

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA		REL-CI-E-10404	
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse		Fg. 1 di 55	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA

PROGETTO:

**Rifacimento metanodotto Derivazione per Sestri Levante
DN 400 (16"), DP 75 bar
ed opere connesse**

Attraversamento in subalveo

TORRENTE BORSA

(Prog. km: 22+225)

STUDIO IDROLOGICO - IDRAULICO E RELAZIONE TECNICA DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA

0	Emissione	Vitelli	Caccavo	Palazzo	Nov. 2022
Rev.	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato	Data

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA		REL-CI-E-10404	
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse		Fg. 2 di 55	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404

INDICE

1	GENERALITÀ	4
1.1	Premessa	4
1.2	Scopo e descrizione dell'elaborato	4
1.3	Disegno di Attraversamento	5
2	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	6
3	CARATTERIZZAZIONE DELL'AMBITO IN ESAME	8
3.1	Assetto idrografico e descrizione generale del bacino del corso d'acqua	8
3.2	Descrizione dell'area di attraversamento	10
3.3	Indagini di caratterizzazione stratigrafica	12
4	VALUTAZIONI IDROLOGICHE	14
4.1	Generalità	14
4.2	Considerazioni specifiche preliminari	14
4.3	Sezione di studio - Parametri morfometrici del bacino	14
4.4	Studi propedeutici al PAI	16
	4.4.1 <i>Premessa</i>	16
	4.4.2 <i>Elaborazione idrologiche - Cenni</i>	16
	4.4.3 <i>Risultati finali delle elaborazioni idrologiche</i>	16
4.5	Valutazione delle portate nell'ambito in esame	17
4.6	Portata di progetto	18
5	STUDIO IDRAULICO IN MOTO PERMANENTE	19
5.1	Presupposti e limiti dello studio	19
5.2	Assetto geometrico e modellazione dell'alveo	19
	5.2.1 <i>Assetto geometrico di modellazione</i>	19
	5.2.2 <i>Dati di input e condizioni al contorno</i>	22
5.3	Risultati della simulazione idraulica	22
5.4	Analisi dei risultati conseguiti	31
6	VALUTAZIONE EROSIONI DI FONDO ALVEO	32
6.1	Generalità	32
6.2	Criteri di calcolo	33
6.3	Stima dei massimi approfondimenti d'alveo attesi	36
6.4	Analisi dei risultati e considerazioni progettuali	37
7	METODOLOGIA COSTRUTTIVA E SCELTE PROGETTUALI	38
7.1	Metodologia costruttiva: Microtunnelling	38
7.2	Configurazione geometrica di progetto	38

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA		REL-CI-E-10404	
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse		Fg. 3 di 55	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404

8	DESCRIZIONE DELLA TECNICA COSTRUTTIVA DEL MICROTUNNEL	40
8.1	Generalità	40
8.2	Requisiti generali del sistema costruttivo	40
8.3	Fasi Operative	42
8.4	Considerazioni sulla stabilità per filtrazione in sub-alveo	45
9	VALUTAZIONI INERENTI ALLA COMPATIBILITA' IDRAULICA	47
9.1	Quadro normativo di riferimento	47
9.1.1	<u>Criteria generali di progettazione del metanodotto</u>	47
9.1.2	<u>Pianificazione territoriale di settore</u>	47
9.1.3	<u>Disposizioni e Misure di salvaguardia per la regolamentazione degli interventi in ambiti censiti a pericolosità idraulica</u>	48
9.2	Interferenze con aree a pericolosità idraulica	50
9.3	Analisi delle condizioni di Compatibilità Idraulica	51
9.3.1	<u>Considerazioni di carattere generale</u>	51
9.3.2	<u>Considerazioni specifiche inerenti all'ambito di attraversamento del corso d'acqua</u>	52
9.4	Considerazioni conclusive sulla Compatibilità Idraulica	53
10	CONCLUSIONI	54
	APPENDICE 1: COLONNE STRATIGRAFICHE DEI SONDAGGI	55

ANNESSO: Disegno di Attraversamento DIS-AT-5B-11222

*“Rifacimento metanodotto Derivazione per Sestri Levante”, DN400 (16”);
 Microtunnel “Cembrano” / “San Pietro Vara” - Attraversamento torrente Borsa*

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA		REL-CI-E-10404	
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse		Fg. 4 di 55	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404

1 GENERALITÀ

1.1 Premessa

La Snam Rete Gas, nell'ambito del progetto "*Rifacimento metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16")*", intende realizzare dei nuovi tratti di metanodotto, che si sviluppino nell'ambito dei territori dell'Emilia Romagna e della Liguria, in sostituzione dei corrispondenti tratti del metanodotto "*Derivazione per Sestri Levante DN 250 (10")*" in esercizio ed in fase di dismissione.

In particolare, il tracciato del metanodotto in progetto (DN 400) interseca l'alveo del torrente BORSA nel territorio comunale di Maissana (SP), in un ambito situato in prossimità della località "Ponte Rollino Borsa".

In corrispondenza del sopracitato ambito di attraversamento del corso d'acqua, il tracciato del metanodotto in progetto interferisce con delle aree censite a pericolosità idraulica nel Piano Stralcio Assetto Idrogeologico (PAI) dell'ex Autorità di Bacino del Fiume Magra e nel Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) del Distretto Idrografico dell'Appennino Settentrionale.

1.2 Scopo e descrizione dell'elaborato

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

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

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

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

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA		REL-CI-E-10404	
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse		Fg. 5 di 55	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404

- Valutazioni sulle condizioni di compatibilità idraulica del sistema d'attraversamento in riferimento ai criteri stabiliti nelle disposizioni normative per la regolamentazione degli interventi in ambiti censiti a pericolosità idraulica.

1.3 Disegno di Attraversamento

Il progetto dell'attraversamento del corso d'acqua, comprendente le caratteristiche geometriche e strutturali della condotta, il profilo di posa della stessa, nonché le caratteristiche tipologiche e dimensionali delle eventuali opere di sistemazione, è stato sviluppato nel seguente elaborato grafico:

- **DIS-AT-5B-11222**
"Rifacimento metanodotto Derivazione per Sestri Levante", DN400 (16");
 Microtunnel "Cembrano" / "San Pietro Vara" - Attraversamento torrente Borsa

Pertanto, per gli approfondimenti di alcune tematiche affrontate nel presente documento, si rimanda alla visione dell'elaborato grafico di progetto sopra citato.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA		REL-CI-E-10404
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse		Fg. 6 di 55

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'attraversamento dell'alveo del torrente Borsa da parte del tracciato del metanodotto in progetto (DN400) ricade nel territorio comunale di Maissana (SP), in un ambito situato in prossimità della località "Ponte Rollino Borsa".

Dal punto di vista idrografico, l'ambito di attraversamento ricade nel tratto terminale dello sviluppo dell'asta fluviale del corso d'acqua, a circa 600 m dalla foce nel Vara.

Al fine di fornire un inquadramento territoriale generale dell'ambito di attraversamento, qui di seguito si riporta una corografia in scala 1:25.000 (estratta dalla Mappa regionale della Liguria), dove:

- il tracciato del metanodotto in progetto è riportato mediante una linea in rosso;
- il tratto di metanodotto che sarà da dismettere è indicato tramite una linea in verde;
- i tratti di linea da mantenere in esercizio sono indicati in colore arancione;
- l'area di attraversamento in esame è evidenziata mediante un cerchio in colore blu.

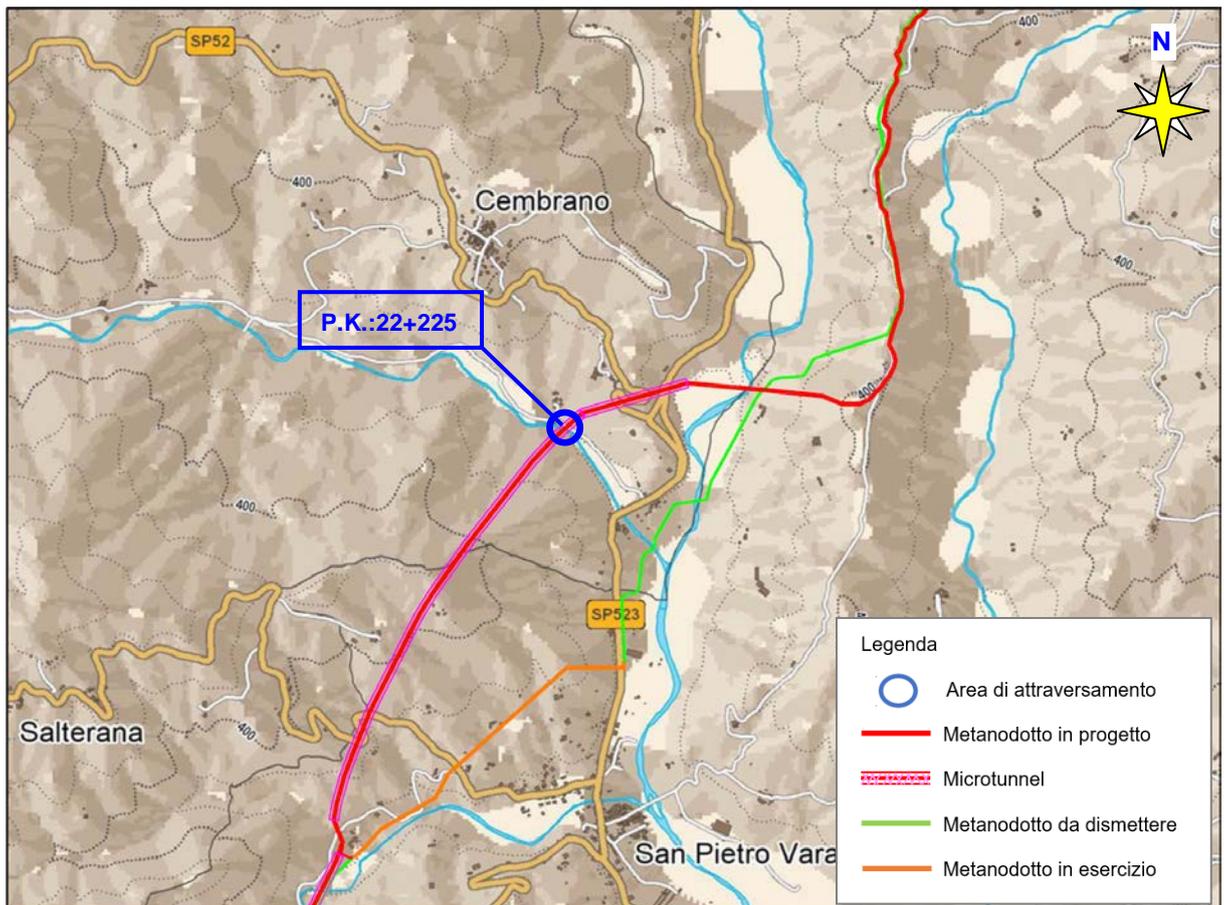


Fig.2.1/A: Corografia generale in scala 1:25.000 (dalle tavolette IGM)

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA		REL-CI-E-10404
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse		Fg. 7 di 55

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404

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

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

Coordinate ambito di attraversamento del corso d'acqua			
Coordinate Piane: WGS84- Fuso 32 (EPSG 32632)	546892 m E	4910534 m N	

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

Nella stessa figura è inoltre indicato schematicamente (mediante una sagoma rettangolare in color magenta) il tratto di condotta con posa prevista in trivellazione. Ciò in quanto (come meglio specificato in seguito) l'attraversamento dell'alveo del corso d'acqua in esame verrà eseguito con tecnologia trenchless (microtunnelling), a profondità superiore ai 4 m.

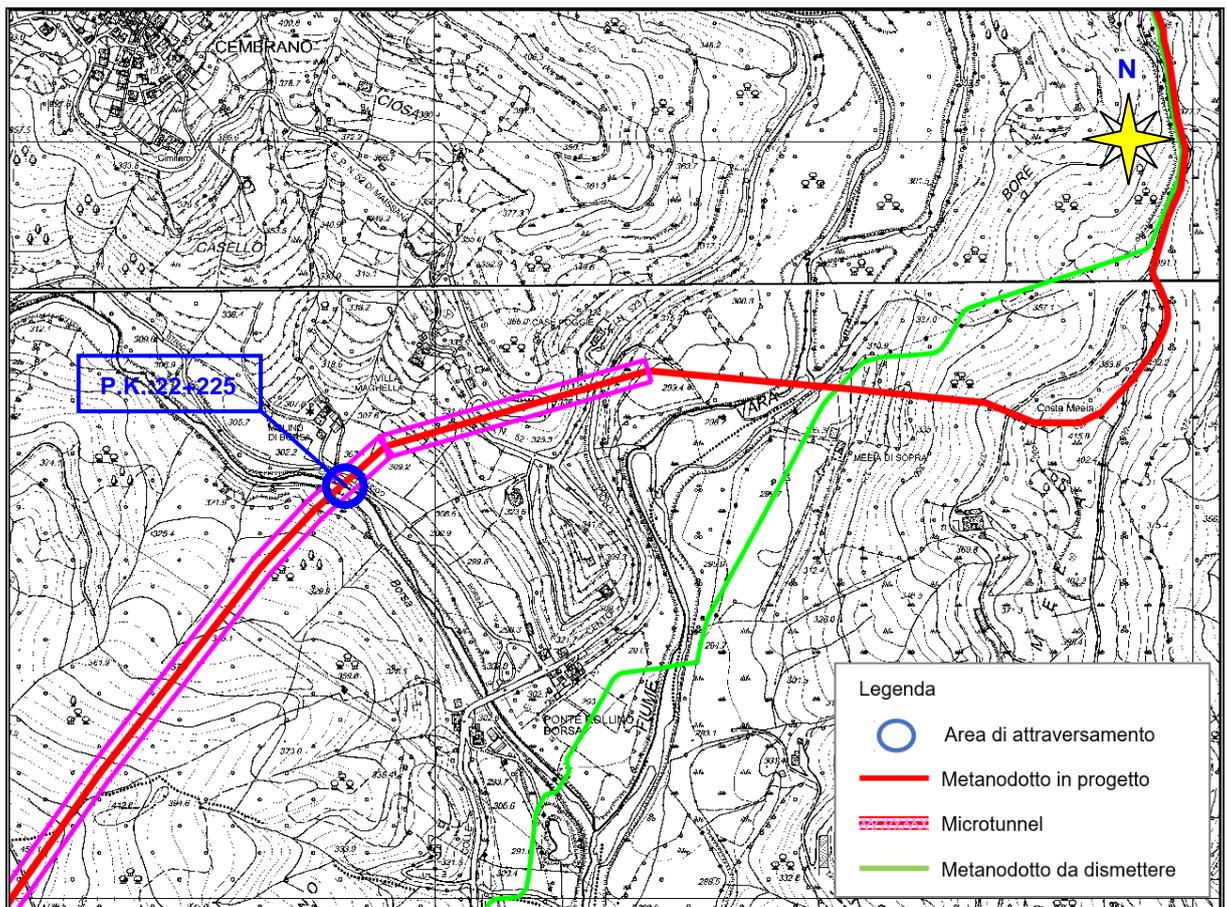


Fig.2.1/B: Stralcio planimetrico in scala 1:10.000 (C.T.R. Regionali)

Dall'analisi della figura precedente si rileva che l'ambito di attraversamento del corso d'acqua da parte del tracciato del metanodotto in progetto (DN400) è ubicato a circa 0.5 km a monte nei confronti dell'attraversamento del metanodotto DN250 attualmente in esercizio (e che verrà successivamente dismesso).

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA		REL-CI-E-10404	
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse		Fg. 8 di 55	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404

3 CARATTERIZZAZIONE DELL'AMBITO IN ESAME

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

Il torrente Borsa è un corso d'acqua di significativa rilevanza, di livello gerarchico 3 (da valle a monte), affluente di destra del fiume Vara e pertanto rappresenta un elemento del reticolo idrografico del Magra. Il Borsa è caratterizzato da un bacino complessivo chiuso alla foce di circa 26 km², ricadente quasi interamente nel territorio di Maissana, e marginalmente in quello di Varese Ligure (in provincia della Spezia).

Il corso d'acqua si origina in prossimità del Passo del Bocco di Bargone e si sviluppa con direzione prevalente da ovest verso est ricevendo da sinistra le acque del Valle Fosse Croce, del Valle di lago Orbara e del Valle Recuesco; mentre, da destra l'unico affluente significativo è rappresentato dal Rio Orbara.

Infine, dopo uno sviluppo complessivo dell'asta principale di circa 9.3 km, in località "Ponte Rollino Borsa", il corso d'acqua s'immette da destra nel Fiume Vara.

