

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75bar	Fg. 1 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

METANODOTTO SESTINO – MINERBIO
DN 1200 (48"), DP75 bar

8° TRONCO: Ravenna - Alfonsine

ATTRAVERSAMENTO FIUME LAMONE
VALUTAZIONI IDROLOGICHE ED IDRAULICHE E
RELAZIONE TECNICA DI COMPATIBILITA' IDRAULICA

0	Emissione	M.VITELLI	M. AGOSTINI	A. BRUNI G.BRIA	OTT. 2023
Rev.	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato Autorizzato	Data

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75bar	Fg. 2 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

INDICE

1	GENERALITÀ	5
1.1	Premessa	5
1.2	Scopo e descrizione dell'elaborato	5
1.3	Disegno di attraversamento	6
2	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	7
3	ANALISI DI CARATTERIZZAZIONE DELL'AMBITO FLUVIALE IN ESAME	9
3.1	Assetto idrografico e descrizione generale del bacino del corso d'acqua	9
3.2	Descrizione dell'ambito di attraversamento	11
3.3	Indagini di caratterizzazione stratigrafica	14
4	VALUTAZIONI IDROLOGICHE	16
4.1	Generalità	16
4.2	Considerazioni specifiche preliminari	16
4.3	Sezione di studio e parametri morfometrici del bacino	16
4.4	Studio Prof. Brath - Febb.2018	18
4.4.1	<u>Premessa</u>	18
4.4.2	<u>Informazione generali sullo studio</u>	18
4.4.3	<u>Analisi specifiche sul corso d'acqua in esame</u>	19
4.4.4	<u>Selezione dei risultati per l'ambito in esame (di attraversamento)</u>	21
4.5	Portata di progetto	23
5	STUDIO IDRAULICO	24
5.1	Presupposti e limiti dello studio	24
5.2	Assetto geometrico e modellazione idraulica	25
5.2.1	<u>Assetto geometrico di modellazione</u>	25
5.2.2	<u>Dati di Input e condizioni al contorno</u>	27
5.3	Risultati della simulazione idraulica	27
5.4	Analisi dei risultati conseguiti	34

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 3 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

6	VALUTAZIONE EROSIONI DI FONDO ALVEO	35
6.1	Generalità	35
6.2	Criteri di calcolo	36
6.3	Stima dei massimi approfondimenti attesi in alveo	39
6.4	Sintesi dei risultati	40
6.5	Considerazioni aggiuntive	40
7	METODOLOGIA COSTRUTTIVA E SCELTE PROGETTUALI	41
7.1	Metodologia costruttiva: Microtunnel	41
7.2	Configurazioni geometriche di progetto	41
7.3	Descrizione della tecnica del microtunnelling	42
7.3.1	<u>Generalità</u>	42
7.3.2	<u>Requisiti generali del sistema costruttivo</u>	42
7.3.3	<u>Fasi Operative</u>	44
7.3.4	<u>Considerazioni sulla stabilità per filtrazione in sub-alveo</u>	48
8	ANALISI DELLA PROBLEMATICA DEL SIFONAMENTO	50
8.1	Premessa	50
8.2	Generalità	50
8.3	Metodologie di calcolo	50
8.4	Risultati	54
9	VALUTAZIONI INERENTI ALLA COMPATIBILITA' IDRAULICA	56
9.1	Premessa	56
9.2	Quadro normativo di riferimento	56
9.2.1	<u>Criteri generali di progettazione del metanodotto</u>	56
9.2.2	<u>Strumenti di “Pianificazione territoriale”</u>	56
9.2.3	<u>Disposizioni e Misure di salvaguardia in ambiti a pericolosità idraulica</u>	57
9.3	Interferenze con aree censite a pericolosità idraulica	63
9.4	Analisi delle condizioni di compatibilità idraulica	64
9.4.1	<u>Considerazioni di carattere generale</u>	64

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 4 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

9.4.2	<u>Considerazioni specifiche inerenti all'ambito d'attraversamento dell'alveo (in trivellazione)</u>	65
9.4.3	<u>Considerazioni specifiche inerenti ai tratti di linea esterni alla trivellazione</u>	66
9.5	Considerazioni conclusive sulla compatibilità idraulica	66
10	CONCLUSIONI	68
	APPENDICE 1: COLONNA STRATIGRAFICA DEL SONDAGGIO	69

ANNESSO – ELABORATO DI RIFERIMENTO:

- **Disegno di attraversamento: DIS. 10-LB-8C-81840**

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 5 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

1 GENERALITÀ

1.1 Premessa

La società Snam S.p.A., nell'ambito del progetto generale denominato “Linea Adriatica”, intende realizzare il “Metanodotto Sestino – Minerbio DN1200 (48”) DP 75bar”, che si sviluppa per una lunghezza di circa 140,7 km nei territori della Toscana e dell'Emilia Romagna.

In particolare, il tracciato di progetto del suddetto metanodotto (DN1200) attraversa l'alveo del fiume LAMONE in un ambito di confine tra i territori comunali di Ravenna e di Bagnacavallo (RA), in prossimità della località “Palazzo Pasolini”.

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 ai sensi del Piano Stralcio di Bacino per il Rischio Idrogeologico (PAI), redatto dall'ex Autorità dei Bacini Romagnoli, ed ai sensi del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) dell'Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po.

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, idrologico ed idraulico, con lo scopo di garantire la sicurezza del metanodotto, nonché di assicurare la compatibilità dell'infrastruttura in considerazione dell'aspetto 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 di attraversamento, in modo da consentire di individuare in maniera univoca il tratto del corso d'acqua interessato dalla 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);
- Studio idraulico, volto 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 NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 6 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

- Valutazioni inerenti alle 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. 10-LB-8C-81840**
Metanodotto Sestino – Minerbio, DN 1200 (48") DP 75 bar
8° Tronco: Ravenna - Alfonsine
“Attraversamento in Microtunnel fiume Lamone”

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

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 7 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'attraversamento del corso d'acqua da parte del metanodotto in progetto (DN1200) ricade in un ambito di confine tra i territori comunali di Ravenna e di Bagnacavallo (RA), in prossimità della località "Palazzo Pasolini".

Dal punto di vista idrografico, l'ambito di attraversamento ricade nel tratto basso dello sviluppo dell'asta fluviale del corso d'acqua (nel tratto di pianura), a circa 25 km dalla foce in mare.

Al fine di fornire un inquadramento territoriale generale dell'ambito di attraversamento, nella seguente Fig.2.1/A si riporta una corografia in scala 1:25.000 (estratta dalle tavolette IGM), dove il tracciato del metanodotto in progetto è riportato mediante una linea in rosso e l'area di attraversamento in esame è indicata mediante un cerchio in colore blu.

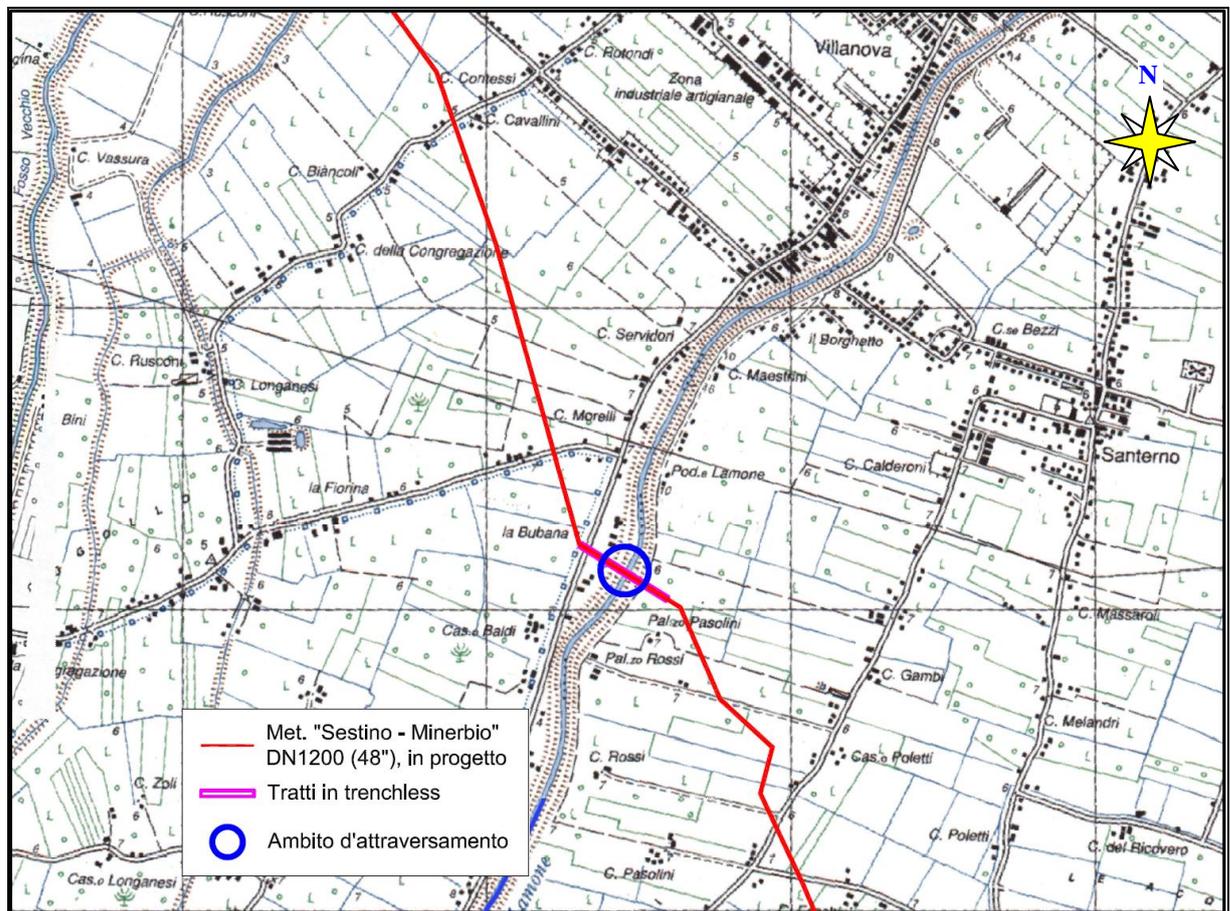


Fig.2.1/A: Corografia generale in scala 1:25.000, con individuazione ambito di attraversamento

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 33 (EPSG 32633)	264382 m E 4923933 m N

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75bar	Fg. 8 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

Nella seguente Fig.2.1/B è invece 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 sono inoltre schematicamente indicati (mediante delle sagome rettangolari in color magenta) i tratti di condotta con posa prevista in trivellazione.

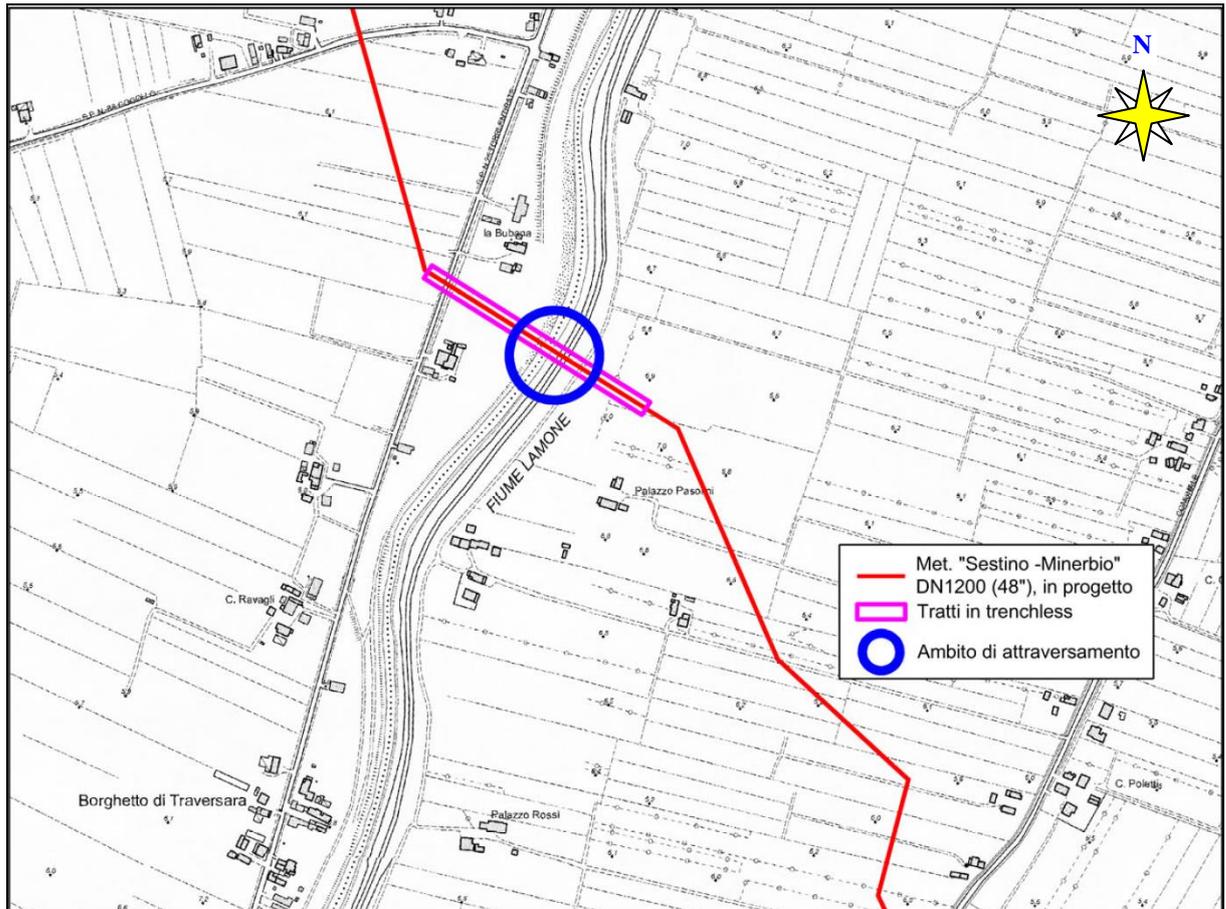


Fig.2.1/B: Stralcio planimetrico in scala 1:10.000 (C.T.R. Regionali)

Dall'analisi della figura precedente, si rileva che l'attraversamento del corso d'acqua verrà eseguito in trivellazione di subalveo mediante una tecnologia trenchless (microtunnel).

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 9 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

3 ANALISI DI CARATTERIZZAZIONE DELL'AMBITO FLUVIALE IN ESAME

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

Il fiume Lamone, il primo per lunghezza dei fiumi romagnoli (97 km) ha origine dall'Appennino Toscano presso Colla di Casaglia ed entra in Provincia di Ravenna a S. Martino in Gattara (frazione del Comune di Brisighella).

Il bacino nasce dalla dorsale appenninica, fra le cime del Faggeta e di Poggio delle Travi; si estende, come d'altronde la maggior parte dei bacini del versante nord dell'Appennino Tosco-Emiliano, in forma alquanto stretta e allungata. Il bacino del Fiume Lamone confina a nord con il bacino idrografico del Reno e a sud con quello dei Fiumi Uniti.

Fanno parte del bacino del Lamone i Torrenti: Acerreta, Marzeno, Tramazzo, Ibola, affluenti del medio e basso corso. Fra i numerosi affluenti il più importante è il Torrente Marzeno, che scorre in gran parte nel territorio forlivese e confluisce in destra del Lamone, in prossimità della città di Faenza, a monte della Via Emilia. A sud della Via Emilia il Lamone riceve altri affluenti, molti dei quali hanno carattere tipicamente torrentizio, e per alcuni periodi dell'anno si presentano quasi completamente in secca, essendo costituiti essenzialmente da acque piovane.

A valle della Via Emilia, il Fiume Lamone riceve lo Scolo Cerchia in destra e prosegue fino al mare, dove sfocia in corrispondenza di Marina Romea, senza ricevere nessun altro affluente.

L'intero bacino imbrifero del Lamone comprende la sua vallata e quelle del Marzeno e del Tramazzo, ed ha una superficie di 530 kmq. (515 alla chiusura del bacino montano) di cui 60 kmq in territorio toscano, in Provincia di Firenze.

Nella parte collinare - montana si ha, scendendo da monte verso la pianura, la sequenza di formazioni rocciose qui descritta: alle quote più elevate si presentano estese aree di affioramento della marnoso-arenacea, costituita da alternanza di marne e di arenarie. Le caratteristiche litologiche, stratigrafiche e tettoniche fanno sì che essa sia da considerarsi da mediamente a molto permeabile.

Scendendo verso le quote inferiori, in prossimità di Brisighella, si trova la formazione gessoso-solfifera, rappresentata dalla cosiddetta Vena del Gesso, potente affioramento che si sviluppa in forma di fascia gessosa da Brisighella verso ovest; l'altissima permeabilità che la caratterizza riduce praticamente a zero il deflusso superficiale, favorito dal carsismo tipico dei gessi.

Verso valle si hanno poi estese zone interessate da strutture argillose-siltose Plioceniche e Pleistoceniche, in molti casi associate a formazioni sabbiose che offrono bassi indici di permeabilità e un alto grado di erosione. Nella parte nord-orientale del sottobacino del Marzeno affiora a tratti la formazione dello Spungone (calcarenite organogena di origine litorale, fortemente porosa).

I territori di pianura si sviluppano, fino alla foce, secondo una ben precisa sequenza, corrispondente alla logica della deposizione dei materiali da parte delle correnti fluviali.

Il Fiume Lamone, nella zona di pianura, si presenta arginato e pensile; caratteristica è la ristrettezza dell'alveo che determina rischi di esondazione e di rotture arginali nei periodi di maggiore portata.

Al fine di individuare e localizzare l'ambito di attraversamento del corso d'acqua da parte del metanodotto in progetto ed il corso d'acqua, nella figura seguente è riportata una corografia generale del bacino del fiume (su una base cartografica al 250.000) dove sono riportate le seguenti informazioni:

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 10 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

- Il bacino complessivo del corso d'acqua è riportato in giallo;
- Il metanodotto in progetto è riportato tramite una linea in rosso;
- L'asta fluviale del corso d'acqua ed il reticolo principale sono riportati in blu;
- L'ambito di attraversamento del corso d'acqua è schematicamente indicato mediante un cerchio in magenta.

