologie:

- 1) - Varo dell'intera colonna in unica soluzione
- 2) - Varo con inserimento progressivo delle singole barre

Al fine di evitare lo strisciamento tra la condotta ed il fondo del tunnel e diminuire l'attrito radente che si sviluppa tra le due superfici verranno applicati alla condotta

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00422
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 42 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

opportuni collari distanziatori costituiti da materiali in grado di resistere all'usura (collari RACI in PEAD rinforzato e/o in malta poliuretanic gettati in opera).

- *Varo dell'intera colonna in unica soluzione*

La colonna di varo potrà essere predisposta rispettando la geometria di progetto.

La lunghezza della colonna di varo sarà formata da singoli tronconi che verranno assiemati man mano che le operazioni di infilaggio progrediranno.

La scelta della posizione e della lunghezza della colonna sarà fatta in funzione alla disponibilità di spazio e alle scelte operative dell'appaltatore.

In testa alla colonna di varo verrà saldata una testata di tiro alla quale, mediante un sistema di pulegge, verrà collegato il cavo in acciaio per il tiro. Dal lato opposto della colonna un argano, ovvero un sistema di martinetti, produrrà il tiro necessario all'infilaggio della condotta nel tunnel.

Lungo la colonna sarà disposto un sufficiente numero di mezzi di sollevamento che aiuteranno la condotta sia ad assumere la geometria elastica di varo prevista in progetto che le operazioni di infilaggio.

- *Varo con l'inserimento progressivo delle singole barre*

La scelta della posizione per il varo sarà fatta in funzione alla disponibilità di spazio e alle scelte operative dell'appaltatore.

Le singole barre verranno calate una alla volta nel pozzo con l'ausilio di trattori posatubi e qui assiemate mediante saldatura di testa.

L'inserimento nel tunnel avverrà perciò progressivamente grazie al tiro di un argano, posizionato nel pozzo opposto a quello di varo, collegato con un cavo in acciaio alla testata di tiro saldata sulla prima barra.

Le saldature del tratto di condotta in attraversamento saranno tutte radiografate ed accompagnate dal certificato di idoneità rilasciato dall'Istituto Italiano della Saldatura.

La condotta sarà protetta con:

- una protezione passiva esterna costituita da un rivestimento in polietilene estruso ad alta densità applicato in fabbrica dello spessore minimo di mm 3 ed un rivestimento interno in vernice epossidica.
- i giunti di saldatura saranno rivestiti in linea con fasce termorestringenti;
- una protezione attiva (catodica) attraverso un sistema di correnti impresse con apparecchiature poste lungo la linea.

#### Collaudo idraulico delle condotte

Il tratto di ciascuna condotta interessato dall'attraversamento sarà sottoposto a prove di collaudo. In generale saranno prove idrauliche in opera con una pressione pari a 1,2 volte la pressione massima di esercizio (75 bar).

La pressione di prova idraulica sarà controllata con manometro registratore. Il risultato della prova idraulica sarà verbalizzato.

#### Posa dei cavi

Insieme alle condotte, verranno collocati i vari cavi nell'ambito dei relativi alloggiamenti predisposti.

#### Ripristini

Al termine delle operazioni di intasamento interno del tunnel e del collegamento di linea (con i tratti già posati a monte e a valle dell'attraversamento), si procederà al

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00422
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 43 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

ritombamento dei pozzi e allo sgombero delle aree di lavoro e al loro ripristino per la restituzione delle aree alle normali attività agricole.

#### 8.4 Considerazioni sulla stabilità per filtrazione in sub-alveo

Qui di seguito viene affrontato il problema della stabilità dei terreni rispettivamente nella configurazione transitoria nel corso di esecuzione dei lavori e a lungo termine, successiva al completamento dei lavori.

##### Stabilità per "filtrazione" in corso di esecuzione dei lavori

L'instabilità per filtrazione lungo una traiettoria preferenziale a permeabilità elevata rispetto al terreno può avvenire ogni qualvolta si verifica una repentina dissipazione del carico idraulico. Ciò si verifica quando nel "tubo di flusso" le perdite di carico idraulico sono piuttosto elevate, come nel caso di una trivellazione a "sezione aperta" dove può aversi un flusso all'interno del tubo di protezione oppure, nel terreno di trivellazione, qualora siano presenti "scavernamenti" lungo la trivellazione stessa.

