

	PROGETTISTA: 	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80027	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 1 di 42	Rev. 0

**Metanodotto: Rifacimento Diramazione per Cerreto D'Esì
 DN 200 (8"). DP = 75 bar**

ATTRAVERSAMENTO FIUME ESINO

**RELAZIONE TECNICO-ILLUSTRATIVA E
 ANALISI DI COMPATIBILITÀ 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-80027	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 2 di 42	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	9
	3.4 Caratterizzazione Litostratigrafica	10
4	VALUTAZIONI IDROLOGICHE	12
	4.1 Considerazioni specifiche preliminari	12
	4.2 Parametri morfometrici	12
	4.3 Metodo indiretto (Afflussi-Deflussi)	14
	4.3.1 Criteri generali di valutazione dei parametri idrologici	15
	4.3.2 Individuazione dei parametri idrologici	19
	4.3.3 Risultati	20
	4.4 Metodo Vapi (Regionalizzazione con metodo TCEV)	20
	4.4.1 Generalità	20
	4.4.2 Cenni al modello TCEV (a doppia componente) e alla tecnica di regionalizzazione	21
	4.4.3 Valutazione portate al colmo	22
	4.4.4 Risultati	22
	4.5 Portata di progetto	23
5	STUDIO IDRAULICO	24
	5.1 Metodologia di calcolo	24
	5.2 Valutazione dei fenomeni erosivi del fondo alveo	26
	5.3 Risultati	28
6	SCELTE PROGETTUALI E DESCRIZIONE METODOLOGIA COSTRUTTIVA	30
	6.1 Metodologia operativa: Scavi a cielo aperto	30
	6.2 Geometria della condotta ed opere di ripristino	31

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80027	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 3 di 42	Rev. 0

7	ANALISI COMPATIBILITA' IDRAULICA	32
7.1	Interferenze con "Aree a Rischio di Esondazione" individuate nel PAI	32
7.2	Analisi di compatibilità	32
8	CONCLUSIONI	35
APPENDICE I:	SONDAGGI – UBICAZIONE E COLONNE STRATIGRAFICHE	36
APPENDICE II:	ELABORAZIONE STATISTICA DATI DI PIOGGIA STAZ. "FABRIANO"	38
APPENDICE III:	STUDIO IDRAULICO - GRAFICI DI OUTPUT	41

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80027	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 4 di 42	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 Diramazione per Cerreto D'Esino*", caratterizzato da un diametro nominale DN 200 (8") e da una pressione d'esercizio di 75 bar.

La suddetta linea di Diramazione in progetto (8") si stacca, a sua volta, da un metanodotto già esistente "Potenziamento Derivazione per Fabriano" DN 300 (12"), in corrispondenza di un impianto di derivazione, ed intercetta il corso d'acqua del fiume Esino.

L'ambito d'attraversamento dell'Esino, che ricade a circa 600m a valle della confluenza del Fosso di Collamato in località "Pian di Morro", interessa integralmente il territorio comunale di Cerreto D'Esino.

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-82768	<i>Metanodotto " Rifac. Diramazione per Cerreto d'Esino " (8")</i>	Attraversamento Fiume Esino
--------------	--	-----------------------------

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80027	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 5 di 42	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;
- 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-80027	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 6 di 42	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-80027	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 7 di 42	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 Diramazione per Cerreto D'Esi", caratterizzato da un diametro nominale DN 200 (8") e da una pressione d'esercizio di 75 bar.

La suddetta linea di Diramazione in progetto (8") si stacca, a sua volta, da un metanodotto già esistente "Potenziamento Derivazione per Fabriano" DN 300 (12"), in corrispondenza di un impianto di derivazione, ed intercetta il corso d'acqua del fiume Esino.

L'ambito d'attraversamento dell'Esino, che ricade a circa 600m a valle della confluenza del Fosso di Collamato in località "Pian di Morro", interessa integralmente il territorio comunale di Cerreto D'Esi.

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

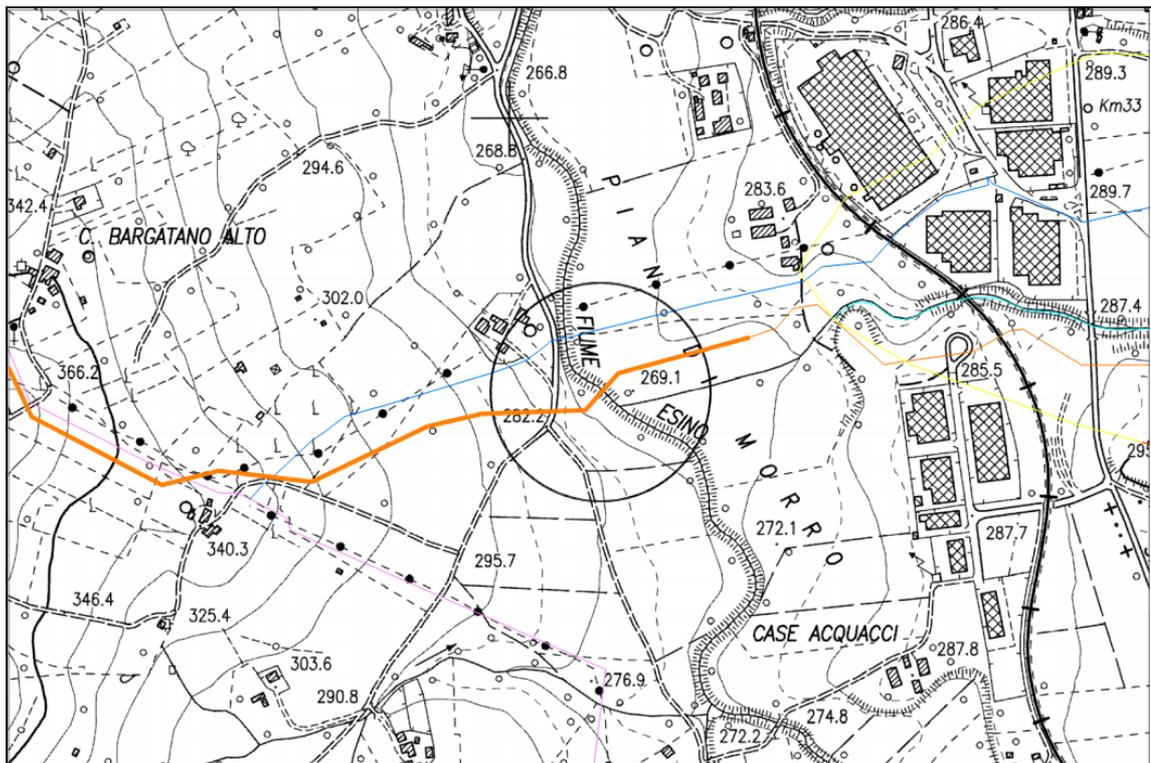


Fig.3.1: Stralcio Planimetrico in scala 1:10 000 dell'Ambito d'Attraversamento

L'ambito d'attraversamento interessa esattamente i fogli catastali F.17 e F.18 del territorio comunale di Cerreto d'Esi (An), come si rileva dallo stralcio planimetrico riportato nella figura seguente.

