

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 1 di 70	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

PROGETTO

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

Attraversamenti in subalveo di
n.4 CORSI D'ACQUA MINORI, TRIBUTARI DEL FOSSO TROGOLI
(km: 46,535, 47,160, 47,450 e 48,035)

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-00414
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 2 di 70	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

INDICE

1	GENERALITÀ	4
1.1	Premessa	4
1.2	Scopo e descrizione dell'elaborato	4
1.3	Disegni di Attraversamento	5
2	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	6
3	CARATTERIZZAZIONE DEGLI AMBITI IN ESAME	9
3.1	Analisi del contesto idrografico	9
3.2	Descrizione delle aree di attraversamento	10
3.2.1	<i>Ambito attraversamento fosso di Calcinaiola</i>	11
3.2.2	<i>Ambito attraversamento fosso di Fonte Lagone</i>	13
3.2.3	<i>Ambito attraversamento fosso dei Poggiali</i>	14
3.2.4	<i>Ambito attraversamento fosso del Castellaro</i>	15
4	VALUTAZIONI IDROLOGICHE	16
4.1	Generalità	16
4.2	Considerazioni specifiche preliminari	16
4.3	Sezioni di studio - Parametri morfometrici dei bacini	16
4.4	Studio Comune di Bibbona – Descrizione sintetica	18
4.4.1	<i>Corsi d'acqua oggetto di analisi</i>	18
4.4.2	<i>Analisi dei sottobacini</i>	18
4.4.3	<i>Analisi idrologica - Cenni</i>	20
4.5	Studio Comune di Bibbona - selezione risultati di interesse	24
4.6	Portate di progetto	25
4.6.1	<i>fosso di Calcinaiola - Portata di progetto</i>	25
4.6.2	<i>fosso di Fonte Lagone - Portata di progetto</i>	26
4.6.3	<i>fosso di Fonte dei Poggiali - Portata di progetto</i>	26
4.6.4	<i>fosso del Castellaro - Portata di progetto</i>	28
5	FOSSO DEI POGGIALI - STUDIO IDRAULICO	29
5.1	Considerazioni preliminari	29
5.2	Presupposti e limiti dello studio	29
5.3	Assetto geometrico e modellazione dell'alveo	30
5.3.1	<i>Assetto geometrico di modellazione</i>	30
5.3.2	<i>Dati di input e condizioni al contorno</i>	32
5.4	Risultati della simulazione idraulica	32
5.5	Analisi dei risultati conseguiti	38
6	VALUTAZIONE EROSIONI DI FONDO ALVEO	39

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 3 di 70	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

6.1	Generalità	39
6.2	Criteri di calcolo	40
6.3	F. dei Poggiali - stima dei massimi approfondimenti d'alveo attesi	42
6.4	Analisi dei risultati e considerazioni progettuali	42
7	METODOLOGIA COSTRUTTIVA E SCELTE PROGETTUALI	43
7.1	Premessa	43
7.2	Metodologia operativa: Scavi a cielo aperto	43
7.3	Geometria della condotta ed interventi di ripristino	45
7.3.1	<u>Attraversamento fosso di Calcinaiola</u>	45
7.3.2	<u>Attraversamento fosso di Fonte Lagone</u>	45
7.3.3	<u>Attraversamento fosso dei Poggiali</u>	46
7.3.4	<u>Attraversamento fosso del Castellaro</u>	46
8	VALUTAZIONI INERENTI ALLA COMPATIBILITA' IDRAULICA	48
8.1	Quadro normativo generale	48
8.1.1	<u>Direttiva 2007/60/CE (Floods Directive - FD")</u>	48
8.1.2	<u>D.Lgs. 49/2010</u>	48
8.1.3	<u>Piani di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)</u>	49
8.2	Quadro normativo di riferimento per l'ambito in esame	51
8.2.1	<u>Premessa</u>	51
8.2.2	<u>PGRA del Distretto Appennino Settentrionale</u>	51
8.2.3	<u>L.R. n. 41/2018</u>	53
8.3	Interferenze con PGRA gli ambiti di attraversamento dei corsi d'acqua	54
8.4	Analisi delle condizioni di compatibilità idraulica	55
8.4.1	<u>Considerazioni di carattere generale</u>	55
8.4.2	<u>Considerazioni specifiche inerenti agli ambiti di attraversamento degli alvei</u>	56
8.4.3	<u>Considerazioni specifiche inerenti ai tratti di percorrenza di linea delle aree inondabili</u>	57
8.5	Considerazioni conclusive sulla compatibilità idraulica	57
9	CONCLUSIONI	59
	APPENDICE 1: STUDIO IDRAULICO / METODOLOGIA DI CALCOLO	60
	APPENDICE 2: STUDIO IDRAULICO / REPORT PROGRAMMA HEC RAS	65
	ANNESI:	
	• Disegni di Attraversamento (cfr. par.1.3)	

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 4 di 70	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

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, nell'ambito del territorio di Bibbona (LI) ed a distanza ravvicinata, n.4 corsi d'acqua minori tributari del fosso Trogoli.

In particolare, procedendo in senso gas (da Nord, verso Sud), il tracciato interseca progressivamente l'alveo del fosso di Calcinaiola, del fosso Fonte di Lagone, del fosso dei Poggiali e del fosso del Castellaro.

In corrispondenza dei sopracitati ambiti di attraversamento dei corsi 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 in ciascuno degli ambiti specifici 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 negli attraversamenti in subalveo dei corsi 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 dei contesti idraulici dei corsi d'acqua, subordinandola alle dinamiche evolutive.

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 delle aree d'attraversamento, in modo da consentire di individuare in maniera univoca i tratti dei corsi d'acqua interessati dall'interferenza con l'infrastruttura lineare in progetto;
- Caratterizzazione idrografica dei corsi d'acqua e descrizione degli ambiti di attraversamento;
- Valutazioni idrologiche, al fine di stimare le portate al colmo di piena di progetto in corrispondenza degli ambiti di studio;
- Valutazioni idrauliche, volte ad individuare i parametri caratteristici di deflusso idrico ed i fenomeni associati alla dinamica fluviale locale in corrispondenza di ciascun ambito di attraversamento; con particolare riferimento alla valutazione dei fenomeni erosivi di fondo alveo;

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 5 di 70	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

- Descrizione delle scelte progettuali inerenti alla metodologia costruttiva, alla geometria della condotta in subalveo ed alle eventuali opere di presidio idraulico previste in ciascun attraversamento in esame;
- Valutazioni sulle condizioni di compatibilità idraulica dei sistemi 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 Disegni di Attraversamento

I progetti d'attraversamento in esame, comprendenti le caratteristiche geometriche e strutturali della condotta, il profilo di posa della stessa, nonché le caratteristiche tipologiche e dimensionali delle eventuali opere di sistemazione, sono stati sviluppati nei seguenti elaborati grafici:

- **AT-7E-01416**
"Rifacimento Metanodotto Livorno-Piombino", DN750 (30");
Attraversamento fosso di Calcinaiola
- **AT-5C-01417**
"Rifacimento Metanodotto Livorno-Piombino", DN750 (30");
Attraversamento fosso Fonte di Lagone
- **AT-7E-01419**
"Rifacimento Metanodotto Livorno-Piombino", DN750 (30");
Attraversamento fosso dei Poggiali
- **AT-7E-01421**
"Rifacimento Metanodotto Livorno-Piombino", DN750 (30");
Attraversamento fosso del Castellaro

Pertanto, per gli approfondimenti di alcune tematiche affrontate nel presente documento, si rimanda alla visione degli elaborati grafici di progetto sopra citati.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA	REL-CI-E-00414	
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fig. 6 di 70	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il tracciato del metanodotto in progetto (DN 750) interseca, nel territorio di Bibbona (LI) ed a distanza ravvicinata, n.4 corsi d'acqua minori, tributari del fosso Trogoli. In particolare, procedendo in senso gas (da Nord, verso Sud), il tracciato interseca progressivamente l'alveo del fosso di Calcinaiola, del fosso Fonte di Lagone, del fosso dei Poggiali e del fosso del Castellaro.

Al fine di fornire un inquadramento territoriale generale degli ambiti di attraversamento in esame, 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 le aree di attraversamento dei corsi d'acqua da parte del metanodotto in progetto (DN750) sono indicate mediante dei cerchi in colore blu.

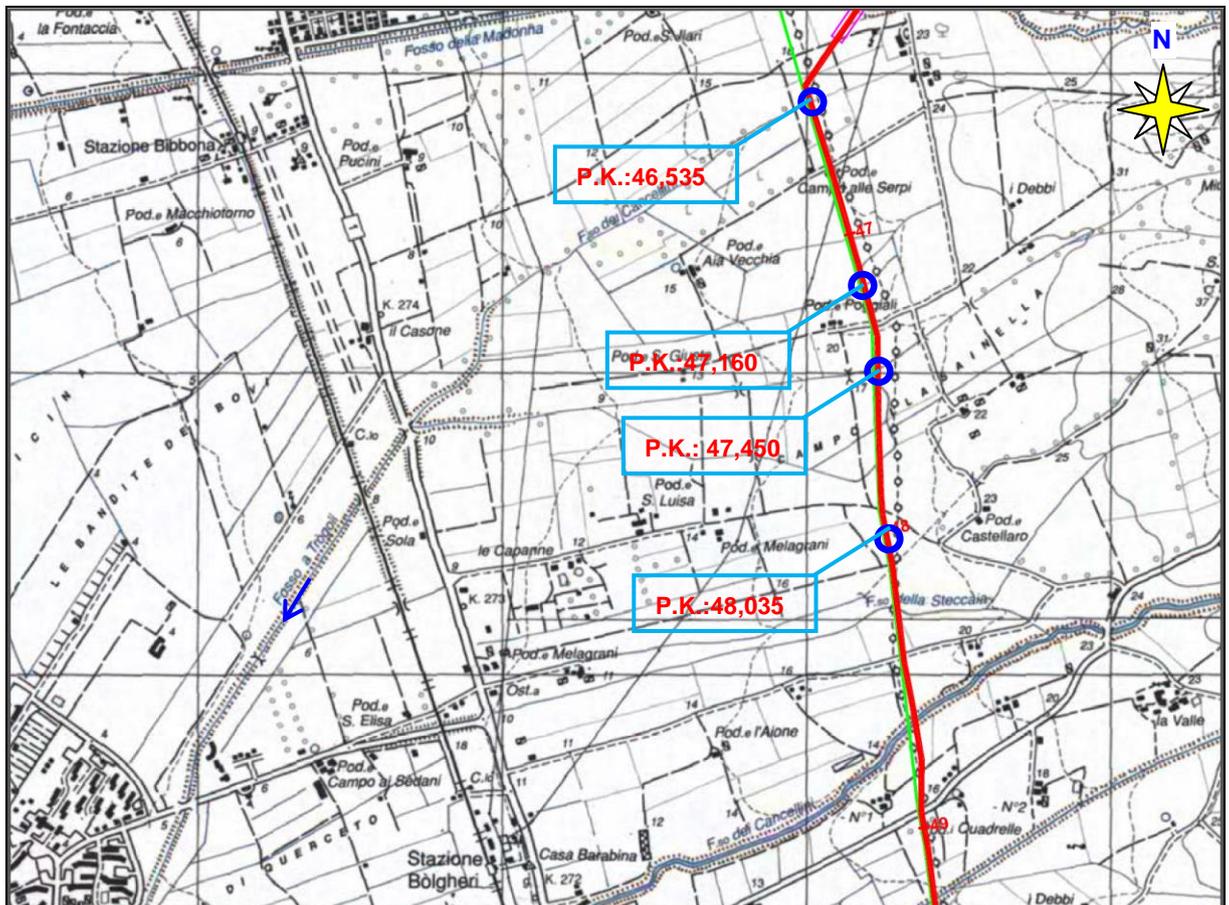


Fig.2.1/A: Corografia generale in scala 1:25.000 (dalle tavolette IGM)

Le coordinate piane degli ambiti di attraversamento dei corsi d'acqua sono riportate nella tabella seguente:

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 7 di 70

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

Tab.2.1/A: Coordinate ambiti di attraversamento dei corsi d'acqua

Coordinate Attraversamento fosso di Calcinaiola		
Coordinate Piane (EPSG: 3003): Est /Nord	1626967 m E	4791721 m N
Coordinate Attraversamento fosso Fonte di Lagone		
Coordinate Piane (EPSG: 3003): Est /Nord	1627139 m E	4791115 m N
Coordinate Attraversamento fosso dei Poggiali		
Coordinate Piane (EPSG: 3003): Est /Nord	1627188 m E	4790831 m N
Coordinate Attraversamento del Castellaro		
Coordinate Piane (EPSG: 3003): Est /Nord	1627224 m E	4790253 m N

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

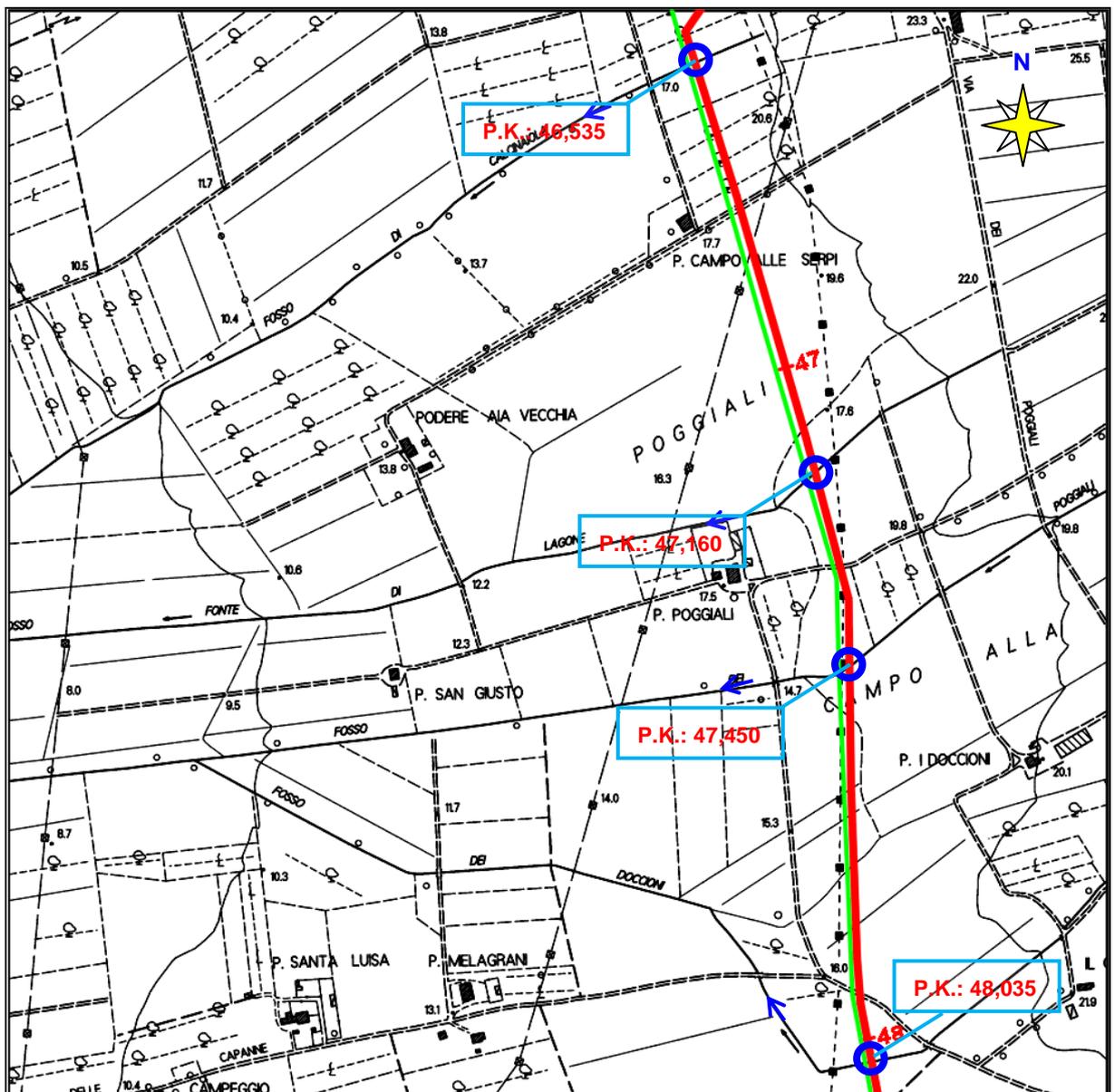


Fig.2.1/B: Stralcio planimetrico in scala 1:10.000 (C.T.R. Regionali)

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 8 di 70		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

Dall'analisi della figura precedente si rileva gli ambiti di attraversamento dei corsi d'acqua da parte del tracciato del metanodotto in progetto (DN750) sono ubicati poco a monte nei confronti degli attraversamenti del metanodotto in esercizio (DN400).

