



Comune di Messina

IMPRESA APPALTATRICE



30015 Chioggia (VE)  
Banchina F - Val da Rio  
www.coedmar.it

Tel. +39 041 4967 925  
Fax +39 041 4967 914  
contratti@coedmar.it

COOPTATA



40132 Bologna  
Via M. E. Lepido, 182/2  
www.consorziointegra.it

Tel. +39 051 3161 300  
integra@consorziointegra.it

PROGETTAZIONE



30035 Mirano (VE)  
Viale Belvedere, 8/10  
www.fm-ingegneria-com

Tel. +39 041 5785 711  
Fax +39 041 4355 933  
tremestieri@fm-ingegneria.com



20148 Milano  
Via Caccialepori, 27

Tel. +39 02 8942 2685  
Fax +39 02 8942 5133  
mail@idrotec-ingegneria.it

Ing. Vincenzo Iacopino

Viale Regina Elena, 125 - Messina

Studio Tecnico Falzea

Via 1° Settembre, 37 - Messina

Arch. Claudio Lucchesi

Via Roma, 117 - Pace del Mela (ME)

Ing. Manlio Marino

Via Placida, 6 - Messina

Dott. Geol. Sergio Dolfin

Via Marina, 4 - Torre Faro (ME)

PROGETTO

**COMUNE DI MESSINA  
LAVORI DI COSTRUZIONE DELLA PIATTAFORMA  
LOGISTICA INTERMODALE TREMESTIERI CON ANNESSO  
SCALO PORTUALE - PRIMO STRALCIO FUNZIONALE**

EMISSIONE

**PROGETTO ESECUTIVO**

TITOLO

**A - PARTE GENERALE**

Relazione Idraulica - Parte B

REV.	DATA	FILE	OGGETTO	DIS.	APPR.
1					
2					
3					
4					
5					

ELABORATO N.

**A006**

DATA: Ottobre 2017	SCALA: -	FILE: 1044_A006_0.doc	J.N. 1044
PROGETTO G. Carretta	DISEGNO G. Carretta	VERIFICA L. Masiero	APPROVAZIONE T. Tassi



## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA E SINTESI DEI CONTENUTI DELLA RELAZIONE IDRAULICA – PARTE B.....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>LE OPERE DI REGIMAZIONE DEI TORRENTI.....</b>	<b>6</b>
2.1	DESCRIZIONE DEI TORRENTI INTERFERENTI CON LA NUOVA PIATTAFORMA LOGISTICA E DEI LORO BACINI IMBRIFERI .....	6
2.2	ANALISI QUALITATIVA DELLO STATO DI FATTO .....	6
2.2.1	TORRENTI CANNETO E FAROTA .....	6
2.2.1.1	TORRENTE CANNETO .....	6
2.2.1.2	TORRENTE FAROTA .....	9
2.2.2	TORRENTE GUIDARI .....	13
2.2.3	TORRENTE PALUMARA.....	19
2.2.4	SCOLI MINORI.....	21
2.3	DESCRIZIONE DELLE OPERE DI PROGETTO.....	24
2.3.1	CRITERI DI DIMENSIONAMENTO .....	24
2.3.2	TORRENTI CANNETO E FAROTA .....	24
2.3.3	TORRENTE GUIDARI .....	29
2.3.4	TORRENTE PALUMARA.....	32
2.4	DIMENSIONAMENTO IDRAULICO DELLE OPERE DI PROGETTO.....	33
2.4.1	TORRENTI CANNETO E FAROTA .....	33
2.4.1.1	SISTEMAZIONI BACINO DI MONTE TORRENTE FAROTA .....	33
2.4.1.2	FUNZIONAMENTO IDRAULICO DEL SISTEMA CANNETO-FAROTA.....	33
2.4.1.2.1	<i>Schematizzazione di calcolo</i> .....	33
2.4.1.2.2	<i>Le condizioni al contorno</i> .....	36
2.4.1.2.3	<i>Risultati delle simulazioni</i> .....	37
2.4.1.3	DIMENSIONAMENTO DEL MANUFATTO DI CONNESSIONE CANNETO-FAROTA .....	45
2.4.2	TORRENTE GUIDARI .....	48
2.4.2.1	FUNZIONAMENTO IDRAULICO DEL TORRENTE GUIDARI.....	48
2.4.2.1.1	<i>Schematizzazione di calcolo</i> .....	48
2.4.2.1.2	<i>Le condizioni al contorno</i> .....	49
2.4.2.1.3	<i>Risultati delle simulazioni</i> .....	49
2.4.2.2	SISTEMAZIONI BACINO DI MONTE TORRENTE GUIDARI .....	52
2.4.3	IL TORRENTE PALUMARA .....	53
<b>3</b>	<b>APPENDICE 1 – IL MODELLO DI SIMULAZIONE IDRAULICA HEC-RAS .....</b>	<b>54</b>
3.1	GENERALITÀ.....	54
3.2	COMPONENTI IDRAULICI DI ANALISI.....	54
3.3	SIMULAZIONE A MOTO VARIO.....	54
3.4	DESCRIZIONE MATEMATICA DEL MODELLO UTILIZZATO.....	54
3.5	LE EQUAZIONI DEL MOTO VARIO MONODIMENSIONALE .....	54
3.6	METODOLOGIA E DISCRETIZZAZIONE SPAZIO-TEMPORALE.....	57
3.7	CRITERI PER LA VERIFICA DEGLI ATTRAVERSAMENTI.....	58
3.8	PERDITE ALL’IMBOCCO .....	60
3.9	PERDITE ALLO SBOCCO .....	61

## **1 PREMESSA E SINTESI DEI CONTENUTI DELLA RELAZIONE IDRAULICA – PARTE B**

Nella presente relazione si eseguono i dimensionamenti idraulici di tutte le opere connesse alla realizzazione della piattaforma logistica intermodale di Tremestieri con annesso scalo portuale, ed in particolare delle opere di regimazione dei torrenti a monte del rilevato ferroviario:

- Opere di regimazione dei torrenti interferenti con il sito di realizzazione delle opere:
  - Regimazione e sistemazioni dei torrenti Canneto e Farota
  - Regimazione e sistemazioni di bacino del torrente Guidatri
  - Tombinamento del Torrente Palumara

Chiaramente i dimensionamenti idraulici dei manufatti a monte della linea ferroviaria Messina-Catania, sono in stretta correlazione con le sistemazioni previste a valle fino allo sbocco a mare; si riporta pertanto l'intera modellazione di dimensionamento.

Le verifiche ed i dimensionamenti tengono conto delle osservazioni e richieste del Genio Civile di Messina espresse con Prot. N. 117319/DRT del 16.12.2015.

I criteri seguiti per il dimensionamento delle opere di regimazione idraulica dei torrenti sono quelli legati alla sicurezza della nuova piattaforma logistica intermodale in termini di:

- Salvaguardia idraulica del territorio al fine di scongiurare esondazioni ed allagamenti delle infrastrutture di fronte a piene aventi tempo di ritorno di 300 anni. Tutte le opere idrauliche avranno un funzionamento a pelo libero nelle condizioni di massima piena trecentennale di progetto.
- Limitazione dell'apporto di materiale solido in modo da scongiurare intasamenti dei tratti tombinati
- Progettazione di opere tenendo in debita considerazione la facilità di intervenire per manutenzioni straordinarie di espurghi e pulizie.

