

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75bar	Fg. 1 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

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

2° TRONCO: Casteldelci - Sarsina

ATTRAVERSAMENTO RIO MAGGIO
VALUTAZIONI IDROLOGICHE ED IDRAULICHE E
RELAZIONE TECNICA DI COMPATIBILITA' IDRAULICA

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

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 2 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

INDICE

1	GENERALITÀ	5
1.1	Premessa	5
1.2	Scopo e descrizione dell'elaborato	5
1.3	Disegno di attraversamento	6
2	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	7
3	ANALISI DI CARATTERIZZAZIONE DELL'AMBITO FLUVIALE IN ESAME	9
3.1	Assetto idrografico e descrizione generale del bacino del corso d'acqua	9
3.2	Descrizione dell'ambito di attraversamento	11
4	VALUTAZIONI IDROLOGICHE	13
4.1	Generalità	13
4.2	Considerazioni specifiche preliminari	13
4.3	Sezione di studio e parametri morfometrici del bacino	13
4.4	Metodo Indiretto (Afflussi-Deflussi)	15
4.4.1	<u>Generalità</u>	15
4.4.2	<u>Criteri generali di valutazione dei parametri idrologici</u>	16
4.4.3	<u>Individuazione dei parametri idrologici</u>	21
4.4.4	<u>Risultati delle elaborazioni idrologiche</u>	23
4.5	Portata di progetto	24
5	STUDIO IDRAULICO	25
5.1	Presupposti e limiti dello studio	25
5.2	Assetto geometrico e modellazione idraulica	26
5.2.1	<u>Assetto geometrico di modellazione</u>	26
5.2.2	<u>Dati di Input e condizioni al contorno</u>	27
5.3	Risultati della simulazione idraulica	28
5.4	Analisi dei risultati conseguiti	34

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 3 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

6	VALUTAZIONE EROSIONI DI FONDO ALVEO	35
6.1	Generalità	35
6.2	Criteri di calcolo	36
6.3	Stima dei massimi approfondimenti attesi in alveo	38
6.4	Analisi dei risultati e considerazioni progettuali	39
7	METODOLOGIA COSTRUTTIVA E SCELTE PROGETTUALI	40
7.1	Premessa	40
7.2	Metodologia operativa: Scavi a cielo aperto	40
7.3	Geometria della condotta ed interventi di ripristino	43
8	VERIFICA STABILITÀ OPERE IN MASSI NEI CONFRONTI DEL TRASCINAMENTO (della corrente)	44
8.1	Premessa	44
8.2	Metodologia di analisi	44
8.2.1	<u>Verifica trascinamento al fondo alveo</u>	44
8.2.2	<u>Verifica trascinamento sulle sponde</u>	46
8.3	Risultati delle verifiche a trascinamento	47
8.3.1	<u>Considerazioni preliminari</u>	47
8.3.2	<u>Attr.to Maggio – Risultati verifiche a trascinamento</u>	48
9	VALUTAZIONI INERENTI ALLA COMPATIBILITA' IDRAULICA	49
9.1	Premessa	49
9.2	Quadro normativo di riferimento	49
9.2.1	<u>Criteri generali di progettazione del metanodotto</u>	49
9.2.2	<u>Strumenti di “Pianificazione territoriale”</u>	49
9.2.3	<u>Disposizioni e Misure di salvaguardia in ambiti a pericolosità idraulica</u>	50
9.3	Interferenze con aree censite a pericolosità idraulica	56
9.4	Analisi delle condizioni di compatibilità idraulica	57
9.4.1	<u>Considerazioni di carattere generale</u>	57
9.4.2	<u>Considerazioni specifiche inerenti all'ambito d'attraversamento dell'alveo</u>	57

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 4 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

9.5	Considerazioni conclusive sulla compatibilità idraulica	59
10	CONCLUSIONI	60
	APPENDICE 1: ELABORAZIONE STATICA DATI DI PIOGGIA (Staz. “Diga di Quarto”, “Casteldelci”)	61
	ANNESSO – ELABORATO DI RIFERIMENTO:	
	• Disegno di attraversamento: DIS. 10-LB-4C-81214	

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 5 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

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) interseca l'alveo del Rio MAGGIO in un ambito di confine tra i territori comunali di Sant'Agata Feltria (RN) e di Sarsina (FC), in prossimità della località “La Tomba”.

In corrispondenza del sopracitato ambito di attraversamento del corso d'acqua, il tracciato del metanodotto in progetto interferisce con delle aree censite a pericolosità idraulica ai sensi del Piano Stralcio di Bacino per il Rischio Idrogeologico (PAI), redatto dall'ex Autorità dei Bacini Romagnoli, ed ai sensi del Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) dell'Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po.

1.2 Scopo e descrizione dell'elaborato

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

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

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

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

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

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 6 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

- 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-4C-81214**
Metanodotto Sestino – Minerbio, DN 1200 (48") DP 75 bar
2° Tronco: Casteldelci - Sarsina
Attraversamento Rio Maggio

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

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75bar	Fg. 7 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'attraversamento del corso d'acqua da parte del metanodotto in progetto (DN1200) ricade in un ambito di confine tra i territori comunali di Sant'Agata Feltria (RN) e di Sarsina (FC), in prossimità della località "La Tomba".

Dal punto di vista idrografico, l'ambito di attraversamento ricade nel tratto terminale dello sviluppo dell'asta fluviale del corso d'acqua, in prossimità della foce nel torrente Fanante.

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

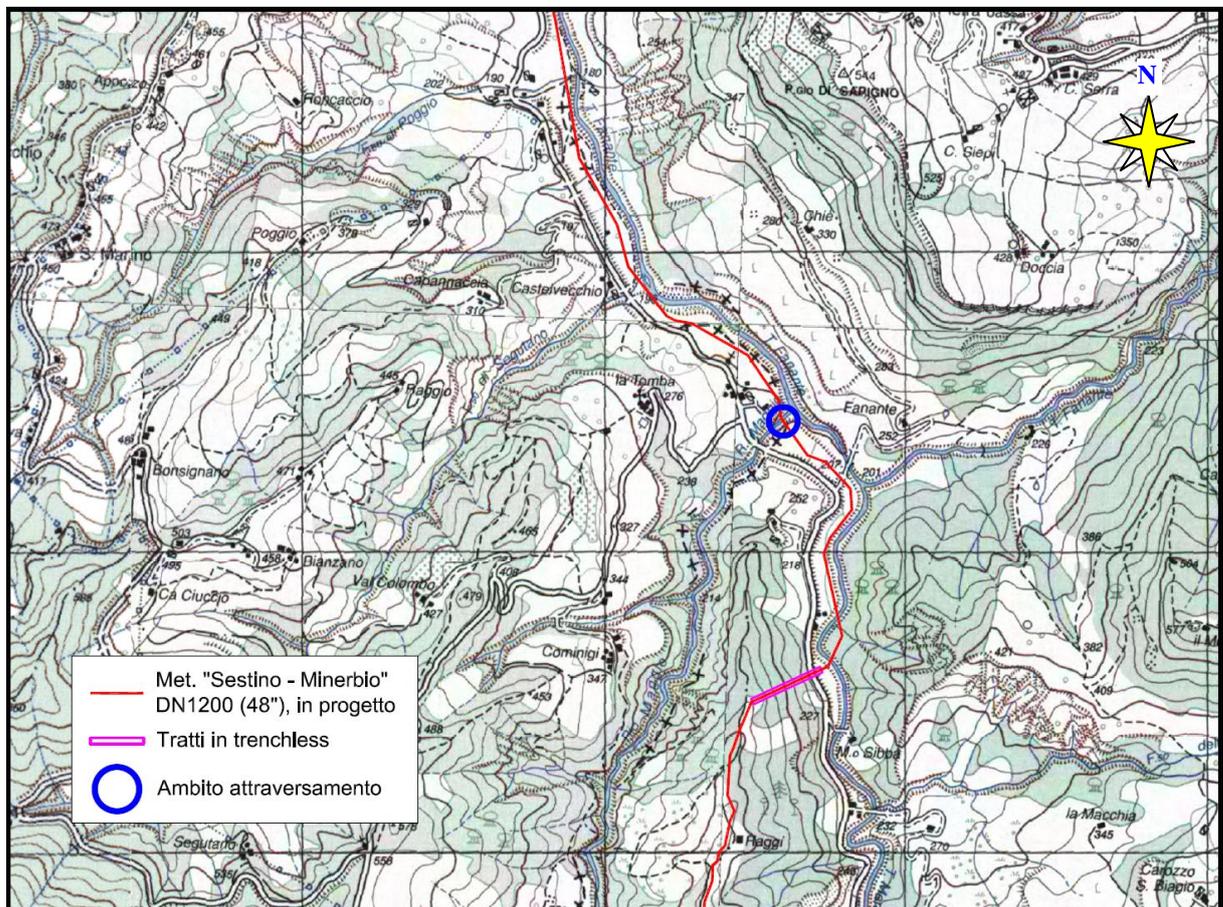


Fig.2.1/A: Corografia generale in scala 1:25.000, con individuazione ambito di attraversamento

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

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

Coordinate ambito di attraversamento del corso d'acqua	
Coordinate Piane: WGS84 – Fuso 33 (EPSG 32633)	272510 m E 4864245 m N

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75bar	Fg. 8 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

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.

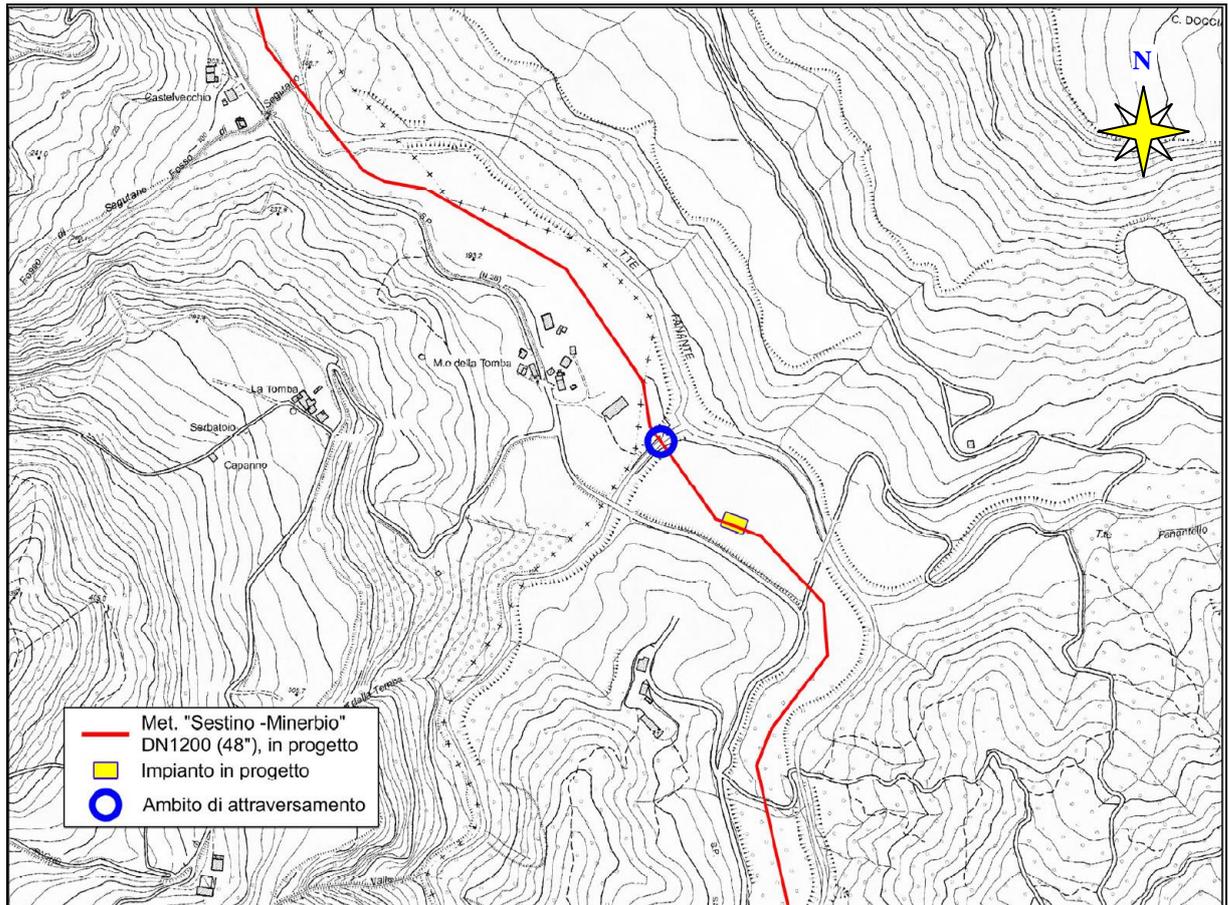


Fig.2.1/B: Stralcio planimetrico in scala 1:10.000 (C.T.R. Regionali)

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 9 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

3 ANALISI DI CARATTERIZZAZIONE DELL'AMBITO FLUVIALE IN ESAME

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

Il Rio Maggio è un corso d'acqua di media rilevanza dal punto di vista idraulico, di livello gerarchico 3 (da valle a monte), affluente di sinistra del torrente Fanante e pertanto rappresenta un elemento del reticolo idrografico del Savio. Il Rio Maggio è caratterizzato da un bacino complessivo chiuso alla foce di 15 km², ricadente nei territori di Sant'Agata Feltria, di Sarsina e molto marginalmente (nell'ambito di monte) di Verghereto.

