

| | | | |
|---|--|---------------------------|--|
| Contraente:  | Progetto: RIFACIMENTO METANODOTTO GAGLIANO-TERMINI IMERESE DN400/300 (16"/12") DP 75 bar - FASE 2 | | Cliente:  |
| | N° Contratto : N° Commessa : NR/19188 | | |
| N° documento: 03858-PPL-RE-100-0101 | Foglio 1 di 19 | Data 18-03-2020 | N° documento Cliente: AT-RE-101 |

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTO TORRENTE FERDUSO**



| | | | | | |
|-----|------------|------------------|------------|-------------|-----------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| 00 | 18-03-2020 | EMISSIONE | QUARTARONE | FILANDRO | PEDINI |
| REV | DATA | TITOLO REVISIONE | PREPARATO | CONTROLLATO | APPROVATO |

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTO VALLONE PONTE FERDUSO**

| | | | | | | | |
|--|-------------------|-------|--|--|--|--|------------------------------------|
| N° Documento: 03858-PPL-RE-100-0101 | Foglio 2 di 19 | Rev.: | | | | | N° documento Cliente: AT-RE-101 |
| | | 00 | | | | | |

INDICE

| | | |
|------------|--|-----------|
| 1 | PREMESSA E CARATTERISTICHE GENERALI..... | 3 |
| 2 | CARATTERISTICHE DELL'OPERA IN PROGETTO..... | 5 |
| 3 | STUDIO IDROLOGICO IDRAULICO..... | 6 |
| 3.1 | Individuazione del bacino idrografico..... | 6 |
| 3.2 | Massima portata di progetto..... | 7 |
| 3.2.1 | Coefficiente di deflusso medio ragguagliato..... | 8 |
| 3.3 | Studio idraulico..... | 10 |
| 4 | DETERMINAZIONE DELLA MASSIMA PROFONDITÀ DI EROSIONE..... | 12 |
| 4.1 | Simulazione idraulica..... | 12 |
| 4.2 | Calcolo della profondità di erosione..... | 14 |
| 4.3 | Opere di protezione spondali e verifica di stabilità..... | 16 |
| 5 | CONCLUSIONI..... | 19 |

| | | | | | |
|---|-------------------|-------|----|--|------------------------------------|
| RIFACIMENTO METANODOTTO GAGLIANO – TERMINI IMERESE DN 400/300 (16"/12") – DP 75 BAR – FASE 2 | | | | | |
| RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO VALLONE PONTE FERDUSO | | | | | |
| N° Documento: 03858-PPL-RE-100-0101 | Foglio 3 di 19 | Rev.: | 00 | | N° documento Cliente: AT-RE-101 |

1 PREMESSA E CARATTERISTICHE GENERALI

La presente relazione è finalizzata alla determinazione delle caratteristiche idrologiche-idrauliche del tratto del Torrente Ponte Ferduso, in cui viene attraversato dalla nuova condotta "Met. Gagliano-Termini Imerese DN 300 (12") - DP 75 bar" inerente al progetto "Rifacimento Metanodotto Gagliano-Termini Imerese DN400/300 (16"/12") DP 75 bar – Fase 2".

Il torrente Ponte Ferduso è uno degli affluenti del fiume Torto, il cui bacino idrografico si estende nel versante settentrionale della Sicilia per una superficie complessiva di circa 423 Km²; l'attraversamento oggetto di studio avviene nel tratto vallivo del corso d'acqua a circa 5 km dalla foce.

Geograficamente il bacino del Fiume Torto si sviluppa tra i gruppi montuosi delle Madonie ad Est ed i Monti di Termini a Ovest; dal punto di vista idrografico, invece, esso confina con il bacino del Fiume Imera Settentrionale, a sud con il bacino del Fiume Platani, a ovest con il bacino del Fiume San Leonardo

Il bacino idrografico del Fiume Torto presenta una variabilità morfologica piuttosto spiccata, sviluppando il suo territorio tra due complessi montuosi (Madonie e Monti di Termini) e comprendendo anche la zona interna collinare tra la catena settentrionale ed i Monti Sicani.

Gran parte del Monte San Calogero risulta compreso all'interno del bacino idrografico in corrispondenza dell'ultima sua porzione, in sinistra orografica. Le quote maggiori si riscontrano proprio con la cima di questo monte (circa 1370 m s.l.m.), mentre nella parte alta del bacino le quote diminuiscono, con valori massimi di poco superiori ai 900 metri s.l.m.

Tra gli elementi che determinano l'andamento dell'asta principale e dei suoi affluenti principali si ricordano: la dorsale di Monte Roccelito (destra orografica, 1145 m s.l.m.) e la sua prosecuzione ad ovest con P.zo Bosco; la dorsale nord-sud denominata La Montagna che a partire dall'abitato di Roccapalumba e fino al nucleo abitato di Sambuchi, delimita ad ovest il bacino idrografico; le alture arenarie di P.zo Fico, P.zo Conca, M. Castellazzo, M. Rigiura, La Montagna (Alia) e Serra Tignino che caratterizzano la porzione centrale in destra idrografica.

Il tracciato del metanodotto in progetto attraversa in subalveo il fiume nel tratto indicato in Fig. 1-1.

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTO VALLONE PONTE FERDUSO

N° Documento:

03858-PPL-RE-100-0101

Foglio

4 di 19

Rev.:

00

N° documento Cliente:

AT-RE-101

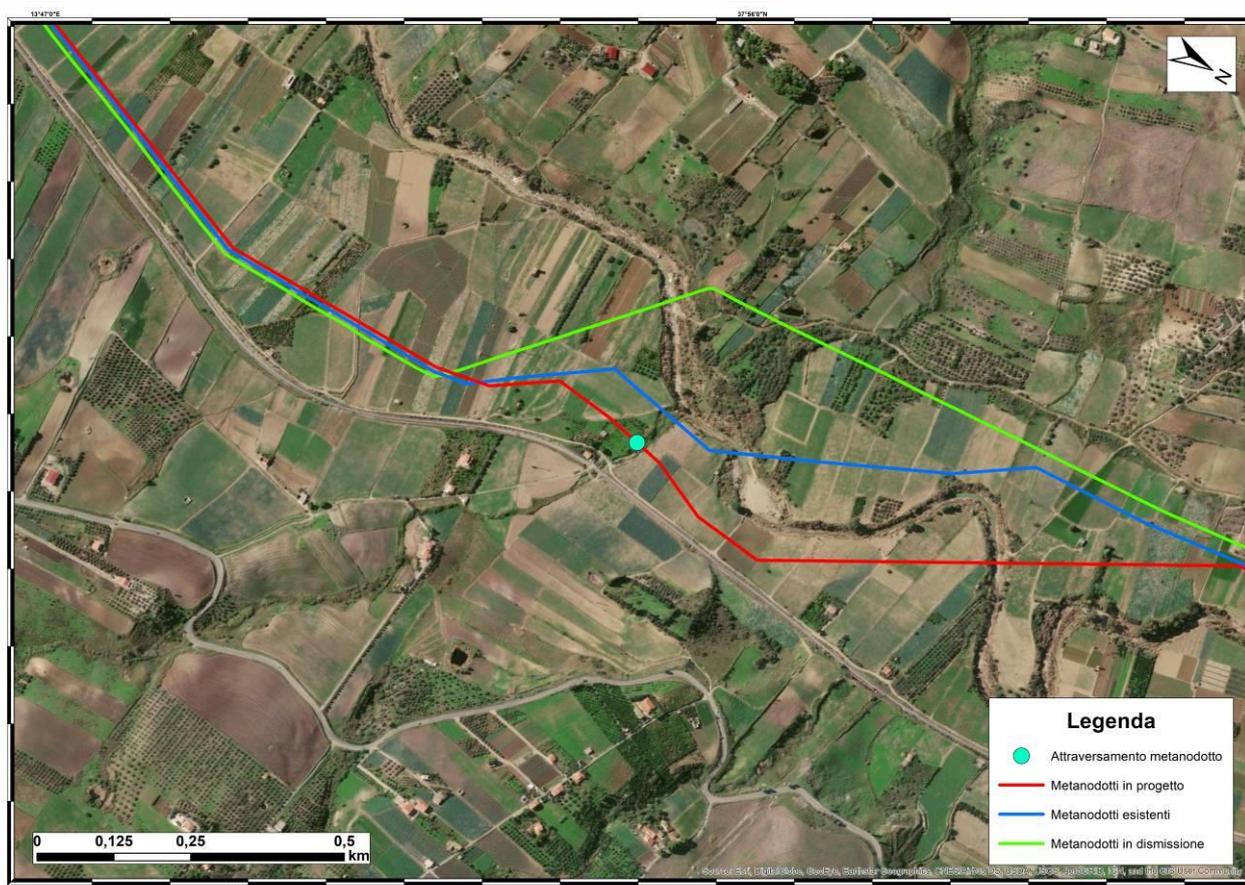


Fig. 1-1 - Tracciato del metanodotto di progetto e attraversamento del torrente Ponte Ferduso.

Il presente studio si prefigge lo scopo di verificare l'idoneità della profondità di posa e delle protezioni adottate rispetto alle possibili dinamiche evolutive del fondo alveo o a possibili fenomeni di dissesto/erosione localizzati in corrispondenza del transito degli eventi di piena.

A tal fine è stata eseguita una verifica idraulica in condizioni di moto uniforme in corrispondenza dell'attraversamento sulla base delle caratteristiche geometriche della sezione del corso d'acqua rilevate in situ.

Per la modellazione si è utilizzato il rilievo topografico estratto da una campagna appositamente condotta per la redazione di questo studio.

Si è provveduto in tal modo alla determinazione delle grandezze caratteristiche del deflusso in alveo quali altezza del tirante idrico, velocità della corrente, raggio idraulico, ecc. In seguito, i valori così calcolati sono stati utilizzati per le verifiche della profondità di posa della nuova condotta (v. cap.4).

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTO VALLONE PONTE FERDUSO

N° Documento:

03858-PPL-RE-100-0101

Foglio

5 di 19

Rev.:

00

N° documento Cliente:

AT-RE-101

2 CARATTERISTICHE DELL'OPERA IN PROGETTO

Come anticipato in premessa, il metanodotto "Gagliano – Termini Imerese DN 300 (12") – DP 75 bar – Fase 2" attraversa il torrente Ponte Ferduso nel comune di Termini Imerese.

La posa della nuova condotta verrà eseguita tramite scavo a cielo aperto ad una profondità variabile. La sezione verrà ricostruita con le stesse dimensioni di quella presente ante operam.

Per il dettaglio degli interventi e le caratteristiche costruttive degli stessi si rimanda agli elaborati grafici di progetto (Dis. AT-133).

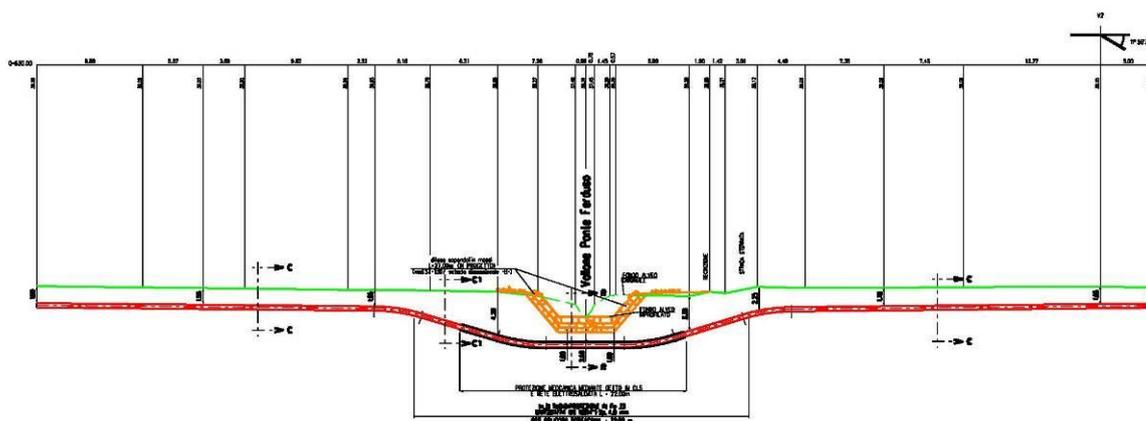


Fig. 2-1 - Attraversamento Vallone Ponte Ferduso - Sezione schematica di progetto.