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 9 di 70	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

3 CARATTERIZZAZIONE DEGLI AMBITI IN ESAME

3.1 Analisi del contesto idrografico

Nel presente elaborato vengono analizzati gli ambiti di attraversamento di n.4 piccoli corsi d'acqua ricadenti nel territorio di Bibbona e tributari del fosso Trogoli, a sua volta affluente di destra della fossa Camilla.

In particolare qui di seguito si riporta una breve descrizione dei 4 corsi d'acqua in esame (partendo da Nord verso sud).

Il fosso di Calcinaiola è un piccolissimo Si tratta di un piccolo canale di drenaggio delle aree di piana che nasce dalla località "Calcinaiola" e che ben presto cambia denominazione, divenendo fosso Trogoli.

Il fosso Fonte di Lagone si origina dalla località "Podere Eugenio" e dopo uno sviluppo di circa 1.5km sfocia nel Trogoli, in località "il Casone".

Il fosso dei Poggiali si forma dall'unione di due fossetti in prossimità della località "Podere Eugenio" e dopo uno sviluppo di circa 2.5km sfocia nel Trogoli, in località "Fonte di Lagone".

Il fosso del Castellaro si origina nei pressi della località "il Mandorlo" e dopo uno sviluppo di circa 3.5km si immette nel fosso dei Poggiali, poco a monte della foce di quest'ultimo nel Trogoli.

In particolare, procedendo in senso gas (da Nord, verso Sud), il tracciato interseca progressivamente l'alveo del fosso di Calcinaiola, del fosso Fonte di Lagone, fosso dei Poggiali e fosso del Castellaro.

Nella figura seguente è riportato il reticolo del sistema idrografico "Fossa Camilla", su una base cartografica estrapolata dalle tavolette IGM, con indicazione del bacino del Trogoli con sezione di chiusura a valle della confluenza dei 4 corsi d'acqua in esame. Nella stessa figura sono anche indicati (mediante dei cerchi in rosso) gli ambiti d'interferenza tra il metanodotto in progetto (riportato mediante una linea in rosso) e l'alveo dei corsi d'acqua in esame nel presente elaborato.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA	REL-CI-E-00414	
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fig. 10 di 70	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

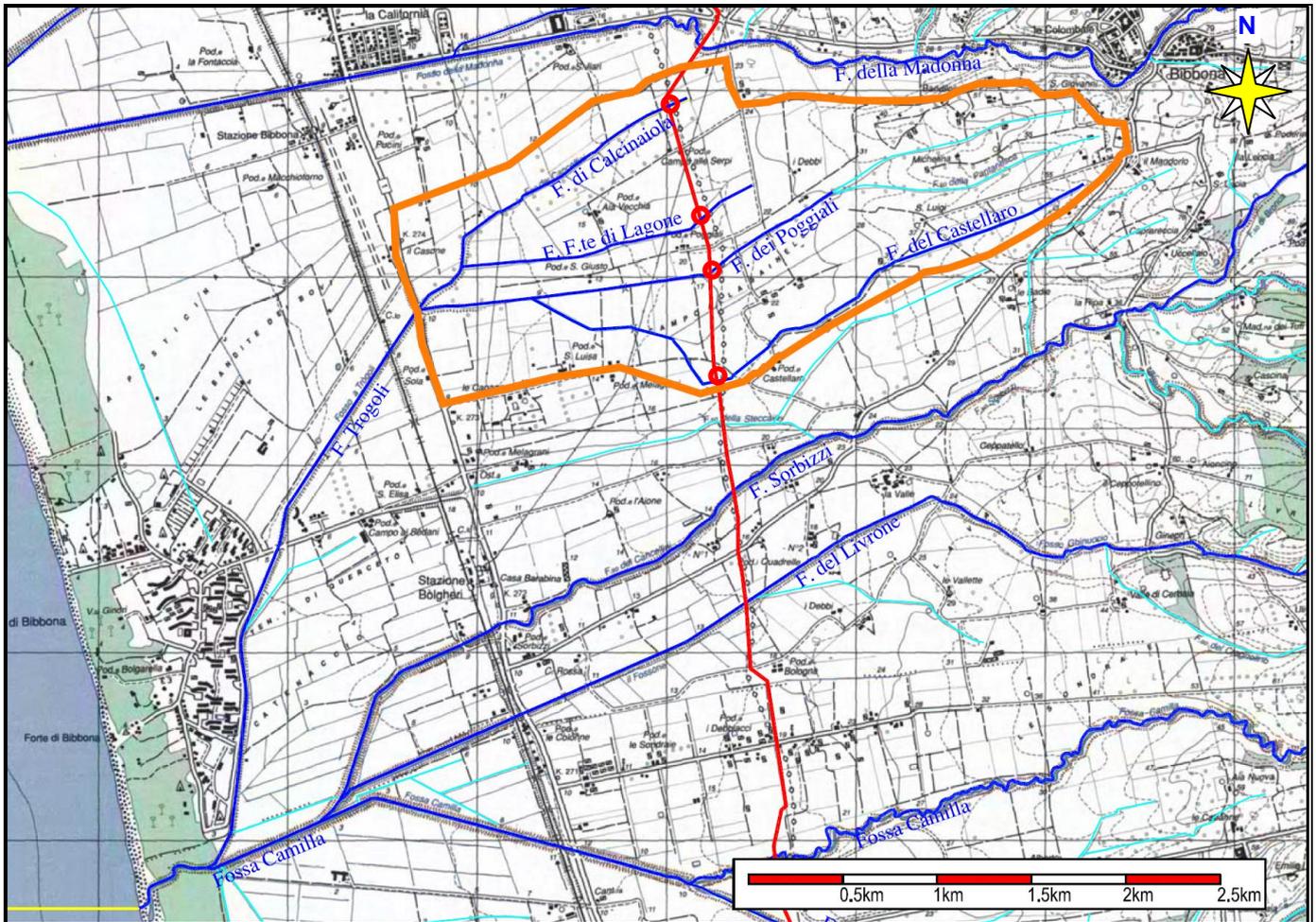


Fig.3.1/A: Bacino Fosso Trogoli, con chiusura alla confluenza dei 4 corsi d'acqua ed indicazione degli ambiti di studio

3.2 Descrizione delle aree di attraversamento

Al fine di consentire una visione diretta degli ambiti d'interferenza tra il metanodotto in progetto (DN750) e l'alveo dei corsi 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 le aree di attraversamento in esame sono indicate mediante dei cerchi in colore giallo.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 11 di 70	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

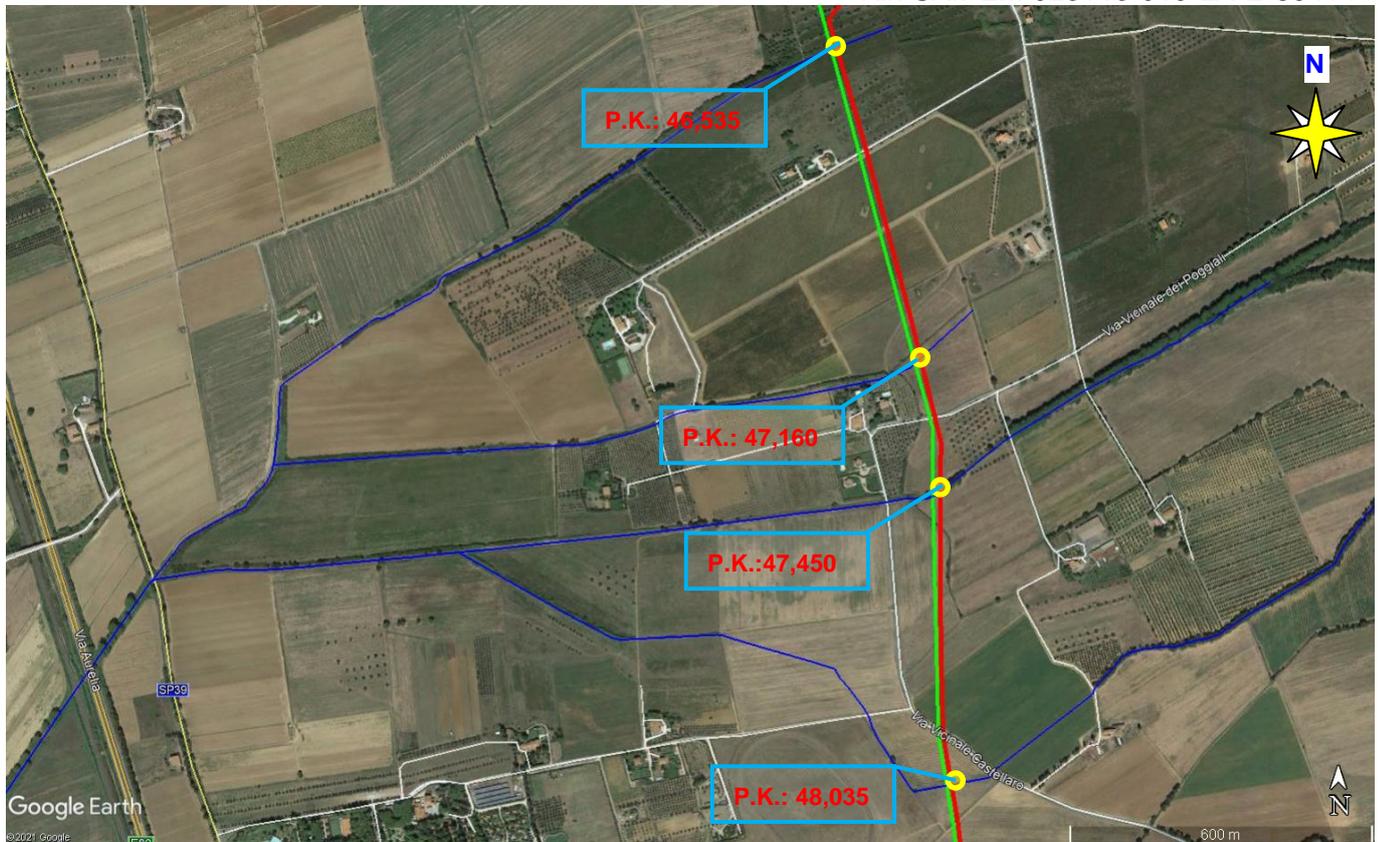


Fig.3.2/A: Foto aerea dell'ambito di attraversamento (estratta da Google Earth)

Qui di seguito si riportano delle descrizioni particolareggiate relative a ciascuno degli ambiti di attraversamento in esame.

3.2.1 Ambito attraversamento fosso di Calcinaiola

Come si rileva dalle precedenti Fig.3.1/A e Fig.3.1/B, il corso d'acqua viene attraversato nel tratto iniziale del proprio sviluppo, in un ambito in cui il fosso rappresenta un piccolo scolo di raccolta delle acque provenienti dal modesto bacino di monte.

Nel punto di attraversamento il corso d'acqua si presenta con configurazione trapezia di ridotte dimensioni. Il fondo alveo, infatti, risulta largo circa 0.5m e le sponde si elevano dal fondo del fosso per circa 0.5m.

Tutto l'alveo risulta completamente coperto da una folta vegetazione arbustiva.

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 12 di 70		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414



Fig.3.2/B: Foto ambito d'attraversamento fosso di Calcinaiola

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 13 di 70		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

3.2.2 Ambito attraversamento fosso di Fonte Lagone

Come si rileva dalle precedenti Fig.3.1/A e Fig.3.1/B, il corso d'acqua viene attraversato nel tratto iniziale del proprio sviluppo, in un ambito in cui il fosso rappresenta un piccolo scolo di raccolta delle acque provenienti dal modesto bacino di monte.

Nel punto di attraversamento il corso d'acqua si presenta con configurazione trapezia di ridotte dimensioni. Il fondo alveo, infatti, risulta largo circa 0.5÷1m e le sponde si elevano dal fondo del fosso per circa 0.7m.

Tutto l'alveo risulta completamente coperto da una folta vegetazione arbustiva.

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



Fig.3.2/C: Foto ambito d'attraversamento fosso di Fonte Lagone

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 14 di 70	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

3.2.3 Ambito attraversamento fosso dei Poggiali

Come si rileva dalle precedenti Fig.3.1/A e Fig.3.1/B, il corso d'acqua viene attraversato nel tratto intermedio dello sviluppo del corso d'acqua.

Si tratta di un piccolo fosso a carattere torrentizio di drenaggio delle aree di piana poste a valle di Bibbona, che si origina in prossimità di Bibbona in località "Podere Eugenio" dove raccoglie le acque di due piccoli fossi.

In prossimità dell'area di attraversamento, il corso d'acqua assume un assetto longitudinale sub-rettilineo a tratti. L'alveo si presenta con una configurazione incisa ed è caratterizzato da dimensioni sostanzialmente modeste. Il fondo presenta un'ampiezza di circa 1.5m; con sponde inerbite e poco acclivi, che si elevano dal fondo di circa 2.5m.

Non sono stati riscontrati fenomeni erosivi significativi in alveo (sia al fondo, che sulle sponde), il cui letto del corso d'acqua è costituito da sabbione e pietrisco.

Nella figura seguente è inoltre riportata una foto relativa all'ambito d'attraversamento in esame del corso d'acqua (scattata da poco a valle), con indicazione del tracciato di linea in progetto.



Fig.3.2/D: Foto ambito d'attraversamento fosso dei Poggiali

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 15 di 70	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

3.2.4 Ambito attraversamento fosso del Castellaro

Come si rileva dalle precedenti Fig.3.1/A e Fig.3.1/B, il corso d'acqua viene attraversato nel tratto intermedio dello sviluppo del corso d'acqua.

In prossimità dell'area di attraversamento, il corso d'acqua assume un assetto longitudinale sub-rettilineo.

Nel punto di attraversamento il corso d'acqua si presenta con configurazione trapezia di ridotte dimensioni. Il fondo alveo, infatti, risulta largo circa 0.5m e le sponde si elevano dal fondo per circa 1m.

Tutto l'alveo (sia il fondo, che le sponde) risulta completamente coperto da una cotica erbosa.

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



Fig.3.2/E: Foto ambito d'attraversamento fosso del Castellaro

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414	
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 16 di 70	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

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 per i corsi d'acqua in esame ci si riferisce esplicitamente ai risultati degli "studi ufficiali" condotti lungo le aste dei corsi d'acqua e con particolare riferimento allo studio idrologico ed idraulico redatto a supporto del Regolamento Urbanistico del Comune di Bibbona - Approvazione complessiva C.C. 27 del 30.03.2018.

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

4.3 Sezioni di studio - Parametri morfometrici dei bacini

Si assumono come sezioni di studio dei corsi d'acqua in esame, quelle di attraversamento da parte della linea in progetto.