Il corso d'acqua nasce in prossimità dell'abitato di Rivolpaio, a quota 800m circa, si sviluppa inizialmente in direzione ovest e poi in direzione sud, con una pendenza media significativa, senza ricevere il contributo di affluenti significativi dal punto di vista idraulico.

Quindi, dopo uno sviluppo complessivo dell'asta principale di circa 9.6 km, nei pressi della località "La Tomba", sfocia nel Fanante, in un ambito situato a circa 4 km dalla foce di quest'ultimo nel Savio.

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

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.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 10 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

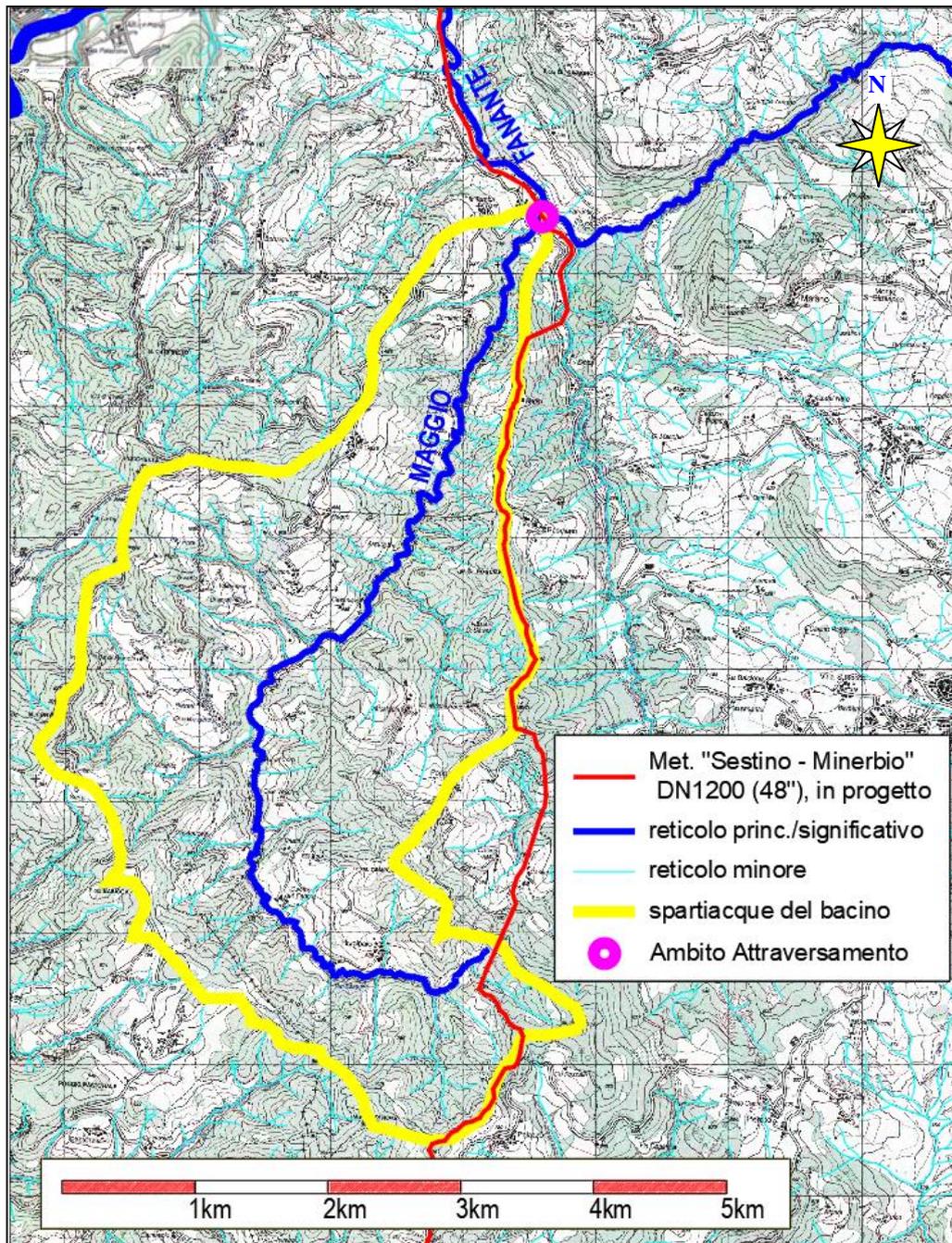


Fig.3.1/A: Bacino complessivo del corso d'acqua ed indicazione dell'ambito in esame

Dall'analisi della figura precedente (Fig.3.1/A), si rileva ricade nel tratto terminale dello sviluppo dell'asta fluviale del corso d'acqua, in prossimità della foce nel torrente Fanante.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 11 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

3.2 Descrizione dell'ambito di attraversamento

L'ambito di attraversamento in esame del Rio Maggio ricade nei pressi della località “La Tomba” nel tratto terminale dello sviluppo dell’asta fluviale del corso d’acqua, in prossimità della foce nel torrente Fanante.

In prossimità dell’area di attraversamento, il corso d’acqua assume un andamento longitudinale moderatamente sinuoso ed a tratti sub-rettilineo, con una pendenza longitudinale dell’ordine del 2%.

In particolare, in corrispondenza del punto di attraversamento l'alveo presenta una larghezza al fondo di ampiezza di circa 3÷4m, con sponda sinistra significativamente acclive e di altezza di circa 3m. La sponda destra è più svasata ed è caratterizzata da un'altezza di circa 3,5m. Il letto del corso d’acqua è costituito da ghiaie e ciottolame di origine alluvionale, in una matrice sabbiosa.

Dal punto di vista vegetazionale si rileva la presenza, in entrambi i lati, di una densa vegetazione arbustiva ed arborea di tipo ripariale.

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 il tracciato del metanodotto in progetto è riportato tramite una linea in rosso e l'area di attraversamento mediante un cerchio in celeste.

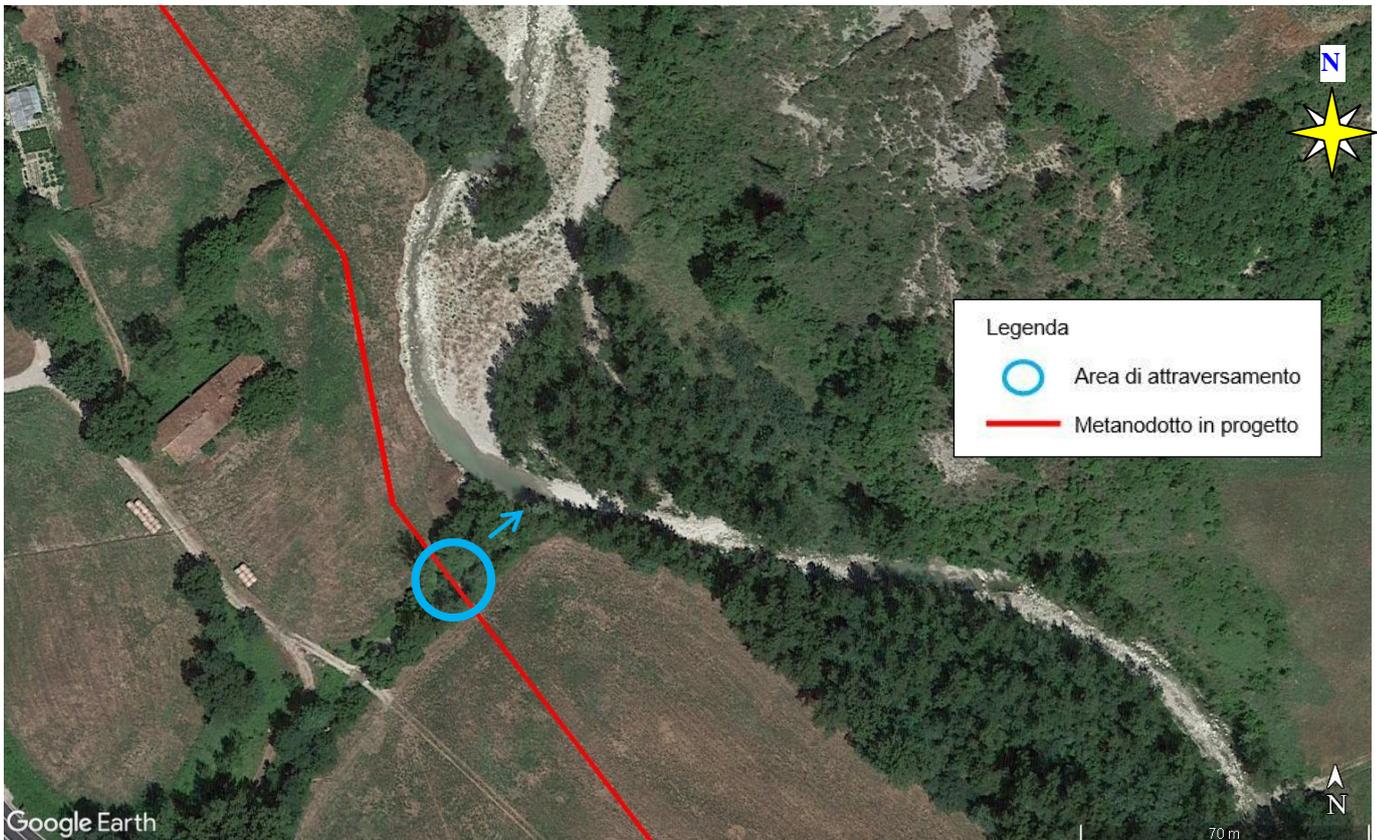


Fig.3.2/A: Foto aerea dell'ambito di attraversamento

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

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75bar	Fg. 12 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043



Foto 1: Zona attraversamento Rio Maggio.



Foto 2: Zona attraversamento Rio Maggio

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

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 13 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

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

Nel caso in esame non sono disponibili dati ufficiali di valutazioni idrologiche riferite al corso d'acqua in esame.

In tal senso, per l'individuazione delle portate di piena sul corso d'acqua nella sezione di studio, è stata utilizzata la metodologia di calcolo Afflussi-Deflussi, che permette la valutazione delle portate al colmo in funzione delle precipitazioni estreme annuali cadute nel bacino. Con questa metodologia risulta possibile tenere in considerazione dei dati pluviometrici particolarmente aggiornati, in considerazione che i dati di pioggia sono stati estrapolati consultando gli Annali Idrologici Emilia Romagna, sino all'anno 2022.

4.3 Sezione di studio e parametri morfometrici del bacino

Poiché l'ambito di attraversamento del rio Maggio da parte del metanodotto in progetto è localizzato in prossimità della foce nel Fanante, si assume come sezione idrologica di studio proprio quella di foce del corso d'acqua.

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

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 14 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

reticolo idrografico minore (in celeste). Nella stessa figura il tracciato del metanodotto in progetto è indicato mediante una linea in colore rosso.

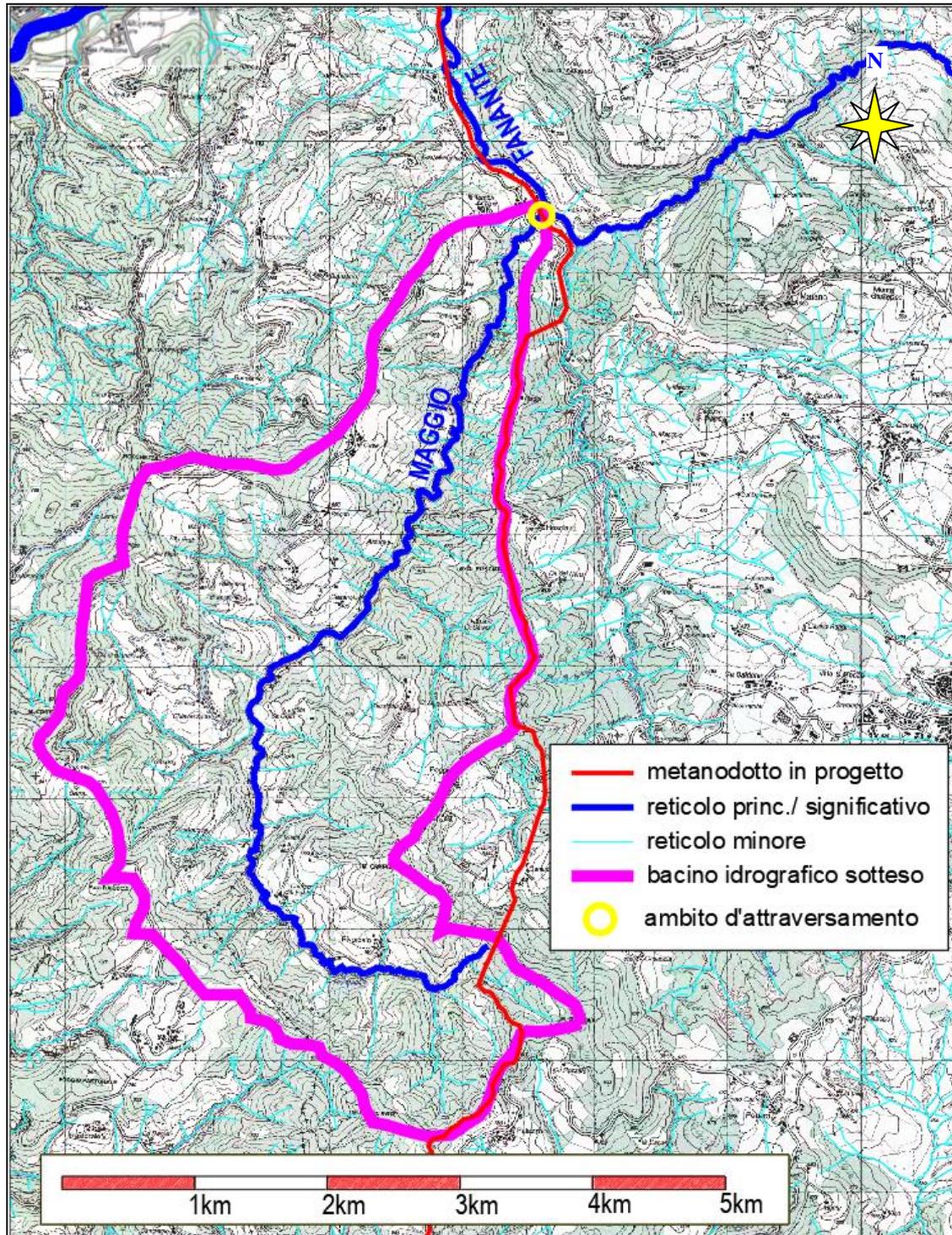


Fig.4.3/A: Bacino Imbrifero sotteso dalla sezione di studio

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 15 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

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 media del Bacino (m)	Altitudine Sezione chiusura (m)
Rio Maggio	Sezione di foce	15	9.5	961	575	198

4.4 Metodo Indiretto (Afflussi-Deflussi)

4.4.1 Generalità

Conoscendo le precipitazioni meteoriche che interessano il bacino idrografico di un qualsiasi corso d'acqua è possibile valutare la relativa portata di piena adottando metodologie di carattere statistico, che si inquadrano nella teoria dei sistemi di variabili casuali e che conducono allo studio della correlazione tra la portata di piena ed una o più grandezze caratterizzanti il bacino stesso (superficie, quota media, precipitazioni, tempo di corrivazione).

