

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 1 di 69		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

PROGETTO

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

Attraversamento in subalveo

FOSSO DELLA MADONNA

(km: 46,160)

STUDIO IDROLOGICO - IDRAULICO E RELAZIONE TECNICA DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA

0	Emissione	Vitelli	Caccavo	Santi	Gen. 2022
Rev.	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato	Data

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 2 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

INDICE

1	GENERALITÀ	4
1.1	Premessa	4
1.2	Scopo e descrizione dell'elaborato	4
1.3	Disegno di Attraversamento	5
2	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	6
3	CARATTERIZZAZIONE DELL'AMBITO IN ESAME	8
3.1	Assetto idrografico e descrizione generale del bacino del corso d'acqua	8
3.2	Descrizione dell'area di attraversamento	9
3.3	Indagini di caratterizzazione litostratigrafica	11
4	VALUTAZIONI IDROLOGICHE	13
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 Bibbona – Descrizione sintetica	15
	4.4.1 <i>Corsi d'acqua oggetto di analisi</i>	15
	4.4.2 <i>Analisi dei sottobacini</i>	15
	4.4.3 <i>Analisi idrologica - Cenni</i>	17
4.5	Studio Comune di Bibbona - selezione risultati di interesse	21
4.6	Portata di progetto	22
5	STUDIO IDRAULICO IN MOTO PERMANENTE	23
5.1	Presupposti e limiti dello studio	23
5.2	Assetto geometrico e modellazione dell'alveo	24
	5.2.1 <i>Assetto geometrico di modellazione</i>	24
	5.2.2 <i>Dati di input e condizioni al contorno</i>	26
5.3	Risultati della simulazione idraulica	26
5.4	Analisi dei risultati conseguiti	32
6	VALUTAZIONE EROSIONI DI FONDO ALVEO	33
6.1	Generalità	33
6.2	Criteri di calcolo	34
6.3	Stima dei massimi approfondimenti d'alveo attesi	36
6.4	Analisi dei risultati e considerazioni progettuali	36
7	METODOLOGIA COSTRUTTIVA E SCELTE PROGETTUALI	37
7.1	Metodologia costruttiva: TOC	37
7.2	Configurazione geometrica di progetto	37
7.3	Considerazione inerenti alla geometria di trivellazione	38

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 3 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

7.4 Descrizione del sistema operativo TOC 38

8 VALUTAZIONI INERENTI ALLA COMPATIBILITA' IDRAULICA 44

8.1 Quadro normativo generale 44

8.1.1 Direttiva 2007/60/CE (Floods Directive - FD") 44

8.1.2 D.Lgs. 49/2010 44

8.1.3 Piani di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) 45

8.2 Quadro normativo di riferimento per l'ambito in esame 47

8.2.1 Premessa 47

8.2.2 PGRA del Distretto Appennino Settentrionale 47

8.2.3 L.R. n. 41/2018 49

8.3 Interferenze con PGRA nell'ambito di attraversamento del corso d'acqua 50

8.4 Analisi delle condizioni di compatibilità idraulica 51

8.4.1 Considerazioni di carattere generale 51

8.4.2 Considerazioni specifiche inerenti all'ambito di attraversamento del corso d'acqua 51

8.5 Considerazioni conclusive sulla compatibilità idraulica 53

9 CONCLUSIONI 54

APPENDICE 1: COLONNE STRATIGRAFICHE DEI SONDAGGI 56

APPENDICE 2: STUDIO IDRAULICO / METODOLOGIA DI CALCOLO 58

APPENDICE 3: STUDIO IDRAULICO / REPORT PROGRAMMA HEC RAS 63

ANNESSO:

- **Disegno di Attraversamento (cfr. par.1.3)**

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 4 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

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 della MADONNA nel territorio comunale Bibbona (LI), in prossimità della località "Calcinaiola".

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-00413
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 5 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

- 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-3B-01415**
"Rifacimento Metanodotto Livorno-Piombino", DN750 (30");
 Attraversamento Fosso della Madonna (TOC)

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-00413
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 6 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'attraversamento dell'alveo del fosso di Bolgheri da parte del metanodotto in progetto "Rifacimento Met. Livorno – Piombino, DN750" ricade nel territorio comunale Bibbona (LI), in prossimità della località Calcinaiola.

Dal punto di vista idrografico, l'ambito di attraversamento ricade nel tratto medio-basso dello sviluppo del corso d'acqua (a circa 4.3 km dalla foce in mare), immediatamente a valle di una cassa di espansione in sinistra idrografica, e a monte della confluenza del suo principale affluente fosso delle Tane (la cui immissione avviene in prossimità della foce).

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.

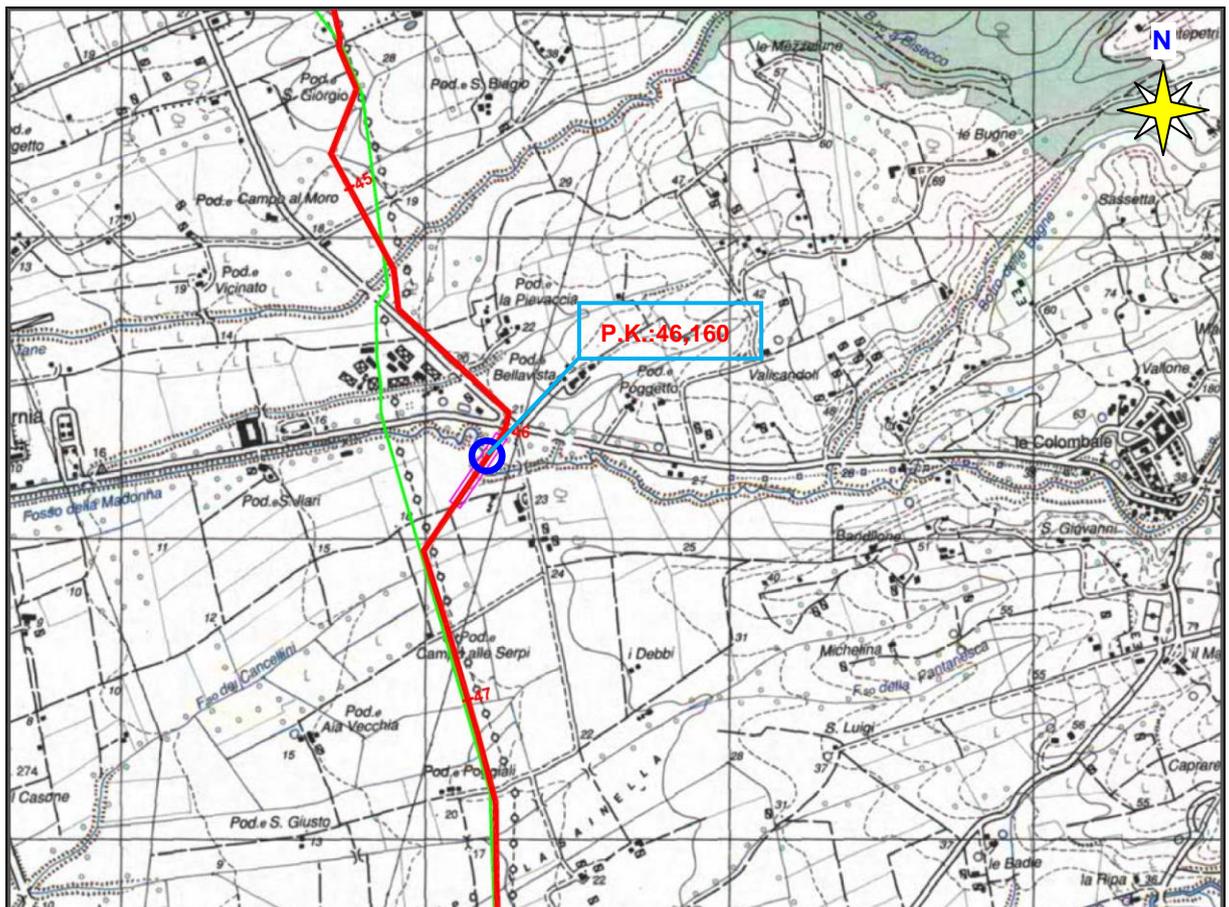


Fig.2.1/A: Corografia generale in scala 1:25.000 (dalle tavolette IGM)

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 7 di 69

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

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	1627138 m E	4792040 m N

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

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

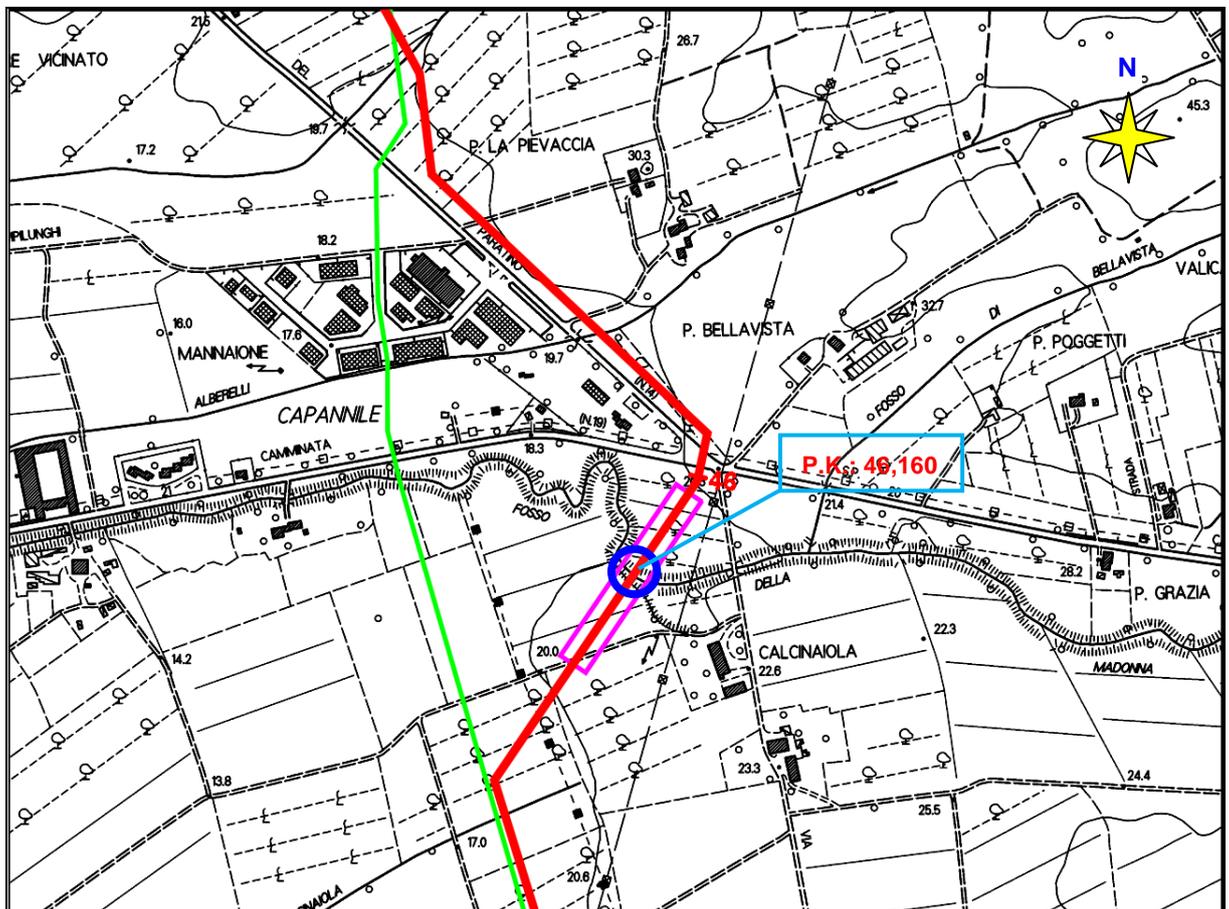


Fig.2.1/B: Stralcio planimetrico in scala 1:10.000 (C.T.R. Regionali)

Dall'analisi della figura precedente si rileva che l'ambito di attraversamento del corso d'acqua da parte del tracciato del metanodotto in progetto (DN750) è ubicato a circa 550m a monte dell'attraversamento del metanodotto in esercizio (DN400).

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413	
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 8 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

3 CARATTERIZZAZIONE DELL'AMBITO IN ESAME

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

Il fosso della Madonna è un corso d'acqua di significativa rilevanza, ricadente nell'UoM Toscana Costa del Distretto Idrografico dell'Appennino Settentrionale.

Il fosso della Madonna è caratterizzato da un bacino complessivo di superficie di oltre 24 km², ricadente principalmente nel territorio del comune di Bibbona (LI) e marginalmente (nella parte sommitale) nel comune di Casale Marittimo (PI).

Il corso d'acqua si origina sui rilievi collinari posti a Sud-Est dell'abitato di Casale Marittimo, si sviluppa per i primi 4.5km in direzione Sud-Ovest, fino ad attraversare l'abitato di Bibbona. Da qui esegue una deviazione e si sviluppa in direzione Ovest; dopo aver fiancheggiato l'abitato di Bibbona, e dopo un percorso complessivo di circa per circa 11.5km, sfocia in mare in prossimità del margine settentrionale del territorio di Bibbona.

Il fosso delle Tane rappresenta l'unico affluente significativo (con bacino di oltre 9 km²), che si immette nel Madonna da destra nel tratto terminale dello sviluppo dell'asta fluviale (a circa 250m dalla foce).