Relativamente ai lavori d'interesse la tecnica adottata elimina tali rischi, presenti per alcune metodologie di scavo sottofalda, legati a possibili fenomeni di filtrazione lungo il foro di trivellazione. Con tale tecnica infatti è possibile un bilanciamento delle pressioni litostatiche ed idrostatiche consentendo di operare con un sistema "chiuso" a tenuta idraulica. Infatti:

- la fresa presente sul fronte scavo è a sezione piena;
- l'allontanamento del terreno di perforazione avviene internamente al tubo di protezione con l'utilizzo di un apposito sistema idraulico. La quantità di terreno scavato è in rapporto costante con l'avanzamento del tunnel;
- Il tubo di rivestimento in c.a. che spinge la fresa assicura, puntualmente ed in ogni istante, il sostegno dello scavo ed il bilanciamento delle pressioni litostatiche ed idrostatiche (giunti a tenuta idraulica);
- I pozzi di spinta e di recupero, da realizzare con manufatti in c.a., saranno a tenuta idraulica. In particolare, l'anello di neoprene di tenuta idraulica presente sulla parete del pozzo di trivellazione consente il progressivo inserimento dei conci in c.a. impedendo eventuali flussi localizzati, in prossimità della parete esterna del tubo di protezione, verso il pozzo di spinta.

Come già accennato, la metodologia adottata è anche in grado di garantire un'adeguata tenuta della zona di contatto terreno-tubazione nei riguardi di eventuali moti di filtrazione preferenziali.

La lubrificazione del terreno a contatto con il rivestimento mediante un circuito esterno di fanghi, che consente di ridurre in maniera sensibile le resistenze laterali all'avanzamento, e la particolare configurazione del sistema di giunzione, che garantisce assenza di sovraingombri dei giunti nei confronti del diametro esterno del tubo di protezione in c.a., fanno venire meno la necessità di procedere ad un sovracarotaggio del foro rispetto al tubo di protezione ottenendosi così il diametro del foro praticamente coincidente con quello della tubazione di rivestimento.

##### Stabilità per "filtrazione" a lungo termine

Le motivazioni esposte sulla stabilità alla filtrazione durante le fasi operative, sono a maggior ragione valide per la configurazione finale dell'opera.

Si è già detto che la metodologia minimizza le deformazioni plastiche nel terreno e le conseguenti alterazioni delle caratteristiche di permeabilità: la sua rottura viene ottenuta per rotazione e non per taglio avendosi così una sorta di aderenza tra il

	<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-00422</b>
	<b>PROGETTO</b> RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 44 di 69	<b>Rev.</b> <b>0</b>	

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

rivestimento e il terreno (l'utilizzo dei fanghi bentonitici e la possibilità di bilanciare le pressioni esterne contribuiscono a minimizzare l'alterazione dello stato tensionale preesistente nel terreno).

Una garanzia rispetto ai fenomeni di filtrazione in sub-alveo 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 (in assenza del tunnel);

Viene inoltre introdotto un ulteriore grado di sicurezza, a garanzia della stabilità dell'insieme, riutilizzando lo stesso impianto già adoperato per le iniezioni in fase di avanzamento. Al termine dei lavori di trivellazione, il terreno prossimo al tubo di protezione viene "intasato" iniettando a bassa pressione una miscela di acqua, bentonite e cemento.

Tali iniezioni hanno lo scopo di escludere, per ogni evenienza, l'instaurarsi di un flusso preferenziale lungo l'asse di trivellazione. Si ottiene così, nell'intorno del foro, un terreno a permeabilità sicuramente inferiore rispetto al terreno in posto.

L'esecuzione di tali iniezioni è prevista lungo tutto lo sviluppo longitudinale della trivellazione. Le due estremità del tunnel verranno sigillate con setti in c.a., in corrispondenza dei due pozzi (di spinta e di recupero). Quest'ultimi, al termine dei lavori, verranno riempiti con terreni a bassa permeabilità opportunamente costipati.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00422
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 45 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

## 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-00422
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 46 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

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-00422
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 47 di 69		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

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-00422
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 48 di 69		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

## 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 (PGRA). Esso deve essere predisposto a livello di distretto idrografico.

Il PGRA 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 PGRA. 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 (PGRA), 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 PGRA 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 PGRA 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 PGRA 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 PGRA. 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-00422
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 49 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

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-00422
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 50 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

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;*

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00422
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fig. 51 di 69		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

### 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 corso d'acqua (indicato con un cerchio in blu) e più in generale con le aree censite dal PGRA a pericolosità elevata e media (riportate mediante campiture semi-trasparenti con varie tonalità di blu).

