

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75bar	Fg. 1 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

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

9° TRONCO: Alfonsine – Conselice

ATTRAVERSAMENTO FIUME SANTERNO
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-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 2 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

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	12
3.3	Indagini di caratterizzazione stratigrafica	15
4	VALUTAZIONI IDROLOGICHE	17
4.1	Generalità	17
4.2	Considerazioni specifiche preliminari	17
4.3	Sezione di studio e parametri morfometrici del bacino	17
4.4	Studi ex Autorità di Bacino del Reno	19
4.4.1	<u>Premessa</u>	19
4.4.2	<u>Cenni sui contenuti degli studi</u>	19
4.4.3	<u>Selezione dei risultati per l'ambito in esame (di attraversamento)</u>	20
4.5	Portata di progetto	21
5	STUDIO IDRAULICO	22
5.1	Presupposti e limiti dello studio	22
5.2	Assetto geometrico e modellazione idraulica	23
5.2.1	<u>Assetto geometrico di modellazione</u>	23
5.2.2	<u>Dati di Input e condizioni al contorno</u>	24
5.3	Risultati della simulazione idraulica	25
5.4	Analisi dei risultati conseguiti	31

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 3 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

6	VALUTAZIONE EROSIONI DI FONDO ALVEO	32
6.1	Generalità	32
6.2	Criteri di calcolo	33
6.3	Stima dei massimi approfondimenti attesi in alveo	36
6.4	Sintesi dei risultati	37
6.5	Considerazioni aggiuntive	37
7	METODOLOGIA COSTRUTTIVA E SCELTE PROGETTUALI	38
7.1	Metodologia costruttiva: Direct Pipe	38
7.2	Configurazioni geometriche di progetto	38
7.3	Descrizione della tecnica della “Direct Pipe”	39
7.3.1	<u>Generalità sul sistema costruttivo</u>	39
7.3.2	<u>Principali caratteristiche della Direct Pipe</u>	41
7.3.3	<u>Componenti principali del sistema Direct Pipe</u>	42
7.3.4	<u>Attività terminali (collaudo condotta e ripristini)</u>	46
8	ANALISI DELLA PROBLEMATICHE DEL SIFONAMENTO	47
8.1	Premessa	47
8.2	Generalità	47
8.3	Metodologie di calcolo	47
8.4	Risultati	51
9	VALUTAZIONI INERENTI ALLA COMPATIBILITA' IDRAULICA	53
9.1	Premessa	53
9.2	Quadro normativo di riferimento	53
9.2.1	<u>Criteri generali di progettazione del metanodotto</u>	53
9.2.2	<u>Strumenti di “Pianificazione territoriale”</u>	53
9.2.3	<u>Disposizioni e Misure di salvaguardia in ambiti a pericolosità idraulica</u>	56
9.3	Interferenze con aree censite a pericolosità idraulica	59
9.4	Analisi delle condizioni di compatibilità idraulica	61
9.4.1	<u>Considerazioni di carattere generale</u>	61

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 4 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

9.4.2	<u>Considerazioni specifiche inerenti all'ambito d'attraversamento dell'alveo (in trivellazione)</u>	62
9.4.3	<u>Considerazioni specifiche inerenti ai tratti di linea esterni alla trivellazione</u>	63
9.5	Considerazioni conclusive sulla compatibilità idraulica	63
10	CONCLUSIONI	65
	APPENDICE 1: COLONNA STRATIGRAFICA DEL SONDAGGIO	66

ANNESSO – ELABORATO DI RIFERIMENTO:

- **Disegno di attraversamento: DIS. 10-LB-8C-81940**

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 5 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

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 SANTERNO nel territorio comunale di Lugo (RA), poco a valle dell'abitato di "San Bernardino in Selva".

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 (PSAI), redatto dall'ex Autorità di Bacino Interregionale del Fiume Reno, 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-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 6 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

- 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-81940**
Metanodotto Sestino – Minerbio, DN 1200 (48”) DP 75 bar
9° Tronco: Alfonsine – Conselice
“Attraversamento in Direct pipe fiume Santerno”

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-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75bar	Fg. 8 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

Nella seguente figura (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.

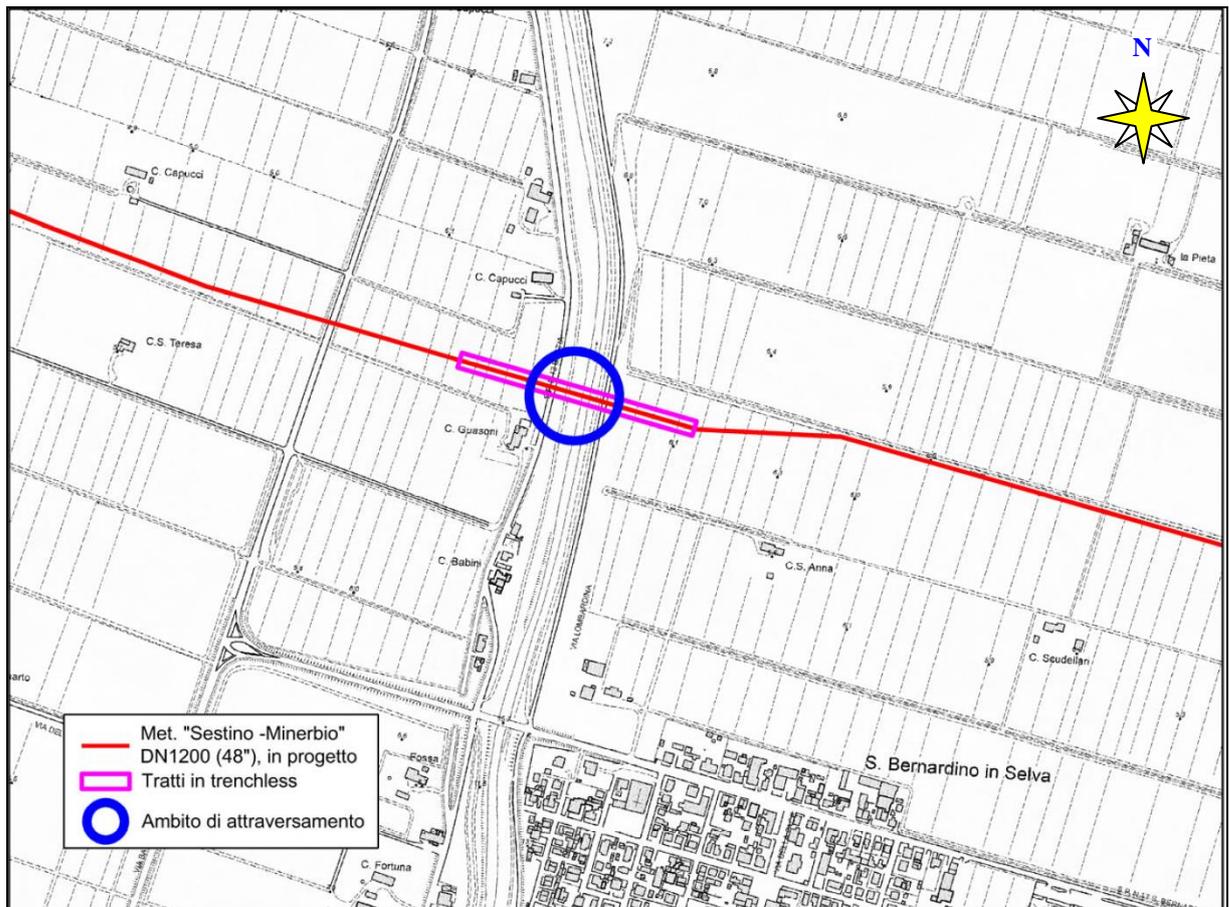


Fig.2.1/B: Stralcio planimetrico in scala 1:10.000 (C.T.R. Regionali)

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

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 9 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

3 ANALISI DI CARATTERIZZAZIONE DELL'AMBITO FLUVIALE IN ESAME

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

Il Santerno è un fiume della Romagna le cui sorgenti e i primi 27 Km del corso sono in Provincia di Firenze. È il maggiore affluente del Reno, sia per lunghezza, (circa 103 km) sia per portata d'acqua (media alla foce 16 m³/sec, minima 1 m³/sec, massima 936 m³/sec). Il bacino idrografico, nel solo tratto appenninico, chiuso al ponte della Via Emilia a Imola, è di 423 Km², dei quali 231 in Toscana e 192 in Romagna; mentre il bacino idrografico complessivo (alla foce nel Reno) è caratterizzato da una superficie di 468 Km² circa.

Nasce presso il passo della Futa, a 1.222 metri di quota, nel crinale appenninico, in un anfiteatro di argille scagliose, una conca al cui centro si trova Firenzuola. Poi il fiume scorre in una vallata stretta e rocciosa (San Pellegrino); così incassato e tortuoso giunge fino a Castiglioncello, dov'è il confine fra la provincia di Bologna e quella di Firenze. A monte del Coniale riceve da sinistra il suo maggior affluente, il torrente Diaterna (con bacino di 74 Km², che scende, invece, dal Passo della Raticosa) e, dopo aver percorso una valle assai pregevole dal punto di vista naturalistico (anche perché assai poco antropizzata), gli reca circa un terzo della portata d'acqua complessiva. Altri affluenti da destra del tratto montano sono, presso Firenzuola, il torrente Viola (con un bacino di 14 Km²), e, a monte di San Pellegrino, il torrente Rovigo (con un bacino di 47 Km²).

Dopo Firenzuola il Santerno bagna Castel del Rio: qui la strada provinciale scavalca il fiume lungo il noto Ponte degli Alidosi, costruito nel Medioevo. Il fiume tocca poi Fontanelice, Borgo Tossignano e Casalfiumanese. Successivamente, la sua valle si allarga e il Santerno sbocca in pianura, raggiungendo Imola. Poco dopo Imola il fiume riceve, ancora da destra, il Rio Sanguinario (lungo 10 Km e con bacino di 23,5 Km²). Superata Imola, il Santerno passa tra Mordano e Bagnara di Romagna, poi rasenta Sant'Agata sul Santerno infine, dirigendosi a nord e poi a nord-est, sfocia nel Reno, presso Villa Pianta, circa 7 km a est della località Bastia. È affiancato da argini per gli ultimi 32 Km di pianura.

Nella zona pedecollinare, prima il Rio Sanguinario, poi il Santerno, fin dopo Mordano, marcano il confine fra le Province di Bologna e Ravenna; dopo, il Santerno scorre interamente in provincia di Ravenna.

Nel tratto montano intermedio la portata media si attesta sopra i 35 m³/sec, caratterizzato da un corso tortuoso, in relativa pendenza. Presso Fontanelice parte delle sue acque danno origine al canale irriguo Selice che, dopo avere bagnato Imola, rientra nel corso del fiume in pianura.

Si ritiene che in epoca romana il fiume passasse ad est di Bagnacavallo, nel territorio ravennate. Lo conferma il nome di una frazione di Ravenna denominata appunto Santerno, che oggi si trova vicina al fiume Lamone. Si pensa che il fiume, dopo aver attraversato Imola, si dividesse in due rami. Uno si dirigeva a nord-ovest verso il ravennate e l'altro proseguiva verso nord, fino ad immettersi nel delta del Po. Con il verificarsi dei dissesti idrogeologici dell'VIII secolo d.C. il ramo ravennate del Santerno si estinse.

Più volte il corso inferiore del fiume è stato artificialmente cambiato a scopo di bonifica. L'intervento più considerevole si svolse tra il 1885 ed il 1888, quando vennero eliminate le anse nei pressi di Sant'Agata sul Santerno, che rallentavano il corso del fiume e ne facevano alzare il letto, aumentando il pericolo di esondazioni ed alluvioni.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 10 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

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, con massime 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 Santerno a Mordano (superficie bacino 465 km²), relativamente al periodo 1997 – 2020 (fonte: *Annali idrologici*).

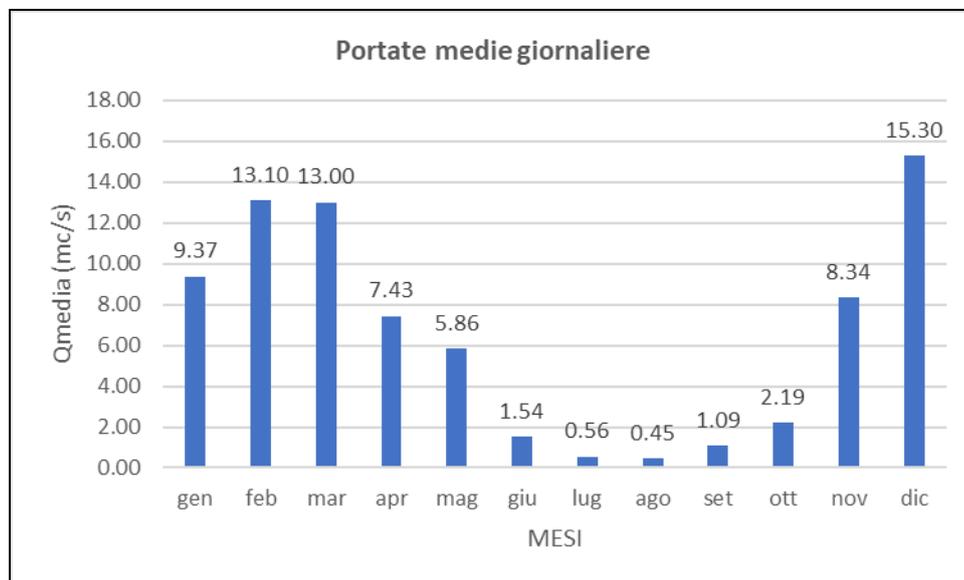


Fig.3.1/A: Iistogramma mensile delle "portate medie giornaliere"

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:

- 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.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 11 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