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-00413
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 9 di 69

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

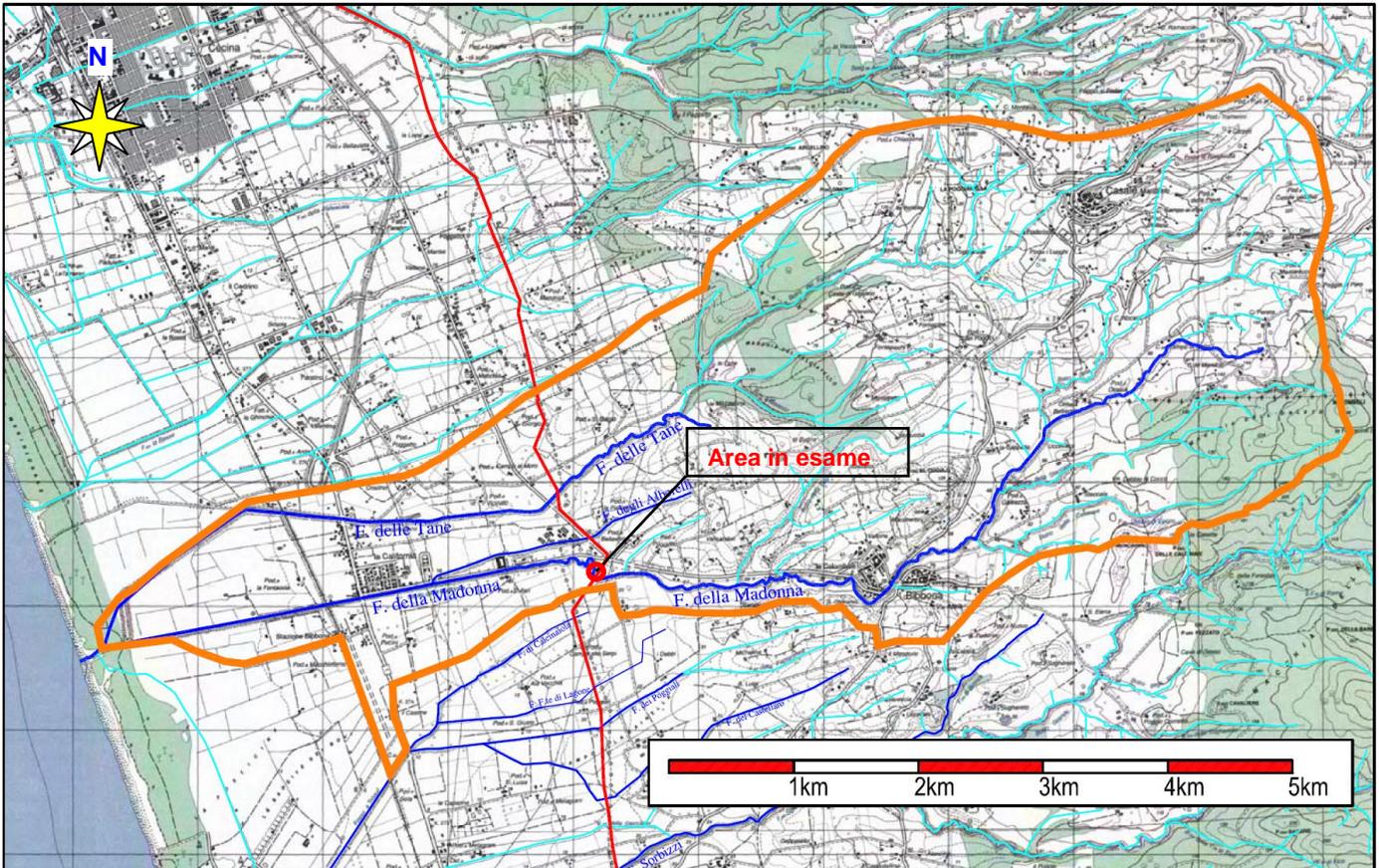


Fig.3.1/A: Bacino complessivo del corso d'acqua ed indicazione dell'ambito di studio

Dall'esame della figura precedente si rileva che l'attraversamento del metanodotto in progetto ricade nel tratto medio-basso dello sviluppo del corso d'acqua (a circa 4.3 km dalla foce in mare) e a monte dell'immissione del fosso delle Tane (suo principale affluente), la cui confluenza avviene in prossimità della foce.

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 medio-basso dello sviluppo dell'asta fluviale del corso d'acqua, in prossimità della località Calcinaiola.

In corrispondenza dell'area di attraversamento, il corso d'acqua assume un andamento longitudinale moderatamente sinuoso. La sezione d'alveo nel punto d'interferenza si presenta con una configurazione incisa, a forma trapezia.

Il fondo alveo, costituito da ghiaia e ciottoli di piccole dimensioni in matrice sabbiosa, presenta una larghezza al fondo di circa 3-4m. La sponda sinistra si eleva dal fondo alveo per circa 6m; mentre la sponda destra è più bassa di un paio di metri e presenta un piccolo arginello in corrispondenza del ciglio spondale. Entrambe le sponde sono significativamente acclivi e sono coperte da una cotica erbosa.

Poco a valle del punto di attraversamento si individua una significativa erosione localizzata del tratto basale della sponda in sinistra idrografica; mentre non si rilevano fenomeni erosivi sul fondo alveo.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 10 di 69	Rev. 0	

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

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)

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

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 11 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413



Fig.3.2/B: Foto ambito d'attraversamento

3.3 Indagini di caratterizzazione litostratigrafica

Per l'acquisizione degli elementi che hanno permesso di esprimere un giudizio sui litotipi dei terreni presenti nell'ambito fluviale in esame, recentemente (nell'estate del 2021), è stata eseguita una campagna geognostica consistente nell'esecuzione di n.1 sondaggio a carotaggio continuo, n.1 prova penetrometrica statica ed una prospezione geoelettrica sviluppata lungo il profilo di trivellazione.

In aggiunta è stato recuperato la colonna stratigrafica di ulteriore sondaggio effettuato nel 2009 nella medesima area di attraversamento, nell'ambito del progetto del metanodotto SRG "Piombino -Collesalveti" (intervento mai realizzato).

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

- LP-B-B33: nel lato in sx idrografica del corso d'acqua (prof.20m);
- S22 (anno 2009): nel lato in dx idrografica del corso d'acqua (prof.15m);

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA	REL-CI-E-00413	
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 12 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

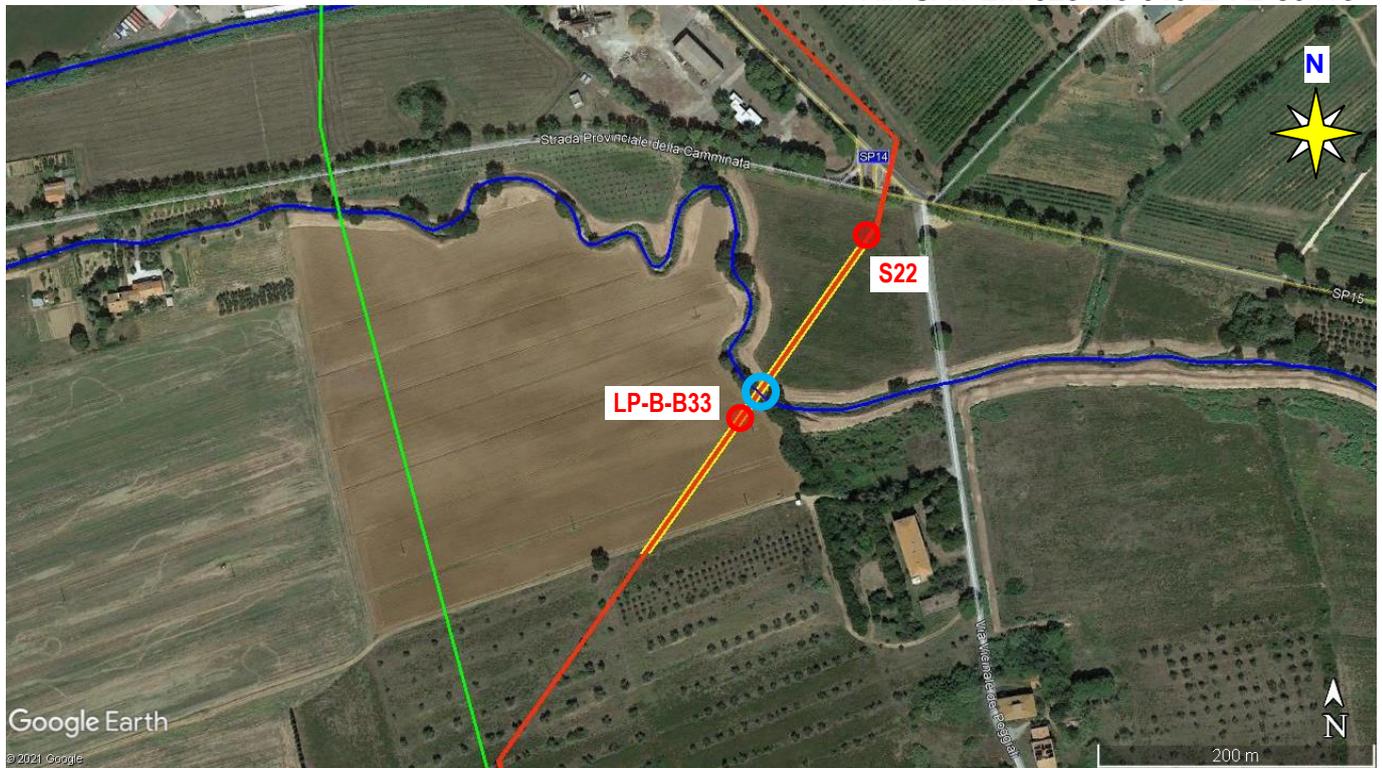


Fig.3.3/A: Foto aerea dell'ambito di attraversamento, con ubicazione dei sondaggi geognostici

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

In particolare dall'analisi della colonna stratigrafica del sondaggio S22 (in destra idrografica), emerge la presenza per i primi 6m di profondità di terreni limosi consistenti, con presenze di concrezioni calcarei. Sotto il livello limoso s'individuano delle alternanze tra livelli di ghiaia, di sabbia media- grossolana, e di argilla.

Dall'esame della colonna stratigrafica del sondaggio LP-B-B33 (in sinistra idrografica), s'individuano nei primi 7m circa delle alternanze tra livelli di argille sabbiosa e di sabbie argillose; poi si rileva la presenza di un livello di sabbie addensate e/o molto addensate.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 13 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

4 VALUTAZIONI IDROLOGICHE

4.1 Generalità

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

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

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

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

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

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

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

4.2 Considerazioni specifiche preliminari

Per le valutazioni idrologiche nell'ambito specifico in esame ci si riferisce esplicitamente ai risultati degli "studi ufficiali" condotti lungo l'asta fluviale del corso d'acqua e con particolare riferimento allo studio idrologico ed idraulico redatto a supporto del Regolamento Urbanistico del Comune di Bibbona - Approvazione complessiva C.C. 27 del 30.03.2018.

In tal senso, nel seguito, si provvederà a riportare dei cenni sulle metodologie di elaborazione idrologiche 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 del metanodotto in progetto, che ricade nel tratto medio – basso dello sviluppo del corso d'acqua, a circa 4.3 km 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.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA	REL-CI-E-00413	
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 14 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

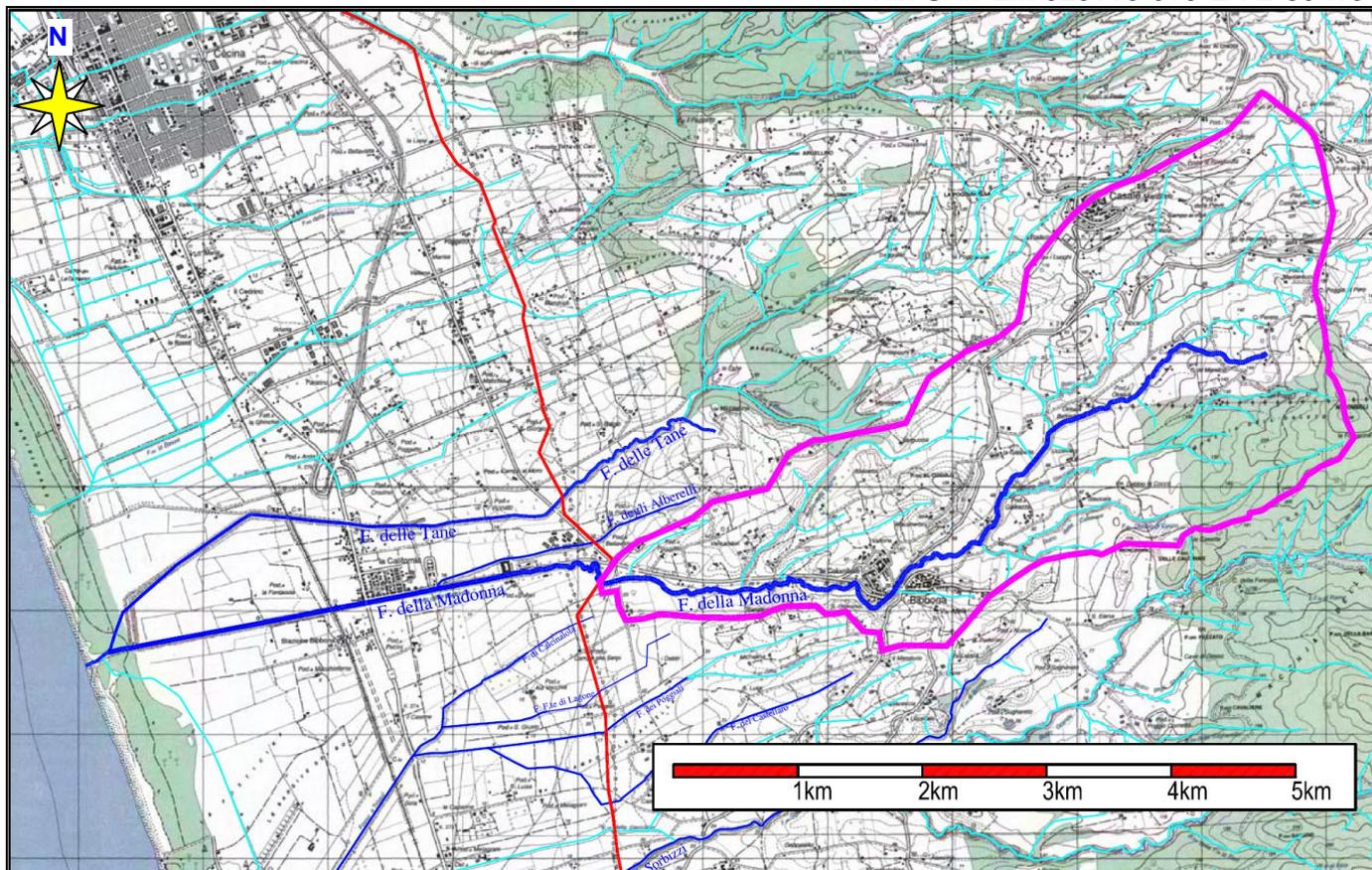


Fig.4.3/A: Bacino Imbrifero sotteso dalla sezione di studio

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 della Madonna	Sez. Attrav.	11.8	7	338	16

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 15 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

4.4 Studio Comune di Bibbona – Descrizione sintetica

4.4.1 Corsi d'acqua oggetto di analisi

Lo studio idrologico ed idraulico redatto a supporto del Terzo Regolamento Urbanistico del comune di Bibbona ha analizzato i seguenti corsi d'acqua, da nord a sud:

- fosso delle Tane;
- fosso della Madonna;
- fosso Trogoli;
- fosso dei Sorbizzi;
- fosso di Camilla;

In aggiunta sono stati presi in esame in corsi d'acqua minori affluenti di quelli precedentemente citati, tra cui si cita: il fosso degli Alberelli, il fosso di Calcinaiola, il fosso Fonte di Lagone, il fosso dei Poggiali, il fosso del Castellaro, il fosso del Livrone.

