

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00418
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 1 di 62	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

PROGETTO

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

Attraversamento in subalveo

FOSSO DI BOLGHERI

(km: 54,515)

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-00418
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 2 di 62	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

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	10
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 Castagneto – Descrizione sintetica	15
4.4.1	<u>Premessa</u>	15
4.4.2	<u>Analisi idrologiche - Cenni</u>	15
4.4.3	<u>Simulazioni idrauliche - Cenni</u>	16
4.5	Studio Com. di Castagneto – Modellazione idrologica di Bolgheri	18
4.5.1	<u>Sottobacini e parametri idrologici</u>	18
4.5.2	<u>Risultati della modellazione</u>	18
5	VALUTAZIONI IDRAULICHE	20
5.1	Premessa	20
5.2	Considerazioni specifiche	20
5.3	Studio Comune di Castagneto – descrizione delle modellazioni idrauliche	21
5.4	Selezione dei risultati di interesse	21
6	VALUTAZIONE EROSIONI DI FONDO ALVEO	28
6.1	Generalità	28
6.2	Criteri di calcolo	29
6.3	Stima dei massimi approfondimenti d'alveo attesi	31
6.4	Analisi dei risultati e considerazioni progettuali	31
7	METODOLOGIA COSTRUTTIVA E SCELTE PROGETTUALI	32
7.1	Metodologia costruttiva: TOC	32
7.2	Configurazione geometrica di progetto	32
7.3	Considerazione inerenti alla geometria di trivellazione	33
7.4	Descrizione del sistema operativo TOC	33

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00418
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 3 di 62	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

8	ANALISI DELLA PROBLEMATICHE DEL SIFONAMENTO	39
8.1	Premessa	39
8.2	Generalità	39
8.3	Metodologie di calcolo	39
8.4	Risultati	44
9	VALUTAZIONI INERENTI ALLA COMPATIBILITA' IDRAULICA	45
9.1	Quadro normativo generale	45
9.1.1	<u>Direttiva 2007/60/CE (Floods Directive - FD)</u>	45
9.1.2	<u>D.Lgs. 49/2010</u>	45
9.1.3	<u>Piani di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)</u>	46
9.2	Quadro normativo di riferimento per l'ambito in esame	48
9.2.1	<u>Premessa</u>	48
9.2.2	<u>PGRA del Distretto Appennino Settentrionale</u>	48
9.2.3	<u>L.R. n. 41/2018</u>	50
9.3	Interferenze con PGRA nell'ambito di attraversamento del corso d'acqua	51
9.4	Analisi delle condizioni di compatibilità idraulica	52
9.4.1	<u>Considerazioni di carattere generale</u>	52
9.4.2	<u>Considerazioni specifiche inerenti all'ambito di attraversamento del corso d'acqua</u>	53
9.4.3	<u>Considerazioni specifiche inerenti ai tratti di percorrenza di linea delle aree inondabili</u>	54
9.5	Considerazioni conclusive sulla compatibilità idraulica	54
10	CONCLUSIONI	56
	APPENDICE 1: COLONNE STRATIGRAFICHE DEI SONDAGGI	58
	ANNESSO:	
	• Disegno di Attraversamento (cfr. par.1.3)	

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00418
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 4 di 62	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

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 di BOLGHERI nell'ambito del territorio comunale Castagneto Carducci (LI), circa 1 km a monte dei ponti della strada S.S. n.1 "Aurelia" e della ferrovia "Roma-Pisa".

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-00418
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 5 di 62		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

- 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-6B-01432**
"Rifacimento Metanodotto Livorno-Piombino", DN750 (30");
 Attraversamento Fosso di Bolgheri (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-00418
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 6 di 62	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'attraversamento dell'alveo del fosso di Bolgheri da parte del metanodotto in progetto "Rifacimento Met. Livorno – Piombino, DN750" ricade nell'ambito del territorio comunale Castagneto Carducci (LI), circa 1 km a monte dei ponti della strada S.S. n.1 "Aurelia" e della ferrovia "Roma-Pisa".

Dal punto di vista idrografico, l'ambito di attraversamento ricade nel tratto basso dello sviluppo del corso d'acqua (a circa 3.5 km dalla foce in mare), tuttavia a monte della confluenza del fosso ai Molini (che rappresenta il principale affluente).

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

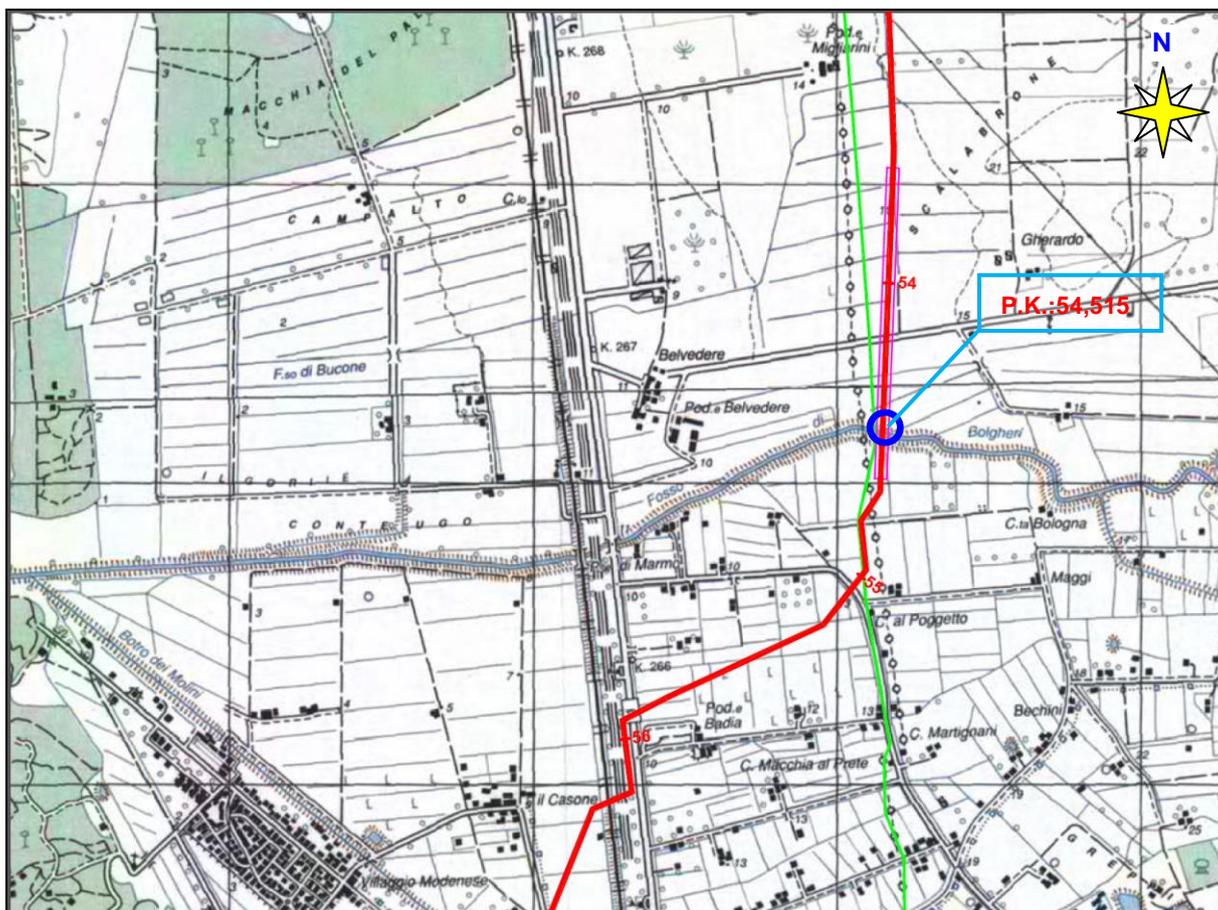


Fig.2.1/A: Corografia generale in scala 1:25.000 (dalle tavolette IGM)

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

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

Coordinate ambito di attraversamento del corso d'acqua		
Coordinate Piane (EPSG: 3003): Est /Nord	1628100 m E	4783970 m N

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00418
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 7 di 62

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

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

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

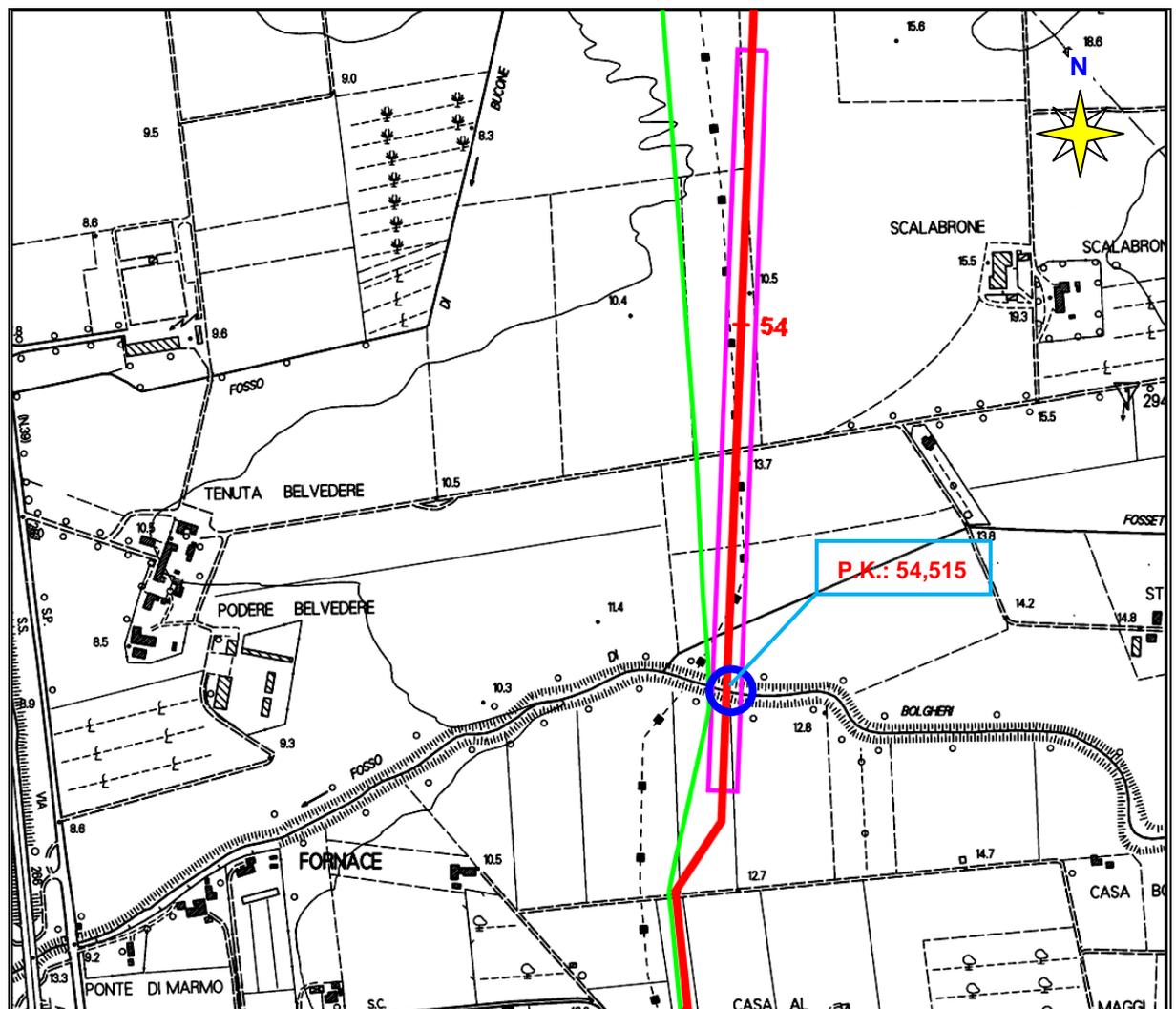


Fig.2.1/B: Stralcio planimetrico in scala 1:10.000 (C.T.R. Regionali)

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00418
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 8 di 62	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

3 CARATTERIZZAZIONE DELL'AMBITO IN ESAME

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

Il fosso di Bolgheri è un corso d'acqua di significativa importanza ricadente nell'UoM Toscana Costa del Distretto Idrografico dell'Appennino Settentrionale.

