

| | | | |
|---|--|------------------|--------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 1 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

METANODOTTO: CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO

STUDIO IDROLOGICO - IDRAULICO TORRENTE CIGNO



| | | | | | |
|------|--------------------|------------------------|------------|-----------|----------|
| | | | | | |
| 0 | Emissione per enti | Filandro Quartarone | Pedini | Banci | 13/07/21 |
| Rev. | Descrizione | Preparato | Verificato | Approvato | Data |

| | | | |
|---|--|-------------------------|---------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 2 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

INDICE

| | |
|--|-----------|
| 1. GENERALITÀ | 4 |
| 1.1. Premessa | 4 |
| 1.2. Scopo e descrizione dell'elaborato | 4 |
| 2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE | 6 |
| 3. CARATTERIZZAZIONE IDROGRAFICA DELL'AMBITO IN ESAME | 9 |
| 3.1. Assetto idrografico e descrizione generale del bacino del corso d'acqua | 9 |
| 3.2. Descrizione dell'area di attraversamento | 10 |
| 4. VALUTAZIONI IDROLOGICHE | 13 |
| 4.1. Generalità | 13 |
| 4.2. Considerazioni specifiche preliminari | 13 |
| 4.3. Sezione di studio - Parametri morfometrici del bacino | 13 |
| 4.4. Metodo Indiretto (Afflussi-Deflussi) | 15 |
| 4.5. Portata di progetto | 26 |
| 5. STUDIO IDRAULICO IN MOTO PERMANENTE | 27 |
| 5.1. Presupposti e limiti dello studio | 27 |
| 5.2. Assetto geometrico e modellazione idraulica | 28 |
| 5.3. Risultati della simulazione idraulica | 30 |
| 5.4. Analisi dei risultati conseguiti | 32 |
| 6. VALUTAZIONE EROSIONI DI FONDO ALVEO | 33 |
| 6.1. Generalità | 33 |
| 6.2. Criteri di calcolo | 34 |
| 6.3. Stima dei massimi approfondimenti d'alveo attesi | 37 |
| 6.4. Analisi dei risultati e considerazioni progettuali | 38 |
| 7. METODOLOGIA COSTRUTTIVA E SCELTE PROGETTUALI | 39 |
| 7.1. Premessa | 39 |
| 7.2. Metodologia operativa: scavi a cielo aperto | 39 |
| 7.3. Opere funzionali | 42 |
| 7.4. Attraversamento - scelte progettuali | 44 |
| 8. PRESCRIZIONI REALIZZATIVE | 45 |
| 9. VALUTAZIONI INERENTI ALLA COMPATIBILITÀ IDRAULICA | 45 |
| 9.1. Premessa | 45 |
| 9.2. PSDA - Analisi disposizioni per le aree di pericolosità idraulica | 46 |
| 9.3. Interferenze con PSDA nell'ambito di attraversamento del corso d'acqua | 49 |
| 9.4. Analisi delle condizioni di compatibilità idraulica | 50 |
| 9.5. Considerazioni conclusive sulla compatibilità idraulica | 53 |
| 10. CONCLUSIONI | 54 |

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 3 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

| | |
|--|-----------|
| 11. DICHIARAZIONE DI COMPATIBILITÀ DA PARTE DEL TECNICO ABILITATO | 56 |
| 11.1. Premessa | 56 |
| 11.2. Dichiarazione del tecnico | 56 |
| APPENDICE 1: STUDIO IDRAULICO /METODOLOGIA DI CALCOLO | 58 |
| APPENDICE 2: STUDIO IDRAULICO HEC RAS | 64 |

| | | | |
|---|--|-------------------------|---------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 4 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

1. GENERALITÀ

1.1. Premessa

La società SGI (Società Gasdotti Italia S.p.A.) intende realizzare un metanodotto denominato "Città Sant'Angelo - Alanno" DN 200 (8") - DP 60 bar, MOP 12 bar in sostituzione di un tratto di metanodotto in esercizio (ed in fase di dismissione) lungo la medesima direttrice.

Il suddetto tracciato del metanodotto in progetto interseca l'alveo del torrente Cigno nel tratto terminale dello sviluppo del corso d'acqua (a circa 1 km dalla confluenza nel fiume Pescara), nell'ambito del territorio di Rosciano (PE).

Dalla consultazione delle cartografie relative al "Piano Stralcio Difesa dalle Alluvioni" (PSDA) della regione Abruzzo, non sono emerse interferenze con aree classificate a pericolosità idraulica relativamente all'attraversamento del suddetto torrente.

Nonostante le Norme di Attuazione del PSDA prevedano la redazione di uno specifico studio di compatibilità idraulica esclusivamente per quelle aree ricadenti all'interno di zone classificate a pericolosità idraulica P2, P3 e P4, mediante il presente studio, tuttavia, si è proceduto nel verificare l'idoneità della profondità di posa della condotta di nuova progettazione e delle eventuali opere di protezione rispetto alle possibili dinamiche evolutive del fondo alveo del corso d'acqua attraversato (Torrente Cigno) e a eventuali fenomeni di dissesto/erosione localizzati in corrispondenza del transito degli eventi di piena.

1.2. Scopo e descrizione dell'elaborato

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, idrologico 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

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 5 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

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

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 6 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'attraversamento dell'alveo del Torrente Cigno da parte del metanodotto DN200 in progetto " Città Sant'Angelo - Alanno " ricade all'interno dei limiti amministrativi del comune di Rosciano, in provincia di Pescara, in corrispondenza della progressiva chilometrica km 36+590.

Dal punto di vista idrografico, l'ambito di attraversamento ricade nel tratto terminale dello sviluppo del corso d'acqua, a circa 1300 m dalla confluenza nel fiume Pescara.

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 (DN200) è riportato mediante una linea in rosso, il metanodotto in esercizio (da dismettere) sulla medesima direttrice (DN200) è indicato tramite una linea in verde e l'area di attraversamento del corso d'acqua da parte del metanodotto in progetto è indicata mediante un cerchio in colore nero.

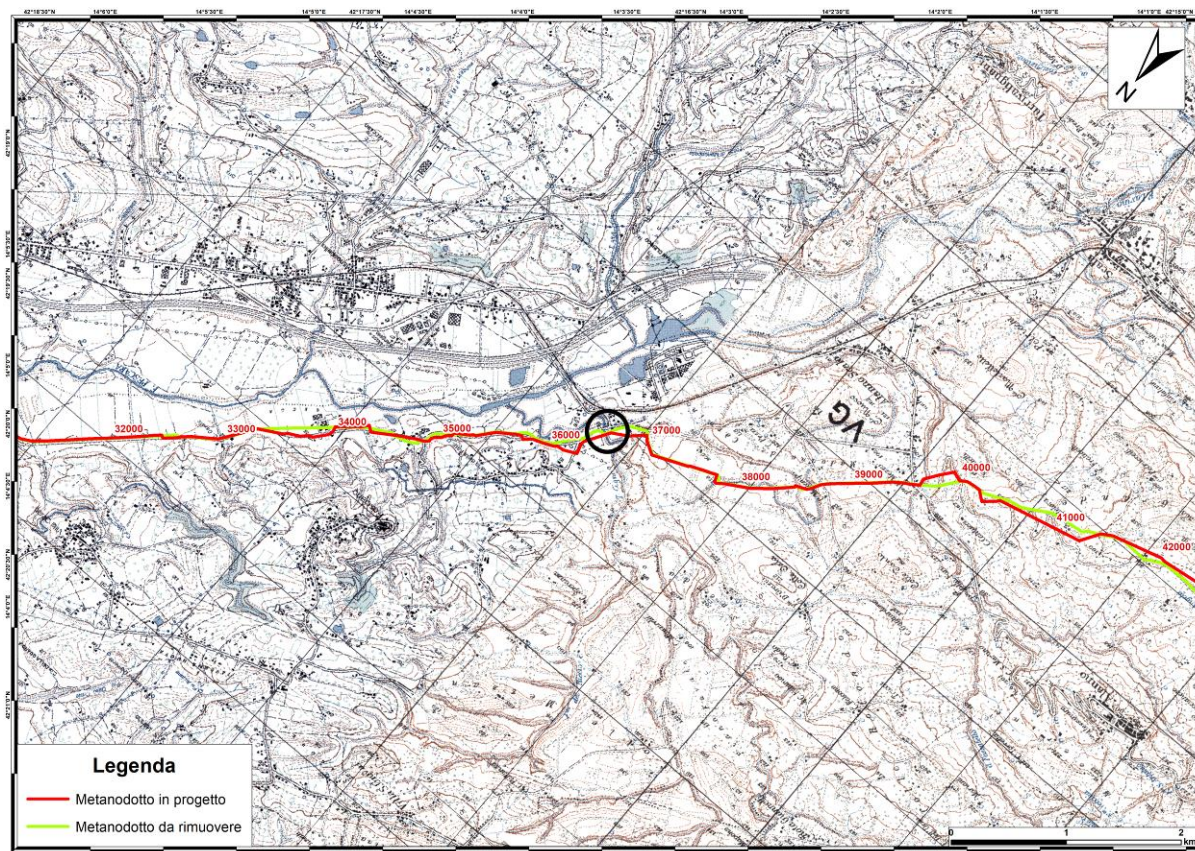


Fig.2.1/A: Corografia generale in scala 1:25.000 (dalle tavolette IGM)

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 7 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

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 | X | Y |
|---|----------------|-----------------|
| Coordinate WGS84 - Fuso 33 | 420173,954 m E | 4683960,468 m N |

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 nero).

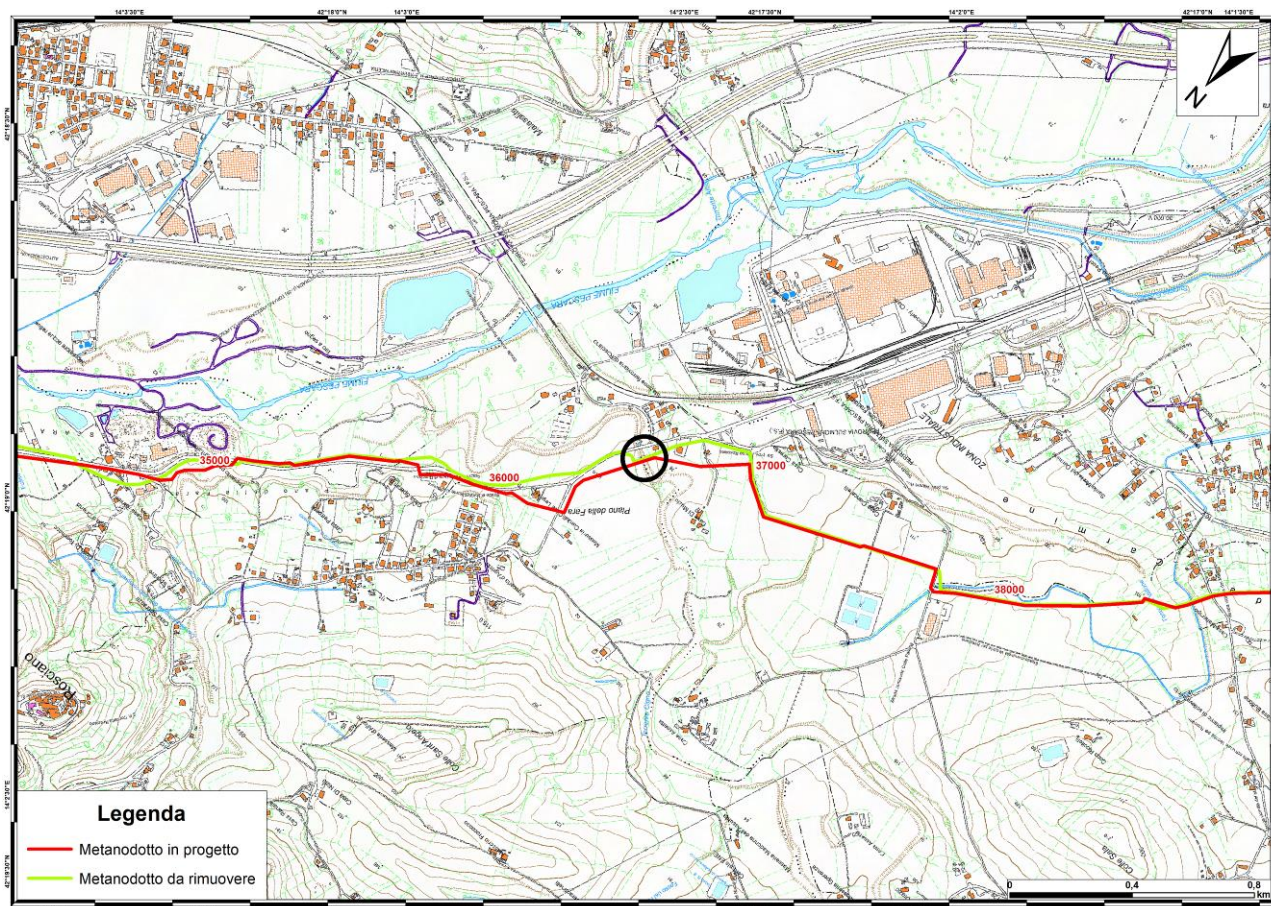


Fig.2.1/B: Stralcio planimetrico in scala 1:10.000 (C.T.R. Regionali)

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 8 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

Dall'esame della figura precedente si rileva che l'attraversamento in progetto ricade a circa 9 m a monte dell'attraversamento aereo del metanodotto "Città Sant'Angelo - Alanno" in esercizio (ed in fase di dismissione).

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 9 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

3. CARATTERIZZAZIONE IDROGRAFICA DELL'AMBITO IN ESAME

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

Il torrente Cigno, è un corso d'acqua naturale appartenente alla Regione Abruzzo, affluente in sinistra idraulica del fiume Pescara che, in dettaglio, viene attraversato dall'opera in progetto in un punto ubicato alla progressiva 36+590 circa, all'interno dei limiti amministrativi del comune di Rosciano (PE).

Nella figura seguente è riportato il bacino complessivo del corso d'acqua (in color magenta), su una base cartografica estrapolata dalle tavolette IGM. Nella stessa figura è anche indicato, mediante un cerchio in nero, l'ambito d'interferenza in esame tra il metanodotto in progetto (riportato mediante una linea in rosso) e l'alveo del corso d'acqua.

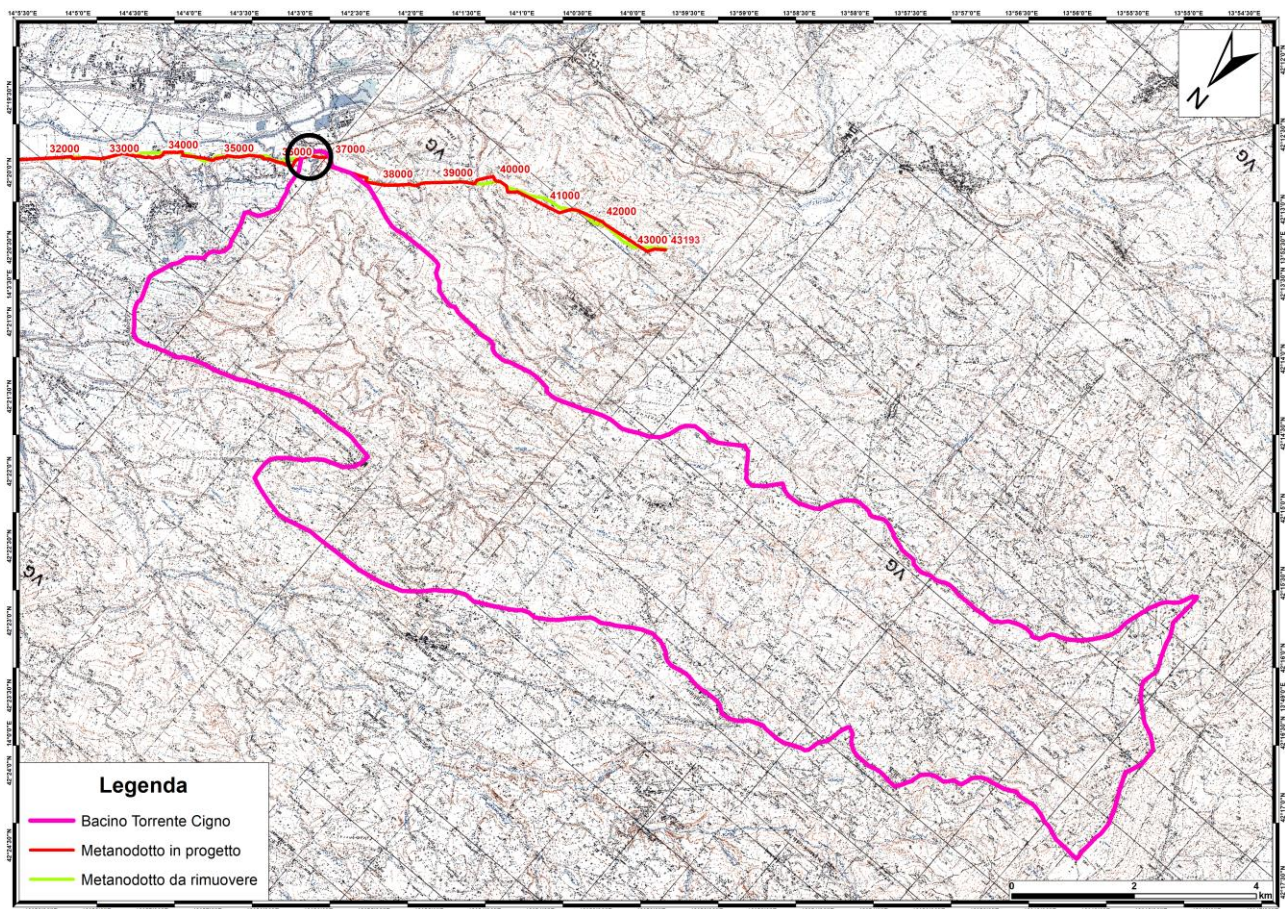


Fig.3. 1/A: Bacino complessivo del corso d'acqua

| | | | |
|---|--|-------------------------|---------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 10 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

Il corso d'acqua nasce in più rami fra la Forca di Penne (m 964) e il monte Scarafano (m 1433), sul Gran Sasso. Come precedentemente accennato, il Torrente Cigno è un affluente in sinistra idrografica del Fiume Pescara presso Rosciano. La superficie del bacino del torrente Cigno è pari a 104.65 km².