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80027	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 8 di 42	Rev. 0

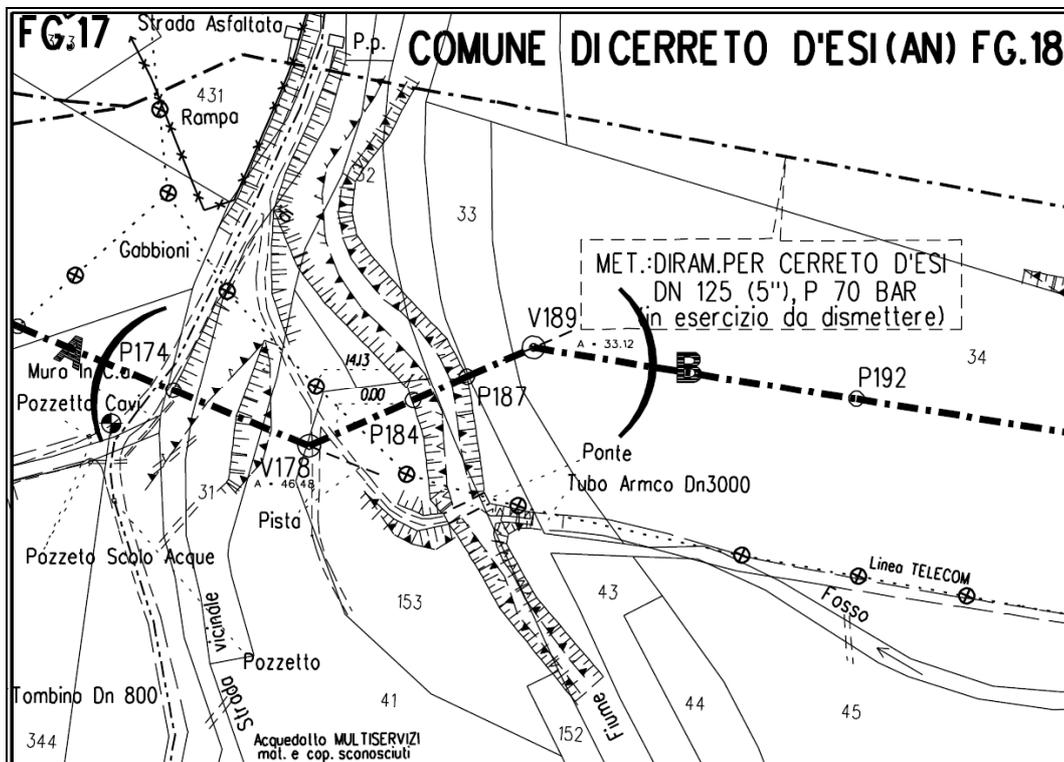


Fig.3.2: Stralcio Catastale in scala 1:2000 dell' Ambito d' Attraversamento

3.2 Inquadramento generale del bacino del corso d'acqua

Il fiume Esino nasce in provincia di Macerata dalle pendici orientali del monte Cafaggio a circa 1000 m di quota. Scorre inizialmente ripido bagnando i centri di Esanatoglia, Matelica, dove riceve l'affluente rio Imprigno, e Cerreto d'ESI, entra così in Provincia di Ancona.

Nei pressi di Borgo Tufico riceve da sinistra il torrente Giano apprestandosi ad entrare, alcuni km più a valle nella suggestiva e selvaggia Gola della Rossa scorrendo impetuoso tra alte pareti rocciose. All'ingresso della Gola incrementa la propria portata grazie al fiume Sentino, suo maggior tributario di sinistra che incontra l'Esino dopo aver attraversato la Gola di Frasassi.

Terminato il tratto nella gola presso il centro di Serra San Quirico il fiume allarga notevolmente il proprio letto rallentando la sua corsa. In questo tratto bagna i comuni di Maiolati Spontini, Castelplanio costeggiando per un ampio tratto la strada statale per Ancona giungendo in breve a Jesi dove ne lambisce la periferia sud.

Il fiume prosegue ampio attraversando la cittadina di Chiaravalle per giungere infine in prossimità di Falconara Marittima dove sfocia con un estuario nel Mar Adriatico dopo un percorso di circa 90 km.

Il suo bacino della superficie complessiva di circa 1200 kmq interessa svariati territori provinciali marchigiani quali la provincia di Ancona, la provincia di Macerata e la provincia di Pesaro e Urbino e anche una piccola porzione di Umbria in provincia di Perugia (circa 70 kmq).

La portata media annuale del fiume è di circa 18 m³/s sicuramente uno dei maggiori

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80027	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 9 di 42	Rev. 0

versante adriatico centrale ed è caratterizzato da un marcato andamento torrentizio delle portate reso ancora più irregolare dallo sfruttamento intensivo delle sue acque da parte dell'Enel per la produzione di energia elettrica attraverso l'uso di diverse centrali idroelettriche posto lungo il suo percorso (la principale, quella di Sant'Elena è alimentata da due canali la cui portata supera i 12 m³/s a pieno regime).

A differenza della maggior parte dei fiumi di origine appenninica che sfociano sul versante adriatico, il fiume Esino anche in estate presenta una portata non inferiore ai 5 m³/s.

In autunno invece sono frequenti piene, talvolta anche imponenti e distruttive le cui portate massime possono arrivare nell'ordine dei 1000 m³/s.

3.3 Descrizione dell'area d'intervento

Questo attraversamento del fiume Esino è situato nel tratto del corso d'acqua che percorre il Pian di Morro, ad Ovest della zona industriale di Cerreto d'Esi.

Il fiume incide le alluvioni terrazzate, disposte su due superfici principali, quella superiore su cui sorge Cerreto d'Esi, e quella inferiore, di Pian di Morro, in cui scorre l'Esino.

La geometria dell'alveo è generalmente di tipo sinuoso, con anse ad ampio raggio di curvatura. Nell'intorno dell'attraversamento l'andamento dell'asta è leggermente arcuato.

La sponda sinistra ha modesta altezza (circa 1 - 1,5 m sull'alveo) e bassa acclività (10° - 15°). La sponda destra è più alta (intorno a 3 m) e maggiormente ripida (25° - 30°).

L'alveo, formato da sedimenti ghiaiosi, ha una larghezza di circa 4-5 m. L'ampiezza dell'incisione fluviale alla sommità delle sponde è di circa 15 m. Fenomeni erosivi di modesta entità, che hanno portato a scivolamenti superficiali, si osservano nella sponda destra esterna all'ansa, formata da depositi alluvionali a dominante limoso - sabbiosa.

La vegetazione ripariale, arborea ed arbustiva, non è molto fitta.

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

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80027	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 10 di 42	Rev. 0



Fig.3.3: Foto dell'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 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 c_u , 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.

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80027	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 11 di 42	Rev. 0

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*.