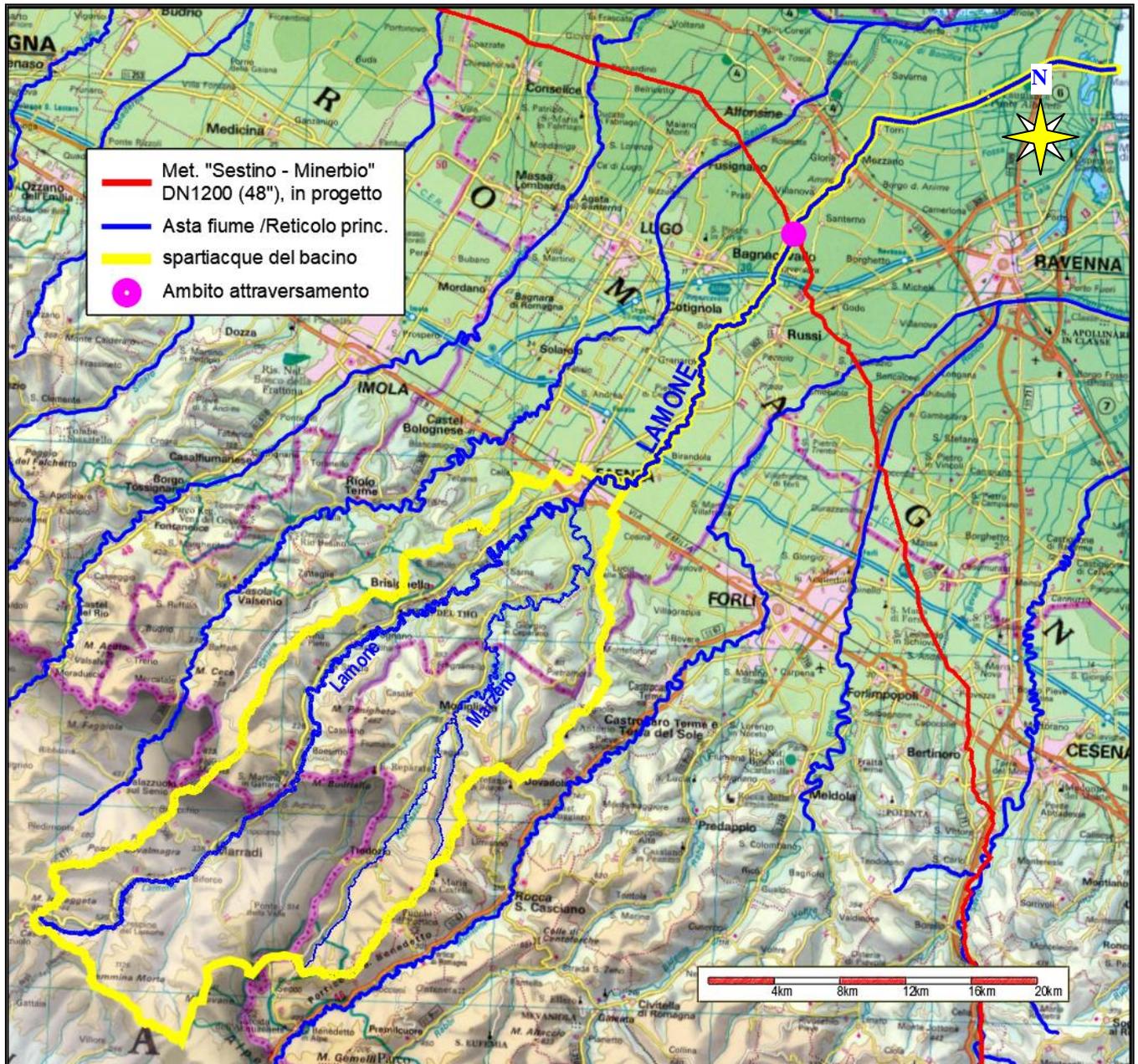


Fig.3.1/A: Bacino complessivo del corso d'acqua ed indicazione dell'ambito in esame

Dall'esame della figura precedente (Fig.3.1/A), si rileva che l'attraversamento del metanodotto in progetto ricade in pianura, nel tratto basso dello sviluppo dell'asta fluviale del corso d'acqua.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 11 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

Andamento stagionale dei deflussi nel corso d'acqua

Il fiume presenta un regime spiccatamente torrentizio, con andamento dei deflussi che segue in maniera prevalente quello degli afflussi nel bacino. Il regime delle piene è pertanto determinato dall'andamento stagionale delle precipitazioni, caratterizzato dal tipico clima sub-litoraneo appenninico, che di solito trova la massima intensità durante la primavera e nel tardo autunno e la minima nel periodo estivo (con portate di magra aventi valori molto modesti).

In tal senso qui di seguito si riporta l'istogramma delle portate medie giornaliere registrate nella stazione idrometrica di Lamone a Reda (superficie bacino 519.6 km²), relativamente al periodo 2008 – 2020 (fonte: *Annali idrologici*).

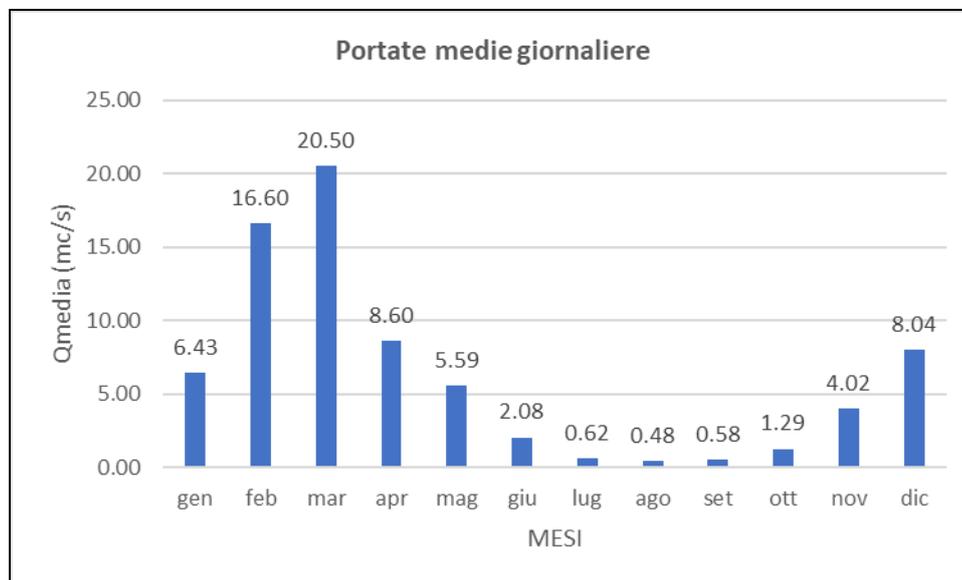


Fig.3.1/B: Iistogramma mensile delle "portate medie giornaliere"

3.2 Descrizione dell'ambito di attraversamento

L'attraversamento del corso d'acqua da parte del metanodotto in progetto (DN1200) ricade in un ambito di confine tra i territori comunali di Ravenna e di Bagnacavallo (RA), in prossimità della località "Palazzo Pasolini".

Dal punto di vista idrografico, l'ambito di attraversamento ricade nel tratto basso dello sviluppo dell'asta fluviale del corso d'acqua (nel tratto di pianura), a circa 25 km dalla foce in mare.

In corrispondenza dell'area di attraversamento, il corso d'acqua assume un andamento longitudinale leggermente sinuoso.

La sezione d'alveo si presenta con una configurazione geometrica a doppio trapezio rovesciato; con alveo di magra di ampiezza complessiva di circa 20m, delle strette fasce golenali (di ampiezza di circa 5÷10m per lato) delimitate da degli imponenti rilevati arginali che si elevano di circa 8÷10m nei confronti del piano campagna circostante. Le sponde dell'alveo e le golene sono ricoperte da una folta vegetazione arbustiva (con prevalenza di canneti) ed arborea.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75bar	Fg. 12 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

Sulla sommità dei due argini si sviluppano delle strade sterrate.

Al fine di consentire una visione diretta dell'ambito in esame, qui di seguito si riporta una foto aerea (Fig.3.2/A), estrapolata da Google Earth, dove sono riportate le seguenti informazioni:

- il tracciato del metanodotto in progetto (tramite una linea in rosso);
- i tratti di condotta con posa in trenchless (con delle sagome rettangolari in magenta);
- l'area di attraversamento dell'alveo (mediante un cerchio in celeste).

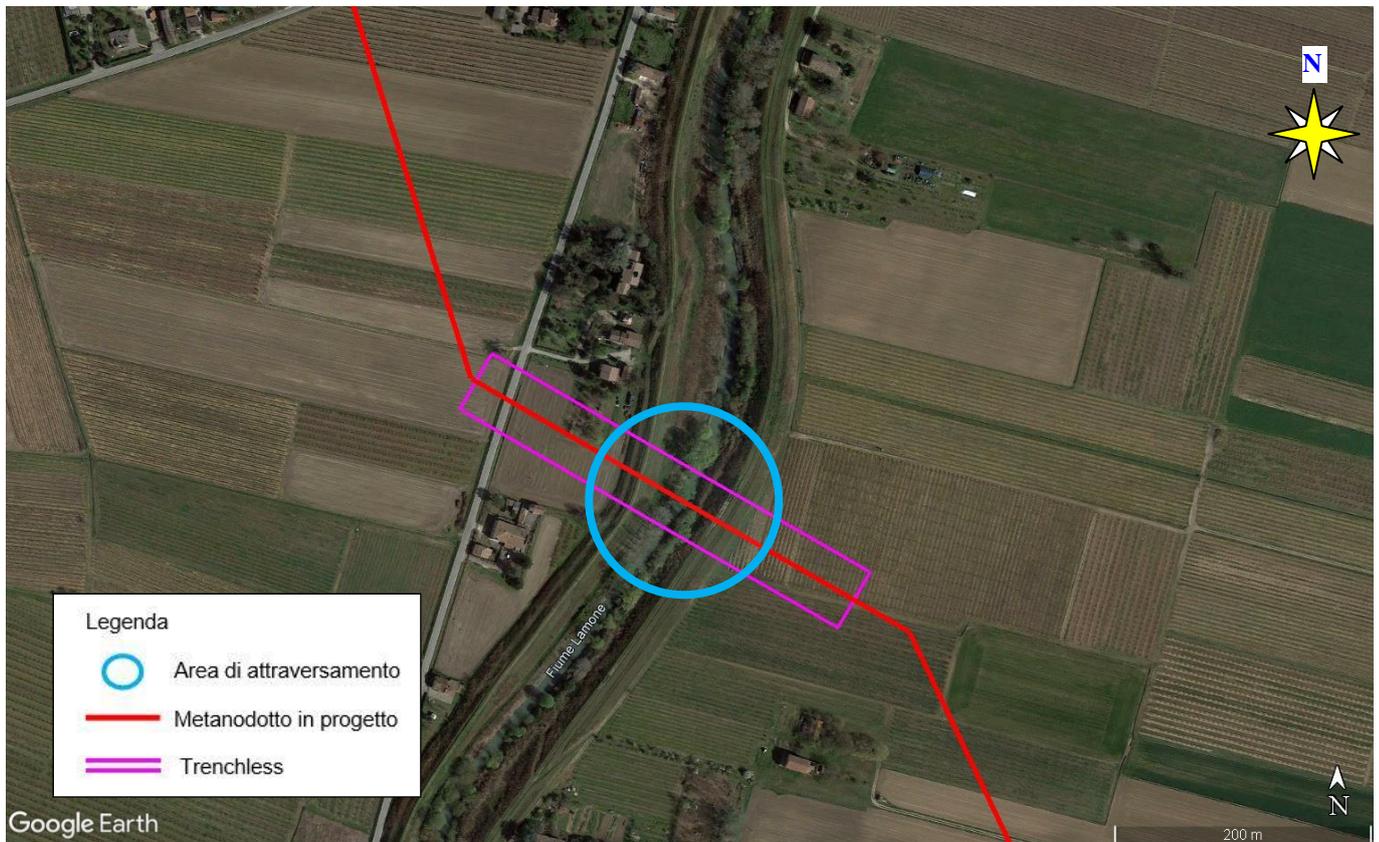


Fig.3.2/A: Foto aerea dell'ambito di attraversamento

Nella seguente Fig.3.2/B, inoltre, si riportano delle foto rappresentative dell'ambito di attraversamento del corso d'acqua.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75bar	Fg. 13 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058



Foto 1: Lamone - lato in destra idrografica (uscita Microtunnel)



Foto 2: Lamone- argine destro

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 14 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058



Fig.3.2/B: Foto rappresentative dell'ambito d'attraversamento

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, sono state eseguite varie campagne geognostiche.

In particolare, per la caratterizzazione dell'ambito fluviale in esame, risulta particolarmente interessante il sondaggio denominato S67, realizzato nel marzo 2023 in prossimità dell'argine sinistro del corso d'acqua.

L'ubicazione del sondaggio di riferimento è riportata nello stralcio planimetrico in scala 1:10.000, di cui alla figura seguente.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75bar	Fg. 15 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

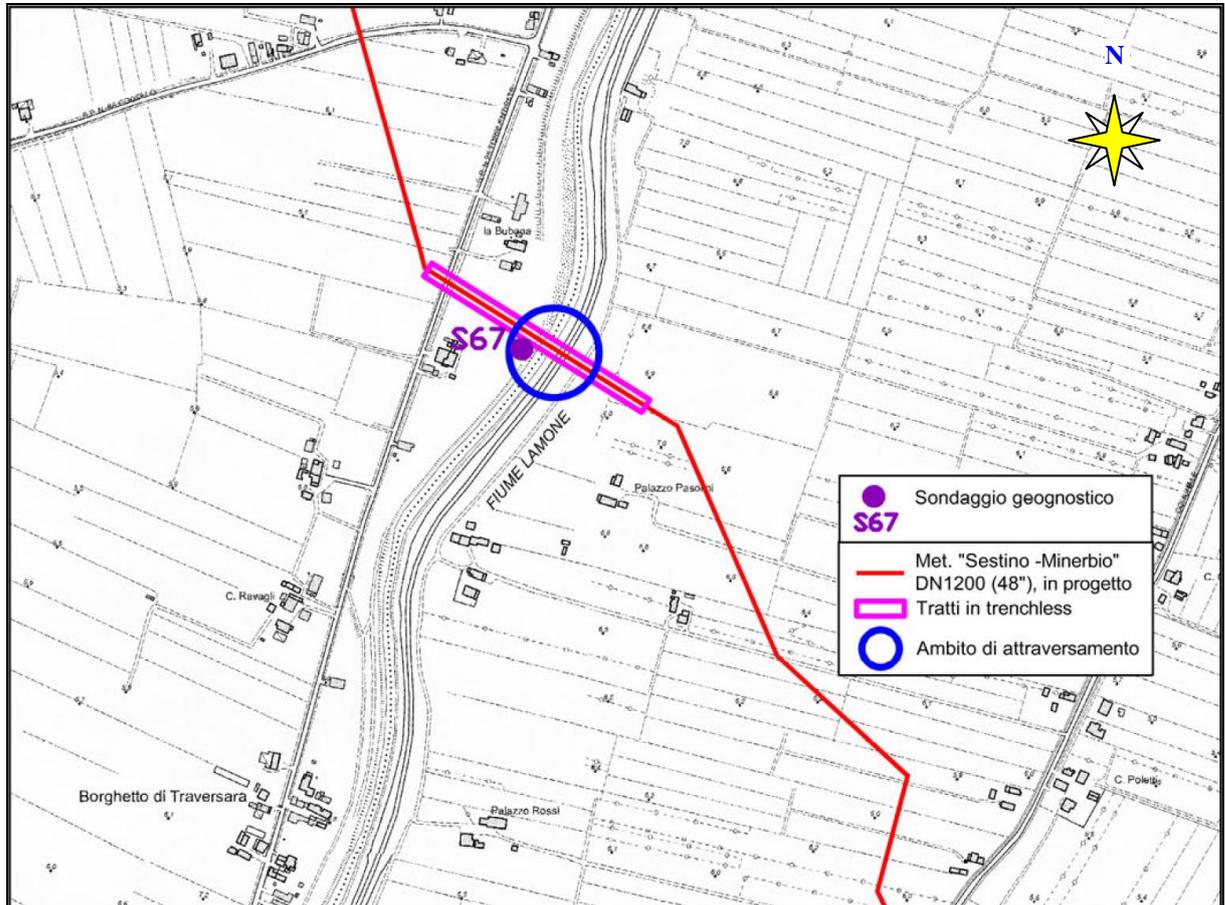


Fig.3.3/A: Planimetria in scala 1:10.000, con ubicazione sondaggio geognostico di riferimento

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

In particolare dall'analisi della stratigrafia del sondaggio S67 emerge la presenza in superficie di 0,30m di terreno agricolo. Da 0,30 a 6,50m, si rileva la presenza di uno strato di argilla limosa e/o debolmente limosa, da molto consistente a consistente. Da 6,50m sino a 12,50m s'individua, in sequenza, la presenza di un esiguo strato di limo sabbioso, di uno strato di argilla debolmente limosa e di uno strato di sabbia debolmente limosa.

Infine da 12,50m sino fondo foro (a 30m di profondità), si rileva la presenza di argille consistenti, a tratti debolmente limosa. Da 19,30m in poi, s'individuano, inoltre, degli intervalli torbosi.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 16 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

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, localizzati 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

Per le valutazioni idrologiche nell'ambito specifico in esame ci si riferisce esplicitamente ai risultati di "studi ufficiali" effettuati sul corso d'acqua e con particolare riferimento allo studio denominato "*Valutazione delle conseguenze prodotte sulla spiaggia e sulle località balneari limitrofe, dalla massima piena dei fiumi Savio, Uniti, Lamone e torrente Bevano, mediante anche la valutazione del rischio idraulico nei tratti oggetto di studio*", commissionato dal comune di Ravenna (a scopo conoscitivo per la redazione del Piano Comunale di emergenza per il rischio idraulico per la protezione civile) e redatto dal Prof. Ing. Armando Brath (Ordinario Costruzioni Idrauliche, Università di Bologna) nel Febbraio 2018. Lo studio è stato approvato con delibera di Giunta Comunale PV 233 PG 74494 del 27/04/2018 dichiarata immediatamente eseguibile.

4.3 Sezione di studio e parametri morfometrici del bacino

Si assume come sezione idrologica di studio quella relativa all'attraversamento del metanodotto in progetto, localizzato a circa 25k m dalla foce in mare.

Nella figura seguente è riportato uno stralcio planimetrico, ricavato da una base cartografica al 250.000, con la delimitazione del bacino sotteso dalla sezione di studio (in color magenta), con indicazione delle aste fluviali dei corsi d'acqua principali e/o

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75bar	Fg. 17 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

significativi (in blu). Nella stessa figura il tracciato del metanodotto in progetto è indicato mediante una linea in colore rosso.