4.4.2 Analisi dei sottobacini

Sono stati individuati n.2 sistemi idrografici:

- Sistema idrografico Nord: nell'ambito della quale i corsi d'acqua principali sono rappresentati dal fosso della Madonna e dall'affluente fosso delle Tane;
- Sistema idrografico Sud: nell'ambito della quale i corsi d'acqua principali sono rappresentati dal fosso di Camilla e dagli affluenti fosso Trogoli e fosso dei Sorbizzi.

Nelle tabelle seguenti sono riportate le caratteristiche dei vari sottobacini ricadenti nei due sistemi idrografici citati.

Tab.4.4/A: Caratteristiche dei bacini Nord

Bacino	Superficie	Hmax	Hmin	Hmed	i %	L (km)
Mad_1	8.54	332.35	39.81	110.00	15.2%	5.90
Mad_3	1.47	106.14	27.17	70.00	9.4%	2.70
Mad_2	1.02	100.00	27.30	60.00	9.7%	3.00
Mad_4	0.99	60.00	11.40	27.46	3.5%	3.60
Alb	0.99	70.00	10.88	21.15	2.9%	2.20
Mad_5	2.32	20.00	2.15	9.94	0.5%	2.70
Tan-1	6.31	271.54	23.67	90.00	13.9%	6.30
Tan-2	3.13	69.88	2.01	19.36	1.8%	4.90
Fosso_delle_Basse	3.06	10.00	2.07	4.53	0.5%	2.00

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 16 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

Tab.4.4/B: Caratteristiche dei bacini Sud

Bacino	Superficie	Hmax	Hmin	Hmed	i %	L (km)
So_1a	9.83	410.00	34.99	143.30	18.2%	6.80
So_1b	6.13	590.00	35.12	245.20	27.6%	7.00
So_2	0.56	70.58	29.09	45.17	5.3%	0.60
Bad	0.47	90.00	29.70	60.00	4.7%	1.40
So_3	2.98	40.00	7.73	12.92	1.4%	3.20
Cam_2	8.70	447.74	10.68	68.58	10.6%	7.70
Cam_1	7.98	552.93	10.74	150.47	17.4%	11.10
Liv1	7.39	290.00	2.53	42.58	6.5%	7.00
Cam_3	0.81	14.88	2.15	9.69	1.0%	2.40
Liv2	0.44	9.51	2.77	6.05	0.6%	0.10
Cam_4	0.03	2.15	1.33	1.50	0.1%	0.70
Cam_5	3.98	22.27	1.04	4.16	0.5%	1.80
B-Pogg1	0.63	34.55	9.60	18.57	1.3%	1.70
B-Mich2	0.34	61.73	25.60	46.79	3.3%	1.40
B-Mich1	0.33	70.00	25.71	45.18	4.1%	1.50
B-Cast2	0.36	36.84	16.64	22.56	1.4%	1.10
B-Cast1	0.26	70.00	30.23	40.63	3.4%	1.10
B-Pogg2	0.39	11.96	6.75	9.08	0.5%	0.60
B-Lag2	0.50	24.36	7.70	14.79	1.0%	1.10
B-Lag1	0.44	43.43	16.82	27.07	1.9%	1.00
B-Calcin1	0.43	23.84	10.83	15.86	1.1%	1.10
B-Cancell1	0.25	11.56	7.50	9.69	0.5%	0.80
B-Cancell2	0.17	9.62	6.75	8.91	0.6%	0.30
B-Docc1	0.25	17.81	9.59	13.23	1.1%	1.20
Tro1	0.48	10.28	4.64	6.77	0.8%	1.50
Tro3	0.66	10.13	1.96	4.92	0.5%	1.50
Tro5	0.65	9.25	1.34	4.35	1.3%	1.60
Tro2	0.43	10.53	2.67	6.61	0.7%	1.40
Tro4	0.39	3.74	1.35	2.10	0.2%	0.80

Mentre nella figura seguente si riporta una planimetria con la delimitazione dei bacini (sia Nord, che Sud).

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fig. 17 di 69		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

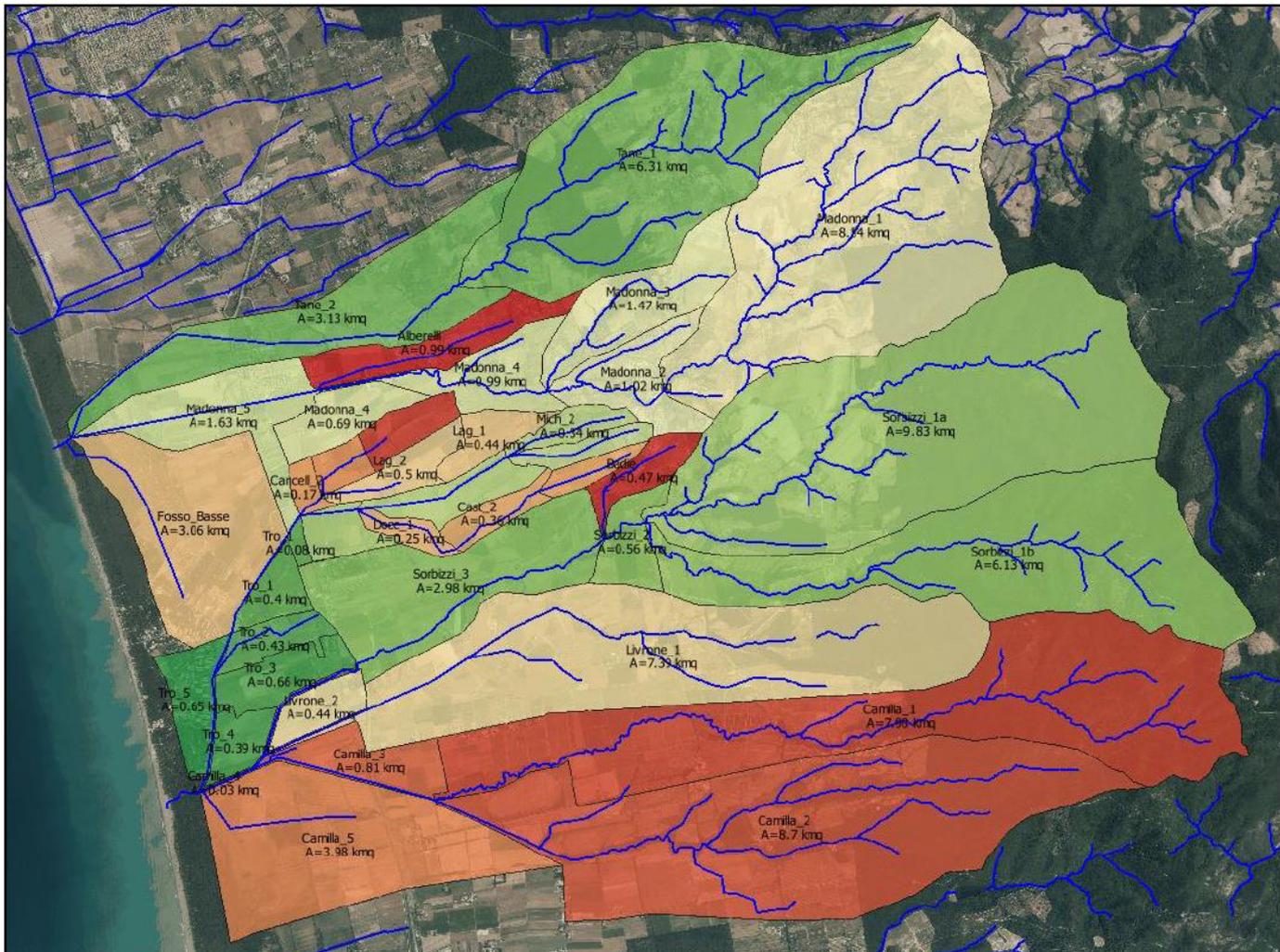


Fig.4.4/A: Bacini nord e sud della zona oggetto di studio

4.4.3 Analisi idrologica - Cenni

Pluviometria

La pluviometria è stata definita sulla base delle nuove curve di possibilità climatica predisposta dalla Regione Toscana ed aggiornata al 2012. Queste definiscono i parametri della formula monomia:

$$h=a t^n$$

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 di misura di Bibbona (TOS11000009) che per vicinanza è la più significativa tra quelle disponibili. I parametri della curva sono riportati nella tabella seguente

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 18 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

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

STAZIONE DI BIBBONA	a	n
Tr500	95.11	0.33853
Tr200	82.777	0.32465
Tr100	74.045	0.30704
Tr30	59.513	0.26117
Tr20	54.823	0.24319

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 sia quello ad intensità costante (in modo da determinare la durata critica) che quello tipo Chicago 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:

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

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 2013.

Trasformazione afflussi - deflussi

L'estensione dello studio ed il grado di dettaglio nella suddivisione dei bacini, nonché la diversità delle caratteristiche dei bacini esaminati ha suggerito l'applicazione di una metodologia che tenesse conto sia dei processi di scorrimento superficiale che del contributo degli invasi e degli immagazzinamenti. Per tale motivo si è scelto il metodo di Clark che esprime l'idrogramma di piena attraverso due parametri: il tempo di corrivazione T_c e la costante di ritardo R .

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 20 di 69

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

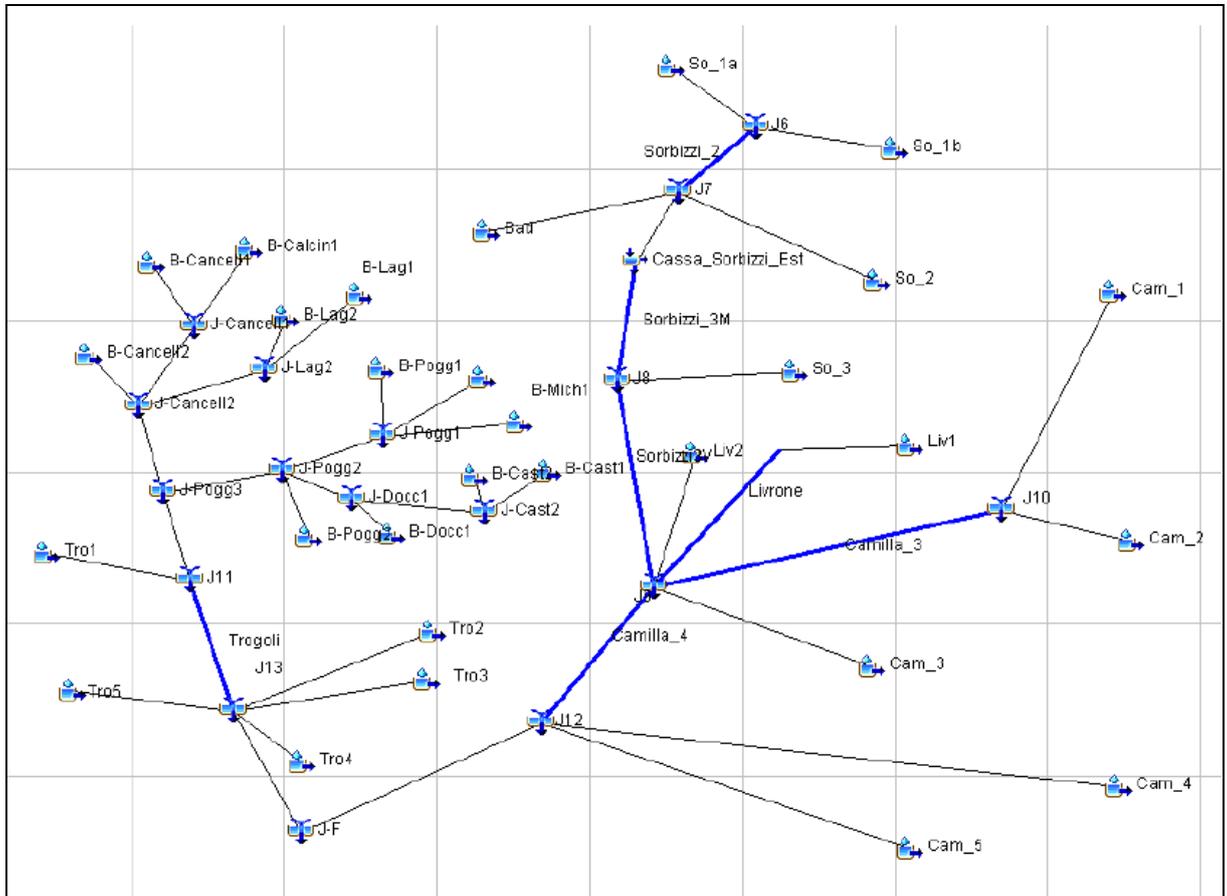


Fig.4.4/C: Schema Modello idrologico area Bibbona Sud

Nelle modellazioni sono state considerate la presenza delle Casse di espansione sul fosso della Madonna, sul fosso delle Tane e sul fosso dei Sorbizzi.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 21 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

4.5 Studio Comune di Bibbona - selezione risultati di interesse

Ai fini degli scopi di cui al presente elaborato risultano interessanti le valutazioni idrologiche effettuate sul fosso della Madonna (ricadente sistema idrografico Nord dello studio del Comune di Bibbona).

In tal senso qui di seguito si riportano i risultati delle valutazioni idrologiche sul corso d'acqua, valutati in funzione della durata di pioggia critica ed in considerazione dei tempi di ritorno di 200, 30 e 500 anni.

