

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> NQ/R22358	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75bar	Fg. 1 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042

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

**1° TRONCO: Sestino – Casteldelci**

**ATTRAVERSAMENTO TORRENTE SENATELLO**  
**VALUTAZIONI IDROLOGICHE ED IDRAULICHE E**  
**RELAZIONE TECNICA DI COMPATIBILITA' IDRAULICA**

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

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48”), DP 75bar</b>	Fg. 2 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042

## INDICE

<b>1</b>	<b>GENERALITÀ</b>	<b>5</b>
1.1	Premessa	5
1.2	Scopo e descrizione dell'elaborato	5
1.3	Disegno di attraversamento	6
<b>2</b>	<b>INQUADRAMENTO TERRITORIALE</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>ANALISI DI CARATTERIZZAZIONE DELL'AMBITO FLUVIALE IN ESAME</b>	<b>9</b>
3.1	Assetto idrografico e descrizione generale del bacino del corso d'acqua	9
3.2	Descrizione dell'ambito di attraversamento	11
3.3	Indagini di caratterizzazione stratigrafica	14
<b>4</b>	<b>VALUTAZIONI IDROLOGICHE</b>	<b>16</b>
4.1	Generalità	16
4.2	Considerazioni specifiche preliminari	16
4.3	Sezione di studio e parametri morfometrici del bacino	16
4.4	Studi di riferimento e risultati di interesse	18
4.4.1	<u>Premessa</u>	18
4.4.2	<u>Cenni sulle metodologie delle elaborazioni</u>	18
4.4.3	<u>Risultati delle elaborazioni</u>	19
4.5	Valutazione idrologiche specifiche	19
4.6	Portata di progetto	19
<b>5</b>	<b>STUDIO IDRAULICO</b>	<b>21</b>
5.1	Presupposti e limiti dello studio	21
5.2	Assetto geometrico e modellazione idraulica	22
5.2.1	<u>Assetto geometrico di modellazione</u>	22
5.2.2	<u>Dati di Input e condizioni al contorno</u>	23
5.3	Risultati della simulazione idraulica	24
5.4	Analisi dei risultati conseguiti	29

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48”), DP 75bar</b>	Fg. 3 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042

<b>6</b>	<b>VALUTAZIONE EROSIONI DI FONDO ALVEO</b>	<b>30</b>
6.1	Generalità	30
6.2	Criteri di calcolo	31
6.3	Stima dei massimi approfondimenti attesi in alveo	33
6.4	Analisi dei risultati e considerazioni progettuali	34
<b>7</b>	<b>METODOLOGIA COSTRUTTIVA E SCELTE PROGETTUALI</b>	<b>35</b>
7.1	Premessa	35
7.2	Metodologia operativa: Scavi a cielo aperto	35
7.3	Geometria della condotta ed interventi di ripristino	38
<b>8</b>	<b>VERIFICA STABILITÀ OPERE IN MASSI NEI CONFRONTI DEL TRASCINAMENTO (della corrente)</b>	<b>39</b>
8.1	Premessa	39
8.2	Metodologia di analisi	39
8.2.1	<u>Verifica trascinamento al fondo alveo</u>	39
8.2.2	<u>Verifica trascinamento sulle sponde</u>	41
8.3	Risultati delle verifiche a trascinamento	42
8.3.1	<u>Considerazioni preliminari</u>	42
8.3.2	<u>Attr.to Senatello – Risultati verifiche a trascinamento</u>	43
<b>9</b>	<b>VALUTAZIONI INERENTI ALLA COMPATIBILITA' IDRAULICA</b>	<b>44</b>
9.1	Premessa	44
9.2	Quadro normativo di riferimento	44
9.2.1	<u>Criteri generali di progettazione del metanodotto</u>	44
9.2.2	<u>Strumenti di “Pianificazione territoriale”</u>	44
9.2.3	<u>Disposizioni e Misure di salvaguardia in ambiti a pericolosità idraulica</u>	45
9.3	Interferenze con aree censite a pericolosità idraulica	49
9.4	Analisi delle condizioni di compatibilità idraulica	51
9.4.1	<u>Considerazioni di carattere generale</u>	51
9.4.2	<u>Considerazioni specifiche inerenti all'ambito d'attraversamento dell'alveo</u>	51

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48”), DP 75bar</b>	Fg. 4 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042

9.4.3	<u>Considerazioni specifiche inerenti ai tratti di linea (in aree inondabili)</u>	53
9.4.4	<u>Considerazioni specifiche inerenti al tratto nella fascia ad alta vulnerabilità idrologica</u>	53
9.5	Considerazioni conclusive sulla compatibilità idraulica	53
<b>10</b>	<b>CONCLUSIONI</b>	<b>55</b>
	<b>APPENDICE 1: COLONNA STRATIGRAFICA DEL SONDAGGIO</b>	<b>56</b>

**ANNESSO – ELABORATO DI RIFERIMENTO:**

- **Disegno di attraversamento: DIS. 10-LB-15D-81115**

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48”), DP 75bar</b>	Fg. 5 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042

## 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 torrente SENATELLO nel territorio comunale di Badia Tedalda (AR), in prossimità della località "Rifugio Uguccione della Faggiola".

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 l'Assetto Idrogeologico (PAI), redatto dall'ex Autorità di Bacino Interregionale Marecchia – Conca, 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;

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48”), DP 75bar</b>	Fg. 6 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042

- 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-15D-81115**  
*Metanodotto Sestino – Minerbio, DN 1200 (48") DP 75 bar*  
*1° Tronco: Sestino – Casteldelci*  
 Attraversamento Torrente Senatello

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

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48''), DP 75bar</b>	Fg. 7 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042

## 2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'attraversamento del corso d'acqua da parte del metanodotto in progetto (DN1200) ricade nel territorio comunale di Badia Tedalda (AR), in prossimità della località "Rifugio Ugucione della Faggiola".

Dal punto di vista idrografico, l'ambito di attraversamento ricade nel tratto basso dello sviluppo dell'asta fluviale del corso d'acqua, a circa 3 km dalla foce nel Marecchia.

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

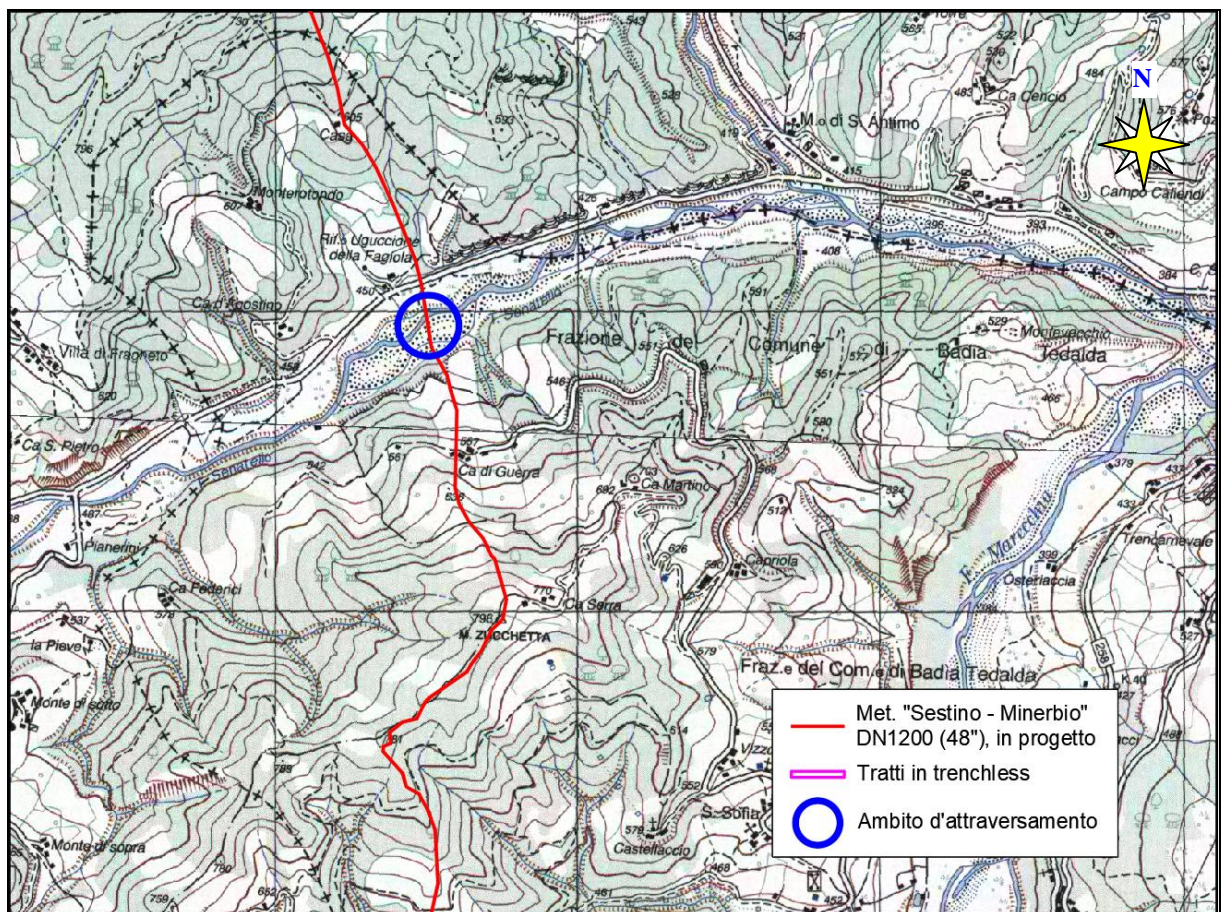


Fig.2.1/A: Corografia generale in scala 1:25.000, con individuazione ambito di attraversamento

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

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

<b>Coordinate ambito di attraversamento del corso d'acqua</b>	
Coordinate Piane: WGS84 – Fuso 33 (EPSG 32633)	273420 m E 4853755 m N

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48”), DP 75bar</b>	Fg. 8 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042

Nella seguente Fig.2.1/B è invece riportato uno stralcio planimetrico di maggior dettaglio (dalle CTR in scala 1:10.000), nel quale sono riportate le medesime informazioni di cui allo stralcio precedente.

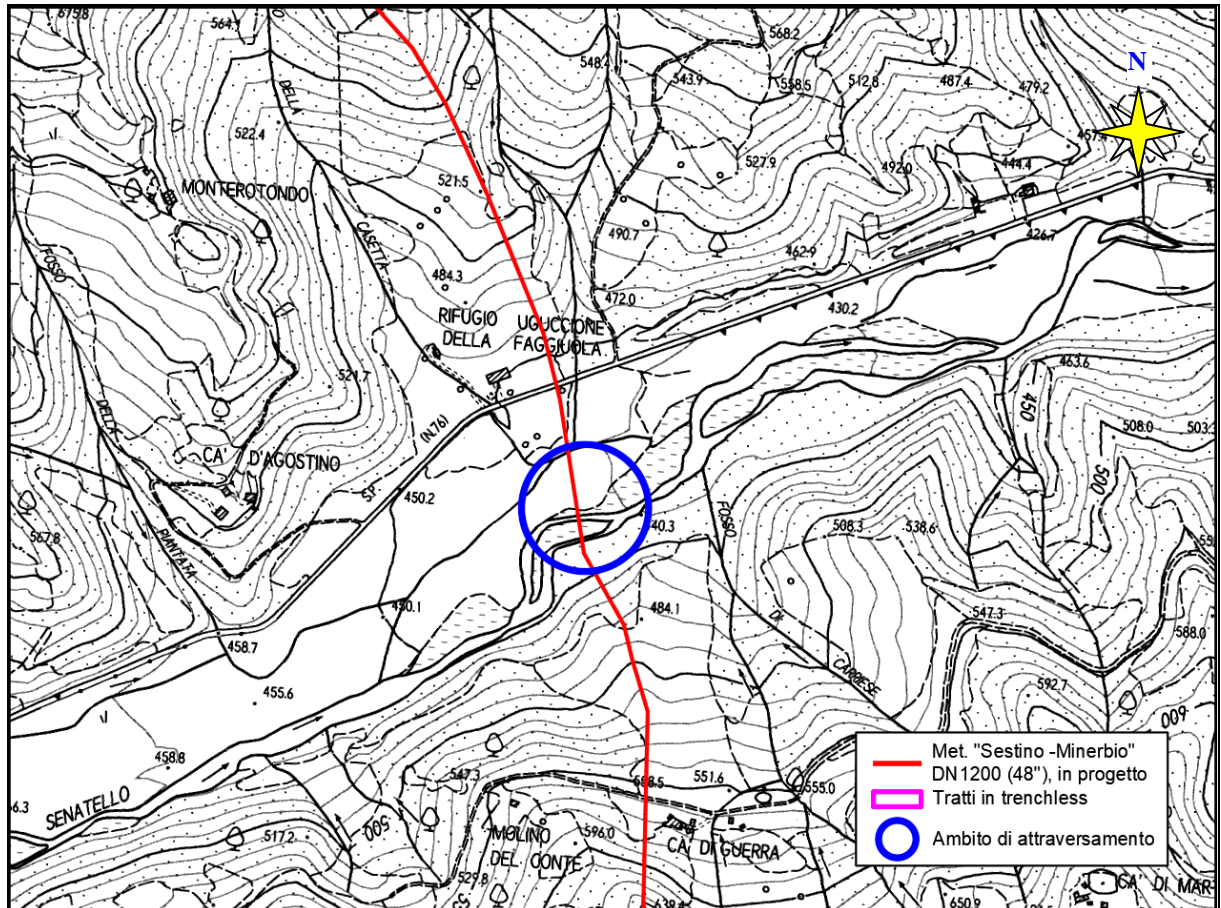


Fig.2.1/B: Stralcio planimetrico in scala 1:10.000 (C.T.R. Regionali)



	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48”), DP 75bar</b>	Fg. 9 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042

### 3 ANALISI DI CARATTERIZZAZIONE DELL'AMBITO FLUVIALE IN ESAME

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

Il Torrente Senatello è un importante affluente di sinistra del tratto di monte del fiume Marecchia, caratterizzato da un bacino complessivo chiuso alla foce di circa 49 km<sup>2</sup>.

Il corso d'acqua nasce dalle pendici meridionali del M. Aquilone e si sviluppa nel tratto iniziale in direzione Sud per i primi 2 km circa. Poi in località “Senatello” il corso d'acqua si orienta verso E-NE, con un andamento ondulato all'interno di una valle delimitata dai versanti dei rilievi laterali.

Quindi, dopo uno sviluppo complessivo dell'asta principale di circa 12.5 km, nei pressi della località “Cà S. Freiano”, sfocia nel Marecchia.


Non si rileva la presenza di affluenti particolarmente significativi dal punto di vista idraulico, in quanto i tributari sono rappresentati dai numerosi fossi che si sviluppano lungo la massima pendenza dei due versanti laterali.

Il torrente presenta un regime spiccatamente torrentizio con portate medie giornaliere massime nei periodi primaverili e tardo-autunnali; mentre nei mesi estivi (da luglio a settembre) le portate sono estremamente esigue (con periodi di secca).

La modesta entità delle portate di magra è legata alla prevalenza dei deflussi superficiali o ipodermici rispetto a quelli profondi, per effetto della natura a matrice prevalentemente argillosa e, pertanto, scarsamente permeabile di una grossa parte dei suoli compresi nell'area montana e collinare.

