

	PROGETTISTA: 	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 1 di 65	Rev. 0

**Metanodotto: Rifacimento Allacciamento al Comune di Macerata
 DN 150 (6"). DP = 75 bar**

ATTRAVERSAMENTO FIUME POTENZA

**RELAZIONE TECNICO-ILLUSTRATIVA E
 ANALISI DI COMPATIBILITA' IDRAULICA**

0	Emissione	Vitelli	Morgante	Sabbatini	Ott 2011
Rev.	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato	Data

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 2 di 65	Rev. 0

INDICE

1	GENERALITA'	4
	1.1 Premessa	4
	1.2 Elaborato grafico di progetto	4
2	FASI DI STUDIO	5
3	INQUADRAMENTO E CARATTERIZZAZIONE GEOMORFOLOGICA	7
	3.1 Inquadramento geografico	7
	3.2 Inquadramento generale del bacino del corso d'acqua	8
	3.3 Descrizione dell'area d'intervento	8
	3.4 Caratterizzazione Litostratigrafica	9
4	VALUTAZIONI IDROLOGICHE	11
	4.1 Considerazioni specifiche preliminari	11
	4.2 Parametri morfometrici	11
	4.3 Dati Storici	13
	4.4 Metodo indiretto (Afflussi-Deflussi)	13
	4.4.2 Individuazione dei parametri idrologici	18
	4.4.1 Criteri generali di valutazione dei parametri idrologici	14
	4.4.3 Risultati	19
	4.5 Metodo Vapi (Regionalizzazione con metodo TCEV)	20
	4.5.1 Generalità	20
	4.5.2 Cenni al modello TCEV (a doppia componente) e alla tecnica di regionalizzazione	20
	4.5.3 Valutazione portate al colmo	21
	4.5.4 Risultati	21
	4.6 Portata di progetto	22
5	STUDIO IDRAULICO	23
	5.1 Metodologia di calcolo	23
	5.2 Valutazione dei fenomeni erosivi del fondo alveo	25
	5.3 Risultati	26
6	METODOLOGIA COSTRUTTIVA E SCELTE PROGETTUALI	28
	6.1 Generalità	28
	6.2 Analisi di fattibilità della TOC	28

 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 3 di 65	Rev. 0

6.3	Considerazioni inerenti le scelte progettuali	30
6.4	Configurazione geometrica	30
7	DESCRIZIONE DEL SISTEMA OPERATIVO DELLA TOC	32
7.1	Generalità sul sistema costruttivo	32
7.2	Metodologia esecutiva	34
7.2.1	Foro pilota	34
7.2.2	Pre-alesaggi	36
7.2.3	Tiro -posa della condotta	37
7.3	Sequenze operative	38
7.4	L'attrezzatura di perforazione e di tiro-posa	40
8	ANALISI COMPATIBILITA' IDRAULICA	45
8.1	Interferenze con "Aree a Rischio di Esondazione" individuate nel PAI	45
8.2	Analisi di compatibilità	46
9	CONCLUSIONI	48
APPENDICE I:	SONDAGGI – UBICAZIONE E COLONNE STRATIGRAFICHE	49
APPENDICE II:	PROVE DEL LAB. GEOTECNICO – TAVOLE DI SINTESI	51
APPENDICE III:	ELAB. STATISTICA DATI DI PIOGGIA STAZ. "PIORACO" E "RECANATI"	54
APPENDICE IV:	STUDIO IDRAULICO - GRAFICI DI OUTPUT	60
APPENDICE V:	METODOLOGIA COSTRUTTIVA "TOC" – DOC. FOTOGRAFICA	62

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 4 di 65	Rev. 0

1 GENERALITA'

1.1 Premessa

Nell'ambito del progetto generale del metanodotto *Snam Rete Gas* "Recanati - Foligno" DN 1050 (42") è prevista anche la realizzazione di un metanodotto denominato "*Rifacimento Allacciamento al Comune di Macerata*", caratterizzato da un diametro nominale DN 150 (6") e da una pressione d'esercizio di 75 bar.

La suddetta linea di Allacciamento in progetto (6") si stacca dal metanodotto principale in progetto (42") in corrispondenza dell'impianto PIDI n.2, previsto nei pressi della località "C.Lazzenini" di Treia, ed intercetta il fiume Potenza, immediatamente a valle della confluenza da sinistra del Rio Chiaro.

L'ambito d'attraversamento in esame interessa il territorio comunale di Treia in sinistra idrografica e di Macerata in destra idrografica.

Lo scopo della presente relazione è quello di illustrare gli studi effettuati al fine di individuare le caratteristiche di progettazione dell'attraversamento in subalveo del corso d'acqua in esame, con particolare riferimento alla definizione delle metodologie operative, del profilo di posa della condotta e delle caratteristiche delle eventuali opere di ripristino.

Le scelte sono state effettuate con lo scopo di garantire la sicurezza del gasdotto, per tutto il periodo di esercizio, nonché di assicurare la compatibilità dell'infrastruttura sotto l'aspetto idraulico, subordinandola alla dinamica evolutiva del corso d'acqua.

Sono state inoltre prese in esame le interferenze del pipeline (nell'ambito specifico di riferimento) in relazione alle "Aree a Rischio di Esondazione", individuate nelle tavole della "Carta del Rischio Idrogeologico", elaborate dalla Regione Marche nell'ambito del "Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico dei bacini di rilievo regionale (PAI)". Si è quindi proceduto ad effettuare le valutazioni inerenti l'analisi di compatibilità dell'infrastruttura in considerazione delle prescrizioni previste nei vari ambiti di interferenza.

1.2 Elaborato grafico di progetto

L'elaborato grafico di progetto, a cui si rimanda per gli approfondimenti delle tematiche affrontate nel presente documento, è il seguente:

LC-16E-81810	<i>Metanodotto " Rifacimento Allacciam. al Comune di Macerata " (6")</i>	Attraversamento Fiume Potenza
--------------	--	-------------------------------

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 5 di 65	Rev. 0

2 FASI DI STUDIO

Gli attraversamenti in subalveo dei corsi d'acqua rappresentano alcuni tra i contesti d'intervento di principale difficoltà da affrontare nell'ambito dell'esecuzione dei lavori di posa di un pipeline.

Inoltre, nella fase d'esercizio della condotta, i tratti in attraversamento dei corsi d'acqua possono rappresentare dei potenziali "punti critici" alla funzionalità dell'infrastruttura, in considerazione della possibilità che eventuali fenomeni erosivi nell'alveo possano coinvolgere il pipeline.

Per le ragioni sopra indicate, nella fase di progettazione degli attraversamenti in subalveo dei corsi d'acqua significativi, risulta importante conseguire i seguenti obiettivi:

- *corretta definizione plano-altimetrica della linea di progetto*, in considerazione delle potenzialità erosive del corso d'acqua;
- *individuazione delle idonee metodologie operative*. E' necessario garantire che la posa della condotta venga effettuata in conformità alla configurazione plano-altimetrica di progetto; nonché risulta essenziale limitare, per quanto possibile, l'impatto dei lavori nei confronti dell'ambiente circostante;
- *definizione ottimale delle eventuali opere di difesa idraulica*, al fine di garantire la sicurezza della condotta (per tutto il periodo di esercizio) e contestualmente assicurare il ripristino morfologico dell'area di attraversamento, nel rispetto dell'ambiente.

Le valutazioni di tipo geomorfologico, geotecnico ed idraulico, sono state condotte in riferimento alle fasi di seguito citate:

- sono state individuate le caratteristiche morfologiche delle aree d'attraversamento, in riferimento alle evidenze emerse nel corso dei sopralluoghi e facendo uso della documentazione topografica disponibile (cartografia in scala 1:25000 e 1:10000). Sono stati inoltre effettuati rilievi tramite sistema DTM (Digital Terrain Model), che si avvale di un volo aereo e consente di rilevare, con elevata precisione anche in ambiti boscati, le quote dei nodi (di maglia di circa 0.7x0.7m) entro una fascia di 1.5km a cavallo delle linee di progetto. Si è inoltre proceduto ad integrare le informazioni mediante rilievi fotogrammetrici sul tracciato di linea e rilievi topografici specifici e di dettaglio (sezioni e piani quotati, ecc.) in corrispondenza dei tratti particolari (tra cui i corsi d'acqua principali);
- è stato eseguito uno studio geologico sulla base della cartografia esistente e di specifici documenti bibliografici reperiti e delle evidenze emerse nel corso dei sopralluoghi. La caratterizzazione stratigrafica e geotecnica dei terreni è stata eseguita sulla base dei risultati di una campagna di indagine, costituita da sondaggi geognostici con specifiche prove geotecniche in sito e prove di laboratorio sui campioni prelevati;
- si è proceduto ad eseguire le valutazioni idrologiche al fine di stimare le portate al colmo di piena di progetto in corrispondenza delle sezioni di studio (coincidenti con quelle d'attraversamento). Le elaborazioni sono state eseguite in riferimento ad un tempo di ritorno TR=200 anni;
- sono stati dunque eseguiti studi idraulici, volti alla definizione dei parametri caratteristici di deflusso idrico ed ai fenomeni associati alla dinamica fluviale locale in corrispondenza degli ambiti di attraversamento. Sono stati valutati i fenomeni erosivi di fondo alveo, in corrispondenza di ciascun ambito d'attraversamento ed in concomitanza dell'evento di piena di progetto;

	PROGETTISTA: 	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 6 di 65	Rev. 0

Sulla base degli esiti delle operazioni di cui ai punti precedenti sono state definite le caratteristiche costruttive dei sistemi d'attraversamento (metodologie operative, configurazioni geometriche della condotta ed eventuali opere di ripristino).

Dette scelte progettuali sono state infine verificate e commisurate in considerazione delle interferenze con le "Aree a Rischio di Esondazione" rilevate nelle "Carte del Rischio Idrogeologico", elaborate dalla Regione Marche nell'ambito del "Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico dei bacini di rilievo regionale (PAI)".

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 7 di 65	Rev. 0

3 INQUADRAMENTO E CARATTERIZZAZIONE GEOMORFOLOGICA

3.1 Inquadramento geografico

Nell'ambito del progetto generale del metanodotto *Snam Rete Gas* "Recanati - Foligno" DN 1050 (42") è prevista anche la realizzazione di un metanodotto denominato "Rifacimento Allacciamento al Comune di Macerata", caratterizzato da un diametro nominale DN 150 (6") e da una pressione d'esercizio di 75 bar.

La suddetta linea di Allacciamento in progetto (6") si stacca dal metanodotto principale in progetto (48") in corrispondenza dell'impianto PIDI n.2, previsto nei pressi della località "C.Lazzenini" di Treia, ed intercetta il fiume Potenza, immediatamente a valle della confluenza da sinistra del Rio Chiaro.

L'ambito d'attraversamento in esame interessa il territorio comunale di Treia in sinistra idrografica e di Macerata in destra idrografica.

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 ed il corso d'acqua

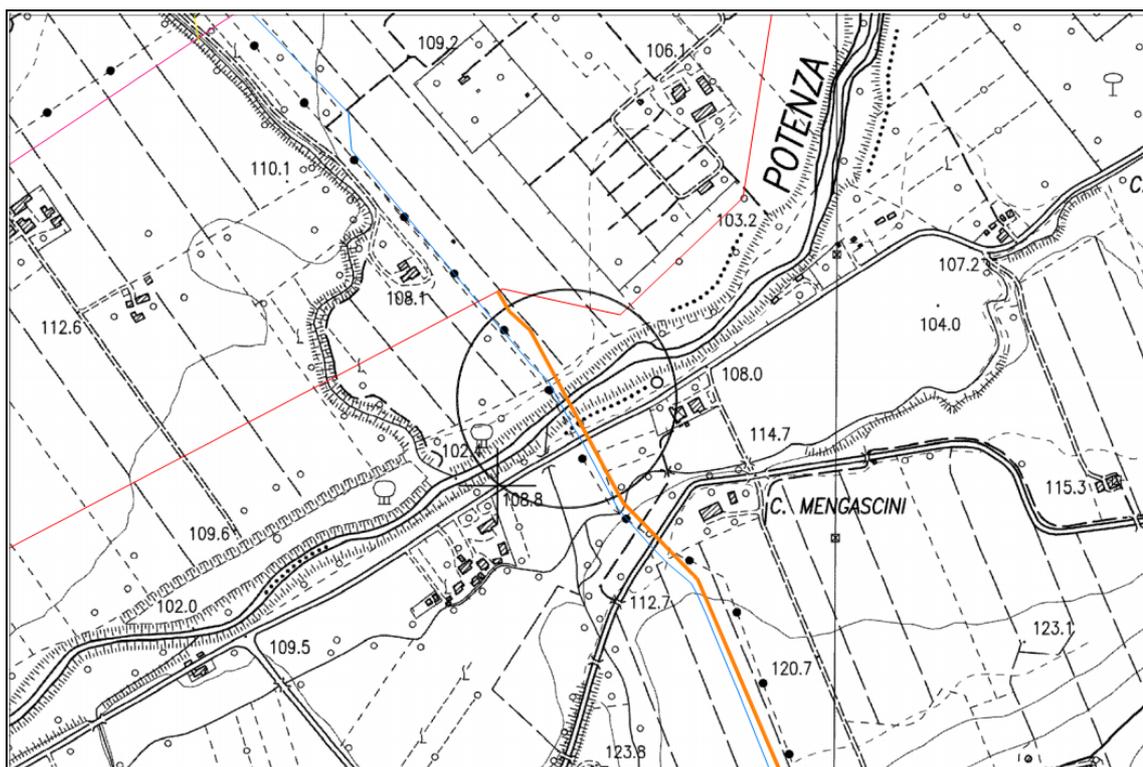


Fig.3.1: Stralcio Planimetrico in scala 1:10 000 – Area d'attraversamento

L'ambito d'attraversamento interessa esattamente il foglio catastale F.64 del comune di Treia in sinistra ed il foglio catastale F.54 del comune di Macerata in destra idrografica.

Nella figura seguente è riportato lo stralcio catastale (in scala 1:2000) dell'ambito d'interferenza.

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 8 di 65	Rev. 0

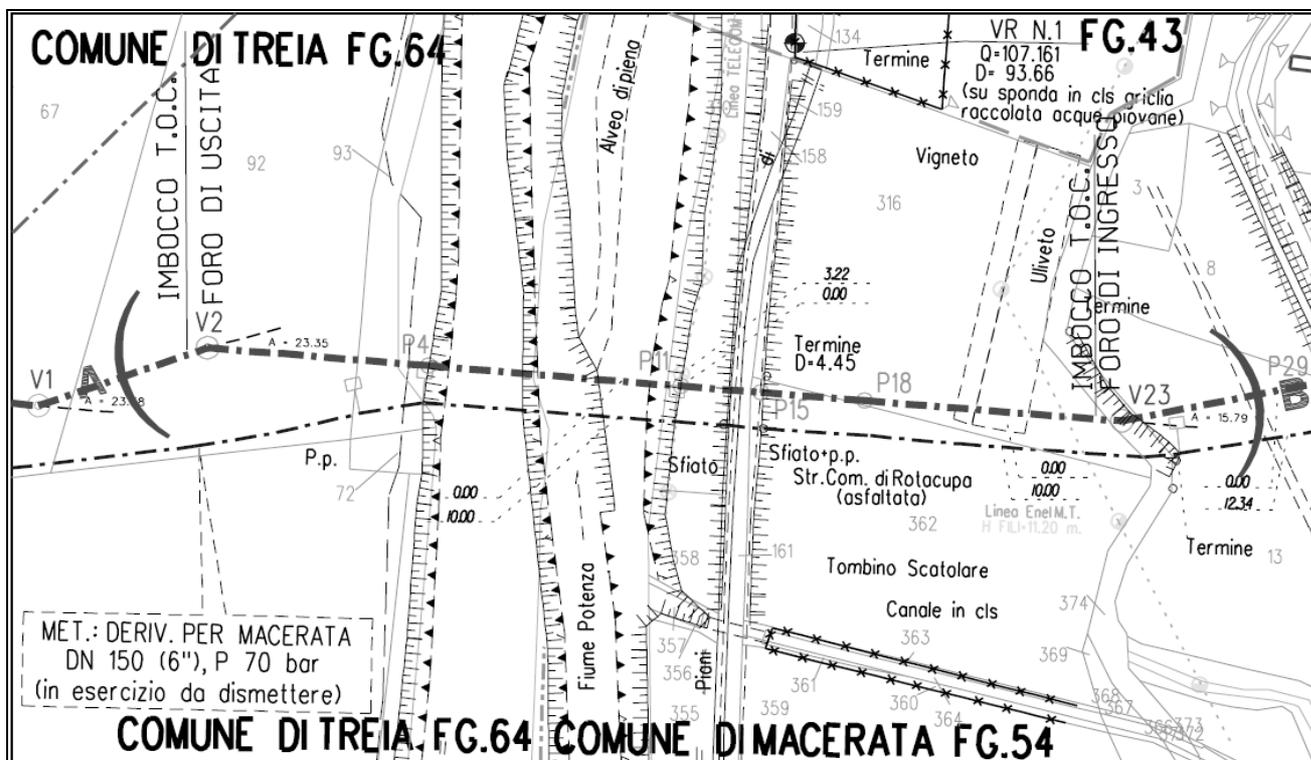


Fig.3.2: Stralcio Catastale in scala 1:2000 dell'Ambito d'Attraversamento

3.2 Inquadramento generale del bacino del corso d'acqua

Il Fiume Potenza nasce sul versante nord-orientale del Monte Pennino (1573 metri), nel territorio marchigiano al confine con l'Umbria, e si sviluppa completamente nel territorio provincia di Macerata fino a sfociare nel Mare Adriatico nel comune di Porto Recanati.

Il bacino idrografico del Potenza è compreso quasi interamente nel territorio marchigiano (esattamente nella provincia di Macerata), interessando in maniera assolutamente marginale il territorio umbro (per circa 22 kmq nel territorio di Nocera Umbra). I suoi confini sono: a Nord i bacini dell'Esino e del Musone, a Sud il bacino del Chienti, a Ovest quello del Topino, affluente del Tevere.

La superficie complessiva del bacino risulta di circa 775m, mentre lo sviluppo longitudinale complessivo dell'asta principale risulta di circa 90km.

Gli affluenti principali, sono lo Scarzito e il Palente, affluenti di destra e il Monocchia, affluente di sinistra. Poi vi sono una serie di affluenti di minor rilievo tra cui si evidenziano (partendo da monte verso valle) il T. Rio, Fosso Cerreto, Fosso dell'Elce, T. Intagliata, Fosso Grande, Fosso Maestà, Fosso di S. Lazzaro, Rio Catignano, Rio di Palazzolo, Rio Torbido e Rio Chiaro.