In sintesi le opere previste sono:

- Opere di regimazione dei torrenti Canneto e Farota
  - Realizzazione di un collegamento tra Canneto e Farota per l'alleggerimento del tratto di vale del torrente Canneto, intubato con condotte idraulicamente insufficienti
  - Realizzazione di uno sbarramento sul bacino del Farota a monte dell'autostrada in modo da creare un accumulo per eventuale materiale solido trasportato dalla corrente verso valle e quindi verso la nuova piattaforma logistica
  - Pulizia dell'attraversamento autostradale
  - Realizzazione di un canale rettangolare tra autostrada e strada statale,
  - Realizzazione di un nuovo attraversamento della ferrovia e della statale 114
  - Tombinamento del tratto di torrente al di sotto della piattaforma logistica di progetto, con restituzione delle acque nei pressi della foce del torrente Canneto opportunamente risistemata mediante opere a scogliera e pennelli di protezione.
- Opere di regimazione del torrente Guidari
  - Realizzazione di 1 briglia sul bacino montano del Guidari per la limitazione dell'apporto solido
  - Pulizia del torrente nel tratto a monte dell'autostrada con ripresa delle frane spondali

- Realizzazione di una vasca con gabbionate, tra autostrada e strada statale, per l'accumulo di materiale fine trasportato verso valle in occasione di piene
- Rifacimento del ponte sulla strada statale, idraulicamente insufficiente
- Realizzazione di un salto di fondo in uscita dall'attraversamento della ferrovia, protetto con pali di grosso diametro
- Tombinamento del tratto sotto la piattaforma portuale mediante struttura con spalle realizzate in diaframmi ed impalcato con copponi prefabbricati e cappa gettata in opera.
- Tombinamento del Torrente Palumara con scatolari prefabbricati al di sotto della piattaforma logistica
- Tombinamento degli attraversamenti minori che sottopassando il rilevato ferroviario attualmente recapitano a mare
- Realizzazione del sistema di raccolta e smaltimento delle acque di piattaforma mediante:
  - Raccolta con canaline prefabbricate con griglie in ghisa e caditoie (per le parti stradali)
  - Condotte in polipropilene SN 16 corrugate esternamente
  - Pozzetti in polietilene e calcestruzzo
  - Raccolta delle acque del rilevato ferroviario mediante posa di canalina prefabbricata in calcestruzzo
  - Installazione di 7 sedimentatori/disoleatori per il trattamento delle acque reflue
- Realizzazione del sistema antincendio
  - Vasca di accumulo con pescaggio diretto da mare
  - Tubazioni in polietilene
  - Idranti in ghisa
- Realizzazione di sistema idrico
  - Alimentazione dalla linea acquedottistica in strada statale attraverso il sottopasso esistente della ferrovia all'attuale scarico del torrente Farota
  - Consegna nei pressi degli approdi di banchina
  - Impianto irriguo delle aree a verde
  - Predisposizione alimentazione idrica del futuro edificio servizi e dei gates di entrata ed uscita.
  - Alimentazione della casa di guardia
- Impianto di smaltimento delle acque nere
  - Fossa Imhoff e condensa grassi del posto di guardiania
  - Predisposizione per il pompaggio in fognatura del futuro edificio di servizio
- Impianto di raccolta liquidi inquinanti con predisposizione di una vasca a tenuta stagna.

## 2 LE OPERE DI REGIMAZIONE DEI TORRENTI

### 2.1 DESCRIZIONE DEI TORRENTI INTERFERENTI CON LA NUOVA PIATTAFORMA LOGISTICA E DEI LORO BACINI IMBRIFERI

La nuova piattaforma logistica intermodale interferirà, procedendo da Nord a Sud, con i torrenti Palumara, Guidari, Farota e Canneto.

E' pertanto necessario realizzare delle opere di regimazione dei corsi d'acqua al fine di garantire la messa in sicurezza delle infrastrutture e limitare l'apporto solido nella darsena portuale.

### 2.2 ANALISI QUALITATIVA DELLO STATO DI FATTO

#### 2.2.1 TORRENTI CANNETO E FAROTA

I torrenti Canneto e Farota (o Gigli) sono ubicati all'estremità sud della nuova piattaforma intermodale di Tremestieri.

In particolare il torrente Canneto sottende un bacino imbrifero di 0,17 kmq e si sviluppa per una lunghezza complessiva di 2.1 km per sfociare quindi nel mare Jonio immediatamente a sud della nuova piattaforma logistica intermodale.

Il Farota invece ha un bacino di 0,10 kmq, una lunghezza di 0,9 km ed interseca la piattaforma di progetto nella sua parte meridionale.

##### 2.2.1.1 TORRENTE CANNETO

Partendo da monte verso valle, si possono evidenziare i seguenti tratti dalle caratteristiche omogenee:



Figura 1: identificazione delle tratte omogenee del torrente Canneto

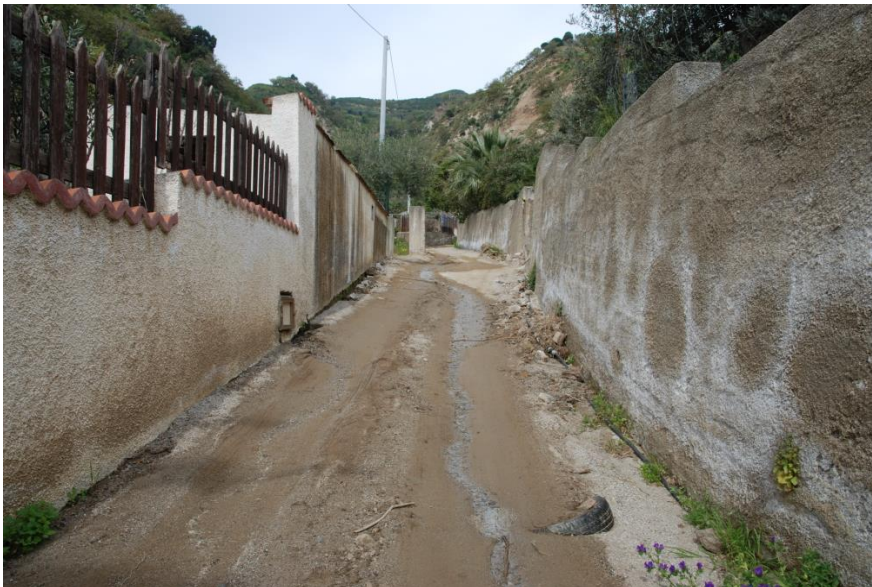
- Tratto 1: il torrente scorre sul fondovalle in un greto naturale, le sponde presentano fenomeni erosivi dovuti al dilavamento.





**Figura 2: foto identificativa del tratto 1 del torrente Canneto**

- Tratto 2: il torrente coincide con la sede stradale, le acque scorrono superficialmente al sedime viario trasportando notevoli quantitativi di materiale solido con possibili interessamenti delle abitazioni durante i fenomeni intensi di precipitazione.



**Figura 3: foto identificativa del tratto 2 del torrente Canneto**

- Tratto 3: il torrente scorre principalmente intubato al di sotto del piazzale della barriera autostradale, della strada statale e della ferrovia.