Il corso d'acqua è caratterizzato da un bacino complessivo di superficie di circa 77 km² (considerando anche quello relativo al fosso del Molini, che si immette nel Bolgheri in prossimità della foce in mare), ricadente quasi integralmente nel territorio di Castagneto Carducci (LI) e interessando molto marginalmente (nella sua parte sommitale) il territorio di Monteverdi Marittimo (PI).

Il fosso di Bolgheri si origina nel margine orientale del territorio di Castagneto, sulle pendici del rilievo Poggio Bastianaccio e si sviluppa per i primi 4km in una stretta valletta in direzione Nord. Poi, nei pressi di "Poggio alle Querce di Sotto", devia in direzione Ovest, e inizia a scorrere in una valle che diviene più ampia. Arriva in pianura in prossimità della località "Molino del Gelli", per poi dopo un percorso complessivo di circa 15km sfocia in mare tra il Poggio delle Civette e il Piano del Casone.

Si individuano vari affluenti di significativa rilevanza, tra cui fosso dell'Olmaia, Botro dei Molini e Botro delle Macine in destra e la Fossa e Fosso dell'Acquabona in sinistra idrografica. Tuttavia, il fosso ai Molini (con il suo bacino di circa 19.5 km²) rappresenta il principale tributario, che si immette nel Bolgheri, da sinistra, a circa 0.5km dalla foce in mare.

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-00418
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 9 di 62

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

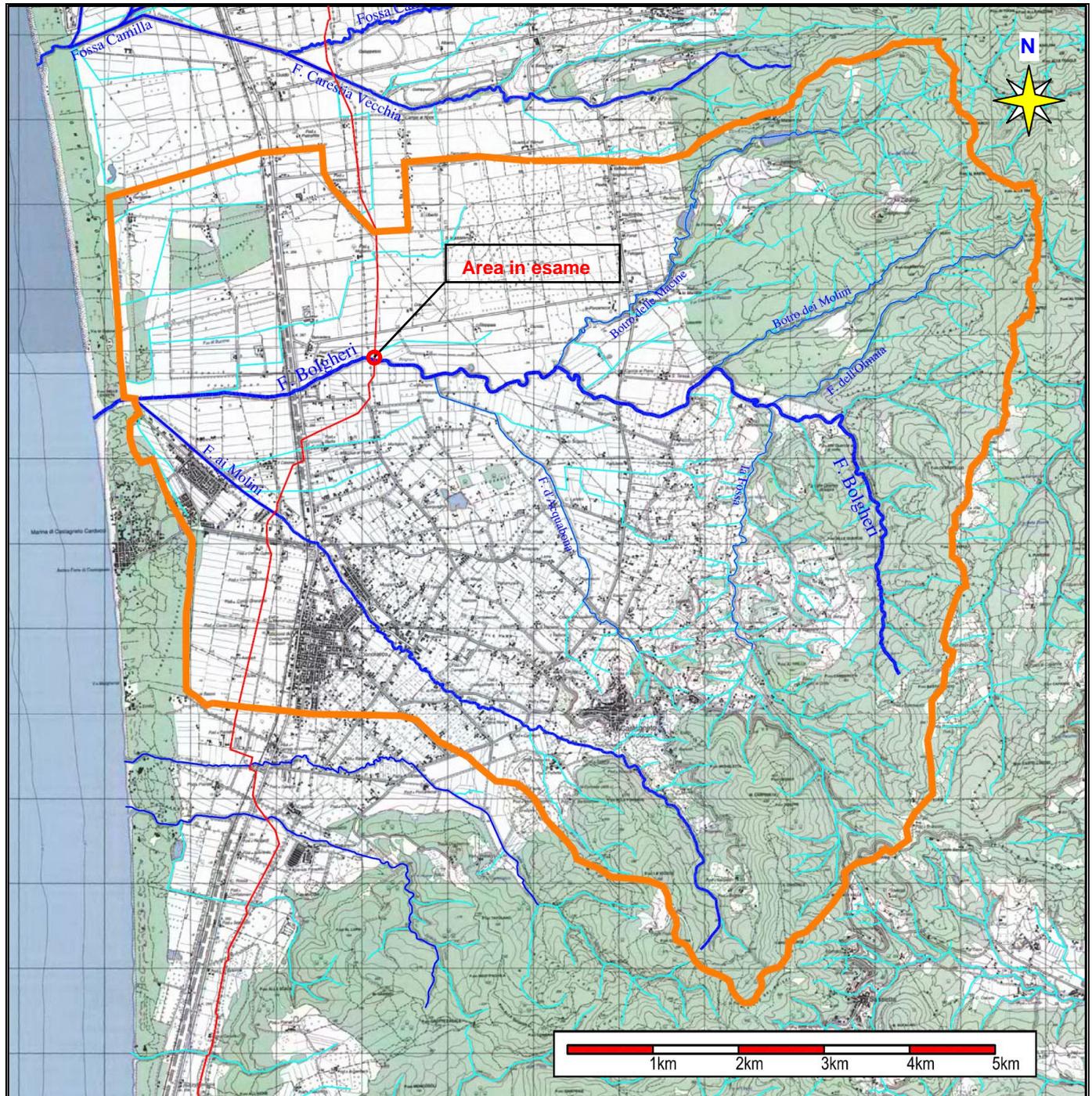


Fig.3.1/A: Bacino complessivo del corso d'acqua ed indicazione dell'ambito di studio

Dall'esame della figura precedente si rileva che l'attraversamento del metanodotto in progetto ricade nel tratto basso dello sviluppo del corso d'acqua (a circa 3.5 km dalla foce in mare), tuttavia a monte della confluenza del fosso ai Molini (che rappresenta il principale affluente).

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00418
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 10 di 62	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

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 basso dello sviluppo del corso d'acqua, circa 1 km a monte dei ponti della strada S.S. n.1 "Aurelia" e della ferrovia "Roma-Pisa".

In corrispondenza dell'area di attraversamento, il corso d'acqua assume un andamento longitudinale leggermente sinuoso. L'alveo si presenta ampio e completamente artificializzato, con sezione a doppio trapezio e con alveo di magra (savanella) gradonato e ampio circa 10m. Poi si individuano delle strette fasce golenali (di ampiezza di circa 10metri per lato) e dei rilevati arginali che si elevano di 4m dal piano golena e circa 1.5÷2.5m nei confronti del piano campagna circostante. L'alveo e gli argini sono ricoperti da una folta vegetazione erbacea ed arbustiva, con prevalenza di canneti. Non sono presenti fenomeni di erosione sia a carico del fondo alveo che delle sponde.

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

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



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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00418
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 11 di 62	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

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

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

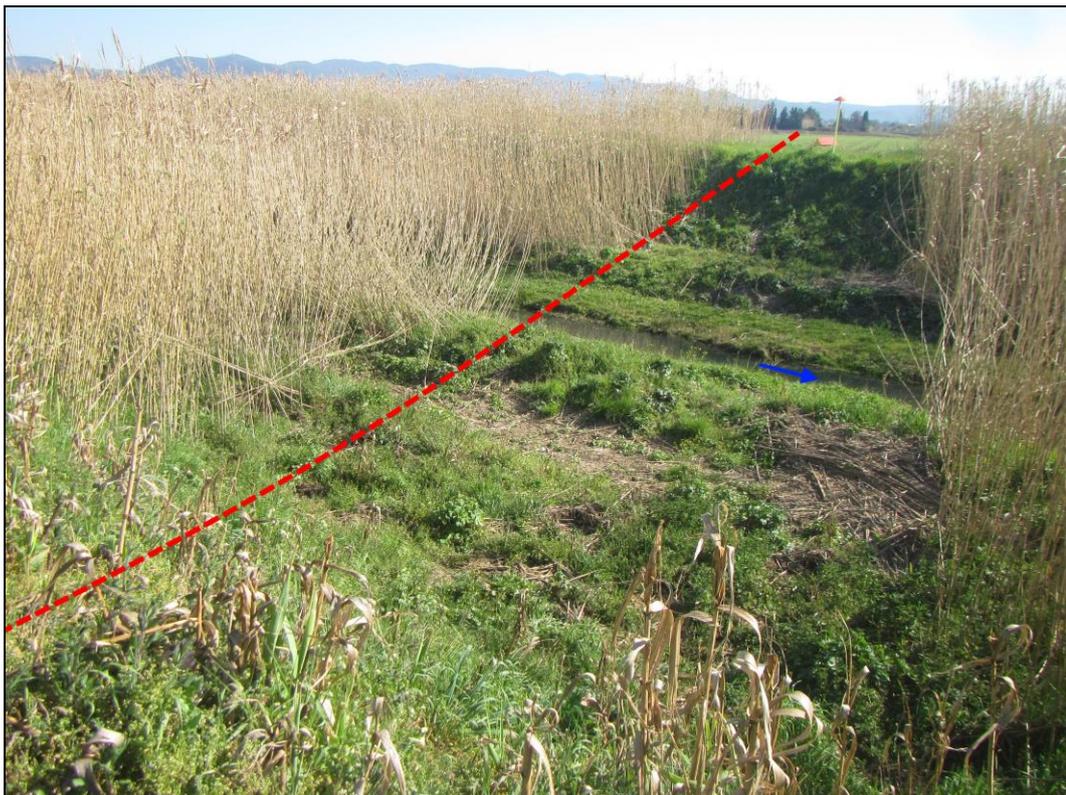


Fig.3.2/B: Foto ambito d'attraversamento

3.3 Indagini di caratterizzazione litostratigrafica

Per l'acquisizione degli elementi che hanno permesso di esprimere un giudizio sui litotipi dei terreni presenti nell'ambito fluviale in esame, recentemente (nell'ottobre), 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 sono stati recuperati le colonne stratigrafiche di ulteriori sondaggi effettuati nel 2009 nella medesima area di attraversamento, nell'ambito del progetto del metanodotto SRG "Piombino -Collesalveti" (intervento mai realizzato).

Nella figura seguente si riporta una foto aerea dell'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-B35: nel lato in sx idrografica del corso d'acqua (prof.20m);
- S60 (anno 2009): nel lato in dx idrografica del corso d'acqua (prof.20m);
- S61 (anno 2009): nel lato in dx idrografica del corso d'acqua (prof.30m);
- S62 (anno 2009): nel lato in dx idrografica del corso d'acqua (prof.20m);

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA	REL-CI-E-00418	
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 12 di 62	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