Nella figura seguente è riportato uno stralcio planimetrico, ricavato dalle tavolette IGM, con la delimitazione dei bacini sottesi dalle sezione di studio (in 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-00414	
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fig. 17 di 70	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

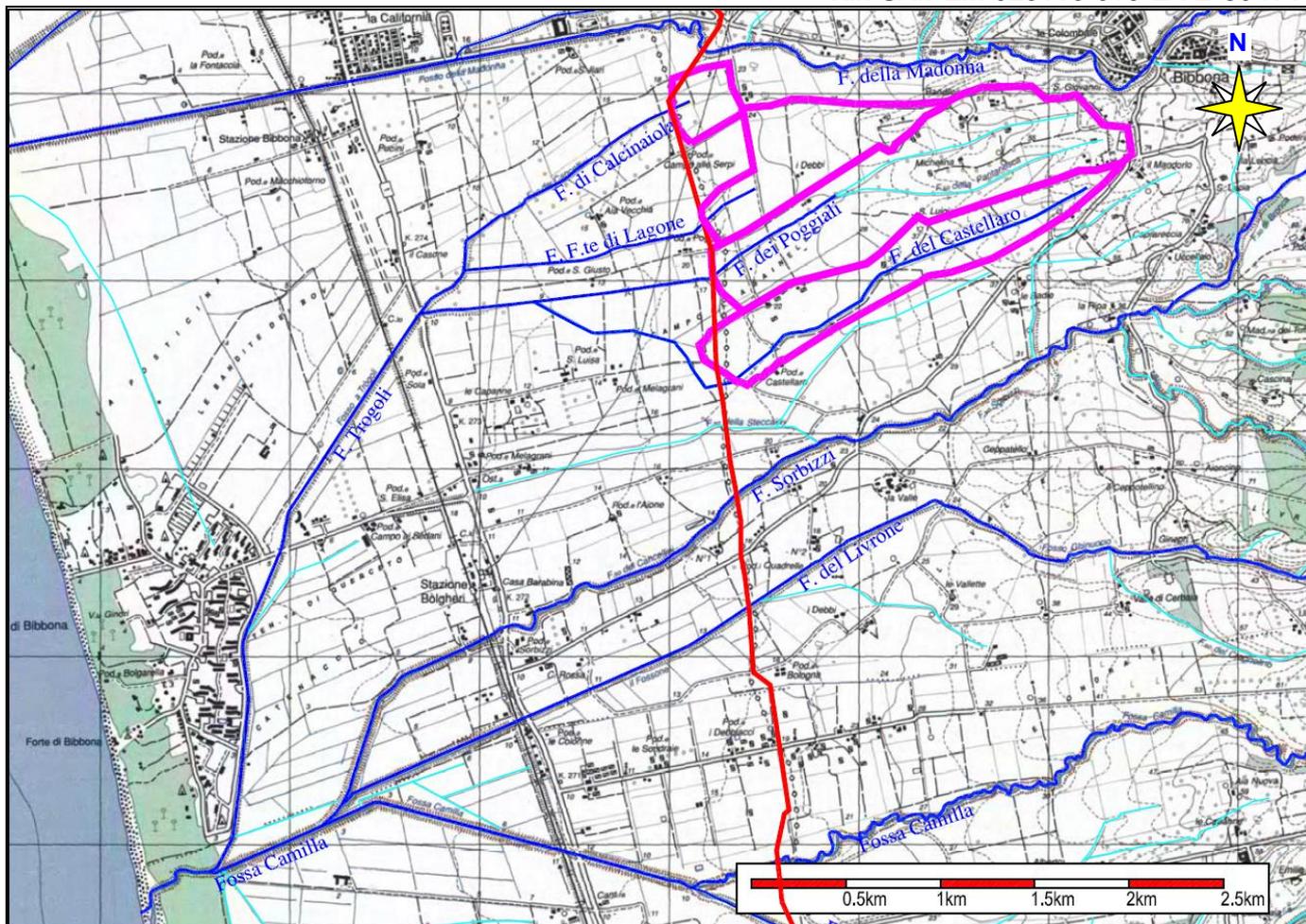


Fig.4.3/A: Bacini Imbriferi sottesi dalle sezioni di studio

Nella tabella seguente sono riportati i parametri morfometrici dei bacini sottesi dalle sezioni di studio (sezioni di attraversamento).

Tab.4.3/A: Parametri morfometrici

Corso d'acqua	Sez. di studio	Superficie Bacino (kmq)	Lunghezza asta principale (km)	Altitudine Sezione chiusura (m)
F. di Calcinaiola	Attraversamento	0.11	0.1	17
F. Fonte Lagone	Attraversamento	0.43	0.3	16
F. dei Poggiali	Attraversamento	1.03	2.0	14
D. del Castellaro	Attraversamento	0.62	2.3	17

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 18 di 70		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

4.4 Studio Comune di Bibbona – Descrizione sintetica

4.4.1 Corsi d'acqua oggetto di analisi

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

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

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

4.4.2 Analisi dei sottobacini

Sono stati individuati n.2 sistemi idrografici:

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

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

Tab.4.4/A: Caratteristiche dei bacini Nord

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 19 di 70	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

Tab.4.4/B: Caratteristiche dei bacini Sud

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

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fig. 20 di 70		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

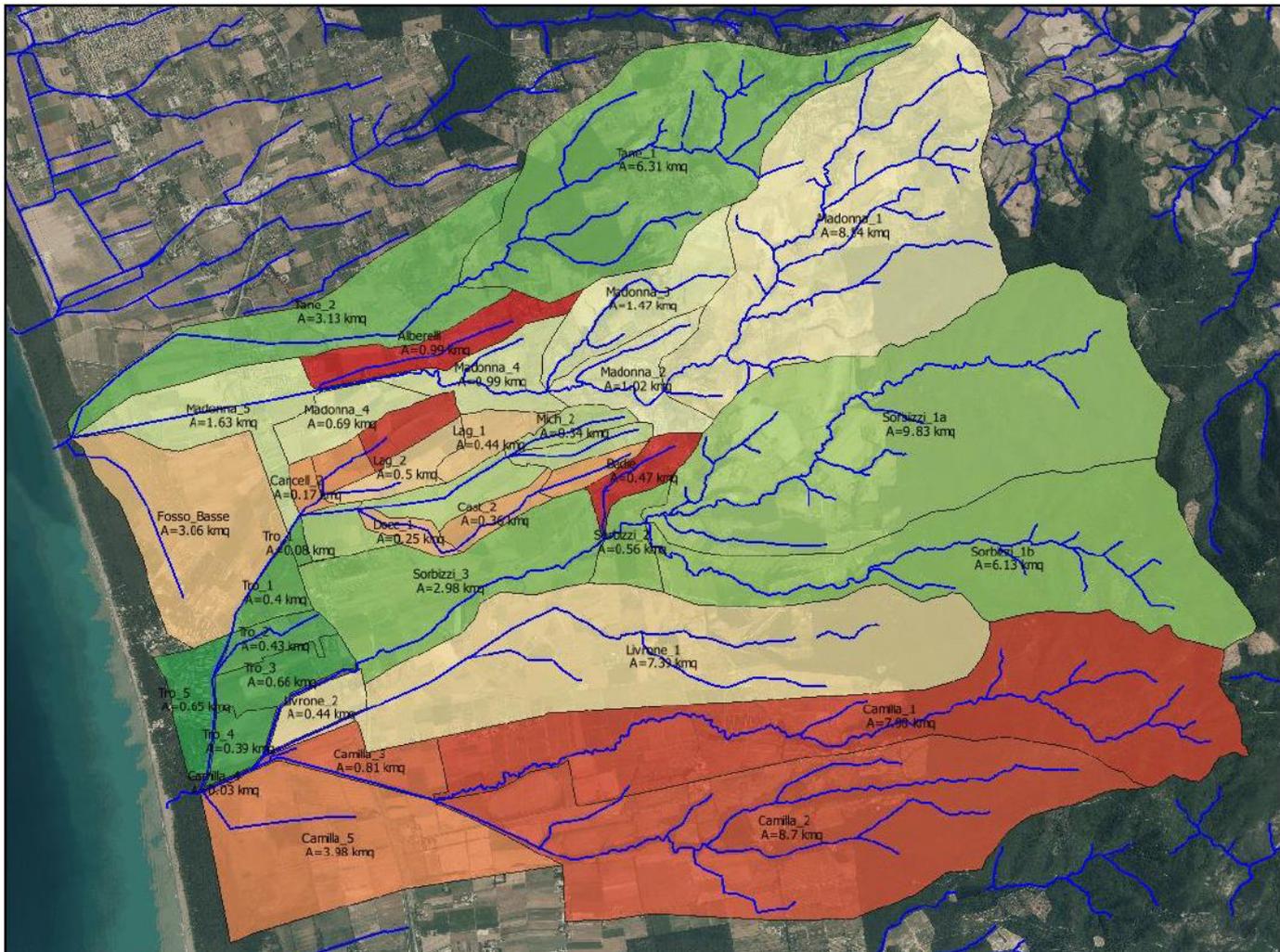


Fig.4.4/A: Bacini nord e sud della zona oggetto di studio

4.4.3 Analisi idrologica - Cenni

Pluviometria

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

$$h=a t^n$$

dove h è l'altezza di precipitazione espressa in mm, t è la durata di pioggia ed a e n sono i parametri caratteristici delle curve.

Per l'area in esame si è fatto riferimento alla stazione di misura di Bibbona (TOS11000009) che per vicinanza è la più significativa tra quelle disponibili. I parametri della curva sono riportati nella tabella seguente

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 21 di 70	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

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

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

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

Perdite idrologiche: metodo CN

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

$$I_a = 0.2 \cdot S$$

dove S è definita dall'espressione:

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

Il parametro adimensionale Runoff Curve Number può variare tra 0 e 100 ed è determinabile mediante apposite tabelle, in funzione della natura del terreno, dal tipo di copertura vegetale, della tessitura del terreno, dell'uso del suolo e del grado di saturazione.

Si è fatto quindi riferimento al gruppo idrologico USDA (A: suoli con deflusso superficiale basso, B: suoli con deflusso superficiale moderatamente basso, C: suoli con deflusso superficiale moderatamente alto, D: suoli con deflusso superficiale alto) grazie alla cartografia resa disponibile dal Geoscopio della Regione Toscana.

È stato poi analizzato l'uso del suolo sulla cartografia della Regione Toscana che riporta i valori del codice Corine Land cover, con riferimento alla carta di uso del suolo riferita al 2013.

Trasformazione afflussi - deflussi

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

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 22 di 70

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

La valutazione del tempo di corrvazione è stata effettuata mediando i valori che si ottengono da molteplici formulazioni impiegate in letteratura: formula di Kerby – Hatheway, di Giandotti, di Ventura, di Kirpich, di Pasini, di Pezzoli, di Rosso et al., di Ferro, PIN Regione Toscana.

I riepiloghi dei parametri idrologici considerati sono riportati nelle tabelle 8 e 9 della Relazione idrologica e idraulica (Elaborato Alle_G3) del comune di Bibbona, a cui si rimanda per eventuali approfondimenti.

Invece nelle figure seguenti si riportano invece gli schemi idrologici adottati ed implementati sul software HMS relativamente ai sistemi idrografici Nord e Sud

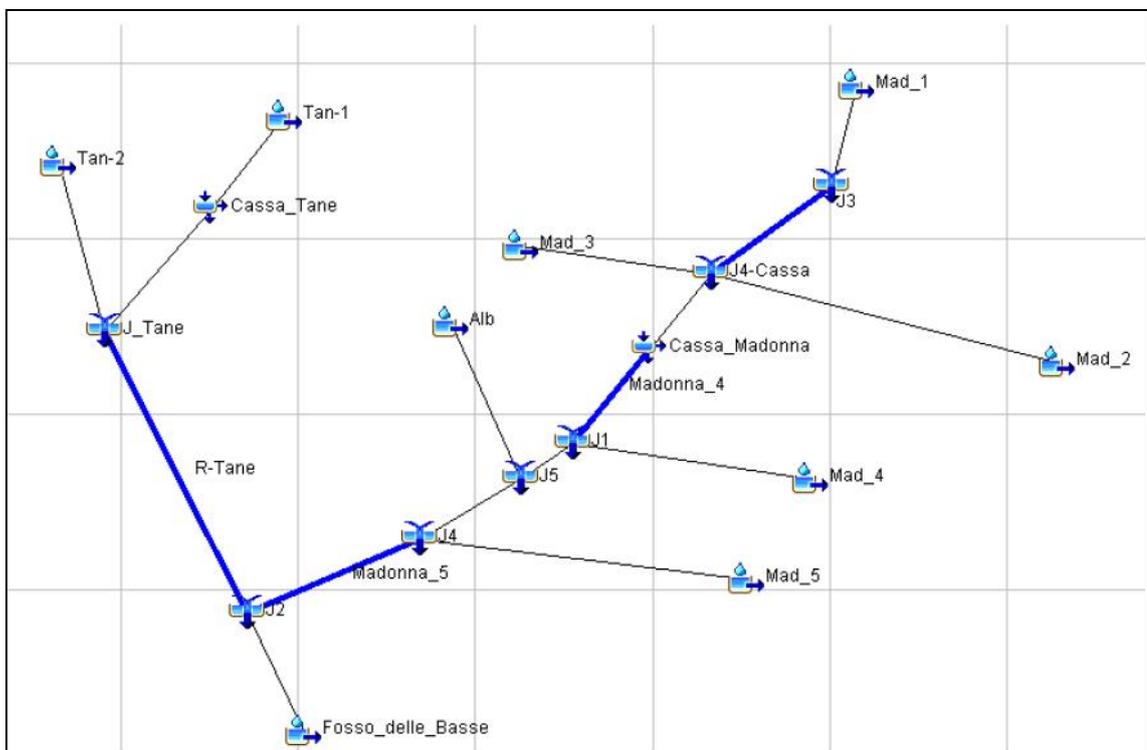


Fig.4.4/B: Schema Modello idrologico area Bibbona Nord

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 23 di 70

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

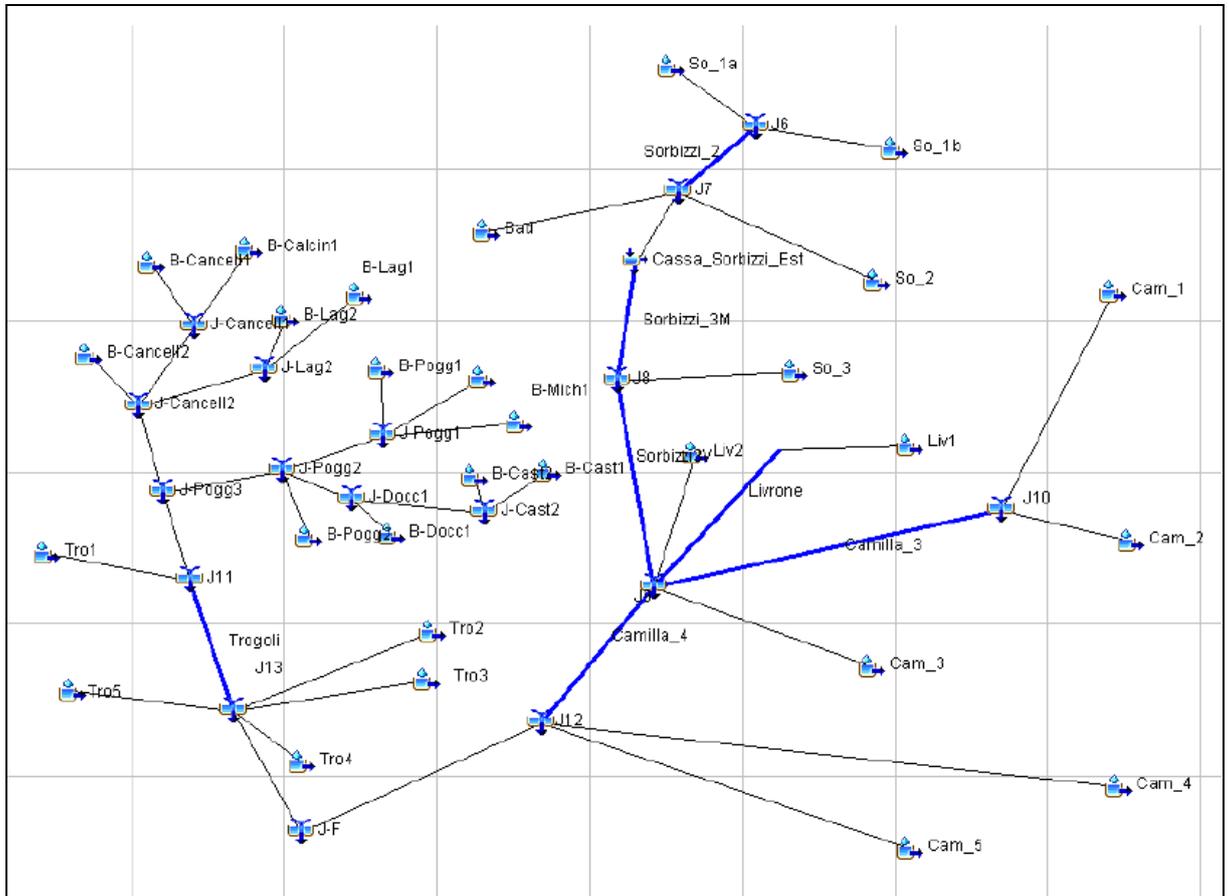


Fig.4.4/C: Schema Modello idrologico area Bibbona Sud

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 24 di 70	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

4.5 Studio Comune di Bibbona - selezione risultati di interesse

Ai fini degli scopi di cui al presente elaborato risultano interessanti le valutazioni idrologiche effettuate sui 4 corsi d'acqua minori in esame.