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTO VALLONE PONTE FERDUSO**

| | | | |
|--|-------------------|-------|------------------------------------|
| N° Documento: 03858-PPL-RE-100-0101 | Foglio 6 di 19 | Rev.: | N° documento Cliente: AT-RE-101 |
| | | 00 | |

3 STUDIO IDROLOGICO IDRAULICO

3.1 Individuazione del bacino idrografico

Per tracciare il bacino idrografico sotteso dalla sezione di interesse si è fatto riferimento alla Carta Tecnica Regionale della Regione Siciliana mediante la quale si è definito il bacino idrografico riportato nella figura sottostante:

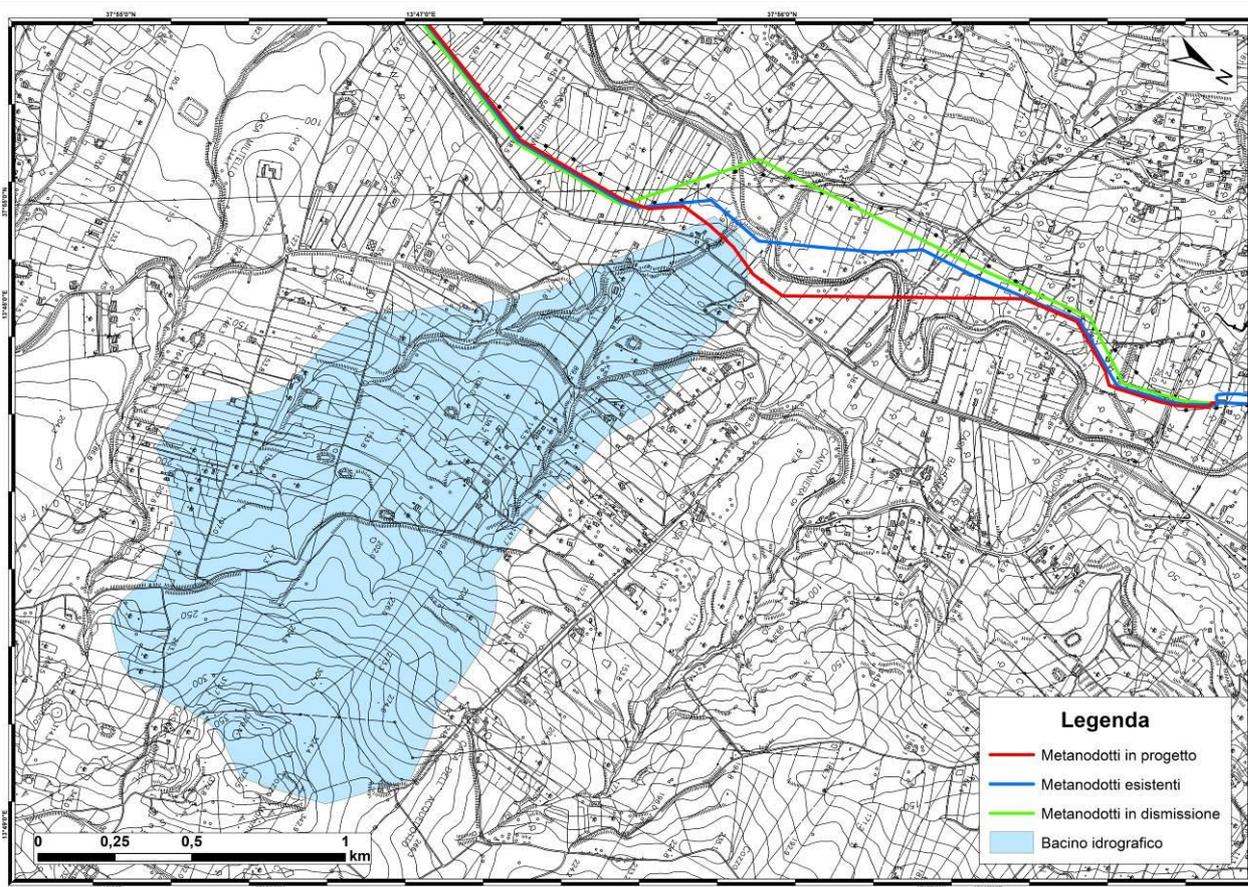


Fig. 3-1 - Bacino idrografico del torrente Fiume Torto alla sezione di interesse.

Per il bacino idrografico si sono ricavate le seguenti caratteristiche

| | |
|--|-------|
| Superficie [kmq] | 1,91 |
| Altezza sommità bacino [m.s.m.] | 372 |
| Altezza sezione chiusura bacino [m.s.m.] | 38 |
| Lunghezza asta [m] | 3.120 |
| Altezza media bacino [m.s.m.] | 184,2 |

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTO VALLONE PONTE FERDUSO**

| | | | |
|--|-------------------|-------|------------------------------------|
| N° Documento: 03858-PPL-RE-100-0101 | Foglio 7 di 19 | Rev.: | N° documento Cliente: AT-RE-101 |
| | | 00 | |

3.2 Massima portata di progetto

Lo studio idrologico del bacino in oggetto è stato condotto determinando innanzitutto le curve di possibilità climatica di riferimento, ricavate dal progetto VAPI Sicilia. Il Gruppo Nazionale per la Difesa dalla Catastrofi Idrogeologiche del Consiglio Nazionale delle Ricerche ha previsto uno speciale programma operativo denominato VAPI (Valutazione Piene Italia) con l'obiettivo di unificare a scala nazionale le procedure di valutazione probabilistica delle piene. In quest'ambito è stato pubblicato il rapporto regionale "Valutazione delle piene in Sicilia".

Lo studio del GNDCI suddivide il territorio regionale in tre sottozone pluviometriche omogenee per ciascuna di esse fornisce una espressione per la determinazione semplificata della curva di probabilità pluviometrica.

Per la sottozona A (ovest) è stata indicata l'espressione:

$$x'_{t,T} = 0,5391 - 0,001635 t + (0,0002212 t^2 + 0,00117 t + 0,9966) \log T \quad (1)$$

in cui:

t: durata dell'evento di pioggia (in ore)

T: tempo di ritorno (in anni).

La curva di probabilità pluviometrica si ottiene moltiplicando la (1) per la legge di variazione della media della legge TCEV (*two components extreme value distribution* ovvero legge di distribuzione a doppia componente):

$$h(t,T) = x'_{t,T} \mu(t) \quad (2)$$

in cui:

h(t,T): altezza di pioggia per una durata t e un tempo di ritorno T (in mm);

$\mu(t) = a t^n$.

Per la valutazione della $\mu(t)$ è stata proposta una tabella con i valori di a e n per le principali stazioni siciliane.

Per l'area in esame si considera la stazione di Termini Imerese che può ritenersi rappresentativa per il bacino idrografico in esame seppure esterna.

