

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023081
	<b>LOCALITÀ</b> Regioni: Marche e Abruzzo		<b>LA-E- 81591</b>	
	<b>PROGETTO</b> Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti		Fg. 1 di 51	<b>Rev.</b> <b>0</b>

**Rifacimento metanodotto Ravenna – Chieti**  
**Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti**  
**DN 650 (26"), DP 75 bar**  
**ed opere connesse**

**Attraversamento in subalveo del torrente NORA**

**RELAZIONE TECNICA DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA**

0	Emissione	Caccavo	Brunetti	Sciosci	Mar. '22
<b>Rev.</b>	<b>Descrizione</b>	<b>Elaborato</b>	<b>Verificato</b>	<b>Approvato</b>	<b>Data</b>

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA 023081
	LOCALITÀ	Regioni: Marche e Abruzzo		<b>LA-E- 81591</b>
	PROGETTO	Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti		Fg. 2 di 51

## INDICE

<b>1</b>	<b>GENERALITA'</b>	<b>4</b>
1.1	Premessa	4
1.2	Scopo e descrizione dell'elaborato	4
1.3	Disegno di Attraversamento	5
1.4	Definizioni	5
<b>2</b>	<b>INQUADRAMENTO TERRITORIALE</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE IDROGRAFICA DELL'AMBITO IN ESAME</b>	<b>9</b>
3.1	Assetto idrografico e descrizione generale del bacino del corso d'acqua	9
3.2	Descrizione dell'area d'intervento	11
<b>4</b>	<b>VALUTAZIONI IDROLOGICHE</b>	<b>13</b>
4.1	Generalità	13
4.2	Considerazioni specifiche preliminari	13
4.3	Sezione di studio - Parametri morfometrici del bacino	13
4.4	Studi PSDA - Modalità di elaborazione per valutazioni idrologiche	14
4.4.1	<u>Premessa</u>	14
4.4.2	<u>Il Metodo della grandezza indice, secondo le linee guida del Progetto VAPI</u>	15
4.4.3	<u>Stima delle portate al colmo</u>	16
4.4.4	<u>Curva di crescita regionale</u>	17
4.4.5	<u>Portata Indice <math>m_Q</math></u>	18
4.5	Studi PSDA - Selezione dei risultati di interesse	19
4.6	Portata di progetto	21
<b>5</b>	<b>STUDIO IDRAULICO IN MOTO PERMANENTE</b>	<b>22</b>
5.1	Presupposti e limiti dello studio	22
5.2	Assetto geometrico e modellazione dell'alveo	23
5.3	Risultati della simulazione idraulica	25
5.4	Analisi dei risultati conseguiti	30
<b>6</b>	<b>VALUTAZIONE EROSIONI DI FONDO ALVEO</b>	<b>31</b>
6.1	Generalità	31
6.2	Criteri di calcolo	32
6.3	Stima dei massimi approfondimenti attesi	34
6.4	Considerazione sui risultati conseguiti	35
<b>7</b>	<b>METODOLOGIA COSTRUTTIVA E SCELTE PROGETTUALI</b>	<b>36</b>
7.1	Premessa	36
7.2	Metodologia operativa: Scavi a cielo aperto	36
7.3	Geometria della condotta ed interventi di ripristino	38

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023081</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regioni: Marche e Abruzzo		<b>LA-E- 81591</b>	
	<b>PROGETTO</b> Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti		Fg. 3 di 51	<b>Rev.</b> <b>0</b>

<b>8</b>	<b>VALUTAZIONI INERENTI LA COMPATIBILITA' IDRAULICA</b>	<b>39</b>
8.1	Premessa	39
8.2	PSDA - Analisi disposizioni per le aree di pericolosità idraulica	39
8.3	Interferenze nell'ambito specifico di attraversamento	42
8.4	Analisi dei criteri di compatibilità idraulica	43
<b>9</b>	<b>CONCLUSIONI</b>	<b>46</b>
	<b>APPENDICE 1: STUDIO IDRAULICO - METODOLOGIA DI CALCOLO</b>	<b>47</b>

**ANNESSO:**

- **Elaborato grafico di progetto: LC-11E-82225**

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA 023081
	LOCALITÀ	Regioni: Marche e Abruzzo		LA-E- 81591
	PROGETTO	Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti		Fg. 4 di 51

## 1 GENERALITA'

### 1.1 Premessa

La Snam Rete Gas, nell'ambito del progetto denominato "*Rifacimento metanodotto Ravenna – Chieti*" intende realizzare il nuovo tratto "*San Benedetto del Tronto - Chieti, DN 650 (26") - DP 75 bar*", in sostituzione del tratto di metanodotto attualmente in esercizio, che si sviluppa nell'ambito dei territori delle Marche e dell'Abruzzo.

La suddetta linea in progetto interseca l'alveo del torrente Nora nel tratto basso del corso d'acqua, a circa 2,7 km a monte della confluenza nel Fiume Pescara, nell'ambito del territorio comunale di Cepagatti (PE), immediatamente a monte dell'attraversamento aereo del metanodotto "Ravenna - Chieti" in fase di dismissione.

Il torrente Nora rappresenta un importante affluente del fiume Pescara, di notevole rilievo ambientale, per il quale l'ex "Autorità dei Bacini di Rilievo Regionale dell'Abruzzo e del Bacino Interregionale del Fiume Sangro", nell'ambito del "Piano Stralcio Difesa dalle Alluvioni" (PSDA), ha individuato e perimetrato le aree di pericolosità idraulica in corrispondenza della confluenza con il fiume Pescara.

Nell'ambito di attraversamento in esame, distante dalla confluenza, non si individuano delle interferenze tra il tracciato del metanodotto in progetto con le aree censite di pericolosità idraulica nel PSDA. Ad ogni modo, le Norme di Attuazione del Piano consentono la realizzazione di infrastrutture pubbliche o di interesse pubblico nei tratti di corsi d'acqua caratterizzati da pericolosità idraulica rilevante e non perimetrati dal PSDA, come per le aree delle confluenze tra il reticolo idrografico secondario e il reticolo idrografico principale oggetto del PSDA, subordinatamente alla presentazione di uno specifico studio di compatibilità idraulica.

### 1.2 Scopo e descrizione dell'elaborato

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

Lo studio è stato redatto in conformità delle disposizioni delle Norme di attuazione del PSDA, con particolare riferimento all'art.8 ed all'Allegato D delle norme stesse.

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

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

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

- Inquadramento territoriale dell'area d'attraversamento in modo da consentire di individuare in maniera univoca il tratto del corso d'acqua interessato dall'interferenza con l'infrastruttura lineare in progetto;
- Caratterizzazione idrografica del corso d'acqua e descrizione dell'ambito di

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023081</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regioni: Marche e Abruzzo		<b>LA-E- 81591</b>	
	<b>PROGETTO</b> Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti		Fg. 5 di 51	<b>Rev.</b> <b>0</b>

attraversamento;

- Studio idrologico al fine di stimare le portate al colmo di piena di progetto in corrispondenza della sezione di studio (coincidente con quella dell'attraversamento in esame);
- Studio idraulico, volto ad individuare i parametri caratteristici di deflusso idrico ed i fenomeni associati alla dinamica fluviale locale in corrispondenza dell'ambito di attraversamento, con particolare riferimento alla valutazione dei fenomeni erosivi di fondo alveo;
- Descrizione delle scelte progettuali inerenti la metodologia costruttiva, la geometria della condotta in subalveo e le eventuali opere di presidio idraulico;
- Valutazioni inerenti la compatibilità idraulica del sistema d'attraversamento, in riferimento ai criteri stabiliti nelle Norme di Attuazione per la regolamentazione degli interventi in ambiti censiti di pericolosità idraulica ai sensi del PSDA.

### 1.3 Disegno di Attraversamento

Il progetto dell'attraversamento del corso d'acqua, comprendente le caratteristiche geometriche e strutturali della condotta, il profilo di posa della stessa, nonché le caratteristiche tipologiche e dimensionali delle eventuali opere di sistemazione, è stato sviluppato nel seguente elaborato grafico:

- **LC-11E-82225** *Attraversamento torrente Nora*

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

### 1.4 Definizioni

#### Metanodotto

Accezione convenzionale associata ad una specifica tipologia di gasdotto, che identifica una condotta di considerevole importanza per il trasporto del gas tra due punti di riferimento. È designato con i nomi dei comuni o delle località dove l'opera ha origine e fine, e in relazione alla finalità del trasporto.

#### Linea o Condotta

Insieme di tubi, curve, raccordi, valvole ed altri pezzi speciali, uniti tra loro per il trasporto del gas; a sviluppo interrato ma comprensiva di parti fuori terra.

#### Tubazione

Insieme di tubi, uniti tra loro, comprese le curve ottenute mediante formatura a freddo.

#### Diametro nominale (DN)

Indicazione convenzionale, che serve quale riferimento univoco per individuare la grandezza dei tubi e dei diversi elementi accoppiabili. Si indica con DN seguito dal numero, che ne esprime la grandezza in millimetri o pollici ("inches").

#### Trincea

Scavo a cielo aperto, con definita sezione geometrica, finalizzata alla collocazione interrata della tubazione.

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023081</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regioni: Marche e Abruzzo		<b>LA-E- 81591</b>	
	<b>PROGETTO</b> Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti		Fg. 6 di 51	<b>Rev.</b> <b>0</b>

### Trenchless

Tecnologie per lo scavo del terreno, finalizzate alla posa della condotta in sotterraneo, alternative alla trincea (microtunnel, gallerie, trivellazioni sub-verticali realizzate con "Raise borer", trivellazioni orizzontali controllate – T.O.C., ecc.).

### Profondità d'interramento o Copertura della tubazione

Distanza compresa tra la generatrice superiore esterna della tubazione o del relativo manufatto di protezione, ove presente, e la superficie del terreno (piano campagna o fondo alveo).

### Copertura minima

Valore minimo della profondità di interramento della tubazione, che vien stabilito in ciascun tratto della linea caratterizzato dalle medesime condizioni generali di esecuzione.

### Pista di lavoro

Fascia di territorio, resa disponibile lungo l'asse del tracciato, predisposta per il transito dei normali mezzi di cantiere e per l'esecuzione delle fasi di scavo e di montaggio della condotta, entro la quale devono essere contenuti tutti i lavori di costruzione e posa.

### Alveo

Sede del libero deflusso delle acque, delimitato da cigli di sponda e/o da pareti interne di tratti arginati. Comprende le aree morfologicamente appartenenti al corso d'acqua, in quanto sedimenti storicamente interessati dal deflusso o attualmente interessati da andamento pluricursale e da naturali divagazioni delle correnti, e le aree manifestamente soggette alle dinamiche evolutive del corso d'acqua. La sua delimitazione è, di norma, individuata graficamente dalle Autorità aventi competenza sui corpi idrici o da strumenti di pianificazione.

### Opere di ripristino

Opere di sistemazione e di recupero ambientale delle aree attraversate dal metanodotto; possono essere correlate e contestuali a lavori di consolidamento e stabilizzazione dei terreni o di regimazione e difesa idraulica della condotta, tra cui: sistemazioni arginali; ripristino di strade e servizi interferiti dal tracciato; ripristini morfologici; ripristini vegetazionali.

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023081
	<b>LOCALITÀ</b> Regioni: Marche e Abruzzo		<b>LA-E- 81591</b>	
	<b>PROGETTO</b> Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti		Fg. 7 di 51	<b>Rev.</b> 0

## 2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'interferenza tra il metanodotto in progetto con il torrente Nora ricade nel tratto basso del corso d'acqua (a circa 2,7 km a monte della confluenza nel Fiume Pescara), nell'ambito del territorio comunale di Cepagatti (PE).

Al fine di consentire un inquadramento territoriale dell'ambito di attraversamento, qui di seguito si riporta una corografia in scala 1:25.000 (estratta dalle tavolette IGM), dove il tracciato del metanodotto in progetto è riportato mediante una linea in arancione, il metanodotto esistente è indicato tramite una linea tratteggiata in verde e l'area di attraversamento in esame è indicata mediante un cerchio in colore blu.

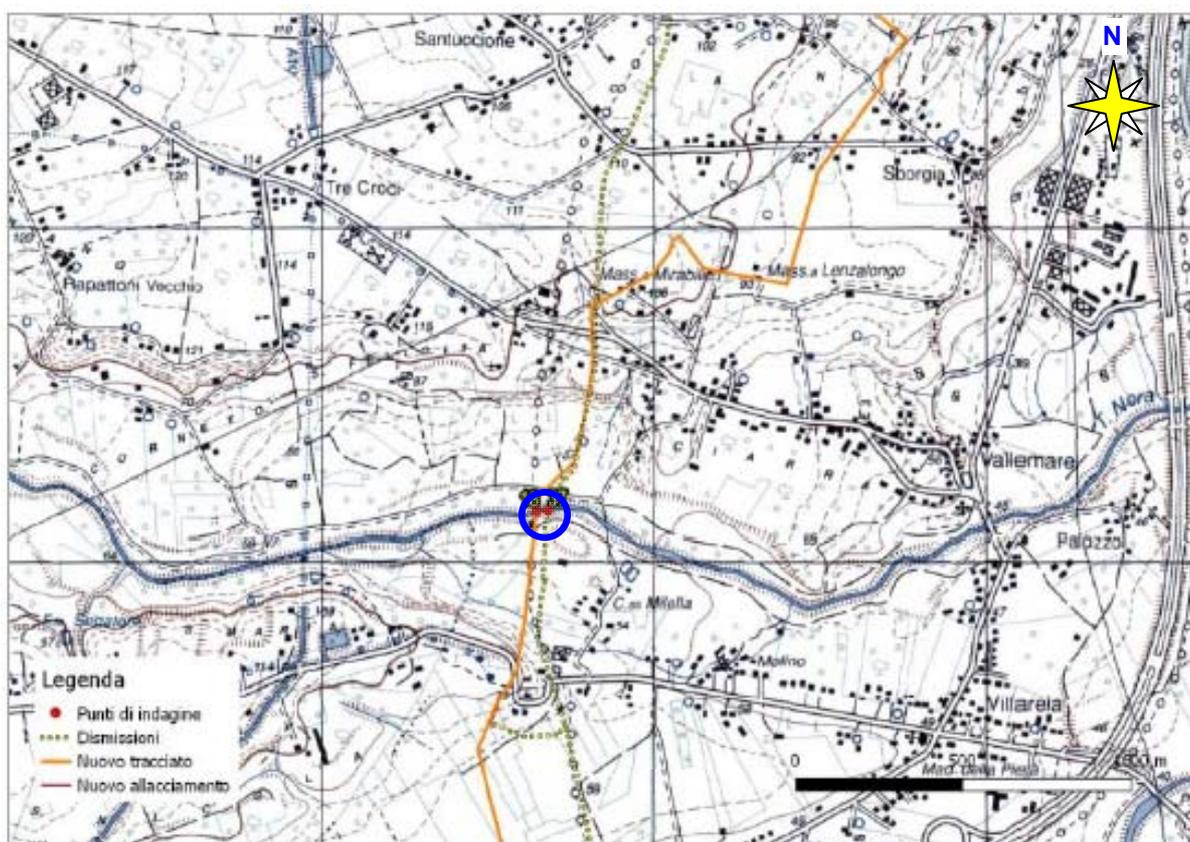


Fig.2.1/A: Corografia generale in scala 1:25.000 (dalle tavolette IGM)

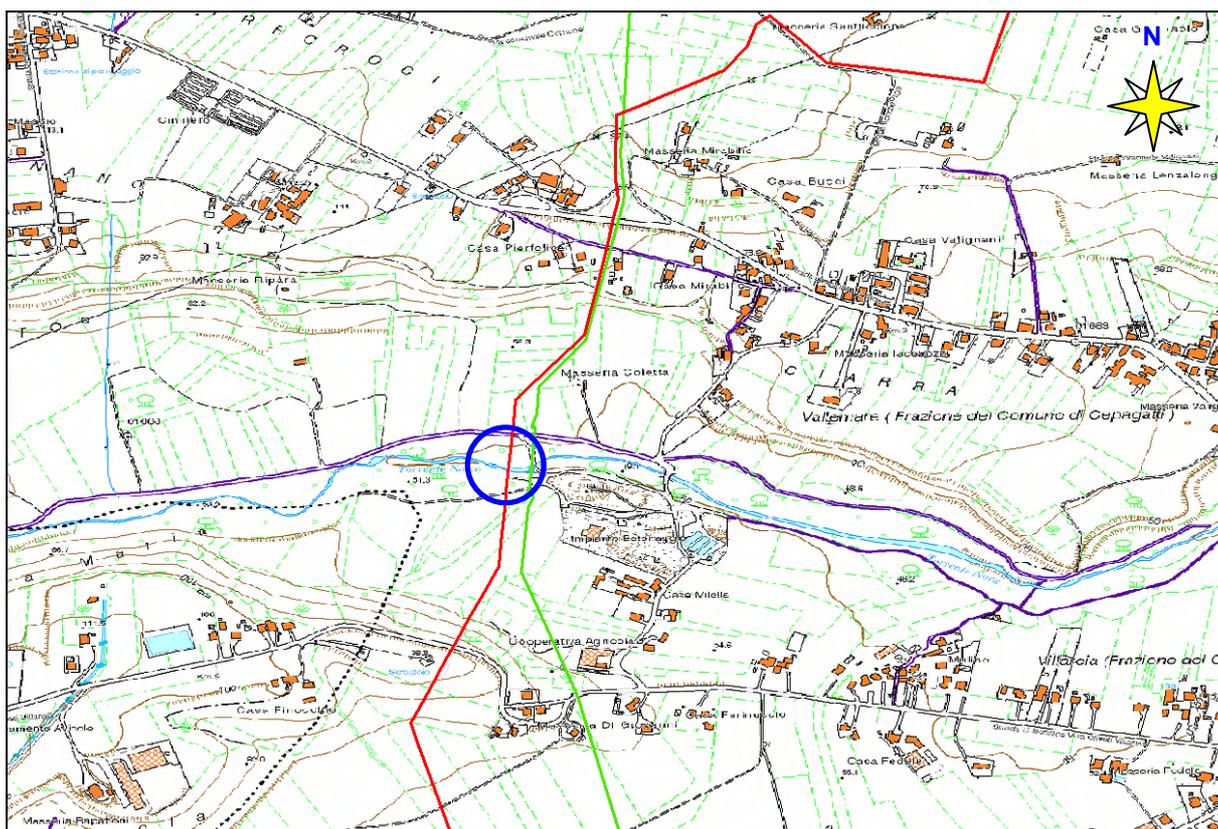
Le coordinate piane dell'ambito di attraversamento del corso d'acqua sono riportate nella tabella seguente:

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

Coordinate ambito di attraversamento del corso d'acqua		
Coordinate Piane WGS84 - Fuso 33: Est /Nord	425540 m E	4688949 m N

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023081
	<b>LOCALITÀ</b> Regioni: Marche e Abruzzo		<b>LA-E- 81591</b>	
	<b>PROGETTO</b> Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti		Fg. 8 di 51	<b>Rev.</b> 0

Nella figura seguente è riportato uno stralcio planimetrico di maggior dettaglio (CTR in scala 1:10.000), dal quale si può individuare il tracciato del metanodotto in progetto (linea in rosso), il metanodotto in esercizio da dismettere (linea in verde) e l'ambito di attraversamento dell'alveo del corso d'acqua in esame (cerchio in blu).