Le ipotesi fondamentali di questo metodo prendono lo spunto da alcuni risultati forniti dai metodi della corrivazione (o metodo cinematico) e dell'invaso e sono:

- la portata di massima piena di un bacino deriva da precipitazioni di intensità costante che hanno una durata pari al tempo di corrivazione "t_c" e si manifesta dopo un intervallo di tempo "t_c" dall'inizio del fenomeno;
- il valore della portata di piena dipende dalla laminazione esercitata dalle capacità naturali ed artificiali del bacino.

In corrispondenza della sezione di studio, le portate di piena al colmo sono state calcolate utilizzando la relazione nota come "formula razionale".

$$Q_c = 0.278 \cdot c \cdot \varepsilon \cdot A \cdot h_{\text{ragg}} / t_c$$

in cui:

- Q_c (mc/s): portata di progetto al colmo di piena (in funzione del tempo di ritorno "TR" (anni));
- c (-): coefficiente di deflusso, pari al rapporto tra il volume totale affluito (pioggia totale effettivamente caduta sul bacino) e volume defluito attraverso la sezione di chiusura (pioggia totale depurata delle perdite per infiltrazione ed evapotraspirazione). Il parametro tiene in considerazione della capacità di assorbimento del terreno e del fattore di laminazione (capacità di invaso sulla superficie del bacino e nel reticolo idrografico);
- ε (-): coefficiente di laminazione (capacità di invaso sulla superficie del bacino e nel reticolo idrografico);
- A (kmq): superficie del bacino imbrifero, riferita alla sezione di chiusura;
- t_c (h) - tempo di corrivazione: è il tempo che una goccia di pioggia, caduta nel punto idraulicamente più lontano dalla sezione considerata, impiega a raggiungere la sezione stessa;

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 16 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

- h_{ragg} (mm) – altezza di pioggia ragguagliata al bacino: viene valutata per piogge di durata pari al tempo di corrivazione " t_c " ed è funzione del tempo di ritorno "TR", intendendo con tale locuzione l'inverso della probabilità di superamento di un certo evento.

Il metodo, dunque, considera il bacino idrografico come una singola unità e stima il valore al colmo della portata con le seguenti assunzioni:

- la precipitazione è uniformemente distribuita sul bacino;
- La portata stimata ha lo stesso tempo di ritorno T di quello dell'intensità di pioggia;
- Il tempo di formazione del colmo della piena è pari a quello di riduzione.

4.4.2 Criteria generali di valutazione dei parametri idrologici

Superficie del bacino (A)

La delimitazione della superficie del bacino scolante, unitamente all'individuazione dei parametri morfometrici caratteristici del bacino stesso, viene eseguita sulla base della documentazione disponibile.

Tempo di corrivazione (t_c)

La valutazione del tempo di corrivazione può essere eseguita mediante diversi algoritmi di calcolo, normalmente proposti in letteratura scientifica.

La scelta tra un metodo e l'altro può essere condotta in funzione della conformità dei parametri caratteristici del bacino oggetto di studio (superficie, localizzazione, pendenza dei versanti, ecc.) nei confronti di quelli analizzati dai vari autori nella fase di predisposizione degli algoritmi stessi.

Qui di seguito si riportano alcune delle espressioni più rappresentative, proposte in letteratura.

- *Formula di Giandotti (1934-1937)*

La formula proposta da GIANDOTTI (sperimentata dall'autore per bacini da 170 a 70000 km², tuttavia ampiamente impiegata in Italia anche per piccoli bacini) rappresenta l'espressione maggiormente utilizzata e viene espressa nel seguente modo:

$$t_c = (4 A^{1/2} + 1.5 L) / (0.8 H^{1/2})$$

dove:

A = Superficie del bacino (km²);

L = lunghezza dell'asta fluviale principale (km);

H = altitudine media del bacino riferita alla quota della sezione di chiusura (m);

- *Formula di Pezzoli (1970)*

$$t_c = 0.055 \cdot L / i^{0.5}$$

dove:

L = lunghezza dell'asta fluviale principale (km);

i = pendenza media dell'alveo (-)

- *Formula di Pasini*

$$t_c = 0.108 \cdot i_a^{-1/2} \cdot (A \cdot L)^{1/3}$$

dove:

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 17 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

L = lunghezza dell'asta fluviale principale (km);
 A = Superficie del bacino (km²);
 i_a = pendenza media dell'alveo (-)

- *Formula di Watt, Chow e Ward*

Viene proposta con la seguente espressione:

$$t_c = 0.1273 \cdot (L^{2/3} / i_a^{1/3})^{0.79}$$

dove:

L = lunghezza dell'asta fluviale principale (km);
 i_a = pendenza media dell'alveo (-)

- *Formula di kirpich*

Valida per piccoli bacini (<20 km²), anche in aree collinari e montane

$$t_c = 0.95 \cdot L1^{1.135} / d^{0.385}$$

dove:

L1 = lunghezza dell'asta fluviale principale, estesa fino allo spartiacque (km);
 d = dislivello tra il punto di spartiacque e quello terminale del corso d'acqua (m);

Coefficiente di Deflusso (c)

Il valore di tale parametro viene stabilito in dipendenza della natura litologica dei terreni della superficie del bacino e del suo grado di saturazione, del livello di forestazione e dall'uso del suolo e della pendenza dei versanti.

La scelta del coefficiente di deflusso, quindi, rappresenta una fase estremamente difficile e costituisce l'elemento di maggiore incertezza nella valutazione della portata.

Esistono in letteratura scientifica numerose tabulazioni e grafici utili per la valutazione di questo parametro; qui di seguito si riportano alcune tra le tabelle maggiormente impiegate.

Coefficienti di deflusso raccomandati da Handbook of Applied Hydrology, Ven Te Chow, 1964

Tipo di suolo	c	
	Uso del suolo	
	Coltivato	Bosco
Suolo con infiltrazione elevata, normalmente sabbioso o ghiaioso	0,20	0,10
Suolo con infiltrazione media, senza lenti argillose; suoli limosi e simili	0,40	0,30
Suolo con infiltrazione bassa, suoli argillosi e suoli con lenti argillose vicine alla superficie, strati di suolo sottile al di sopra di roccia impermeabile	0,50	0,40

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 18 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

Coefficienti di deflusso raccomandati da *American Society of Civil Engineers* e da *Pollution Control Federation*, con riferimento prevalente ai bacini urbani

Caratteristiche del bacino	c
Superfici pavimentate o impermeabili (strade, aree coperte, ecc.)	0,70 – 0,95
Suoli sabbiosi a debole pendenza (2%)	0,05 – 0,10
Suoli sabbiosi a pendenza media (2 - 7%)	0,10 – 0,15
Suoli sabbiosi a pendenza elevata (7%)	0,15 – 0,20
Suoli argillosi a debole pendenza (2%)	0,13 – 0,17
Suoli argillosi a pendenza media (2 - 7%)	0,18 – 0,22
Suoli argillosi a pendenza elevata (7%)	0,25 – 0,35

In una guida della FAO (1976), sono proposti i seguenti valori orientativi:

Tipo di suolo	Copertura del bacino		
	coltivazioni	pascoli	boschi
Suoli molto permeabili sabbiosi o ghiaiosi	0.20	0.15	0.10
Suoli mediamente permeabili (senza strati di argilla). Terreni di medio impasto o simili	0.40	0.35	0.30
Suoli poco permeabili. Suoli fortemente argillosi o simili, con strati di argilla vicino alla superficie. Suoli poco profondi sopra roccia impermeabile	0.50	0.45	0.40

Si riporta infine una tabella del coefficiente di deflusso proposta da G. Benini (*“Sistemazioni idraulico forestali”* - 1990), la quale risulta essere quella maggiormente interessante per bacini poco urbanizzati, in quanto tiene conto del tipo di vegetazione, del tipo di suolo e della pendenza dei versanti.

VEGETAZIONE	PENDENZA	TIPO SUOLO		
		Terreno leggero	Terreno impasto medio	Terreno Compatto
Boschi	<10%	0.13	0.18	0.25
	>10%	0.16	0.21	0.36
Pascoli	<10%	0.16	0.36	0.56
	>10%	0.22	0.42	0.62
Colture agrarie	<10%	0.40	0.60	0.70
	>10%	0.52	0.72	0.82

Nella tabella precedente, relativamente al tipo del suolo, per *terreni compatti* si intendono terreni a bassa permeabilità (superfici prevalentemente argillosi o con rocce affioranti), per *terreni leggeri* si intendono terreni ad elevata permeabilità (superfici con materiali granulari, quali sabbie e argille), e per terreni ad impasto medio si intendono terreni media permeabilità (situazioni intermedie tra i casi precedente citati).

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 19 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

Coefficiente di laminazione (ε)

Per quanto attiene alle perdite per laminazione, è indubbio che lo sviluppo della rete drenante e la natura dei terreni incidano su tale fenomeno proporzionalmente all'estensione del bacino. Si ritiene pertanto di stimare ε sulla scorta delle valutazioni proposte in letteratura tecnica, che ne correlano il valore all'estensione della superficie drenante, quale la relazione tabellare proposta da Maione¹ (derivante da alcune ipotesi circa la forma dell'onda di piena e con riferimento al modello dell'invaso lineare), che prevede valore pari a 0,8 per bacini impermeabili di area inferiore a 100 km². La sussistenza della condizione di impermeabilità della superficie imbriferà, ai fini della valutazione degli effetti di laminazione, è di norma appropriata, essendo deputato al fattore "c" la rappresentazione degli aspetti di natura litologica.

L'altezza di pioggia ragguagliata (h_{ragg})

Considerando le grandezze appena descritte, è evidente che l'unica che può essere elaborata statisticamente è l'altezza di pioggia ragguagliata al bacino " h_{ragg} "; In generale il procedimento finalizzato alla determinazione del valore " h_{ragg} " si articola nelle seguenti fasi:

- A) reperimento dei dati sperimentali sulle precipitazioni;
- B) elaborazione statistica per mezzo del metodo di Gumbel;
- C) tracciamento delle curve di possibilità climatica o pluviometrica;
- D) applicazione del metodo dei topoietai.

A) Reperimento dati sperimentali sulle precipitazioni

Dall'analisi dei dati riportati negli annali idrologici del Servizio Idrografico Italiano vengono reperiti i dati di pioggia (1, 3, 6, 12, e 24 ore) relative alle stazioni pluviografiche, dotate di pluviografo registratore, ubicate nei bacini oggetto dello studio o in quelli limitrofi.

Le rilevazioni di piovosità massima si adattano ad essere elaborate con metodi statistici e permettono di ottenere particolari equazioni del tipo:

$$h = a \cdot t^n$$

dove:

h= altezza di pioggia (mm);
a, n = coefficienti costanti;
t = durata della pioggia (ore).