I caratteri generali del Potenza sono quelli di un fiume di tipo torrentizio, accentuati dalla mancanza di bacini regolatori. Lungo il corso del fiume infatti non ci sono sbarramenti che abbiano costituito invasi artificiali, tuttavia esistono delle centrali idroelettriche (Pioraco, Montelupone, Recanati) che utilizzano direttamente le acque, restituendole qualche chilometro a valle delle opere di presa.

3.3 Descrizione dell'area d'intervento

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 9 di 65	Rev. 0

L'attraversamento del Potenza è previsto circa 200m a valle della confluenza con il rio Chiaro, nei pressi della località "Case Mengascini" ed in stretto parallelismo con un metanodotto in fase di dismissione.

In questo tratto il fiume ha un andamento pressoché rettilineo, con bassa sinuosità, ed incide depositi alluvionali terrazzati a composizione prevalente sabbioso – limosa in sponda destra, ghiaioso – sabbiosa in sponda sinistra.

Lungo l'attraversamento, l'alveo è caratterizzato dalla presenza di una barra centrale vegetata e di una barra laterale in riva destra.

L'alveo si presenta inciso e con configurazione terrazzata. L'alveo di magra ha una larghezza di circa 20m, con sponde basse e poco acclivi.

Le sponde più esterne della pertinenza fluviale (alveo di piena) si elevano di circa 3-4 m, con media acclività, sino ad arrivare al livello della piana circostante. La larghezza complessiva della pertinenza fluviale risulta di circa 60-70m. I sedimenti dell'alveo sono rappresentati da ghiaie sabbiose e sabbie.

Vegetazione arbustivo - arborea è presente su entrambi i lati lungo le fasce ripariali; non si rilevano fenomeni significativi di erosione in alveo.

Nella figura seguente è riportata una foto dell'ambito d'attraversamento, con indicazione del tracciato di linea in progetto.



Fig.3.3: Foto ambito d'attraversamento

3.4 Caratterizzazione Litostratigrafica

Campagna geognostica

Per l'acquisizione degli elementi che hanno permesso di esprimere un giudizio sui litotipi costituenti i terreni nei quali si sviluppa il metanodotto in progetto, nei periodi febbraio-maggio 2010 e ottobre-novembre 2010, sono stati condotti numerosi sondaggi

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 10 di 65	Rev. 0

geognostici, pressoché in asse tracciato.

I sondaggi sono stati realizzati tutti a carotaggio continuo, utilizzando un sistema di perforazione tradizionale costituito da batterie di aste e carotiere semplice da 101 mm di diametro, procedendo per quanto possibile con avanzamento a secco per un miglior recupero dei terreni terebrati. Le carote estratte sono state conservate in cassette catalogatrici.

Nel corso dell'esecuzione dei sondaggi, in corrispondenza di terreni granulari incoerenti, sono state eseguite prove in situ di resistenza alla penetrazione S.P.T. (Standard Penetration Test) che hanno permesso di determinare lo stato di addensamento del terreno. Sui campioni rimaneggiati recuperati con lo Standard Penetration Test con punta aperta, sono state eseguite le analisi granulometriche.

In corrispondenza dei livelli coesivi, sono state eseguite delle prove speditive, direttamente sulle carote estratte, per la determinazione della resistenza alla compressione semplice, mediante il Pocket Penetrometer, e della resistenza al taglio non drenata cu, con lo scissometro tascabile o "vane test". Inoltre in corrispondenza di alcuni dei livelli coesivi, sono stati prelevati dei campioni indisturbati per l'esecuzione di prove presso il laboratorio geotecnico.

Entrando nello specifico, per l'individuazione dell'esatta posizione planimetrica dei sondaggi di riferimento, unitamente alle colonne stratigrafiche, si rimanda alla visione dell'*Appendice I*. In *Appendice II* sono invece riportate le tavole di sintesi delle prove del laboratorio geotecnico.

Modello geologico-tecnico del sottosuolo

Per la caratterizzazione litostratigrafia del sottosuolo dell'area di attraversamento, si fa riferimento al sondaggio SA45 realizzato in destra idrografica, in corrispondenza dell'ambito d'interferenza.

Detto sondaggio ha evidenziato quanto segue:

- Terreno vegetale superficiale, costituito da limo sabbioso con resti vegetali (sino a 0.7m di profondità);
- Strato di ghiaia, da addensata a molto addensata, con sabbia limosa. Presenza di livelli centimetrici limoso sabbiosi (sino a fondo sondaggio di 15m di profondità);

La falda è stata rilevata alla profondità di 4.15m

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 11 di 65	Rev. 0

4 VALUTAZIONI IDROLOGICHE

Lo studio idrologico ha come fine la determinazione delle portate di piena al colmo di uno o più corsi d'acqua in prefissate sezioni di studio. I risultati di tale studio costituiscono la base per le verifiche idrauliche, in relazione alle quali verranno individuati i valori di copertura della condotta, per la sua posa in sicurezza.

La valutazione delle portate può essere eseguita con diverse metodologie di calcolo, in funzione della natura dei dati disponibili.

In generale, avendo a disposizione dati di portata registrati in continuo da una stazione idrometrica presente sul corso d'acqua, si esegue l'elaborazione statistica degli eventi estremi disponibili (metodo diretto).

In mancanza di detti dati, si verifica se sono disponibili dati di portata di altri corsi d'acqua, siti nelle circostanze del fiume oggetto di studio, con le medesime caratteristiche idrologiche. In detto caso si esegue l'elaborazione statistica di dati disponibili e successivamente si cerca di interpretare le portate del corso d'acqua in esame sulla base dei risultati ottenuti (metodo della similitudine idrologica).

In alcuni 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.

4.1 Considerazioni specifiche preliminari

Nel caso in esame sono disponibili un numero significativo di dati di portata nella stazione idrometrica di "Potenza a Cannucciaro". Tuttavia, sulla base dell'esperienza maturata, detti dati idrometrici appaiono non rappresentativi (bassi) nei confronti dei valori attesi, in considerazione della superficie del bacino sotteso e della piovosità nell'ambito di riferimento.

In ragione di quanto affermato al fine di valutare le portate di piena di riferimento per la sezione di studio (che coincide con la sezione d'attraversamento), sono state utilizzate le seguenti metodologie di calcolo:

- il metodo indiretto (Afflussi- Deflussi), che permette la valutazione delle portate al colmo in funzione delle precipitazioni intense.
- Analisi statistica su scala regionale avvalendosi dei risultati del progetto VAPI (VALutazione Plene promosso dal CNR - GNDICI).

4.2 Parametri morfometrici

La sezione di attraversamento (di studio) ricade poco a valle della confluenza in sinistra del Rio Chiaro, in un tratto in cui il corso d'acqua rappresenta il confine tra i territori di Treia e di Macerata.

Nella figura seguente è riportato uno stralcio planimetrico con la delimitazione del bacino sotteso dalla sezione di studio (d'attraversamento) e con indicazione del reticolo idrografico principale.

	PROGETTISTA: 	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 12 di 65	Rev. 0

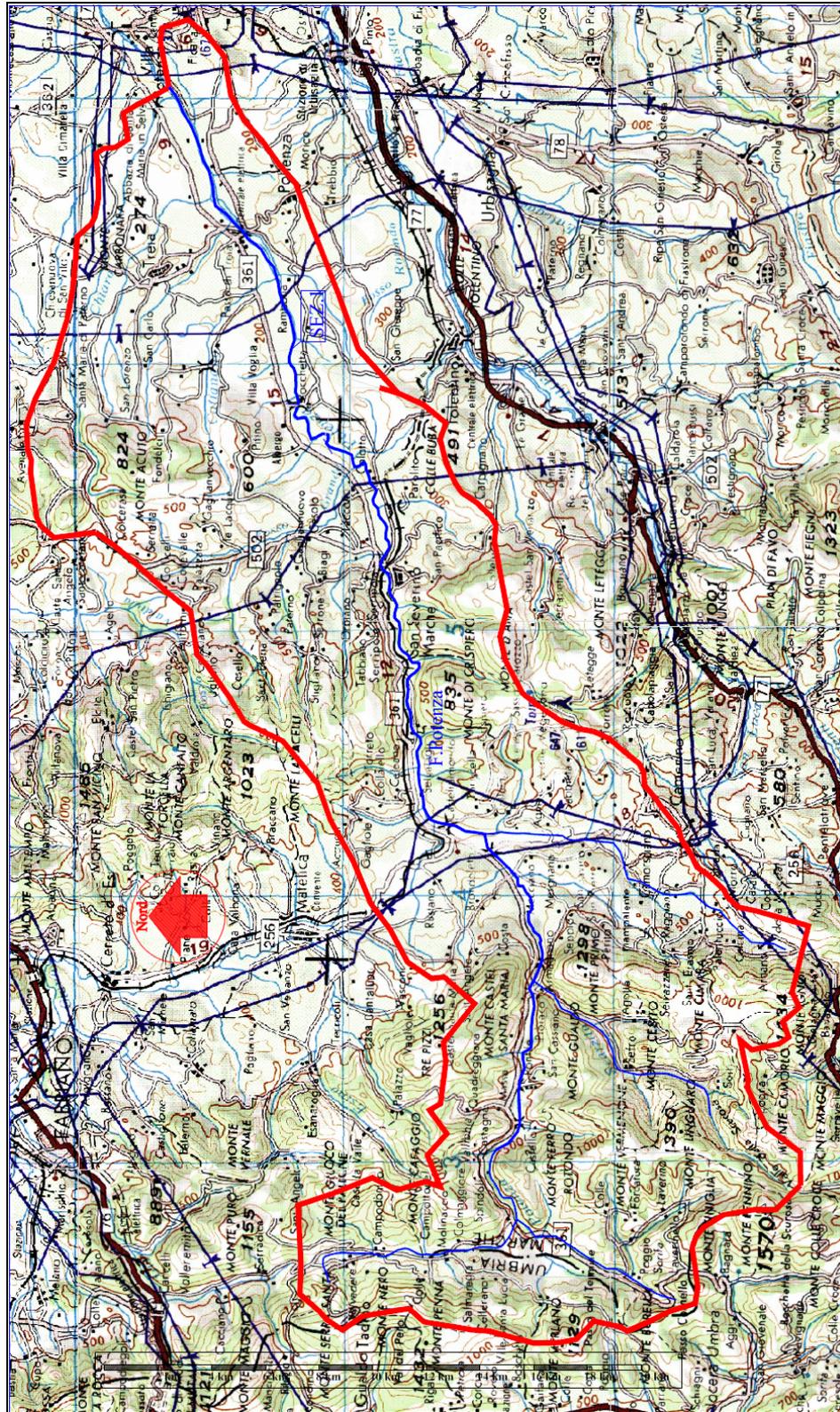


Fig.4.1. : Bacino Imbrifero sotteso dalla sezione d'attraversamento

Nella tabella seguente sono riportati i parametri morfometrici del bacino sotteso dalla

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 13 di 65	Rev. 0

sezione di studio.

Tab.4.a: Parametri morfometrici

Corso d'acqua / Sezione Studio	Superficie Bacino (kmq)	Lunghez- za a asta principale (km)	Altitudine max Bacino (m)	Altitudine media Bacino (m)	Altitudine Sezione chiusura (m)
F.Potenza / Sez. Attraversamento	580	70.5	1570	570	105

4.3 Dati Storici

Nella tabella seguente sono riportati i valori massimi registrati nelle stazioni idrometriche sul corso d'acqua, le quali sono state ritenute rappresentative per il bacino in esame.

Sezione	Superficie (kmq)	Hchius. (m.s.m.)	Periodo Funzion.	Qmax (mc/s)	qmax (mc/s.km q)	Data
Potenza a Cannuciaro	439	168	'33; '35-'40; '43; '48-'79	185	0.42	21/02/1933
Potenza a P. Recanati	771.7	4	2001- 2009	286.8	0.37	13/12/2008

4.4 Metodo indiretto (Afflussi-Deflussi)

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 "tc" e si manifesta dopo un intervallo di tempo "tc" dall'inizio del fenomeno;
- il valore della portata di piena dipende dalla laminazione esercitata dalle capacità naturali ed artificiali del bacino.

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

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

in cui:

- Q_c (mc/s): portata di progetto al colmo di piena (in funzione del tempo di ritorno "T" (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

	PROGETTISTA: 	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 14 di 65	Rev. 0

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);

- 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;
- 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.

4.4.1 Criteria generali di valutazione dei parametri idrologici

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, della pendenza dei versanti e da altri fattori.

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 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 15 di 65	Rev. 0

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 in cui interviene, sia pure grossolanamente, la pendenza del suolo.

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

Superficie del bacino (A)

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

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 16 di 65	Rev. 0

cartografia disponibile.

Tempo di corrivazione (tc)

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

Nello specifico si è fatto riferimento alla formula proposta da GIANDOTTI (sperimentata dall'autore per bacini da 170 a 70000 kmq, tuttavia ampiamente impiegata in Italia anche per piccoli bacini) che 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 (kmq);

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

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

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 topoi.

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 corrivazione "tc" non venga superato nel corso di un determinato anno è data da:

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

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 17 di 65	Rev. 0

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:

$$\alpha = 1.283/\sigma \qquad u = \mu - (0.577/\alpha);$$

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:

$$h(T) = u - \left(\frac{1}{\alpha}\right) \cdot \ln \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right]$$

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 " $h=at^n$ ", 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 " $h=at^n$ " 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 caratterizzati da più stazioni pluviometriche).

Per ogni stazione pluviografica sono state tracciate le curve di possibilità climatica o pluviometrica, definite da equazioni del tipo " $h=at^n$ ", 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

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 18 di 65	Rev. 0

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 topoieti permette, appunto, la suddivisione del bacino 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 ragguagliata 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).

4.4.2 Individuazione dei parametri idrologici

- Parametri morfometrici

Le grandezze caratteristiche dei parametri morfometrici sono riportate nella precedente tab.4.a.

- Tempo di corrivazione

Nella tabella seguente è riportato il valore relativo al tempo di corrivazione " t_c ", stimato con la metodologia descritta nel paragrafo precedente.

Sez. Studio /Metodo	Tempo di corrivazione (h)
Sez. 1 /Giandotti	11.71

- Coefficiente di deflusso

In considerazione delle caratteristiche peculiari del bacino, si è cautelativamente assegnato un coefficiente di deflusso (c) pari a 0.70

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

Per la valutazione delle curve di possibilità pluviometrica ($h = at^n$), si è fatto riferimento ai dati di pioggia registrate nelle stazioni pluviometriche di "Pioraco" e di "Recanati", i quali rientrano nel bacino imbrifero del corso d'acqua in esame e per i quali si dispongono dati pressoché continuativi nell'ultimo quarantennio, reperiti dagli Annali Idrologici del Compartimento di Bologna (fino al 1989) e dagli Annali Idrologici della Regione Marche (a partire dal 1990).

In particolare sono stati elaborati i dati estremi di pioggia (1, 3, 6, 12, 24h) relativi a:

- numero 38 anni, compresi nell'ultimo quarantennio (esattamente tra il 1970 e il 2007), per la Stazione Pluviometrica di Pioraco (superficie di pertinenza di 440kmq);

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 19 di 65	Rev. 0

- o numero 34 anni, compresi nell'ultimo quarantennio (esattamente tra il 1971 e il 2007), per la Stazione Pluviometrica di Recanati (superficie di pertinenza di 140kmq);

Per l'esame dei dati di input ed i risultati in forma estesa delle elaborazioni statistiche si rimanda all'Appendice III.

Nelle seguenti tabelle sono invece sintetizzati i valori di "a" e di "n", in funzione del tempo di ritorno.

Tab.4.c- Staz. Pluviometrica di Pioraco

Tr		LEGGE DI PIOGGIA	$h = a \times t^n$
10 anni	→		$h=35.872xt^{0.2561}$
30 anni	→		$h=43.194xt^{0.2419}$
50 anni	→		$h=46.535xt^{0.2368}$
100 anni	→		$h=51.04xt^{0.2309}$
200 anni	→		$h=55.527xt^{0.2259}$

Tab.4.d- Staz. Pluviometrica di Recanati

Tr		LEGGE DI PIOGGIA	$h = a \times t^n$
10 anni	→		$h=40.649xt^{0.2994}$
30 anni	→		$h=51.465xt^{0.2956}$
50 anni	→		$h=56.404xt^{0.2943}$
100 anni	→		$h=63.065xt^{0.2929}$
200 anni	→		$h=69.702xt^{0.2917}$

4.4.3 Risultati

I risultati delle elaborazioni (condotte con il "metodo razionale") sono riportati nella tabella seguente.

Tab.4.e : T. Potenza Sez. studio - Portate di piena metodo indiretto

TR	tc(h)	Hr	FI	S (kmq)	Q (mc/s)
10	11.71	71.61	0.7	580	690
30	11.71	85.14	0.7	580	820
50	11.71	91.31	0.7	580	880
100	11.71	99.64	0.7	580	960
200	11.71	107.93	0.7	580	1040

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 20 di 65	Rev. 0

4.5 Metodo Vapi (Regionalizzazione con metodo TCEV)

4.5.1 Generalità

Il progetto VAPI (VALutazione Plene), promosso dal CNR – Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) si prefigge l'obiettivo di definire una metodologia di analisi omogenea per l'intero territorio nazionale, così da rendere possibile una più oggettiva comparazione del rischio idrogeologico nelle diverse zone.

Il progetto si propone, attraverso il lavoro di numerose Unità Operative regionali, di identificare all'interno del territorio nazionale zone omogenee dal punto di vista idrologico, così da essere caratterizzate da un'unica distribuzione di probabilità (legge di crescita) delle portate al colmo di piena adimensionalizzata rispetto alla piena indice (media dei massimi annuali delle portate al colmo).

La portata indice risulta, in genere, correlata alle grandezze caratteristiche del bacino quali la superficie, l'altitudine media ecc..

In definitiva Q_T è determinabile anche per una sezione priva di osservazioni idrometriche una volta nota la curva di crescita regionale e la legge che correla la portata indice alle caratteristiche morfo - fisiografiche del bacino in studio.