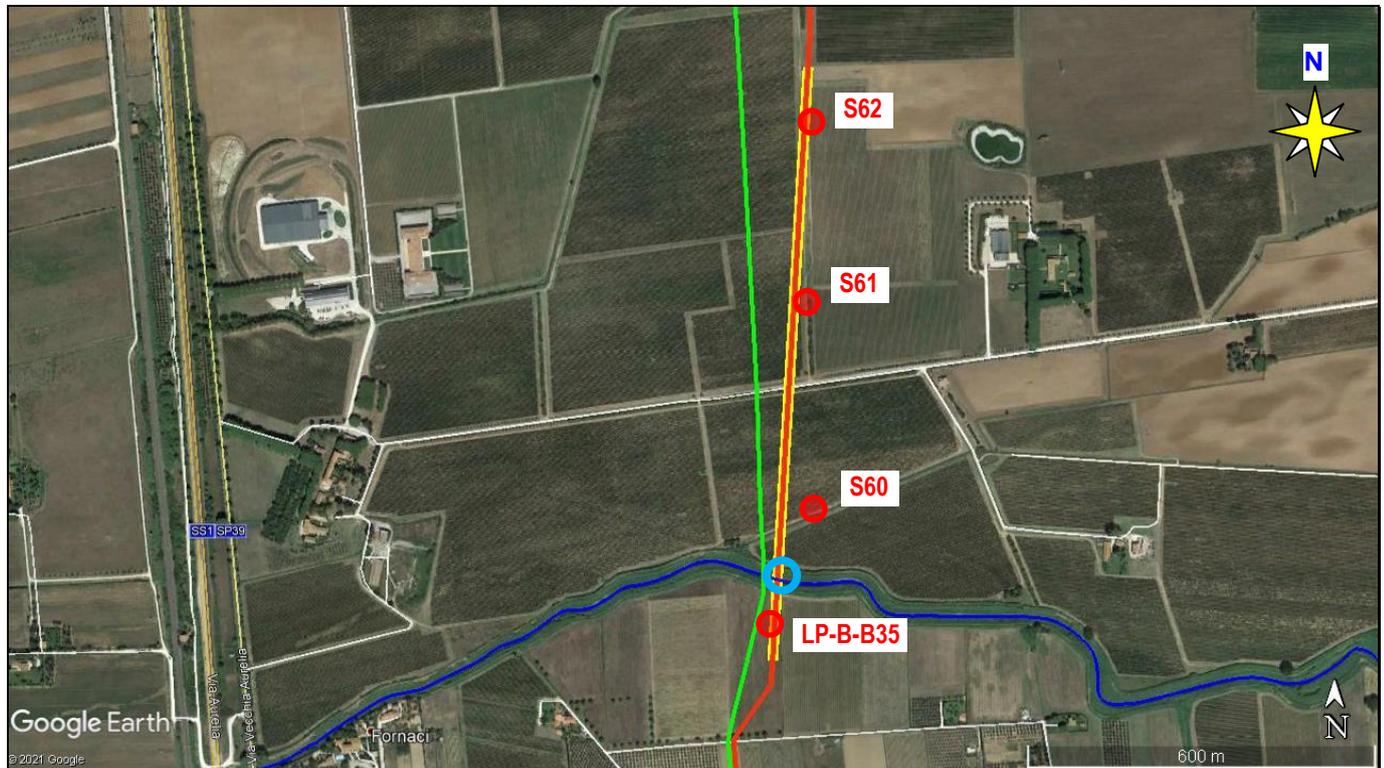


Fig.3.3/A: Foto aerea dell'ambito di attraversamento, con ubicazione dei sondaggi geognostici

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

In particolare, dall'esame delle colonne stratigrafiche dei sondaggi posti in destra idrografica, s'individua nel sottosuolo la presenza di un'alternanza tra livelli costituiti prevalentemente da sabbie di varia granulometria e limi, intercalati con degli strati (generalmente di modesto spessore) di ghiaie.

Dal sondaggio in sinistra idrografica (LP-B-B35), s'individua nel sottosuolo un'alternanza tra numerosi livelli costituiti prevalentemente da sabbie, da argille e da ghiaie.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00418
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 13 di 62		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

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 Piano Operativo e alla Variante al Piano Strutturale del Comune di Castagneto Carducci. Detto studio ha ottenuto l'esito positivo nei controlli da parte degli enti competenti.

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

4.3 Sezione di studio - Parametri morfometrici del bacino

Si assume come sezione di studio quella di attraversamento da parte della linea in progetto, che ricade nel tratto basso dello sviluppo del corso d'acqua, a circa 3.5 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-00418

PROGETTO

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

Fg. 14 di 62

Rev.
0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

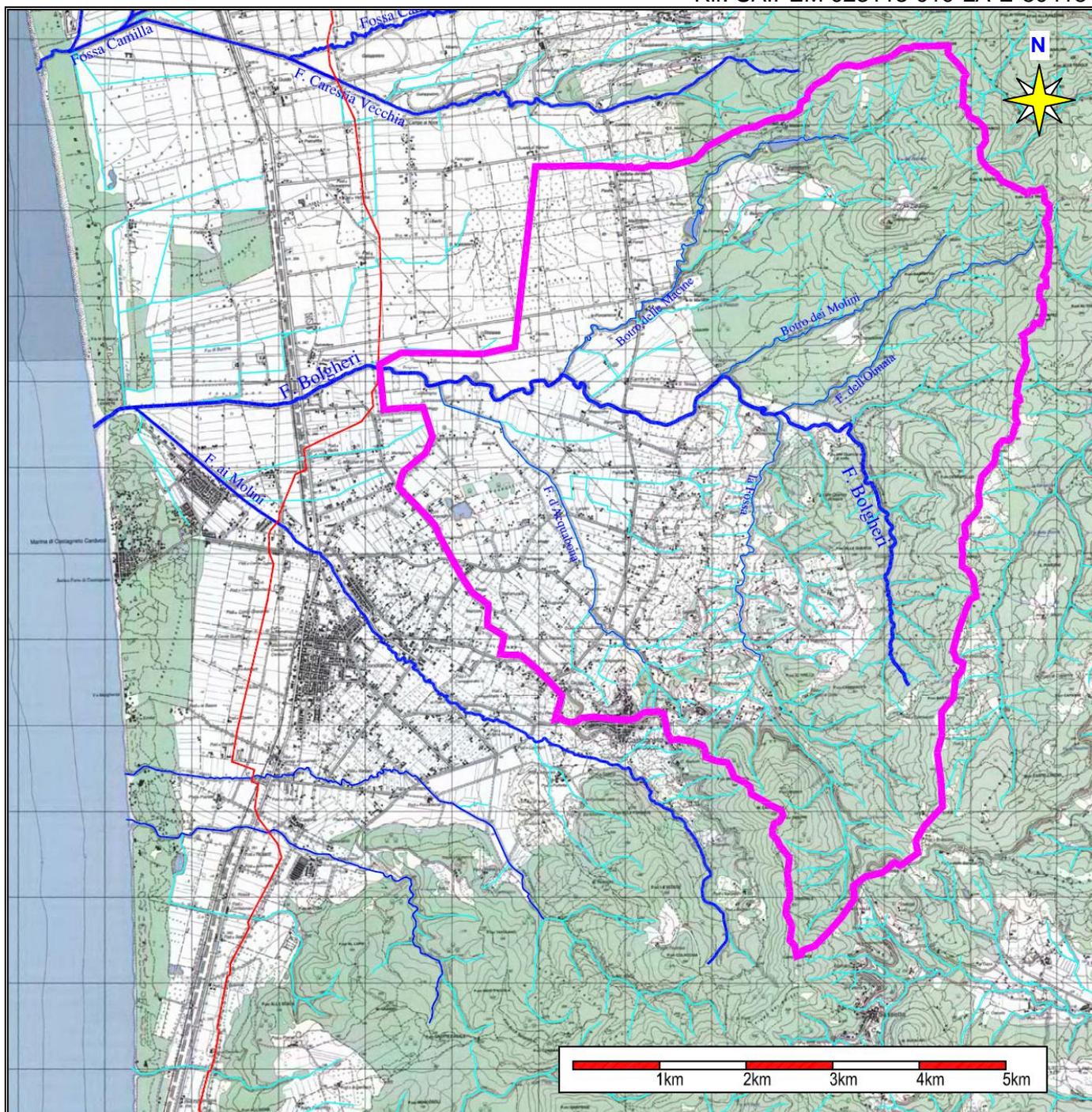


Fig.4.3/A: Bacino Imbrifero sotteso dalla sezione di studio

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00418
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 15 di 62	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

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 di Bolgheri	Sez. Attrav.	46	11	506	8

4.4 Studio Comune di Castagneto – Descrizione sintetica

4.4.1 Premessa

Lo studio idrologico ed idraulico è stato redatto da un Raggruppamento Temporaneo di professionisti (formato da MATE Soc. Coop., Dream Italia Soc. Coop. e Arch. Parlanti), su incarico del Comune di Castagneto Carducci, con lo scopo di costituire un elaborato specialistico a supporto del Piano Operativo e alla Variante al Piano Strutturale.

Lo studio ha la finalità di definire le classi di pericolosità idraulica delle zone di interesse urbanistico del Comune di Castagneto Carducci ed ha analizzato i seguenti corsi d'acqua, da nord a sud:

- Fosso Bolgheri;
- Fosso ai Molini;
- Fosso della Carestia;
- Fosso dell'Acquacalda;

In aggiunta per quanto riguarda il Fosso Camilla e il Fosso Cipressini, localizzati rispettivamente ai confini con i Comuni di Bibbona e di San Vincenzo, sono stati recepiti i risultati di altri studi specialistici redatti a supporto degli strumenti urbanistici dei comuni confinanti interessati.

4.4.2 Analisi idrologiche - Cenni

La modellazione idrologica ha previsto una schematizzazione della trasformazione degli afflussi in deflussi superficiali con il metodo del Curve Number. L'analisi idrologica è stata implementata tramite il software HEC-HMS, ed è stata svolta con riferimento agli eventi di piena caratterizzati da tempi di ritorno di 30 e 200 anni.

Pluviometria

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

$$h = a t^n$$

dove h è l'altezza di precipitazione espressa in mm, t è la durata di pioggia ed a e n sono i parametri caratteristici delle curve. Per l'area in esame si è fatto riferimento alla stazione pluviometrica di Castagneto Carducci (TOS11000069), che per vicinanza è la più significativa. I parametri della curva sono riportati nella tabella sottostante:

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00418
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 16 di 62	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

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

Stazione di Castagneto Carducci	a	n
Tr = 200 anni	84.4175	0.347420
Tr = 30 anni	60.6907	0.283954

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, dopo confronto tecnico con gli uffici del Genio Civile di Pisa e Livorno, si è deciso di utilizzare quello di tipo triangolare, con picco di scroscio a 0.5 volte la durata dell'evento.

Perdite idrologiche: metodo CN

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

$$I_a = 0.2 \cdot S$$

dove S è definita dall'espressione:

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

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

Si è optato l'utilizzo dell'idrogramma unitario del SCS.

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

4.4.3 Simulazioni idrauliche - Cenni

Le verifiche idrauliche sono state realizzate con un modello accoppiato di tipo monodimensionale all'interno del canale e puramente bidimensionale per la propagazione dei volumi esondati sul piano campagna, implementato con il software HEC RAS 5.0.3, che è un modello fisicamente basato in grado di conservare e distribuire i volumi d'acqua in base all'effettiva morfologia e topografia del territorio analizzato.

Lo schema di moto all'interno del canale è di tipo unidimensionale non stazionario (moto vario), risolto mediante integrazione numerica delle equazioni di De Saint

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00418
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 17 di 62	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

Venant; le arginature od i cigli di sponda sono rappresentati mediante sfioratori longitudinali (Lateral Structures) che, nell'evenienza in cui il livello liquido raggiunga la sommità arginale, trasferiscono il volume esondato sul territorio, per la sua propagazione con schema di moto bidimensionale, che è risolto mediante l'integrazione numerica delle equazioni del moto, espressa come equazione dell'onda dinamica completa, e di conservazione del volume.

Caratteristiche geometriche del modello

Le sezioni trasversali significative dei corsi d'acqua, così come la geometria dei manufatti di attraversamento e di sponda, sono state ricavate da accurata campagna topografica in sito, mediante rilevazione con GPS e correzione differenziale RTK. Il modello tridimensionale del terreno è stato invece ricavato mediante LIDAR reso disponibile dalla Regione Toscana, che nella zona presenta una maglia 2 x 2 m in corrispondenza della fascia costiere-dunale e maglia 1x 1 m in tutto il restante territorio comunale, eventualmente integrato puntualmente con dati topografici in aree con importanti trasformazioni avvenute successivamente al volo LIDAR.

Parametri di scabrezza e coefficienti di perdita concentrata

La definizione dei coefficienti di scabrezza è stata fatta distinguendo il moto nei canali e quello nella piana alluvionale. Per quanto riguarda il primo caso si sono assunti i seguenti valori di scabrezza:

Tipologia	Scabrezza n (Manning)
Canale principale	0.035-0.04
Sommità spondale	0.065
Manufatti in cls	0.025

Sempre per quanto riguarda le verifiche in moto vario all'interno del canale principale si sono assunti i seguenti coefficienti di contrazione/espansione:

Tipologia	Coeff. Contrazione	Coeff. Espansione
Variazioni graduali di sezione	0.1	0.3
Brusche variazioni di sezione	0.3	0.5
Ponti e attraversamenti	0.3	0.5

L'interfaccia 1D-2D è stata simulata mediante lateral structures ricalcanti il profilo longitudinale della sommità arginale, con sfioro delle acque con stramazzo direttamente nelle aree 2D, simulato mediante la "Standard Weir Equation".