B) Elaborazione probabilistica per mezzo del metodo di Gumbel

Secondo la legge di Gumbel la probabilità "P(h)" che il massimo valore di una precipitazione di durata pari al tempo di corrvazione " t_c " non venga superato nel corso di un determinato anno è data da:

$$P(h) = e^{-e^{-\alpha(h-u)}}$$

α , u = parametri della distribuzione che, qualora i dati disponibili siano in numero sufficientemente elevato, possono essere più facilmente valutati determinando lo scarto quadratico medio " σ " e la media " μ " perché esistono dei legami espressi dalle seguenti relazioni:

$$\alpha = 1.283/\sigma$$

$$u = \mu - (0.577/\alpha);$$

¹ U. Maione, "Le piene Fluviali" - La Goliardica Pavese, 1981.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 20 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

Ciò premesso, occorre introdurre una nuova grandezza, il tempo di ritorno "T", che definisce il numero di anni in cui, mediamente, l'evento considerato viene superato una sola volta. Dato che tra tempo di ritorno "T" e la probabilità "P(h)" esiste la seguente relazione:

$$T = 1/(1-P(h))$$

facendo le opportune sostituzioni ed esplicitando si ottiene:

$$h(T) = u - \left(\frac{I}{\alpha}\right) \cdot \ln \left[\ln \left(\frac{T}{T-I} \right) \right]$$

che rappresenta, quindi, il valore massimo che una precipitazione meteorica potrà superare, mediamente, una sola volta in un qualsiasi anno del tempo di ritorno "T".

C) Tracciamento delle curve di possibilità climatica o pluviometrica

Per ciascuna stazione pluviografica e per ogni tempo di ritorno si otterranno cinque valori di altezza di pioggia, corrispondenti ai cinque intervalli di tempo considerati (1, 3, 6, 12, 24 ore). E' possibile riportare questi valori su un sistema di assi cartesiani ortogonali (h,t) e determinare la curva di regressione, definita dall'equazione "h=atⁿ", che meglio approssimi la loro distribuzione sul piano h, t; si ottengono così le curve di possibilità climatica o pluviometrica. A tal fine, per semplificare il procedimento, l'equazione "h=atⁿ" viene trasformata in:

$$\log h = \log a + n \log t$$

che nel piano h,t, in scala bilogarithmica, rappresenta una retta.

Operata questa trasformazione, occorre ricercare la retta di regressione che meglio approssimi la distribuzione suddetta; tale ricerca è eseguita con il metodo dei minimi quadrati che consiste nel determinare, tra le possibili rette, quella che minimizza la sommatoria dei quadrati delle differenze tra le ordinate dei punti e le corrispondenti ordinate della retta di regressione.

Questo processo, automatizzato, consente anche il plottaggio, su scala naturale, delle curve di possibilità climatica corrispondenti ai tempi di ritorno considerati.

D) Applicazione del metodo dei topoi (solo per bacini rappresentati da più stazioni pluviometriche).

Per ogni stazione pluviografica sono state tracciate le curve di possibilità climatica o pluviometrica, definite da equazioni del tipo "h=atⁿ", dalle quali è possibile ricavare, per i vari tempi di ritorno, il valore delle precipitazioni meteoriche corrispondenti al tempo di corruzione "t_c" del bacino.

Anche se il valore così ricavato è un valore puntuale, che ha un senso solo per un intorno molto limitato della stazione, si può comunque ipotizzare che il regime pluviografico di tale intorno non si discosti molto da quello ben più vasto dell'area circostante la stazione stessa.

Il problema, dunque, è quello di delimitare il perimetro delle aree di competenza delle stazioni, o, ciò che è lo stesso, la suddivisione dell'intera superficie del bacino in diverse zone (tante quante sono le stazioni) ad ognuna delle quali spetti un regime pluviografico omogeneo e che comprendano, all'interno, la relativa stazione pluviografica. L'applicazione del metodo dei topoi permette, appunto, la suddivisione del bacino

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 21 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

sotteso da ciascuna sezione di studio, e quindi la valutazione delle aree di competenza di ogni stazione.

A questo punto è possibile calcolare l'altezza di pioggia raggugiata all'intero bacino utilizzando la relazione:

$$h_{ragg} = \sum_{i=1}^n \frac{S_i \cdot h_i}{S}$$

dove:

h_i = precipitazione relativa alla stazione pluviografica i-esima (mm); tale precipitazione ha una durata pari al tempo di corrivazione " t_c " e si ricava dalle curve di possibilità climatica relative alla stazione i-esima;

S_i = superficie del bacino di competenza della stazione pluviografica i-esima (km²);

S = superficie del bacino sotteso dalla sezione di studio (km²).

4.4.3 Individuazione dei parametri idrologici

Parametri morfometrici

Le grandezze caratteristiche dei parametri morfometrici sono riportate nella precedente Tab.4.3/A.

Tempo di corrivazione

Nella tabella seguente sono riportati i diversi valori relativi al tempo di corrivazione " t_c ", stimati con le metodologie descritte nel paragrafo precedente per la sezione idrologica di riferimento.

Tab.4.4/A: Valutazione del tempo di corrivazione

Metodo	Tempo di corrivazione (h)
Formula di Giandotti	1.91
Formula di Pezzoli	2.22
Formula di Pasini	2.36
Formula di Watt	2.36
Formula di Kirpich	1.11
Valore medio	1.99

Nelle elaborazioni idrologiche si è dunque scelto di utilizzare come tempo di corrivazione il valor medio dei risultati conseguiti (riportato in grassetto nella tabella precedente).

Coefficiente di deflusso (c)

Nel bacino in esame si rileva la presenza molto rada di ambiti antropizzati e di superfici pavimentate; inoltre si individua che una considerevole parte del bacino è interessata da superfici boschive e la restante parte è invece interessata da terreni coltivati

Per contro le pendenze dei versanti sono molto significative; nonché il sottile strato di suolo superficiale coesivo, impostato sul substrato semilitoide, favorisce il rapido scorrimento delle acque piovane.

Pertanto, in considerazione delle caratteristiche peculiari del bacino, si assegna cautelativamente un coefficiente di deflusso (c) pari a 0,60.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 22 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

Coefficiente di laminazione (ε)

Per quanto riguarda il coefficiente di laminazione, si assume cautelativamente $\varepsilon=1$

Curve di possibilità pluviometrica - altezza di pioggia ragguagliata (h_{ragg})

Per la valutazione delle curve di possibilità pluviometrica ($h=at^n$), si è fatto riferimento alle stazioni pluviometriche di “Diga di Quarto” e di “Casteldelci”, per le quali sono state eseguite le elaborazioni statistiche sui dati estremi di pioggia (1, 3, 6, 12, 24h) dal 1990 in poi (fonte annali idrologici Emilia Romagna anni: 1990 -2022).

L'individuazione delle superfici di bacino di competenza di ciascuna stazione pluviometrica è stata eseguita con il metodo dei topiети (si veda la figura seguente).

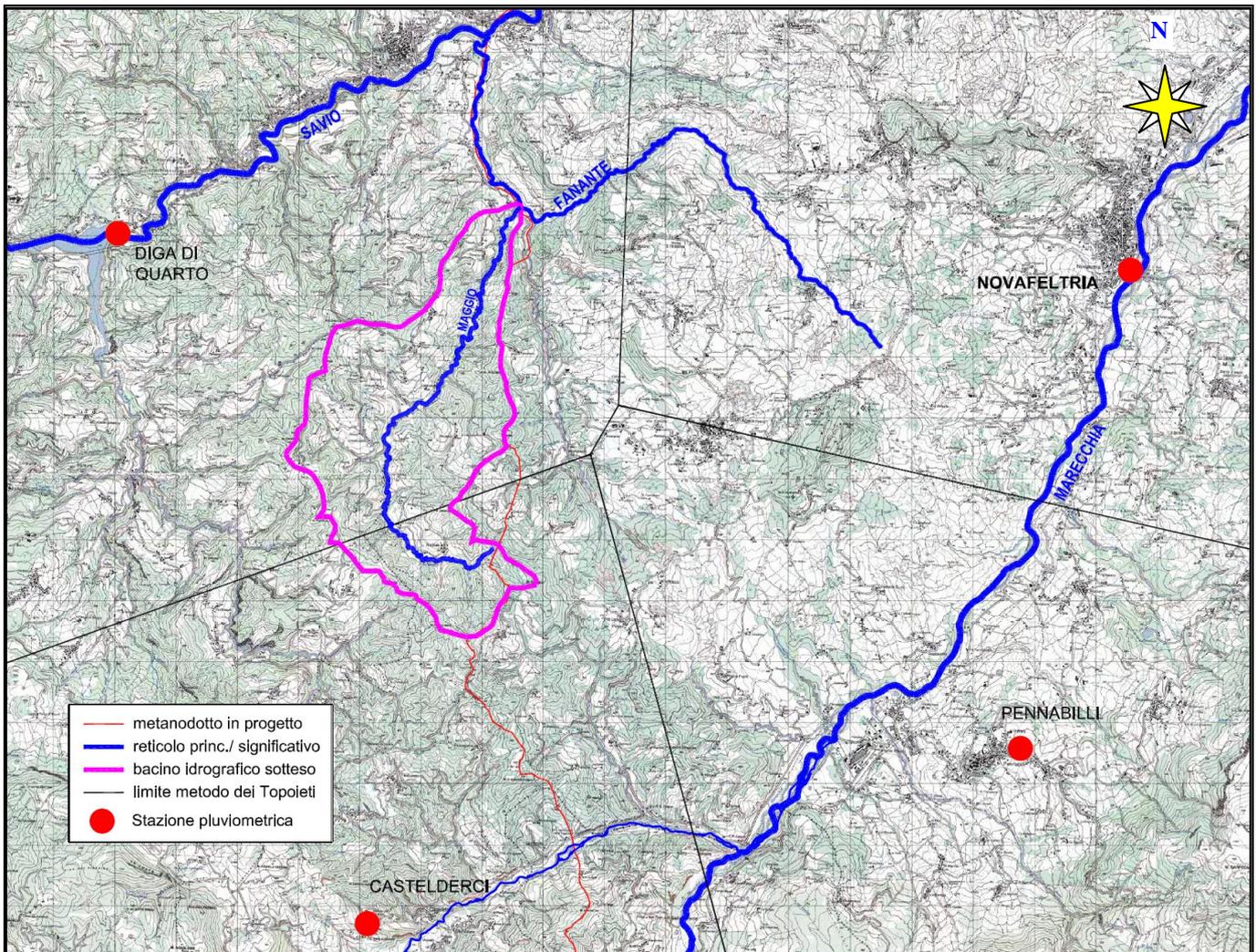


Fig.4.4/A: Metodo dei topiети, per individuazione delle superfici di bacino per ciascuna stazione

Per l'esame dei dati di input ed i risultati in forma estesa delle elaborazioni statistiche dei dati di pioggia delle stazioni considerate, si rimanda alla visione dell'Appendice 1.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 23 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

Nella seguente tabella sono, invece, sintetizzati i valori di “a” e di “n”, per ciascuna stazione pluviometrica di riferimento (in funzione del tempo di ritorno).

Tab.4.4/B: Curve possibilità pluviometrica

Tr	LEGGE DI PIOGGIA $h = a \times t^n$ (Stazione: “Diga di Quarto”) / Sup.=11.55km²	
10 anni	→	$h=50.934xt^{0.2184}$
30 anni	→	$h=64.055xt^{0.204}$
50 anni	→	$h=70.048xt^{0.1991}$
100 anni	→	$h=78.134xt^{0.1935}$
200 anni	→	$h=86.192xt^{0.189}$
Tr	LEGGE DI PIOGGIA $h = a \times t^n$ (Stazione: “Casteldelci”) / Sup.=3.45km²	
10 anni	→	$h=47.3xt^{0.2674}$
30 anni	→	$h=60.06xt^{0.2459}$
50 anni	→	$h=65.893xt^{0.2385}$
100 anni	→	$h=73.766xt^{0.2302}$
200 anni	→	$h=81.614xt^{0.2233}$

4.4.4 Risultati delle elaborazioni idrologiche

I risultati delle elaborazioni idrologiche (condotte con il “metodo razionale”) sono sintetizzati nella tabella seguente.

Tab.4.4/C: Portate di piena valutate con il metodo “Afflussi – Deflussi”

TR	tc(h)	Hr	FI	S (kmq)	Q (mc/s)
10	1.99	58.7	0.6	15.0	74
30	1.99	73.1	0.6	15.0	92
50	1.99	79.7	0.6	15.0	100
100	1.99	88.6	0.6	15.0	111
200	1.99	97.5	0.6	15.0	122

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 24 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

4.5 Portata di progetto

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

In riferimento a quanto riportato nella Tab.4.4/C, nella tabella seguente si riepiloga dunque la portata di progetto, la quale verrà presa in considerazione per le verifiche idrauliche di cui al capitolo seguente.

Tab.4.5/A: Portata di progetto

Corso d'acqua	Sezione Idrologica	Sup. Bacino (kmq)	Qprogetto (mc/s)	qmax (mc/sxkmq)
R. Maggio	Sezione di Attravers.	15.0	122	8.2

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 25 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

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.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 26 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

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 100 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 RS99 coincide con la sezione di monte del tronco idraulico; invece, la sezione RS4 rappresenta quella di valle.