Modello geologico-tecnico del sottosuolo

Per la caratterizzazione litostratigrafia del sottosuolo dell'area di attraversamento, si fa riferimento al sondaggio SA57 realizzato in corrispondenza dell'ambito d'interferenza, in prossimità della sponda sinistra.

Detto sondaggio ha evidenziato quanto segue:

- Livello superficiale costituito da sabbia limosa, con sporadica ghiaia fine (sino a 2.3m di profondità);
- Strato di ghiaia calcarea molto addensata eterometrica, con sabbia debolmente limosa (sino a 5m di profondità);
- Argilla marnosa (sino a fondo sondaggio di 10m di profondità);

La falda è stata rinvenuta a 3.10m di profondità

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80027	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 12 di 42	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 non sono disponibili dati di portata registrati sul corso d'acqua in stazioni idrometriche poste a distanza ravvicinata alla sezione di studio. 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 PIene promosso dal CNR - GNDCI).

4.2 Parametri morfometrici

La sezione di attraversamento del fiume Esino ricade in località "Pian di Morro" di Cerreto D'Esi a circa 600m a valle della confluenza del Fosso di Collamato.

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-80027	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 13 di 42	Rev. 0

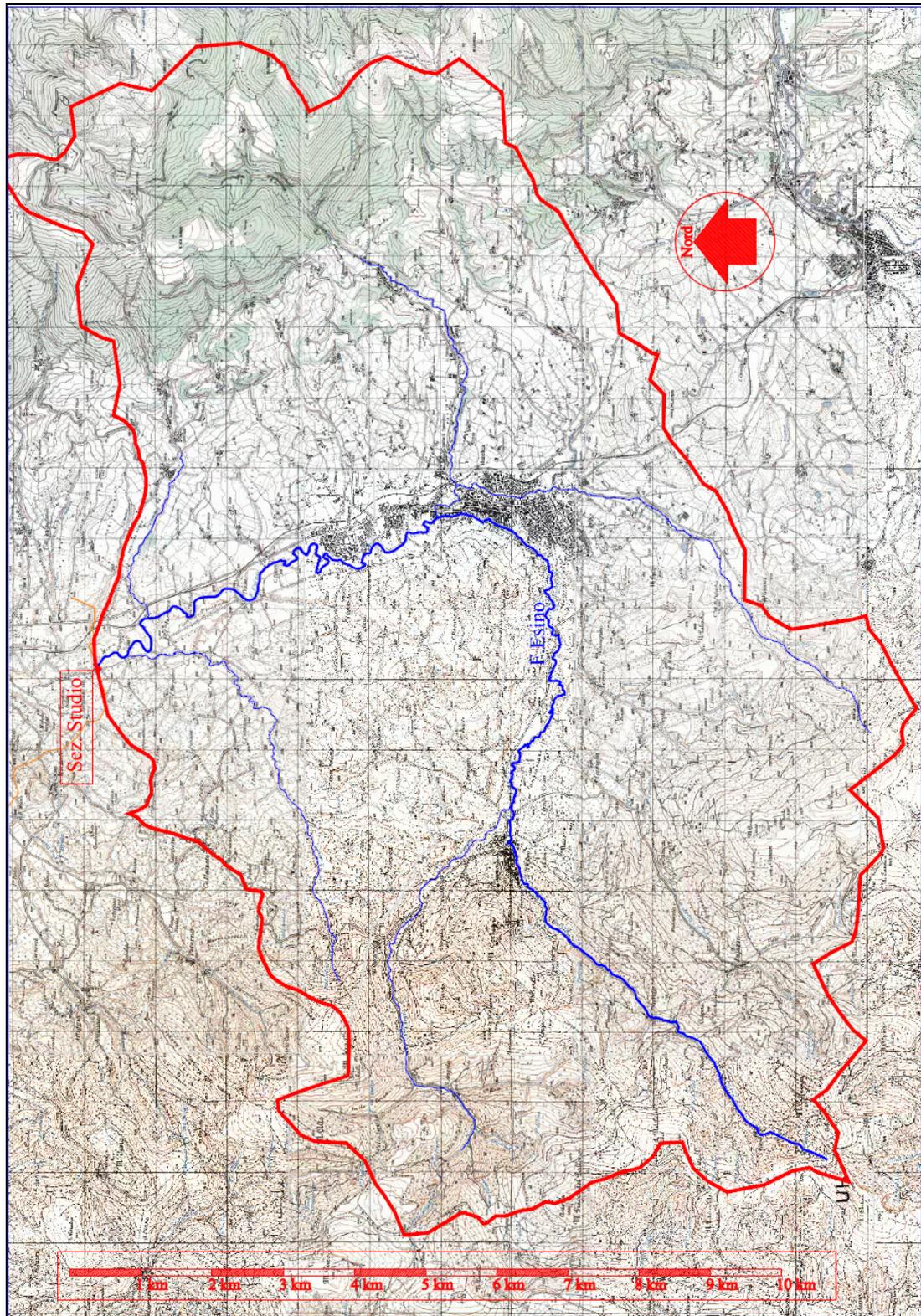


Fig.4.1. : Bacino Imbrifero sotteso dalla sezione d'attraversamento

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

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80027	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 14 di 42	Rev. 0

sezione di studio.

Tab.4.a: Parametri morfometrici

Corso d'acqua / Sezione Studio	Superficie Bacino (kmq)	Lunghez za asta principale (km)	Altitudine max Bacino (m)	Altitudine media Bacino (m)	Altitudine Sezione chiusura (m)
F.Esino / Sez. Attraversamento	130	24	1256	620	270

4.3 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 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 "tc" 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:

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80027	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 15 di 42	Rev. 0

- 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.

4.3.1 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

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:

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80027	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 16 di 42	Rev. 0

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 dei parametri morfometrici caratteristici del bacino stesso, viene eseguita sulla base della 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:

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

A

dove:

=

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80027	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 17 di 42	Rev. 0

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; reper
- B) Elaborazione statistica per mezzo del metodo di Gumbel; elabo
- C) Tracciamento delle curve di possibilità climatica o pluviometrica; tracci
- D) Applicazione del metodo dei topoieti. appli

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

za di pioggia (mm);

a, n = coefficienti

cienti costanti;

t =

durat

a della pioggia (ore).

B) Elaborazione probabilistica per mezzo del metodo di Gumbel

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

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80027	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 18 di 42	Rev. 0

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

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

$$\alpha = 1.283/\sigma$$

$u =$

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

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.

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80027	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 19 di 42	Rev. 0

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

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

4.3.2 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	5.45

- 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 pluviometrici registrati nella stazione pluviometrica di "Fabriano", per il quale si dispongono dati pressoché continuativi nell'ultimo quarantennio reperiti dagli Annali Idrologici del Compartimento di Bologna (fino al 1989) e dagli Annali Idrologici della

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80027	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 20 di 42	Rev. 0

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

Nella seguente tabella sono invece sintetizzati i valori di "a" e di "n", in funzione del tempo di ritorno.