La definizione dei coefficienti di scabrezza della pianura alluvionale è stata effettuata mediante valori di letteratura associati ai codici di uso del suolo del Land Corine Cover.

Condizioni al contorno

Come condizione al contorno di monte di ciascun corso d'acqua è stato imposto l'idrogramma di piena, mentre la condizione di valle è stata rappresentata imponendo un livello costante di +1.0 m rispetto alla quota dell'ultima sezione, a simulare l'influsso della dinamica marina da valle.

Restituzione del modello idraulico

Il modello idraulico restituisce per gli eventi Tr 30 anni e 200 anni i battenti e le velocità nelle zone interessate da allagamenti: le carte allegate alla relazione riportano

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00418
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 18 di 62	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

“l'inviluppo” delle esondazioni ovvero si considerano le celle bagnate tutte accese simultaneamente, in modo da determinare la massima estensione spaziale dell'evento.

4.5 Studio Com. di Castagneto – Modellazione idrologica di Bolgheri

4.5.1 Sottobacini e parametri idrologici

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

Tab.4.5/A: Sottobacini - Parametri morfometrici

Bacini	A (km ²)	L (km)	Hmax	Hmin	Hmedia	Zmax asta	i	iB
Bolgheri Monte	22.385	1.92	506.9292	40.654	210.13	81.92	0.0215	0.2425
Bolgheri Medio	12.415	5.30	464.3551	11.018	72.103	40.98	0.0057	0.0856
Bolgheri Valle	23.425	3.37	38.85222	0.1	9.2158	11.08	0.0033	0.0115

L'ambito di attraversamento del metanodotto in progetto ricade nel sottobacino di valle, tuttavia a monte dei ponti delle strade vecchia e nuova Aurelia e della linea FS, i quali (soprattutto la ferrovia), come meglio evidenziato nel seguito, rappresentano degli ostacoli molto significativi per il deflusso delle acque.

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

Tab.4.5/B: Sottobacini - Parametri idrologici

Bolgheri	A (km ²)	L (km)	Ventura	Kirpich	Pasini	Pezzoli	Ferro	Tc (h)	T rit (h)	Reach Lag (min)	CN II	CN I	CN III
Monte	22.385	1.92	1.22	0.19	2.55	0.72	3.19	1.58	0.95	16.03	70	50	84
Medio	12.415	5.30	1.53	0.62	5.72	3.87	2.38	2.82	1.69	28.06	69	49	84
Valle	23.425	3.37	5.73	0.94	7.99	3.24	3.27	4.24	2.54	44.14	68	48	83

4.5.2 Risultati della modellazione

Si riportano di seguito i valori di portata ottenuti per i bacini considerati, considerando uno ietogramma triangolare di durata del tempo di corrivazione, con picco centrale, idrogramma unitario del SCS e considerando un CN III.

In particolare, qui di seguito si riporta una tabella riepilogativa dei risultati dei valori delle portate al colmo di piena nei vari sottobacini e nella sezione di chiusura.

Tab.4.5/C: Portate Massime al colmo di piena

Bacino	Tr 30 anni		Tr 200 anni	
Bolgheri	Portata di picco Q ₃₀ (m ³ /s)	Portata specifica q (m ³ /s km ²)	Portata di picco Q ₂₀₀ (m ³ /s)	Portata specifica q (m ³ /s km ²)
Monte	122.10	5.45	218.30	9.75
Medio	59.30	4.77	109.20	8.80
Valle	51.10	2.18	102.80	4.38
Chiusura	226.30	3.88	408.20	7.01

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00418
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 19 di 62	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

Mentre nella figura seguente si riportano le curve degli idrogrammi di piena sul corso d'acqua riferiti ai tempi di ritorno di 30 e 200 anni.

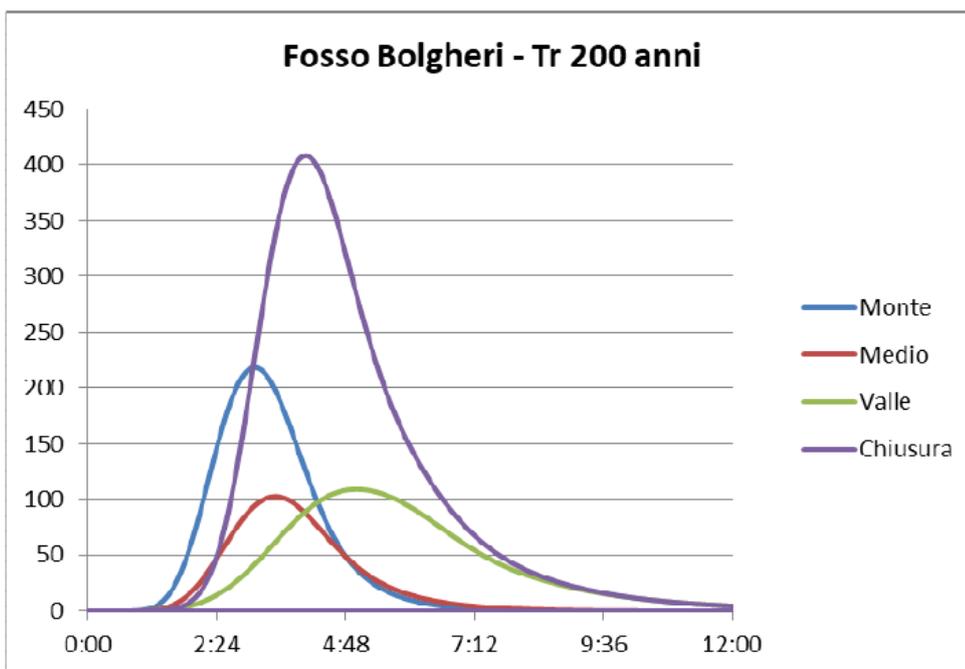
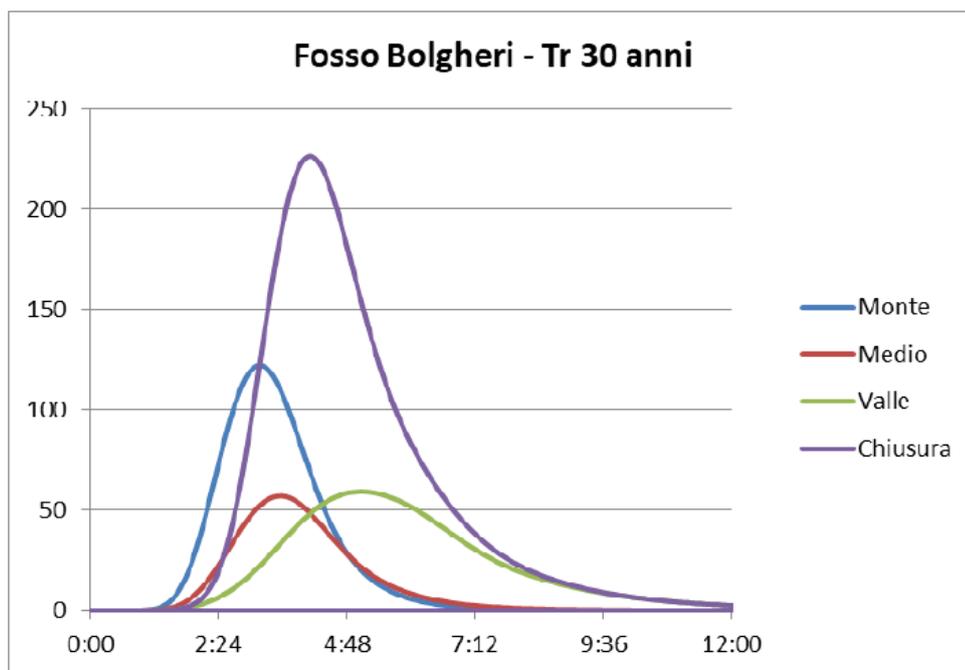


Fig.4.5/B: Idrogrammi di piena

Per le valutazioni idrauliche (di cui al capitolo seguente) ci si riferisce sempre ai risultati dello studio del Comune di Castagneto Carducci sul corso d'acqua in esame, e (in conformità di quanto previsto in normativa) con particolare riferimento all'evento di piena duecentennale (Tr=200 anni).

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00418
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 20 di 62	Rev. 0	

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

5 VALUTAZIONI IDRAULICHE

5.1 Premessa

Lo studio idraulico è finalizzato alla valutazione dei parametri idraulici che caratterizzano il deflusso (velocità media della corrente, battente d'acqua, numero di Froude, carico totale e cinetico, ecc.) in considerazione di una generica portata o idrogramma di piena in uno o più ambiti di studio del corso d'acqua.

In generale le finalità ultime degli studi idraulici sono rappresentate dalla valutazione dei battenti idraulici in un tronco d'alveo 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, le verifiche idrauliche sono invece finalizzate principalmente all'individuazione dei parametri idraulici di deflusso necessari per la valutazione delle erosioni in alveo 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%).

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.

5.2 Considerazioni specifiche

Facendo seguito a quanto già evidenziato nel capitolo precedente, il corso d'acqua in esame è stato oggetto di approfondite analisi idrauliche condotte nell'ambito dello studio idrologico ed idraulico redatto a supporto del Piano Operativo e alla Variante al Piano Strutturale del Comune di Castagneto Carducci. Detto studio ha ottenuto l'esito positivo nei controlli da parte degli enti competenti.

L'ambito di attraversamento del metanodotto in progetto ricade all'interno del tratto analizzato nello studio sopramenzionato. Onde per cui per le valutazioni idrauliche relative all'ambito specifico in esame, si è deciso di riferirsi esplicitamente ai risultati degli studi idraulici del Comune di Castagneto Carducci.

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00418
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fig. 21 di 62		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

5.3 Studio Comune di Castagneto – descrizione delle modellazioni idrauliche

Per l'analisi sintetica dei criteri di modellazione utilizzati nello studio idrologico ed idraulico redatto a supporto del Piano Operativo e alla Variante al Piano Strutturale del Comune di Castagneto Carducci, si rimanda all'analisi del par.4.4 del presente elaborato.

Per un'analisi più approfondita si rimanda invece all'esame degli elaborati dello studio sopraccitato, disponibile on-line presso il sito ufficiale del Comune di Castagneto Carducci.

5.4 Selezione dei risultati di interesse

La gran parte dell'asta fluviale del corso d'acqua (a partire dalla strada provinciale Bolgherese, sino alla foce in mare) è stata oggetto di analisi di modellazione idraulica nell'ambito dello studio del Comune di Castagneto.

In particolare, nella figura seguente si riporta uno stralcio planimetrico (in scala 1:10.000) con l'ubicazione delle sezioni di modellazione considerate in prossimità dell'ambito di attraversamento del metanodotto in progetto.