Al fine di individuare e localizzare l'ambito d'interferenza tra il metanodotto in progetto ed il corso d'acqua, nella figura seguente è riportata una corografia generale del bacino del torrente (su una base cartografica IGM al 25.000) dove sono riportate le seguenti informazioni:

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

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> NQ/R22358	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48”), DP 75bar</b>	Fg. 10 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042

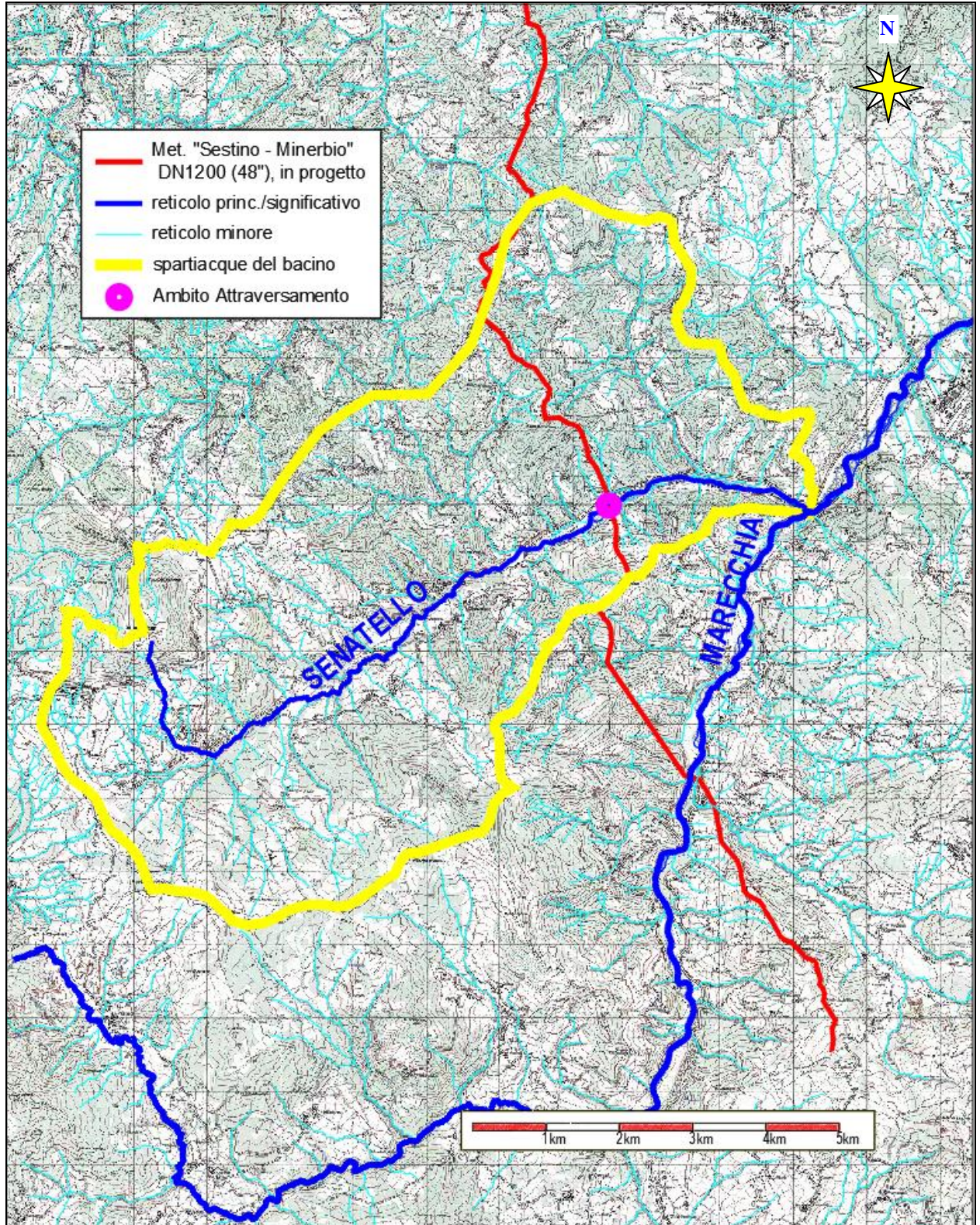


Fig.3.1/A: Bacino complessivo del corso d'acqua ed indicazione dell'ambito in esame

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48”), DP 75bar</b>	Fg. 11 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042

Dall'analisi della figura precedente (Fig.3.1/A), si rileva che l'ambito di attraversamento del torrente ricade nel tratto basso dello sviluppo dell'asta fluviale del corso d'acqua, a circa 3 km dalla foce nel Marecchia.

### 3.2 Descrizione dell'ambito di attraversamento

L'ambito di attraversamento in esame del torrente Senatello ricade nei pressi della località “Rifugio Uguccione della Faggiola”, nel tratto basso dello sviluppo dell'asta fluviale del corso d'acqua, a circa 3 km dalla foce nel Marecchia.

Nella zona interessata dall'attraversamento del metanodotto, il torrente Senatello si sviluppa con un andamento sostanzialmente rettilineo e presenta una serie di canali anastomizzati entro un alveo largo quasi 200 m. Infatti il torrente ha un alveo pluricanale, di tipo wandering, con isole e barre mediane e laterali.

Sul lato sinistro della valle è presente un terrazzo alluvionale recente rialzato di circa 2 m rispetto all'alveo di magra che, nella zona interessata dal progetto, insiste su questo lato della valle. La superficie del terrazzo aumenta gradatamente di quota, rispetto al fondo alveo, estendendosi sino al piede del versante al quale si raccorda tramite una fascia di depositi detritici e colluviali. Mentre nel lato in destra idrografica la sponda del corso d'acqua è rappresentata dal piede del versante laterale.

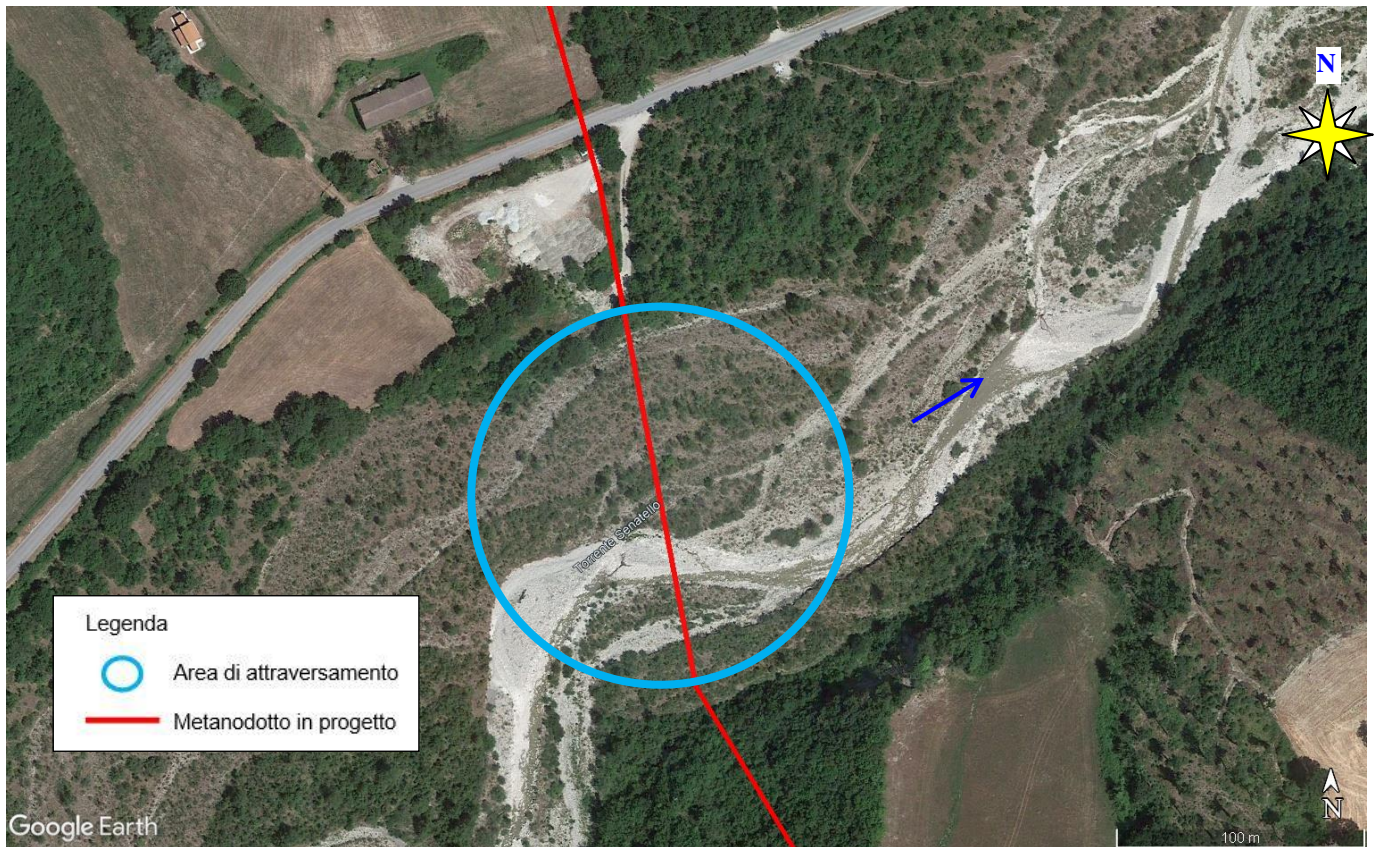
L'alveo è costituito da depositi ghiaiosi attuali e mobili, solcati da numerosi canali che isolano barre ed isolotti effimeri, alcuni dei quali parzialmente fissati da una vegetazione erbacea ed arbustiva; mentre su entrambi i versanti laterali s'individua la Formazione Marnoso-Arenacea. La formazione affiora sporadicamente anche in alveo, lungo il lato sinistro.

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);
- l'area di attraversamento dell'alveo (mediante un cerchio in celeste).

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48”), DP 75bar</b>	Fg. 12 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042



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

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

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48"), DP 75bar</b>	Fg. 13 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042



Foto 1: Panoramica della zona di attraversamento torrente Senatello



Foto 2: Alveo Senatello nella zona di attraversamento

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48"), DP 75bar</b>	Fg. 14 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042



Foto 3: Particolare nella zona di attraversamento

*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 (nel corso del tempo) varie campagne geognostiche.

In particolare, per la caratterizzazione litostratigrafica dell'ambito fluviale in esame nel presente elaborato, risulta interessante il sondaggio denominato S8, effettuato (nell'anno 2007) in corrispondenza dell'ambito di attraversamento, nel lato in sinistra idrografica. L'ubicazione planimetrica del sondaggio è riportata nel seguente stralcio planimetrico in scala 1:10.000.

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48”), DP 75bar</b>	Fg. 15 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042

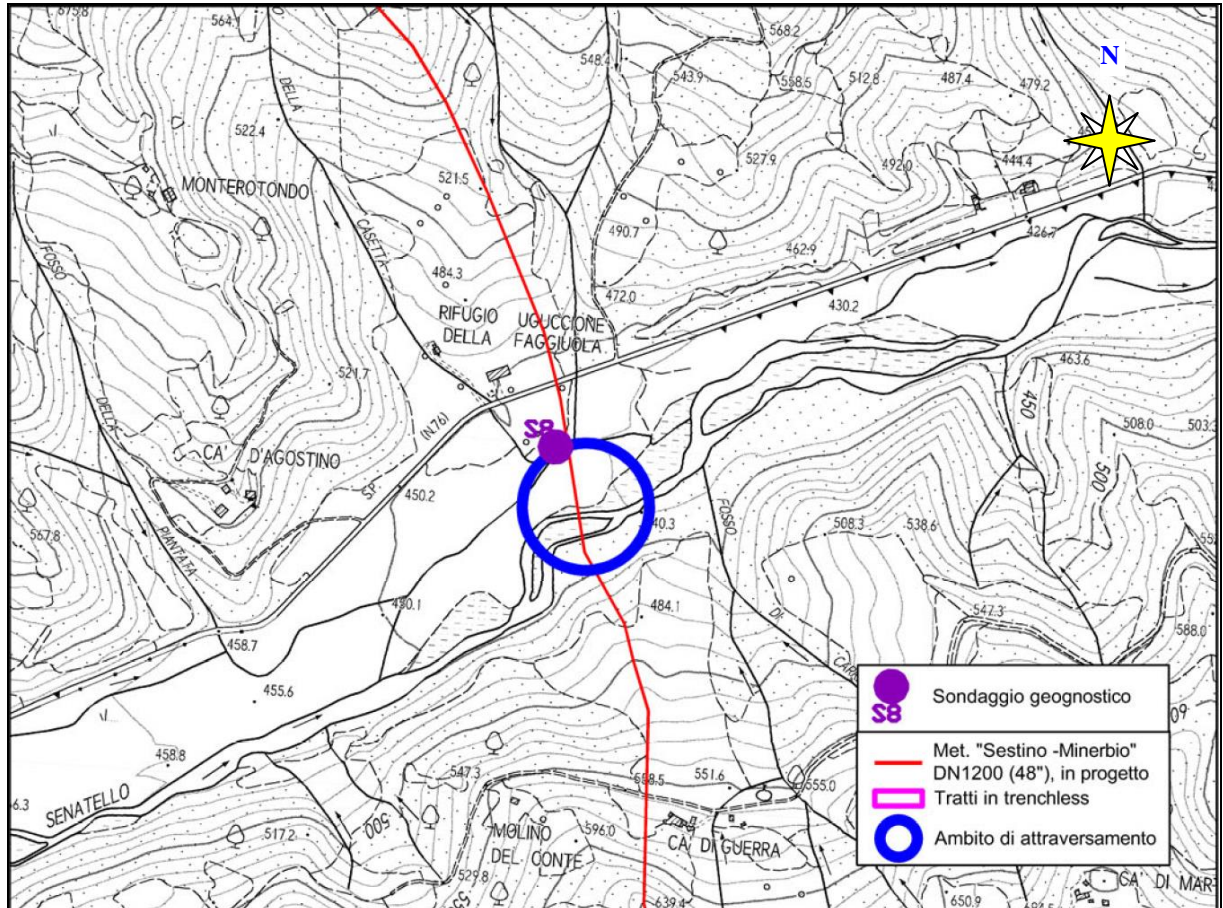


Fig.3.3/A: Planimetria in scala 1:10.000, con ubicazione del sondaggio di interesse

Per l'esame della colonna stratigrafica del sondaggio di riferimento, nonché delle foto delle cassette catalogatrici, si rimanda alla visione dell'Appendice 1.

Dall'analisi della stratigrafia del sondaggio, effettuato alla quota di 445,00 m s.l.m. circa, emerge che al di sotto del terreno vegetale con rari noduli di calcite, dello spessore di 0,80 m, si rinviene un potente livello costituito da ghiaie sabbiose sciolte, con ciottoli, sede della falda superficiale. I clasti, prevalentemente calcarei, si presentano subarrotondati, del diametro compreso tra 50 e 60 mm per le ghiaie e oltre i 60 mm per i ciottoli.

Tra 7,95 e 8,30 m e 9,75 e 10,0 m si rinviengono silti marnose, probabilmente riconducibili a un livello di trovanti del diametro maggiore al carotiere utilizzato per la perforazione.

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48”), DP 75bar</b>	Fg. 16 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042

## 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" ricomprendenti il corso d'acqua in esame, commissionati ed editi dall'ex Autorità Interregionale di Bacino Marecchia – Conca.

In tal senso, nel seguito, si provvederà a riportare dei cenni sulle metodologie di elaborazione idrologiche impiegate negli studi sopracitati 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 di attraversamento del metanodotto in progetto, il quale è localizzato a circa 3 km dalla foce nel Marecchia.

Nella figura seguente è riportato uno stralcio planimetrico, ricavato dalle tavolette IGM, con la delimitazione del bacino sotteso dalla sezione di studio (in color magenta), con indicazione delle aste fluviali dei corsi d'acqua principali e/o significativi (in blu) e del reticolo idrografico minore (in celeste). Nella stessa figura il tracciato del metanodotto in progetto è indicato mediante una linea in colore rosso.