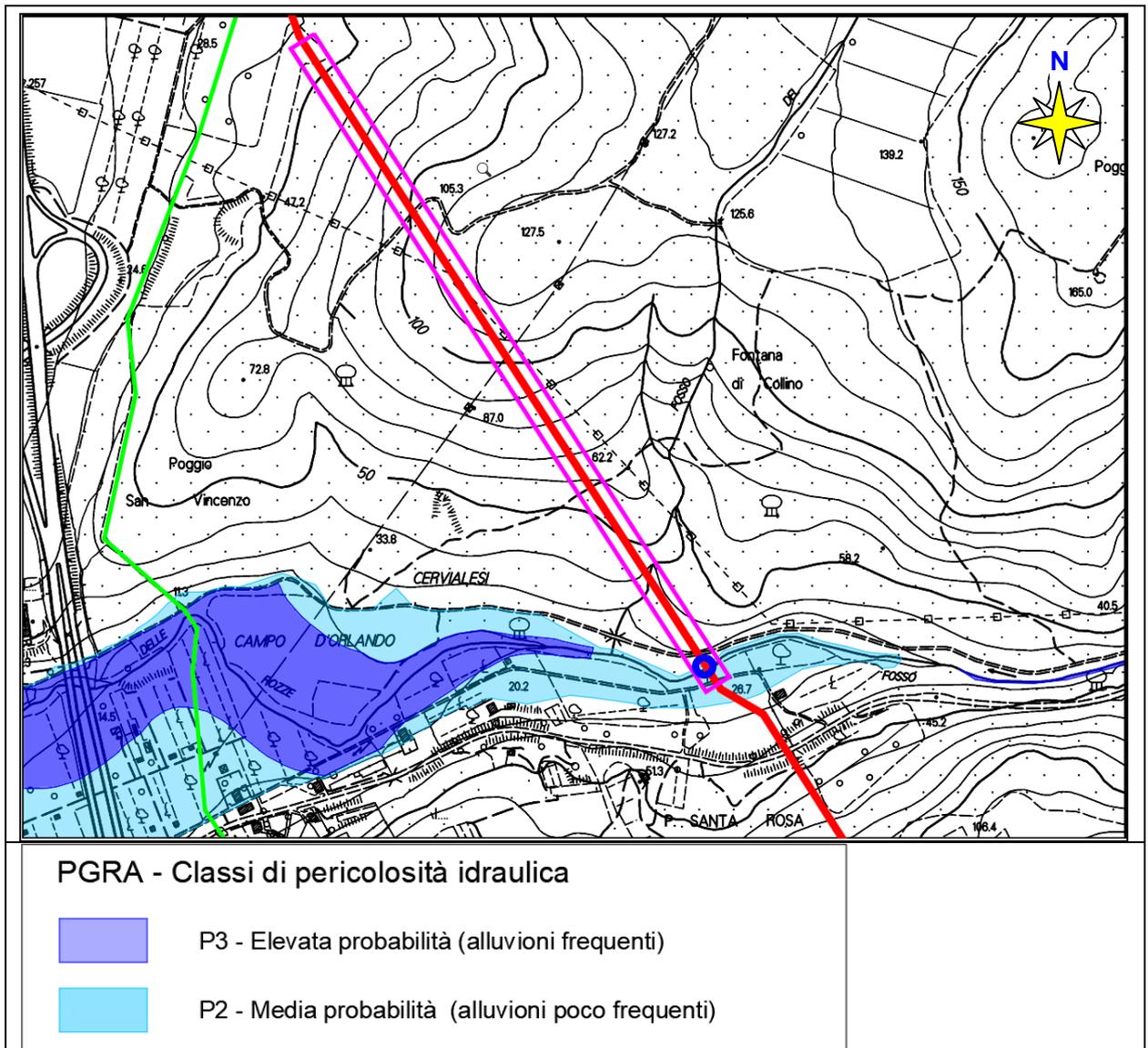


Fig.9.3/A: Interferenze tra metanodotto in progetto con le aree P2 e P3 dal PGRA

Dall'analisi della figura precedente si rileva che il tracciato del metanodotto in progetto in corrispondenza dell'attraversamento dell'alveo del corso d'acqua ricade in un ambito censito a pericolosità da alluvioni fluviali media (P2).

Dalla stessa figura si rileva, inoltre, che sia l'alveo del corso d'acqua (indicato con un cerchio in blu), che buona parte delle aree censite di pericolosità idraulica verranno superate mediante una trivellazione in TOC (il cui sviluppo longitudinale è indicato mediante una sagoma rettangolare in magenta) e pertanto a significative profondità di

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00422
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 52 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

posa in subalveo.