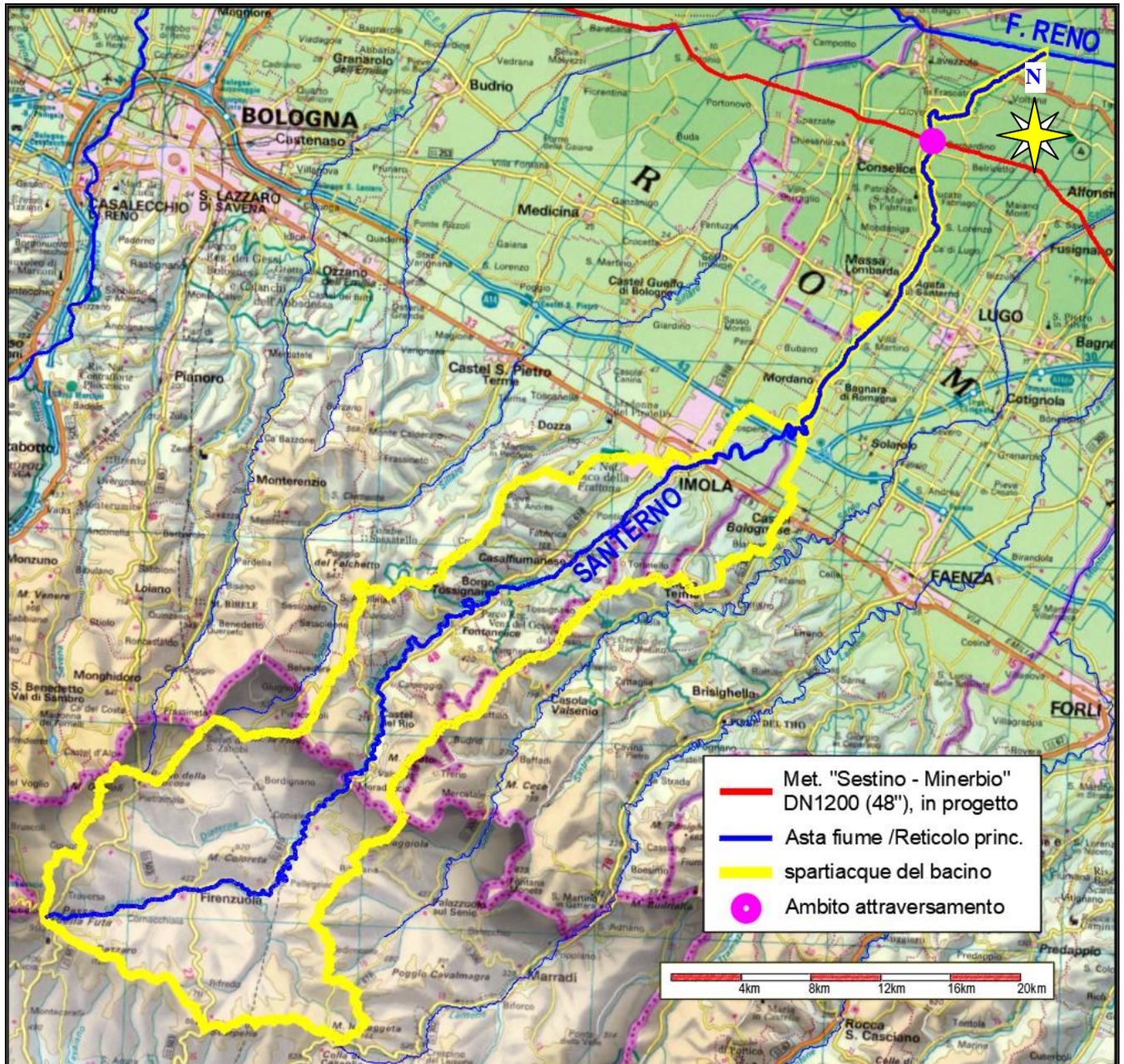


Fig.3.1/B: Bacino complessivo del corso d'acqua ed indicazione dell'ambito in esame

Dall'esame della figura precedente (Fig.3.1/A), si rileva che l'attraversamento del metanodotto (DN1200) 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-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 12 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

3.2 Descrizione dell'ambito di attraversamento

L'attraversamento del corso d'acqua da parte del metanodotto in progetto (DN1200) ricade in un ambito del territorio comunale di Lugo (RA), poco a valle dell'abitato di "San Bernardino in Selva".

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 10 km dalla foce nel Reno.

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

La sezione d'alveo si presenta con una configurazione geometrica a doppio trapezio rovesciato; con alveo di magra di ampiezza complessiva di circa 25m, delle strette fasce golenali (di ampiezza di circa 5m per lato) delimitate da degli imponenti rilevati arginali che si elevano di circa 9÷10m nei confronti del piano campagna circostante. Le sponde dell'alveo e le golene sono interessate da una folta vegetazione arbustiva (in prevalenza canneti). Sulla sommità della sponda destra si sviluppa una strada asfaltata.

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).

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75bar	Fg. 13 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

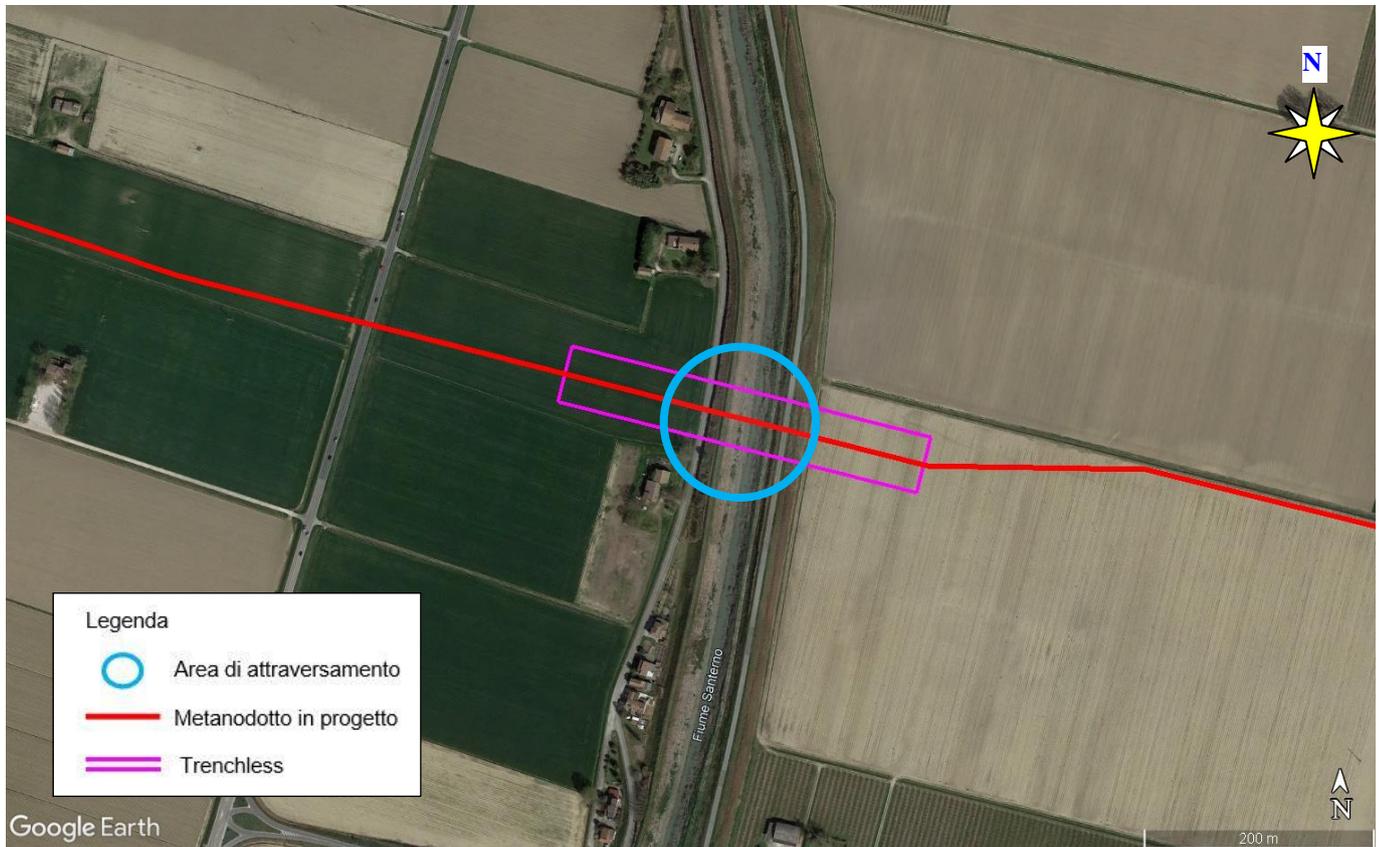


Fig.3.2/A: Foto aerea dell'ambito di attraversamento

Nella figura 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-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75bar	Fg. 14 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060



Foto 1: Santerno - lato in destra idrografica (uscita della Direct pipe)



Foto 2: Santerno - argine destro

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75bar	Fg. 15 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060



Foto 3: Santerno - alveo / vista da argine destro

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 S71, realizzato nel settembre 2023 (con profondità di 30m dal piano campagna) 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-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75bar	Fg. 16 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

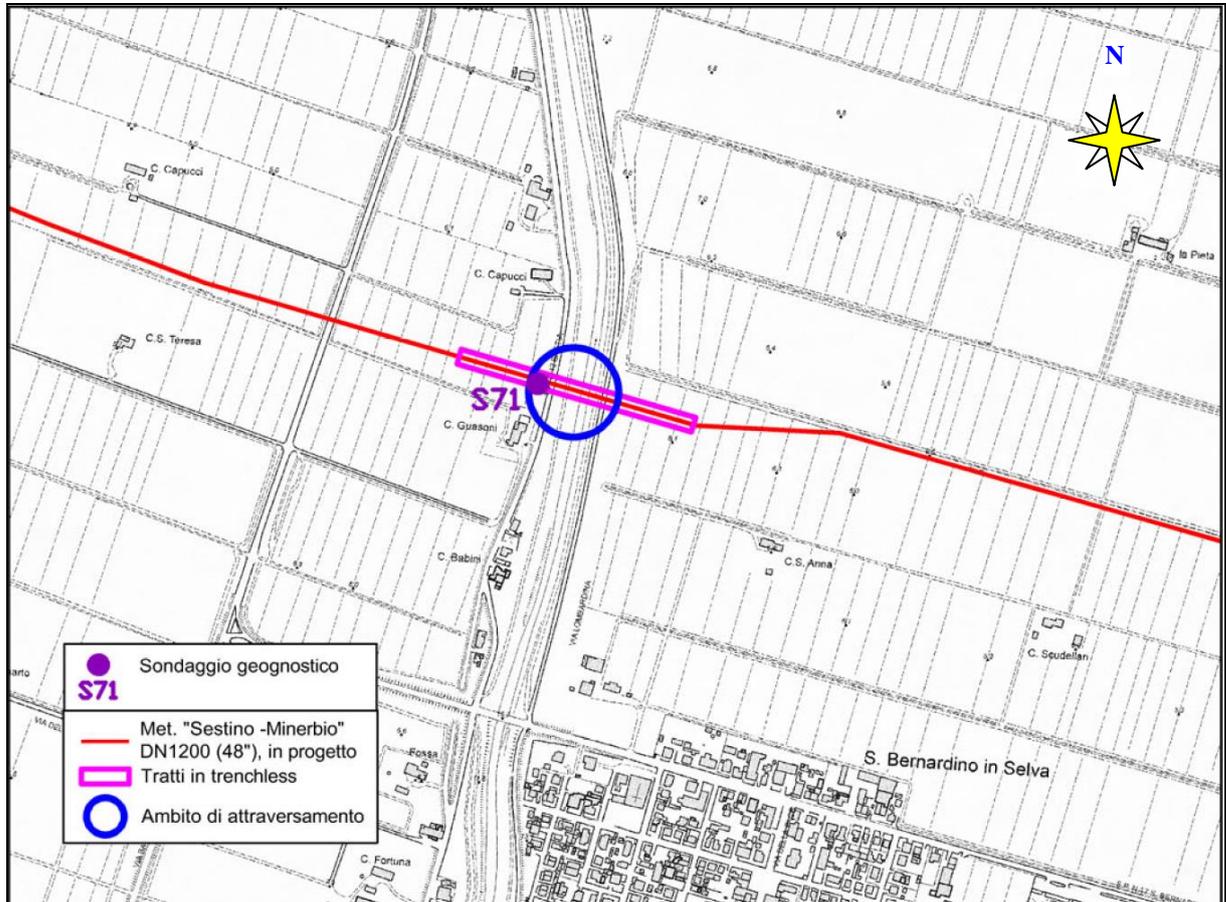


Fig.3.3/A: Planimetria in scala 1:10.000, con ubicazione sondaggio geostico di riferimento

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 S71 emerge la presenza in superficie di 0,20m di terreno vegetale. Da 0,20 a 5,30m, si rileva la presenza di dei livelli di sabbia limosa. Poi da 5,30 sino alla profondità di 20,80 si s'individuano degli strati costituiti prevalentemente da argille limose alternati con dei piccoli livelli di limi argillosi e talvolta di torbe. Infine da 20,80m sino a fondo foro (30m) s'individuano degli stati limi argillosi e/o sabbiosi.

Nel corso della perforazione la falda è stata individuata a 2,7m dal piano campagna.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 17 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

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 dall'ex Autorità di Bacino del Reno, nell'ambito della redazione "Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico" (PSAI).

In tal senso, nel seguito, si provvederà a riportare dei cenni sulle metodologie di elaborazione impiegate negli studi sopraccitati e quindi si procederà a selezionare i risultati di interesse per le finalità di cui allo specifico elaborato.

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 10 km dalla foce nel fiume Reno.