**Figura 4: manufatto di ingresso del tombinamento al di sotto della sede autostradale**



**Figura 5: manufatto di sbocco del tombinamento al di sotto della sede autostradale**



**Figura 6: tombinamento al di sotto della ferrovia**



- Tratto 4: il torrente sfocia nel litorale senza un percorso ben definito e delimitato.



**Figura 7: sbocco in litorale del torrente Canneto**

Dal punto di vista idraulico si può affermare che:

- I tombinamenti esistenti non sono sufficienti a smaltire le portate eccezionali provenienti dal bacino imbrifero di monte (capacità di deflusso di circa 8 mc/s contro i 12.58 mc/s afferenti con piene trecentennali)
- Non sono presenti strutture per limitare il dilavamento del bacino ed il trasporto solido del corso d'acqua. Il materiale trasportato verso valle va a compromettere ulteriormente la funzionalità dei manufatti di attraversamento delle infrastrutture viarie e ferroviarie.
- Anche se in torrente non interessa direttamente l'area della piattaforma intermodale, la sua insufficienza idraulica può porovocare problematiche di esondazioni e convogliamenti incontrollati di portate verso l'area interessata dal progetto, principalmente attraverso la strada ed il fosso di guardia ad Ovest della barriera autostradale, con collegamento al torrente Farota.

### **2.2.1.2 TORRENTE FAROTA**

Partendo da monte verso valle, si possono evidenziare i seguenti tratti dalle caratteristiche omogenee:



**Figura 8: identificazione delle tratte omogenee del torrente Farota**

- Tratto 1: il torrente scorre sul fondovalle in un greto naturale, in sponda sinistra è evidente una importante nicchia di frana, mentre in destra sono presenti numerosi colatoi di dilavamento. A circa metà bacino è presente un manufatto in calcestruzzo con muri d'ala di difesa longitudinale e briglia trasversale.



**Figura 9: tratto 1 del torrente Farota con manufatto in c.a., nicchia di frana in sinistra orografica (destra foto) e dilavamenti in destra.**

- Tratto 2: il torrente attraversa la piattaforma autostradale con un manufatto scatolare parzialmente inghiainato.



**Figura 10: tratto 2 – manufatto di attraversamento autostradale**

- Tratto 3: il torrente scorre confinato tra i muri delle abitazioni ad esso limitrofe, in una sezione ristretta nella quale sono presenti anche servizi elettrici ed acquedottistici. Evidenti



sono i fenomeni di trasporto solido non controllato con riduzione delle sezioni utili al deflusso delle portate di piena ed interessamento anche delle abitazioni.



**Figura 11: caratteristiche del tratto 3 del torrente Farota**

- Tratto 4: il torrente attraversa la S.S. con un tombinamento 80x80 cm e quindi la ferrovia con un manufatto a volta.



**Figura 12: attraversamento strada statale**



**Figura 13: attraversamento ferroviario**

- Tratto 5: il torrente sfocia nel litorale senza un percorso ben definito e delimitato.



**Figura 14: tratto a valle del rilevato della ferrovia.**

Dal punto di vista idraulico si può affermare che:

- I tombinamenti esistenti non sono sufficienti a smaltire le portate eccezionali provenienti dal bacino imbrifero di monte (capacità di deflusso di circa 2 mc/s contro i 10.5 mc/s afferenti con piene trecentennali)
- Non sono presenti strutture per limitare il dilavamento del bacino ed il trasporto solido del corso d'acqua. Il materiale trasportato verso valle va a compromettere ulteriormente la funzionalità dei manufatti di attraversamento delle infrastrutture viarie e ferroviarie.
- Il torrente sfocia in litorale nel punto in cui verrà realizzata la piattaforma logistica di progetto.



### 2.2.2 TORRENTE GUIDARI

Il torrente Guidari è ubicato all'incirca nella mezzeria della nuova sede logistica portuale di Tremestieri.

Il corso d'acqua sottende un bacino di 0,48 km e si sviluppa per una lunghezza complessiva di 3.3 km per sfociare quindi nel mare Jonio nel sito in cui verrà realizzata la nuova darsena di progetto.

Partendo da monte verso valle, si possono evidenziare i seguenti tratti dalle caratteristiche omogenee:

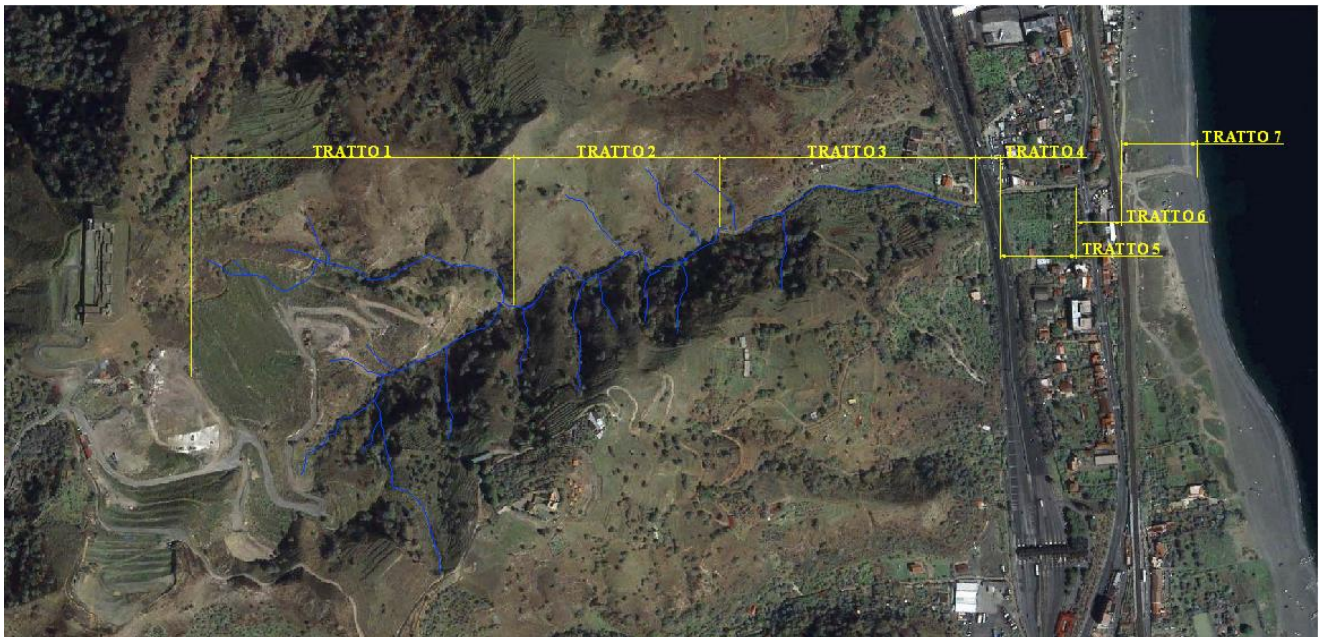


Figura 15: identificazione delle tratte omogenee del torrente Guidari

- Tratto 1: il torrente scorre su due rami che drenano il bacino di monte caratterizzato dalla presenza di una discarica di inerti attiva ed una discarica r.s.u. ormai saturata ed inutilizzata da circa 10 anni. Si evidenziano fenomeni di instabilità dei rilevati di deposito inerti, con la presenza di trasporto degli stessi verso valle in occasione di fenomeni pluviometrici particolarmente intensi. Il trasporto solido è parzialmente limitato dalla presenza di una serie di briglie a gabbioni, al termine del tratto in esame, che riducono notevolmente la pendenza naturale dell'alveo. I bacini retrostanti le briglie sono ormai saturi.