4.5.2 Cenni al modello TCEV (a doppia componente) e alla tecnica di regionalizzazione

La legge di distribuzione a doppia componente ha formalmente la seguente espressione:

$$F(x) = \exp[-\lambda_1 \cdot \exp(-x/\theta_1) - \lambda_2 \cdot \exp(-x/\theta_2)]$$

in cui si è indicato con $F(x)$ la probabilità di non superamento della portata di piena $x > 0$, con λ_1 e λ_2 i parametri di forma (numero medio di eventi di ciascuna componente) e con θ_1 e θ_2 quelli di scala, rispettivamente della componente base e di quella straordinaria. Difatti, il modello interpreta gli eventi massimi annuali come il risultato di una miscela di due popolazioni distinte: la prima produce gli eventi massimi ordinari, più frequenti ma meno intensi; la seconda produce gli eventi massimi straordinari, meno frequenti ma spesso catastrofici.

L'applicazione del modello TCEV (Two - Component Extreme Value) a scala regionale avviene attraverso una procedura che si articola su tre livelli successivi.

Nel *primo livello* si ipotizza che il coefficiente di asimmetria, pur variando da sito a sito, si possa ritenere costante in una regione molto ampia (zona idrometrica omogenea), cosicché ad essa vengono a competere valori unici dei due parametri Δ^* e θ^* così definiti:

$$\Delta^* = \lambda_2 / \lambda_1^{1/\theta^*} \quad \theta^* = \theta_2 / \theta_1$$

Il *secondo livello* di regionalizzazione consente di individuare ambiti territoriali più ristretti, denominati sottozone idrometriche omogenee, nei quali, oltre al coefficiente di asimmetria, si può ritenere costante anche il coefficiente di variazione della componente base e quindi il parametro λ_1 . Pertanto in ogni sottozona, risultando unici Δ^* , θ^* , λ_1 , la variabile x' , pari al rapporto tra la portata di piena x e la media μ della legge di distribuzione TCEV, è identicamente distribuita secondo la legge:

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 21 di 65	Rev. 0

$$F(x') = \exp \left[-\lambda_1 \cdot \exp(\alpha)^{-x'} - \Delta^* \lambda_1^{1/\theta^*} \cdot \left(\exp(\alpha/\theta^*) \right)^{-x'} \right]$$

che è generalmente denominata curva di crescita dove:

$$\alpha = \mu/\theta_1$$

Il *terzo livello* di regionalizzazione prevede, infine, la ricerca della relazione tra la media μ , fortemente dipendente dalle condizioni locali di ciascuna stazione idrometrica, e appunto le grandezze pluviometriche e morfo-fisiografiche che caratterizzano il bacino idrografico sotteso dalla sezione di misura.

4.5.3 Valutazione portate al colmo

Lo studio indica la possibilità di stima delle portate al colmo di piena, "Q_T", con assegnato tempo di ritorno, "T", come prodotto della piena indice "q_{indice}" per il fattore probabilistico di crescita "K_T":

$$Q_T = K_T m_Q$$

dove:

Q_T è la portata al colmo di piena espressa in m³/s;

K_T è un coefficiente adimensionale;

m_Q è la piena indice (portata media annua) espressa in m³/s.

La relazione proposta per la valutazione del fattore probabilistico di crescita K_T, in funzione del tempo di ritorno T, risulta espressa dalla seguente relazione:

$$K_T = 0,32977 + 0,61107 \ln T$$

dove:

ln: logaritmo in base e;

T: tempo di ritorno;

Considerando la regione Romagna-Marche come "Area unica", gli autori del suddetto metodo, tramite regressione multipla non lineare, hanno ottenuto la seguente relazione che lega la "piena indice" ad alcune grandezze geomorfologiche.

L'espressione è la seguente quando non si dispone di informazioni idro-geologiche tali da identificare l'impermeabilità del bacino:

$$m(Q) = 0,21 * 10^{-3} * S^{1,0816} * m(h_g)^{2,4157} * DH^{0,4694}$$

dove:

S: Superficie del Bacino, in kmq;

m(h_g): media del massimo annuale dell'altezza puntuale di precipitazione giornaliera, in mm, valutata nel baricentro del bacino;

DH: quota media del bacino riferita alla sezione di chiusura

4.5.4 Risultati

Applicando le relazioni sopra riportate, è possibile ricavare la "piena indice" in funzione dei parametri indicati e il fattore di crescita K_T in (funzione del tempo di ritorno).

Nelle tabelle seguenti sono riportati i risultati delle elaborazioni:

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 22 di 65	Rev. 0

Tab.4.f: risultati elaborazioni metodo VAPI

Corso d'acqua	"A" Sup. Bacino km ²	Q _{indice}	K _T (T=50anni)	K _T (T=100anni)	K _T (T=200anni)
sez. studio n.1	580	247.54	2.7203	3.1439	3.5674

I risultati delle elaborazioni condotte con il metodo VAPI, conducono quindi ai valori riportati nella tabella seguente.

Tab.4.g: risultati elaborazioni metodo VAPI

Corso d'acqua	Q (Tempo ritorno 50 anni)	Q (Tempo ritorno 100 anni)	Q (Tempo ritorno 200 anni)
sez. studio n.1	673	778	883

4.6 Portata di progetto

Per la scelta della portata di progetto si adotta un approccio conservativo, ossia si sceglie di adottare il valore massimo delle portate duecentennali, tra quelli stimati con le modalità precedentemente evidenziate.

Nella Tabella seguente si riepiloga dunque la portata di progetto, associata ad un tempo di ritorno (T_R) pari a 200 anni, presa in considerazione per le verifiche idrauliche di cui al capitolo seguente.

tab.4.h: Portata di progetto - tabella riepilogativa

Sezione	Superficie Bacino (kmq)	Q _{progetto} (mc/s)	q _{max} (mc/s.kmq)
Sez. attraversamento	580	1040	1.79

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 23 di 65	Rev. 0

5 STUDIO IDRAULICO

Lo studio idraulico è finalizzato alla valutazione dei parametri idraulici che caratterizzano il deflusso (velocità media della corrente, battente d'acqua, numero di Froude, carico totale e cinetico) di una generica portata in una o più sezioni di studio.

In particolare nello specifico la determinazione dei fenomeni erosivi diviene essenziale per la corretta definizione della configurazione geometrica in subalveo della condotta e per la definizione delle eventuali opere di difesa idraulica

Tali valutazioni vengono eseguite utilizzando, nell'ipotesi che si verifichino in corrispondenza delle sezioni di studio l'evento di piena di progetto, che viene assunta quella corrispondente ad un tempo di ritorno di 200 anni (valore al quale si associa la probabilità del 99.5% che l'evento stesso non siano superato).

Le verifiche idrauliche di seguito effettuate risultano pertinenti sia alla preesistente configurazione idraulica del corso d'acqua che a quella di fine lavori. Ciò in quanto, con i lavori in progetto, non vengono apportate alterazioni alla sezione d'alveo del corso d'acqua.

5.1 Metodologia di calcolo

Dapprima si determina la velocità media della corrente V (m/s) in funzione dell'altezza idrometrica, utilizzando l'equazione del moto uniforme:

$$V = X \cdot \sqrt{R \cdot i}$$

dove:

- R : raggio idraulico (m), definito come il rapporto fra l'area della sezione bagnata A (m^2) e la lunghezza del perimetro bagnato P (m);
- i : pendenza del fondo alveo (m/m) nel tratto comprendente la sezione di attraversamento;
- X : coefficiente di resistenza ($m^{1/2} s^{-1}$) calcolato secondo la formula di Manning-Strickler:

$$X = \frac{1}{n} \cdot R^{1/6}$$

dove:

- n : coefficiente di scabrezza ($m^{-1/3} s$), variabile da 0.025 a 0.16 in funzione delle caratteristiche geomorfologiche del corso d'acqua.

Con la velocità così calcolata, tramite l'equazione di continuità:

$$Q = V \cdot A$$

si determina la portata defluente Q (m^3/s).

È così possibile ricavare per tentativi l'altezza idrometrica e la velocità relativa alla portata di piena considerata qualora questa risulti smaltibile dalla sezione di deflusso. In caso diverso, è possibile comunque determinare il massimo valore smaltibile dalla sezione in studio.

Con i risultati ottenuti si può, inoltre, determinare il numero di Froude Fr , definito come

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 24 di 65	Rev. 0

rapporto fra la forza d'inerzia e la forza di gravità, che caratterizza lo stato energetico del moto (corrente veloce per $Fr > 1$, lenta per $Fr < 1$):

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \cdot h}}$$

dove:

- g : accelerazione di gravità (9.81 m/s^2);
- h : battente idrico (m);

In merito al problema della determinazione del diametro limite dei clasti trasportabili dalla piena si è ricorsi al procedimento di Shields, secondo il quale sussiste la seguente relazione funzionale che lega la spinta idrodinamica su particelle di granulometria uniforme e la distribuzione delle velocità lungo la verticale.

$$\frac{\tau_o}{(\gamma_s - \gamma)d} = f\left(\frac{d \cdot \sqrt{g \cdot h \cdot i}}{\mu}\right) = f\left(\frac{V \cdot d}{\mu}\right)$$

in cui:

- τ_o : tensione tangenziale (kg/m^2);
- γ_s : peso specifico delle particelle (kg/m^3);
- γ : peso specifico dell'acqua (1000 kg/m^3);
- d : diametro delle particelle (m), ovvero, estendendo l'uso della espressione a granulometrie variabili, diametro medio del materiale di fondo ($d = d_{50}$);
- μ : viscosità cinematica ($10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ per acqua a 20°C);
- V^* : velocità d'attrito (m/s).

La tensione tangenziale critica e la velocità di attrito si determinano tramite le seguenti relazioni:

$$\tau_o = \gamma \cdot R \cdot i \quad ; \quad V^* = \sqrt{\frac{\tau_o}{\delta}}$$

in cui:

- δ : densità dell'acqua ($= 102 \text{ kg} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4$).

Per valori del numero di Reynold relativo alla velocità d'attrito:

$$Re^* = \frac{V^* \cdot d}{\mu} > 500$$

che nei corsi d'acqua naturali si verificano con alvei ciottolosi, il valore " $\tau_o/[(\gamma_s - \gamma)d]$ " è costante ed è pari a 0.06, cioè:

$$\frac{\tau_o}{(\gamma_s - \gamma)d} = 0.06$$

Esplicitando tale relazione in funzione dell'unica incognita si otterrà il diametro limite dei clasti trasportabili:

$$d = \frac{\tau_o}{0.06 \cdot (\gamma_s - \gamma)}$$

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 25 di 65	Rev. 0

5.2 Valutazione dei fenomeni erosivi del fondo alveo

Nel corso degli eventi di piena, il fondo degli alvei subisce modifiche morfologiche, spesso anche di notevole entità, innescate di volta in volta da cause che possono essere definite “intrinseche” (dovute cioè a fenomeni naturali quali confluenze, curve, ostacoli naturali ecc.) o “estrinseche” (legate ad alterazioni indotte dall’uomo quali opere in alveo, escavazioni, ecc.).

La valutazione di tali fenomeni riveste notevole importanza ai fini del dimensionamento degli interventi in alveo di qualsiasi tipo; malgrado ciò, allo stato attuale delle conoscenze, la stima del valore atteso degli approfondimenti rimane, nella maggioranza dei casi, un’attività dipendente in massima parte dalla esperienza e dalla sensibilità del progettista, il quale deve avvalersi in misura preponderante degli esiti dei sopralluoghi per valutare lo stato generale dell’alveo.

Il lavoro di ricerca ha tuttavia prodotto negli ultimi 50 anni una serie di risultati di natura sperimentale che forniscono utili indicazioni circa l’entità dei fenomeni di escavazione e trasporto in alcuni casi tipici. Va sottolineato che tali risultati, dei quali si farà una sintesi nei paragrafi che seguono, sono in generale caratterizzati da due limiti principali:

- il primo risiede nel fatto che 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 sicuramente più omogenea di quelle effettivamente riscontrabili in natura;
- il secondo limite deriva invece dal fatto che ogni formula è strettamente legata a casi particolari di escavazione in alveo e risulta difficilmente estrapolabile a casi simili a quelli sperimentati in laboratorio.

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 al di sotto del fondo, ecc.).

Nel seguito si elencano alcune espressioni per la valutazione di approfondimenti localizzati in alveo; in particolare si vuole quantificare il valore che un approfondimento d’alveo può raggiungere rispetto ad una quota media iniziale del fondo.

Buche

Le posizioni e le caratteristiche di queste erosioni sono talvolta abbastanza prevedibili, come ad esempio nel punto di gorgo dei meandri o in erosioni dovute alla presenza di manufatti, 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 possono crearsi sul fondo buche di notevole profondità, e le condizioni necessarie per lo sviluppo di tale fenomeno sembrano individuarsi nella formazione di correnti particolarmente veloci sul fondo e nella presenza di irregolarità geometriche dell’alveo, che innescano il fenomeno stesso.

In questi casi, e quando le dimensioni granulometriche del materiale di fondo sono

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 26 di 65	Rev. 0

inferiori a 5.0 cm, i valori raggiungibili dalle suddette erosioni sono generalmente indipendenti dalla granulometria; per dimensioni dei grani maggiori di 5.0 cm, invece, all'aumentare della pezzatura diminuisce la profondità dell'erosione.

A questo punto va osservato che l'applicazione dei numerosi procedimenti di calcolo disponibili porta sovente a risultati alquanto diversi tra loro, dovuti ad una più o meno corretta valutazione delle diverse grandezze idrauliche e geometriche esplicitate nelle singole formule.

Fra i metodi di calcolo più noti (Schoklitsh, Eggemberger, Adami), la formula di Schoklitsh, qui utilizzata, è quella che presenta minori difficoltà nella determinazione dei parametri caratteristici:

$$S = 0.378 \cdot H^{0.5} \cdot q^{0.35} + 2.15 \cdot a$$

dove:

- S : profondità massima della buca sulla quota media dell'alveo (m);
- H : $h+v^2/2g$: carico totale a monte della buca (m);
- q : Q/L : portata per unità di larghezza dell'alveo ($m^3/s \cdot m$);
- a : dislivello delle quote d'alveo a monte e a valle della buca (m).

Arature di fondo

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

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

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

Allo stato attuale non potendosi formulare che semplici ipotesi sulle cause del fenomeno, non è possibile proporre algoritmi per calcolare la profondità degli scavi. Dopo diverse osservazioni dirette, vari autori hanno quindi proposto di assegnare a tali escavazioni un valore cautelativo pari al 50% dell'altezza idrometrica di piena.

5.3 Risultati

Le verifiche idrauliche sono state eseguite con riferimento alla sezione d'alveo rilevata in asse della condotta in progetto (in considerazione dell'angolo d'incidenza nei confronti della direzione di deflusso delle acque).

I risultati delle elaborazioni, risultano pertinenti sia in riferimento alla configurazione idraulica preesistente che a quella di fine lavori. Ciò in quanto i lavori di posa verranno eseguiti in trivellazione, quindi non verrà alterata minimamente la sezione d'alveo.

Le elaborazioni sono state condotte in maniera automatizzata mediante il programma "Deflussi" prodotta dalla Società Aquater, per gli studi idraulici in condizioni di moto uniforme.

Nella Tabella seguente sono riepilogati i dati di input ed i risultati delle elaborazioni. In *Appendice IV* sono invece riportati i grafici di output, con particolare riferimento alla tavola con la sezione d'attraversamento e la relativa scala di deflusso (curva che lega la

	PROGETTISTA: 	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 27 di 65	Rev. 0

portata defluente all'altezza idrometrica).

Tab.5.a: Tabella Riepilogativa dei Risultati dello studio Idraulico

FIUME POTENZA MET. POT. PER MACERATA - SEZ. STUDIO	
DATI DI INPUT / RISULTATI	
PENDENZA DEL FONDO [%]	0.4%
COEFFICIENTE DI MANNING [-]	0.035
LIVELLO MAX PIENA [M]	107.27
MASSIMO BATTENTE IDRICO [M]	6.25
VELOCITA' MEDIA DELLA CORRENTE [M/S]	3.28
PORTATA DEFLUENTE [MC/S]	1040
DIAMETRO LIMITE DEI CLASTI TRASP. [CM]	11.67
NUMERO DI FROUDE [-]	0.42
(STATO DELLA CORRENTE)	(CORRENTE LENTA)
APPROFONDIMENTI LOCALIZZATI [M]	2.75
ARATURE DI FONDO [M]	3.13

Dall'esame dei risultati (si vedano anche i grafici riportati in Appendice IV), si evince che la sezione d'alveo del corso d'acqua, in corrispondenza dell'ambito di intervento, non risulta in grado di far defluire completamente nel suo interno la portata di progetto. In particolare in occasione dell'evento considerato si rilevano esondazioni, anche se per fasce di larghezza non particolarmente rilevanti, in entrambi i lati (soprattutto in destra idrografica).

Il deflusso, in concomitanza della piena duecentennale, avviene in condizione di corrente lenta ($FR < 1$) e la velocità di deflusso risulta di circa 3.3 m/s. L'azione dinamica della corrente risulta potenzialmente in grado di trasportare elementi lapidei di significative dimensioni (del diametro di circa 12cm).

I valori massimi dei fenomeni erosivi di fondo sono riferiti alle arature di fondo, valutati in circa 3.2m.

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 28 di 65	Rev. 0

6 METODOLOGIA COSTRUTTIVA E SCELTE PROGETTUALI

6.1 Generalità

La scelta del sistema di attraversamento, 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 in fase operativa che a lungo termine, tanto per la condotta in progetto quanto per il fiume (alveo e rilevati arginali).

Nel caso in esame, l'insieme delle caratteristiche morfologiche, geologiche, geometriche ed idrauliche della sezione di attraversamento ha condotto all'individuazione del sistema di attraversamento mediante trivellazione con la metodologia esecutiva della *Trivellazione Orizzontale Controllata (TOC)*, ovvero *Horizontal Directional Drilling*

La geometria di progetto del tunnel e le tecniche operative adottate nella fase di trivellazione garantiscono, infatti, i necessari livelli di sicurezza sia del gasdotto, che delle sponde e degli eventuali manufatti sovrastanti, sia durante le fasi di realizzazione che a lungo termine.

In particolare la metodologia della TOC rappresenta una tecnica operativa ampiamente consolidata in Italia ed all'estero (si veda il capitolo seguente), anche in ambiti di intervento analoghi al caso specifico. In tal senso in *Appendice V*, è riportata una documentazione fotografica relativa ad alcune applicazioni già effettuate con la metodologia costruttiva di riferimento.

Qui di seguito viene inizialmente riportata un paragrafo riguardante l'analisi preliminare inerente la fattibilità tecnica della metodologia prevista in riferimento alle specificità dell'attraversamento in esame.

Successivamente si riportano delle considerazioni sulle scelte progettuali eseguite. Infine si illustrano le caratteristiche geometriche previste.

Per la descrizione della metodologia trenchless in esame si rimanda al capitolo seguente.