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

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75bar	Fg. 18 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

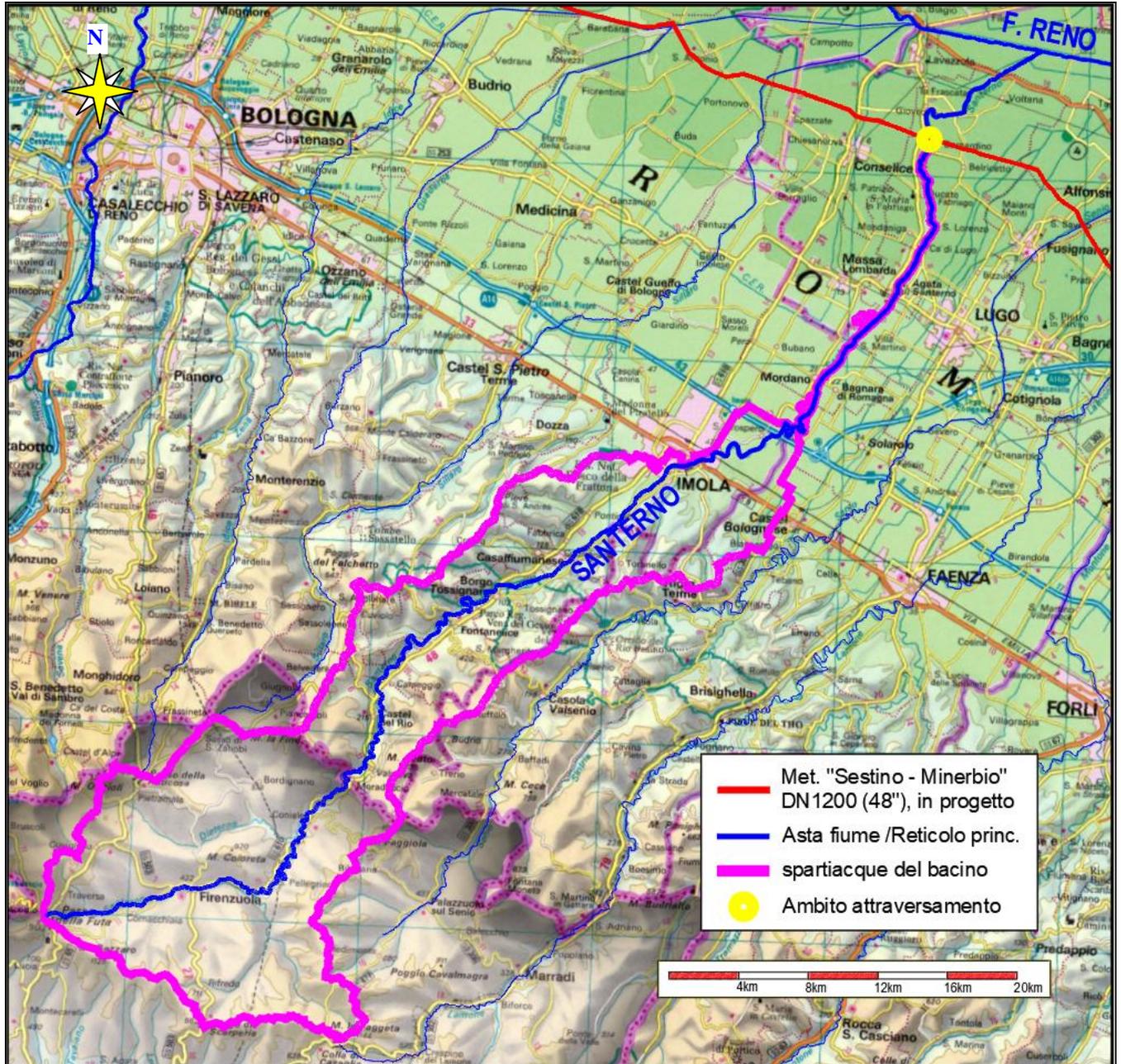


Fig.4.3/A: Bacino imbrifero sotteso dalla sezione di studio

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 19 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

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 Santerno	Sez. Attravers. Met. in progetto	467	1264	3

4.4 Studi ex Autorità di Bacino del Reno

4.4.1 Premessa

Per le valutazioni idrologiche nell'ambito specifico in esame ci si riferisce esplicitamente ai risultati di "studi ufficiali" effettuati sul corso d'acqua dall'ex Autorità di Bacino del Reno, nell'ambito della redazione "Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico" (PSAI).

Con particolare riferimento ci si riferisce ai contenuti del "PSAI Santerno- Titolo II - Rischio Idraulico e Assetto della Rete Idrografica", i cui elaborati sono disponibili in rete al link:

<https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/suolo-bacino/sezioni/pianificazione/autorita-bacino-reno/psai/tavole-di-piano-santerno/santerno-tavole>

4.4.2 Cenni sui contenuti degli studi

Fonte: "Rischio Idraulico e Assetto Rete Idrografica/ Bacino Torrente Santerno - Relazione".

L'individuazione dell'andamento delle portate e dei livelli nei diversi tronchi componenti un dato reticolo idrografico è basata sull'uso di modelli "afflussi-deflussi", mediante i quali si passa dagli eventi estremi di pioggia alle portate immesse nel reticolo, e di modelli di "propagazione dell'onda di piena", mediante i quali si individuano le portate ed i livelli nei diversi tronchi.

Il bacino imbrifero del torrente Santerno è stato suddiviso, al fine di determinare le onde di piena in ingresso nella parte di pianura (a valle della via Emilia), in tre parti:

- il bacino del Santerno chiuso circa alla via Emilia, con una superficie di circa 414 km²;
- il bacino del rio Sanguinario chiuso poco più a valle della via Emilia, con una superficie di circa 24 km²;
- il cosiddetto "interbacino", costituito sostanzialmente da quei bacini relativi, per la maggior parte, a corsi d'acqua facenti parte del reticolo idrografico minuto e le cui acque si raccolgono nel Santerno a valle della via Emilia, con una sup. di circa 28 km².

Per quanto concerne lo studio idraulico nella parte di pianura dei corsi d'acqua (tra cui il Santerno), è stato adottato il programma PAB, che è un programma di propagazione di piena monodimensionale che opera in condizioni di moto vario.

È risultato necessario studiare il regime idraulico assunto dal Santerno anche tenendo conto delle esondazioni laterali quando i volumi d'acqua esondati non rientrano in alveo, per consentire la quantificazione di eventuali fuoriuscite laterali per superamento delle quote arginali.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 20 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

I risultati delle elaborazioni sull'asta di pianura del Santerno (da l'Autodromo di Imola, sino alla foce nel Reno) sono riportati nelle TAB.QL.1 dell'elaborato "Rischio Idraulico e Assetto Rete Idrografica/ Bacino Torrente Santerno - Relazione".

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

Nella figura seguente si riporta uno stralcio planimetrico (in scala 1:80.000) estrapolato dall'elaborato "Rischio Idraulico e Assetto Rete Idrografica/ Bacino Torrente Santerno - Relazione", nel quale sono riportate le sezioni del corso d'acqua considerate nella modellazione idraulica dello studio dell'Autorità di Bacino. Nello stralcio è stato inoltre inserito 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).

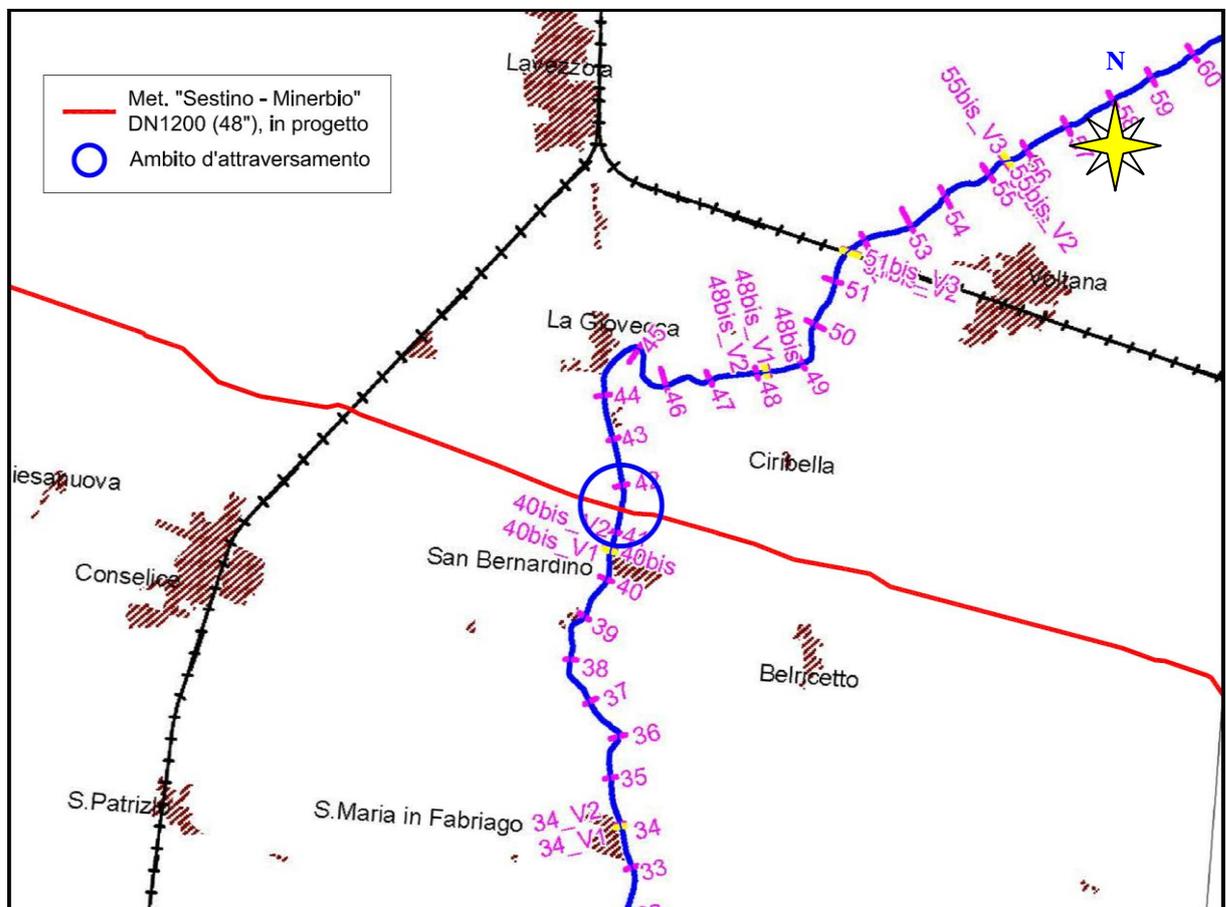


Fig.4.4/A: Stralcio planimetrico con sezioni considerate nella modellazione idraulica ed individuazione dell'ambito di attraversamento

Dall'analisi della Figura precedente si rileva che l'ambito di attraversamento del metanodotto in progetto ricade le sezioni Sez41 e Sez.42 dello studio dell'Autorità di Bacino.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 21 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

Per dette sezioni, dalla Tab.QL1 dell'elaborato "Rischio Idraulico e Assetto Rete Idrografica/ Bacino Torrente Santerno - Relazione", risulta possibile individuare le portate considerate nella modellazione, in considerazione di vari tempi di ritorno.

In tal senso per l'ambito di attraversamento in esame si assumono le portate considerate nello studio dell'Autorità di Bacino per le Sez.41 e 42 ed indicate nella tabella seguente.

Tab.4.4/A: Portate al colmo di piena nelle Sez. più prossime a quella di attraversamento

Corso d'acqua / Sez. Studio	Portata al colmo di piena (mc/s) (T=50anni)	Portata al colmo di piena (mc/s) (T=100anni)	Portata al colmo di piena (mc/s) (T=200anni)
Fiume Santerno / Sez.41-42	633	702	766

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	Qprogetto (mc/s)
Fiume Santerno	Sezione Attr.to	766

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 22 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

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 della “direct pipe”, 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-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 23 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

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 635 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 RS956 coincide con la sezione di monte del tronco idraulico; invece, la sezione RS322 rappresenta quella di valle.

L'ambito di attraversamento ricade in prossimità della River Station RS594.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 24 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

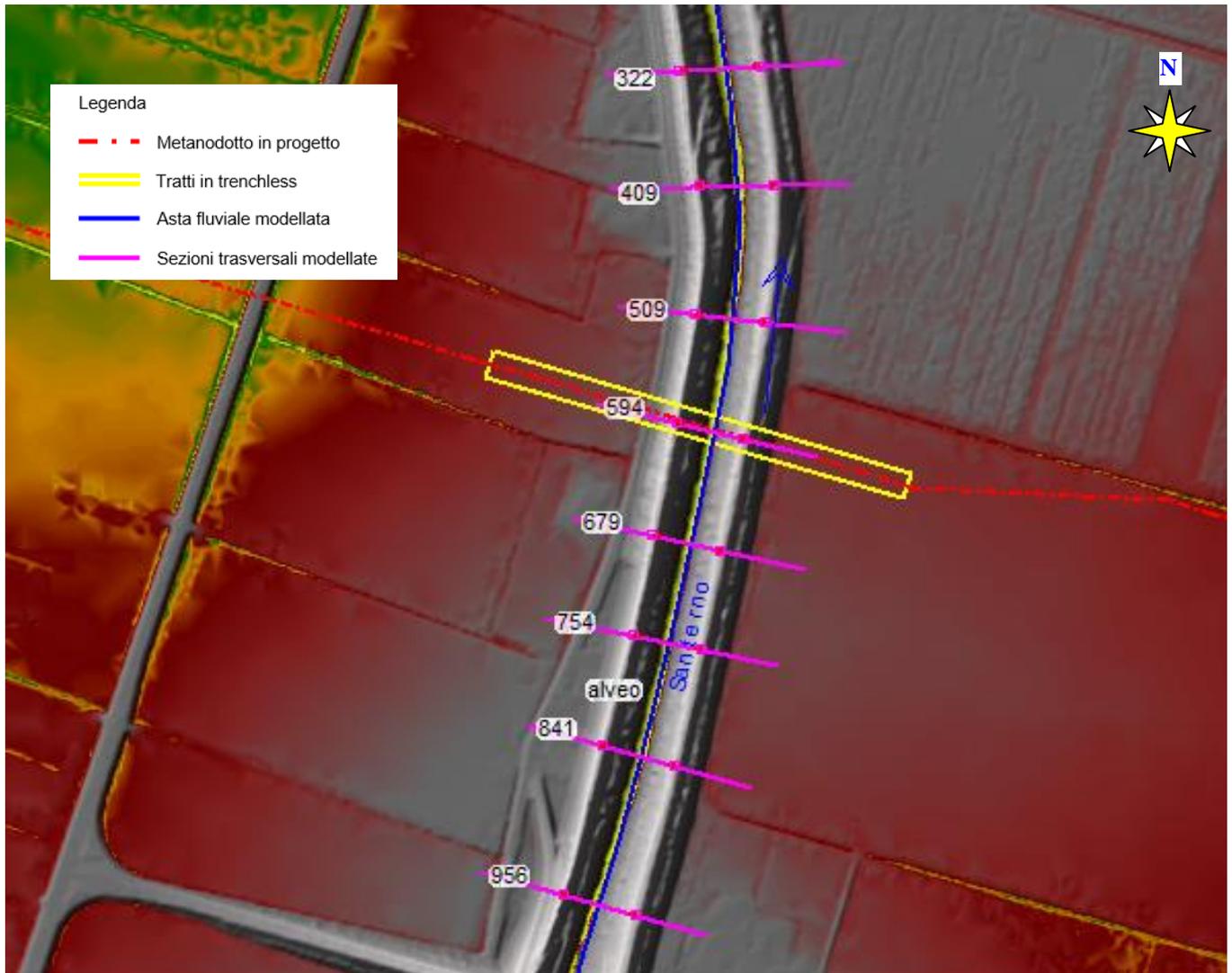


Fig.5.2/A: Schermata del DTM, con tronco d'alveo analizzato e sezioni di input nella modellazione

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:

- $Q_{200}=766 \text{ m}^3/\text{s}$

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.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 25 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

Per quanto concerne il coefficiente d'attrito, si è fatto riferimento agli indici di scabrezza di Manning “n” considerati nello studio dell’Autorità di Bacino. Ossia:

- 0,050 per l'alveo medio principale (Chan);
- 0,070 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 Chnl (N/m2)	Froude Chl
956	766	225.90	2.8	14.84	11.33	14.86	0.0002	0.78	1136.34	172.66	53.20	5.43	8.86	0.11
841	766	380.65	2.67	14.77	10.24	14.83	0.0004	1.19	750.92	112.23	51.90	6.18	19.52	0.15
754	766	362.96	2.64	14.74	10.48	14.8	0.0004	1.22	731.38	106.86	46.90	6.32	20.72	0.16
679	766	335.49	2.54	14.71	10.62	14.77	0.0004	1.17	759	112.19	46.20	6.22	19	0.15
594	766	766.00	2.43	14.24	10.7	14.67	0.0025	2.91	263	46.61	46.21	5.69	121.67	0.39
509	766	766.00	2.34	14.03	10.44	14.46	0.0025	2.9	264.29	46.1	46.10	5.73	120.39	0.39
409	766	766.00	2.31	13.85	10.14	14.21	0.0020	2.66	288.31	50.87	50.87	5.67	100.76	0.36
322	766	766.00	2.14	13.7	9.71	14.04	0.0018	2.59	296.16	50.18	50.18	5.9	94.13	0.34

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

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

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

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75bar	Fg. 26 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

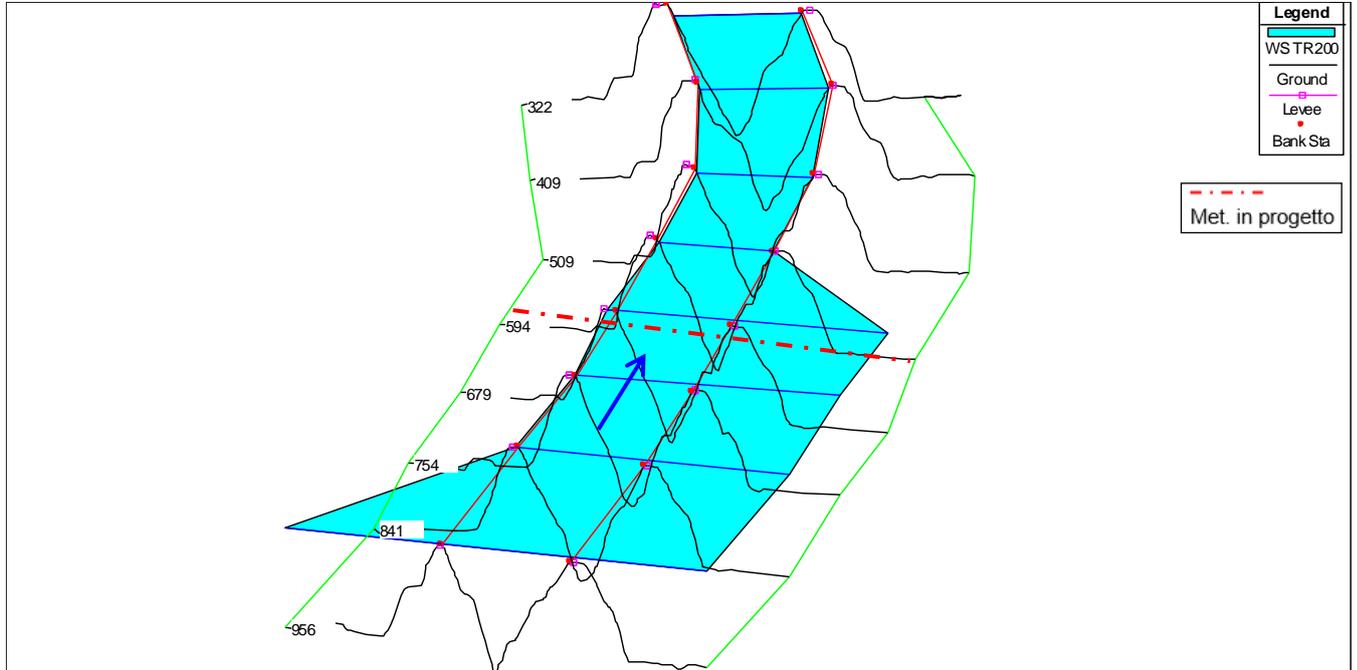


Fig.5.3/A: Schermata di Output del programma – visione prospettica

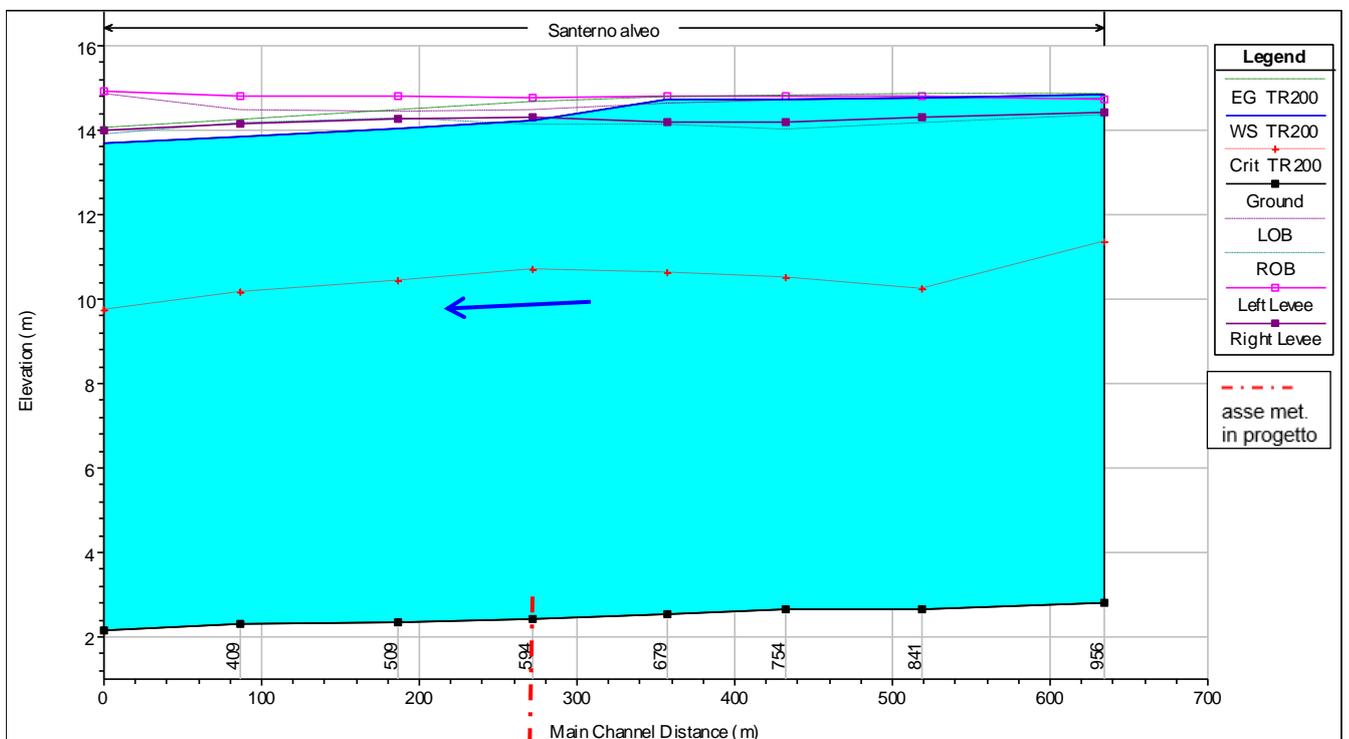


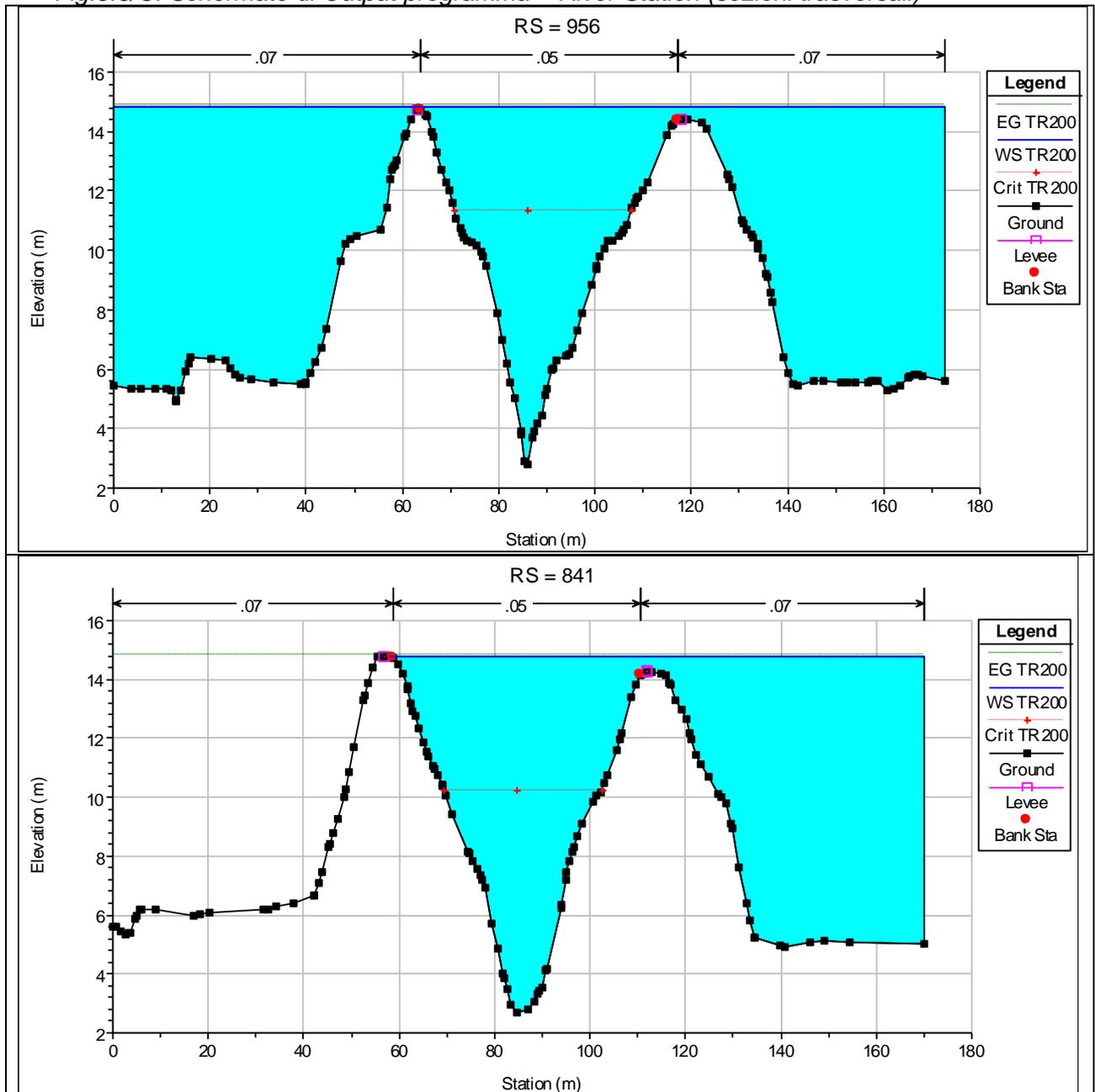
Fig.5.3/B: Schermata di Output del programma – Profilo longitudinale

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75bar	Fg. 27 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

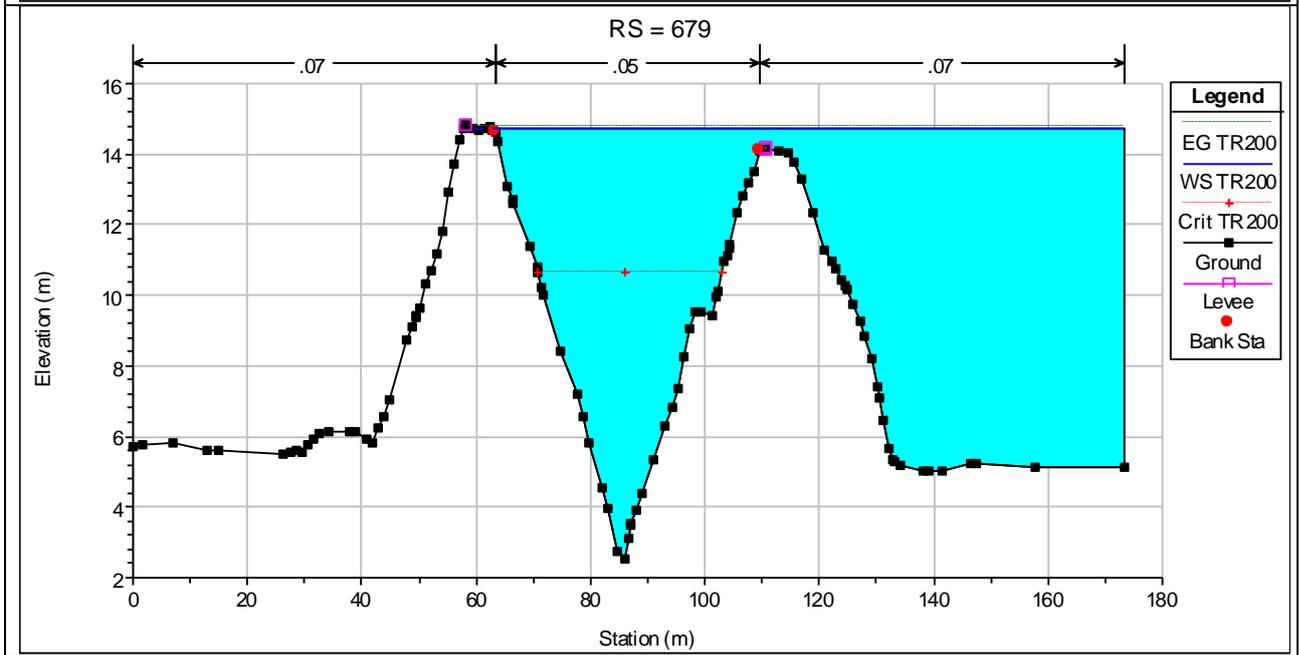
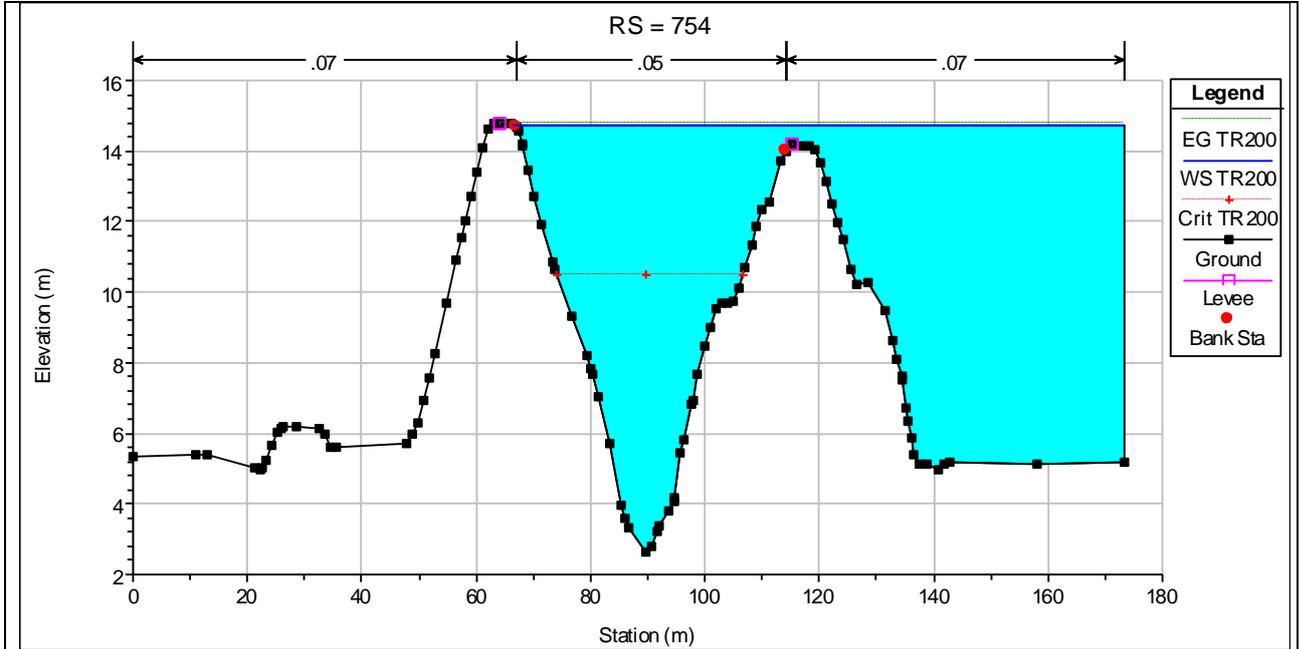
Infine nella figura seguente si riportano le schermate di output delle varie sezioni di calcolo (River Station) considerate nelle elaborazioni idrauliche (partendo dalla sezione di monte e procedendo sino a quella di valle).