L'ambito di attraversamento ricade in prossimità della River Station RS16.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75bar	Fg. 27 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

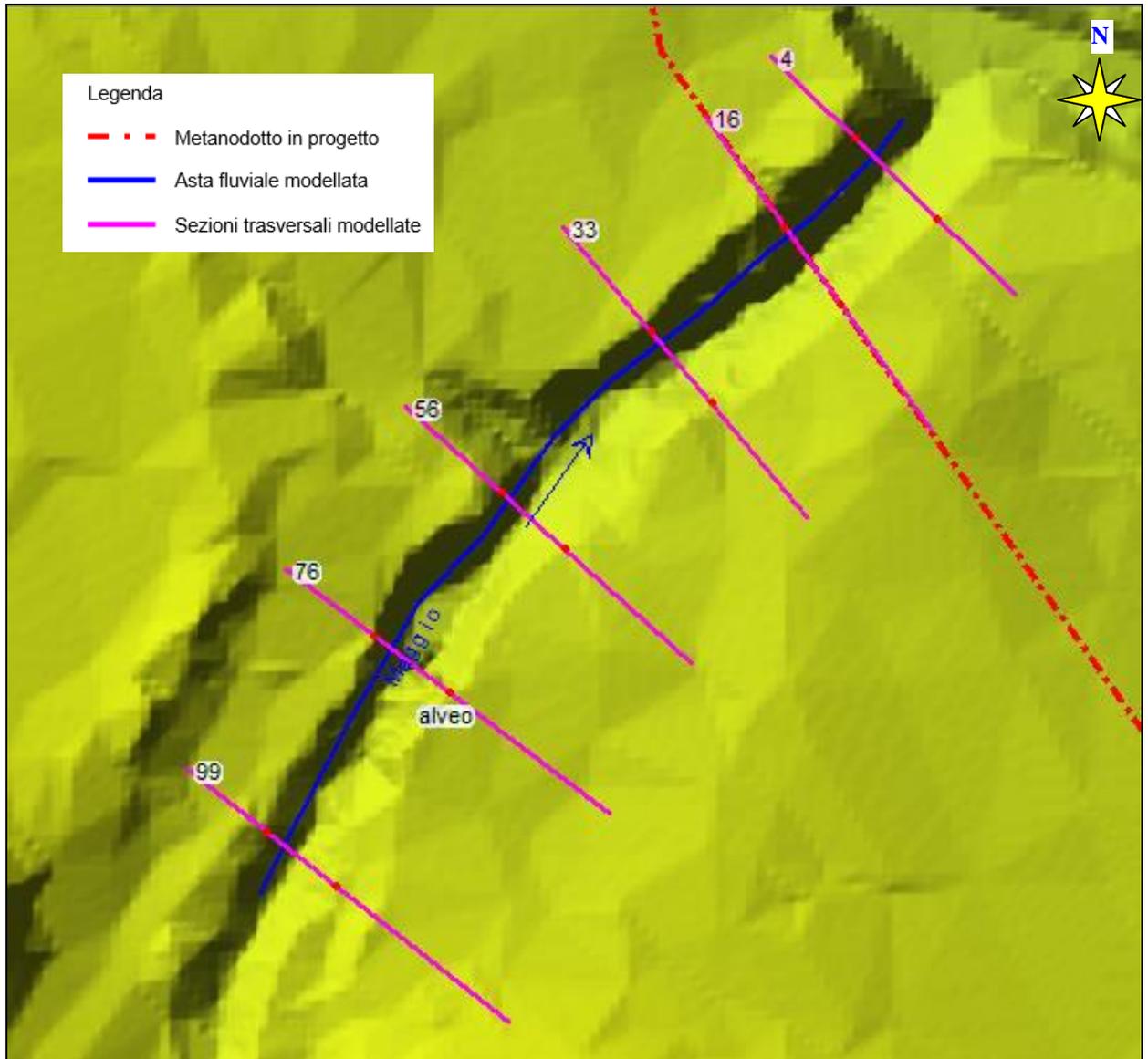


Fig.5.2/A: Schermata del DTM, con tronco d'alveo analizzato e sezioni di input nella modellazione

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:

- $Q_{200}=122 \text{ m}^3/\text{s}$

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.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 28 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

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, sub-rettilineo e con presenza in alveo di ciottolame e blocchi lapidei). Ossia:

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

5.3 Risultati della simulazione idraulica

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

Tab.5.3/A: Tabella Riepilogativa di Output

River Station	Q Total (m3/s)	Q Chan (m3/s)	Min Ch Elev (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Top Width Act Chl (m)	Hydr Depth C (m)	Shear Chn (N/m2)	Froude Chl
99	122	94.21	200.68	202.94	203.5	204.78	0.0320	6.72	26.85	33.56	8.90	1.58	473.05	1.71
76	122	96.55	199.59	202.39	202.88	203.99	0.0304	6.2	28.77	40.04	9.70	1.6	414.07	1.56
56	122	96.42	199.32	202.02	202.46	203.45	0.0208	5.9	31.77	39.8	8.70	1.88	349.3	1.37
33	122	120.53	197.96	200.96	201.7	202.9	0.0231	6.2	21.24	24.42	9.70	2	387.06	1.40
16	122	114.77	197.63	200.9	201.49	202.43	0.0176	5.64	26.59	28.27	9.90	2.06	313.03	1.26
4	122	119.72	197.69	200.2	200.9	202.13	0.0278	6.22	21.26	22.42	11.88	1.62	406.69	1.56

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);

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75bar	Fg. 29 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

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

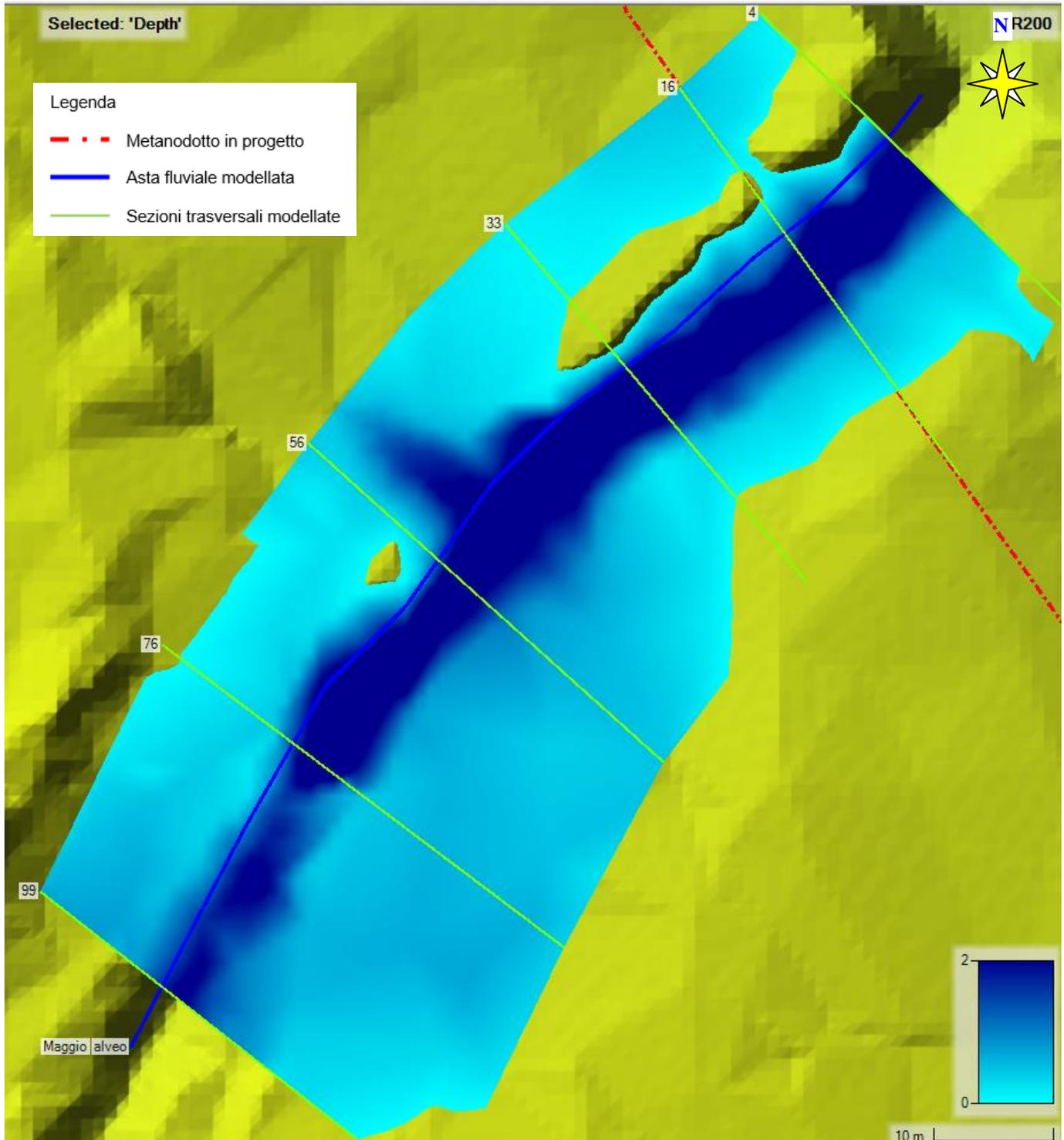


Fig.5.3/A: DTM, con individuazione delle aree inondabili (profondità in m)

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75bar	Fg. 30 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