6.2 Analisi di fattibilità della TOC

In generale i principali fattori che delimitano il campo di applicabilità di ognuna delle metodologie costruttive disponibili, e che contribuiscono a formulare nel complesso il giudizio di fattibilità tecnica dell'attraversamento, possono essere elencati come in tab. 6.1.

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 29 di 65	Rev. 0

Tab.6.1 Fattori di compatibilità del sistema esecutivo

Ambito idraulico	<ul style="list-style-type: none"> • Limitazioni geometriche sul profilo di progetto in relazione al regime idraulico e alla dinamica evolutiva dell'alveo. • Compatibilità dei lavori con eventuali eventi di piena. • Ammissibilità di alterazioni temporanee su opere di difesa idraulica preesistenti. • Durata dei lavori in relazione al regime idraulico.
Terreni	<ul style="list-style-type: none"> • Litologia dei terreni con riferimento al sistema di scavo. • Presenza di acqua in alveo o in sub-alveo. • Stabilità dei terreni in tutte le fasi esecutive. • Alterazioni non ammissibili nel regime di filtrazione di sub-alveo.
Vincoli morfologici	<ul style="list-style-type: none"> • Limitazioni geometriche sul profilo di progetto in relazione alle caratteristiche morfologiche della sezione di attraversamento.
Materiali	<ul style="list-style-type: none"> • Limitazioni geometriche sul profilo di progetto in relazione alle caratteristiche costruttive della condotta.
Ambito ambientale	<ul style="list-style-type: none"> • Sensibilità ambientale dell'area con riferimento alle alterazioni temporanee indotte in fase esecuzione dei lavori e alle potenzialità di recupero a lungo termine.
Condizioni operative e di programmazione	<ul style="list-style-type: none"> • Tempi di realizzazione dell'attraversamento in relazione alla programmazione dei lavori di linea. • Disponibilità di adeguate aree di cantiere, degli accessi e dei servizi.

Entrando nello specifico, ossia in considerazione dell'assetto idraulico, morfologico e litostratigrafico dell'ambito di riferimento ed in riferimento alla metodologia prevista (TOC) si possono eseguire le seguenti considerazioni.

- Il corso d'acqua in esame, rappresenta un fiume di pianura. Pertanto le dinamiche evolutive, al seguito di manifestazioni di eventi di piena, possono essere considerate alquanto limitate.
- Non si rilevano problematiche connesse a vincoli di carattere morfologico nell'area in esame (ambito di pianura).
- Gli insediamenti antropici sono molto radi nell'area e comunque non tali da pregiudicare l'impiego della metodologia della TOC (necessità di ampi spazi soprattutto in considerazione delle operazioni di varo).
- La configurazione litostratigrafica dei terreni è costituita principalmente dalla presenza pressoché uniforme di uno strato di ghiaia, da addensata a molto addensata. Detta configurazione non costituisce la situazione ottimale per l'esecuzione di una TOC per la presenza di livelli ghiaiosi (comportamento del terreno a "foro fluido" nelle fasi di trivellazione). Tuttavia, in considerazione del ridotto diametro di trivellazione e della lunghezza non particolarmente elevata, si ritiene che la suddetta configurazione litostratigrafica non costituisce un elemento pregiudizievole per l'esecuzione della TOC.

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 30 di 65	Rev. 0

Alla luce delle considerazioni sopra riportate la metodologia costruttiva della TOC risulta FATTIBILE, seppur in considerazione degli aspetti di criticità precedentemente evidenziate, alle quali l'impresa esecutrice dovrà tenere in considerazione nella fase operativa.

6.3 Considerazioni inerenti le scelte progettuali

La definizione delle scelte progettuali, riguardanti sia le tecniche costruttive che le configurazioni geometriche, sono dunque state eseguite in modo da garantire la massima sicurezza dal punto di vista idraulico e geotecnico, sia in fase operativa che a lungo termine, tanto per la condotta in progetto quanto per il fiume.

E' stato previsto l'attraversamento in trivellazione con la tecnica della *Trivellazione Orizzontale Controllata (TOC)*, ovvero *Horizontal Directional Drilling*, in quanto rappresenta una tecnica consolidata anche in ambiti analoghi a quella riferimento (*cfr. capitolo seguente*).

Il sistema permette la realizzazione di una geometria di attraversamento con elevate coperture rispetto al fondo alveo ed alla fondazione dei manufatti eventualmente presenti sulle sponde; questa caratteristica, unitamente a quelle esecutive, intrinseche del sistema operativo, garantisce la minimizzazione di ogni possibile interferenza con il sistema idrico di subalveo e con il terreno di trivellazione.

In particolare la definizione geometrica del tunnel e quindi della condotta, viene effettuata in modo da soddisfare ai vincoli attinenti sia l'aspetto idraulico del corso d'acqua che quello costruttivo della trivellazione e della condotta.

E' necessario infatti, assicurare adeguate profondità del cavo al di sotto dell'alveo e dei manufatti in superficie, rispettando allo stesso tempo i raggi di curvatura minimi consentiti dalla tubazione di linea (in riferimento alle norme DCA è previsto che il raggio di curvatura della condotta sia almeno 1200 volte il diametro della condotta), sia in termini di sollecitazioni indotte nel terreno che nei riguardi delle operazioni di varo della condotta.

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

- le elevate profondità di posa del tunnel presuppongono percorsi preferenziali di filtrazione lungo il suo profilo molto più lunghi di quelli che si avrebbero naturalmente;
- le distanze in orizzontale e le profondità della trivellazione dalle sponde sono particolarmente elevate e dunque sono tali da escludere qualsiasi alterazione dello stato tensionale e di deformazione in superficie.

La copertura minima individuata per la trivellazione in progetto risulta inoltre tale da assicurare ampi margini di sicurezza rispetto agli eventuali fenomeni erosivi di fondo alveo determinati dalla corrente idrica.

6.4 Configurazione geometrica

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

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 31 di 65	Rev. 0

Le principali caratteristiche geometriche del tunnel sono:

- Lunghezza dello sviluppo complessivo della trivellazione di 250 m circa;
- Sviluppo del tratto curvilineo 113 m circa;
- Raggio di curvatura pari a 300 m;
- Postazione Rig (entrata trivellazione): in destra idrografica, nel lato di valle in senso gas;
- Postazione uscita trivellazione: in sinistra idrografica nel lato di monte in senso gas;
- angoli sull'orizzontale di entrata e di uscita della trivellazione rispettivamente di 7°40' e di 10°42';
- Pista di varo: in sinistra idrografica;
- copertura minima della trivellazione dalle quote di fondo alveo di 10 metri circa (ben superiore ai massimi fenomeni erosivi stimati);
- distanza verticale minima della trivellazione dal piede della sponda: in sinistra idrografica di 10 metri;
- distanza verticale minima della trivellazione dalla sovrastruttura della strada comunale "Rotacupa": di 15 m circa;

Tale configurazione consente di assicurare l'adeguata sicurezza della condotta anche nei confronti dei potenziali processi erosivi che possano interessare sia il fondo che le sponde del corso d'acqua.

Per l'analisi di dettaglio della configurazione geometrica d'attraversamento si rimanda alla visione degli elaborati grafici di progetto precedentemente richiamati.

Nel capitolo seguente vengono illustrate le caratteristiche peculiari della tecnica costruttiva della "TOC".

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 32 di 65	Rev. 0

7 DESCRIZIONE DEL SISTEMA OPERATIVO DELLA TOC

7.1 Generalità sul sistema costruttivo

Il metodo della trivellazione orizzontale controllata venne ideato agli inizi degli anni '70 negli Stati Uniti, utilizzando la stessa tecnica di perforazione che da anni veniva impiegata nel campo della ricerca petrolifera per la realizzazione dei pozzi deviati. L'uso del metodo si sviluppò rapidamente a partire dai primi anni '80, prima negli Stati Uniti e poi in Europa, trovando applicazione in numerosi attraversamenti fluviali, in un vasto campo di diametri, lunghezze e situazioni litologiche.

Tra le tecnologie di attraversamento di tipo *trenchless*, la T.O.C. presenta la caratteristica di permettere la posa della condotta operando direttamente dal piano campagna, senza la necessità di opere accessorie quali pozzi di partenza e di arrivo; prerogativa, questa, che può rendere il sistema particolarmente vantaggioso in alcuni casi di attraversamenti di corsi d'acqua.

Nei paragrafi che seguono verrà fornita una dettagliata descrizione della metodologia e delle apparecchiature. La realizzazione della perforazione e l'installazione della tubazione si articolano come segue (fig. 7.1):

- Esecuzione di un foro pilota di piccolo diametro con una trivella infissa (senza rotazione) da una batteria di aste di perforazione collegate alla apparecchiatura di spinta. In questa fase viene anche periodicamente fatto avanzare, con una azione contemporanea di spinta e rotazione, concentricamente all'asta pilota un tubo guida di rivestimento (detto "*wash pipe*") che incrementa il diametro del foro, riduce l'attrito, facilita la guida ed evita il bloccaggio dell'asta pilota.
- Collegamento, in corrispondenza del punto di uscita della trivella, del tubo di rivestimento con il "treno di alesaggio" e con la condotta già assemblata.
- Alesaggio e tiro della condotta fino a posa ultimata; in relazione al diametro della condotta ed alle caratteristiche dei terreni interessati questa fase può essere preceduta da un alesaggio preliminare.

	PROGETTISTA: 	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 33 di 65	Rev. 0

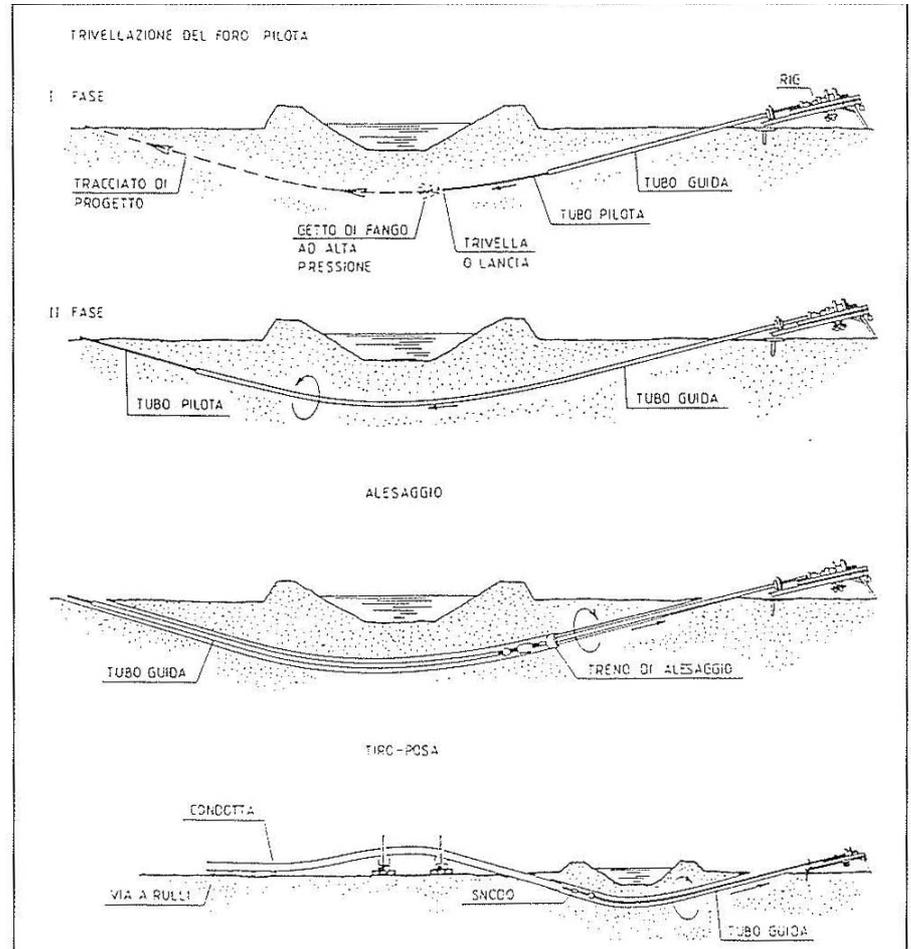


Fig. 7.1 Schema delle fasi operative della T.O.C.

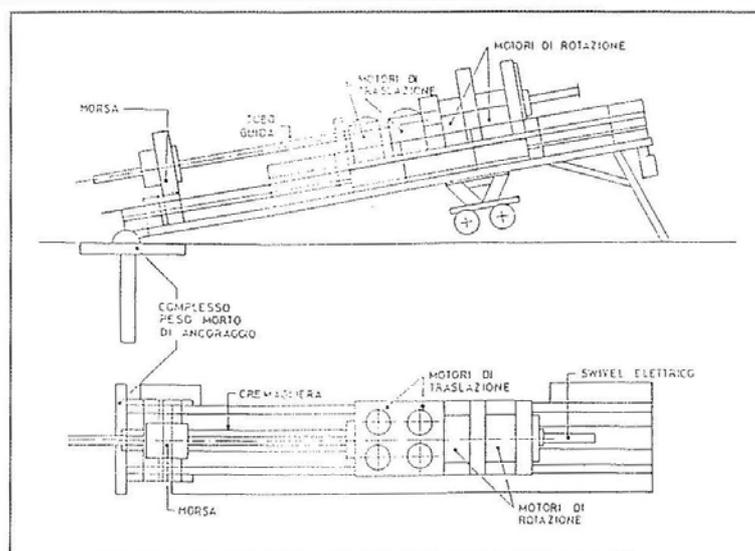


Fig. 7.2 Schema del Drill Rig

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 34 di 65	Rev. 0

7.2 Metodologia esecutiva

In fig.7.2 è rappresentata una tipica unità per la trivellazione. Gli elementi dell'unità sono simili, come detto, a quelli impiegati nella trivellazione dei pozzi petroliferi con la differenza che la torre di perforazione, in questo caso, è sostituita da una rampa inclinata mobile (rig) che provvede alla spinta, alla rotazione ed al tiro nelle varie fasi esecutive.

Come anticipato nel precedente paragrafo, la tecnica di perforazione prevede essenzialmente due fasi: nella prima viene eseguito il foro pilota, nella seconda il foro viene alesato (mediante uno o più passaggi) e la tubazione di rivestimento inserita.

7.2.1 Foro pilota

Il foro pilota viene eseguito facendo avanzare una batteria di aste di perforazione direzionale, di diametro ridotto (circa 7.5 cm), che viene spinta nel terreno dal rig.

Il più comune metodo usato per far avanzare la batteria di aste è quello che impiega getti di fango bentonitico per realizzare il taglio del terreno (*jetting*).

In questo caso sulla testa delle aste viene installata una lancia a getti (fig. 7.3) che consiste essenzialmente in un'asta che presenta una deviazione angolare di circa 1° e dispone di due ugelli, uno centrale rispetto alla testa e l'altro, eccentrico, in asse con la deviazione.

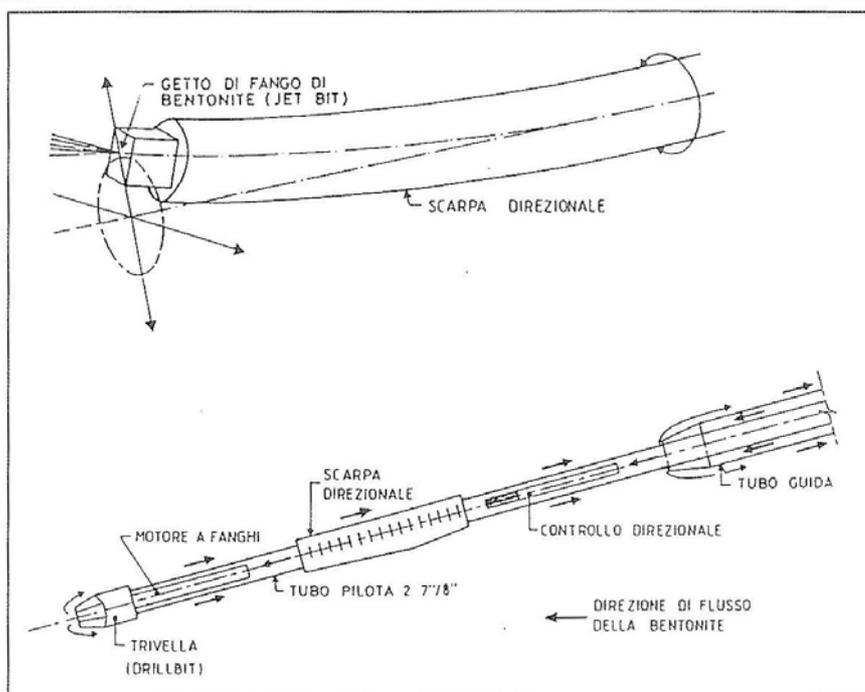


Fig. 7.3 Lancia a getti schema funzionale e sezione

I cambi di direzione necessari sono ottenuti ruotando le aste di perforazione in modo tale che la direzione della deviazione coincida quella desiderata.

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 35 di 65	Rev. 0

Quando per far avanzare le aste si renda necessaria un'azione di taglio meccanico, in modo da eseguire una vera e propria trivellazione, viene utilizzata una trivella azionata da un motore a fanghi ubicato sulla testa di perforazione (fig. 7.4).

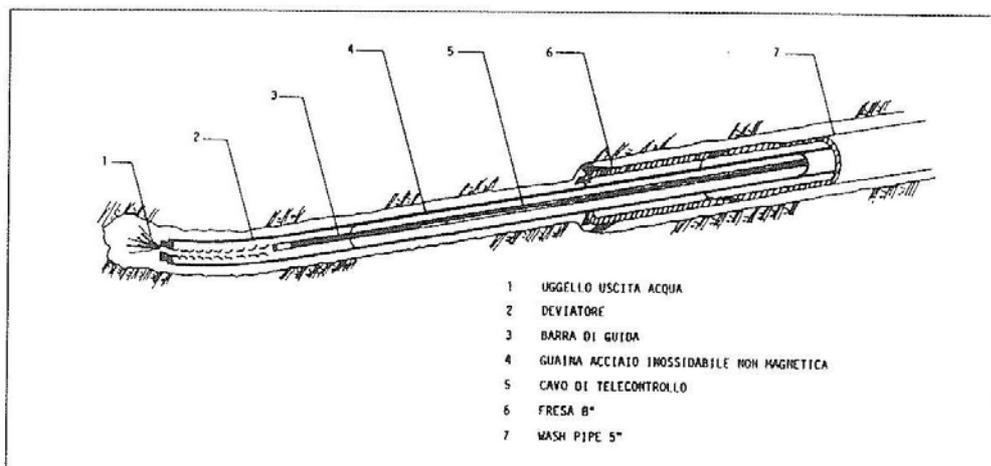


Fig. 7.4 Motore a fanghi

Il motore, alloggiato posteriormente nella testa di perforazione, aziona una turbina accoppiata alla trivella. Attraverso appositi ugelli, disposti su quest'ultima, può effettuarsi sia una azione ausiliare di *jetting* che la rimozione dei materiali scavati.