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

Dall'esame della figura precedente si rileva che l'attraversamento in progetto ricade circa 40 m a monte dell'attraversamento da parte dell'esistente metanodotto "Ravenna - Chieti" in fase di dismissione.

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023081
	<b>LOCALITÀ</b> Regioni: Marche e Abruzzo		<b>LA-E- 81591</b>	
	<b>PROGETTO</b> Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti		Fg. 9 di 51	<b>Rev.</b> 0

### 3 CARATTERIZZAZIONE IDROGRAFICA DELL'AMBITO IN ESAME

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

Il torrente Nora è uno dei principali affluenti del fiume Aterno-Pescara, ed è un corso d'acqua di significativa interesse ambientale (S.I.C.: “Valle D’Angri e Vallone d’Angora”, “Val Voltino”; P.N.: Gran Sasso-Monti della Laga; P.T.A. di Vicoli) caratterizzato da un bacino della superficie di circa 138 kmq, ricadente nelle province di Pescara (99,99%) e de L’Aquila (0,01%).

Il torrente Nora è un affluente di sinistra del fiume Pescara, nel quale si getta in prossimità di Chieti, con una lunghezza di 30 km; ha origine da cinque sorgenti sul monte Pietra Rossa, al di sopra di Carpineto della Nora, a 900 m slm. Dopo aver sfiorato la storica abbazia di S. Bartolomeo, bagna Carpineto della Nora e, ricevute le acque del torrente Negra e del Rivo Chiaro (chiamato anche torrente Schiavone), si ingrossa in prossimità di Catignano, dove scorre tra il Colle Freddo e il Piano Varano. Successivamente riceve le acque di altri affluenti, tra i quali il torrente Negra, il Fosso di San Giovanni, il Fosso del Poggio.

Nella figura seguente vi è il bacino complessivo del corso d'acqua con indicazione del reticolo idrografico principale e dell'ambito di attraversamento in esame (figura estrapolata dagli elaborati del Piano di Tutela delle acque della Regione Abruzzo).

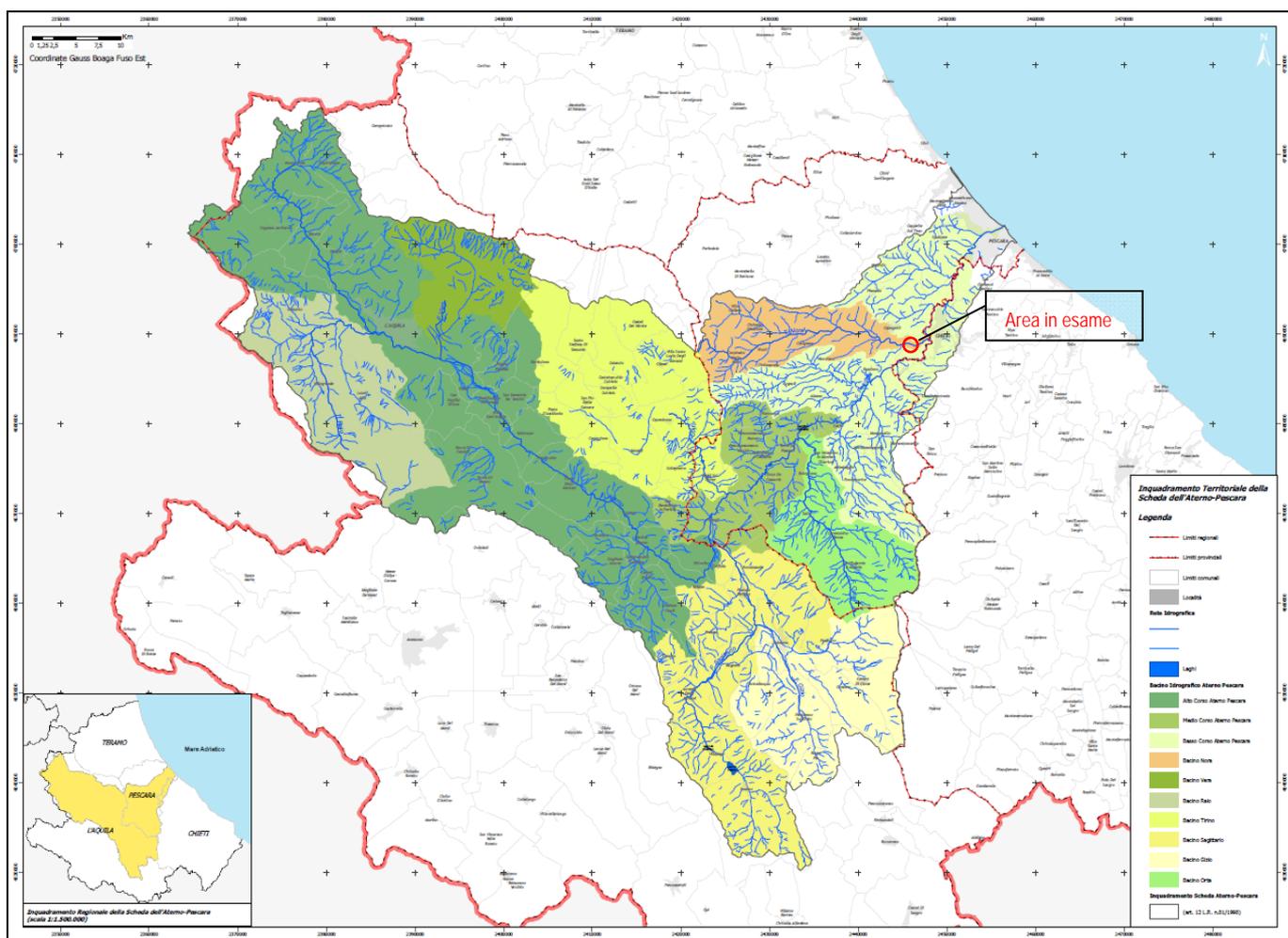


Fig.3.1/A: Bacino complessivo del corso d'acqua

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023081</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regioni: Marche e Abruzzo		<b>LA-E- 81591</b>	
	<b>PROGETTO</b> Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti		Fg. 10 di 51	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Dal punto di vista geologico, la parte alta del sottobacino idrografico del Torrente Nora è costituita dall'associazione arenacea ed arenaceo-pelitica del Messiniano, sovrascorsa da Ovest verso Est sui depositi marnosi del Miocene inferiore-Miocene superiore p.p.. Una serie di sovrascorrimenti, sempre con vergenza Ovest-Est, mette a contatto dapprima questi depositi clastici con i sedimenti dell'alternanza pelitico-arenacea del Miocene superiore-Pliocene inferiore, poi questi ultimi con le marne emipelagiche del Pliocene inferiore, che ricoprono l'associazione di sedimenti clastici del Messiniano. Tali litologie si ritrovano anche nella parte media del sottobacino, di nuovo sovrascorsa su depositi torbiditici arenacea-argillosi sempre della stessa epoca. Un ulteriore sovrascorrimento, sempre con la medesima vergenza, pone a contatto tali depositi con le argille marnose grigio-azzurre del Pliocene medio-superiore. La parte restante del sottobacino è caratterizzata dai depositi di argille grigio-azzurre di piattaforma con sottili orizzonti sabbioso-conglomeratici del Pliocene superiore. Questi, in parte, vengono mascherati dai depositi alluvionali terrazzati di epoca compresa tra il Pleistocene e l'Olocene.

Il Torrente Nora, nell'ambito della sezione di attraversamento, è interamente impostato nei depositi alluvionali attuali. Sia in sinistra che in destra idrografica affiorano i depositi alluvionali terrazzati del Pleistocene, costituiti da ghiaie e ciottoli in matrice sabbiosa. Il modello geologico e geotecnico del sottosuolo è stato elaborato sulla base di due sondaggi: BH146A, eseguito sul terrazzo alluvionale della sponda in sinistra idrografica, e il sondaggio BH146B, eseguito sul terrazzo alluvionale in sponda destra.

La stratigrafia del sondaggio BH146A evidenzia quanto segue:

- Ghiaia medio-grossolana, talora ciottolosa, con sabbia limosa. Clasti calcarei arrotondati e sub-orizzontali con  $\phi$  medio di 3-4 cm; 0-3.1 metri dal p.c.;
- Sabbia limosa con presenza di ghiaia; 3.1-5.1 metri dal p.c.;
- Limo argilloso grigio molto consistente; 5.1-12.0 metri dal p.c.

La stratigrafia del sondaggio BH146B evidenzia quanto segue:

- terreno superficiale costituito da limo sabbioso. Presenza di clasti a spigoli vivi; 0-1.5 metri dal p.c.;
- Limo sabbioso mediamente consistente; 1.5-3.2 metri dal p.c.;
- Ghiaia medio-grossolana, con sabbia limosa. I clasti hanno una forma arrotondata e sub-arrotondata con  $\phi$  medio di circa 3-4 cm; 3.2-7.5 metri dal p.c.;
- Limo argilloso grigio; 7.5-12.0 metri dal p.c.

Il Nora, come la maggior parte dei corsi d'acqua abruzzesi, è caratterizzato da un regime idrologico di tipo torrentizio. In generale la portata è comunque molto irregolare, in rapporto alla limitata estensione del bacino idrografico e alla stretta connessione con il regime delle precipitazioni; esistono magre molto forti durante i mesi estivi e due periodi di piena, prevalentemente in febbraio - marzo e in ottobre - novembre. Questo andamento può essere ricondotto al clima presente nell'area, caratterizzato da estati secche e piogge concentrate nel periodo autunnale e invernale. Il Piano di Tutela delle Acque della Regione Abruzzo, alla sezione V, Schede monografiche, fornisce alcuni dati relativi alla caratterizzazione quantitativa del torrente medesimo. Nel particolare i dati sono stati acquisiti in corrispondenza della stazione idrometrica "Nora" in località Cepagatti ed elencano sia la portata media mensile, corrispondente al valore medio delle portate mensili misurate per tutto il periodo di osservazione, sia la portata media annua, corrispondente al valore medio delle portate annue misurate per tutto il periodo di osservazione. Di seguito i valori:

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA 023081
	LOCALITÀ	Regioni: Marche e Abruzzo		LA-E- 81591
	PROGETTO	Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti		Fg. 11 di 51

Nome Idrometro	Portata mensile (m <sup>3</sup> /s)	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Portata annuale (m <sup>3</sup> /s)
Nora a Cepagatti	$Q_{media\_mensile}$	1,933	4,391	1,667	1,956	1,685	0,508	0,379	0,395	0,173	0,450	1,387	3,292	$Q_{media\_annua}$ 1,518

### 3.2 Descrizione dell'area d'intervento

Come si rileva dalla precedente Fig.3.1/A, l'attraversamento da parte del metanodotto in progetto ricade nel tratto basso del corso d'acqua, a circa 2,7 km a monte della confluenza nel Fiume Pescara, nell'ambito del territorio comunale di Cepagatti (PE), immediatamente a monte dell'attraversamento aereo del metanodotto "Ravenna - Chieti" in fase di dismissione.

Nell'intorno dell'ambito di attraversamento l'alveo assume un andamento sinuoso, con significativa pendenza longitudinale. L'alveo presenta una configurazione incisa, con sponda destra alta circa 6 m e molto pendente; la sponda sinistra invece si eleva di pochi metri dal fondo alveo ed è caratterizzata da una dolce pendenza. Il fondo alveo è caratterizzato da una larghezza di circa 20 m, con sedimenti del letto fluviale costituiti da ciottolame arrotondato, anche di dimensioni significative. Nonostante che le acque tendano a scorrere con una rilevante energia, tipico di regimi a carattere torrentizio, non si rilevano segni evidenti di erosioni e/o di divagazioni d'alveo.

Al fine di consentire una visione diretta dell'ambito in esame, nella figura seguente è riportata una foto aerea (estratta da Google Earth) dell'ambito d'interferenza tra il metanodotto in progetto (linea in rosso) ed il corso d'acqua. La linea in verde rappresenta la condotta esistente da dismettere.

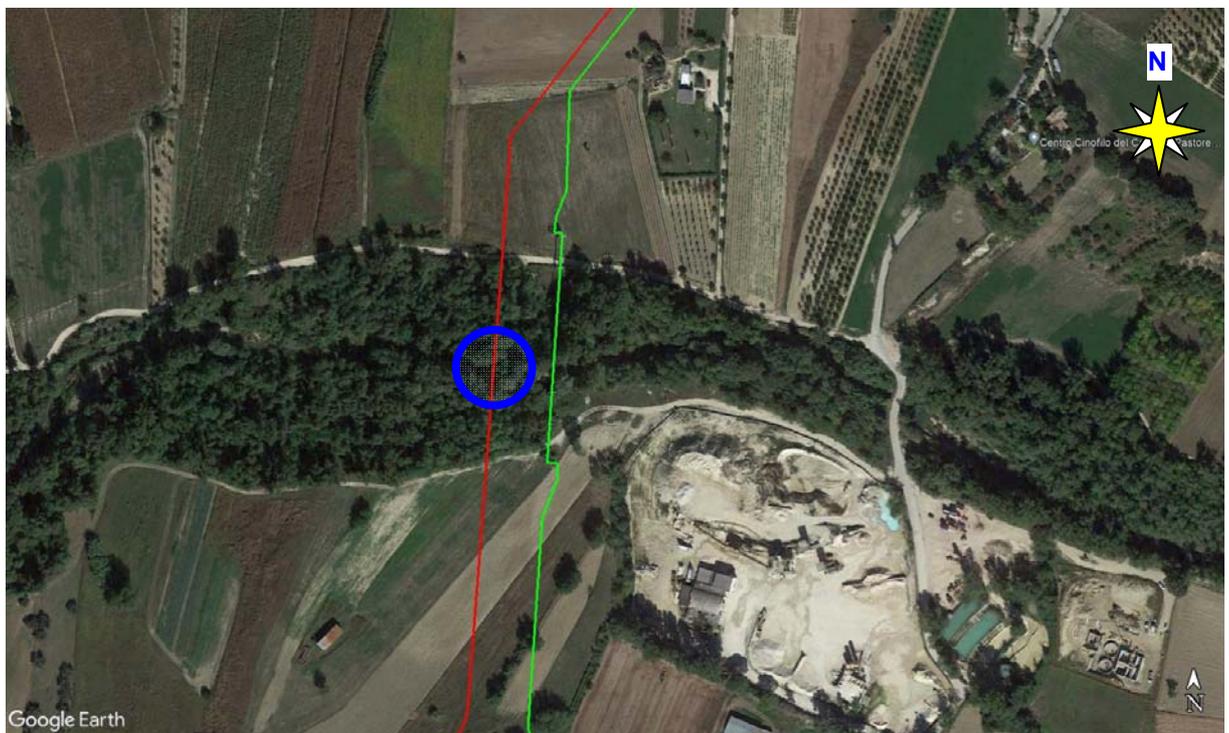


Fig.3.2/A: Foto aerea dell'ambito di attraversamento (estratta da Google Earth)

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023081</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regioni: Marche e Abruzzo		<b>LA-E- 81591</b>	
	<b>PROGETTO</b> Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti		Fg. 12 di 51	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Nella figura seguente è infine riportata una foto relativa all'ambito d'attraversamento in esame del corso d'acqua (foto scattata dalla sponda in destra idrografica).



Fig.3.2/B: Foto ambito di attraversamento del corso d'acqua

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023081</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regioni: Marche e Abruzzo		<b>LA-E- 81591</b>	
	<b>PROGETTO</b> Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti		Fg. 13 di 51	<b>Rev.</b> <b>0</b>

## 4 VALUTAZIONI IDROLOGICHE

### 4.1 Generalità

Lo studio idrologico in generale assume la finalità di determinazione delle portate al colmo di piena e/o degli idrogrammi di piena di uno o più corsi d'acqua in prefissate sezioni di studio ed in funzione di associati tempi di ritorno.

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 molti casi è possibile utilizzare i cosiddetti "metodi di regionalizzazione", attraverso i quali è possibile valutare le portate di piena in riferimento a parametri idrologici caratteristici del bacino in esame.

Infine, è possibile ricorrere al metodo indiretto (Afflussi-Deflussi), che permette la valutazione delle portate al colmo in funzione delle precipitazioni intense.

### 4.2 Considerazioni specifiche preliminari

Il fiume in esame, ricadente nel territorio di competenza "dell'ex Autorità dei Bacini di Rilievo Regionale dell'Abruzzo e del Bacino Interregionale del Fiume Sangro", rappresenta uno dei corsi d'acqua di rilievo regionale per il quale l'Autorità di Bacino, nell'ambito del *Piano Stralcio Difesa dalle Alluvioni* (PSDA), ha proceduto ad effettuare specifiche valutazioni idrologiche ed idrauliche con lo scopo di individuare e censire le aree di pericolosità idraulica lungo lo sviluppo dell'asta fluviale.

Pertanto, in ragione di quanto evidenziato, per le valutazioni idrologiche nella sezione in esame, ci si riferisce esplicitamente agli "studi ufficiali" prodotti dall'Autorità di Bacino, per i quali qui di seguito si riporta una descrizione delle metodologie di elaborazione e la selezione dei risultati di interesse.

### 4.3 Sezione di studio - Parametri morfometrici del bacino

Si assume come sezione di studio quella di attraversamento da parte della linea in progetto, la quale ricade nel tratto di valle del corso d'acqua, a circa 2,7 km a monte della confluenza nel Fiume Pescara, nell'ambito del territorio comunale di Cepagatti (PE).

Nella figura seguente è riportato uno stralcio planimetrico, ricavato dagli elaborati del *PSDA della Regione Abruzzo*, con la delimitazione del bacino sotteso dalla sezione di studio e con indicazione del reticolo idrografico principale del torrente Nora.