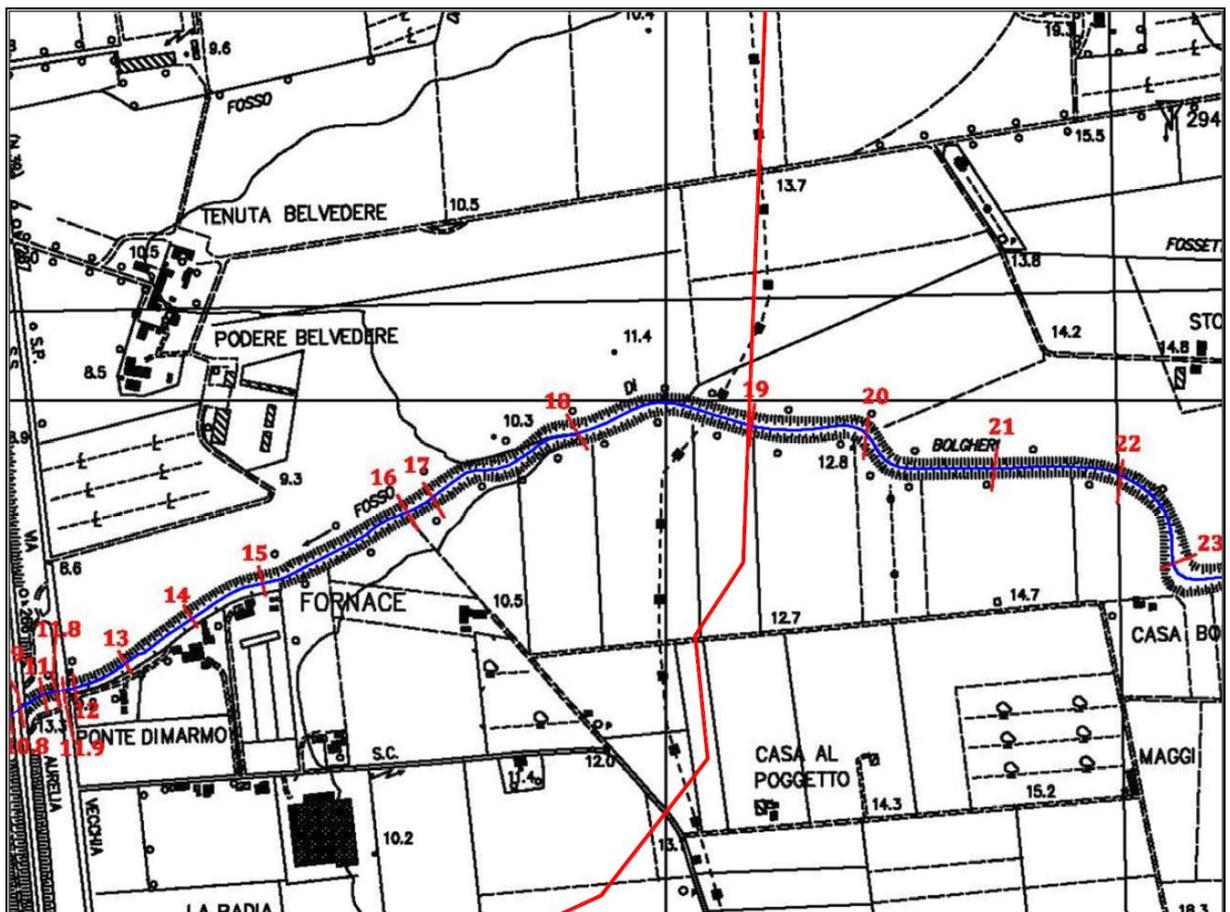


Fig.5.4/A: Stralcio planimetrico, con ubicazione delle sezioni di modellazione e met. in progetto

Dall'analisi della figura precedente si rileva che l'ambito di attraversamento del metanodotto in progetto (riportato tramite una linea in rosso), ricade in prossimità della River Station 19.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00418
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 22 di 62	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

Qui di seguito si riporta una tabella riepilogativa dei risultati della simulazione idraulica per l'evento duecentennale relativamente al tratto dalla località Casa Bologna sino alla strada provinciale "Vecchia Aurelia", all'interno del quale ricade l'ambito di attraversamento del metanodotto in progetto.

In particolare nella tabella sono riportati, per ciascuna sezione di calcolo, i principali valori dei parametri rappresentativi delle condizioni di deflusso.

Tab.5.4/A: Parametri di deflusso caratteristici nelle sezioni di calcolo

HEC-RAS Plan: Tr200_BM_ridotto Profile: Max WS												
Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
monte confluenza	23	Max WS	257.88	11.13	15.09		15.35	0.001973	2.27	113.72	46.29	0.46
monte confluenza	22	Max WS	257.87	10.70	14.50		15.31	0.006406	3.97	64.95	27.00	0.82
monte confluenza	21	Max WS	257.86	9.78	13.62		14.17	0.004008	3.26	79.09	31.45	0.66
monte confluenza	20	Max WS	257.85	8.99	12.91		13.39	0.003288	3.06	84.34	31.63	0.60
monte confluenza	19	Max WS	257.51	8.55	12.32		12.85	0.003693	3.21	83.49	39.04	0.63
monte confluenza	18	Max WS	257.25	7.11	11.74		12.00	0.001570	2.31	124.58	48.63	0.42
monte confluenza	17	Max WS	233.32	6.65	11.00		11.33	0.002088	2.54	92.69	34.60	0.48
monte confluenza	16	Max WS	222.59	6.40	10.95		11.26	0.001936	2.50	93.61	39.20	0.46
monte confluenza	15	Max WS	174.95	5.63	10.25		10.43	0.001140	1.90	92.26	30.65	0.35
monte confluenza	14	Max WS	158.84	5.16	9.60		10.11	0.004760	3.17	50.07	21.15	0.66
monte confluenza	13	Max WS	140.29	4.65	9.30		9.43	0.000721	1.61	97.23	36.24	0.28
monte confluenza	12	Max WS	148.41	4.22	9.12	7.15	9.34	0.001275	2.04	72.60	20.84	0.35

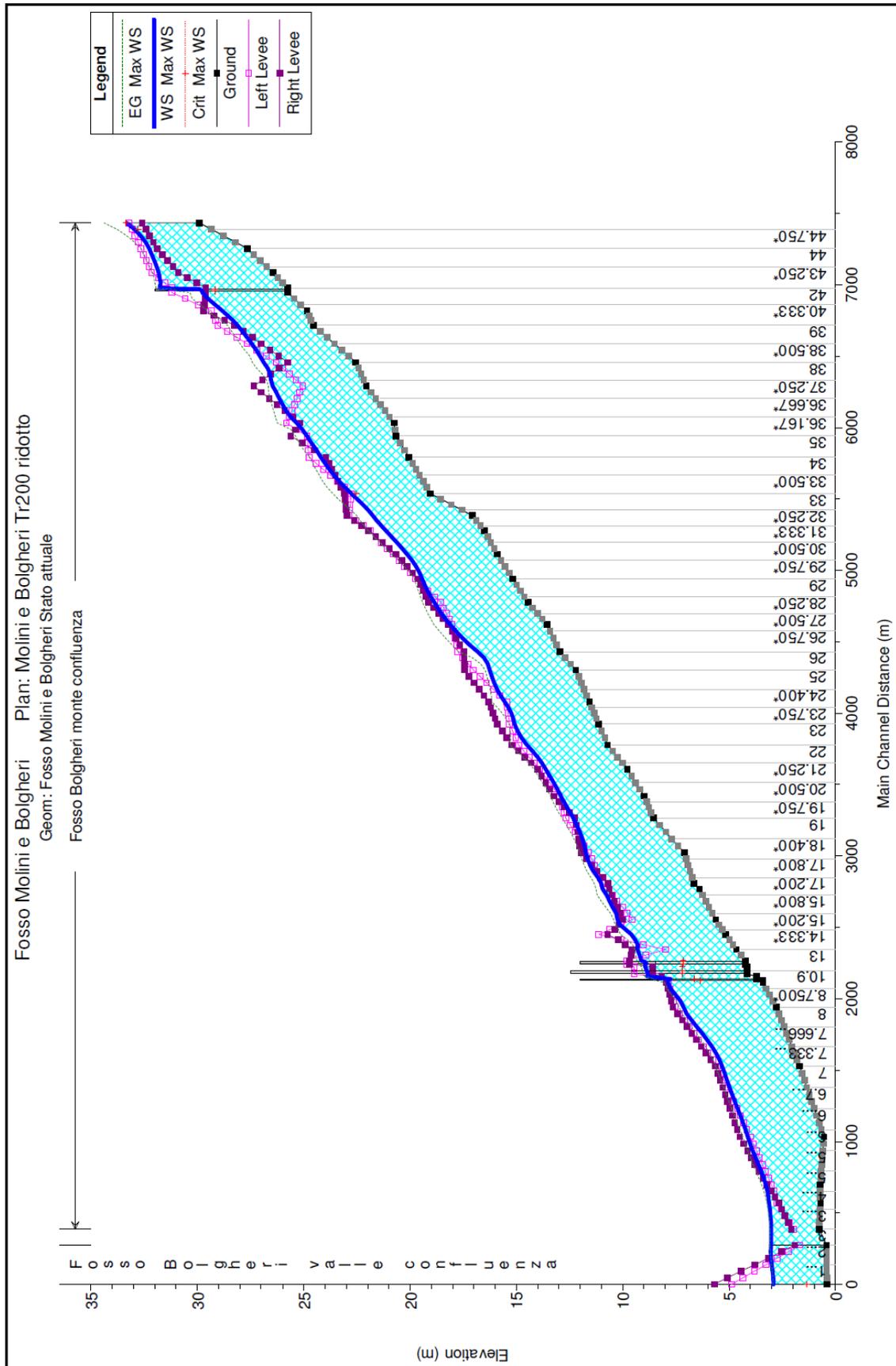
Nella tabella precedente, le righe con campitura in grigio rappresentano quelle relative alle sezioni del tronco d'alveo rappresentativo a cavallo dell'ambito di attraversamento del metanodotto.

Nella figura seguente si riporta uno stralcio planimetrico in scala 1:10.000 del tronco d'alveo in prossimità dell'ambito di attraversamento (riportato tramite una linea in rosso), con individuazione delle aree di esondazione e dei battenti idraulici.



PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00418
PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 24 di 62	Rev. 0	

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

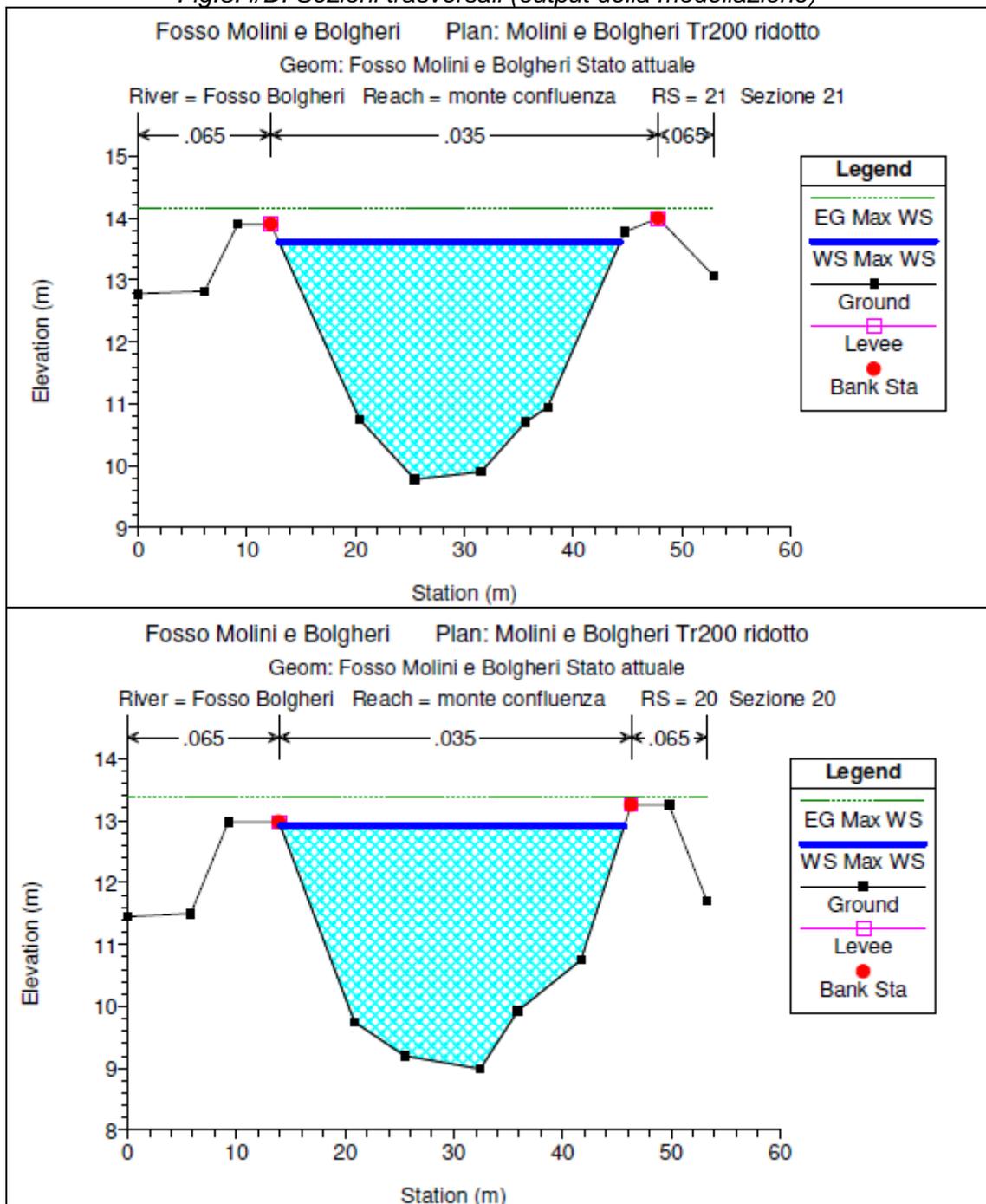


	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00418
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 25 di 62		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

Infine, nella figura seguente si riportano le sezioni trasversali di output del programma relative alle sezioni rappresentative a cavallo dell'ambito di attraversamento del metanodotto (sezioni con campitura in grigio nella Tab.5.4/A).