Il sistema direzionale è costituito in questo caso da una scarpa direzionale (*deflector shoe*), consistente in un ringrosso eccentrico dell'asta che alloggia il motore a fanghi. Anche in questo caso una rotazione delle aste provoca una deviazione angolare nella direzione di perforazione. Un vasto assortimento di scalpelli e motori consente l'attraversamento di un ampio campo di terreni, fino alla roccia dura.

Il tracciato del foro pilota e quindi la sua rispondenza al profilo di progetto vengono controllati in corso di esecuzione mediante una sonda direzionale situata dietro l'utensile di taglio e contenuta in un carter di acciaio inossidabile. Il segnale viene trasmesso attraverso un cavo elettrico e visualizzato in sala comando, in prossimità del rig. La sonda trasmette dati di azimuth (deviazione rispetto al Nord magnetico) e di inclinazione sulla verticale. Questi dati, assieme alla registrazione della lunghezza delle aste, consentono di calcolare le coordinate orizzontali e verticali dell'estremità della testa di trivellazione.

Di norma il controllo della posizione viene eseguito ad ogni giunto dell'asta pilota (circa ogni 9 ÷ 10 m). Qualora vengano riscontrate deviazioni significative dall'asse teorico di progetto, è possibile effettuare lo sfilamento dell'ultima asta montata e perforare, correggendo la direzione del foro.

Ad intervalli regolari la perforazione del foro pilota viene interrotta per consentire l'inserimento di un tubo guida (*wash pipe*) mediante movimento di rotazione ed avanzamento; il tubo guida riduce l'attrito tra asta e terreno, permette di orientare l'asta senza difficoltà e facilita il trasporto verso la superficie dei materiali di scavo; esso, inoltre, serve a mantenere aperto il foro qualora sia necessario ritirare l'asta pilota.

La testa di perforazione viene rimossa quando essa emerge in superficie sulla sponda opposta al rig, seguita dal tubo guida. L'asta pilota è quindi ritirata, lasciando il tubo

	PROGETTISTA: 	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 36 di 65	Rev. 0

guida lungo il profilo di progetto.

Successivamente un cavo di acciaio, collegato all'asta pilota, viene introdotto nel tubo guida tirando ed estraendo la colonna di perforazione verso l'impianto di trivellazione.

A questo punto è possibile effettuare un ulteriore controllo della geometria del foro pilota, riempiendo il tubo guida con acqua e collegando al cavo d'acciaio una sonda piezometrica. Estrahendo il cavo, vengono registrati mediante lettura strumentale una serie di dati piezometrici che permettono il controllo del profilo verticale del foro.

7.2.2 Pre-alesaggi

Terminato il foro pilota, in base ai riscontri ottenuti durante la perforazione viene deciso se eseguire direttamente l'alesaggio e il tiro della condotta (contemporaneamente) o eseguire un ulteriore pre-alesaggio. Questa fase è costituita dall'allargamento del foro pilota per mezzo di un alesatore.

In corrispondenza della sponda opposta al rig al wash-pipe viene collegato un utensile di alesaggio (*rammer*); l'alesaggio del foro viene eseguito ruotando e tirando il wash-pipe verso il rig collegando, dietro al treno di alesaggio, altre aste di tubo guida in modo da mantenere un collegamento continuo all'interno del foro e poter quindi procedere alla successiva fase di tiro della condotta (fig. 7.5 e 7.6).

Una o più operazioni di pre-alesaggio possono essere eseguite sulla base di valutazioni rilevate nel corso dei lavori di trivellazione ed in relazione al diametro della condotta da posare; generalmente, ma pur sempre in relazione alle caratteristiche dei terreni attraversati, il pre-alesaggio non viene eseguito per diametri fino a 500 mm.

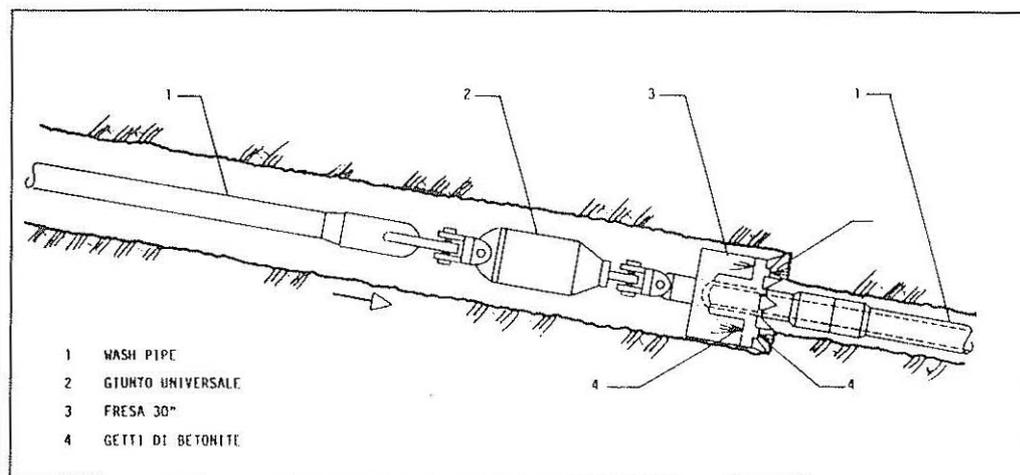


Fig. 7.5 Treno di alesaggio (pre-alesaggio)

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 37 di 65	Rev. 0

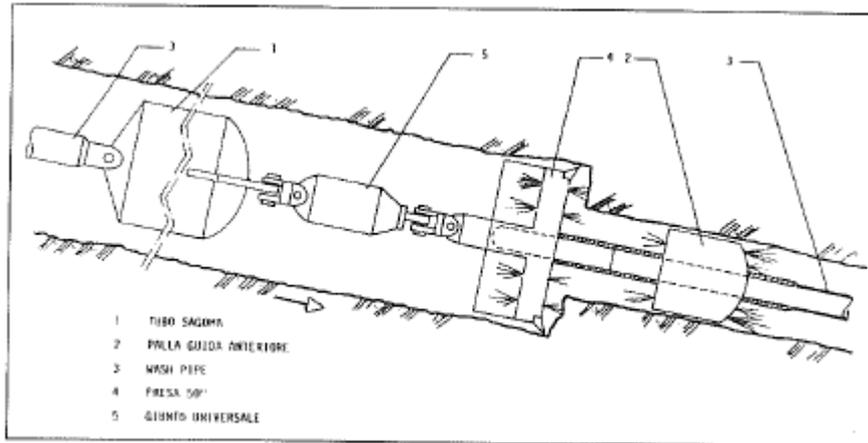


Fig. 7.6 Treno di alesaggio con testata di guida

7.2.3 Tiro -posa della condotta

Viene collegato al tubo guida il “treno di alesaggio” seguito dalla condotta e quindi si procede al tiro.

Normalmente il treno di alesaggio è configurato come in fig. 7.7, anche se è necessario specificare che i componenti vengono usualmente fabbricati dalle compagnie operatrici e quindi la configurazione effettiva può variare in funzione delle diverse esigenze di cantiere; si distinguono generalmente:

- una fresa volante (*flycutter*), a forma di ruota o di stella, con taglienti e ugelli per il fango disposti sul perimetro e/o radicalmente;
- un alesatore (*reamer*) che può essere del tipo a “barile” (*barrel reamer*) con forma prevalentemente cilindrica e taglienti disposti sulla faccia, o del tipo a “pallottola” (*bullet nose*), simile al precedente ma in grado di svolgere una azione di espansione del foro piuttosto che di taglio;
- uno snodo (*swivel*) per evitare la trasmissione degli sforzi di torsione alla condotta. Generalmente è costituito da un reggispira autolubrificante con un cuscinetto in teflon od a rulli.

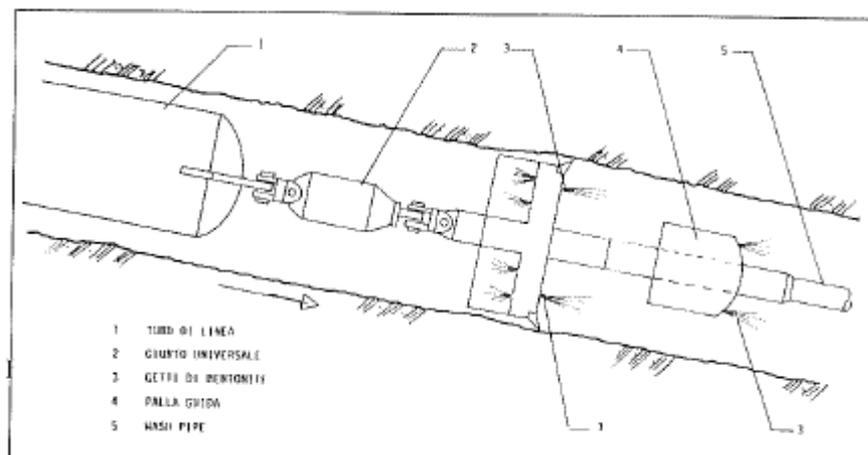


Fig. 7.7 Treno di varo per il tiro-posa del pipeline

La posa della condotta richiede il pre-assemblaggio della colonna, in modo simile a

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 38 di 65	Rev. 0

quello realizzato nel caso del sistema tradizionale con scavo a cielo aperto. La colonna di varo viene di norma, ma non necessariamente, inserita nel foro in un'unica spinta, evitando interruzioni per operazioni di saldatura e controllo che potrebbero provocarne il blocco per adesione del terreno al pipeline (prevalentemente in terreni di natura coesiva); la colonna viene pertanto preferibilmente costruita in un'unica tratta e predisposta su una idonea linea di scorrimento (rulli, carrelli o acqua).

In fase di "varo", l'ingresso della condotta nel foro viene facilitato, onde evitare sforzi di flessione non ammissibili, facendole assumere una catenaria predeterminata in funzione dell'angolo d'ingresso nel terreno e della rigidità flessionale della tubazione.

7.3 Sequenze operative

Le fasi di lavoro per la realizzazione di un attraversamento mediante T.O.C. si articolano in sequenza come di seguito indicato in Fig 7.8 (vedi pag. seguente).

1. Preparazione dell'area di cantiere e realizzazione di eventuali opere provvisorie: vengono realizzate (se non esistenti) le vie di accesso al cantiere per i mezzi d'opera, spianate e delimitate le aree destinate all'installazione del cantiere, demoliti e/o rimossi eventuali ostacoli, allacciate le utenze (elettriche, idriche) eventualmente disponibili in adiacenza. Successivamente si procede alla installazione dei containers con i sistemi di guida ed allo stoccaggio dei materiali; in particolare, vengono approvvigionate le tubazioni di linea, l'attrezzatura di trivellazione, le vasche per il sistema di produzione e ricircolo dei fanghi.
2. Preparazione del sistema di varo per il tiro-posa e montaggio delle colonne: vengono livellate le aree destinate ad accogliere la colonna di varo ed i binari; il profilo della pista deve avere generalmente andamento regolare e rettilineo, raccordando con opportuna pendenza il piano di fondo scavo di linea con quello di fondo tunnel. Ove non sia possibile, per ragioni di spazio, ricorrere al profilo rettilineo, si adottano profili con raggio di curvatura verticale superiore a quello ammissibile per la condotta da installare. Il movimento della colonna di varo lungo la pista avviene di norma su binari e carrelli ovvero mediante una serie di side-boom che sollevano e spostano la tubazione verso l'imbocco del tunnel.

Le colonne di tubi di linea vengono pre-assiemate in prossimità della pista di varo, quindi si procede al controllo delle saldature, alla sabbiatura ed al rivestimento dei giunti.

La lunghezza delle sezioni di colonna prefabbricate viene determinata in modo da limitare al minimo il numero di arresti in fase di tiro (e quindi il numero di saldature nella stessa fase), compatibilmente con gli spazi disponibili e con le forze di tiro prevedibili; ogni qualvolta possibile viene approntata un'unica colonna di varo.

3. Installazione del rig, delle apparecchiature di supporto e dell'impianto produzione fanghi: in genere il cantiere prevede una serie di attrezzature sul lato di postazione del rig ed un'altra serie sulla sponda opposta del fiume. Dal lato rig vengono infatti effettuate tutte le operazioni di trivellazione vera e propria, mentre la condotta viene inserita nel foro (tiro-posa) dalla sponda opposta.

Sul lato trivella vengono posizionati il rig, l'impianto bentonite, l'area di stoccaggio bentonite, le vasche raccolta (e/o riciclaggio) fanghi, il container officina, l'unità pompe, il container di manovra (spesso associato al rig sulla stessa torre di perforazione).

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 39 di 65	Rev. 0

Sul lato opposto, oltre all'assemblaggio della colonna ed alle operazioni conseguenti (controlli e collaudi), viene preparata una vasca di raccolta dei fanghi, un'eventuale camera di allagamento della condotta (per l'appesantimento della stessa in fase di tiro-posa), il generatore ed il sistema di trascinamento della colonna di varo.

4. Esecuzione della trivellazione e tiro-posa: viene eseguita secondo le fasi di foro pilota, alesaggio e tiro-posa della colonna descritte in precedenza. Il tiro-posa può avvenire in fasi distinte, con interruzioni per la saldatura (ed i relativi controlli e collaudi) delle colonne successive.
5. Ripristino dell'area di attraversamento: al termine dei lavori, effettuati i collegamenti della sezione in tunnel con la tubazione di linea alle due estremità della trivellazione, si procede alle operazioni di recupero ambientale dei luoghi. Smobilitato il cantiere di trivellazione, si passa ai movimenti terra per il ripristino morfologico del piano di campagna.

Eseguito lo smaltimento dei fanghi di perforazione, secondo le prescrizioni di legge e delle autorità competenti, vengono rinterrate le buche e la pista di varo; successivamente si effettua il livellamento superficiale, riportando lo strato di humus accantonato al momento dell'inizio lavori. Infine, in funzione della natura e della sensibilità ambientale dei luoghi, si procede ai ripristini mediante interventi di rinaturalizzazione per il completo recupero ambientale dell'area.

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 40 di 65	Rev. 0

PREPARAZIONE DELL'AREA DI CANTIERE ED OPERE PROVVISORIALI

Delimitazione delle aree ed accantonamento dell'humus
Eventuali scavi di pre-sbancamento per la postazione del Rig
Stoccaggio di materiali ed attrezzature

PREFABBRICAZIONE DELLA COLONNA DI VARO

(lato colonna di varo)

Livellamento delle aree di montaggio della colonna e dei binari
Sfilamento, accoppiamento e saldatura dei tubi
Controlli non distruttivi sulle saldature e rivestimento delle saldature
Precollaudo idraulico delle colonne di varo

PREPARAZIONE DELLA PISTA DI VARO (lato colonna di varo)

INSTALLAZIONE DELLE APPARECCHIATURE DI SCAVO

(lato rig)

rig di perforazione, cabina di comando, sistema di controllo direzionale
generatore, approvvigionamento tubo pilota, tubo guida ...

INSTALLAZIONE DELL'IMPIANTO PER LA PREPARAZIONE ED

IL RECUPERO DEI FANGHI BENTONITICI (sponda rig)

ESECUZIONE DEL FORO PILOTA

Installazione dell'asta pilota e del tubo-guida
Verifiche sulla conformità geometrica con il profilo di progetto

ESECUZIONE DEGLI ALESAGGI

TIRO-POSA DELLA CONDOTTA

Operazioni di tiro-posa
Saldature e controlli, giunti di rivestimento con la "linea"

RIPRISTINO DELL'AREA DI ATTRAVERSAMENTO

Smobilitazione cantiere
Ripristino morfologico e ambientale delle aree in prossimità delle postazioni

Fig. 7.8 Sequenza delle fasi operative per la Trivellazione Orizzontale Controllata

7.4 L'attrezzatura di perforazione e di tiro-posa

L'impianto di trivellazione è costituito dai seguenti componenti (fig. 7.9):

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 42 di 65	Rev. 0

maggiori dimensioni, mentre quella a destra si riferisce ai modelli di minore potenza.

AMERICAN AUGERS		VERMEER MANUFACTURING COMPANY	
Modello	Tiro massimo (kN)	Modello	Tiro massimo (kN)
DD-500	22.600	D-24	810÷1070
DD-250	10.700	D-14	410÷650
DD-140	6.300	D-10	330÷450
DD-70	3.200	D-7	320
DD-40	1.800	D-6	300
DD-15	650	D-4	200

Fig. 7.10 Valori di riferimento della potenza di tiro del Rig

Di seguito vengono fornite alcune indicazioni relativamente agli elementi di cui sopra, tralasciando quelli che non presentano particolarità rilevanti.

Rig

Il rig è costituita da una torre di perforazione posta su un piano inclinato (slittone) la cui inclinazione massima è di 18°. L'attrezzatura è composta da un piano inclinato su cui possono scorrere (per traslazione), con un sistema a cremagliera od a fune, il carrello di perforazione ed il sistema motore per la rotazione del mandrino.

Le aste di perforazione vengono installate sul mandrino e il loro montaggio e smontaggio viene eseguito su morse idrauliche

Cabina di comando

La cabina di comando, assente nei piccoli impianti in cui è sufficiente il sistema di guida e controllo predisposto sul rig, è invece elemento a sé stante nelle grandi attrezzature; in essa sono contenuti i dispositivi necessari per manovrare il rig e gli altri macchinari, oltre ai sistemi computerizzati di guida e controllo direzionale della trivellazione.

Sistema di controllo direzionale

Le informazioni circa alla posizione della testa di perforazione sono ottenute, come detto in precedenza, mediante una sonda direzionale posta all'interno dell'asta pilota in prossimità della testa stessa.

La sonda è sensibile all'orientamento rispetto al campo magnetico terrestre e fornisce l'inclinazione e l'azimut della testa di perforazione. Tali valori, unitamente a quello della distanza perforata, permettono il calcolo della posizione spaziale della trivella.

Il sistema di rilevamento è fornito da compagnie specializzate nel settore e prevede in generale la trasmissione continua dei dati in superficie via cavo; un altro sistema di trasmissione, basato sul trasferimento discontinuo del segnale via radio, è allo stato attuale sempre meno utilizzato.