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

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

ID	S (kmq)	Tr200 2h -Chicago	Tr30 2h -Chicago	Tr500 2h -Chicago
Calcin_1	0.654	2.16	1.05	2.8
Cancell_1	0.596	2.39	1.18	3.08
Cancell_2	0.344	2.82	1.55	3.52
Cast_1	0.258	4.64	2.67	5.71
Cast_2	0.356	4.87	2.73	6.04
Docc_1	0.248	4.05	2	5.24
Lag_1	0.437	5.31	2.98	6.58
Lag_2	0.503	6.42	3.59	7.97
Mich_1	0.311	5.5	3.27	6.69
Mich_2	0.341	4.87	2.72	6.05
Pogg_1	0.627	5.93	3.19	7.44
Pogg_2	0.392	6.52	3.77	8.01

Nella figura seguente si riporta invece lo schema planimetrico dei sottobacini, nel quale sono stati riportati il tracciato del metanodotto in progetto (linea rossa) e la delimitazione dei bacini dei corsi d'acqua sottesi dalle sezioni di attraversamento del metanodotto (in colore arancione).

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA	REL-CI-E-00414	
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 25 di 70	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

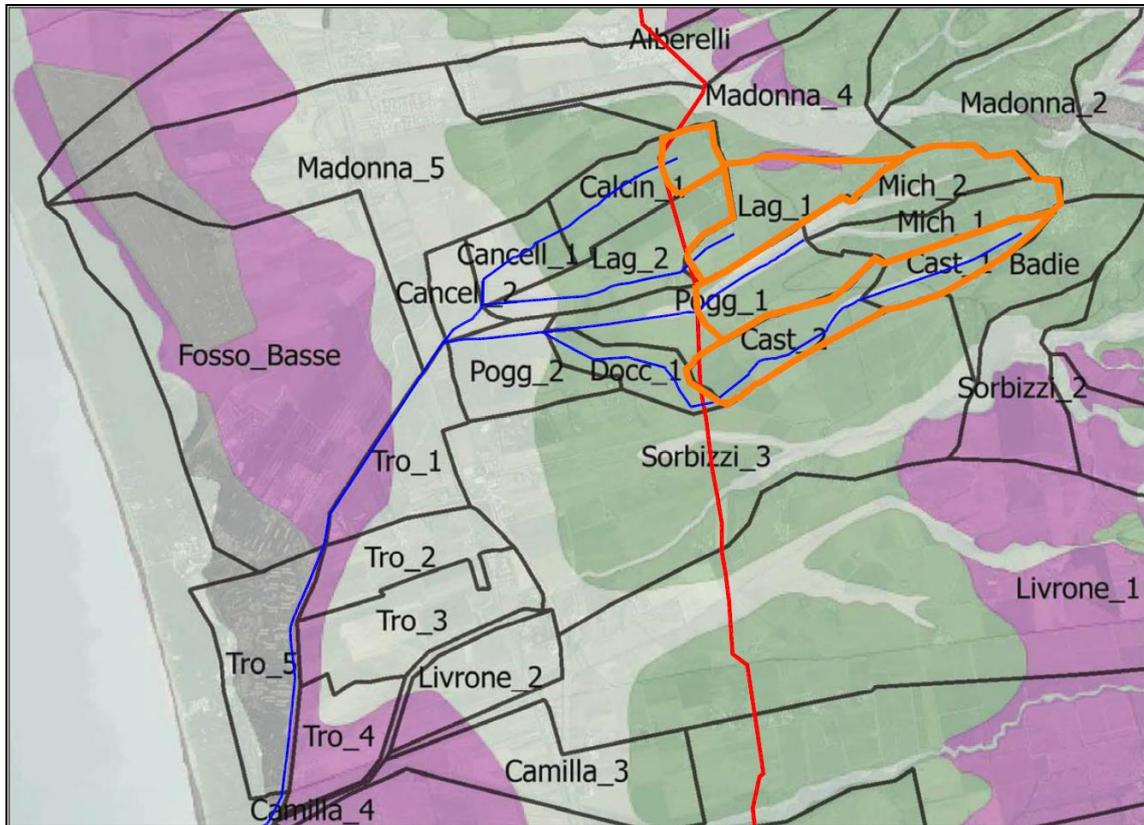


Fig.4.5/A: Sottobacini individuati per il corso d'acqua

4.6 Portate di progetto

4.6.1 fosso di Calcinaiola - Portata di progetto

Dall'analisi della precedente Fig.4.5/A si rileva che l'ambito di attraversamento è localizzato entro il sottobacino "Calcina_1", di cui i valori di portata sono riportati nella Tab.4.5/A.

Per la valutazione delle portate al colmo di piena nella nostra sezione di studio (sezione di attraversamento del metanodotto) ci si avvale del metodo della "similitudine idrologica", che consente la valutazione delle stesse in funzione della superficie del bacino secondo l'espressione nel seguito riportata:

$$Q_2 = Q_1 * \left(\frac{S_2}{S_1} \right)^m \quad \text{eq.4.1}$$

dove:

Q_1, Q_2 = rappresentano le portate rispettivamente nelle generiche sezioni 1 e 2 (in mc/s);

S_1, S_2 = rappresentano le superfici dei bacini nelle sezioni 1 e 2 (in kmq);

m = parametro adimensionale (<1), variabile tra 0.5 e 0.67 secondo le espressioni di proposte in letteratura;

Quindi considerando la eq.4.1, ed essendo noti i valori delle portate e di superficie per il sottobacino con sezione di chiusura localizzata a valle dell'attraversamento, ed essendo nota anche la superficie del bacino sotteso dalla sezione di attraversamento, possono essere valutate le portate riferite alla sezione di attraversamento. Nel caso in

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 26 di 70	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

esame, a titolo conservativo, è stato assunto il parametro $m=0.5$.

Le portate risultanti sono state riportate nella tabella seguente.

Tab.4.6/A: Portate al colmo di piena (TR=200, 30, 500 anni)

Corso d'acqua / Sezione Studio	Superficie Bacino (kmq)	Portata al colmo di piena (mc/s) (T=200anni)	Portata al colmo di piena (mc/s) (T=30anni)	Portata al colmo di piena (mc/s) (T=500anni)
fosso di Calcinaiola / Sez. Attraversamento	0.11	0.9	0.4	1.1

Conformemente a quanto previsto in normativa, si adotta come portata di progetto per la sezione di studio in esame quella associata ad un tempo di ritorno (TR) pari a 200 anni.

Tab.4.6/B: Portata di progetto

Corso d'acqua	Sezione Idrologica	Sup. Bacino (kmq)	Qprogetto (mc/s)	qmax (mc/s×kmq)
fosso di Calcinaiola	Sezione di Attrav.	0.11	0.9	8.18

Dall'esame della tabella precedente si rileva che la portata di piena duecentennale del corso d'acqua in corrispondenza della sezione di attraversamento risulta del tutto irrisoria. Pertanto, nel caso in esame le verifiche idrauliche verranno omesse

4.6.2 fosso di Fonte Lagone - Portata di progetto

Dall'analisi della precedente Fig.4.5/A si rileva che l'ambito di attraversamento è localizzato nella parte terminale del sottobacino "Lag_1".

Conformemente a quanto previsto in normativa, si adotta come portata di progetto per la sezione di studio in esame quella associata ad un tempo di ritorno (TR) pari a 200 anni e riferita all'elemento "Lag_1" dello studio del Comune di Bibbona (cfr. Tab.4.5/A).

Tab.4.6/C: Portata di progetto

Corso d'acqua	Sezione Idrologica	Sup. Bacino (kmq)	Qprogetto (mc/s)	qmax (mc/s×kmq)
Fonte Lagone	Sezione di Attrav.	0.43	5.31	12.35

4.6.3 fosso di Fonte dei Poggiali - Portata di progetto

Dall'analisi della precedente Fig.4.5/A si rileva che l'ambito di attraversamento è localizzato entro il sottobacino "Pogg_1". In sostanza la sezione di attraversamento sottende i sottobacini "Mich_1", "Mich_2", ed una parte del "Pogg_1".

L'ambito di attraversamento risulta dunque intermedio tra il punto di congiunzione degli elementi "Mich_1" e "Mich_2" ed il punto terminale dell'elemento "Pogg_1", le cui portate complessive (in riferimento a quanto riportato nella Tab.4.5/A) sono riportate nella tabella seguente.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 27 di 70	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

Tab.4.6/D: Portate di piena (TR=200, 30, 500 anni)

Corso d'acqua	Elementi	Sup. bacino (kmq)	Q200 (mc/s)	Q30 (mc/s)	Q500 (mc/s)
Poggiali	Mich_1+Mich_2	0.652	10.37	5.99	12.74
Poggiali	Mich_1+Mich_2+Pogg_1	1.279	16.3	9.18	20.18

La sezione di studio in esame (sezione di attraversamento, che sottende un bacino di 1.03 kmq) è intermedia tra le 2 sezioni idrologiche individuate nell'ambito dello studio e riportate nella Tab.4.6/D.

Per la valutazione delle portate al colmo di piena nella nostra sezione di studio ci si avvale del metodo della "similitudine idrologica", che consente la valutazione delle stesse in funzione della superficie del bacino secondo l'espressione nel seguito riportata:

$$Q_2 = Q_1 * \left(\frac{S_2}{S_1} \right)^m \quad \text{eq.4.1}$$

dove:

Q₁, Q₂=rappresentano le portate rispettivamente nelle generiche sezioni 1 e 2 (in mc/s);

S₁, S₂=rappresentano le superfici dei bacini nelle sezioni 1 e 2 (in kmq);

m= parametro adimensionale (<1), il cui valore in letteratura è variabile a secondo gli autori da 0.5 a 0.67;

Quindi considerando la eq.4.1 in riferimento ai valori delle portate e delle superfici dei bacini di cui alla precedente Tab.4.6/D, può essere valutato il parametro *m* per il campo di superfici di riferimento. Nel caso in esame è stato individuato m=0.67.

Pertanto, i valori di portata nella sezione di studio possono essere determinati sempre dalla eq.4.1, in funzione dei valori di portata e di superficie della sezione di monte (o di valle). Le portate risultanti sono state riportate nella tabella seguente.

Tab.4.6/E: Portate al colmo di piena

Corso d'acqua / Sezione Studio	Superficie Bacino (kmq)	Portata al colmo di piena (mc/s) (T=200anni)	Portata al colmo di piena (mc/s) (T=30anni)	Portata al colmo di piena (mc/s) (T=500anni)
fosso dei Poggiali / Sez. Attraversamento	1.03	14.1	8.1	17.3

Conformemente a quanto previsto in normativa, si adotta come portata di progetto per la sezione di studio in esame quella associata ad un tempo di ritorno (TR) pari a 200 anni, la quale verrà presa in considerazione per le verifiche idrauliche di cui al capitolo seguente.

Tab.4.6/F: Portata di progetto

Corso d'acqua	Sezione Idrologica	Sup. Bacino (kmq)	Qprogetto (mc/s)	qmax (mc/s×kmq)
fosso dei Poggiali	Sezione di Attrav.	1.03	14.1	13.69

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 28 di 70	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

4.6.4 fosso del Castellaro - Portata di progetto

Dall'analisi della precedente Fig.4.5/A si rileva che l'ambito di attraversamento è localizzato in prossimità del punto terminale del sottobacino "Cast_2". In sostanza la sezione di attraversamento sottende i sottobacini "Cast_1", e "Cast_2".

Conformemente a quanto previsto in normativa, si adotta come portata di progetto per la sezione di studio in esame quella associata ad un tempo di ritorno (TR) pari a 200 anni e riferita al punto terminale dell'elemento "Cast.2" dello studio del Comune di Bibbona (cfr. Tab.4.5/A), la cui portata è data dalla somma della portata del sottobacino stesso e di quello a monte

Tab.4.6/G: Portata di progetto

Corso d'acqua	Sezione Idrologica	Sup. Bacino (kmq)	Qprogetto (mc/s)	qmax (mc/s*kmq)
Castellaro	Sezione di Attrav.	0.62	9.51	15.34

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 29 di 70		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

5 FOSSO DEI POGGIALI - STUDIO IDRAULICO

5.1 Considerazioni preliminari

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

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

Detto ciò, e facendo seguito a quanto evidenziato nei capitoli precedenti, nel presente elaborato sono stati presi in esame n.4 corsi d'acqua minori. In particolare, i fossi di Calcinaiola, di Fonte Lagone e di Castellaro vengono attraversati in degli ambiti dove le configurazioni d'alveo presentano delle dimensioni molto modeste, che sottendono dei bacini a monte di superfici ridotti (inferiori e/o dell'ordine dei 0.5km²) e conseguentemente le portate attese sono poco significative. Pertanto, con dette condizioni, si può affermare a priori che le potenziali erosioni d'alveo nei fossi citati sono assolutamente modeste e comunque non confrontabili con i valori minimi di copertura in subalveo assunti per i corsi d'acqua (di 2m, si veda quanto riportato nei capitoli seguenti). Peraltro, si evidenzia che nei tratti citati l'alveo dei corsi d'acqua presenta delle dimensioni così ridotte che i rilievi DTM 1x1 non riescono a rappresentare la configurazione degli alvei stessi e quindi per effettuare degli studi sarebbe necessario effettuare dei rilievi a terra per un tratto di sviluppo significativo a cavallo di ciascuna sezione di attraversamento (non ritenuti necessari in considerazione della rilevanza dei corsi d'acqua in questione).

Ragion per cui nel presente elaborato si procederà ad effettuare le valutazioni idrauliche esclusivamente per il fosso dei Poggiali; il quale, seppur anch'esso modesto, presenta una configurazione d'alveo di dimensioni maggiormente significative, nonché le portate attese assumono dei valori maggiormente rilevanti.

5.2 Presupposti e limiti dello studio

Nel presente capitolo sono descritte le procedure ed i risultati delle elaborazioni idrauliche attraverso una *modellazione in moto permanente* in un tronco d'alveo idraulicamente significativo a cavallo dell'ambito di attraversamento della condotta.

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

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 30 di 70	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

calcolo e che le valutazioni idrauliche sono condotte comunque in riferimento ad un tratto limitato del corso d'acqua.

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

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

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

5.3 Assetto geometrico e modellazione dell'alveo

5.3.1 Assetto geometrico di modellazione

Al fine di eseguire la modellazione idraulica del fosso dei Poggiali nell'ambito di riferimento è stato considerato un tronco d'alveo idraulicamente significativo a cavallo della sezione di attraversamento del metanodotto, per uno sviluppo complessivo di circa 130mm. I dati geometrici di base derivano dai DTM ricavati tramite voli Lidar con risoluzione 1x1 ("Fonte dei dati: Regione Toscana – "Rilievi Lidar" e scaricati dal portale "Geoscopio - Regione Toscana"), che hanno consentito la definizione delle caratteristiche geometriche dell'alveo e delle sponde lungo lo sviluppo del tronco d'alveo oggetto di analisi.