Il regime idrologico del corso d'acqua è tipicamente torrentizio, con andamento dei deflussi legato sostanzialmente a quello delle precipitazioni atmosferiche ricadenti nel bacino.

In particolare, i deflussi sono cospicui soprattutto nei mesi autunnali (specie tra ottobre e novembre) e in primavera (anche per il contributo determinato dallo scioglimento delle nevi); mentre, in estate s'individuano degli importanti periodi di magra.

Nella figura seguente è riportato il bacino complessivo del corso d'acqua (in colore giallo), su una base cartografica estrapolata dalla Mappa Regionale della Liguria al 25.000, con indicazione dell'asta del corso d'acqua e del reticolo idrografico significativo (in blu), e del reticolo minore (in celeste). Nella stessa figura è anche indicato, mediante un cerchio in rosso, l'ambito d'interferenza in esame tra il metanodotto in progetto (riportato mediante una linea in rosso) e l'alveo del corso d'acqua.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA		REL-CI-E-10404
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse		Fg. 9 di 55

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404

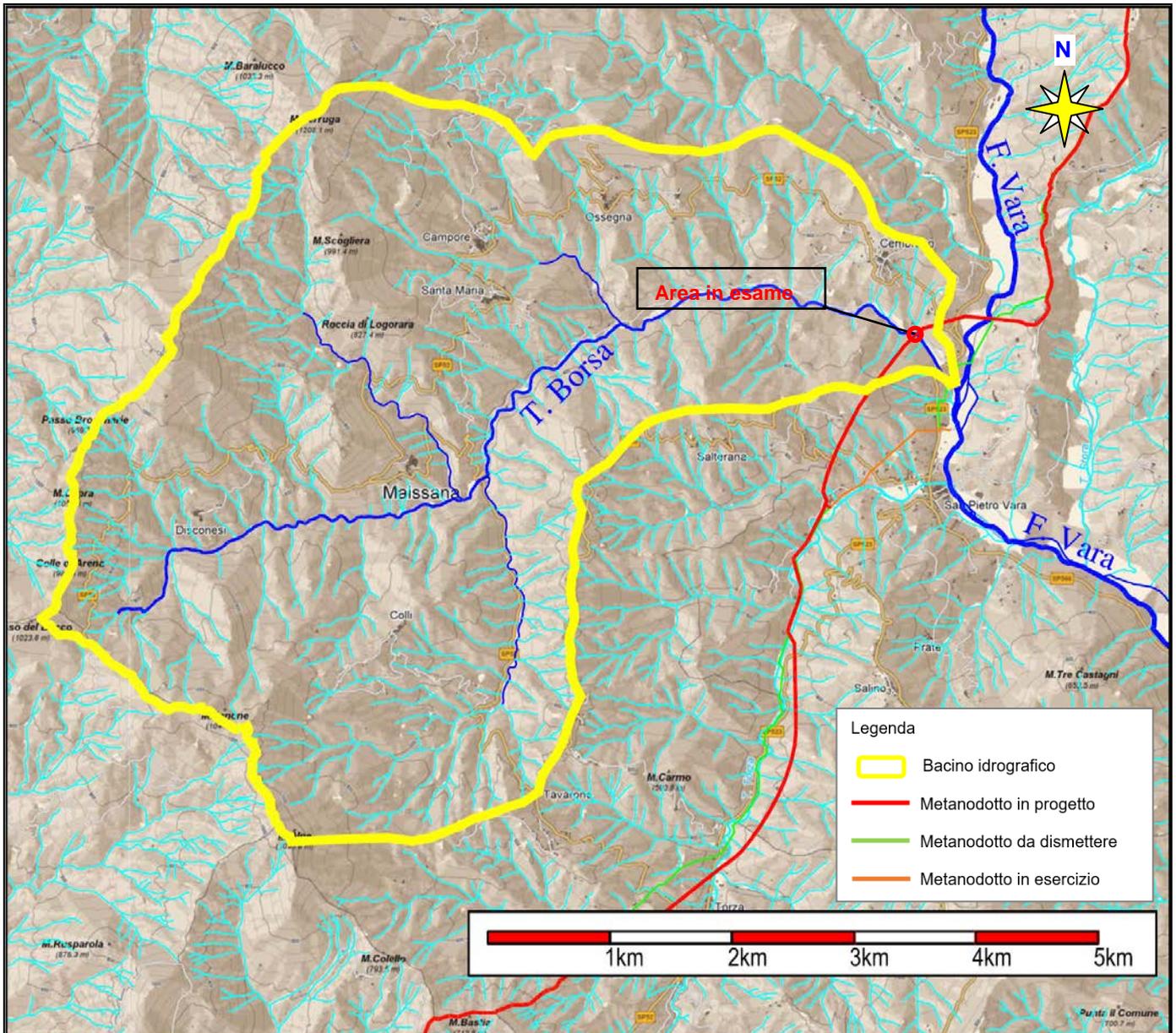


Fig.3.1/A: Bacino complessivo del corso d'acqua (26 km²) ed indicazione dell'ambito di attraversamento

Dall'esame della figura precedente si rileva che l'attraversamento del metanodotto in progetto ricade nel tratto terminale dello sviluppo dell'asta del corso d'acqua, a circa 600 m dalla foce nel Vara.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA		REL-CI-E-10404	
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse		Fg. 10 di 55	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404

3.2 Descrizione dell'area di attraversamento

L'attraversamento da parte del metanodotto in progetto (DN400) ricade nei pressi della località "Ponte Rollino Borsa", nel tratto terminale dello sviluppo dell'asta del torrente (a circa 600 m dalla foce nel Vara).

Nell'intorno dell'area di attraversamento, il torrente assume un andamento longitudinale leggermente sinuoso.

In particolare, nel tratto in esame, il corso d'acqua presenta un letto di fondo, di ampiezza dell'ordine dei 10-15 m, costituito da ghiaie, ciottolame e blocchi lapidei in una matrice sabbiosa. Sul lato in sinistra idrografica s'individua una sponda mediamente acclive, che si eleva dal fondo di circa 3 m ed è presidiata con un rivestimento in massi ciclopici; poi si rileva un'ampia piana, la quale viene inondata in occasione delle piene più significative. In destra idrografica, la sponda è alta circa 2.5-3.0 m e poi s'individua uno stretto pianoro di base del versante di un rilievo morfologico. Dal punto di vista vegetazionale nel lato in destra s'individua un bosco, che interessa sia il pianoro che il versante sovrastante; mentre, in sinistra la piana risulta coltivata a seminativo ed è sostanzialmente priva di vegetazione arbustiva e/o arborea.

Al fine di consentire una visione diretta dell'ambito in esame, qui di seguito si riporta una foto aerea dove:

- il tracciato del metanodotto in progetto è riportato mediante una linea in rosso;
- l'area di attraversamento dell'alveo è evidenziata mediante un cerchio in colore celeste.

L'attraversamento in esame, come meglio specificato nel seguito, verrà eseguito in trenchless (microtunnel), il cui sviluppo di trivellazione in subalveo è schematicamente indicato in figura mediante una sagoma rettangolare in giallo.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA		REL-CI-E-10404
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 11 di 55	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404

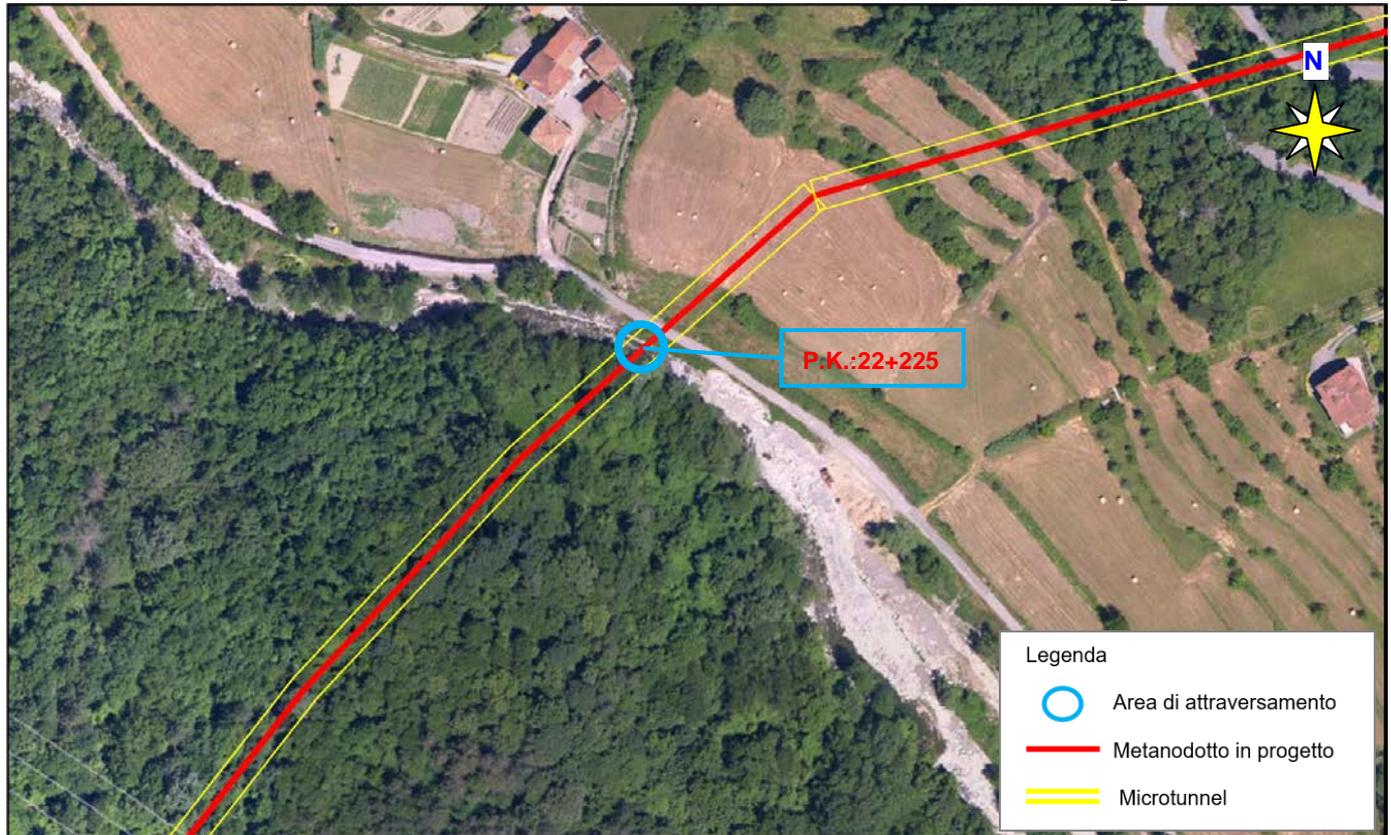


Fig.3.2/A: Foto aerea dell'ambito di attraversamento

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

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA	REL-CI-E-10404		
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 12 di 55	Rev. 0	

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404



Fig.3.2/B: Foto ambito d'attraversamento (microtunnelling)

3.3 Indagini di caratterizzazione stratigrafica

Per l'acquisizione degli elementi che hanno permesso di esprimere un giudizio sui terreni presenti lungo il tracciato del metanodotto in progetto, recentemente (nella primavera ed estate del 2022), è stata eseguita una specifica campagna geognostica (rif. REL-GEO-E-13024).

In particolare, per la caratterizzazione dell'ambito fluviale in esame risulta interessante un sondaggio (denominato DS-B-B34), spinto sino alla profondità di 15 m dal p.c. e la cui ubicazione è riportata nella foto aerea di cui alla figura seguente.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA	REL-CI-E-10404		
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 13 di 55	Rev. 0	

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404

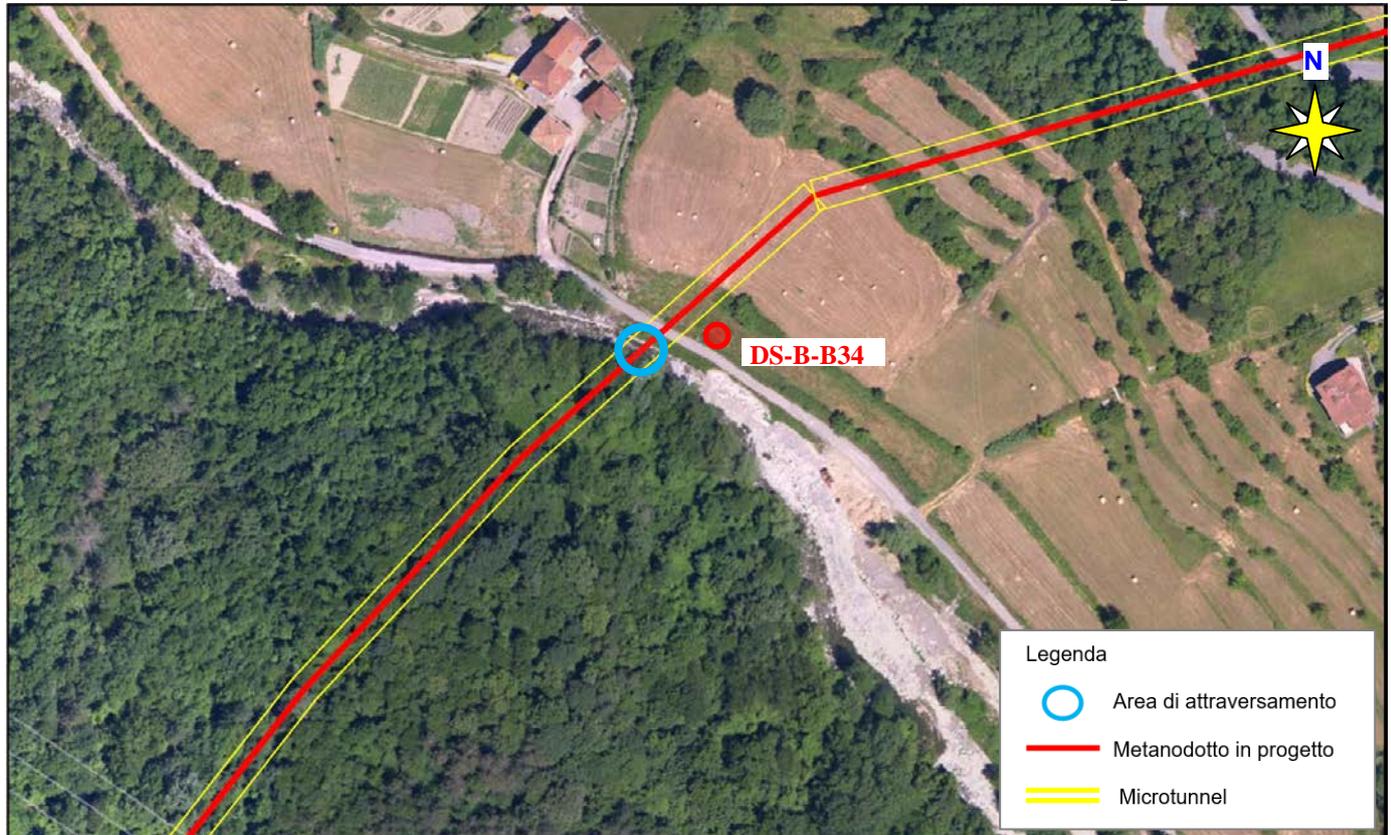


Fig.3.3/A: Foto aerea dell'ambito di attraversamento, con ubicazione del sondaggio di interesse

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

Dall'analisi della stessa colonna stratigrafica, s'individua la presenza di un livello superficiale (di spessore di circa 7 m) costituito prevalentemente da sabbie e con presenza di clasti e di trovanti poligenici, poggiate su un substrato di argillite a struttura scistosa.

La falda freatica, dalle misurazioni eseguite durante il carotaggio, è stata individuata ad una profondità di circa 3,7 m dal piano campagna (vedi Appendice 1).

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA		REL-CI-E-10404	
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse		Fg. 14 di 55	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404

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.

In ultimo si pone in evidenza, che frequentemente sono disponibili degli "studi ufficiali", adottati e/o approvati dalle Autorità competenti. In tali casi è opportuno riferirsi principalmente ai risultati di detti studi.

4.2 Considerazioni specifiche preliminari

Nel caso in esame per le valutazioni idrologiche si utilizzano gli algoritmi di regionalizzazione individuati nell'ambito degli studi propedeutici alla redazione del Piano Stralcio Assetto Idrogeologico (PAI), redatto dall'Autorità di bacino Interregionale del Magra.