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 un breve tratto (di sviluppo di circa 40m) con delle aree inondabili (a pericolosità P2) localizzate 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 dell'alveo

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 (con microtunnel). 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-00422
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 53 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

- 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 inviluppo 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'inviluppo 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-00422
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 54 di 69		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

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

Relativamente al breve tratto di percorrenza delle aree censite a pericolosità idraulica P2 e ricadente esternamente alla trivellazione in sx idrografica (dove il metanodotto verrà posizionato mediante scavi a cielo aperto) si evidenzia quanto segue.

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

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

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

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

#### 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-00422
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 55 di 69		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

## 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 fosso delle ROZZE in un ambito di confine tra i territori comunali di Castagneto Carducci (LI) e di San Vincenzo (LI), in prossimità della località "P. Santa Rosa".

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 ed in considerazione dell'elevato pregio naturalistico nel quale ricade l'ambito di attraversamento in esame, per il superamento in subalveo del corso d'acqua in esame è stata prevista l'adozione di un sistema di attraversamento in trenchless, la tecnica del "microtunnelling", in prosecuzione del tunnel previsto per il superamento del rilievo morfologico presente in destra idrografica nei pressi della località Poggio Cerviellese.

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

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>COMMESSA NR/20049</b>	<b>UNITÀ 000</b>
	<b>LOCALITÀ</b>	REGIONE TOSCANA		<b>REL-CI-E-00422</b>
	<b>PROGETTO</b>	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 56 di 69	<b>Rev. 0</b>

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

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-00422
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 57 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

**APPENDICE 1: COLONNE STRATIGRAFICHE DEI SONDAGGI**

**STRATIGRAFIA**  
SCALA 1 : 100      Pagina 1/1

Riferimento: SAIPEM FANO		Sondaggio: S. 9												
Località: S. VINCENZO		Quota:												
Impresa esecutrice: PANGEA S.R.L.		Data: 2/9/09												
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 MARRONE SABBIOSO CONSISTENTE.
				2										
				3		SPT 1 < 3,00 3,30				15-20-50/5cm	Rif		3,0	DETRITO COSTITUITO DA LITOIDI ARENACEI E CALCAREI, IN MATRICE LIMOSA.
				4										
				5									5,2	BLOCCO ARENACEO CHIARO, INIZIALMENTE ALTERATO, POI OMOGENEO, MASSIVO.
				6										
				7									7,5	SABBIA LIMOSA GRIGIO MARRONE, CON SUBORDINATI INCLUSI LITOIDI, SEGNI DI OSSIDAZIONE.
				8										
				9		SPT 2 < 9,00 9,45				5-7-10	17		8,9	DETRITO COSTITUITO DA ALTERNANZE DI BLOCCHI ARENACEI ALTERATI E LIVELLI ARGILLOSI.
				10										
				11		1) She < 11,00 11,30								
				12									12,7	
				13									13,5	SABBIA MARRONE, DEB. LIMOSA.
				14										DETRITO COME SOPRA.
101				15									15,0	

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00422
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 58 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

## 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 adottate 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 ( $m^2$ );
- $\Lambda$ , coefficiente di attrito di Chezy ( $m^{1/2}/s$ );
- $g$ , accelerazione di gravità ( $m/s^2$ );
- $h$ , altezza del pelo libero rispetto ad un livello di riferimento orizzontale (m);

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00422
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 59 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

- $Q$ , 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.

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,

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00422
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 60 di 69		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

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 uniforme.

Le sezioni trasversali sono suddivise in tre parti, caratterizzate da differenti valori della

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00422
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 61 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

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

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00422
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 62 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

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

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

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

dove:

- il primo ed il quinto termine rappresentano le spinte idrodinamiche dovute alle quantità di moto (con  $\beta$  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-00422</b>
	<b>PROGETTO</b> RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 63 di 69	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

**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: Rozze  
 Project File : Rozze.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\23Rozze\Rozze.p01

Geometry Title: Rozze  
 Geometry File : C:\Users\Marco\Desktop\HEC studi miei 5.0.7\Liv-Pb\23Rozze\Rozze.g01

Flow Title : Rozze  
 Flow File : C:\Users\Marco\Desktop\HEC studi miei 5.0.7\Liv-Pb\23Rozze\Rozze.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: Rozze  
 Flow File : C:\Users\Marco\Desktop\HEC studi miei 5.0.7\Liv-Pb\23Rozze\Rozze.f01

Flow Data (m3/s)

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITÀ</b> 000
	<b>LOCALITÀ</b>	REGIONE TOSCANA		<b>REL-CI-E-00422</b>
	<b>PROGETTO</b>	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 64 di 69	<b>Rev.</b> 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