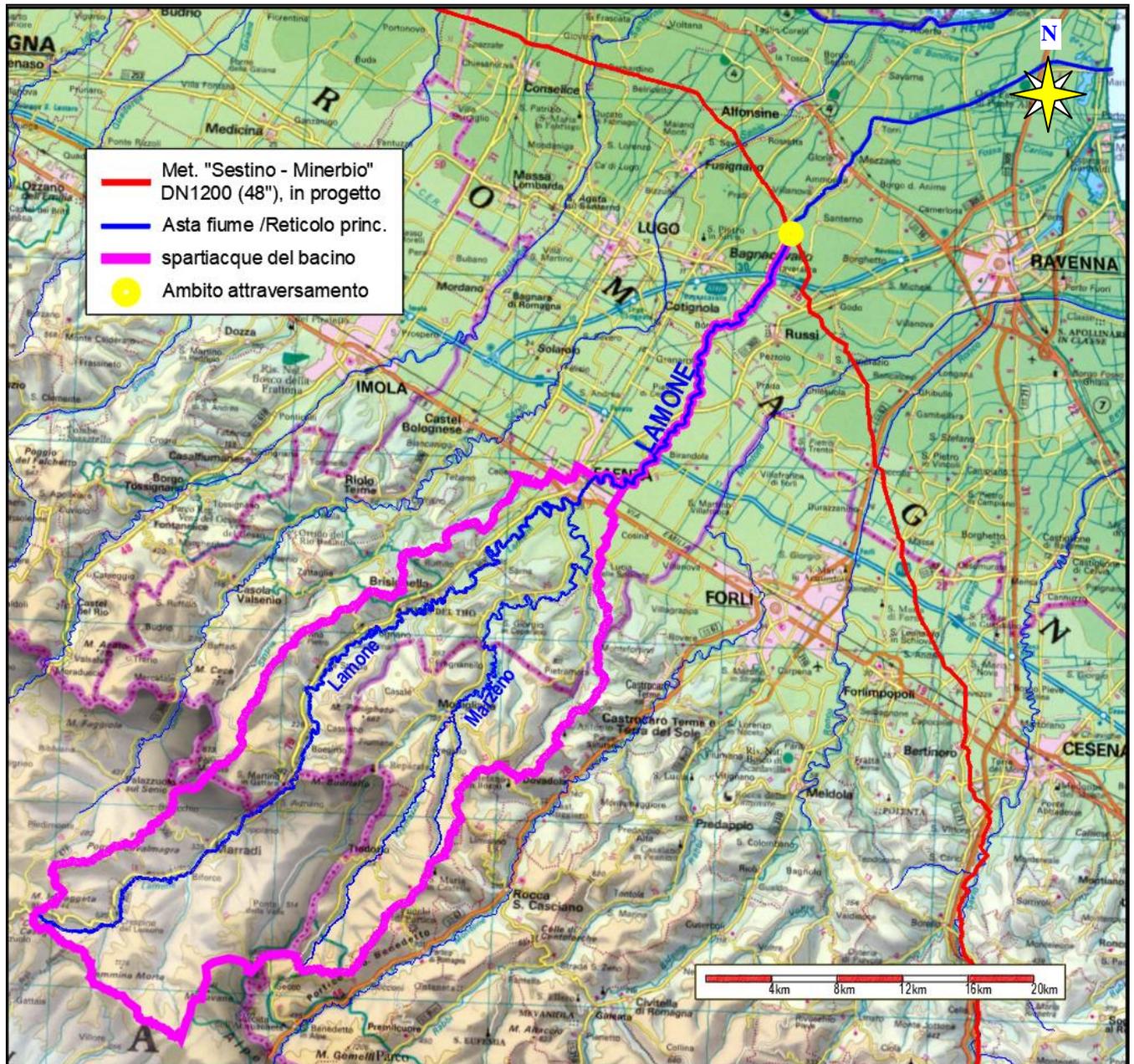


Fig.4.3/A: Bacino imbrifero sotteso dalla sezione di studio

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 18 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

Nella tabella seguente si riportano alcuni dei parametri caratteristici del bacino sotteso dalla sezione di studio (valutati tramite un'analisi morfometrica del bacino).

Tab.4.3/A: Parametri di caratterizzazione del bacino

Corso d'acqua	Sez. di studio	Superficie Bacino (kmq)	Altitudine max del Bacino (m)	Altitudine Sezione chiusura (m)
Fiume Lamone	Sez. Attravers. Met. in progetto	523	1158	3

4.4 Studio Prof. Brath - Febb.2018

4.4.1 Premessa

Lo studio, redatto dal Prof. Ing. Armando Brath (Ordinario Costruzioni Idrauliche, Università di Bologna) e denominato "Valutazione delle conseguenze prodotte sulla spiaggia e sulle località balneari limitrofe, dalla massima piena dei fiumi Savio, Uniti, Lamone e torrente Bevano, mediante anche la valutazione del rischio idraulico nei tratti oggetto di studio", è stato commissionato dal comune di Ravenna (ufficio geologico del servizio tutela e ambiente del territorio), con lo scopo conoscitivo per la redazione del Piano Comunale di emergenza per il rischio idraulico per la protezione civile.

Lo studio è stato approvato con delibera di Giunta Comunale PV 233 PG 74494 del 27/04/2018 dichiarata immediatamente eseguibile.

Lo studio costituisce un documento facente parte del "Piano di Protezione Civile del Comune di Ravenna / Piano di Emergenza Rischio Idraulico". Gli elaborati dello studio (Relazione ed elaborati cartografici) sono disponibili on line presso il link:

<https://www.comune.ra.it/aree-tematiche/protezione-civile/piano-di-protezione-civile-comunale/piani-operativi/piani-operativi-di-emergenza/piano-di-emergenza-rischio-idraulico/>

4.4.2 Informazione generali sullo studio

Nell'ambito dello studio è stato eseguito la modellazione delle onde di piena con tempi di ritorno di 100, 150 e 200 anni per i corsi d'acqua fiumi Savio, Uniti (formato dall'unione dei fiumi Ronco e Montone), Lamone e torrente Bevano a partire dalla via Emilia (SS.9) fino al mare, tenendo conto delle esondazioni che si verificano nei tratti a monte.

Per definire tale sollecitazione idrologica, coerentemente con quanto stabilito nel capitolato dell'incarico, si è fatto riferimento alle stime delle onde di piena adottate nell'esistente pianificazione di bacino (ossia nel vigente PAI - PGRA, Piano per l'assetto idrogeologico - Piano gestione rischio alluvioni). Di conseguenza, per caratterizzare le onde di piena dei vari corsi d'acqua in corrispondenza dei rispettivi attraversamenti della via Emilia, si è fatto riferimento alle stime delle onde desumibili dagli studi idrologici condotti in passato dall'Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli.

Il metodo di regionalizzazione, impiegato dall'Autorità di bacino per la stima della portata al colmo di assegnato tempo di ritorno, è stato quello della portata indice. Che consiste nel valutare delle portate indice nelle sezioni di interesse, che viene moltiplicato per un fattore di crescita variabile in funzione del tempo di ritorno (e della regione idrologica di riferimento).

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 19 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

Per la definizione della forma dell'onda di piena, sempre negli studi condotti dall'Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli, è stato utilizzato l'approccio delle cosiddette curve di riduzione delle massime portate medie in assegnata durata.

4.4.3 Analisi specifiche sul corso d'acqua in esame

Lo studio per il corso d'acqua in esame (fiume Lamone) è stato condotto partendo dalle sollecitazioni idrologiche (per $T_R=200$ e 100 anni) in corrispondenza dell'attraversamento della via Emilia, fino alla foce a mare.

La modellazione idrologica - idraulica è stata effettuata in considerazione di n.2 possibili scenari:

- scenario "ad esondazioni libere": tenendo conto delle esondazioni nel caso possa verificarsi insufficienza idraulica dei tratti fluviali in Comune di Ravenna interessati da esondazione per sormonto arginale";
- scenario "ad esondazioni impedito": non tenendo in conto dei sormonti (e quindi delle relative laminazioni) per sormonto arginale;

Il Lamone risulta arginato per tutto il tratto investigato e, esternamente agli argini, non sono presenti particolari elementi morfologici, naturali o artificiali, che si sviluppino con continuità e che siano quindi in grado di ostacolare l'espansione a campagna dell'esondazione. Pertanto per il Lamone la schematizzazione "ad esondazioni libere" si può ritenere quindi più realistica rispetto ad altre situazioni morfologiche.

In ragione di quanto evidenziato qui di seguito si riportano le curve di piena del corso d'acqua, in riferimento esclusivamente allo scenario "ad esondazioni libere".

Fiume Lamone - Scenario "ad esondazioni libere"

Nelle Figure seguenti vengono riportati gli andamenti delle onde di piena riferibili allo scenario "ad esondazioni libere" per $T_R=200$ anni (Fig. 43) e 100 anni (Fig.44) in alcune sezioni del corso d'acqua, a partire dall'attraversamento della via Emilia, verso la foce.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75bar	Fg. 20 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

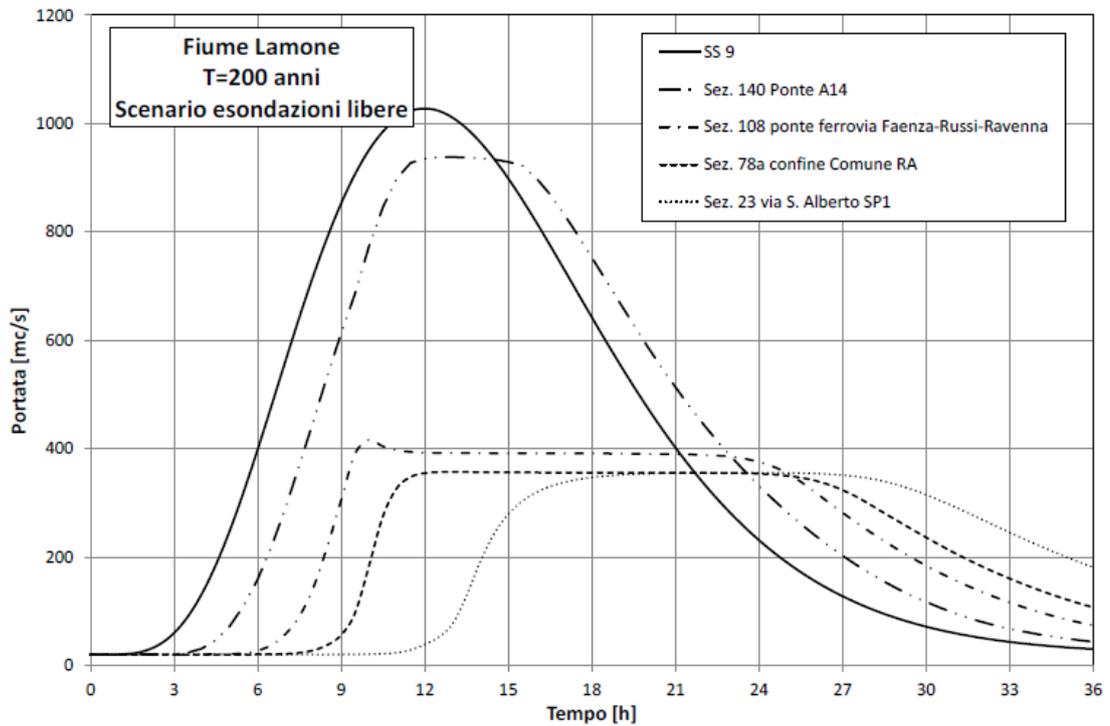


Figura 43 - Onde di piena 200-ennali del fiume Lamone in varie sezioni nello scenario ad esondazioni libere.

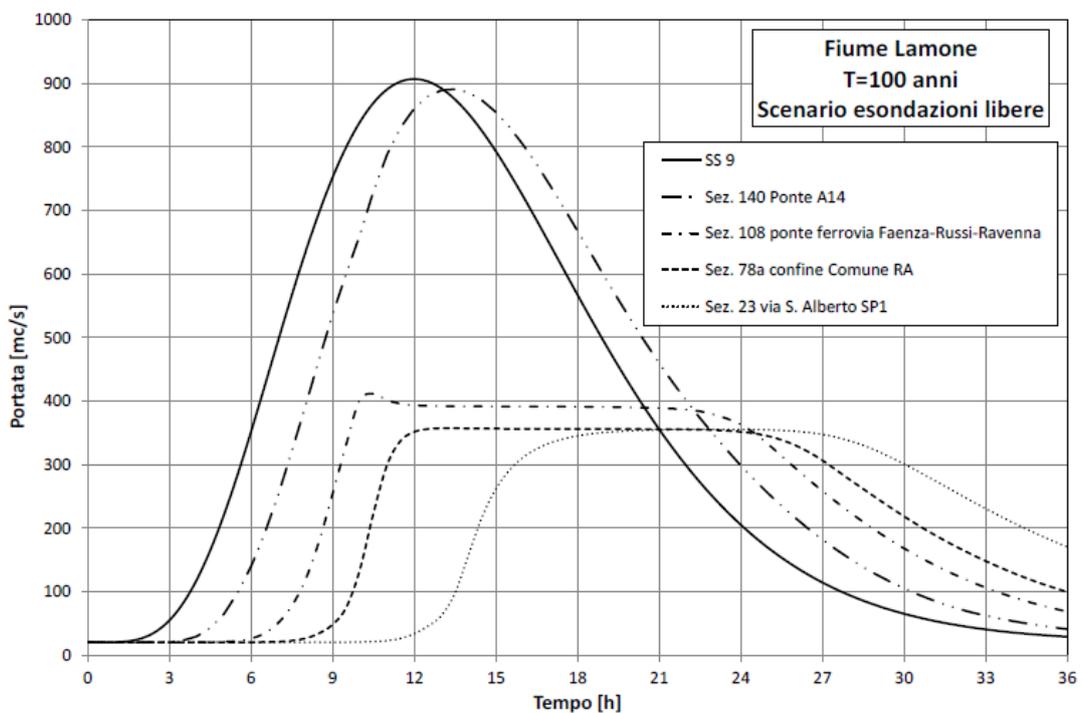


Figura 44 - Onde di piena 100-ennali del fiume Lamone in varie sezioni nello scenario ad esondazioni libere.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 21 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

Commenti ai risultati (estrapolati dalla Relazione dello studio)

Nel caso dell'onda 200-ennale (Figura 43) si nota una già significativa decapitazione dell'onda di piena nella sezione 140 (attraversamento della A14), dovuta alle esondazioni che si hanno nel primo tratto d'alveo studiato, compreso tra l'attraversamento della via Emilia e quello della A14; il colmo si riduce da 1028 mc/s in corrispondenza della SS9 a 938 mc/s in corrispondenza della A14. Più a valle il colmo si riduce nettamente abbattendosi a 416 mc/s nella sezione 108 (ponte della ferrovia Faenza-Russi-Ravenna), con una riduzione di 611 mc/s rispetto al valore assunto alla via Emilia (SS9), che corrisponde a una laminazione del 60% circa; si nota come, in tale sezione, l'onda ha assunto la forma tipicamente decapitata che corrisponde quasi al caso della laminazione ideale.

Ancora più a valle la laminazione prosegue, anche se a ritmo meno accentuato, talché il colmo si riduce a 357 mc/s nella sezione 78a, che corrisponde all'ingresso del corso d'acqua nel territorio del Comune di Ravenna (con una laminazione del 65% circa rispetto alla sezione posta sulla via Emilia); tale valore di colmo si mantiene quasi stabile a valle, mancando situazioni di sormonto, cosicché nella sezione 23 (ponte via S. Alberto, SP1) il colmo ammonta a 356 mc/s.

Per quanto riguarda invece l'onda 100-ennale, dalla Figura 44 si osserva come nel primo tratto, dall'attraversamento della via Emilia a quello dell'autostrada A14, il comportamento sia sensibilmente diverso dal caso 200-ennale, come evidenziato dalla differente forma assunta dalle onde 200-ennale e 100-ennale nella sezione 140 (attraversamento A14). Passando dalla sezione iniziale (SS9) alla sezione 140 (attraversamento A14), il colmo dell'onda si riduce da 907 mc/s a 871 mc/s.

Più a valle invece, il comportamento è simile al caso 200-ennale. Le estese esondazioni portano a un netto abbassamento del colmo nella sezione 108 (ponte della ferrovia Faenza-Russi-Ravenna), con una forma dell'onda pressoché decapitata rispetto a quella iniziale; in tale sezione il colmo assume il valore di 412 mc/s, con una riduzione di 495 mc/s rispetto alla SS9, che corrisponde ad una laminazione di quasi il 55%.

Più a valle il colmo si riduce a 357 mc/s nella sezione 78a, che corrisponde all'ingresso del corso d'acqua nel territorio del Comune di Ravenna (con una riduzione del colmo rispetto alla sezione posta sulla via Emilia pari a 550 mc/s, che corrisponde ad una laminazione del 61% circa); tale valore di colmo, pressoché identico a quello del colmo dell'onda 200-ennale, si mantiene quasi costante a valle, cosicché nella sezione 23 (ponte via S. Alberto, SP1) il colmo ammonta a 355 mc/s.

4.4.4 Selezione dei risultati per l'ambito in esame (di attraversamento)

Nella figura seguente si riporta uno stralcio dell'elaborato cartografico "Tav.2-Planimetria di dettaglio" (in scala 1:50.000), nel quale è stato riportato il tracciato del metanodotto in progetto (linea in rosso), nonché è stato evidenziato l'ambito di attraversamento del corso d'acqua in esame tramite un cerchio in blu.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75bar	Fg. 22 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

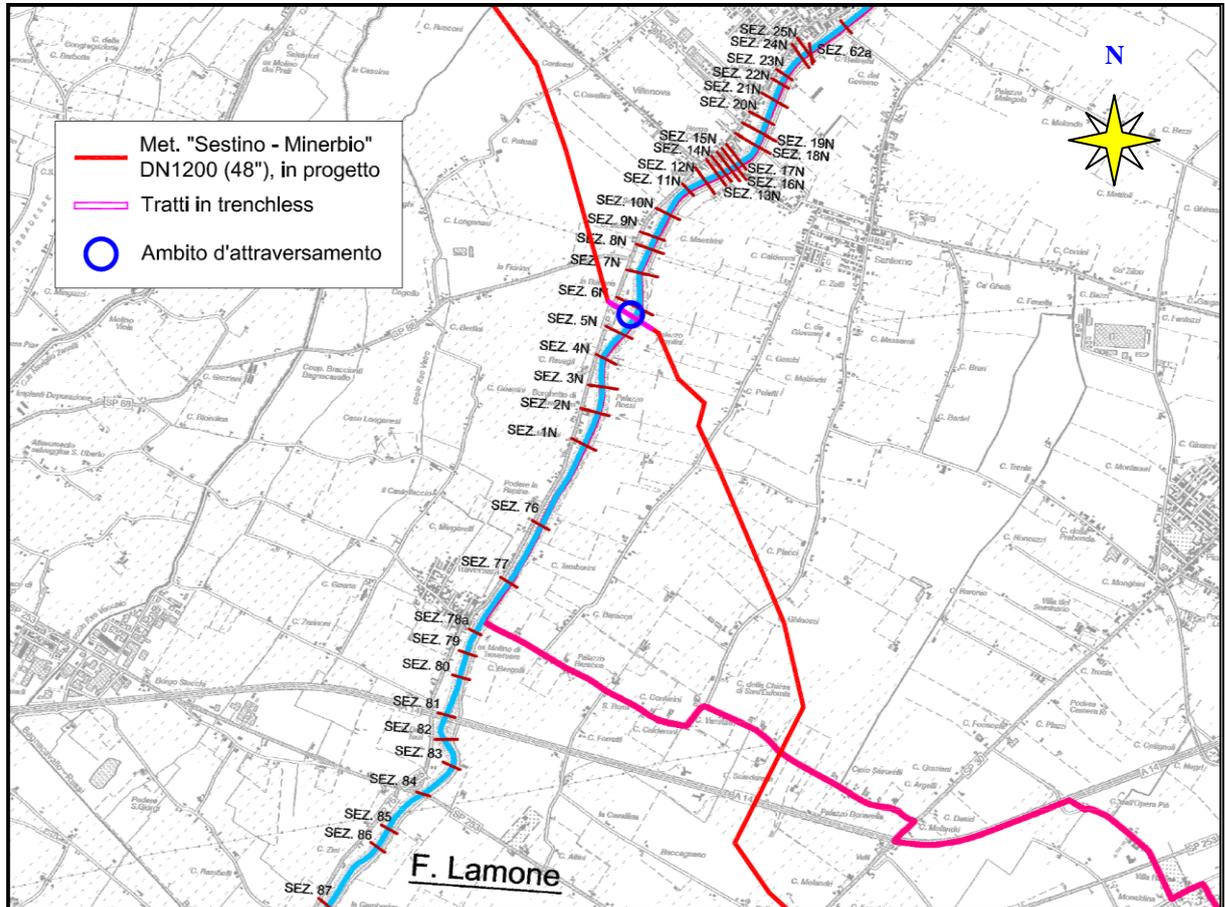


Fig.4.4/A: Stralcio della Tav.2 – con individuazione ambito attraversamento del Lamone

Dall'analisi della Figura precedente si rileva che l'ambito di attraversamento ricade in prossimità della Sez.6N dello studio del Prof. Brath, e poco a valle (a circa 2.5km di distanza) della Sez.78a (confine comune di RA), di cui si dispongono dei dati di portata derivanti dallo studio stesso.