In tal senso nel seguito si provvederà a riportare dei cenni sui modelli impiegati negli studi idrologici propedeutici al PAI, quindi si riporteranno gli algoritmi delle curve di regionalizzazione utilizzabili per la stima delle portate al colmo di piena.

4.3 Sezione di studio - Parametri morfometrici del bacino

Si assume come sezione di studio quella di attraversamento da parte del metanodotto in progetto (DN400), che ricade in prossimità della località "Ponte Rollino Borsa", nel tratto terminale dello sviluppo dell'asta principale del corso d'acqua.

Nella figura seguente è riportato uno stralcio planimetrico, estrapolato dalla Mappa Regionale della Liguria al 25.000, con la delimitazione del bacino sotteso dalla sezione di studio (in color magenta) e con indicazione del reticolo idrografico. Nella stessa figura il tracciato del metanodotto in progetto è riportato mediante una linea in rosso.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA		REL-CI-E-10404
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse		Fg. 15 di 55

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404

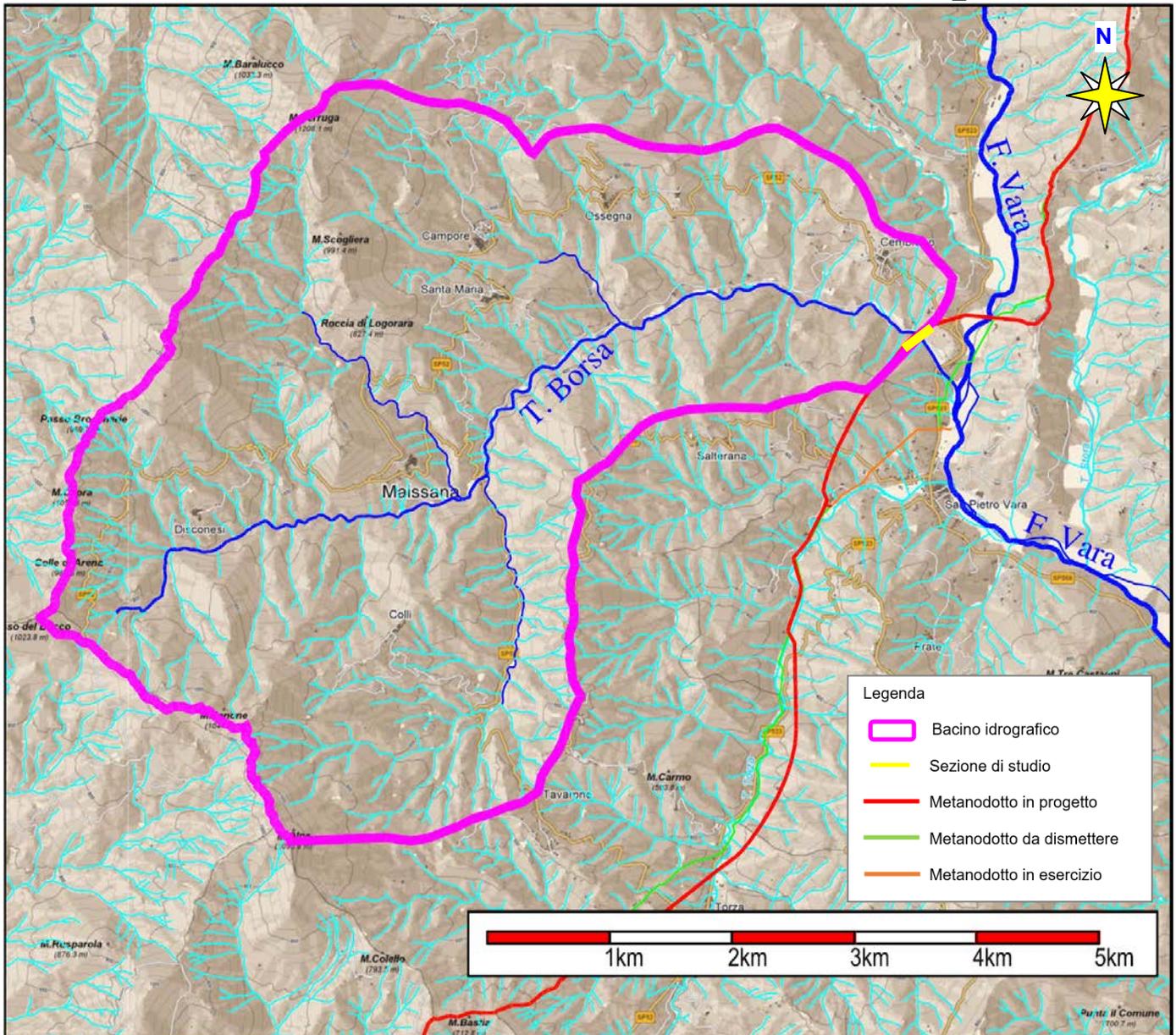


Fig.4.3/A: Bacino Imbrifero sotteso dalla sezione di studio

Nella tabella seguente sono riportati i parametri morfometrici del bacino sotteso dalla sezione di studio (sezione di attraversamento), misurati con software GIS.

Tab.4.3/A: Parametri morfometrici

Corso d'acqua	Sez. di studio	Superficie Bacino (kmq)	Lunghezza asta principale (km)	Altitudine max del Bacino (m)	Altitudine Sezione chiusura (m)
T. Borsa	Sez. Attrav.	25.4	8.65	1028	300

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA		REL-CI-E-10404	
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse		Fg. 16 di 55	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404

4.4 Studi propedeutici al PAI

4.4.1 Premessa

Le Amministrazioni della Regione Liguria e della Regione Toscana hanno affidato al Centro di Ricerca in Monitoraggio Ambientale (CIMA) dell'Università degli Studi di Genova, unitamente al Centro Studi Ingegneria (PIN) di Prato, l'incarico di effettuare studi idrologici ed idraulici propedeutici alla realizzazione del Piano di Bacino del fiume Magra.

4.4.2 Elaborazione idrologiche - Cenni

Sono stati effettuati due diversi studi idrologici, ciascuno dei quali adatto alle finalità perseguite, sebbene realizzati con metodologie affini.

Il primo studio è specificamente mirato alla perimetrazione delle aree inondabili e, di conseguenza, fissa come obiettivo primario la determinazione delle portate al colmo di piena per assegnati periodi di ritorno.

Obiettivi principali del secondo studio idrologico sono, invece, il dimensionamento e la verifica degli interventi di laminazione sul bacino; per tale finalità si rende quindi necessaria un'indagine più approfondita sulla forma dell'idrogramma di piena, per la corretta valutazione dei volumi in gioco, anche ai fini della modellazione idraulica in moto vario.

Al fine di individuare degli algoritmi per la regionalizzazione delle portate di piena, visto il ridotto numero di stazioni idrometriche presenti nel bacino del Magra e la scarsa numerosità campionaria delle serie storiche, si è utilizzato un modello afflussi – deflussi che prevede che la stima della portata indice sia condotta a partire dalle osservazioni pluviometriche regionalizzate. Detta metodologia di calcolo è quella impiegata nei due studi suddetti.

Per la descrizione di dettaglio delle modalità di elaborazione negli studi CIMA e PIN si rimanda rispettivamente alla visione dei paragrafi 2.9.1 e 2.9.2 della Relazione Generale del PAI.

Quindi sulla base dei risultati conseguiti si è pervenuto all'individuazione delle curve di inviluppo delle portate (con vari tempi di ritorno) valide per i sottobacini a monte della confluenza tra il fiume Magra e il fiume Vara.

Poi si è reso necessario effettuare un ulteriore passaggio di elaborazione, per meglio rappresentare i bacini minori, ossia per i bacini imbriferi di dimensioni limitate. In tal senso si è utilizzato il software "PIENE", procedendo in pratica ad effettuare un sostanziale raffittimento degli studi precedentemente sviluppati.

4.4.3 Risultati finali delle elaborazioni idrologiche

Sulla base delle elaborazioni condotte si è quindi pervenuto a definire il quadro complessivo delle formule per la determinazione della portata al colmo di piena per i tempi di ritorno di interesse.

Tali formule sono riportate nella tabella seguente.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA		REL-CI-E-10404	
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse		Fg. 17 di 55	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404

Tab.4.4/A: Curve di regionalizzazione per il calcolo delle portate per i corsi d'acqua ricadenti nel bacino del Fiume Magra

Tempi di ritorno	Affluenti fiume Magra a valle della confluenza	Alto Vara ed Affluenti	Alto Magra ed affluenti a monte della confluenza
30 anni	$Q = 12 * A^{0.9}$	$Q = 16 * A^{0.85}$ (A < 15 kmq)	$Q = 15 * A^{0.85}$ (A < 39 kmq)
		$Q = 24 * A^{0.7}$ (A > 15 kmq)	$Q = 26 * A^{0.7}$ (A > 39 kmq)
100 anni	$Q = 16 * A^{0.9}$	$Q = 21 * A^{0.85}$ (A < 36 kmq)	$Q = 20 * A^{0.85}$ (A < 50 kmq)
		$Q = 33 * A^{0.7}$ (A > 36 kmq)	$Q = 36 * A^{0.7}$ (A > 50 kmq)
200 anni	$Q = 18 * A^{0.9}$	$Q = 25 * A^{0.85}$ (A < 23 kmq)	$Q = 23 * A^{0.85}$ (A < 65 kmq)
		$Q = 40 * A^{0.7}$ (A > 23 kmq)	$Q = 43 * A^{0.7}$ (A > 65 kmq)
500 anni	$Q = 21 * A^{0.9}$	$Q = 29 * A^{0.85}$ (A < 43 kmq)	$Q = 28 * A^{0.85}$ (A < 80 kmq)
		$Q = 51 * A^{0.7}$ (A > 43 kmq)	$Q = 54 * A^{0.7}$ (A > 80 kmq)

4.5 Valutazione delle portate nell'ambito in esame

L'ambito fluviale in esame è ricadente nel sottobacino dell'Alto Vara. La superficie sottesa dalla sezione di studio risulta di 25.4 km².

Pertanto applicando gli algoritmi di cui alla 3^a colonna della Tab.4.4/A si ottengono i risultati riportati nella tabella seguente.

Tab.4.5/A: Sezione di studio – Portate al colmo di piena

Corso d'acqua / Sezione Studio	Superficie Bacino (kmq)	Portata al colmo di piena (mc/s) (T=30anni)	Portata al colmo di piena (mc/s) (T=100anni)	Portata al colmo di piena (mc/s) (T=200anni)	Portata al colmo di piena (mc/s) (T=500anni)
T. Borsa / Sez. di Studio	25.4	231	328	385	453

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA		REL-CI-E-10404	
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse		Fg. 18 di 55	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404

4.6 Portata di progetto

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

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

Tab.4.6/A: Portata di progetto

Corso d'acqua	Sezione Idrologica	Sup. Bacino (kmq)	Qprogetto (mc/s)	qmax (mc/s×kmq)
Sezione di				
Torrente Borsa	Attrav.	25.4	385	15.2

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA		REL-CI-E-10404	
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse		Fg. 19 di 55	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404

5 STUDIO IDRAULICO IN MOTO PERMANENTE

5.1 Presupposti e limiti dello studio

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

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

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

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

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

I criteri ed i modelli di calcolo utilizzati per le verifiche idrauliche in moto permanente derivano dall'applicazione del software HEC-RAS (vers. 6.2) e descritti nei documenti "RAS Hydraulic reference manual", "RAS user's manual", "RAS applications guide".

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

5.2 Assetto geometrico e modellazione dell'alveo

5.2.1 Assetto geometrico di modellazione

Al fine di eseguire la modellazione idraulica nell'ambito di riferimento è stato considerato un tronco d'alveo idraulicamente significativo a cavallo della sezione di attraversamento del metanodotto in progetto, per uno sviluppo complessivo di circa 270 m.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA	REL-CI-E-10404		
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 20 di 55	Rev. 0	

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404

I dati geometrici di base derivano dai DTM (con risoluzione 1x1) ricavati tramite volo Lidar (appositamente eseguito per la progettazione del metanodotto in esame), che hanno consentito la definizione delle caratteristiche geometriche dell'alveo e delle golene lungo lo sviluppo del tronco d'alveo oggetto di analisi.

Entrando nello specifico, nella figura seguente è riportata una foto aerea (estrapolata dalle ortofoto del volo aereo) nella quale l'asta del corso d'acqua considerata nella modellazione idraulica è indicata in colore blu, mentre le sezioni trasversali sono riportate in colore magenta. La RS_292 coincide con la sezione di monte del tronco idraulico; invece, la sezione RS_20 rappresenta quella di valle.

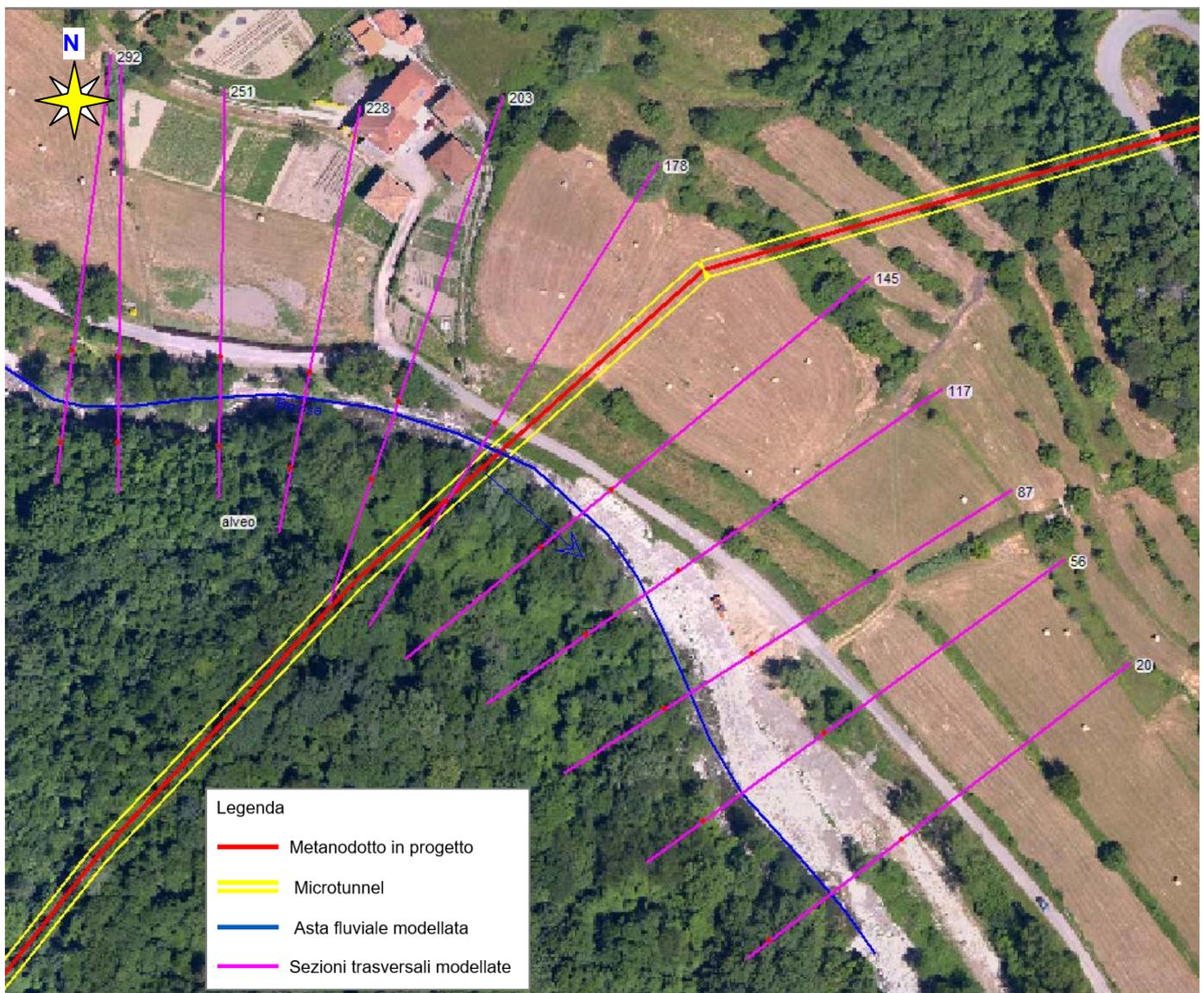


Fig.5.2/A: Foto aerea, con tronco d'alveo analizzato e sezioni di input nella modellazione

Dall'analisi della figura precedente, si rileva che il tracciato del metanodotto in progetto (indicato tramite una linea in rosso) attraversa l'alveo del corso nei pressi della River Station RS_178.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA		REL-CI-E-10404
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse		Fg. 21 di 55

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404

Invece, nella figura seguente si riportano le medesime informazioni di cui alla Fig.5.2/A (ossia alveo e sezioni di calcolo) riportate sul Modello Digitale del Terreno considerato nella modellazione idraulica.