Tab.4.c

Tr	LEGGE DI PIOGGIA $h = a \times t^n$	
10 anni	→	$h=39.534xt^{0.2465}$
30 anni	→	$h=49.784xt^{0.2374}$
50 anni	→	$h=54.467xt^{0.2343}$
100 anni	→	$h=60.786xt^{0.2308}$
200 anni	→	$h=67.084xt^{0.2279}$

4.3.3 Risultati

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

Tab.4.d : F. Esino – Sez. di studio - Portate di piena metodo indiretto

TR	a	n	tc(h)	Hr	FI	S (kmq)	Q (mc/s)
10	39.534	0.2465	5.45	60.1	0.7	130.0	279
30	49.784	0.2374	5.45	74.5	0.7	130.0	345
50	54.467	0.2343	5.45	81.0	0.7	130.0	376
100	60.786	0.2308	5.45	89.9	0.7	130.0	417
200	67.084	0.2279	5.45	98.7	0.7	130.0	458

4.4 Metodo Vapi (Regionalizzazione con metodo TCEV)

4.4.1 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

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80027	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 21 di 42	Rev. 0

(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.

4.4.2 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:

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

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

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80027	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 22 di 42	Rev. 0

idrografico sotteso dalla sezione di misura.

4.4.3 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

4.4.4 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-80027	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 23 di 42	Rev. 0

Tab.4.e: 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	130	46.50	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.f: 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	127	146	166

4.5 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.g: Portata di progetto - tabella riepilogativa

Sezione	Superficie Bacino (kmq)	Q _{progetto} (mc/s)	q _{max} (mc/s.kmq)
Sez. attraversamento	130	458	3.52

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80027	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 24 di 42	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 al corso d'acqua alterazioni tali da modificarne significativamente il deflusso della corrente.

In particolare:

- viene ripristinata la configurazione morfologica dell'area;
- non si realizzano restringimenti della sezione di deflusso, deviazioni dell'alveo o modifiche morfologiche significative ai fini idraulici;
- non è prevista la costruzione di opere fuoriterza che potrebbero ostacolare il deflusso della corrente idrica.

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:

$$Q = V \cdot A$$

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80027	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 25 di 42	Rev. 0

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 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 ($10^{-6} \text{ m}^2/s$ per acqua a $20^\circ C$);

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 ($= 102 \text{ kg} \cdot s^2/m^4$).

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

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

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80027	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 26 di 42	Rev. 0

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:

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

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 dall'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

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80027	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 27 di 42	Rev. 0

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 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 (m³/s·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.

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80027	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 28 di 42	Rev. 0

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, sono pertinenti sia in riferimento alla configurazione idraulica preesistente che a quella di fine lavori. Ciò in quanto, con i lavori in progetto, non vengono apportate al corso d'acqua alterazioni significative tali da modificarne il deflusso della corrente.

Le elaborazioni sono state condotte in maniera automatizzata mediante il programma "Deflussi", 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 III* 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 portata defluente all'altezza idrometrica).

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

FIUME ESINO A CERRETO D'ESI - SEZ. STUDIO	
DATI DI INPUT / RISULTATI	
PENDENZA DEL FONDO [%]	0.8%
COEFFICIENTE DI MANNING [-]	0.035
ANGOLAZIONE DELLA SEZIONE	0°
LIVELLO MAX PIENA [M]	270.45
MASSIMO BATTENTE IDRICO [M]	4.64
VELOCITA' MEDIA DELLA CORRENTE [M/S]	3.40
PORTATA DEFLUENTE [MC/S]	458 MC/S (Max Portata smaltibile 410mc/s)
DIAMETRO LIMITE DEI CLASTI TRASP. [CM]	14.64
NUMERO DI FROUDE [-] (STATO DELLA CORRENTE)	0.50 (CORRENTE LENTA)
APPROFONDIMENTI LOCALIZZATI [M]	2.70
ARATURE DI FONDO [M]	2.32

Dall'esame dei risultati (si vedano anche i grafici riportati in Appendice III), si evince che la sezione d'alveo del corso d'acqua, in corrispondenza dell'ambito di intervento, non risulta in grado di far defluire nel suo interno la portata di progetto.

In particolare sino a portate dell'ordine dei 400-410 mc/s il deflusso rimane confinato in

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80027	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 29 di 42	Rev. 0

prossimità dell'alveo di magra (fasce di esondazione alquanto ristretti); superati detti valori viene inondata la piana presente in destra idrografica denominata "Pian di Morro".

Il deflusso, in concomitanza della piena duecentennale, avviene in condizione di corrente lenta ($FR < 1$) e La velocità di deflusso risulta di circa 3.4 m/s. L'azione dinamica della corrente risulta potenzialmente in grado di trasportare elementi lapidei di significative dimensioni (del diametro di quasi 15cm).

I valori massimi dei fenomeni erosivi di fondo sono riferiti agli approfondimenti localizzati, valutati in circa 2.7m. Nel caso specifico, tuttavia, detti valori sono da ritenersi di natura esclusivamente teorica, poiché, la realizzazione di un rivestimento dell'alveo in massi ciclopici prevista in corrispondenza dell'ambito d'attraversamento preserva efficacemente l'area d'interesse dalla potenziale attività erosiva di fondo alveo.

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80027	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 30 di 42	Rev. 0

6 SCELTE PROGETTUALI E DESCRIZIONE METODOLOGIA COSTRUTTIVA

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

In particolare in considerazione dei risultati conseguiti sono state definite le scelte progettuali inerenti i punti di seguito elencati:

- la metodologia costruttiva per la realizzazione dell'opera;
- La geometria di posa in subalveo, con particolare riferimento alla quota di posa in subalveo;
- le caratteristiche dimensionali e tipologiche delle opere di difesa idraulica.

6.1 Metodologia operativa: Scavi a cielo aperto

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

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

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

La metodologia consiste sostanzialmente nello scavo di una trincea lungo il profilo d'attraversamento fino al raggiungimento delle quote di posa, nel successivo alloggiamento della condotta in fondo-scavo ed infine nel rinterro degli scavi, con il materiale precedentemente accantonato, per il ripristino morfologico dell'area.

Preliminarmente la fase di scavo verranno realizzati dei by-pass, costituiti da ture e/o tomboni ecc., per consentire il normale deflusso delle acque. Per i corsi d'acqua con deflusso significativo di acqua, i lavori verranno eseguiti per tratti successivi.

I tempi operativi saranno quelli strettamente necessari per lo svolgimento dei lavori.

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80027	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 31 di 42	Rev. 0

6.2 Geometria della condotta ed opere di ripristino

Copertura di progetto

Relativamente al profilo di posa della condotta in progetto in subalveo, in considerazione dei risultati conseguiti negli studi precedentemente riportati e delle condizioni peculiari del sito di intervento è stato previsto di posizionare la condotta in progetto con una copertura minima in alveo di 3.6 m (riferita alla generatrice superiore del tubo).

Detta profondità di posa, unitamente alla tipologia di opere di presidio d'alveo prevista (vedi paragrafo seguente), assicura la sicurezza dell'infrastruttura lineare per tutto il periodo d'esercizio nei confronti dei potenziali processi erosivi.