In tal senso per l'ambito in esame si assumono le portate valutate per la Sez.78a ed indicate nella tabella seguente.

Tab.4.4/A: Sez. Studio - Portate al colmo di piena

Corso d'acqua / Sezione Studio	Portata al colmo di piena (mc/s) (T=100anni)	Portata al colmo di piena (mc/s) (T=200anni)
Fiume Lamone / Sez. Attraversamento	357	357

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 23 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

4.5 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.

In riferimento a quanto riportato nella Tab.4.4/A, 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.4.5/A: Portata di progetto

Corso d'acqua	Sezione Idrologica	Sup. Bacino (kmq)	Qprogetto (mc/s)
Fiume Lamone	Sezione di attraversamento	523	357

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 24 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

5 STUDIO IDRAULICO

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 progetto.

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.

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, al fine di assicurare la sussistenza di condizioni di stabilità per la condotta e l'assenza di eventuali interferenze tra questa ed i fenomeni associati al deflusso di piena.

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

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

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

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

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 25 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

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

5.2 Assetto geometrico e modellazione idraulica

5.2.1 Assetto geometrico di modellazione

Al fine di eseguire la modellazione idraulica nell'ambito di riferimento è stato considerato un tronco fluviale idraulicamente significativo a cavallo della sezione di attraversamento del metanodotto, per uno sviluppo complessivo di circa 1250 m.

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. Detto volo è stato eseguito nel Settembre 2022, in condizioni di assenza pressoché totale di acqua nel corso d'acqua e pertanto nella situazione ottimale per la corretta individuazione della configurazione d'alveo.

Entrando nello specifico, nella figura seguente si riporta una planimetria con il Modello Digitale del Terreno, 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 RS1375 coincide con la sezione di monte del tronco idraulico; invece, la sezione RS126 rappresenta quella di valle.

L'ambito di attraversamento ricade in corrispondenza della River Station RS715.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75bar	Fg. 26 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

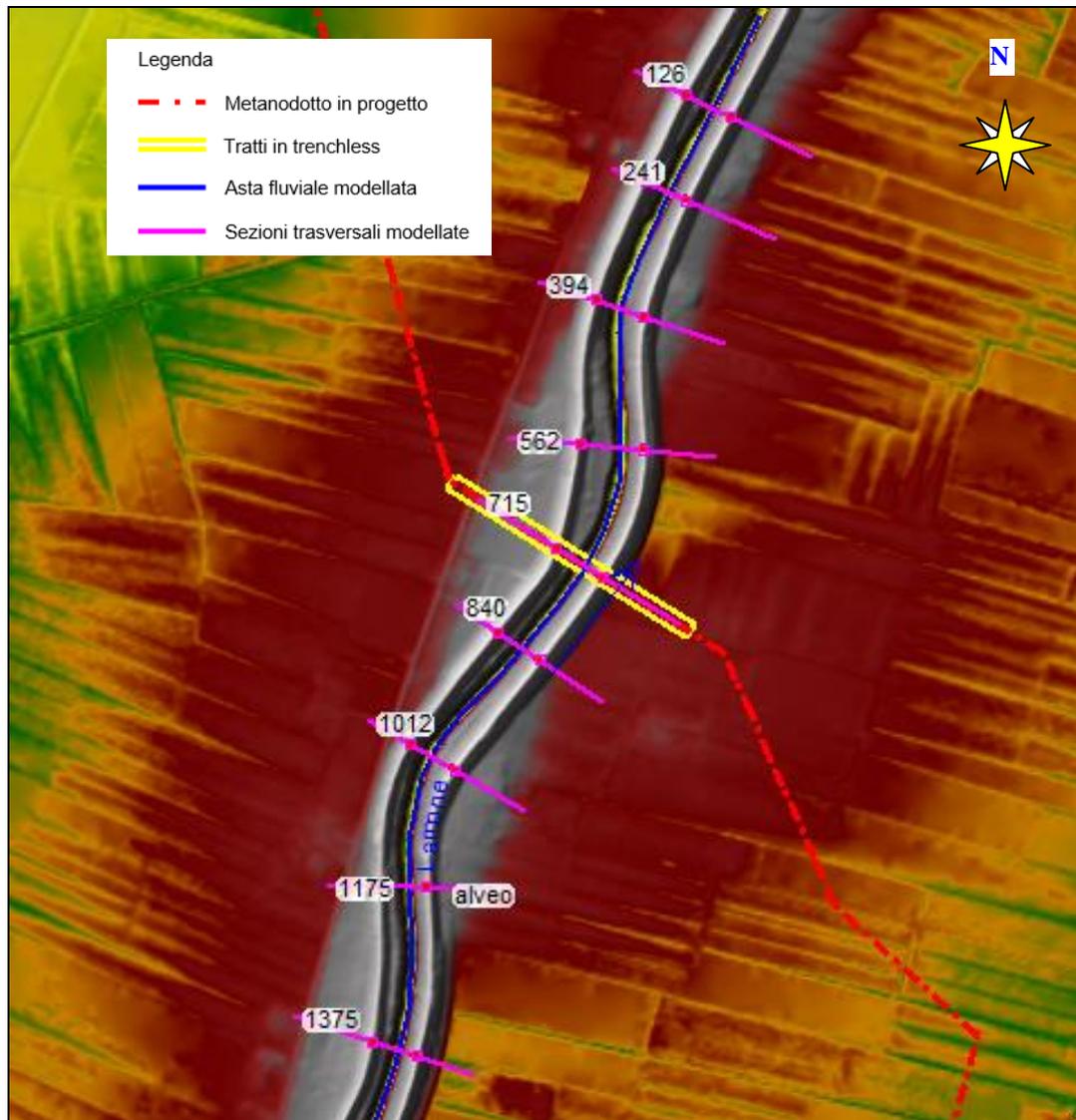


Fig.5.2/A: Schermata del DTM, con tronco d'alveo analizzato e sezioni di input nella modellazione

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 27 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

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:

- $Q_{200}=357 \text{ m}^3/\text{s}$

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 fluviale in esame (corso d'acqua regolare e sub-rettilineo in terra, tuttavia in presenza di vegetazione arbustiva ed arborea molto sviluppata). Ossia:

- 0,035 per l'alveo medio principale (Chan);
- 0,055 per le aree di deflusso oltre i limiti d'alveo (LOB, ROB).

5.3 Risultati della simulazione idraulica

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
1375	357	357.00	4.71	13.62	9.42	13.74	0.0004	1.54	232.51	46.91	46.91	4.96	17.11	0.22
1175	357	357.00	4.59	13.55	8.95	13.66	0.0004	1.5	237.58	46.67	46.67	5.09	16.28	0.21
1012	357	357.00	4.31	13.49	8.88	13.6	0.0004	1.49	239.67	51.71	51.71	4.63	16.51	0.22
840	357	357.00	4.39	13.41	8.98	13.53	0.0004	1.54	232.4	50.1	50.10	4.64	17.61	0.23
715	357	357.00	3.92	13.38	8.79	13.48	0.0003	1.38	258.19	52.75	52.75	4.89	13.95	0.20
562	357	357.00	4.05	13.36	9.12	13.43	0.0002	1.14	312.11	65.65	65.65	4.75	9.6	0.17
394	357	357.00	4.02	13.27	8.67	13.38	0.0003	1.43	249.73	49.63	49.63	5.03	14.83	0.20
241	357	357.00	3.96	13.19	8.52	13.32	0.0004	1.63	226.66	44.46	44.46	5.1	21.5	0.24
126	357	357.00	3.84	13.15	8.63	13.27	0.0004	1.53	232.79	48.36	48.36	4.81	17.36	0.22

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 NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 28 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

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);

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

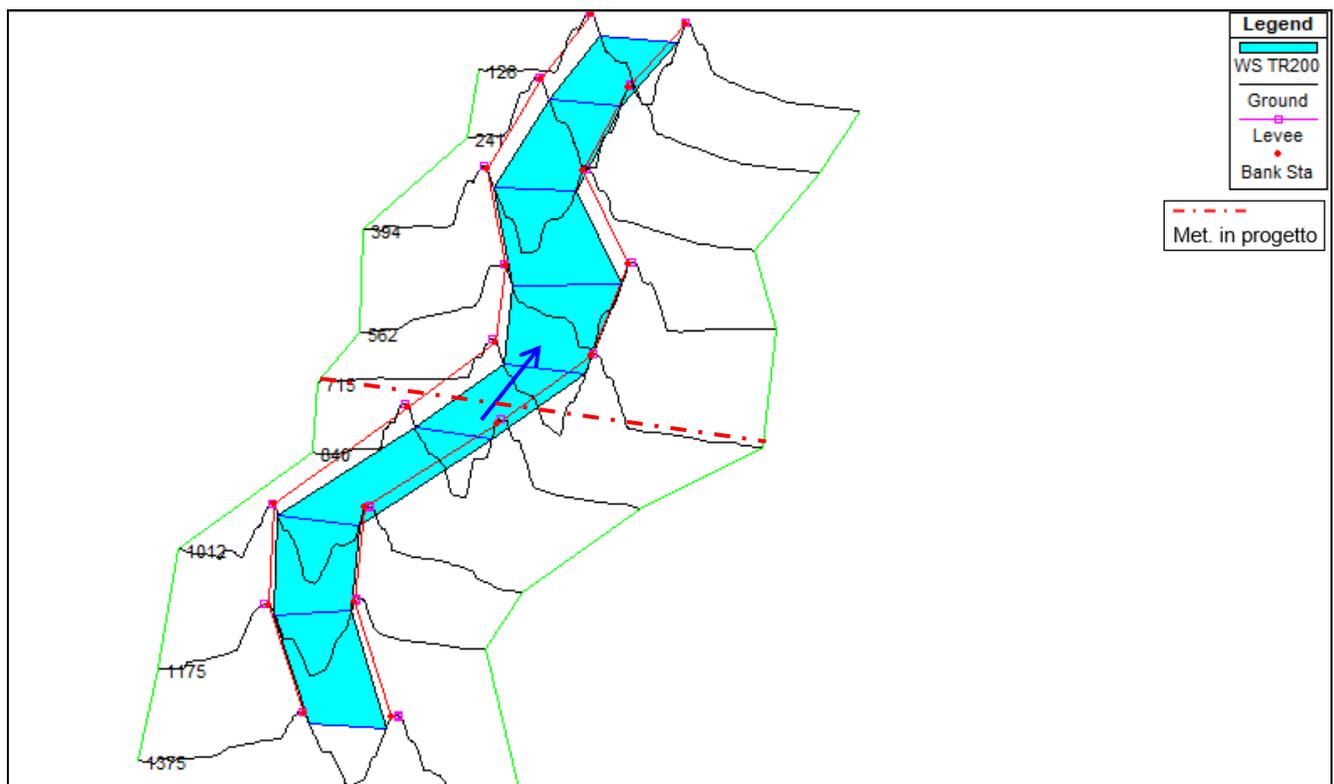


Fig.5.3/A: Schermata di Output del programma – visione prospettica

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75bar	Fg. 29 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

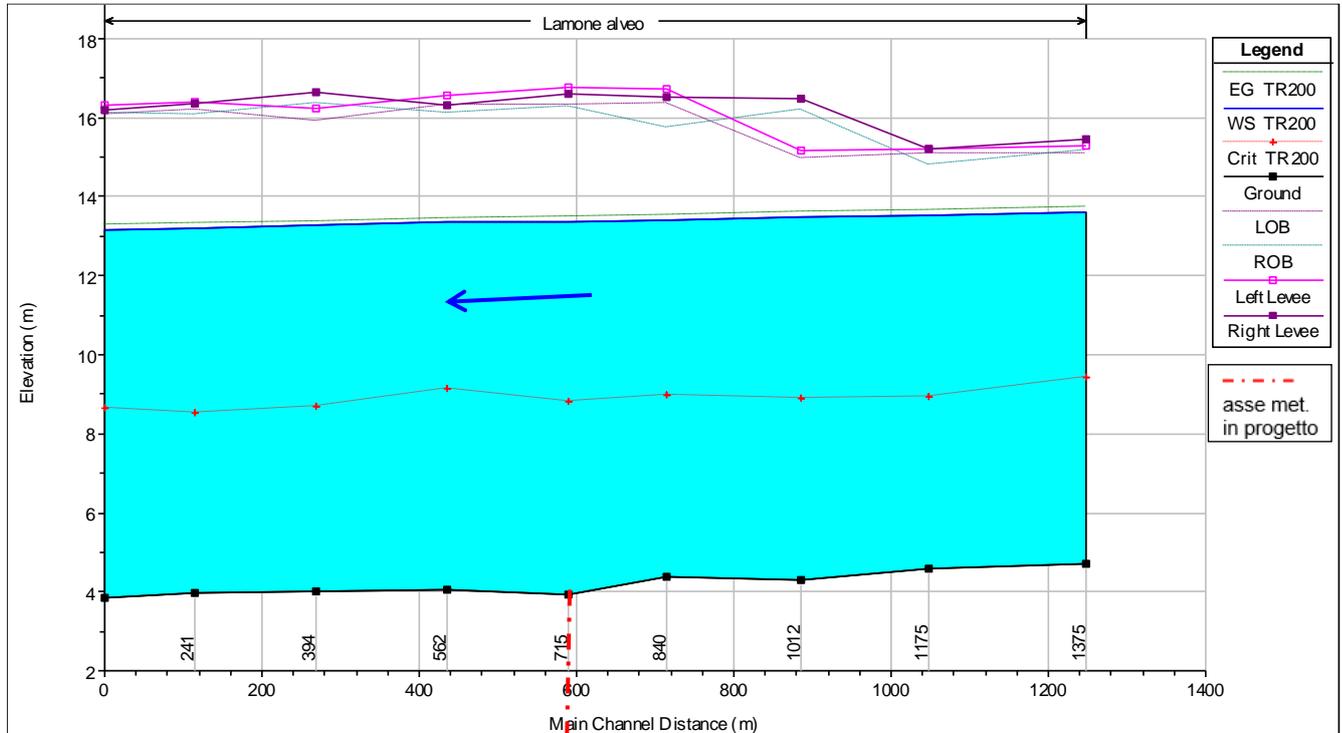
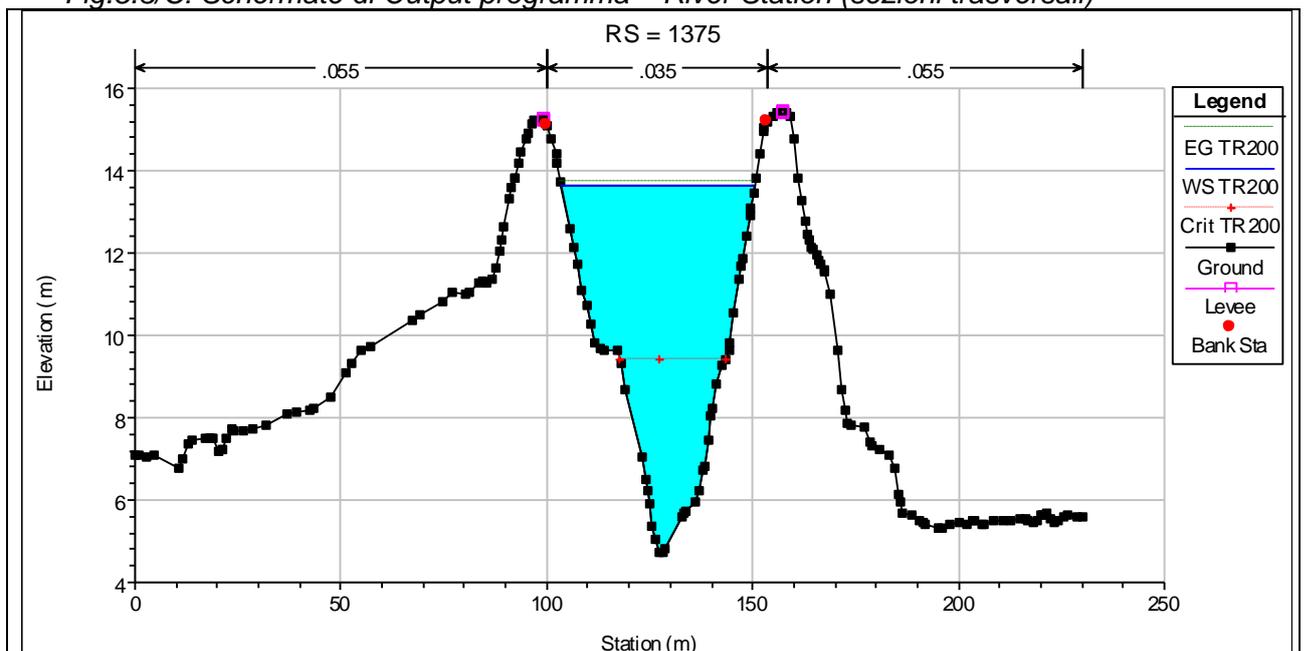