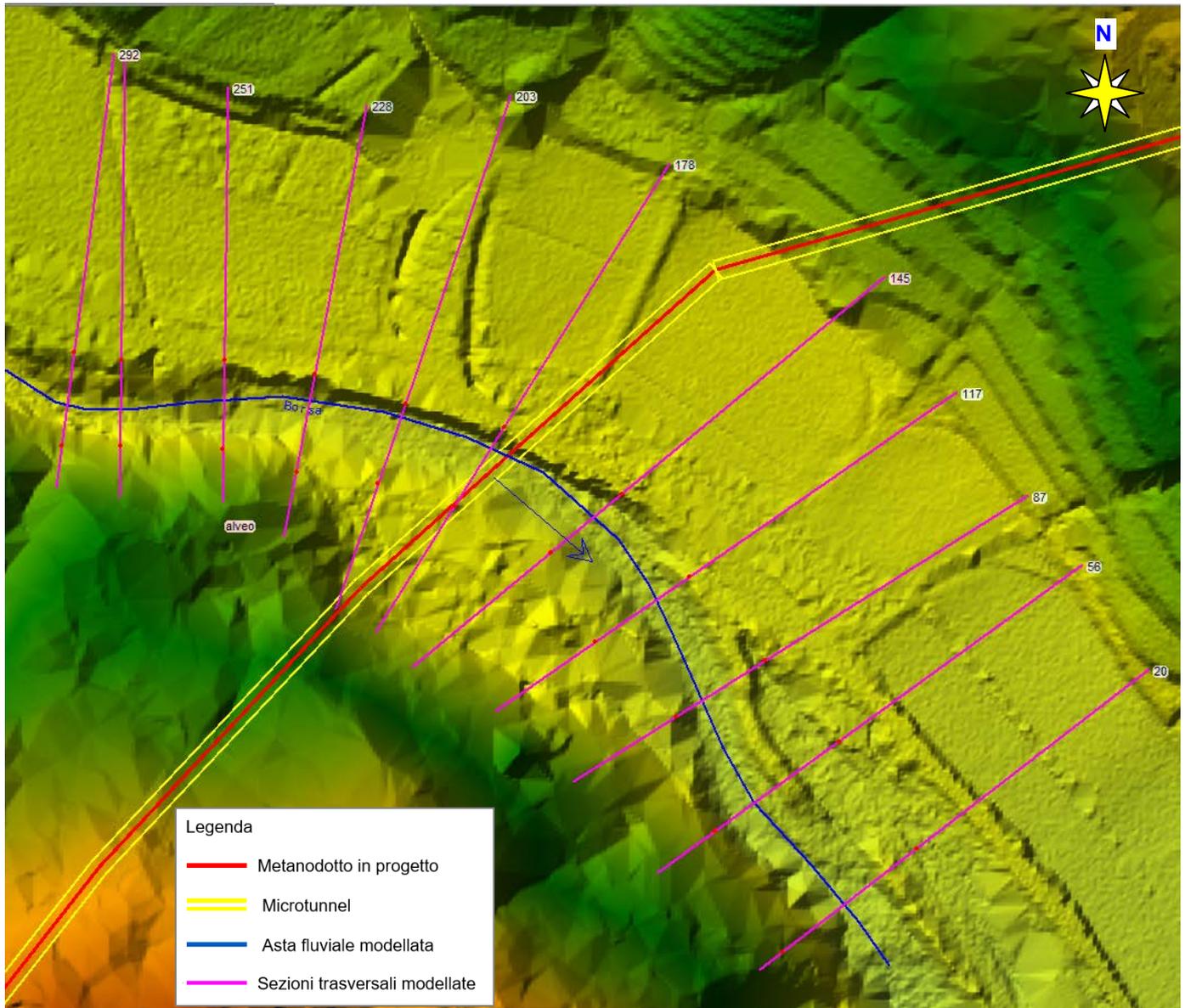


Fig.5.2/B: Schermata del DTM, con tronco d'alveo analizzato e sezioni di input nella modellazione

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA		REL-CI-E-10404	
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse		Fg. 22 di 55	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404

5.2.2 Dati di input e condizioni al contorno

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

- $Q_{200}=385$ 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 ed a valle, in considerazione delle pendenze al fondo individuate per i tratti immediatamente esterni all'estremità del tronco.

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

- 0,035 per l'alveo medio principale (Chan);
- 0,035 per le aree di deflusso, in sinistra oltre i limiti d'alveo (LOB).
- 0,050 per le aree di deflusso, in destra oltre i limiti d'alveo (ROB).

5.3 Risultati della simulazione idraulica

Nella tabella seguente si riporta il prospetto riepilogativo dei risultati conseguiti nell'elaborazione idraulica, relativamente alle varie sezioni di calcolo considerate nella modellazione idraulica.

Tab.5.3/A: Tabella Riepilogativa di Output

River Station	Q Total (m3/s)	Q Chan (m3/s)	Min Ch Elev (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Top Width Act Chl (m)	Hydr Depth C (m)	Shear Chan (N/m2)	Froude Chl
292	385	315.10	300.72	304.48	304.92	305.91	0.0150	5.75	88.28	97.02	24.23	2.26	310.18	1.22
278	385	318.77	300.65	304.31	304.78	305.71	0.0128	5.67	88.88	87.75	23.00	2.45	291.1	1.16
251	385	344.93	300.08	303.66	304.28	305.31	0.0145	5.98	77.74	68.87	24.00	2.4	325.56	1.23
228	385	327.15	299.97	303.65	304.06	304.88	0.0115	5.26	90.39	77.96	26.50	2.35	253.57	1.1
203	385	315.82	299.77	303.57	303.81	304.59	0.0077	4.87	102.35	77.36	22.40	2.9	204.28	0.91
178	385	315.57	299.3	302.89	303.35	304.29	0.0151	5.73	95	109.86	24.80	2.22	309.03	1.23
145	385	326.78	298.81	301.93	302.5	303.69	0.0193	6.32	82.08	107.36	24.42	2.12	379.87	1.39
117	385	364.26	298.04	301.28	301.93	303.14	0.0183	6.2	72.44	86.12	30.40	1.93	337.03	1.42
87	385	331.64	297.63	301.06	301.55	302.53	0.0153	5.74	87.41	99.2	27.87	2.07	289.3	1.27
56	385	347.67	297.24	300.07	300.61	301.89	0.0265	6.24	72.88	93.81	35.91	1.55	380.29	1.6
20	385	284.66	297.24	299.98	300.22	300.92	0.0150	4.72	98.4	94.7	37.11	1.62	230.92	1.18

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;

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA		REL-CI-E-10404	
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse		Fg. 23 di 55	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404

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);

Nelle figure seguenti si riportano degli stralci del Modello Digitale del Terreno e dell'Ortofoto, sui quali sono riportate le aree inondabili individuate nella modellazione idraulica.

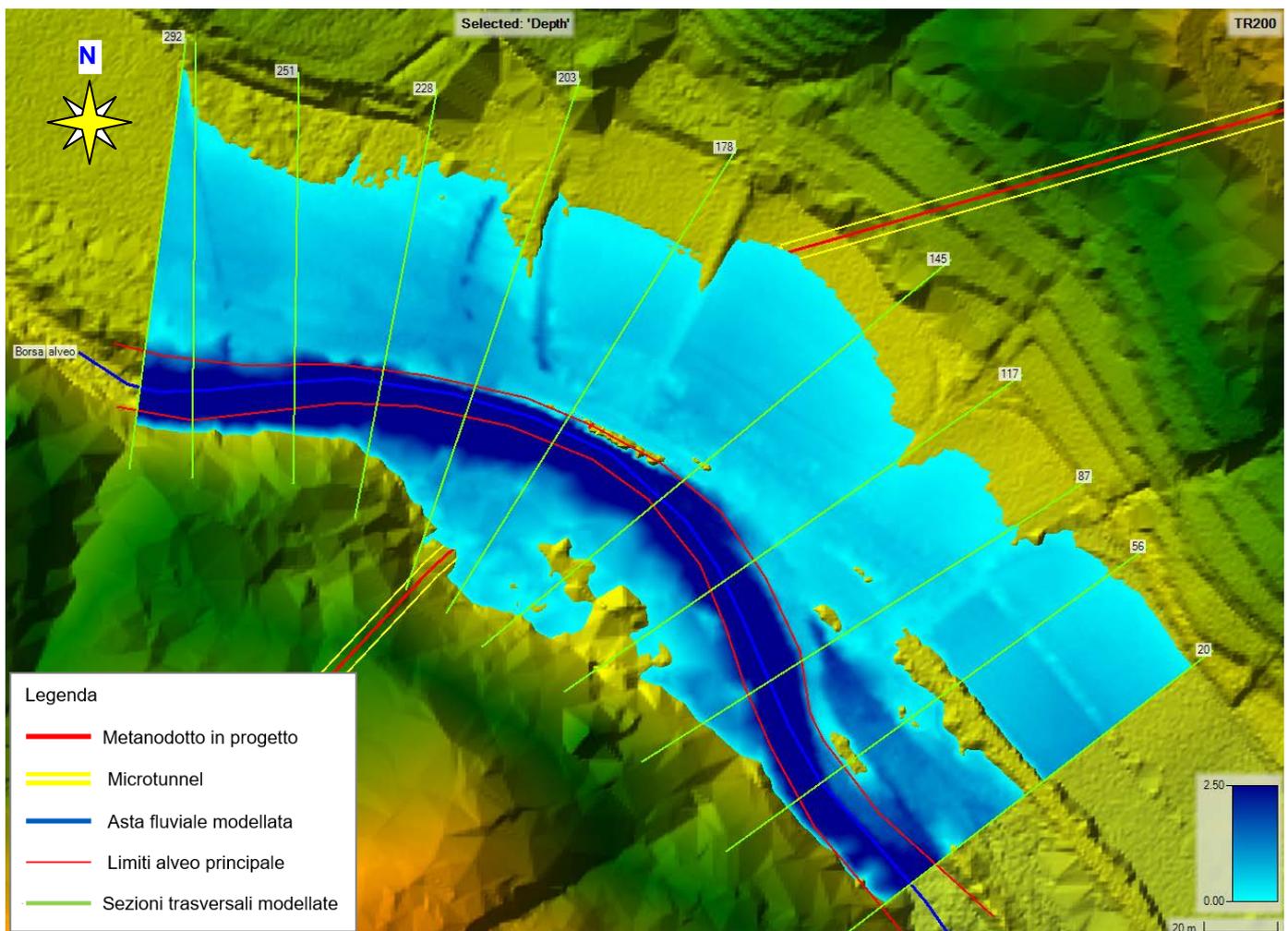


Fig.5.3/A: DTM, con individuazione delle aree inondabili (profondità in m)

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA		REL-CI-E-10404
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse		Fg. 24 di 55

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404

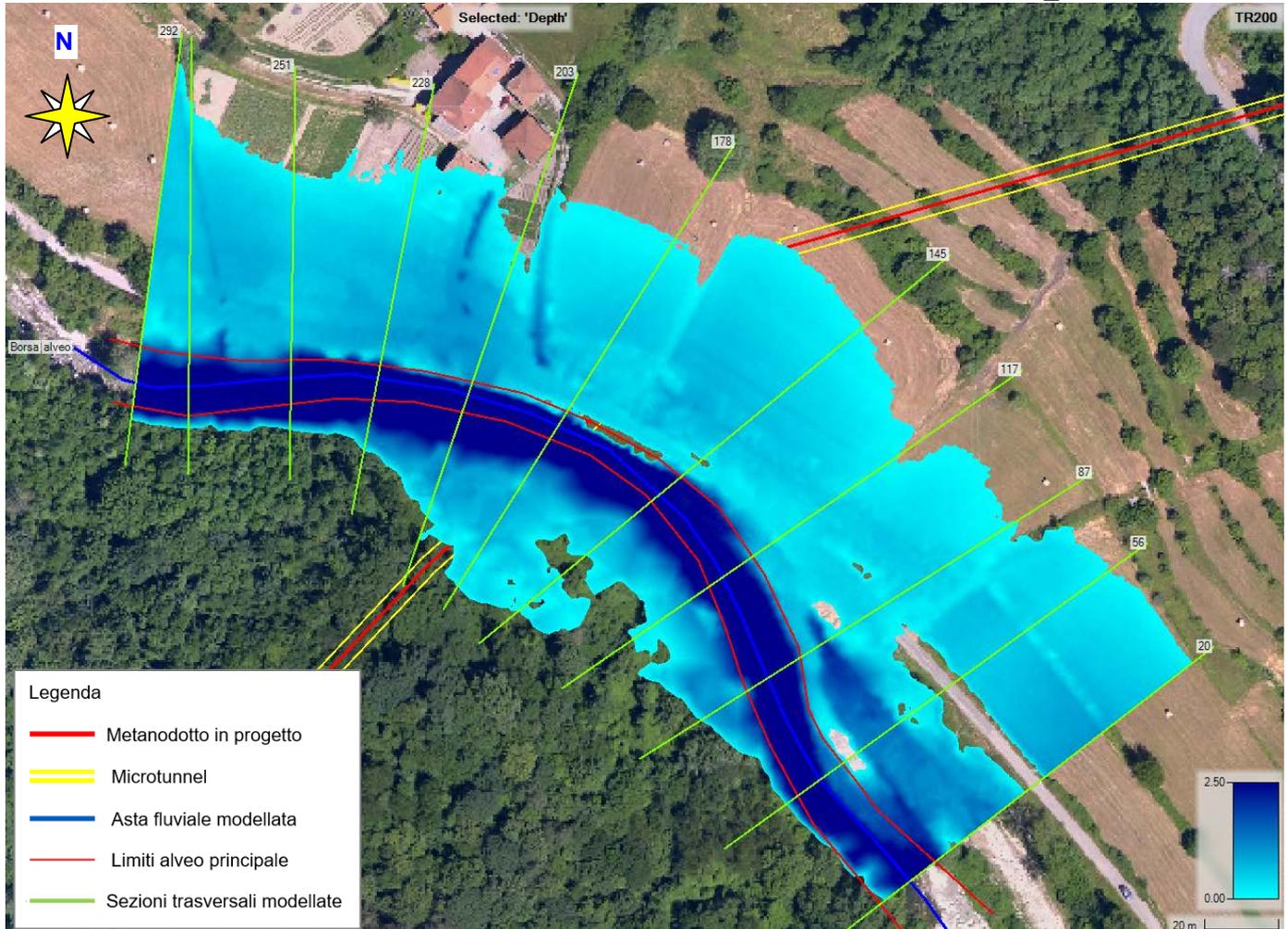


Fig.5.3/B: Foto aerea, con individuazione delle aree inondabili (profondità in m)

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA		REL-CI-E-10404
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse		Fg. 25 di 55

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404

Qui di seguito si riporta il profilo longitudinale lungo l'asta del tronco d'alveo considerato.