**Figura 16: la parte superiore del bacino del Guidare con i fenomeni di dissesto in atto**



**Figura 17: una delle briglie a gabbioni esistenti nel tratto superiore del Guidari**

- Tratto 2: il torrente scorre sul fondovalle. La sponda sinistra è interessata da derivazioni irrigue e dalla presenza di una traccia di pista, probabilmente servita in passato per la realizzazione delle briglie presenti nel tratto superiore. Si evidenzia la presenza di due salti rocciosi sul fondo alveo. Su greto sono presenti evidenti tracce di materiale trasportato dalla corrente e proveniente dalla parte superiore del bacino.



**Figura 18: immagine caratteristica del tratto 2 del torrente**

- Tratto 3: il torrente scorre sul fondovalle. E' presente all'interno dell'alveo attivo una pista sterrata utilizzata come accesso carrabile e parzialmente danneggiata dalle piene. Alcuni muri di protezione spondale risultano danneggiati ed in precarie condizioni di stabilità.



**Figura 19: immagine caratteristica del tratto 3 del torrente**

- Tratto 4: è caratterizzato dall'attraversamento stradale che risulta alquanto ampio (dimensioni di circa 10x3 m)





**Figura 20: attraversamento autostradale visto da monte**

- Tratto 5: è un tratto a cielo aperto tra l'autostrada e la strada statale, caratterizzato dalla presenza di una pista sterrata in sponda destra e dalla presenza di abitazioni in sponda sinistra che si affacciano direttamente sul greto del torrente.



**Figura 21: immagine caratteristica del tratto 5 del torrente**

- Tratto 6: rappresenta i manufatti di attraversamento della strada statale e della ferrovia. L'attraversamento dell'arteria viaria ha dimensioni di 6 x 2.5 m, mentre il passaggio ferroviario è di 8 x 2.5 m. A monte della statale è presente una briglia in calcestruzzo che crea un salto di fondo di altezza pari a circa 1 m.



**Figura 22: passaggio della S.S. con salto di fondo in primo piano**



**Figura 23: attraversamento della linea ferroviaria**

- Tratto 7: costituisce la foce del torrente Guidari in mare. Non vi sono canalizzazioni preferenziali e il torrente sfocia in spiaggia disperdendosi. E' evidente la presenza di materiale solido proveniente dai tratti di monte e trasportato fino a riva dalla corrente in occasione di piene intense.





**Figura 24: sbocco il litorale del vallone Guidari**

Dal punto di vista idraulico si può affermare che:

- Non sono presenti strutture per limitare il dilavamento del bacino ed il trasporto solido del corso d'acqua. Il materiale trasportato verso valle va a compromettere ulteriormente la funzionalità dei manufatti di attraversamento delle infrastrutture viarie e ferroviarie.
- La presenza di piste, ponticelli e murette all'interno dell'alveo compromette ulteriormente la situazione; in occasione di fenomeni intensi infatti vi è un dilavamento delle piste sterrate realizzate in alveo con conseguente trasporto verso il mare del materiale eroso.
- Nel tratto tra l'autostrada e la strada statale, le abitazioni presenti in sinistra orografica, con ingressi affacciati direttamente in alveo, sono in situazioni di rischio idraulico.



### 2.2.3 TORRENTE PALUMARA

Il torrente Palumara raccoglie le acque di un piccolo bacino ad Ovest dell'autostrada nei pressi della chiocciola di accesso al porto di Tremestiere, scorre quindi tombinato attraverso la fascia urbana per poi sbucare a cielo aperto subito a valle del rilevato ferroviario con un manufatto in calcestruzzo.

Al termine dello stesso manufatto, il torrente ritorna tombinato al di sotto della spiaggia, con uno scatolare da 200x120 cm, lungo 50 m con sbocco a mare.