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTO VALLONE PONTE FERDUSO**

| | | | |
|--|-------------------|-------|------------------------------------|
| N° Documento: 03858-PPL-RE-100-0101 | Foglio 8 di 19 | Rev.: | N° documento Cliente: AT-RE-101 |
| | | 00 | |

Per questa stazione i coefficienti indicati nel progetto VAPI sono i seguenti:

| | |
|------|--------|
| a | n |
| 30,5 | 0,2635 |

Per la determinazione della massima portata di progetto per un assegnato tempo di ritorno si procede secondo il metodo cinematico, secondo l'espressione di Turazza che pone:

$$Q_i = \frac{\phi_i \times i_{ci} \times S_i}{360} \quad (3)$$

dove:

- Q_i portata massima in corrispondenza della sezione di interesse del bacino (m³/s);
- ϕ_i valore medio ponderale del coefficiente di deflusso del bacino, determinato come media ponderale dei valori delle diverse tipologie di aree
- S_i superficie del bacino scolante (Ha)
- i_{ci} intensità media della pioggia espressa in mm/h, pari al rapporto tra l'altezza di pioggia critica (h) ed il tempo di corrivazione t_c, calcolati come descritto nel seguito.

I parametri della formula vengono quindi definiti nel seguente modo:

3.2.1 Coefficiente di deflusso medio ragguagliato

Viene determinato come media ponderale dei coefficienti di deflusso specifici riportati in tabella 4, applicati alle relative superfici elementari. Per le aree urbanizzate si è assunto un valore di $\phi = 0,6$

Tab. 3-1 - Coefficienti di deflusso per superfici di diversa natura.

| Tipo di terreno | Coltivato | Pascolo | Incolto | Bosco |
|---|---------------|---------------|---------------|--------------|
| Molto permeabile (terreni sabbiosi, ghiaiosi) | 0,20 | 0,15 | 0,25 | 0,10 |
| Permeabile (terreni limo-sabbiosi, limo-argillosi) | 0,40 (50%) | 0,35 (25%) | 0,45 (20%) | 0,30 (5%) |
| Poco permeabile (terreni argillosi, terreni rocciosi) | 0,50 | 0,45 | 0,55 | 0,40 |

Assumendo i valori caratteristici dei terreni permeabili, in considerazione delle caratteristiche litostratigrafiche del bacino (ove si rileva la presenza principalmente di terreni limo-argillosi), dell'uso del suolo, uniforme su tutto il bacino e principalmente a

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTO VALLONE PONTE FERDUSO**

| | | | |
|--|-------------------|-------|------------------------------------|
| N° Documento: 03858-PPL-RE-100-0101 | Foglio 9 di 19 | Rev.: | N° documento Cliente: AT-RE-101 |
| | | 00 | |

destinazione agricola, considerando l'assenza di aree urbane significative all'interno del bacino, risulta:

$$k_{med} = 0,393$$

Per la determinazione del tempo di corrivazione è stato eseguito il calcolo utilizzando in via preliminare ciascuna delle diverse formule sotto riportate.

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

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

• *formula di Pezzoli* $\tau_c = 0,055 * \frac{L}{\sqrt{i}} = [ore]$

• *formula di Puglisi* $\tau_c = 6 * L^{\frac{2}{3}} * (H_{max} - H_0)^{\frac{1}{3}} = [ore]$

dove:

S superficie bacino alla sezione di progetto (in km²)

i pendenza media dell'asta (m/m)

L lunghezza dell'asta fluviale (in km)

H_{med} altezza media del bacino idrografico (in m s.l.m.)

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

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

I cui valori sono riportati al precedente paragrafo 3.1.

Dall'applicazione delle formule sopra indicate si ottengono valori abbastanza simili del tempo di corrivazione (in ore) come mostrato nella tabella riepilogativa sottostante:

| calcolo tempo di corrivazione | ore | ore |
|---|------|-------------|
| formula di Ventura | 0.54 | 0.54 |
| formula di Giandotti | 1.05 | 1.05 |
| formula di Pezzoli | 0.52 | 0.52 |
| formula di Puglisi | 1.85 | |
| Tempo di corrivazione medio adottato τ_c | | 0.70 |

| | | | | | |
|---|--------------------|-------|----|--|------------------------------------|
| RIFACIMENTO METANODOTTO GAGLIANO – TERMINI IMERESE DN 400/300 (16"/12") – DP 75 BAR – FASE 2 | | | | | |
| RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO VALLONE PONTE FERDUSO | | | | | |
| N° Documento: 03858-PPL-RE-100-0101 | Foglio 10 di 19 | Rev.: | 00 | | N° documento Cliente: AT-RE-101 |

Per la scelta del valore con il quale calcolare le portate di punta si è adottato il valore medio escludendo quello calcolato con la formula di Puglisi:

$$\tau_c = 0,70 \text{ ore}$$

Per il calcolo della portata di punta corrispondente ad un evento con tempo di ritorno 300 anni si utilizza le espressioni i (1) e (2) ottenendo:

$$h (T_r 300 \text{ anni}, t_c 0,70 \text{ ore}) = 83,71 \text{ mm}$$

applicando la formula di Turazza (3) si ottiene la portata

$$Q_{300 \text{ anni}} = 17,58 \text{ m}^3/\text{s}$$

che sarà utilizzata per la verifica idraulica.

In accordo a quanto considerato nel PAI sono stati calcolati i valori di precipitazione e portata corrispondenti ad eventi con tempi di ritorno 50 e 100 anni che risultano:

| | | |
|------------------------------|----------|---|
| h (T _r 100 anni)= | 71,21 mm | Q_{100 anni} = 14,80 m³/s |
| h (T _r 50 anni)= | 62,76 mm | Q_{50 anni} = 13,04 m³/s |

3.3 Studio idraulico

Il calcolo delle caratteristiche di moto, in corrispondenza dell'attraversamento del metanodotto in progetto con il corso d'acqua, è stato effettuato considerando l'altezza di moto uniforme, calcolata con una pendenza pari a quella media del tratto. I valori di scabrezza utilizzati (secondo Manning), desunti da dati di letteratura, sono riassunti di seguito (Tab. 3-2):

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTO VALLONE PONTE FERDUSO**

| | | | |
|--|--------------------|-------|------------------------------------|
| N° Documento: 03858-PPL-RE-100-0101 | Foglio 11 di 19 | Rev.: | N° documento Cliente: AT-RE-101 |
| | | 00 | |

Tab. 3-2 - Valori del coefficiente di scabrezza di Manning [$m^{-1/3} \cdot s$].