Fig.5.4/D: Sezioni trasversali (output della modellazione)





PROGETTISTA



COMMESSA
NR/20049

UNITÀ
000

LOCALITÀ

REGIONE TOSCANA

REL-CI-E-00418

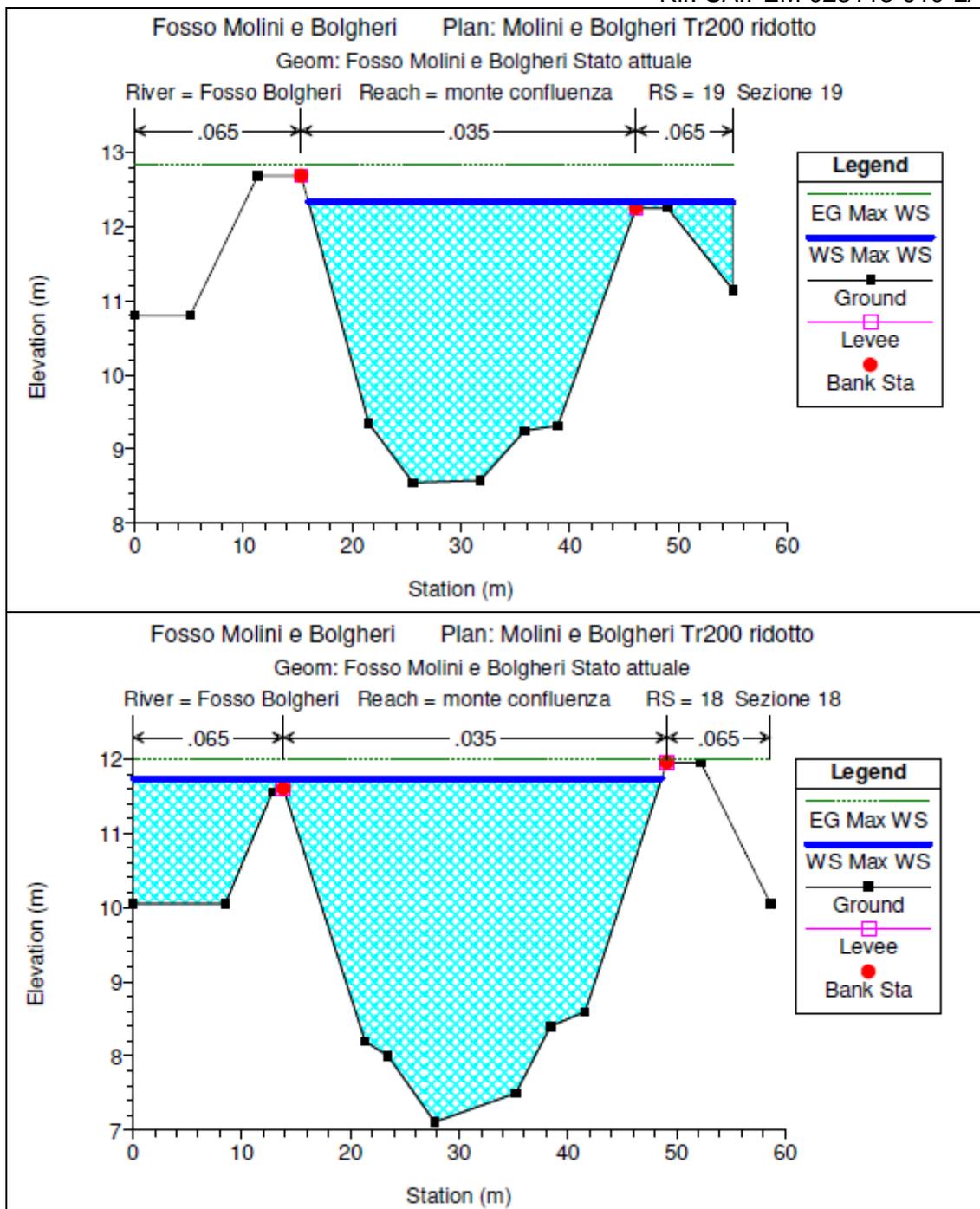
PROGETTO

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

Fg. 26 di 62

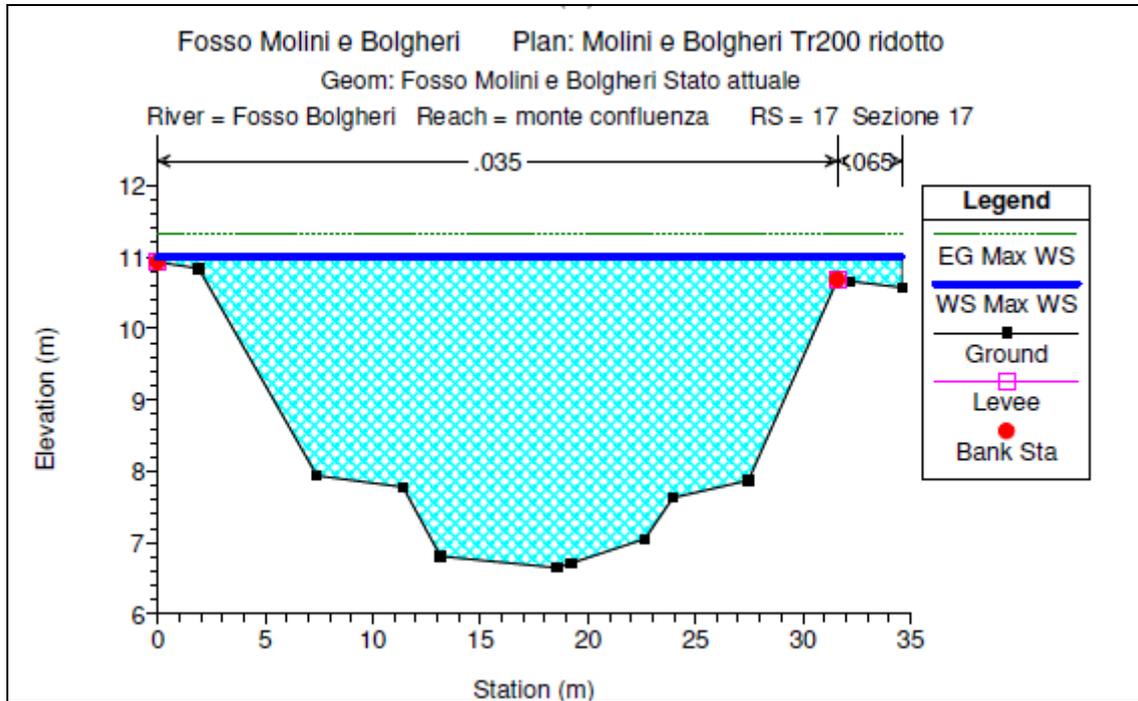
Rev.
0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418



	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00418
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 27 di 62	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418



	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00418
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 28 di 62		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

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-00418
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 29 di 62	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

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** = $h_0 + v^2/2g$ rappresenta il carico totale relativo alla sezione immediatamente a monte della buca;
- **h₀** = 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 del cavo tra le dune stesse.

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00418	
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 30 di 62	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

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-00418
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 31 di 62	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

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.

Ai fini delle valutazioni delle erosioni sono stati presi in considerazione i parametri idraulici caratteristici nelle sezioni rappresentative del tronco d'alveo a cavallo dell'ambito di attraversamento del metanodotto (indicate con campitura in grigio nella Tab.5.4/A), nonché i parametri geometrici relativi alle sezioni stesse.

I valori delle erosioni (approfondimenti localizzati ed arature di fondo), sono riportati nelle ultime due colonne della tabella seguente.

Tab.6.3/A: Erosioni nel fondo alveo

River Station	Q_Total (m ³ /s)	Vel_Chnl (m/s)	Hydr Depth_C (m)	Top Width (m)	Carico Tot. Idraulico (m)	Approfondimenti localizzati (m)	Arature di fondo (m)
21	257.86	3.26	2.51	31.45	4.38	1.87	1.26
20	257.85	3.06	2.67	31.63	4.40	1.87	1.33
19	257.51	3.21	2.14	39.04	4.30	1.73	1.07
18	257.25	2.31	2.56	48.63	4.90	1.71	1.28
17	233.32	2.54	2.68	34.6	4.68	1.81	1.34

6.4 Analisi dei risultati e considerazioni progettuali

Dall'esame dei risultati conseguiti e sintetizzati nella Tab.6.3/A si rileva che la corrente idraulica, in corrispondenza dell'ambito di attraversamento del metanodotto ed in concomitanza dell'evento di piena considerato, defluisce con una velocità media in alveo di circa 2.5÷3.5 m/s e risulta potenzialmente in grado di sviluppare dei fenomeni erosivi di fondo alveo con valore massimo di 1.87m

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-00418
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 32 di 62		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

7 METODOLOGIA COSTRUTTIVA E SCELTE PROGETTUALI

7.1 Metodologia costruttiva: TOC

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

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

Tale tecnica costruttiva è stata individuata nel caso specifico con lo scopo di salvaguardare dalle operazioni di scavo i corpi arginali presenti nell'area di attraversamento ed al seguito della verifica di disponibilità di spazi per l'allestimento della colonna varo. Lo sviluppo della trivellazione è stato inoltre prolungato in destra idrografica, in considerazione della presenza di un vigneto di altro pregio.

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;

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00418
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 33 di 62	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

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

Configurazione di progetto

Il profilo di trivellazione è caratterizzato da una configurazione costituita da n.3 tratti rettilinei (2 alle estremità ed uno centrale) e da n.2 archi di circonferenza.