River	Reach	RS	TR200
Rozze	alveo	60	179.3

Boundary Conditions

River	Reach	Profile	Upstream	Downstream
Rozze	alveo	TR200	Normal S = 0.016	Normal S = 0.016

GEOMETRY DATA

Geometry Title: Rozze  
 Geometry File : C:\Users\Marco\Desktop\HEC studi miei 5.0.7\Liv-Pb\23Rozze\Rozze.g01

CROSS SECTION

RIVER: Rozze  
 REACH: alveo RS: 60

INPUT

Description:

Station Elevation Data num= 61

Sta	Elev								
0	26.96	1	26.84	2	26.77	3	26.75	4	26.72
5	26.67	6	26.63	7	26.62	8	26.63	9	26.63
10	26.56	11	26.48	12	26.38	13	26.32	14	26.31
15	26.27	16	26.26	17	26.23	18	26.22	19	26.16
20	26.08	21	26.08	22	26.07	23	26.04	24	26.05
25	26.07	26	26.11	27	26.15	28	26.02	29	25.66
30	25.17	31	24.78	32	24.39	33	23.93	34	23.61
35	23.36	36	23.47	37	23.91	38	24.06	39	24.24
40	24.46	41	24.74	42	25.02	43	25.25	44	25.47
45	25.84	46	26.67	47	27.7	48	28.91	49	30.24
50	30.44	51	31.23	52	31.95	53	32.43	54	32.96
55	33.49	56	34.04	57	34.62	58	35.25	59	36.01
60	36.55								

Manning's n Values num= 3

Sta	n Val	Sta	n Val	Sta	n Val
0	.055	28	.035	45	.055

Bank Sta: Left	Right	Lengths: Left	Channel	Right	Coeff Contr.	Expan.
28	45	30.02	30.02	30.02	.1	.3

CROSS SECTION OUTPUT Profile #TR200

		Element	Left OB	Channel	Right OB
E.G. Elev (m)	27.90				
Vel Head (m)	1.44	Wt. n-Val.	0.055	0.035	0.055
W.S. Elev (m)	26.46	Reach Len. (m)	30.02	30.02	30.02
Crit W.S. (m)	26.97	Flow Area (m2)	4.80	32.40	0.23
E.G. Slope (m/m)	0.016007	Area (m2)	4.80	32.40	0.23
Q Total (m3/s)	179.30	Flow (m3/s)	4.79	174.31	0.21
Top Width (m)	34.57	Top Width (m)	16.82	17.00	0.75
Vel Total (m/s)	4.79	Avg. Vel. (m/s)	1.00	5.38	0.89
Max Chl Dpth (m)	3.10	Hydr. Depth (m)	0.29	1.91	0.31
Conv. Total (m3/s)	1417.2	Conv. (m3/s)	37.8	1377.7	1.6
Length Wtd. (m)	30.02	Wetted Per. (m)	16.84	17.85	0.97
Min Ch El (m)	23.36	Shear (N/m2)	44.77	284.98	37.56
Alpha	1.23	Stream Power (N/m s)	44.62	1533.07	33.29
Frctn Loss (m)	0.49	Cum Volume (1000 m3)	1.72	4.48	1.08
C & E Loss (m)	0.01	Cum SA (1000 m2)	2.31	2.11	1.67

CROSS SECTION

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>COMMESSA</b> NR/20049	<b>UNITÀ</b> 000
	<b>LOCALITÀ</b>	REGIONE TOSCANA		<b>REL-CI-E-00422</b>
	<b>PROGETTO</b>	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 65 di 69

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

RIVER: Rozze  
REACH: alveo RS: 50

**INPUT**

Description:

Station Elevation Data		num=	62							
Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	
0	26.35	1	26.36	2	26.34	3	26.32	4	26.34	
5	26.28	6	26.17	7	26.19	8	26.14	9	26.13	
10	26.12	11	26.1	12	26.05	13	26.02	14	25.99	
15	25.92	16	25.74	17	25.5	18	25.53	19	25.76	
20	25.97	21	25.89	22	25.86	23	25.85	24	25.72	
25	25.71	26	25.67	27	25.34	28	25	29	24.69	
30	24.41	31	24.03	32	23.82	33	23.65	34	23.35	
35	23.07	36	22.9	37	22.94	38	23.2	39	23.66	
40	24.1	41	24.57	42	25.2	43	25.3	44	25.46	
45	25.73	46	25.78	47	25.9	48	26.38	49	27	
50	27.68	51	28.46	52	29.36	53	30.74	54	31.78	
55	32.15	56	33.02	57	33.83	58	34.49	59	35.1	
60	35.49	61	35.99							