	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> NQ/R22358	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> DN 1200 (48"), DP 75bar	Fg. 17 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042

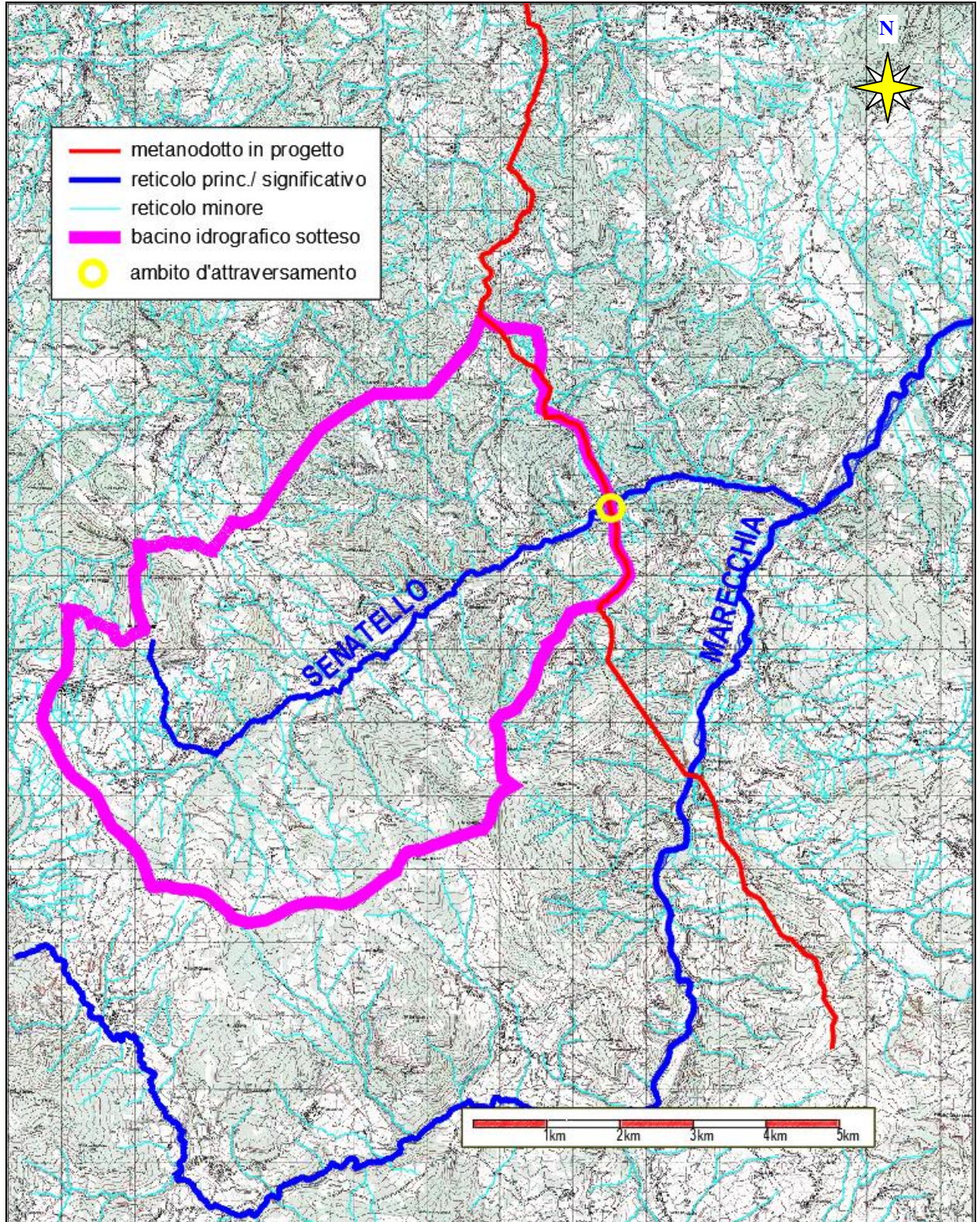


Fig.4.3/A: Bacino Imbrifero sotteso dalla sezione di studio

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48”), DP 75bar</b>	Fg. 18 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042

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)	Lunghezza asta principale (km)	Altitudine max del Bacino (m)	Altitudine Sezione chiusura (m)
Torrente Senatello	Sez. Attravers. Met. in progetto	37.3	9.5	1354	440

#### 4.4 Studi di riferimento e risultati di interesse

##### 4.4.1 Premessa

Per le valutazioni idrologiche nell'ambito specifico in esame ci si riferisce esplicitamente ai risultati di "studi ufficiali" ricomprendenti il corso d'acqua in esame, commissionati ed editi dall'ex Autorità Interregionale di Bacino Marecchia – Conca.

E con particolare riferimento le suddette valutazioni sono state eseguite in considerazione dei risultati degli elaborati qui di seguito citati:

*Autorità di Bacino Interregionale Marecchia-Conca - Studi e rilievi specifici condotti per bacino idrografico — Ambiente (regione.emilia-romagna.it):*

- Documento C337-02-00101 (Anno 2008): “Analisi Idrologica Torrenti Mazzocco, Senatello e San Marino”;
- Documento C337-02-00202 (anno 2008): “Analisi idraulica / Fiume Marecchia (da confluenza T. Senatello a Ponte Maria Maddalena), torrenti Mazzocco, Senatello e San Marino”

I suddetti elaborati sono scaricabili in rete dal link:

[https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/suolo-bacino/sezioni/strumenti-e-dati/copy\\_of\\_autorita-bacino-marecchia-conca/studi-specifici-bacino-idrografico](https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/suolo-bacino/sezioni/strumenti-e-dati/copy_of_autorita-bacino-marecchia-conca/studi-specifici-bacino-idrografico)

##### 4.4.2 Cenni sulle metodologie delle elaborazioni

Nello studio dell'ex Autorità di Bacino le valutazioni idrologiche sono state condotte al fine di valutare le portate dei corsi d'acqua esaminati in alcune sezioni rappresentative ed in considerazione dei tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni. Per le valutazioni idrologiche si è utilizzato il metodo “Afflussi – Deflussi”, con l'applicazione della “formula razionale” e con impiego della formula di Ventura per il calcolo del tempo di corrivazione. Poi, per ciascun corso d'acqua, è stata eseguita la modellazione idraulica con approccio monodimensionale, attraverso l'inserimento delle sezioni trasversali disponibili ed utilizzando il codice di calcolo MIKE 11.

Nell'Allegato 1 del Documento C337-02-00202 sono stati riportati sotto forma tabellare, per i tempi di ritorno di 50, 200 e 500 anni, i principali parametri idrologici ed idraulici valutati nelle sezioni di calcolo considerate nel modello.

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48”), DP 75bar</b>	Fg. 19 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042

#### 4.4.3 *Risultati delle elaborazioni*

Nel Documento C337-02-00101 “Analisi Idrologica Torrenti Mazzocco, Senatello e San Marino” sono riportate in maniera tabellare i risultati delle portate in alcune sezioni idrologiche maggiormente significative.

In particolare per quanto concerne il Senatello sono riportate le informazioni idrologiche indicate nella tabella seguente.

*Tab.4.4/A: Torrente Senatello - Portate di piena in alcune sezioni rappresentative*

Sezione idrologica	Sup. Bacino (kmq)	Portata <sub>TR50</sub> (mc/s)	Portata <sub>TR200</sub> (mc/s)	Portata <sub>TR500</sub> (mc/s)
Sottobacino 1 (di monte)	13.8	109	133	149
Complessivo (foce)	49	251	307	344

Dall'analisi dei tabulati di cui all'Allegato 1 del Documento C337-02-00202 “Analisi idraulica / Fiume Marecchia (da confluenza T. Senatello a Ponte Maria Maddalena), torrenti Mazzocco, Senatello e San Marino”, risulta possibile individuare le portate lungo le varie sezioni dell'asta fluviale del corso d'acqua (le quali tengono conto, man mano, dell'apporto dei vari sottobacini).

In particolare, relativamente alle sezioni del Senatello posizionate immediatamente a monte ed a valle di quella di attraversamento, le portate sono estrapolate e riportate nella tabella seguente.

*Tab.4.4/B: Torrente Senatello - Portate di piena nelle sezioni prossime a quella in esame*

Sezione idrologica/idraulica	quota fondo (m)	Portata <sub>TR50</sub> (mc/s)	Portata <sub>TR200</sub> (mc/s)	Portata <sub>TR500</sub> (mc/s)
Sez.96	443.35	189	231	258
Sez.95	436.05	198	241	270

#### 4.5 **Valutazione idrologiche specifiche**

Si assumono come portate di riferimento per la sezione di attraversamento quelle relative alla Sez.95 di cui alla Tab.4.4/B (quella posizionate poco a valle della sezione di attraversamento). Ossia quelle indicate nella tabella seguente.

*Tab.4.5/A: Portate di piena considerate nella sezione di attraversamento*

Sezione idrologica	Sup. Bacino (kmq)	Portata <sub>TR50</sub> (mc/s)	Portata <sub>TR200</sub> (mc/s)	Portata <sub>TR500</sub> (mc/s)
Torrente Senatello - Sezione di Attraversamento	47.3	198	241	270

#### 4.6 **Portata di progetto**

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

In riferimento a quanto riportato nella Tab.4.5/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.

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48”), DP 75bar</b>	Fg. 20 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042

*Tab.4.6/A: Portata di progetto*

<b>Corso d'acqua</b>	<b>Sezione Idrologica</b>	<b>Sup. Bacino (kmq)</b>	<b>Qprogetto (mc/s)</b>	<b>qmax (mc/sxkmq)</b>
Torrente Senatello	Sezione di attraversamento	47.3	<b>241</b>	5.09

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48”), DP 75bar</b>	Fg. 21 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042

## 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, relativamente a tutta la vita utile dell'opera.

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

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

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

Infine, si ritiene opportuno evidenziare che lo studio risulta pertinente sia all'attuale configurazione idraulica del corso d'acqua (*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.

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48”), DP 75bar</b>	Fg. 22 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042

## 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 770 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.

In aggiunta si pone in evidenza che, nel Giugno 2023 (dopo che si sono verificati gli eventi di piena del Maggio 2023 sui corsi d'acqua Romagnoli), è stato eseguito un ulteriore volo Lidar lungo il tracciato del metanodotto (per i primi 50 km di sviluppo). Dall'analisi di raffronto tra i risultati nei termini morfologici tra i 2 voli Lidar si è avuto modo di riscontare che nell'ambito fluviale in esame non si sono verificate delle evoluzioni significative. Inoltre il volo più recente (quello del 2023), essendo stato eseguito in presenza significativa di acqua in alveo, è stato ritenuto meno indicato per rappresentare adeguatamente la 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 RS851 coincide con la sezione di monte del tronco idraulico; invece, la sezione RS81 rappresenta quella di valle.

L'ambito di attraversamento ricade in prossimità della River Station RS414.

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48"), DP 75bar</b>	Fg. 23 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042

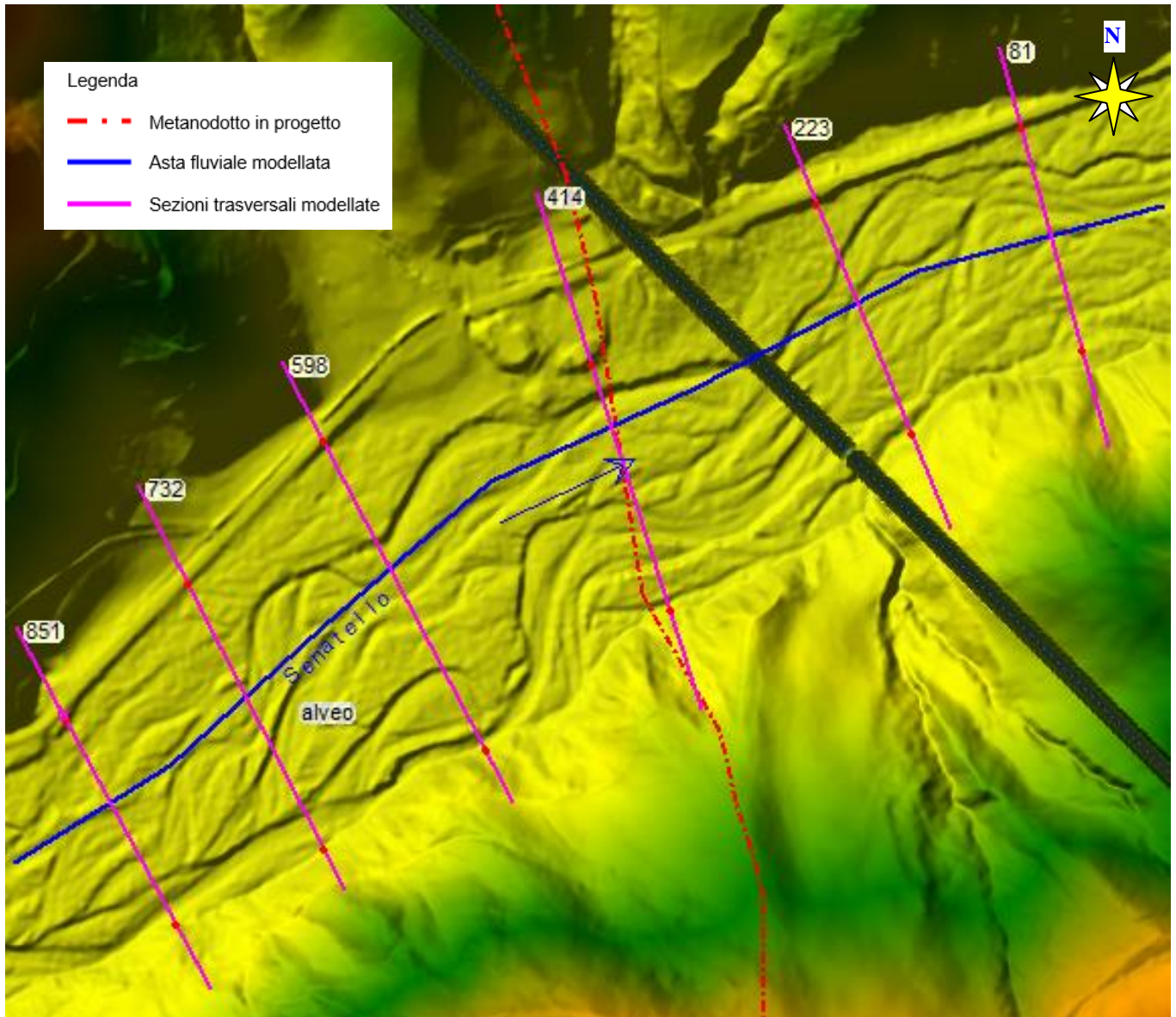


Fig.5.2/A: Schermata del DTM, con tronco d'alveo analizzato e sezioni di input nella modellazione

### 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:

- $Q_{200}=241 \text{ m}^3/\text{s}$

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.

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48”), DP 75bar</b>	Fg. 24 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042

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

Per quanto concerne il coefficiente d'attrito si è fatto riferimento agli indici di scabrezza di Manning “n”, individuati in relazione alle caratteristiche peculiari rilevate nell'ambito fluviale in esame (corso d'acqua naturale, con presenza di ciottolame e blocchi lapidei e vegetazione arbustiva in alveo). Ossia:

- 0,040 per l'alveo medio principale (Chan);
- 0,055 per le aree di deflusso oltre i limiti d'alveo (LOB, ROB).

### 5.3 Risultati della simulazione idraulica

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

*Tab.5.3/A: Tabella Riepilogativa di Output*

River Station	Q Total (m3/s)	Q Chan (m3/s)	Min Ch Elev (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Top Width Act Chl (m)	Hydr Depth C (m)	Shear Chan (N/m2)	Froude Chl
851	241	240.93	451.56	454.12	454.24	454.64	0.0260	3.19	75.53	106.37	106.01	0.71	179.84	1.21
732	241	241.00	449.63	451.06	451.13	451.48	0.0264	2.86	84.31	141.5	141.50	0.6	152.91	1.18
598	241	241.00	445.74	447.35	447.46	447.88	0.0270	3.24	74.47	105.27	105.27	0.71	185.1	1.23
414	241	241.00	440.14	441.97	442.1	442.51	0.0318	3.27	73.72	115.41	115.41	0.64	195.78	1.31
223	241	241.00	435.63	437.04	437.1	437.46	0.0221	2.86	84.17	123.49	123.49	0.68	146.58	1.11
81	241	241.00	431.65	433.32	433.44	433.81	0.0302	3.09	77.9	128.58	128.58	0.61	177.96	1.27

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);



	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48”), DP 75bar</b>	Fg. 25 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042

Nella figura seguente si riporta uno stralcio del Modello Digitale del Terreno, sul quale sono riportate le aree inondabili individuate nella modellazione idraulica.