Opere di ripristino

Le opere di difesa idraulica previste nel tratto di interesse sono:

- Scogliere in massi ciclopici, da realizzare per tutta la fascia interessata dai lavori, per il ripristino morfologico e la protezione delle sponde;
- Rivestimento fondo alveo in massi ciclopici, da realizzare per tutta la fascia interessata dai lavori, a protezione del letto del fiume nei confronti di eventuali fenomeni di erosione.

Detti interventi assicureranno il ripristino della configurazione morfologica d'alveo preesistente ed un'efficace funzione di stabilizzazione locale dell'alveo stesso.

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

I lavori di ripristino si completano con la ripresa, stendimento e riprofilatura dello strato superficiale di terreno accantonato, l'inerbimento e l'eventuale messa a dimora di vegetazione arbustiva ed arborea

Si precisa tuttavia che, per un esame di dettaglio della configurazione tipologica e dimensionale delle opere in progetto e del profilo geometrico della condotta, si rimanda alla visione dell'elaborato grafico di progetto precedentemente richiamato.

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80027	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 32 di 42	Rev. 0

7 ANALISI COMPATIBILITA' IDRAULICA

7.1 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”.

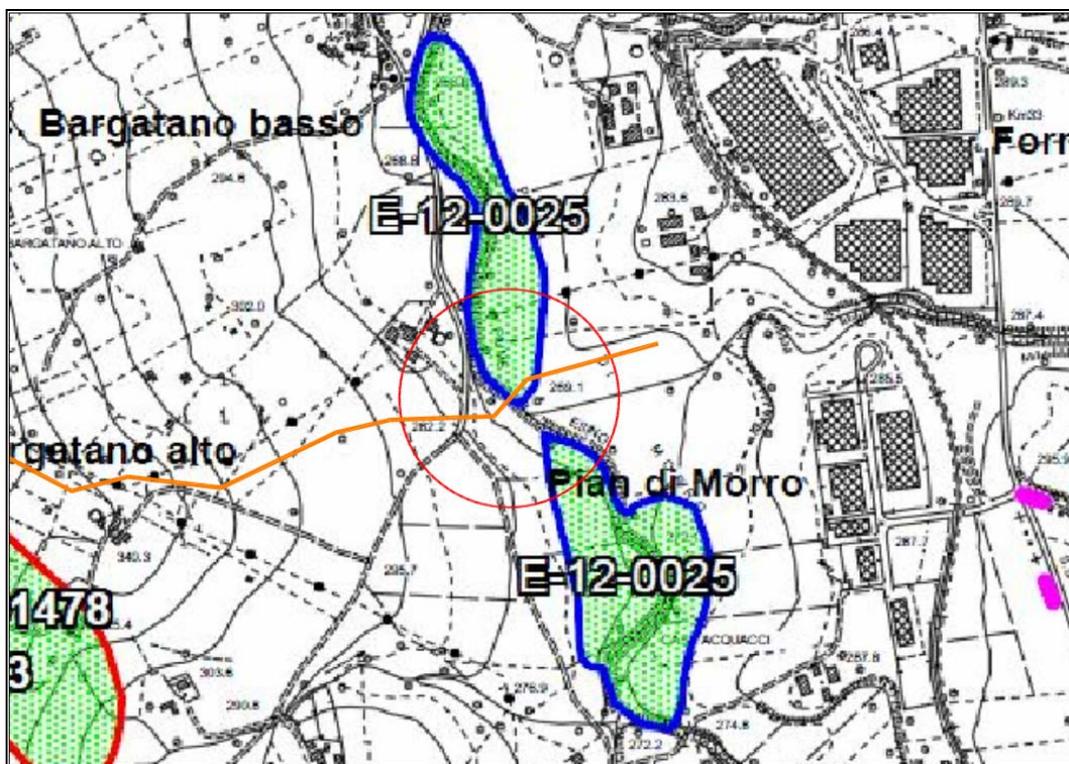


Fig.7.1: Ambito d'Attraversamento- Interferenze con “Aree a Rischio di Esondazione”

Dall'esame della figura precedente, si rileva che l'ambito di attraversamento interferisce con un'area R1, ossia con un'area inondabile a cui è associato un livello di rischio moderato (codice area E-12-0025). A tal proposito si pone in evidenza che, ai sensi dell'art.8 delle Norme di Attuazione, tutte le aree perimetrate 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”.

7.2 Analisi di compatibilità

Il metanodotto in progetto rappresenta un'infrastruttura lineare riferita a servizi di

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80027	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 33 di 42	Rev. 0

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, sia dal punto di vista planimetrico che altimetrico, verrà mantenuta praticamente invariata nei confronti della situazione preesistente. Le opere complementari sono infatti unicamente finalizzate al ripristino della configurazione originaria dell'alveo, oltre che al presidio idraulico dell'infrastruttura nei confronti di potenziali fenomeni erosivi da parte della corrente;
- 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 involuppo di piena*
Non generando alterazioni dell'assetto morfologico (tubazione completamente interrata con ripristino definitivo dei terreni allo stato preesistente), non sarà determinato dalla costruzione della condotta nessun effetto di variazione dei livelli idrici e quindi del profilo d'involuppo 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 inciso, sia dal punto di vista planimetrico che altimetrico, essendo questa localizzata in subalveo ad una profondità superiore ad ogni prevedibile fenomeno d'approfondimento, e garantendo con la realizzazione d'opere di regimazione le preesistenti caratteristiche idrauliche della sezione di deflusso.
4. *Interazioni con le opere di presidio idraulico*
Gli interventi previsti non costituiscono elementi d'interferenza con il regime idraulico naturale del corso d'acqua (quali restringimenti e/o modifiche dell'assetto longitudinale), in quanto le opere sono finalizzate al ripristino della configurazione originaria dell'alveo ed al presidio idraulico nei confronti di potenziali fenomeni erosivi. Le opere in progetto, peraltro, costituiscono degli elementi migliorativi delle condizioni di stabilità in ambito locale nei confronti dei potenziali processi erosivi determinabili dalla dinamica fluviale. Le caratteristiche tipologiche delle opere

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80027	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 34 di 42	Rev. 0

previste si inseriscono perfettamente nel contesto naturale esistente.

5. *Modifiche indotte sulle caratteristiche naturali e paesaggistiche della regione fluviale*

Essendo l'opera del tutto interrata non saranno indotti effetti particolarmente impattanti con il contesto naturale della regione fluviale che possano pregiudicare in maniera "irreversibile" l'attuale assetto paesaggistico. Condizioni d'impatto sono limitate alle sole fasi di costruzione e per questo destinate a scomparire nel tempo, con la ricostituzione delle componenti naturalistiche ed ambientali.