Le principali caratteristiche geometriche del tunnel sono:

- Lunghezza dello sviluppo complessivo della trivellazione: di 1043m circa;
- Sviluppo complessivo dei tratti rettilinei: 823 m circa;
- Sviluppo complessivo dei tratti curvilinei: 220 m circa;
- Raggio di curvatura dei tratti curvilinei 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 6° e di 8°;
- copertura minima della trivellazione dalle quote di fondo alveo: di 9.70 metri circa;
- copertura minima della trivellazione dal piede esterno del rilevato arginale: di circa 11.5m, nel lato in sinistra idrografica;

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.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA	REL-CI-E-00418	
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 34 di 62	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

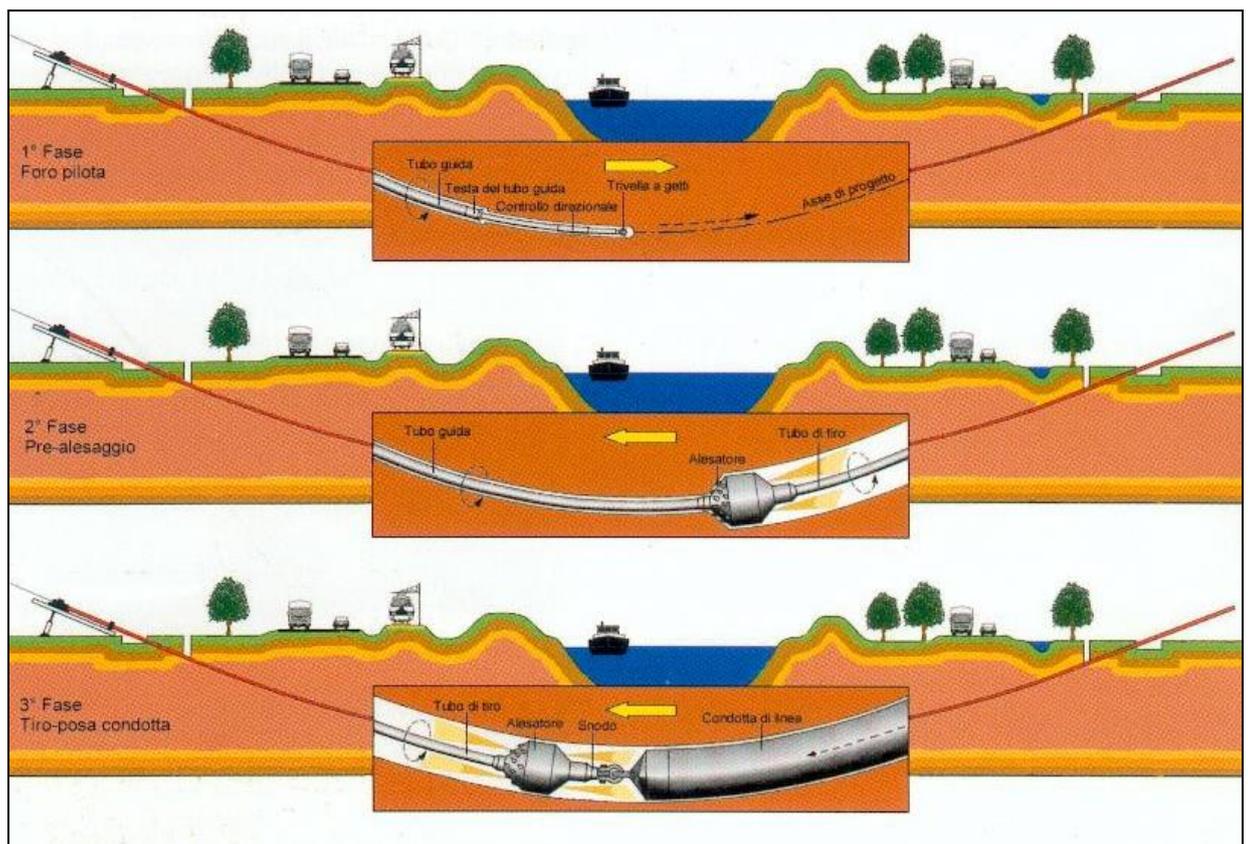
In generale il procedimento impiegato negli attraversamenti mediante l'impiego della metodologia "Trivellazione Orizzontale Controllata" è composto da tre fasi.

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

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

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

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



T.O.C.- Fasi di lavoro

Esecuzione del foro pilota

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

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00418
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 35 di 62	Rev. 0	

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

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

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

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

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

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

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

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

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



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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00418
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 36 di 62		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418



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-00418
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 37 di 62	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

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-00418
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 38 di 62	Rev. 0	

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

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-00418
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 39 di 62	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

8 ANALISI DELLA PROBLEMATICHE DEL SIFONAMENTO

8.1 Premessa

In corrispondenza dell'ambito di attraversamento in esame si rileva la presenza di rilevati arginali che si elevano per un'altezza moderata nei confronti del piano campagna circostante (di circa 1.5÷2.5m).

Tuttavia, per completezza di analisi dell'elaborato, nel presente capitolo viene presa in esame la problematica del sifonamento, connessa alla metodologia di trivellazione individuata, alla geometria di posa in subalveo prevista in progetto, nonché alla natura dei terreni intercettati nel sottosuolo.

8.2 Generalità

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

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

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

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

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

8.3 Metodologie di calcolo

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

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

Nelle condizioni ordinarie per le quali le trivellazioni sono giudicate fattibili si può

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00418
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 40 di 62	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

senz'altro escludere la possibilità che, a lungo termine, attorno alla condotta possa configurarsi, in modo continuo lungo il profilo di trivellazione, una fascia di terreno che rispetto a quello in situ possa rappresentare una "via preferenziale" per i moti di filtrazione delle acque di sub-alveo.

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

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

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

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

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

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

Le metodologie di calcolo di seguito utilizzate sono i seguenti:

- Metodo del gradiente
- Metodo di Lane
- Metodo olandese

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00418
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 41 di 62		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

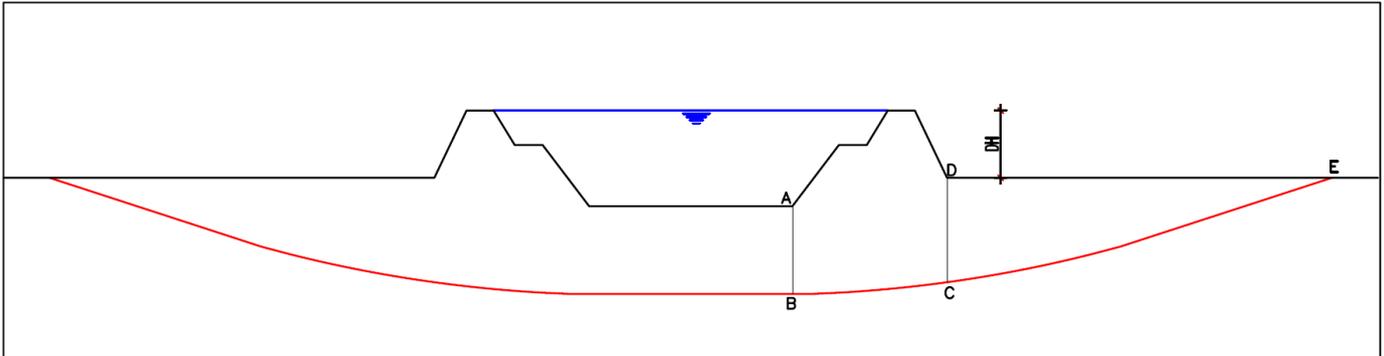


Fig. 8.3/A: Sezione schematica per le verifiche al sifonamento

Metodo del gradiente

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

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

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

dove:

- γ_s : peso specifico dei granuli
- γ_w : peso specifico dell'acqua
- γ' : peso specifico sommerso dei granuli

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

$$i = \Delta h / L$$

Il fattore di sicurezza nei confronti del sifonamento risulta pertanto:

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

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00418
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 42 di 62		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

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

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

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

Fig. 8.3/B: Stralcio NTC 2018 – 6.2.4.2

Criterio di Lane

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

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

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

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

Nel caso di terreni significativamente stratificati, il coefficiente di sicurezza può essere valutato effettuando una media ponderata dei valori proposti in tabella per ciascuna tipologia di terreno, in funzione degli sviluppi di trivellazione ricadenti in ciascuno strato interessato. Nello specifico in considerazione della tipologia di terreno individuata nella campagna geognostica (cfr. par.3.3), si assume un coefficiente di Lane pari 5.

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

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00418
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 43 di 62	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

Metodo olandese

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

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

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

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

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

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00418
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 44 di 62		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

8.4 Risultati

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

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

I risultati dei calcoli sono stati riportati nella tabella seguente.

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

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE							
CORSO D'ACQUA	ARGINE	PERCORSI IDRICI					BATTENTE
		AB	BC	CD	CE	AD	DH
Fosso di Bolgheri	Argine dx	11.34	11.33	13.16	>>AD	11.37	1.25
	Argine sx	10.20	18.80	11.83	>>AD	19.08	2.62
RISULTATI VERIFICHE AL SIFONAMENTO							
METODO GRADIENTE		CRITERIO DI LANE			METODO OLANDESE		
$L=AB+1/2BC+CD$	$Fs=i_{cr} \cdot L/DH$	$L=AB+1/3BC+CD$	F_{lane}	$F_s (>F_{lane})$	$L=AB+1/6BC+CD$	$Larg=AD/3$	$F_s=L/Larg$
30.17	14.48	28.28	5	22.62	26.39	3.79	6.96
31.43	7.20	28.30	5	10.80	25.16	6.36	3.96
	>=3			>=Flane			>1

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

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00418
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 45 di 62		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

9 VALUTAZIONI INERENTI ALLA COMPATIBILITA' IDRAULICA

9.1 Quadro normativo generale

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

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

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

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

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

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

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

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

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

9.1.2 D.Lgs. 49/2010

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

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00418
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 46 di 62	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

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

Mappe della pericolosità e del rischio di alluvioni

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

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

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

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

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

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

9.1.3 Piani di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)

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

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00418	
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 47 di 62	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

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-00418
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 48 di 62		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

9.2 Quadro normativo di riferimento per l'ambito in esame

9.2.1 Premessa

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

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

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

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

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

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

9.2.2 PGR del Distretto Appennino Settentrionale

Generalità

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

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

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00418
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 49 di 62		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

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-00418
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 50 di 62	Rev. 0	

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

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

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

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

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

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

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

9.2.3 L.R. n. 41/2018

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

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

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

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

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

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

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00418
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 51 di 62	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

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

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

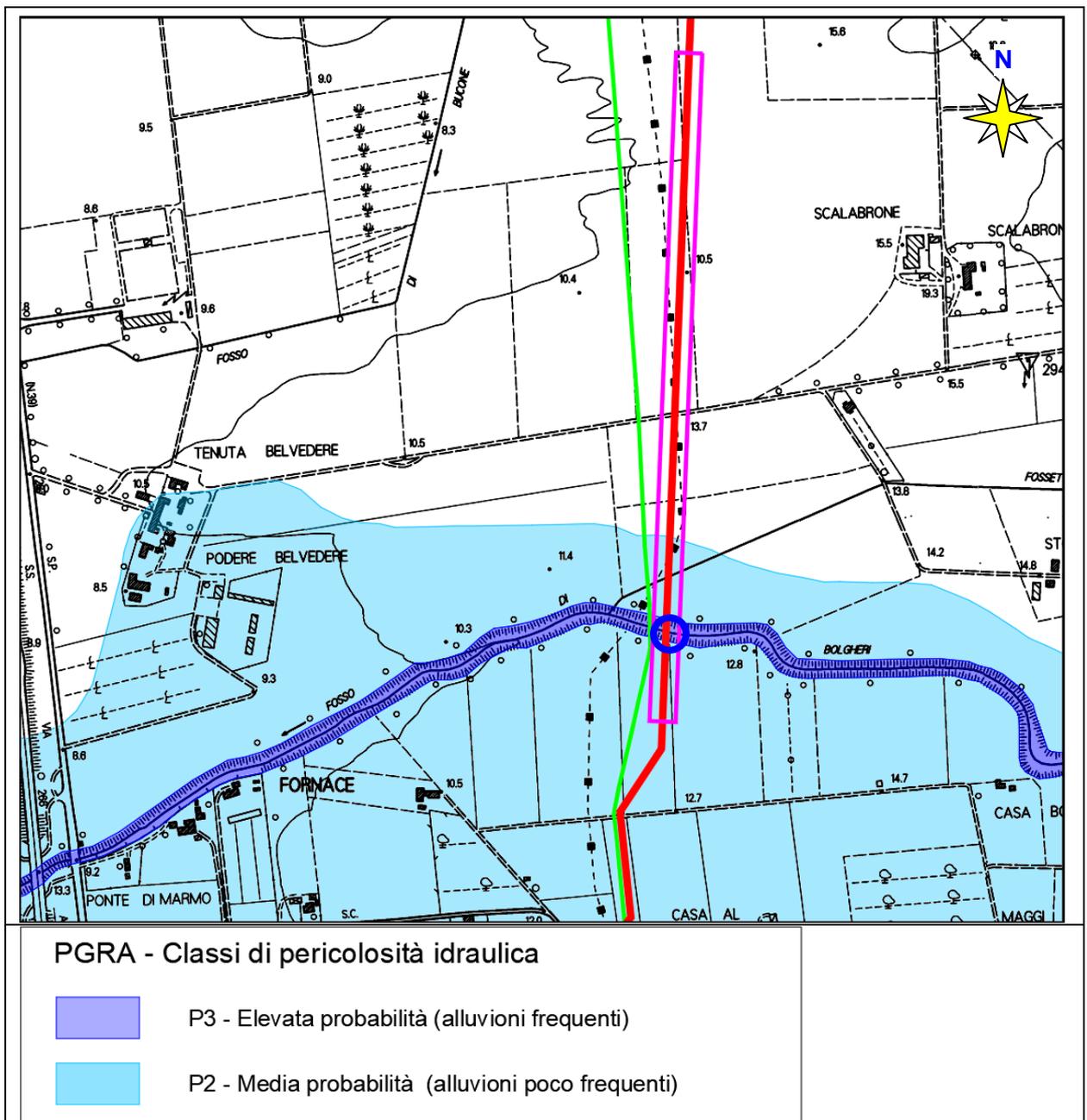


Fig.9.3/A: Interferenze tra metanodotto in progetto con le aree P2 e P3 dal PGRA

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00418
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 52 di 62		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

Dall'analisi della figura precedente si rileva che l'attraversamento del corso d'acqua ricade in un ambito dove nell'intorno s'individuano delle aree potenzialmente inondabili e dunque censite di pericolosità idraulica. In particolare, l'estensione dell'area inondabile in sinistra idrografica risulta particolarmente rilevante.