3.2. Descrizione dell'area di attraversamento

Come si rileva dalla precedente Fig.3.1/A l'attraversamento da parte del metanodotto in progetto ricade nel tratto terminale dello sviluppo dell'asta fluviale del corso d'acqua, nei pressi della confluenza con il fiume Pescara.

In corrispondenza dell'area di attraversamento il corso d'acqua assume un andamento meandriforme. La sezione d'alveo si presenta con una configurazione geometrica sostanzialmente regolare; con fondo dell'alveo di ampiezza variabile e con sponde acclivi, che si elevano dal letto del fosso per circa 8÷10m.

Le sponde e gli argini risultano coperti da una rigogliosa vegetazione arbustiva.

Al fine di consentire una visione diretta dell'ambito d'interferenza tra il metanodotto in progetto (DN200) e l'alveo del corso d'acqua, nella figura seguente si riporta una foto aerea (estratta da Google Earth), dove il tracciato del metanodotto in progetto è riportato mediante una linea in rosso e l'area di attraversamento in esame è indicata mediante un cerchio in colore blu.

| | | | |
|---|--|-------------------------|---------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 11 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

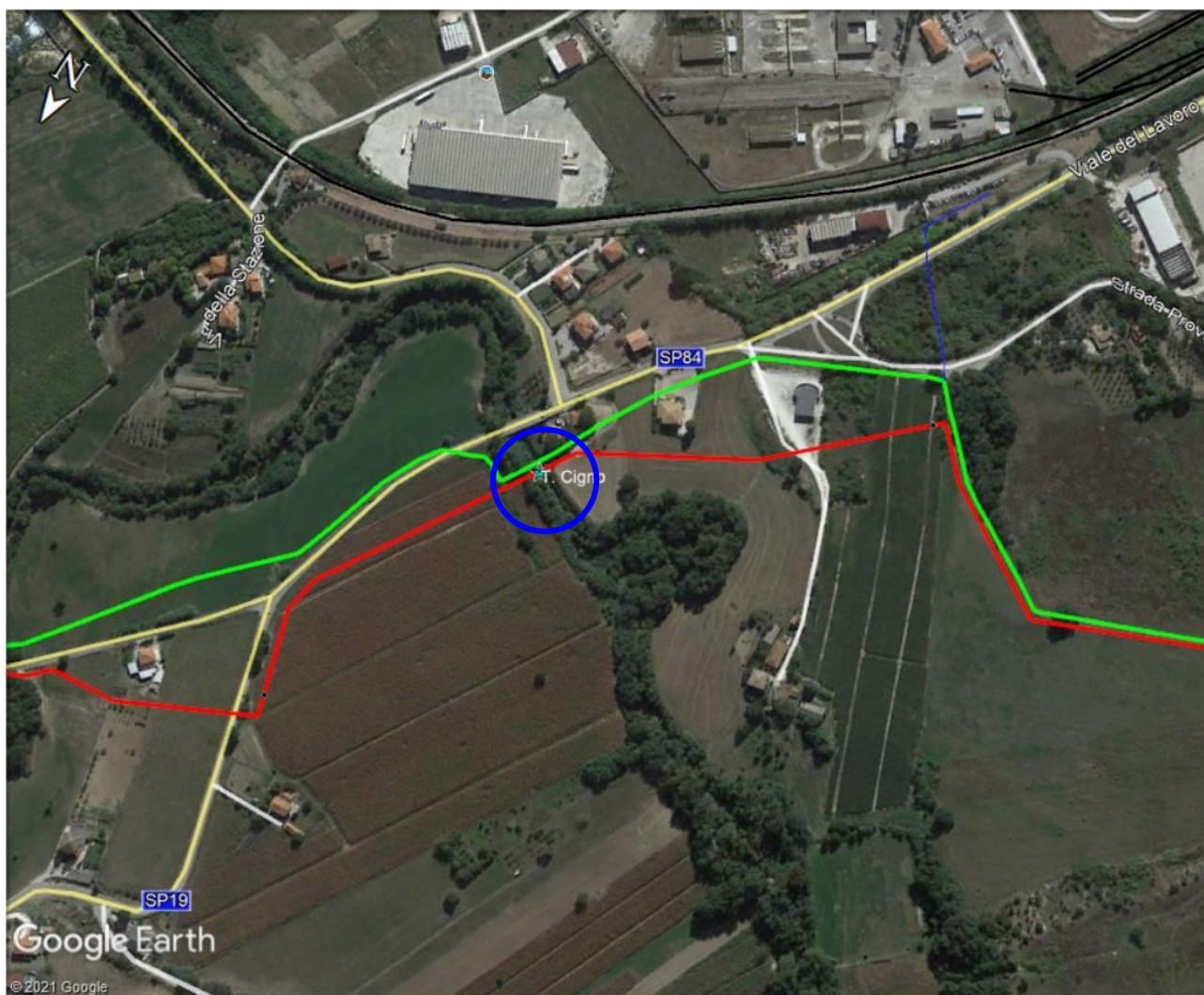


Fig.3.2/A: Foto aerea dell'ambito di attraversamento (estratta da Google Earth)

Nella figura seguente è inoltre riportata una foto rappresentativa dell'ambito d'attraversamento in esame del corso d'acqua, scattata dal ponte della strada provinciale n.84 verso monte. L'ambito di attraversamento ricade circa 40 m a monte del ponte e circa 9 m a monte dell'attraversamento aereo del metanodotto in fase di dismissione.

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 12 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202



Fig.3.2/B: Foto del corso d'acqua (la freccia rossa indica il metanodotto in progetto in senso gas)

| | | | |
|---|--|-------------------------|---------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 13 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

4. VALUTAZIONI IDROLOGICHE

4.1. Generalità

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

I risultati di tale studio nello specifico costituiscono la base per le verifiche idrauliche, in relazione alle quali verranno analizzate le condizioni di deflusso del corso d'acqua ed individuati i valori di copertura della linea in progetto, per la sua posa in sicurezza.

La valutazione delle portate può essere eseguita con diverse metodologie di calcolo, in funzione della natura dei dati disponibili. In generale, avendo a disposizione dati di portata registrati in continuo da una stazione idrometrica presente sul corso d'acqua, si esegue l'elaborazione statistica degli eventi estremi disponibili (metodo diretto). In mancanza di detti dati, si verifica se sono disponibili dati di portata di altri corsi d'acqua, 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

Per il corso d'acqua in esame, non sono disponibili dati ufficiali di valutazioni idrologiche rappresentativi per la sezione di chiusura in esame.

In tal senso per la valutazione delle portate di piena sul corso d'acqua nella sezione di studio è stata utilizzata la seguente metodologia di calcolo:

- *il metodo indiretto* (Afflussi- Deflussi), che permette la valutazione delle portate al colmo in funzione delle precipitazioni intense specifiche per l'ambito di riferimento.

4.3. Sezione di studio - Parametri morfometrici del bacino

Si assume come sezione di studio quella di attraversamento da parte del metanodotto in progetto.

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 14 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

Nella figura seguente è riportato uno stralcio planimetrico, ricavato dalle tavolette IGM, con la delimitazione del bacino sotteso dalla sezione di studio (in color magenta) e con indicazione del reticolo idrografico (in azzurro). Nella stessa figura il tracciato di progetto è indicato mediante una linea in colore rosso.

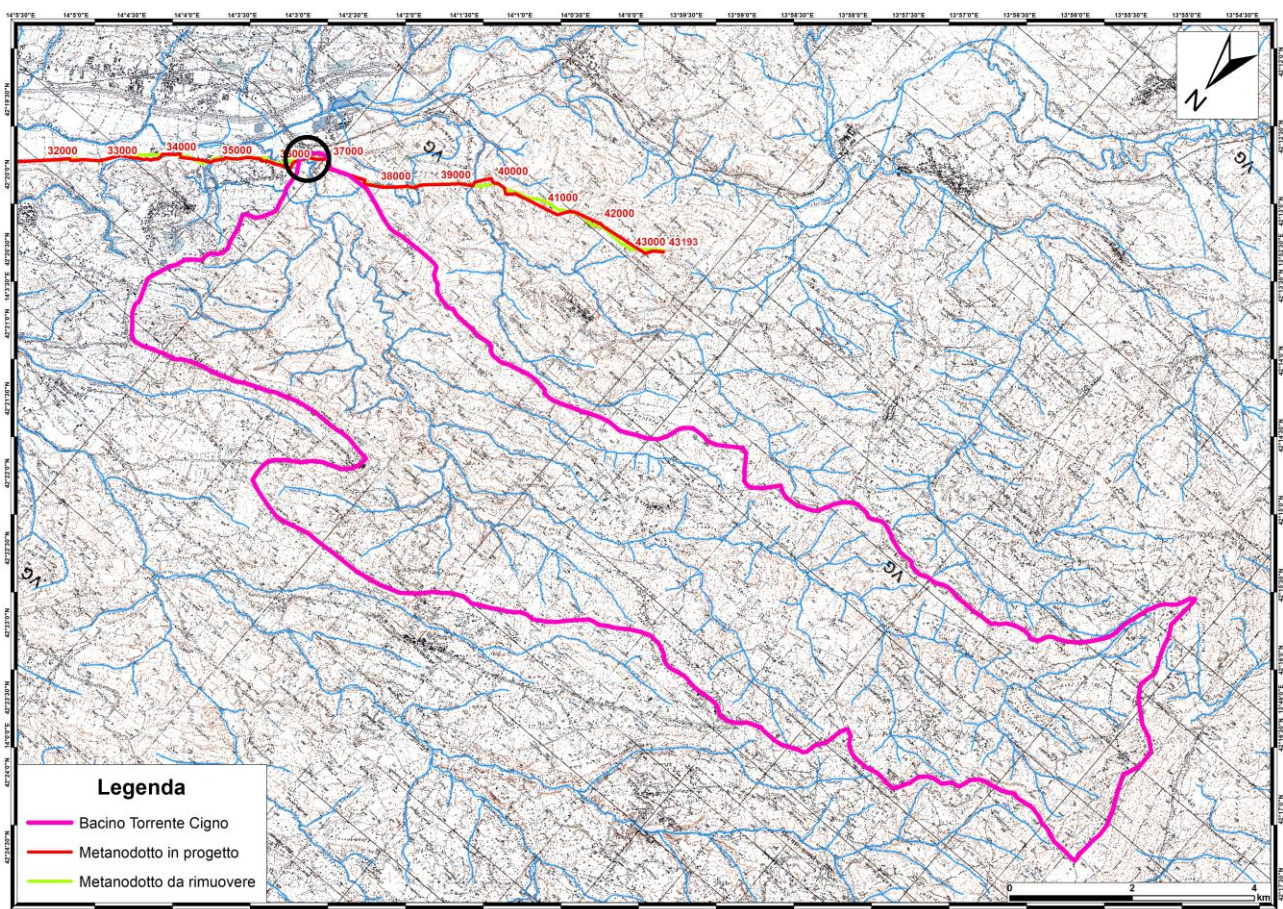


Fig.4.3/A: Bacino Imbrifero sotteso dalla sezione di studio

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

| | | | |
|---|--|-------------------------|---------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 15 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

Tab.4.3/A: Parametri morfometrici

| Corso d'acqua | Sezione di studio | Superficie Bacino (kmq) | Lunghezza asta principale (km) | Pendenza media | Quota max del Bacino (m s.m.) | Quota media del Bacino (m s.m.) | Quota Sezione chiusura (m s.m.) |
|---------------|-------------------|-------------------------|--------------------------------|----------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| T. Cigno | Sez. Attrav. | 61,699 | 22,4 | 6,06% | 1428 | 372,8 | 70 |

4.4. Metodo Indiretto (Afflussi-Deflussi)

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

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

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

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

$$Q_c = \frac{c \cdot A \cdot h_{cr}}{3600 t_c}$$

in cui:

- Q_c (mc/s): portata di progetto al colmo di piena (in funzione del tempo di ritorno "TR" (anni));
- c (-): coefficiente di deflusso, pari al rapporto tra il volume totale affluito (pioggia totale effettivamente caduta sul bacino) e volume defluito attraverso la sezione di chiusura (pioggia totale depurata delle perdite per infiltrazione ed evapotraspirazione). Il parametro tiene in considerazione della capacità di

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 16 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

assorbimento del terreno e del fattore di laminazione (capacità di invaso sulla superficie del bacino e nel reticolo idrografico);

- A (kmq): superficie del bacino imbrifero, riferita alla sezione di chiusura;
- t_c (h) - tempo di corrivazione: è il tempo che una goccia di pioggia, caduta nel punto idraulicamente più lontano dalla sezione considerata, impiega a raggiungere la sezione stessa;
- h_{cr} (mm) – altezza di pioggia critica corrispondente a eventi di durata pari al tempo di corrivazione " t_c " e per fissato tempo di ritorno "TR".

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

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

4.4.1 Criteri generali di valutazione dei parametri idrologici

Superficie del bacino (A)

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

Tempo di corrivazione (t_c)

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

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

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

- *Formula di Giandotti (1934-1937)*

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

$$\tau_c = \frac{4 * \sqrt{S} + 1,5L}{0,8 * \sqrt{H_{med} - H_0}} = [ore]$$

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 17 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

dove:

S = Superficie del bacino (kmq);

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

H₀ altezza della sezione di chiusura del bacino sotteso (in m s.l.m.)

H_{max} altezza massimo del bacino sotteso (in m s.l.m.)

- *Formula di Pezzoli (1970)*

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

dove:

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

i = pendenza media dell'alveo (-)

- *Formula di Puglisi, Fattorelli e Marchi*

Sperimentata da Puglisi per bacini di superficie compresa tra 40 e 90 kmq (nel 1978), poi tarata da Marchi e Fattorelli. Viene proposta con la seguente espressione:

$$t_c = 5.13 \cdot L^{2/3} \cdot (H_{max} - H_0)^{-1/3}$$

dove:

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

H₀ altezza della sezione di chiusura del bacino sotteso (in m s.l.m.)

H_{max} altezza massimo del bacino sotteso (in m s.l.m.)

- *Formula di Ventura*

$$\tau_c = 0,127 * \sqrt{\frac{S}{i}} = [ore]$$

dove:

S = Superficie del bacino (kmq);

i_a = pendenza media dell'alveo (-)

Coefficiente di Deflusso (c)

Il valore di tale parametro viene stabilito in dipendenza della natura litologica dei terreni, della superficie del bacino e del suo grado di saturazione, del livello di forestazione, della pendenza dei versanti e da altri fattori.

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 18 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

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

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

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

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

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

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

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

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

| | | | |
|---|--|-------------------------|---------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 19 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

Si riporta infine una tabella in cui interviene, sia pure grossolanamente, la pendenza del suolo.

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

Determinazione dell'altezza di pioggia critica

Considerando le grandezze appena descritte, è evidente che l'unica che può essere elaborata statisticamente è l'altezza di pioggia critica.

In generale il procedimento si articola nelle seguenti fasi:

- reperimento dei dati sperimentali sulle precipitazioni;
- elaborazione statistica per mezzo del metodo di Gumbel;
- tracciamento delle curve di possibilità climatica o pluviometrica;
- applicazione del metodo dei topoieti.

A) Reperimento dati sperimentali sulle precipitazioni

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

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

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

dove:

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

B) Elaborazione probabilistica per mezzo del metodo di Gumbel

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

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 20 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

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

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

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

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

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

facendo le opportune sostituzioni ed esplicitando si ottiene:

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

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

C) Tracciamento delle curve di possibilità climatica o pluviometrica

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

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

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

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

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

| | | | |
|---|--|-------------------------|---------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 21 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

D) Applicazione del metodo dei topoieti (solo per bacini caratterizzati da più stazioni pluviometriche).

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

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

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

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

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

dove:

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

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

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

4.4.2 Individuazione dei parametri idrologici

Parametri morfometrici

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

| | | | |
|---|--|-------------------------|---------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 22 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

Tempo di corrivazione

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

Tab.4.4/A: Valutazione del tempo di corrivazione

| Metodo | Tempo di corrivazione (h) - |
|----------------------|--|
| Formula di Giandotti | 4.673 |
| Formula di Pezzoli | 5.009 |
| Formula di Puglisi | 4.318 |
| Formula di Ventura | 4.053 |
| Valore medio | 4.513 |

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

Coefficiente di deflusso (c)

Facendo seguito a quanto indicato nel sottoparagrafo precedente, il valore del coefficiente di deflusso dipendente sostanzialmente dalla natura litologica dei terreni, dalla vegetazione presente nel bacino e dalla pendenza dei versanti.

In tal senso qui di seguito si riportano le figure relative alla Carta litologica e la Carta Uso del suolo (estrapolate dal *Piano Tutela delle Acque della Regione Abruzzo*), in ciascuna delle quali è stata riportata la delimitazione del bacino imbrifero sotteso dalla sezione idrologica di studio.