6. *Condizioni di sicurezza dell'intervento rispetto alla piena*

Condizioni di maggiore criticità concernenti la sicurezza dell'opera, e conseguentemente dell'intero sistema tubazione-regione fluviale, possono ipotizzarsi in corrispondenza degli attraversamenti, in quanto direttamente interferenti con le attività morfodinamiche del corso d'acqua. Tuttavia, per il fatto che la posa della condotta è stata progettata a profondità adeguata, si esclude ogni tipo di sollecitazione sulla condotta sia da parte dei livelli idrici di piena sia dall'azione erosiva della corrente.

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 del Piano.

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80027	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 35 di 42	Rev. 0

8 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 Diramazione per Cerreto D'Esi", caratterizzato da un diametro nominale DN 200 (8") e da una pressione d'esercizio di 75 bar.

La suddetta linea di Diramazione in progetto (8") si stacca, a sua volta, da un metanodotto già esistente "Potenziamento Derivazione per Fabriano" DN 300 (12") in corrispondenza di un impianto di derivazione, ed intercetta il corso d'acqua del fiume Esino.

L'ambito d'attraversamento dell'Esino, che ricade a circa 600m a valle della confluenza del Fosso di Collamato in località "Pian di Morro", interessa integralmente il territorio comunale di Cerreto D'Esi.

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 mediante "scavi a cielo aperto", con posizionamento della condotta in progetto con coperture di sicurezza adeguatamente cautelative nei confronti dei potenziali processi erosivi.

In aggiunta sono state previste delle opere di protezione idraulica, con lo scopo di ripristinare la configurazione d'alveo esistente prima dell'inizio dei lavori.

Gli interventi di progetto, assicurano dunque il ripristino delle configurazioni preesistenti e garantiscono le adeguate condizioni di sicurezza della condotta, per tutto il periodo di esercizio.

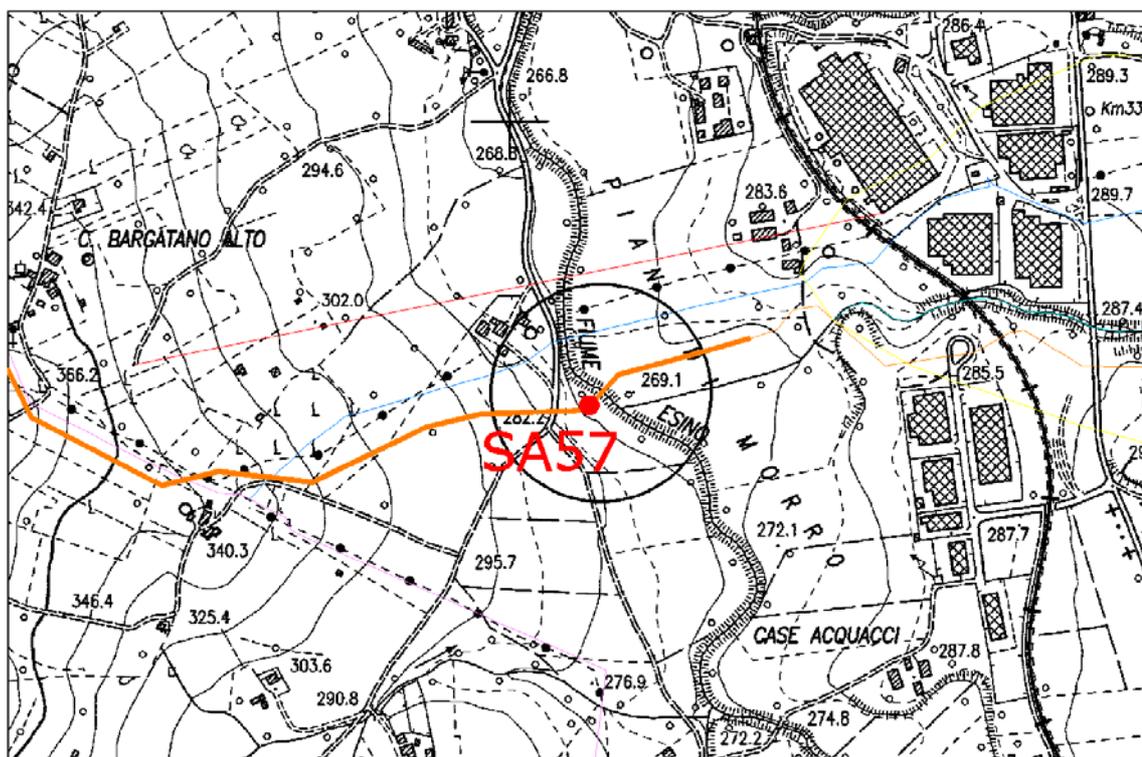
Le opere previste non costituiscono elementi di interferenza con il regime idraulico naturale del corso d'acqua (quali restringimenti e/o modifiche dell'assetto longitudinale), e sono state scelte con caratteristiche tipologiche ottimali al fine di inserirsi nel contesto naturale esistente.

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 R1, ossia con un'area inondabile a cui è associato un livello di rischio "moderato".

A tal proposito si ritiene che le specificità dell'opera in progetto (infrastruttura di pubblico interesse, completamente interrata), nonché le scelte progettuali inerenti la geometria della condotta e le opere di difesa idraulica (volte al ripristino della configurazione d'alveo preesistente) possano essere ritenute congruenti con le disposizioni contenute nelle Norme di Attuazione del Piano.