Dalla stessa figura si rileva, inoltre, che l'alveo del corso d'acqua (indicato con un cerchio in blu), tutte le aree censite a pericolosità da alluvioni elevate (P3), e le aree censite a pericolosità da alluvioni medie (P2) in destra, 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.

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

9.4 Analisi delle condizioni di compatibilità idraulica

9.4.1 Considerazioni di carattere generale

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

L'interferenza specifica con le aree 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.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00418	
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 53 di 62	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

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

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

Nel paragrafo precedente è stato evidenziato che l'alveo del corso d'acqua e le aree a pericolosità elevate (P3) verranno attraversate in trivellazione (in TOC) ad elevate profondità di posa. Pertanto, alla luce della metodologia operativa individuata e delle scelte progettuali, si evidenzia quanto segue:

- 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.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00418
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 54 di 62	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

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.

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

Relativamente ai tratti di percorrenza delle aree censite a pericolosità idraulica e ricadenti esternamente alla trivellazione (dove il metanodotto verrà posizionato mediante scavi a cielo aperto) si evidenzia quanto segue.

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

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

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

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

9.5 **Considerazioni conclusive sulla compatibilità idraulica**

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

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00418	
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 55 di 62	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

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-00418
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 56 di 62		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

10 CONCLUSIONI

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

Il suddetto tracciato del metanodotto in progetto (DN 750) interseca l'alveo del fosso di BOLGHERI nell'ambito del territorio comunale Castagneto Carducci (LI), circa 1 km a monte dei ponti della strada S.S. n.1 "Aurelia" e della ferrovia "Roma-Pisa".

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-00418
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 57 di 62		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

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-00418
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 58 di 62	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

APPENDICE 1: COLONNE STRATIGRAFICHE DEI SONDAGGI

		Cantiere: Variante Vigneto - Bolgheri		SONDAGGIO S60	FOGLIO 1/1		
		Data inizio: 21/03/2011	Quota inizio:	Committente: SAIPEM			
		Data fine: 22/03/2011					
Profondità m da p.c.	Prof. in m.	Stratigrafia	Descrizione terreno	Nspt	Prelievo campione	Livello falda	Prova Lefranc a carico variabile
			Limo sabbioso marrone				
2.20			Argilla debolmente limosa				
2.90			Limo sabbioso marrone a tratti nerastro, con rari ciottoli (Ø max 1 cm)				
3.20			Sabbia limosa marrone				
3.90			Sabbia limosa marrone scuro a tratti nerastra con rari ciottoli (Ø max 1 cm)				
4.70			Sabbia debolmente limosa marrone con screziature nerastra				
6.00			Campione indisturbato		6.00		
6.50			Limo sabbioso marrone		6.50		
7.50			Sabbia debolmente limosa marrone a tratti nerastra				
8.20			Limo sabbioso marrone				
8.50			Sabbia limosa marrone/nerastra con abbondanti ciottoli (Ø max 3 cm)				
9.00			Sabbia limosa marrone				
9.50			Sabbia debolmente limosa marrone con abbondanti ciottoli (Ø max 4 cm)				
10.50			Ghiala e ciottoli Ø 6+7cm, con sabbia	10.50 rifiuto			
11.50			Limo sabbioso marrone				
12.00			Ghiala e ciottoli Ø 6+7cm, con sabbia				
12.30			Sabbia limosa/limo sabbioso marrone				
13.50			Sabbia da media a fine marrone chiaro	15.00 p.a.			
16.00			Sabbia grossa marrone/grigia	3 6 13			
17.50			Sabbia grossa marrone chiaro/grigia a tratti debolmente cementata con rari ciottoli				
20.00			Fine sondaggio				
Attrezzatura utilizzata : Comacchio MC800 Metodo di perforazione : carotaggio continuo diam carotiere 101 mm diam rivestimento 127 mm Sondatore : I. Rade			NOTE:				

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00418
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 59 di 62	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

		Cantiere: Variante Vigneto - Bolgheri		SONDAGGIO S61	FOGLIO 1/2		
		Data inizio: 22/03/2011	Quota inizio:	Committente: SAIPEM			
		Data fine: 24/03/2011					
Profondità m da p.c.	Prof. in m.	Stratigrafia	Descrizione terreno	Nspt	Prelievo campione	Livello falda	Prova Lubrificazione e carico variabile
			Sabbia				
1.50			Sabbia e limo con ghiaia				
4.20			Limo e argilla				
4.70			Sabbia compatta		5.00		
5.00			Campione indisturbato		5.50		
5.50			Sabbia rosso/ocra				
7.00			Sabbia da griglia a marrone				
10.50			Campione indisturbato		10.50		
11.00			Sabbia limosa con ghiaia e clasti		11.00		
15.00			Sabbia	15.00 p.a. 6 13 22			
17.00			Arenaria				
20.00				19.50 ritratto			
Attrezzatura utilizzata : Comacchio MC800 Metodo di perforazione : carotaggio continuo diam carotere 101 mm diam rivestimento 127 mm Sondatore : I. Rade				NOTE:			

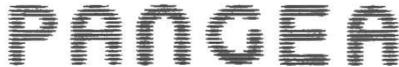
	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00418
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 60 di 62	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

		Cantiere: Variante Vigneto - Bolgheri		SONDAGGIO S61	FOGLIO 2/2		
		Data inizio: 22/03/2011 Data fine: 24/03/2011	Quota inizio:	Committente: SAIPEM			
Profondità m da p.c.	m P.B.E.	Stratigrafia	Descrizione terreno	Nspt	Prelievo campione	Livello falda	Prova Lafranc e carico variabile
20.50			Arenaria				
20.60			Sabbia limosa				
			Sabbia con ciassi				
23.20			Limbo e sabbia marrone con ghiala e sciezzature corceee.				
25.00			Sabbia				
30.00			Fine sondaggio				
Attrezzatura utilizzata : Comacchio MC800 Metodo di perforazione : carotaggio continuo diam carotiere 104 mm diam rivestimento 127 mm Sondatore : I. Rade				NOTE:			

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00418
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 61 di 62	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418

		Cantiere: Variante Vigneto - Bolgheri		SONDAGGIO S62	FOGLIO 1/1		
		Data inizio: 24/03/2011	Quota inizio:	Committente: SAIPEM			
		Data fine: 25/03/2011					
Profondità m da p.c.	Prof. in m.	Stratigrafia	Descrizione terreno	Nspt	Prelievo campione	Livello falda	Prova LeFranc a carico variabile
1.00			Sabbia limosa marrone				
1.40			Limo debolmente sabbioso con ghiaia				
1.60			Arenaria				
			Sabbia marrone ocra				
2.40			Sabbia e clasti di arenaria				
3.10			Limo argilloso debolmente sabbioso consistente				
3.60			Ghiaia (clasti di arenaria) e limo sabbioso marrone/ocra				
4.50			Campione indisturbato		4.50		
5.00					5.00		
			Ghiaia (clasti di arenaria) e limo sabbioso marrone/ocra. Da 6.30+6.70 resti vegetali nerastri.				
9.00			Sabbia addensata con limo e rari clasti				
10.10			Limo argilloso marrone		10.50		
10.50			Campione indisturbato				
11.00			Sabbia fine di colore grigio		11.00		
11.20			Limo argilloso compatto con rari clasti				
12.00			Limo sabbioso ocra, compatto				
12.20			Sabbia ocra				
12.50			Limo sabbioso ocra, compatto				
13.00			Sabbia	15.00 p.a.			
				4			
				11			
				18			
20.00			Fine sondaggio				
Attrezzatura utilizzata : Comacchio MC800 Metodo di perforazione : carotaggio continuo diam carotiere 101 mm diam rivestimento 127 mm Sondatore : I. Rade			NOTE:				

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00418
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 62 di 62	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80418



SONDAGGIO LP-B-B35		OGGETTO: Rifacimento Metanodotto Livorno Piombino						Ordine n°: IP1235IP03	Pag 111				
Redattore Dot. Geol. Mario Fascetto								Quota Bocca Foro s.l.m.: 12.00 m					
Operatore S.re F.Ferrante		Profondità raggiunta 20,00 m	Tipo Carotaggio Continuo a rotazione idraulica	Tipo Sonda CMV850	Inizio/Fine Esecuzione 07/10/2021 - 07/10/2021		Coordinate Lat: 43.196667° Long:10.576111°						
Scala (mt.)	Litologia	Descrizione	Quota (m)	RQD	%Carotaggio	Livello falda	Prove in foro S.P.T.	Prove in foro	Prelievo Campioni	Corona Carotaggio	Pocket penetrometer Kg/cm²	Vane test tascabile Kg/cm²	Strument. in foro
1		Sabbia argillosa debolmente limosa, marrone, carbonatica, asciutta, moderatamente addensata, granulometria medio-fine. con inclusi carboniosi nerastri e clasti millimetrici biancastri											
2			2,90										
3													
4		Argilla sabbiosa, colore grigio, asciutta, consistente, con inclusi carboniosi nerastri e clasti millimetrici biancastri. Buona reazione ad HCL											
5			5,50										
6		Sabbia debolmente limosa-argillosa, colore marrone, carbonatica, umida, moderatamente addensata, granulometria media, con clasti eterometrici da subangolari a sub-arrotondati.	6,50				PC - n. Colpi: 8/11/15 6,00 - 6,45 m						
7													
8		Ghiaia e sabbia. La ghiaia è costituita da clasti eterometrici da sub-angolari a sub-arrotondati. La sabbia, di colore marrone, granulometria grossolana, si presenta moderatamente addensata.					Data: 07/10/21 7,40 m						
9		Sabbia debolmente limosa, colore marrone, umida carbonatica, moderatamente addensata, granulometria media.	8,90				PA - n. Colpi: 7/9/12 9,00 - 9,45 m						
10		Sabbia debolmente limosa, colore grigio, umida carbonatica, moderatamente addensata, granulometria media.	9,60										
11		Da 10.50 a 10.90 m colore grigio scuro.	11,00										
12		Ghiaia e sabbia. La ghiaia è costituita da clasti eterometrici da sub-angolari a sub-arrotondati. La sabbia, di colore grigio, granulometria grossolana, si presenta moderatamente addensata.					PA - n. Colpi: 9/11/13 12,00 - 12,45 m						
13			13,40										
14													
15		Sabbia debolmente limosa, colore avana, umida carbonatica, moderatamente addensata, granulometria media.					PC - n. Colpi: 8/12/14 15,00 - 15,45 m						
16			16,10										
17		Argilla limosa a tratti debolmente sabbiosa, colore grigio, asciutta, consistente, struttura leggermente scagliettata. Buona reazione ad HCL	16,80										
18		Sabbia debolmente limosa, colore avana, umida carbonatica, moderatamente addensata, granulometria media.					PA - n. Colpi: 9/13/14 18,00 - 18,45 m						
19			19,00										
20		Ghiaia costituita da clasti eterometrici da sub-angolari a sub-arrotondati in matrice sabbioso-limosa. Sabbia di colore grigio, umida, addensata, granulometria medio-fine.	19,50				PA - n. Colpi: 11/14/17 19,50 - 19,55 m						
			20,00										

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

Cassette catalogatrici N° 4
Rivestimento fino a 20.0 m dal p.c.