Figura 25: planimetria torrente Palumara



**Figura 26: il passaggio del rilevato ferroviario**

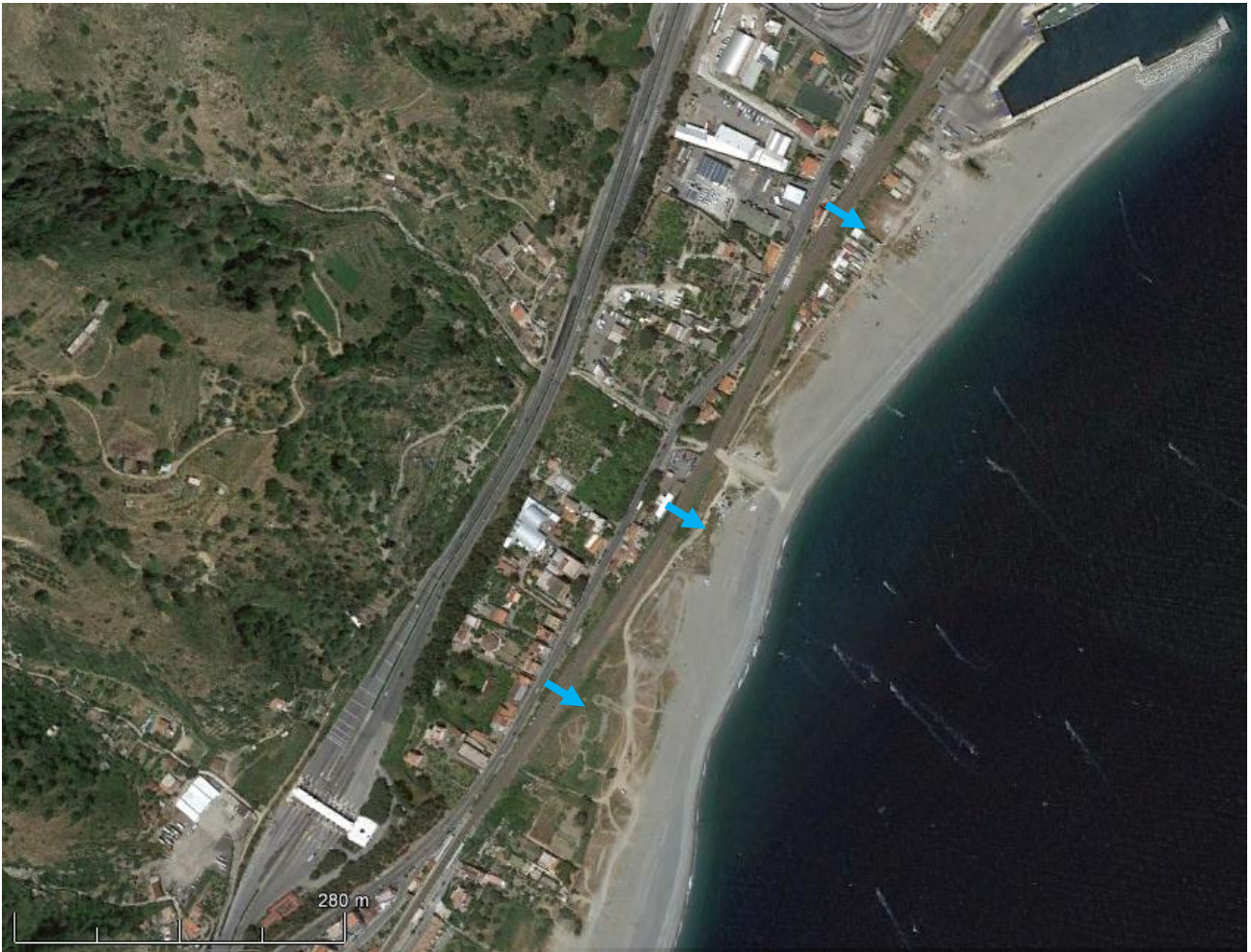


**Figura 27: lo sbocco a mare**



#### 2.2.4 SCOLI MINORI

Oltre ai tre torrenti sopra descritti, nella zona della futura piattaforma logistica, si rilevano altri tre scoli minori che traggono origine nella fascia costiera e, attraversando il rilevato ferroviario sfociano direttamente in spiaggia.



**Figura 28: planimetria con indicazione dei punti di sbocco dei tre scoli minori**



**Figura 29: scolo minore a Nord – attraversamento FS e sbocco a mare**



**Figura 30: scolo minore intermedio – attraversamento FS e sbocco a mare**





**Figura 31: scolo minore a Sud – attraversamento FS e sbocco a mare**



## 2.3 DESCRIZIONE DELLE OPERE DI PROGETTO

### 2.3.1 CRITERI DI DIMENSIONAMENTO

I criteri seguiti per il dimensionamento delle opere sono quelli legati alla sicurezza della nuova piattaforma logistica intermodale in termini di:

- Salvaguardia idraulica del territorio al fine di scongiurare esondazioni ed allagamenti delle infrastrutture di fronte a piene aventi tempo di ritorno di 300 anni. Tutte le opere idrauliche avranno un funzionamento a pelo libero nelle condizioni di massima piena tre centennale di progetto.
- Limitazione dell'apporto di materiale solido in modo da scongiurare intasamenti dei tratti tombinati
- Progettazione di opere tenendo in debita considerazione la facilità di intervenire per manutenzioni straordinarie di espurghi e pulizie.

Il dimensionamento dell'opera è stato condotto con un tempo di ritorno della portata idrica di progetto di 300 anni per adeguarsi ai criteri riportati nella relazione generale del *Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)* della Regione Siciliana.

### 2.3.2 TORRENTI CANNETO E FAROTA

Si prevedono pertanto le seguenti opere:

- Adeguamento del manufatto di sfioro esistente modificato inserendo una vasca di decantazione ed accumulo del materiale detritico.  
Le acque provenienti dal Canneto verranno introdotte nella suddetta vasca e quindi (per una portata di 4, 58 mc/s) sfioreranno verso il nuovo scatolare di collegamento con il torrente Farota. Nel caso in cui le portate aumentassero ulteriormente pare di queste (calcolate per garantire lo smaltimento in sicurezza mediante le attuali infrastrutture), attraverso uno sfioro di troppo pieno, verrebbero convogliate alla tubazione di attraversamento del piazzale autostradale verso l'originale alveo del Canneto.
- Realizzazione del collegamento tra Canneto e Farota con un canale rettangolare a cielo aperto, in calcestruzzo armato, di dimensioni 2.50x2.30 m, posato nel tratto più a monte a mezza costa nella scarpata, mentre nel tratto più a valle incassato tra la sede autostradale e la strada bianca esistente a margine.  
Nel tratto di valle verso il Farota il nuovo canale sostituirà la canalina di raccolta delle acque della piattaforma stradale.
- Realizzazione alla confluenza tra il collegamento con il Canneto, subito a monte dell'attraversamento autostradale, di una vasca di decantazione con sponde in scogliera e fondo in gabbioni.  
Anche il canale a cielo aperto di collegamento Canneto-Farota, potrà essere sfruttato quale bacino di decantazione prevedendo al termine del manufatto un dente sfiorante.
- Pulizia dell'attraversamento del torrente Farota al di sotto della sede autostradale
- Realizzazione di un canale artificiale per il convogliamento delle acque del Farota tra l'autostrada e la strada statale, di larghezza 2.0 m e profondità 2.0 m.



L'attraversamento della SS 114 e del rilevato ferroviario è stato dimensionato in modo da massimizzare le sezioni utili rispettando comunque tutti i vincoli presenti nella zona dalla analisi della documentazione acquisita, dell'aggiornata situazione dei luoghi e delle indicazioni ricevute da RFI.

Gli approfondimenti svolti hanno portato alle seguenti considerazioni che si ripercuotono sulla scelta progettuale della soluzione da perseguire:

- La presenza dell'importante sottoservizio fognario rende impossibile la realizzazione di uno scatolare sotto la SS 114 continuo delle dimensioni di 3.50x4.00 m.
- L'eventuale tubazione spinta dovrebbe sotto passare lo scatolare fognario in arrivo al sollevamento, con necessità di approfondire notevolmente il pozzo di arrivo del tubo spinto.
- Gli spazi per la realizzazione del pozzo di arrivo sono notevolmente ridotti in virtù della presenza dell'edificio in sinistra orografica e della vasca di arrivo e pompaggio dei liquami.
- L'attraversamento perpendicolare del rilevato ferroviario interferisce con il passaggio preesistente (idraulicamente sottodimensionato e pertanto non riutilizzabile) che non consente la posa di una tubazione con tecniche *no-dig* al di sotto delle linee.

Alla luce delle considerazioni sopra riportate, dalle indicazioni ricevute da RFI e dai vincoli imposti dalla presenza di manufatti e sottoservizi, è stata sviluppata la soluzione progettuale in seguito descritta.

- Realizzazione dell'attraversamento della SS 114 con una sezione scatolare gettata in opera da 350x270 cm (tranne che nel tratto di intersezione con il condotto fognario in cui la sezione si riduce a 350x150 cm, con quota di scorrimento impostata a quota superiore al tombotto fognario), con scavo a cielo aperto e gestione del traffico a senso unico alternato. Tale dimensione è la massima consentita dagli spazi delimitati dai vincoli presenti nella zona (edificio, vasca liquami e condotta fognaria di arrivo).
- I sottoservizi acquedottistici, del gas, di telefonia ed elettrici, potranno essere gestiti mediante la realizzazione di cavallotti con passaggio delle condotte sotto il nuovo scatolare di tombinamento del torrente Farota
- Realizzazione dell'attraversamento della SS 114 con tubazione spinta DN 2400, infissa da valle verso monte, con realizzazione di un pozzo di arrivo con scavi protetti da una paratia di micropali. Il pozzo di arrivo fungerà anche da manufatto di raccordo tra condotta scatolare e tubazione spinta. Durante l'infissione della condotta le linee ferroviarie verranno rinforzate mediante fasciatura dei binari.
- Un angolo di 12° rispetto alla perpendicolare alla linea ferroviaria in accordo con le prescrizioni di RFI