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

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 31 di 70	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

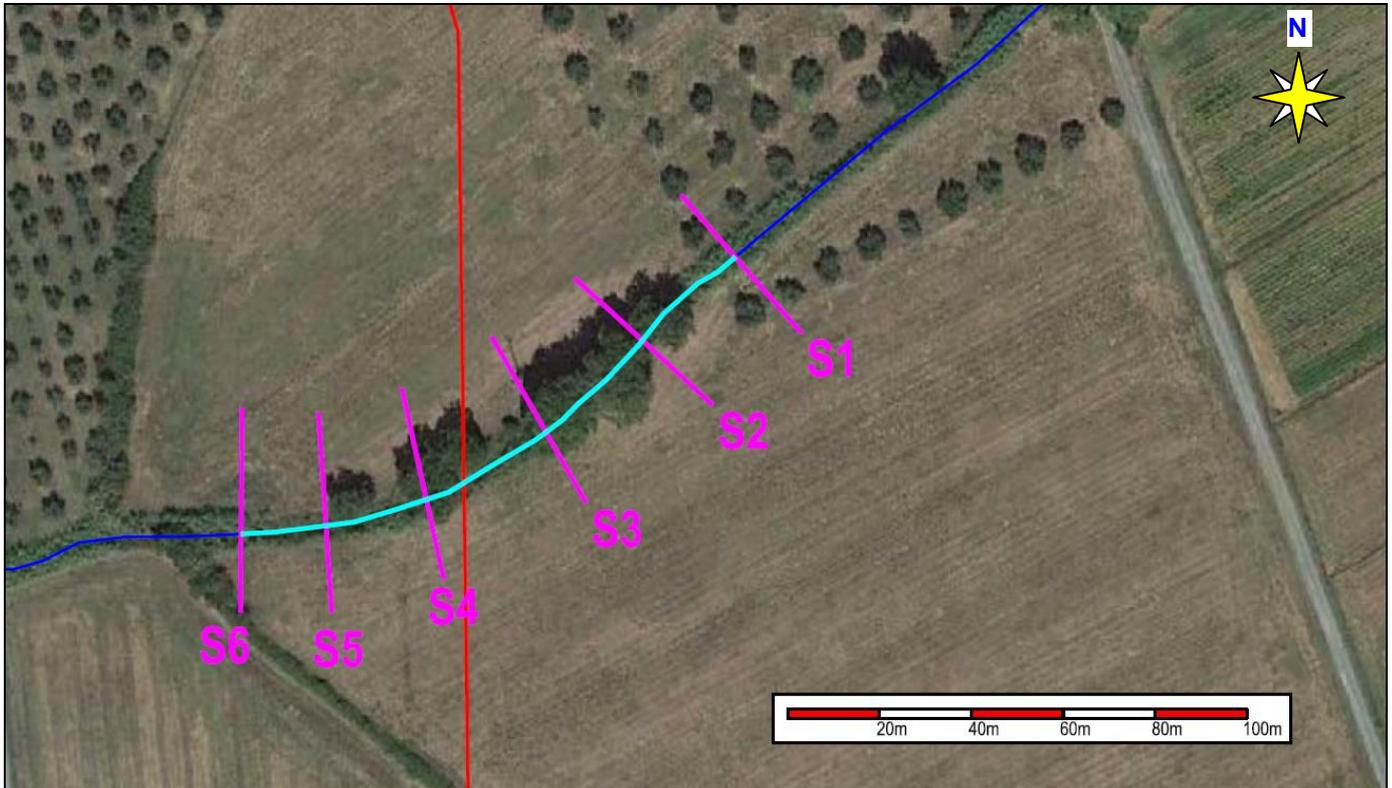


Fig.5.3/A: Foto aerea, con tronco d'alveo analizzato e sezioni di input

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

Tab.5.3/A: Sezioni di calcolo nella modellazione idraulica

RIVER STATION	SEZIONE TOPOGRAFICA	PROGRESSIVA (m)	Dist. dalla Sez. successiva (m)	DESCRIZIONE
RS60	Sez.1	0.00	20.69	Sezione di monte
RS50	Sez.2	20.69	35.96	
RS40	Sez.3	56.65	30.08	
RS30	Sez.4	86.73	22.64	Sez. poco a valle dell'Attrav.
RS20	Sez.5	109.37	18.62	
RS10	Sez.6	127.99	0.00	Sezione di valle

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 32 di 70	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

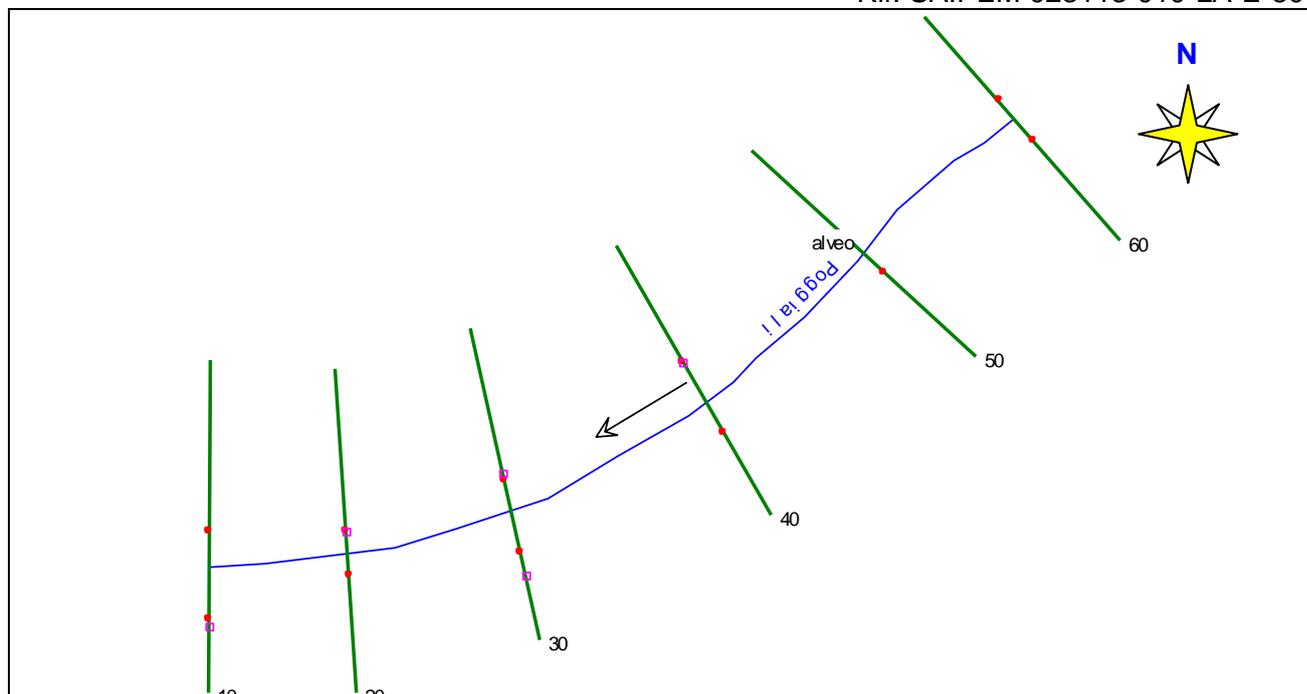


Fig.5.3/B: Modellazione geometrica in Hec Ras (RS60 a monte e RS10 a valle)

5.3.2 Dati di input e condizioni al contorno

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

- $Q_{200}=14.1$ mc/s

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

Le condizioni al contorno imposte alle estremità del tronco d'alveo oggetto di studio sono costituite da un flusso in moto uniforme "normal depth" a monte (RS60) ed a valle (RS10), in considerazione delle pendenze al fondo individuate per i tratti immediatamente esterni all'estremità del tronco.

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

- 0,030 per l'alveo medio principale (Chan);
- 0,050 per le aree di deflusso oltre i limiti d'alveo (LOB, ROB).

5.4 Risultati della simulazione idraulica

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

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 33 di 70

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

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

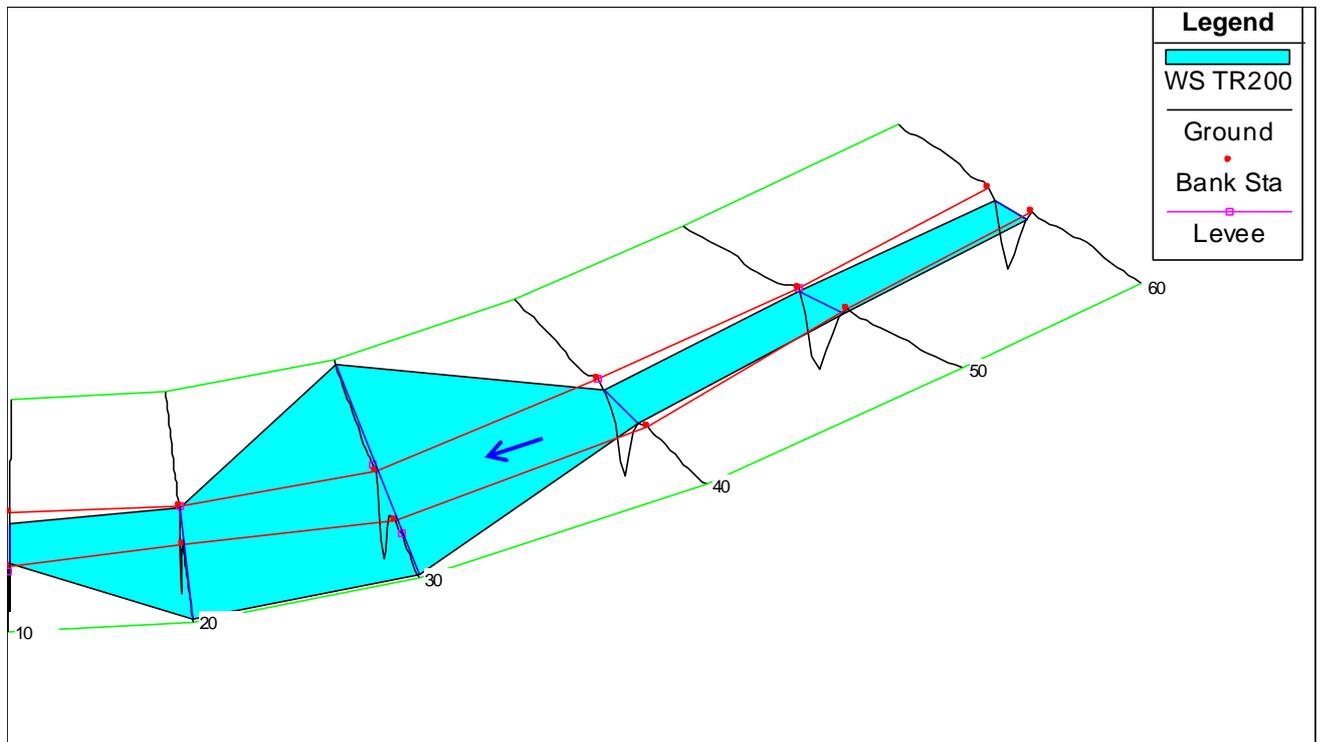


Fig.5.4/A: Schermata di Output del programma – visione prospettica (RS60: monte /RS10: valle)

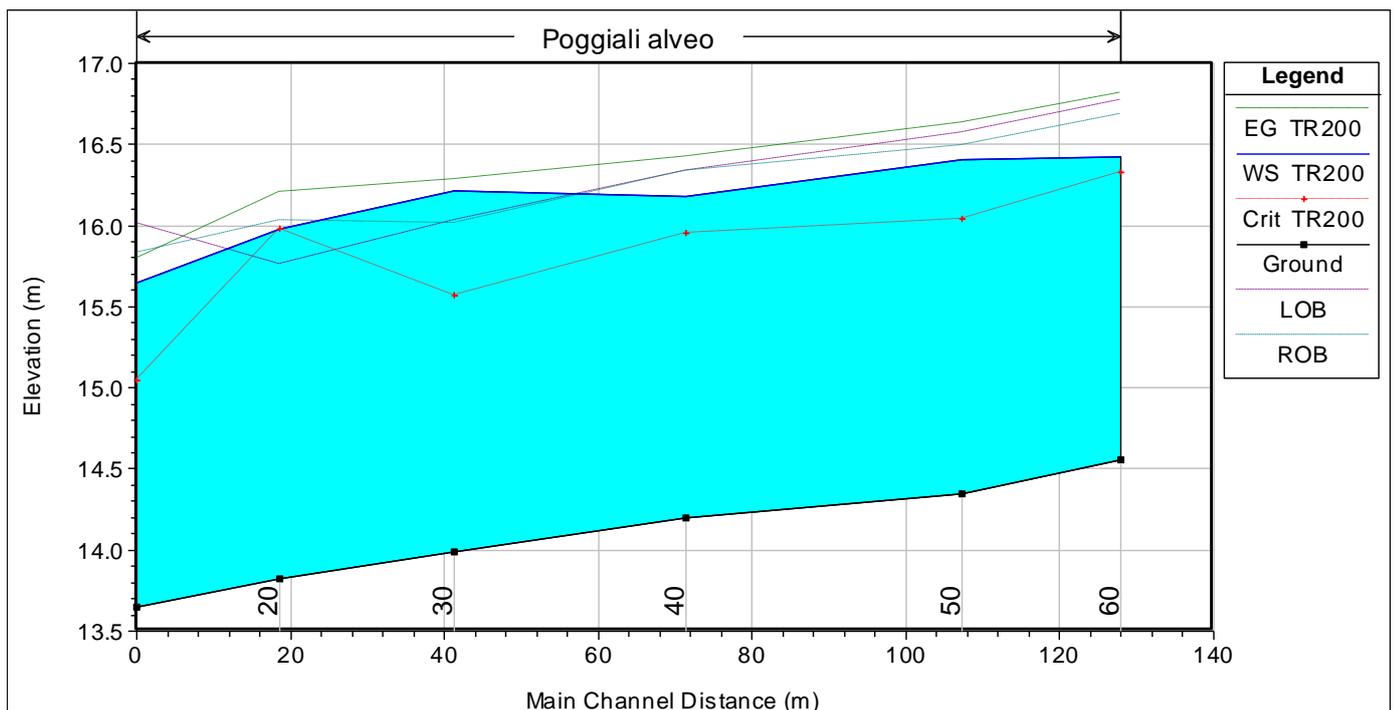


Fig.5.4/B: Schermata di Output del programma – Profilo longitudinale

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 34 di 70	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

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

Tab.5.4/A: Tabella Riepilogativa di Output

River Station	Q Total (m3/s)	Q Chan (m3/s)	Min Ch Elev (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Top Width Act Chl (m)	Hydr Depth C (m)	Shear Chnl (N/m2)	Froude Chl
60	14.1	14.10	14.56	16.42	16.33	16.82	0.0098	2.79	5.05	5.22	5.22	0.97	74.74	0.91
50	14.1	14.10	14.35	16.41	16.04	16.63	0.0047	2.09	6.75	6.41	6.41	1.05	40.33	0.65
40	14.1	14.10	14.2	16.18	15.96	16.43	0.0066	2.2	6.41	7.56	7.56	0.85	47.44	0.76
30	14.1	12.77	13.99	16.21	15.57	16.29	0.0017	1.27	15.4	42.2	10.00	1.00	14.78	0.41
20	14.1	12.58	13.82	15.98	15.98	16.21	0.0063	2.22	8.63	21.83	5.83	0.97	47.54	0.72
10	14.1	14.10	13.65	15.65	15.05	15.8	0.0030	1.71	8.24	7.73	9.26	1.07	26.72	0.53

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

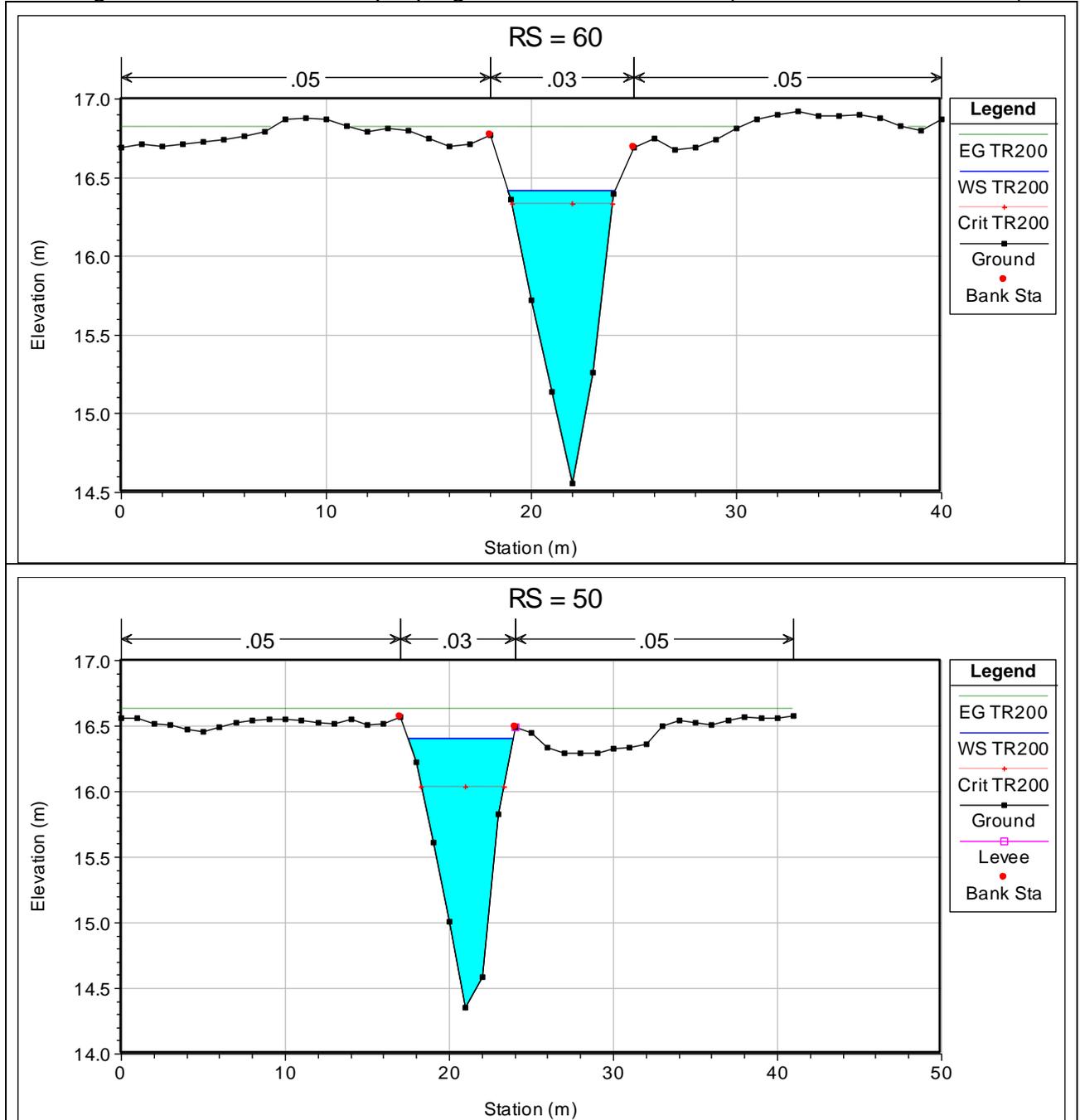
River Station:	Numero identificativo della sezione;
Q Total:	Portata complessiva defluente nell'intera sezione trasversale;
Q Chan:	Portata defluente nel canale principale (alveo attivo)
Min. Ch Elev:	Quota minima di fondo alveo;
W.S. Elev:	Quota del pelo libero;
Crit W.S.:	Quota critica del pelo libero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