Tab.4.5/A: Portate di piena (TR=200, 30, 500 anni)

ID	S (kmq)	Tr200 3h -Chicago	Tr30 3h -Chicago	Tr500 3h -Chicago
Mad_1	8.54	79.82	42.27	99.73
J3	8.54	79.82	42.27	99.73
Madonna_2	8.54	79.44	42.2	99.08
Mad_3	1.47	20.41	11.09	25.34
Mad_2	1.02	13.87	7.61	17.18
J4-Cassa	11.03	98.33	51.81	122.91
Cassa_Madonna	11.03	78.49	49.79	120
Madonna_4	11.03	77.61	49.69	117.69
Mad_4	0.99	8.63	4.52	10.83
J1	12.02	83.79	53.82	126.82
J5	13.01	90.07	58.48	135.09
Mad_5	2.32	12.83	6.62	16.16
J4	15.33	101.69	64.15	151.04

Nella figura seguente si riporta invece lo schema planimetrico dei sottobacini, nel quale sono stati riportati il tracciato del metanodotto in progetto (linea rossa) e la delimitazione del bacino del corso d'acqua sotteso dalla sezione di attraversamento del metanodotto (in colore arancione). Nella stessa figura la cassa di espansione esistente sul corso d'acqua è riportata in colore giallo.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 22 di 69

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

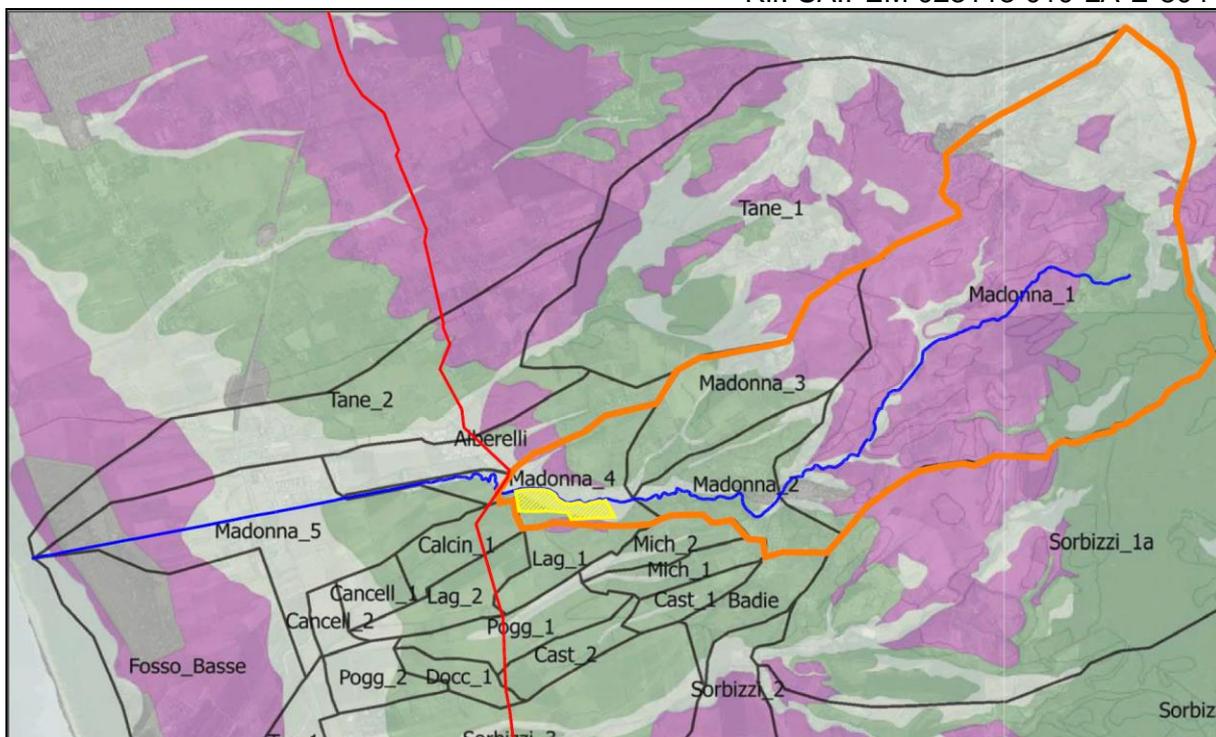


Fig.4.5/A: Sottobacini individuati per il corso d'acqua

Dall'analisi della figura precedente si rileva che l'ambito di attraversamento è localizzato immediatamente a valle della cassa di espansione sul corso d'acqua.

4.6 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 all'elemento "Cassa-Madonna", di uscita dalla cassa di espansione.

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/A: Portata di progetto

Corso d'acqua	Sezione Idrologica	Sup. Bacino (kmq)	Qprogetto (mc/s)	qmax (mc/s×kmq)
Fosso delle Madonna	Sezione di Attrav.	11.8	79*	6.69*

* Valore ridotto per effetto della laminazione della cassa d'espansione

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 23 di 69		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

5 STUDIO IDRAULICO IN MOTO PERMANENTE

5.1 Presupposti e limiti dello studio

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

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

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

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

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

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

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

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

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 24 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

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

5.2 Assetto geometrico e modellazione dell'alveo

5.2.1 Assetto geometrico di modellazione

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

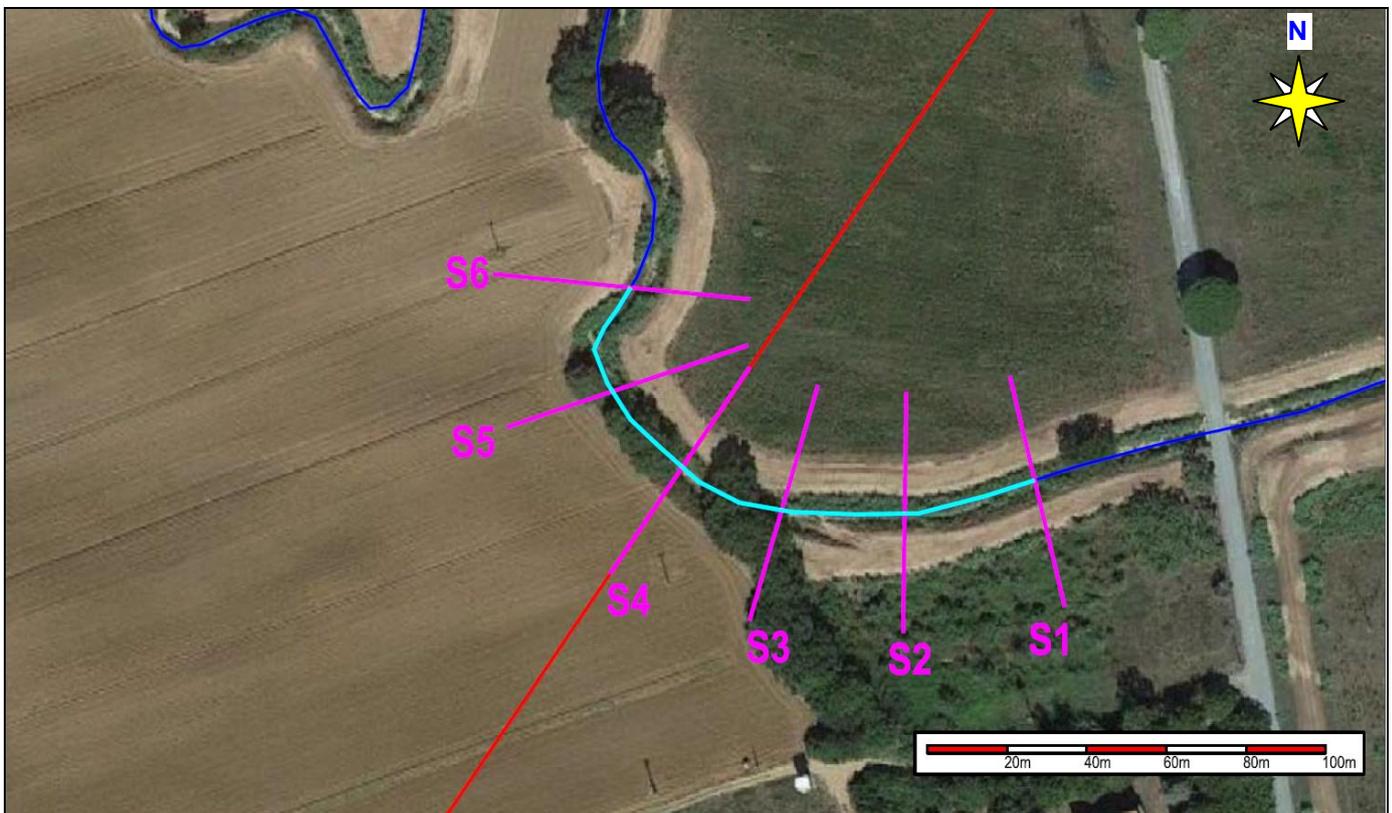


Fig.5.2/A: Foto aerea, con tronco d'alveo analizzato e sezioni di input

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 25 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

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

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

RIVER STATION	SEZIONE TOPOGRAFICA	PROGRESSIVA (m)	Dist. dalla Sez. successiva (m)	DESCRIZIONE
RS60	Sez.1	0.00	33.82	Sezione di monte
RS50	Sez.2	33.82	30.97	
RS40	Sez.3	64.79	27.85	
RS30	Sez.4	92.64	26.14	Sez. coincidente con l'Attrav.
RS20	Sez.5	118.78	29.83	
RS10	Sez.6	148.61	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.

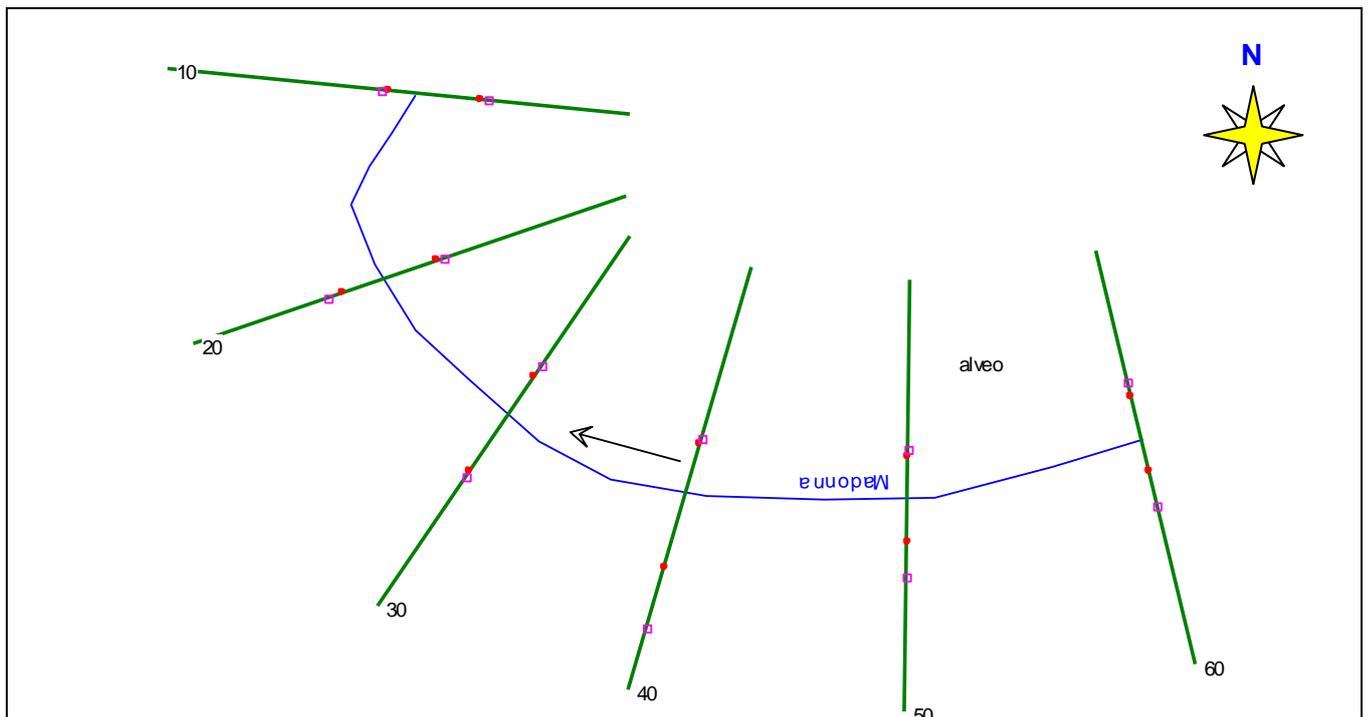


Fig.5.2/B: Modellazione geometrica in Hec Ras (RS60 a monte e RS10 a valle)

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 26 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

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:

- $Q_{200}=79.0$ 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:

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

5.3 Risultati della simulazione idraulica

I tabulati di Report dell'elaborazione idraulica (in forma estesa) sono riportati in *Appendice 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.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 27 di 69

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

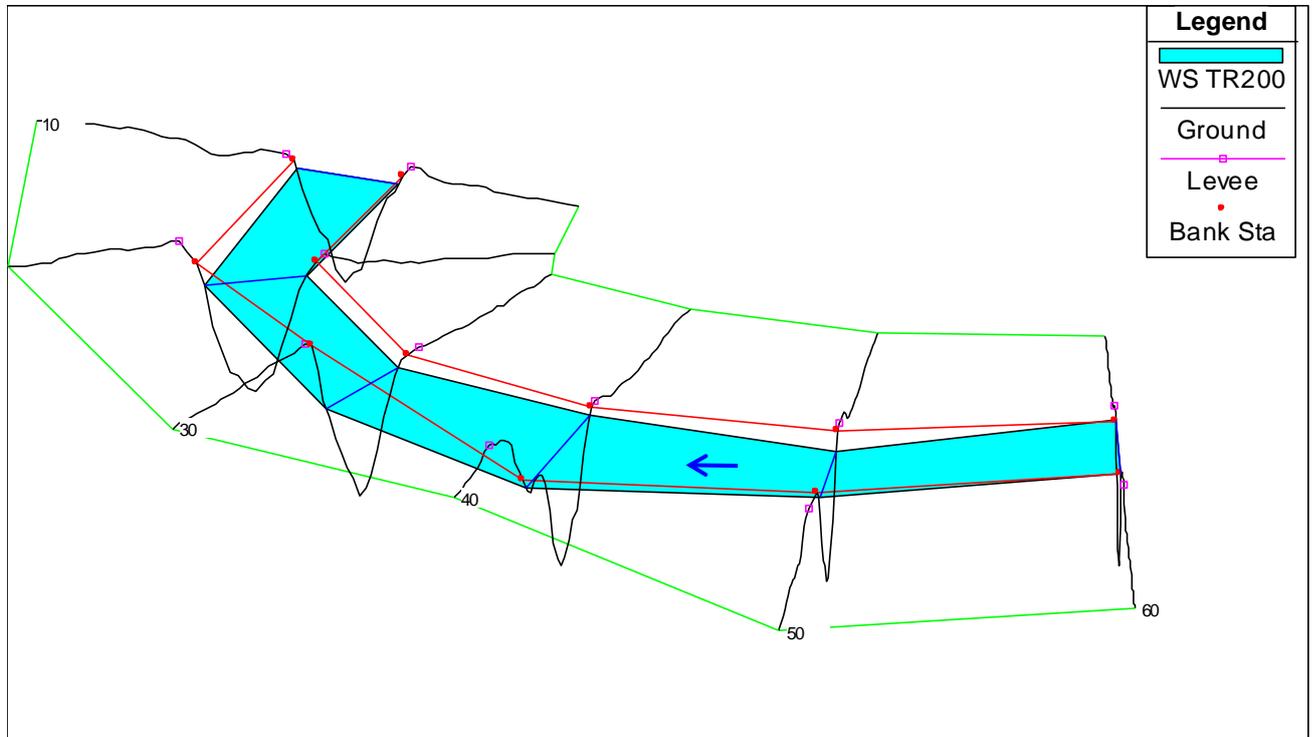


Fig.5.3/A: Schermata di Output del programma – visione prospettica (RS60: monte /RS10: valle)