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 23 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

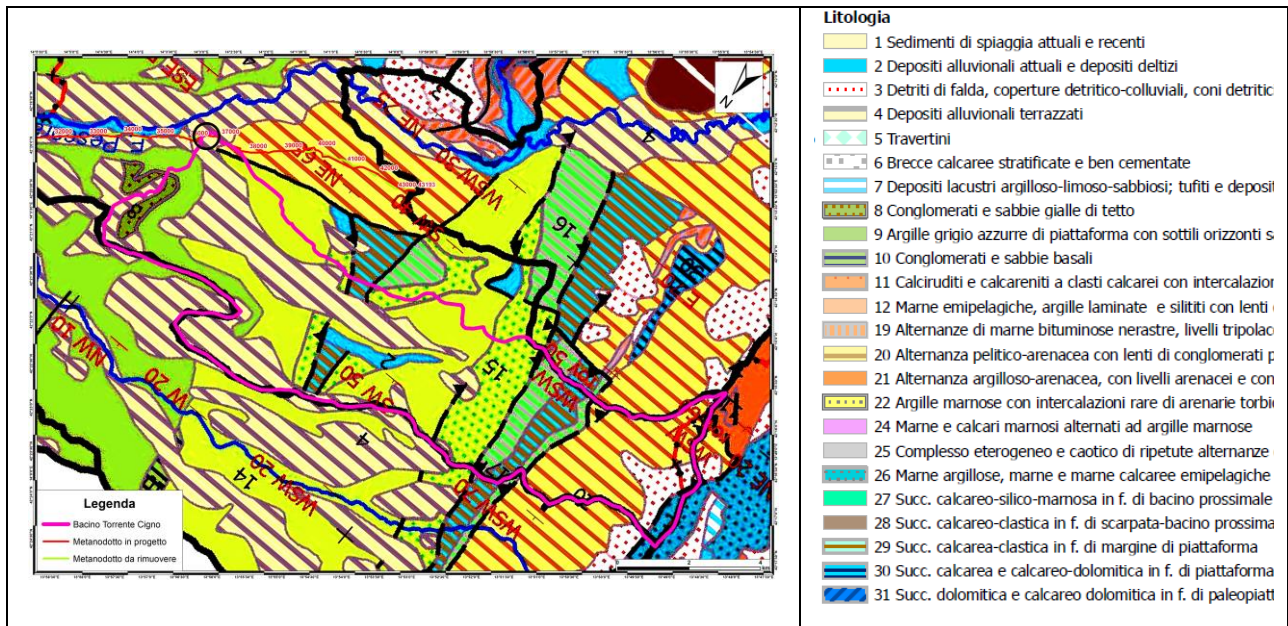


Fig.4.4/A: Bacino sulla Carta litologica della scheda dell'Aterno – Pescara (fonte: studio Piano delle acque della regione Abruzzo)

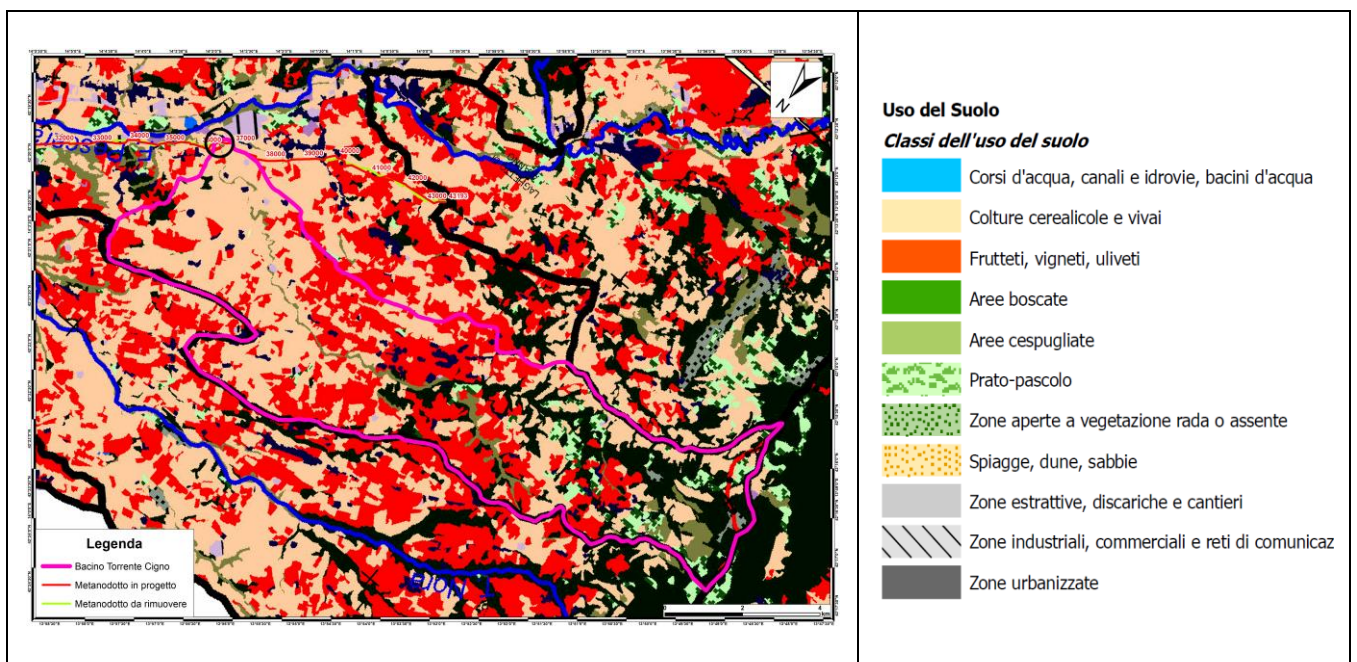


Fig.4.4/B: Bacino sulla Carta Uso del suolo

| | | | |
|---|--|-------------------------|---------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 24 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

Dall'esame della Carta litologica si rileva che il bacino ricade prevalentemente su complessi argillosi, e dunque su terreni poco permeabili ed in minor misura su alternanze pelitico-arenacee e marne e depositi alluvionali.

Dall'uso del suolo si rileva che nel bacino sono coltivati prevalentemente colture cerealicole, con presenza significativa di frutteti, aree boscate e cespugliate, a monte del bacino.

Infine per quanto riguarda le pendenze dei versanti media risulta nell'ordine del 15-20%.

Pertanto in considerazione delle caratteristiche peculiari del bacino e facendo riferimento ai valori suggeriti nelle tabelle di cui al sottoparagrafo precedente si è cautelativamente assegnato un **coefficiente di deflusso (c) pari a 0.50**.

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

Per la valutazione delle curve di possibilità pluviometrica ($h = at^n$), si è fatto riferimento alla stazione pluviometrica di "Atri", per la quale nell'ambito degli studi del PSDA sono state eseguite le elaborazioni statistiche sui dati estremi di pioggia (1, 3, 6, 12, 24h). La stazione è posizionata in prossimità dello spartiacque del bacino in esame e pertanto risulta idrologicamente rappresentativa.

Qui di seguito si riportano i parametri caratteristici per la valutazione delle curve di possibilità pluviometrica (*fonte: Elaborato r0601 studio PSDA della Regione Abruzzo - Allegato A, Tab.S*). Si è fatto riferimento alla stazione di Catignano che, pur essendo poco al di fuori del bacino, è molto prossima e può ritenersi significativa

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 25 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

| Stazione | m_1 | n | $h_{1,20}$ | $n(20)$ | $h_{1,50}$ | $n(50)$ | $h_{1,100}$ | $n(100)$ | $h_{1,200}$ | $n(200)$ | $h_{1,500}$ | $n(500)$ |
|-------------------|-------|-------|------------|---------|------------|---------|-------------|----------|-------------|----------|-------------|----------|
| COLONNELLA | 26.7 | 0.332 | 50.2 | 0.332 | 61.7 | 0.332 | 69.7 | 0.332 | 78.0 | 0.332 | 88.9 | 0.332 |
| NERETO | 25.9 | 0.283 | 48.7 | 0.283 | 59.8 | 0.283 | 67.6 | 0.283 | 75.6 | 0.283 | 86.2 | 0.283 |
| GIULIANOVA SPIAG. | 25.1 | 0.319 | 47.2 | 0.319 | 58.0 | 0.319 | 65.5 | 0.319 | 73.3 | 0.319 | 83.6 | 0.319 |
| BELLANTE | 28.0 | 0.292 | 52.6 | 0.292 | 64.7 | 0.292 | 73.1 | 0.292 | 81.8 | 0.292 | 93.2 | 0.292 |
| ROSETO ABRUZZI | 30.4 | 0.286 | 57.2 | 0.286 | 70.2 | 0.286 | 79.3 | 0.286 | 88.8 | 0.286 | 101.2 | 0.286 |
| GUARDIA VOMANO | 31.0 | 0.329 | 58.3 | 0.329 | 71.6 | 0.329 | 80.9 | 0.329 | 90.5 | 0.329 | 103.2 | 0.329 |
| SILVI ALTA | 26.7 | 0.262 | 50.2 | 0.262 | 61.7 | 0.262 | 69.7 | 0.262 | 78.0 | 0.262 | 88.9 | 0.262 |
| ATRI | 25.0 | 0.367 | 47.0 | 0.367 | 57.8 | 0.367 | 65.3 | 0.367 | 73.0 | 0.367 | 83.3 | 0.367 |
| FARINDOLA | 27.4 | 0.339 | 51.5 | 0.339 | 63.3 | 0.339 | 71.5 | 0.339 | 80.0 | 0.339 | 91.2 | 0.339 |
| PENNE | 23.9 | 0.355 | 44.9 | 0.355 | 55.2 | 0.355 | 62.4 | 0.355 | 69.8 | 0.355 | 79.6 | 0.355 |
| MOSCUFO | 21.5 | 0.339 | 40.4 | 0.339 | 49.7 | 0.339 | 56.1 | 0.339 | 62.8 | 0.339 | 71.6 | 0.339 |
| ARSITA | 32.0 | 0.341 | 60.2 | 0.341 | 73.9 | 0.341 | 83.5 | 0.341 | 93.4 | 0.341 | 106.6 | 0.341 |
| MONTEFINO | 23.7 | 0.320 | 56.4 | 0.320 | 69.3 | 0.320 | 78.3 | 0.320 | 87.6 | 0.320 | 99.9 | 0.320 |
| CITTA' S. ANGELO | 28.7 | 0.303 | 54.0 | 0.303 | 66.3 | 0.303 | 74.9 | 0.303 | 83.8 | 0.303 | 95.6 | 0.303 |
| ALANNO | 24.2 | 0.291 | 45.5 | 0.291 | 55.9 | 0.291 | 63.2 | 0.291 | 70.7 | 0.291 | 80.6 | 0.291 |
| MANOPPELLO | 27.9 | 0.384 | 52.5 | 0.384 | 64.4 | 0.384 | 72.8 | 0.384 | 81.5 | 0.384 | 92.9 | 0.384 |
| CHIETI | 24.8 | 0.368 | 46.6 | 0.368 | 57.3 | 0.368 | 64.7 | 0.368 | 72.4 | 0.368 | 82.6 | 0.368 |
| CASALINCONTRADA | 25.5 | 0.382 | 47.9 | 0.382 | 58.9 | 0.382 | 66.6 | 0.382 | 74.5 | 0.382 | 84.9 | 0.382 |
| CATIGNANO | 22.3 | 0.326 | 41.9 | 0.326 | 51.5 | 0.326 | 58.2 | 0.326 | 65.1 | 0.326 | 74.3 | 0.326 |
| CEPAGATTI | 22.0 | 0.309 | 41.4 | 0.309 | 50.8 | 0.309 | 57.4 | 0.309 | 64.2 | 0.309 | 73.3 | 0.309 |

4.4.3 Risultati delle elaborazioni idrologiche

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

Tab.4.4/B: Portate di piena valutate con il metodo indiretto

| TR | a | n | tc(h) | h_{cr} | c | S (kmq) | Q (mc/s) |
|-----|------|-------|-------|----------|------|------------|---------------|
| 20 | 41.9 | 0.326 | 4.513 | 68.48 | 0.50 | 61,699 | 130.03 |
| 50 | 51.5 | 0.326 | 4.513 | 84.17 | 0.50 | 61,699 | 159.82 |
| 100 | 58.2 | 0.326 | 4.513 | 95.12 | 0.50 | 61,699 | 180.61 |
| 200 | 65.1 | 0.326 | 4.513 | 106.40 | 0.50 | 61,699 | 202.02 |
| 500 | 74.3 | 0.326 | 4.513 | 121.44 | 0.50 | 61,699 | 230.57 |

| | | | |
|---|--|-------------------------|---------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 26 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

4.5. Portata di progetto

Si assume come portata di progetto (per le verifiche idrauliche di cui al capitolo seguente) la portata duecentennale (associata ad un tempo di ritorno di 200 anni), valutata con il metodo Afflussi-Deflussi e indicata nella tabella seguente:

Tab.4.5/A: Portata di progetto - tabella riepilogativa

| Sezione | Superficie Bacino (kmq) | Qprogetto (mc/s) | qmax mc/(s kmq) |
|---|--|-----------------------------|--------------------------------|
| Torrente Cigno / Sez. idrologica di studio | 61.699 | 202.02 | 3.274 |

| | | | |
|---|--|-------------------------|---------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 27 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

5. STUDIO IDRAULICO IN MOTO PERMANENTE

5.1. Presupposti e limiti dello studio

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

In generale le finalità ultime degli studi idraulici sono rappresentate dalla valutazione dei battenti idraulici e dall'individuazione delle eventuali fasce di esondazione e dei relativi tiranti idraulici, in concomitanza di prestabiliti eventi di piena.

Relativamente agli attraversamenti in subalveo da parte di metanodotti, lo studio è incentrato principalmente all'individuazione dei parametri idraulici di deflusso in alveo necessari per la valutazione delle erosioni al fondo nell'ambito d'attraversamento. Ciò con lo scopo di determinare i valori di copertura in alveo della condotta che assicurino gli adeguati margini di sicurezza nei confronti dei processi erosivi del letto fluviale, relativamente a tutta la vita utile dell'opera.

Come esposto nel capitolo precedente, le valutazioni idrauliche sono effettuate sulla base dell'evento di piena corrispondente al tempo di ritorno $T_r = 200$ anni (al quale si associa la probabilità di non superamento del 99.5%). Tale valore è utilizzato per la stima degli eventuali fenomeni erosivi, che devono dimostrarsi limitati entro condizioni compatibili 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.

È tuttavia opportuno evidenziare che l'attraversamento in subalveo del corso d'acqua in esame (come meglio specificato nel seguito) verrà realizzato mediante scavo a cielo aperto. A fine lavori è previsto il ripristino dell'area di attraversamento alle condizioni ante-operam. Inoltre, al fine di garantire la protezione della condotta nel lungo termine sono state previste opere di protezione delle sponde tramite rivestimento spondale in massi.

Detto ciò, le valutazioni idrauliche di cui al capitolo presente (nonché le valutazioni dei processi erosivi di cui al capitolo seguente) sono state sviluppate esclusivamente per completezza dell'elaborato ed assumono una funzione a titolo prettamente conoscitivo in merito alle specifiche argomentazioni in esame.

Lo schema utilizzato nello studio per la determinazione dei profili idrici è quello di moto permanente monodimensionale (deflusso costante e geometria variabile), con corrente

| | | | |
|---|--|-------------------------|---------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 28 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

gradualmente variata (fatta eccezione per le sezioni in cui si risente della presenza di strutture), variazioni di forma dell'alveo e di pendenza longitudinale del fondo compatibili con il modello. I limitati dello studio sono quelli intrinseci del modello di calcolo e che le valutazioni idrauliche sono condotte comunque in riferimento ad un tratto limitato del corso d'acqua.

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

In *Appendice 1* della presente relazione viene descritta la metodologia di calcolo utilizzata; mentre in *Appendice 2* sono riportati i tabulati di report del programma.

Infine, si ritiene opportuno evidenziare che lo studio risulta pertinente sia all'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 tali da modificarne le condizioni di deflusso della corrente.

5.2. Assetto geometrico e modellazione idraulica

5.2.1 Assetto geometrico di modellazione

Al fine di eseguire la modellazione idraulica nell'ambito di riferimento è stato considerato un tronco d'alveo idraulicamente significativo a cavallo della sezione di attraversamento del metanodotto, per uno sviluppo complessivo di circa 200 m.

I dati geometrici di base derivano dai DTM ricavati tramite voli Lidar con risoluzione 0.5x0.5m (specificatamente effettuati per la progettazione del metanodotto in esame) che hanno consentito la definizione delle caratteristiche geometriche dell'alveo e delle sponde lungo lo sviluppo del tronco d'alveo oggetto di analisi.

Nella figura seguente è riportata uno stralcio della CTR a foto aerea nella quale l'asta del corso d'acqua è indicata in colore blu, le sezioni trasversali utilizzate per il calcolo idraulico sono indicate in verde, mentre il tracciato del metanodotto in progetto è indicato in rosso.

La sezione 342 coincide con la sezione di attraversamento del metanodotto.

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 29 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202



Fig.5.2/A: Foto aerea, con tronco d'alveo analizzato e sezioni di input

5.2.2 Dati di input e condizioni al contorno

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

- $Q_{200}=202,02$ mc/s

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

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

| | | | |
|---|--|-------------------------|---------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 30 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

Per quanto concerne il coefficiente di scabrezza si è fatto riferimento al coefficiente di Manning e, considerando la presenza di folta vegetazione arbustiva in alveo, si è assegnato:

i indici di scabrezza di Manning "n", individuati in relazione alle caratteristiche peculiari rilevate nell'ambito in esame. Ossia:

- 0,0070 per l'alveo;
- 0,035 per le fasce laterali.