| CORSI D'ACQUA MINORI (Larghezza del pelo libero in piena < 30m) | Minimo | Normale | Massimo |
|--|---------------|----------------|----------------|
| Corsi d'acqua di pianura | | | |
| 1. Pulito, diritto, con la massima portata e senza divisioni o bacini profondi | 0.025 | 0.030 | 0.033 |
| 2. Idem 1, ma con una maggior presenza di pietre ed erba | 0.030 | 0.035 | 0.040 |
| 3. Pulito, meandriforme, alcuni bacini e zone di profondità ridotta | 0.033 | 0.040 | 0.045 |
| 4. Idem 3, ma con erba e pietre | 0.035 | 0.045 | 0.050 |
| 5. Idem 4, ma con portate minori e pendenze e sezioni irrilevanti | 0.040 | 0.048 | 0.055 |
| 6. Idem 5, ma con una maggior presenza di pietre | 0.040 | 0.050 | 0.060 |
| 7. Tratti stagnanti con erba e bacini profondi | 0.045 | 0.070 | 0.080 |
| 8. Tratti con una elevata presenza di erba, con bacini profondi o scolmatori | | | |
| ricoperti di ceppi d'albero ed arbusti | 0.075 | 0.100 | 0.150 |
| Torrenti in montagna senza vegetazione in alveo, sponde generalmente ripide, alberi ed arbusti sulle sponde sommersi durante le piene | | | |
| 9. Fondo: ghiaia, ciottoli e grosse pietre | 0.030 | 0.040 | 0.050 |
| 10. Fondo: ghiaia e grosse pietre | 0.040 | 0.050 | 0.070 |

Per la determinazione delle condizioni di moto si è fatto riferimento alle indicazioni ottenute dal rilievo topografico eseguito sul tratto del corso d'acqua (v. Fig. 4-1).

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTO VALLONE PONTE FERDUSO**

| | | | |
|--|--------------------|-------------|------------------------------------|
| N° Documento: 03858-PPL-RE-100-0101 | Foglio 12 di 19 | Rev.: 00 | N° documento Cliente: AT-RE-101 |
|--|--------------------|-------------|------------------------------------|

4 DETERMINAZIONE DELLA MASSIMA PROFONDITÀ DI EROSIONE

Per la determinazione della massima profondità di erosione e per la verifica di stabilità delle eventuali opere di protezione previste si è condotta verifica nelle condizioni di moto uniforme ritenendo, ritenendola sufficiente anche in relazione alla poca importanza del corso d'acqua e delle portate defluenti.

4.1 Simulazione idraulica

La simulazione idraulica ha considerato il tratto a monte e a valle dell'attraversamento riportato in Fig. 4-1.

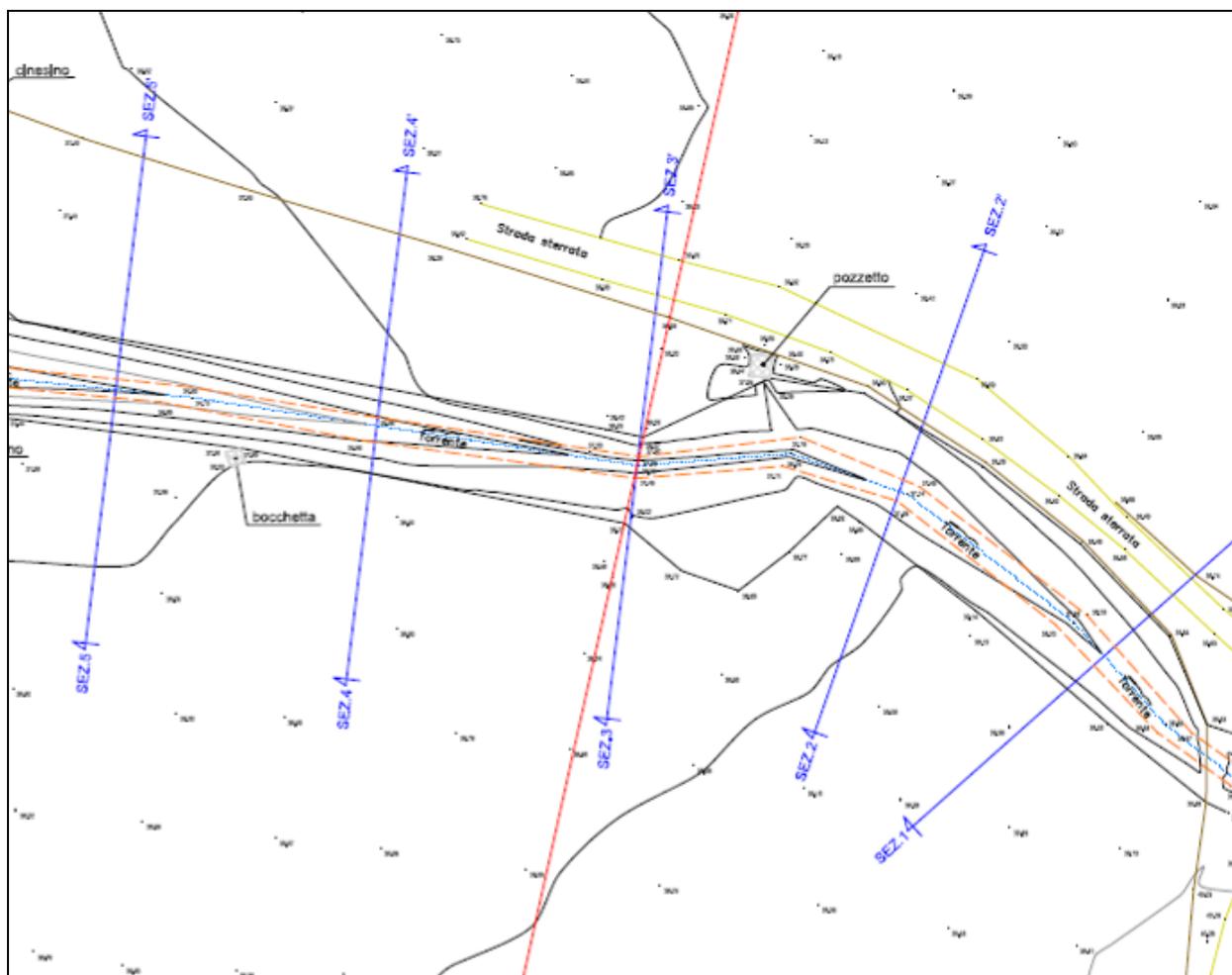


Fig. 4-1 - Tratto a monte e a valle dell'attraversamento e sezioni trasversali.

| | | | | | | |
|---|--------------------|--|-------|--|--|------------------------------------|
| RIFACIMENTO METANODOTTO GAGLIANO – TERMINI IMERESE DN 400/300 (16"/12") – DP 75 BAR – FASE 2 | | | | | | |
| RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO VALLONE PONTE FERDUSO | | | | | | |
| N° Documento: 03858-PPL-RE-100-0101 | Foglio 13 di 19 | | Rev.: | | | N° documento Cliente: AT-RE-101 |
| | | | 00 | | | |

È stato conseguentemente ricavato il profilo (Fig. 4-2) ed è stata considerata la sezione 2 (Fig. 4-3) coincidente con il tracciato del metanodotto in progetto.