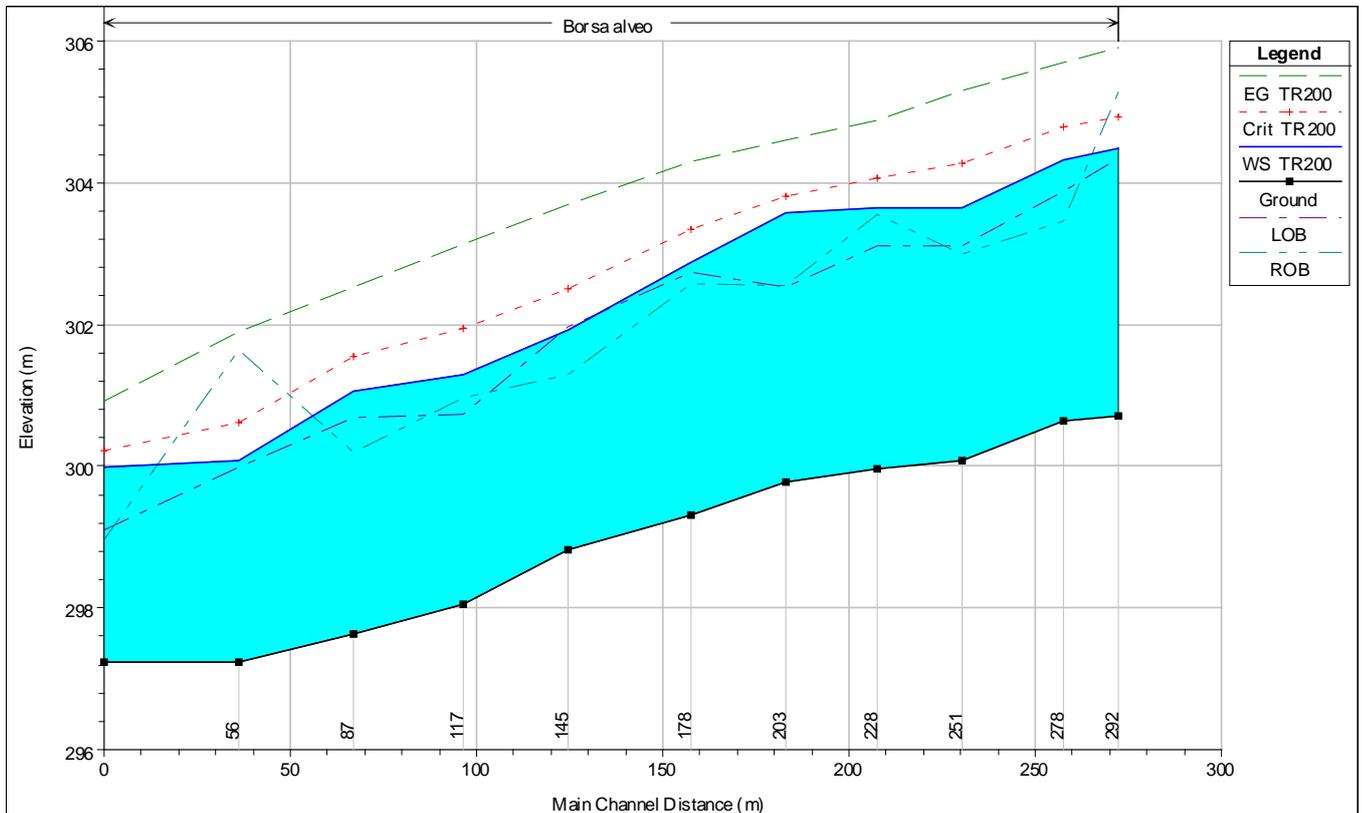


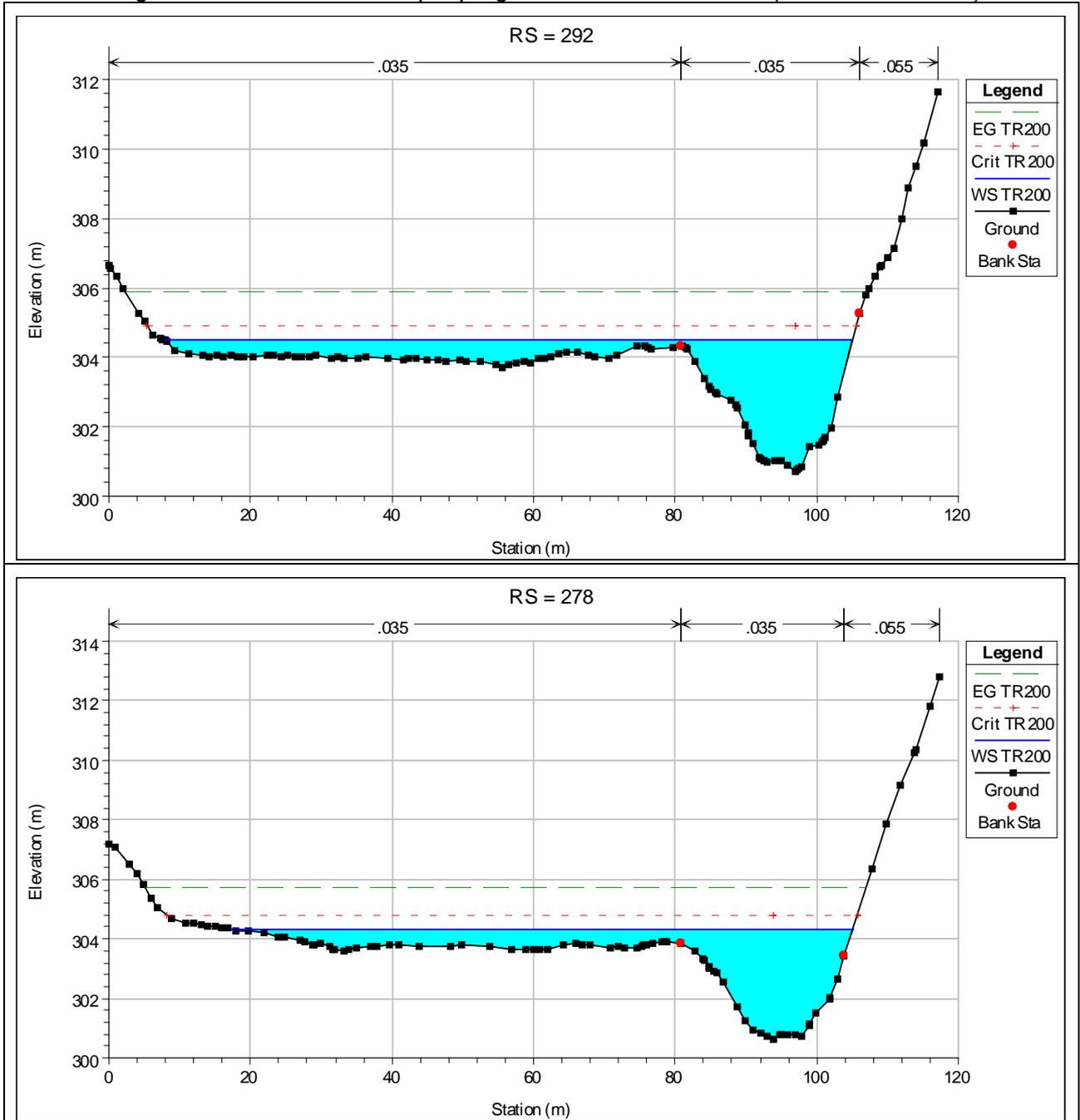
Fig.5.3/C: Schermata di Output del programma – Profilo longitudinale

Infine, nella figura seguente si riportano le schermate di output delle varie sezioni di calcolo (Cross Section) considerate nelle elaborazioni idrauliche (partendo dalla sezione di monte e procedendo sino a quella di valle).

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA		REL-CI-E-10404
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse		Fg. 26 di 55

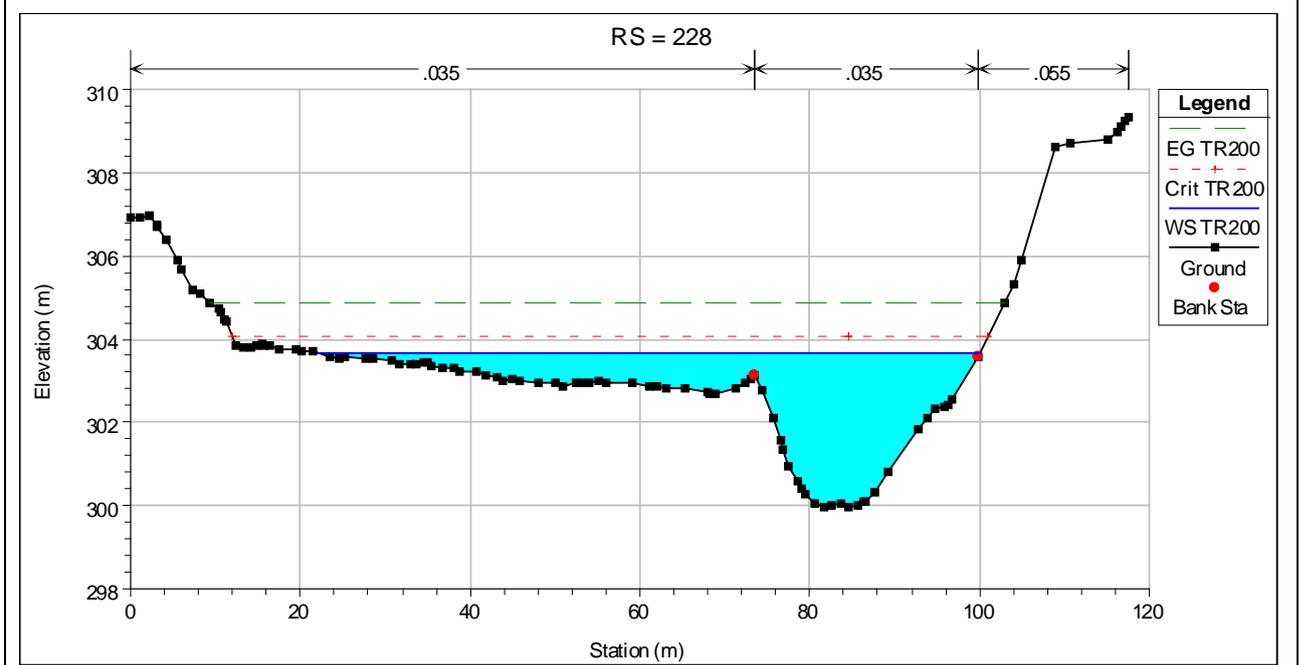
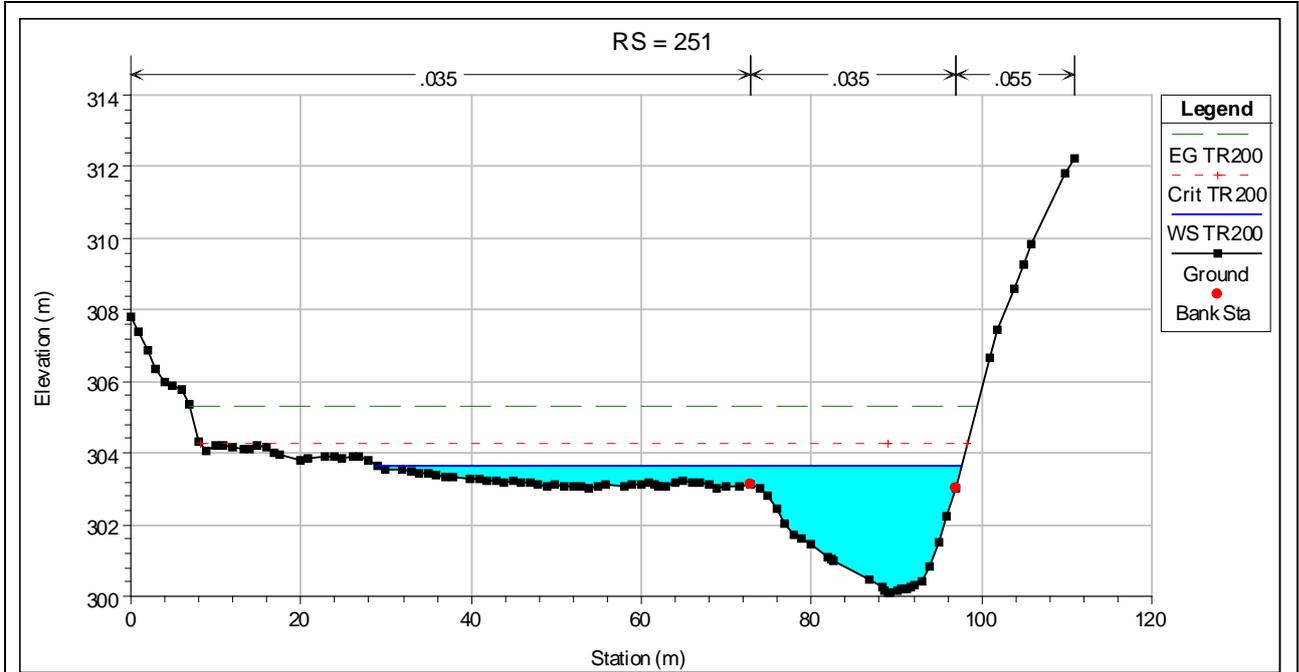
Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404

Fig.5.3/D: Schermate di Output programma – Cross Section (sezioni trasversali)



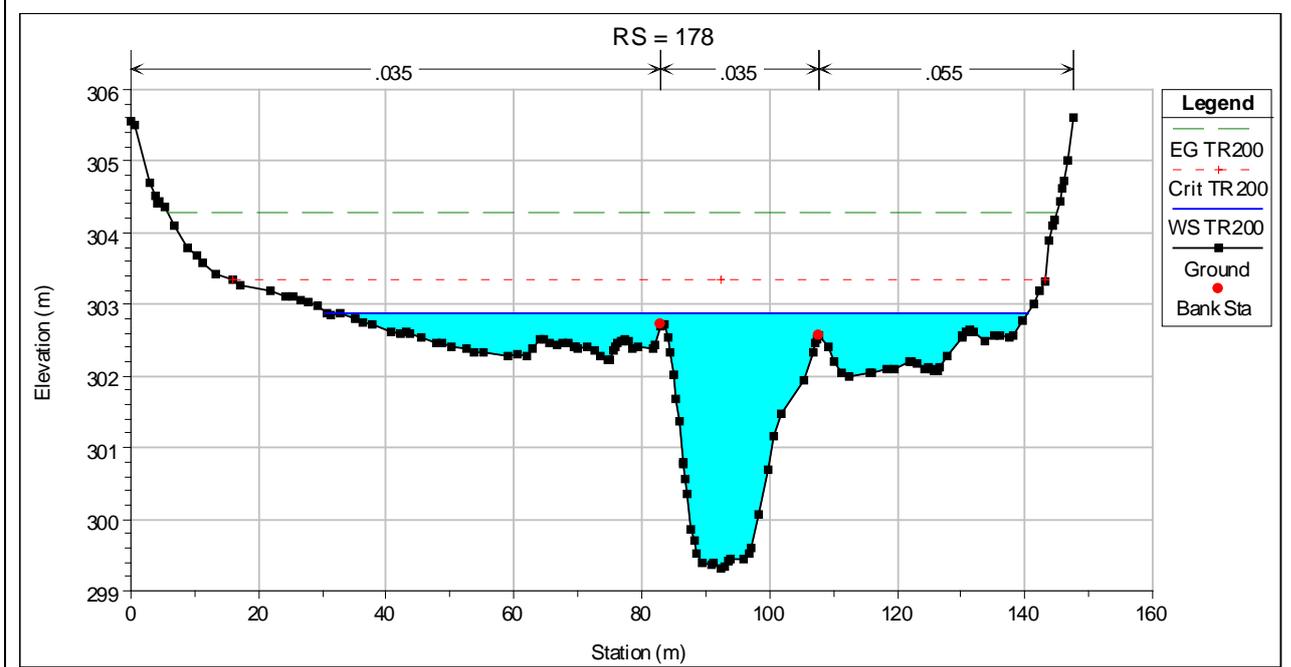
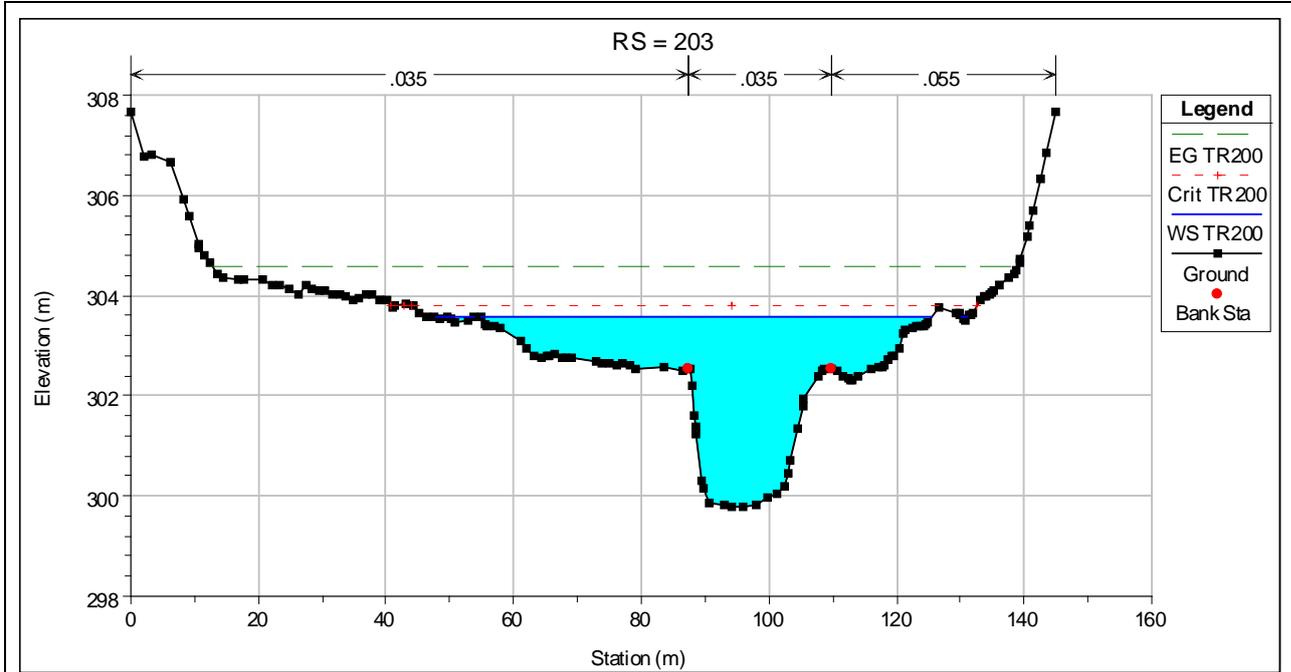
	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA		REL-CI-E-10404
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse		Fg. 27 di 55