5.3. Risultati della simulazione idraulica

I tabulati di Report dell'elaborazione idraulica (in forma estesa) sono riportati in *Appendice 2*, mentre qui di seguito si riportano alcuni grafici e tabelle che consentono una più rapida visualizzazione dell'output dell'elaborazione.

Qui si riporta il profilo longitudinale e la sezione in corrispondenza dell'attraversamento del metanodotto in progetto.

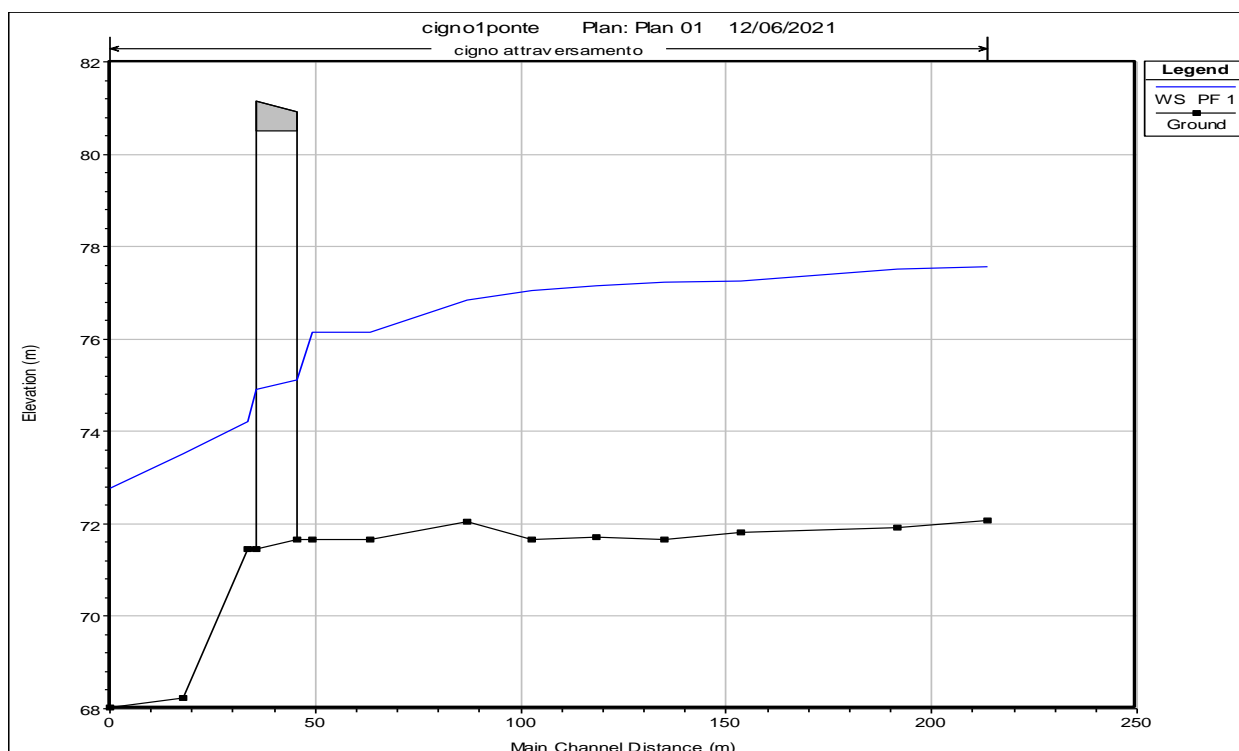


Fig.5.3/A: profilo longitudinale

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 31 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

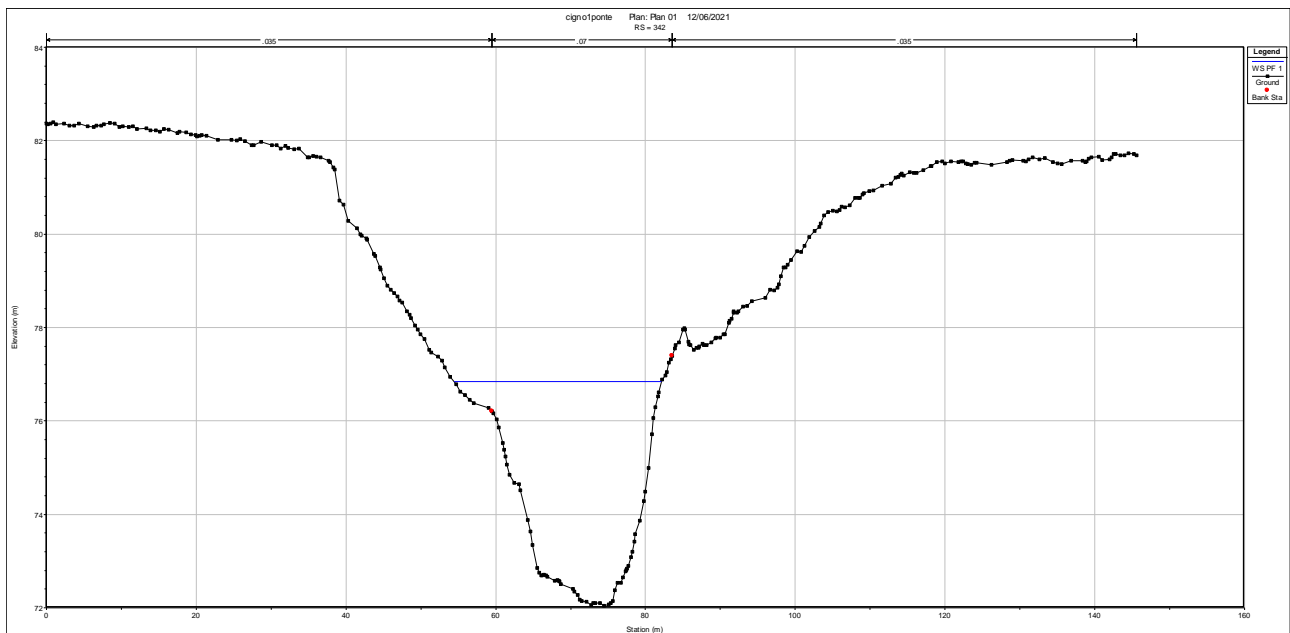


Fig.5.3/B: Sezione 342

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 di Output

| River Sta | Q Total (m3/s) | Min Ch El (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) | Froude # Chl |
|------------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------------|----------------|----------------|---------------|--------------|
| 756 | 202.02 | 72.07 | 77.56 | 75.43 | 77.7 | 0.002877 | 1.68 | 121.93 | 42.09 | 0.28 |
| 685 | 202.02 | 71.92 | 77.5 | | 77.64 | 0.002718 | 1.67 | 121.82 | 36.12 | 0.28 |
| 560 | 202.02 | 71.82 | 77.26 | | 77.5 | 0.004634 | 2.17 | 94.87 | 32.2 | 0.36 |
| 499 | 202.02 | 71.66 | 77.22 | | 77.41 | 0.003311 | 2.01 | 104.04 | 36.66 | 0.31 |
| 445 | 202.02 | 71.7 | 77.16 | | 77.36 | 0.003618 | 1.98 | 101.9 | 34.79 | 0.31 |
| 394 | 202.02 | 71.66 | 77.04 | | 77.29 | 0.004803 | 2.23 | 91.71 | 30.29 | 0.35 |
| 342 | 202.02 | 72.05 | 76.84 | | 77.18 | 0.007711 | 2.61 | 78.51 | 27.7 | 0.45 |
| 265 | 202.02 | 71.66 | 76.14 | 75.28 | 76.86 | 0.021956 | 3.78 | 54.62 | 28.1 | 0.7 |
| 219 | 202.02 | 71.66 | 76.14 | 74.85 | 76.56 | 0.010613 | 2.89 | 71.46 | 29.07 | 0.51 |
| 180 | Bridae | | | | | | | | | |
| 168 | 202.02 | 71.45 | 74.22 | 74.73 | 75.97 | 0.09401 | 5.86 | 34.47 | 19.53 | 1.41 |
| 117 | 202.02 | 68.24 | 73.53 | 70.75 | 73.67 | 0.002552 | 1.68 | 120.05 | 29.76 | 0.27 |

| | | | |
|---|--|-------------------------|---------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 32 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

5.4. Analisi dei risultati conseguiti

Nel paragrafo precedente sono state riportate le principali schermate di output del programma Hec Ras, mentre in *Appendice 2* sono riportati i tabulati di Report in forma estesa del programma, al quale si rimanda per gli eventuali approfondimenti di dettaglio.

Dall'esame dei risultati della simulazione idraulica, si rileva che nel tronco idraulico considerato la sezione d'alveo risulta in grado di contenere la portata di progetto (portata duecentennale).

Per le valutazioni 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.

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 33 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

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;

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 34 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

- 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.

6.2. Criteri di calcolo

Approfondimenti localizzati

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

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

Fra i modelli più noti atti a determinare il valore dell'eventuale approfondimento rispetto alla quota iniziale del fondo alveo durante la manifestazione di piene (Schoklitsh, Eggemberger, Adami, ecc.), la formula di Schoklitsh¹ è quella che presenta minori difficoltà nella determinazione dei parametri caratteristici ed è quella maggiormente impiegata (con risultati soddisfacenti) per gli attraversamenti in subalveo di corsi d'acqua da parte delle condotte (soprattutto nel campo dei metanodotti).

¹ Schoklitsh A., "Stauraum verlandung und kolkbewehr", Springer ed., Vienna, 1935.

| | | | |
|---|--|-------------------------|---------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 35 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

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

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

dove

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

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

Arature di fondo

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

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

| | | | |
|---|--|-------------------------|---------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 36 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

state studiate² 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 Italia³, sulla base di osservazioni dirette nei corsi d'acqua della pianura padana, estende il limite massimo dei fenomeni di escavazione per aratura, indipendentemente dalla natura del fondo e dal regime di corrente, ad un valore cautelativo pari al 50% dell'altezza idrometrica di piena.

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

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

Considerazioni sui metodi di calcolo impiegati

In Italia, negli ultimi 50÷60 anni circa, per la progettazione di attraversamenti in subalveo dei metanodotti, l'applicazione dei metodi sopracitati (che si completano con la valutazione dell'erosione massima in alveo, in considerazione del valore maggiore tra gli approfondimenti localizzati e le arature di fondo individuati nel tronco fluviale in esame) risultano quelli maggiormente impiegati, anche in considerazione di una vastissima casistica di situazioni litologiche e morfologiche nei contesti fluviali d'intervento.

Sulla base delle esperienze acquisite, ossia sulla base dei riscontri conseguiti nel tempo, i risultati sono assolutamente positivi. Infatti, dall'analisi storica, problematiche di erosioni in alveo che hanno determinato la scoperta di condotte si sono verificate solo in rarissimi casi correlabili a situazioni estremamente particolari e non considerate adeguatamente in fase di progetto, ossia per il crollo di briglie localizzate poco a valle degli attraversamenti,

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

³ Zanovello A., Sulle variazioni di fondo degli alvei durante le piene; L'Energia elettrica, XXXIV, n. 8; 1959.

| | | | |
|---|--|-------------------------|---------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 37 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

oppure per effetto di azioni antropiche in alveo (ad esempio per estrazioni incontrollate di ingenti quantitativi di inerti).

In definitiva, sulla base dei riscontri delle esperienze acquisite, si può ritenere che l'impiego dei metodi sopracitati, unitamente all'applicazione di adeguati coefficienti di sicurezza (valutati anche in funzione delle condizioni peculiari rilevati nel contesto d'intervento), consentono di garantire all'infrastruttura lineare in progetto condizioni di sicurezza adeguate nei confronti dei processi erosivi di fondo alveo.

6.3. Stima dei massimi approfondimenti d'alveo attesi

Le valutazioni dei fenomeni erosivi sono state eseguite in riferimento all'evento di piena duecentennale (TR=200 anni), i cui parametri di deflusso nelle sezioni di studio sono riportati nel capitolo precedente.

A tal proposito nella tabella seguente si riportano i valori dell'erosione di fondo alveo in corrispondenza della sezione di posa del metanodotto.

Tab.6.3/A: Erosione nel fondo alveo

| | | | Fiume Cigno |
|---|-------------------------------------|------------------|--------------------------|
| a | quota tirante | | m s.l.m. 76.84 |
| b | quota della massima incisione | | m s.l.m. 72.05 |
| c | tirante idrico (a-b) | h_0 | m 4.79 |
| d | Potenziale escavazione | Z | m 2.40 |
| | pendenza locale | i | % 1.653% |
| | area della sezione | A | m ² 78.51 |
| | Portata di piena | Q _{max} | m ³ /s 202.02 |
| | velocità | V | m/s 2.61 |
| | larghezza idrica in sommità | L | m 27.70 |
| | portata specifica | q | m ³ /s/m 7.29 |
| | dislivello buche | a | m 0.30 |
| | profondità max (Schoklitsch) | S | m 2.36 |

| | | | |
|---|--|-------------------------|---------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 38 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

6.4. Analisi dei risultati e considerazioni progettuali

Sulla base delle valutazioni di cui al paragrafo precedente si evince che, relativamente alla sezione di posa del metanodotto la massima erosione attesa al fondo alveo, in concomitanza dell'evento di piena di progetto, è stata valutata in 2,40 m.

Conseguentemente, assegnando a livello conservativo un coefficiente di sicurezza pari a 1.5, al fine di garantire una adeguata sicurezza all'infrastruttura lineare in progetto nei confronti dei processi erosivi di fondo alveo, risulta necessario prevedere il posizionamento in subalveo della condotta con una **copertura minima** (profondità della giacitura superiore della tubazione dalla quota di fondo alveo) **non inferiore a 3.60m.**

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 39 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

7. METODOLOGIA COSTRUTTIVA E SCELTE PROGETTUALI

7.1. Premessa

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

In particolare, in considerazione delle caratteristiche del corso d'acqua e dei risultati conseguiti, 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;
- le caratteristiche dimensionali e tipologiche delle opere di difesa idraulica.

7.2. Metodologia operativa: scavi a cielo aperto

Questa tecnica prevede lo scavo in alveo mediante escavatori o drag-line per la formazione della trincea in cui vengono varate le condotte e, a posa ultimata, il rinterro e il ripristino dell'area analogamente a quanto avviene per il resto della linea.

La predisposizione del cosiddetto cavallotto, che consiste nel piegare e quindi saldare fra loro le barre della tubazione secondo la geometria di progetto, sarà eseguita fuori dall'alveo e, quindi, la necessità di operare in alveo sarà limitata alle sole fasi di scavo e rinterro che, come già detto, saranno eseguite mediante escavatori.

Il cavallotto preassemblato fuori opera sarà posato in alveo mediante l'impiego di trattori posatubi.

Durante l'esecuzione dei lavori verrà sempre garantito il deflusso delle acque. In nessun caso la realizzazione dell'opera comporterà una riduzione della sezione idraulica non determinando quindi variazioni sulle caratteristiche di deflusso delle acque al verificarsi dei fenomeni di piena.

Dal punto di vista idraulico, la stagionalità del corso d'acqua consente di effettuare le lavorazioni in periodi idrologicamente favorevoli con portate in alveo ridotte o nulle.

Le dimensioni dei corsi d'acqua interessati dalle opere in progetto consentono agevolmente l'esecuzione dei lavori anche in presenza di acqua.

In caso di necessità, potrà comunque essere creato un by-pass temporaneo tramite la posa in opera di una tubazione di diametro adeguato a garantire i deflussi di magra e morbida, mentre in caso di piena sarà garantita la possibilità di tracimazione delle acque.

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 40 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

Di seguito è riportato uno schema realizzativo che rappresenta le diverse fasi di esecuzione dei lavori appena descritte (si vedano immagini in Figura 7.2/). In alternativa, ove le condizioni del sito lo consentono, potrà essere realizzato un fosso di by-pass di dimensioni paragonabili a quelle dell'alveo esistente, in una posizione tale da consentire l'esecuzione delle lavorazioni in sicurezza.

Per quanto riguarda infine il ripristino della sezione d'alveo, la stagionalità del corso d'acqua e la presenza del by-pass temporaneo garantiscono i tempi necessari per un corretto ripristino della sezione d'alveo e la naturale stabilizzazione delle sponde.

Visti la dimensione delle opere da realizzare, i tempi di posa saranno ridotti.

Per quanto attiene la sicurezza dei lavoratori che andranno ad operare nel cantiere, l'esecuzione degli attraversamenti a cielo aperto, in considerazione anche della modesta dimensione dei corsi d'acqua interferiti e della predisposizione del cavallotto fuori opera, limita la presenza di operatori in alveo alle sole fasi di scavo e rinterro della trincea di posa che, peraltro, saranno eseguite con mezzi meccanici.

Si evidenzia, inoltre, che nel Piano di Sicurezza e coordinamento predisposto sono riportate specifiche prescrizioni e indicazioni finalizzate alla riduzione del rischio durante i lavori di costruzione in corrispondenza dei corsi d'acqua che l'Appaltatore dovrà applicare al fine di garantire la sicurezza di tutti i lavoratori.