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

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 35 di 70

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

Fig.5.4/C: Schermate di Output programma – Cross Section (RS60: monte /RS10: valle)





PROGETTISTA



COMMESSA
NR/20049

UNITÀ
000

LOCALITÀ

REGIONE TOSCANA

REL-CI-E-00414

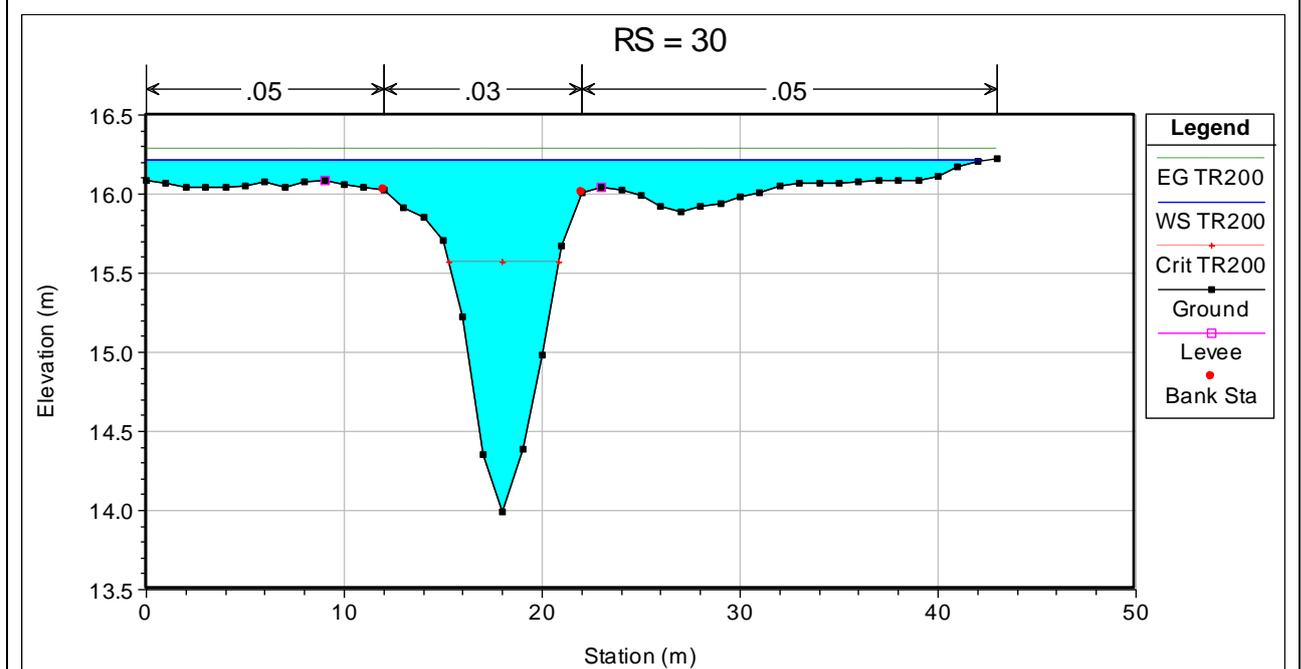
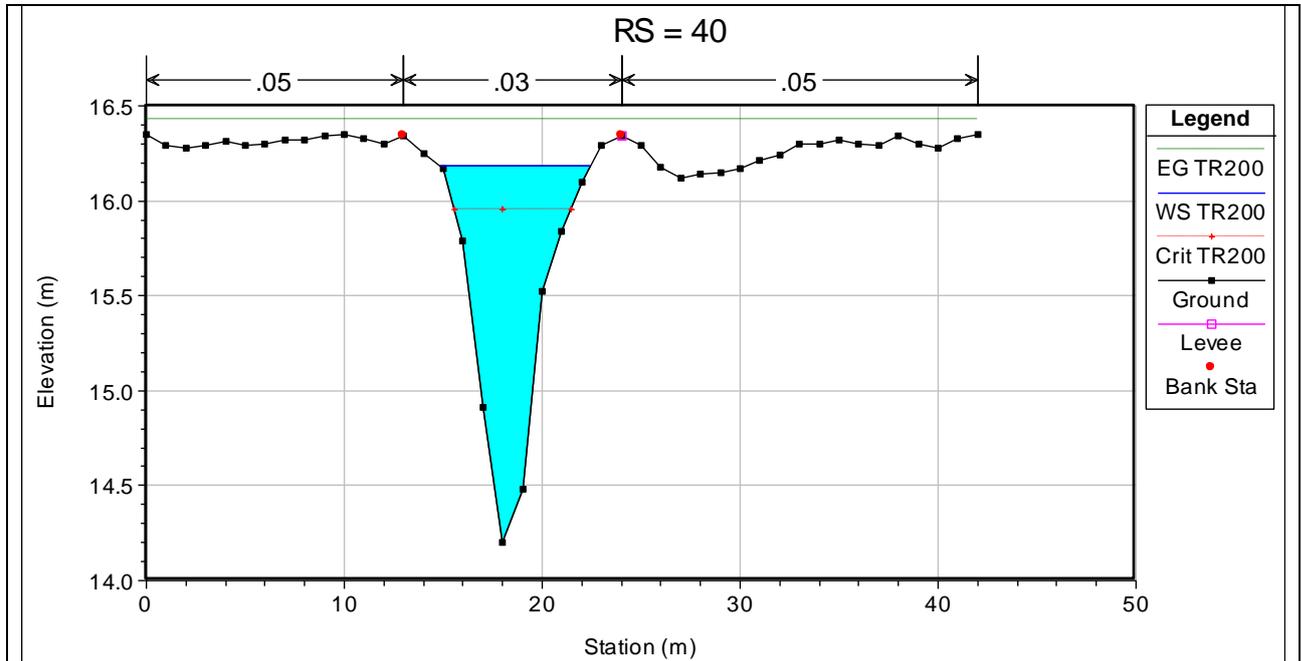
PROGETTO

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

Fg. 36 di 70

Rev.
0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414





PROGETTISTA



COMMESSA
NR/20049

UNITÀ
000

LOCALITÀ

REGIONE TOSCANA

REL-CI-E-00414

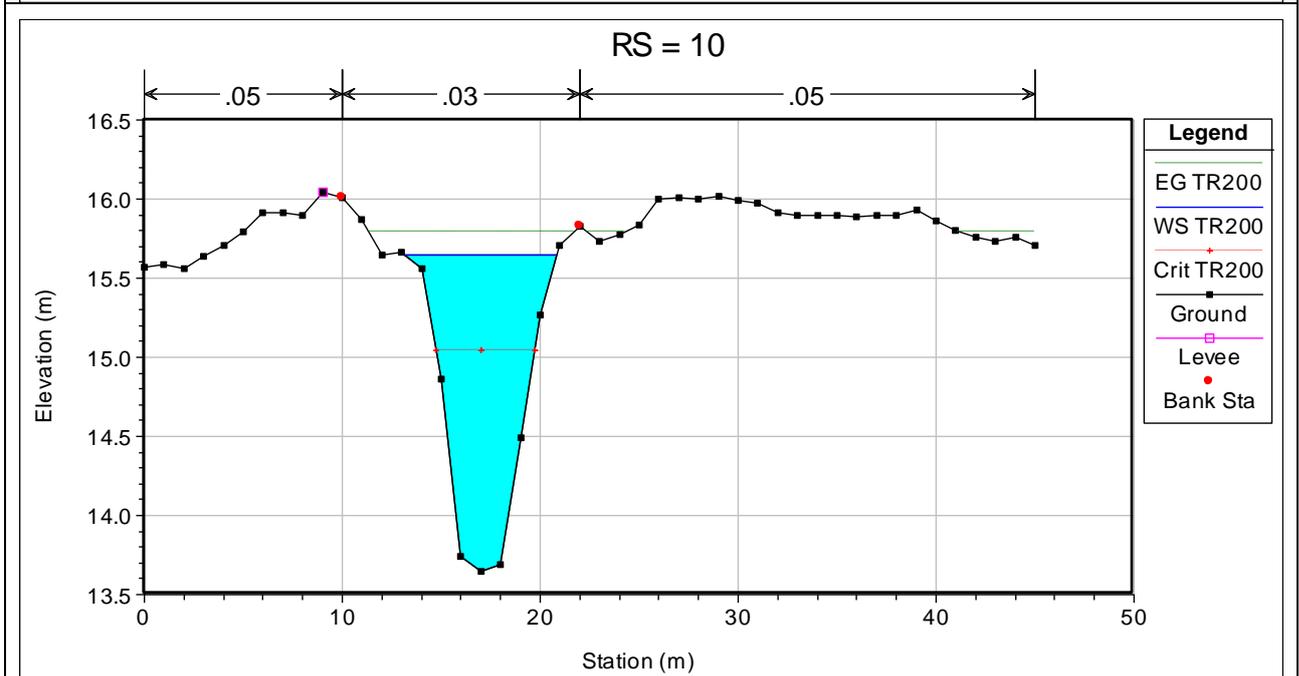
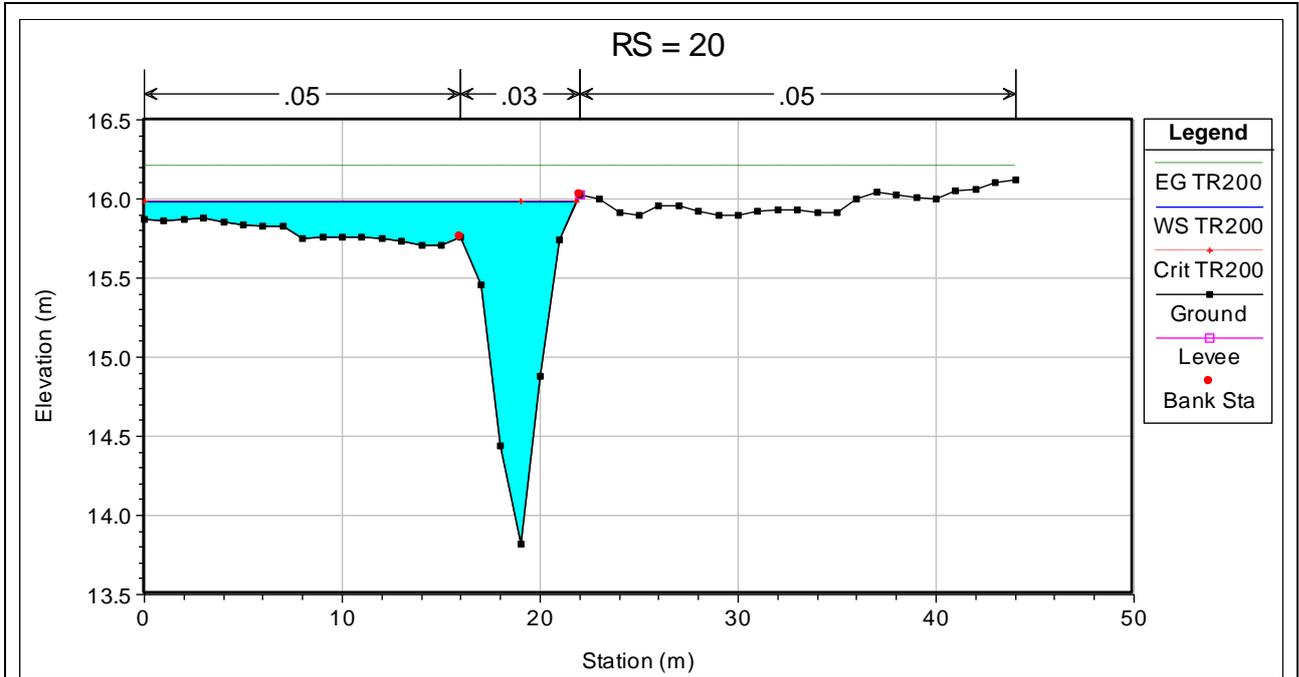
PROGETTO

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

Fg. 37 di 70

Rev.
0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414



	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 38 di 70	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

5.5 Analisi dei risultati conseguiti

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

Dall'esame dei risultati della simulazione idraulica, si rileva che nella parte alta del tronco idraulico considerato la sezione d'alveo risulta in grado di contenere la portata di progetto (portata duecentennale). Procedendo nella parte medio-bassa del tronco, si individuano delle esondazioni, le quali comunque rimangono confinate in prossimità dell'alveo del corso d'acqua.

La velocità media di deflusso della corrente, in concomitanza dell'evento considerato, risulta non particolarmente sostenuta (dell'ordine dei 2 m/s).

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 39 di 70	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

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-00414
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 40 di 70	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

6.2 Criteri di calcolo

Approfondimenti localizzati

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

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

Fra i modelli più noti atti a determinare il valore dell'eventuale approfondimento rispetto alla quota iniziale del fondo alveo durante la manifestazione di piene (Schoklitsh, Eggemberger, Adami, ecc.), la formula di Schoklitsh¹ è quella che presenta minori difficoltà nella determinazione dei parametri caratteristici ed è quella maggiormente impiegata (con risultati soddisfacenti) per gli attraversamenti in subalveo di corsi d'acqua da parte delle condotte (soprattutto nel campo dei metanodotti).

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

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

dove

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

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

Arature di fondo

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

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

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

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414	
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 41 di 70	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

del cavo tra le dune stesse.

Allo stato attuale non potendosi fare che semplici ipotesi sul fenomeno, non è possibile proporre algoritmi per calcolare la profondità degli scavi. Le proprietà geometriche del fondo alveo, in relazione all'entità delle tensioni tangenziali indotte dalla corrente, sono state studiate² da Yalin (1964), Nordin (1965) ed Altri, che hanno proposto di assegnare a tali escavazioni un valore cautelativo pari ad una percentuale dell'altezza idrometrica di piena ivi determinata. In particolare, nel caso di regime di corrente lenta, venne concluso che, per granulometrie comprese nel campo delle sabbie, la profondità del fenomeno risulta comunque inferiore a 1/6 o al massimo 1/3 dell'altezza idrica. Una generalizzazione prudenziale, proposta in Italia³, sulla base di osservazioni dirette nei corsi d'acqua della pianura padana, estende il limite massimo dei fenomeni di escavazione per aratura, indipendentemente dalla natura del fondo e dal regime di corrente, ad un valore cautelativo pari al 50% dell'altezza idrometrica di piena.

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

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

Considerazioni sui metodi di calcolo impiegati

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

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

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

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

³ Zanovello A., Sulle variazioni di fondo degli alvei durante le piene; L'Energia elettrica, XXXIV, n. 8; 1959.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 42 di 70	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

6.3 F. dei Poggiali - stima dei massimi approfondimenti d'alveo attesi

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

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

In particolare, i valori riportati in nero sono stati estrapolati dai parametri caratteristici del deflusso (di cui alla Tab.5.4/A); mentre i valori riportati in blu sono stati valutati in considerazione degli algoritmi descritti nel paragrafo precedente. Le ultime due colonne rappresentano rispettivamente i valori relativi agli approfondimenti localizzati e alle arature di fondo.