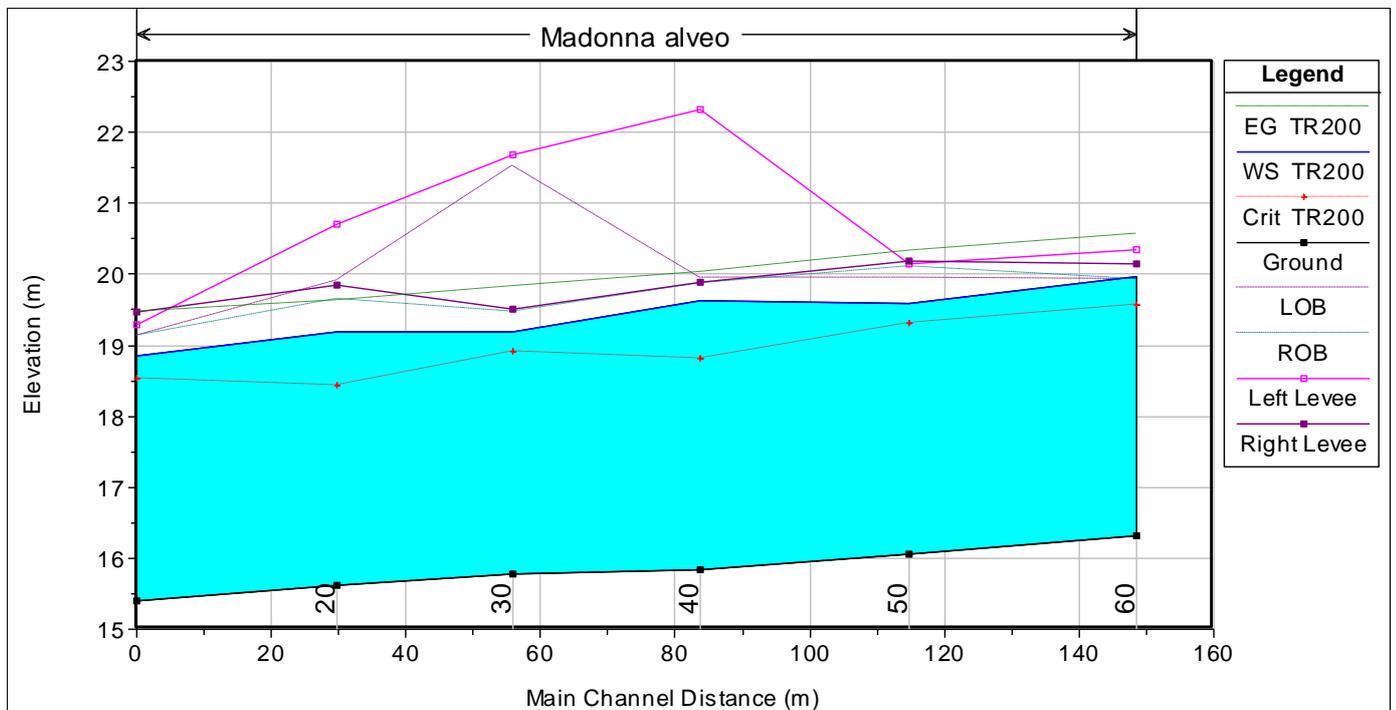


Fig.5.3/B: Schermata di Output del programma – Profilo longitudinale

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 28 di 69		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

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 Chan (N/m2)	Froude Chl
60	79	79.00	16.32	19.96	19.56	20.57	0.0066	3.46	22.84	11.39	11.00	2.08	107.74	0.77
50	79	79.00	16.06	19.59	19.31	20.32	0.0079	3.78	20.88	10.04	10.04	2.08	129.07	0.84
40	79	79.00	15.83	19.63	18.81	20.02	0.0050	2.77	28.5	16.81	16.81	1.7	72.09	0.68
30	79	79.00	15.78	19.2	18.91	19.83	0.0073	3.53	22.35	12.01	12.01	1.86	114.17	0.83
20	79	79.00	15.61	19.2	18.43	19.63	0.0041	2.93	26.94	11.88	11.88	2.27	74.53	0.62
10	79	79.00	15.4	18.85	18.54	19.46	0.0070	3.46	22.81	12.18	12.18	1.87	109.61	0.81

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

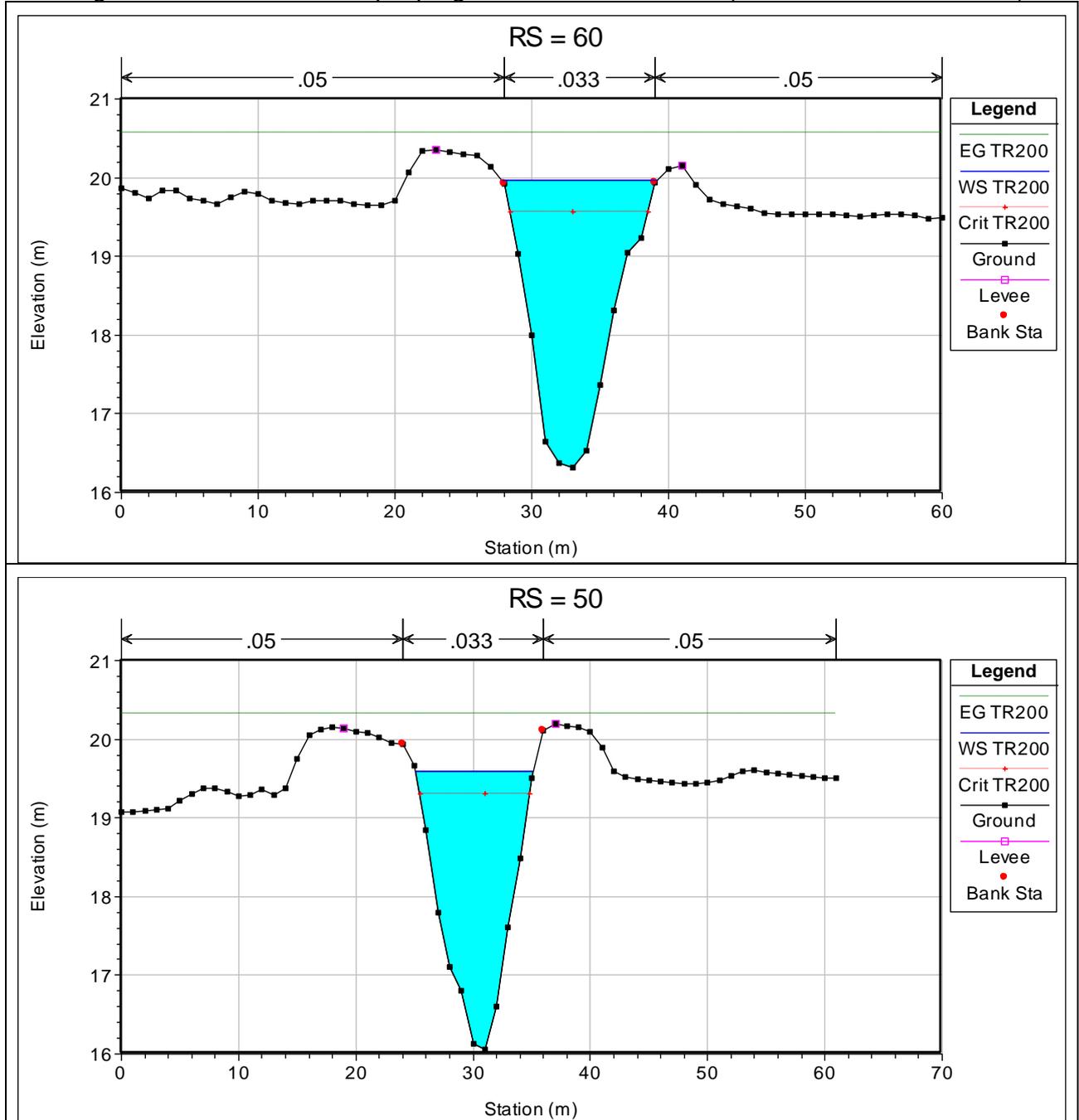
River Station:	Numero identificativo della sezione;
Q Total:	Portata complessiva defluente nell'intera sezione trasversale;
Q Chan:	Portata defluente nel canale principale (alveo attivo)
Min. Ch Elev:	Quota minima di fondo alveo;
W.S. Elev:	Quota del pelo libero;
Crit W.S.:	Quota critica del pelo libero (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-00413
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 29 di 69