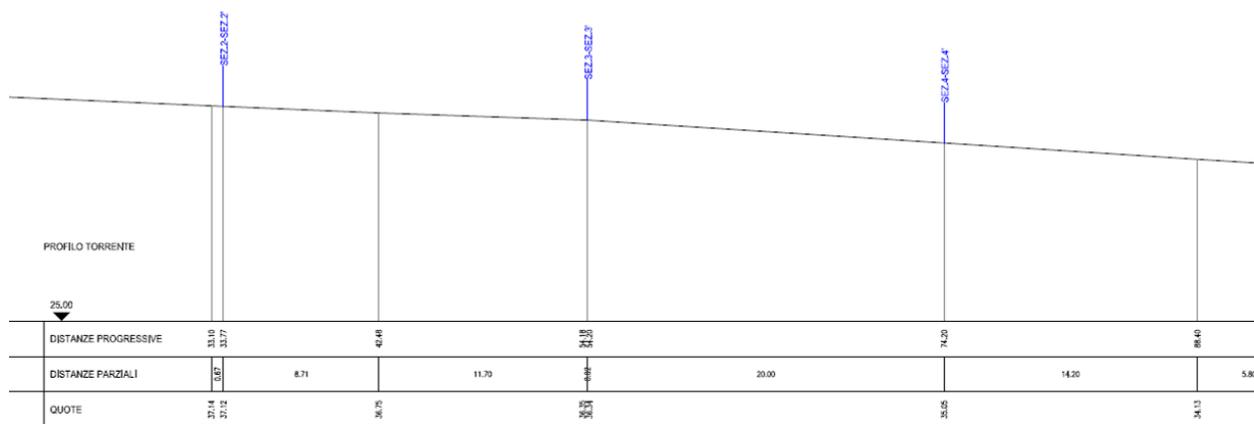


Fig. 4-2 – Profilo longitudinale del corso d'acqua.

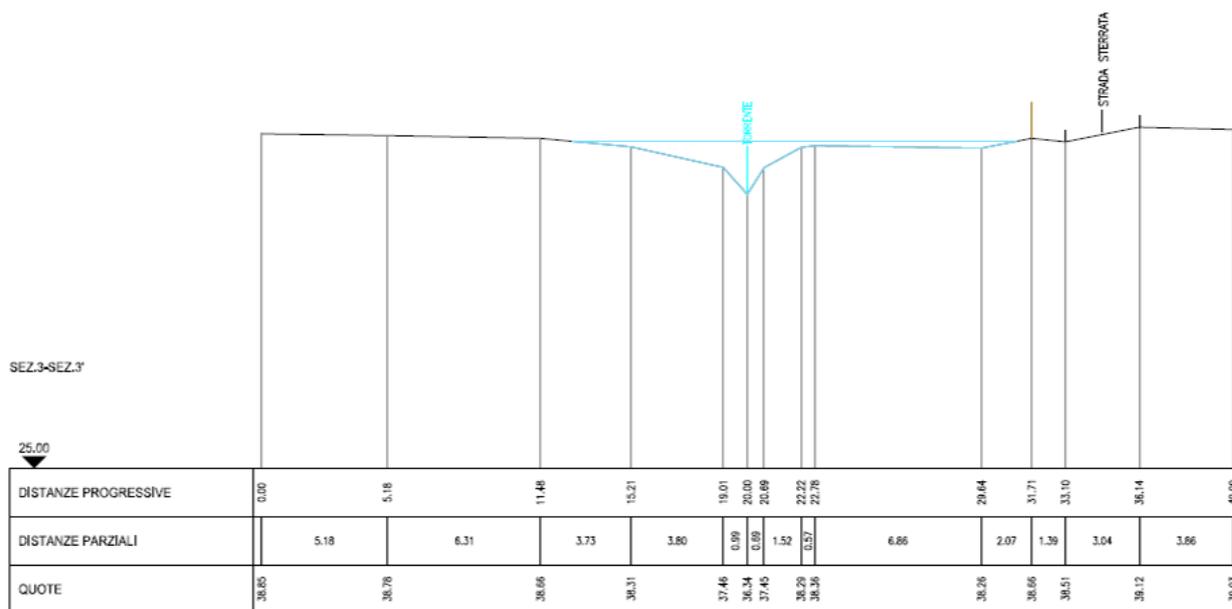


Fig. 4-3 – Sezione trasversale.

Assumendo ai fini di calcolo $Q_{Max} = 17,58 \text{ m}^3/\text{s}$ (tempo di ritorno 300 anni), in base alla geometria della sezione di attraversamento, con la formula di Chezy si determina:

| | |
|-----------|--------------|
| Q_{300} | 17.58 mc/s |
| h | 36.34 m s.m. |
| A | 9.10 mq |
| P | 19.76 m |

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTO VALLONE PONTE FERDUSO**

| | | | |
|--|--------------------|-------|------------------------------------|
| N° Documento: 03858-PPL-RE-100-0101 | Foglio 14 di 19 | Rev.: | N° documento Cliente: AT-RE-101 |
|--|--------------------|-------|------------------------------------|

| | |
|---------|-----------|
| R | 0.46 m |
| i | 0.051 m/m |
| manning | 0.07 |
| V | 1,93 m/s |

4.2 Calcolo della profondità di erosione

Ai fini della progettazione del metanodotto, occorre predeterminare le condizioni di approfondimento della tubazione interrata, fermi restando specifici valori minimi. Nel caso dell'attraversamento di corsi d'acqua, si ricorre a formulazioni estremamente cautelative, atte alla valutazione delle eventuali erosioni localizzate del letto e dei potenziali fenomeni di escavazione in alveo, in modo che un eventuale approfondimento, rispetto alla quota minima iniziale del fondo, non possa interessare la tubazione stessa.

A tal fine, specificatamente in virtù dei modelli conservativi utilizzati¹, può non essere necessario determinare aspetti di dettaglio, quali la velocità e la tensione tangenziale della corrente al fondo alveo e le caratteristiche del materiale che ne forma il letto. Tali modelli permettono di valutare se lo spessore del materiale di rinterro, adeguatamente costipato, pur non alterando le originarie condizioni di permeabilità, risulta idoneo a garantire la sicurezza del metanodotto in progetto dai potenziali fenomeni erosivi. Quando risulta opportuno garantire una adeguata protezione dell'alveo interessato dagli scavi "a cielo aperto", può essere previsto l'utilizzo di massi o pietrame naturale, per costituire parte del rinterro e/o il rivestimento del fondo e delle sponde.