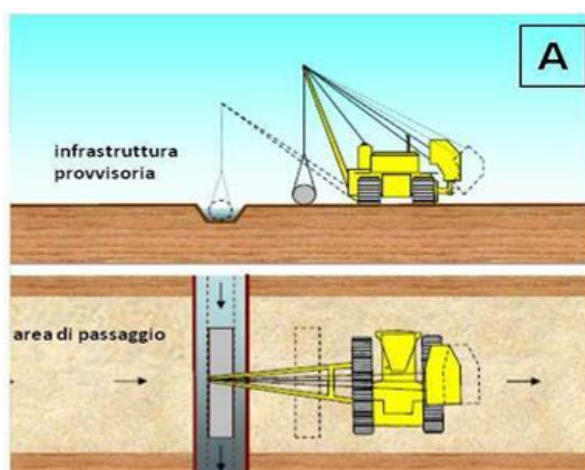


Figura 7.2/A - Sezione tipo di un by-pass provvisorio del flusso idrico. Fase 1

Nella Figura 7.2/A viene riportata la seguente operazione della fase 1:

- Posa del by-pass

| | | | |
|---|--|-------------------------|---------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 41 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

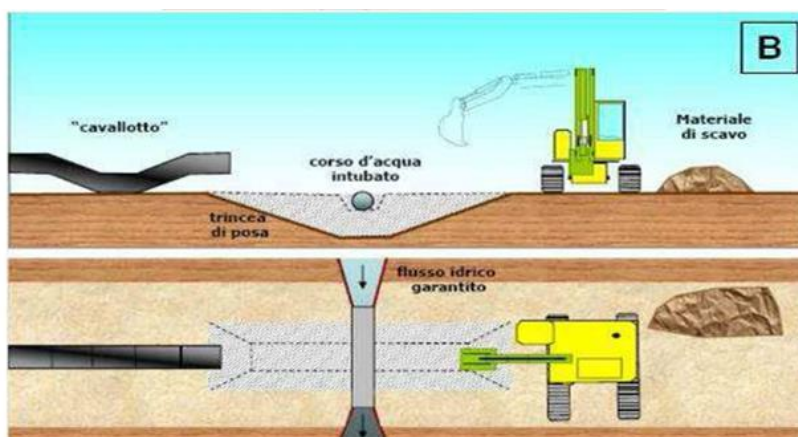


Figura 7.2/B - Sezione tipo di un by-pass provvisorio del flusso idrico. Fase 1

- Nella Figura 7.2/B viene riportata la seguente operazione della fase 1:
- Scavo della trincea di posa a cavallo del tratto canalizzato.

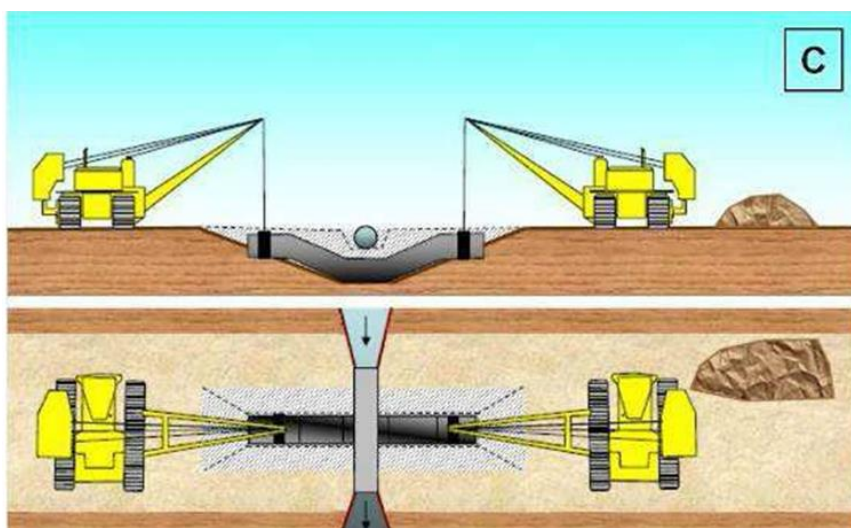


Figura 7.2/C - Sezione tipo di un by-pass provvisorio del flusso idrico. Fase 2

- Nella Figura 7.2/C viene riportata la seguente operazione della fase 2:
- Posa del cavallotto.

| | | | |
|---|--|-------------------------|---------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 42 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

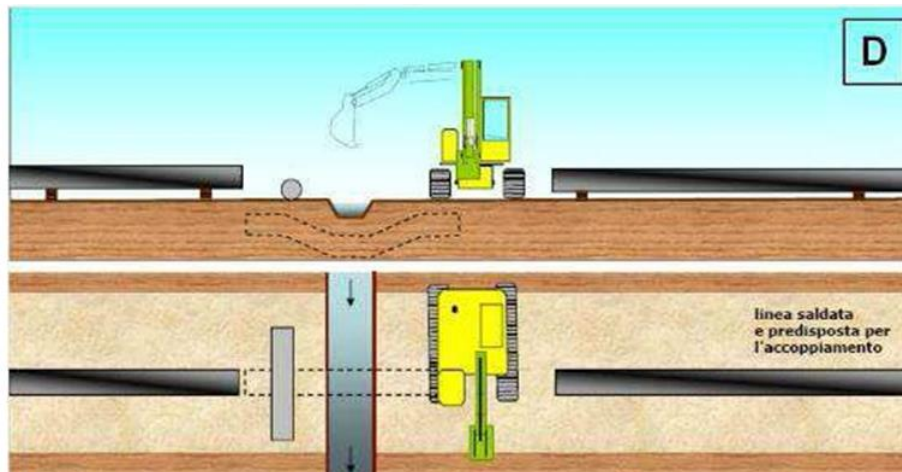


Figura 7.2/D - Sezione tipo di un by-pass provvisorio del flusso idrico. Fase 2

Nella Figura 7.2/D viene riportata la seguente operazione della fase 2:
 - Tombamento dello scavo.

7.3. Opere funzionali

Per il ripristino delle aree interessate dai lavori ed in virtù della modalità esecutiva dell'attraversamento che prevede la posa della condotta in sub alveo, mediante scavo a cielo aperto, si rendono necessarie alcune opere funzionali al riassetto morfologico dei tratti interessati dalle lavorazioni; nello specifico verranno realizzate:

-rivestimento spondale in massi.

Le difese spondali in massi, eseguite contro l'erosione delle sponde, saranno sagomate sulla base dei progetti che ne determineranno le dimensioni, nonché lo sviluppo della parte in elevazione e di appoggio del piano di fondazione.

La scelta delle dimensioni degli elementi che formano i rivestimenti deve essere fatta in funzione delle sollecitazioni meccaniche a cui verranno sottoposte in esercizio (sforzi di trascinamento dovuti alla corrente, sottopressioni idrauliche).

Le dimensioni degli elementi lapidei saranno maggiori rispetto a quelle che la corrente è in grado di trascinare a valle in occasione di piene caratterizzate da portate di adeguato tempo di ritorno.

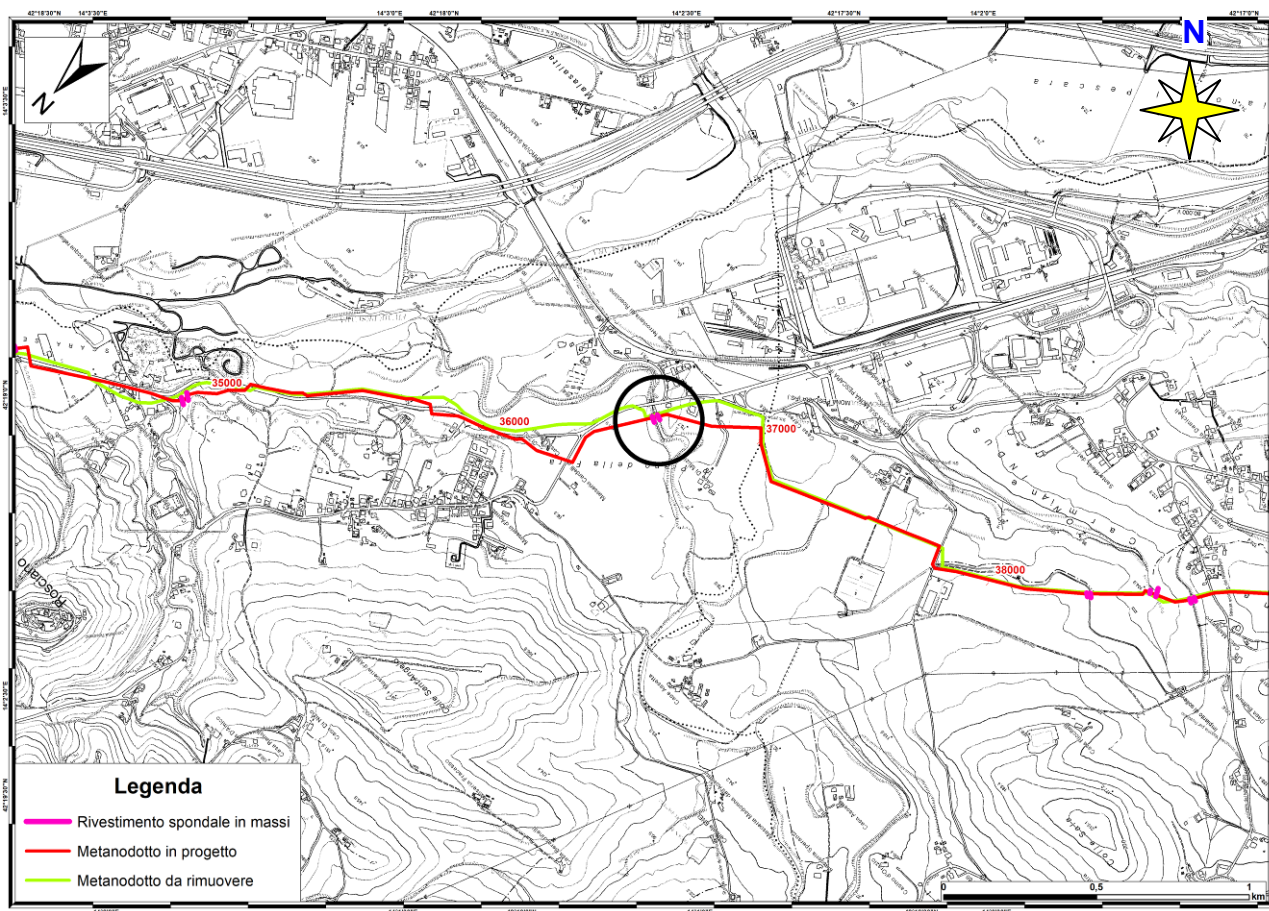
Quando l'energia della corrente fluviale è poco rilevante, con condizioni di scarsa portata idraulica e/o di sponda poco elevata, è sufficiente realizzare solo la ricostruzione spondale con rivestimento in massi, che non assolve più alla funzione principale di sostegno e

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 43 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

presidio idraulico, ma piuttosto di solo annullamento dell'azione erosiva al piede della scarpata spondale.

Nella fig. 7.3/A si riporta lo stralcio planimetrico su CTR al 10.000 del posizionamento delle difese spondali ed in fig. 7.3/B si riporta un particolare della ricostruzione spondale in massi:



7.3/A-Stralcio C.T.R. al 10.000 con indicazione delle difese spondali di progetto.

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 44 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

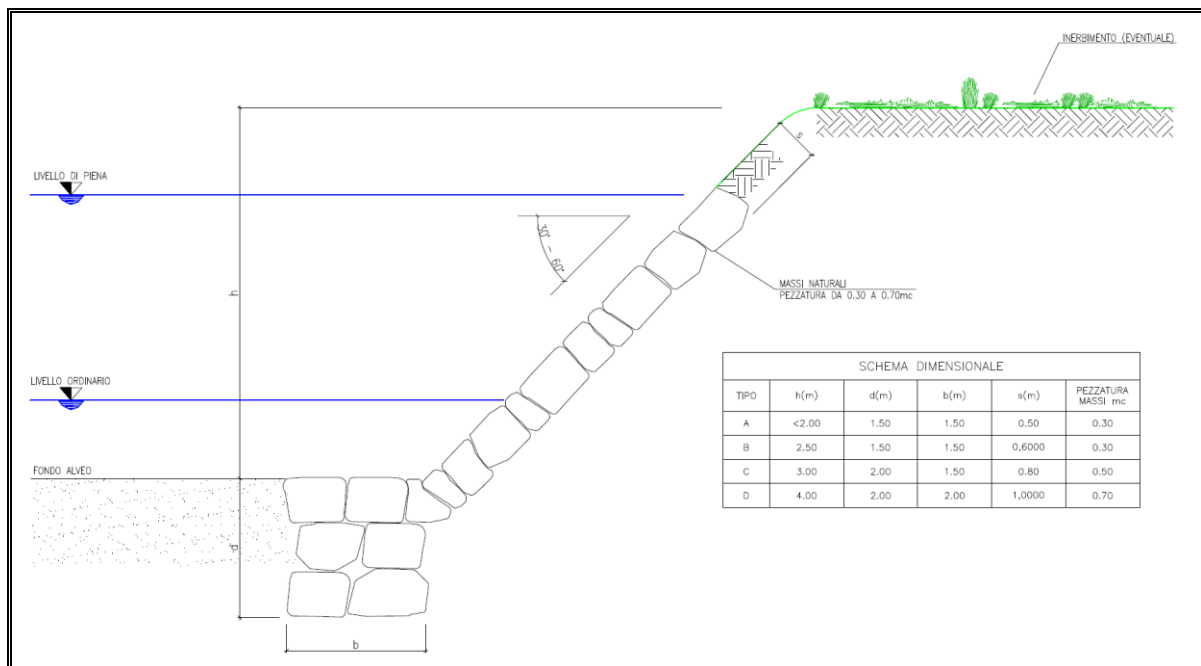


Fig. 7.3/B: Ricostruzione spondale con rivestimento in massi.

7.4. Attraversamento - scelte progettuali

Copertura di progetto

In considerazione dei risultati conseguiti negli studi precedentemente riportati e delle condizioni peculiari del sito di intervento, è stato previsto di posizionare la condotta in variante con una copertura minima di **4,00 m** riferita alla generatrice superiore del tubo). Detta profondità di posa assicura la sicurezza dell'infrastruttura lineare per tutto il periodo d'esercizio nei confronti dei potenziali processi erosivi.

Per detti interventi viene assicurato il ripristino della configurazione morfologica d'alveo preesistente.

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 e laddove necessario con il ripristino di opere preesistenti con la stessa tipologia e dimensione.

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 45 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

8. PRESCRIZIONI REALIZZATIVE

Con la finalità di perseguire la corretta esecuzione delle lavorazioni nel rispetto dei requisiti di sicurezza richiesti si riporta di seguito un elenco di prescrizioni (non esaustivo) che l'appaltatore dovrà rispettare in fase realizzativa dell'intervento:

- le lavorazioni verranno eseguite nel periodo di magra del corso d'acqua ossia nei mesi estivi (preferibilmente luglio-agosto),
- le attività, nel rispetto del cronoprogramma dei lavori, avranno ristretti tempi di esecuzione;
- eventuale accantonamento del terreno derivante dalle fasi di scavo avverrà in aree situate al di fuori dei limiti di perimetrazione di rischio idraulico e/o di rischio esondazione, e comunque in maniera tale da non arrecare ostruzione ad eventuale deflusso di piena e agli elementi di rischio individuati nel contesto delle aree di lavoro;
- la trincea di scavo sarà ripristinata nel rispetto dell'originaria successione stratigrafica ed in relazione alle granulometrie dei materiali interessata.

9. VALUTAZIONI INERENTI ALLA COMPATIBILITÀ IDRAULICA

9.1. 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 sopresse 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.

| | | | |
|---|--|-------------------------|---------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 46 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

9.2. 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.

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;

| | | | |
|---|--|-------------------------|---------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 47 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

- 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;

| | | | |
|---|--|-------------------------|---------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 48 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

- non possono incrementare in modo significativo le aree impermeabili esistenti se non stabilendo idonee misure compensative;
- 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 consentiti 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).