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



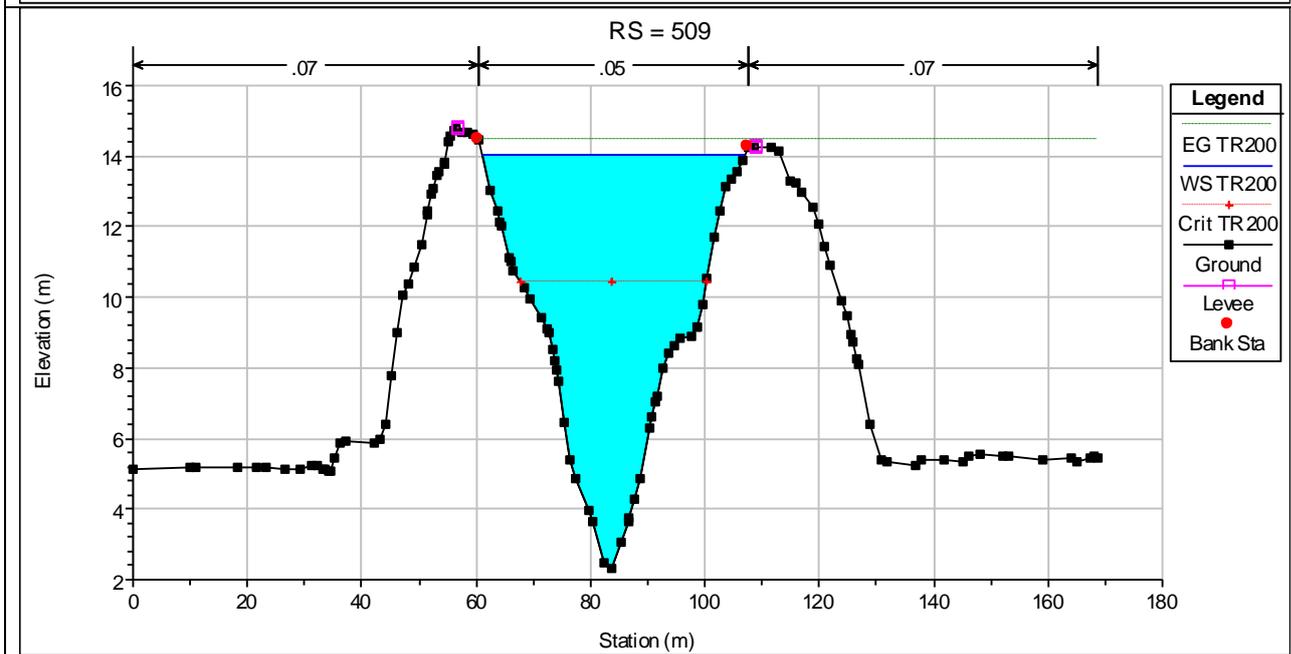
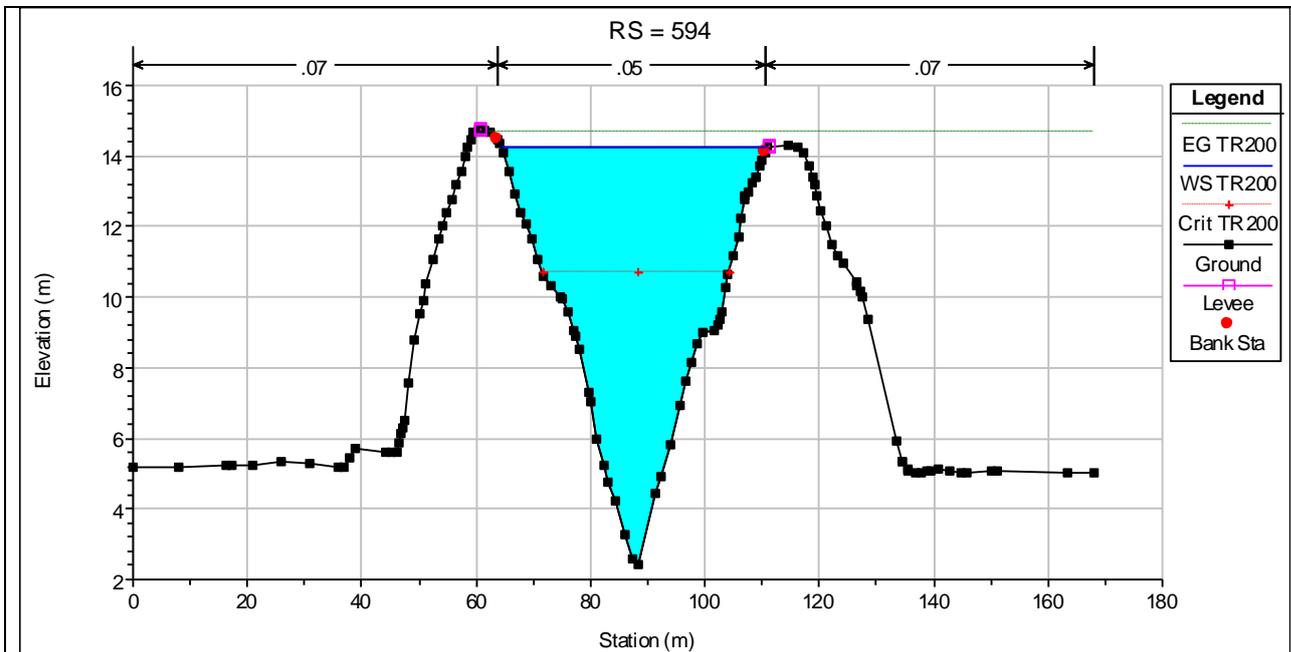
	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75bar	Fg. 28 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060



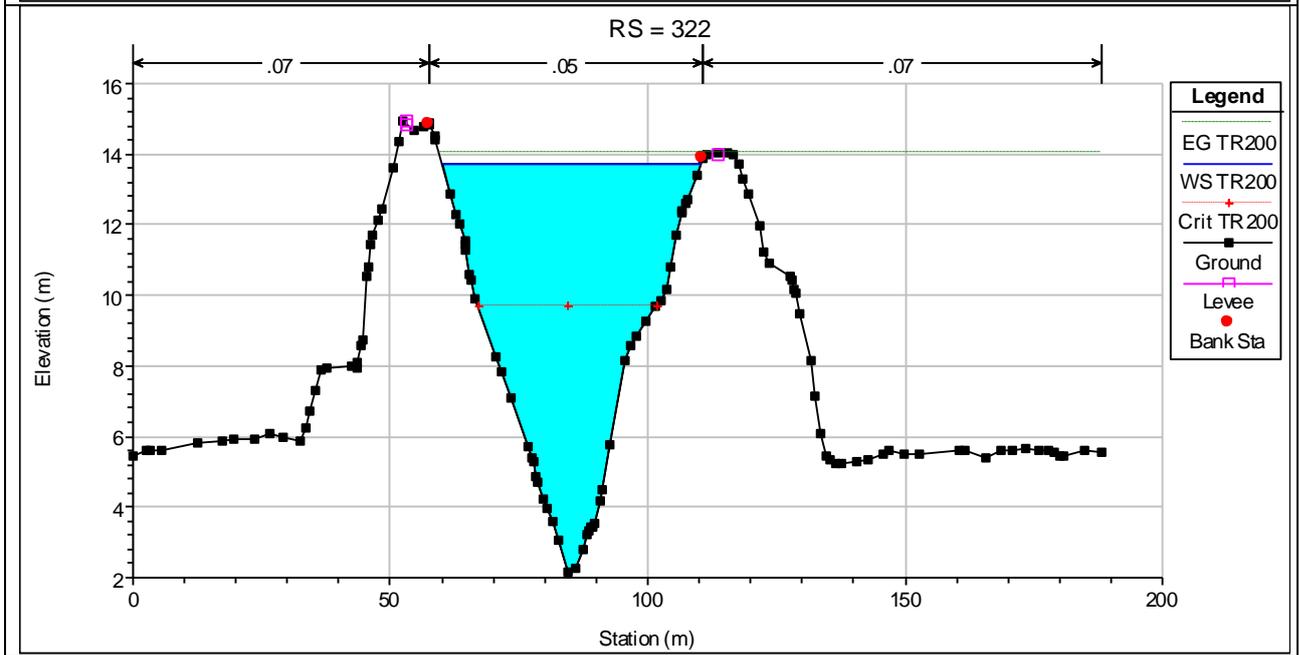
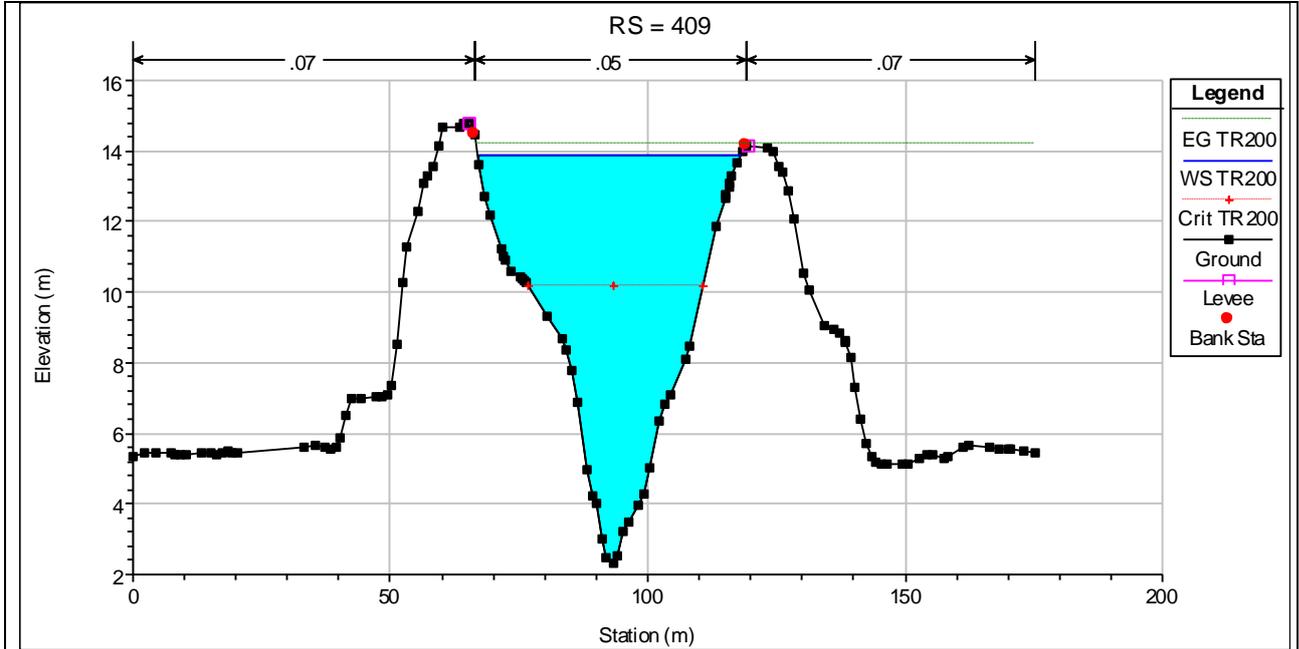
	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75bar	Fg. 29 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060



	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75bar	Fg. 30 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060



	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 31 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

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 i rilevati arginali non sempre risultano di altezza adeguata al fine di contenere la portata di progetto (portata duecentennale).

In particolare dei sormonti si rilevano nel tratto alto ed intermedio del tronco d'alveo analizzato e soprattutto nel lato in destra idrografica. Nel tratto basso il franco idraulico risulta in destra risulta estremamente esiguo.

Le velocità di deflusso in alveo della corrente, in concomitanza dell'evento di piena considerato, assumono dei valori massimi dell'ordine dei 2,5÷3 m/s. In corrispondenza dei tratti di sormonto le velocità di deflusso longitudinale tendono a diminuire notevolmente.

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-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 32 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

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-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 33 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

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.

Documento di proprietà Snam. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

File dati: REL.10-LA-E-86030

Santerno DP.docx

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 34 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

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.

Documento di proprietà Snam. La Società tutelerà i propri diritti in sede civile e penale a termini di legge.