La complessità di utilizzo del sistema via cavo deriva dalla necessità di introdurre e giuntare il cavo all'interno del tubo guida via via che le aste vengono giuntate in corrispondenza del rig. Tuttavia, la disponibilità del cavo permette l'acquisizione su software dei dati in continuo; conseguentemente, è possibile rilevare istantaneamente la posizione della sonda ed effettuare le eventuali correzioni di direzione in tempo reale.

Tra le compagnie che usano la trasmissione via cavo, ve ne sono alcune che hanno sviluppato sistemi per minimizzare gli errori dovuti alle interferenze magnetiche. Uno di questi è ad esempio basato su un sistema giroscopico elettronico; un altro prevede invece la creazione di due campi magnetici artificiali di intensità nota, equidistanti

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 43 di 65	Rev. 0

dall'asse di progetto, che vengono rilevati dalla sonda permettendo di determinare con estrema precisione (mediante il confronto tra le due rilevazioni) il profilo effettivo della trivellazione.

Generatore di energia e unità di approvvigionamento idrico

Generalmente costituita da una serie di motori elettrici o a scoppio che producono energia. L'unità di produzione dell'energia viene utilizzata per l'alimentazione dei motori di rotazione e traslazione delle aste, per l'impianto fanghi (miscelazione e pompaggio) e per i sistemi di controllo.

L'unità di approvvigionamento idrico è invece costituita da una pompa sommersa ubicata generalmente nel corso d'acqua che tramite dei tubi flessibili invia l'acqua necessaria alla preparazione dei fanghi alla vasca di miscelazione.

Unità di produzione fanghi

Durante tutte le fasi di trivellazione, pre-alesaggio e tiro-posa viene utilizzato un fango di perforazione, opportunamente dosato in funzione del tipo di terreno. Generalmente vengono utilizzate miscele bentonitiche, a base di polimeri oppure miscele dei primi due componenti.

Tali miscele hanno molteplici funzioni, le cui principali sono:

- orientare la lancia a getti o il motore a fanghi;
- "spiazzare" il terreno di trivellazione;
- ridurre gli attriti durante le fasi di scavo;
- consentire il trasporto in superficie dei materiali di risulta in sospensione (cuttings);
- mantenere le condizioni di stabilità del foro;
- ridurre gli attriti tra la condotta ed il terreno durante il tiro-posa.

I fanghi vengono preparati in una apposita unità di miscelazione ed immessi nel circuito tramite pompe sommerse. I fanghi di risulta, stoccati in vasche di sedimentazione, possono essere riciclati e riutilizzati nelle fasi successive.

E' costituita da una o più vasche in cui, per mezzo di tramogge e miscelatori, viene preparata la miscela (generalmente costituita da acqua e bentonite, eventualmente aggiunta di polimeri biodegradabili) utilizzata per la perforazione.

Il fango, prelevato mediante pompe sommerse ed inviato alla trivella, può essere in generale (soprattutto negli impianti di maggiori dimensioni) reimpresso in circolo e riciclato; quest'ultima operazione viene eseguita mediante appositi sistemi di filtraggio e vagliatura.

Aste di tubo pilota

Le aste pilota comunemente utilizzate sono normali aste di perforazione da 2" 7/8. In dipendenza del sistema direzionale impiegato le aste possono essere dotate di giunti conici o cilindrici.

Le aste poste immediatamente dietro alla trivella sono costituite da materiale amagnetico, per non influenzare il campo utilizzato dal sistema di controllo direzionale. Sono tuttavia disponibili aste di maggiore diametro, da circa 5" 13/7 e oltre, per l'impiego in terreni particolarmente compatti e in roccia tenera.

Tube guida

Il tubo guida è invece costituito da aste di perforazione di diametro standard di 5" o superiore, dimensionate comunque in modo da sopportare gli sforzi di tiro previsti.

In caso risulta necessario sopportare sforzi di tiro particolarmente elevati, oppure

	PROGETTISTA: 	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 44 di 65	Rev. 0

servano grosse quantità di bentonite, si possono utilizzare aste da 7" o superiori.

Trivella

Per la trivellazione del foro pilota vengono utilizzate due tipi di trivelle, una a getti ed una a motore di fanghi.

A trivella a getti è un'asta di trivellazione con due fori in testa, uno centrale e l'altro eccentrico. La bentonite in pressione fuoriuscendo dai fori spiazza il terreno.

La trivella con motore a fanghi è costituita da una turbina, azionata dai fanghi in pressione, che imprime una rotazione ad uno scalpello posto in testa. La tipologia di scalpello viene scelto in funzione dei terreni da attraversare. La trivella si completa con la scarpa direzionale, che è un ringrosso eccentrico dell'asta di perforazione posizionato a circa 1 metro dalla testa.

Attrezzature di alesaggio e tiro posa

Devono essere conformi alle specificità dell'intervento (lunghezza, caratteristiche dei terreni da attraversare).

Alesatore

L'alesatore normalmente utilizzato è formato da una corona dentata su cui sono posti da sei a nove ugelli per l'uscita dei fanghi e una quantità variabile di taglienti. Detti taglienti generalmente sono posizionati a gruppi di 3 o 5 e possono avere diverse caratteristiche meccaniche.

Fresa a barilottolo (barrel reamer)

E' costituita da un cilindro bombato e dentato alle estremità, completo di ugelli. Questo alesatore è molto utile se usato unitamente al precedente, perché consente di mantenere sempre centrata la fresa rispetto al foro.

Snodo (swivel)

Ha la funzione di evitare che la condotta ruoti durante l'operazione di tiro-posa. Viene interposta tra la fresa e la condotta.

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 45 di 65	Rev. 0

8 ANALISI COMPATIBILITA' IDRAULICA

8.1 Interferenze con “Aree a Rischio di Esondazione” individuate nel PAI

La Regione Marche, nell'ambito del “Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico dei bacini di rilievo regionale (PAI)”, ha redatto le tavole denominate “Carta del Rischio Idrogeologico”, nelle quali vengono individuate le “Aree a Rischio frana” e le “Aree a Rischio di Esondazione” presenti sul territorio di pertinenza.

A tal proposito nella figura seguente si riporta uno stralcio della “Carta del Rischio Idrogeologico” (riportato in scala 1:10.000) relativo all'area d'attraversamento in esame, per l'individuazione delle interferenze con le “Aree a Rischio di Esondazione”.

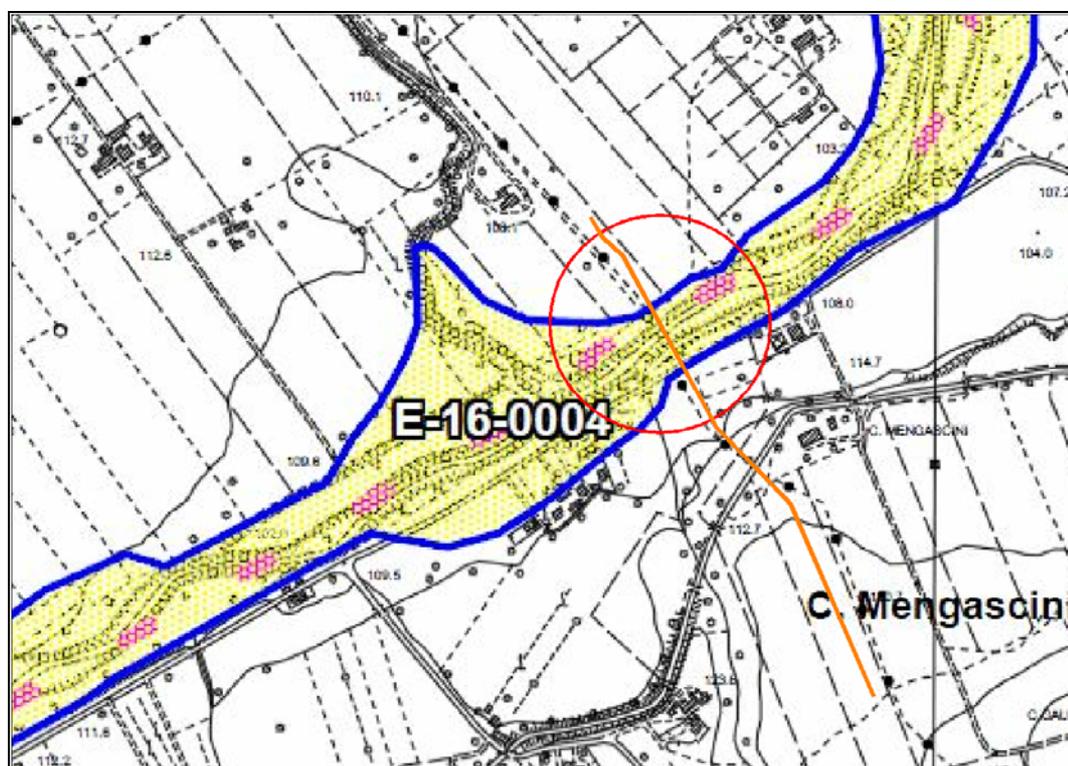


Fig.8.1: Ambito d'Attraversamento- Interferenze con “Aree a Rischio di Esondazione”

Dall'esame della figura precedente, si rileva che l'ambito di attraversamento interferisce con un'area R2, ossia con un'area inondabile a cui è associato un livello di rischio “medio” (codice area E-16-0004). A tal proposito si pone in evidenza che, ai sensi dell'art.8 delle Norme di Attuazione, tutte le aree perimetrare sono comunque associate ad un unico livello di pericolosità “elevata – molto elevata”.

Gli interventi consentiti nelle suddette aree sono regolamentati negli articoli di cui al titolo II “Piano per l'Assetto Idraulico” delle Norme di Attuazione del Piano; inoltre gli stessi interventi devono essere comunque conformi alle finalità di cui all'Allegato “A” delle N.A. denominato “Indirizzi d'uso del territorio per la salvaguardia dai fenomeni di esondazione”.

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 46 di 65	Rev. 0

8.2 Analisi di compatibilità

Il metanodotto in progetto rappresenta un'infrastruttura lineare riferita a servizi di interesse pubblico, non altrimenti localizzabile. In tal senso, in riferimento alle norme di attuazione del Piano, risulta tra le tipologie di opere per le quali è consentito l'interferenza con aree classificate a rischio di esondazione.

Inoltre entrando nello specifico (si vedano gli elaborati grafici di progetto) si evidenzia che:

- L'attraversamento fluviale prevede una profondità di posa della condotta di sufficiente garanzia nei confronti d'eventuali fenomeni di erosione di fondo (anche localizzati e/o temporanei) che si possono produrre anche in concomitanza di piene con tempo di ritorno di duecento anni, cosicché é da escludere qualsiasi interferenza tra tubazione e flusso della corrente;
- La configurazione morfologica d'alveo verrà mantenuta inalterata nei confronti della situazione originaria. Essendo i lavori previsti in trivellazione non si prevedono lavori in superficie nell'ambito della regione fluviale;
- La tecnica costruttiva di posa della condotta (in trivellazione), unitamente alla geometria in progetto (elevate coperture in subalveo), consentono inoltre di escludere effettive interferenze anche nella fase costruttiva dell'opera;
- La configurazione geometrica del pipeline nell'ambito di intervento (quote in subalveo e profili di risalita) 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), 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 d'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'esondazione e pertanto non sottrae capacità d'invaso.
3. *Modifiche indotte sull'assetto morfologico planimetrico ed altimetrico dell'alveo*
L'opera in progetto non induce alcuna modifica all'assetto morfologico dell'alveo, sia dal punto di vista planimetrico che altimetrico, essendo questa localizzata in subalveo ad una profondità superiore ad ogni prevedibile fenomeno d'approfondimento.
4. *Interazioni con le opere di difesa idrauliche preesistenti*
La realizzazione dei lavori mediante tecniche trenchless consente di evitare di interrompere la continuità tipologica e funzionale delle strutture eventualmente presenti in superficie;
5. *Modifiche indotte sulle caratteristiche naturali e paesaggistiche della regione fluviale*

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 47 di 65	Rev. 0

Essendo l'opera del tutto interrata, nonché essendo prevista la metodologia costruttiva in trivellazione, non saranno introdotte alterazioni al contesto naturale della regione fluviale.

Alla luce di quanto sopra affermato si ritiene che le specificità dell'opera (infrastruttura interrata) e le scelte progettuali inerenti alla metodologia costruttiva ed alla geometria della condotta, possano essere ritenute congruenti con le disposizioni contenute nelle Norme di Attuazione.

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 48 di 65	Rev. 0

9 CONCLUSIONI

Nell'ambito del progetto generale del metanodotto *Snam Rete Gas* "Recanati - Foligno" DN 1050 (42") è prevista anche la realizzazione di un metanodotto denominato "Rifacimento Allacciamento al Comune di Macerata", caratterizzato da un diametro nominale DN 150 (6") e da una pressione d'esercizio di 75 bar.

La suddetta linea di Allacciamento in progetto (6") si stacca dal metanodotto principale in progetto (48") in corrispondenza dell'impianto PID1 n.2, previsto nei pressi della località "C.Lazzenini" di Treia, ed intercetta il fiume Potenza, immediatamente a valle della confluenza da sinistra del Rio Chiaro.

L'ambito d'attraversamento in esame interessa il territorio comunale di Treia in sinistra idrografica e di Macerata in destra idrografica.

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, geotecnico ed idraulico.

Alla luce dei risultati conseguiti, per il superamento in subalveo del corso d'acqua in esame è stata prevista l'adozione di un sistema di attraversamento in trenchless, mediante la metodologia esecutiva della *Trivellazione Orizzontale Controllata (TOC)*, ovvero *Horizontal Directional Drilling*.

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

La geometria della trivellazione è stata configurata in modo da soddisfare ai vincoli attinenti sia l'aspetto idraulico del corso d'acqua che quello costruttivo della condotta, assicurando adeguate profondità al di sotto dell'alveo e dei manufatti a terra e rispettando allo stesso tempo, i raggi di curvatura minimi consentiti alla tubazione ed alla trivellazione stessa.

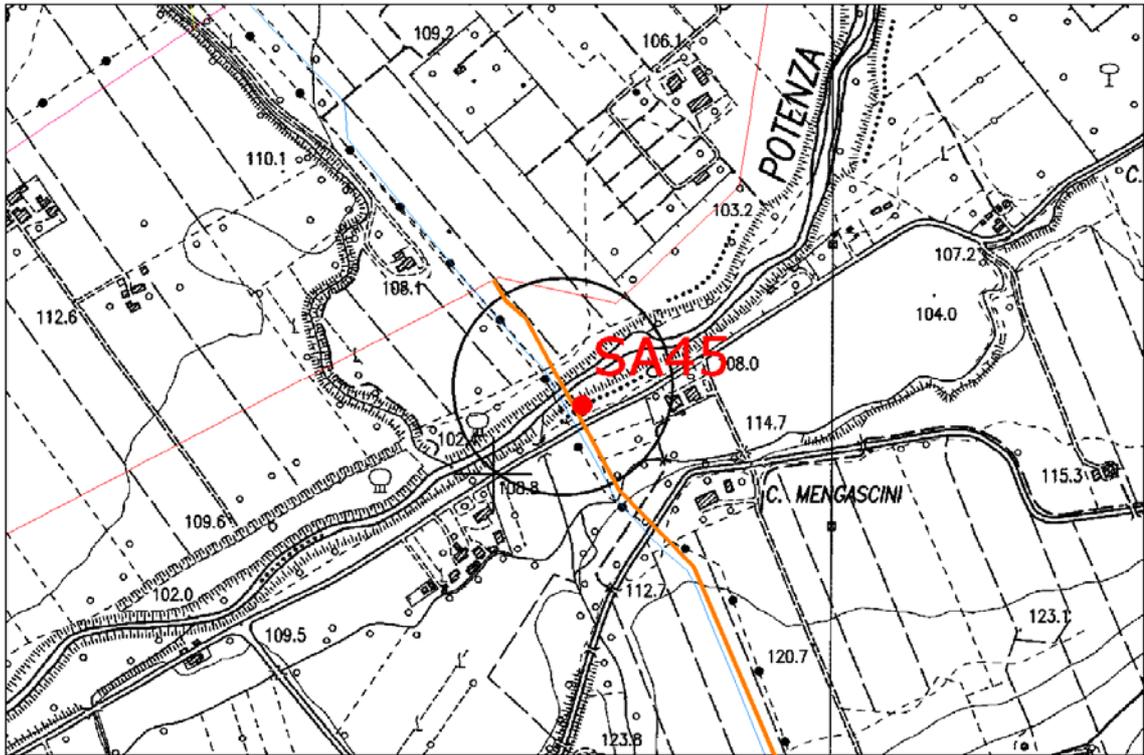
L'adozione ed il rispetto dei criteri e dei vincoli suddetti, sia quelli propri del sistema di trivellazione che quelli più strettamente dipendenti dalla configurazione geometrica della tubazione, offrono pertanto ottime garanzie della stabilità dell'insieme, a breve ed a lungo termine. Pertanto si può affermare che la tecnica operativa individuata e la geometria del tunnel garantiscono i necessari livelli di sicurezza sia del gasdotto che delle strutture sovrastanti, sia durante le fasi di realizzazione che a lungo termine.

Nell'analisi delle interferenze tra il metanodotto in progetto con le aree a rischio di esondazione individuate nel PAI, è stato rilevato che l'ambito di attraversamento interferisce con un'area R2, ossia con un'area inondabile a cui è associato un livello di rischio "medio".

A tal proposito è stato evidenziato che l'intervento di progetto (essendo realizzato in trivellazione) non introduce alterazioni al deflusso della corrente neanche nella fase costruttiva. Pertanto si ritiene che le specificità dell'opera (infrastruttura di pubblico interesse, completamente interrata) e le scelte progettuali inerenti lo specifico attraversamento possano essere ritenute congruenti con le disposizioni contenute nelle Norme di Piano.