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023081
	<b>LOCALITÀ</b> Regioni: Marche e Abruzzo		<b>LA-E- 81591</b>	
	<b>PROGETTO</b> Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti		Fig. 14 di 51	<b>Rev.</b> 0

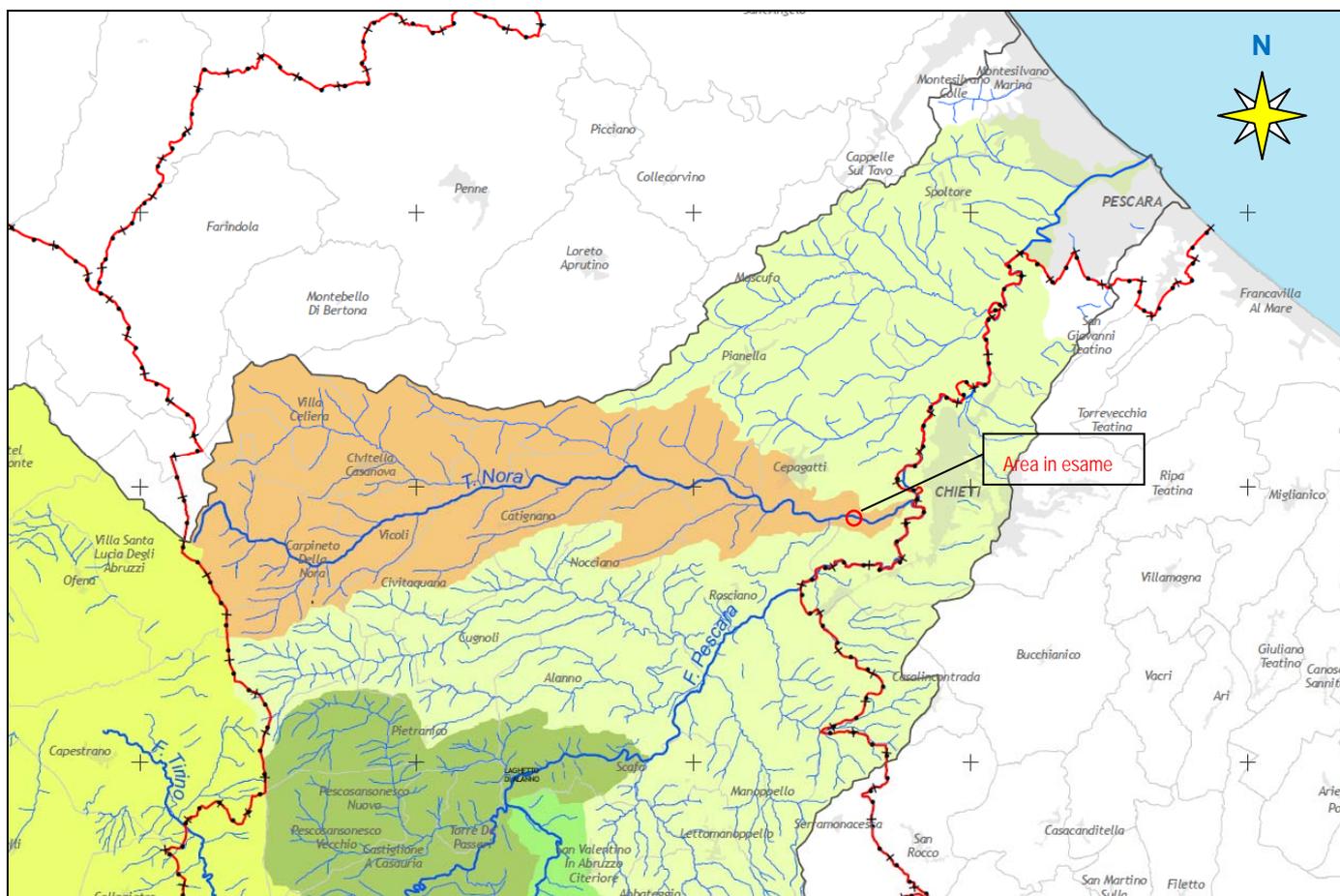


Fig.4.3/A: Bacino Imbrifero sotteso dalla sezione di studio

Nella tabella seguente sono riportati i parametri morfometrici del bacino sotteso dalla sezione di studio (sezione di attraversamento).

Tab.4.3/A: Parametri morfometrici

Corso d'acqua / Sezione Studio	Superficie Bacino (kmq)	Lungh. asta principale (km)	Altitudine media Bacino (m)	Altitudine Sezione chiusura (m)
Torrente Nora - Sez. Attraversamento	137	32	492	40.5

#### 4.4 Studi PSDA - Modalità di elaborazione per valutazioni idrologiche

Nel presente paragrafo vengono descritte le modalità utilizzate per le valutazioni idrologiche nell'ambito degli studi per la redazione del PSDA.

##### 4.4.1 Premessa

Le moderne tecniche di analisi statistica delle grandezze idrologiche consentono di elaborare e di correlare tra loro diversi campioni di dati, provenienti da strumenti di monitoraggio ubicati in zone diverse del territorio, in modo da ottimizzare la densità di informazione disponibile, ridurre le incertezze dovute alla frammentazione delle

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023081</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regioni: Marche e Abruzzo		<b>LA-E- 81591</b>	
	<b>PROGETTO</b> Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti		Fg. 15 di 51	<b>Rev.</b> <b>0</b>

osservazioni, al fine di una rappresentazione continua ed omogenea del fenomeno indagato all'interno di una regione di territorio.

Uno studio orientato al raggiungimento di questo obiettivo è stato realizzato, con riferimento al territorio regionale abruzzese (Regione Abruzzo, 2003), nell'ambito della redazione del Piano Stralcio per la Difesa dalle Alluvioni (PSDA), successivamente approvato dallo stesso Ente (Regione Abruzzo, 2008).

Lo studio ha inteso fornire uno strumento utilizzabile in ambito professionale per la stima dell'intensità con cui si manifestano i fenomeni idrologici, sia in termine di portate di massima piena che di precipitazioni intense, garantendo, nel contempo, una certa uniformità nella stime idrologiche. Lo studio è stato impostato nel rispetto delle procedure di regionalizzazione raccomandate nel Progetto VAPI, sulla base dei dati pubblicati dal Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN) di Pescara.

#### 4.4.2 Il Metodo della grandezza indice, secondo le linee guida del Progetto VAPI

L'obiettivo del Progetto VAPI è quello di consentire la stima del valore di una prefissata grandezza idrologica (precipitazione massima annua  $h_{d,T}$  di durata  $d=1÷24$  ore o portata massima annua al colmo  $Q_T$ ) per un assegnato tempo di ritorno  $T$ , in punti del territorio o in sezioni idrografiche, ove si possono verificare due diverse situazioni:

- nei siti di interesse è disponibile una serie storica sperimentale sufficientemente lunga da permettere la valutazione di alcuni parametri statistici, ma insufficiente a permettere una stima affidabile della grandezza idrologica corrispondente a tempi di ritorno elevati quali quelli considerati in questo studio;
- nei siti di interesse non è disponibile un'informazione sperimentale sufficiente per qualunque elaborazione statistica affidabile o l'informazione sperimentale è totalmente assente.

Come ampiamente riportato nella letteratura scientifica a partire da Wallis (1982), il modo migliore per conseguire una stima accurata delle grandezze idrologiche di interesse in entrambe le situazioni precedenti è rappresentata dalla "regionalizzazione" dell'informazione idrologica disponibile su un territorio più ampio, così da integrare la limitata o assente informazione temporale con la più ampia informazione spaziale (Chow, Maidment e Mays, 1988; Maidment, 1993).

Tra le possibili tecniche di analisi regionale, il Progetto VAPI promosso dal gruppo GNDCI-CNR suggerisce di fare riferimento al *metodo della grandezza indice*. L'idea di base di questa metodologia consiste nell'individuare una regione idrologicamente omogenea nei riguardi della variabile idrologica di interesse, cioè una regione costituita da un insieme di siti caratterizzati da una distribuzione di probabilità degli eventi idrologici intensi che si può ritenere unica a meno di un fattore di scala (Cunnane, 1989) ed elaborare unitamente l'insieme dei dati sperimentali rilevati.

Se si indica con  $X$  la variabile rappresentativa dei massimi annui della grandezza idrologica considerata, avente probabilità di non superamento  $F(x)$ , ovvero assegnato tempo di ritorno  $T = 1 / [1-F(x)]$ , l'analisi regionale consiste nel definire, in riferimento alla regione omogenea, la funzione di probabilità di non superamento  $F(x')$  della variabile casuale  $X' = X / \mu$ , ottenuta adimensionalizzando la variabile originaria  $X$  rispetto ad una grandezza indice  $\mu$ . La funzione  $F(x')$ , la sua inversa  $x'(F)$  e l'equivalente legge  $x'(T)$  vengono generalmente indicate, nel campo idrologico, con il termine di curva di crescita.

Definita pertanto la curva di crescita  $x'(T)$  ed una relazione che permetta il calcolo della grandezza indice  $\mu$ , la stima della variabile di assegnato tempo di ritorno risulta esprimibile mediante il semplice prodotto:

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023081</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regioni: Marche e Abruzzo		<b>LA-E- 81591</b>	
	<b>PROGETTO</b> Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti		Fg. 16 di 51	<b>Rev.</b> <b>0</b>

$$x_T = \mu \cdot x'(T) \quad (\text{eq. 1})$$

Il concetto di regionalizzazione consente, in definitiva, di estendere la validità dell'equazione (eq.1), valutata sull'insieme delle stazioni di misura considerate, a tutti i siti di interesse che appartengono all'area omogenea esaminata.

Posto che la regione considerata sia effettivamente omogenea nel senso prima detto, il metodo dell'analisi regionale della portata indice consente stime agevoli ed affidabili grazie alla maggiore informazione sugli eventi estremi utilizzata (Maidment, 1993). E' stato peraltro dimostrato che l'analisi regionale permette di ottenere stime più robuste e corrette rispetto ai risultati offerti da un'analisi di tipo puntuale, sia in presenza di parziale eterogeneità della regione (Lettenmaier et al., 1987) sia in presenza di correlazione spaziale tra le stazioni, la quale, di fatto, riduce l'effettiva numerosità campionaria disponibile (Hosking e Wallis, 1988). Per queste ragioni l'analisi regionale viene considerata il mezzo più idoneo per ottenere valutazioni attendibili di  $x_T$  in corrispondenza di tempi di ritorno elevati, sia per sezioni non provviste di dati sperimentali sia per siti di misura con ridotta numerosità campionaria. La ricerca scientifica mostra infatti chiaramente che è sconsigliabile estendere l'estrapolazione statistica a livello puntuale oltre 2÷3 volte la dimensione campionaria (Benson, 1962; Jakob et al., 1999; De Michele e Rosso, 2000).

In sintesi, nell'analisi regionale basata sul metodo della grandezza indice si possono distinguere due fasi fondamentali:

- l'individuazione, all'interno della regione di studio, di zone idrologicamente omogenee nei confronti della variabile di interesse, ognuna delle quali è caratterizzata da una propria curva di crescita i cui parametri sono opportunamente stimati;
- la definizione di relazioni che permettono di valutare la grandezza indice, solitamente espressa come funzione delle grandezze geomorfoclimatiche.

L'individuazione di zone idrologicamente omogenee può essere condotta mediante criteri puramente geografici (NERC, 1975) o facendo ricorso a criteri di raggruppamento fondati sull'affinità delle caratteristiche idro-geomorfoclimatiche che intervengono nei processi idrologici (Wiltshire, 1986a,b; Acreman e Sinclair, 1986; Nathan e McMahon, 1990; Burn, 1997) o infine utilizzando la similarità dei parametri statistici che caratterizzano le serie sperimentali (Fiorillo e Rolla, 1989; Burn, 1990; Reitano e Rossi, 1992).

Rimandando alla letteratura citata per un esame approfondito dei vantaggi-svantaggi offerti dai diversi approcci è comunque importante sottolineare che, qualunque sia il criterio di accorpamento utilizzato, è necessario verificarne la correttezza, valutando mediante opportuni test di omogeneità la capacità del modello di riprodurre le distribuzioni di frequenza delle variabili statistiche di controllo (Hosking e Wallis, 1993).

Secondo quanto emerso dall'analisi svolta nell'ambito del PSDA, il territorio della Regione Abruzzo può essere suddiviso in 2 sottozone omogenee (SZO) e precisamente una Zona Costiera ed una Zona Appenninica, per la cui esatta delimitazione si rimanda alla Tavola n. 6.2 del PSDA e la cui omogeneità in senso statistico è stata confermata dalle verifiche condotte e riportate nella Relazione n. 6.1 dello stesso PSDA.

#### 4.4.3 Stima delle portate al colmo

Nella redazione del PSDA, la stima della curva di crescita per la valutazione delle portate al colmo di assegnato tempo di ritorno è stata condotta secondo le linee guida del Progetto VAPI, a partire da una base di dati sperimentali aggiornata rispetto a

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023081</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regioni: Marche e Abruzzo		<b>LA-E- 81591</b>	
	<b>PROGETTO</b> Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti		Fg. 17 di 51	<b>Rev.</b> <b>0</b>

quella utilizzata nei precedenti lavori, condotti in modo similare, da Calenda et al. (1994, 1999).

Le zone idrologicamente omogenee, rispetto alla capacità di generare portate di piena intense, all'interno dell'ambito territoriale interessato, è stata effettuata secondo la metodologia suggerita nell'ambito di altri rapporti regionali VAPI (Versace et al., 1989; Cannarozzo e Ferro, 1991; Cannarozzo et al., 1993; Copertino e Fiorentino, 1994; Rossi, 1994). In pratica, le zone idrologicamente omogenee identificate nell'ambito dello studio delle precipitazioni massime annue vengono ritenute valide anche per i deflussi di piena in quanto dedotte a partire da una base dati molto più ampia. Sulla base di questa ipotesi, nel territorio esaminato è possibile identificare, anche per le portate al colmo, due zone con un diverso comportamento idrologico, di fatto coincidenti rispettivamente con la Zona Costiera e la Zona Appenninica (vedi PSDA, Tavola n. 6.2).

La base di dati disponibile, circa le portate massime annue registrate dalle stazioni di misura idrometrica, è risultata alquanto eterogenea, con una concentrazione sulla Zona Appenninica, per la quale sono stati reperiti dati sufficienti al fine dell'analisi statistica. Di conseguenza, è stato possibile pervenire alla determinazione di una sola curva di crescita la cui validità è da ritenersi limitata alla sola Zona Appenninica. È inoltre ipotizzabile che la curva di crescita valida per la Zona Appenninica non sia utilizzabile per la caratterizzazione delle portate di piena nella Zona Costiera in quanto tendenzialmente sotto-stimante.

Nell'intento di pervenire alla definizione dell'idrogramma di piena in una qualunque sezione idrografica all'interno del territorio regionale, le indagini condotte nell'ambito del PSDA sono state articolate secondo una serie di fasi per le quali si rimanda alla già citata relazione.

#### 4.4.4 Curva di crescita regionale

Per la stima della curva di crescita regionale rappresentativa del comportamento statistico delle portate al colmo massime annue nei bacini regionali abruzzesi, l'acquisizione dei dati utili alle elaborazioni statistiche ha evidenziato due situazioni alquanto differenti circa la loro utilità al fine dell'applicazione della metodologia VAPI.

Per quanto riguarda la Zona Appenninica, lo studio ha fatto riferimento alle portate al colmo massime annue rilevate alle stazioni provviste di almeno 20 valori di portata massima annuale ed il cui bacino contribuyente sia almeno per il 70% della sua superficie complessiva all'interno di tale Zona. Sulla base di tale criterio, l'esame dei dati di portata massima annuale disponibili ha consentito di individuare 18 stazioni idrografiche tra le quali:

• Sangro a Opi;	• Zittola a Montenero;	• Aventino a Vicenne;
• Sangro a Villetta Barrea;	• Sangro a Ateleta;	

Applicando le direttive metodologiche VAPI gli autori sono pervenuti alla rappresentazione della curva di crescita regionale utilizzabile per la valutazione delle portate al colmo massime annue che caratterizzano i bacini idrografici ubicati nell'ambito della Zona Appenninica. La Tabella seguente presenta il valore dei parametri  $\lambda^*$ ,  $\Theta^*$ ,  $\lambda_1$  e  $\eta$  necessari alla costruzione della curva di crescita TCEV e un'espressione esplicita approssimante tale curva, valida per  $T > 5$  anni e che fornisce un errore comunque inferiore al 1% nell'intervallo  $10 < T < 500$ .

*Tab.4.3/A: Parametri ed espressione approssimata dei fattori di crescita delle portate al*

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA 023081
	LOCALITÀ	Regioni: Marche e Abruzzo		LA-E- 81591
	PROGETTO	Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti		Fg. 18 di 51

*colmo, per la Zona Appenninica*

$\hat{\lambda}^*$	$\hat{\Theta}^*$	$\hat{\lambda}_1$	$\eta$	$x'(T)$ per $T > 5$ anni	Note
0.413	3.302	6.56	3.5651	$-0.2781 + 0.9230 \cdot \ln T$	Valida per la sola Zona Appenninica

Le curve di crescita così ottenute sono utilizzabili per tutti i bacini appenninici, con superficie superiore ai 10 km<sup>2</sup>.

#### 4.4.5 Portata Indice $m_Q$

La stima della portata indice  $m_Q$ , ossia il valore atteso di portata al colmo massima annuale che particolarizza la (eq.1) per il sito fluviale di interesse, costituisce uno dei problemi aperti di maggiore complessità nell'idrologia; le innumerevoli applicazioni pratiche del metodo della portata indice hanno infatti evidenziato la difficoltà di ottenere stime attendibili di  $m_Q$  indipendentemente dal metodo di stima utilizzato. Come già evidenziato da Hebson e Cunnane (1987) e dal FEH (1999), e confermato da Brath et al. (1999) e da De Michele e Rosso (2000), se si dispone di un campione sperimentale anche di dimensioni non elevate (12÷15 anni) la stima diretta di  $m_Q$  è preferibile a qualunque altro approccio.

Nel caso di sezioni fluviali rappresentative di situazioni idrologiche particolari, ad esempio bacini dove un'elevata permeabilità o la presenza di fenomeni di carsismo genera meccanismi di risposta alle sollecitazioni meteoriche non generalizzabili, Brath et al. hanno mostrato che 5÷10 anni di misure dirette sono in genere sufficienti per fornire risultati migliori di quelli ottenibili con approcci indiretti.

Nell'insieme del territorio costituito dai bacini idrografici scolanti nel versante adriatico, sulla base dei dati forniti dal S.I.M.N., sono state individuate 23 sezioni idrometrografiche, per le quali si dispone di più di 12 valori di portata al colmo massima annua. In aggiunta, si sono resi disponibili i valori di portata indice calcolati in altre 5 sezioni sulla base di un campione sperimentale di almeno 5 anni, che possono essere quindi utilizzate ai fini operativi. In definitiva l'informazione sperimentale disponibile per la valutazione della portata indice, rappresentata dal valore  $m_Q$  in 28 sezioni di misura, è apparsa di discreta consistenza in termini di numerosità e di distribuzione sul territorio.