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 49 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

9.3. Interferenze con PSDA nell'ambito di attraversamento del corso d'acqua

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

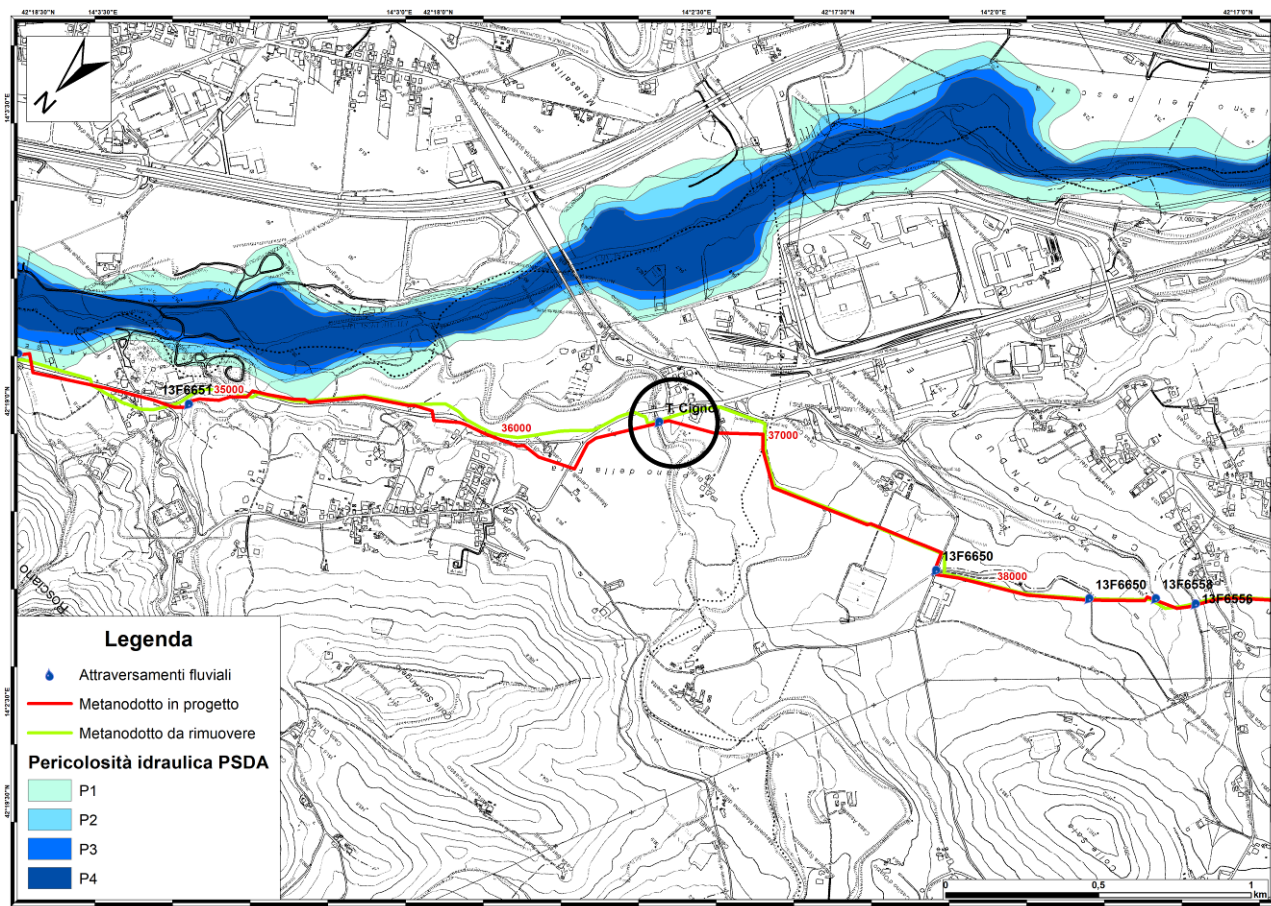


Fig.9.3/A: Interferenze tra metanodotto in progetto con le aree a "Pericolosità Idraulica"

Dall'analisi della figura precedente si rileva che l'attraversamento del corso d'acqua ricade al di fuori dell'ambito, dove nell'intorno s'individuano delle aree potenzialmente inondabili e dunque censite a pericolosità idraulica.

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 50 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

9.4. Analisi delle condizioni di compatibilità idraulica

9.4.1 Considerazioni di carattere generale

Il metanodotto in progetto rappresenta un'infrastruttura lineare (di interesse pubblico) di trasporto del gas, previsto in sostituzione di un altro metanodotto in esercizio (e da dimettere) sulla medesima direttrice. 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).

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

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

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

La costruzione dell'infrastruttura lineare, inoltre, non determina alcuna forma di trasformazione del territorio. 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 nell'ambito fluviale interessato dall'attraversamento.

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

| | | | |
|---|--|-------------------------|---------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 51 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

9.4.2 Considerazioni specifiche inerenti all'ambito di attraversamento del corso d'acqua

Nel paragrafo precedente è stato evidenziato che l'alveo del corso d'acqua e la gran parte delle aree potenzialmente inondabili verranno attraversate mediante la classica metodologia con scavo a cielo aperto. Pertanto, alla luce della metodologia operativa individuata e delle scelte progettuali, si evidenzia quanto segue:

- L'attraversamento fluviale avviene in "subalveo" e prevede una profondità di posa della condotta di adeguate garanzie nei confronti d'eventuali fenomeni di erosione di fondo (anche localizzati e/o temporanei) che si possono produrre anche in concomitanza di piene eccezionali, cosicché è da escludere qualsiasi interferenza tra la tubazione e il flusso della corrente;
- La configurazione morfologica d'alveo verrà completamente ripristinata, garantendo le condizioni originarie ante-operam.
- La configurazione geometrica della linea 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 involuppo di piena*

Non generando alterazioni dell'assetto morfologico (tubazione completamente interrata, con posa in trivellazione), non sarà determinato dalla costruzione della condotta nessun effetto di variazione dei livelli idrici e quindi del profilo d'involuppo di piena.

2. *Riduzione della capacità di laminazione e/o di invaso dell'alveo*

La linea in progetto, essendo completamente interrata, non crea alcun ostacolo al corretto deflusso delle acque e/o all'azione di laminazione delle piene, né contrazioni areali delle fasce d'esondazione e pertanto non sottrae capacità d'invaso.

3. *Modifiche indotte sull'assetto morfologico planimetrico ed altimetrico dell'alveo*

L'opera in progetto non induce alcuna modifica all'assetto morfologico dell'alveo, sia dal punto di vista planimetrico che altimetrico, essendo questa localizzata in subalveo ad una profondità superiore ad ogni prevedibile fenomeno d'approfondimento.

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 52 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

4. *Interazioni in considerazione delle potenziali dinamiche fluviali del corso d'acqua*

Il sistema operativo previsto ha consentito di prevedere il posizionamento della condotta ad una determinata profondità di subalveo, quindi ben oltre ad ogni prevedibile fenomeno d'approfondimento dello stesso.

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

Essendo l'opera del tutto interrata, non saranno introdotte alterazioni al contesto naturale della regione fluviale.

9.4.3 Considerazioni specifiche inerenti ai tratti di percorrenza di linea delle aree inondabili

Queste interferenze riguardano delle 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 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.

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

In detti ambiti di percorrenza non sono previste modifiche circa lo stato dei luoghi, trasformazioni del territorio e/o cambiamenti di destinazione d'uso dei fondi. Le uniche strutture visibili risulteranno essere le paline, i cartelli indicatori ed eventuali sfiati in corrispondenza degli attraversamenti stradali 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.

| | | | |
|---|--|-------------------------|---------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 53 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

9.5. Considerazioni conclusive sulla compatibilità idraulica

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

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

In conclusione si ritiene che l'opera in progetto sia congruente con le misure di protezione e prevenzione stabilite nelle Norme di Attuazione del PSDA e pertanto **COMPATIBILE** con il contesto idraulico in esame.

| | | | |
|---|--|-------------------------|---------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 54 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

10. CONCLUSIONI

La società SGI (Società Gasdotti Italia S.p.A.) intende realizzare un metanodotto denominato "Città Sant'Angelo-Alanno" DN 200 (8") - DP 60 bar, MOP 12 bar in sostituzione di un tratto di metanodotto in esercizio (ed in fase di dismissione) lungo la medesima direttrice.

Il suddetto tracciato del metanodotto in progetto interseca l'alveo del torrente Cigno nel tratto in a circa 1300 m dallo sbocco nel Fiume Pescara, nell'ambito del territorio di Rosciano (PE).

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 in esame è stata prevista l'adozione di un sistema di attraversamento a cielo aperto.

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 d'invaso dell'alveo

La condotta in oggetto, essendo completamente interrata, non crea alcun ostacolo al corretto deflusso delle acque e/o all'azione di laminazione delle piene, né contrazioni areali delle fasce d'esonazione e pertanto non sottrae capacità d'invaso.

3. Modifiche indotte sull'assetto morfologico planimetrico ed altimetrico dell'alveo

L'opera in progetto non induce alcuna modifica all'assetto morfologico dell'alveo, sia dal punto di vista planimetrico che altimetrico, essendo questa localizzata in subalveo ad una profondità superiore ad ogni prevedibile fenomeno d'approfondimento. **Verrà ripristinata l'originaria stratigrafia dello stato di fatto, con particolare attenzione lungo le sponde dei corsi d'acqua.**

4. Modifiche indotte sulle caratteristiche naturali e paesaggistiche della regione fluviale

Essendo l'opera del tutto interrata non saranno indotti effetti particolarmente impattanti con il contesto naturale della regione fluviale che possano pregiudicare in maniera "irreversibile" l'attuale assetto paesaggistico. Condizioni d'impatto sono limitate alle sole

| | | | |
|---|--|-------------------------|---------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 55 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

fasi di costruzione e per questo destinate a scomparire nel tempo, con la ricostituzione delle componenti naturalistiche ed ambientali.

Nell'analisi delle interferenze tra la linea in progetto con gli ambiti censiti a pericolosità idraulica, si è rilevato che in corrispondenza dell'ambito di attraversamento del corso d'acqua il metanodotto in progetto NON interferisce con delle aree inondabili individuate nel PSDA (redatto dall'ex "Autorità dei Bacini di Rilievo Regionale dell'Abruzzo e del Bacino Interregionale del Fiume Sangro").

Ad ogni modo è stato implementato il presente studio evidenziando che l'intervento in progetto non determina alcuna modifica significativa allo stato dei luoghi, non implica trasformazioni del territorio e/o cambiamenti circa l'uso del suolo e pertanto non introducono alterazioni al regime attuale di deflusso delle acque e/o riduzioni della capacità di invaso e di laminazione del corso d'acqua. L'intervento, inoltre, non determina alcun aggravio delle condizioni di pericolosità e di rischio idraulico nell'area (non è previsto l'incremento del carico insediativo), né tantomeno in ambiti esterni.

Inoltre al fine di garantire nel lungo termine la protezione della condotta e delle caratteristiche idrauliche del corso d'acqua sono state previste opere di rivestimento spondale in massi.

Pertanto si ritiene che le specificità dell'opera (infrastruttura interrata) e le scelte progettuali inerenti allo specifico ambito in esame siano congruenti con le misure di protezione e prevenzione stabilite nelle Norme di Attuazione del PSDA e pertanto **COMPATIBILI**.

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 56 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

11. DICHIARAZIONE DI COMPATIBILITÀ DA PARTE DEL TECNICO ABILITATO

11.1. Premessa

Nell'ambito del progetto del metanodotto SGI "Città Sant'Angelo - Alanno" DN 200 (8"), è previsto che il tracciato di progetto intersechi l'alveo del torrente Cigno verificando eventuali interferenze con relative aree di pericolosità idraulica individuate nel PSDA della "Autorità dei Bacini di Rilievo Regionale dell'Abruzzo e del Bacino Interregionale del Fiume Sangro".

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 in esame, è stata prevista l'adozione del sistema di attraversamento ritenuto più idoneo, che in particolare prevede il posizionamento della condotta in progetto con coperture di sicurezza, adeguatamente cautelative nei confronti dei potenziali processi erosivi.

11.2. Dichiarazione del tecnico

Il sottoscritto Ing. Tiziano Filandro, iscritto presso l'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Catanzaro al n. 2218, C.F. FLNTZN76R29F910Z, nato a Nocera Terinese (CS), il 29/10/1976, residente ad Amantea (CS) in via Salvo d'Acquisto n.31, in riferimento ai contenuti del presente "Studio di Compatibilità idraulica" (redatto ai sensi dell'Articolo 8 delle NdA del PSDA) e degli elaborati grafici di progetto:

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 consentita l'interferenza con le aree classificate di pericolosità idraulica molto elevata (o inferiore);
- l'opera risulta nel contesto in esame "non delocalizzabile", in quanto prevista in sostituzione di un metanodotto in esercizio (da dismettere) sulla medesima direttrice;
- 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;

| | | | |
|---|--|-------------------------|---------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 57 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

- che più in generale gli interventi in progetto nell'ambito in esame risultano congruenti le prescrizioni, le misura di salvaguardia e le finalità stabilite nelle Norme di Attuazione del PSDA.

E PERTANTO

In ragione di quanto sopra evidenziato, RITIENE che l'opera in progetto risulti **COMPATIBILE** con il contesto idraulico dell'ambito in esame.



| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 58 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

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, marzo 2019.

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 addotte si ottiene:

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

| | | | |
|---|--|-------------------------|---------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 59 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

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

dove:

- A , area della sezione bagnata (m²);
- Λ , coefficiente di attrito di Chezy (m^{1/2}/s);
- g , accelerazione di gravità (m/s²);
- h , altezza del pelo libero rispetto ad un livello di riferimento orizzontale (m);
- Q , portata (m³/s);
- R , raggio idraulico (m);
- α , coefficiente di distribuzione della quantità di moto;
- q , portata laterale addotta (m²/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),
- α_2 e α_1 i coefficienti di Coriolis di ragguaglio delle potenze cinetiche,
- g l'accelerazione di gravità,
- ΔH le perdite di carico nel tratto considerato.

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 60 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

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 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:

$$Q = K J^{0.5}$$

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

$$K = A R_i^{2/3} / n$$

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 $Q_{dx,m}$):

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 61 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

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

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 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

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 62 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

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 ΔH ; 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 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 β coefficiente di ragguglio dei flussi di quantità di moto);
- il secondo e il sesto termine rappresentano le spinte idrostatiche dovute alle

| | | | |
|---|--|-------------------------|---------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 63 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

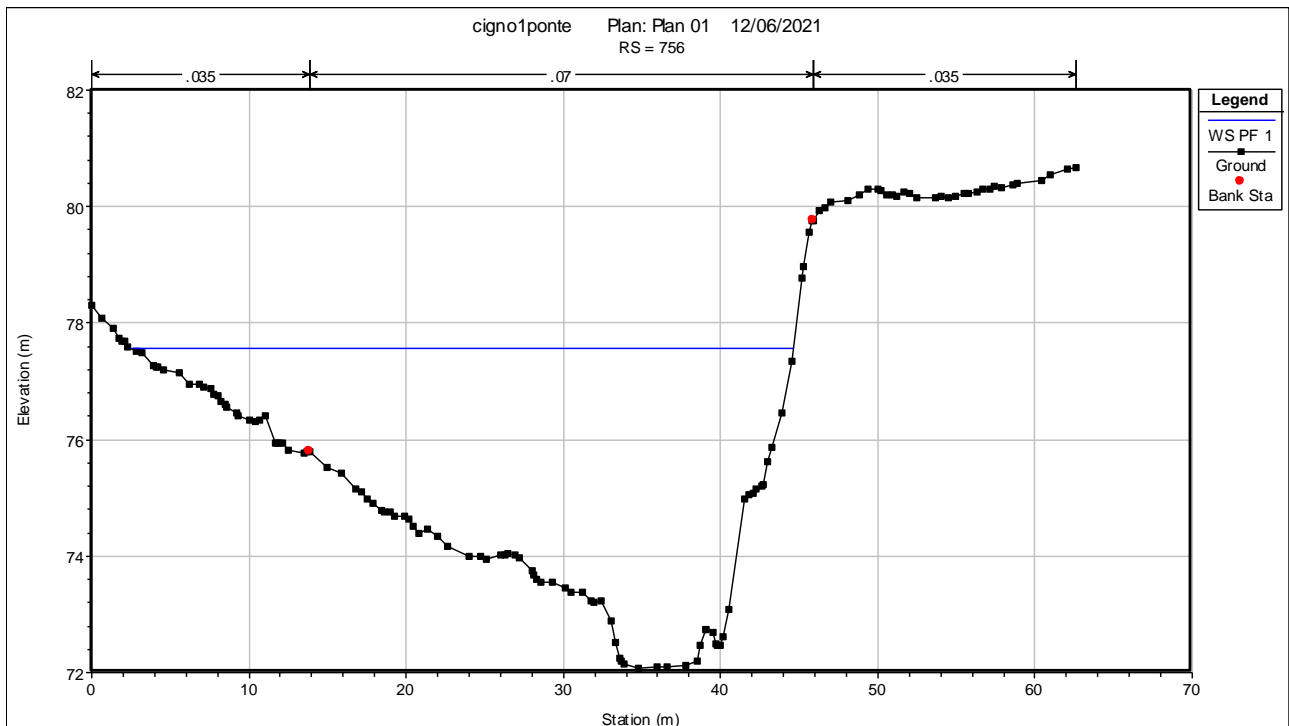
pressioni (essendo $Y_{2,b}$ e $Y_{1,b}$ gli affondamenti dei baricentri delle sezioni bagnate);

- 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.

| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 64 di 71 | Rev. 0 |

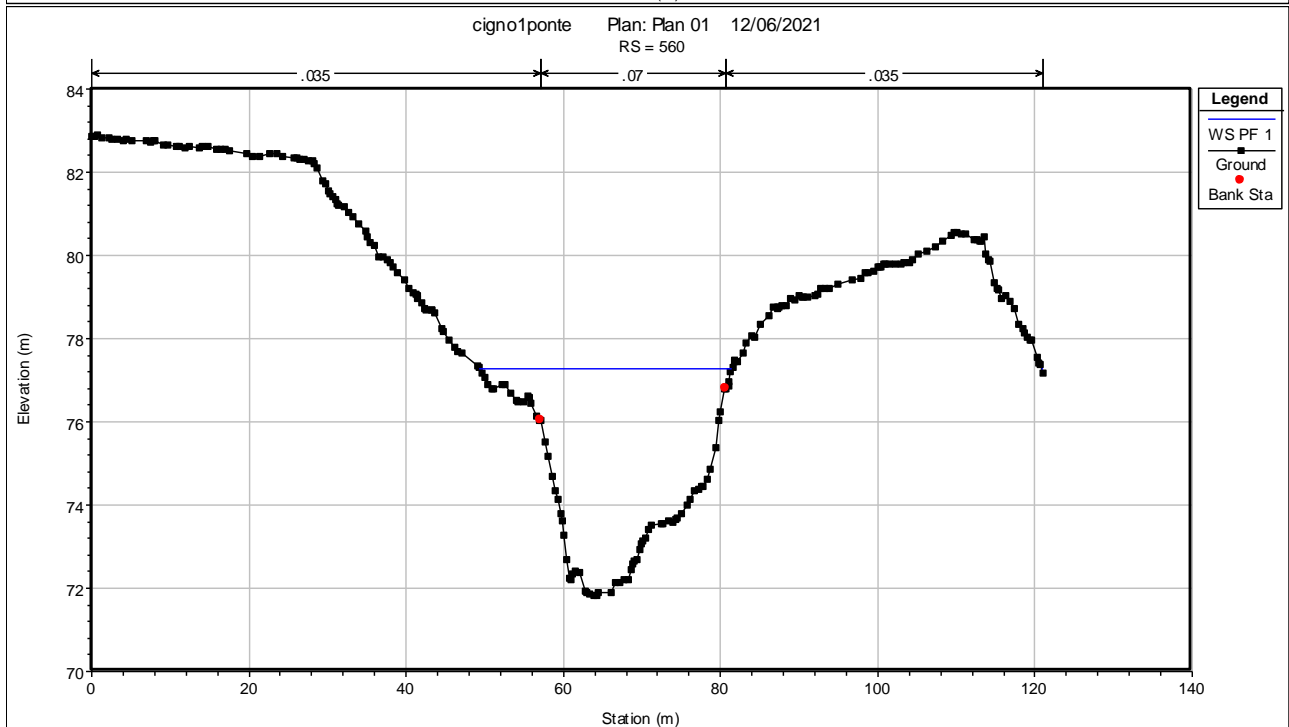
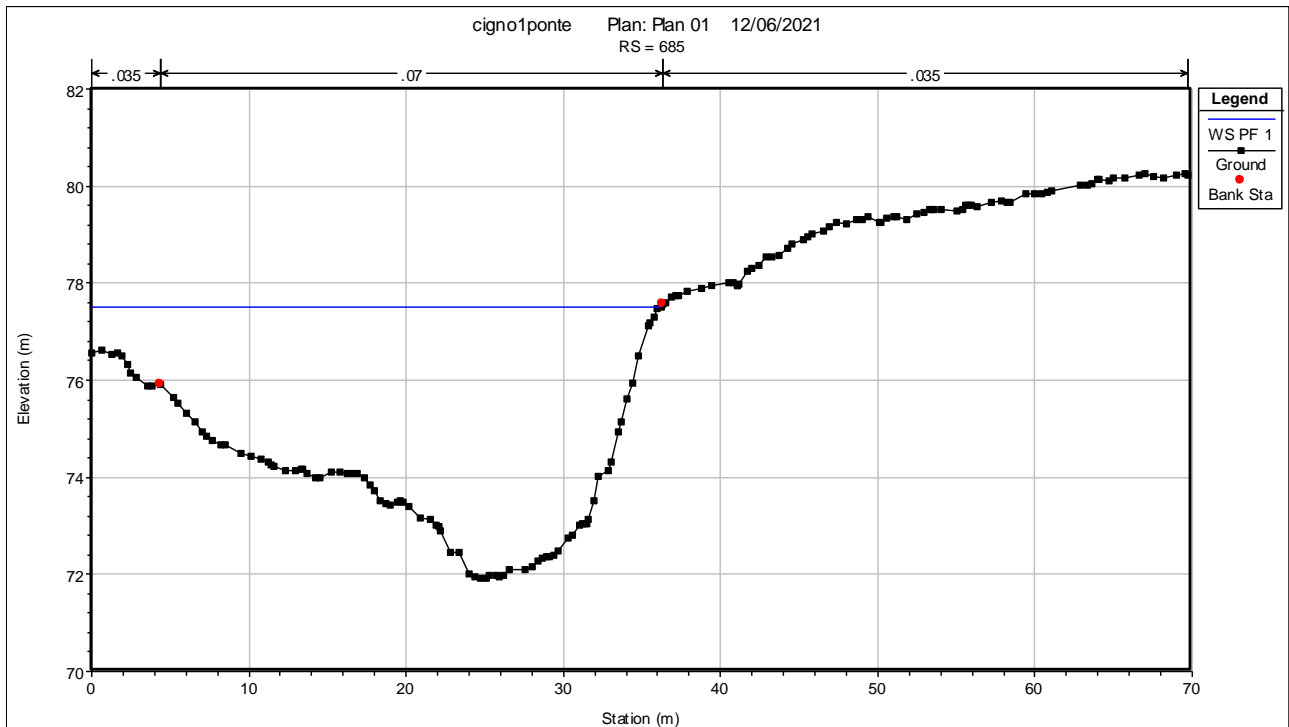
Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

APPENDICE 2: STUDIO IDRAULICO HEC RAS



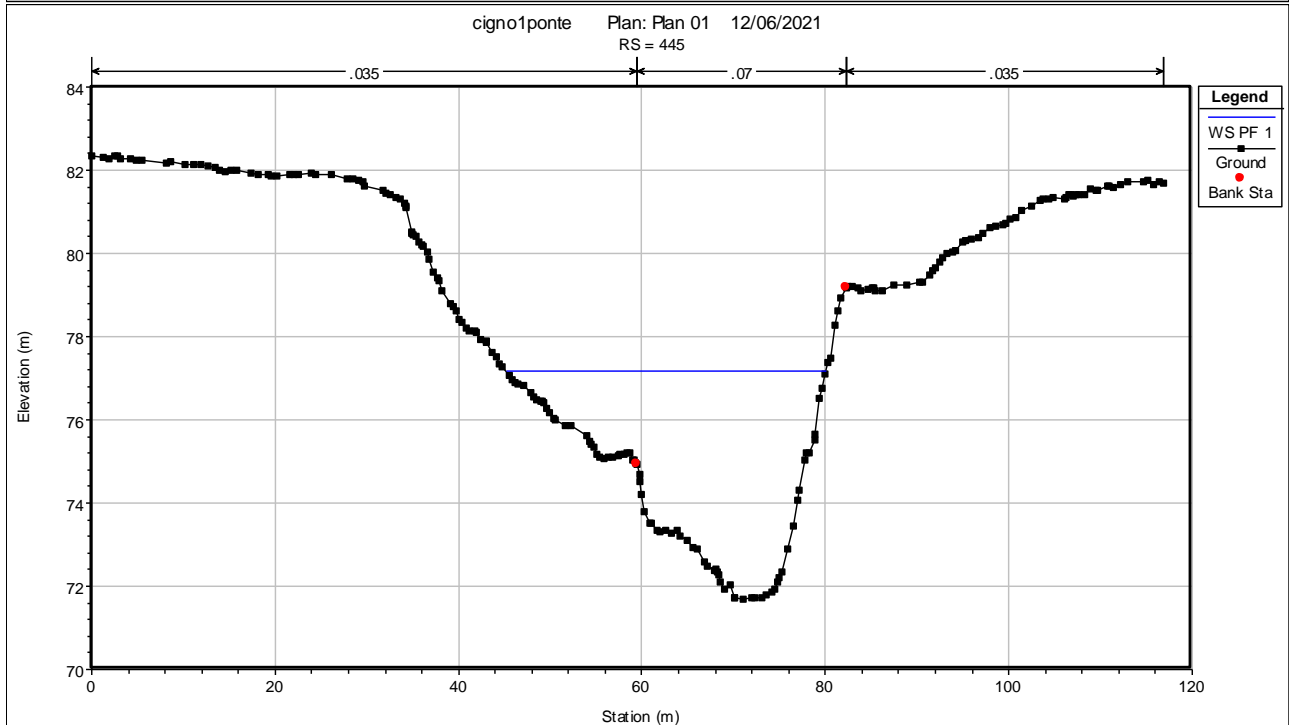
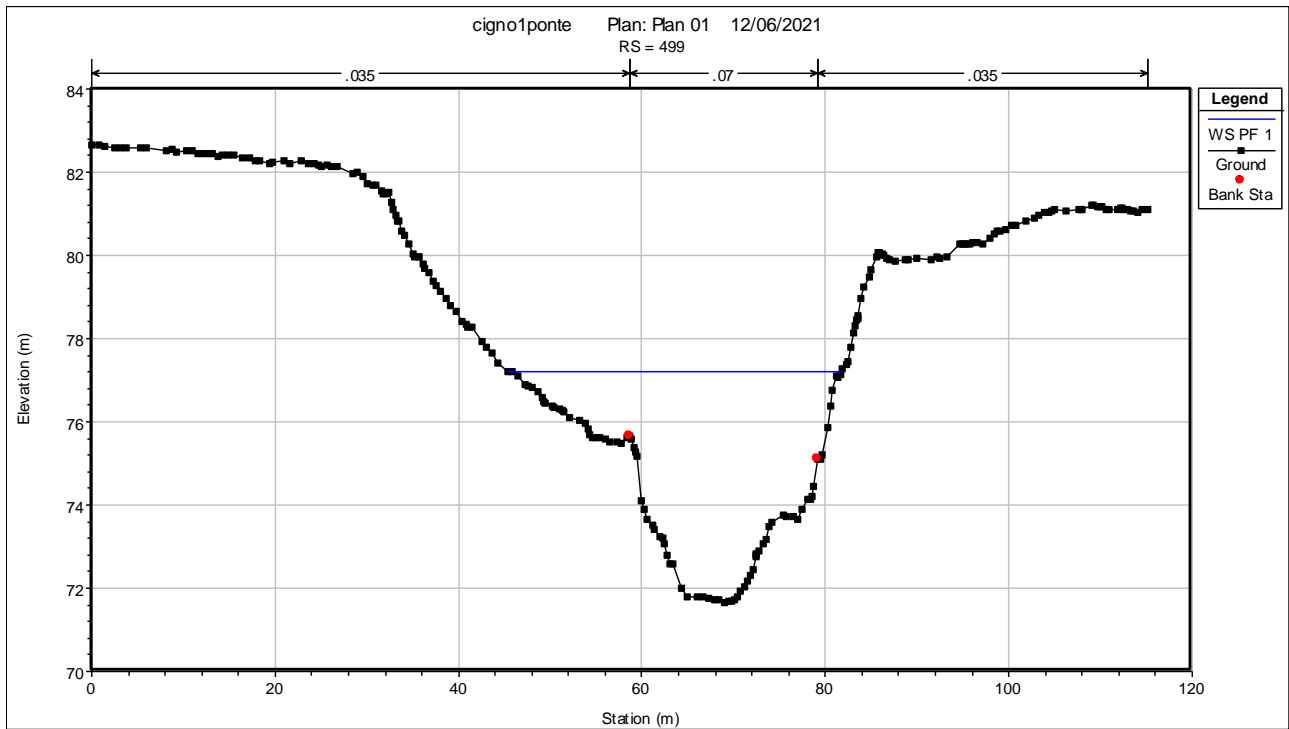
| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 65 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202



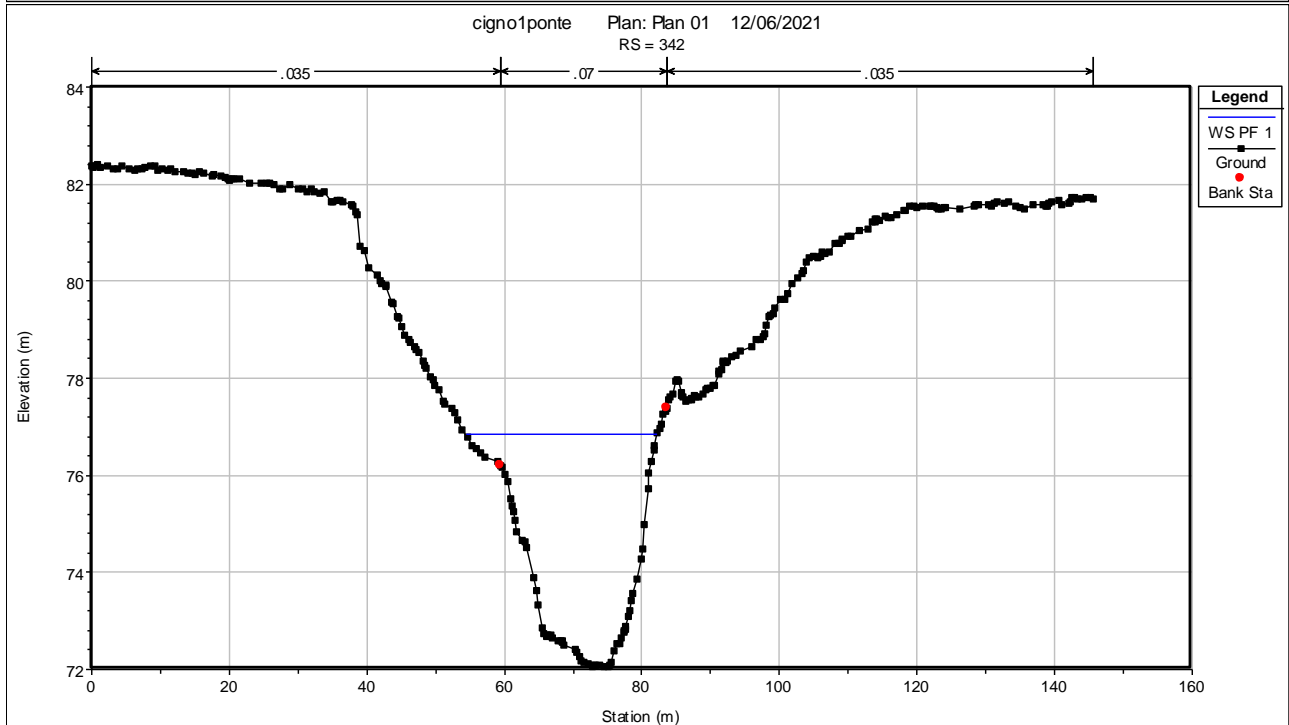
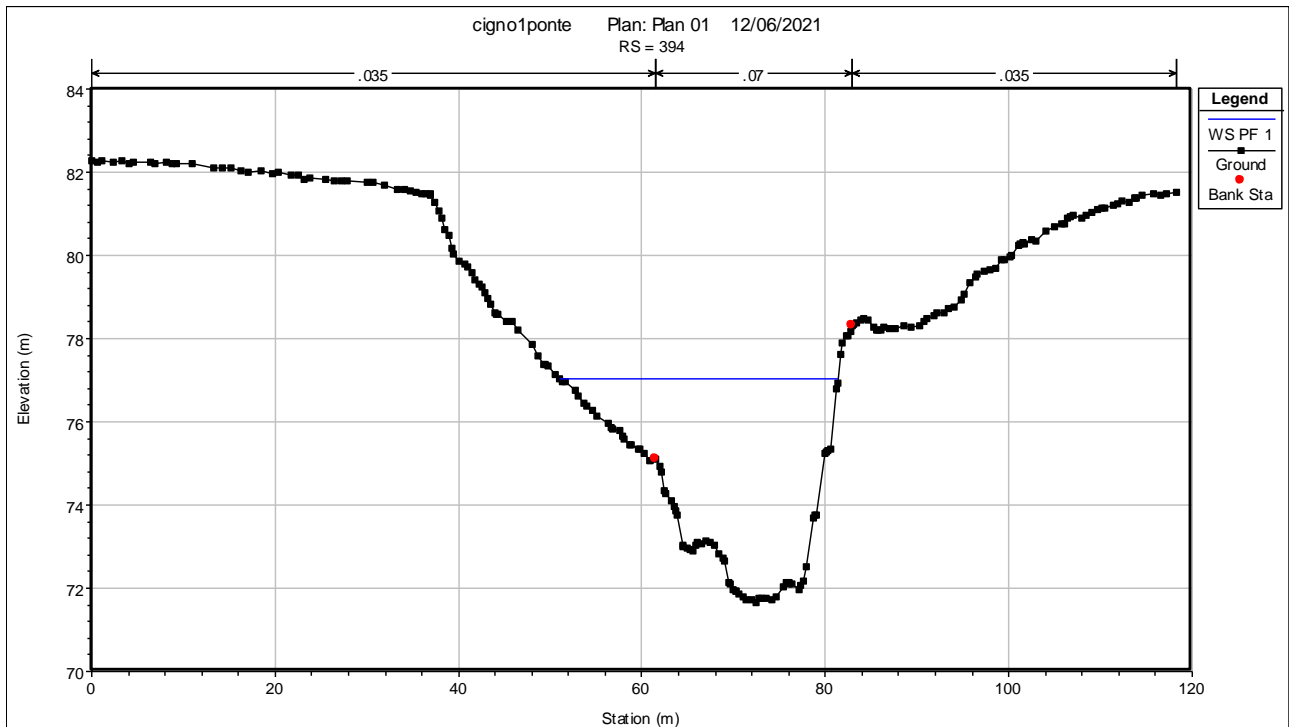
| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 66 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202