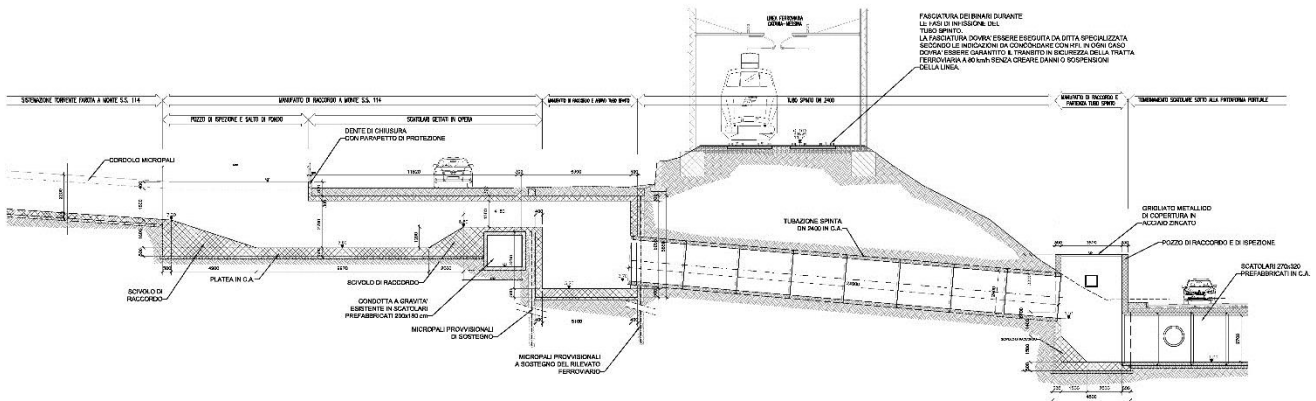


Figura 33: profilo dell'attraversamento nella nuova soluzione proposta

- A valle dell'attraversamento ferroviario verrà realizzato un pozzettone in calcestruzzo armato di collegamento allo scatolare prefabbricato di dimensioni interne di 320x270 cm che sarà posato al di sotto dei piazzali e della viabilità della nuova piattaforma di progetto.
- Si prevede che lo sbocco a mare del torrente Farota avvenga ricongiungendosi con la foce del torrente Canneto, opportunamente risistemata e protetta mediante scogliera. In tal modo si eviterà di esporre lo sbocco artificiale direttamente al moto ondoso migliorando da un lato le possibilità di deflusso delle portate di piena e ottimizzando dall'altro le prestazioni della scogliera di difesa portuale in termini di riflessione delle onde.

Infine, per limitare il trasporto solido del torrente Farota verso lo scalo portuale di progetto, si prevede la realizzazione di uno sbarramento circa 30 m a monte dell'attraversamento autostradale.

Tale manufatto, realizzato in gabbioni metallici riempiti in ciottoli, avrà una altezza di 5 m, e garantirà la realizzazione di un bacino di accumulo a monte di volume pari a circa 1500 mc.

Il drenaggio delle acque avverrà attraverso due tubazioni DN 1000 posate sul fondo dello sbarramento e presidiate a monte da due griglie in acciaio zincato ferma detriti.

In occasione di piene eccezionali con grossi quantitativi di materiale solido trasportato dal corso d'acqua, lo sbarramento consentirà un rallentamento della corrente a monte e di conseguenza la sedimentazione del materiale. A lungo andare il bacino di monte tenderà a riempirsi di sedimenti che dovranno pertanto essere periodicamente rimossi, accedendo con i mezzi dalla strada bianca parallela all'autostrada lato Ovest.

Per l'accesso al bacino di accumulo si prevede la formazione di una rampa in terra.

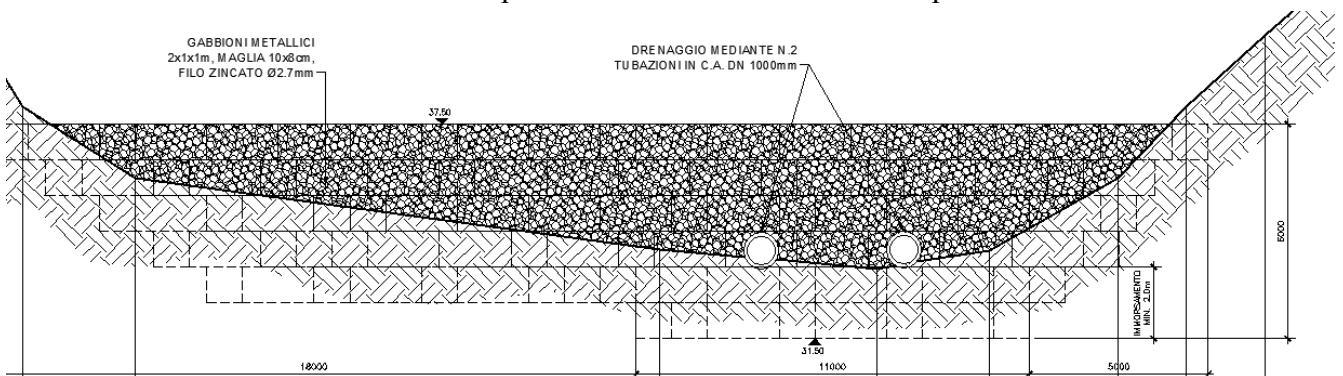


Figura 34: briglia in gabbioni sul torrente Farota

COMUNE DI MESSINA - LAVORI DI COSTRUZIONE DELLA PIATTAFORMA LOGISTICA  
INTERMODALE TREMESTIERI CON ANNESSO SCALO PORTUALE - PRIMO STRALCIO FUNZIONALE  
PROGETTO ESECUTIVO