Per poter comunque permettere la valutazione della portata indice  $m_Q$  in una qualunque sezione di interesse lo studio del PSDA ha portato alla definizione di alcune relazioni, valide a livello regionale, tramite le quali pervenire ad una stima indiretta di  $m_Q$ . In particolare, è stato seguito il suggerimento di Franchini e Galeati (1996) ed Brath et al. (1999) che, esaminando in maniera specifica il problema della stima della piena indice per le sezioni idrografiche dei bacini appenninici compresi tra l'Emilia e le Marche (dal bacino del Trebbia al Tronto) e comparando vari modelli di stima ed utilizzando tecniche di verifica jack-knife, sono pervenuti alla conclusione che l'impiego di relazioni multiregressive appare l'approccio in grado di fornire le migliori stime dei valori indice. Muovendosi lungo questa linea di indagine e utilizzando le portate indice calcolate alle sezioni idrografiche strumentate, provviste di almeno 10 anni di dati, sono state esaminate numerose possibili relazioni multiregressive utilizzando diverse combinazioni di grandezze geomorfologiche. La relazione risultata come ottimale è:

$$\hat{m}_Q = 0.00858 \cdot A_{imp}^{0.6506} \cdot m_g^{1.4387} \quad (\text{eq. 2})$$

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA 023081
	LOCALITÀ	Regioni: Marche e Abruzzo		LA-E- 81591
	PROGETTO	Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti		Fg. 19 di 51

dove  $A_{imp}$  è l'area sottesa classificata come impermeabile secondo le indicazioni del S.I.M.N. (km<sup>2</sup>) e  $m_g$  è la pioggia indice di durata 1 giorno valutata nel baricentro del bacino (mm). La pioggia indice  $m_g$  è stata in particolare calcolata come media pesata delle precipitazioni indice puntuali alle stazioni di misura afferenti ciascun bacino considerato, con pesi ottenuti mediante costruzione dei poligoni di Thiessen. Ai fini operativi la pioggia indice può comunque essere valutata nel baricentro del bacino di interesse in maniera speditiva e senza particolare perdita di accuratezza in base alle isolinee riportate nella Tavola N. 6.5 del PSDA.

#### 4.5 Studi PSDA - Selezione dei risultati di interesse

##### Premessa

Nell'ambito degli elaborati di studio del PSDA relativamente al bacino del fiume Aterno-Pescara, nell'ambito degli elaborati di studio del PSDA si è provveduto alla costruzione degli idrogrammi di piena con tempo di ritorno  $T = 20, 50, 100, 200$  e 500 anni in dodici sezioni idrologiche, indicate nella Tavola C0611.

In tal senso nella tabella seguente si riportano i valori dei parametri geomorfologici relativamente ai bacini idrografici sottesi dalle sezioni considerate lungo le aste fluviali.

Tab.4.5/A: Grandezze geomorfologiche che caratterizzano i bacini idrografici sottesi dalle sezioni considerate.

Sezione	A (km <sup>2</sup> )	A perm. (%)	A imp. (km <sup>2</sup> )	L (km)	$\Delta H$ (m)	Z (m s.l.m.)
Sez.AT1	168.5	35	109.5	24.4	355.0	1074.0
Sez.RA1	227.1	50	113.6	21.5	623.4	1258.0
Sez.AT1-RA1	130.0	50	65.0	12.0	347.0	1024.0
Sez.RA1-AT2	294.0	70	88.2	22.0	490.0	1085.0
Sez.AT3	1309.2	60	523.7	93.0	812.0	1092.0
Sez.ST1	377.0	93	26.4	20.0	806.0	1121.0
Sez.AT-ST-PE	208.0	90	20.8	12.0	397.0	657.0
Sez.PE1	2674.2	67	882.5	128.0	937.0	1023.0
Sez.NO1	137.0	4	131.5	32.0	461.0	492.0
Sez.PE2	3132.0	58	1315.4	165.0	908.0	914.0
Sez.PE1-NO1	181.0	5	172.0	21.0	204.0	255.0
Sez.NO1-PE2	139.3	5	132.4	17.0	86.0	96.0

In particolare, per le specifiche valutazione idrologiche relative al presente elaborato, risulta principalmente significativa la sezione NO1 subito a monte della confluenza con il fiume Pescara (i cui valori dei parametri sono evidenziati in rosso nella tabella

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023081</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regioni: Marche e Abruzzo		<b>LA-E- 81591</b>
	<b>PROGETTO</b> Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti		Fg. 20 di 51

precedente), in quanto risulta localizzata in prossimità dell'area di attraversamento in esame. La Sez.NO1 delimita il bacino imbrifero del torrente Nora, affluente in sinistra con un'area sottesa di 137 km<sup>2</sup>, a monte della confluenza con il Pescara.

#### Sintesi dei Risultati per la sezione NO1

Nella figura seguente è riportato uno stralcio con la rappresentazione grafica dei risultati delle elaborazioni idrologiche effettuate nell'ambito del PSDA (Tavola C0611), dal quale si possono rilevare i valori delle portate al colmo per la sezione NO1. In figura è anche riportato il bacino imbrifero sotteso dalla sezione NO1 (con superficie di 137 km<sup>2</sup>), il quale sostanzialmente coincide anche con quella relativa alla sezione di studio nel presente elaborato.

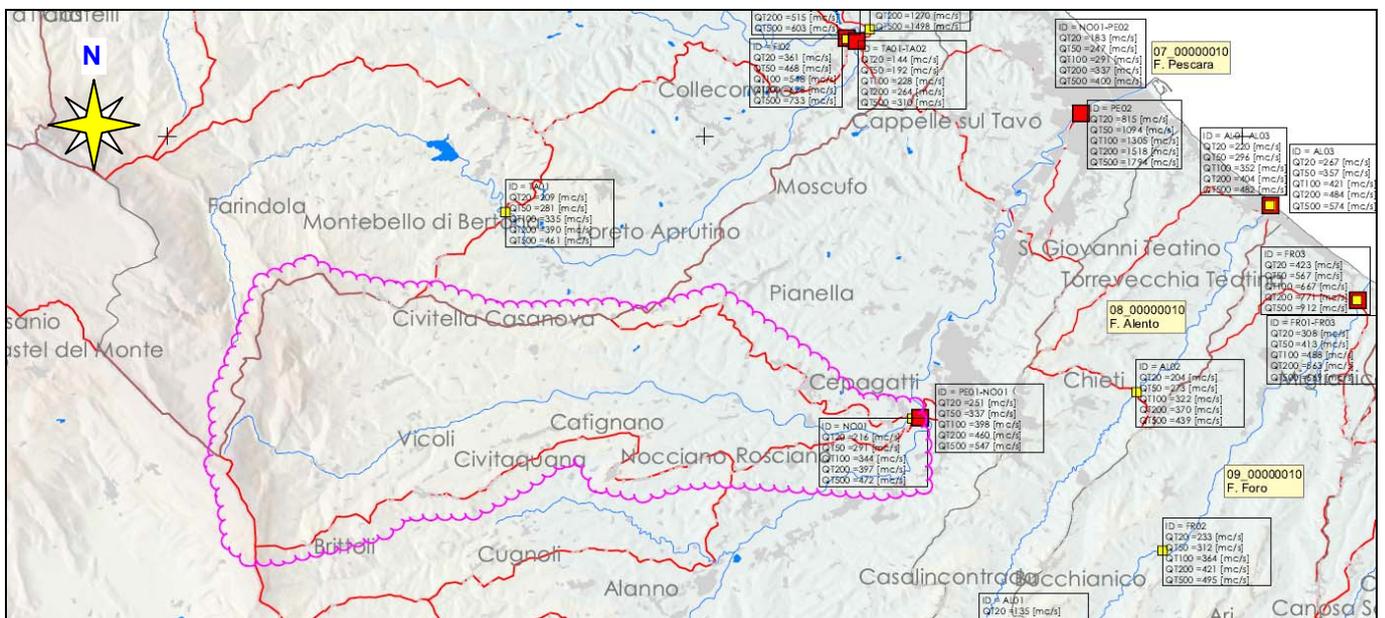


Fig.4.5/A: Bacino Imbrifero sotteso dalla sezione NO1 e dalla Sez. Studio

Pertanto si assumono come portate di riferimento per la sezione in esame quelle relative alla Sez. NO1, le quali sono riportate anche nella tabella seguente.

Tab.4.5/B: Risultati delle elaborazioni PSDA

TR (anni)	SEZ. ID=NO1	
	Sup. Bacino (kmq)	Portata (mc)
20	137	216
50	137	291
100	137	344
200	137	397
500	137	472

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA 023081
	LOCALITÀ	Regioni: Marche e Abruzzo		<b>LA-E- 81591</b>
	PROGETTO	Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti		Fg. 21 di 51

#### 4.6 Portata di progetto

Si adotta come portata di progetto, per le verifiche idrauliche di cui al capitolo seguente, quella associata ad un tempo di ritorno pari a 200 anni (si veda la tabella qui di seguito riportata).

*Tab.4.6/A: Portata di progetto - tabella riepilogativa*

Sezione Idrologica		Sup. Bacino	Qprogetto	qmax
		(kmq)	(mc/s)	(mc/s×kmq)
T. Nora	Sez. di studio	137	<b>397</b>	2.90

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA 023081
	LOCALITÀ	Regioni: Marche e Abruzzo		LA-E- 81591
	PROGETTO	Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti		Fg. 22 di 51

## 5 STUDIO IDRAULICO IN MOTO PERMANENTE

### 5.1 Presupposti e limiti dello studio

Nel presente capitolo sono descritte le procedure operative ed i risultati delle analisi condotte per la verifica delle condizioni idrauliche del deflusso di piena del corso d'acqua nel tronco oggetto dell'intervento. In particolare, nello specifico si è deciso di svolgere l'analisi idraulica, attraverso una *modellazione in moto permanente* in un tronco d'alveo idraulicamente significativo a cavallo dell'ambito di attraversamento della condotta.

Lo studio è finalizzato alle seguenti determinazioni:

- stima ed analisi dei parametri idraulici che caratterizzano il deflusso della portata di piena, in corrispondenza delle sezioni interessate dalle opere in progetto;
- valutazione dei potenziali fenomeni erosivi del fondo alveo e degli approfondimenti, che possono verificarsi in concomitanza di eventi di piena eccezionale.

Come esposto nel capitolo precedente, lo studio idraulico è effettuato sulla base della portata al colmo corrispondente al tempo di ritorno  $T_r = 200$  anni (al quale si associa la probabilità di non superamento del 99.5%). Tale valore è utilizzato per la stima degli eventuali fenomeni erosivi, che devono dimostrarsi limitati entro condizioni compatibili con le opere di ripristino previste, al fine di assicurare la sussistenza di condizioni di stabilità per la condotta e l'assenza di eventuali interferenze tra questa ed i fenomeni associati al deflusso di piena.

Lo schema utilizzato per la determinazione dei profili idrici è quello di moto permanente monodimensionale (deflusso costante e geometria variabile), con corrente gradualmente variata (fatta eccezione per le sezioni in cui si risente della presenza di strutture), variazioni di forma dell'alveo e di pendenza longitudinale del fondo compatibili con il modello. La validità delle analisi eseguite in condizioni di moto permanente è avvalorata dalle seguenti considerazioni:

- le valutazioni idrauliche sono condotte per un tratto limitato del corso d'acqua;
- l'assetto idrografico del corso d'acqua è rappresentato mediante sezione delle trasversali all'alveo;
- lo studio è essenzialmente incentrato sugli effetti del massimo valore di livello idrico raggiunto durante gli eventi di piena ed ai corrispondenti regimi di velocità.

I criteri ed i modelli di calcolo utilizzati per le verifiche idrauliche in moto permanente derivano dall'applicazione del software HEC-RAS<sup>1</sup>, nella versione 5.0.7, e descritti nei documenti "RAS Hydraulic reference manual", "RAS user's manual", "RAS applications guide".

In *Appendice 1* della presente relazione viene descritta, con dettaglio, la metodologia di calcolo utilizzata.

<sup>1</sup> River Analysis System, versione 4.1.0, Gennaio 2010, sviluppato da U.S. Army Corp of Engineers - Hydrologic Engineering Center - 609 Second Street, Davis, CA (U.S.A.).

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023081
	<b>LOCALITÀ</b> Regioni: Marche e Abruzzo		<b>LA-E- 81591</b>	
	<b>PROGETTO</b> Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti		Fg. 23 di 51	<b>Rev.</b> 0

## 5.2 Assetto geometrico e modellazione dell'alveo

Al fine di eseguire la modellazione idraulica nell'ambito di riferimento è stato considerato un tronco d'alveo idraulicamente significativo a cavallo della sezione di attraversamento del metanodotto, per uno sviluppo complessivo di circa 410 m.

I dati geometrici di base derivano da un rilievo topografico effettuato tramite volo Lidar (appositamente eseguito per la progettazione del metanodotto in esame), che ha consentito la definizione di dettaglio delle caratteristiche geometriche dell'alveo e delle sponde lungo lo sviluppo del tronco d'alveo oggetto di analisi.

La configurazione d'alveo così individuata risulta pertinente sia alla attuale configurazione idraulica del corso d'acqua, che a quella di fine lavori. Ciò in quanto, con i lavori di costruzione del metanodotto, non verranno apportate al corso d'acqua alterazioni apprezzabili tali da modificarne il deflusso della corrente.

Entrando nello specifico, nella figura seguente è riportato uno stralcio planimetrico (ricavato dalle Carte Tecniche Regionali), nel quale l'asta del corso d'acqua è indicata in colore blu, le sezioni trasversali utilizzate per il calcolo idraulico sono indicate in magenta ed infine il tracciato del metanodotto in progetto è riportato tramite una linea in colore in rosso.

La sezione Sez.1 (RS 1370) coincide con la sezione di monte del tronco idraulico; la sezione Sez.8 (RS 26) rappresenta la sezione idraulica di valle.



*Fig.5.2/A: Foto aerea del tronco d'alveo analizzato e sezioni iniziali di input*

Invece nella successiva tabella vengono riportate le denominazioni delle sezioni di input nella modellazione idraulica (con la corrispondenza con le sezioni del rilievo), nonché vengono indicate le progressive metriche lungo l'asta fluviale e le distanze reciproche tra le sezioni.

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA 023081
	LOCALITÀ	Regioni: Marche e Abruzzo		LA-E- 81591
	PROGETTO	Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti		Fg. 24 di 51

Tab.5.2/A: quadro geometrico generale della modellazione

SEZIONE IDRAULICA (River Station)	SEZIONE DEL RILIEVO	PROGRESSIVA (m)	DISTANZA dalla Sez. succ. (m)	DESCRIZIONE
RS 1370	Sez.1	0	57.9	Sezione di monte
RS 1181	Sez.2	57.9	54.6	
RS 1001	Sez.3	112.5	57	
RS 814	Sez.4	169.5	45.7	
RS 665	Sez.5	215.2	60.5	
RS 466	Sez.6	275.7	62.5	
RS 261	Sez.7	338.2	71.7	
RS 26	Sez.8	409.9	0	Sezione di valle

In aggiunta, si pone in evidenza, che per ottenere una migliore modellazione numerica nell'elaborazione di calcolo sono utilizzate anche una serie di "sezioni intermedie", le quali sono state individuate in maniera automatizzata dal programma mediante interpolazione lineare tra le sezioni di input immediatamente a monte ed a valle.

Nella figura seguente si riporta lo schema planimetrico di input geometrico utilizzato per la modellazione idraulica, dove le sezioni in verde scuro sono di input da rilievo, mentre quelle in verde chiaro sono state ricavate per interpolazione dal programma.

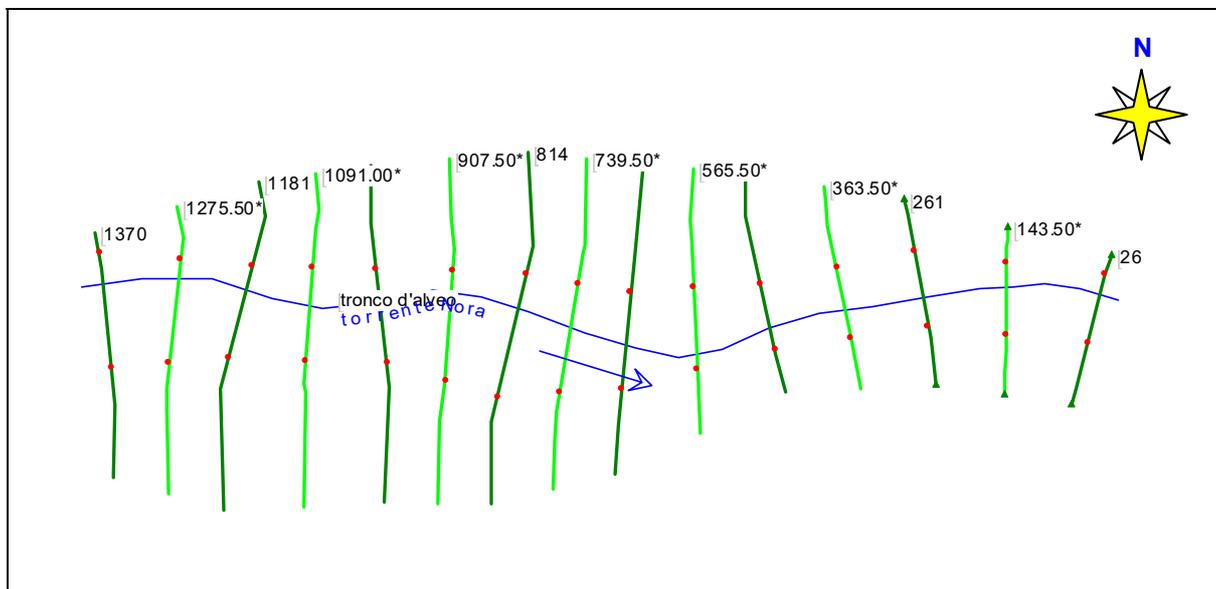


Fig.5.2/B: Modellazione geometrica in HEC-RAS (RS 1370 a monte e RS 26 a valle)

#### Dati di Input e condizioni al contorno

Le elaborazioni sono state effettuate considerando l'evento di piena associato ad un tempo di ritorno di 200 anni, per il quale (in riferimento alle valutazioni idrologiche di cui al capitolo precedente) è stata valutata una portata al colmo di piena  $Q$  pari a:

- $Q_{200} = 397 \text{ mc/s}$

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA 023081
	LOCALITÀ	Regioni: Marche e Abruzzo		LA-E- 81591
	PROGETTO	Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti		Fg. 25 di 51

Il valore di portata è stato mantenuto costante per tutto il tronco d'alveo in esame nella modellazione idraulica. Inoltre la portata è stata mantenuta costante nel tempo, in conformità ad una delle ipotesi del moto permanente.

Le condizioni al contorno imposte alle estremità del tronco d'alveo oggetto di studio, sono costituite da un flusso in moto uniforme "normal depth" a monte (RS 1370) ed a valle (RS 26), in considerazione delle pendenze al fondo individuati per i tratti immediatamente esterni alle estremità del tronco.

Per modellare porzioni di sezione in cui può essere presente dell'acqua, ma con velocità pari a zero, sono utilizzate le Ineffective Flow Areas (aree di ristagno). Tali aree sono tenute in conto ai fini del calcolo dei parametri idraulici (es. contorno bagnato), ma non sono considerate "attive" ai fini del convogliamento dell'acqua.

Per quanto concerne il coefficiente d'attrito si è fatto riferimento agli indici di scabrezza di Manning "n", i cui valori caratteristici, assunti costanti per l'intero tronco di analisi e sono:

- 0,030 per l'alveo medio principale (Chan);
- 0,060 per le aree golenali di deflusso oltre i limiti d'alveo (LOB, ROB);

### 5.3 Risultati della simulazione idraulica

Nel presente paragrafo si riportano alcuni grafici e tabelle che consentono una più rapida visualizzazione dell'output dell'elaborazione.