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

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





PROGETTISTA



COMMESSA
NR/20049

UNITÀ
000

LOCALITÀ

REGIONE TOSCANA

REL-CI-E-00413

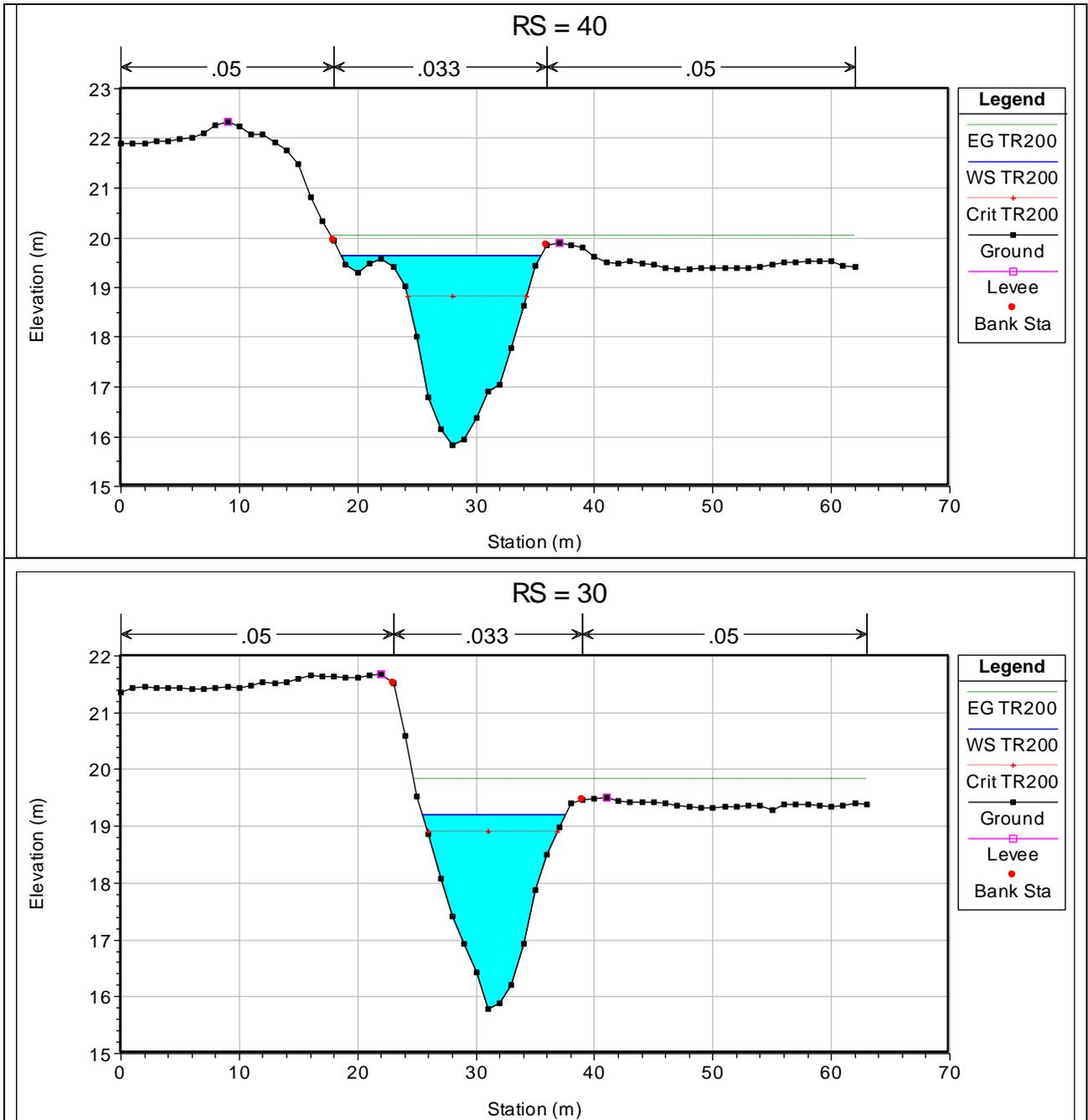
PROGETTO

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

Fg. 30 di 69

Rev.
0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413





PROGETTISTA



COMMESSA
NR/20049

UNITÀ
000

LOCALITÀ

REGIONE TOSCANA

REL-CI-E-00413

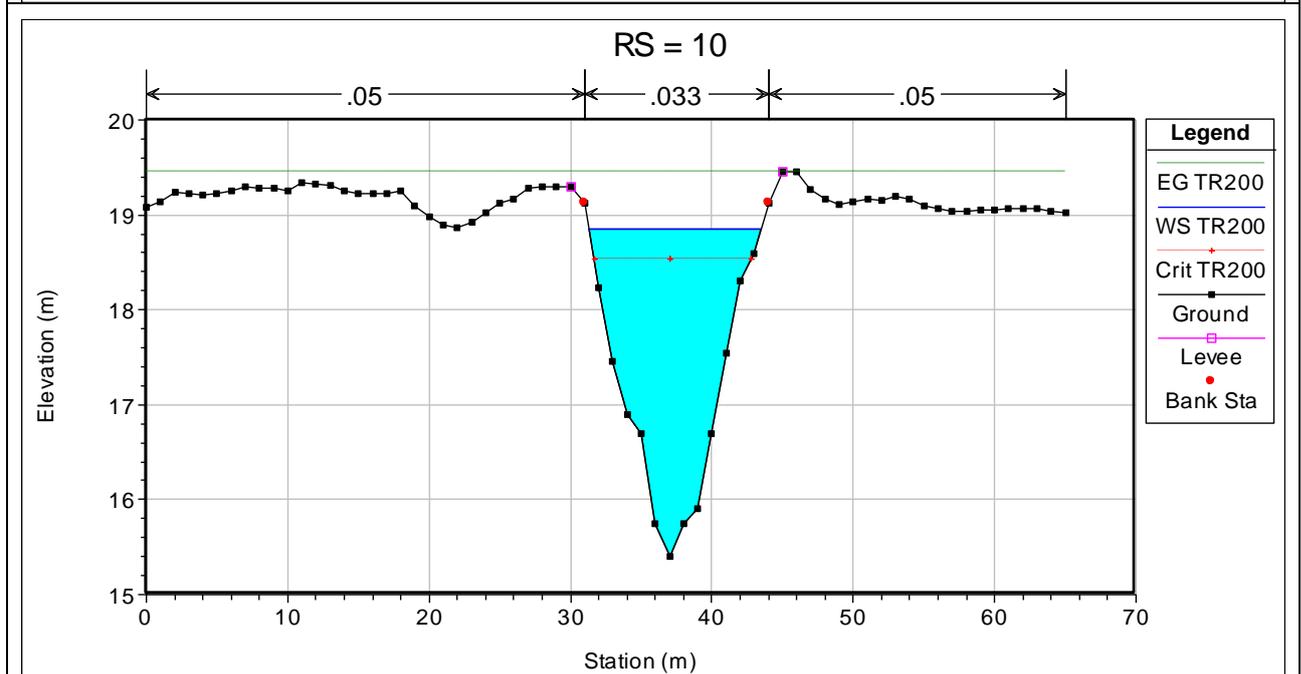
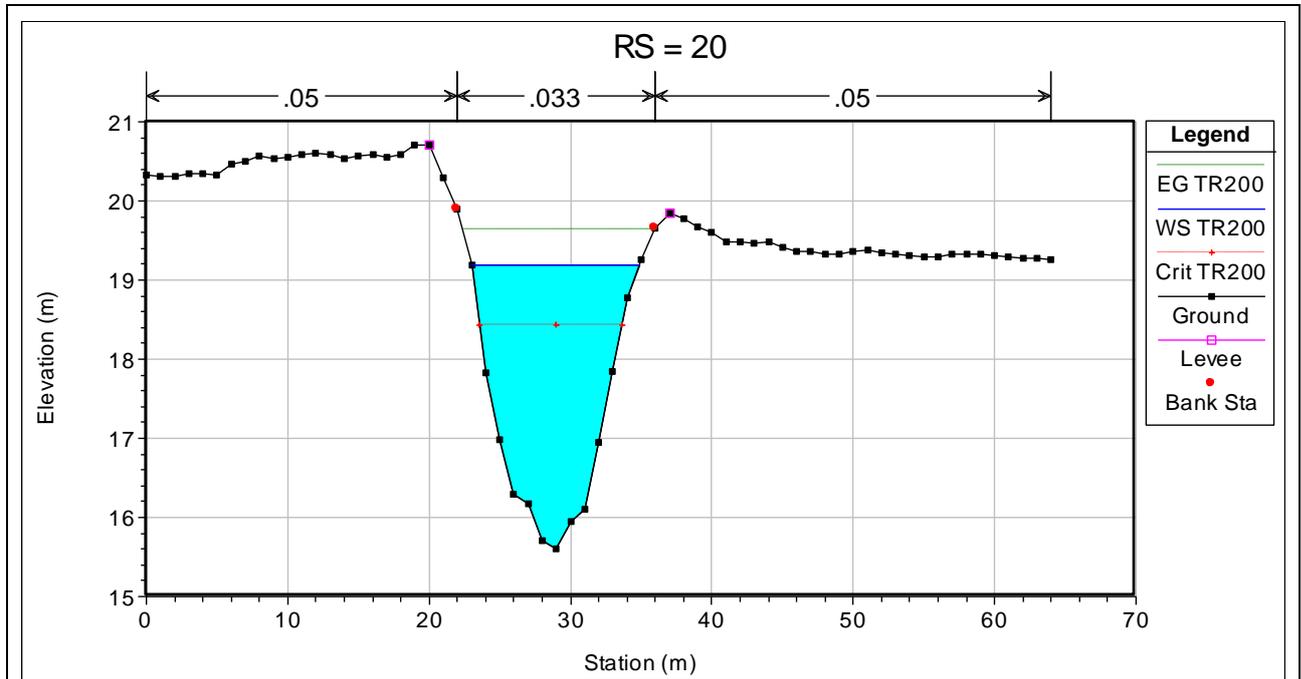
PROGETTO

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

Fg. 31 di 69

Rev.
0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413



	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 32 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

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 risulta in grado di contenere la portata di progetto (portata duecentennale).

La velocità media di deflusso, in concomitanza dell'evento considerato, risulta abbastanza sostenuta (dell'ordine dei 3÷4 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-00413
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 33 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

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-00413
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 34 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

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 Schoklitsh¹ è quella che presenta minori difficoltà nella determinazione dei parametri caratteristici ed è quella maggiormente impiegata (con risultati soddisfacenti) per gli attraversamenti in subalveo di corsi d'acqua da parte delle condotte (soprattutto nel campo dei metanodotti).

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

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

dove

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

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

Arature di fondo

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

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

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

¹ Schoklitsh A., "Stauraum verlandung und kolkbewehr", Springer ed., Vienna, 1935.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413	
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 35 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

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 studiate² 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 Italia³, sulla base di osservazioni dirette nei corsi d'acqua della pianura padana, estende il limite massimo dei fenomeni di escavazione per aratura, indipendentemente dalla natura del fondo e dal regime di corrente, ad un valore cautelativo pari al 50% dell'altezza idrometrica di piena.

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

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

Considerazioni sui metodi di calcolo impiegati

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

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

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

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

³ 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-00413
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 36 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

6.3 Stima dei massimi approfondimenti d'alveo attesi

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

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

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

Tab.6.3/A: Erosioni nel fondo alveo

River Station	Q Total (m3/s)	Q Chan (m3/s)	Vel Chnl (m/s)	Top Width Act Chl (m)	Hydr Depth C (m)	Portata specifica (m ³ /s m)	Carico totale (m)	Approfond. Localizzati (m)	Arature di fondo (m)
60	79	79.00	3.46	11.00	2.08	7.18	2.69	1.45	1.04
50	79	79.00	3.78	10.04	2.08	7.87	2.81	1.52	1.04
40	79	79.00	2.77	16.81	1.7	4.70	2.09	1.15	0.85
30	79	79.00	3.53	12.01	1.86	6.58	2.50	1.37	0.93
20	79	79.00	2.93	11.88	2.27	6.65	2.71	1.42	1.14
10	79	79.00	3.46	12.18	1.87	6.49	2.48	1.36	0.94

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 1.52m.

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

A tal proposito si pone in evidenza che, per l'individuazione dell'effettivo valore di copertura in subalveo considerato nell'attraversamento in esame si rimanda a quanto riportato nel paragrafo 7.2.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 37 di 69		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

7 METODOLOGIA COSTRUTTIVA E SCELTE PROGETTUALI

7.1 Metodologia costruttiva: TOC

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

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

Tale tecnica costruttiva è stata individuata nel caso specifico in considerazione dell'assetto morfologico dell'alveo ed al seguito della verifica di disponibilità di spazi per l'allestimento della colonna varo.

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

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

7.2 Configurazione geometrica di progetto

Considerazioni preliminari

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

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

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

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

- le elevate profondità di posa del tunnel presuppongono percorsi preferenziali di filtrazione lungo il suo profilo molto più lunghi di quelli che si avrebbero naturalmente;
- le distanze in orizzontale e le profondità della trivellazione dalle sponde sono particolarmente elevate e dunque sono tali da escludere qualsiasi alterazione dello stato tensionale e di deformazione in superficie.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 38 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

- La copertura minima individuata per la trivellazione in progetto risulta inoltre tale da assicurare ampi margini di sicurezza rispetto agli eventuali fenomeni erosivi di fondo alveo determinati dalla corrente idrica.

Configurazione di progetto

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

Le principali caratteristiche geometriche del tunnel sono:

- Lunghezza dello sviluppo complessivo della trivellazione: di 328m circa;
- Sviluppo complessivo dei tratti rettilinei: 94 m circa;
- Sviluppo del tratto curvilineo: 234 m circa;
- Raggio di curvatura del tratto curvilineo pari a: 900 m;
- Postazione Rig (entrata trivellazione): in destra idrografica, nel lato monte in senso gas;
- Postazione uscita trivellazione (lato pista di varo): in sinistra idrografica, nel lato valle in senso gas;
- angoli sull'orizzontale di entrata e di uscita della trivellazione rispettivamente di 8° e di 7°;
- copertura minima della trivellazione dalle quote di fondo alveo: di 9.50metri circa;

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

7.3 Considerazione inerenti alla geometria di trivellazione

La copertura minima in subalveo di progetto, essendo di quasi 10m, risulta ben oltre ad ogni ragionevole possibilità di erosione di fondo alveo del corso d'acqua.

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

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

7.4 Descrizione del sistema operativo TOC

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

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

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

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

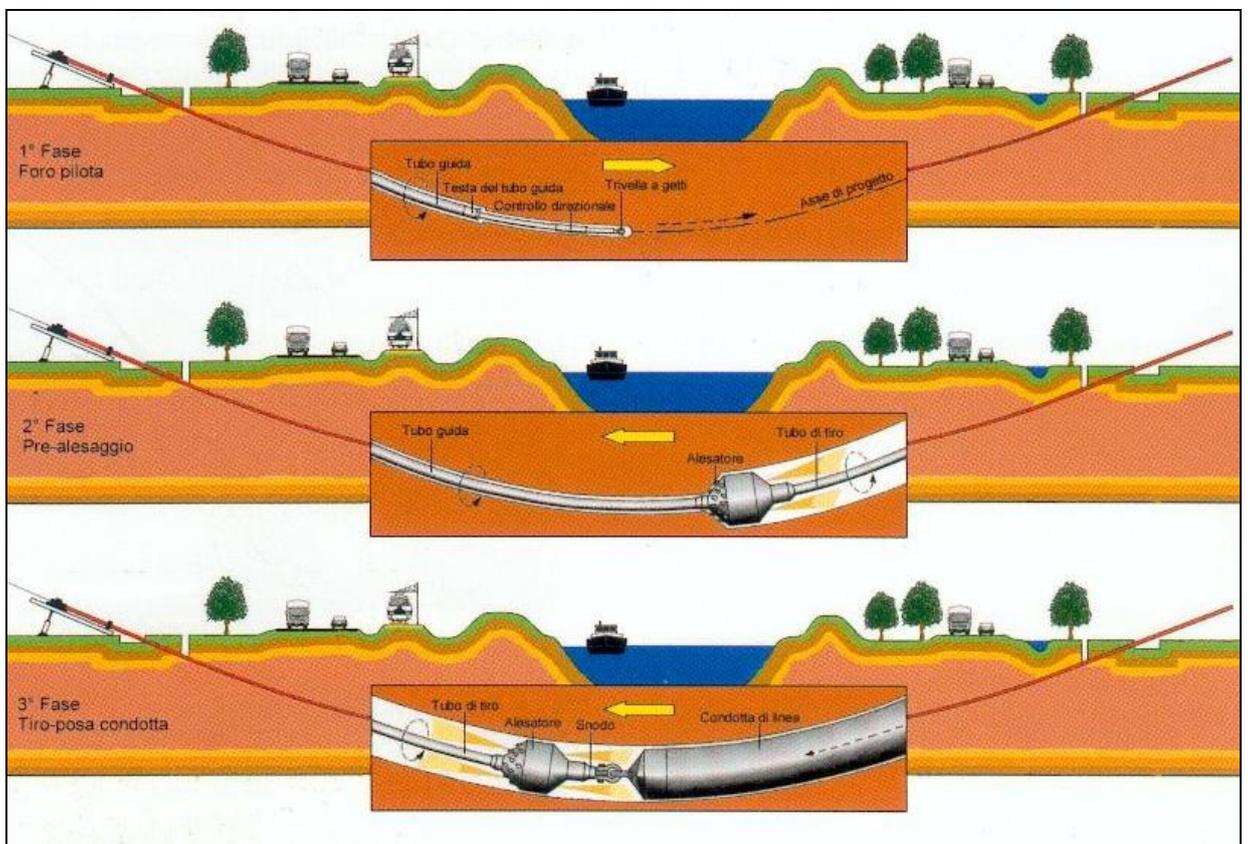
	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 39 di 69	Rev. 0	

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

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

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

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



T.O.C.- Fasi di lavoro

Esecuzione del foro pilota

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

Nelle fasi di esecuzione del foro pilota, così come nelle successive fasi di alesaggio e di varo della condotta, sarà previsto il monitoraggio in continuo della pressione del fango di perforazione al fine di eliminare ogni possibile interferenza tra le operazioni di trivellazione ed il sistema fisico circostante.

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 40 di 69	Rev. 0	

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

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

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

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

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

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

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



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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 41 di 69	Rev. 0	

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413



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

Alesaggio del foro e tiro-posa della condotta

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

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

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

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

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

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413	
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 42 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

Montaggio della condotta

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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

Ripristino dell'area di attraversamento

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 43 di 69		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

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

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

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 44 di 69		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

8 VALUTAZIONI INERENTI ALLA COMPATIBILITA' IDRAULICA

8.1 Quadro normativo generale

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

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

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

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

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

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

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

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

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

8.1.2 D.Lgs. 49/2010

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

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 45 di 69		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

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

Mappe della pericolosità e del rischio di alluvioni

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

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

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

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

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

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

8.1.3 Piani di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)

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

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 46 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

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-00413
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 47 di 69		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

8.2 Quadro normativo di riferimento per l'ambito in esame

8.2.1 Premessa

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

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

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

8.2.2 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-00413
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 48 di 69		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

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-00413	
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 49 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