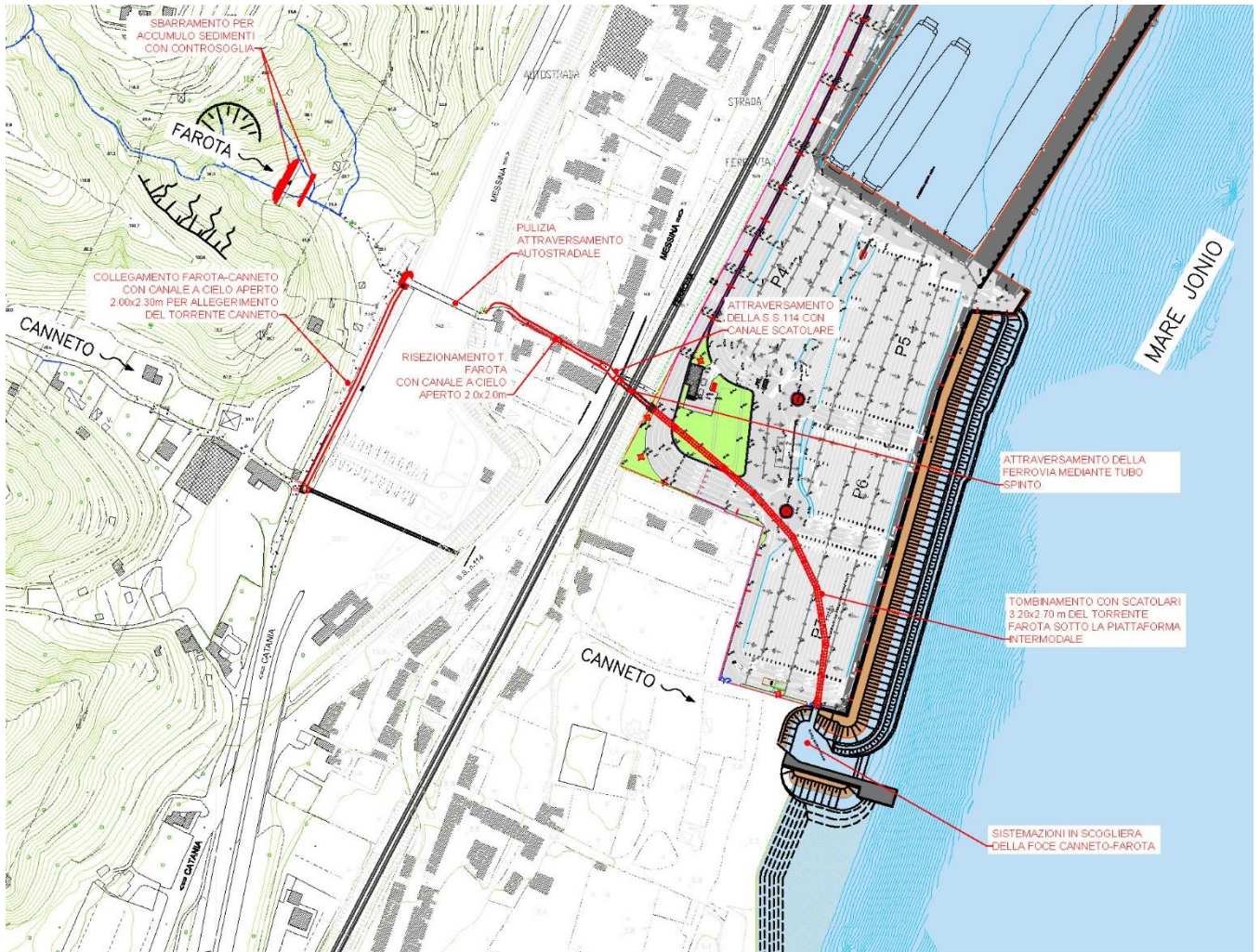


Figura 35: planimetria generale delle opere di regimazione dei torrenti Farota e Canneto



### 2.3.3 TORRENTE GUIDARI

Si prevedono pertanto le seguenti opere:

- Sistemazioni del bacino imbrifero a monte della autostrada mediante:
  - Realizzazione di 1 briglia in gabbioni che consentirà la realizzazione di 1 bacino di accumulo del materiale solido per un volume complessivo di circa 1000 mc.
  - Apertura di una pista di accesso alla briglia, ricavata adeguando il tracciato della vecchia pista preesistente, allo scopo di poter realizzare e mantenere le opere, rimuovendo periodicamente il materiale depositatosi a tergo.
  - Interventi localizzati di sistemazione dei muri di riva dissestati
  - Rimozione del materiale depositato in alveo.

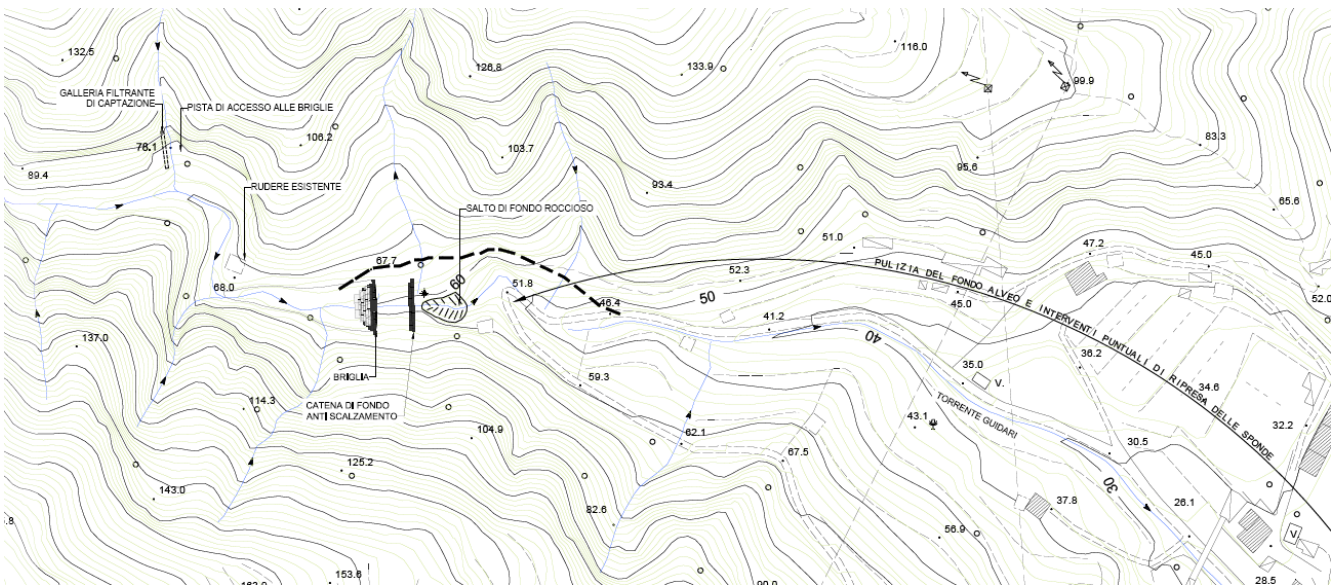


Figura 36 : Estratto della planimetria di progetto con l'ubicazione della briglia di sistemazione dell'asta.

- Nel tratto compreso tra l'autostrada e la ferrovia, verrà realizzata una vasca di accumulo dei sedimenti, di lunghezza 44 m, larghezza media 8 m e profondità media di 3.0 m, per un volume complessivo (al netto delle rampe di accesso) di circa 750 mc che consentirà di sedimentare il materiale trasportato dal torrente nel tratto a valle delle briglie di regimazione previste, prima dell'ingresso nella piattaforma portuale di progetto. Tale vasca sarà realizzata mediante sostegno delle sponde in micropali, protezione di fondo in gabbionate spessore 50 cm e briglia iniziale e terminale in gabbioni da 2x1x1 m sovrapposti.