Fig.5.3/B: Schermata di Output del programma – Profilo longitudinale

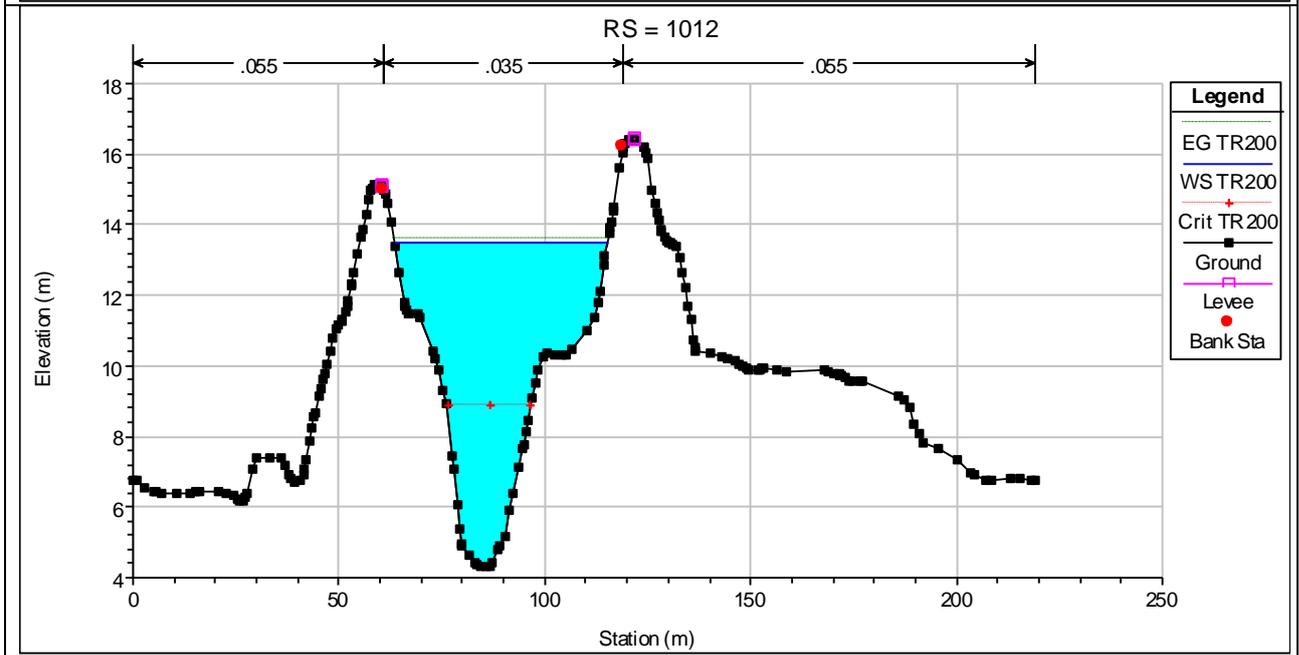
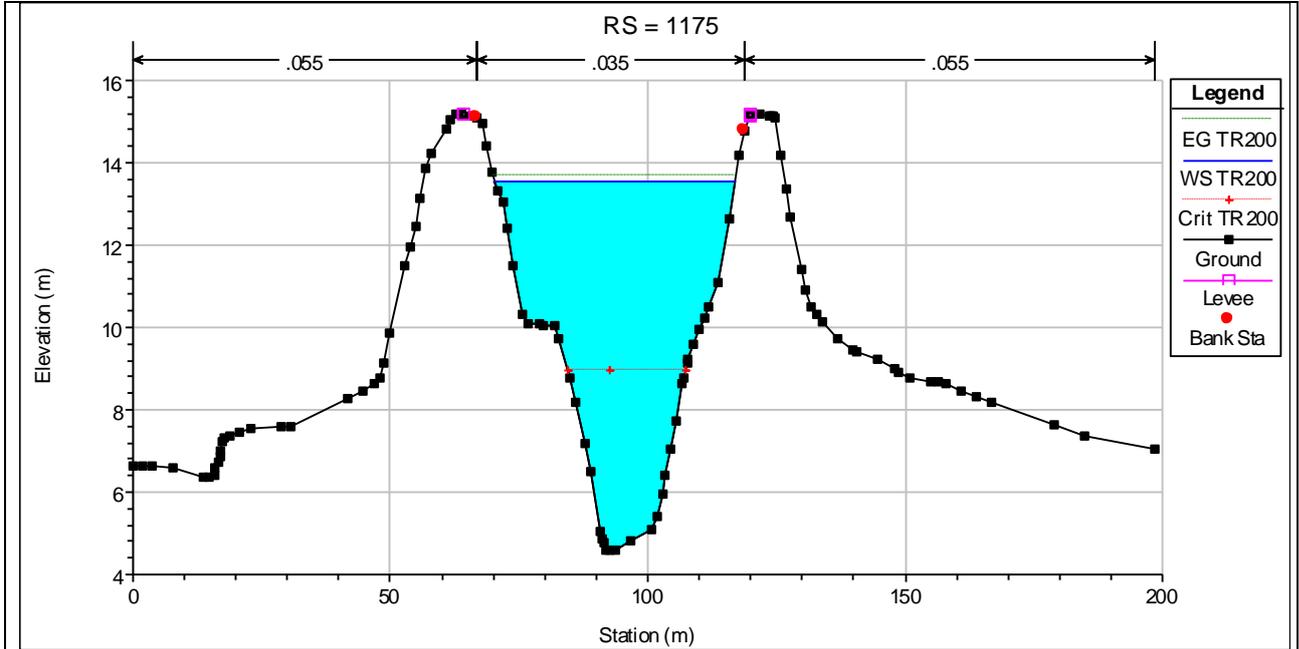
Infine nella figura seguente si riportano le schermate di output delle varie sezioni di calcolo (River Station) considerate nelle elaborazioni idrauliche (partendo dalla sezione di monte e procedendo sino a quella di valle).

Fig.5.3/C: Schermate di Output programma – River Station (sezioni trasversali)



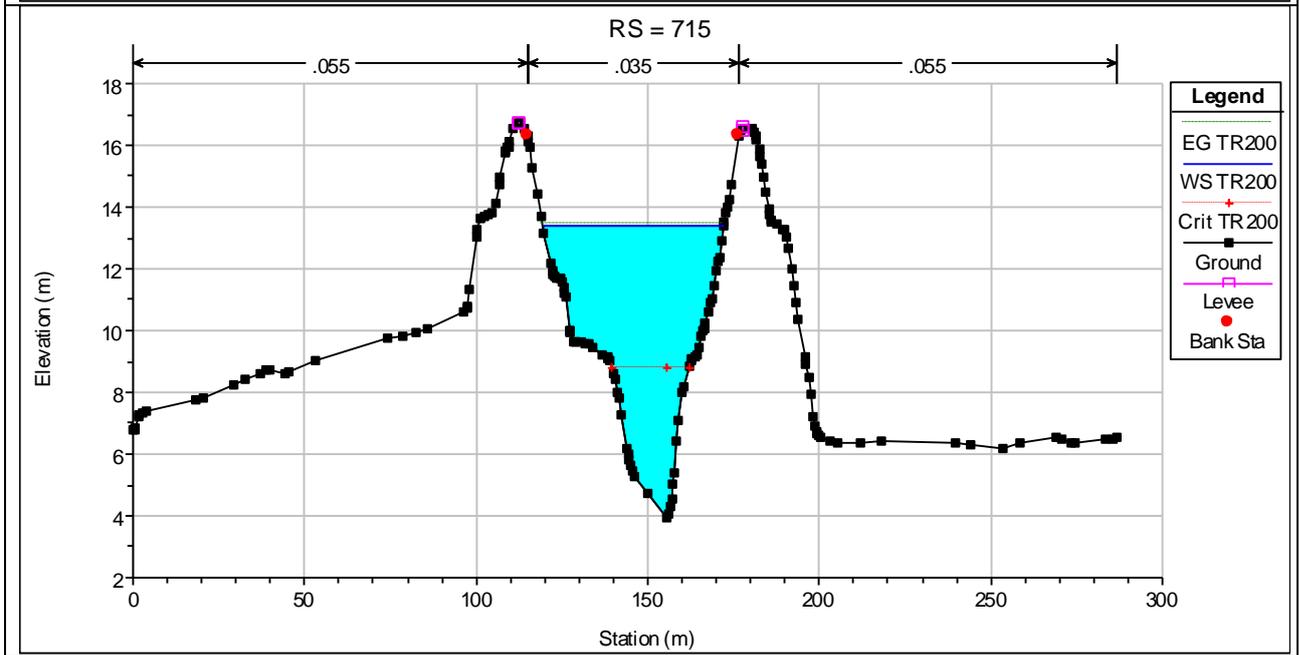
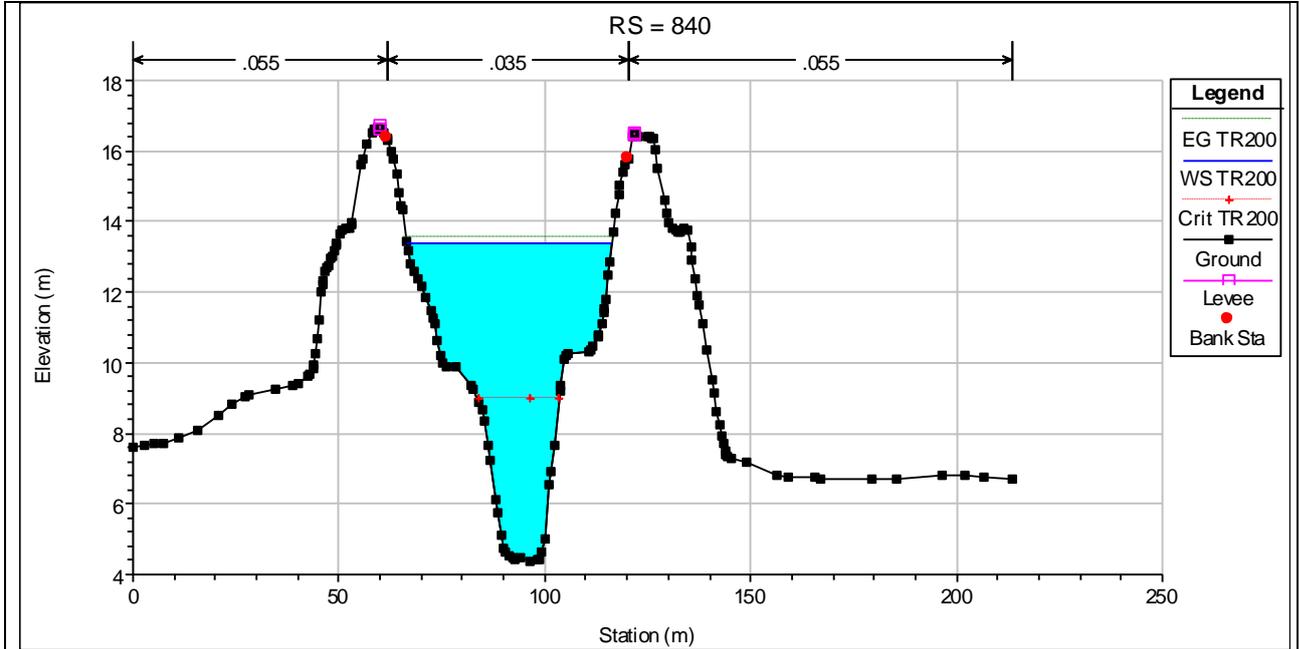
	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75bar	Fg. 30 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058



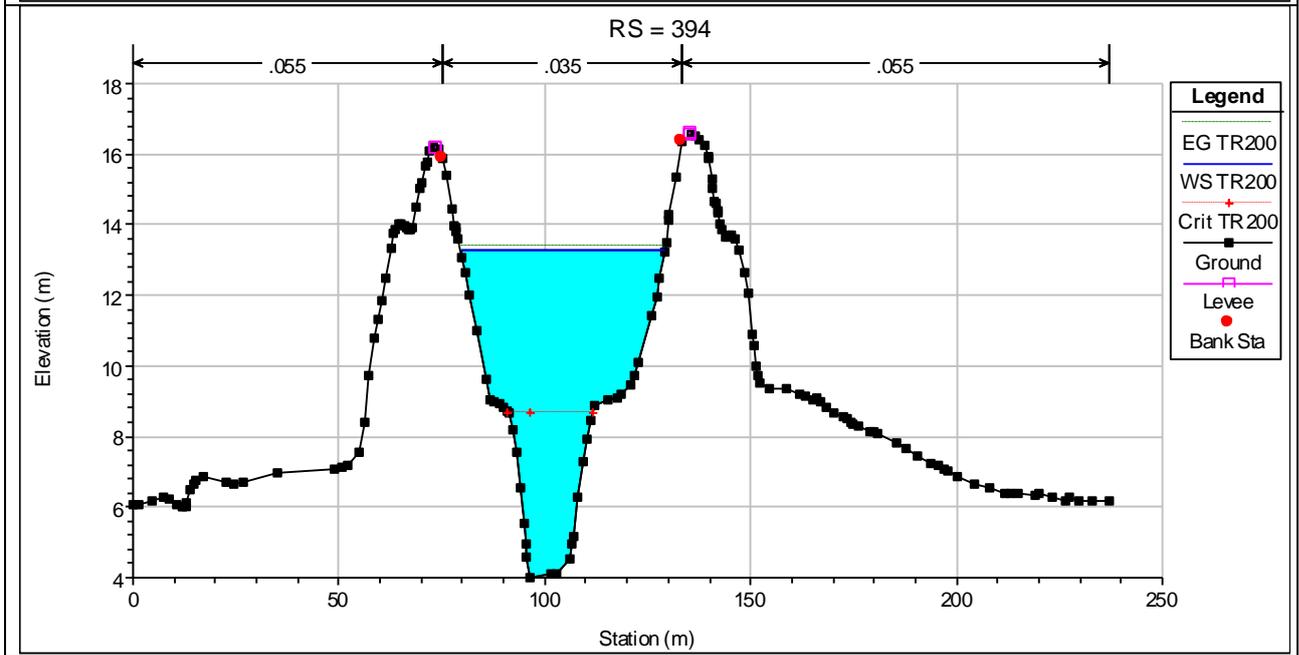
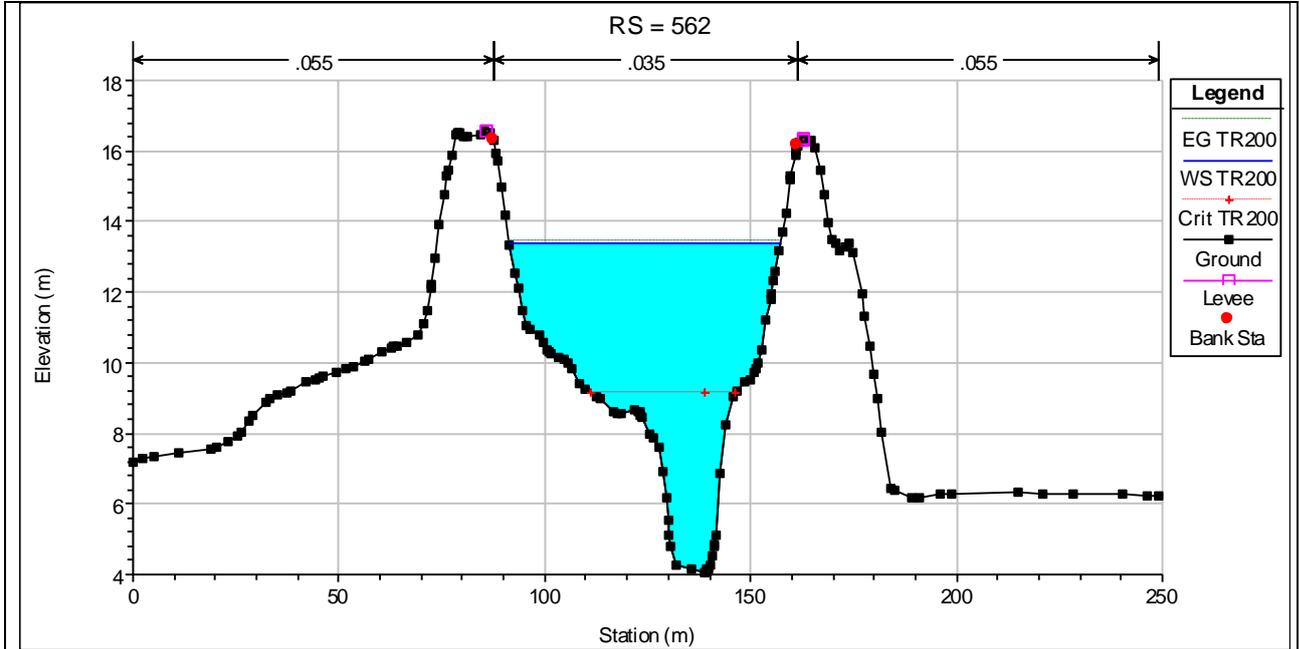
	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75bar	Fg. 31 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058



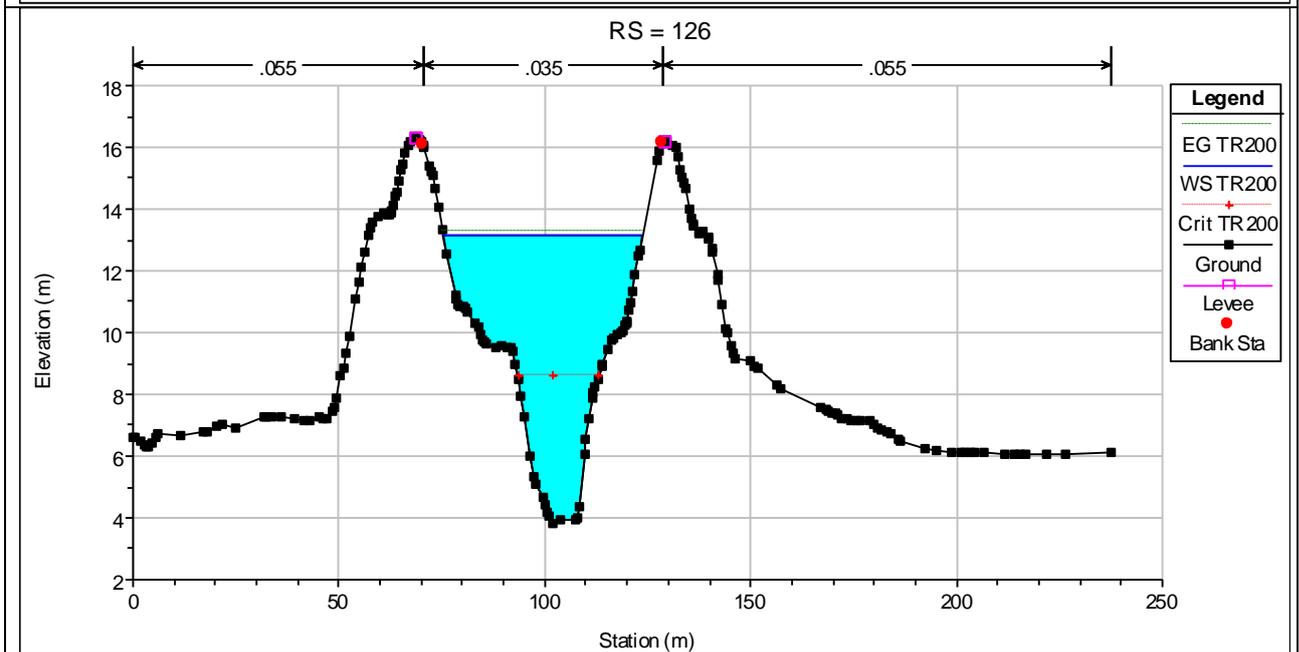
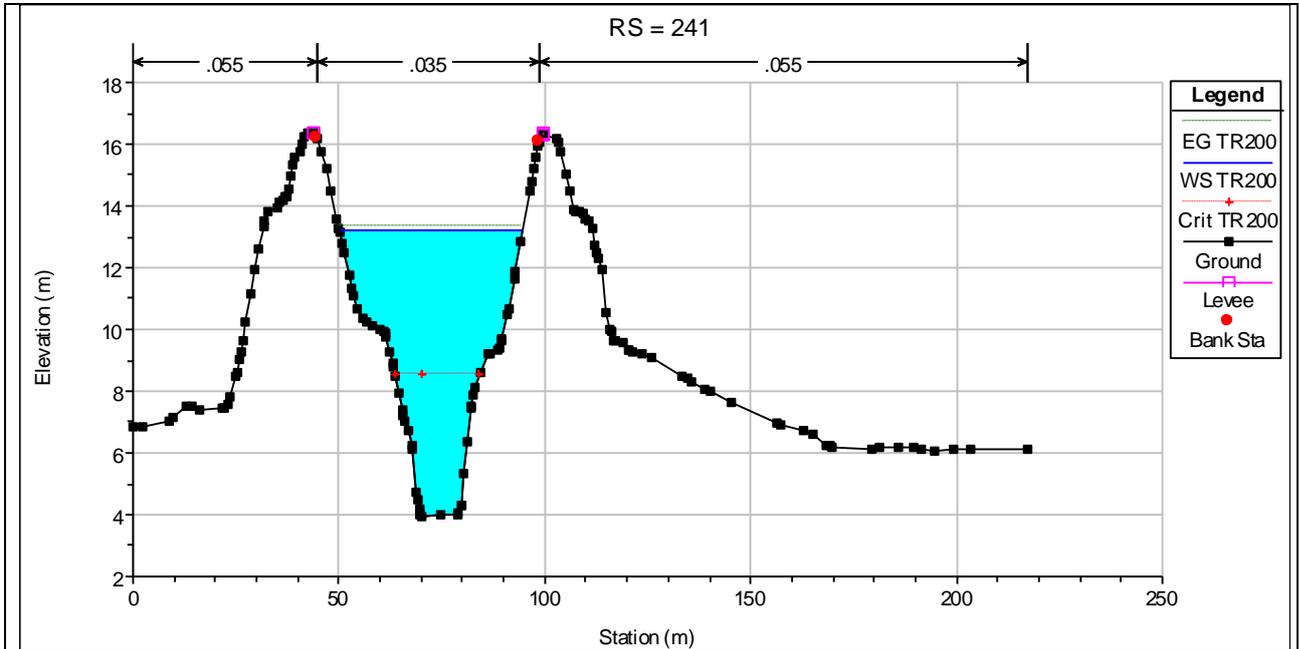
	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75bar	Fg. 32 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058



	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75bar	Fg. 33 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058



	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 34 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

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 rappresentative per illustrare i risultati delle elaborazioni.