File dati: REL.10-LA-E-86030
Santerno DP.docx

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 35 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

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-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75bar	Fg. 36 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

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 (m3/s)	Q Chan (m3/s)	Vel Chnl (m/s)	Top Width Act Chl (m)	Hydr Depth C (m)	Portata specifica (m ³ /s m)	Carico totale (m)	Approfond. Localizzati (m)	Arature di fondo (m)
956	766	225.90	0.78	172.66	5.43	1.31	5.46	1.19	1.81
841	766	380.65	1.19	112.23	6.18	3.39	6.25	1.66	2.06
754	766	362.96	1.22	106.86	6.32	3.40	6.40	1.68	2.11
679	766	335.49	1.17	112.19	6.22	2.99	6.29	1.61	2.07
594	766	766.00	2.91	46.61	5.69	16.43	6.12	2.71	1.90
509	766	766.00	2.9	46.1	5.73	16.62	6.16	2.72	1.91
409	766	766.00	2.66	50.87	5.67	15.06	6.03	2.61	1.89
322	766	766.00	2.59	50.18	5.9	15.27	6.24	2.67	1.97

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/m2)	Diametro limite clasti trasportati (m)
956	8.86	0.01
841	19.52	0.02
754	20.72	0.02
679	19	0.02
594	121.67	0.14
509	120.39	0.14
409	100.76	0.12
322	94.13	0.11

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 37 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

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 2,7 m. La corrente, inoltre, nel tratto in esame risulta potenzialmente in grado di movimentare dei "clasti liberi" (ossia non inclusi in scogliere e/o rivestimenti d'alveo) del diametro dell'ordine dei 0,15m.

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-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 38 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

7 METODOLOGIA COSTRUTTIVA E SCELTE PROGETTUALI

7.1 Metodologia costruttiva: Direct Pipe

La scelta del sistema d'attraversamento, particolarmente nel caso di corsi d'acqua di rilevante importanza, 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 della “Direct Pipe”, che consiste in una soluzione in sotterraneo che prevede la messa in opera del metanodotto contestualmente alla fresatura del terreno.

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 della messa in opera della condotta.

È necessario infatti, assicurare adeguate profondità della trivellazione 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.

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.

Qui di seguito vengono descritte le caratteristiche geometriche del profilo di trivellazione.

- lunghezza dello sviluppo complessivo della trivellazione: di circa 358 metri (di cui 303m circa relativamente al tratto curvilineo e complessivamente circa 55m per i due brevi tratti rettilinei di estremità);
- raggio di curvatura del tratto curvilineo pari a $R=1400m$;
- la copertura minima della generatrice superiore della condotta rispetto alle quote di fondo alveo del corso d'acqua risulta essere di **circa 13,5 m**;
- distanza verticale minima della trivellazione dal piede esterno del rilevato arginale: circa 15 metri (nel lato in destra idrografica);
- la postazione di partenza (pozzo di spinta) è posta nel lato in sinistra idrografica del corso d'acqua, ad una distanza (misurata lungo l'asse della trivellazione) di oltre 150m dal piede esterno dell'argine sinistro e presenta una profondità di circa 5,5m;

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 39 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

- la postazione di arrivo è invece posta nel lato in destra idrografica, ad una distanza di circa 100m dal piede esterno dell'argine del corso d'acqua;

Tale configurazione di progetto consente di realizzare la trivellazione 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-81940).

7.3 Descrizione della tecnica della “Direct Pipe”

7.3.1 Generalità sul sistema costruttivo

Il sistema consiste nell'avanzamento progressivo di una testa di perforazione cilindrica posizionata direttamente in testa alla condotta.

L'intera stringa di condotta da posare (o parti di essa), viene assemblata prima dell'inizio delle operazioni di perforazione.

La forza di spinta necessaria all'avanzamento della testa fresante è applicata sulla superficie laterale della condotta (testa della stringa) attraverso un sistema idraulico di spinta chiamato “Pipe Thruster”.

Detto sistema idraulico, ubicato nella postazione di perforazione, trasmette la spinta alla condotta per mezzo di pinze “clamps”, di dimensioni adeguate, spingendo la stessa nel foro di alloggiamento mediante una “pista di varo” opportunamente inclinata.

La spinta fornita dai cilindri idraulici viene trasmessa per attrito attraverso una porzione il più ampia possibile della superficie laterale della condotta in modo che il rivestimento di protezione della tubazione non venga danneggiato. Il “Pipe Thruster” viene saldamente ancorato al terreno per mezzo di un'appropriata piastra di fondazione.

L'approvvigionamento energetico necessario alla testa fresante è garantito da linee di collegamento flessibili, alloggiare all'interno della condotta prima dell'inizio delle operazioni di avanzamento. Dette linee, inoltre, consentono i collegamenti con la cabina di manovra (container comandi) per il controllo della direzionalità del foro nonché il trasporto dei fanghi sporchi “slurry” (dal fronte scavo all'impianto di separazione) e dei fanghi puliti di perforazione (verso la testata di perforazione) (cfr. Fig. 7.3/A).

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 40 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060



Fig.7.3/A: Schema illustrativo della postazione di trivellazione all'inizio della perforazione [Herrenknecht AG]

Come accennato in precedenza, il “Pipe Thruster” spinge, attraverso il tubo di processo, la testa fresante nel terreno secondo un determinato angolo di inclinazione. In analogia con quanto avviene nel caso di tecnologia microtunnelling, la direzione può essere prefissata o variata, all’occorrenza, contestualmente alle operazioni di avanzamento. Il monitoraggio in tempo reale della posizione e della direzionalità della testa di perforazione sono effettuati per mezzo di un sistema giroscopico che assicura una precisione di poco superiore ad un centimetro in direzione verticale e di pochi centimetri in direzione orizzontale.

Così come avviene nel caso del microtunnelling, le caratteristiche della testata di trivellazione vengono scelte sulla base delle condizioni geotecniche del terreno.

L’allontanamento del terreno di scavo è effettuato in sospensione all’interno di una miscela di bentonite erogata per mezzo di un tubo di alimentazione (in mandata) e pompata, attraverso un tubo convogliatore, verso la stazione di separazione dove il terreno viene separato dalla miscela bentonitica che può quindi essere riutilizzata per l’esecuzione dello scavo.

La testa di perforazione ha un diametro maggiore rispetto alla condotta da posare; tale “overcut” che si viene a determinare tra la superficie esterna della tubazione e la parete del foro, riempito con il fluido di perforazione, è necessario per prevenire il collasso del foro stesso e per diminuire sensibilmente le forze di attrito che si oppongono all’avanzamento della perforazione.

Utilizzando la tecnologia “Direct Pipe”, la dimensione del “overcut” risulta essere estremamente contenuta ed approssimativamente pari a 5 cm.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 41 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

Una volta completata la perforazione, verranno dapprima scollegati dalla condotta e successivamente rimossi, sia la testa di perforazione che il “Pipe Thrust”, agendo attraverso le postazioni di recupero e di perforazione.

Potranno quindi essere recuperati, dall’interno della condotta, i tubi di collegamento ed, infine, si potrà procedere alla realizzazione dei collegamenti tra la condotta posata tramite “Direct Pipe” ed il resto della linea al fine di conferire continuità dell’infrastruttura lineare di trasporto (cfr. Fig. 7.3/B).



Fig.7.3/B: Rimozione della testa di perforazione dopo la posa della condotta [Herrenknect AG]

7.3.2 Principali caratteristiche della Direct Pipe

Vengono elencate di seguito le caratteristiche principali della metodologia Direct Pipe:

- La tubazione è direttamente e definitivamente alloggiata all’interno del foro scavato;
- La testa fresante può essere dotata delle adeguate strumentazioni per far fronte alle più disparate condizioni geotecniche del terreno di scavo;
- L’ampio raggio di curvatura evita eventuali stress al metanodotto;
- Il volume di slurry è ridotto ed anche la quantità di terreno scavato è ridotto al minimo;
- Grazie alla continuità di lavoro del “Pipe Thrust”, gli effettivi tempi di perforazione sono contenuti.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 42 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

7.3.3 Componenti principali del sistema Direct Pipe

I principali componenti per la metodologia esecutiva del Direct Pipe sono i seguenti:

- Testa fresante;
- tubi di collegamento tra testa fresante e condotta;
- equipaggiamenti installati all'interno della condotta, tubi di alimentazione, equipaggiamenti di sicurezza;
- unità per la direzionalità della testa fresante;
- unità di spinta "Pipe Thruster";
- anello di tenuta;
- unità di miscelazione e separazione dei fanghi di perforazione;
- tratto di condotta da posare;

Testa fresante

Il terreno sul fronte scavo viene tagliato da "cutters" di cui è dotata la testa fresante di caratteristiche adeguate alle caratteristiche geotecniche attese per il terreno di scavo.

Il fronte scavo è sostenuto per mezzo di una miscela di acqua e bentonite e la direzionalità della testa fresante può essere effettuata sia in presenza di terreni molto resistenti, conglomerati e rocce, che terreni incoerenti (sabbie e ghiaie).

Sul fronte scavo viene applicata una pressione alla miscela di perforazione (con la possibilità di disporre di valori più elevati) con lo scopo di evitare l'adesione del fronte scavo sulla testa di perforazione, consentire la rimozione diretta del terreno allentato dall'azione tagliente ed evitare l'infiltrazione di terreno nell'"overcut" della condotta.

In questo modo lo "slurry" (terreno di scavo in sospensione con la miscela bentonitica) viene incanalato sul retro e all'interno della testa fresante con una pressione di 7-9 bar e una portata di 200-500 litri/min.

L'impatto e la turbolenza cui è sottoposto il materiale, assicurano la rimozione ottimale dello "slurry".

La figura seguente illustra come il terreno viene rotto/allontanato dai cutters sul fronte di scavo della testa fresante, quindi viene frantumato all'interno del cono di frantumazione e pompato, in sospensione nella miscela acqua-bentonite, dal retro della fresa all'esterno della condotta, verso l'unità di trattamento, attraverso una condotta "di rimozione dello slurry"

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 43 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

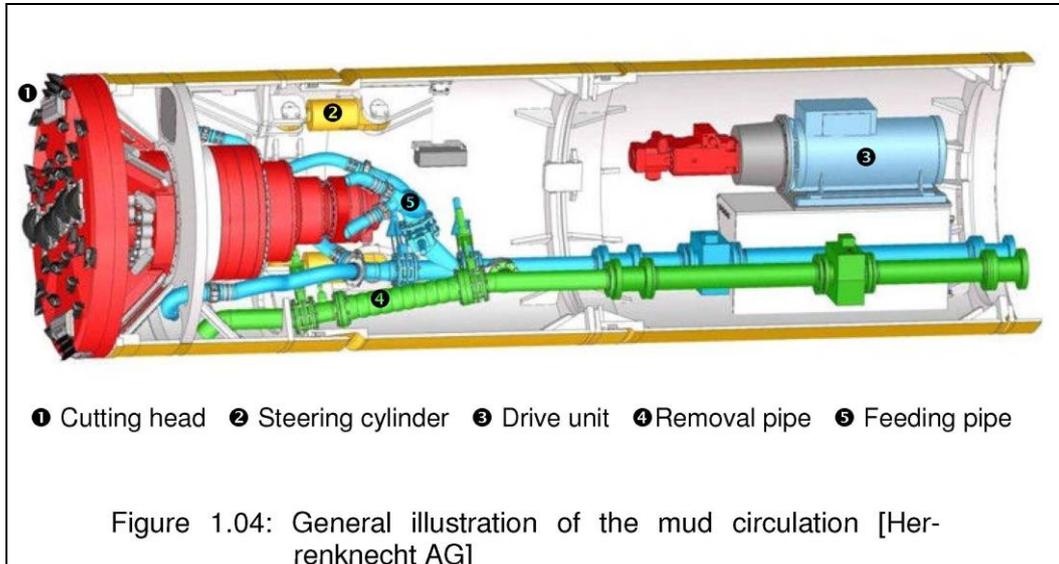


Fig.7.3/C: Schema della circolazione dei fanghi di perforazione (1 testa fresante, 2 cilindro per la guida dello scudo, 3 unità per il controllo direzionale, 4 Condotta per la rimozione dello slurry, 5 Condotta di alimentazione del fango di perforazione)

Il momento torcente viene trasmesso dalla testa fresante al terreno per attrito. Al fine di poter evitare la trasmissione di tensioni torsionali lungo l’asse longitudinale, dalla TBM alla tubazione e viceversa, la TBM è collegata alla pipeline per mezzo di un giunto cardanico girevole.

Segmenti di collegamento tra testa fresante e condotta

Fino a tre segmenti di tubi di collegamento possono essere installati, tra la testa fresante e la condotta, al fine di migliorare la manovrabilità della testa fresante rispetto alle resistenze causate dalla presenza della pipeline retrostante.

Connessioni specifiche tra i tubi di collegamento garantiscono la trasmissione degli sforzi di compressione e di trazione rendendo allo stesso tempo possibili curvature sia sul piano orizzontale che su quello verticale.

La disponibilità di cilindri di “guida dello scudo” e la presenza di un “giunto attivo” incrementano ulteriormente l’ampiezza della “sterzata” della testa fresante.

Equipaggiamenti installati all’interno della pipeline, tubi di alimentazione, equipaggiamenti di sicurezza.

Tutti i tubi e i cavi di collegamento tra la testa fresante e la postazione di trivellazione sono installati all’interno della pipeline per mezzo di speciali selle disposte su carrelli in modo da consentire il loro scorrimento evitando il contatto diretto con la superficie interna della condotta al fine di prevenire qualsiasi danneggiamento del rivestimento interno della stessa.

Inoltre, la presenza delle selle su rulli fa sì che i tubi e i cavi possano all’occorrenza essere facilmente rimossi e smontati utilizzando un cavo trainato per mezzo di un argano.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 44 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

Una batteria di veicoli guidati e su ruote è montata all'interno della condotta in modo che sia possibile il trasporto sicuro di persone e materiali all'interno della stessa. A fronte degli spazi angusti disponibili, in accordo ai criteri di sicurezza e alle sperimentazioni delle autorità tedesche BG e TÜV, il personale può accedere in condizioni di sicurezza alla testa fresante, attraverso la condotta.

Unità per la gestione della testa fresante

L'unità per la gestione remota della fresa (container comandi), nel caso di "Direct Pipe", si differenzia da quella corrispondente utilizzata nell'ambito della realizzazione di microtunnel. Specificatamente, viene utilizzata, di base, un'unità AVN per microtunnel, integrata con speciali componenti per la direzionalità, la navigazione e il monitoraggio. In particolare è prevista la gestione del "Pipe Thrust", il giunto "attivo" e il flusso di miscela bentonitica.

Tutte le principali operazioni connesse al controllo della fresa vengono effettuate in modalità remota all'interno del container comandi: potranno così essere azionati, in qualsiasi momento, i pistoni idraulici, le pompe ed i motori mentre movimenti, pesi, distanze, inclinazioni e posizioni potranno essere regolati, misurati e registrati.

Tutti i compiti di controllo e di gestione del sistema sono svolti da un operatore esperto ed il relativo processo viene eseguito da uno o più pistoni idraulici sulla base di dati ottenuti per mezzo di un sistema elettronico combinato con un sistema a giroscopio.