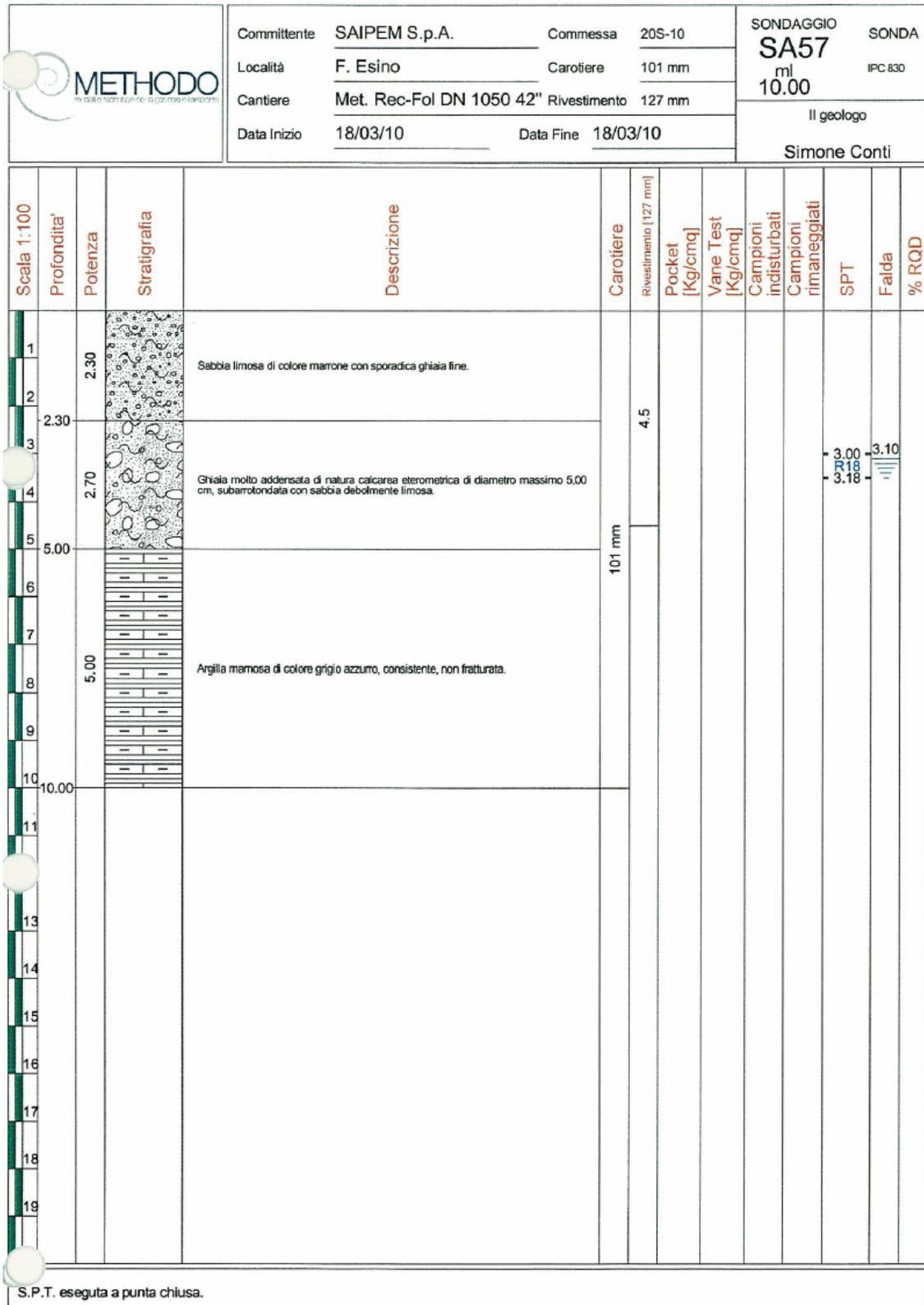
 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80027	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 36 di 42	Rev. 0

APPENDICE I: SONDAGGI – UBICAZIONE E COLONNE STRATIGRAFICHE



Planimetria in scala 1:10000, con ubicazione sondaggi

 snam rete gas	PROGETTISTA:  saipem	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80027	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 37 di 42	Rev. 0



 snam rete gas	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80027	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 38 di 42	Rev. 0

APPENDICE II: ELABORAZIONE STATISTICA DATI DI PIOGGIA STAZ. "FABRIANO"

DATI PLUVIOGRAFICI					
(Precipitazioni di massima intensità registrate al pluviografo su 1, 3, 6, 12, 24 ore consecutive)					
Stazione di : Fabriano		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	19.4	29	36	37.2	39.8
1971	10.8	19	21.6	35.2	37
1972	19	26.2	36	36.4	45.2
1973	13.6	35	45.5	54.2	59.4
1974	62.6	88	96.6	109.8	110.2
1975	23	35	36.8	50.2	70.6
1976	29	33.4	45.2	45.2	61.4
1977	21.2	41.4	46.6	53.4	60.2
1978	26.6	33.8	40.2	46.2	56.8
1979	18.4	22.4	26.6	27.6	41.6
1980	19.6	25.2	30	37.6	51.2
1981	47	62	105.8	109.4	115.6
1982	31	40	43.6	43.6	50.4
1983	24	29.8	39.8	39.8	59.6
1984	22	25	26	41	54.8
1985	17.6	22.6	26.8	30.8	42
1986	18.8	23.6	26.8	42	50.8
1987	36	41	41.4	41.8	44
1988	13.6	16.2	17.4	27.8	29.2
1989	18.4	24	35.2	43.2	59.4
1990	14.2	30	32.2	55.6	79.8
1991	26.8	28.2	28.2	33.4	39.4
1992	17	27	32.2	44.2	50
1993	13.4	25.8	33.8	42.8	55.8
1994	22.4	29.2	29.8	29.8	31.6
1995	30.2	41.6	54.6	56.4	57
1996	17	22.6	31.6	48.8	66
1997	19.6	32.2	35	42.8	65.6
1998	19.8	20.2	31.2	43.6	60.8
1999	33.4	69	85.6	87.4	88.4
2000	18.4	24.8	30.2	31	40.4
2001	32.6	54	61	80.4	91.6
2002	24.8	28.6	30.4	30.4	43.2
2003	51.8	51.8	58.8	70.8	73.6
2004	17	25	31.2	35.8	55
2005	23	27.2	34.4	44	68.6
2006	24.6	27.8	27.8	38.8	44
2007	17.6	37.4	37.6	39.2	39.6

 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80027	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 39 di 42	Rev. 0

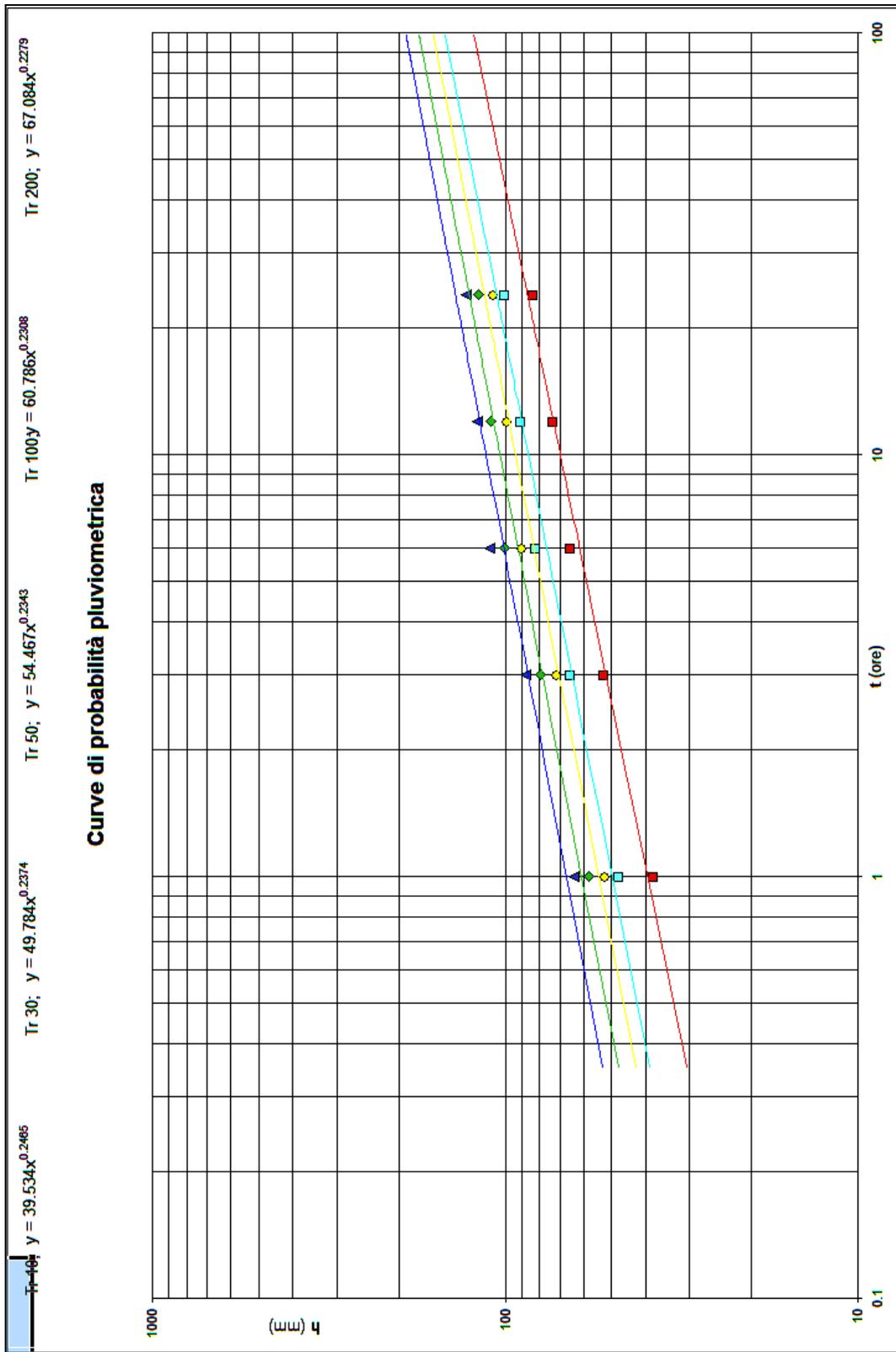
ELABORAZIONE STATISTICA DEI DATI PLUVIOMETRICI (metodo di Gumbel)