Manning's n Values		num=	3		
Sta	n Val	Sta	n Val	Sta	n Val
0	.055	26	.035	45	.055

Bank Sta:	Left	Right	Lengths:	Left Channel	Right	Coeff Contr.	Expan.
	26	45		31.44	31.44	.1	.3

CROSS SECTION OUTPUT Profile #TR200

E.G. Elev (m)	27.39	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	1.39	Wt. n-Val.	0.055	0.035	0.055
W.S. Elev (m)	26.00	Reach Len. (m)	31.44	31.44	31.44
Crit W.S. (m)	26.50	Flow Area (m2)	2.69	33.56	0.41
E.G. Slope (m/m)	0.016989	Area (m2)	2.69	33.56	0.41
Q Total (m3/s)	179.30	Flow (m3/s)	2.31	176.68	0.31
Top Width (m)	33.45	Top Width (m)	12.24	19.00	2.20
Vel Total (m/s)	4.89	Avg. Vel. (m/s)	0.86	5.26	0.76
Max Chl Dpth (m)	3.10	Hydr. Depth (m)	0.22	1.77	0.19
Conv. Total (m3/s)	1375.6	Conv. (m3/s)	17.7	1355.5	2.4
Length Wtd. (m)	31.44	Wetted Per. (m)	12.35	19.97	2.23
Min Ch El (m)	22.90	Shear (N/m2)	36.27	280.04	30.55
Alpha	1.14	Stream Power (N/m s)	31.10	1474.36	23.36
Frctn Loss (m)	0.22	Cum Volume (1000 m3)	1.61	3.49	1.07
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)	1.87	1.56	1.63

CROSS SECTION

RIVER: Rozze  
REACH: alveo RS: 40

**INPUT**

Description:

Station Elevation Data		num=	63							
Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	
0	25.77	1	25.6	2	25.43	3	25.41	4	25.33	
5	25.28	6	25.27	7	25.17	8	25.06	9	25.01	
10	24.9	11	24.87	12	24.87	13	24.87	14	24.85	
15	24.82	16	24.82	17	24.72	18	24.7	19	24.69	
20	24.7	21	24.72	22	24.71	23	24.69	24	24.65	
25	24.62	26	24.52	27	24.62	28	24.67	29	24.38	
30	23.67	31	22.74	32	22.42	33	22.71	34	23.11	
35	23.45	36	24.25	37	24.54	38	24.81	39	25.29	
40	25.71	41	26.03	42	26.27	43	26.27	44	26.24	
45	26.31	46	26.63	47	27.03	48	27.4	49	27.8	
50	27.82	51	27.99	52	28.3	53	28.57	54	28.76	
55	28.83	56	28.96	57	29.1	58	29.24	59	29.47	

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00422
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 66 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

60 29.63 61 29.82 62 29.95

Manning's n Values num= 3  
Sta n Val Sta n Val Sta n Val  
0 .055 28 .035 37 .055

Bank Sta: Left Right Lengths: Left Channel Right Coeff Contr. Expan.  
28 37 33.36 33.36 33.36 .1 .3

CROSS SECTION OUTPUT Profile #TR200

E.G. Elev (m)	26.89	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.70	Wt. n-Val.	0.055	0.035	0.055
W.S. Elev (m)	26.18	Reach Len. (m)	33.36	33.36	33.36
Crit W.S. (m)	26.18	Flow Area (m2)	35.00	24.31	3.69
E.G. Slope (m/m)	0.007830	Area (m2)	35.00	24.31	3.69
Q Total (m3/s)	179.30	Flow (m3/s)	64.60	109.82	4.88
Top Width (m)	41.64	Top Width (m)	28.00	9.00	4.64
Vel Total (m/s)	2.85	Avg. Vel. (m/s)	1.85	4.52	1.32
Max Chl Dpth (m)	3.76	Hydr. Depth (m)	1.25	2.70	0.79
Conv. Total (m3/s)	2026.3	Conv. (m3/s)	730.1	1241.1	55.2
Length Wtd. (m)	33.36	Wetted Per. (m)	28.48	10.18	4.93
Min Ch El (m)	22.42	Shear (N/m2)	94.35	183.38	57.35
Alpha	1.70	Stream Power (N/m s)	174.15	828.37	75.95
Frctn Loss (m)	0.30	Cum Volume (1000 m3)	1.02	2.59	1.01
C & E Loss (m)	0.03	Cum SA (1000 m2)	1.24	1.12	1.52

CROSS SECTION

RIVER: Rozze  
REACH: alveo RS: 30

INPUT

Description:

Station Elevation Data num= 65

Sta	Elev								
0	25.43	1	25.46	2	25.39	3	25.29	4	25.26
5	25.25	6	25.26	7	25.26	8	25.22	9	25.16
10	25.12	11	25.04	12	24.89	13	24.76	14	24.74
15	24.66	16	24.6	17	24.56	18	24.47	19	24.22
20	23.93	21	23.63	22	23.34	23	23.07	24	22.68
25	22.07	26	22.06	27	22.19	28	22.6	29	23.11
30	23.74	31	24.03	32	24.23	33	24.43	34	24.55
35	24.53	36	24.67	37	24.73	38	24.74	39	24.76
40	24.82	41	24.98	42	25.11	43	25.1	44	25.11
45	25.18	46	25.23	47	25.39	48	25.45	49	25.42
50	25.4	51	25.39	52	25.39	53	25.53	54	25.67
55	25.88	56	26.11	57	26.32	58	26.46	59	26.55
60	26.72	61	26.98	62	27.23	63	27.33	64	27.57

Manning's n Values num= 3  
Sta n Val Sta n Val Sta n Val  
0 .055 18 .035 33 .055

Bank Sta: Left Right Lengths: Left Channel Right Coeff Contr. Expan.  
18 33 31.28 31.28 31.28 .1 .3

CROSS SECTION OUTPUT Profile #TR200

E.G. Elev (m)	26.55	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	1.03	Wt. n-Val.	0.055	0.035	0.055
W.S. Elev (m)	25.52	Reach Len. (m)	31.28	31.28	31.28
Crit W.S. (m)	25.81	Flow Area (m2)	8.49	33.45	9.47
E.G. Slope (m/m)	0.010313	Area (m2)	8.49	33.45	9.47
Q Total (m3/s)	179.30	Flow (m3/s)	9.44	159.24	10.61
Top Width (m)	52.93	Top Width (m)	18.00	15.00	19.93
Vel Total (m/s)	3.49	Avg. Vel. (m/s)	1.11	4.76	1.12
Max Chl Dpth (m)	3.46	Hydr. Depth (m)	0.47	2.23	0.48

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00422
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 67 di 69 Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

Conv. Total (m3/s)	1765.6	Conv. (m3/s)	93.0	1568.1	104.5
Length Wtd. (m)	31.28	Wetted Per. (m)	18.13	15.91	20.00
Min Ch El (m)	22.06	Shear (N/m2)	47.32	212.57	47.87
Alpha	1.67	Stream Power (N/m s)	52.66	1012.07	53.68
Frctn Loss (m)	0.28	Cum Volume (1000 m3)	0.29	1.62	0.79
C & E Loss (m)	0.06	Cum SA (1000 m2)	0.47	0.72	1.11

CROSS SECTION

RIVER: Rozze  
REACH: alveo RS: 20

INPUT

Description:

Station Elevation Data		num= 66		Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev
0	25.7	1	25.61	2	25.4	3	25.33	4	25.34		
5	25.4	6	25.36	7	25.31	8	25.12	9	24.75		
10	24.36	11	23.95	12	23.63	13	23.43	14	23.27		
15	23.08	16	22.81	17	22.41	18	21.6	19	21.85		
20	22.49	21	22.79	22	23.09	23	23.42	24	23.6		
25	23.65	26	23.71	27	23.83	28	23.9	29	23.9		
30	24.03	31	24.16	32	24.21	33	24.24	34	24.39		
35	24.39	36	24.43	37	24.49	38	24.59	39	24.6		
40	24.6	41	24.66	42	24.74	43	24.74	44	24.72		
45	24.82	46	24.94	47	25.02	48	25.11	49	25.3		
50	25.4	51	25.48	52	25.56	53	25.58	54	25.55		
55	25.54	56	25.56	57	25.65	58	25.8	59	26.05		
60	26.26	61	26.3	62	26.4	63	26.5	64	26.58		
65	26.68										

Manning's n Values		num= 3		Sta	n Val	Sta	n Val	Sta	n Val
0	.055	13	.035	24	.055				

Bank Sta:	Left	Right	Lengths:	Left Channel	Right	Coeff Contr.	Expan.
	13	24		21.9	21.9	21.9	.1 .3