Sulla base dei dati rilevati con questi due dispositivi, la posizione tridimensionale della macchina è determinata e visualizzata in relazione al profilo di progetto predefinito.

Per mezzo di questa strumentazione è possibile ottenere un'estrema precisione per effettuare la modifica direzionale con una curvatura elastica ammissibile e per puntare il target di uscita della trivellazione.

Unità di spinta e di tiro (Pipe Thruster)

Il "Pipe Thruster" è in grado di trasferire le forze di trazione e/o di spinta per mezzo delle forze di attrito esercitate da "clamps" sulla superficie laterale della condotta (in grado di movimentarlo sia in avanti che indietro). Modificando la geometria delle "clamps", il "Pipe Thruster" è in grado di movimentare la condotta da 20" a 60" di diametro.

I due martinetti idraulici laterali sono in grado di fornire un avanzamento della pipeline di 5 m /min, con un'escursione massima dei pistoni di 5 m ed una capacità di sforzo assiale da 5000 kN a 7500kN a seconda del tipo di unità.

La "clamp" e i martinetti idraulici sono impernati in modo da consentire sia piccole che elevate inclinazioni sull'orizzontale.

Il peso complessivo del "Pipe Thrust" varia da 45 a 60 ton a seconda del tipo ed è smontabile in moduli per un facile trasporto.

Il "Pipe Thruster" deve essere saldamente connesso al basamento di fondazione in modo da consentire la precisione direzionale e trasferire in fondazione gli sforzi di costruzione.

La fondazione consisterà in una piastra in c.a. connessa ad opere di fondazione profonde (pali trivellati o micropali) e dovrà presentare caratteristiche di resistenza tali che non si possano verificare cedimenti o deformazioni sia nella struttura che nel terreno di fondazione, tali da inficiare la necessaria precisione direzionale richiesta al sistema.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 45 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060



Fig.7.3/D: Pipe Thruster, presentata Hannover nel 2006 [Herrenknecht]

Sostegno del sovra-scavo anulare

Al fine di ridurre gli sforzi assiali per l'avanzamento (causati dall'attrito tra la tubazione e il terreno) è necessario creare uno strato lubrificante. Detto strato si crea utilizzando una fresa avente diametro leggermente superiore alla tubazione da mettere in opera e riempiendo il sovra-scavo anulare con liquidi lubrificanti.

La creazione del gap anulare è indispensabile per facilitare le operazioni di infilaggio della condotta, pertanto, la testa fresante e gli elementi tubolari retrostanti sono a geometria conica con una progressiva riduzione di diametro.

Direttamente dietro la testa di taglio, ad esempio, una miscela di acqua e bentonite viene immessa in pressione come lubrificante nel gap anulare.

Nella zona di transizione tra il tubo adattatore e la pipeline, l'overcut" anulare è completamente essere riempito con lubrificante (bentonite in sospensione di acqua).

Per evitare un'incontrollata penetrazione di lubrificanti nel suolo o il collasso del foro anulare durante l'avanzamento, la miscela bentonitica viene mantenuta costantemente ad una prestabilita pressione idrostatica collegando il foro riempito ad un serbatoio esterno a livello controllato. La pressione viene mantenuta nel foro grazie ad un anello di tenuta presente sulla sezione iniziale della trivellazione.

Unità di ricircolo

L'unità di ricircolo, disposta all'interno di container prefabbricati, è usata da una parte, per produrre la miscela bentonitica che, pompata attraverso pompe d'alimentazione, serve, in funzione delle diverse condizioni geologico – geotecniche, a sostenere il fronte di scavo ed il sovrascavo anulare; dall'altra è usata per separare lo slurry in modo tale che il terreno possa essere separato e la miscela bentonitica riutilizzata. La miscela da riutilizzare verrà verificata in ordine alla sua composizione ed eventualmente addizionata con ulteriore bentonite o ad altre sostanze ambientalmente compatibili.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 46 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

7.3.4 Attività terminali (collaudo condotta e ripristini)

Collaudo idraulico della condotta

Il tratto di condotta interessato dall'attraversamento sarà sottoposto ad una prova idraulica in opera con una pressione pari ad 1,3 volte la pressione massima di esercizio (MOP = 75 bar).

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

Ripristini

Al termine delle operazioni di collegamento dalla condotta varata con i tratti già posati a monte e a valle dell'attraversamento, si procederà 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-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 47 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

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 nell'esecuzione di attraversamenti fluviali con la tecnica della *Direct Pipe*, 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

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 48 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

tunnel in quanto a lungo termine le presupposte cavità presenti in prossimità della condotta si intasano velocemente per effetto del consolidamento del terreno.

Nelle condizioni ordinarie per le quali le trivellazioni sono giudicate fattibili si può 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-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75bar	Fg. 49 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

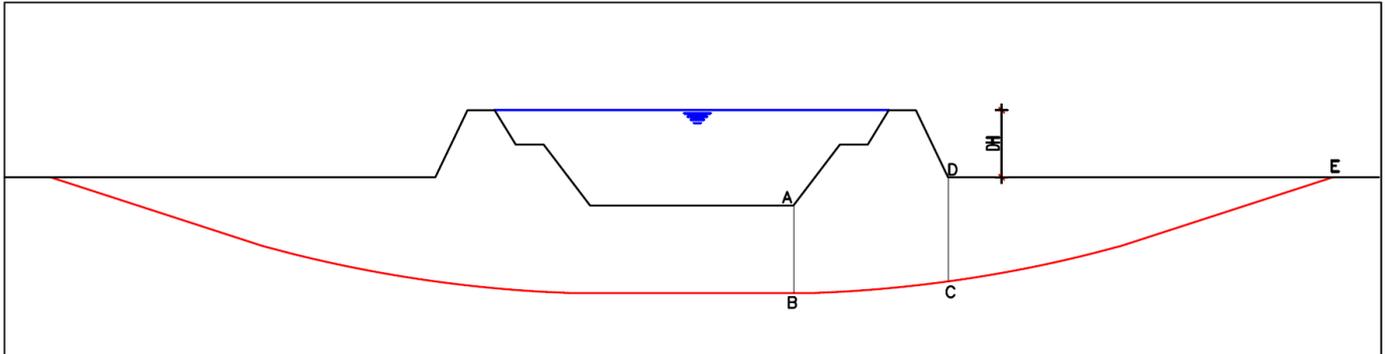


Fig. 8.3/A: Sezione schematica per le verifiche al sifonamento

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-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 50 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

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 (con prevalenza di argille limose nei livelli nei quali si sviluppa la trivellazione di subalveo – 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-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 51 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

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-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 52 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

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 SANTERNO	Argine dx	15.50	38.20	15.10	>>AD	38.15	9.23
	Argine sx	13.50	39.60	17.10	>>AD	39.73	9.07
RISULTATI VERIFICHE AL SIFONAMENTO							
METODO GRADIENTE		CRITERIO DI LANE			METODO OLANDESE		
$L=AB+1/2BC+CD$	$Fs=i_{cr} \cdot L/DH$	$L=AB+1/3BC+CD$	$Flane$	$Fs (>Flane)$	$L=AB+1/6BC+CD$	$Larg=AD/3$	$Fs=L/Larg$
49.70	3.23	43.33	4.5	4.69	36.97	12.72	2.91
50.40	3.33	43.80	4.5	4.83	37.20	13.24	2.81
	>=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-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 53 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

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 di Bacino Interregionale del Fiume Reno, 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 ITI021 - Unità di Gestione, ambito territoriale di riferimento), nell'Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po (in considerazione della nuova configurazione dei distretti idrografici, di cui all'art.51 della Legge 221/2015).

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.

I Piani di Gestione del Rischio di Alluvioni sono predisposti sulla base delle mappe della pericolosità e del rischio di alluvioni, esse costituiscono, quindi, il quadro conoscitivo in riferimento al quale il PGRA individua i propri obiettivi di gestione del rischio e le misure per raggiungerli; sono uno strumento di informazione e la base di conoscenze per definire le priorità di azione per la riduzione del rischio di alluvione.

Le mappe della pericolosità individuano le aree potenzialmente interessate da inondazioni in relazione a tre scenari:

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 54 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

- 1) Scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi (P1, probabilità bassa);
- 2) Alluvioni poco frequenti: tempo di ritorno di riferimento fra 100 e 200 anni (P2, media probabilità);
- 3) Alluvioni frequenti: tempo di ritorno di riferimento fra 20 e 50 anni (P3, elevata probabilità).

Le mappe del rischio rappresentano le potenziali conseguenze negative delle alluvioni, espresse in relazione agli elementi potenzialmente coinvolti: popolazione, tipo di attività economiche, patrimonio culturale e naturale, impianti che potrebbero provocare inquinamento accidentale in caso di evento, ecc.

Esse sono restituite in due rappresentazioni: per elementi esposti e per classi di rischio.

La prima rappresentazione mostra gli elementi esposti raggruppati in 6 categorie e l'attività economica prevalente con opportuna simbologia posta sulle mappe di pericolosità. La seconda rappresentazione mostra gli elementi esposti in 4 classi di rischio, ottenute dalle mappe di pericolosità valutando i danni potenziali:

- R4 molto elevato;
- R3 elevato;
- R2 medio;
- R1 moderato;

In riferimento alla definizione di alluvione della Direttiva Alluvioni e del D.Lgs. 49/2010 la Regione Emilia-Romagna ha predisposto le mappe di pericolosità e rischio in riferimento a tre tipologie di fenomeni:

- fenomeno delle inondazioni generate dai corsi d'acqua naturali (denominato nel PGRA “ambito Corsi d'acqua Naturali”);
- fenomeno delle inondazioni generate dal reticolo secondario di pianura (denominato nel PGRA “ambito Reticolo di Bonifica”);
- fenomeno delle inondazioni generate dal mare (denominato nel PGRA “ambito Costa”).

Alla scala di intero distretto in esame, il PGRA agisce in sinergia con i PSAI vigenti. In particolare, per quanto concerne alle aree potenzialmente inondabili per effetto dell'esondazione dei corsi d'acqua ricadenti nel territorio della UoM “Reno” 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 dei PSAI vigenti (e dalle Direttive, Linee Guida, ecc.), opportunamente integrate (in termini di Tavole e di Norme) in considerazione delle modalità illustrate nella Variante ai Piani Stralcio del bacino idrografico del Fiume Reno finalizzata al coordinamento tra tali Piani e il Piano Gestione Rischio Alluvioni.

Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PSAI)

La pianificazione dell'Autorità di bacino del Reno si compone di quattro piani stralcio di sottobacino che costituiscono, lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate, sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali del territorio interessato, le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa e alla valorizzazione del suolo dell'ambito territoriale di riferimento costituito dall'intero bacino del Reno. Completa il quadro della pianificazione una direttiva che prevede la redazione dei “Piani Consortili Intercomunali per la sicurezza idraulica nei sistemi idrografici di pianura”.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 55 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

La pianificazione del bacino del Reno è costituita, dunque, da:

- il *“Piano Stralcio per il Sistema Idraulico Navile-Savena Abbandonato”*, approvato dalla Giunta della Regione Emilia-Romagna con deliberazione n.129 del 08.02.2000;
- il *“Piano Stralcio Assetto Idrogeologico” (Fiume Reno, Torrente Idice-Savena vivo, Torrente Sillaro, Torrente Santerno)* PSAI approvato, per il rispettivo territorio di competenza, dalla Giunta della Regione Emilia-Romagna con deliberazione n. 567 del 07.04.2003, e dal Consiglio Regionale della Regione Toscana con deliberazione del n. 114 del 21.09.2004;
- il *“Piano Stralcio Bacino del Torrente Samoggia Aggiornamento 2007”*; approvato dalla Giunta della Regione Emilia-Romagna con deliberazione n.1925 del 17.11.2008;
- la *“Revisione Generale del Piano Stralcio per il Bacino del Torrente Senio”* approvata per il rispettivo territorio di competenza dal Consiglio Regionale della Regione Toscana con deliberazione n. 24 del 10.02.2010 e dalla Giunta della Regione Emilia-Romagna con deliberazione n. 1540 del 18.10.2010;
- la *“Direttiva per la sicurezza idraulica nei sistemi idrografici di pianura nel bacino del Reno”* approvata dal Comitato Istituzionale dell’Autorità di Bacino del Reno del 23.04.2008 con delibera 1/3 e successivamente modificata con Delibera di Comitato Istituzionale 1/2 del 25.02.2009.

Tutti gli strumenti della pianificazione di bacino del Reno menzionati ai punti precedenti perseguono, nel loro complesso, finalità ed obiettivi inerenti alla tutela dell’ambito territoriale di riferimento dalle conseguenze degli effetti dei fenomeni di dissesto idraulico ed idrogeologico, tra i quali, in particolare, assumono particolare rilevanza i fenomeni alluvionali. Detti strumenti di pianificazione sono stati oggetto di successivi aggiornamenti, varianti, integrazioni e modifiche, allo scopo di adeguarli il più possibile all’evoluzione della situazione in atto ed ai risultati delle attività di approfondimento conoscitivo sviluppate negli anni successivi all’entrata in vigore di ciascuno degli stralci del piano di bacino sopra citati.

Tra le varianti, riveste una particolare importanza la Variante ai Piani Stralcio del bacino idrografico del Fiume Reno finalizzata al coordinamento tra tali Piani e il Piano Gestione Rischio Alluvioni, che costituisce la Variante di coordinamento tra il PGRA e i PSAI del bacino idrografico del Fiume Reno, approvata, per il territorio di competenza, dalla Giunta Regionale Emilia-Romagna con deliberazione n. 2111 del 05.12.2016.

Questa variante introduce delle integrazioni sia in termini di mappature di aree inondabili, che in termini di Norme.

I contenuti delle tavole MP “Mappe di pericolosità delle aree potenzialmente interessate da alluvioni” sono tratti dalle Mappe di Pericolosità del “Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni del Distretto Idrografico dell’Appennino Settentrionale”, approvato con deliberazione n. 235 del 3marzo 2016 dal Comitato Istituzionale dell’Autorità di bacino dell’Arno, integrato ex art. 4 comma 3 D.lgs. 219/2010.

Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP) di Ravenna

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

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 56 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

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 PSAI).

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".

Norme di Piano PSAI (in considerazione della Variante 2016) - Sintesi dei contenuti PSAI Reno, Idice-Savena, Sillaro e Santerno (art.1 c. 1 L. 3.08.98 n.267 e s.m.i.)

Le articolazioni delle Norme di Piano inerenti "Rischio Idraulico e Assetto della Rete Idrografica" sono riportate nel Titolo II delle Norme stesse.