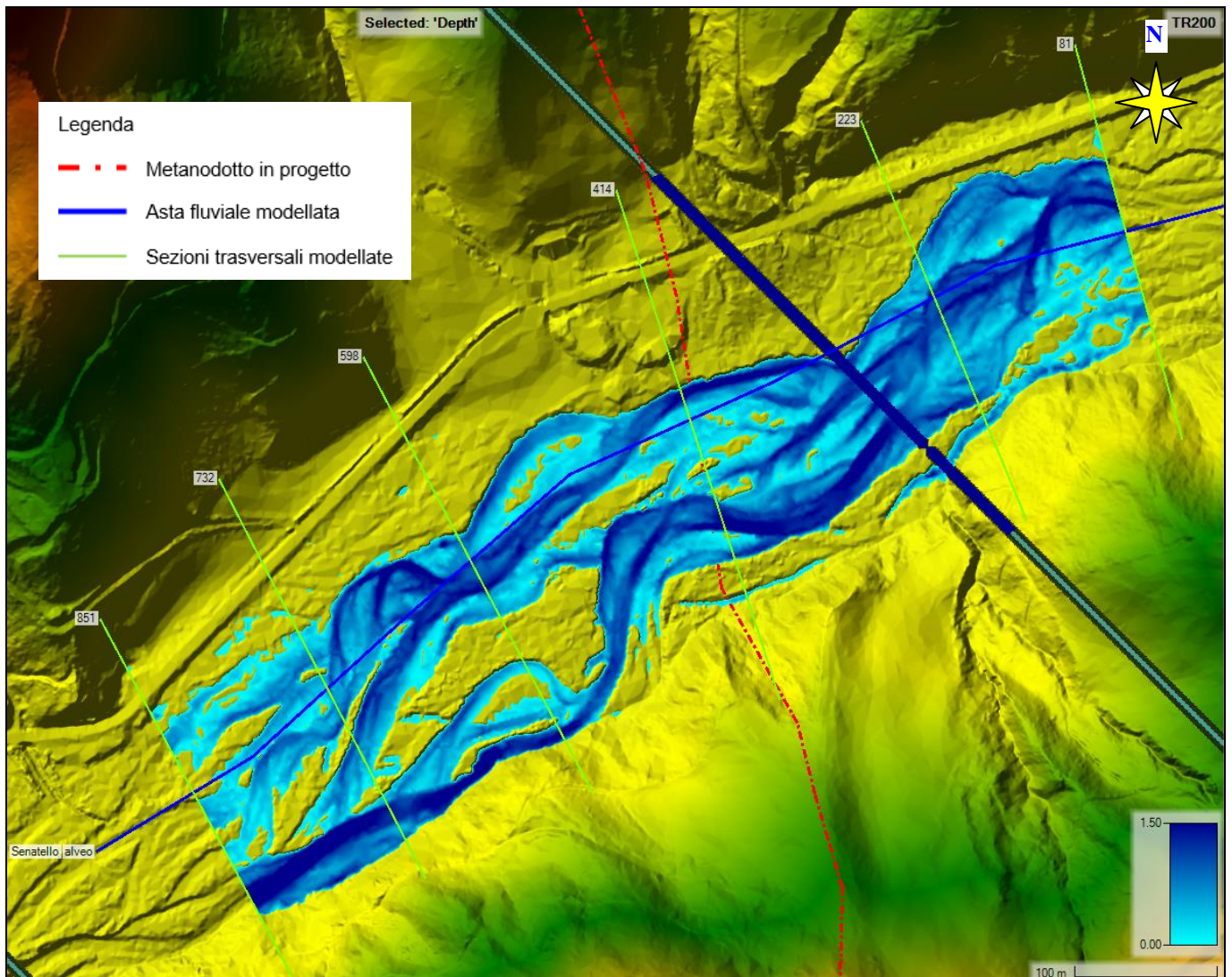


Fig.5.3/A: DTM, con individuazione delle aree inondabili (profondità in m)

Relativamente alla figura precedente, si pone in evidenza che la striscia trasversale in blu posta tra le RS414 e RS223 rappresenta un errore locale nella restituzione del DTM e pertanto non è da considerare per le valutazioni specifiche.

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

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48"), DP 75bar</b>	Fg. 26 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042

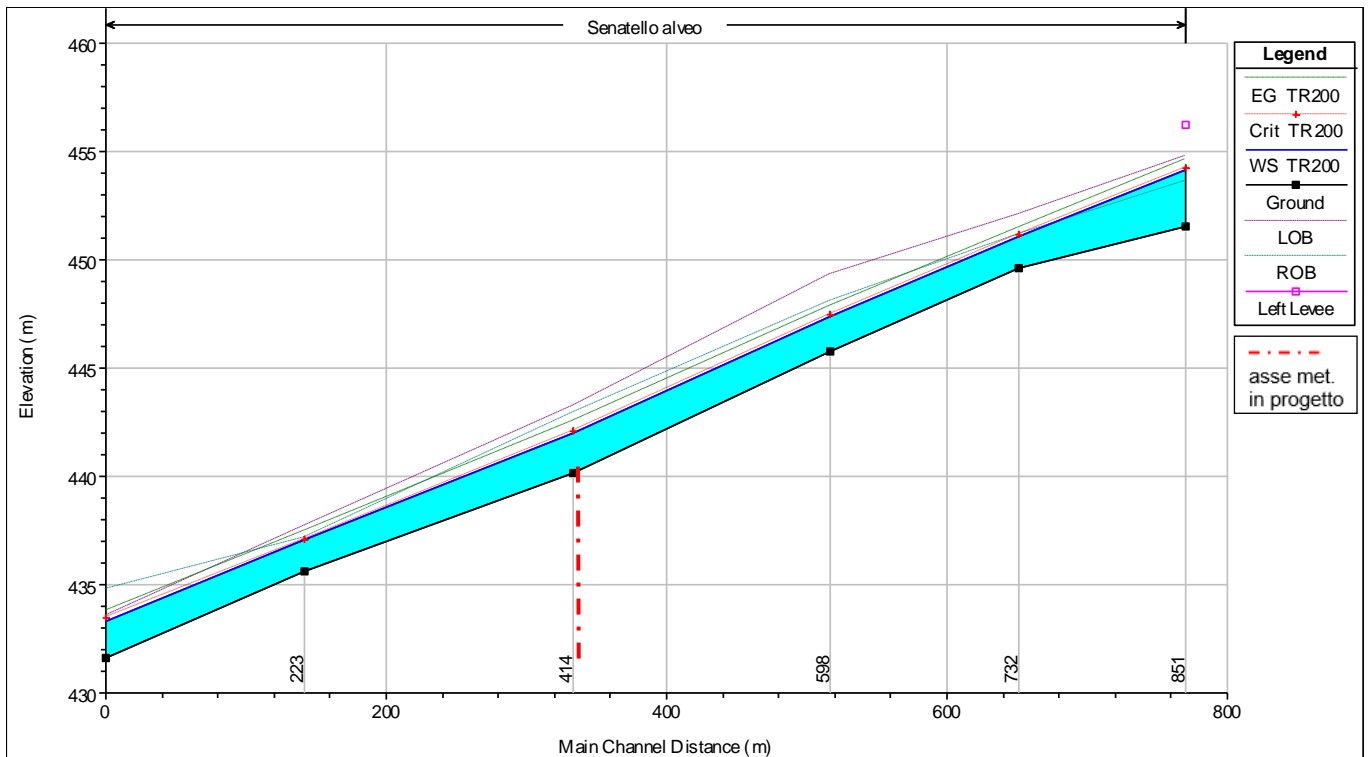
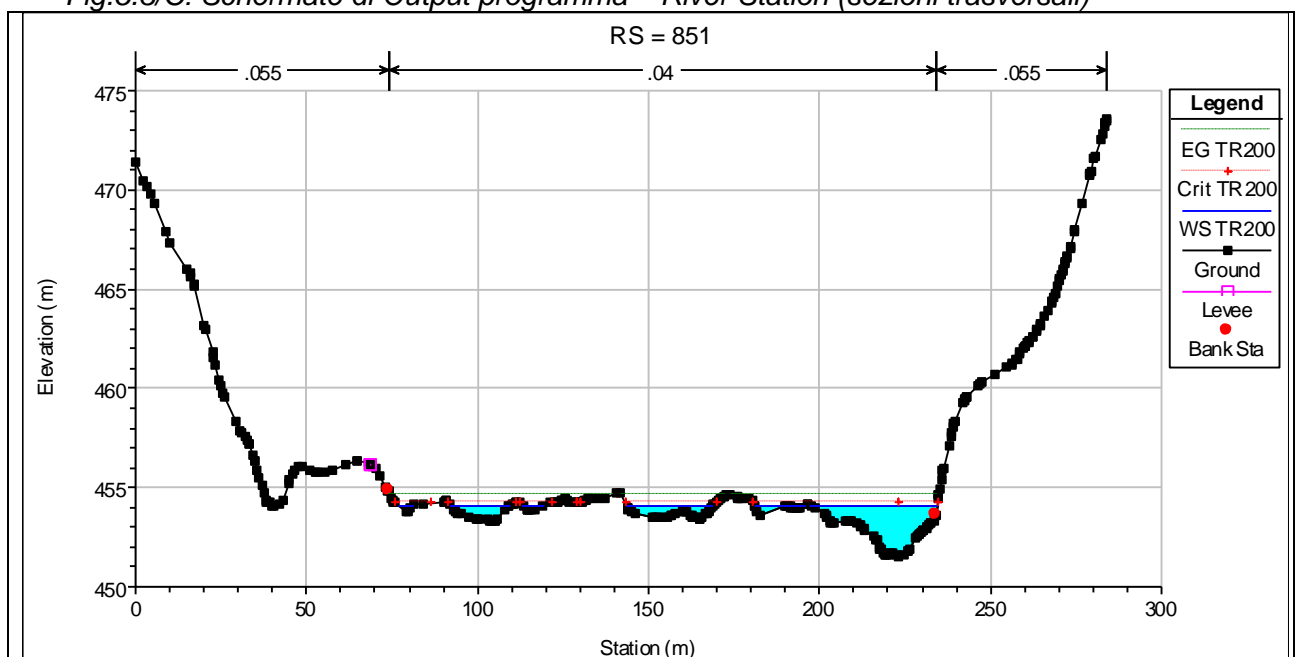


Fig.5.3/B: Schermata di Output del programma – Profilo longitudinale

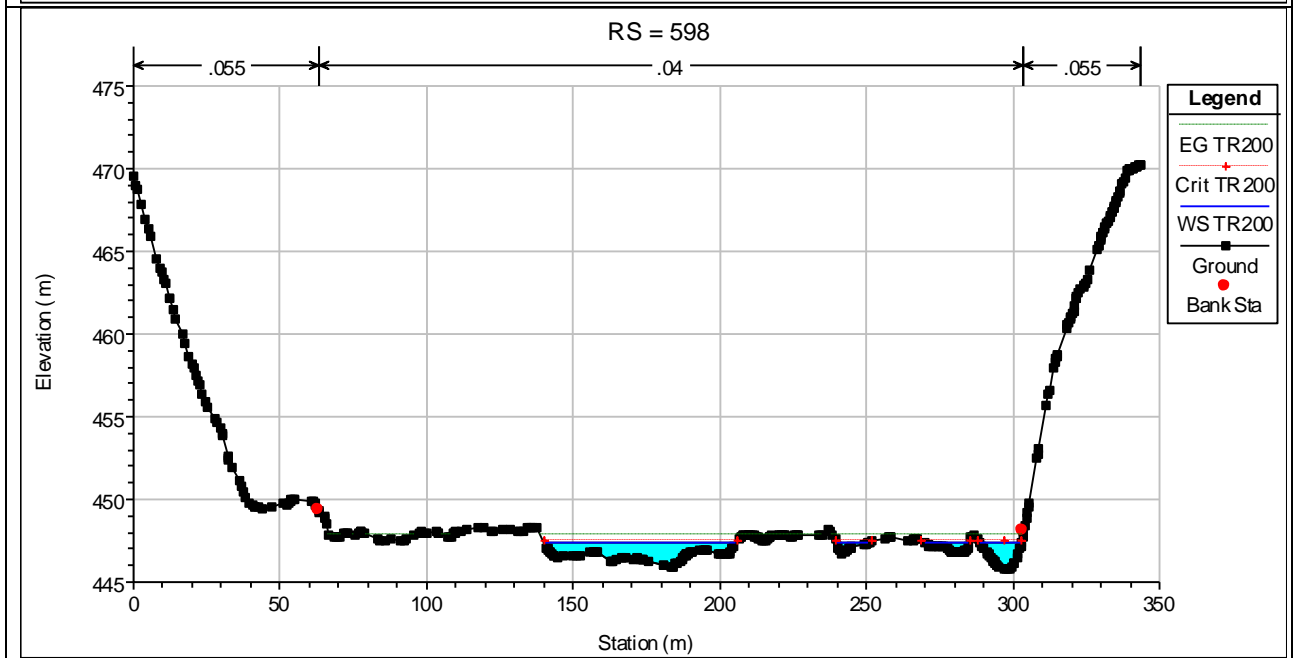
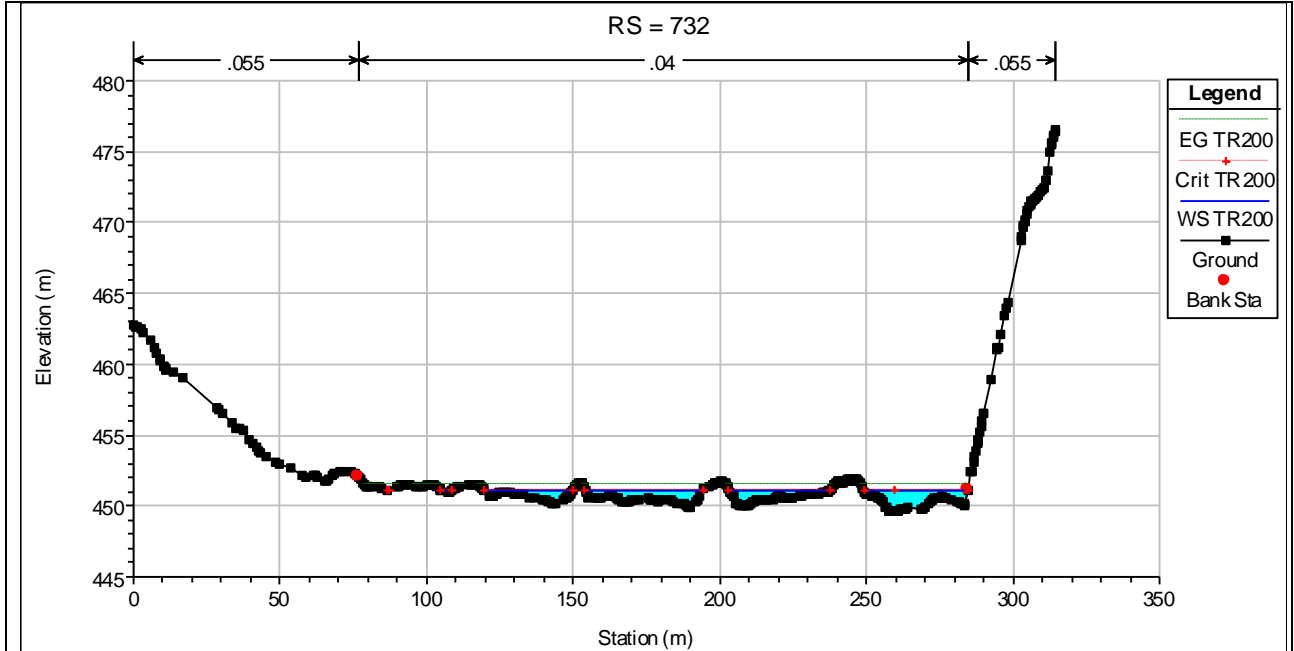
Infine nella figura seguente si riportano le schermate di output delle varie sezioni di calcolo (River Station) considerate nelle elaborazioni idrauliche (partendo dalla sezione di monte e procedendo sino a quella di valle).