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

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

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

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

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

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

8.2.3 L.R. n. 41/2018

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

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

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

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

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

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

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

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fig. 50 di 69

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

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

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

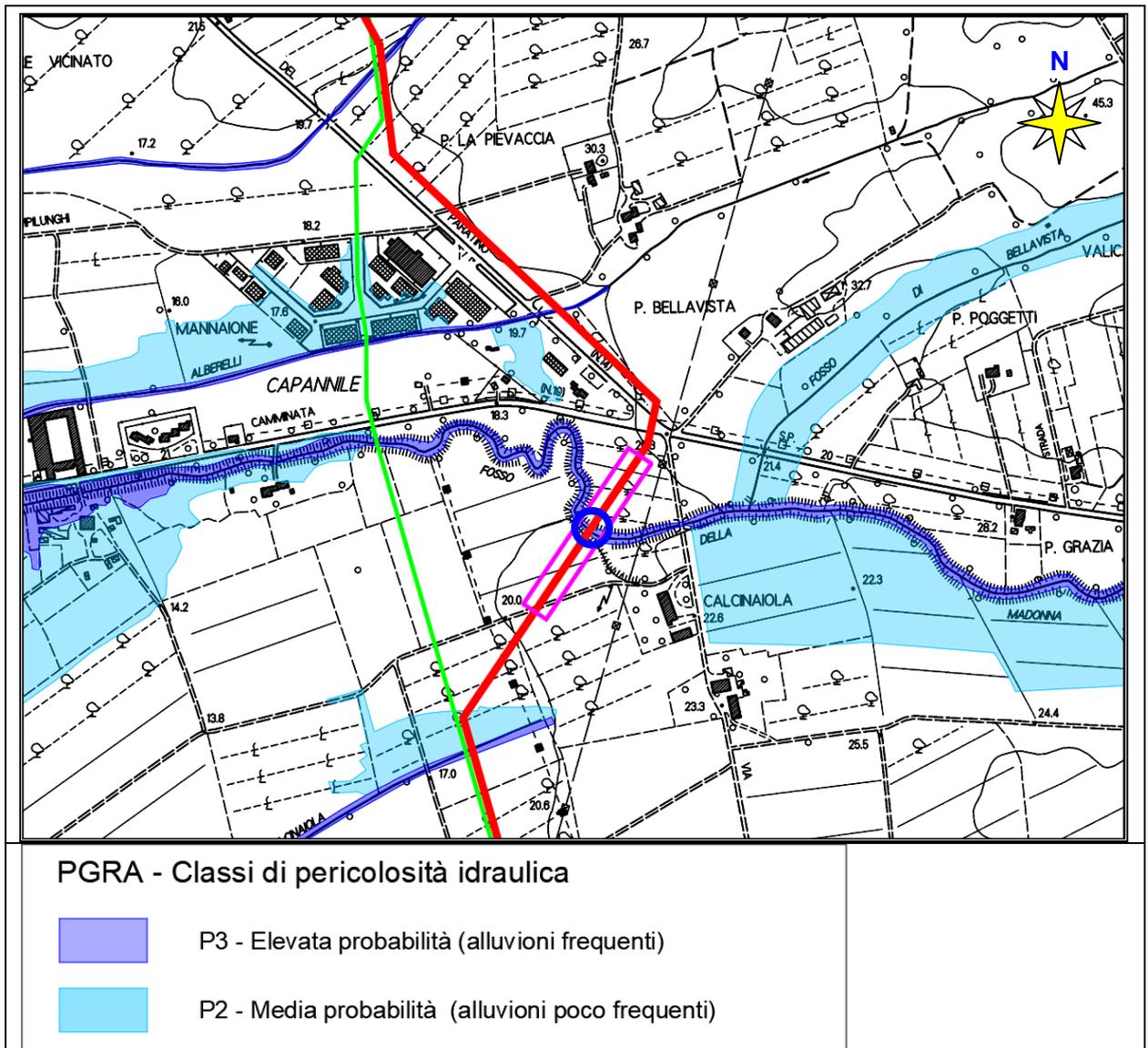


Fig.8.3/A: Interferenze tra metanodotto in progetto con le aree P2 e P3 dal PGRA

Dall'analisi della figura precedente si rileva che, in corrispondenza dell'ambito di attraversamento dell'alveo del corso d'acqua, il metanodotto in progetto interferisce con delle aree censite a pericolosità da alluvioni elevate (P3).

Dalla medesima figura si può anche rilevare che sia l'alveo del corso d'acqua, che tutta la fascia censita a pericolosità P3, verranno superate mediante una trivellazione in TOC (il cui sviluppo longitudinale è indicato mediante una sagoma rettangolare in magenta) e pertanto ad elevate profondità di posa in subalveo.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 51 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

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 non interferisce con aree censite a pericolosità P3 e/o P2 ai sensi del PGRA.

8.4 Analisi delle condizioni di compatibilità idraulica

8.4.1 Considerazioni di carattere generale

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

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

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

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

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

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

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

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

Nel paragrafo precedente è stato evidenziato che l'intera regione fluviale del corso d'acqua verrà attraversata in trivellazione (in TOC) ad elevate profondità di posa. Pertanto, alla luce della metodologia operativa individuata e delle scelte progettuali, si evidenzia quanto segue:

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413	
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 52 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

- L'attraversamento fluviale avviene in "subalveo" e prevede una profondità di posa della condotta di adeguate garanzie nei confronti d'eventuali fenomeni di erosione di fondo (anche localizzati e/o temporanei) che si possono produrre anche in concomitanza di piene eccezionali, cosicché è da escludere qualsiasi interferenza tra la tubazione e il flusso della corrente;
- La configurazione morfologica d'alveo verrà mantenuta inalterata nei confronti della situazione originaria. Essendo i lavori previsti in trivellazione non si prevedono lavori in superficie nell'ambito dell'alveo del corso d'acqua;
- La tecnica costruttiva di posa della condotta (in trivellazione), unitamente alla geometria in progetto (elevate coperture in subalveo), consentono inoltre in generale di escludere interferenze con il regime idraulico del corso d'acqua anche nella fase costruttiva dell'opera;
- La configurazione geometrica della linea nell'ambito di intervento (quote in subalveo e profili di risalita) è stata stabilita anche in considerazione delle potenziali dinamiche fluviali del corso d'acqua e sono tali da non precludere la possibilità di effettuare interventi futuri in alveo, finalizzati ad attenuare o eliminare le condizioni di rischio idraulico (es: risagomature dell'alveo, realizzazione di eventuali opere di regimazione idraulica, ecc.).

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

1. *Modifiche indotte sul profilo involuppo di piena*

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

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

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

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

L'opera in progetto non induce alcuna modifica all'assetto morfologico dell'alveo, sia dal punto di vista planimetrico che altimetrico, essendo questa localizzata in subalveo ad una profondità superiore ad ogni prevedibile fenomeno d'approfondimento.

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

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

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

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 53 di 69	Rev. 0	

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

8.5 Considerazioni conclusive sulla compatibilità idraulica

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

- non introduca alcun elemento di ostacolo al libero deflusso e dunque non determini alcuna alterazione del regime attuale di deflusso delle acque;
- non determini l'inserimento di elementi di riduzione della capacità di laminazione e di invaso in corrispondenza delle aree potenzialmente inondabili dalle piene del corso d'acqua;
- non comporti l'alterazione delle caratteristiche naturali e paesaggistiche della regione fluviale;
- non implichi alcuna forma di trasformazione dello stato dei luoghi del territorio e non sono previsti cambiamenti di destinazioni d'uso del suolo;
- 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-00413
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 54 di 69	Rev. 0	

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

9 CONCLUSIONI

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

Il suddetto tracciato del metanodotto in progetto (DN 750) interseca l'alveo del fosso della MADONNA nel territorio comunale Bibbona (LI), in prossimità della località "Calcinaiola".

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

Alla luce dei risultati conseguiti, per il superamento in subalveo del corso d'acqua in esame è stata prevista l'adozione di un sistema di attraversamento in trenchless, mediante la metodologia esecutiva della Trivellazione Orizzontale Controllata (TOC), ovvero Horizontal Directional Drilling (HDD).

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

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

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

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

In tal senso, nel presente studio di compatibilità, è stato evidenziato che l'intervento in progetto non determina alcuna modifica significativa allo stato dei luoghi, non implica trasformazioni del territorio e/o cambiamenti circa l'uso del suolo e pertanto non introducono alterazioni al regime attuale di deflusso delle acque e/o riduzioni della capacità di invaso e di laminazione del corso d'acqua. L'intervento, inoltre, non determina alcun aggravio delle condizioni di rischio idraulico nell'area (non è previsto l'incremento del carico insediativo), né tantomeno in ambiti esterni.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 55 di 69		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

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-00413
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 56 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

APPENDICE 1: COLONNE STRATIGRAFICHE DEI SONDAGGI

STRATIGRAFIA

SCALA 1 : 75 Pagina 1/1

Riferimento: SAIPEM FANO										Sondaggio: S. 22			
Località: BIBBONA										Quota:			
Impresa esecutrice: PANGEA S.R.L.										Data: 24/09/2009			
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.	RQD % 0 --- 100	prof. m	DESCRIZIONE
				1									LIMO ARGILLOSO MARRONE SCUROMOLTO CONSISTENTE, PRESENZA DI CONCREZIONI CLACAREE .
				2			4					2.5	LIMO DEBOLMENTE SABBIOSO MARRONE, CONSISTENTE, CON PICCOLE CONCREZIONI, CON LIVELLETTI DEBOLMENTE ARGILLOSI.
				3			3						
				4		1) She < 3.55 4.00							
				5				2.5					
				6		SPT 1 < 8.00 9.45				10-8-11	19	6.0	GHIAIA GROSSOLANA, ADDENSATA, CON LIMO SABBIOSO.
				7								6.6	SABBIA MARRONE, LIMOSA, MEDIA GROSSOLANA CON MACULATURE NERASTRE, MOLTO ADDENSATA.
				8								8.0	
				9			3.5					8.4	ARGILLA CON LIVELLI LIMOSI DA MARRONE A GRIGIO-VERDE, MOLTO CONSISTENTE.
				10		SPT 2 < 9.00 9.45	4			8-13-19	32		SABBIA MARRONE CHIARO, MEDIO-FINE, MOLTO ADDENSATA, INTERCALATA DA LIVELLI CENTIMETRICI DI SABBIA CEMENTATA.
				11									
				12									
				13									
				14									
101				15								15.0	

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 57 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413



SONDAGGIO LP-B-B33		OGGETTO: Rifacimento Metanodotto Livorno Piombino										Ordine n°: IP1235IP03	Pag 111
Redattore Dot. Geol. Filippo Dell'Aera												Quota Bocca Foro s.l.m.: 22.00 m	
Operatore S.re F.Ferrante		Profondità raggiunta 20,00 m	Tipo Carotaggio Continuo a rotazione idraulica	Tipo Sonda CMV850	Inizio/Fine Esecuzione 16/09/2021 - 16/09/2021		Coordinate Lat:43.270173° Long:10.566192°						
Scala (mt.)	Litologia	Descrizione	Quota (m)	RQD	%Carotaggio	Livello falda	Prove in foro S.P.T.	Prove in foro	Prelievo Campioni	Corona Carotiere	Pocket penetrometro Kg/cm²	Vane test tascabile Kg/cm²	Strument. in foro
1		Argilla sabbiosa con ghiaia media, colore marrone chiaro-grigio, asciutta, poco consistente.				Falda non rilevata							
2			2.00										
3		Sabbia debolmente argillosa con ghiaia sub-arrotondata, colore marrone, asciutta.					PC - n. Colpi: 5/7/9 3.00 - 3.45 m						
4													
5			5.40										
6		Argilla debolmente sabbiosa, colore avana, molto consistente. Da 6.70 a 7.00 m presenza di ghiaia grossolana.								6.00 CI 1 6.40			FS
7			7.00										FS
8													FS
9							PA - n. Colpi: 15/17/22 9.00 - 9.45 m						FS
10													
11													
12		Sabbia color avana, asciutta, da addensata a molto addensata. Da 12.60 a 13.00 m, strato arenitico molto fratturato. Da 13.20 a 13.60 m ghiaia fine in matrice sabbiosa fine, marrone scuro-nerastra. Da 16.00 a 20.00 sabbia umida.					PA - n. Colpi: 13/17/23 12.00 - 12.45 m						
13													
14													
15							PC - n. Colpi: 9/13/15 15.00 - 15.45 m						
16													
17													
18							PA - n. Colpi: 11/15/19 18.00 - 18.45 m						
19													
20			20.00										

Perforazione: CS-Carotiere Semplice, CD-Carotiere Doppio,
Corona: W-Widia, D-Diamantata
PC: punta chiusa - PA: punta aperta
Campioni: CI (Indisturbato) - CR (rimaneggiato) - CA (ambientale)

Cassette catologatrici N° 4
Rivestimento fino a 6.0 m dal p.c.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 58 di 69		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

APPENDICE 2: STUDIO IDRAULICO / METODOLOGIA DI CALCOLO

Codice di calcolo

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

dove:

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 59 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

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

Condizioni di moto

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

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

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

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

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

in cui

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

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

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

in cui

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 60 di 69		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Assetto geometrico

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 61 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

uniforme.

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

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

Condizioni al contorno

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

Le condizioni al contorno disponibili sono:

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

Risultati dei calcoli idraulici

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

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

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

E' fornita anche la linea del carico totale ottenuta come

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

dove

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 62 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

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

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

Nel caso di passaggio da regime supercritico a subcritico tramite risalto idraulico, la corrente perde il carattere gradualmente variato e l'equazione dell'energia non può essere applicata. In tal caso, il codice di calcolo ricorre all'equazione di conservazione della quantità di moto, che, indicando con i e m i pedici 2 e 1 rispettivamente le sezioni di monte e di valle del tratto considerato, si esprime come

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

dove:

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413	
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 63 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