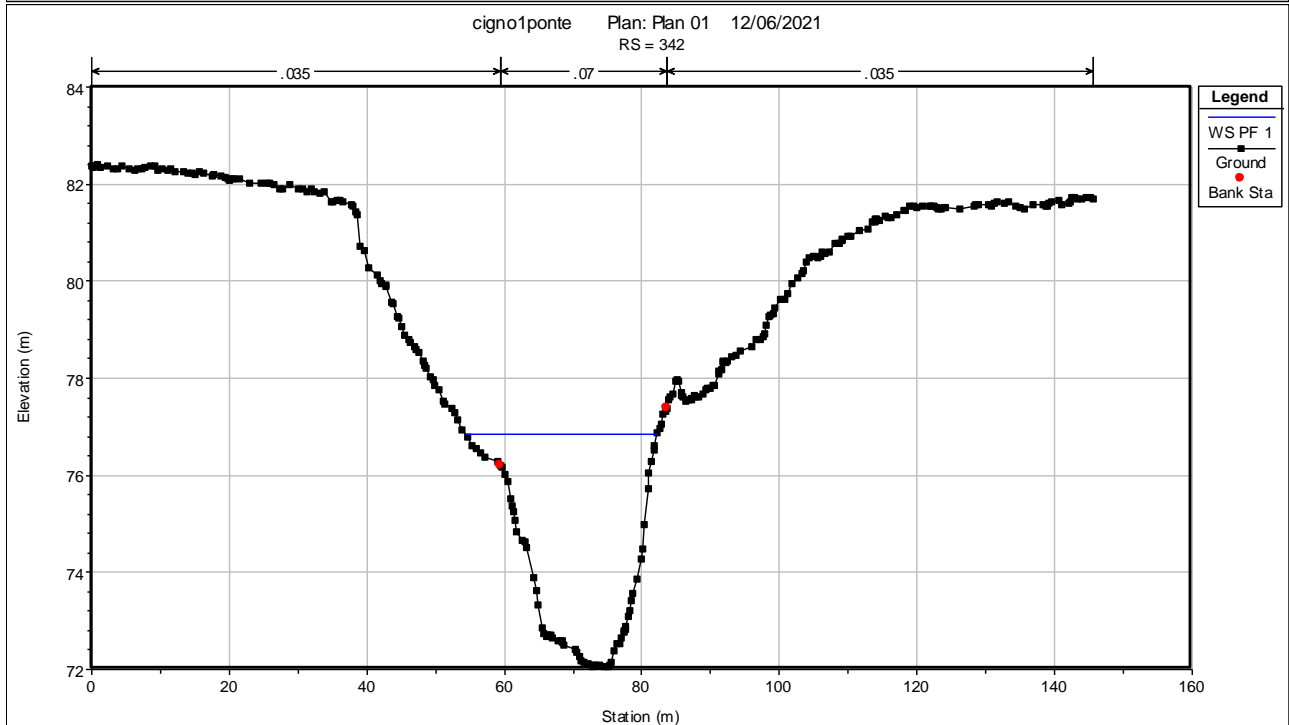
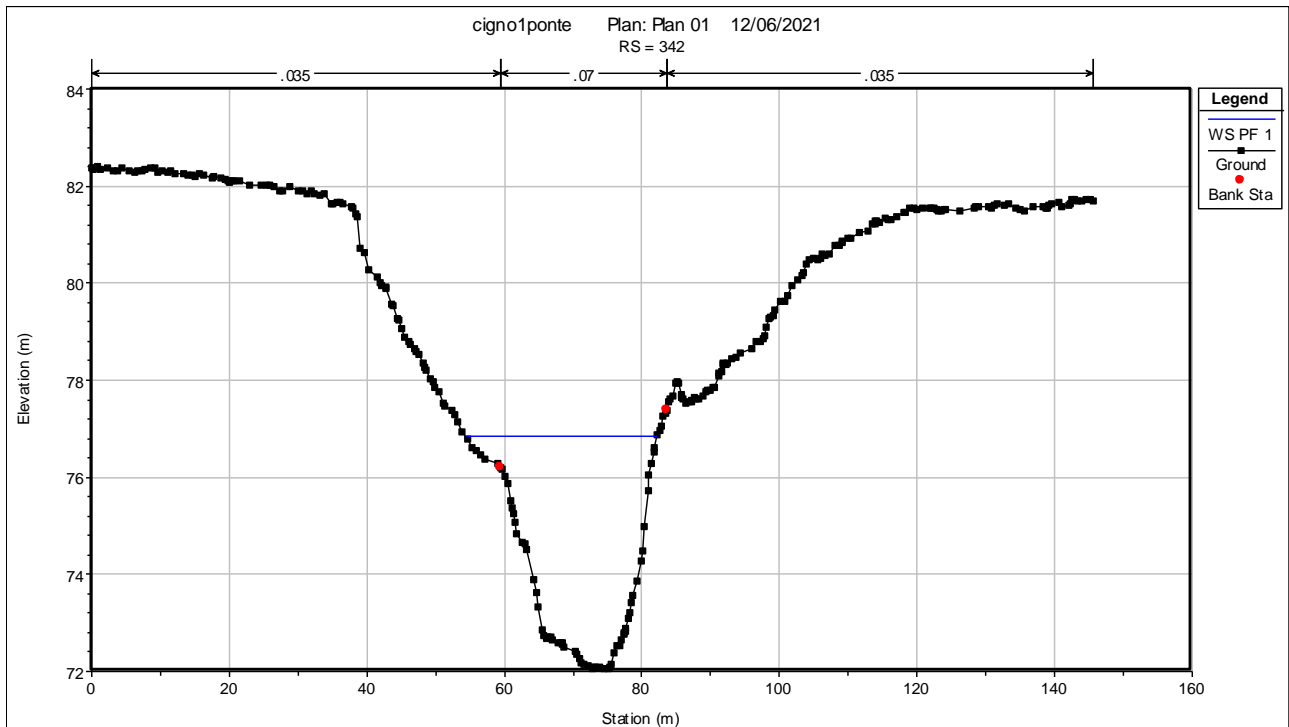
| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 67 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202



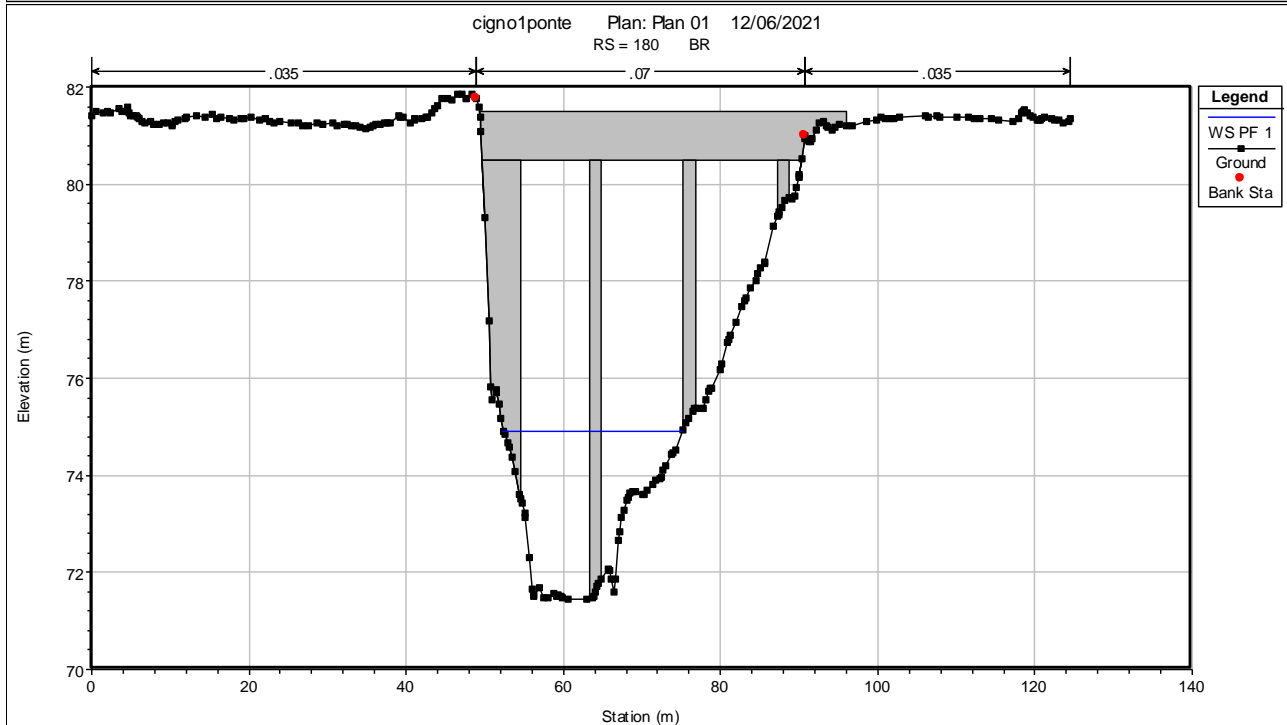
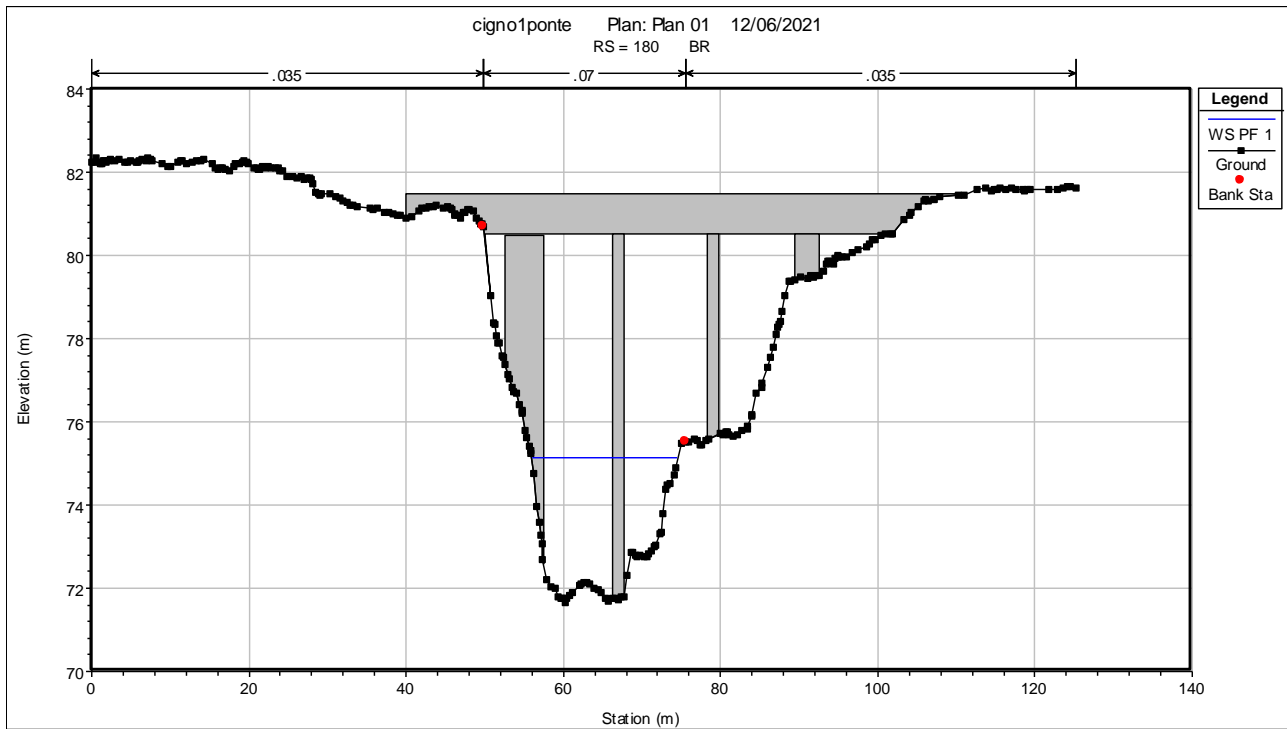
| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 68 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202



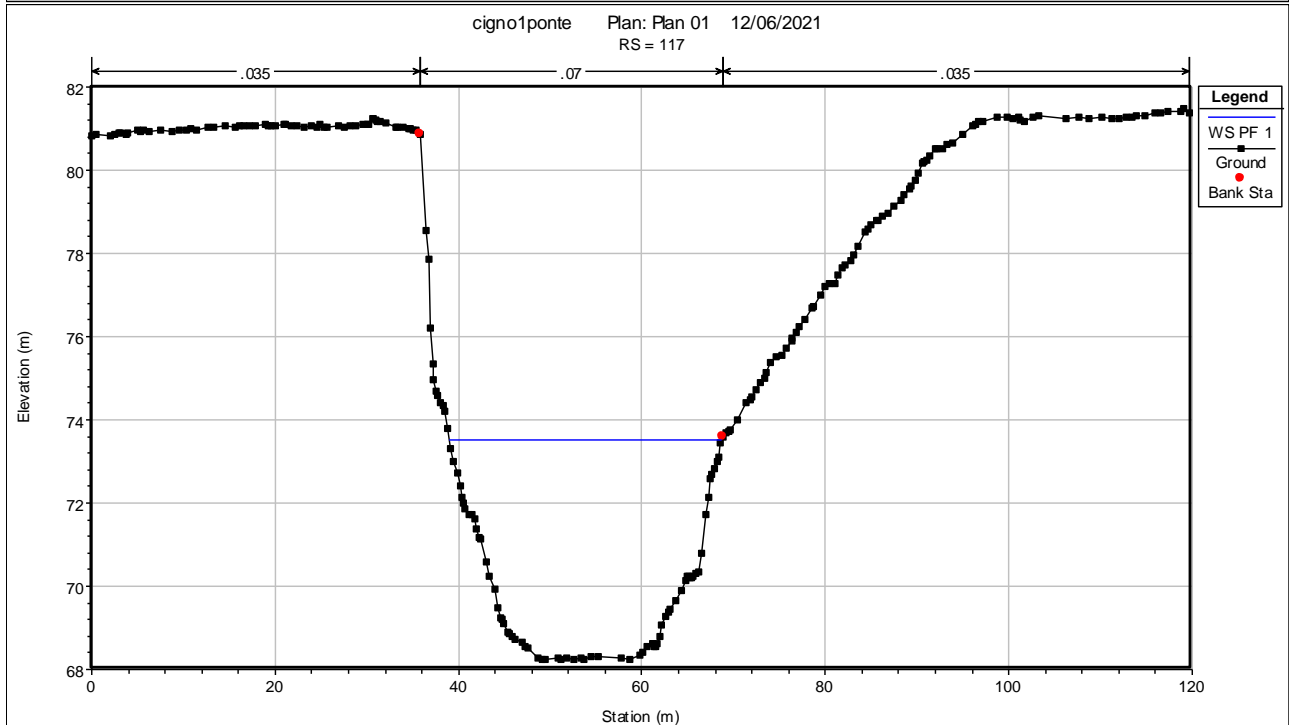
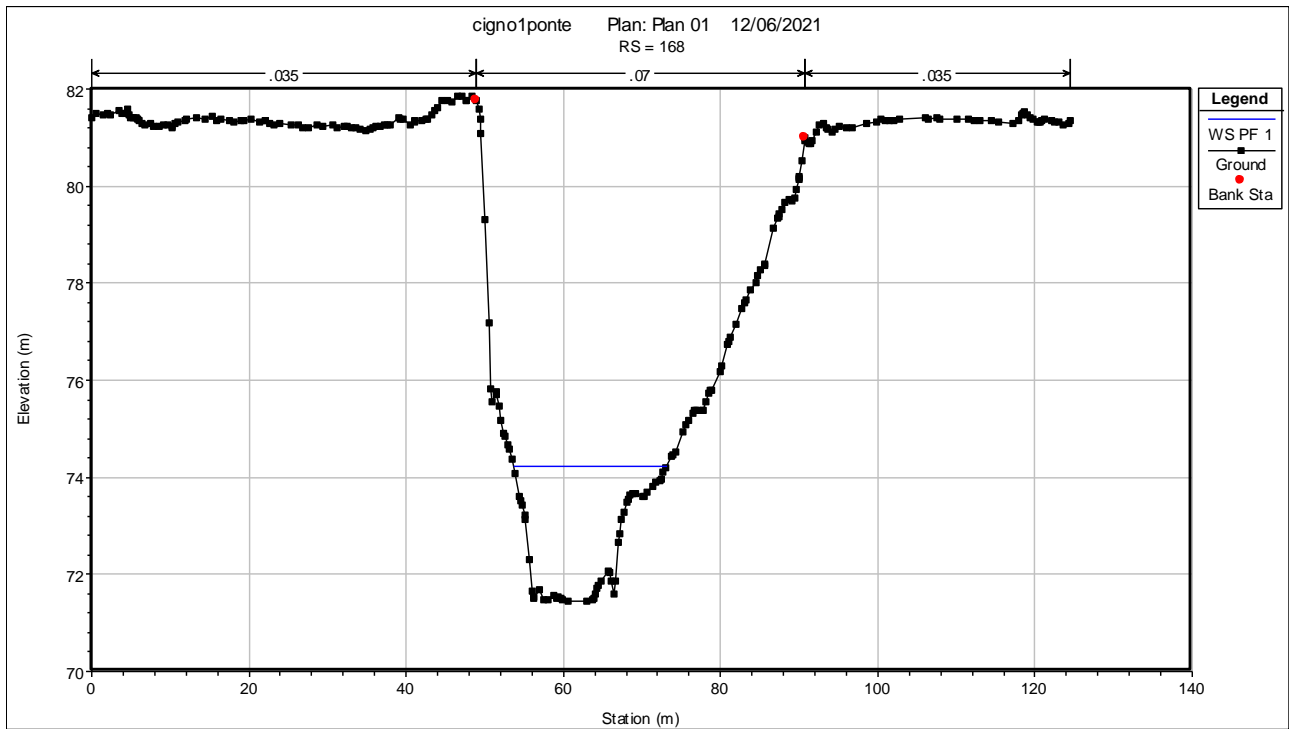
| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 69 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202



| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 70 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202



| | | | |
|---|---|--------------------------------|----------------------------|
|  | PROGETTISTA  | COMMESSA 5719 | UNITÀ 001 |
| | LOCALITÀ REGIONE ABRUZZO | SPC. P-RT-D-0021 | |
| | PROGETTO Met. CITTÀ SANT'ANGELO - ALANNO | Pagina 71 di 71 | Rev. 0 |

Rif. EN: P20IT04025-PPL-RE-212-202