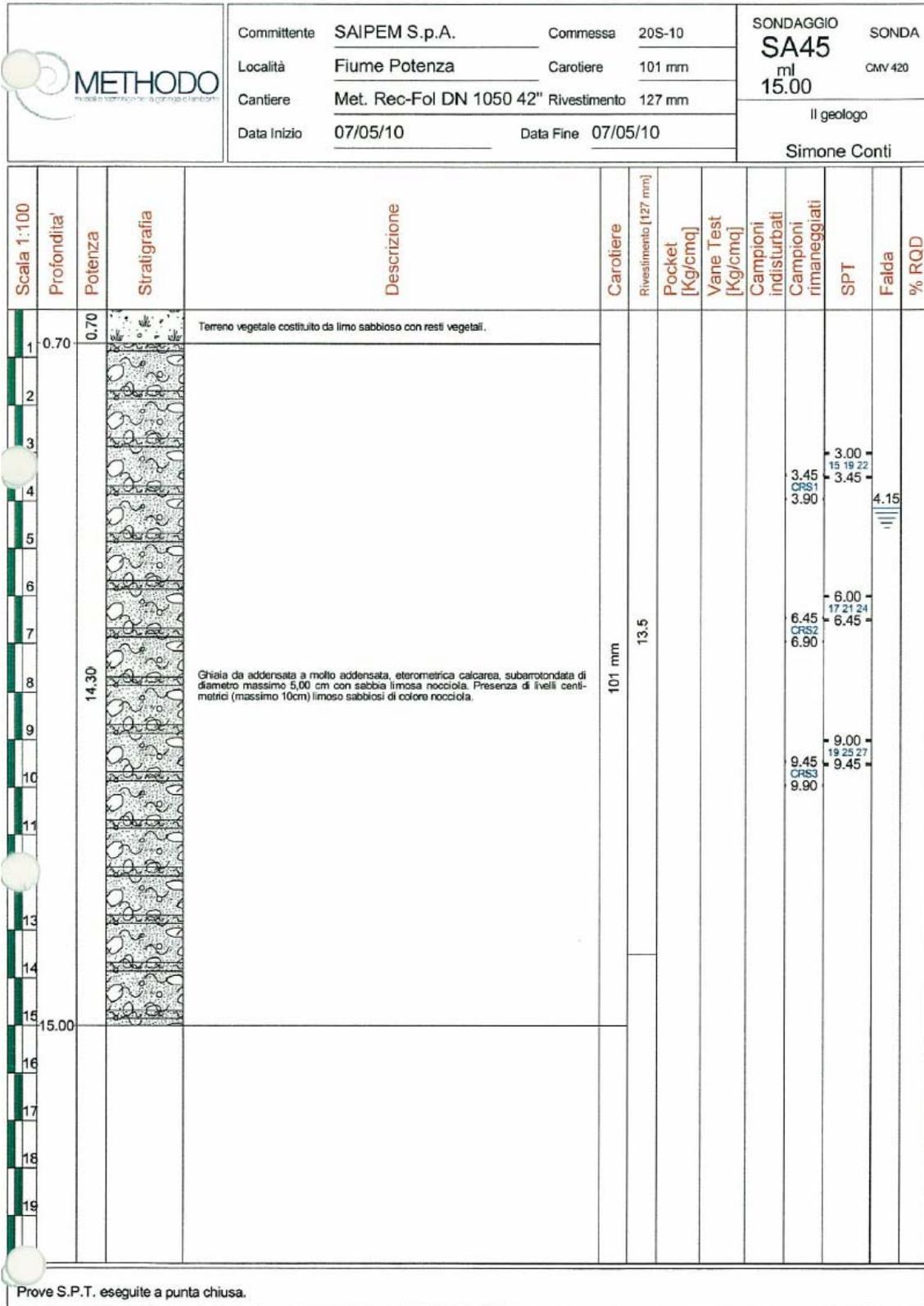
	PROGETTISTA: 	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 49 di 65	Rev. 0

APPENDICE I: SONDAGGI – UBICAZIONE E COLONNE STRATIGRAFICHE



Planimetria in scala 1:10000, con ubicazione sondaggi

 snam rete gas	PROGETTISTA: 	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 50 di 65	Rev. 0



	PROGETTISTA: 	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 51 di 65	Rev. 0

APPENDICE II: PROVE DEL LAB. GEOTECNICO – TAVOLE DI SINTESI

PANGEA

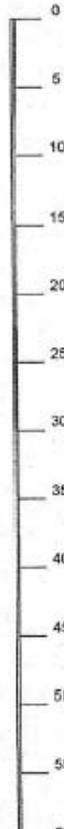
Rif. 10014/930
Pag. 175 di 234

APERTURA CAMPIONE

COMMITTENTE: PRG SAIPEM-FANO **CANTIERE:** MET. RECANATI-FOLIGNO
SONDAGGIO: SA45 **CAMPIONE:** CRS1 **PROFONDITÀ:** 3,45+3,90 m

DATA	TIPO di CAMPIONE	CARATTERISTICHE FUSTELLA		
Ac: 04/08/2010 Ap: 21/09/2010	INDISTURBATO <input type="checkbox"/> RIMANEGGIATO <input checked="" type="checkbox"/>	DIAMETRO cm <input type="checkbox"/> LUNGHEZZA cm <input type="checkbox"/>	PVC <input type="checkbox"/> INOX <input type="checkbox"/>	INTEGRA <input type="checkbox"/> ACCIDENTATA <input type="checkbox"/>

Programma prove:	Apertura e descrizione, Granulometria.
-------------------------	--

CAMPIONE	POCKET (kNm ²)	PROVE	VALORI	DESCRIZIONE CAMPIONE																
				Ghiaia con sabbia limosa di colore bianco giallo																
				<table border="1"> <thead> <tr> <th>%</th> <th>USCS</th> <th>AGI</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CIOTTOLI</td> <td>0,000</td> <td></td> </tr> <tr> <td>GHIAIA</td> <td>53,182</td> <td></td> </tr> <tr> <td>SABBIA</td> <td>32,847</td> <td></td> </tr> <tr> <td>LIMO</td> <td rowspan="2">13,971</td> <td></td> </tr> <tr> <td>ARGILLA</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	%	USCS	AGI	CIOTTOLI	0,000		GHIAIA	53,182		SABBIA	32,847		LIMO	13,971		ARGILLA
%	USCS	AGI																		
CIOTTOLI	0,000																			
GHIAIA	53,182																			
SABBIA	32,847																			
LIMO	13,971																			
ARGILLA																				
				USCS: GM * CNR UNI 10006:																
				Colore Munsell: 2,5Y 8/3																

NOTE	* STIMATO: LIMITI DI ATTERBERG NON RICHIESTI
-------------	--

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 52 di 65	Rev. 0

PANGEA

Rif. 10014/930
Pag. 178 di 234

APERTURA CAMPIONE

COMMITTENTE: PRG SAIPEM-FANO **CANTIERE:** MET. RECANATI-FOLIGNO
SONDAGGIO: SA45 **CAMPIONE:** CRS2 **PROFONDITÀ:** 6,45+6,90 m

DATA	TIPO di CAMPIONE	CARATTERISTICHE FUSTELLA		
Ac: 04/09/2010 Ap: 21/09/2010	INDISTURBATO <input type="checkbox"/> RIMANEGGIATO <input checked="" type="checkbox"/>	DIAMETRO cm <input type="checkbox"/> LUNGHEZZA cm <input type="checkbox"/>	PVC <input type="checkbox"/> INOX <input type="checkbox"/>	INTEGRA <input type="checkbox"/> ACCIDENTATA <input type="checkbox"/>

Programma prove:	Apertura e descrizione, Granulometria.
-------------------------	--

CAMPIONE	POCKET (kN/m ²)	PROVE	VALORI	DESCRIZIONE CAMPIONE																	
				Ghiaia poco assortita con sabbia limosa di colore marrone chiaro																	
				<table border="1"> <thead> <tr> <th>%</th> <th>USCS</th> <th>AGI</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CIOTTOLI</td> <td>0,000</td> <td></td> </tr> <tr> <td>GHIAIA</td> <td>62,417</td> <td></td> </tr> <tr> <td>SABBIA</td> <td>26,139</td> <td></td> </tr> <tr> <td>LIMO</td> <td rowspan="2">11,444</td> <td></td> </tr> <tr> <td>ARGILLA</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	%	USCS	AGI	CIOTTOLI	0,000		GHIAIA	62,417		SABBIA	26,139		LIMO	11,444		ARGILLA	
%	USCS	AGI																			
CIOTTOLI	0,000																				
GHIAIA	62,417																				
SABBIA	26,139																				
LIMO	11,444																				
ARGILLA																					
				USCS: GP-GM CNR UNI 10006:																	
				Colore Munsell: 2,5Y 7/3																	

NOTE	
-------------	--

 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 53 di 65	Rev. 0

PANGEA

Rif. 10014/930
Pag. 181 di 234

APERTURA CAMPIONE

COMMITTENTE: PRG SAIPEM-FANO **CANTIERE:** MET. RECANATI-FOLIGNO
SONDAGGIO: SA45 **CAMPIONE:** CRS3 **PROFONDITÀ:** 9,45+9,90 m

DATA	TIPO di CAMPIONE	CARATTERISTICHE FUSTELLA			
Ac: 04/08/2010 Ap: 22/06/2010	INDISTURBATO <input type="checkbox"/> RIMANEGGIATO <input checked="" type="checkbox"/>	DIAMETRO cm <input type="checkbox"/> LUNGHEZZA cm <input type="checkbox"/>	PVC <input type="checkbox"/> INOX <input type="checkbox"/>	INTEGRA <input type="checkbox"/> ACCIDENTATA <input type="checkbox"/>	

Programma prove:	Apertura e descrizione, Granulometria.
-------------------------	--

CAMPIONE	POCKET (kN/m ²)	PROVE	VALORI	DESCRIZIONE CAMPIONE																	
				<i>Ghiaia con sabbia limosa di colore giallo-bianco</i>																	
				<table border="1"> <thead> <tr> <th>%</th> <th>USCS</th> <th>AGI</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>CIOTTOLI</td> <td>0,000</td> <td></td> </tr> <tr> <td>GHIAIA</td> <td>57,033</td> <td></td> </tr> <tr> <td>SABBIA</td> <td>32,312</td> <td></td> </tr> <tr> <td>LIMO</td> <td rowspan="2">10,655</td> <td></td> </tr> <tr> <td>ARGILLA</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>	%	USCS	AGI	CIOTTOLI	0,000		GHIAIA	57,033		SABBIA	32,312		LIMO	10,655		ARGILLA	
%	USCS	AGI																			
CIOTTOLI	0,000																				
GHIAIA	57,033																				
SABBIA	32,312																				
LIMO	10,655																				
ARGILLA																					
				USCS: GW-GM * CNR UNI 10008:																	
				Colore Munsell: 2,5Y 8/2																	

NOTE	* STIMATO: LIMITI DI ATTERBERG NON RICHIESTI
-------------	---

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 54 di 65	Rev. 0

APPENDICE III: ELAB. STATISTICA DATI DI PIOGGIA STAZ. “PIORACO” E “RECANATI”

Stazione di Pioraco

DATI PLUVIOGRAFICI					
<small>(Precipitazioni di massima intensità registrate al pluviografo su 1, 3, 6, 12, 24 ore consecutive)</small>					
Stazione di :		Pioraco			
Quota (m s.l.m.) :		Numero di osservazioni : N = 38			
Anno	t = 1 ora	t = 3 ore	t = 6 ore	t = 12 ore	t = 24 ore
	h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)
1970	22	39.4	39.4	50.2	57.2
1971	19.4	29.6	37.6	59.2	64.4
1972	23.2	24.6	38.6	38.6	45
1973	14	19.8	34	49.4	82.6
1974	38.6	48.8	57.2	60.2	60.2
1975	17	30	30.8	38	64
1976	31	35	42.8	50.8	65.6
1977	15.4	23.2	37.4	46.4	53.4
1978	22.6	27.2	39	49	59.2
1979	35	46.2	46.2	46.2	56.4
1980	22.8	24	45	45	64.2
1981	20.8	27	37	40.4	40.4
1982	30	62	65	88.2	109.6
1983	25.8	35	42.6	44.8	49.8
1984	28.4	34.2	48	54.6	63
1985	22	34.4	34.6	34.8	39.4
1986	26	29.4	30.6	37	60
1987	31	48.8	57.4	57.4	62.4
1988	32	32	34.4	46.2	52.6
1989	23.2	33.4	36.4	44	49.6
1990	16	29.6	48	59.4	82
1991	25.4	35	56.8	80.2	82.6
1992	20.6	30	37.8	47.2	61.4
1993	12.2	20.6	33.6	42.8	51.6
1994	37	45.4	46.6	58.6	61.8
1995	9.8	16.2	19	30.8	31.4
1996	21.2	34.6	44.4	57.4	70.8
1997	18	28	39.2	62.6	78
1998	21.8	28.4	36	52	76.2
1999	37	45.8	49.2	63.2	81
2000	27.6	43.2	53.4	53.4	54.6
2001	19.8	29.8	42.6	53.4	68.6
2002	19.8	37	44.6	53.8	63.2
2003	57.6	58	60.2	81.8	86.4
2004	20	45.8	51	51.2	62.2
2005	28.4	34.4	49.6	53.2	58.6
2006	27.6	31.4	35.8	58.8	58.8
2007	26.6	32.6	32.6	37.4	38.6

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 55 di 65	Rev. 0

ELABORAZIONE STATISTICA DEI DATI PLUVIOMETRICI (metodo di Gumbel)

Stazione di Pioraco

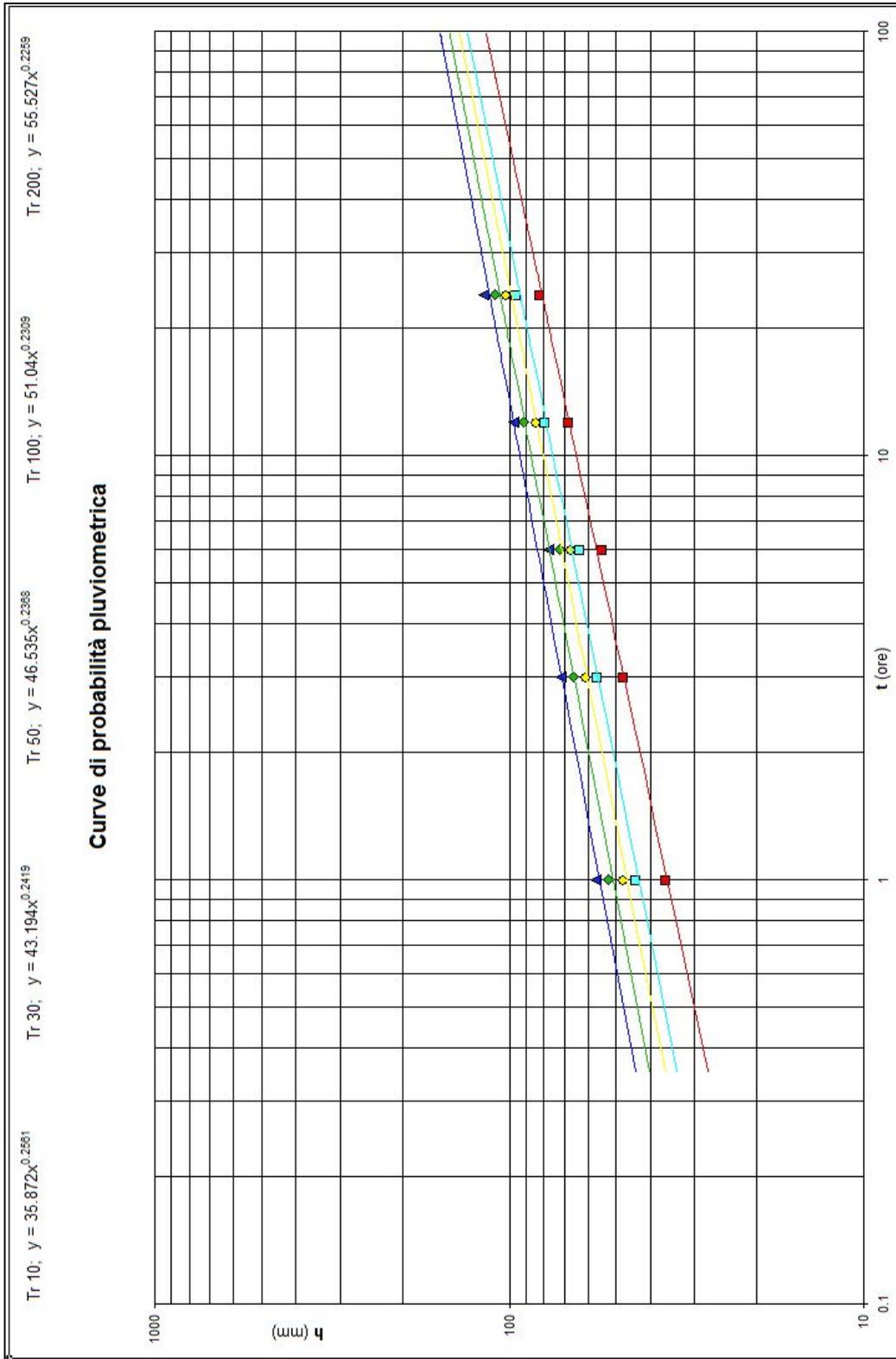
Tabella 1 - Valori per ciascuna durata t , della media $\mu(h_t)$, dello scarto quadratico medio $\sigma(h_t)$ e dei due parametri α_t e u_t della legge di Gumbel (prima legge del valore estremo "EV1")						
N =	38	t = 1 ora	t = 3 ore	t = 6 ore	t = 12 ore	t = 24 ore
$\mu(h_t)$		24.91	34.47	42.48	52.04	62.28
$\sigma(h_t)$		8.75	10.08	9.50	12.36	15.20
$\alpha_t = 1,283/\sigma(h_t)$		0.15	0.13	0.14	0.10	0.08
$U_t = \mu(h_t) - 0,45\sigma(h_t)$		20.97	29.93	38.21	46.48	55.45

Stazione di Pioraco

Tabella 3 -			
Tr	LEGGE DI PIOGGIA $h = a \times t^n$		
10 anni	→	$h=35.872xt^{0.2561}$	
30 anni	→	$h=43.194xt^{0.2419}$	
50 anni	→	$h=46.535xt^{0.2368}$	
100 anni	→	$h=51.04xt^{0.2309}$	
200 anni	→	$h=55.527xt^{0.2259}$	