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   XXXXXX

```

PROJECT DATA

Project Title: Madonna
 Project File : Madonna.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\14Madonna\Madonna.p01

Geometry Title: Madonna
 Geometry File : C:\Users\Marco\Desktop\HEC studi miei 5.0.7\Liv-Pb\14Madonna\Madonna.g01

Flow Title : Madonna
 Flow File : C:\Users\Marco\Desktop\HEC studi miei 5.0.7\Liv-Pb\14Madonna\Madonna.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: Madonna
 Flow File : C:\Users\Marco\Desktop\HEC studi miei 5.0.7\Liv-Pb\14Madonna\Madonna.f01

Flow Data (m3/s)

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 64 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

River Madonna Reach alveo RS 60 TR200 79

Boundary Conditions

River	Reach	Profile	Upstream	Downstream
Madonna	alveo	TR200	Normal S = 0.007	Normal S = 0.007

GEOMETRY DATA

Geometry Title: Madonna
 Geometry File : C:\Users\Marco\Desktop\HEC studi miei 5.0.7\Liv-Pb\14Madonna\Madonna.g01

CROSS SECTION

RIVER: Madonna
 REACH: alveo RS: 60

INPUT

Description:

Station Elevation Data num= 61

Sta	Elev								
0	19.86	1	19.81	2	19.74	3	19.84	4	19.83
5	19.74	6	19.71	7	19.67	8	19.75	9	19.82
10	19.79	11	19.71	12	19.68	13	19.67	14	19.7
15	19.71	16	19.7	17	19.67	18	19.65	19	19.65
20	19.71	21	20.06	22	20.34	23	20.35	24	20.33
25	20.29	26	20.28	27	20.14	28	19.92	29	19.03
30	17.99	31	16.64	32	16.37	33	16.32	34	16.53
35	17.36	36	18.32	37	19.05	38	19.23	39	19.93
40	20.11	41	20.15	42	19.91	43	19.72	44	19.67
45	19.63	46	19.61	47	19.55	48	19.53	49	19.54
50	19.54	51	19.54	52	19.54	53	19.52	54	19.5
55	19.52	56	19.53	57	19.53	58	19.52	59	19.48
60	19.49								

Manning's n Values num= 3

Sta	n Val	Sta	n Val	Sta	n Val
0	.05	28	.033	39	.05

Bank Sta: Left	Right	Lengths: Left Channel	Right	Coeff Contr.	Expan.
28	39	33.82	33.82	.1	.3
Left Levee	Station=	23	Elevation=	20.35	
Right Levee	Station=	41	Elevation=	20.15	

CROSS SECTION OUTPUT Profile #TR200

E.G. Elev (m)	20.57	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.61	Wt. n-Val.	0.050	0.033	0.050
W.S. Elev (m)	19.96	Reach Len. (m)	33.82	33.82	33.82
Crit W.S. (m)	19.56	Flow Area (m2)	0.00	22.84	0.00
E.G. Slope (m/m)	0.006580	Area (m2)	0.00	22.84	0.00
Q Total (m3/s)	79.00	Flow (m3/s)	0.00	79.00	0.00
Top Width (m)	11.39	Top Width (m)	0.20	11.00	0.19
Vel Total (m/s)	3.46	Avg. Vel. (m/s)	0.13	3.46	0.11
Max Chl Dpth (m)	3.64	Hydr. Depth (m)	0.02	2.08	0.02
Conv. Total (m3/s)	973.9	Conv. (m3/s)	0.0	973.9	0.0
Length Wtd. (m)	33.82	Wetted Per. (m)	0.20	13.68	0.19
Min Ch El (m)	16.32	Shear (N/m2)	1.38	107.72	1.08
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)	0.17	372.63	0.11
Frctn Loss (m)	0.24	Cum Volume (1000 m3)	0.00	3.60	0.00
C & E Loss (m)	0.01	Cum SA (1000 m2)	0.00	1.84	0.00

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 65 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

CROSS SECTION

RIVER: Madonna
REACH: alveo RS: 50

INPUT

Description:

Station Elevation Data	num=	62
Sta Elev Sta Elev Sta Elev Sta Elev Sta Elev		
0 19.07 1 19.08 2 19.09 3 19.1 4 19.12		
5 19.22 6 19.31 7 19.38 8 19.37 9 19.34		
10 19.27 11 19.29 12 19.36 13 19.29 14 19.37		
15 19.75 16 20.05 17 20.13 18 20.15 19 20.14		
20 20.1 21 20.08 22 20.03 23 19.95 24 19.94		
25 19.66 26 18.84 27 17.8 28 17.1 29 16.8		
30 16.13 31 16.06 32 16.6 33 17.61 34 18.49		
35 19.51 36 20.11 37 20.19 38 20.16 39 20.15		
40 20.1 41 19.89 42 19.59 43 19.52 44 19.49		
45 19.48 46 19.46 47 19.45 48 19.44 49 19.44		
50 19.45 51 19.48 52 19.53 53 19.59 54 19.6		
55 19.58 56 19.56 57 19.55 58 19.53 59 19.52		
60 19.51 61 19.51		

Manning's n Values	num=	3
Sta n Val Sta n Val Sta n Val		
0 .05 24 .033 36 .05		

Bank Sta: Left Right Lengths: Left Channel Right	Coeff Contr.	Expan.
24 36 30.97 30.97 30.97	.1	.3
Left Levee Station= 19 Elevation= 20.14		
Right Levee Station= 37 Elevation= 20.19		

CROSS SECTION OUTPUT Profile #TR200

E.G. Elev (m)	20.32	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.73	Wt. n-Val.		0.033	
W.S. Elev (m)	19.59	Reach Len. (m)	30.97	30.97	30.97
Crit W.S. (m)	19.31	Flow Area (m2)		20.88	
E.G. Slope (m/m)	0.007921	Area (m2)		20.88	
Q Total (m3/s)	79.00	Flow (m3/s)		79.00	
Top Width (m)	10.04	Top Width (m)		10.04	
Vel Total (m/s)	3.78	Avg. Vel. (m/s)		3.78	
Max Chl Dpth (m)	3.53	Hydr. Depth (m)		2.08	
Conv. Total (m3/s)	887.6	Conv. (m3/s)		887.6	
Length Wtd. (m)	30.97	Wetted Per. (m)		12.57	
Min Ch El (m)	16.06	Shear (N/m2)		129.08	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		488.38	
Frctn Loss (m)	0.19	Cum Volume (1000 m3)		2.86	
C & E Loss (m)	0.10	Cum SA (1000 m2)		1.49	

CROSS SECTION

RIVER: Madonna
REACH: alveo RS: 40

INPUT

Description:

Station Elevation Data	num=	63
Sta Elev Sta Elev Sta Elev Sta Elev Sta Elev		
0 21.9 1 21.89 2 21.89 3 21.94 4 21.95		
5 21.98 6 22.01 7 22.1 8 22.27 9 22.33		
10 22.23 11 22.07 12 22.07 13 21.92 14 21.75		
15 21.49 16 20.81 17 20.34 18 19.95 19 19.46		
20 19.29 21 19.49 22 19.58 23 19.42 24 19.03		
25 18.02 26 16.79 27 16.14 28 15.83 29 15.94		
30 16.37 31 16.9 32 17.04 33 17.78 34 18.63		

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 66 di 69
				Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

35	19.44	36	19.86	37	19.89	38	19.86	39	19.8
40	19.63	41	19.51	42	19.49	43	19.52	44	19.49
45	19.46	46	19.4	47	19.37	48	19.37	49	19.39
50	19.39	51	19.38	52	19.38	53	19.39	54	19.41
55	19.47	56	19.5	57	19.5	58	19.53	59	19.53
60	19.52	61	19.44	62	19.42				

Manning's n Values num= 3
Sta n Val Sta n Val Sta n Val
0 .05 18 .033 36 .05

Bank Sta: Left Right Lengths: Left Channel Right Coeff Contr. Expan.
18 36 27.85 27.85 27.85 .1 .3
Left Levee Station= 9 Elevation= 22.33
Right Levee Station= 37 Elevation= 19.89

CROSS SECTION OUTPUT Profile #TR200

E.G. Elev (m)	20.02	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.39	Wt. n-Val.		0.033	
W.S. Elev (m)	19.63	Reach Len. (m)	27.85	27.85	27.85
Crit W.S. (m)	18.82	Flow Area (m2)		28.51	
E.G. Slope (m/m)	0.004986	Area (m2)		28.51	
Q Total (m3/s)	79.00	Flow (m3/s)		79.00	
Top Width (m)	16.81	Top Width (m)		16.81	
Vel Total (m/s)	2.77	Avg. Vel. (m/s)		2.77	
Max Chl Dpth (m)	3.80	Hydr. Depth (m)		1.70	
Conv. Total (m3/s)	1118.8	Conv. (m3/s)		1118.8	
Length Wtd. (m)	27.85	Wetted Per. (m)		19.34	
Min Ch El (m)	15.83	Shear (N/m2)		72.06	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		199.69	
Frctn Loss (m)	0.17	Cum Volume (1000 m3)		2.09	
C & E Loss (m)	0.02	Cum SA (1000 m2)		1.07	

CROSS SECTION

RIVER: Madonna
REACH: alveo RS: 30

INPUT

Description:

Station Elevation Data num= 64

Sta	Elev								
0	21.36	1	21.44	2	21.45	3	21.43	4	21.43
5	21.44	6	21.42	7	21.42	8	21.44	9	21.45
10	21.44	11	21.47	12	21.53	13	21.52	14	21.53
15	21.59	16	21.65	17	21.64	18	21.63	19	21.61
20	21.61	21	21.66	22	21.68	23	21.52	24	20.59
25	19.52	26	18.87	27	18.07	28	17.41	29	16.93
30	16.42	31	15.78	32	15.89	33	16.2	34	16.94
35	17.87	36	18.51	37	18.99	38	19.4	39	19.46
40	19.49	41	19.51	42	19.45	43	19.43	44	19.43
45	19.42	46	19.4	47	19.37	48	19.34	49	19.33
50	19.33	51	19.34	52	19.35	53	19.36	54	19.36
55	19.28	56	19.38	57	19.39	58	19.39	59	19.37
60	19.35	61	19.37	62	19.4	63	19.39		

Manning's n Values num= 3
Sta n Val Sta n Val Sta n Val
0 .05 23 .033 39 .05

Bank Sta: Left Right Lengths: Left Channel Right Coeff Contr. Expan.
23 39 26.14 26.14 26.14 .1 .3
Left Levee Station= 22 Elevation= 21.68
Right Levee Station= 41 Elevation= 19.51

CROSS SECTION OUTPUT Profile #TR200

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413	
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 67 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

E.G. Elev (m)	19.83	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.64	Wt. n-Val.		0.033	
W.S. Elev (m)	19.20	Reach Len. (m)	26.14	26.14	26.14
Crit W.S. (m)	18.91	Flow Area (m2)		22.35	
E.G. Slope (m/m)	0.007294	Area (m2)		22.35	
Q Total (m3/s)	79.00	Flow (m3/s)		79.00	
Top Width (m)	12.01	Top Width (m)		12.01	
Vel Total (m/s)	3.53	Avg. Vel. (m/s)		3.53	
Max Chl Dpth (m)	3.42	Hydr. Depth (m)		1.86	
Conv. Total (m3/s)	925.0	Conv. (m3/s)		925.0	
Length Wtd. (m)	26.14	Wetted Per. (m)		14.00	
Min Ch El (m)	15.78	Shear (N/m2)		114.17	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		403.56	
Frctn Loss (m)	0.14	Cum Volume (1000 m3)		1.39	
C & E Loss (m)	0.06	Cum SA (1000 m2)		0.67	

CROSS SECTION

RIVER: Madonna
REACH: alveo RS: 20

INPUT

Description:

Station Elevation Data	num=	65									
Sta Elev	Sta Elev	Sta Elev	Sta Elev	Sta Elev	Sta Elev	Sta Elev	Sta Elev	Sta Elev	Sta Elev	Sta Elev	Sta Elev
0 20.33	1 20.31	2 20.31	3 20.35	4 20.35	5 20.33	6 20.46	7 20.5	8 20.57	9 20.54	10 20.56	11 20.59
15 20.57	16 20.58	17 20.55	18 20.59	19 20.71	20 20.7	21 20.3	22 19.9	23 19.19	24 17.82	25 16.99	26 16.29
30 15.95	31 16.11	32 16.94	33 17.84	34 18.77	35 19.26	36 19.65	37 19.85	38 19.77	39 19.67	40 19.6	41 19.48
45 19.42	46 19.37	47 19.36	48 19.32	49 19.32	50 19.36	51 19.38	52 19.34	53 19.32	54 19.31	55 19.3	56 19.29
60 19.31	61 19.29	62 19.28	63 19.27	64 19.25							

Manning's n Values	num=	3									
Sta n Val	Sta n Val	Sta n Val									
0 .05	22 .033	36 .05									

Bank Sta: Left	Right	Lengths: Left	Channel	Right	Coeff Contr.	Expan.
22	36	29.83	29.83	29.83	.1	.3
Left Levee	Station=	20	Elevation=	20.7		
Right Levee	Station=	37	Elevation=	19.85		

CROSS SECTION OUTPUT Profile #TR200

E.G. Elev (m)	19.64	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.44	Wt. n-Val.		0.033	
W.S. Elev (m)	19.20	Reach Len. (m)	29.83	29.83	29.83
Crit W.S. (m)	18.43	Flow Area (m2)		26.94	
E.G. Slope (m/m)	0.004059	Area (m2)		26.94	
Q Total (m3/s)	79.00	Flow (m3/s)		79.00	
Top Width (m)	11.88	Top Width (m)		11.88	
Vel Total (m/s)	2.93	Avg. Vel. (m/s)		2.93	
Max Chl Dpth (m)	3.59	Hydr. Depth (m)		2.27	
Conv. Total (m3/s)	1240.0	Conv. (m3/s)		1240.0	
Length Wtd. (m)	29.83	Wetted Per. (m)		14.39	
Min Ch El (m)	15.61	Shear (N/m2)		74.52	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		218.53	
Frctn Loss (m)	0.16	Cum Volume (1000 m3)		0.74	
C & E Loss (m)	0.02	Cum SA (1000 m2)		0.36	

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 68 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

CROSS SECTION

RIVER: Madonna
REACH: alveo RS: 10

INPUT

Description:

Station	Elevation	Data	num=	66
Sta	Elev	Sta	Elev	Sta Elev Sta Elev Sta Elev
0	19.08	1	19.14	2 19.24 3 19.22 4 19.21
5	19.22	6	19.25	7 19.3 8 19.28 9 19.28
10	19.26	11	19.34	12 19.33 13 19.31 14 19.25
15	19.22	16	19.22	17 19.23 18 19.25 19 19.1
20	18.98	21	18.89	22 18.86 23 18.92 24 19.02
25	19.13	26	19.16	27 19.28 28 19.3 29 19.29
30	19.29	31	19.12	32 18.23 33 17.46 34 16.89
35	16.69	36	15.75	37 15.4 38 15.74 39 15.91
40	16.7	41	17.55	42 18.31 43 18.59 44 19.13
45	19.46	46	19.45	47 19.27 48 19.17 49 19.11
50	19.14	51	19.16	52 19.15 53 19.19 54 19.17
55	19.09	56	19.06	57 19.04 58 19.04 59 19.05
60	19.05	61	19.06	62 19.07 63 19.06 64 19.04
65	19.03			

Manning's n Values	num=	3
Sta n Val	Sta n Val	Sta n Val
0 .05	31 .033	44 .05

Bank Sta: Left	Right	Lengths: Left	Channel	Right	Coeff	Contr.	Expan.
	31 44		0 0	0	.1	.3	
Left Levee	Station=	30	Elevation=	19.29			
Right Levee	Station=	45	Elevation=	19.46			

CROSS SECTION OUTPUT Profile #TR200

E.G. Elev (m)	19.46	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.61	Wt. n-Val.		0.033	
W.S. Elev (m)	18.85	Reach Len. (m)			
Crit W.S. (m)	18.55	Flow Area (m2)		22.81	
E.G. Slope (m/m)	0.007007	Area (m2)		22.81	
Q Total (m3/s)	79.00	Flow (m3/s)		79.00	
Top Width (m)	12.18	Top Width (m)		12.18	
Vel Total (m/s)	3.46	Avg. Vel. (m/s)		3.46	
Max Chl Dpth (m)	3.45	Hydr. Depth (m)		1.87	
Conv. Total (m3/s)	943.8	Conv. (m3/s)		943.8	
Length Wtd. (m)		Wetted Per. (m)		14.29	
Min Ch El (m)	15.40	Shear (N/m2)		109.65	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		379.79	
Frctn Loss (m)		Cum Volume (1000 m3)			
C & E Loss (m)		Cum SA (1000 m2)			

SUMMARY OF MANNING'S N VALUES

River:Madonna

Reach	River Sta.	n1	n2	n3
alveo	60	.05	.033	.05
alveo	50	.05	.033	.05
alveo	40	.05	.033	.05
alveo	30	.05	.033	.05
alveo	20	.05	.033	.05
alveo	10	.05	.033	.05

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00413
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 69 di 69	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80413

SUMMARY OF REACH LENGTHS

River: Madonna

Reach	River Sta.	Left	Channel	Right
alveo	60	33.82	33.82	33.82
alveo	50	30.97	30.97	30.97
alveo	40	27.85	27.85	27.85
alveo	30	26.14	26.14	26.14
alveo	20	29.83	29.83	29.83
alveo	10	0	0	0

SUMMARY OF CONTRACTION AND EXPANSION COEFFICIENTS

River: Madonna

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