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

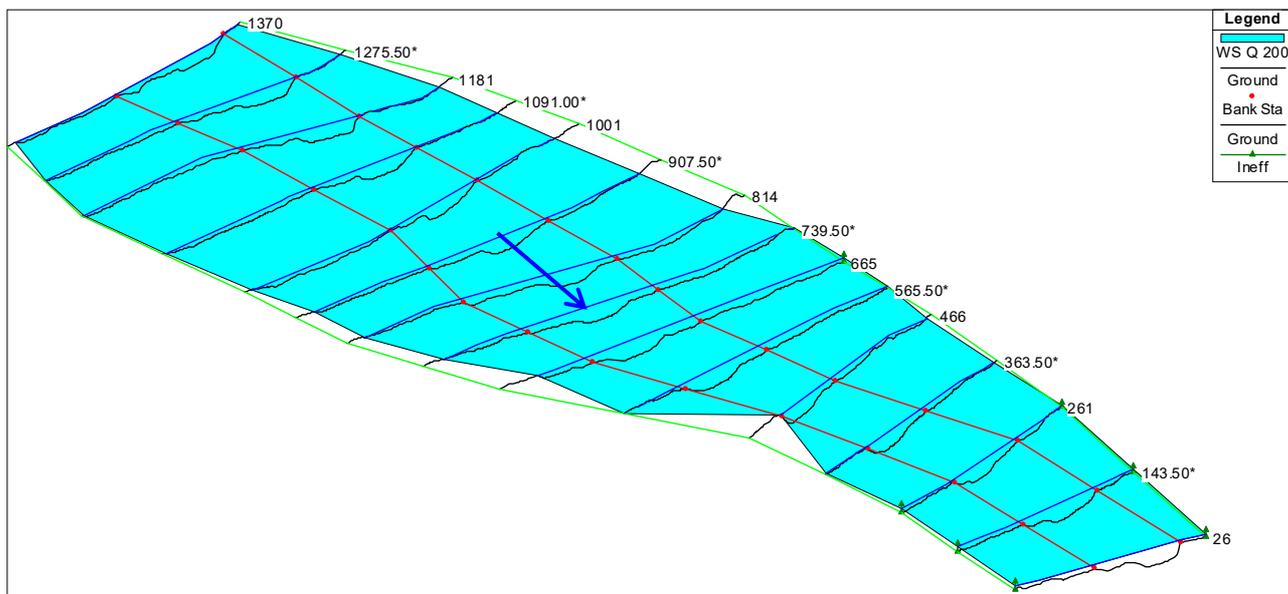


Fig.5.3/A: Schermata di Output del programma – visione prospettica (RS1370:monte / RS26:valle)

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA 023081
	LOCALITÀ	Regioni: Marche e Abruzzo		LA-E- 81591
	PROGETTO	Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti		Fg. 26 di 51

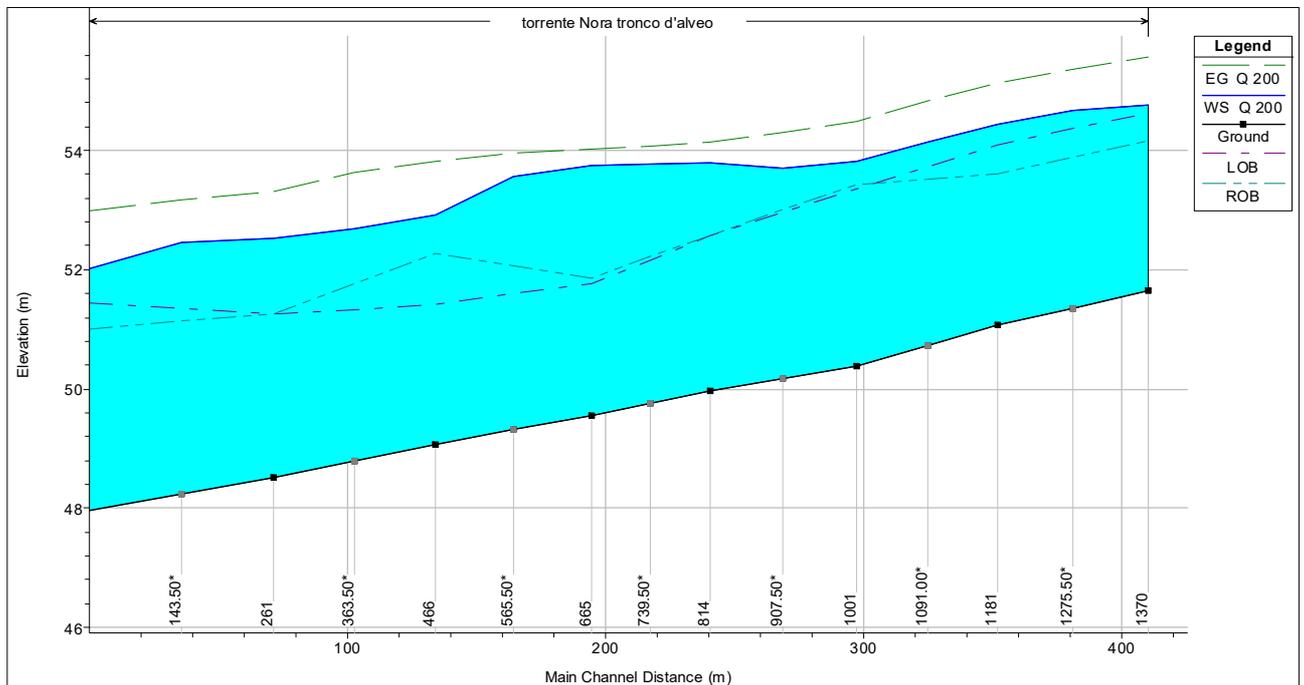


Fig.5.3/B: Schermata di Output del programma – Profilo longitudinale (RS1370:monte / RS26:valle)

Qui di seguito è riportata la tabella riepilogativa dei risultati conseguiti nell'elaborazione idraulica, relativa alle varie sezioni di calcolo.

Tab.5.3/A: Tabella Riepilogativa generale di Output

River Station	Q Total (m3/s)	Min Ch Elev (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Hydr Depth C (m)	Shear Chan (N/m2)	Froude Chl
1370	397	51.64	54.77	54.77	55.56	0.006489	4.06	118.20	95.11	1.92	118.44	0.94
1275.50*	397	51.36	54.66	54.66	55.36	0.005564	3.95	134.31	114.13	2.07	109.06	0.88
1181	397	51.08	54.43	54.43	55.12	0.005525	3.99	142.82	126.10	2.16	110.88	0.87
1091.00*	397	50.73	54.14	54.14	54.83	0.005851	4.05	143.92	123.52	2.06	114.84	0.90
1001	397	50.38	53.82	53.82	54.49	0.006066	4.03	145.87	116.72	1.99	115.03	0.91
907.50*	397	50.17	53.70	53.66	54.30	0.004883	3.70	152.53	125.44	2.03	95.77	0.83
814	397	49.96	53.79	53.44	54.13	0.002367	2.80	197.24	128.93	2.32	52.79	0.59
739.50*	397	49.76	53.76	53.03	54.07	0.001873	2.71	209.33	122.66	2.62	47.38	0.54
665	397	49.56	53.75	52.92	54.02	0.001426	2.57	230.26	112.11	2.98	40.79	0.48
565.50*	397	49.32	53.57	52.92	53.96	0.001944	3.06	190.14	102.22	3.08	57.30	0.56
466	397	49.08	52.92	52.92	53.82	0.005126	4.51	120.98	71.72	2.72	130.54	0.87
363.50*	397	48.80	52.70	52.70	53.64	0.004937	4.49	115.69	82.11	2.73	128.40	0.87
261	397	48.51	52.53	52.33	53.31	0.003994	4.11	125.78	74.22	2.80	106.62	0.78
143.50*	397	48.23	52.45	52.16	53.16	0.003313	3.93	132.77	69.80	3.04	95.15	0.72
26	397	47.96	52.02	52.02	52.99	0.005508	4.58	111.19	62.90	2.72	135.94	0.89

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

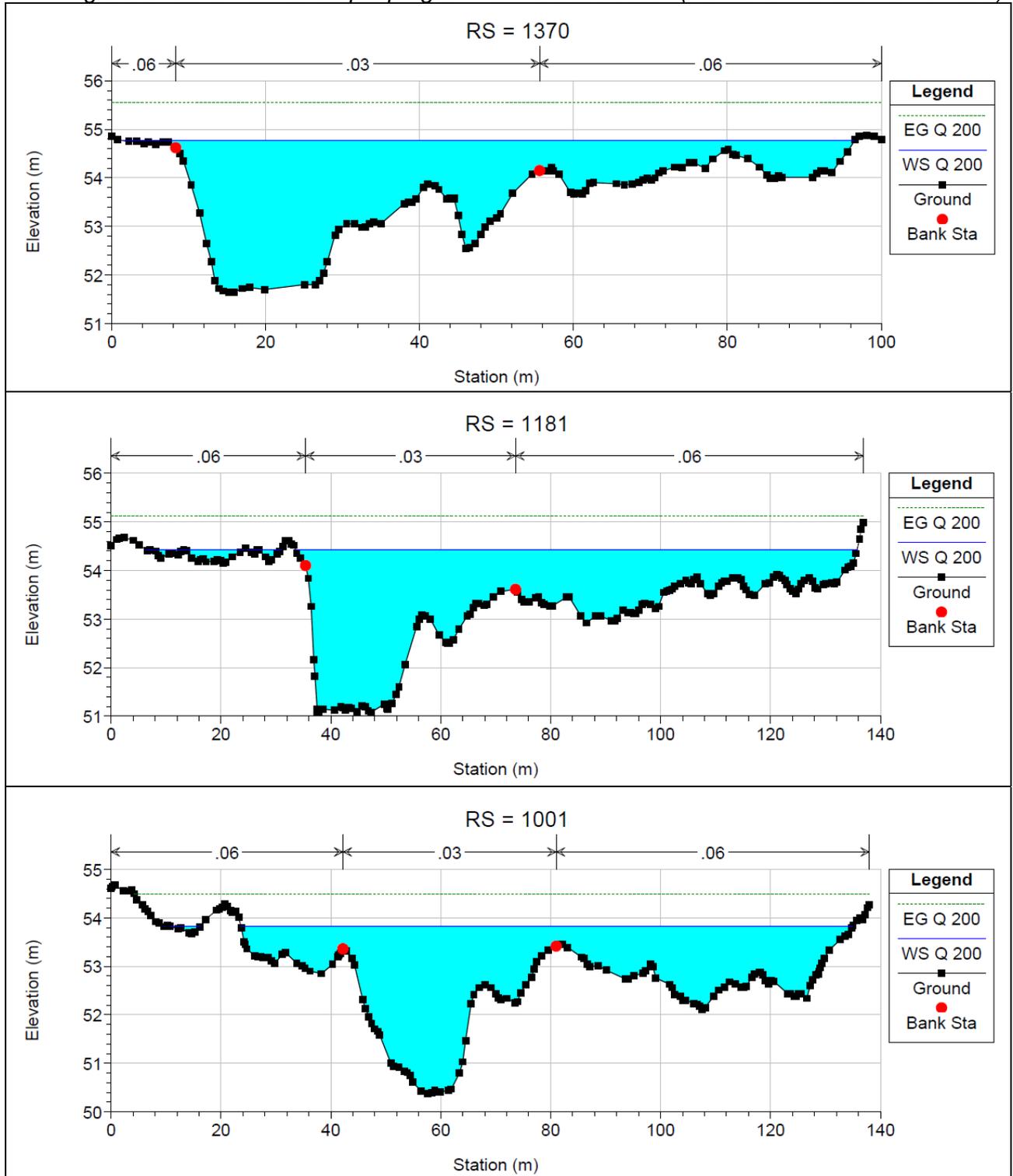
	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023081</b>
	<b>LOCALITÀ</b>	Regioni: Marche e Abruzzo		<b>LA-E- 81591</b>
	<b>PROGETTO</b>	Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti		Fg. 27 di 51

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

Inoltre nella figura seguente si riportano le schermate di output delle varie sezioni principali di calcolo (Cross Section) considerate nell'elaborazione di calcolo.

	<b>PROGETTISTA</b> 	<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023081</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regioni: Marche e Abruzzo	<b>LA-E- 81591</b>	
	<b>PROGETTO</b> Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti	Fg. 28 di 51	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Fig.5.3/C: Schermate di Output programma – Cross Section (RS 1370: monte / RS 26: valle)





PROGETTISTA



UNITÀ  
000

COMMESSA  
023081

LOCALITÀ

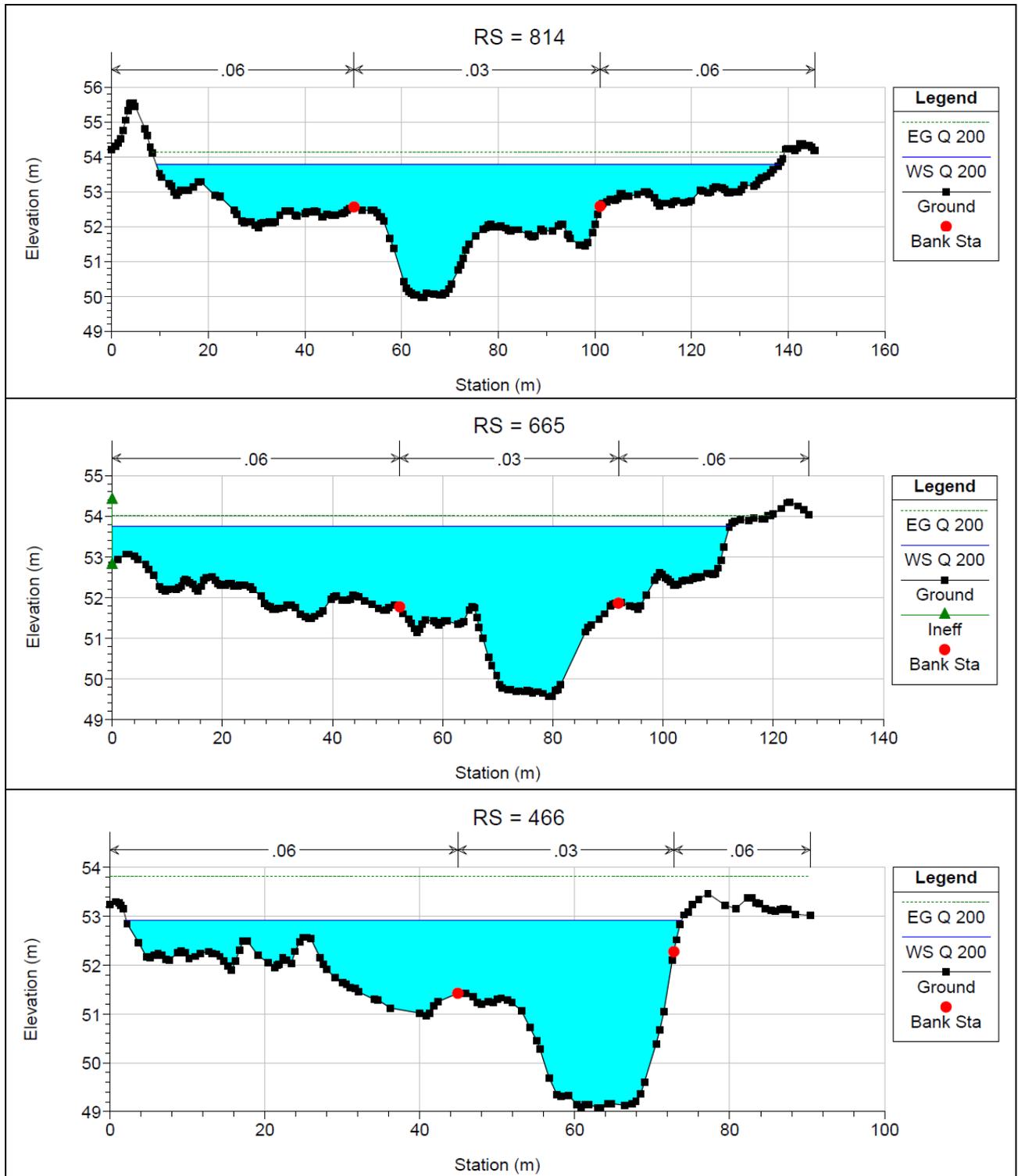
Regioni: Marche e Abruzzo

LA-E- 81591

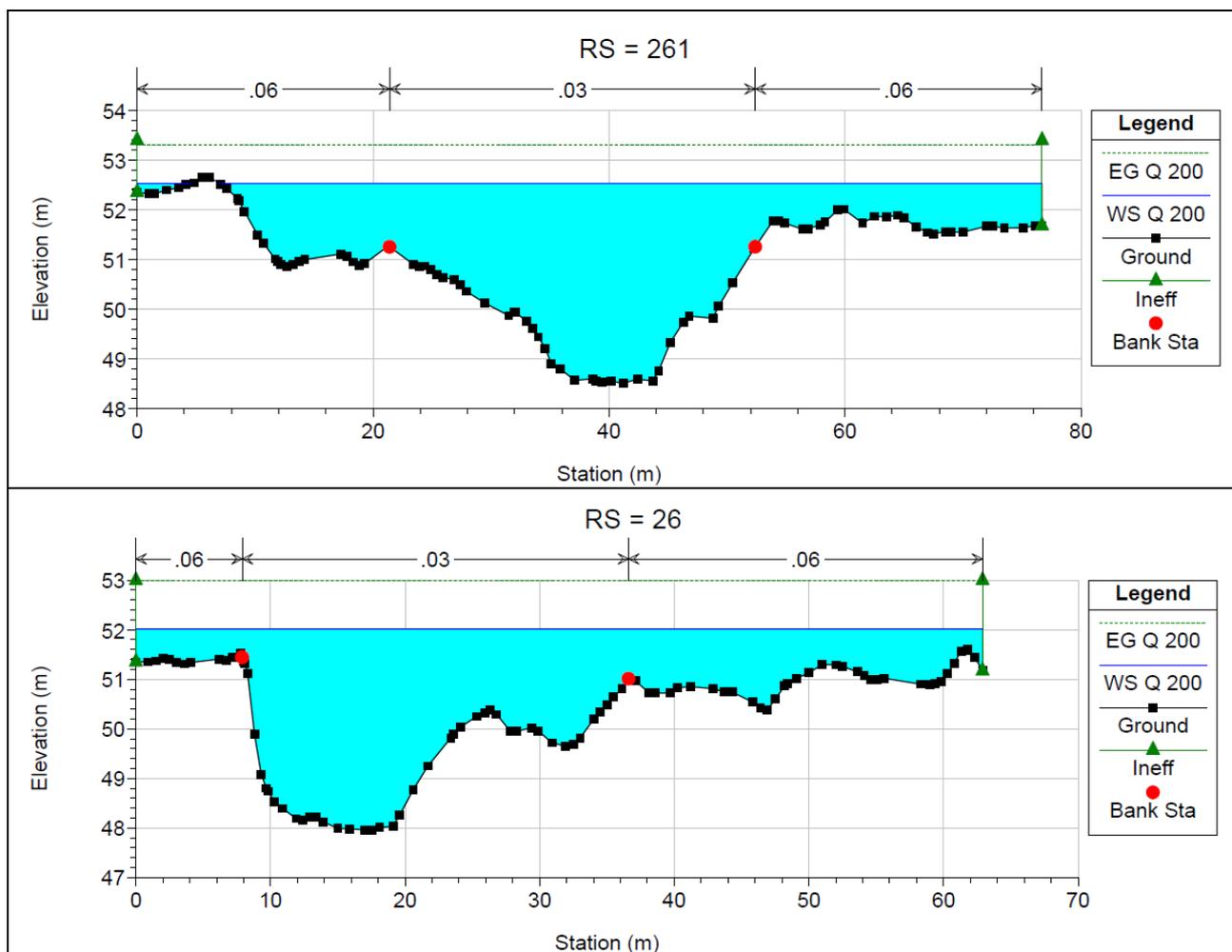
PROGETTO Rif. met. Ravenna – Chieti  
Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti

Fg. 29 di 51

Rev.  
0



	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA 023081
	LOCALITÀ	Regioni: Marche e Abruzzo		LA-E- 81591
	PROGETTO	Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti		Fg. 30 di 51



#### 5.4 Analisi dei risultati conseguiti

Nel paragrafo precedente sono state riportate le principali schermate di output del programma HEC-RAS sia in formato grafico sia in formato tabellare.