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404



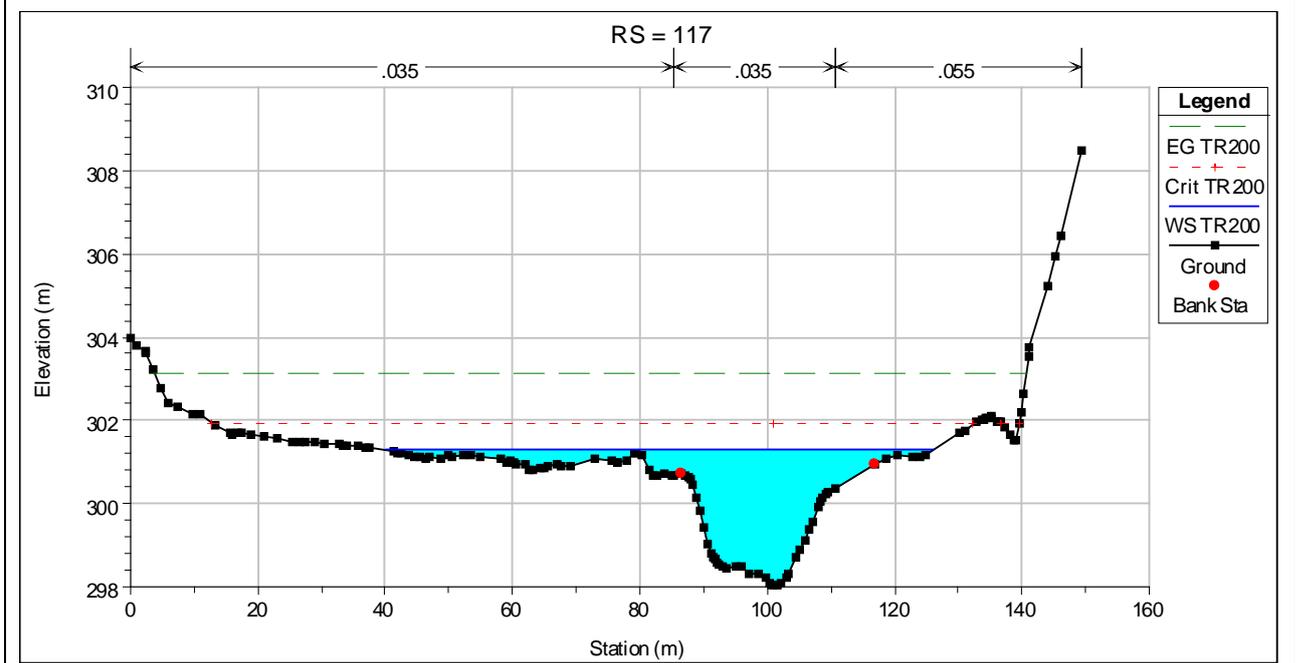
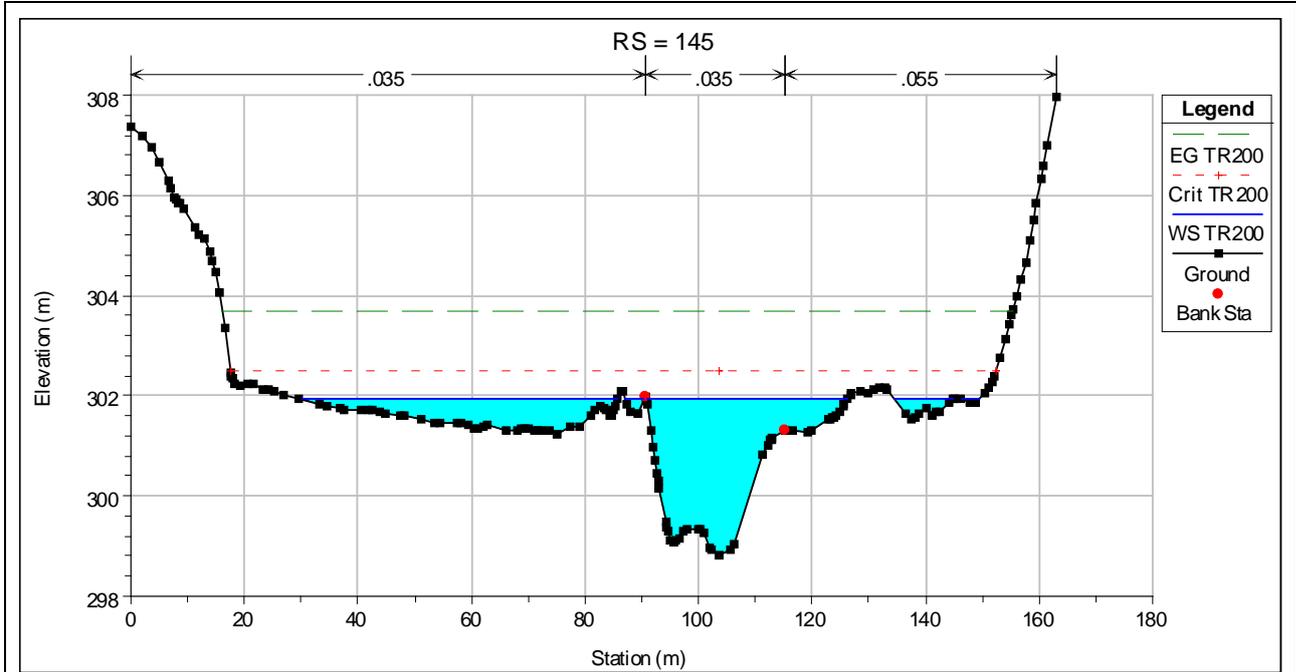
	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA		REL-CI-E-10404
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse		Fg. 28 di 55

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404



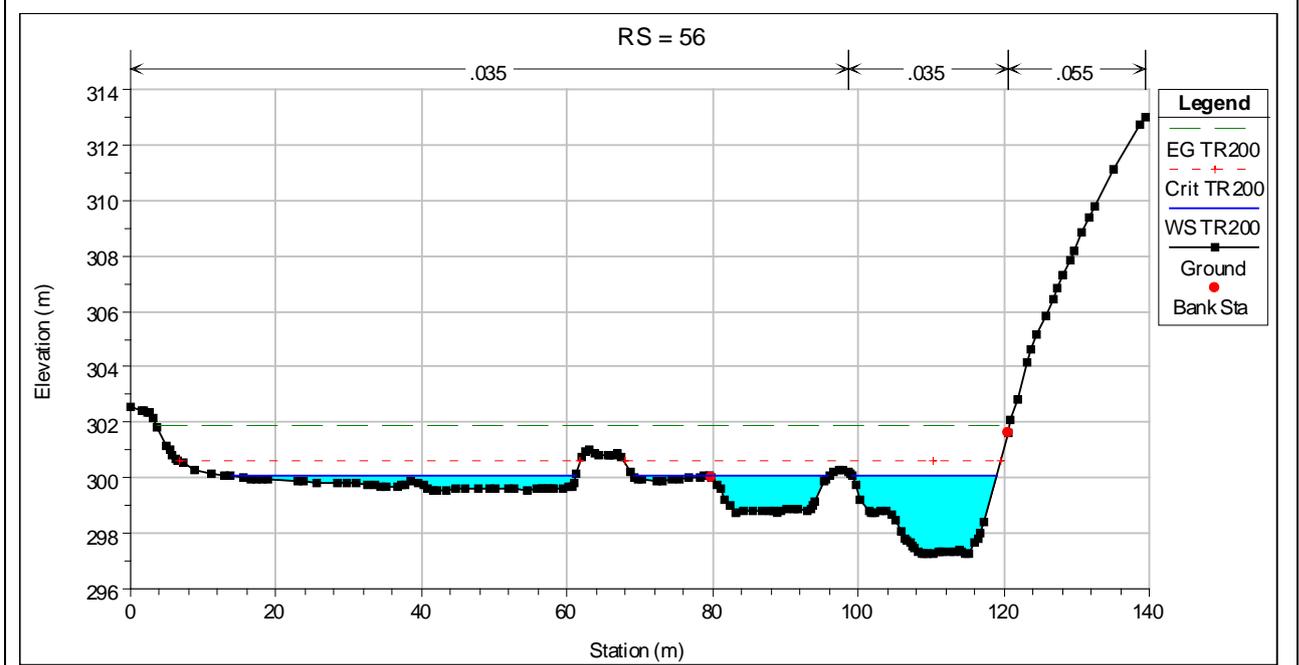
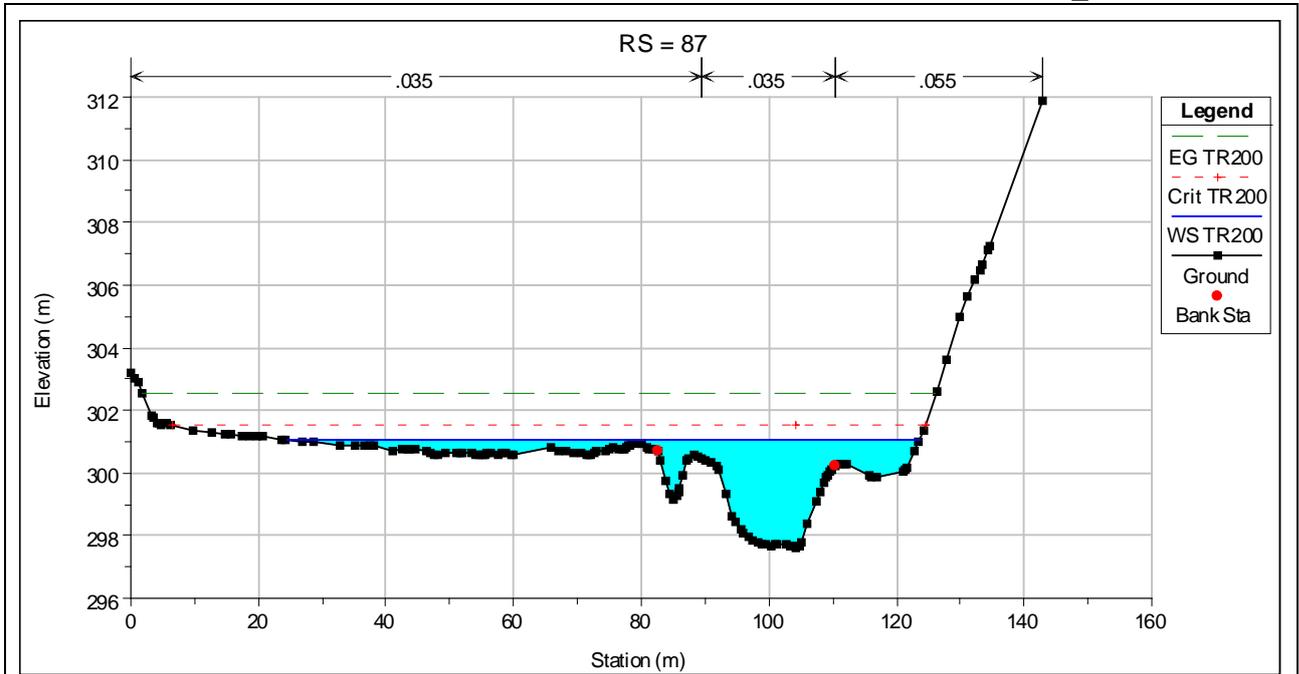
	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA		REL-CI-E-10404
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse		Fg. 29 di 55

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404



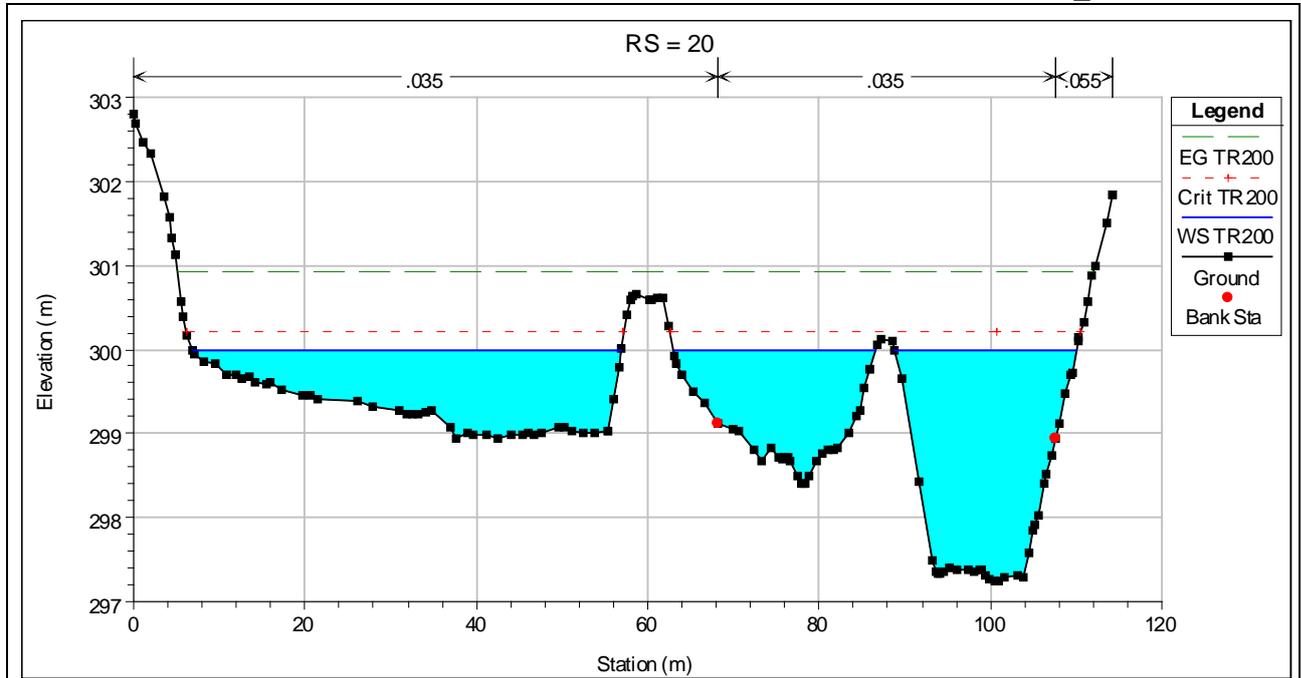
	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA		REL-CI-E-10404
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse		Fg. 30 di 55

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404



	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ	REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA		REL-CI-E-10404
	PROGETTO/IMPIANTO	Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 31 di 55	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404



5.4 Analisi dei risultati conseguiti

Nella Tab.5.3/A (nel paragrafo precedente) è stato riportato il prospetto riepilogativo dei risultati conseguiti nelle varie sezioni di calcolo considerate nella modellazione idraulica. Inoltre, sempre nel paragrafo 5.3 sono state riportate le schermate di output del programma ritenute maggiormente indicative per rappresentare i risultati delle elaborazioni (planimetrie con individuazione delle aree inondabili, profilo longitudinale lungo l'asta fluviale, sezioni trasversali).

Pertanto, dall'esame dei risultati della simulazione idraulica si rileva che nel tronco idraulico analizzato la sezione d'alveo non risulta in grado di contenere la portata di progetto (portata duecentennale). Infatti, delle fasce di esondazione s'individuano sia in destra e soprattutto in sinistra idrografica e coinvolgono sostanzialmente tutta la valle all'interno della quale si sviluppa il corso d'acqua nel tronco in esame.

Le velocità di deflusso in alveo della corrente assumono per tutto il tronco d'alveo analizzato dei valori molto sostenuti (di circa 5÷6 m/s).