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

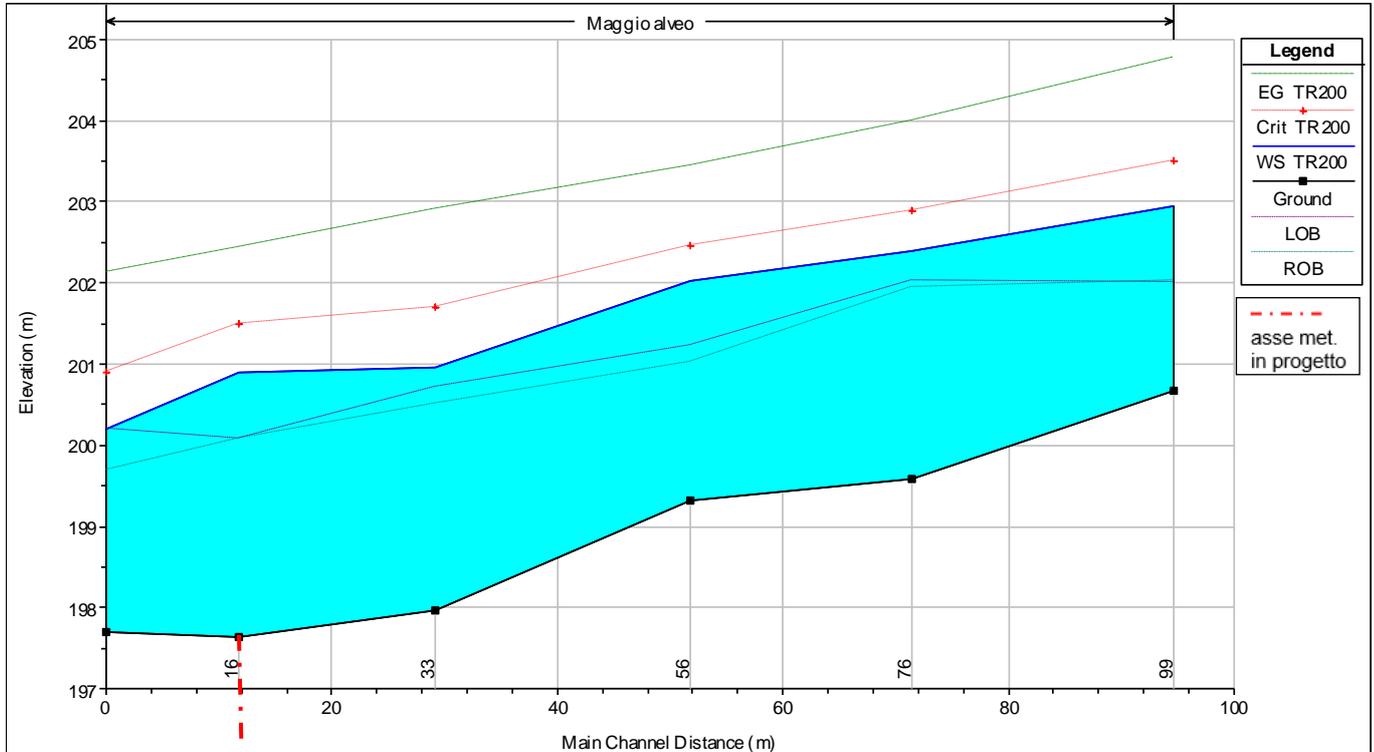


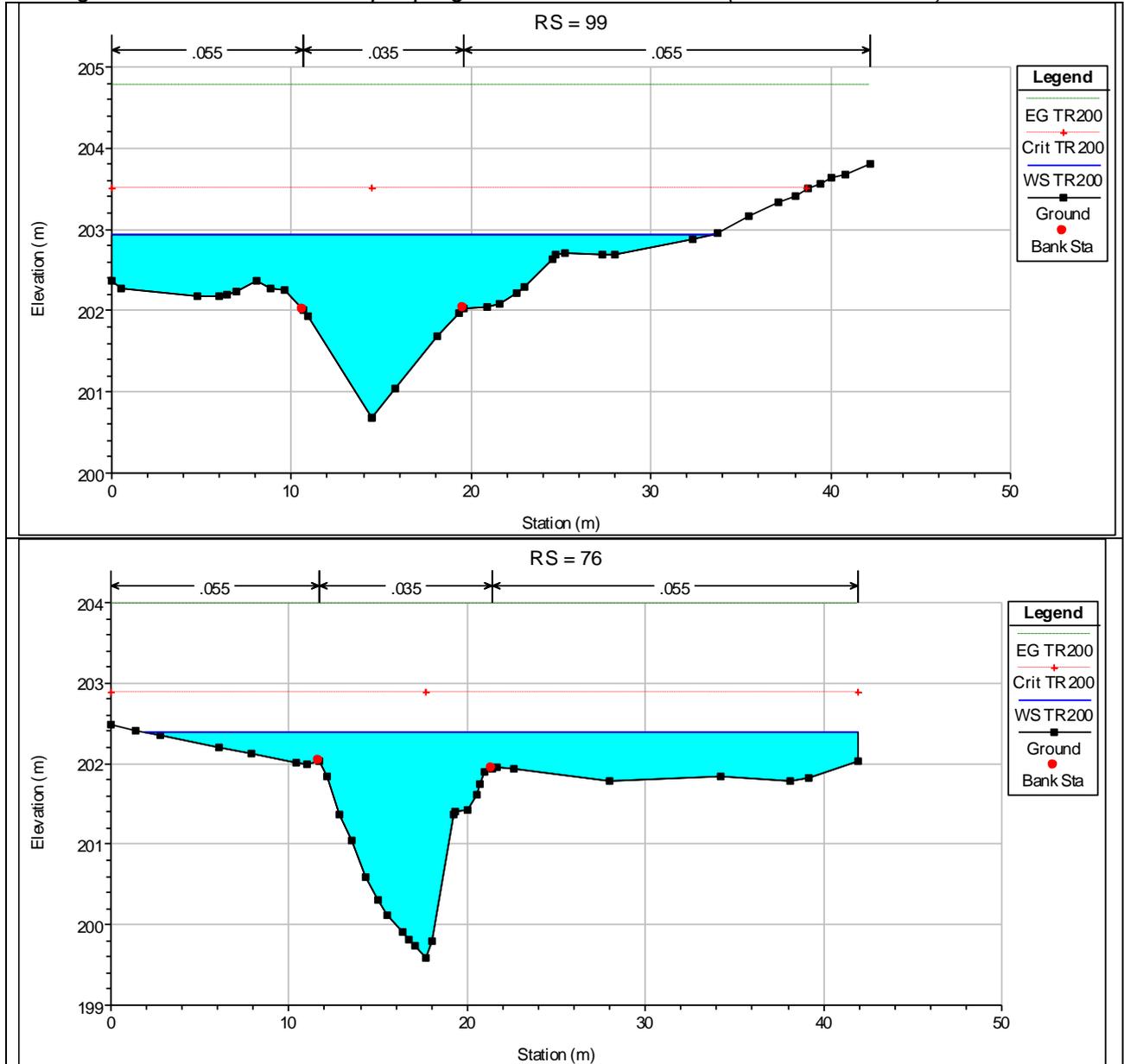
Fig.5.3/B: Schermata di Output del programma – Profilo longitudinale

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).

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75bar	Fg. 31 di 66	Rev. 0

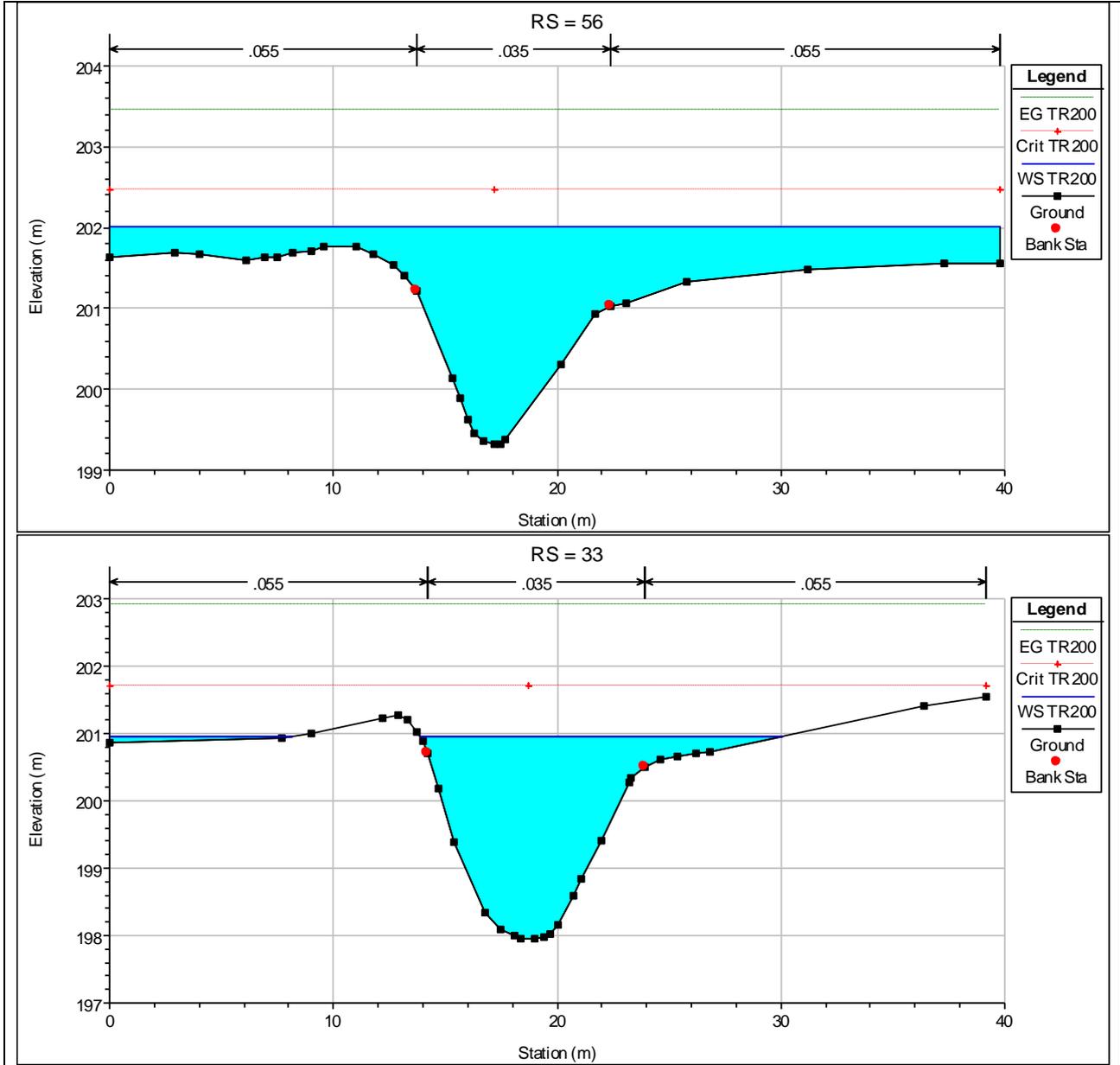
Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

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



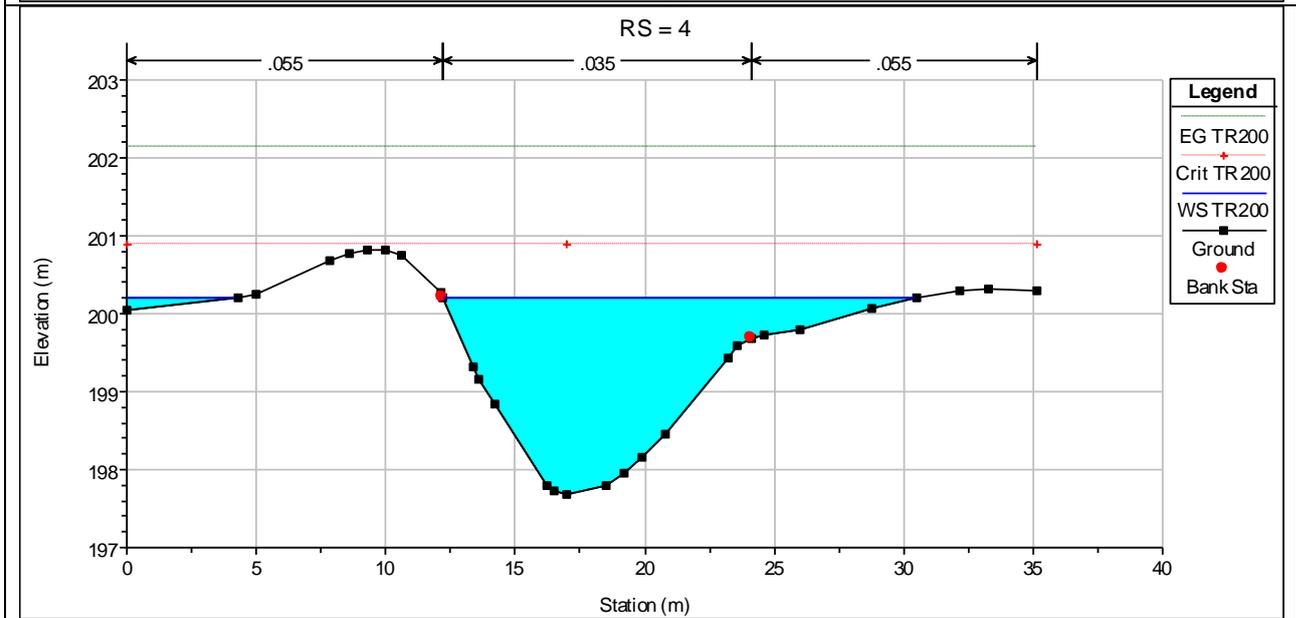
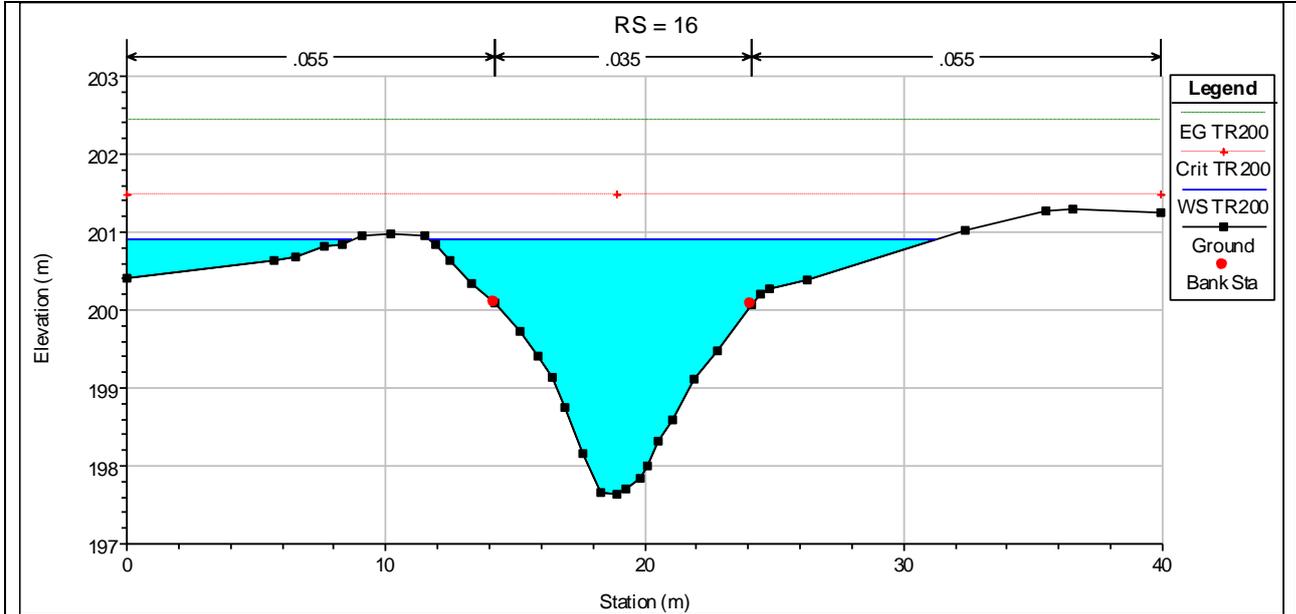
	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75bar	Fg. 32 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043



	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48"), DP 75bar	Fg. 33 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043



	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 34 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

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), oltre all'alveo ordinario (individuabile planimetricamente nella Fig.5.3/A con la colorazione "blu intenso"), vengono inondate anche i pianori laterali, seppur con battenti idraulici non particolarmente elevati (generalmente inferiori a 0,5m).

Le velocità di deflusso in alveo della corrente (in conseguenza delle elevate pendenze longitudinali dell'alveo) assumono in generale dei valori intorno ai 6 m/s, con punte di oltre 6,5 m/s.

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

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 35 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

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

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 36 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

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 Schoklitsh² è quella che presenta minori difficoltà nella determinazione dei parametri caratteristici ed è quella maggiormente impiegata (con risultati soddisfacenti) per gli attraversamenti in subalveo di corsi d'acqua da parte delle condotte (soprattutto nel campo dei metanodotti).

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

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

dove:

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

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

Arature di fondo

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

² Schoklitsh A., "Stauraum verlandung und kolkbewehr", Springer ed., Vienna, 1935.

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

File dati: 10-LA-E-86013

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 37 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

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 studiate³ 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 Italia⁴, sulla base di osservazioni dirette nei corsi d'acqua della pianura padana, estende il limite massimo dei fenomeni di escavazione per aratura, indipendentemente dalla natura del fondo e dal regime di corrente, ad un valore cautelativo pari al 50% dell'altezza idrometrica di piena.

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

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

Diametro limite dei clasti trasportabili

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

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

dove

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

³ Si veda la sintesi di questi lavori in Graf W.H., "Hydraulics of sediment transport"; McGraw-Hill, U.S.A.; 1971.