Dall'esame dei risultati della simulazione idraulica, si rileva che nel tronco idraulico considerato la sezione d'alveo non risulta in grado di contenere la portata di progetto (portata duecentennale). Esondazioni si individuano sia in destra, che in sinistra idrografica lungo tutto il tronco idraulico esaminato. Tuttavia, le aree di esondazione risultano contenute nella fascia di ampiezza dell'ordine dei 50÷100m nell'intorno dell'alveo del corso d'acqua.

Le velocità di deflusso della corrente risultano molto variabili, con valori massimi elevati (prossimi ai 4,6 m/s), mantenendosi comunque nelle condizioni di corrente lenta ( $FR < 1$ ).

Per la valutazione dei fenomeni erosivi e delle capacità di trasporto solido della corrente in considerazione della piena di progetto, si rimanda a quanto riportato nel capitolo seguente.

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023081</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regioni: Marche e Abruzzo		<b>LA-E- 81591</b>	
	<b>PROGETTO</b> Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti		Fg. 31 di 51	<b>Rev.</b> <b>0</b>

## 6 VALUTAZIONE EROSIONI DI FONDO ALVEO

### 6.1 Generalità

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

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

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

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

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

Nel seguito si descrivono quindi le espressioni generali che si ritengono utilizzabili nel caso in oggetto, per la valutazione dei fenomeni erosivi in alveo, al fine di quantificare il valore che un eventuale approfondimento potrebbe raggiungere rispetto alla quota media iniziale del fondo, interessando quindi la quota di collocazione della condotta.

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA 023081
	LOCALITÀ Regioni: Marche e Abruzzo		LA-E- 81591	
	PROGETTO Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti		Fg. 32 di 51	Rev. 0

## 6.2 Criteri di calcolo

### Approfondimenti localizzati

Per quanto attiene alla formazione locale di buche ed approfondimenti, le posizioni e le caratteristiche di queste erosioni sono talvolta abbastanza prevedibili, come ad esempio nel punto di gorgo dei meandri o in corrispondenza di manufatti, ed a volte del tutto imprevedibili, specialmente in alvei a fondo mobile, cioè costituiti da un materiale di fondo essenzialmente granulare.

Infatti, in tali alvei, anche in assenza di manufatti, sul fondo possono crearsi buche di notevole profondità; le condizioni necessarie per lo sviluppo del fenomeno sembrano individuarsi nella formazione di correnti particolarmente veloci sul fondo e nella presenza di irregolarità geometriche dell'alveo, che innescano il fenomeno stesso.

In questi casi, e quando le dimensioni granulometriche del materiale di fondo sono inferiori a 5 centimetri, i valori raggiungibili dalle suddette erosioni sono generalmente indipendenti dalla granulometria; per dimensioni dei grani maggiori di 5 centimetri, invece, all'aumentare della pezzatura diminuisce la profondità dell'erosione<sup>2</sup>. Occorre quindi poter stimare quale sia il diametro limite dei clasti trasportabili dalla piena e quindi valutare gli eventuali approfondimenti. Per i casi di posa di condotte in sub-alveo con eventuale rivestimento, da effettuare in corsi d'acqua a regime torrentizio, è inoltre necessario adeguare le analisi alle condizioni concrete di esecuzione. Fra i modelli più noti atti a determinare il valore dell'eventuale approfondimento rispetto alla quota media iniziale del fondo dovuto alle piene (Schoklitsh, Eggemberger, Adami, ecc.), la formula di Schoklitsh<sup>3</sup> è quella che presenta minori difficoltà nella determinazione dei parametri caratteristici.

Per determinare un valore medio rappresentativo dell'eventuale approfondimento rispetto alla quota media iniziale del fondo, si ricorre alla citata formula di Schoklitsh:

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

dove

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

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

### Arature di fondo

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

<sup>2</sup> Adami A., Fenomeni localizzati ed erosioni negli alvei, Atti "Moderne vedute sulla meccanica dei fenomeni fluviali"; C.N.R., P.F. Conservazione del suolo; 1979.

<sup>3</sup> Schoklitsh A., "Stauraum verlandung und kolkbewehr", Springer ed., Vienna, 1935.

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023081</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regioni: Marche e Abruzzo		<b>LA-E- 81591</b>	
	<b>PROGETTO</b> Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti		Fg. 33 di 51	<b>Rev.</b> <b>0</b>

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

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

Allo stato attuale non potendosi fare che semplici ipotesi sul fenomeno, non è possibile proporre algoritmi per calcolare la profondità degli scavi. Le proprietà geometriche del fondo alveo, in relazione all'entità delle tensioni tangenziali indotte dalla corrente, sono state studiate<sup>4</sup> da Yalin (1964), Nordin (1965) ed Altri, che hanno proposto di assegnare a tali escavazioni un valore cautelativo pari ad una percentuale dell'altezza idrometrica di piena ivi determinata. In particolare, nel caso di regime di corrente lenta, venne concluso che, per granulometrie comprese nel campo delle sabbie, la profondità del fenomeno risulta comunque inferiore a 1/6 o al massimo 1/3 dell'altezza idrica. Una generalizzazione prudenziale, proposta in Italia<sup>5</sup>, sulla base di osservazioni dirette nei corsi d'acqua della pianura padana, estende il limite massimo dei fenomeni di escavazione per aratura, indipendentemente dalla natura del fondo e dal regime di corrente, ad un valore cautelativo pari al 50% dell'altezza idrometrica di piena.

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

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

#### Diametro limite dei clasti trasportabili

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

$$\delta = \frac{\tau_0}{[0.06 \cdot (\gamma_s - \gamma_w)]}$$

dove

- $\delta$  è il diametro delle particelle;
- $\tau_0$  è la tensione tangenziale in alveo;
- $\gamma_s$  è il peso specifico delle particelle (considerato 24 kN/m<sup>3</sup>);
- $\gamma_w$  è il peso specifico dell'acqua, considerata, per semplicità, limpida.

<sup>4</sup> Si veda la sintesi di questi lavori in Graf W.H., "Hydraulics of sediment transport"; McGraw-Hill, U.S.A.; 1971.

<sup>5</sup> Zanovello A., Sulle variazioni di fondo degli alvei durante le piene; L'Energia elettrica, XXXIV, n. 8; 1959.

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA 023081
	LOCALITÀ Regioni: Marche e Abruzzo		LA-E- 81591	
	PROGETTO Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti		Fg. 34 di 51	Rev. 0

### 6.3 Stima dei massimi approfondimenti attesi

Le valutazioni dei fenomeni erosivi e di trasporto solido sono state eseguite in riferimento alla portata di massima piena duecentennale (TR=200 anni), i cui parametri di deflusso nelle sezioni di studio sono evidenziati nel capitolo precedente.

A tal proposito qui di seguito si riportano rispettivamente i valori delle erosioni di fondo alveo e dei diametri limiti dei clasti trasportabili dalla corrente, nelle varie sezioni di studio considerate nello studio idraulico.

Nello specifico nella seguente tabella vengono riportati i valori delle erosioni in alveo. In particolare, i valori riportati in nero sono stati estrapolati e/o calcolati in funzione dei parametri caratteristici del deflusso, di cui alla Tab.5.3/A del capitolo precedente; mentre i valori riportati in blu sono stati valutati in considerazione degli algoritmi descritti nel paragrafo precedente.

Tab. 6.3/A: Erosioni di fondo nell'alveo principale

River	Q	Vel	Top	Hydr	Portata	Carico	Approfond.	Arature
Station	Total	Chnl	Width	Depth C	specifica	totale	Localizzati	di fondo
	(m <sup>3</sup> /s)	(m/s)	(m)	(m)	(m <sup>3</sup> /s m)	(m)	(m)	(m)
1370	397	4.06	95.11	1.92	4.17	2.76	1.25	0.96
1275.50*	397	3.95	114.13	2.07	3.48	2.87	1.20	1.04
1181	397	3.99	126.10	2.16	3.15	2.97	1.19	1.08
1091.00*	397	4.05	123.52	2.06	3.21	2.90	1.18	1.03
1001	397	4.03	116.72	1.99	3.40	2.82	1.19	1.00
907.50*	397	3.70	125.44	2.03	3.16	2.73	1.15	1.02
814	397	2.80	128.93	2.32	3.08	2.72	1.14	1.16
739.50*	397	2.71	122.66	2.62	3.24	2.99	1.20	1.31
665	397	2.57	112.11	2.98	3.54	3.32	1.29	1.49
565.50*	397	3.06	102.22	3.08	3.88	3.56	1.36	1.54
466	397	4.51	71.72	2.72	5.54	3.76	1.55	1.36
363.50*	397	4.49	82.11	2.73	4.83	3.76	1.49	1.37
261	397	4.11	74.22	2.80	5.35	3.66	1.52	1.40
143.50*	397	3.93	69.80	3.04	5.69	3.83	1.57	1.52
26	397	4.58	62.90	2.72	6.31	3.79	1.62	1.36

Nella seguente tabella vengono riportati i valori stimati per il diametro limite dei clasti trasportabili dalla corrente. In particolare, in color nero sono riportati le River Station e le Shear Channel (tensioni tangenziali in alveo), di cui alla Tab.5.3/A del capitolo precedente; mentre i valori riportati in blu sono stati valutati in considerazione degli algoritmi descritti nel paragrafo precedente.

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA 023081
	LOCALITÀ	Regioni: Marche e Abruzzo		<b>LA-E- 81591</b>
	PROGETTO	Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti		Fg. 35 di 51

*Tab.6.3/B: Diametro limite dei clasti trasportati*

River Station	Shear Chan (N/m2)	Diametro limite clasti trasportati (m)
1370	118.44	0.14
1275.50*	109.06	0.13
1181	110.88	0.13
1091.00*	114.84	0.14
1001	115.03	0.14
907.50*	95.77	0.11
814	52.79	0.06
739.50*	47.38	0.06
665	40.79	0.05
565.50*	57.30	0.07
466	130.54	0.16
363.50*	128.40	0.15
261	106.62	0.13
143.50*	95.15	0.11
26	135.94	0.16

#### 6.4 Considerazione sui risultati conseguiti

Sulla base delle valutazioni di cui al paragrafo precedente si evince che, relativamente al tronco d'alveo analizzato (nel quale ricade l'attraversamento da parte del metanodotto in progetto), le massime erosioni attese al fondo si attestano intorno a valori dell'ordine dei **1.5÷1.6 m**.

La corrente, nell'ambito del tratto in esame ed in concomitanza dell'evento di piena di progetto, inoltre risulta potenzialmente in grado di movimentare clasti del diametro dell'ordine dei 0.15÷0.20 m.

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA 023081
	LOCALITÀ Regioni: Marche e Abruzzo		LA-E- 81591	
	PROGETTO Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti		Fg. 36 di 51	Rev. 0

## 7 METODOLOGIA COSTRUTTIVA E SCELTE PROGETTUALI

### 7.1 Premessa

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

In particolare, in considerazione delle caratteristiche del corso d'acqua e dei risultati delle valutazioni conseguite, sono state definite le scelte progettuali inerenti ai punti qui 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 tipologiche e dimensionali delle opere di difesa idraulica.

### 7.2 Metodologia operativa: Scavi a cielo aperto

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

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

Infatti, in attraversamenti, come quello in esame, che non necessitano dell'applicazione di differenti metodologie (per presenza di infrastrutture prossime alle sponde quali argini considerevoli, 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 fattibilità o la corretta esecuzione.

La metodologia esecutiva consiste sostanzialmente nelle seguenti fasi:

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

In relazione alle specifiche caratteristiche idrauliche del corso d'acqua, al periodo climatico di esecuzione, ai volumi di deflusso attesi nel corso delle operazioni esecutive ed alla durata delle stesse, la sequenza operativa dei lavori può essere articolata con uno dei seguenti modi:

- lavori in continuità con quelli di linea; tale procedura riguarda l'attraversamento di corsi d'acqua "poco importanti" (in relazione all'aspetto idraulico, alla morfologia dei terreni e a rischi di tipo operativo) o caratterizzati da periodi di "secca" o di magra, anche se di breve durata; in tali condizioni i lavori di scavo, posa e rinterro

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023081</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regioni: Marche e Abruzzo		<b>LA-E- 81591</b>	
	<b>PROGETTO</b> Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti		Fg. 37 di 51	<b>Rev.</b> <b>0</b>

della condotta vengono effettuati in continuità con quelli lungo la linea; in genere si tratta di torrenti, o canali, caratterizzati da modesti valori di portata, che pertanto non necessitano di una specifica struttura atta a consentirne il minimo deflusso, che può essere garantito mediante dispositivi ordinari;

- lavori per “fasi chiuse”; tale procedura prevede che si completi ogni fase prima dell’inizio della successiva; eseguendo in progressione scavo, posa della condotta e rinterri; questa sequenza viene adottata ogni qualvolta è necessario garantire lo smaltimento di un’eventuale portata non trascurabile, che dovesse manifestarsi durante la costruzione.

Preliminarmente alla fase di scavo verranno in generale realizzati dei by-pass, costituiti tomboni e/o da argini, ture ecc., per consentire il normale deflusso delle acque.

Per i corsi d’acqua ampi e/o con deflusso significativo di acqua, i lavori verranno eseguiti per tratti successivi. In questo caso anche gli interventi temporanei di deviazione del flusso verranno adattati nel corso dei lavori, con lo scopo di operare sempre nelle condizioni favorevoli.

Al termine dei lavori, tutte le eventuali opere di deviazione e di regimentazione temporanea del deflusso idraulico verranno rimosse e sarà integralmente ripristinata la configurazione dell’alveo preesistente.

Si precisa inoltre che durante le fasi operative i mezzi ed il personale presenti in alveo saranno quelli strettamente necessari per l’esecuzione dei lavori, con deposito dei materiali e delle attrezzature fuori dall’ambito fluviale. Ciò con lo scopo di agevolare il rapido allontanamento dei mezzi e del personale dall’ambito fluviale in caso di manifestazione di un evento di piena significativo. In ogni caso le procedure di sicurezza connesse a sistemi di preallertamento e alle disposizioni operative in caso di manifestazione di eventi di piena verranno stabilite nel PSC.

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

Si pone in evidenza infine che al completamento dei lavori necessari per dare l’opera finita, si ristabilirà l’originale conformazione plano-altimetrica delle aree interessate, senza alcuna modificazione della sezione idrica offerta al deflusso di piena. In tal modo, l’intervento in progetto non apporterà alterazioni alle condizioni geometriche ed idrauliche dell’alveo. Considerata inoltre la natura dei lavori, non si prevede alcuna variazione delle condizioni di scabrezza dei terreni e pertanto non si darà luogo ad alcuna alterazione della capacità di laminazione naturale dell’alveo e della portata naturalmente rilasciata a valle: l’opera risulta ininfluenza sulle condizioni di smaltimento delle portate del corso d’acqua.

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023081</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regioni: Marche e Abruzzo		<b>LA-E- 81591</b>	
	<b>PROGETTO</b> Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti		Fg. 38 di 51	<b>Rev.</b> <b>0</b>

### 7.3 Geometria della condotta ed interventi di ripristino

#### Copertura di progetto

Relativamente al profilo di posa della condotta in progetto in subalveo dell'attraversamento in esame, in considerazione dei risultati delle stime dei fenomeni erosivi precedentemente riportati e delle condizioni peculiari rilevate nel contesto d'intervento, è stato previsto di posizionare la condotta in progetto con una copertura minima in alveo di 5.0 m (riferita alla profondità della generatrice superiore del tubo nei confronti della quota minima di fondo alveo).

Detta profondità di posa delle condotta, unitamente alle tipologie di opere di presidio d'alveo previste, assicurano la sicurezza dell'infrastruttura lineare per tutto il periodo d'esercizio nei confronti dei potenziali processi erosivi. Inoltre, la definizione progettuale degli interventi è tale 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.).

#### Interventi di ripristino

Le opere di difesa idraulica previste nell'ambito sono:

- rivestimento in massi naturali, da realizzare lungo le sponde dell'alveo del corso d'acqua per tutta la fascia interessata dai lavori.

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

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

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

Si precisa inoltre che, per un esame di dettaglio della configurazione tipologica e dimensionale delle opere in progetto e del profilo geometrico della condotta, si rimanda alla visione dello specifico disegno di attraversamento.

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023081</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regioni: Marche e Abruzzo		<b>LA-E- 81591</b>	
	<b>PROGETTO</b> Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti		Fg. 39 di 51	<b>Rev.</b> <b>0</b>

## 8 VALUTAZIONI INERENTI LA COMPATIBILITA' IDRAULICA

### 8.1 Premessa

Il Piano Stralcio Difesa dalle Alluvioni (PSDA) per il territorio ricompreso nei 14 Bacini Idrografici abruzzesi di rilievo regionale con esclusione del Bacino Interregionale del Fiume Sangro, è stato adottato con DGR 1050 del 5 Novembre 2007 ed approvato con DCR del 29 Gennaio 2008, Verbale N° 94/5.

Per quanto riguarda il territorio abruzzese ricompreso nel Bacino Idrografico Interregionale del Fiume Sangro, il PSDA è stato adottato con DGR N° 237 del 31 Marzo 2008 ed approvato con DCR n.101/5 del 29 Aprile 2008.