Per le valutazioni dei fenomeni erosivi in alveo, in considerazione dei parametri di deflusso relativi alla piena di progetto, si rimanda a quanto riportato nel capitolo seguente.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA		REL-CI-E-10404	
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse		Fg. 32 di 55	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404

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/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA		REL-CI-E-10404	
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse		Fg. 33 di 55	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404

6.2 Criteri di calcolo

Approfondimenti localizzati

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

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

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

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

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

dove

- **S** è la profondità massima degli approfondimenti rispetto alla quota del fondo, nella sezione d'alveo considerata;
- **H** = $h_0 + v^2/2g$ rappresenta il carico totale relativo alla sezione immediatamente a monte della buca;
- **h₀** = il livello medio del battente idrico in alveo;
- **q** = Q_{Max}/L è la portata specifica media in alveo, per unità di larghezza L;
- **a** è dato dal dislivello delle quote d'alveo a monte e a valle della buca;

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

Arature di fondo

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

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

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA		REL-CI-E-10404	
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse		Fg. 34 di 55	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404

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

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:

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

Diametro limite dei clasti trasportabili

In merito al problema della determinazione del diametro limite dei clasti trasportabili dalla piena, si ricorre alla formula di Shields, che, per i casi di regime turbolento ($Re^+ > 1000$), diviene

$$\delta = \frac{\tau_0}{[0.06 \cdot (\gamma_s - \gamma_w)]}$$

dove

- δ è il diametro delle particelle;
- τ_0 è la tensione tangenziale in alveo;
- γ_s è il peso specifico delle particelle (considerato 24 kN/m³);
- γ_w è il peso specifico dell'acqua, considerata, per semplicità, limpida.

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/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA		REL-CI-E-10404	
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse		Fg. 35 di 55	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404

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 individuati nei contesti fluviali d'intervento.

Sulla base delle esperienze acquisite, ossia sulla base dei riscontri conseguiti nel tempo, i risultati sono stati assolutamente positivi. Infatti, dall'analisi storica, le problematiche di erosioni in alveo che hanno determinato la scoperta di condotte si sono verificate solo in rarissimi casi, i quali sono 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 idonei coefficienti di sicurezza nella modellazione idraulica (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.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA		REL-CI-E-10404	
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse		Fg. 36 di 55	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404

6.3 Stima dei massimi approfondimenti d'alveo attesi

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

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

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

Tab.6.3/A: Erosioni nel fondo alveo

River Station	Q Total (m ³ /s)	Q Chan (m ³ /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)
292	385	315.10	5.75	24.23	2.26	13.00	3.95	1.86	1.13
278	385	318.77	5.67	23.00	2.45	13.86	4.09	1.94	1.23
251	385	344.93	5.98	24.00	2.4	14.37	4.22	2.00	1.20
228	385	327.15	5.26	26.50	2.35	12.35	3.76	1.79	1.18
203	385	315.82	4.87	22.40	2.9	14.10	4.11	1.96	1.45
178	385	315.57	5.73	24.80	2.22	12.72	3.89	1.84	1.11
145	385	326.78	6.32	24.42	2.12	13.38	4.16	1.93	1.06
117	385	364.26	6.2	30.40	1.93	11.98	3.89	1.80	0.97
87	385	331.64	5.74	27.87	2.07	11.90	3.75	1.76	1.04
56	385	347.67	6.24	35.91	1.55	9.68	3.53	1.59	0.78
20	385	284.66	4.72	37.11	1.62	7.67	2.76	1.30	0.81

Nella seguente tabella vengono riportati i valori stimati per il diametro limite dei clasti trasportabili dalla corrente. In particolare, in color nero sono riportati le River Station e le Shear Channel (tensioni tangenziali in alveo), di cui alla Tab.5.3/A del capitolo precedente; mentre, i valori riportati in blu sono stati valutati in considerazione degli algoritmi descritti nel paragrafo precedente.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA		REL-CI-E-10404	
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse		Fg. 37 di 55	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404

Tab.6.3/B: Diametro limite dei clasti trasportati

River Station	Shear Chan (N/m ²)	Diametro limite clasti trasportati (m)
292	310.18	0.36
278	291.1	0.34
251	325.56	0.38
228	253.57	0.30
203	204.28	0.24
178	309.03	0.36
145	379.87	0.45
117	337.03	0.40
87	289.3	0.34
56	380.29	0.45
20	230.92	0.27

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 da parte del metanodotto in progetto), le massime erosioni attese al fondo alveo, in concomitanza dell'evento di piena di progetto, si attestano intorno a valori di circa 2 m.

La corrente, inoltre, nel tratto in esame risulta potenzialmente in grado di movimentare dei "clasti liberi" (ossia non inclusi in una scogliera) del diametro di circa 0,4÷0,5 m.

In relazione ai valori di erosione individuati nel presente capitolo (incrementati a favore di sicurezza anche in relazione alle peculiarità dell'ambito fluviale in esame), unitamente ad altre considerazioni progettuali inerenti alla metodologia costruttiva dell'attraversamento ed eventualmente a valutazioni su altre situazioni particolari (quali ad esempio l'analisi del sifonamento per i corsi d'acqua arginati) viene stabilita la copertura minima in subalveo della condotta in progetto di oltre 4m. A tal proposito si pone in evidenza che, per l'individuazione dell'effettivo valore di copertura in subalveo considerato nell'attraversamento in esame si rimanda a quanto riportato nel paragrafo 7.2.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA		REL-CI-E-10404	
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse		Fg. 38 di 55	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404

7 METODOLOGIA COSTRUTTIVA E SCELTE PROGETTUALI

7.1 Metodologia costruttiva: Microtunnelling

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

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

Tale sistema operativo è stato individuato nel caso specifico al fine di superare unitamente in trivellazione anche il rilievo morfologico presente nel lato in destra idrografica del corso d'acqua.

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

7.2 Configurazione geometrica di progetto

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

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

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

Geometria d'attraversamento

Il profilo di trivellazione presenta una configurazione costituita da due tratti rettilinei alle estremità e da un lungo arco di circonferenza intermedio (sul piano orizzontale).

Le principali caratteristiche geometriche del tunnel, denominato microtunnel "San Pietro Vara", sono:

- lunghezza dello sviluppo complessivo del microtunnel: di circa 1587 metri (di cui complessivamente circa 151 m relativamente ai due tratti rettilinei e circa 1436 m per il tratto curvilineo sul piano orizzontale);
- diametro interno minimo del microtunnel: 2400 mm;
- raggio di curvatura per il tratto curvilineo pari a 2800 m;
- copertura minima della generatrice superiore del tunnel dalle quote di fondo dell'alveo attivo di 4 m, per evitare l'insorgenza di fenomeni di filtrazione in sub-alveo (vedi Par. 8.4);
- postazione di partenza (di spinta): nel lato in destra idrografica del corso d'acqua (a valle senso gas), nell'altro lato del rilievo morfologico. Distanza dalla sponda

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA		REL-CI-E-10404	
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse		Fg. 39 di 55	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404

dell'alveo attivo del corso d'acqua, misurato lungo lo sviluppo del microtunnel, di circa 1.5 km (in quanto la postazione è localizzato dall'altra parte del rilievo morfologico);

- postazione di arrivo (di recupero): in sinistra idrografica del corso d'acqua (monte senso gas). Distanza dalla sponda del corso d'acqua di circa 50 m (misurata lungo lo sviluppo della trivellazione);

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

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA		REL-CI-E-10404	
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse		Fg. 40 di 55	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404

8 DESCRIZIONE DELLA TECNICA COSTRUTTIVA DEL MICROTUNNEL

8.1 Generalità

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

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

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

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

8.2 Requisiti generali del sistema costruttivo

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

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

- La testa fresante sarà a tenuta idraulica

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

- Stazione di spinta principale e stazioni di spinta intermedie

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

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

- Sistema di controllo dell'avanzamento della trivellazione

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

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA		REL-CI-E-10404	
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse		Fg. 41 di 55	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404

- Tubi di rivestimento in c.a.

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

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

- Giunti di tenuta idraulica

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

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

- Iniezioni di intasamento "tubo di rivestimento – terreno"

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

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

- Sistema di evacuazione del materiale di scavo (slurry)

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

- Impianto di produzione dei fanghi di perforazione

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

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA		REL-CI-E-10404	
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse		Fg. 42 di 55	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404

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

8.3 Fasi Operative

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

Fasi Operative:

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

Impianto cantiere

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

Esecuzione delle postazioni di estremità

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

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA		REL-CI-E-10404	
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse		Fg. 43 di 55	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404

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

Esecuzione della trivellazione

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

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

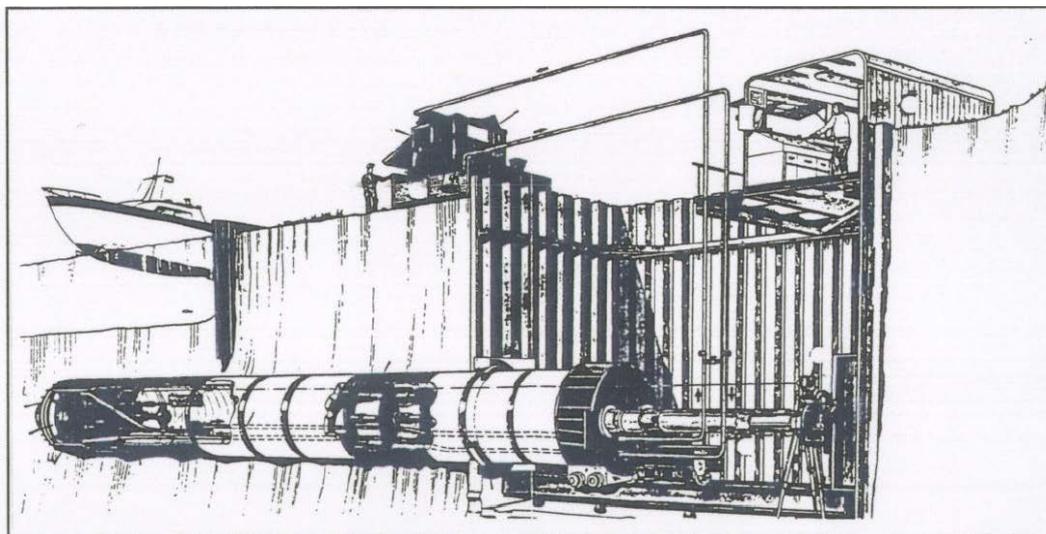


Fig 8.3/A: Schema del sistema di trivellazione con microtunnel

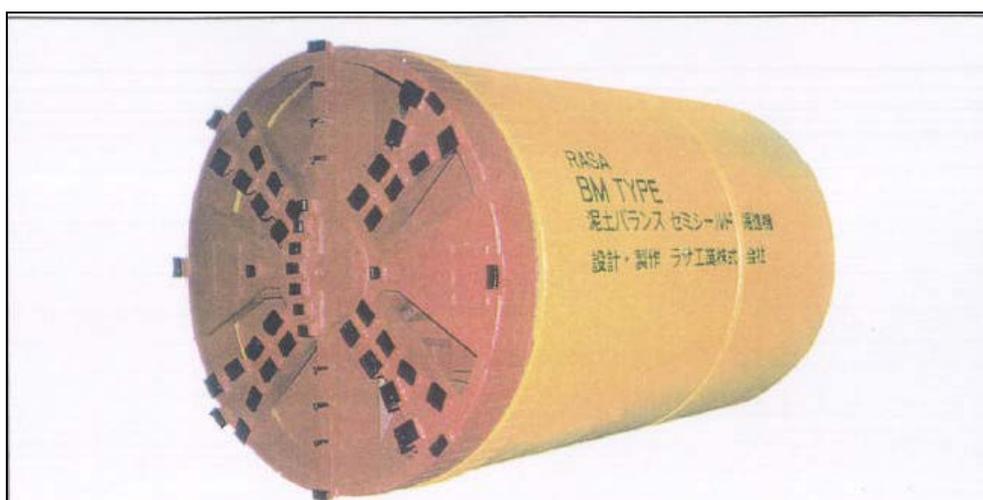


Fig 8.3/B: Scudo con bilanciamento pressione meccanica del terreno (microtunneller)

Varo delle condotte

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

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

Al fine di evitare lo strisciamento tra la condotta ed il fondo del tunnel e diminuire

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA		REL-CI-E-10404	
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse		Fg. 44 di 55	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404

l'attrito radente che si sviluppa tra le due superfici verranno applicati alla condotta opportuni collari distanziatori costituiti da materiali in grado di resistere all'usura (collari RACI in PEAD rinforzato e/o in malta poliuretana gettati in opera).

- *Varo dell'intera colonna in unica soluzione*

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

La condotta sarà protetta con:

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

Collaudo idraulico delle condotte

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

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

Posa dei cavi

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA		REL-CI-E-10404	
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse		Fg. 45 di 55	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404

Ripristini

Al termine delle operazioni di intasamento interno del tunnel e del collegamento di linea (con i tratti già posati a monte e a valle dell'attraversamento), si procederà al ritombamento dei pozzi e allo sgombero delle aree di lavoro e al loro ripristino per la restituzione delle aree alle normali attività agricole.

8.4 Considerazioni sulla stabilità per filtrazione in sub-alveo

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

Stabilità per "filtrazione" in corso di esecuzione dei lavori

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

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

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

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

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA		REL-CI-E-10404	
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse		Fg. 46 di 55	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404

Stabilità per "filtrazione" a lungo termine

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

Si è già detto che la metodologia minimizza le deformazioni plastiche nel terreno e le conseguenti alterazioni delle caratteristiche di permeabilità: la sua rottura viene ottenuta per rotazione e non per taglio avendosi così una sorta di aderenza tra il rivestimento e il terreno (l'utilizzo dei fanghi bentonitici e la possibilità di bilanciare le pressioni esterne contribuiscono a minimizzare l'alterazione dello stato tensionale preesistente nel terreno).

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

- le elevate profondità di posa del tunnel (min. 4 m) presuppongono percorsi preferenziali di filtrazione lungo il suo profilo molto più lunghi di quelli che si avrebbero naturalmente (in assenza del tunnel); inoltre, mettono al sicuro l'opera dalle massime erosioni attese al fondo alveo in concomitanza dell'evento di piena di progetto (circa 2 m);

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

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

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA		REL-CI-E-10404	
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse		Fg. 47 di 55	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404

9 VALUTAZIONI INERENTI ALLA COMPATIBILITA' IDRAULICA

L'ambito specifico in esame (collocato all'interno del territorio dell'ex Autorità di bacino del fiume Magra) ricade nelle pertinenze territoriali dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Settentrionale.

9.1 Quadro normativo di riferimento

Per la progettazione dell'opera e per le analisi di compatibilità si è fatto riferimento agli strumenti normativi e documenti tecnici qui di seguito elencati:

9.1.1 Criteri generali di progettazione del metanodotto

DM 17 aprile 2008 del Ministero dello Sviluppo Economico - Regola tecnica per la progettazione, costruzione, collaudo, esercizio e sorveglianza delle opere e degli impianti di trasporto di gas naturale con densità non superiore a 0,8.

9.1.2 Pianificazione territoriale di settore

Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA) – Distretto idrografico Appennino Settentrionale

Il **Piano di gestione del rischio di alluvioni (PGRA)** è previsto dalla Direttiva comunitaria 2007/60/CE (cd. '*Direttiva Alluvioni*') e mira a costruire un quadro omogeneo a livello distrettuale per la valutazione e la gestione dei rischi da fenomeni alluvionali, al fine di ridurre le conseguenze negative nei confronti della salute umana, dell'ambiente, del patrimonio culturale e delle attività economiche.

Nell'ordinamento italiano la Direttiva è stata recepita con il D.Lgs. n. 49/2010 che ha individuato nelle *Autorità di bacino distrettuali* le autorità competenti per gli adempimenti legati alla Direttiva stessa e nelle *Regioni*, in coordinamento tra loro e col Dipartimento Nazionale della Protezione Civile, gli enti incaricati di predisporre ed attuare, per il territorio del distretto a cui afferiscono, il sistema di allertamento per il rischio idraulico ai fini di protezione civile.

L'elaborazione dei PGRA è temporalmente organizzata secondo **cicli di pianificazione** in quanto la Direttiva prevede che i Piani siano riesaminati e, se del caso, aggiornati ogni sei anni. Il **primo ciclo** ha avuto validità per il periodo 2015-2021.

Attualmente è in corso il **secondo ciclo**. La Conferenza Istituzionale Permanente (CIP), con delibera n. 26 del 20 dicembre 2021, ha infatti adottato il primo aggiornamento del PGRA (2021-2027).