CROSS SECTION OUTPUT Profile #TR200

E.G. Elev (m)	26.22	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.91	Wt. n-Val.	0.055	0.035	0.055
W.S. Elev (m)	25.31	Reach Len. (m)	21.90	21.90	21.90
Crit W.S. (m)	25.39	Flow Area (m2)	5.70	28.12	22.52
E.G. Slope (m/m)	0.008822	Area (m2)	5.70	28.12	22.52
Q Total (m3/s)	179.30	Flow (m3/s)	9.03	134.62	35.65
Top Width (m)	42.21	Top Width (m)	6.07	11.00	25.14
Vel Total (m/s)	3.18	Avg. Vel. (m/s)	1.58	4.79	1.58
Max Chl Dpth (m)	3.71	Hydr. Depth (m)	0.94	2.56	0.90
Conv. Total (m3/s)	1909.0	Conv. (m3/s)	96.2	1433.3	379.5
Length Wtd. (m)	21.90	Wetted Per. (m)	6.38	11.81	25.23
Min Ch El (m)	21.60	Shear (N/m2)	77.32	206.09	77.21
Alpha	1.76	Stream Power (N/m s)	122.52	986.48	122.24
Frctn Loss (m)	0.27	Cum Volume (1000 m3)	0.07	0.66	0.29
C & E Loss (m)	0.06	Cum SA (1000 m2)	0.10	0.32	0.41

CROSS SECTION

RIVER: Rozze  
REACH: alveo RS: 10

INPUT

Description:

Station Elevation Data		num= 67		Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev
------------------------	--	---------	--	-----	------	-----	------	-----	------	-----	------

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00422
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 68 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80422

0	26.01	1	25.72	2	25.52	3	25.43	4	25.37
5	25.36	6	25.26	7	25.13	8	25.02	9	24.8
10	24.65	11	24.51	12	24.26	13	23.97	14	23.96
15	23.81	16	23.51	17	22.55	18	21.11	19	20.98
20	21.4	21	21.62	22	21.9	23	22.46	24	22.46
25	22.64	26	22.78	27	22.95	28	23.13	29	23.31
30	23.55	31	23.72	32	23.92	33	23.93	34	23.93
35	24.01	36	24.03	37	24.03	38	24.03	39	24.1
40	24.2	41	24.29	42	24.27	43	24.39	44	24.42
45	24.55	46	24.57	47	24.59	48	24.61	49	24.71
50	24.78	51	24.84	52	24.91	53	25.08	54	25.13
55	25.21	56	25.3	57	25.37	58	25.37	59	25.34
60	25.39	61	25.54	62	25.83	63	26.11	64	26.19
65	26.33	66	26.41						

Manning's n Values	num=	3
Sta n Val	Sta n Val	Sta n Val
0 .055	14 .035	32 .055

Bank Sta: Left	Right	Lengths: Left	Channel	Right	Coeff Contr.	Expan.
14	32	0	0	0	.1	.3

CROSS SECTION OUTPUT Profile #TR200

E.G. Elev (m)	25.89	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	1.46	Wt. n-Val.	0.055	0.035	0.055
W.S. Elev (m)	24.44	Reach Len. (m)			
Crit W.S. (m)	24.92	Flow Area (m2)	0.85	32.03	3.85
E.G. Slope (m/m)	0.018796	Area (m2)	0.85	32.03	3.85
Q Total (m3/s)	179.30	Flow (m3/s)	0.97	173.86	4.47
Top Width (m)	32.83	Top Width (m)	2.70	18.00	12.12
Vel Total (m/s)	4.88	Avg. Vel. (m/s)	1.14	5.43	1.16
Max Chl Dpth (m)	3.46	Hydr. Depth (m)	0.32	1.78	0.32
Conv. Total (m3/s)	1307.8	Conv. (m3/s)	7.1	1268.2	32.6
Length Wtd. (m)		Wetted Per. (m)	2.77	19.63	12.15
Min Ch El (m)	20.98	Shear (N/m2)	56.88	300.71	58.46
Alpha	1.20	Stream Power (N/m s)	64.74	1632.40	67.78
Frctn Loss (m)		Cum Volume (1000 m3)			
C & E Loss (m)		Cum SA (1000 m2)			

SUMMARY OF MANNING'S N VALUES

River: Rozze

Reach	River Sta.	n1	n2	n3
alveo	60	.055	.035	.055
alveo	50	.055	.035	.055
alveo	40	.055	.035	.055
alveo	30	.055	.035	.055
alveo	20	.055	.035	.055
alveo	10	.055	.035	.055

SUMMARY OF REACH LENGTHS

River: Rozze

Reach	River Sta.	Left	Channel	Right
alveo	60	30.02	30.02	30.02
alveo	50	31.44	31.44	31.44
alveo	40	33.36	33.36	33.36
alveo	30	31.28	31.28	31.28
alveo	20	21.9	21.9	21.9