Si precisa che dal 17 febbraio 2017, con la pubblicazione nella G.U.R.I. n. 27 del 2 febbraio 2017, entra in vigore il DM 25/10/2016 del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM), da tale data sono soppresse su tutto il territorio nazionale, le Autorità di bacino nazionali, interregionali e regionali e il trasferimento delle competenze alle Autorità di bacino distrettuali.

Con l'entrata in vigore del DM 25/10/2016 gli aggiornamenti dei Piani di bacino vengono gestiti dalle Autorità di Bacino Distrettuale. Nello specifico l'Autorità di bacino distrettuale di riferimento risulta essere Autorità di bacino distrettuale dell'Appennino Centrale.

### 8.2 PSDA - Analisi disposizioni per le aree di pericolosità idraulica

Il PSDA, individua e perimetra le aree di pericolosità idraulica attraverso la determinazione dei livelli corrispondenti a condizioni di massima piena valutati con i metodi scientifici dell'idraulica.

In tali aree il Piano ha la finalità di evitare l'incremento dei livelli di pericolo e rischio idraulico, impedire interventi pregiudizievoli per il futuro assetto idraulico del territorio, salvaguardare e disciplinare le attività antropiche, assicurare il necessario coordinamento con il quadro normativo e con gli strumenti di pianificazione e programmazione in vigore.

Il PSDA individua n.4 livelli di pericolosità idraulica, ossia:

- pericolosità idraulica molto elevata (P4);
- pericolosità idraulica elevata (P3);
- pericolosità idraulica media (P2);
- pericolosità idraulica moderata (P1);

Inoltre, il PSDA perimetra le aree a rischio idraulico all'interno delle aree di pericolosità idraulica, esclusivamente allo scopo di individuare ambiti ed ordini di priorità degli interventi di mitigazione del rischio, nonché allo scopo di segnalare aree di interesse per i piani di protezione civile. Tali aree sono classificate come di rischio molto elevato (R4), elevato (R3), medio (R2) e moderato (R1).

#### Norme Generali

Secondo l'Art. 7 delle NdA (Norme di Attuazione del Piano), tutti i nuovi interventi, opere ed attività ammissibili nelle aree di pericolosità idraulica molto elevata, elevata e media sono realizzati o iniziati subordinatamente alla presentazione dello studio di compatibilità idraulica di cui all'articolo 8, se richiesto dalle NdA, in applicazione delle linee guida e dei criteri indicati nell'Allegato D.

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA 023081
	LOCALITÀ Regioni: Marche e Abruzzo		LA-E- 81591	
	PROGETTO Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti		Fg. 40 di 51	Rev. 0

Nelle aree di pericolosità idraulica sono consentiti esclusivamente gli interventi individuati dalle disposizioni degli articoli da 17 a 23, con inammissibilità di tutti gli altri, nel rispetto delle condizioni stabilite dallo studio di compatibilità idraulica ove richiesto.

Allo scopo di impedire l'aumento delle situazioni di pericolosità nelle aree di pericolosità idraulica perimetrata dal PSDA tutti i nuovi interventi, opere, attività previsti dallo stesso PSDA ovvero assentiti dopo la sua approvazione devono essere comunque tali da:

- non compromettere la riduzione delle cause di pericolosità, né la sistemazione idraulica a regime;
- conservare o mantenere le condizioni di funzionalità dei corsi d'acqua, facilitare il normale deflusso delle acque ed il deflusso delle piene;
- non aumentare il rischio idraulico;
- non ridurre significativamente le capacità di laminazione o invasamento nelle aree interessate;
- favorire quando possibile la formazione di nuove aree inondabili e di nuove aree permeabili;
- salvaguardare la naturalità e la biodiversità degli alvei.

Gli interventi elencati adottano normalmente le tecniche di realizzazione a basso impatto ambientale.

#### Interventi consentiti nelle Aree di Pericolosità Idraulica Molto Elevata (P4)

L'Art. 19 delle NdA indica come, fermo restando quanto stabilito negli articoli 7, 8, 9 e 10, nelle aree di pericolosità idraulica molto elevata in materia di infrastrutture pubbliche o di interesse pubblico sono consentiti esclusivamente:

- la manutenzione ordinaria e straordinaria di infrastrutture a rete o puntuali;
- la ricostruzione di infrastrutture a rete danneggiate o distrutte da calamità idrogeologiche, fatti salvi i divieti di ricostruzione stabiliti dall'articolo 3-ter del decreto legge n. 279/2000 convertito con modificazioni dalla legge n. 365/2000;
- le nuove infrastrutture a rete previste dagli strumenti di pianificazione territoriale, che siano dichiarate essenziali e non altrimenti localizzabili;
- l'ampliamento e la ristrutturazione di infrastrutture a rete e puntuali, destinate a servizi pubblici essenziali non delocalizzabili e prive di alternative progettuali tecnicamente ed economicamente sostenibili;
- i nuovi sottoservizi a rete interrati lungo tracciati stradali esistenti, ed opere connesse;
- i nuovi attraversamenti di sottoservizi a rete;
- gli interventi di allacciamento a reti principali;
- i nuovi interventi di edilizia cimiteriale purché realizzati all'interno degli impianti cimiteriali esistenti;
- le attrezzature per il tempo libero, per la fruizione pubblica, occasionale e temporanea dell'ambiente e per le attività sportive ivi compreso i percorsi ciclabili e pedonali, laghetti di pesca sportiva fermo restando quanto disposto dall'art. 13 comma 1, previa installazione di sistemi di preallarme e compatibilmente con i piani di protezione civile.

Inoltre, gli interventi consentiti dal presente articolo:

- devono essere conformi ai piani di protezione civile;
- non possono incrementare in modo significativo le aree impermeabili esistenti se non stabilendo idonee misure compensative;

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023081</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regioni: Marche e Abruzzo		<b>LA-E- 81591</b>	
	<b>PROGETTO</b> Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti		Fg. 41 di 51	<b>Rev.</b> <b>0</b>

- non possono aumentare il carico urbanistico esistente nell'area interessata;
- sono basati su progetti che dimostrano l'esistenza della sicurezza idraulica o prevedono misure di messa in sicurezza da realizzare preventivamente o contestualmente all'intervento e misure compensative di miglioramento del regime idraulico e riqualificazione fluviale.

*Interventi consentiti nelle Aree di Pericolosità Idraulica Elevata (P3), Media (P2) e Moderata (P1)*

Fermo restando quanto stabilito negli articoli 7, 8, 9 e 10 delle NdA, nelle aree di pericolosità idraulica elevata sono consentiti, tra gli altri (Art. 20 delle NdA), gli interventi, le opere e le attività ammessi nelle aree di pericolosità idraulica molto elevata. Lo studio di compatibilità idraulica viene sempre richiesto in tali casi.

Fermo restando quanto stabilito negli articoli 7, 8, 9 e 10, nelle aree di pericolosità idraulica media sono consentiti tra gli altri (Art. 21 delle NdA), gli interventi, le opere e le attività consentite nelle aree di pericolosità idraulica molto elevata ed elevata, alle medesime condizioni rispettivamente stabilite, nonché la realizzazione e l'ampliamento di opere ed infrastrutture pubbliche o di interesse pubblico.

Tali interventi:

- devono essere conformi ai piani di protezione civile;
- richiedono lo studio di compatibilità idraulica.

Nelle aree di pericolosità idraulica moderata è demandato agli strumenti urbanistici ed ai piani di settore vigenti disciplinare l'uso del territorio, le nuove costruzioni, gli interventi sul patrimonio edilizio esistente, i mutamenti di destinazione d'uso, la realizzazione di nuovi impianti, opere ed infrastrutture pubbliche o di interesse pubblico, conformemente alle prescrizioni generali degli articoli 7, 8, 9 e 10 e a condizione di impiegare tipologie e tecniche costruttive idonee alla riduzione della pericolosità e dei danni potenziali (Art. 22 delle NdA).

*Attraversamenti di tratti di corsi d'acqua caratterizzati da pericolosità idraulica rilevante e non perimetrati dal PSDA*

Al **Capo V art. 23**, "Interventi consentiti nelle aree e nei tratti di corsi d'acqua caratterizzati da pericolosità idraulica rilevante e non perimetrati dal PSDA",

1. Sono definiti a rilevante pericolosità idraulica i seguenti tratti di corsi d'acqua e le seguenti aree idrografiche, oltre a quelle già delimitate dai piani straordinari approvati nella Regione Abruzzo per la rimozione del rischio idrogeologico più alto ai sensi dell'articolo 1-bis del decreto legge n. 180/1998 convertito dalla legge n. 267/1998, e non espressamente rappresentate nella cartografia di piano di cui all'articolo 3:
  - a. i fossi recapitanti direttamente a mare;
  - b. le confluenze tra il reticolo idrografico secondario e il reticolo idrografico principale oggetto del PSDA;
  - c. i tratti di corsi d'acqua incassati, in cui le portate indipendentemente dagli incrementi restano confinate entro i rispettivi profili naturali;
  - d. i letti dei corsi d'acqua con pericolosità estesa esclusivamente fino al limite delle sponde o degli argini.

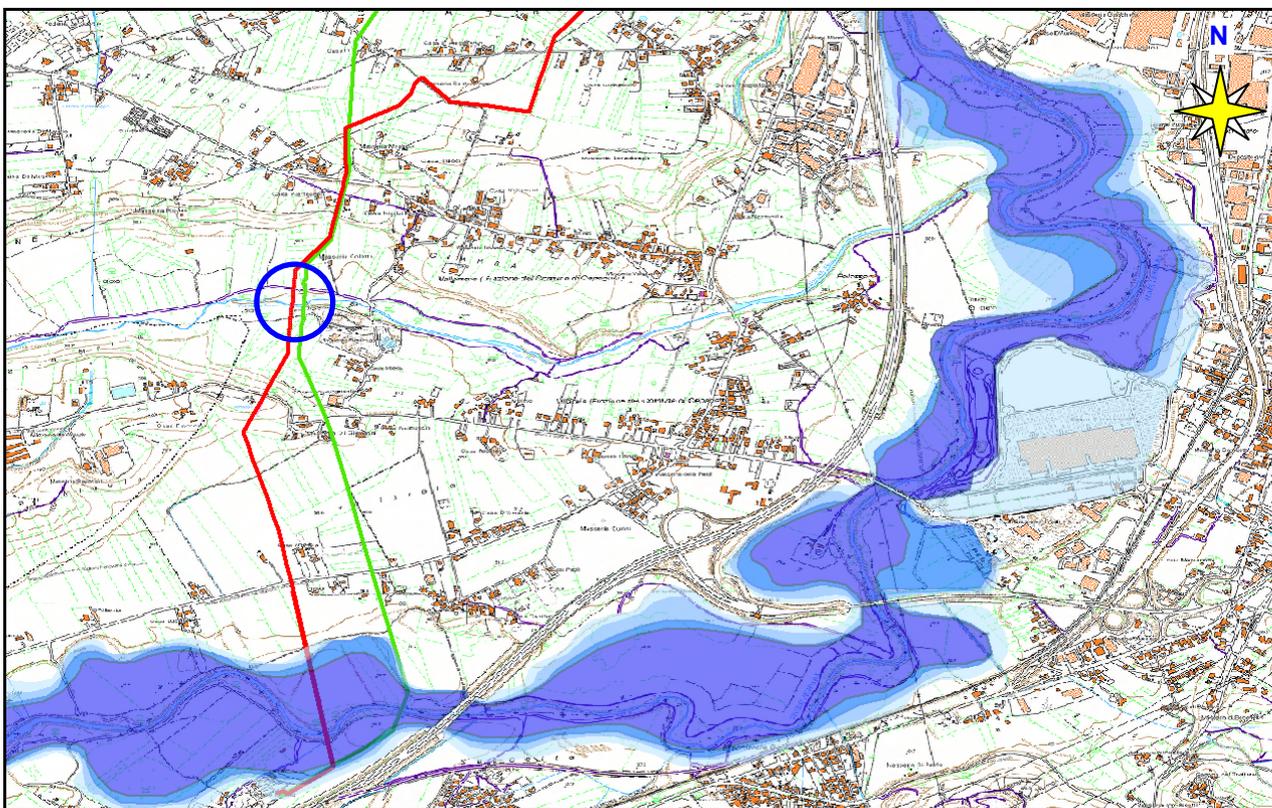
	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023081
	<b>LOCALITÀ</b> Regioni: Marche e Abruzzo		<b>LA-E- 81591</b>	
	<b>PROGETTO</b> Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti		Fg. 42 di 51	<b>Rev.</b> <b>0</b>

2. Ai tratti di corsi d'acqua ed alle altre aree idrografiche indicate nel precedente comma si applicano in quanto compatibili le prescrizioni stabilite al Capo II per le aree di pericolosità idraulica molto elevata.
3. Nelle fattispecie di cui alle lettere a. e b. del comma 1 le prescrizioni richiamate valgono all'interno di fasce di tutela idraulica misurate con i criteri di cui al precedente art. 9.

### 8.3 Interferenze nell'ambito specifico di attraversamento

Il fiume in esame, ricadente nella pertinenza dell'ex "Autorità dei Bacini di Rilievo Regionale dell'Abruzzo e del Bacino Interregionale del Fiume Sangro", rappresenta un importante affluente del fiume Pescara, per il quale l'Autorità di Bacino, nell'ambito del *Piano Stralcio Difesa dalle Alluvioni (PSDA)*, ha individuato e perimetrato le aree di pericolosità idraulica in corrispondenza della confluenza con il fiume Pescara.

In corrispondenza dell'ambito di attraversamento non si individuano delle interferenze tra il metanodotto in progetto con le aree di pericolosità idraulica individuate nel PSDA. In tal senso, nella figura seguente è riportato uno stralcio planimetrico dell'ambito in esame (in scala 1:25.000) dal quale si possono individuare il metanodotto in progetto (riportato mediante una linea in colore rosso), il metanodotto in esercizio da dismettere (linea in verde) e le aree censite di pericolosità idraulica per esondazioni delle piene del corso d'acqua.



	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023081
	<b>LOCALITÀ</b> Regioni: Marche e Abruzzo		<b>LA-E- 81591</b>	
	<b>PROGETTO</b> Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti		Fg. 43 di 51	<b>Rev.</b> <b>0</b>

Classi di pericolosità idraulica [Q50 -Q100 -Q200]			
 <b>"P4"</b> -Pericolosità molto elevata h50>1m v50>1m/s	 <b>"P2"</b> -Pericolosità media h100>0m		
 <b>"P3"</b> -Pericolosità elevata 1m>h50>0.5m h100>1m v100>1m/s	 <b>"P1"</b> -Pericolosità moderata h200>0m		

Fig.8.3/A: Interferenze tra metanodotto in progetto con le aree di "Pericolosità Idraulica"

Dall'analisi della figura precedente si rileva che il metanodotto in progetto non interferisce con aree di pericolosità idraulica, individuate nel PSDA esclusivamente nell'area della confluenza con il fiume Pescara.

#### 8.4 Analisi dei criteri di compatibilità idraulica

##### Considerazioni di carattere generale

Il metanodotto in progetto rappresenta un'infrastruttura lineare di interesse pubblico. In tal senso, in riferimento alle Norme di Attuazione del Piano (art.19, comma 1 lettera c), risulta tra le tipologie di opere per le quali è consentito l'interferenza con aree classificate di pericolosità idraulica molto elevata (o inferiore).

A tal proposito si pone in evidenza che la tipologia di opera rispetta tutte le condizioni indicate nel già citato art.19 delle Norme di Piano.

L'interferenza specifica con le aree di pericolosità idraulica del corso d'acqua è stata determinata da considerazioni a più ampia scala che riguardano l'intera direttrice di tracciato dell'opera, per la quale sono state attentamente valutate varie alternative di progetto. In particolare si sottolinea che in ogni caso non è risultato possibile evitare l'interessamento di aree di pericolosità idraulica di pertinenza del corso d'acqua in esame, in quanto il tracciato del metanodotto ha un andamento prevalente Nord-Sud, mentre il corso d'acqua ha un andamento Ovest-Est.

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

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

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

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

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023081</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regioni: Marche e Abruzzo		<b>LA-E- 81591</b>	
	<b>PROGETTO</b> Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti		Fg. 44 di 51	<b>Rev.</b> <b>0</b>

### Considerazioni specifiche

Quindi, entrando più in dettaglio in merito agli aspetti connessi alla specifica interferenza idraulica in corrispondenza dell'alveo del corso d'acqua (si veda il Disegno di attraversamento), si evidenzia quanto segue:

- L'attraversamento fluviale avviene in "subalveo" e prevede una profondità di posa della condotta di sufficiente garanzia nei confronti d'eventuali fenomeni di erosione di fondo (anche localizzati e/o temporanei) che si possono produrre anche in concomitanza di piene eccezionali, cosicché é da escludere qualsiasi interferenza tra tubazione e flusso della corrente;
- La configurazione morfologica dell'alveo, sia dal punto di vista planimetrico che altimetrico, verrà mantenuta praticamente invariata nei confronti della situazione preesistente. Le opere complementari (previste con tecniche di ingegneria naturalistica) sono infatti unicamente finalizzate al ripristino della configurazione originaria dell'alveo, oltre che al presidio idraulico dell'infrastruttura nei confronti di potenziali fenomeni erosivi in ambito locale da parte della corrente;
- La configurazione geometrica della pipeline nell'ambito di intervento (quote in subalveo e profili di risalita) è stata stabilita anche in considerazione delle potenziali dinamiche fluviali del corso d'acqua e sono tali da non precludere la possibilità di effettuare interventi futuri in alveo, finalizzati ad attenuare o eliminare le condizioni di rischio idraulico (es: risagomature dell'alveo, realizzazione di eventuali opere di regimazione idraulica, ecc.).

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

1. *Modifiche indotte sul profilo inviluppo di piena*  
Non generando alterazioni dell'assetto morfologico (tubazione completamente interrata, con ripristino definitivo dei terreni allo stato preesistente), non sarà determinato dalla costruzione della condotta nessun effetto di variazione dei livelli idrici e quindi del profilo d'inviluppo di piena.
2. *Riduzione della capacità di laminazione e/o di invaso dell'alveo*  
La condotta in progetto, essendo completamente interrata, non crea alcun ostacolo al corretto deflusso delle acque e/o all'azione di laminazione delle piene, né contrazioni areali delle fasce d'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 ripristino le preesistenti caratteristiche idrauliche della sezione di deflusso.
4. *Interazioni in considerazione delle potenziali dinamiche fluviali del corso d'acqua*  
Gli interventi previsti non costituiscono elementi d'interferenza con il regime idraulico naturale del corso d'acqua (quali restringimenti e/o modifiche dell'assetto longitudinale), in quanto le opere sono finalizzate al ripristino della configurazione originaria dell'alveo ed al presidio idraulico nei confronti di potenziali fenomeni erosivi. Le caratteristiche tipologiche delle opere previste si inseriscono perfettamente nel contesto naturale esistente.
5. *Modifiche indotte sulle caratteristiche naturali e paesaggistiche della regione fluviale*  
Essendo l'opera del tutto interrata non saranno indotti effetti particolarmente

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> <b>000</b>	<b>COMMESSA</b> <b>023081</b>
	<b>LOCALITÀ</b> Regioni: Marche e Abruzzo		<b>LA-E- 81591</b>	
	<b>PROGETTO</b> Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti		Fg. 45 di 51	<b>Rev.</b> <b>0</b>

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.