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



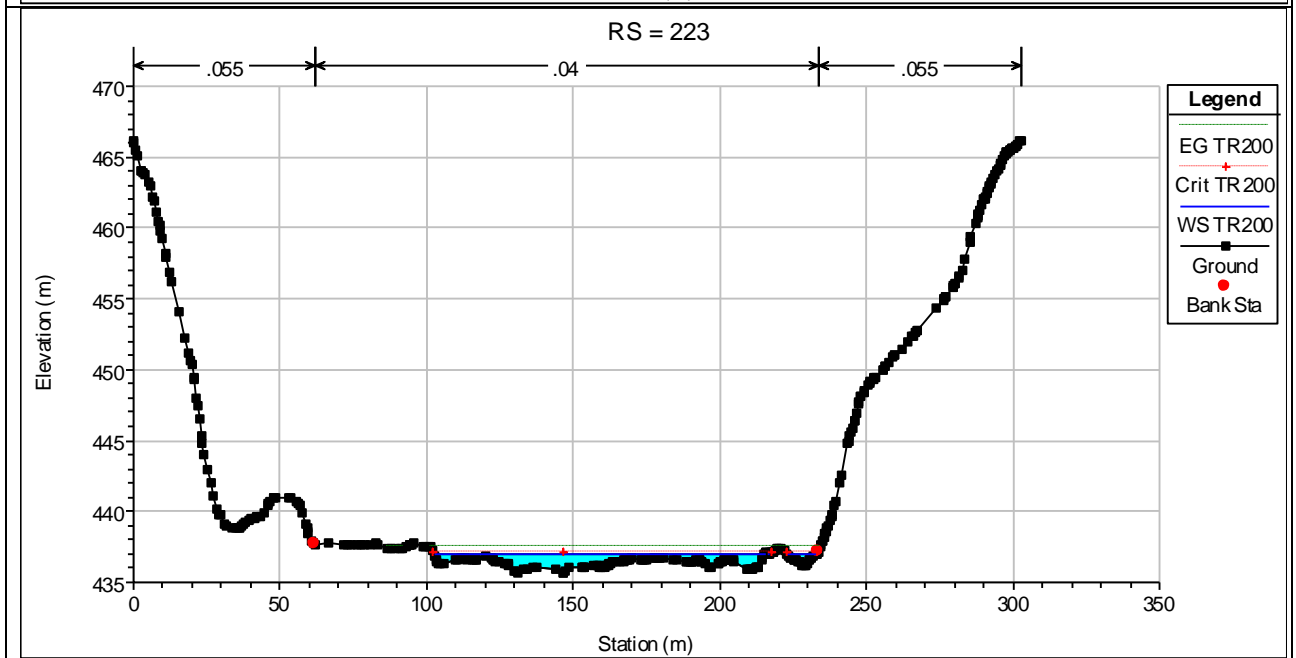
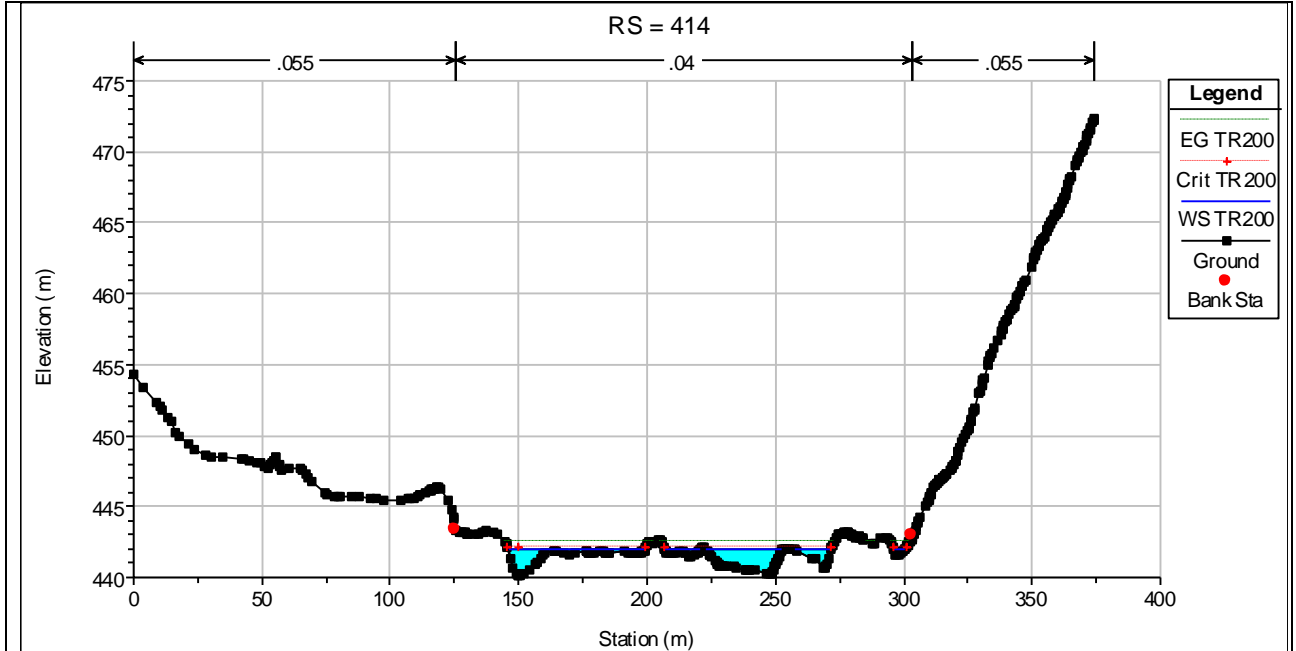
	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48"), DP 75bar</b>	Fg. 27 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042



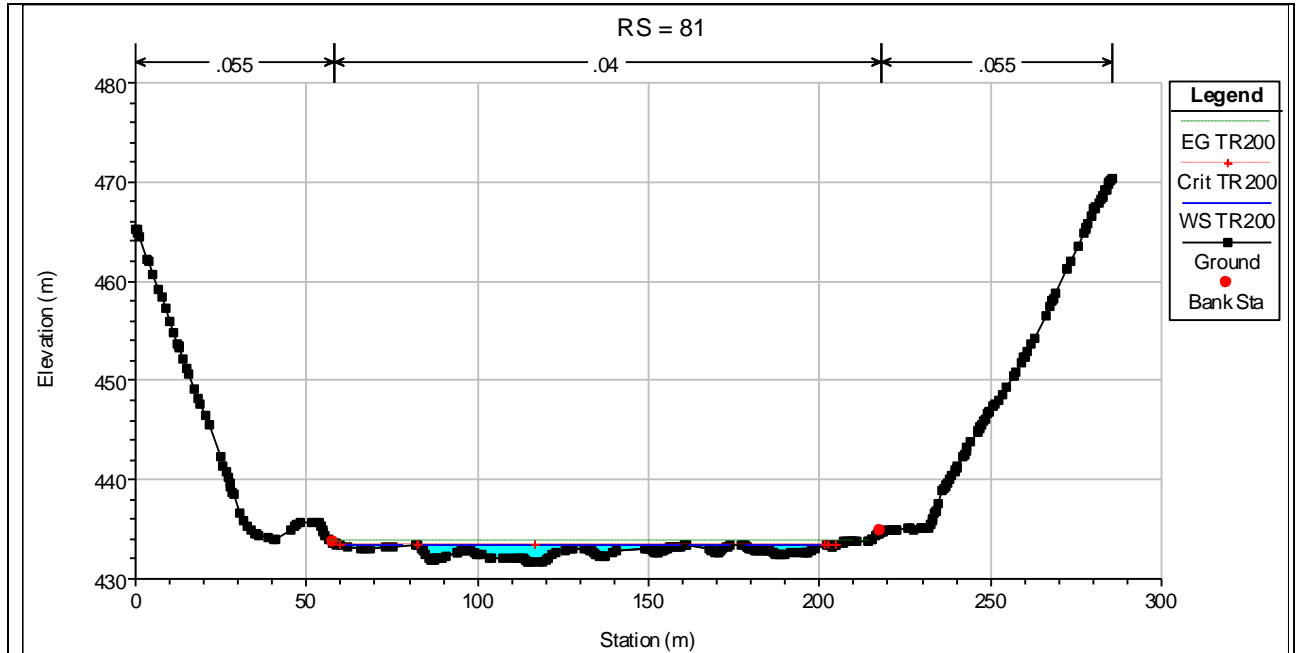
	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48"), DP 75bar</b>	Fg. 28 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042



	<b>PROGETTISTA</b>  	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48"), DP 75bar</b>	Fg. 29 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042



#### 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, in occasione dell'evento di piena di progetto (portata duecentennale), vengono riattivati tutti i canali ed i paleovalvei presenti nell'ampia valle in cui si sviluppa il corso d'acqua (a tal proposito si veda la Fig.5.3/A).

Le velocità di deflusso in alveo della corrente assumono in generale dei valori intorno ai 3,0÷3,5 m/s.

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

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48”), DP 75bar</b>	Fg. 30 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042

## 6 VALUTAZIONE EROSIONI DI FONDO ALVEO

### 6.1 Generalità

Nel corso degli eventi di piena, il fondo degli alvei subisce modifiche morfologiche, in molti casi anche di notevole entità, innescate da cause che possono essere definite “intrinseche” (dovute cioè a fenomeni naturali quali confluenze, curve, ostacoli naturali ecc.) o “indotte” (legate ad alterazioni di origine antropica diretta o indiretta, quali opere in alveo, escavazioni, ecc.). La valutazione di tali fenomeni riveste notevole importanza ai fini del dimensionamento degli interventi in alveo.

Allo stato attuale delle conoscenze tecniche, la valutazione dell’entità degli approfondimenti, dei fenomeni di escavazione e di trasporto localizzato, nella maggioranza dei casi, dipende da un puntuale riscontro sul campo, atto a valutare lo stato generale dell’alveo. La stima del valore atteso per tali fenomeni rimane, nella maggioranza dei casi, un’attività dipendente in massima parte dall’esperienza e dalla sensibilità del progettista, il quale deve avvalersi in misura preponderante degli esiti di appositi sopralluoghi per valutare lo stato generale dell’alveo. Le analisi di natura sperimentale disponibili, pur fornendo utili indicazioni circa l’entità dei fenomeni, risultano spesso legate alle particolari condizioni al contorno poste a base delle indagini, ed ai modelli rappresentativi utilizzati.

Il lavoro di ricerca ha prodotto negli ultimi cinquanta anni una serie di risultati, che forniscono utili indicazioni circa l’entità dei fenomeni di escavazione e trasporto localizzato solo in alcuni casi tipici. Va sottolineato che tali risultati sono in generale caratterizzati dai seguenti limiti principali:

- la quasi totalità dei dati utilizzati per la definizione delle metodologie di valutazione delle escavazioni proviene da prove effettuate in laboratorio, su modelli in scala ridotta e su terreni di fondo alveo a granulometria maggiormente omogenea di quanto effettivamente riscontrabile in natura;
- ogni formula determinata per via sperimentale è strettamente legata a casi particolari di escavazione in alveo e risulta difficilmente estrapolabile a casi dissimili da quelli direttamente analizzati in campo o in laboratorio;
- non si dispone di analisi effettuate su ripristini di scavo e su rivestimenti eseguiti in opera, che si differenzino dalle condizioni teoriche di depositi aventi una granulometria ordinaria;
- le sperimentazioni sono in massima parte riferite a condizioni che prevedono una portata di base sostanzialmente costante e non tengono conto di fenomeni di estrema variabilità che caratterizzano gli eventi di piena in alvei a regime torrentizio;
- gli studi sono condotti essenzialmente per alvei di pianura di grandi dimensioni.

Le considerazioni sopra riportate devono condurre pertanto ad un atteggiamento di estrema cautela nell’uso delle relazioni utilizzate per il calcolo degli approfondimenti, avendo cura di utilizzare ciascuna di esse per casi simili a quelli per cui sono state ricavate ed associando comunque alle valutazioni condotte su scala locale (buche, approfondimenti localizzati) considerazioni ed analisi sulla dinamica d’alveo generale nella zona di interesse (presenza o meno di trasporto solido, variazioni storiche della planimetria d’alveo, granulometria dei sedimenti ed indagine geotecnica sui litotipi presenti nei primi metri del fondo, ecc.).

Nel seguito si descrivono quindi le espressioni generali che si ritengono utilizzabili nel caso in oggetto, per la valutazione dei fenomeni erosivi in alveo, al fine di quantificare il

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48”), DP 75bar</b>	Fg. 31 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042

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 Schoklitsh<sup>1</sup> è quella che presenta minori difficoltà nella determinazione dei parametri caratteristici ed è quella maggiormente impiegata (con risultati soddisfacenti) per gli attraversamenti in subalveo di corsi d'acqua da parte delle condotte (soprattutto nel campo dei metanodotti).

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

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

dove:

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

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

### Arature di fondo

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

<sup>1</sup> Schoklitsh A., "Stauraum verlandung und kolkbewehr", Springer ed., Vienna, 1935.

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48”), DP 75bar</b>	Fg. 32 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042

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 studiate<sup>2</sup> 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 Italia<sup>3</sup>, 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<sub>o</sub>**), ovvero:

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

#### Diametro limite dei clasti trasportabili

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

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

dove

- $\delta$  è il diametro delle particelle;
- $\tau_o$  è la tensione tangenziale in alveo;
- $\gamma_s$  è il peso specifico delle particelle (considerato 24 kN/m<sup>3</sup>);
- $\gamma_w$  è il peso specifico dell'acqua, considerata, per semplicità, limpida.

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

<sup>3</sup> 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-86012

Senatello.docx



	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48”), DP 75bar</b>	Fg. 33 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042

### 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.

### 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 max (m)	Portata specifica (m <sup>3</sup> /s m)	Carico totale (m)	Approfond. Localizzati (m)	Arature di fondo (m)
851	241	240.93	3.19	106.01	2.56	2.27	3.08	1.53	1.28
732	241	241.00	2.86	141.50	1.43	1.70	1.85	1.26	0.72
598	241	241.00	3.24	105.27	1.61	2.29	2.15	1.38	0.81
414	241	241.00	3.27	115.41	1.83	2.09	2.38	1.40	0.92
223	241	241.00	2.86	123.49	1.41	1.95	1.83	1.29	0.71
81	241	241.00	3.09	128.58	1.67	1.87	2.16	1.34	0.84

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48”), DP 75bar</b>	Fg. 34 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042

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)
851	179.84	0.21
732	152.91	0.18
598	185.1	0.22
414	195.78	0.23
223	146.58	0.17
81	177.96	0.21

#### 6.4 Analisi dei risultati e considerazioni progettuali

Sulla base delle valutazioni di cui al paragrafo precedente si evince che, relativamente al tronco d'alveo analizzato (all'interno del quale ricade l'ambito di attraversamento 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 1,5 ÷ 1,6m. La corrente, inoltre, risulta in alcuni tratti potenzialmente in grado di movimentare dei "clasti liberi" (ossia non inclusi in scogliere e/o rivestimenti d'alveo) del diametro equivalente di circa 0,20 ÷ 0,25 m.

In relazione ai valori di erosione individuati nel presente capitolo, nonché in considerazione dei riscontri diretti derivanti dalle analisi in campo nel contesto specifico d'intervento si assegna, in maniera conservativa, come copertura minima di progetto (profondità della giacitura superiore della tubazione, nei confronti della quota minima di fondo alveo) il valore di 3,8m.

Si ritiene che detto valore di copertura sia adeguatamente cautelativo al fine di garantire la sicurezza all'infrastruttura lineare in progetto nei confronti dei processi erosivi di fondo alveo, anche in considerazione che relativamente al tronco idraulico in cui ricade l'ambito d'intervento non si è rilevato una tendenza evolutiva orientata all'approfondimento d'alveo.

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48”), DP 75bar</b>	Fg. 35 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042

## 7 METODOLOGIA COSTRUTTIVA E SCELTE PROGETTUALI

### 7.1 Premessa

La definizione del progetto dell'attraversamento in esame è stata effettuata in riferimento a valutazioni di tipo geomorfologico, geotecnico ed idraulico, condotte nell'ambito specifico d'intervento.

In particolare, in considerazione delle caratteristiche del corso d'acqua e dei risultati delle valutazioni, sono state definite le scelte progettuali inerenti agli aspetti qui di seguito elencati:

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

### 7.2 Metodologia operativa: Scavi a cielo aperto

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

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

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

#### Generalità sul sistema costruttivo

La metodologia esecutiva consiste sostanzialmente nelle seguenti fasi:

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

In relazione alle specifiche caratteristiche idrauliche del corso d'acqua, al periodo di esecuzione, alle portate di deflusso attese nel corso delle operazioni esecutive ed alla

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48”), DP 75bar</b>	Fg. 36 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042

durata delle attività, l'organizzazione operativa dei lavori può essere articolata con uno dei seguenti modi:

- *Lavori in continuità con quelli di linea.* Nell'attraversamento di corsi d'acqua "non particolarmente significativi" (in relazione all'aspetto idraulico, alla morfologia del territorio ed a rischi di tipo operativo), o di corsi d'acqua, seppur significativi, tuttavia caratterizzati da significativi periodi magra o di "secca". In tali condizioni, i lavori di scavo, di posa e di rinterro della condotta vengono effettuati in continuità con quelli lungo la linea. In genere si tratta di torrenti, o canali, caratterizzati da modesti valori di portata che pertanto non necessitano di una specifica struttura di cantiere.
- *Lavori di attraversamento con cantierizzazione specifica.* Nell'attraversamento di corsi d'acqua importanti, invece, si procede con l'istituzione di uno specifico cantiere, svincolato dalla cantierizzazione generale del metanodotto. In questi attraversamenti fluviali, al fine di rendere le lavorazioni più agevoli, sicure e rapide possibili, vengono stabiliti tempi specifici d'intervento ricadenti nei periodi di magra del corso d'acqua o comunque nei periodi in cui le portate medie attese non sono particolarmente significative.

Le sequenze operative da adottare per lo svolgimento delle attività devono essere, comunque, adattate alle caratteristiche peculiari del corso d'acqua da attraversare (in relazione all'aspetto idraulico, alla morfologia del territorio d'intervento ed a rischi di tipo operativo).