⁴ 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: 10-LA-E-86013

Maggio.docx

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 38 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

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 C (m)	Portata specifica (m ³ /s m)	Carico totale (m)	Approfond. Localizzati (m)	Arature di fondo (m)
99	122	94.21	6.72	8.90	1.58	10.59	3.88	1.92	0.79
76	122	96.55	6.2	9.70	1.6	9.95	3.56	1.81	0.80
56	122	96.42	5.9	8.70	1.88	11.08	3.65	1.89	0.94
33	122	120.53	6.2	9.70	2	12.43	3.96	2.03	1.00
16	122	114.77	5.64	9.90	2.06	11.59	3.68	1.92	1.03
4	122	119.72	6.22	11.88	1.62	10.08	3.59	1.82	0.81

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 39 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

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)
99	473.05	0.56
76	414.07	0.49
56	349.3	0.41
33	387.06	0.45
16	313.03	0.37
4	406.69	0.48

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 2 m. 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 dell'ordine 0,5÷0.55 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 3,0m.

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, come meglio specificato nel seguito, nell'ambito in esame è prevista la realizzazione di un presidio idraulico del fondo alveo con massi ciclopici.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 40 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

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

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 41 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

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

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 42 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

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

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 43 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

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 ininfluente 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 m (riferita alla profondità della generatrice superiore del tubo nei confronti della quota minima di fondo alveo).

Detta configurazione di posa della condotta, unitamente alle opere di presidio idraulico previste in progetto (con particolare riferimento al rivestimento del fondo alveo in massi ciclopici), assicurano la 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.2 rivestimenti spondali in massi ciclopici naturali, a protezione delle sponde del corso d'acqua (da realizzare per tutta la fascia interessata dai lavori).
Essendo il fondo alveo alquanto ristretto, le fondazioni dei 2 rivestimenti spondali si toccano reciprocamente e costituiscono, di fatto, una platea di rivestimento del fondo in massi ciclopici.

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

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

I lavori di ripristino si completano con la ripresa, stendimento e riprofilatura dello strato superficiale di terreno accantonato, per il ripristino morfologico e vegetazionale dell'intera area 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-4C-81214).

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 44 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

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 opere di presidio idraulico in massi, costituite da dei rivestimenti spondali in massi per la protezione delle sponde del corso d'acqua.

In tal senso, nel presente capitolo, si vuole procedere ad eseguire le verifiche di stabilità delle opere in massi previste in progetto, nei confronti delle azioni di trascinamento indotte dalla corrente idraulica (per il contesto in esame) in concomitanza 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 alle opere in massi previste 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:

τ_{cr} la tensione tangenziale critica [kg/m²];

τ_0 la tensione tangenziale esercitata dalla corrente sul materiale costituente il letto fluviale [kg/m²];

La tensione tangenziale esercitata dalla corrente τ_0 viene valutata tramite la seguente espressione:

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

dove:

γ peso specifico dell'acqua [kg/m³];

R raggio idraulico della sezione in esame [m];

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 45 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

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

Il valore critico τ_{cr} che mobilita un masso di diametro d con peso specifico γ_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 (Re^*) relativo alla velocità di attrito ($u^* = \sqrt{\tau_{cr}/\rho}$).

γ_s peso specifico del masso [kg/m^3];

γ peso specifico dell'acqua [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 τ_{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.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 46 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

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:

τ_{0_s} la tensione tangenziale esercitata dalla corrente sul materiale costituente le sponde del corso d'acqua [kg/m²]. 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).

τ_{cr_s} la tensione tangenziale critica sulle sponde [kg/m²];

Per il calcolo della tensione tangenziale critica relativa alle sponde τ_{cr_s} viene utilizzata l'espressione di seguito riportata (Lane 1953), che consente di correlare la τ_{cr_s} al τ_{cr} (di fondo alveo), in funzione di α (inclinazione della sponda) e di φ (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/m²];

$\tau_{cr} = \tau_{cr}(0)$: la tensione tangenziale critica al fondo alveo [kg/m²];

η : coefficiente riduttivo (<1) di τ_{cr} , al fine di valutare di τ_{cr_s} ;

α : pendenza della sponda;

φ : angolo di attrito dei massi costituenti la sponda;

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 47 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

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 τ_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 τ_{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 Θ proposto da Kalinske. Tuttavia, a livello conservativo, nei calcoli di verifica è stato considerato un paramento adimensionale Θ 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 τ_{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 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° ;

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

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 48 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

8.3.2 Attr.to Maggio – 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 RS33, RS16 e RS4 (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:	Maggio
Sezione di studio:	Attr.to Met. DN1200
τ_{θ} Tensione tangenziale agente al fondo [kg/m2]	
tensione tangenziale esercitata agente al fondo (da HEC RAS) [N/m2]	406.69
tensione tangenziale esercitata agente al fondo [kg/m2]	41.47
τ_{cr} Tensione tangenziale critica al fondo [kg/m2]	
γ_s peso specifico del masso [kg/m3]	2500
γ_w peso specifico dell'acqua [kg/m3]	1000
d diametro equivalente medio dei massi [m]	1.1
Θ parametro adimensionale - Media tra i valori proposti da Shields e da Kalinske [-]	0.088
tensione tangenziale critica al fondo [kg/m2] (formula [8.3])	145.20
VERIFICA TRASCINAMENTO AL FONDO	
$\tau_{cr} \geq \tau_{\theta} ?$:	SI - VERIFICA SODDISFATTA
τ_{θ_s} Tensione tangenziale agente sulle sponde [kg/m2]	
pari al 75% della tensione agente al fondo alveo	31.10
τ_{cr_s} Tensione tangenziale critica sulle sponde [kg/m2]	
α pendenza della sponda [°]	45
α pendenza della sponda [rad]	0.7854
ϕ angolo d'attrito interno dell'opera in massi [°]	65
ϕ angolo d'attrito interno dell'opera in massi [rad]	1.1344
η fattore riduttivo nei confronti del valore critico al fondo	0.626
Tensione tangenziale critica sulle sponde [kg/m2] (formula [8.6])	90.83
VERIFICA TRASCINAMENTO SULLE SPONDE	
$\tau_{cr_s} \geq \tau_{\theta_s} ?$:	SI - VERIFICA SODDISFATTA

La verifica al trascinamento al fondo (riferita alle fondazioni dei presidi spondali e che, di fatto, costituiscono il rivestimento di fondo alveo) è soddisfatta.

La verifica al trascinamento lungo le sponde (riferita ai presidi spondali – paramento in elevazione) è soddisfatta.

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

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 49 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

9 VALUTAZIONI INERENTI ALLA COMPATIBILITA' IDRAULICA

9.1 Premessa

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

9.2 Quadro normativo di riferimento

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

9.2.1 Criteria generali di progettazione del metanodotto

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

9.2.2 Strumenti di "Pianificazione territoriale"

Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA)

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

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

L'elaborazione dei PGRA è temporalmente organizzata secondo cicli di pianificazione in quanto la Direttiva prevede che i Piani siano riesaminati e, se del caso, aggiornati ogni sei anni.

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

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 50 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico dei Bacini Regionali Romagnoli

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

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

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

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

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

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

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

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

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

9.2.3 Disposizioni e Misure di salvaguardia in ambiti a pericolosità idraulica

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

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

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

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 51 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

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 - Sintesi dei contenuti

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 52 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

I progetti relativi ai suddetti interventi dovranno essere corredati da un adeguato studio di compatibilità idraulica che dovrà ottenere l'approvazione dell'autorità idraulica competente. I criteri per la redazione degli studi di compatibilità idraulica sono stabiliti dall'Autorità di Bacino con apposite norme tecniche ai sensi del comma 4 del successivo articolo 7.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 53 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

3. I nuovi attraversamenti realizzati devono essere compatibili con la piena di riferimento definita dall'Autorità di Bacino come detto.
4. Nella "Direttiva per le verifiche e il conseguimento degli obiettivi di sicurezza idraulica", approvata con Delibera Comitato Istituzionale n. 3/2 del 20/10/2003 sono specificate le norme tecniche a cui devono attenersi i progettisti degli attraversamenti.
5. Nuovi attraversamenti di qualunque tipo interessanti il tratto arginato non devono avere comunque la quota di sottotrave al di sotto della quota di sommità arginale ed altresì devono prevedere, in maniera commisurata al tipo di attraversamento, opere atte a massimizzare il grado di sicurezza di un significativo tratto del corso d'acqua indicato dall'Autorità idraulica competente.

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

1. I Comuni del territorio di pianura attraversato da corpi idrici arginati, in sede di revisione dei propri strumenti urbanistici, devono localizzare le previsioni insediative ad una distanza minima dal piede esterno delle arginature dei corsi d'acqua principali di pianura, come definiti nell'art. 2, tale per cui risultino esterni alla zona di rischio per effetto dinamico del crollo arginale, definita dall'allegato 7 alla "Direttiva per le verifiche e il conseguimento degli obiettivi di sicurezza idraulica", approvata con Delibera Comitato Istituzionale n. 3/2 del 20/10/2003 e s.m. e i.; tale zona è riportata cartograficamente nelle tavole del Piano; eventuali deroghe, subordinate alla verifica delle arginature secondo modalità da concordare di concerto fra il Comune e l'Autorità idraulica competente, potranno essere concesse in sede di approvazione del Piano Strutturale Comunale ai sensi dell'art. 32 della L.R. 20 del 24 marzo 2000.
2. Per una distanza dal piede esterno degli argini dei corsi d'acqua principali di pianura, come definiti nell'art. 2, pari a metri 30, è comunque vietata ogni nuova costruzione. In tale fascia di rispetto sono consentiti unicamente gli interventi di cui al 2° comma dell'art. 3 delle presenti norme.
3. Per i canali di bonifica si applicano le distanze definite dal R.D. 8 maggio 1904, n.368, come specificate dai vigenti regolamenti consorziali di polizia idraulica.

Norme di Attuazione PTCP Provincia Forlì Cesena - Sintesi dei contenuti

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

1. Nelle tavole contrassegnate dal numero 2 del presente Piano, sono individuati e perimetrati gli invasi ed alvei di laghi, bacini e corpi idrici superficiali che presentano caratteri di significativa rilevanza idraulica, morfologica e paesistica, intesi come sede prevalente, per la piena di riferimento, del deflusso corrente, ovvero costituita dall'insieme delle forme fluviali riattivabili durante gli stati di piena comprendenti:
 - a) la fascia di deflusso della piena dei fiumi individuati dal precedente art. 17;
 - b) i corsi d'acqua artificiali della pianura;
 - c) gli altri corsi d'acqua naturali classificati torrenti e rii dalla CTR, individuati anche ai sensi del terzo comma dell'art. 34 delle Norme del P.T.P.R.;
 - d) gli invasi ed alvei di laghi e bacini, individuati nelle tavole suddette.
2. Per le aree ricadenti nelle zone di cui al primo comma si applicano le prescrizioni di cui al terzo, quarto, quinto e settimo comma, gli indirizzi di cui al sesto comma.
3. Negli invasi ed alvei di cui al comma 1 lettera a) sono comunque vietate:

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 54 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

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

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

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

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

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

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

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

b) omesso

c) omesso

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

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

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

Norme di Attuazione PTCP Provincia Ravenna - Sintesi dei contenuti

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

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 55 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

1.(P) *Gli invasi ed alvei di laghi, bacini e corsi d'acqua sono individuati nelle tavole contrassegnate dal numero 2 del presente Piano. Qualora, successivamente all'entrata in vigore delle presenti norme, entri in vigore un atto di pianificazione dell'Autorità di bacino competente per territorio che contenga una nuova e più precisa individuazione delle aree da considerarsi "alveo", le prescrizioni del presente articolo si applicano a tale individuazione. In considerazione del fatto che a norma dell'art.11, comma 2 della L.R. n.20/2000 le previsioni del PAI prevalgono sulle disposizioni incompatibili contenute nei vigenti PTCP, al fine di agevolare la conoscibilità della disciplina del Piano provinciale effettivamente vigente, favorendone il rispetto e l'attuazione, con atto dirigenziale può essere predisposto un elaborato tecnico che opera il coordinamento del PTCP con le suddette modifiche derivanti dall'approvazione del PAI o suoi stralci, fermo restando che, mantenendosi l'esclusivo valore giuridico proprio dei piani approvati, non è comunque consentita la trasformazione delle aree vincolate del PTCP fino all'adeguamento dello stesso.*

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

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

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

b) omesso

c) omesso

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

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

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

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 56 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