Pertanto, dall'esame dei risultati della simulazione idraulica, si rileva che nel tronco idraulico analizzato la sezione d'alveo risulta in grado di contenere la portata di progetto. Le velocità di deflusso in alveo della corrente, in concomitanza dell'evento di piena considerato, assumono in generale dei valori di circa 1,5 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 NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 35 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

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.).

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 36 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

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.

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.

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

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 37 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

Arature di fondo

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

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

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

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:

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

Questo algoritmo è riferito alla situazione di alvei incisi e può essere ritenuta valida anche nei casi dei corsi d'acqua arginati.

Tuttavia, per alvei particolarmente pensili e ristretti, ossia dove l'altezza degli argini nei confronti del piano campagna è maggiore del 10÷15% della larghezza complessiva d'alveo (distanza tra i cigli interni dei 2 argini prospicienti), si è visto che l'applicazione della formula sopra proposta comporta il conseguimento di risultati troppo sovrabbondanti e del tutto inverosimili. In detti casi, pertanto, si utilizza l'algoritmo di seguito riportato, dall'applicazione del quale comunque derivano risultati ritenibili conservativi.

$$Z = h_o / 3$$

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 NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 38 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

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/m^3);
- γ_w è il peso specifico dell'acqua, considerata, per semplicità, limpida.

Considerazioni sui metodi di calcolo impiegati

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

Sulla base delle esperienze acquisite, ossia sulla base dei riscontri conseguiti nel tempo, i risultati sono assolutamente positivi. Infatti, dall'analisi storica, problematiche di erosioni in alveo che hanno determinato la scopertura di condotte si sono verificate solo in rarissimi casi correlabili a situazioni estremamente particolari e non previste 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, eventualmente unitamente all'individuazione di franchi di sicurezza (valutati anche in funzione delle condizioni peculiari rilevati nel contesto d'intervento), consentono di garantire all'infrastruttura lineare in progetto condizioni di sicurezza adeguate nei confronti dei processi erosivi di fondo alveo.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75bar	Fg. 39 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

6.3 Stima dei massimi approfondimenti attesi in alveo

Le valutazioni dei fenomeni erosivi sono state eseguite in riferimento all'evento di piena di progetto 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)
1375	357	357.00	1.54	46.91	4.96	7.61	5.08	1.95	1.65
1175	357	357.00	1.5	46.67	5.09	7.65	5.20	1.97	1.70
1012	357	357.00	1.49	51.71	4.63	6.90	4.74	1.83	1.54
840	357	357.00	1.54	50.10	4.64	7.13	4.76	1.85	1.55
715	357	357.00	1.38	52.75	4.89	6.77	4.99	1.86	1.63
562	357	357.00	1.14	65.65	4.75	5.44	4.82	1.72	1.58
394	357	357.00	1.43	49.63	5.03	7.19	5.13	1.92	1.68
241	357	357.00	1.63	44.46	5.1	8.03	5.24	2.01	1.70
126	357	357.00	1.53	48.36	4.81	7.38	4.93	1.90	1.60

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.

Tab.6.3/B: Diametro limite dei clasti trasportabili

River Station	Shear Chan (N/m ²)	Diametro limite clasti trasportati (m)
1375	17.11	0.02
1175	16.28	0.02
1012	16.51	0.02
840	17.61	0.02
715	13.95	0.02
562	9.6	0.01
394	14.83	0.02
241	21.5	0.03
126	17.36	0.02

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 40 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

6.4 Sintesi dei risultati

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 dell'ordine dei 2 m.

La corrente, inoltre, nel tratto in esame risulta potenzialmente in grado di movimentare dei “clasti liberi” del diametro di inferiore a 5 cm.

6.5 Considerazioni aggiuntive

I valori di erosione di fondo alveo individuati nel presente capitolo (di norma implementati con opportuni franchi di sicurezza, stabiliti anche in relazione alle peculiarità del contesto) rappresentano dai valori minimi di riferimento per l'individuazione della copertura d'alveo del metanodotto.

Tuttavia la conoscenza delle erosioni in alveo costituisce una informazione necessaria, ma talvolta non sufficiente per stabilire l'effettiva copertura della condotta.

Difatti, in molti casi, i valori di copertura vengono stabiliti anche in funzione di situazioni individuate localmente in ambito fluviale (ad esempio la presenza di soglie naturali e/o l'esistenza di difese trasversali), in considerazione delle scelte progettuali inerenti alle opere di presidio idraulico (ad esempio la previsione di realizzare delle opere di protezione d'alveo) ed in considerazione della metodologia costruttiva prevista per l'attraversamento (in tal senso si evidenzia che nel caso è previsto l'impiego di talune tecniche trenchless, le stesse, per la corretta esecuzione dei lavori, implicano “a priori” dei valori di coperture generalmente significative).

Entrando nello specifico, per l'attraversamento in subalveo di corsi d'acqua arginati mediante delle tecniche in trenchless (come nel caso in esame), le specificità delle suddette metodologie operative di posa della condotta, nonché le verifiche a sifonamento, presuppongono e determinano dei valori di copertura sensibilmente superiori nei confronti delle erosioni stimate in alveo.

Pertanto, per l'individuazione dell'effettivo valore di copertura in subalveo considerato nell'attraversamento in esame (derivante da una sintesi delle considerazioni citate nel presente paragrafo) si rimanda a quanto esplicitato nel seguito.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 41 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

7 METODOLOGIA COSTRUTTIVA E SCELTE PROGETTUALI

7.1 Metodologia costruttiva: Microtunnel

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, geologiche, ambientali, geometriche ed idrauliche dell'ambito d'attraversamento ha condotto alla individuazione del sistema di attraversamento mediante trivellazione con la tecnica del “microtunnelling”, prevedendo l'utilizzo di una fresa a scudo chiuso, con bilanciamento di pressione in testa.

Tale sistema operativo è stato individuato nel caso specifico in considerazione della presenza di rilevati arginali di delimitazione della regione fluviale, delle caratteristiche idrologiche del corso d'acqua, e dell'assetto litostratigrafico dell'ambito in esame.

Detta tecnica costruttiva, oltre a salvaguardare dalle operazioni di scavo i corpi arginali, consente di evitare le interferenze con il regime idraulico del corso d'acqua (anche durante le fasi costruttive) e sostanzialmente di eliminare gli impatti sul territorio della regione fluviale.

7.2 Configurazioni geometriche di progetto

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

È 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.

Geometria d'attraversamento

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

Le principali caratteristiche geometriche del tunnel sono:

- lunghezza dello sviluppo complessivo del microtunnel: di 384 metri (di cui 336m circa relativamente al tratto curvilineo e complessivamente circa 48m per i due brevi tratti rettilinei di estremità);
- diametro interno del microtunnel: 2000mm;
- raggio di curvatura del tratto curvilineo pari a 1600m;
- copertura minima della generatrice superiore del tunnel dalle quote di fondo dell'alveo attivo: **circa 13,20 metri**;
- distanza verticale minima della trivellazione dal piede esterno del rilevato arginale: maggiore di 16 metri (nel lato in destra idrografica);
- postazione di partenza (di spinta): in sinistra idrografica del fiume (lato valle senso gas), con profondità del pozzo di circa 9m dal piano campagna. Distanza

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 42 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

dal piede esterno dell'argine sinistro di oltre 130m (misurata lungo lo sviluppo della trivellazione);

- postazione di arrivo (di recupero): in destra idrografica del fiume (lato monte senso gas). Distanza dal piede esterno dell'argine destro di circa 130m (misurata lungo lo sviluppo della trivellazione);

Tale configurazione di progetto consente di realizzare il tunnel ad adeguate profondità sia nei confronti del fondo alveo, che dai manufatti esistenti in superficie (rilevati arginali); 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 (DIS. 10-LB-8C-81840).

7.3 Descrizione della tecnica del microtunnelling

7.3.1 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.

7.3.2 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

È 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.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 43 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

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.
- 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

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 44 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

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.
- **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 dei conglomerati cementizi additivati e/o alleggeriti oppure miscele di tipo bentonitico.

7.3.3 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.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 45 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

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 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.

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.

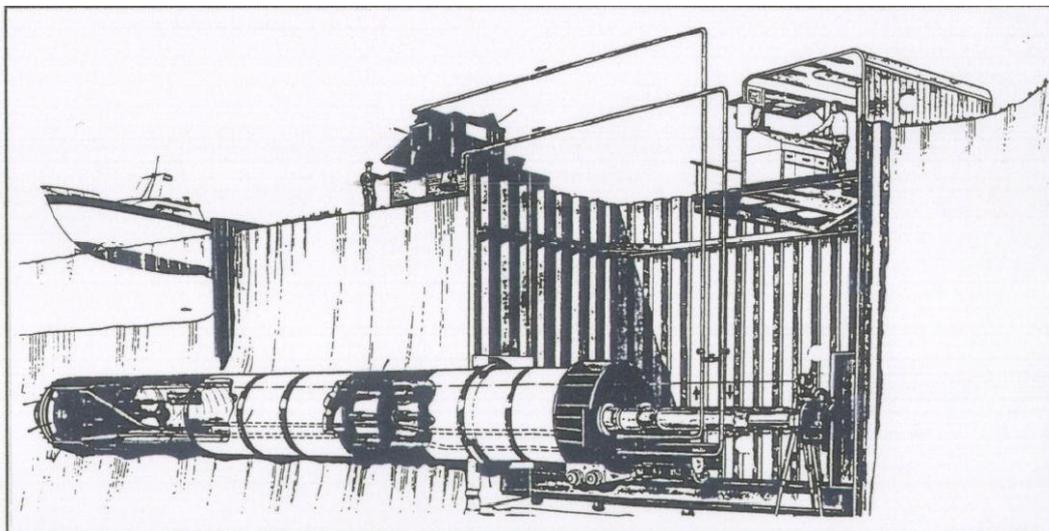


Fig.7.3/A: Schema del sistema di trivellazione con microtunnel

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 46 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

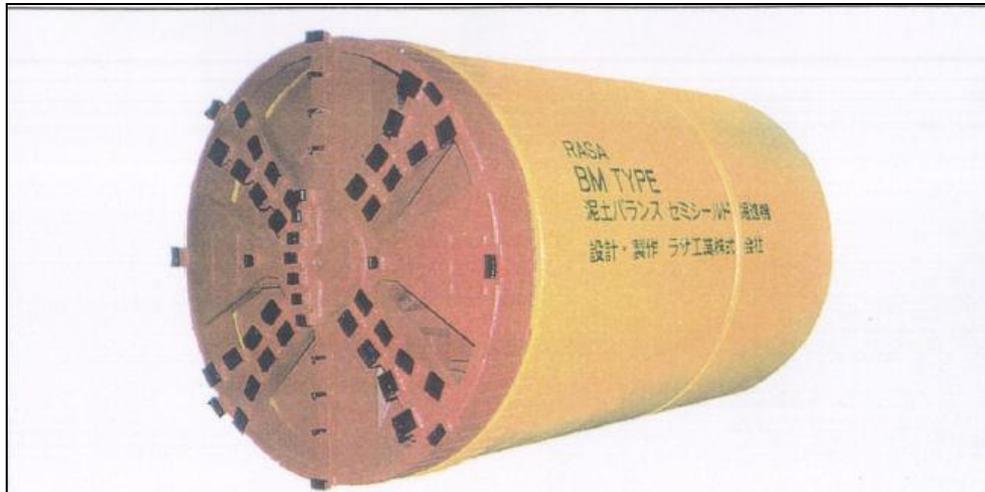


Fig.7.3/B: Scudo con bilanciamento pressione meccanica del terreno (microtunneller)

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 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.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 47 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

Le saldature del tratto di condotta in attraversamento saranno tutte controllate 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 ad 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.

Intasamento del minitunnel

Al termine delle operazioni precedenti, si procederà all'intasamento totale del microtunnel mediante l'utilizzo di speciali miscele intasanti.

Le operazioni di intasamento avverranno trasportando la miscela intasante attraverso uno o più tubi in PEAD di diametro variabile tra i 100 e i 150 mm opportunamente fissati con centine alla volta del microtunnel. I tubi verranno installati nel microtunnel subito dopo la sua realizzazione.

Ultimate le operazioni di intasamento entrambe le estremità del tunnel saranno sigillate con tappi in calcestruzzo.

Le miscele intasanti che saranno utilizzate potranno essere essenzialmente di due tipi:

- a) miscele di bentonite, acqua e cemento;
- b) miscele a base di sabbia, cemento, acqua;

Entrambe le miscele assicurano l'intasamento dell'intercapedine senza la formazione di cavità e/o tratti vuoti.

Prima dell'inizio delle operazioni di intasamento saranno eseguite delle prove per individuare la composizione ottimale della miscela prescelta in relazione ai parametri di fluidità nella fase di posa in opera, la rapidità della presa, il basso ritiro volumetrico e la resistenza a compressione.

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.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 48 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

7.3.4 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.

Stabilità per “filtrazione” a lungo termine

Le motivazioni espresse 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).

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 49 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

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

- le elevate profondità di posa del tunnel presuppongono percorsi preferenziali di filtrazione lungo il suo profilo molto più lunghi di quelli che si avrebbero naturalmente (in assenza del tunnel);

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

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

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

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 50 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

8 ANALISI DELLA PROBLEMATICHE DEL SIFONAMENTO

8.1 Premessa

Poiché in corrispondenza dell'ambito di attraversamento in esame si rileva la presenza di rilevati arginali che si elevano in maniera molto significativa nei confronti del piano campagna circostante, nel presente capitolo viene presa in esame la problematica del sifonamento, connessa alla metodologia di trivellazione individuata, alla geometria di posa in subalveo prevista in progetto, nonché alla natura dei terreni intercettati nel sottosuolo.

8.2 Generalità

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

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

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

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

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

8.3 Metodologie di calcolo

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

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

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 51 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

Nelle condizioni ordinarie per le quali le trivellazioni sono giudicate fattibili si può senz'altro escludere la possibilità che, a lungo termine, attorno alla condotta possa configurarsi, in modo continuo lungo il profilo di trivellazione, una fascia di terreno che rispetto a quello in situ possa rappresentare una “via preferenziale” per i moti di filtrazione delle acque di sub-alveo.

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

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

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

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

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

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

Le metodologie di calcolo di seguito utilizzate sono i seguenti:

- Metodo del gradiente
- Metodo di Lane
- Metodo olandese

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

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 52 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

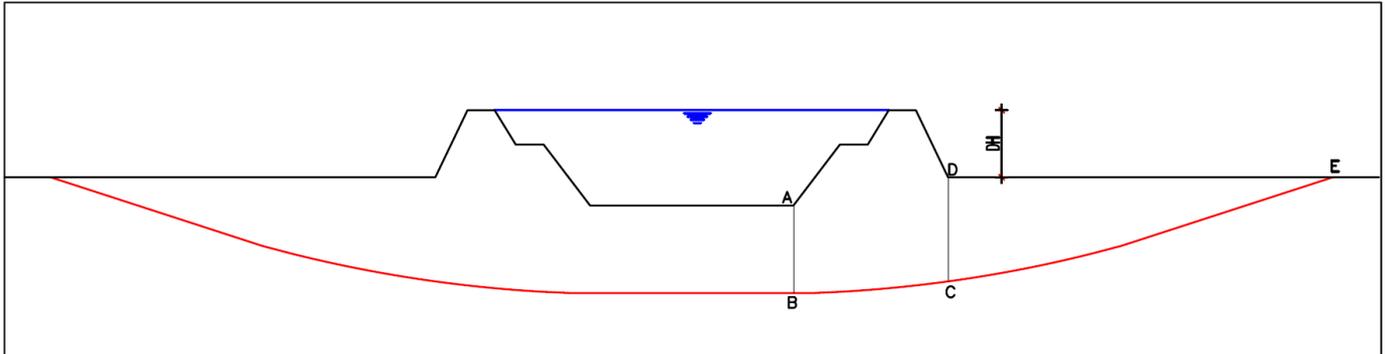


Fig. 8.3/A: Sezione schematica per le verifiche al sifonamento

Metodo del gradiente

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

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

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

dove:

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

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

$$i = \Delta h / L$$

Il fattore di sicurezza nei confronti del sifonamento risulta pertanto:

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

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

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 53 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

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

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

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

Fig. 8.3/B: Stralcio NTC 2018 – 6.2.4.2

Criterio di Lane

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

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

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

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

Nel caso di terreni significativamente stratificati, il coefficiente di sicurezza può essere valutato effettuando una media ponderata dei valori proposti in tabella per ciascuna tipologia di terreno, in funzione degli sviluppi di trivellazione ricadenti in ciascuno strato interessato. Nello specifico in considerazione delle tipologie di terreni individuati nella campagna geognostica (costituiti in prevalenza da argille, tuttavia con presenza di livelli di limi sabbiosi e di sabbie limose – si veda par.3.3), si assume, in maniera prudenziale, un coefficiente di Lane pari 4,5.