In quest'ottica di verifica preliminare degli effetti idraulici delle piene, si fa riferimento agli studi² di Yalin (1964), Nordin (1965) ed altri, che hanno proposto di assegnare alle possibili escavazioni un valore cautelativo, pari ad una percentuale dell'altezza idrometrica di piena ivi determinata (in particolare, venne dimostrato 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 prudentiale, proposta in Italia, 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 piena³.** Pertanto, una stima del tutto cautelativa della profondità delle potenziali escavazioni del fondo (Z) è data, in corrispondenza di una assegnata sezione, in ragione del 50% del battente idrometrico di piena (h_0):

$$Z = 0,5 \cdot h_0.$$

¹ D'Alberto D. et Alii., "Crossing debris flow areas", in Pipeline technology journal, May 2016.

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

³ Vollo L., "L'aratura di fondo nell'alveo dei fiumi durante le piene"; L'energia elettrica, vol. XXIX; Milano, 1952. Zanovello A., "Sulle variazioni del fondo degli alvei durante le piene"; L'energia elettrica, vol. XXXV; Milano, 1959.

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTO VALLONE PONTE FERDUSO**

| | | | |
|--|--------------------|-------|------------------------------------|
| N° Documento: 03858-PPL-RE-100-0101 | Foglio 15 di 19 | Rev.: | N° documento Cliente: AT-RE-101 |
| | | 00 | |

Nel caso in cui l'evento di piena implichi esondazioni oltre l'alveo inciso, sulla base di considerazioni proprie degli idrogrammi sperimentali correlati ai relativi modelli sperimentali e di considerazioni connesse alla morfologia delle aree di esondazione, il battente idraulico è assunto pari a **1,05÷1,10 volte la profondità dell'alveo, rilevata nella geometria della sezione; ovvero $Z = 0,55 h_a$, con h_a dislivello tra la sommità di sponda o d'argine e la massima incisione.**

Per quanto attiene alla formazione di buche ed approfondimenti locali, le condizioni necessarie per lo sviluppo del fenomeno sembrano individuarsi nella formazione di correnti particolarmente veloci sul fondo e nella presenza di irregolarità geometriche dell'alveo, che innescano il fenomeno stesso. In questi casi e quando le dimensioni granulometriche del materiale di fondo sono inferiori a 5 cm, i valori raggiungibili dalle suddette erosioni sono generalmente indipendenti dalla granulometria; per dimensioni dei grani maggiori di 5 cm, invece, all'aumentare della pezzatura diminuisce la profondità dell'erosione. In termini "qualitativi", per determinare un valore cautelativo dell'eventuale approfondimento rispetto alla quota media iniziale del fondo, indipendentemente dal diametro limite dei clasti trasportabili dalla piena, tra i modelli disponibili (Schoklitsch, Eggemberger, Adami), la formula di Schoklitsch⁴ è quella che presenta minori difficoltà nella determinazione dei parametri caratteristici e determina un valore medio rappresentativo dell'eventuale approfondimento rispetto alla quota media iniziale del fondo:

$$S = 0,378 \cdot H^{1/2} \cdot q^{0.35} + 2,15 \cdot a$$

dove

- S è la profondità massima degli approfondimenti rispetto alla quota media del fondo, nella sezione d'alveo considerata;
- $H = h_o + v^2/2 \cdot g$ rappresenta il carico totale relativo alla sezione immediatamente a monte della buca;
- $q = Q_{Max} / L$ è la portata specifica per unità di larghezza L della corrente di piena in alveo;
- a è dato dal dislivello delle quote d'alveo a monte e a valle della buca ed è assunto in funzione delle caratteristiche geometriche del corso d'acqua, sulla base del dislivello locale del fondo alveo, in corrispondenza della massima incisione, relativo ad una lunghezza pari all'altezza idrica massima ivi determinata.

In alvei di pianura, a bassa pendenza longitudinale ed a sezione larga, aventi condizioni di scabrezza ordinaria ed in assenza di ostruzioni, se l'altezza idrica della corrente di piena risulta più elevata dei margini sommitali della sezione geometrica d'alveo, si può assumere $H = 1,20 h_a$; con h_a altezza degli argini.

⁴ Schoklitsch A., „Stauraum Verlandung und kolkbewehr“; Springer ed., Wien, 1935.

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTO VALLONE PONTE FERDUSO**

| | | | |
|--|--------------------|-------|------------------------------------|
| N° Documento: 03858-PPL-RE-100-0101 | Foglio 16 di 19 | Rev.: | N° documento Cliente: AT-RE-101 |
|--|--------------------|-------|------------------------------------|

Nel caso di interesse la portata di massima piena assunta quale riferimento di calcolo, associata a tempo di ritorno $T_r = 300$ anni, in condizioni di moto uniforme non è contenuta nell'alveo inciso.

Pertanto, assumendo ai fini di calcolo $Q_{Max} = 17,58 \text{ m}^3/\text{s}$, in base alla geometria

| | |
|-----------------------------------|-------------|
| quota di tirante di moto uniforme | 38.75 m slm |
| quota della massima incisione | 36.34 m slm |
| h_0 | 2.41 m |

| |
|-------------------|
| Z = 1.32 m |
|-------------------|

| | |
|---|------------------------------|
| pendenza locale in corrispondenza della sezione | 5.12 % |
| Q_{Max} | 17.58 m^3/s |
| Area della sezione | 9.10 m^2 |
| Velocità | 1.93 m/s |
| H | 1.39 m |
| a | 0.20 m |
| larghezza idrica in sommità della sezione L | 18.29 m |
| q | 0.96 $\text{m}^3/\text{s/m}$ |

| |
|-------------------|
| S = 0.87 m |
|-------------------|

Pertanto si stimano approfondimenti potenziali pari a circa 1,32 m.

4.3 Opere di protezione spondali e verifica di stabilità

In corrispondenza dell'attraversamento è stata prevista un rivestimento spondale in massi come rappresentato nell'elaborato grafico Dis. AT-133.

Per la verifica di stabilità delle opere di difesa di sponda si è fatto riferimento alle espressioni di Stevens et. al (1976), basate sull'analisi delle forze agenti sull'elemento solido in condizioni di equilibrio limite, con la correzione per la stabilità su sponda inclinata.