In generale, per l'attraversamento di corsi d'acqua di rilevante e/o di media importanza (che normalmente presentano delle ampiezze d'alveo, comunque, significative), le attività verranno eseguite per tratti successivi ed in considerazione di fasi chiuse (ossia completando le lavorazioni di scavo, di posa della condotta e di rinterro per ogni singolo tratto, prima dell'inizio delle stesse relativamente al tratto successivo), adottando degli interventi temporanei di deviazione del flusso, che verranno adattati nel corso dei lavori, con lo scopo di operare sempre nelle condizioni favorevoli.

Ossia, preliminarmente dell'inizio della fase di scavo, si procede ad effettuare una parzializzazione dell'alveo (per un'ampiezza non superiore alla semi-larghezza del letto fluviale), realizzando dei by-pass costituiti da dei tomboni e/o degli argini, delle ture, ecc., in modo da deviare il flusso e consentire il normale deflusso delle acque in una porzione d'alveo.

Nella restante porzione d'alveo (dove risulta possibile operare nelle condizioni pseudo-asciutte) si eseguono i lavori di scavo, di posa e di rinterro della condotta, nonché si realizzano tutte le eventuali opere di presidio idraulico previste in progetto nel contesto specifico.

Quindi, ultimate le lavorazioni nel 1° tratto d'intervento, si provvederà ad adattare le conformazioni dei by pass, in modo da orientare le acque di deflusso proprio nel tratto in cui si è già intervenuto e dunque poter procedere operativamente nel tratto successivo (avendo esclusivamente la cura di lasciare gli spazi tecnici per eseguite le operazioni di saldatura con il tratto di condotta già posata).

Il numero dei tratti d'intervento (in cui procedere per fasi chiuse), per i corsi d'acqua particolarmente ampi potrebbero essere anche maggiori di 2 e verrà stabilito, dunque, in relazione alla specificità del contesto fluviale d'intervento.

In taluni casi, invece, si ha la necessità di dover attraversare dei piccoli corsi d'acqua, nonché caratterizzati da un assetto morfologico molto inciso e da un'ampiezza d'alveo alquanto ristretta. In questo caso l'elemento principale di criticità per lo svolgimento delle

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48”), DP 75bar</b>	Fg. 37 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042

lavorazioni è rappresentato dalla scarsa disponibilità di spazi, che non consentono l'esecuzione di interventi di deviazione del flusso idraulico.

In questi casi si procede normalmente con la preparazione “fuori opera” del cosiddetto “cavallo”, che consiste nell'assemblare e saldare le barre e le curve stampate della tubazione secondo la configurazione geometrica di progetto.

Poi viene realizzata la trincea di scavo nelle scarpate laterali e nel fondo alveo (eventualmente anche in presenza d'acqua), con la conformazione idonea alla posa della condotta. Quindi, mediante l'ausilio di mezzi idonei, viene posizionata la condotta all'interno della trincea, e vengono eseguite le operazioni di rinterro e di realizzazione dei presidi spondali previsti in progetto.

A volte, nonostante trattasi in generale di corsi d'acqua minori, si può rilevare comunque la presenza di un deflusso idraulico di una certa significatività. In tal senso, per eseguire correttamente le lavorazioni, può risultare opportuno effettuare, preliminarmente alle lavorazioni di scavo, il convogliamento del deflusso idraulico in un tombone da collocare longitudinalmente al corso d'acqua. In detti casi si rileva la complicazione di dover eseguire gli scavi e le operazioni di posa del cavallo con la presenza del tombone.

Per quanto detto e/o in considerazione che si possono individuare anche delle situazioni sopra espressamente non contemplate, si ribadisce che risulta molto importante adattare le sequenze alle caratteristiche peculiari del corso d'acqua da attraversare. In tal senso, si pone in evidenza che, prima dell'inizio dei lavori, l'impresa esecutrice, preso atto del contesto d'intervento ed in relazione alle attrezzature ed i macchinari disponibili, deve presentare (per approvazione) alla Direzione dei Lavori una specifica relazione con la descrizione dettagliata delle “procedure operative” che intende adottare.

Risulta onere dell'impresa, anche la presentazione del POS (Piano operativo di Sicurezza), il quale dovrà essere conforme in considerazione delle misure di prevenzione, dei sistemi di preallertamento, e delle disposizioni operative (soprattutto nel caso di manifestazione di un evento di piena) previsti nel PSC (Piano di sicurezza e di coordinamento). Il POS dovrà essere formalmente accettato ed approvato dal CEL (Coordinatore per la sicurezza in fase di esecuzione dei lavori).

In ogni caso, a prescindere dal contesto fluviale in cui si ricade e dalle procedure operative previste, si precisa che durante le fasi operative i mezzi ed il personale presenti in alveo dovranno essere quelli strettamente necessari per l'esecuzione dei lavori, con deposito di attrezzature e macchinari fuori dall'ambito fluviale. Ciò con lo scopo di agevolare il rapido allontanamento dei mezzi e del personale dall'ambito fluviale in caso di manifestazione di un evento di piena significativo.

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

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

Pertanto, a completamento dei lavori necessari per dare l'opera finita, si ristabilirà l'originale conformazione plano-altimetrica delle aree interessate, senza alcuna modificazione della sezione idrica offerta al deflusso di piena. In tal modo, l'intervento in progetto non apporterà alterazioni alle condizioni geometriche ed idrauliche dell'alveo. Considerata inoltre la natura dei lavori (posa della condotta, con ripristino dell'assetto morfologico preesistente), non si prevede alcuna variazione significativa delle condizioni

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48”), DP 75bar</b>	Fg. 38 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042

di scabrezza e pertanto non si darà luogo ad alcuna alterazione della capacità di laminazione naturale dell'alveo e della portata naturalmente rilasciata a valle: l'opera risulta ininfluenza sulle condizioni di deflusso delle portate del corso d'acqua.

### 7.3 Geometria della condotta ed interventi di ripristino

#### Copertura in subalveo di progetto

Relativamente al profilo di posa della condotta in progetto in subalveo in corrispondenza dell'attraversamento in esame, in considerazione dei risultati conseguiti negli studi idraulici precedentemente riportati e delle condizioni peculiari rilevate nel contesto d'intervento e delle opere di presidio idraulico previste, è stato previsto di posizionare la condotta in progetto con una copertura minima in alveo di 3,8 m (riferita alla profondità della generatrice superiore del tubo nei confronti della quota minima di fondo alveo).

Detta profondità di posa della condotta assicura una adeguata sicurezza dell'infrastruttura lineare per tutto il periodo d'esercizio nei confronti dei potenziali processi erosivi di fondo alveo.

#### Interventi di ripristino

Le opere di difesa idraulica previste nell'ambito fluviale in esame sono:

- n.1 scogliera in massi ciclopici naturali, a protezione della sponda destra del corso d'acqua (da realizzare per tutta la fascia interessata dai lavori).

Per quanto concerne, invece, la sponda sinistra, essendo costituita da un pendio molto svasato, si è scelto di prolungare fuori dall'alveo il tratto di condotta con posa al livello di copertura d'alveo e poi prevedere il ripristino della configurazione morfologica preesistente (senza dunque la necessità di realizzare alcun intervento di presidio spondale).

Detti interventi assicureranno, dunque, il ripristino della configurazione morfologica d'alveo preesistente ed un'efficace funzione di stabilizzazione locale della sponda destra del corso d'acqua nei confronti dei potenziali fenomeni erosivi in concomitanza ad eventi di piena.

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

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

Si precisa inoltre che, per un esame di dettaglio della configurazione tipologica e dimensionale delle opere in progetto e del profilo geometrico della condotta, si rimanda alla visione del disegno di attraversamento (DIS. 10-LB-15D-81115).

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48”), DP 75bar</b>	Fg. 39 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042

## 8 VERIFICA STABILITÀ OPERE IN MASSI NEI CONFRONTI DEL TRASCINAMENTO (della corrente)

### 8.1 Premessa

Nel capitolo precedente è stato evidenziato che, al termine dei lavori di posa della condotta, in corrispondenza dell'ambito di attraversamento in esame, è stata prevista la realizzazione di un'opera di presidio idraulico in massi, costituita da una scogliera per la protezione della sponda destra del corso d'acqua.

In tal senso, nel presente capitolo, si vuole procedere ad eseguire le verifiche di stabilità dell'opera in massi prevista in progetto, nei confronti delle azioni di trascinamento indotte dalla corrente idraulica (per il contesto in esame) in considerazione dell'evento di piena di progetto (piena 200-ennale).

A tal proposito, nei paragrafi seguenti si riportano, inizialmente, le descrizioni delle modalità di calcolo considerate per le verifiche di stabilità dei massi nei confronti delle azioni idrodinamiche della corrente agenti al fondo alveo e nei paramenti inclinati delle sponde.

Successivamente, vengono riportati i risultati delle verifiche a trascinamento inerenti all'opera in massi prevista nell'ambito fluviale in esame.

### 8.2 Metodologia di analisi

#### 8.2.1 Verifica trascinamento al fondo alveo

In letteratura sono disponibili varie formule per la stima della stabilità dei materiali di assegnata granulometria sottoposti all'azione di trascinamento della corrente.

Questi metodi si basano sulla determinazione dei valori critici della velocità o delle tensioni tangenziali (intesi come valori che corrispondono alle condizioni di moto incipiente per il materiale considerato) e sul confronto con i valori reali di tali grandezze.

Sono senza dubbio preferibili le analisi basate sul confronto delle tensioni tangenziali di trascinamento esercitate dalla corrente sul materiale costituente il letto fluviale con i valori critici.

Tale criterio di verifica delle condizioni di stabilità sul letto fluviale, consiste dunque nel controllare che sia verificata la condizione qui di seguito riportata:

$$\tau_{cr} \geq \tau_0 \quad [8.1]$$

dove:

$\tau_{cr}$  la tensione tangenziale critica [kg/m<sup>2</sup>];

$\tau_0$  la tensione tangenziale esercitata dalla corrente sul materiale costituente il letto fluviale [kg/m<sup>2</sup>];

La tensione tangenziale esercitata dalla corrente  $\tau_0$  viene valutata tramite la seguente espressione:

$$\tau_0 = \gamma \cdot R \cdot i \quad [8.2]$$

dove:

$\gamma$  peso specifico dell'acqua [kg/m<sup>3</sup>];

$R$  raggio idraulico della sezione in esame [m];

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48”), DP 75bar</b>	Fg. 40 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042

*i* pendenza della linea dell'energia (o del fondo alveo) a cavallo della sezione in esame [m/m];

Il valore critico  $\tau_{cr}$  che mobilita un masso di diametro  $d$  con peso specifico  $\gamma_s$  in assenza di coesione ed in regime turbolento può essere determinato mediante l'espressione riferita alla teoria della tensione tangenziale critica (Shields, 1936). Ossia la valutazione della forza che determina il moto incipiente dei granuli è esprimibile in termini generali con la seguente relazione che esprime una condizione di equilibrio:

$$\frac{\tau_{cr}}{(\gamma_s - \gamma) \cdot d} = \Theta(\text{Re}^*)$$

ovvero:

$$\tau_{cr} = \Theta(\text{Re}^*) \cdot (\gamma_s - \gamma) \cdot d \quad [8.3]$$

dove:

$\Theta(\text{Re}^*)$  parametro adimensionale (di Shields) dipendente dalle caratteristiche dei granuli e del letto fluviale e dal numero di Reynolds ( $\text{Re}^*$ ) relativo alla velocità di attrito ( $u^* = \sqrt{\tau_{cr}/\rho}$ ).

$\gamma_s$  peso specifico del masso [ $\text{kg/m}^3$ ];

$\gamma$  peso specifico dell'acqua [ $\text{kg/m}^3$ ];

$d$  diametro del granulo (diametro equivalente del masso) [m];

La suddetta condizione di equilibrio è stata tradotta in termini empirici da osservazioni sperimentali, ciascuna caratterizzata da limiti e campi di applicabilità specifici che ne condizionano l'utilizzo.

In particolare, alcuni autori hanno individuato valori empirici specifici del parametro adimensionale di Shields:

$\Theta = 0.060$  nella espressione originale di Shields per  $\text{Re}^* > 400$ ;

$\Theta = 0.116$  nella espressione di Kalinske. In sostanza l'autore modifica il parametro adimensionale di Shields in considerazione di un fattore di compattezza del materiale rappresentante l'effetto di mutuo incastro delle particelle (dei massi);

In aggiunta, molto interessante risulta la formulazione proposta da Armanini (1990), la quale è applicabile quando la dimensione del materiale è dello stesso ordine di grandezza del tirante idrico (si parla di sommergezza relativa bassa).

L'autore ha osservato che in questo caso la mobilità dei grani si riduce sensibilmente e pertanto ha modificato l'espressione [8.3] della formulazione originale di Shields, introducendo un termine che implementa il valore del  $\tau_{cr}$ .

$$\frac{\tau_{cr}}{(\gamma_s - \gamma)d} = 0,06 \left[ 1 + 0,67 \left( \frac{d}{h} \right)^{0,5} \right] \quad [8.4]$$

( $h$  = profondità)

Pertanto, in riferimento alle espressioni sopra riportate, risulta possibile verificare le condizioni di stabilità del materiale di fondo del letto fluviale.



	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48”), DP 75bar</b>	Fg. 41 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042

### 8.2.2 Verifica trascinamento sulle sponde

Per la verifica nei confronti dell'azione di trascinamento degli elementi lapidei costituenti i presidi spondali, si eseguono valutazioni analoghe a quanto riportate nel paragrafo precedente. In questo caso la verifica delle condizioni di stabilità degli elementi nelle sponde, consiste nel controllare che sia verificata la condizione qui di seguito riportata:

$$\tau_{cr\_s} \geq \tau_{0\_s} \quad [8.5]$$

dove:

$\tau_{0\_s}$  la tensione tangenziale esercitata dalla corrente sul materiale costituente le sponde del corso d'acqua [kg/m<sup>2</sup>]. Sulla base di valutazioni sperimentali (Lane et alii) eseguite sulla distribuzione delle tensioni tangenziali nell'ambito di una generica sezione a forma trapezoidale, si è osservato che la tensione tangenziale agente sulle sponde può essere assunta pari al 75% di quella agente sul fondo alveo (di cui al paragrafo precedente).

$\tau_{cr\_s}$  la tensione tangenziale critica sulle sponde [kg/m<sup>2</sup>];

Per il calcolo della tensione tangenziale critica relativa alle sponde  $\tau_{cr\_s}$  viene utilizzata l'espressione di seguito riportata (Lane 1953), che consente di correlare la  $\tau_{cr\_s}$  al  $\tau_{cr}$  (di fondo alveo), in funzione di  $\alpha$  (inclinazione della sponda) e di  $\varphi$  (angolo di attrito del materiale di sponda).

$$\tau_{cr\_s} = \tau_{cr}(0) \cdot \eta = \tau_{cr}(\alpha) = \tau_{cr}(0) \left[ \cos\alpha \sqrt{1 - \frac{\text{tg}^2\alpha}{\text{tg}^2\varphi}} \right] \quad [8.6]$$

dove:

$\tau_{cr\_s} = \tau_{cr}(\alpha)$ : la tensione tangenziale critica sulle sponde [kg/m<sup>2</sup>];

$\tau_{cr} = \tau_{cr}(0)$ : la tensione tangenziale critica al fondo alveo [kg/m<sup>2</sup>];

$\eta$ : coefficiente riduttivo (<1) di  $\tau_{cr}$ , al fine di valutare di  $\tau_{cr\_s}$ ;

$\alpha$ : pendenza della sponda;

$\varphi$ : angolo di attrito dei massi costituenti la sponda;

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48”), DP 75bar</b>	Fg. 42 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042

### 8.3 Risultati delle verifiche a trascinamento

#### 8.3.1 Considerazioni preliminari

Le verifiche, i cui i risultati sono stati riportati nel prospetto di cui al paragrafo seguente, sono state eseguite in considerazione dei presupposti di calcolo qui di seguito esplicitati.