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

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 54 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

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

Metodo olandese

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

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

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

Per ulteriore cautela, al fine di tenere conto anche dell'eventuale scadimento delle proprietà dei terreni lungo la zona trivellata, il tratto orizzontale viene ulteriormente penalizzato di un fattore 2, così da portare ad 1/6 il peso della sua lunghezza di filtrazione, mentre il percorso nel rilevato arginale viene penalizzato solo di un fattore 3. L'effetto turbativo dovuto dalla presenza della perforazione nel tratto orizzontale viene tenuto in conto dal fattore riduttivo di 1/6 da applicarsi ai percorsi di filtrazione nella direzione orizzontale.

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

8.4 Risultati

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

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

I risultati dei calcoli sono stati riportati nella tabella seguente.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 55 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

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

		CARATTERISTICHE GEOMETRICHE						
CORSO D'ACQUA	ARGINE	PERCORSI IDRICI						BATTENTE
		AB	BC	CD	CE	AD	DH	
FIUME LAMONE	Argine dx	14.56	43.19	16.40	>>AD	43.23	9.83	
	Argine sx	13.45	49.30	20.41	>>AD	50.07	5.91	
		RISULTATI VERIFICHE AL SIFONAMENTO						
METODO GRADIENTE		CRITERIO DI LANE			METODO OLANDESE			
$L=AB+1/2BC+CD$	$Fs=i_{cr} \cdot L/DH$	$L=AB+1/3BC+CD$	$Flane$	$Fs (>Flane)$	$L=AB+1/6BC+CD$	$Larg=AD/3$	$Fs=L/Larg$	
52.56	3.21	45.36	4.5	4.61	38.16	14.41	2.65	
58.51	5.94	50.29	4.5	8.51	42.08	16.69	2.52	
	>=3			>=Flane			>1	

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

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

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 56 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

9 VALUTAZIONI INERENTI ALLA COMPATIBILITA' IDRAULICA

9.1 Premessa

L'ambito fluviale specificatamente in esame nel presente elaborato è collocato all'interno del territorio dell'ex Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli, la quale è stata soppressa (ai sensi del DM 25/10/2016 del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare - MATTM), ed è attualmente confluita (con trasferimento delle competenze), come Unit of Management (UoM ITR081 - Unità di Gestione, ambito territoriale di riferimento), nell'Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po.

9.2 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.

9.2.1 Criteria 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.

9.2.2 Strumenti di "Pianificazione territoriale"

Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA)

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.

Per quanto concerne alle aree potenzialmente inondabili per effetto dell'esondazione dei corsi d'acqua naturali ricadenti nel territorio della UoM "Regionali Romagnoli" e per l'individuazione delle azioni finalizzate alla riduzione della pericolosità e del valore e della vulnerabilità degli elementi esposti a rischio, nel PGRA vengono recepiti gli elaborati del PAI (redatto dell'ex Autorità di Bacino), in considerazione delle modalità illustrate nella "Relazione per la Variante di coordinamento tra il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni e il Piano Stralcio per il Rischio". Pertanto gli elaborati del PAI continuano ad applicarsi, sia come norme, che come perimetrazioni.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 57 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico dei Bacini Regionali Romagnoli

Il "Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico dei Bacini Regionali Romagnoli", che affronta in maniera organica per tutto il territorio di competenza le tematiche del rischio idraulico (Titolo II) e del dissesto dei versanti (Titolo III), è stato adottato in forma di progetto fin dal 27 aprile del 2001 ed approvato dalla Giunta Regionale il 17 marzo 2003 (DGR 350/2003).

La "Direttiva inerente le verifiche idrauliche e gli accorgimenti tecnici da adottare per conseguire gli obiettivi di sicurezza idraulica definiti dal Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico", ha completato il quadro della pianificazione, è stata approvata dal Comitato Istituzionale il 20 ottobre 2003.

Tale piano è stato oggetto di successive varianti, soprattutto di carattere locale ma in qualche caso anche di carattere generale. Per quanto riguarda l'assetto della rete idrografica, fra queste ultime varianti spicca, per importanza, la "Variante cartografica e normativa al Titolo II: Assetto della rete idrografica", approvata dalla Giunta Regionale il 19 dicembre 2011 (DGR 1877/2011).

Infine, si segnala che il Piano, con delibera 2/2 del 7/11/2016, è stato oggetto di Variante cartografica e normativa di "Coordinamento PAI-PGRA" tra il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni e il Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico. La Variante è stata approvata con Delibera Giunta Regionale n. 2112 del 05 dicembre 2016.

Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP) di Forlì - Cesena e di Ravenna

Il Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale di Forlì – Cesena è stato approvato con Delibera del Consiglio Provinciale n.68886/146 del 14/09/2006.

La variante integrativa al piano provinciale è stata adottata con delibera di Consiglio Provinciale n. 29974/42 del 30/03/2009 ed approvata con delibera del Consiglio Provinciale n. 70346/146 del 19/07/2010, entrata in vigore il giorno 4/08/2010.

Il Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale della Provincia di Ravenna è redatto secondo le disposizioni della L.R. 20/2000 e ss. mm. e ii.

Con deliberazione del Consiglio Provinciale n. 24 del 22 marzo 2011 è stata approvata la variante al PTCP in attuazione del Piano di Tutela delle Acque (approvato dalla Regione Emilia-Romagna con delibera dell'Assemblea Legislativa Regionale 21/12/05 n. 40).

9.2.3 Disposizioni e Misure di salvaguardia in ambiti a pericolosità idraulica

Disciplina del Piano di Gestione Rischio Alluvioni PGRA dell'Autorità di Bacino Distrettuale del fiume Po

La Disciplina del Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA) dell'Autorità di Bacino Distrettuale del fiume Po, stabilisce che per gli ambiti censiti a pericolosità da alluvioni nel PGRA vengano considerate le misure di salvaguardia previste nelle N.A. dei PAI).

I Decreti del Segretario Generale 291 e 292 del 10 Settembre del 2020 dispongono che per le aree che potrebbero essere interessate da alluvioni oggetto di nuova individuazione nell'aggiornamento delle "Mappe della pericolosità e del rischio alluvioni" del Distretto idrografico del fiume Po, si applicano le disposizioni di cui al Titolo V delle NA del PAI del Po, di cui alla Parte Terza delle NA del PAI Delta, e di cui alle NA dei PAI dei Bacini Reno, Romagnoli e Conca Marecchia nonché alle successive "Variante di Coordinamento tra il Piano Gestione Rischio Alluvioni e i Piani Stralcio di bacino".

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 58 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

Norme di Piano PAI - Sintesi dei contenuti

La tematica del rischio idraulico nel territorio di competenza è regolamentata nell'ambito del Titolo II della Normativa del "Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico" dell'Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli (testo coordinato con gli adeguamenti introdotti dalla "Variante di coordinamento PAI-PGRA" - DGR 2112/2016).

Nell'ambito delle definizioni riportate nell'art.2 della Normativa, si riportano alcune di quelle maggiormente significative per gli argomenti in esame (definizioni integrate con le informazioni desunte dalla Relazione di Variante di coordinamento PAI-PGRA):

-) Alveo (Art.2 ter): quale ambito territoriale di maggiore tutela. Spazio di terreno nel quale defluisce la piena ordinaria; è costituito da una porzione incisa, interessata dalle portate più modeste, da aree di espansione, esterne all'alveo inciso, inondabili con piene ordinarie e da porzioni di territorio, morfologicamente appartenenti al corso d'acqua, potenzialmente riattivabili o interessabili dalle sue naturali divagazioni; per i corpi idrici arginati costituiscono parte integrante dell'alveo anche le arginature fino al loro piede esterno;

-) Aree ad elevata probabilità di esondazione (Art.3): spazio di terreno interessabile dalla piena di progetto con tempo di ritorno (TR) non superiore a 30 anni, valutato convenzionalmente con le procedure di analisi adottate dall'Autorità di Bacino.

-) Aree a moderata probabilità di esondazione (Art.4): spazio di terreno interessabile esclusivamente dalla piena di progetto con tempo di ritorno (TR) non superiore a 200 anni, valutato convenzionalmente con le procedure di analisi adottate dall'Autorità di Bacino.

-) Aree di potenziale allagamento (Art.6): aree interessabili da allagamenti per insufficienza del reticolo dei corsi d'acqua minori e di bonifica; nelle aree di potenziale allagamento sono comprese anche le aree nelle quali si possono verificare allagamenti per fuoriuscita delle piene dei corsi d'acqua principali di pianura, in corrispondenza di piene con tempo di ritorno non superiore ai 200 anni, a seguito del sormonto degli argini, al di fuori della fascia interessata da effetti dinamici connessi al collasso di arginature;

Nell'ambito dell'art 2ter vengono disciplinati gli interventi consentiti all'interno degli alvei. In particolare nel comma 1 viene stabilito che all'interno degli alvei vigono le prescrizioni stabilite nei art. 18 delle norme dei PTCP delle Province di Forlì-Cesena e Ravenna.

Inoltre l'art 2ter, comma 2 cita che: Tutti gli interventi attuati all'interno dell'alveo e delle aree di espansione inondabili, che provochino una modifica della morfologia dello stesso od occupazione di spazio interessabile dalle acque, devono essere sottoposti ad adeguate verifiche idrauliche preliminari, da compiersi in base alle norme tecniche di cui al comma 4 del successivo articolo 7

Nell'ambito dell'art 3 vengono disciplinati gli interventi consentiti all'interno delle Aree ad elevata probabilità di esondazione.

In particolare nel comma 3 viene stabilito che è consentito in detti ambiti la realizzazione delle infrastrutture pubbliche o di interesse pubblico (e dei relativi manufatti di servizio) riferiti a servizi essenziali e non delocalizzabili, a condizione che essi non aumentino sensibilmente il livello di rischio comportando significativo ostacolo al deflusso o riduzione apprezzabile della capacità di invaso delle aree stesse e non precludano la possibilità di eliminare le cause che determinano le condizioni di rischio.

I progetti relativi ai suddetti interventi dovranno essere corredati da un adeguato studio di compatibilità idraulica che dovrà ottenere l'approvazione dell'autorità idraulica competente. I

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 59 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

criteri per la redazione degli studi di compatibilità idraulica sono stabiliti dall'Autorità di Bacino con apposite norme tecniche ai sensi del comma 4 del successivo articolo 7.

Nell'ambito dell'art 4 vengono regolamentate le Aree a moderata probabilità di esondazione. In particolare nel comma 2 viene stabilito che l'uso delle aree a moderata probabilità di inondazione andrà regolamentato in sede di revisione degli strumenti urbanistici dai Comuni tenendo conto, compatibilmente con la presenza di centri abitati, di salvaguardare ed eventualmente ampliare le aree di naturale espansione al fine:

-) di mantenere e migliorare le condizioni di funzionalità idraulica del corso d'acqua in relazione alla capacità di invaso e laminazione delle piene delle aree predette anche in rapporto agli effetti sulla condizione di deflusso della rete idrografica di valle;
-) di mantenere e migliorare le caratteristiche naturali e ambientali dei siti.

Nell'ambito dell'art 6 vengono regolamentate le Aree di potenziale allagamento. In particolare nei commi 2, 3, 4 e 5 viene stabilito quanto di seguito riportato.

2. Al fine di ridurre il rischio nelle aree di potenziale allagamento la realizzazione di nuovi manufatti edilizi, opere infrastrutturali, reti tecnologiche, impiantistiche e di trasporto di energia sono subordinate all'adozione di misure in termini di protezione dall'evento e/o di riduzione della vulnerabilità.

3. I Comuni il cui territorio ricade nelle aree di potenziale allagamento provvedono a definire e ad applicare tali misure in sede di revisione degli strumenti urbanistici comunali vigenti, e nel caso di adozione di nuove varianti agli stessi.

4. L'Autorità di Bacino definisce, con la "Direttiva per le verifiche e il conseguimento degli obiettivi di sicurezza idraulica", approvata con Delibera Comitato Istituzionale n. 3/2 del 20/10/2003 e s. m. e i., i tiranti idrici di riferimento e fornisce indicazioni riguardo agli accorgimenti tecnico-costruttivi e ai diversi gradi di cautela da adottare in funzione dei tiranti idrici di riferimento.

5. Le previsioni degli strumenti urbanistici vigenti vengono attuate tenendo conto delle indicazioni di cui al presente articolo. In particolare, in sede di approvazione dei progetti e di autorizzazione degli interventi i Comuni, prescrivono l'adozione di tutti gli accorgimenti tecnico-progettuali di cui ai commi 3 e 4, necessari a evitare o limitare l'esposizione dei beni e delle persone a rischi connessi all'esondazione.

Nell'ambito dell'art 7 vengono regolamentati gli attraversamenti dell'alveo e delle pertinenze fluviali dei corsi d'acqua. In particolare nei commi 1, 3, 4 e 5 viene stabilito, rispettivamente, quanto di seguito riportato.

1. In riferimento alle analisi idrologiche predisposte per la redazione del piano, l'Autorità di Bacino prescrive le portate minime di riferimento per la progettazione degli attraversamenti. Salvo diverso avviso, da motivarsi in relazione a specifiche condizioni locali, la portata di riferimento di progetto per tutti i nuovi attraversamenti è quella con tempo di ritorno 200 anni, e viene valutata per i corsi d'acqua maggiori con il metodo di regionalizzazione di cui all'allegato 2 della Relazione Tecnica - Rischio Idraulico, e per i corsi d'acqua minori (bacino drenato inferiore ai 10 kmq) con la formula razionale di cui all'allegato 2 della Relazione Tecnica - Rischio Idraulico del Piano Stralcio Rischio Idrogeologico, impiegando le curve di possibilità climatica di cui all'allegato 1. Le Autorità idrauliche competenti verificano il rispetto della portata di riferimento nel progetto degli attraversamenti e subordinano l'autorizzazione a tale verifica.

3. I nuovi attraversamenti realizzati devono essere compatibili con la piena di riferimento definita dall'Autorità di Bacino come detto.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 60 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

4. Nella "Direttiva per le verifiche e il conseguimento degli obiettivi di sicurezza idraulica", approvata con Delibera Comitato Istituzionale n. 3/2 del 20/10/2003 sono specificate le norme tecniche a cui devono attenersi i progettisti degli attraversamenti.

5. Nuovi attraversamenti di qualunque tipo interessanti il tratto arginato non devono avere comunque la quota di sottotrave al di sotto della quota di sommità arginale ed altresì devono prevedere, in maniera commisurata al tipo di attraversamento, opere atte a massimizzare il grado di sicurezza di un significativo tratto del corso d'acqua indicato dall'Autorità idraulica competente.

Nell'art.10 delle Norme vengono trattate le "distanze di rispetto dai corpi idrici". Ossia:

1. I Comuni del territorio di pianura attraversato da corpi idrici arginati, in sede di revisione dei propri strumenti urbanistici, devono localizzare le previsioni insediative ad una distanza minima dal piede esterno delle arginature dei corsi d'acqua principali di pianura, come definiti nell'art. 2, tale per cui risultino esterni alla zona di rischio per effetto dinamico del crollo arginale, definita dall'allegato 7 alla "Direttiva per le verifiche e il conseguimento degli obiettivi di sicurezza idraulica", approvata con Delibera Comitato Istituzionale n. 3/2 del 20/10/2003 e s.m. e i.; tale zona è riportata cartograficamente nelle tavole del Piano; eventuali deroghe, subordinate alla verifica delle arginature secondo modalità da concordare di concerto fra il Comune e l'Autorità idraulica competente, potranno essere concesse in sede di approvazione del Piano Strutturale Comunale ai sensi dell'art. 32 della L.R. 20 del 24 marzo 2000.

2. Per una distanza dal piede esterno degli argini dei corsi d'acqua principali di pianura, come definiti nell'art. 2, pari a metri 30, è comunque vietata ogni nuova costruzione. In tale fascia di rispetto sono consentiti unicamente gli interventi di cui al 2° comma dell'art. 3 delle presenti norme.

3. Per i canali di bonifica si applicano le distanze definite dal R.D. 8 maggio 1904, n.368, come specificate dai vigenti regolamenti consorziali di polizia idraulica.

Norme di Attuazione PTCP Provincia Forlì Cesena - Sintesi dei contenuti

Nell'art.18 delle Norme del PTCP vengono individuate le misure di salvaguardia pe "Invasi ed alvei di laghi, bacini e corsi d'acqua". Ovvero:

1. Nelle tavole contrassegnate dal numero 2 del presente Piano, sono individuati e perimetrati gli invasi ed alvei di laghi, bacini e corpi idrici superficiali che presentano caratteri di significativa rilevanza idraulica, morfologica e paesistica, intesi come sede prevalente, per la piena di riferimento, del deflusso corrente, ovvero costituita dall'insieme delle forme fluviali riattivabili durante gli stati di piena comprendenti:

a) la fascia di deflusso della piena dei fiumi individuati dal precedente art. 17;

b) i corsi d'acqua artificiali della pianura;

c) gli altri corsi d'acqua naturali classificati torrenti e rii dalla CTR, individuati anche ai sensi del terzo comma dell'art. 34 delle Norme del P.T.P.R.;

d) gli invasi ed alvei di laghi e bacini, individuati nelle tavole suddette.

2. Per le aree ricadenti nelle zone di cui al primo comma si applicano le prescrizioni di cui al terzo, quarto, quinto e settimo comma, gli indirizzi di cui al sesto comma.

3. Negli invasi ed alvei di cui al comma 1 lettera a) sono comunque vietate:

a) le attività di trasformazione dello stato dei luoghi, sotto l'aspetto morfologico, idraulico, infrastrutturale, edilizio che non siano strettamente connesse alle finalità di cui al successivo comma quarto, e/o coerenti con le disposizioni del presente articolo;

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 61 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

b) l'apertura di discariche pubbliche e private, il deposito di sostanze pericolose e di materiali a cielo aperto (edilizio, rottami, autovetture e altro), nonché di impianti di smaltimento dei rifiuti, compresi gli stoccaggi provvisori, con l'esclusione di quelli temporanei conseguenti ad attività estrattive autorizzate.

4. Negli invasi ed alvei di cui al primo comma sono ammessi esclusivamente interventi finalizzati a:

a) gli interventi volti alla ricostituzione degli equilibri naturali alterati e alla eliminazione, per quanto possibile, dei fattori incompatibili di interferenza antropica;

b) le occupazioni temporanee se non riducono la capacità di portata dell'alveo, realizzate in modo da non arrecare danno o da risultare di pregiudizio per la pubblica incolumità in caso di piena.

5. Negli ambiti di cui al primo comma sono ammesse esclusivamente, nel rispetto di ogni altra disposizione di legge o regolamentare in materia, e comunque previo parere favorevole dell'ente od ufficio preposto alla tutela idraulica:

a) la realizzazione delle opere connesse alle infrastrutture ed attrezzature di cui ai commi settimo, ottavo, nono (lettere d) ed e)) e tredicesimo comma, del precedente articolo 17, fermo restando che per le infrastrutture lineari e gli impianti, non completamente interrati, può prevedersi esclusivamente l'attraversamento in trasversale;

b) omesso

c) omesso

d) l'effettuazione di opere idrauliche, sulla base di piani, programmi e progetti disposti dalle autorità preposte.

6. Gli interventi finalizzati alla difesa idraulica, alla manutenzione di invasi ed alvei e comunque ammessi dal presente Piano dovranno in ogni caso attenersi a criteri di basso impatto ambientale e ricorrere, ogni qualvolta possibile, all'impiego di tecniche di ingegneria naturalistica, ai sensi della Direttiva Regionale assunta con deliberazione di Giunta Regionale n. 3939 del 6 novembre 1994.