Infine, relativamente ai tratti di metanodotto ricadenti esternamente all’ambito di attraversamento dell’alveo del corso d’acqua, ma comunque collocati all’interno delle fasce fluviali (aree potenzialmente inondabili e quindi di pericolosità idraulica), si evidenzia quanto segue.

Queste interferenze riguardano porzioni di territorio che rappresentano delle aree di laminazione e/o di invaso del corso d’acqua in occasione di piene eccezionali ed in quanto tali, risultano degli ambiti di assoluta sicurezza per la condotta nei confronti dei processi di dinamica fluviale.

A tal proposito si mette in evidenza che l’intervento prevede il completo interrimento della tubazione (alla profondità di almeno 4,0 m nei confronti del piano campagna) e l’integrale ripristino morfologico e vegetazionale delle aree interessate dai lavori.

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

Pertanto, alla luce di quanto sopra affermato, si ritiene che le specificità dell’opera (infrastruttura interrata) e le scelte progettuali inerenti alle metodologie costruttive ed alla configurazione geometrica della condotta nell’ambito in esame, non determinino alcun incremento dei livelli di pericolosità idraulica e che siano congruenti con i requisiti, le prescrizioni e le finalità stabilite nelle Norme di Attuazione del Piano e pertanto conformi con le relative disposizioni contenute.

In conclusione, si ritiene quindi che l’opera in progetto risulti **COMPATIBILE** con il contesto idraulico dell’ambito in esame.

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA 023081
	LOCALITÀ Regioni: Marche e Abruzzo		LA-E- 81591	
	PROGETTO Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti		Fg. 46 di 51	Rev. 0

## 9 CONCLUSIONI

La Snam Rete Gas, nell'ambito del progetto denominato "Rifacimento metanodotto Ravenna – Chieti" intende realizzare il nuovo tratto "San Benedetto del Tronto - Chieti, DN 650 (26") - DP 75 bar", in sostituzione del tratto di metanodotto attualmente in esercizio, che si sviluppa nell'ambito dei territori delle Marche e dell'Abruzzo.

La suddetta linea in progetto interseca l'alveo del torrente Nora tratto basso del corso d'acqua (a circa 2,7 km a monte della confluenza nel Fiume Pescara), nell'ambito del territorio comunale di Cepagatti (PE), immediatamente a monte dell'attraversamento aereo del metanodotto "Ravenna - Chieti" in fase di dismissione.

Con lo scopo di individuare le soluzioni tecnico-operative più idonee per l'attraversamento in esame (metodologia costruttiva, profilo di posa in subalveo della condotta, eventuali opere di ripristino) sono state eseguite specifiche valutazioni di tipo geomorfologico, idrologico ed idraulico.

Alla luce dei risultati conseguiti, per il superamento in subalveo del corso d'acqua, è stata prevista l'adozione di un sistema di attraversamento mediante "scavi a cielo aperto", con posizionamento della condotta in progetto con coperture di sicurezza adeguatamente cautelative nei confronti dei potenziali processi erosivi.

In aggiunta sono state previste delle opere di protezione idraulica dell'alveo, con lo scopo di ripristinare la configurazione d'alveo esistente prima dell'inizio dei lavori e di garantire, inoltre, le adeguate condizioni di sicurezza della condotta per tutto il periodo di esercizio.

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

Nell'analisi delle interferenze tra il metanodotto in progetto con le aree di pericolosità idraulica censite dal PSDA (redatto dall'ex "Autorità dei Bacini di Rilievo Regionale dell'Abruzzo e del Bacino Interregionale del Fiume Sangro"), è stato evidenziato che l'intervento di progetto non introduce alterazioni al deflusso della corrente e/o riduzione della capacità di invaso e di laminazione del corso d'acqua e più in generale non determina alcuna modifica significativa allo stato dei luoghi della regione fluviale e non implica trasformazioni del territorio e/o cambiamenti circa l'uso del suolo.

Pertanto si dichiara:

- che l'opera in esame, ai sensi di quanto previsto nell'Art.19 delle Norme di Attuazione del PSDA, risulta tra le tipologie di opere per le quali è consentito l'interferenza con le aree classificate di pericolosità idraulica molto elevata (o inferiore);
- che le tipologie di intervento previste nell'ambito specifico di riferimento rispettano le finalità e le disposizioni stabilite nell'Art. 7 comma 3 delle NdA;
- l'opera risulta nel contesto in esame "non delocalizzabile";
- che più in generale gli interventi in progetto nell'ambito in esame risultano congruenti le prescrizioni e finalità stabilite nelle Norme di Piano del PSDA.

In ragione di quanto sopra evidenziato, si ritiene che le scelte progettuali inerenti lo specifico ambito d'interferenza possano essere ritenute congruenti con le disposizioni delle Norme di Attuazione del Piano e che dunque l'opera in progetto risulti COMPATIBILE con il contesto idraulico relativo all'ambito in esame.

	<b>PROGETTISTA</b>		<b>UNITÀ</b> 000	<b>COMMESSA</b> 023081
	<b>LOCALITÀ</b> Regioni: Marche e Abruzzo		<b>LA-E- 81591</b>	
	<b>PROGETTO</b> Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti		Fg. 47 di 51	<b>Rev.</b> <b>0</b>

## APPENDICE 1: STUDIO IDRAULICO - METODOLOGIA DI CALCOLO

### Codice di calcolo

Il codice di calcolo utilizzato per le modellazioni è HEC-RAS, Hydrologic Engineering Center - River Analysis System, prodotto dal U.S. Army Corp of Engineer, che simula il flusso monodimensionale, stazionario, di fluidi verticalmente omogenei, in qualsiasi sistema di canali o aste fluviali, sul quale ampi riferimenti bibliografici sono disponibili in letteratura, in relazione sia alle basi teoriche sia allo sviluppo numerico delle equazioni, così come in merito ad esperienze analoghe di applicazione già maturate in Italia e nel mondo nell'ultimo decennio.

Il calcolo del profilo in moto permanente è stato eseguito per mezzo della versione 5.0.7.

Il modello Hec-Ras permette di calcolare, per canali naturali od artificiali, il profilo idrico di correnti gradualmente variate ed in condizioni di moto stazionario (sia in regime di corrente lenta che di corrente veloce).

La scelta di operare con un modello che simuli le condizioni di moto permanente, scaturisce dalle seguenti considerazioni:

- la verifica idraulica considera un tratto limitato dell'asta torrentizia nell'intorno del punto di interesse;
- il risultato d'analisi non dipende dallo sviluppo temporale dell'evento di piena, ma solo dal massimo valore di livello idrico raggiunto durante l'evento stesso e dai regimi delle velocità osservate.

Le equazioni di conservazione del volume e della quantità di moto (equazioni di De Saint Venant) risolte nel modello sono derivate sulla base delle seguenti assunzioni:

- il fluido (acqua) è incomprimibile ed omogeneo, cioè senza significativa variazione di densità;
- la pendenza del fondo è contenuta;
- le lunghezze d'onda sono grandi se paragonate all'altezza d'acqua, in modo da poter considerare in ogni punto parallela al fondo la direzione della corrente: è cioè trascurabile la componente verticale dell'accelerazione e su ogni sezione trasversale alla corrente si può assumere una variazione idrostatica della pressione.

Integrando le equazioni di conservazione della massa e della quantità di moto ed introducendo la resistenza idraulica (attrito) e le portate laterali adottate si ottiene:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \alpha \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{\Lambda^2 A \cdot R} = 0$$

dove:

- $A$ , area della sezione bagnata ( $m^2$ );
- $\Lambda$ , coefficiente di attrito di Chezy ( $m^{1/2}/s$ );
- $g$ , accelerazione di gravità ( $m/s^2$ );
- $h$ , altezza del pelo libero rispetto ad un livello di riferimento orizzontale (m);
- $Q$ , portata ( $m^3/s$ );

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA 023081
	LOCALITÀ	Regioni: Marche e Abruzzo		LA-E- 81591
	PROGETTO	Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti		Fg. 48 di 51

- $R$ , raggio idraulico (m);
- $\alpha$ , coefficiente di distribuzione della quantità di moto;
- $q$ , portata laterale addotta ( $m^2/s$ ).

### Condizioni di moto

Le simulazioni numeriche dell'interazione idrodinamica tra il deflusso di piena e la geometria dell'alveo sono state eseguite, come accennato precedentemente, in condizioni di moto permanente (stazionario), assumendo la portata al colmo definita per mezzo dell'analisi idrologica.

La soluzione stazionaria fornisce condizioni di verifica cautelative e permette di impostare un confronto corretto tra diversi profili idraulici, mantenute fisse le condizioni al contorno.

Si tenga presente che in relazione alla formazione del fenomeno del cappio di piena nelle simulazioni di moto vario non si ha concomitanza tra livelli massimi e portate massime, condizione di verifica cautelativa che è invece garantita dalla semplificazione del moto stazionario.

Nelle ipotesi di condizioni di moto permanente unidimensionale, corrente gradualmente variata (fatta eccezione per le sezioni in cui si risente della presenza di strutture, quali ponti o tombini per attraversamento) e pendenze longitudinali del fondo dell'alveo non eccessive, per un dato tratto fluviale elementare, di lunghezza finita, il modello si basa sulla seguente equazione di conservazione dell'energia tra le generiche sezioni trasversali di monte e di valle, rispettivamente indicate con i pedici 2 e 1

$$Y_2 + Z_2 + \alpha_2 V_2^2 / (2g) = Y_1 + Z_1 + \alpha_1 V_1^2 / (2g) + \Delta H$$

in cui

- $Y_2$  e  $Y_1$  sono le profondità d'acqua,
- $Z_2$  e  $Z_1$  le quote dei punti più depressi delle sezioni trasversali rispetto a un piano di riferimento (superficie livello medio del mare),
- $V_2$  e  $V_1$  le velocità medie (rapporto tra portata e area bagnata della sezione),
- $\alpha_2$  e  $\alpha_1$  i coefficienti di Coriolis di ragguglio delle potenze cinetiche,
- $g$  l'accelerazione di gravità,
- $\Delta H$  le perdite di carico nel tratto considerato.

Le perdite energetiche per unità di peso che subisce la corrente fluida fra due sezioni trasversali sono espresse come segue:

$$\Delta H = L J_m + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

in cui

- $L$  è la lunghezza del tratto in analisi,
- $J_m$  è un valore medio rappresentativo della cadente (perdita di carico per unità di lunghezza) nel tratto medesimo,
- $C$  è il coefficiente di contrazione o espansione.

In tal modo, si tiene conto sia delle perdite di carico continue o distribuite, rappresentate dal primo addendo del membro di destra, sia delle perdite di carico localizzate o concentrate, rappresentate dal secondo addendo del membro di destra e dovute alle variazioni di

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA 023081
	LOCALITÀ	Regioni: Marche e Abruzzo		LA-E- 81591
	PROGETTO	Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti		Fg. 49 di 51

sezione trasversale e/o alla presenza di ostacoli strutturali.

La determinazione della cadente,  $J$ , sezione per sezione avviene tramite l'equazione di moto uniforme di Manning:

$$Q = KJ^{0.5}$$

essendo  $Q$  la portata totale e  $K$  un coefficiente di trasporto, espresso dalla relazione

$$K = AR_i^{2/3}/n$$

in cui  $A$  è l'area bagnata della sezione trasversale,  $R_i$  il raggio idraulico (rapporto tra area e perimetro bagnato),  $n$  il coefficiente di scabrezza.

Il coefficiente di trasporto  $K$  viene valutato separatamente per il canale principale e le golene; il suo valore per l'intera sezione trasversale è la somma delle tre aliquote. La cadente è quindi esprimibile come  $J=(Q/K)^2$ , in ciascuna sezione; il suo valore rappresentativo,  $J_m$ , nel tratto considerato è valutato mediante l'equazione più appropriata, automaticamente selezionata dal programma, a seconda che, nel tratto di volta in volta considerato, l'alveo sia a forte o debole pendenza e la corrente sia lenta o veloce, accelerata o decelerata.

Per ciascun tronco compreso tra due sezioni trasversali si considerano la lunghezza del canale centrale,  $L_c$ , e le lunghezze delle banchine laterali,  $L_{sx}$  e  $L_{dx}$  rispettivamente per la golena sinistra e quella destra. Per la determinazione delle perdite di carico continue, si adopera un valore della lunghezza pari alla media pesata di  $L_c$ ,  $L_{sx}$  e  $L_{dx}$  sulle portate medie riferite anch'esse all'alveo centrale e alle golene ( $Q_{c,m}$ ,  $Q_{sx,m}$  e  $Q_{dx,m}$ ):

$$L = (L_{sx}Q_{sx,m} + L_cQ_{c,m} + L_{dx}Q_{dx,m}) / (Q_{sx,m} + Q_{c,m} + Q_{dx,m})$$

Il coefficiente di Coriolis si esprime in funzione dei coefficienti di trasporto,  $K_i$ , e delle aree bagnate,  $A_i$ , del canale principale e delle golene; ovvero:

$$\alpha = \frac{A^2}{K^3} \sum_i \frac{K_i^3}{A_i^2}$$

### Assetto geometrico

HEC-RAS richiede la schematizzazione del corso d'acqua con tratti successivi di lunghezza variabile individuati alle estremità da sezioni di geometria nota. La posizione delle sezioni trasversali va scelta in modo da descrivere in maniera adeguata il tratto considerato, prevedendo in linea di massima, sezioni più fitte nei tratti dove la geometria trasversale dell'alveo risulta molto variabile e più rade nei tratti in cui la geometria si mantiene piuttosto uniforme.

Le sezioni trasversali sono suddivise in tre parti, caratterizzate da differenti valori della scabrezza, in cui la velocità si possa ritenere uniformemente distribuita: la parte centrale o

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA 023081
	LOCALITÀ	Regioni: Marche e Abruzzo		LA-E- 81591
	PROGETTO	Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti		Fg. 50 di 51

canale principale, interessata dalle portate più basse, e le banchine laterali o golene, interessate dalle portate più alte. Il modello è in grado di simulare gli effetti indotti sui livelli dalla presenza di sezioni singolari quali ponti, tombini, stramazzi ed ostruzioni dell'alveo.

Nel caso in oggetto non si è fatto riferimento ad alcuna ramificazione dell'alveo, implementando un modello completamente monodimensionale, che si estende lungo il tracciato del corso d'acqua.

#### Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno sono necessarie per stabilire il livello del pelo libero dell'acqua all'estremità del sistema (a monte e/o a valle). In un regime di corrente lenta, la condizione al contorno necessaria è quella di valle (se la corrente è lenta non risente di ciò che accade a monte), mentre nel caso di corrente veloce vale l'opposto. Se invece viene effettuato un calcolo in regime di flusso misto, allora le condizioni al contorno devono essere definite a valle e a monte.

Le condizioni al contorno disponibili sono:

- quota nota del pelo libero;
- altezza critica;
- altezza di moto uniforme;
- scala di deflusso

#### Risultati dei calcoli idraulici

La procedura di calcolo per la determinazione della profondità d'acqua in ogni sezione è iterativa: si assegna una condizione iniziale a valle o a monte e si procede verso monte o valle, in dipendenza dalle condizioni di analisi di un profilo di corrente lenta o veloce; si assume una quota della superficie libera,  $WS^I = Y^I + Z^I$ , di primo tentativo nella sezione in cui essa è incognita; si determinano  $K$  e  $V$ ; si calcolano  $J_m$  e  $\Delta H$ ; si ottiene quindi dall'equazione dell'energia un secondo valore della quota dell'acqua,  $WS^{II}$ , che viene posto a confronto con il valore assunto inizialmente; tale ciclo viene ripetuto finché la differenza tra le quote della superficie libera risulta inferiore ad un valore massimo di tolleranza prestabilito dall'operatore. La profondità  $Y$  della corrente viene quindi paragonata con l'altezza critica,  $Y_{cr}$ , per stabilire se il regime di moto è subcritico o supercritico. L'altezza critica è definita come la profondità per cui il carico totale,  $H$ , assume valore minimo.

Si possono presentare situazioni in cui la curva dell'energia, data dalla funzione  $H(WS)$ , presenta più di un minimo (ad esempio in presenza di ampie golene oppure in caso di esondazione oltre gli argini identificati in fase di modellazione geometrica); il codice di calcolo può individuare fino a tre minimi nella curva, tra i quali seleziona il valore minore.

Oltre ai valori di portata e di livello calcolati direttamente dal codice di calcolo il modello fornisce in output anche i valori dell'area, larghezza del pelo libero, della velocità, dell'altezza d'acqua e del numero di Froude per ogni sezione di calcolo.

E' fornita anche la linea del carico totale ottenuta come

$$H = WS + V^2/2g$$

dove

- $h$  è il livello idrico (m);
- $V$  la velocità media nella sezione trasversale (m/s).

Note la profondità d'acqua e l'altezza critica in una sezione, si determina se nella data

	PROGETTISTA		UNITÀ 000	COMMESSA 023081
	LOCALITÀ	Regioni: Marche e Abruzzo		LA-E- 81591
	PROGETTO	Rif. met. Ravenna – Chieti Tratto San Benedetto del Tronto - Chieti		Fg. 51 di 51

sezione il regime è di corrente lenta o veloce. Se tale regime risulta differire da quanto identificato per la sezione precedente, la profondità d'acqua determinata perde di significato ed alla sezione viene assegnato il valore dell'altezza critica.

Nel caso di passaggio da regime supercritico a subcritico tramite risalto idraulico, la corrente perde il carattere gradualmente variato e l'equazione dell'energia non può essere applicata. In tal caso, il codice di calcolo ricorre all'equazione di conservazione della quantità di moto, che, indicando con  $i$  e  $1$  rispettivamente le sezioni di monte e di valle del tratto considerato, si esprime come

$$\frac{\beta_2 Q_2^2}{g A_2} + A_2 Y_{2,b} + \left( \frac{A_1 + A_2}{2} \right) \cdot L \cdot i - \left( \frac{A_1 + A_2}{2} \right) \cdot L \cdot J_m - \frac{\beta_1 Q_1^2}{g A_1} - A_1 Y_{1,b} = 0$$

dove:

- il primo ed il quinto termine rappresentano le spinte idrodinamiche dovute alle quantità di moto (con  $\beta$  coefficiente di ragguglio dei flussi di quantità di moto);
- il secondo e il sesto termine rappresentano le spinte idrostatiche dovute alle pressioni (essendo  $Y_{2,b}$  e  $Y_{1,b}$  gli affondamenti dei baricentri delle sezioni bagnate);
- il terzo termine rappresenta la componente del peso lungo la direzione del moto (con  $i$  pendenza longitudinale del fondo dell'alveo, calcolata in base alle quote medie in ciascuna sezione);
- il quarto termine rappresenta i fattori di resistenza al moto.