Tali espressioni sono:

$$\sigma = \frac{0.30 \cdot v_r^2}{(\gamma_s / \gamma - 1) g d_m} \quad (1)$$

$$\beta = \text{tg}^{-1} \left(\frac{\cos \alpha}{\frac{2 \text{sen} \vartheta}{\sigma \text{tg} \varphi} + \text{sen} \alpha} \right) \quad (2)$$

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTO VALLONE PONTE FERDUSO**

| | | | | | | | |
|--|--------------------|-------|--|--|--|--|------------------------------------|
| N° Documento: 03858-PPL-RE-100-0101 | Foglio 17 di 19 | Rev.: | | | | | N° documento Cliente: AT-RE-101 |
| | | 00 | | | | | |

$$\frac{\sigma'}{\sigma} = \frac{1 + \operatorname{sen}(\alpha + \beta)}{2} \quad (3)$$

$$C_s = \frac{\cos \vartheta \operatorname{tg} \varphi}{\sigma' \operatorname{tg} \varphi + \operatorname{sen} \vartheta \cos \beta} \quad (4)$$

nelle quali:

dm = diametro medio del masso

Cs = coefficiente di sicurezza al ribaltamento del masso

ϑ = pendenza della scarpata

φ = angolo di riposo in acqua dei massi

β = angolo che la direzione di caduta del masso forma con la linea di massima pendenza della scarpata

α = tg⁻¹ i con -i- pendenza del fondo

σ, σ' = numeri di stabilità del masso, rispettivamente per sponda orizzontale ($\vartheta=0$) e per sponda inclinata

γ_s = peso specifico del masso

γ = peso specifico dell'acqua

vr = velocità della corrente agente sul masso

Perché la configurazione della difesa sia stabile, il coefficiente di sicurezza Cs deve risultare superiore a 1.3.

La velocità vr può essere desunta dalla legge logaritmica di distribuzione della velocità sulla verticale Y in un moto assolutamente turbolento (Keulegan, 1938):

$$u(Y) = 2,5 u^* \ln \left(30,2 \frac{Y}{d_m} \right) \quad (5)$$

in cui:

$$u^* = (\tau/\rho)^{1/2} \quad (6)$$

Integrando la (5) sulla verticale si ottiene per la velocità media V della corrente:

$$V = 2,5 u^* \ln \left(12,3 \frac{Y_o}{d_m} \right) \quad (7)$$

in cui Yo è il tirante idrico.

**RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA
ATTRAVERSAMENTO VALLONE PONTE FERDUSO**

| | | | |
|--|--------------------|-------|------------------------------------|
| N° Documento: 03858-PPL-RE-100-0101 | Foglio 18 di 19 | Rev.: | N° documento Cliente: AT-RE-101 |
|--|--------------------|-------|------------------------------------|

Ammettendo che la velocità v_r sia corrispondente alla profondità $Y = d_m$, dalle (5) e (7) si ottiene l'espressione:

$$\frac{v_r}{V} = \frac{3,4}{\ln(12,3Y_0/d_m)} \quad (8)$$

da utilizzare per il calcolo di v_r . E' però importante ricordare che le 5, 7 e 8 valgono per profondità relative $Y_0/d_m > 6$; nel caso invece in cui la scabrezza sia macroscopica ($Y_0/d_m < 6$) e conseguentemente molto alta la turbolenza e l'aerazione della corrente, si può assumere in via pratica:

$$v_r = V \quad (9)$$

Per la progettazione in esame, nelle condizioni più gravose, per la sezione in progetto si ha:

| | | | | | |
|------------|---|----------|-------|----------|-----|
| dm | diametro medio del masso | 0.6 | m | | |
| θ | pendenza della scarpata (sponda) | 58 | gradi | 1.01229 | rad |
| φ | angolo di riposo in acqua dei massi | 67 | gradi | 1.16937 | rad |
| β | angolo che la direzione di caduta del masso forma con la linea di max pendenza della scarpata | 32 | gradi | 0.558505 | rad |
| i | | 0.0512 | m/m | | |
| α | arctg(i) | 0.051155 | rad | | |
| σ | numero di stabilità del masso per sponda orizzontale | 0.096193 | | | |
| γ_s | peso specifico del masso | 2500 | | | |
| γ | peso specifico dell'acqua | 1000 | | | |
| g | | 9.81 | | | |
| | | | | | |
| Y0 | profondità | 2.41 | m | | |
| V | velocità della corrente | 1.93 | m/s | | |
| Vr | velocità sul masso | 1.682542 | | | |
| σ' | numero di stabilità per sponda inclinata | 0.075636 | | | |
| | | | | | |
| Cs | coefficiente di stabilità | 1.391185 | OK | | |

Pertanto, essendo $Cs > 1.30$ è verificata la condizione di stabilità del rivestimento in massi che dovranno avere un diametro minimo di 0.6 metri.

| | | | | | |
|---|--------------------|-------------|--|--|------------------------------------|
| RIFACIMENTO METANODOTTO GAGLIANO – TERMINI IMERESE DN 400/300 (16"/12") – DP 75 BAR – FASE 2 | | | | | |
| RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA ATTRAVERSAMENTO VALLONE PONTE FERDUSO | | | | | |
| N° Documento: 03858-PPL-RE-100-0101 | Foglio 19 di 19 | Rev.: 00 | | | N° documento Cliente: AT-RE-101 |

5 CONCLUSIONI

Il presente studio è redatto al fine di calcolare la massima profondità di erosione del torrente Ponte Ferduso in corrispondenza dell'attraversamento della nuova condotta "Met. Gagliano -Termini Imerese DN 300 (12") – DP 75 bar" inerente al progetto "Rifacimento Metanodotto Gagliano -Termini Imerese DN400/300 (16"/12") – DP 75 bar – FASE 2".

In particolare, lo studio ha lo scopo di determinare la profondità di posa della condotta in funzione della vita nominale di esercizio dell'opera al fine di verificarne le condizioni di sicurezza nei confronti dei fenomeni erosivi in occasione delle piene studiate.

L'attraversamento avverrà con posa a cielo aperto che prevede lo scavo a sezione obbligata con una profondità dalla quota di subalveo di 2.50 m e rinterro, senza modifiche essenziali della geometria delle sezioni di deflusso.

Le diverse valutazioni effettuate in merito alla natura dei terreni in fase di scavo e a cantiere ultimato saranno tanto più rispettate quanto più sarà presa ogni più opportuna azione per il corretto ripristino delle aree scavate. A tal fine occorrerà in particolare:

- assicurare una perfetta compattazione dei terreni utilizzati per il rinterro della condotta ed il ripristino delle sponde, procedendo alla costipazione per strati di spessore massimo 30 - 50 cm;
- verificare in corso d'opera il raggiungimento di un buon grado di compattazione per ciascuno strato.

Le verifiche condotte hanno evidenziato che la profondità di posa prevista è idonea a garantire il corretto ricoprimento della condotta per un tempo superiore alla vita utile delle opere. Per quanto riguarda la protezione delle sponde si è verificata la stabilità del rivestimento in massi di diametro 0.6 metri in corrispondenza di una piena con tempo di ritorno 300 anni.