- Relativamente alla tensione tangenziale esercitata dalla corrente  $\tau_0$  (di cui alla formula [8.2]), il programma di calcolo utilizzato per la modellazione idraulica del tronco fluviale in esame (HEC RAS), consente di valutare direttamente questo parametro (Shear Channel). Pertanto, questo valore è stato estrapolato direttamente dal prospetto riepilogativo dei risultati delle elaborazioni idrauliche (cfr. Tab.5.3/A), avendo esclusivamente la cura di uniformare le unità di misura di riferimento;
- per la valutazione tensione tangenziale critica al fondo  $\tau_{cr}$  è stata utilizzata l'espressione proposta da Shields (di cui alla formula [8.3]). Le modalità costruttive previste per la realizzazione delle opere di presidio idraulico in esame (che prevedono la posa di ciascun elemento con la massima cura al fine di garantire il reciproco incastro con i massi adiacenti già collocati, in modo da creare un manufatto solidale e compatto), consentono di tenere conto del mutuo incastro tra massi costituenti l'opera stessa e pertanto risulta opportuno considerare il paramento adimensionale  $\Theta$  proposto da Kalinske. Tuttavia, a livello conservativo, nei calcoli di verifica è stato considerato un paramento adimensionale  $\Theta$  valutato come media tra il valore proposto da Shields (per elementi liberi) e quello proposto da Kalinske (per elementi con mutuo incastro reciproco), ossia è stato considerato  $\Theta = (0.06+0.116) / 2 = 0.088$ ;
- per la valutazione della tensione tangenziale critica al fondo  $\tau_{cr}$ , a livello conservativo, non è stato considerato il discorso della "sommersione relativa bassa" (di cui alla formula di Armanini [8.4]);
- le opere di presidio idraulico presi in esame nel presente elaborato sono costituite da massi ciclopici di pezzatura media non inferiore a  $0.7 \text{ m}^3$ , a cui corrisponde un diametro della sfera equivalente pari a 1,1 m. Pertanto, i calcoli di verifica di seguito riportati sono stati eseguiti in considerazione di questa pezzatura dei massi;
- per quanto concerne l'angolo di attrito delle scogliere in massi, la valutazione è stata eseguita sulla base delle esperienze dirette, ossia in considerazione dei numerosi riscontri in opere di questa tipologia già effettuate per la posa dei metanodotti Snam. Infatti, si è osservato che in svariate scogliere realizzate con paramento sub-verticale (ossia con inclinazione  $\geq 75^\circ$  dall'orizzontale) non si sono riscontrate problematiche di dislocamento degli elementi, anche successivamente il verificarsi di eventi sismici e/o fenomeni di piena significativi dei corsi d'acqua. In tal senso si ritiene che l'angolo di attrito delle scogliere (previste in considerazione dei tipologici Snam e dunque con la tipologia di massi e con le metodologie costruttive sopra indicate), intenso come l'angolo di massimo declivio del paramento in massi in condizioni statiche (senza azioni esterne), possa essere assunto, in maniera prudenziale, pari ad almeno  $65^\circ$ ;

Per quanto concerne gli altri parametri impiegati per i calcoli di verifica, si rimanda alla visione del prospetto di calcolo riportato nel paragrafo seguente.

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48”), DP 75bar</b>	Fg. 43 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042

### 8.3.2 Attr.to Senatello – Risultati verifiche a trascinamento

Qui di seguito si riporta il prospetto di calcolo di verifica a trascinamento dei massi relativamente all’ambito di attraversamento in esame. In particolare per quanto concerne il valore assunto per lo Shear Channel (ossia per la tensione tangenziale agente) è stato considerato il valore massimo tra quelli relativi alle RS598, RS414 e RS223 (di cui alla Tab.5.3/A), che sono le sezioni posizionate in corrispondenza e/o in prossimità dell’ambito di attraversamento in esame.

Corso d'acqua:	Torrente Senatello		
Sezione di studio:	Attr.to Met. DN1200		
$\tau_{\theta}$	<b>Tensione tangenziale agente al fondo [kg/m<sup>2</sup>]</b>		
	tensione tangenziale esercitata agente al fondo (da HEC RAS) [N/m <sup>2</sup> ]		195.78
	tensione tangenziale esercitata agente al fondo [kg/m <sup>2</sup> ]		<b>19.96</b>
$\tau_{cr}$	<b>Tensione tangenziale critica al fondo [kg/m<sup>2</sup>]</b>		
$\gamma_s$	peso specifico del masso [kg/m <sup>3</sup> ]		2500
$\gamma_w$	peso specifico dell'acqua [kg/m <sup>3</sup> ]		1000
$d$	diametro equivalente medio dei massi [m]		1.1
$\Theta$	parametro adimensionale - Media tra i valori proposti da Shields e da Kalinske [-]		0.088
	tensione tangenziale critica al fondo [kg/m <sup>2</sup> ] (formula [8.3])		<b>145.20</b>
<b>VERIFICA TRASCINAMENTO AL FONDO</b>			
$\tau_{cr}$	$\geq \tau_{\theta}$ ? : <b>SI - VERIFICA SODDISFATTA</b>		
$\tau_{\theta_s}$	<b>Tensione tangenziale agente sulle sponde [kg/m<sup>2</sup>]</b>		
	pari al 75% della tensione agente al fondo alveo		<b>14.97</b>
$\tau_{cr_s}$	<b>Tensione tangenziale critica sulle sponde [kg/m<sup>2</sup>]</b>		
$\alpha$	pendenza della sponda [°]		45
$\alpha$	pendenza della sponda [rad]		0.7854
$\phi$	angolo d'attrito interno dell'opera in massi [°]		65
$\phi$	angolo d'attrito interno dell'opera in massi [rad]		1.1344
$\eta$	fattore riduttivo nei confronti del valore critico al fondo		0.626
	Tensione tangenziale critica sulle sponde [kg/m <sup>2</sup> ] (formula [8.6])		<b>90.83</b>
<b>VERIFICA TRASCINAMENTO SULLE SPONDE</b>			
$\tau_{cr_s}$	$\geq \tau_{\theta_s}$ ? : <b>SI - VERIFICA SODDISFATTA</b>		

La verifica al trascinamento al fondo (riferita alla fondazione del presidio spondale) è soddisfatta.

La verifica al trascinamento lungo le sponde (riferita al presidio spondale – paramento in elevazione) è soddisfatta.

Pertanto, non si rilevano problematiche connesse al trascinamento dei massi da parte della corrente nell’ambito fluviale in esame.

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48”), DP 75bar</b>	Fg. 44 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042

## 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 Marecchia-Conca, 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 ITI01319 - 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.

Per quanto concerne alle aree potenzialmente inondabili per effetto dell'esondazione dei corsi d'acqua naturali ricadenti nel territorio della UoM "Conca- Marecchia" e per l'individuazione delle azioni finalizzate alla riduzione della pericolosità e del valore e della vulnerabilità degli elementi esposti a rischio, nel PGRA vengono recepiti gli elaborati del PAI (redatto dell'ex Autorità di Bacino), in considerazione delle modalità illustrate nella "Variante 2016 al PAI Marecchia Conca".

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48”), DP 75bar</b>	Fg. 45 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042

### Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) del Bacino Marecchia – Conca

Il "Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Bacino ", che, per tutto il territorio di competenza, rappresenta lo “*strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo*”, in riferimento al reticolo idrografico naturale principale (Titolo II – Piano Stralcio delle fasce Fluviali) ed alle aree di versante in dissesto (Titolo III – Piano stralcio delle aree di versante in condizioni di dissesto), è stato adottato dal Comitato Istituzionale con deliberazione n. 2 del 30 marzo 2004, e approvato dalla Regione Emilia-Romagna con deliberazione della Giunta Regionale n.1703/2004, dalla Regione Marche con deliberazione del Consiglio Regionale n. 139/2004, dalla Regione Toscana con deliberazione del Consiglio Regionale n. 1150/04.

Dal 2004, il PAI è stato oggetto di vari aggiornamenti, integrazioni e varianti in coerenza allo sviluppo delle diverse attività conoscitive di approfondimento e studio rispetto alla prima banca dati PAI/2004.

Fra queste la più significativa è la “Variante 2016 al PAI Marecchia Conca” pubblicata sulla GURI n. 261 del 21 ottobre 2020, come previsto dalla Delibera CIP n.2 del 18/11/2019 di adozione della Variante stessa (ex art. 8).

La Variante PAI, costituisce aggiornamento cartografico e normativo e si sviluppa secondo quattro temi principali:

1. il coordinamento e la ricomposizione del PAI 2004 con le varianti, integrazioni e aggiornamenti successivi;
2. l'aggiornamento della cartografia, per il reticolo idrografico e per le aree di versante in dissesto, in rapporto al nuovo quadro conoscitivo a supporto del Piano Stralcio;
3. l'aggiornamento e la semplificazione delle Norme di Piano vigenti, approvate con deliberazioni del Comitato Istituzionale n. 2 del 30/03/2004 e n. 11 del 15/12/2004;
4. il coordinamento tra il PAI vigente e il Piano di Gestione dei Rischi di Alluvione:

#### L.R. n.41/2018 (Regione Toscana)

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

### 9.2.3 Disposizioni e Misure di salvaguardia in ambiti a pericolosità idraulica

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

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

I Decreti del Segretario Generale 291 e 292 del 10 Settembre del 2020 dispongono che per le aree che potrebbero essere interessate da alluvioni oggetto di nuova individuazione nell'aggiornamento delle “Mappe della pericolosità e del rischio alluvioni” del Distretto idrografico del fiume Po, si applicano le disposizioni di cui al Titolo V delle NA del PAI del Po, di cui alla Parte Terza delle NA del PAI Delta, e di cui alle NA dei PAI

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48”), DP 75bar</b>	Fg. 46 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042

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 PAI (Variante 2016) - Sintesi dei contenuti

Ai sensi dell'art.2, comma 2 delle Norme del PAI gli ambiti territoriali della rete idrografica e le relative fasce di pertinenza, vengono disciplinati nell'ambito del Titolo II delle Norme stesse "Piano Stralcio delle Fasce Fluviali".

Ai sensi dell'art.7, comma 1, lettera a) delle Norme, nell'ambito della cartografia del PAI vengono individuati gli alvei, le fasce di territorio inondabili (per diversi tempi di ritorno) e le fasce ad alta vulnerabilità idrologica, per i tratti idraulicamente più significativi dei principali corsi d'acqua ricadenti nel bacino interregionale del Marecchia - Conca.

In particolare nell'art.8 “Alvei”, comma 1, viene riportata la definizione.

*1. Alvei: ai fini della applicazione delle norme del presente Piano Stralcio, per alvei si intendono le parti di territorio interessate dal deflusso e dalla divagazione delle acque, delimitate dal ciglio di sponda o, nel caso di tratti arginati con continuità, delimitate dalla parete interna del corpo arginale. Rientrano nell'alveo tutte le aree morfologicamente appartenenti al corso d'acqua in quanto sedimenti storicamente già interessati dal deflusso delle acque riattivabili o sedimenti attualmente interessabili dall'andamento pluricorsale del corso d'acqua e dalle sue naturali divagazioni.*

Sempre nell'art.8 vengono descritti il *Ruolo e Funzioni* (comma 2) disciplinate le *modalità di gestione* degli alvei (comma 3) ed enunciate le misure di tutela e di salvaguardia, ossia le *Prescrizioni* (comma 4). In particolare nel punto 4, lettera b), le Norme consentono la realizzazione di nuove infrastrutture a rete negli alvei purché non comportino aggravio delle condizioni di rischio idraulico e previa verifica di compatibilità da parte delle autorità competenti.

Nell'art.9 “Fasce di territorio di pertinenza dei corsi d'acqua”, al comma 1, sono riportate le seguenti definizioni:

- a) le fasce di territorio con probabilità di inondazione corrispondente a piene con tempi di ritorno fino 200 anni sono le parti di territorio, esterne all'alveo, nelle quali esondano le piene con tempi di ritorno fino a 200 anni, di pericolosità idraulica molto elevata (aree inondabili per piene con tempo di ritorno di 50 anni) o elevata (aree inondabili per piene con tempo di ritorno compreso tra 50 e 200 anni) (rif. Allegato 3). Nelle tavole di piano (rif. Allegato 5) sono individuate, relativamente alla rete idrografica principale, le aree inondabili alla data di approvazione del Piano Stralcio e le fasce che risulteranno inondabili successivamente alla realizzazione degli interventi strutturali previsti dal Piano Stralcio;*
- b) le fasce di territorio di alta vulnerabilità idrologica sono le parti di territorio costituite dai depositi alluvionali grossolani idrogeologicamente connessi all'alveo (rif. Allegato 4) individuati sulla base delle carte geologiche e geomorfologiche delle Regioni;*
- c) le fasce ripariali sono le fasce di territorio con profondità minima di 10 m. dal ciglio di sponda dei corsi d'acqua, con funzioni di filtro per i solidi sospesi e gli inquinanti di origine diffusa, di stabilizzazione delle sponde e di conservazione della biodiversità da contemperarsi con le esigenze di funzionalità dell'alveo;*
- d) le fasce arginali sono le fasce di territorio adiacenti all'alveo (individuato ai sensi del comma 1 del precedente art. 8) nei tratti arginati, comprensive dell'argine e delle fasce con profondità*

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48”), DP 75bar</b>	Fg. 47 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042

*minima di 10 m. dal piede esterno degli argini, con funzione di presidio dell'argine; Le fasce di cui alle lett. a), b), c) e d) sono in genere parzialmente sovrapposte.*

Sempre nell'art.9 vengono descritti il *Ruolo e Funzioni* (comma 2) disciplinate le *modalità di gestione* (comma 3) ed enunciate le misure di tutela e di salvaguardia, ossia le *Prescrizioni* (comma 4). In particolare nei punti 4.1, lettera b) e 4.2 lettera b), le Norme consentono la realizzazione di nuove infrastrutture a rete nelle varie fasce di territorio di pertinenza dei corsi d'acqua, purché non comportino aggravio delle condizioni di rischio idraulico se di interesse pubblico e se sono riferiti a servizi essenziali non altrimenti localizzabili e previa verifica di compatibilità da parte delle autorità competenti.

Nell'art.10 viene riportata la definizione delle fasce di territorio con probabilità di inondazione corrispondente a piene con tempi di ritorno di 500 anni. Per queste fasce la regolamentazione delle attività e degli interventi edilizi in queste fasce, in assenza di limitazioni di altro tipo, attiene agli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica.

Nel Titolo IV delle Norme di Piano sono riportate le Norme in materia di coordinamento tra il Piano Stralcio di Bacino per l'assetto Idrogeologico (PAI) ed il Piano di Gestione dei Rischi di Alluvione (PGRA).

In particolare nell'art.20 "Coordinamento del Piano Stralcio con le Mappe della pericolosità e del rischio di alluvione del PGRA", le Norme riportano quanto segue:

1. *Le Mappe della pericolosità e del rischio di alluvione del P.G.R.A. sono relative alle seguenti tipologie di fenomeni che si esplicano sui relativi ambiti territoriali:*

- a. alluvioni generate dai corsi d'acqua naturali (reticolo idrografico principale) – Ambito territoriale dei Corsi d'Acqua Naturali;*
- b. alluvioni generate dal reticolo idrografico secondario di pianura – Ambito territoriale del Reticolo di Bonifica;*
- c. alluvioni generate da fenomeni meteo-marini (mareggiate) – Ambito territoriale delle Aree Costiere Marine.*

2. Le Mappe della pericolosità relative all'Ambito territoriale dei Corsi d'Acqua Naturali delimitano le aree alluvionabili per i seguenti scenari di pericolosità:

- a. alluvioni frequenti (elevata probabilità – P3): sono compresi gli alvei dei corsi d'acqua naturali e le aree inondabili per piene con tempi di ritorno fino a 50 anni;*
- b. alluvioni poco frequenti (media probabilità – P2): sono comprese le aree inondabili per piene con tempi di ritorno fino a 200 anni;*
- c. alluvioni rare per eventi estremi (scarsa probabilità – P1): sono comprese le aree inondabili per piene con tempi di ritorno superiori a 200 anni.*

*Tali Mappe costituiscono integrazione e aggiornamento del quadro conoscitivo di riferimento per l'attuazione dei contenuti e delle finalità del P.A.I. e sono recepite negli elaborati grafici dell'Allegato 3 – Esondabilità attuale e rischio attuale e dell'Allegato 5 – Fasce fluviali e interventi previsti, in cui sono rappresentati gli Alvei, le Fasce di pertinenza dei corsi d'acqua con probabilità di inondazione corrispondente a piene con tempi di ritorno fino a 200 anni e le Fasce di territorio con probabilità di inondazione corrispondente a piene con tempi di ritorno fino a 500 anni dei corsi d'acqua del reticolo idrografico principale.*

3. *Le Mappe della pericolosità relative all'Ambito territoriale del Reticolo di Bonifica delimitano le aree alluvionabili per i seguenti scenari di pericolosità:*

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48”), DP 75bar</b>	Fg. 48 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042

*a. aree soggette ad alluvioni frequenti (elevata probabilità – P3);*

*b. aree soggette ad alluvioni poco frequenti (bassa probabilità – P2).*

*Tali mappe sono rappresentate graficamente negli elaborati del Piano Stralcio costituiti dalle tavv. 5.1, 5.2, 5.3 – Mappe della pericolosità idraulica del reticolo secondario di pianura.*