Tab.6.3/A: Erosioni nel fondo alveo

River Station	Q Total (m3/s)	Q Chan (m3/s)	Vel Chnl (m/s)	Top Width Act Chl (m)	Hydr Depth C (m)	Portata specifica (m ³ /s m)	Carico totale (m)	Approfond. Localizzati (m)	Arature di fondo (m)
60	14.1	14.10	2.79	5.22	0.97	2.70	1.37	0.84	0.49
50	14.1	14.10	2.09	6.41	1.05	2.20	1.27	0.78	0.53
40	14.1	14.10	2.2	7.56	0.85	1.87	1.10	0.71	0.43
30	14.1	12.77	1.27	10.00	1.00	1.28	1.08	0.64	0.50
20	14.1	12.58	2.22	5.83	0.97	2.16	1.22	0.76	0.49
10	14.1	14.10	1.71	9.26	1.07	1.52	1.22	0.70	0.54

6.4 Analisi dei risultati e considerazioni progettuali

Sulla base delle valutazioni di cui al paragrafo precedente si evince che, relativamente al tronco d'alveo analizzato (all'interno del quale ricade l'interferenza del metanodotto in progetto), la massima erosione attesa al fondo alveo, in concomitanza dell'evento di piena di progetto, è stata valutata in 0.84m.

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

A tal proposito si pone in evidenza che, per l'individuazione dell'effettivo valore di copertura in subalveo considerato nell'attraversamento in esame si rimanda a quanto riportato nel paragrafo 7.3.1.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 43 di 70		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

7 METODOLOGIA COSTRUTTIVA E SCELTE PROGETTUALI

7.1 Premessa

La definizione del progetto degli attraversamenti in esame è stata effettuata in riferimento a valutazioni di tipo geomorfologico, geotecnico ed idraulico, condotte negli ambiti specifici d'intervento.

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

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

7.2 Metodologia operativa: Scavi a cielo aperto

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

Nei casi specifici, l'insieme delle caratteristiche morfologiche, geologiche, geometriche ed idrauliche dell'ambito d'interferenza ha condotto all'individuazione del sistema di posa in subalveo della pipeline mediante la metodologia degli "scavi a cielo aperto".

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

La metodologia esecutiva consiste sostanzialmente nelle seguenti fasi:

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

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

- lavori in continuità con quelli di linea; tale procedura riguarda l'attraversamento di corsi d'acqua "poco importanti" (in relazione all'aspetto idraulico, alla morfologia dei terreni e a rischi di tipo operativo) o caratterizzati da periodi di "secca" o di magra, anche se di breve durata; in tali condizioni i lavori di scavo, posa e rinterro

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414	
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 44 di 70	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

della condotta vengono effettuati in continuità con quelli lungo la linea; in genere si tratta di torrenti, o canali, caratterizzati da modesti valori di portata, che pertanto non necessitano di una specifica struttura atta a consentirne il minimo deflusso, che può essere garantito mediante dispositivi ordinari;

- lavori per "fasi chiuse"; tale procedura prevede che si completi ogni fase prima dell'inizio della successiva; eseguendo in progressione scavo, posa della condotta e rinterri; questa sequenza viene adottata ogni qualvolta è necessario garantire lo smaltimento di un'eventuale portata non trascurabile, che dovesse manifestarsi durante la costruzione.

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

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

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

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

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

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 45 di 70	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

7.3 Geometria della condotta ed interventi di ripristino

7.3.1 Attraversamento fosso di Calcinaiola

Copertura di progetto

Relativamente al profilo di posa della condotta in progetto in subalveo in corrispondenza dell'attraversamento in esame, in considerazione dei risultati degli studi precedentemente riportati e delle condizioni peculiari rilevate nel contesto d'intervento, è stato previsto di posizionare la condotta in progetto con una copertura minima in alveo di 2.0 m (riferita alla profondità della generatrice superiore del tubo nei confronti della quota minima di fondo alveo).

Detta profondità di posa delle condotta assicura la sicurezza dell'infrastruttura lineare per tutto il periodo d'esercizio nei confronti dei potenziali processi erosivi.

Interventi di ripristino

Nel caso specifico, poiché l'alveo del corso d'acqua presenta delle dimensioni estremamente modeste, al termine dei lavori si prevede di eseguire il ripristino morfologico della configurazione d'alveo senza l'ausilio di alcuna opera di presidio idraulico.

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

Si precisa inoltre che, per un esame di dettaglio della configurazione geometrica della condotta in subalveo, si rimanda alla visione del disegno di attraversamento.

7.3.2 Attraversamento fosso di Fonte Lagone

Copertura di progetto

Relativamente al profilo di posa della condotta in progetto in subalveo in corrispondenza dell'attraversamento in esame, in considerazione dei risultati degli studi precedentemente riportati e delle condizioni peculiari rilevate nel contesto d'intervento, è stato previsto di posizionare la condotta in progetto con una copertura minima in alveo di 2.0 m (riferita alla profondità della generatrice superiore del tubo nei confronti della quota minima di fondo alveo).

Detta profondità di posa delle condotta assicura la sicurezza dell'infrastruttura lineare per tutto il periodo d'esercizio nei confronti dei potenziali processi erosivi.

Interventi di ripristino

Nel caso specifico, poiché l'alveo del corso d'acqua presenta delle dimensioni estremamente modeste, al termine dei lavori si prevede di eseguire il ripristino morfologico della configurazione d'alveo senza l'ausilio di alcuna opera di presidio idraulico.

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 46 di 70	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

Si precisa inoltre che, per un esame di dettaglio della configurazione geometrica della condotta in subalveo, si rimanda alla visione del disegno di attraversamento.

7.3.3 Attraversamento fosso dei Poggiali

Copertura di progetto

Relativamente al profilo di posa della condotta in progetto in subalveo in corrispondenza dell'attraversamento in esame, in considerazione dei risultati degli studi precedentemente riportati e delle condizioni peculiari rilevate nel contesto d'intervento, è stato previsto di posizionare la condotta in progetto con una copertura minima in alveo di circa 2.6 m (riferita alla profondità della generatrice superiore del tubo nei confronti della quota minima di fondo alveo).

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

Interventi di ripristino

Le opere di difesa idraulica previste nell'ambito sono:

- Presidi idraulici delle sponde con muri cellulari in legname, da realizzare per tutta la fascia interessata dai lavori;

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

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

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

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

7.3.4 Attraversamento fosso del Castellaro

Copertura di progetto

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

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 47 di 70		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

Interventi di ripristino

Le opere di difesa idraulica previste nell'ambito sono:

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

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

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

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

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 48 di 70		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

8 VALUTAZIONI INERENTI ALLA COMPATIBILITA' IDRAULICA

8.1 Quadro normativo generale

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

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

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

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

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

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

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

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

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

8.1.2 D.Lgs. 49/2010

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

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 49 di 70	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

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

Mappe della pericolosità e del rischio di alluvioni

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

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

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

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

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

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

8.1.3 Piani di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)

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

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414	
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 50 di 70	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

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-00414
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 51 di 70		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

8.2 Quadro normativo di riferimento per l'ambito in esame

8.2.1 Premessa

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

Pertanto, con l'entrata in vigore della norma summenzionata, gli ambiti specifici in esame (collocati all'interno del territorio dell'ex Autorità di bacino Toscana Costa) ricadono nelle pertinenze territoriali dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale.

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

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

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

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

8.2.2 PGR del Distretto Appennino Settentrionale

Generalità

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

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

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 52 di 70		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

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-00414	
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 53 di 70	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

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

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

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

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

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

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

8.2.3 L.R. n. 41/2018

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

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

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

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

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

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

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 54 di 70

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

8.3 Interferenze con PGRA gli ambiti di attraversamento dei corsi d'acqua

Nella figura seguente è riportato uno stralcio planimetrico in scala 1:10.000, dal quale si possono individuare gli ambiti d'interferenza tra il metanodotto in progetto (riportato mediante una linea in colore rosso) con l'alveo dei corsi d'acqua in esame (indicati con dei cerchi in blu) e più in generale con le aree censite dal PGRA a pericolosità elevata e media (riportate mediante campiture semi-trasparenti con varie tonalità di blu).

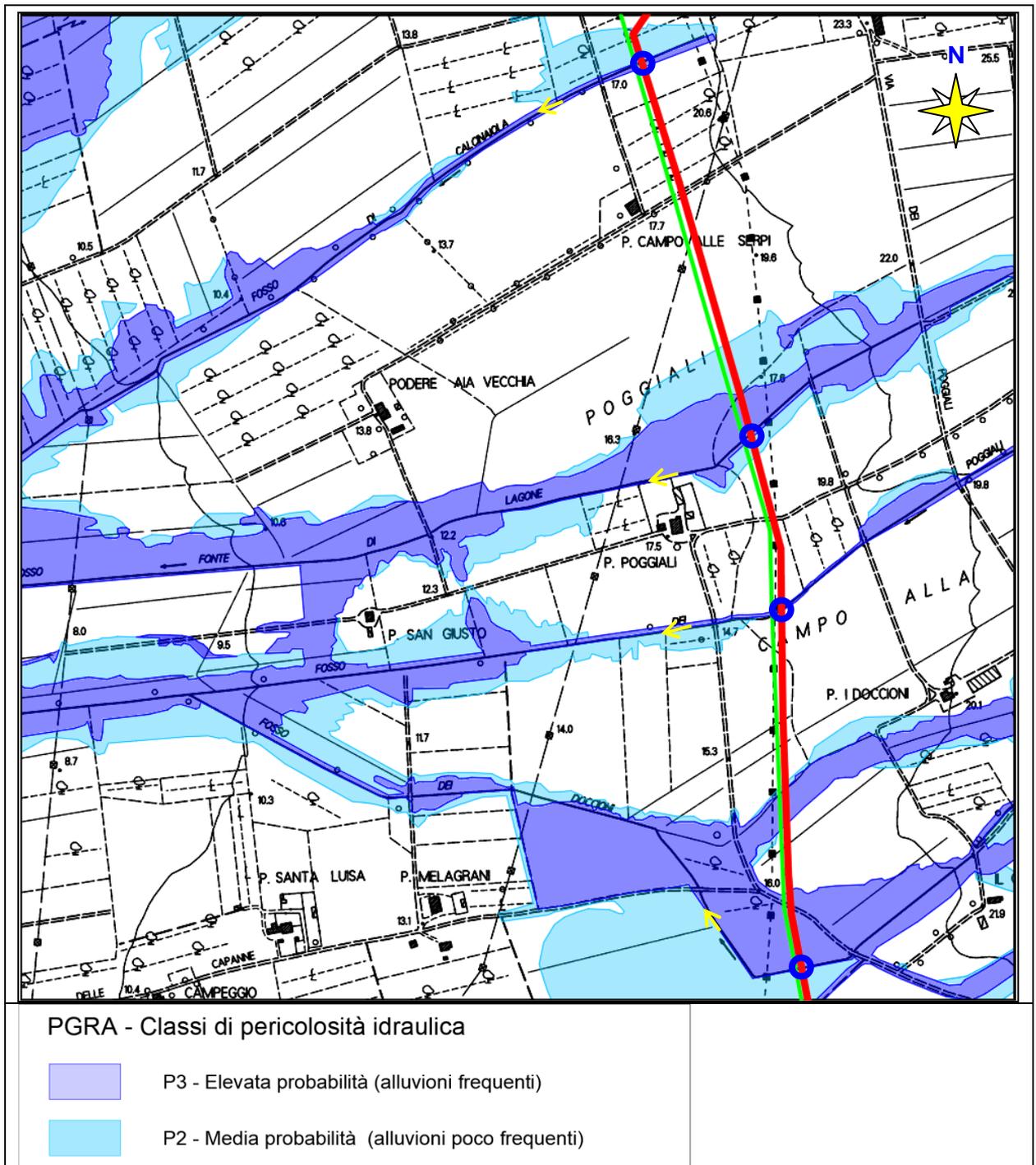


Fig.8.3/A: Interferenze tra metanodotto in progetto con le aree P2 e P3 dal PGRA

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414	
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 55 di 70	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

Dall'analisi della figura precedente si rileva che il tracciato del metanodotto in progetto in corrispondenza dell'attraversamento dell'alveo dei corsi d'acqua in esame (indicati schematicamente mediante dei cerchi in blu) ricadono in ambiti censiti a pericolosità da alluvioni fluviali elevata (P3).

Fuori dall'ambito di attraversamento dell'alveo dei corsi d'acqua (dove la condotta verrà comunque posizionata mediante la tradizionale tecnica degli "scavi a cielo aperto"), il tracciato del metanodotto in taluni casi continua a svilupparsi (sia in sinistra, che in destra idrografica dei corsi d'acqua) entro delle porzioni di territorio potenzialmente inondabili, censite a pericolosità elevata (P3) media (P2).

8.4 Analisi delle condizioni di compatibilità idraulica

8.4.1 Considerazioni di carattere generale

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

Le interferenze specifiche con le aree di pericolosità idraulica dei corsi d'acqua sono state determinate 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 dei corsi d'acqua in esame. Ciò in considerazione che il metanodotto prende origine nel territorio di Collesalveti (in località Mortaiolo) e termina nel territorio di Piombino (in località Vignarca), e pertanto nell'ambito del proprio sviluppo la linea in progetto deve necessariamente interferire con i vari corsi d'acqua che si sviluppano nel territorio tra le località di estremità precedentemente citate.

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

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

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

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

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 56 di 70	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

8.4.2 Considerazioni specifiche inerenti agli ambiti di attraversamento degli alvei

Entrando in maggior dettaglio in merito agli aspetti connessi alle specifiche interferenze idrauliche in corrispondenza di ciascun alveo dei corsi d'acqua in esame, dove la posa della condotta è prevista mediante "scavi a cielo aperto", si evidenzia quanto segue:

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

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

1. *Modifiche indotte sul profilo inviluppo di piena*

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

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

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

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

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

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

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 57 di 70	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

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

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

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

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

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

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

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

8.5 **Considerazioni conclusive sulla compatibilità idraulica**

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

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414	
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 58 di 70	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

- 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, in corrispondenza di ciascun ambito in esame nel presente elaborato, 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-00414
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 59 di 70	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

9 CONCLUSIONI

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

Il suddetto tracciato del metanodotto in progetto (DN 750) interseca, nel territorio di Bibbona (LI) ed a distanza ravvicinata, n.4 corsi d'acqua minori tributari del fosso Trogoli. In particolare, procedendo in senso gas (da Nord, verso Sud), il tracciato interseca progressivamente l'alveo del fosso di Calcinaiola, del fosso Fonte di Lagone, del fosso dei Poggiali e del fosso del Castellaro.

Con lo scopo di individuare le soluzioni tecnico-operative più idonee per gli attraversamenti 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 dei corsi d'acqua, è stata prevista l'adozione del sistema di attraversamento mediante "scavi a cielo aperto", con posizionamento della condotta in progetto con coperture di sicurezza adeguatamente cautelative nei confronti dei potenziali processi erosivi.

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

Le opere previste non costituiscono elementi di interferenza con il regime idraulico naturale dei corsi d'acqua e non determinano delle variazioni significative agli assetti plano-altimetrici preesistenti (quali restringimenti e/o modifiche dell'assetto longitudinale). Le stesse opere sono state scelte con caratteristiche tipologiche ottimali al fine di inserirsi nei contesti naturali esistenti.

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

Pertanto, si ritiene che le specificità dell'opera (infrastruttura interrata) e le scelte progettuali inerenti a ciascun ambito di attraversamento 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-00414
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 60 di 70		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

APPENDICE 1: STUDIO IDRAULICO / METODOLOGIA DI CALCOLO

Codice di calcolo

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

dove:

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 61 di 70	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

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

Condizioni di moto

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

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

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

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

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

in cui

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

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

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

in cui

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 62 di 70		Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Assetto geometrico

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 63 di 70	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

uniforme.