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 56 di 65	Rev. 0

Stazione di Pioraco



 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 57 di 65	Rev. 0

Stazione di Recanati

DATI PLUVIOGRAFICI					
(Precipitazioni di massima intensità registrate al pluviografo su 1, 3, 6, 12, 24 ore consecutive)					
Stazione di :		Recanati			
Quota (m s.l.m.) :		Numero di osservazioni : N = 34			
Anno	t = 1 ora	t = 3 ore	t = 6 ore	t = 12 ore	t = 24 ore
	h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)
1971	31.2	31.4	31.4	32	43
1972	20.6	25	29.8	46.4	66
1973	21	24	37.2	54.8	64
1974	37.2	51.2	54.2	63.4	64.2
1975	30	37.6	37.6	42.8	44
1976	22.8	33.8	41	55.6	78.2
1977	18.4	21.2	34	48.6	54.6
1981	30	62	87	89	96.8
1982	27	45	77	100.8	114.8
1983	15	16.6	16.6	19.6	19.6
1984	27	27	31.6	32.2	55.4
1985	28	38	49.4	63.4	75.2
1986	35	56	85.6	95	126
1987	31.4	47	47.6	49.2	61.4
1988	37.6	44.2	44.2	51.8	60.8
1989	16	31.6	32.6	36.4	51.8
1990	26.2	40.2	42.6	43.6	57.4
1991	27.4	54.2	70.6	89.4	91.6
1992	13	22.6	27	37.8	53.8
1993	10	21.2	29.8	32.2	27.8
1994	10.6	18.4	26.4	39.6	53.2
1995	14	23.8	35.4	54.6	76
1996	25	36.8	47.6	56	98
1997	17.2	24	34.2	48.8	64
1998	24.6	27.6	46.2	76.4	106.2
1999	13.2	22.2	29.6	54.2	86.6
2000	14.8	20.8	27.5	35	35.4
2001	11.4	16.8	19	28.6	28.8
2002	23.6	30.4	33.6	33.8	33.8
2003	8.2	13.8	16.2	21.2	25
2004	30.6	41.8	57.8	58.4	58.4
2005	38.4	38.8	54.6	65.4	68
2006	68.8	106	112.8	129	138.2
2007	23.8	39.4	39.8	40.8	43

	PROGETTISTA: 	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 58 di 65	Rev. 0

ELABORAZIONE STATISTICA DEI DATI PLUVIOMETRICI (metodo di Gumbel)

Stazione di Recanati

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 =	34	t = 1 ora	t = 3 ore	t = 6 ore	t = 12 ore	t = 24 ore
$\mu(h_t)$		24.38	35.01	43.75	53.70	65.32
$\sigma(h_t)$		11.57	17.60	21.42	24.15	28.78
$\alpha_t = 1,283/\sigma(h_t)$		0.11	0.07	0.06	0.05	0.04
$u_t = \mu(h_t) - 0,45\sigma(h_t)$		19.18	27.09	34.11	42.83	52.37

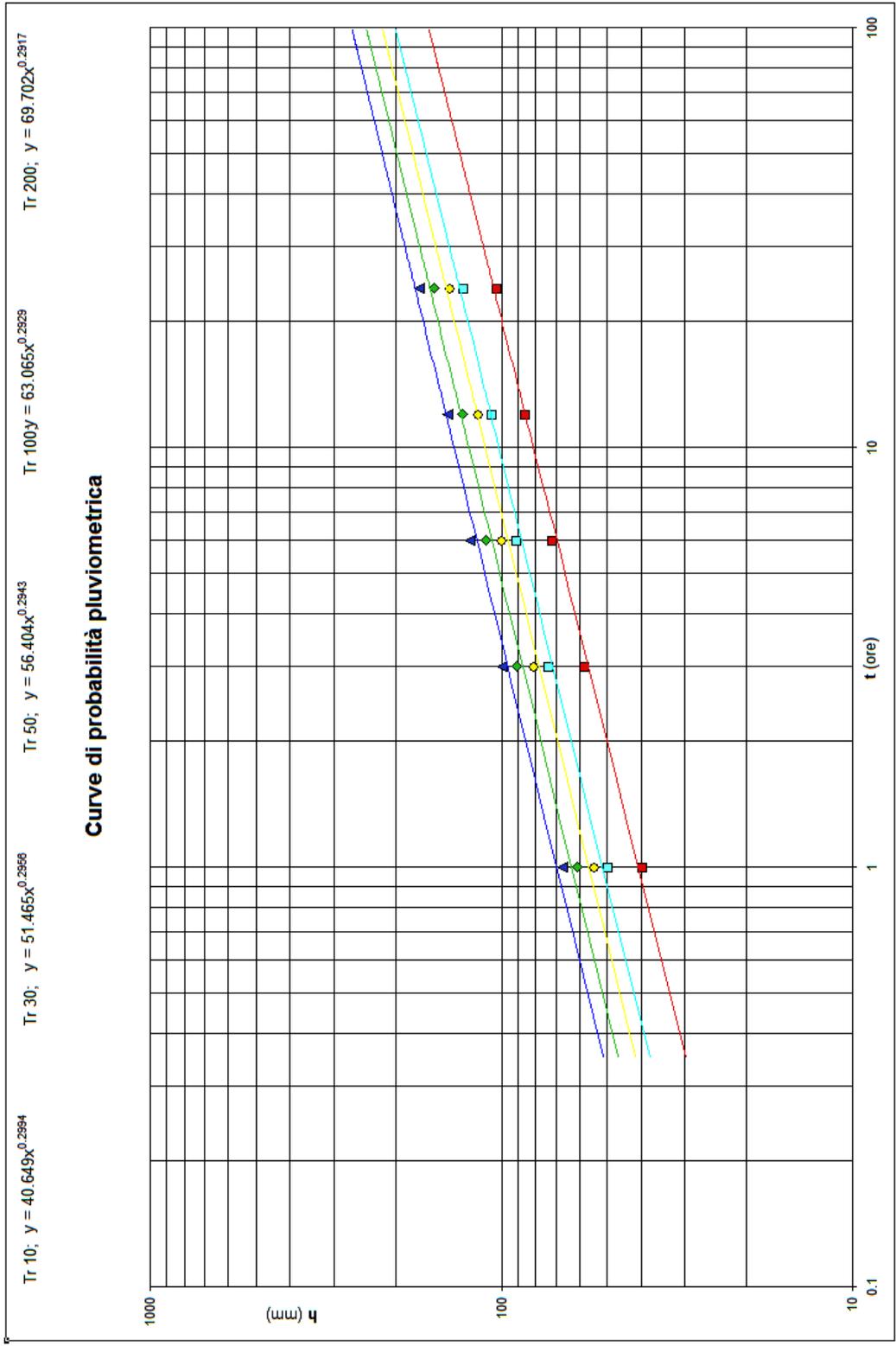
Stazione di Recanati

Tabella 3 -

Tr	LEGGE DI PIOGGIA $h = a \times t^n$	
10 anni	→	$h=40.649xt^{0.2994}$
30 anni	→	$h=51.465xt^{0.2956}$
50 anni	→	$h=56.404xt^{0.2943}$
100 anni	→	$h=63.065xt^{0.2929}$
200 anni	→	$h=69.702xt^{0.2917}$

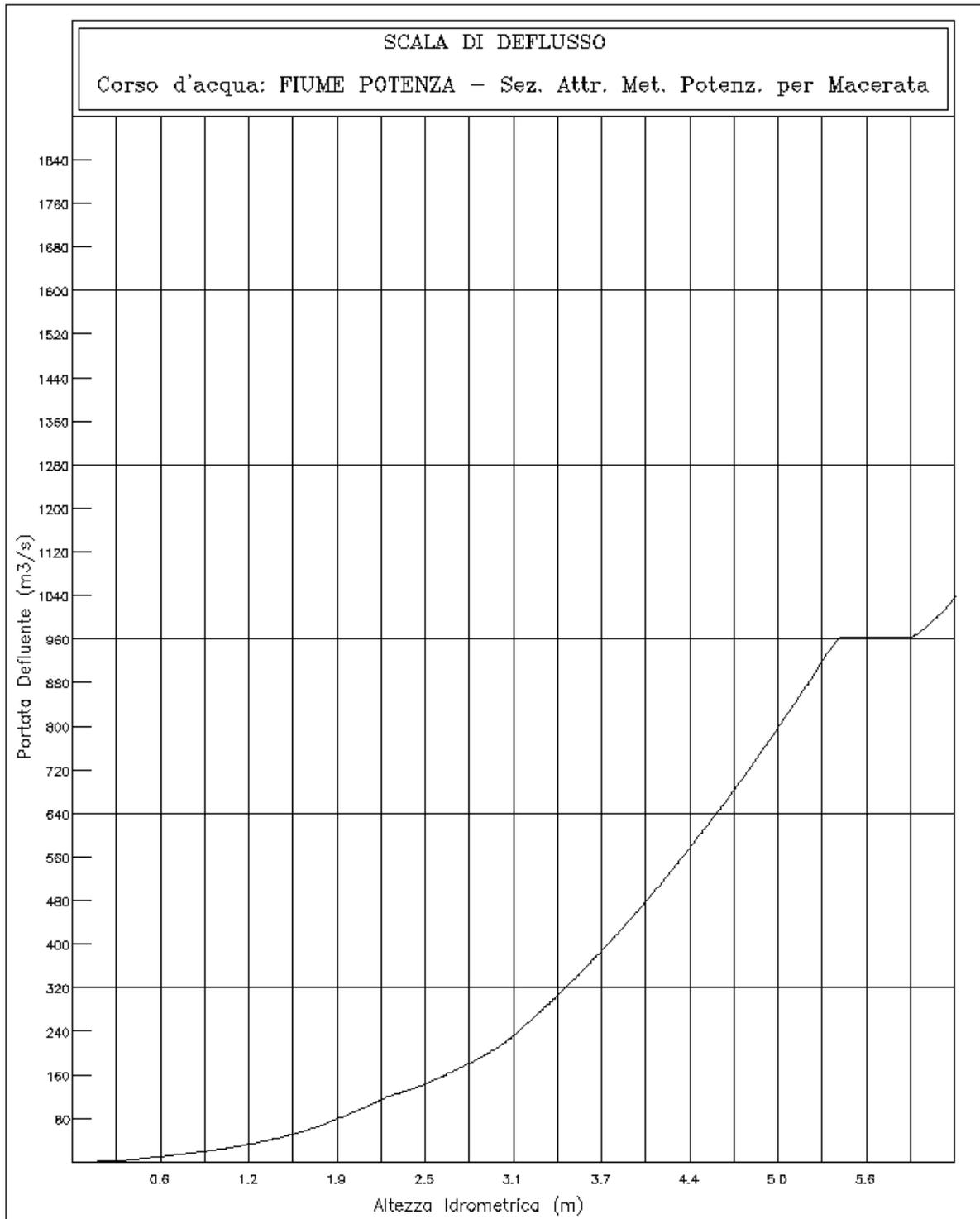
 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 59 di 65	Rev. 0

Stazione di Recanati

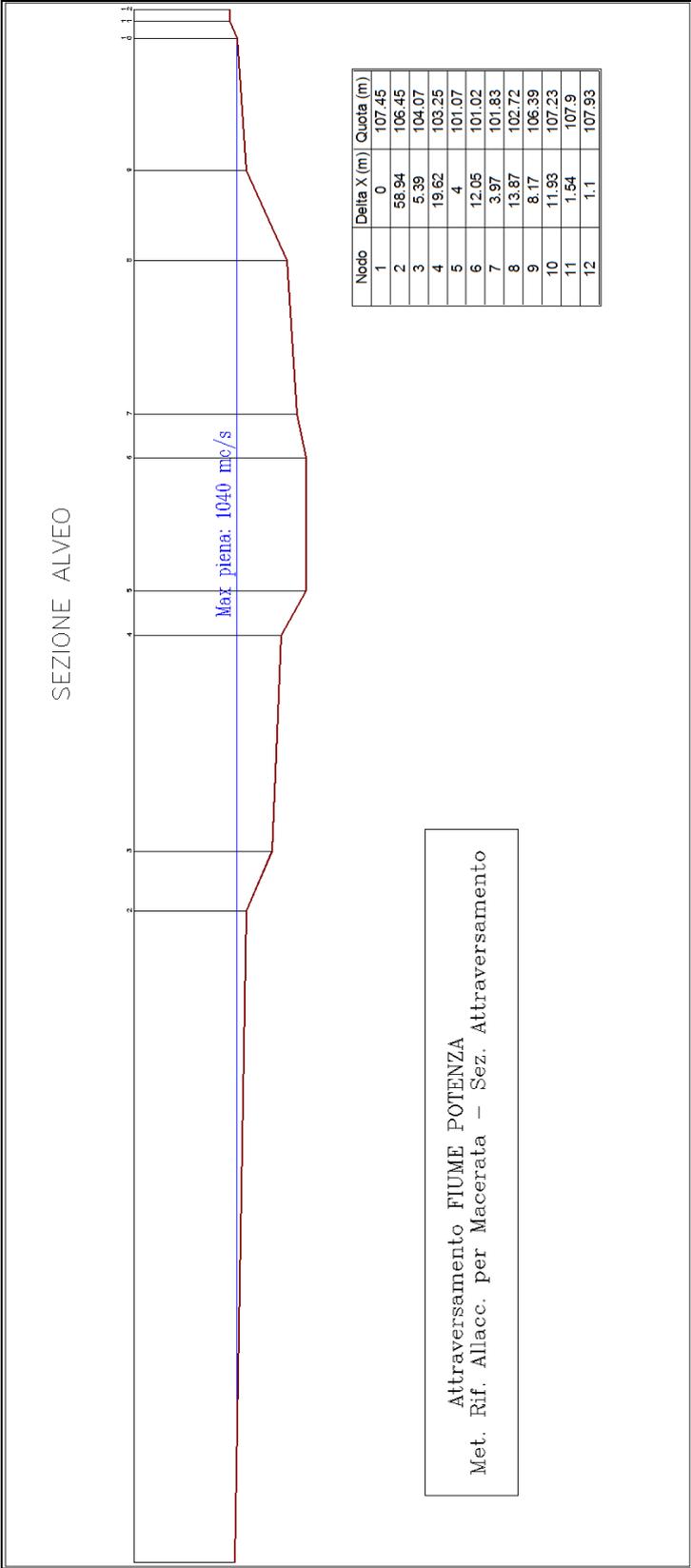


	PROGETTISTA: 	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 60 di 65	Rev. 0

APPENDICE IV: STUDIO IDRAULICO - GRAFICI DI OUTPUT



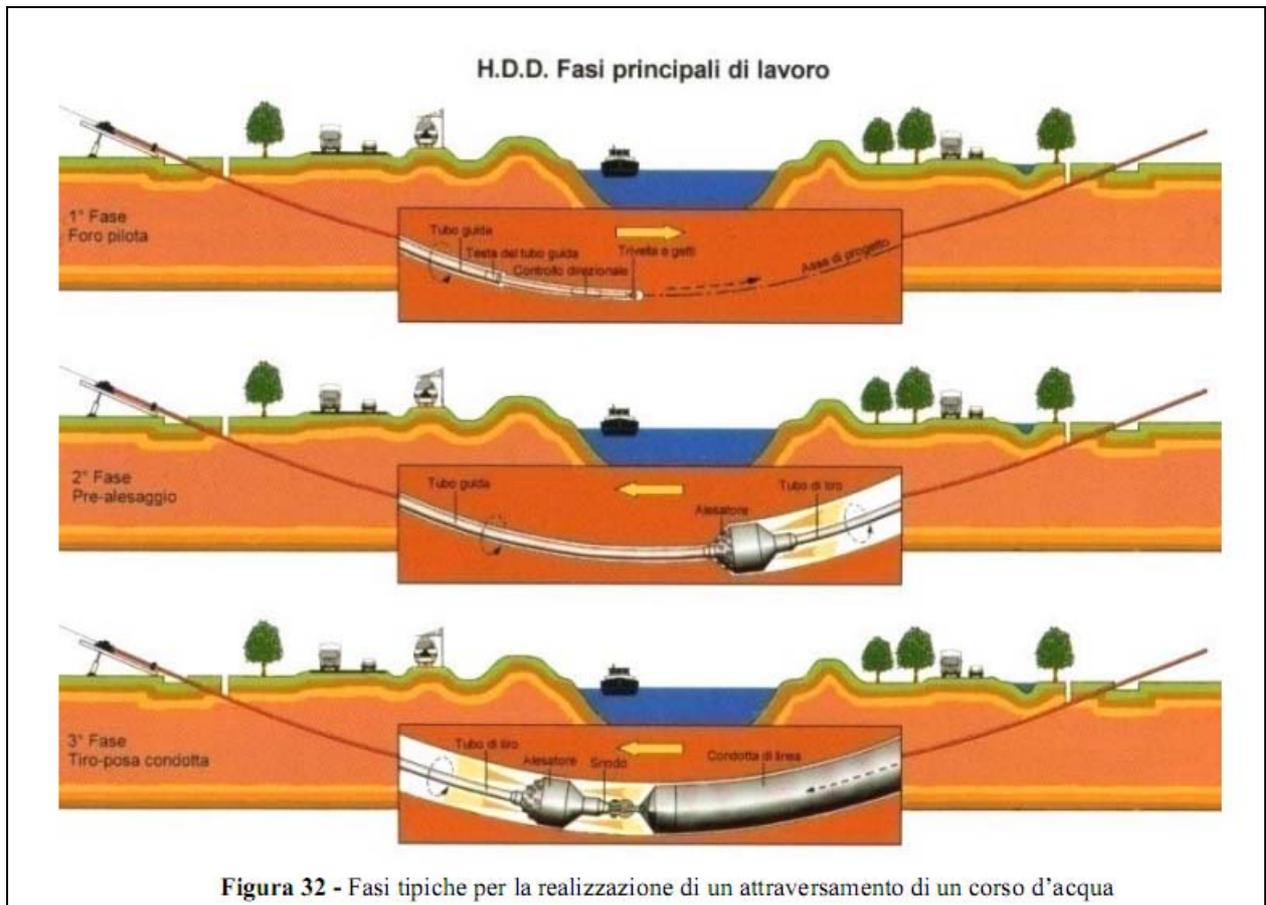
 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 61 di 65	Rev. 0



 	PROGETTISTA: 	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 62 di 65	Rev. 0

APPENDICE V: METODOLOGIA COSTRUTTIVA “TOC” – DOC. FOTOGRAFICA

Metodologia costruttiva della “TOC” -Trivellazione Orizzontale Controllata (*Horizontal Directional Drilling*) – Documentazione fotografica.



TOC - Sequenza delle fasi di esecuzione del foro pilota, dell'alesaggio e del tiro-posa della condotta

	PROGETTISTA: 	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 63 di 65	Rev. 0



Attraversamento F. Po con met. 30” – Impianto di preparazione dei fanghi di perforazione



Attravers. F. Po con met. 30” – “Rig”, durante la realizzazione del foro pilota

	PROGETTISTA: 	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 64 di 65	Rev. 0



Attraversamento F. Po con met. 30" – fase di uscita dell'asta pilota



Attrav. F. Po con met. 30" – Colonna del pipeline preassemblata sulla pista di varo

	PROGETTISTA: 	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80024	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 65 di 65	Rev. 0



Attravers. T. Samoggia con met. 42" Inizio della fase di "tiro-posa" della condotta