Cosa cambia nel territorio distrettuale a seguito della delibera di CIP n. 26 del 20 dicembre 2021 e della pubblicazione del relativo avviso in Gazzetta Ufficiale:

- Con l'adozione del primo aggiornamento, le mappe del PGRA sono vigenti su tutto il territorio distrettuale.
- Per il bacino del fiume Arno, del fiume Serchio e per i bacini regionali toscani la Disciplina di Piano e le mappe sono adottate quale misura di salvaguardia immediatamente vincolante.
- Per il bacino del fiume Magra e per i bacini regionali liguri, gli articoli 4, 6 e 14 della Disciplina di Piano, compresi gli allegati in essi richiamati, e le mappe sono adottati, quali misure di salvaguardia immediatamente vincolanti.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA		REL-CI-E-10404	
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse		Fg. 48 di 55	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404

- Per il bacino del fiume Magra e per i bacini liguri, nelle more dell'approvazione del PGRA con DPCM, continuano, invece, a trovare applicazione i relativi Piani stralcio di bacino relativo all'assetto idrogeologico (PAI).
- A seguito dell'entrata in vigore del PGRA conseguente alla pubblicazione del DPCM sulla Gazzetta Ufficiale, nel territorio ligure, il PGRA sostituirà il PAI vigente a far data dall'entrata in vigore della disciplina emanata dalla Regione Liguria diretta a dare applicazione alle disposizioni del PGRA nel settore urbanistico.

Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI)

Il "Piano di bacino, stralcio per l'Assetto Idrogeologico del fiume Magra e del Torrente Parmignola", è stato approvato dalle Regioni Toscana e Liguria nell'agosto del 2006 ed è stato oggetto di variante del giugno 2016.

Il Piano stralcio è tutt'ora vigente e dal 2 febbraio 2017, con la pubblicazione in G.U. del decreto ministeriale n. 294 del 26 ottobre 2016, la sua competenza è passata all'Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale.

9.1.3 Disposizioni e Misure di salvaguardia per la regolamentazione degli interventi in ambiti censiti a pericolosità idraulica

La Disciplina di Piano del PGRA non pone particolari restrizioni in merito alle interferenze con aree a pericolosità da alluvioni fluviali, infatti, prevede che qualsiasi intervento deve eventualmente essere realizzato in maniera tale da non pregiudicare l'attuale assetto idraulico dei corsi d'acqua, in modo da non provocare dei rischi per i beni esistenti e in condizioni tali da poter gestire il rischio a cui è soggetto.

Pertanto risultano maggiormente definite e stringenti le disposizioni contenute nelle Norme di Attuazione del PAI, di cui qui di seguito si riporta una sintesi dei contenuti.

PAI /Norme di Attuazione - Cenni sui contenuti

Nell'ambito dell'art.1 delle Norme di Attuazione del PAI (N.A.) sono riportate le finalità generali. In particolare, nel comma 3 si cita quanto qui di seguito riportato.

3. Il Piano persegue le finalità della difesa idrogeologica e della rete idrografica, del miglioramento delle condizioni di stabilità del suolo, del recupero delle aree interessate da particolari fenomeni di degrado e dissesto, nonché della salvaguardia e valorizzazione degli assetti naturali ...

Nell'art.8 "Assetto della rete idrografica", al punto 4 "Interventi vietati sui corsi d'acqua", si cita:

a) Sono vietati i seguenti nuovi interventi,...

- 2. opere di regimazione idraulica che comportino il restringimento della sezione dell'alveo;*
- 4. nuove inalveazioni e rettificazioni dell'alveo dei corsi d'acqua di origine naturale;*

Nell'art.14 "Classificazione delle aree inondabili in base alla pericolosità", al punto 2 si riporta quanto segue:

2. Nella TAV. 4 – Carta della pericolosità idraulica con Fascia di riassetto fluviale e aree inondabili - sono individuate e perimetrate aree a diversa pericolosità idraulica, articolata nelle seguenti classi:

- a) aree a pericolosità idraulica molto elevata - elevata (PI4): aree inondabili al verificarsi dell'evento con portata al colmo di piena corrispondente a periodo di ritorno T=30 anni;*

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA		REL-CI-E-10404	
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse		Fg. 49 di 55	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404

- b) *aree a pericolosità idraulica media (PI3): aree esterne alle precedenti, inondabili al verificarsi dell'evento con portata al colmo di piena corrispondente a periodo di ritorno T=200 anni;*
- c) *aree a pericolosità idraulica bassa (PI2): aree esterne alle precedenti, inondabili al verificarsi dell'evento con portata al colmo di piena corrispondente a periodo di ritorno T=500 anni;*

Nell'art.16 viene enunciata la delimitazione della "Fascia di Riassetto Fluviale" in conformità alla definizione di cui all'art. 5, comma 11.

Nell'art.17 "Disciplina della Fascia di Riassetto Fluviale e zone di approfondimento" si citano gli interventi consentiti nella Fascia di Riassetto Fluviale. In particolare, nel punto 5. lettera b) si cita quanto segue:

5. Sono consentiti i seguenti interventi previo parere obbligatorio e vincolante del Comitato Tecnico dell'Autorità di Bacino:

- b) adeguamento e ristrutturazione delle reti dei trasporti e delle reti e degli impianti dei servizi esistenti, pubblici o di interesse pubblico, non delocalizzabili, purché realizzati senza aggravare le condizioni di pericolosità idraulica in cui ricadono e purché non pregiudichino la possibilità di realizzare gli interventi di sistemazione idraulica.

Nell'art.18 "Disciplina nelle aree a diversa classe di pericolosità idraulica" si cita:

1. *Qualsiasi intervento realizzato nelle aree inondabili deve prevedere l'assunzione delle azioni e misure di protezione civile di cui ai Piani Comunali di settore, non deve pregiudicare la sistemazione definitiva del corso d'acqua, né aumentare significativamente la pericolosità di inondazione ed il rischio connesso, sia localmente, sia a monte sia valle, e non deve costituire significativo ostacolo al deflusso delle acque di piena o ridurre significativamente la capacità di invaso delle aree stesse.*
3. Nelle aree a pericolosità idraulica media (PI3), oltre agli interventi ammessi al comma 2, sono consentiti:
- d) gli interventi di realizzazione di nuove infrastrutture e reti dei servizi, previo parere obbligatorio e vincolante del Comitato Tecnico dell'Autorità di Bacino, purché progettate sulla base di uno specifico studio di compatibilità idraulica, che attesti il non aumento delle condizioni di pericolosità e rischio anche nelle aree limitrofe, a monte e a valle;

Nell'art.22 "Interventi consentiti in deroga al disposto di cui agli art. 17 e 18 si cita:

1. Nella Fascia di riassetto fluviale, o nelle aree inondabili per T=30 anni, in deroga al disposto di cui agli art. 17 e art. 18, comma 2, è consentita la realizzazione di nuove infrastrutture e reti di servizio, previa acquisizione di parere obbligatorio e vincolante del Comitato Tecnico dell'Autorità di Bacino, purché siano rispettate congiuntamente le seguenti condizioni:
- a) si tratti di servizi essenziali non localizzabili altrove e di interesse riconosciuto dalle Regioni Liguria e Toscana;
- b) non pregiudichino la possibilità di sistemazione idraulica definitiva;
- c) siano realizzate con tipologie costruttive compatibili con la loro collocazione.

	PROGETTISTA 	COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA		REL-CI-E-10404
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse		Fg. 50 di 55

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404

9.2 Interferenze con aree a pericolosità idraulica

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

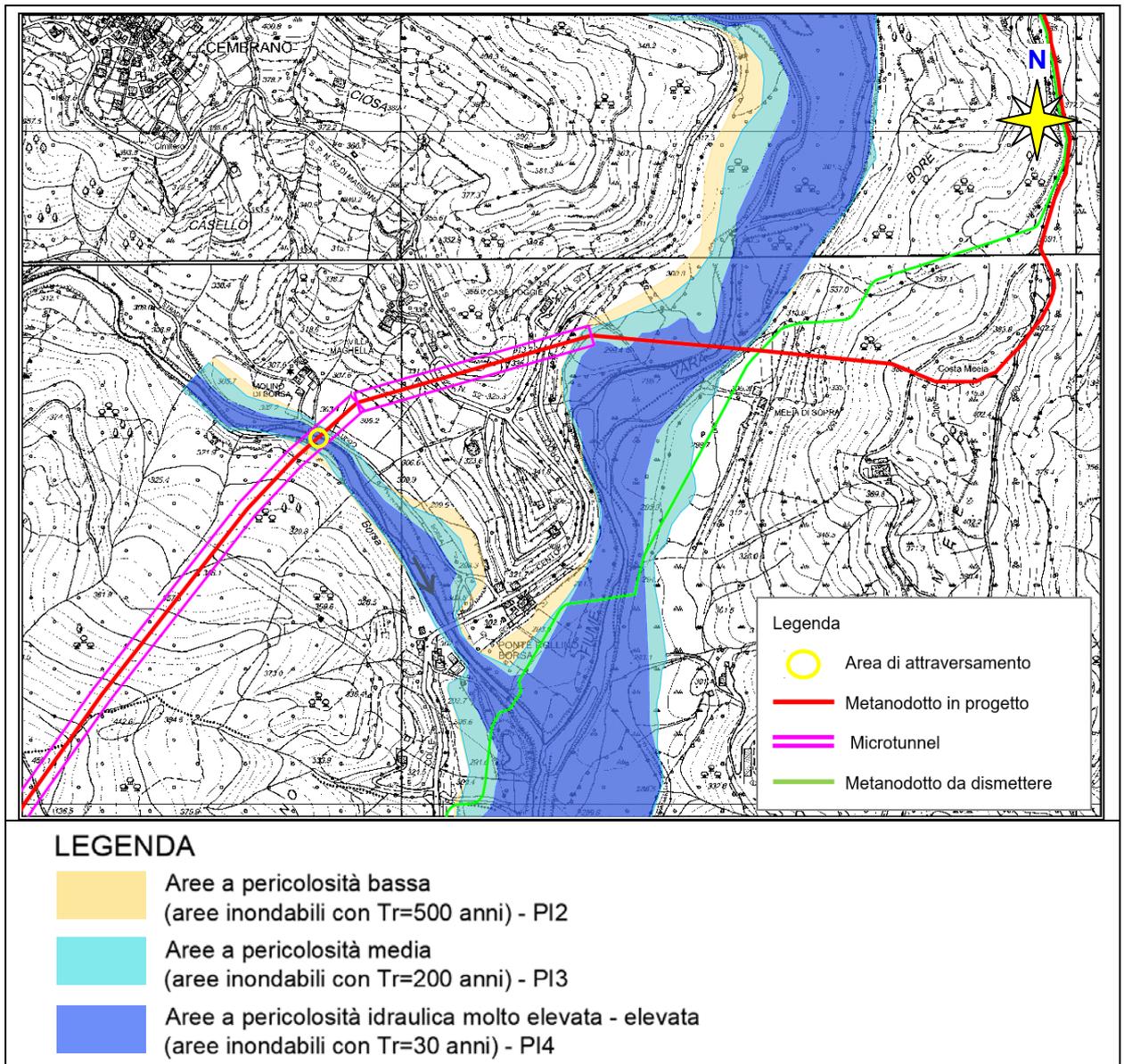


Fig.9.2/A: Interferenze tra metanodotto in progetto con aree a pericolosità idraulica

Dall'analisi della figura precedente si rileva che il tracciato del metanodotto in progetto in corrispondenza dell'attraversamento dell'alveo del corso d'acqua ricade in un ambito censito a pericolosità idraulica elevata – molto elevata (PI4). Inoltre nell'intorno s'individuano delle fasce inondabili caratterizzate, man mano, con livelli sempre minori

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA		REL-CI-E-10404	
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse		Fg. 51 di 55	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404

di pericolosità idraulica.

Inoltre sempre dalla stessa figura si rileva che sia l'alveo del corso d'acqua, che tutte le aree inondabili verranno superate mediante una trivellazione (il cui sviluppo longitudinale è schematicamente indicato mediante una sagoma rettangolare in magenta) con significative profondità di posa in subalveo.

9.3 Analisi delle condizioni di Compatibilità Idraulica

9.3.1 *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 delle Norme di Piano, è consentito l'interferenza con le aree a pericolosità idraulica e con la fasce di riassetto fluviale dei corsi d'acqua, a condizione che sia assicurato il non aggravio delle condizioni di pericolosità e di rischio idraulico e purché non pregiudichino la possibilità di realizzare gli interventi di sistemazione idraulica.

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

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

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

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

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

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA		REL-CI-E-10404	
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse		Fg. 52 di 55	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404

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

Nel paragrafo precedente è stato evidenziato che sia l'alveo del corso d'acqua, che tutte le aree inondabili censite a pericolosità elevata verranno attraversate in trivellazione (con microtunnel). Pertanto, alla luce della metodologia operativa individuata e delle scelte progettuali, si evidenzia quanto segue:

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

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

1. *Modifiche indotte sul profilo involuppo di piena*

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

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

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

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

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

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

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

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA		REL-CI-E-10404	
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse		Fg. 53 di 55	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404

5. *Modifiche indotte sulle caratteristiche naturali e paesaggistiche della regione fluviale*
Essendo l'opera del tutto interrata, nonché essendo prevista la metodologia costruttiva in trivellazione, non saranno introdotte alterazioni al contesto naturale della regione fluviale.

9.4 Considerazioni conclusive sulla Compatibilità Idraulica

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

- non introduca alcun elemento di ostacolo al libero deflusso e dunque non determini alcuna alterazione del regime attuale di deflusso delle acque;
- non determini l'inserimento di elementi di riduzione della capacità di laminazione e di invaso in corrispondenza delle aree potenzialmente inondabili dalle piene del corso d'acqua;
- non comporti l'alterazione della configurazione d'alveo preesistente, 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 nelle aree perifluviali;
- 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.

Alla luce di quanto sopra affermato si ritiene che le specificità dell'opera (infrastruttura interrata) e le scelte progettuali inerenti alla metodologia costruttiva ed alla configurazione geometrica della condotta siano congruenti con i requisiti, le prescrizioni e le finalità stabilite nelle Norme di Piano ed in quanto tale l'intervento sia **COMPATIBILE**.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA		REL-CI-E-10404	
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse		Fg. 54 di 55	Rev. 0

Rif. SAIPEM 023113-190/A_SPC-LA-E-80404

10 CONCLUSIONI

Il tracciato del metanodotto in progetto "*Rifacimento metanodotto Derivazione per Sestri Levante, DN 400 (16")*" interseca l'alveo del torrente BORSA nel territorio comunale di Maissana (SP), in un ambito situato in prossimità della località "Ponte Rollino Borsa".

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

Nel caso in esame per il superamento in subalveo del corso d'acqua è stata prevista l'adozione di un sistema di attraversamento in trenchless, la tecnica del "microtunnelling", in prosecuzione del tunnel previsto per il superamento del rilievo morfologico presente in destra idrografica del torrente.

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

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

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

Nell'analisi delle interferenze tra la linea in progetto con gli ambiti censiti a pericolosità idraulica, si è rilevato che, in corrispondenza dell'ambito di attraversamento del corso d'acqua, il metanodotto in progetto interferisce con delle aree censite nel Piano Stralcio Assetto Idrogeologico (PAI) dell'ex Autorità di Bacino del Fiume Magra e nel Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) del Distretto Idrografico dell'Appennino Settentrionale.

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

Pertanto si ritiene che le specificità dell'opera (infrastruttura interrata) e le scelte progettuali inerenti allo specifico ambito in esame possano essere ritenute congruenti con i requisiti, le prescrizioni e le finalità stabilite nelle Norme di Piano ed in quanto tale l'intervento sia **COMPATIBILE**.

	PROGETTISTA		COMMESSA NR/20045	UNITÀ. 000
	LOCALITÀ REGIONI EMILIA ROMAGNA E LIGURIA	REL-CI-E-10404		
	PROGETTO/IMPIANTO Rifacimento Metanodotto Derivazione per Sestri Levante DN 400 (16") DP 75 bar ed opere connesse	Fg. 55 di 55	Rev. 0	

Rif. SAIPEM 023113-190/A SPC-LA-E-80404

APPENDICE 1: COLONNE STRATIGRAFICHE DEI SONDAGGI

Committente: SAIPEM	Sondaggio: DS-B-B34
Riferimento: IP1235 IP08 - Rifacimento Metan. deriv. Sestri Levante DN400, DP 75bar	Data: 07/07/2022 - 08/07/2022
Coordinate: Lat: 44°20'48.28"N - Long: 9°35'18.17"E	Quota: 304 metri s.l.m.
Perforazione: Sondaggio a carotaggio continuo fino a 15,00 m dal p.c.	