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

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

Condizioni al contorno

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

Le condizioni al contorno disponibili sono:

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

Risultati dei calcoli idraulici

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

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

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

E' fornita anche la linea del carico totale ottenuta come

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

dove

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 64 di 70	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

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

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

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

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

dove:

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414	
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 65 di 70	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

APPENDICE 2:
STUDIO IDRAULICO / REPORT PROGRAMMA HEC RAS

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

```

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

```

PROJECT DATA

Project Title: Poggiali
Project File : Poggiali.prj

Project in SI units

PLAN DATA

Plan Title: Plan 01

Plan File : C:\Users\Marco\Desktop\HEC studi miei 5.0.7\Liv-Pb\15cPoggiali\Poggiali.p01

Geometry Title: Poggiali

Geometry File : C:\Users\Marco\Desktop\HEC studi miei 5.0.7\Liv-Pb\15cPoggiali\Poggiali.g01

Flow Title : Poggiali

Flow File : C:\Users\Marco\Desktop\HEC studi miei 5.0.7\Liv-Pb\15cPoggiali\Poggiali.f01

Plan Summary Information:

```

Number of:  Cross Sections = 6   Multiple Openings = 0
            Culverts       = 0   Inline Structures = 0
            Bridges        = 0   Lateral Structures = 0

```

Computational Information

```

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

```

Computation Options

```

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

```

FLOW DATA

Flow Title: Poggiali

Flow File : C:\Users\Marco\Desktop\HEC studi miei 5.0.7\Liv-Pb\15cPoggiali\Poggiali.f01

Flow Data (m3/s)

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 66 di 70	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

River Poggiali Reach alveo RS 60 TR200 14.1

Boundary Conditions

River	Reach	Profile	Upstream	Downstream
Poggiali	alveo	TR200	Normal S = 0.007	Normal S = 0.003

GEOMETRY DATA

Geometry Title: Poggiali
 Geometry File : C:\Users\Marco\Desktop\HEC studi miei 5.0.7\Liv-Pb\15cPoggiali\Poggiali.g01

CROSS SECTION

RIVER: Poggiali
 REACH: alveo RS: 60

INPUT

Description:

Station Elevation Data num= 41

Sta	Elev								
0	16.69	1	16.71	2	16.7	3	16.71	4	16.73
5	16.74	6	16.76	7	16.79	8	16.87	9	16.88
10	16.87	11	16.83	12	16.79	13	16.81	14	16.8
15	16.75	16	16.7	17	16.71	18	16.77	19	16.36
20	15.72	21	15.14	22	14.56	23	15.26	24	16.4
25	16.69	26	16.75	27	16.68	28	16.69	29	16.74
30	16.81	31	16.87	32	16.9	33	16.92	34	16.89
35	16.89	36	16.9	37	16.88	38	16.83	39	16.8
40	16.87								

Manning's n Values num= 3

Sta	n Val	Sta	n Val	Sta	n Val
0	.05	18	.03	25	.05

Bank Sta:	Left	Right	Lengths:	Left Channel	Right	Coeff Contr.	Expan.
	18	25		20.69	20.69	20.69	.1 .3

CROSS SECTION OUTPUT Profile #TR200

E.G. Elev (m)	16.82	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.40	Wt. n-Val.		0.030	
W.S. Elev (m)	16.42	Reach Len. (m)	20.69	20.69	20.69
Crit W.S. (m)	16.33	Flow Area (m2)		5.05	
E.G. Slope (m/m)	0.009772	Area (m2)		5.05	
Q Total (m3/s)	14.10	Flow (m3/s)		14.10	
Top Width (m)	5.22	Top Width (m)		5.22	
Vel Total (m/s)	2.79	Avg. Vel. (m/s)		2.79	
Max Chl Dpth (m)	1.86	Hydr. Depth (m)		0.97	
Conv. Total (m3/s)	142.6	Conv. (m3/s)		142.6	
Length Wtd. (m)	20.69	Wetted Per. (m)		6.47	
Min Ch El (m)	14.56	Shear (N/m2)		74.77	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		208.79	
Frctn Loss (m)	0.14	Cum Volume (1000 m3)	0.11	0.92	0.09
C & E Loss (m)	0.05	Cum SA (1000 m2)	0.65	0.96	0.53

CROSS SECTION

RIVER: Poggiali
 REACH: alveo RS: 50

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 67 di 70	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

INPUT

Description:

Station Elevation Data num= 42

Sta	Elev								
0	16.56	1	16.56	2	16.52	3	16.51	4	16.47
5	16.46	6	16.49	7	16.53	8	16.54	9	16.55
10	16.55	11	16.54	12	16.53	13	16.52	14	16.55
15	16.51	16	16.52	17	16.57	18	16.22	19	15.61
20	15.01	21	14.35	22	14.59	23	15.83	24	16.49
25	16.45	26	16.34	27	16.29	28	16.29	29	16.29
30	16.33	31	16.34	32	16.36	33	16.5	34	16.54
35	16.53	36	16.51	37	16.54	38	16.57	39	16.56
40	16.56	41	16.58						

Manning's n Values num= 3

Sta	n Val	Sta	n Val	Sta	n Val
0	.05	17	.03	24	.05

Bank Sta: Left Right Lengths: Left Channel Right Coeff Contr. Expan.

17	24	35.96	35.96	35.96	.1	.3
Right Levee	Station=	24	Elevation=	16.49		

CROSS SECTION OUTPUT Profile #TR200

E.G. Elev (m)	16.63	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.22	Wt. n-Val.		0.030	
W.S. Elev (m)	16.41	Reach Len. (m)	35.96	35.96	35.96
Crit W.S. (m)	16.04	Flow Area (m2)		6.75	
E.G. Slope (m/m)	0.004733	Area (m2)		6.75	
Q Total (m3/s)	14.10	Flow (m3/s)		14.10	
Top Width (m)	6.41	Top Width (m)		6.41	
Vel Total (m/s)	2.09	Avg. Vel. (m/s)		2.09	
Max Chl Dpth (m)	2.06	Hydr. Depth (m)		1.05	
Conv. Total (m3/s)	205.0	Conv. (m3/s)		205.0	
Length Wtd. (m)	35.96	Wetted Per. (m)		7.77	
Min Ch El (m)	14.35	Shear (N/m2)		40.33	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		84.21	
Frctn Loss (m)	0.20	Cum Volume (1000 m3)	0.11	0.80	0.09
C & E Loss (m)	0.00	Cum SA (1000 m2)	0.65	0.83	0.53

CROSS SECTION

RIVER: Poggiali
REACH: alveo RS: 40

INPUT

Description:

Station Elevation Data num= 43

Sta	Elev								
0	16.35	1	16.29	2	16.28	3	16.29	4	16.31
5	16.29	6	16.3	7	16.32	8	16.32	9	16.34
10	16.35	11	16.33	12	16.3	13	16.34	14	16.25
15	16.17	16	15.79	17	14.91	18	14.2	19	14.48
20	15.52	21	15.84	22	16.1	23	16.29	24	16.34
25	16.29	26	16.18	27	16.12	28	16.14	29	16.15
30	16.17	31	16.21	32	16.24	33	16.3	34	16.3
35	16.32	36	16.3	37	16.29	38	16.34	39	16.3
40	16.28	41	16.33	42	16.35				

Manning's n Values num= 3

Sta	n Val	Sta	n Val	Sta	n Val
0	.05	13	.03	24	.05

Bank Sta: Left Right Lengths: Left Channel Right Coeff Contr. Expan.

13	24	30.08	30.08	30.08	.1	.3
Right Levee	Station=	24	Elevation=	16.34		

CROSS SECTION OUTPUT Profile #TR200

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 68 di 70	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

E.G. Elev (m)	16.43	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.25	Wt. n-Val.		0.030	
W.S. Elev (m)	16.18	Reach Len. (m)	30.08	30.08	30.08
Crit W.S. (m)	15.96	Flow Area (m2)		6.41	
E.G. Slope (m/m)	0.006611	Area (m2)		6.41	
Q Total (m3/s)	14.10	Flow (m3/s)		14.10	
Top Width (m)	7.56	Top Width (m)		7.56	
Vel Total (m/s)	2.20	Avg. Vel. (m/s)		2.20	
Max Chl Dpth (m)	1.98	Hydr. Depth (m)		0.85	
Conv. Total (m3/s)	173.4	Conv. (m3/s)		173.4	
Length Wtd. (m)	30.08	Wetted Per. (m)		8.76	
Min Ch El (m)	14.20	Shear (N/m2)		47.43	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		104.38	
Frctn Loss (m)	0.09	Cum Volume (1000 m3)	0.11	0.56	0.09
C & E Loss (m)	0.05	Cum SA (1000 m2)	0.65	0.58	0.53

CROSS SECTION

RIVER: Poggiali
REACH: alveo RS: 30

INPUT

Description:

Station Elevation Data	num=	44									
Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev	Sta	Elev
0	16.09	1	16.07	2	16.04	3	16.04	4	16.04	5	16.09
5	16.05	6	16.08	7	16.04	8	16.08	9	16.09	10	16.06
10	16.06	11	16.04	12	16.03	13	15.91	14	15.85	15	15.71
15	15.71	16	15.22	17	14.35	18	13.99	19	14.39	20	14.98
20	14.98	21	15.67	22	16.01	23	16.04	24	16.03	25	15.99
25	15.99	26	15.92	27	15.89	28	15.92	29	15.94	30	15.98
30	15.98	31	16.01	32	16.05	33	16.07	34	16.07	35	16.07
35	16.07	36	16.08	37	16.09	38	16.09	39	16.09	40	16.11
40	16.11	41	16.17	42	16.21	43	16.22				

Manning's n Values	num=	3			
Sta	n Val	Sta	n Val	Sta	n Val
0	.05	12	.03	22	.05

Bank Sta:	Left	Right	Lengths:	Left Channel	Right	Coeff Contr.	Expan.
	12	22		22.64	22.64	.1	.3
Left Levee	Station=	9	Elevation=	16.09			
Right Levee	Station=	23	Elevation=	16.04			

CROSS SECTION OUTPUT Profile #TR200

E.G. Elev (m)	16.29	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.08	Wt. n-Val.	0.050	0.030	0.050
W.S. Elev (m)	16.21	Reach Len. (m)	22.64	22.64	22.64
Crit W.S. (m)	15.57	Flow Area (m2)	1.86	10.03	3.52
E.G. Slope (m/m)	0.001656	Area (m2)	1.86	10.03	3.52
Q Total (m3/s)	14.10	Flow (m3/s)	0.43	12.77	0.89
Top Width (m)	42.23	Top Width (m)	12.00	10.00	20.23
Vel Total (m/s)	0.91	Avg. Vel. (m/s)	0.23	1.27	0.25
Max Chl Dpth (m)	2.22	Hydr. Depth (m)	0.15	1.00	0.17
Conv. Total (m3/s)	346.5	Conv. (m3/s)	10.6	313.9	22.0
Length Wtd. (m)	22.64	Wetted Per. (m)	12.13	11.03	20.24
Min Ch El (m)	13.99	Shear (N/m2)	2.48	14.77	2.83
Alpha	1.76	Stream Power (N/m s)	0.58	18.81	0.72
Frctn Loss (m)	0.07	Cum Volume (1000 m3)	0.08	0.31	0.04
C & E Loss (m)	0.02	Cum SA (1000 m2)	0.47	0.32	0.23

CROSS SECTION

RIVER: Poggiali

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414	
	PROGETTO RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar		Fg. 69 di 70	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

REACH: alveo RS: 20

INPUT

Description:

Station Elevation Data	num=	45
Sta Elev Sta Elev Sta Elev Sta Elev Sta Elev		
0 15.87 1 15.86 2 15.87 3 15.88 4 15.85		
5 15.84 6 15.83 7 15.83 8 15.75 9 15.76		
10 15.76 11 15.76 12 15.75 13 15.73 14 15.71		
15 15.71 16 15.76 17 15.46 18 14.44 19 13.82		
20 14.88 21 15.74 22 16.03 23 16 24 15.91		
25 15.9 26 15.96 27 15.96 28 15.92 29 15.9		
30 15.9 31 15.92 32 15.93 33 15.93 34 15.91		
35 15.91 36 16 37 16.04 38 16.03 39 16.01		
40 16 41 16.05 42 16.06 43 16.1 44 16.12		

Manning's n Values	num=	3
Sta n Val Sta n Val Sta n Val		
0 .05 16 .03 22 .05		

Bank Sta: Left Right Lengths: Left Channel Right	Coeff Contr.	Expan.
16 22 18.62 18.62 18.62	.1	.3
Right Levee Station= 22 Elevation= 16.03		

CROSS SECTION OUTPUT Profile #TR200

E.G. Elev (m)	16.21	Element	Left OB	Channel	Right OB
Vel Head (m)	0.23	Wt. n-Val.	0.050	0.030	
W.S. Elev (m)	15.98	Reach Len. (m)	18.62	18.62	18.62
Crit W.S. (m)	15.98	Flow Area (m2)	2.97	5.65	
E.G. Slope (m/m)	0.006263	Area (m2)	2.97	5.65	
Q Total (m3/s)	14.10	Flow (m3/s)	1.52	12.58	
Top Width (m)	21.83	Top Width (m)	16.00	5.83	
Vel Total (m/s)	1.64	Avg. Vel. (m/s)	0.51	2.23	
Max Chl Dpth (m)	2.16	Hydr. Depth (m)	0.19	0.97	
Conv. Total (m3/s)	178.2	Conv. (m3/s)	19.3	158.9	
Length Wtd. (m)	18.62	Wetted Per. (m)	16.12	7.29	
Min Ch El (m)	13.82	Shear (N/m2)	11.33	47.62	
Alpha	1.66	Stream Power (N/m s)	5.81	106.01	
Frctn Loss (m)	0.08	Cum Volume (1000 m3)	0.03	0.13	
C & E Loss (m)	0.03	Cum SA (1000 m2)	0.15	0.14	

CROSS SECTION

RIVER: Poggiali
REACH: alveo RS: 10

INPUT

Description:

Station Elevation Data	num=	46
Sta Elev Sta Elev Sta Elev Sta Elev Sta Elev		
0 15.57 1 15.59 2 15.56 3 15.64 4 15.71		
5 15.79 6 15.91 7 15.91 8 15.9 9 16.04		
10 16.01 11 15.87 12 15.65 13 15.66 14 15.56		
15 14.86 16 13.74 17 13.65 18 13.69 19 14.49		
20 15.27 21 15.71 22 15.83 23 15.73 24 15.78		
25 15.84 26 16 27 16.01 28 16 29 16.02		
30 15.99 31 15.97 32 15.91 33 15.9 34 15.9		
35 15.9 36 15.89 37 15.9 38 15.9 39 15.93		
40 15.86 41 15.8 42 15.76 43 15.73 44 15.76		
45 15.71		

Manning's n Values	num=	3
Sta n Val Sta n Val Sta n Val		
0 .05 10 .03 22 .05		

Bank Sta: Left Right Lengths: Left Channel Right	Coeff Contr.	Expan.
10 22 0 0 0	.1	.3

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20049	UNITÀ 000
	LOCALITÀ	REGIONE TOSCANA		REL-CI-E-00414
	PROGETTO	RIFACIMENTO MET. LIVORNO-PIOMBINO DN 750 (30"), DP 75 bar	Fg. 70 di 70	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-010-LA-E-80414

Left Levee Station= 9 Elevation= 16.04

CROSS SECTION OUTPUT Profile #TR200

		Element	Left OB	Channel	Right OB
E.G. Elev (m)	15.84				
Vel Head (m)	0.13	Wt. n-Val.		0.030	
W.S. Elev (m)	15.71	Reach Len. (m)			
Crit W.S. (m)	15.05	Flow Area (m2)		8.78	
E.G. Slope (m/m)	0.002999	Area (m2)		8.78	
Q Total (m3/s)	14.10	Flow (m3/s)		14.10	
Top Width (m)	9.26	Top Width (m)		9.26	
Vel Total (m/s)	1.61	Avg. Vel. (m/s)		1.61	
Max Chl Dpth (m)	2.06	Hydr. Depth (m)		0.95	
Conv. Total (m3/s)	257.5	Conv. (m3/s)		257.5	
Length Wtd. (m)		Wetted Per. (m)		10.64	
Min Ch El (m)	13.65	Shear (N/m2)		24.27	
Alpha	1.00	Stream Power (N/m s)		38.99	
Frctn Loss (m)		Cum Volume (1000 m3)			
C & E Loss (m)		Cum SA (1000 m2)			

SUMMARY OF MANNING'S N VALUES

River: Poggiali

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

SUMMARY OF REACH LENGTHS

River: Poggiali

Reach	River Sta.	Left	Channel	Right
alveo	60	20.69	20.69	20.69
alveo	50	35.96	35.96	35.96
alveo	40	30.08	30.08	30.08
alveo	30	22.64	22.64	22.64
alveo	20	18.62	18.62	18.62
alveo	10	0	0	0

SUMMARY OF CONTRACTION AND EXPANSION COEFFICIENTS

River: Poggiali

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