9.3 Interferenze con aree censite a pericolosità idraulica

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

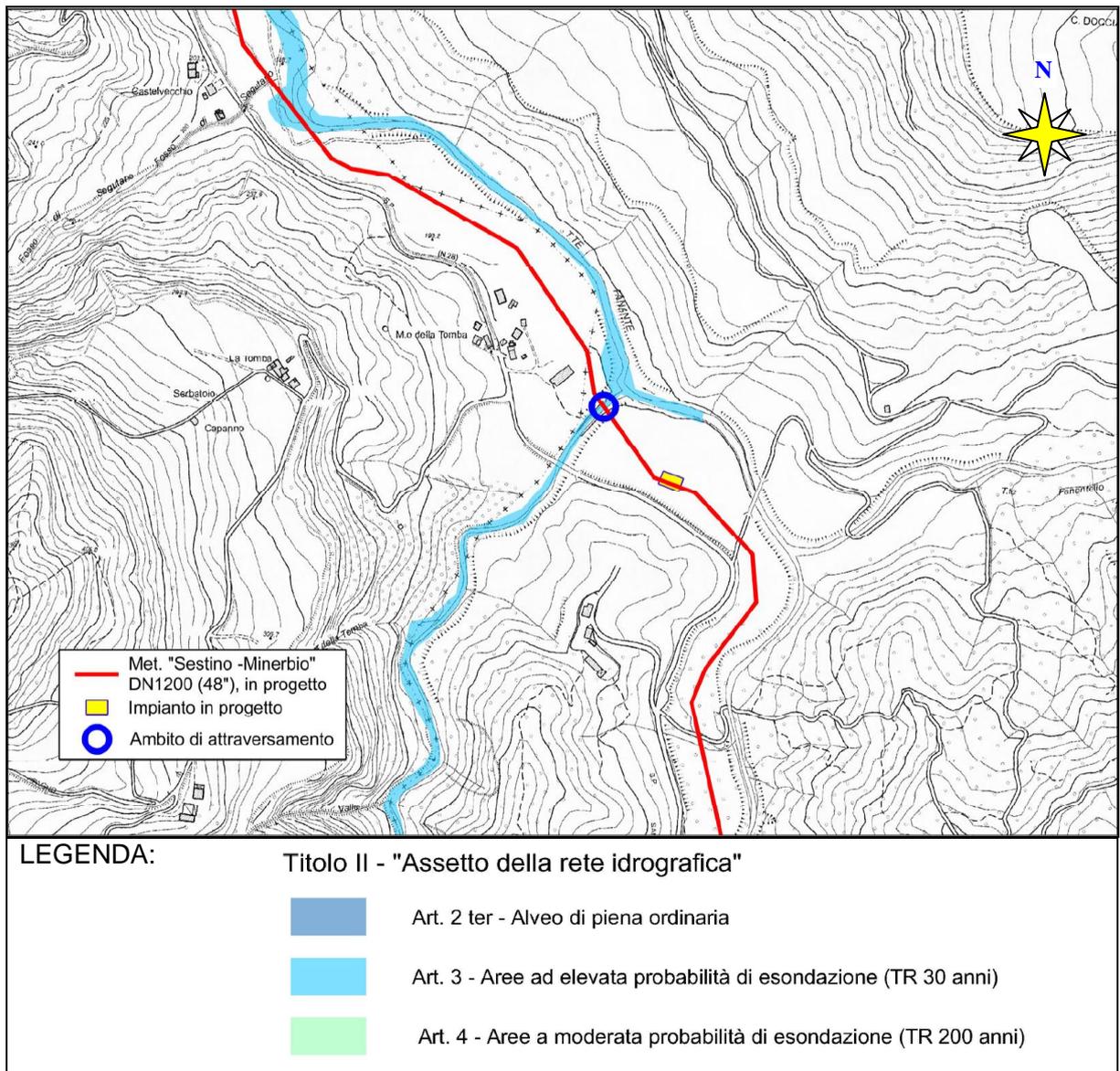


Fig.9.3/A: Interferenze metanodotto in progetto con le aree censite a pericolosità idraulica

Dall'analisi della figura precedente, si rileva che in corrispondenza dell'attraversamento dell'alveo del corso d'acqua (schematicamente indicato tramite un cerchio in blu) si interferisce con delle aree censite come "aree ad elevata probabilità di esondazione" (Art.3).

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 57 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

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, dove la posa della condotta è prevista mediante "scavi a cielo aperto", si evidenzia quanto segue:

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

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 58 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

- 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 intervento (quote in subalveo e profili di risalita) è stata stabilita anche in considerazione delle potenziali dinamiche fluviali del corso d'acqua e sono tali da non precludere la possibilità di effettuare interventi futuri in alveo, finalizzati ad attenuare o eliminare le condizioni di rischio idraulico (es: risagomature dell'alveo, realizzazione di eventuali opere di regimazione idraulica, ecc.).

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

1. *Modifiche indotte sul profilo inviluppo di piena*
Non generando alterazioni dell'assetto morfologico (tubazione completamente interrata, con 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.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 59 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

9.5 Considerazioni conclusive sulla compatibilità idraulica

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

- non introduca alcun elemento di ostacolo al libero deflusso e dunque non determini alcuna alterazione al regime attuale di deflusso delle acque;
- non determini l'inserimento di elementi di riduzione della capacità di laminazione e di invaso in corrispondenza delle aree potenzialmente inondabili dalle piene del corso d'acqua;
- non comporti l'alterazione della configurazione d'alveo preesistente, delle caratteristiche naturali e paesaggistiche della regione fluviale;
- non implichi alcuna forma di trasformazione dello stato dei luoghi del territorio e non sono previsti cambiamenti di destinazioni d'uso del suolo nelle aree perifericali;
- non determini alcun aggravio delle condizioni di pericolosità e di rischio nell'area (non è previsto l'incremento del carico insediativo), né tantomeno provochi degli aggravamenti delle condizioni di pericolosità e di rischio per le aree esterne a quella d'intervento;
- non introduca elementi di impedimento per l'eventuale realizzazione di interventi di attenuazione e/o eliminazione delle condizioni di rischio nell'ambito fluviale in esame.

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

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 60 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

10 CONCLUSIONI

Il tracciato in progetto del "Metanodotto Sestino – Minerbio, DN1200 (48") DP 75 bar" interseca l'alveo del Rio MAGGIO in un ambito di confine tra i territori comunali di Sant'Agata Feltria (RN) e di Sarsina (FC), in prossimità della località "La Tomba".

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 3m 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 dell'alveo (rivestimento d'alveo 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**.

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 62 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

STAZIONE “DIGA DI QUARTO”

ANALISI STATISTICA DEI DATI PLUVIOGRAFICI (Metodo di Gumbel)

Tabella 1 - Valori per ciascuna durata t , della media $\mu(h_t)$, dello scarto quadratico medio $\sigma(h_t)$ e dei due parametri α_t e u_t della legge di Gumbel (prima legge del valore estremo "EV1")

N =	31	t = 1 ora	t = 3 ore	t = 6 ore	t = 12 ore	t = 24 ore
$\mu(h_t)$		32.20	42.11	48.50	58.48	74.57
$\sigma(h_t)$		14.98	18.35	18.05	19.58	25.11
$\alpha_t = 1,283/\sigma(h_t)$		0.09	0.07	0.07	0.07	0.05
$U_t = \mu(h_t) - 0,45\sigma(h_t)$		25.45	33.85	40.37	49.66	63.27

Tabella 2 - Altezze massime di pioggia regolarizzate (mm)

Tr		t = 1 ora	t = 3 ore	t = 6 ore	t = 12 ore	t = 24 ore
10 anni	$h_{max} =$	51.74	66.04	72.04	84.01	107.31
30 anni	$h_{max} =$	64.98	82.26	87.99	101.32	129.51
50 anni	$h_{max} =$	71.03	89.67	95.28	109.22	139.64
100 anni	$h_{max} =$	79.18	99.66	105.10	119.88	153.30
200 anni	$h_{max} =$	87.31	109.61	114.89	130.50	166.92

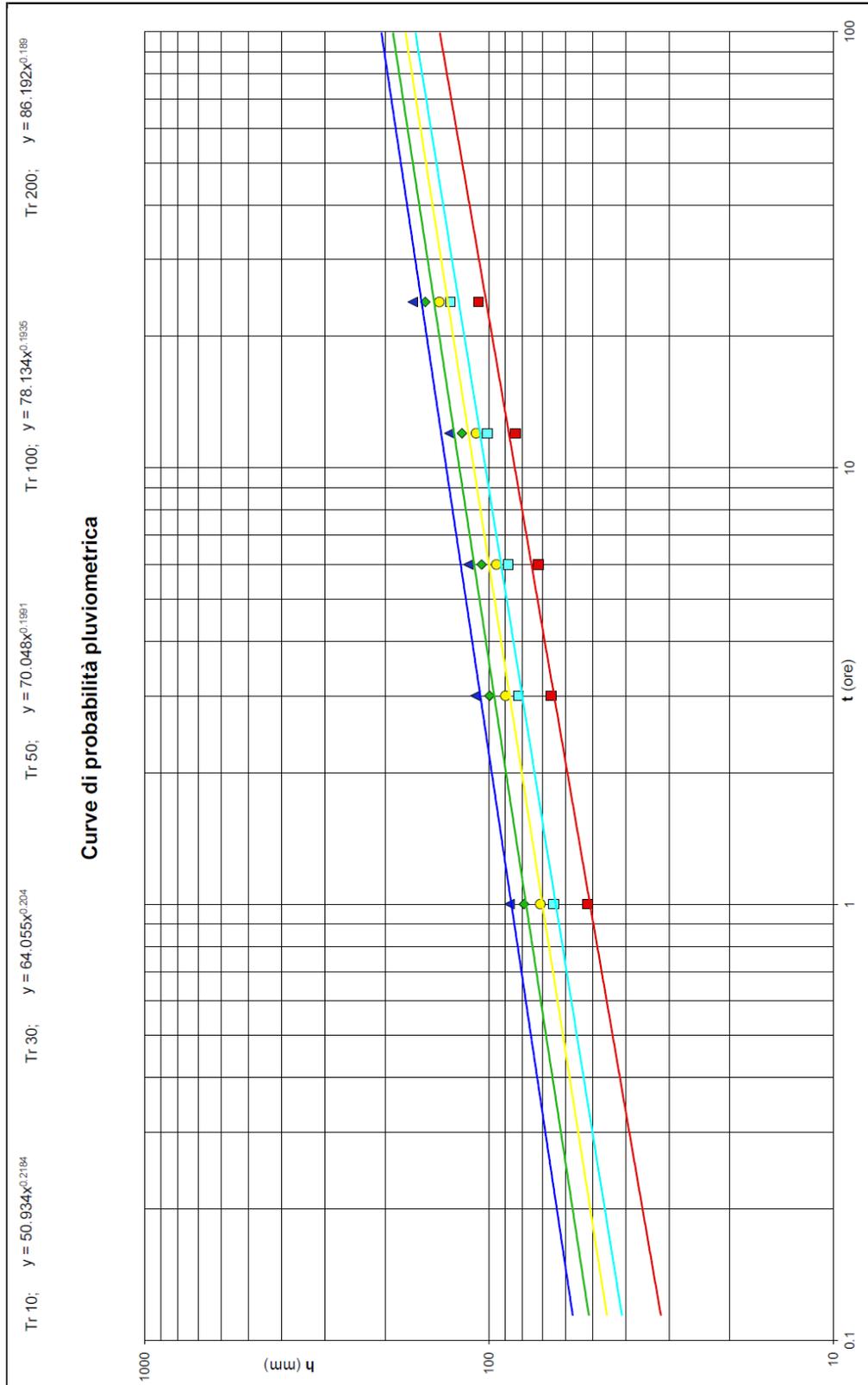
Tabella 3 -

Tr	LEGGE DI PIOGGIA $h = a \times t^n$	
10 anni	→	$h=50.934xt^{0.2184}$
30 anni	→	$h=64.055xt^{0.204}$
50 anni	→	$h=70.048xt^{0.1991}$
100 anni	→	$h=78.134xt^{0.1935}$
200 anni	→	$h=86.192xt^{0.189}$

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 63 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

STAZIONE “DIGA DI QUARTO”



	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 65 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

STAZIONE “CASTELDELICI”

ANALISI STATISTICA DEI DATI PLUVIOGRAFICI (Metodo di Gumbel)

Tabella 1 - Valori per ciascuna durata t, della media $\mu(h_t)$, dello scarto quadratico medio $\sigma(h_t)$ e dei due parametri α_t e u_t della legge di Gumbel (prima legge del valore estremo “EV1”)

N =	20	t = 1 ora	t = 3 ore	t = 6 ore	t = 12 ore	t = 24 ore
$\mu(h_t)$		29.94	38.92	49.45	64.15	83.59
$\sigma(h_t)$		14.73	17.90	18.59	18.05	26.33
$\alpha_t = 1,283/\sigma(h_t)$		0.09	0.07	0.07	0.07	0.05
$U_t = \mu(h_t) - 0,45\sigma(h_t)$		23.31	30.86	41.09	56.03	71.74

Tabella 2 - Altezze massime di pioggia regolarizzate (mm)

Tr		t = 1 ora	t = 3 ore	t = 6 ore	t = 12 ore	t = 24 ore
10 anni	$h_{max} =$	49.15	62.27	73.69	87.69	117.93
30 anni	$h_{max} =$	62.16	78.09	90.12	103.64	141.20
50 anni	$h_{max} =$	68.11	85.32	97.62	110.92	151.82
100 anni	$h_{max} =$	76.12	95.06	107.73	120.75	166.16
200 anni	$h_{max} =$	84.11	104.77	117.81	130.54	180.43

Tabella 3 -

Tr		LEGGE DI PIOGGIA	$h = a \times t^n$
10 anni	→		$h=47.3xt^{0.2674}$
30 anni	→		$h=60.06xt^{0.2459}$
50 anni	→		$h=65.893xt^{0.2385}$
100 anni	→		$h=73.766xt^{0.2302}$
200 anni	→		$h=81.614xt^{0.2233}$

	PROGETTISTA   	COMMESSA NQ/R22358	UNITA'
	LOCALITA' REGIONI TOSCANA - EMILIA ROMAGNA	10-LA-E-86013	
	PROGETTO METANODOTTO SESTINO – MINERBIO DN 1200 (48”), DP 75bar	Fg. 66 di 66	Rev. 0

Rif. T.EN ITALY SOLUTIONS: 2295-300-RT-1441-043

STAZIONE “CASTELDELICI”