*4. Le Mappe della pericolosità relative all’Ambito Costiero Marino delimitano le aree alluvionabili per i seguenti scenari di pericolosità:*

*a. alluvioni frequenti (elevata probabilità – P3): sono comprese le aree inondabili per mareggiate con tempi di ritorno fino a 10 anni;*

*b. alluvioni poco frequenti (media probabilità – P2): sono comprese le aree inondabili per mareggiate con tempi di ritorno fino a 100 anni;*

*c. alluvioni rare per eventi estremi (scarsa probabilità – P1): sono comprese le aree inondabili per mareggiate con tempi di ritorno superiori a 100 anni.*

*Tali mappe sono rappresentate graficamente negli elaborati del Piano Stralcio costituiti dalle tavv. 6.1, 6.2 – Mappe della pericolosità per alluvioni marine.*

Nell’art.21 “Coordinamento del Piano Stralcio con le Mappe della pericolosità e del rischio di alluvione del PGRA”, al comma 1, le Norme riportano quanto segue:

*1. Nelle aree alluvionabili relative all’Ambito territoriale dei Corsi d’Acqua Naturali di cui al comma 2 del precedente articolo, con riferimento agli elaborati grafici dell’Allegato 5 – “Fasce fluviali e interventi previsti” del Piano Stralcio, si applicano le disposizioni di cui all’art. 8 (Alvei), all’art. 9 (Fasce di pertinenza dei corsi d’acqua con probabilità di inondazione corrispondente a piene con tempi di ritorno fino a 200 anni) e all’art. 10 (Fasce di territorio con probabilità di inondazione corrispondente a piene con tempi di ritorno fino a 500 anni) delle presenti Norme.*

#### L.R. n.41/2018 (Regione Toscana) - Cenni sui contenuti

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

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

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



	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48”), DP 75bar</b>	Fg. 49 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042

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

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

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

### 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 PAI.

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48”), DP 75bar</b>	Fg. 50 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042

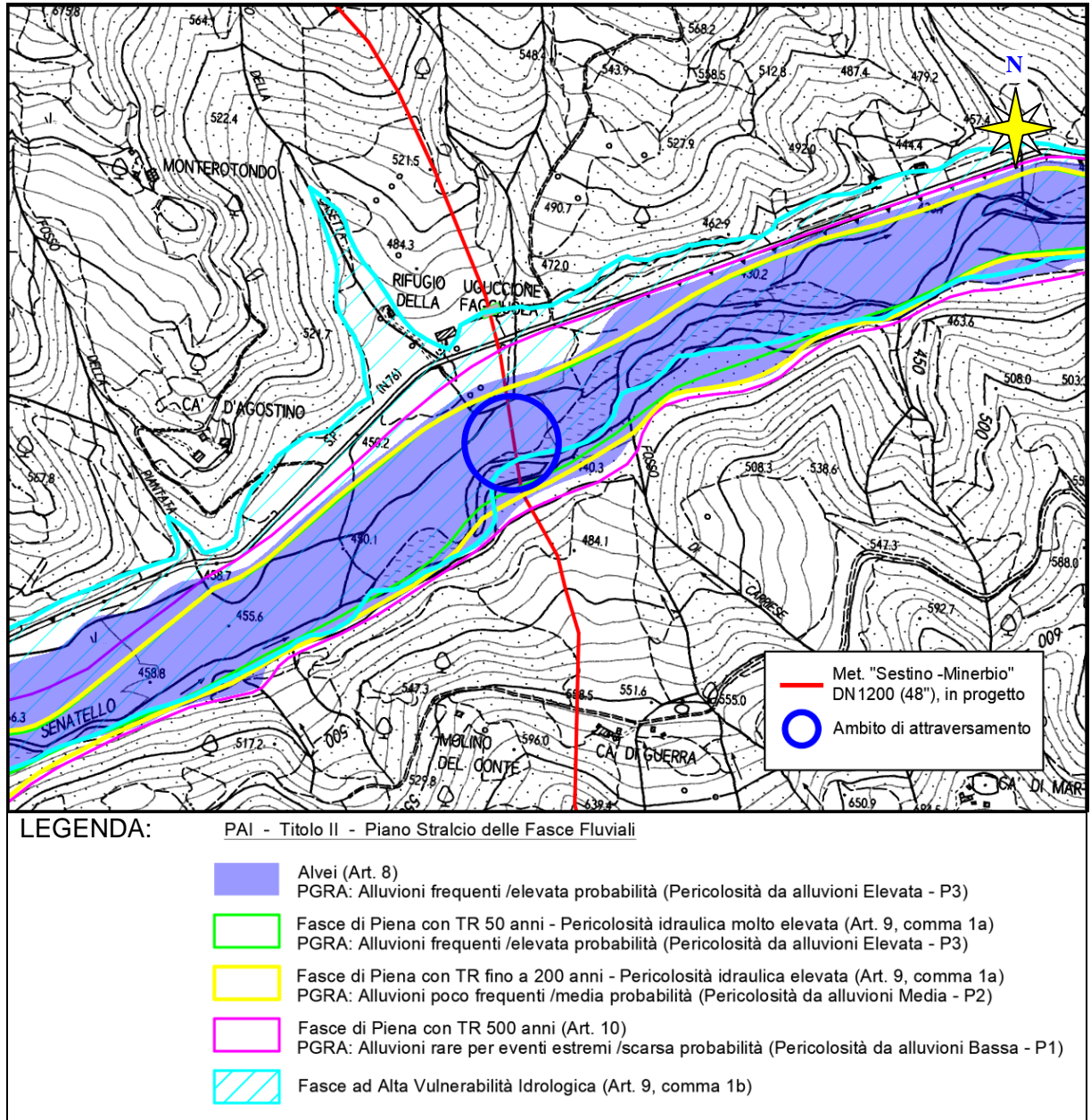


Fig.9.3/A: Interferenze metanodotto in progetto con le aree censite nel PAI

Dall'analisi della figura precedente si rileva che il tracciato del metanodotto in progetto, in corrispondenza dell'attraversamento in esame interseca l'alveo del corso d'acqua (Art.8) e le fasce di piena con di ritorno di 50, 200 e 500 anni (Art.9, comma 1a e Art.10). In aggiunta, nel lato in sinistra idrografica e fuori dagli ambiti territoriali inondabili, il tracciato interferisce con un'area censita come fascia ad Alta Vulnerabilità Idrologica (Art.9, comma 1b).

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48”), DP 75bar</b>	Fg. 51 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042

## 9.4 Analisi delle condizioni di compatibilità idraulica

### 9.4.1 Considerazioni di carattere generale

Il metanodotto in progetto rappresenta un'infrastruttura lineare (di interesse pubblico) di trasporto del gas che, essendo riferita a servizi essenziali non altrimenti localizzabile, risulta tra le tipologie d'intervento per le quali, ai sensi delle Norme di Piano, è consentito l'interferenza con le aree a pericolosità idraulica.

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

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

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

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

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

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

### 9.4.2 Considerazioni specifiche inerenti all'ambito d'attraversamento dell'alveo

Entrando in maggior dettaglio in merito agli aspetti connessi alla specifica interferenza idraulica in corrispondenza dell'alveo del corso d'acqua, nella quale la posa della condotta è prevista mediante "scavi a cielo aperto", si evidenzia quanto segue:

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

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48”), DP 75bar</b>	Fg. 52 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042

- La configurazione morfologica dell'alveo, sia dal punto di vista planimetrico che altimetrico, verrà mantenuta praticamente invariata nei confronti della situazione preesistente. Le opere complementari (presidi idraulici in massi) sono infatti unicamente finalizzate al ripristino della configurazione originaria dell'alveo, oltre che al presidio idraulico dell'infrastruttura nei confronti di potenziali fenomeni erosivi in ambito locale da parte della corrente;
- La configurazione geometrica della condotta nell'ambito di attraversamento (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 ripristino definitivo dei terreni allo stato preesistente), non sarà determinato dalla costruzione della condotta nessun effetto di variazione dei livelli idrici e quindi del profilo d'inviluppo di piena.
2. *Riduzione della capacità di laminazione e/o di invaso dell'alveo*  
La condotta in progetto, essendo completamente interrata, non crea alcun ostacolo al corretto deflusso delle acque e/o all'azione di laminazione delle piene, né contrazioni areali delle fasce d'esonazione e pertanto non sottrae capacità d'invaso.
3. *Modifiche indotte sull'assetto morfologico planimetrico ed altimetrico dell'alveo*  
L'opera in progetto non induce alcuna modifica all'assetto morfologico dell'alveo inciso, sia dal punto di vista planimetrico che altimetrico, essendo questa localizzata in subalveo ad una profondità superiore ad ogni prevedibile fenomeno d'approfondimento, e garantendo con la realizzazione d'opere di ripristino le preesistenti caratteristiche idrauliche della sezione di deflusso.
4. *Interazioni in considerazione delle potenziali dinamiche fluviali del corso d'acqua*  
Gli interventi previsti non costituiscono elementi d'interferenza con il regime idraulico naturale del corso d'acqua (quali restringimenti e/o modifiche dell'assetto longitudinale), in quanto le opere sono finalizzate al ripristino della configurazione originaria dell'alveo ed al presidio idraulico nei confronti di potenziali fenomeni erosivi. Le caratteristiche tipologiche delle opere previste si inseriscono perfettamente nel contesto naturale esistente.
5. *Modifiche indotte sulle caratteristiche naturali e paesaggistiche della regione fluviale*  
Essendo l'opera del tutto interrata non saranno indotti effetti particolarmente impattanti con il contesto naturale della regione fluviale che possano pregiudicare in maniera "irreversibile" l'attuale assetto paesaggistico. Condizioni d'impatto sono limitate alle sole fasi di costruzione e per questo destinate a scomparire nel tempo, con la ricostituzione delle componenti naturalistiche ed ambientali.

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48”), DP 75bar</b>	Fg. 53 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042

#### 9.4.3 Considerazioni specifiche inerenti ai tratti di linea (in aree inondabili)

Relativamente ai tratti del tracciato di progetto ricadenti nell'intorno dell'ambito di attraversamento dell'alveo del corso d'acqua, ma comunque collocati all'interno di aree inondabili dalle piene (censite nei PAI, ai sensi dell'Art.9, comma 1a e Art.10) e nei quali è previsto che il metanodotto venga posato mediante scavi a cielo aperto, si evidenzia quanto segue.

Queste interferenze riguardano delle porzioni di territorio che rappresentano delle aree di laminazione e/o di invaso, le quali vengono inondate in occasione di piene eccezionali (o comunque significative) del corso d'acqua.

A tal proposito si mette in evidenza che il metanodotto, essendo un'opera completamente interrata e costituita da tubazioni in acciaio saldate rivestite in polietilene, non presenta alcun problema operativo e di sicurezza in caso di allagamento del territorio interessato dalla posa.

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

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

#### 9.4.4 Considerazioni specifiche inerenti al tratto nella fascia ad alta vulnerabilità idrologica

Infine, relativamente al tratto di linea localizzato in sinistra idrografica e fuori dagli ambiti territoriali inondabili, dove il tracciato del metanodotto interferisce con un'area censita come "fascia ad Alta Vulnerabilità Idrologica" (Art.9, comma 1b), si evidenzia quanto segue.

L'intervento nel tratto prevede il completo interrimento della tubazione (alla profondità di 1,5 m nei confronti del piano campagna) e si completa con l'integrale ripristino morfologico e vegetazionale delle aree interessate dai lavori.



Non sono previste, dunque, 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.

Pertanto non si introdurranno alterazioni significative alle caratteristiche naturali, vegetazionali, idromorfologiche e idrogeologiche esistenti nel sito d'intervento.

### 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;

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48”), DP 75bar</b>	Fg. 54 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042

- non determini l'inserimento di elementi di riduzione della capacità di laminazione e di invaso in corrispondenza delle aree potenzialmente inondabili dalle piene del corso d'acqua;
- non comporti l'alterazione della configurazione d'alveo preesistente, delle caratteristiche naturali e paesaggistiche della regione fluviale;
- non implichi alcuna forma di trasformazione dello stato dei luoghi del territorio e non sono previsti cambiamenti di destinazioni d'uso del suolo nelle aree 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.

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48”), DP 75bar</b>	Fg. 55 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042

## 10 CONCLUSIONI

Il tracciato in progetto del "Metanodotto Sestino – Minerbio, DN1200 (48") DP 75 bar" interseca l'alveo del torrente SENATELLO nel territorio comunale di Badia Tedalda (AR), in prossimità della località "Rifugio Uguccione della Faggiola".

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 mediante "scavi a cielo aperto", con posizionamento della condotta in progetto con copertura di sicurezza minima di 3,8m nei confronti della quota minima di fondo alveo, adeguatamente cautelativa nei confronti dei potenziali processi erosivi del letto fluviale.



In aggiunta sono state previste delle opere di protezione idraulica della sponda destra del corso d'acqua (scogliera in massi naturali). Gli interventi in progetto assicurano il ripristino della configurazione d'alveo preesistente e garantiscono inoltre le adeguate condizioni di sicurezza della condotta, per tutto il periodo di esercizio.

Le opere previste non costituiscono elementi di interferenza con il regime idraulico naturale del corso d'acqua e non determinano delle variazioni significative all'assetto plano-altimetrico preesistente del corso d'acqua (quali restringimenti e/o modifiche dell'assetto longitudinale). Le stesse opere sono state scelte con caratteristiche tipologiche ottimali al fine di inserirsi nel contesto naturale esistente.

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 significative 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**.

	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48”), DP 75bar</b>	Fg. 56 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>


Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042


### APPENDICE 1: COLONNA STRATIGRAFICA DEL SONDAGGIO

**PROGETTO:** Indagini geognostiche e geotecniche Metanodotto: Sulmona-Minerbio  
Tratto Sestino-Minerbio DN 1200 (48”) P 75 bar

**Sondaggio S8**

**Comune:** Badia Tedalda (AR)  
**Località:** Attraversamento T. Senatello  
**Committente:** Technip Italy S.p.A.





Sondaggi, prove geotecniche e fondazioni speciali  
Via Venezia 4 - 87100 COSENZA  
Tel. 0984-70488 - Fax 0984-780299

**GECONSOL S.R.L.**

**Prof.: 10,00 m dal p.c.; n° Cass.: 2**  
**Perforazione:** a carotaggio continuo con sonda CMV MK 600; inizio 13/11/2007; fine 15/11/2007  
**Uso rivestimento fino a 10,00 m dal p.c.;**  
**Uso corona diamantata-terreni duri da 0,80 a 10,00 m dal p.c.**

Prof. dal p.c. (M)	Quota s.l.m.	Spessore (m)	Descrizione della litologia	Colonna stratigrafica	Pecce Permeabilità (lg/cm)	Campioni	Standard Penetration Test			Falda (m p.c.)	Piezometro	Carotaggio (%)	RQD (%)	Cassette
							Prof.(m)	Colpi	N					
0,5		0,80	Terreno vegetale bruno con rari calcinoduli.											
1			0,80 m											
1,5							1,50	23	Rif.	C				
2							1,77	R8						
2,5														
3														
3,5														
4														
4,5														
5		9,20	Ghiaie sabbiose sciolte, con ciottoli, di colore grigio-bruno. Le ghiaie, a composizione prevalentemente calcarea, hanno forma sub-arrotondata e diametro compreso tra 0,5 e 6 cm; mentre i ciottoli, a composizione calcarea, hanno diametro maggiore di 6 cm. Alla profondità di 7,95-8,30 e 9,75-10,00 m si è in presenza di siltiti marnose compatte riconducibili, probabilmente, ad un livello di trovanti aventi diametro maggiore del carotiere utilizzato. Il materiale si presenta molto addensato, da umido a saturo d'acqua.											
5,5														
6														
6,5														
7														
7,5														
8							8,00	14	Rif.	C				
8,5							8,37	31-R7						
9														
9,5														
10														
				10,00 m										10,00



	<b>PROGETTISTA</b>   	<b>COMMESSA</b> <b>NQ/R22358</b>	<b>UNITA'</b>
	<b>LOCALITA'</b> <b>REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA</b>	<b>REL.10-LA-E-86012</b>	
	<b>PROGETTO</b> <b>METANODOTTO SESTINO – MINERBIO</b> <b>DN 1200 (48"), DP 75bar</b>	Fg. 57 di 57	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-042

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA  
Sondaggio S8



Postazione Sondaggio S8



Cassetta S8C2 (5,00 - 10,00 m dal p.c.)



Cassetta S8C1 (0,00 - 5,00 m dal p.c.)