7. Le estrazioni di materiali litoidi negli invasi ed alvei di laghi, bacini e corsi d'acqua sono disciplinate dall'art. 2 della Legge Regionale 18 luglio 1991, n. 17. Sono fatti salvi gli interventi necessari al mantenimento delle condizioni di sicurezza idraulica ed a garantire la funzionalità delle opere pubbliche di bonifica e di irrigazione. L'autorità preposta può disporre che gli inerti eventualmente rimossi, vengano resi disponibili per i diversi usi produttivi, unicamente in attuazione di piani, programmi e progetti finalizzati al mantenimento delle condizioni di sicurezza idraulica conformi al criterio della massima rinaturalizzazione del sistema delle acque superficiali, anche attraverso la regolarizzazione plano-altimetrica degli alvei, l'esecuzione di invasi golenali, la rimozione di accumuli di inerti in zone sovralluvionate, ove non ne sia previsto l'utilizzo per opere idrauliche e sia esclusa ogni utilità di movimentazione in alveo lungo l'intera asta fluviale.

Norme di Attuazione PTCP Provincia Ravenna - Sintesi dei contenuti

Nell'art.3.18 delle Norme del PTCP vengono individuate le misure di salvaguardia per "Invasi ed alvei di laghi, bacini e corsi d'acqua". Ovvero:

1(P) Gli invasi ed alvei di laghi, bacini e corsi d'acqua sono individuati nelle tavole contrassegnate dal numero 2 del presente Piano. Qualora, successivamente all'entrata in vigore delle presenti norme, entri in vigore un atto di pianificazione dell'Autorità di bacino competente per territorio

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 62 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

che contenga una nuova e più precisa individuazione delle aree da considerarsi “alveo”, le prescrizioni del presente articolo si applicano a tale individuazione. In considerazione del fatto che a norma dell’art.11, comma 2 della L.R. n.20/2000 le previsioni del PAI prevalgono sulle disposizioni incompatibili contenute nei vigenti PTCP, al fine di agevolare la conoscibilità della disciplina del Piano provinciale effettivamente vigente, favorendone il rispetto e l’attuazione, con atto dirigenziale può essere predisposto un elaborato tecnico che opera il coordinamento del PTCP con le suddette modifiche derivanti dall’approvazione del PAI o suoi stralci, fermo restando che, mantenendosi l’esclusivo valore giuridico proprio dei piani approvati, non è comunque consentita la trasformazione delle aree vincolate del PTCP fino all’adeguamento dello stesso.

2.(P) Negli invasi ed alvei di cui al primo comma, comunque nel rispetto degli strumenti di pianificazione dell’Autorità di bacino, sono ammessi esclusivamente interventi finalizzati alla ricostituzione degli equilibri naturali alterati e alla eliminazione, per quanto possibile, dei fattori incompatibili di interferenza antropica; eventuali occupazioni temporanee che non riducano la capacità di portata dell’alveo, debbono essere realizzate in modo da non arrecare danno o da risultare di pregiudizio per la pubblica incolumità in caso di piena.

3.(P) Nelle aree di cui al primo comma sono ammesse esclusivamente, nel rispetto di ogni altra disposizione di legge o regolamentare in materia e degli strumenti di pianificazione dell’Autorità di bacino, e comunque previo parere favorevole dell’ente od ufficio preposto alla tutela idraulica:

a) la realizzazione delle opere connesse alle infrastrutture ed attrezzature di cui ai commi quinto, sesto e settimo nonché alle lettere c), e) ed f) dell’ottavo comma del precedente articolo 3.17, fermo restando che per le infrastrutture lineari e gli impianti, non completamente interrati, può prevedersi esclusivamente l’attraversamento in trasversale;

b) omesso

c) omesso

d) l’effettuazione di opere idrauliche, sulla base di piani, programmi e progetti disposti dalle autorità preposte.

4.(P) Si veda art.18 punto 6 del PTCP di Forlì- Cesena (contenuto analogo)

5.(P) Si veda art.18 punto 7 del PTCP di Forlì- Cesena (contenuto analogo)

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 63 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

9.3 Interferenze con aree censite 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 e più in generale con le aree censite nel PAI (riportate mediante delle campiture semi-trasparenti con varie tonalità di colori). Il tratto di metanodotto la cui posa è prevista in trivellazione di subalveo è riportato schematicamente mediante una sagoma rettangolare in magenta.

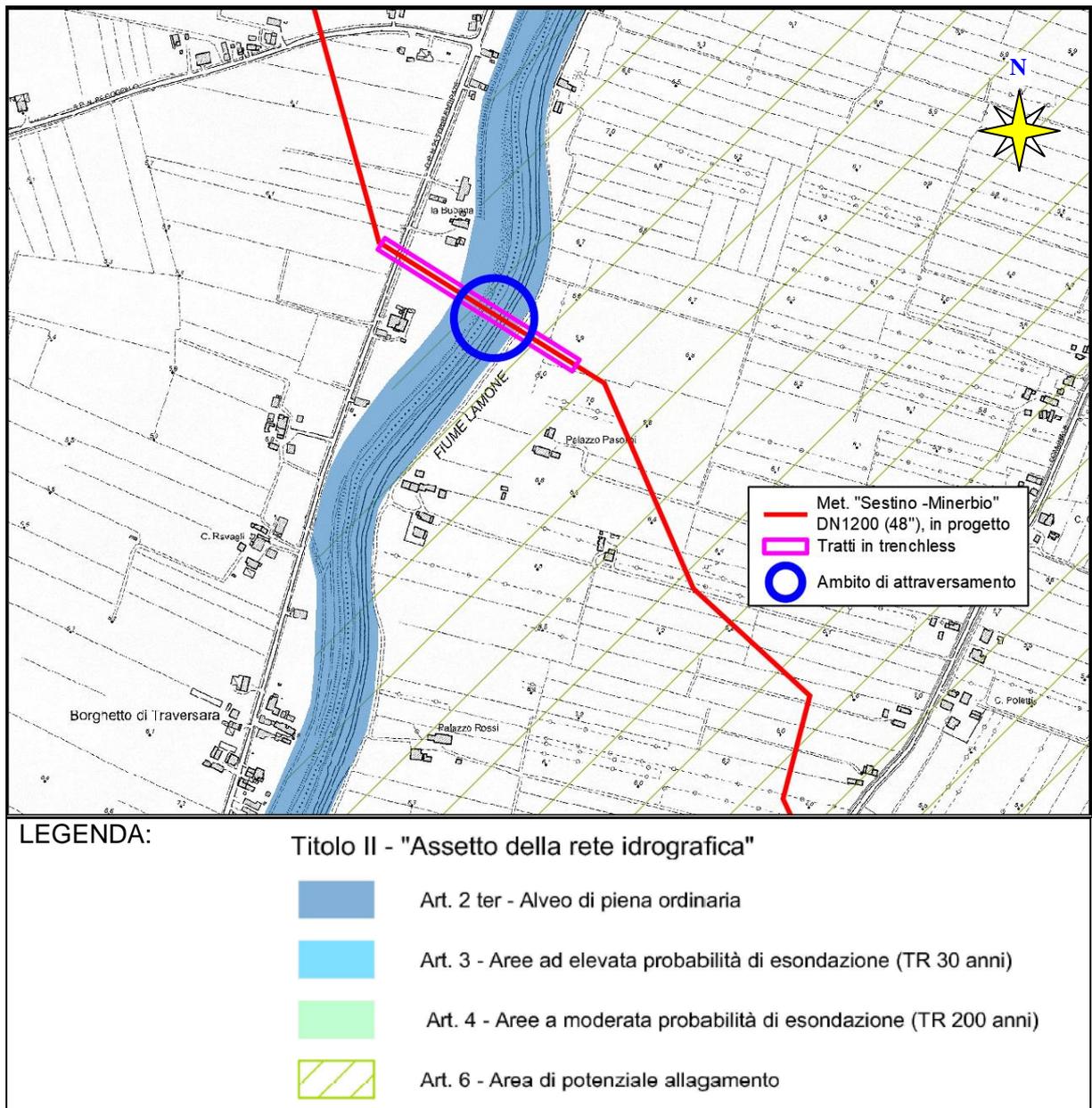


Fig.9.3/A: Interferenze metanodotto in progetto con le aree censite a pericolosità idraulica

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 64 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

Dall'analisi della figura precedente si evince che l'alveo del corso d'acqua (Art.2 ter), delimitato da rilevati arginali, verrà superato tramite una trivellazione in subalveo (ad elevate profondità di posa).

Esternamente dell'ambito di trivellazione (dove la condotta verrà posizionata con copertura ordinaria di linea, mediante la tradizionale tecnica degli scavi a cielo aperto) e con particolare riferimento al lato in destra idrografica, si ricade in Aree di potenziale allagamento (Art.6).

9.4 Analisi delle condizioni di compatibilità idraulica

9.4.1 Considerazioni di carattere generale

Il metanodotto in progetto rappresenta un'infrastruttura lineare (di interesse pubblico) di trasporto del gas che, essendo riferita a servizi essenziali non altrimenti localizzabile, 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.

L'interferenza specifica con l'alveo del corso d'acqua è stata determinata da considerazioni a più ampia scala che riguardano l'intera direttrice di tracciato dell'opera, per la quale sono state attentamente valutate varie alternative di progetto. In particolare, si pone in evidenza che (in ogni caso) non è risultato possibile evitare l'interessamento delle aree a pericolosità idraulica di pertinenza del corso d'acqua in esame. Ciò, in considerazione che il metanodotto prende origine nel territorio di Sestino (AR) e termina nel territorio di Minerbio (BO) 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 della infrastruttura lineare inoltre non determina alcuna forma di trasformazione del territorio. Inoltre 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 determina alcun mutamento significativo sulle condizioni idrologiche ed idrauliche dell'ambito fluviale interessato dall'interferenza.

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

9.4.2 Considerazioni specifiche inerenti all'ambito d'attraversamento dell'alveo (in trivellazione)

In precedenza è stato evidenziato che l'alveo del corso d'acqua verrà attraversato in trivellazione (ad elevate profondità di posa). Pertanto alla luce della metodologia operativa individuata e delle scelte progettuali, si evidenzia quanto segue:

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 65 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

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

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

1. *Modifiche indotte sul profilo inviluppo di piena*
Non generando alterazioni dell'assetto morfologico (tubazione completamente interrata, con posa in trivellazione), non sarà determinato dalla costruzione della condotta nessun effetto di variazione dei livelli idrici e quindi del profilo d'inviluppo di piena.
2. *Riduzione della capacità di laminazione e/o di invaso dell'alveo*
La linea in progetto, essendo completamente interrata, non crea alcun ostacolo al corretto deflusso delle acque e/o all'azione di laminazione delle piene, né contrazioni areali delle fasce d'esondazione e pertanto non sottrae capacità d'invaso.
3. *Modifiche indotte sull'assetto morfologico planimetrico ed altimetrico dell'alveo*
L'opera in progetto non induce alcuna modifica all'assetto morfologico dell'alveo, sia dal punto di vista planimetrico che altimetrico, essendo questa localizzata in subalveo ad una profondità superiore ad ogni prevedibile fenomeno d'approfondimento.
4. *Interazioni in considerazione delle potenziali dinamiche fluviali del corso d'acqua*
Il sistema operativo previsto ha consentito di prevedere il posizionamento della condotta ad elevata profondità di subalveo, quindi ben oltre ad ogni prevedibile fenomeno d'approfondimento. La configurazione in subalveo a "corda molle" (con risalite a coperture ordinarie a distanze molto elevate dall'alveo attivo) consente peraltro di essere abbondantemente in sicurezza anche nei confronti di eventuali fenomeni di divagazione laterale dell'alveo attivo del corso d'acqua.
5. *Modifiche indotte sulle caratteristiche naturali e paesaggistiche della regione fluviale*
Essendo l'opera del tutto interrata, nonché essendo prevista la metodologia costruttiva in trivellazione, non saranno introdotte alterazioni al contesto naturale della regione fluviale.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 66 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

9.4.3 Considerazioni specifiche inerenti ai tratti di linea esterni alla trivellazione

Relativamente ai tratti di linea esterni alla trivellazione (nei quali il metanodotto verrà posizionato mediante scavi a cielo aperto), ricadenti esternamente ai rilevati arginali ed in aree di potenziale allagamento (Art.6), si evidenzia quanto segue.

Queste interferenze riguardano delle porzioni di territorio che rappresentano delle aree potenzialmente inondabili in occasione di piene eccezionali per sormonto degli argini dei corsi d'acqua principali di pianura e/o per insufficienza dei corsi d'acqua minori e di bonifica e che rappresentano degli ambiti di assoluta sicurezza per la condotta nei confronti dei processi evolutivi di dinamica fluviale del corso d'acqua in esame.

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

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

In detti ambiti non sono previste modifiche circa lo stato dei luoghi, trasformazioni del territorio e/o cambiamenti di destinazione d'uso dei fondi. Le uniche strutture visibili risulteranno essere le paline ed i cartelli indicatori.

Pertanto non si introdurranno interferenze idrauliche significative per la laminazione delle piene del corso d'acqua e/o riduzione della capacità di invaso, né tantomeno alterazioni all'eventuale deflusso in occasione delle piene eccezionali.

9.5 **Considerazioni conclusive sulla compatibilità idraulica**

Alla luce di quanto evidenziato si ritiene che, in riferimento alle specificità dell'opera (infrastruttura interrata) e alle scelte progettuali effettuate nell'ambito fluviale 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 al 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.

Pertanto si ritiene che l'opera in progetto risulti, nel contesto fluviale in esame, **COMPATIBILE** in considerazione delle disposizioni previste nelle Norme vigenti.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 67 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

10 CONCLUSIONI

Il tracciato in progetto del "Metanodotto Sestino – Minerbio, DN1200 (48") DP 75 bar" interseca l'alveo del fiume LAMONE in un ambito di confine tra i territori comunali di Ravenna e di Bagnacavallo (RA), in prossimità della località "P. Pasolini".

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 ed analizzate le peculiarità dell'ambito fluviale.

Alla luce dei risultati delle valutazioni, per il superamento in subalveo del corso d'acqua è stata prevista l'adozione di un sistema di attraversamento in trenchless, mediante la metodologia esecutiva del microtunneling, utilizzando una fresa a bilanciamento di pressione.

Detta soluzione operativa consentirà, dunque, di evitare interferenze tra i lavori di posa del metanodotto con il deflusso naturale del corso d'acqua, nonché si eviterà di interrompere la contiguità delle eventuali opere e/o manufatti presenti a terra (nello specifico: rilevati arginali).

La geometria curvilinea della trivellazione è stata configurata in modo da soddisfare ai vincoli attinenti sia l'aspetto idraulico del corso d'acqua che quello costruttivo della condotta, assicurando elevate profondità al di sotto dell'alveo (minimo: 13,20m circa) e degli argini laterali (minimo: maggiore di 16m, in destra idrografica) e rispettando allo stesso tempo, i raggi di curvatura minimi consentiti alla tubazione ed alla trivellazione stessa.

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 gli adeguati livelli di sicurezza sia per il metanodotto che per l'alveo ed i manufatti presenti nell'ambito fluviale.

Nell'analisi delle interferenze tra la linea in progetto con gli strumenti di pianificazione territoriali vigenti, si è rilevato che nell'ambito dell'attraversamento fluviale in esame s'individuano delle interferenze con delle aree censite a pericolosità idraulica.

In tal senso, nel presente studio di compatibilità, è stato evidenziato che l'intervento in progetto non introduce alterazioni alle condizioni attuali di deflusso del corso d'acqua e/o riduzione della capacità di invaso e di laminazione e più in generale non determina alcuna modifica significativa e/o trasformazione dello stato dei luoghi nei territori interessati dai lavori. Non determina alcun aggravio delle condizioni di pericolosità e/o di rischio idraulico nell'area (non è previsto l'incremento del carico insediativo), né tantomeno in ambiti esterni. Inoltre non introduce elementi di impedimento per l'eventuale realizzazione di interventi di attenuazione e/o di eliminazione delle condizioni di pericolosità e di rischio eventualmente presenti nell'ambito fluviale in esame.

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

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75bar	Fg. 68 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058

APPENDICE 1: COLONNA STRATIGRAFICA DEL SONDAGGIO



Committente: TEN - Snam Rete Gas spa	Sondaggio: S_67_SM_L
Riferimento: Met. Dorsale Adriatica - tratto Sestino - Minerbio	Data: 17/03/23
Coordinate: 44.430336° 12.039138°	Quota: 10 m slm
Perforazione: carotaggio continuo	

SCALA 1 :100		STRATIGRAFIA - S 67 SM L				Pagina 1/2							
metri batt.	LITOLOGIA	Campioni	prof. m	DESCRIZIONE	RP	VT	Standard Penetration Test						
							m	S.P.T.	N	Pz			
			0.3	Terreno agricolo superficiale									
1				Argilla limosa molto consistente, colore marrone chiaro			1.5	4-7-11	18				
2													
3													
4							3.5	6-9-14	23				
5			5.0	Argilla debolmente limosa consistente, colore nocciola			5.5	5-11-12	23				
6													
7		1) Rim < 6.50 7.00	6.5	Limo sabbioso / sabbia limosa, colore nocciola									
8			7.0	Argilla debolmente limosa mediamente consistente con intervalli di torba, colore grigio									
9			8.1	Sabbia fine debolmente limosa, colore grigio	0.6	0.2	8.5	8-10-16	26				
10							10.0	7-8-12	20				
11													
12							12.0	7-7-11	18				
13			12.5	Argilla debolmente limosa consistente, colore grigio chiaro	2	1							
14					2	0.9							
15		2) She < 15.00 15.60					0.6	0.4					
16							2.5	1					
17							1.2	0.6					
18		3) She < 18.00 18.60											
19													
20			19.3	Argilla organica consistente con livelli decimetrici di torba	2.5	0.7							

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86028	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75bar	Fg. 69 di 69	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-058


Geo.Fe.
 INDAGINI GEOLOGICHE
 Tel: 3383646278 - info@geofe.it - web: www.geofe.it

Committente: TEN - Snam Rete Gas spa	Sondaggio: S_67_SM_L
Riferimento: Met. Dorsale Adriatica - tratto Sestino - Minerbio	Data: 17/03/23
Coordinate: 44.430336° 12.039138°	Quota: 10 m slm
Perforazione: carotaggio continuo	

SCALA 1:100		STRATIGRAFIA - S 67 SM L				Pagina 2/2							
metri bat.	LITOLOGIA	Campioni	prof. m	DESCRIZIONE	RP	VT	Standard Penetration Test				R v		
							m	S.P.T.	N	A			
21				Argilla organica consistente con livelli decimetrici di torba		1.5							
22						0.6							
23							1.5	0.6					
24							2						
25							0.5						
25							1	0.5					
25				25.4			1						
26					Argilla debolmente limosa consistente con intervalli torbosi, colore grigio		1						
27							1	0.4					
28							1.2						
28						1	0.4						
29						1	0.6						
29						1.1	0.6						
30			30.0			1.5							

Prelevati n.2 campioni indisturbati e 1 rimaneggiato
 SPT a punta aperta
 falda non rilevata / assente