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

N =	38	t = 1 ora	t = 3 ore	t = 6 ore	t = 12 ore	t = 24 ore
$\mu(h_t)$		24.08	33.55	40.25	47.57	57.62
$\sigma(h_t)$		10.77	14.63	19.10	19.69	19.50
$\alpha_t = 1,283/\sigma(h_t)$		0.12	0.09	0.07	0.07	0.07
$U_t = \mu(h_t) - 0,45\sigma(h_t)$		19.24	26.97	31.65	38.71	48.85

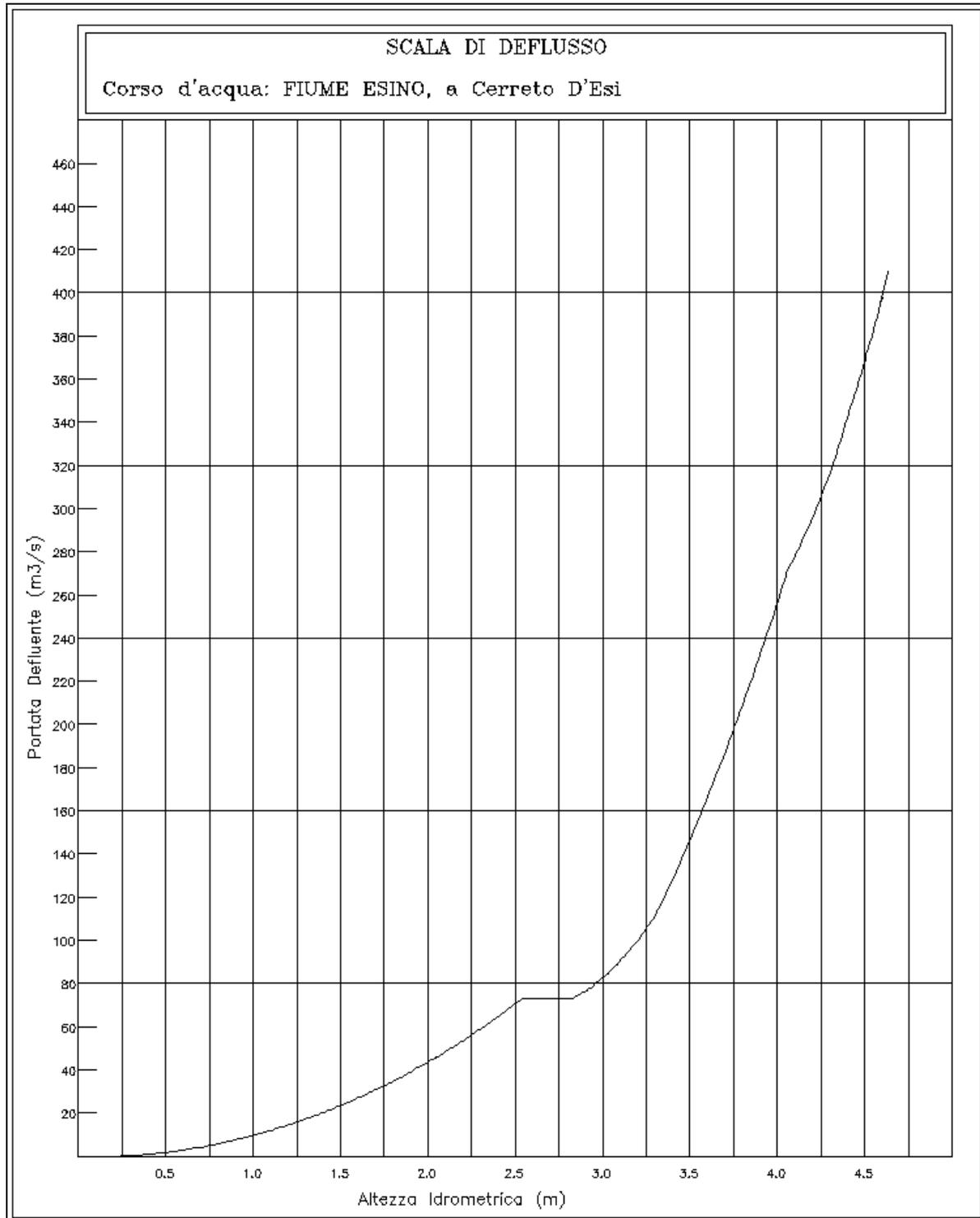
Tr	LEGGE DI PIOGGIA $h = a \times t^n$	
10 anni	→	$h=39.534xt^{0.2465}$
30 anni	→	$h=49.784xt^{0.2374}$
50 anni	→	$h=54.467xt^{0.2343}$
100 anni	→	$h=60.786xt^{0.2308}$
200 anni	→	$h=67.084xt^{0.2279}$

	PROGETTISTA: 	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80027	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 40 di 42	Rev. 0



 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80027	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 41 di 42	Rev. 0

APPENDICE III: STUDIO IDRAULICO - GRAFICI DI OUTPUT



 	PROGETTISTA:  	COMMESSA 022022	UNITÀ 000
	LOCALITÀ: Regione Marche	SPC. LA-E-80027	
	PROGETTO: Metanodotto Recanati – Foligno e opere connesse	Fg. 42 di 42	Rev. 0