Sulla base di studi idrologici e idraulici e di valutazioni geomorfologiche, in relazione al rischio idraulico e all'assetto della rete idrografica, i Piani Stralcio hanno individuato quattro tipologie principali di zonizzazione, alle quali corrisponde nelle Norme una diversa disciplina dell'uso del suolo e dello svolgimento di attività antropiche:

- l'Alveo Attivo quale ambito territoriale di maggiore tutela, corrispondente agli spazi normalmente occupati dalle acque in riferimento ad eventi di pioggia con tempi di ritorno di 5-10 anni ed includendo in esso anche le aree comprese fra argini continui su entrambi i lati del corso d'acqua;
- le Aree ad Alta Probabilità di inondazione per giungere all'individuazione delle situazioni a rischio idraulico elevato e molto elevato e delle altre situazioni a rischio e per definire, in relazione a tempi di ritorno inferiore o uguali a 50 anni, la dimensione fluviale nei tratti non arginati e le aree soggette a inondazione con effetti idrodinamici rilevanti nei tratti arginati;
- le Aree per la Realizzazione degli Interventi Strutturali di riduzione del rischio idraulico, pianificate e disciplinate assumendo come obiettivo il raggiungimento di condizioni di sicurezza idraulica nei territori insediati per tempi di ritorno fino a 200 anni;
- le Fasce di Pertinenza Fluviale, porzioni di territorio latitanti i corsi d'acqua individuate con criteri diversi, nei tratti montani, nei tratti di conoide all'apice della pianura e nei tratti arginati, vengono indicate come le aree da dedicare alle azioni di recupero dei sistemi fluviali nella loro funzioni idraulica ed ecologica, all'interno delle quali si possono far defluire con sicurezza le portate caratteristiche di un corso d'acqua, comprese quelle relative ad eventi estremi con tempo di ritorno (TR) fino a 200 anni, mediante opere di regimazione a basso impatto ambientale e interventi necessari a ridurre l'artificialità del corso d'acqua e a recuperare la funzione di corridoio ecologico. Le suddette aree sono contraddistinte dalla sigla PF.V. (a valle della linea via Emilia- Chiusa di Casalecchio) o PF.M. (a monte della medesima linea);

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 57 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

In particolare nell'art.15 vengono descritti e disciplinati gli interventi consentiti e non consentiti negli ambiti territoriali censiti come “Alveo attivo”.

In particolare ai sensi del comma 4, le Norme consentono la realizzazione di nuove infrastrutture all'interno delle suddette aree, se riferite a servizi essenziali e non delocalizzabili, purché risultino coerenti con gli obiettivi del piano e con la pianificazione degli interventi d'emergenza di protezione civile. In tal senso l'intervento è sottoposto al parere vincolante dell'Autorità di Bacino espresso seguendo la procedura di cui al comma 4 dell'art. 24.

Nell'art.16 vengono descritti e disciplinati gli interventi consentiti e non consentiti negli ambiti territoriali censiti come “Aree ad alta probabilità di inondazione”.

In particolare ai sensi del comma 3, le Norme consentono la realizzazione di nuove infrastrutture all'interno delle suddette aree, se riferite a servizi essenziali e purché la loro realizzazione non incrementi sensibilmente il rischio idraulico rispetto al rischio esistente e risultino coerenti con la pianificazione degli interventi d'emergenza di protezione civile. Detti interventi, ai sensi del comma 8, sono sottoposti al parere dell'Autorità di Bacino che si esprime in merito alla compatibilità e coerenza degli interventi con i contenuti del presente articolo e con gli obiettivi del piano, seguendo la procedura di cui al comma 4 dell'art. 24.

Nell'art.17 vengono descritti e disciplinati gli interventi consentiti e non consentiti negli ambiti territoriali censiti come “Aree per la realizzazione degli interventi strutturali”.

In particolare ai sensi del comma 3, le Norme consentono la realizzazione di nuove infrastrutture all'interno delle suddette aree, se riferite a servizi essenziali e purché la loro realizzazione se riferite a servizi essenziali e non diversamente localizzabili, purché non ostacolino la realizzazione degli interventi strutturali previsti. Il progetto preliminare di nuovi interventi infrastrutturali è sottoposto al parere vincolante dell'Autorità di Bacino che si esprime in merito alla compatibilità e coerenza dell'opera con gli obiettivi del presente piano seguendo la procedura di cui al comma 4 dell'art. 24.

Nell'art.18 vengono descritti e disciplinati gli interventi consentiti e non consentiti negli ambiti territoriali censiti come “fasce di pertinenza fluviale”, riportate nelle tavole del “Titolo II Assetto della Rete Idrografica” e contraddistinte dalle sigle PF.V. e PF.M..

In particolare, vengono poste una serie di limitazioni inerenti alla realizzazione di nuovi fabbricati e di nuove infrastrutture, nonché si vietano nuove attività di smaltimento dei rifiuti e si limitano le nuove attività finalizzate al recupero dei rifiuti.

Mentre, ai sensi del comma 3, lettera a), le Norme consentono la realizzazione di nuove infrastrutture all'interno delle suddette aree, se riferite a servizi essenziali non diversamente localizzabili e purché risultino coerenti con gli obiettivi del presente piano e con la pianificazione degli interventi d'emergenza di protezione civile. Detti interventi, ai sensi del comma 6, sono sottoposti al parere dell'Autorità di Bacino che si esprime in merito alla compatibilità e coerenza degli interventi con i contenuti del presente articolo e con gli obiettivi del piano, seguendo la procedura di cui al comma 4 dell'art. 24.

Infine nelle norme integrative introdotte dalla Variante di coordinamento tra il PGRA e i PSAI, riportate nel Titolo IV “Coordinamento con il Piano di gestione del Rischio Alluvioni” sono riportate le disposizioni per quanto di competenza della pianificazione di bacino, le misure previste dal Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA).

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 58 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

“Direttiva per la sicurezza idraulica nei sistemi idrografici di pianura nel bacino del Reno”

È il sistema di pianificazione e di programmazione, riguardante il sistema idrografico di pianura del bacino del Reno costituito dall’insieme della rete idrografica attualmente “di bonifica” e dei bacini imbriferi che direttamente o indirettamente in essa scolano e dall’insieme dei corsi d’acqua “minori” e dei loro bacini imbriferi che, interagendo in modo rilevante con la rete di bonifica, necessitano di una gestione unitaria ai fini della sicurezza idraulica.

Gli obiettivi generali del sistema di pianificazione e di programmazione per i sistemi idrografici di pianura, analogamente agli altri piani stralcio attualmente in vigore nel bacino del Reno, sono:

- la riduzione del rischio idraulico;
- la riqualificazione ambientale dei corsi d’acqua e dei territori ad essi limitrofi e il risanamento delle acque superficiali;
- il risparmio, il riutilizzo, il riciclo e la razionale utilizzazione delle risorse idriche superficiali.

La finalità della Direttiva è pertanto la definizione di un sistema di pianificazione e di programmazione, omogeneo nell’ambito del bacino del Reno, tale da soddisfare adeguatamente le esigenze di sicurezza idraulica, di riqualificazione ambientale e di razionale uso delle risorse idriche.

Il processo di pianificazione definito dalla Direttiva prevede di continuare ad affidare ai Comuni ed ai Consorzi la responsabilità di:

- garantire il non aumento del rischio idraulico attraverso lo sviluppo di attività di pianificazione che limitino l’attività edilizia nelle aree ritenute inondabili;
- rendere possibile la riduzione del rischio idraulico mediante norme o azioni che consentano e promuovano, mediante incentivi, la riduzione degli elementi esposti a rischio e/o della loro vulnerabilità;
- individuare gli interventi strutturali per la per la mitigazione del rischio esistente dovuto a insufficienti prestazioni delle reti consortili.

Inoltre, in applicazione della Direttiva per la sicurezza idraulica di pianura nel bacino del Reno, sono state approvate con Delibera CI 1/3 del 05.03.2014 le “Linee guida per la progettazione dei sistemi di raccolta delle acque piovane per il controllo degli apporti nelle reti idrografiche di pianura”.

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 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

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 59 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

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) 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.

5.(P) 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.

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 possono individuare le interferenze tra il metanodotto in progetto (riportato mediante una linea in colore rosso) con le aree censite a pericolosità idraulica nel PSAI vigente nel territorio in esame. Il tratto di metanodotto la cui posa è prevista in trivellazione di subalveo è schematicamente riportato mediante una sagoma rettangolare in magenta.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 61 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

Dall'analisi della figura precedente si evince che l'alveo attivo del corso d'acqua (Art.15), 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) si ricade comunque entro le fasce di pertinenza fluviale del corso d'acqua "PF.V." (Art.18), nonché in delle aree inondabili (a pericolosità da alluvioni P2).

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.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 62 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

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

In precedenza è stato evidenziato sia l'alveo del corso d'acqua, che le pertinenze fluviali localizzate in prossimità dell'alveo stesso, verranno attraversati in trivellazione (ad elevate profondità di posa). Pertanto alla luce della metodologia operativa individuata e delle scelte progettuali, si evidenzia quanto segue:

- L'attraversamento fluviale avviene in "subalveo" e prevede una profondità di posa della condotta di 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.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 63 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

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

9.4.3 Considerazioni specifiche inerenti ai tratti di linea esterni alla trivellazione

Relativamente ai tratti di linea esterni alla trivellazione (nei quali il metanodotto verrà posizionato mediante scavi a cielo aperto), i quali seppur localizzati a distanze ragguardevoli dai rilevati arginali del corso d'acqua, sono comunque ricadenti in ambiti inondabili, nonché censiti ai sensi dell'Art.18 delle Norme del PSAI, si evidenzia quanto segue.

Queste interferenze riguardano delle porzioni di territorio che rappresentano delle aree potenzialmente inondabili in occasione di piene eccezionali dei corsi d'acqua di pianura (principali e/o secondari), 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 interramento 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.

In aggiunta si pone in evidenza, che relativamente a tutti i tratti di percorrenza delle fasce di pertinenza fluviale del corso d'acqua "PF.V." (sia in sinistra, che in destra idrografica all'alveo dello stesso), il progetto dell'opera non prevede la realizzazione di impianti (e/o fabbricati) a servizio del metanodotto stesso.

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;

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 64 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

- 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 perifericali;
- 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-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 65 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

10 CONCLUSIONI

Il tracciato in progetto del "Metanodotto Sestino – Minerbio, DN1200 (48") DP 75 bar" interseca l'alveo del fiume SANTERNO nel territorio comunale di Lugo (RA), poco a valle dell'abitato di "San Bernardino in Selva".

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 della Direct Pipe, che consiste in una soluzione in sotterraneo che prevede la messa in opera del metanodotto contestualmente alla fresatura del terreno.

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: 13,5m circa) e degli argini laterali (minimo: 15m circa, 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-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75bar	Fg. 66 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060

APPENDICE 1: COLONNA STRATIGRAFICA DEL SONDAGGIO

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 67 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060



Committente: TEN-ITALY SOLUTIONS S.P.A.	Sondaggio: S_071_SM_L
Riferimento: METANODOTTO SESTINO-MINERBIO	Data: 01-04/09/2023
Perforazione: a carotaggio continuo	

SCALA 1:100		STRATIGRAFIA										Pagina 1/2	
o mm	R C	Campioni	Standard Penetration Test			RP	VT	metri batt.	APz	LITOLOGIA	prof. m	DESCRIZIONE	
			m	S.P.T.	N	Pr	KPa	KPa					
										0,20		Terreno vegetale.	
												Sabbia debolmente limosa marrone chiaro con ghiaia.	
	1	1) Rim < 1,50 2,00	1,5	2-2-4	6	A							
										2,00		Sabbia limosa grigia.	
		2) Rim < 3,00 3,50	3,0	4-5-6	11	A							
		3) Rim < 4,50 5,00	4,5	3-5-5	10	A							
										5,30		Limo argilloso grigio.	
		4) Ost < 6,00 6,50								6,00		Prelievo di campione indisturbato.	
										6,50		Argilla limosa grigia con punti sabbiosi.	
	2	5) Rim < 7,50 8,00	7,5	2-3-2	5	A							
										9,00		Prelievo di campione indisturbato.	
		6) Ost < 9,00 9,50								9,50		Torba marrone scuro.	
										9,70		Argilla limosa grigia con intercalazioni torbose.	
		7) Rim < 10,50 11,00	10,5	2-2-2	4	A							
										12,50		Torba marrone.	
	3	8) Rim < 12,00 12,50	12,0	1-2-2	4	A							
										13,70		Argilla limosa grigia.	
		9) Rim < 13,50 14,00	13,5	1-1-4	5	A							
										16,50		Limo argilloso sabbioso marrone.	
		10) Rim < 15,00 15,50	15,0	1-2-4	6	A							
										17,10		Argilla debolmente limosa marrone.	
	4	11) Rim < 16,50 17,00	16,5	3-2-5	7	A							
							125	90		18,00		Prelievo di campione indisturbato.	
		12) Rim < 18,00 18,50								18,50		Argilla marrone chiaro virante al grigio.	
										19,80		Argilla grigio chiaro con intercalzioni di limo sabbioso marrone chiaro.	
							175	65		20,00			

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 68 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060



Committente: TEN-ITALY SOLUTIONS S.P.A.	Sondaggio: S_071_SM_L
Riferimento: METANODOTTO SESTINO-MINERBIO	Data: 01-04/09/2023
Perforazione: a carotaggio continuo	

SCALA 1 :100

STRATIGRAFIA

Pagina 2/2

o mm	R v	Cass	Campioni	Standard Penetration Test				metri bat.	LITOLOGIA	prof m	DESCRIZIONE
				m	S.P.T.	N	Pt				
			13) Rim < 21,00 21,50	21,0	4-5-4	9	A	250-100	21	20,80	Argilla grigio chiaro con intercalazioni di limo sabbioso marrone chiaro.
		5							22		Limo argilloso debolmente sabbioso marrone.
			14) Rim < 24,00 24,50	24,5	4-6-7	13	A		23	22,20	Limo sabbioso marrone chiaro.
		6							24		
									25		
									26	26,20	Limo sabbioso argilloso marrone.
									27		
									28		
									29		
101									30	30,00	

Terreno conservato in N° 6 cassette catalogatrici.
 Foto delle cassette catalogatrici.
 Profondità della falda a fine carotaggio m 2,70 da p.c.
 Chiusura del foro di sondaggio con miscela ternaria di cemento, acqua e bentonite.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75bar	Fg. 69 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060



Cassetta n° 1 - profondità da m 0.00 a m 5.00



Cassetta n° 2 - profondità da m 5.00 a m 10.00

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 70 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060



Cassetta n° 3 - profondità da m 10.00 a m 15.00



Cassetta n° 4 - profondità da m 15.00 a m 20.00

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86030	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75bar	Fg. 71 di 71	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-060



Cassetta n° 5 - profondità da m 20.00 a m 25.00



Cassetta n° 6 - profondità da m 25.00 a m 30.00