SEZIONE MONTE (monte SS)

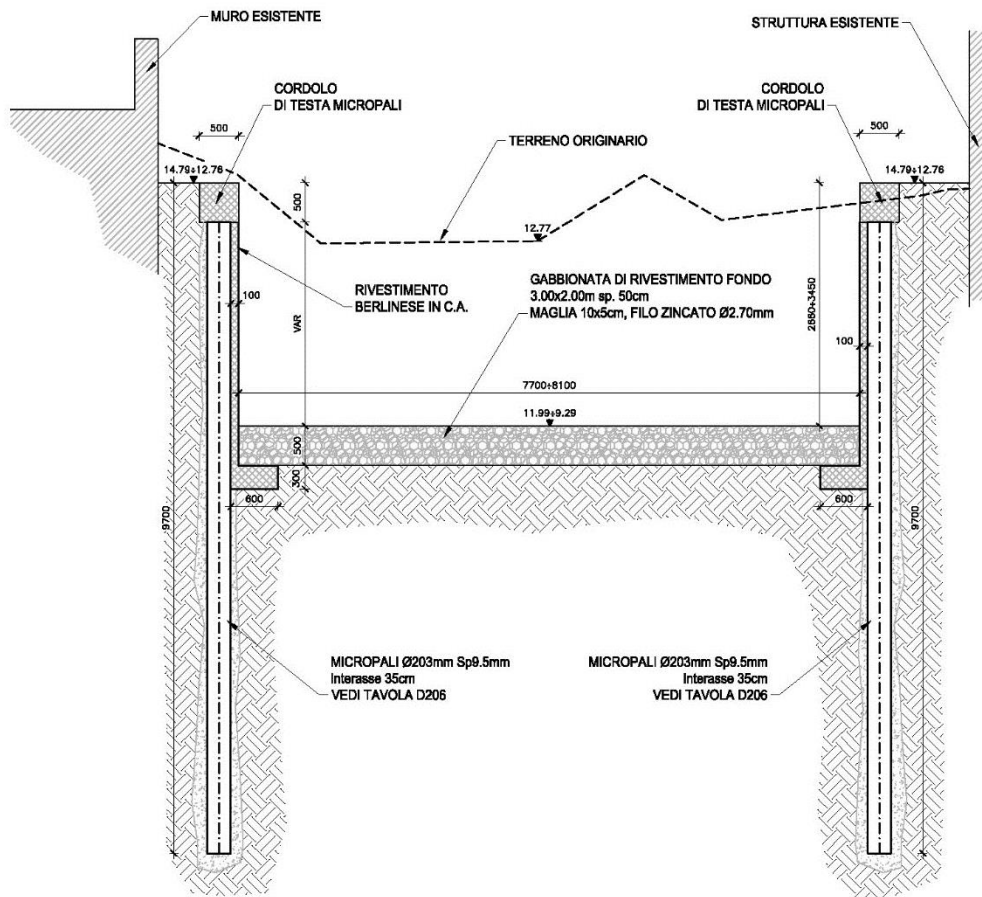


Figura 37: approfondimento del canale tra autostrada e s.s.

- Si prevede l'adeguamento del sottopasso della strada statale, mediante approfondimento dello stesso, per garantire la sicurezza idraulica delle infrastrutture. L'opera consisterà nella realizzazione di un nuovo impalcato, in sostituzione dell'esistente, fondato su pali.
- A valle della S.S. si prevede l'abbassamento dell'alveo con opere di difesa spondale e la pulizia del sottopasso ferroviario che risulta di dimensioni adeguate per lo smaltimento della portata di piena.
- A valle della ferrovia e prima dell'ingresso nella piattaforma portuale, verrà realizzato un salto di fondo protetto da pali di diametro 1000 mm
- Il tratto di canale all'interno della piattaforma logistica, interrato, verrà realizzato mediante la costruzione di diaframmi laterali e impalcato superiore in travi prefabbricate.

COMUNE DI MESSINA - LAVORI DI COSTRUZIONE DELLA PIATTAFORMA LOGISTICA  
INTERMODALE TREMESTIERI CON ANNESSO SCALO PORTUALE - PRIMO STRALCIO FUNZIONALE  
PROGETTO ESECUTIVO

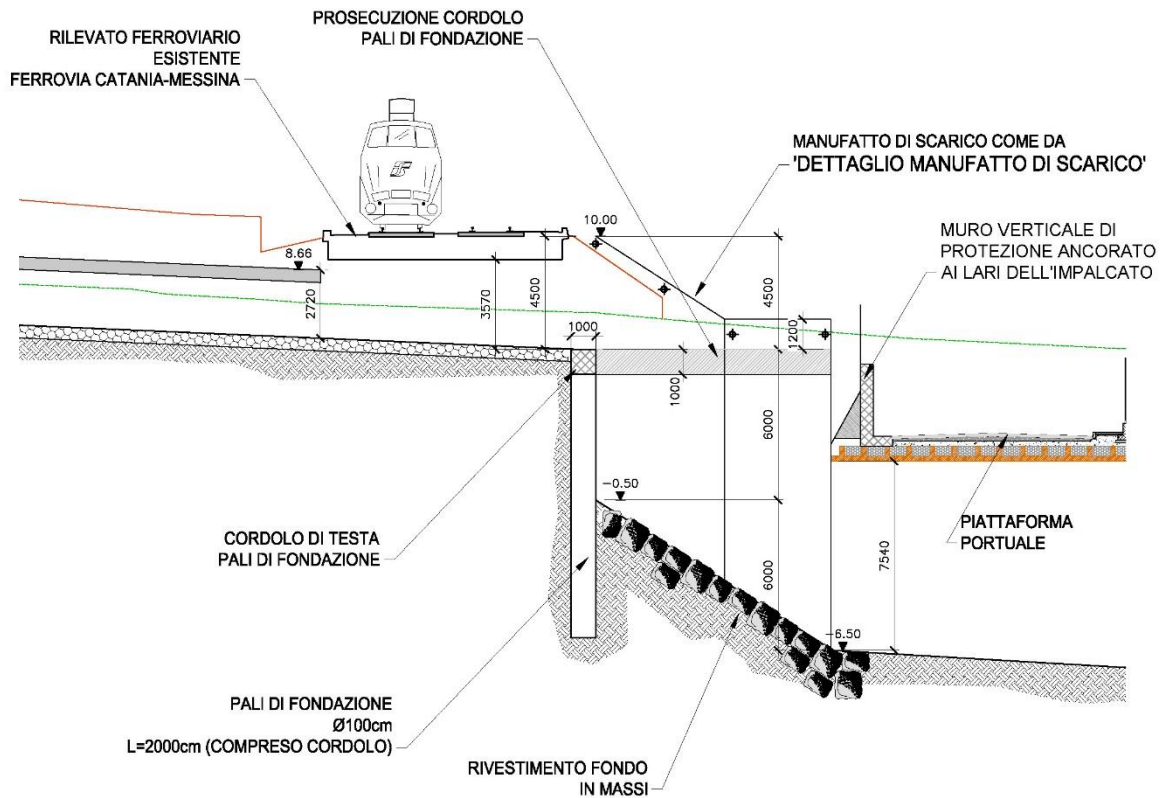


Figura 38: uscita del Guidari nella piattaforma portuale di progetto.

#### **2.3.4 TORRENTE PALUMARA**

Il torrente Palumara interseca nella parte più settentrionale la nuova piattaforma logistica.

Esso risulta attualmente parzialmente tombinato nei pressi dell'ingresso del porto esistente.

Si prevede l'adeguamento dell'opera con la realizzazione di un nuovo tombinamento con prefabbricati 2x2 m, e la realizzazione di un salto di fondo per il collegamento con l'attraversamento ferroviario esistente.

Per lo sfocio a mare si prevede la realizzazione di un pozzetto in opera 4.50x3.0 m dal quale si dipartono 3 condotte DN 1200 in PP rinfiancate in calcestruzzo con scarico a mare sotto la mantellata in massi.

Le tubazioni sfoceranno a mare a quota -2.00 m slm. Questa quota di scorrimento garantirà il funzionamento a pressione anche durante le mareggiate e sarà sufficientemente elevata in modo da scongiurare fenomeni di intasamento per eventuali sedimenti trasportati dalle correnti marine.

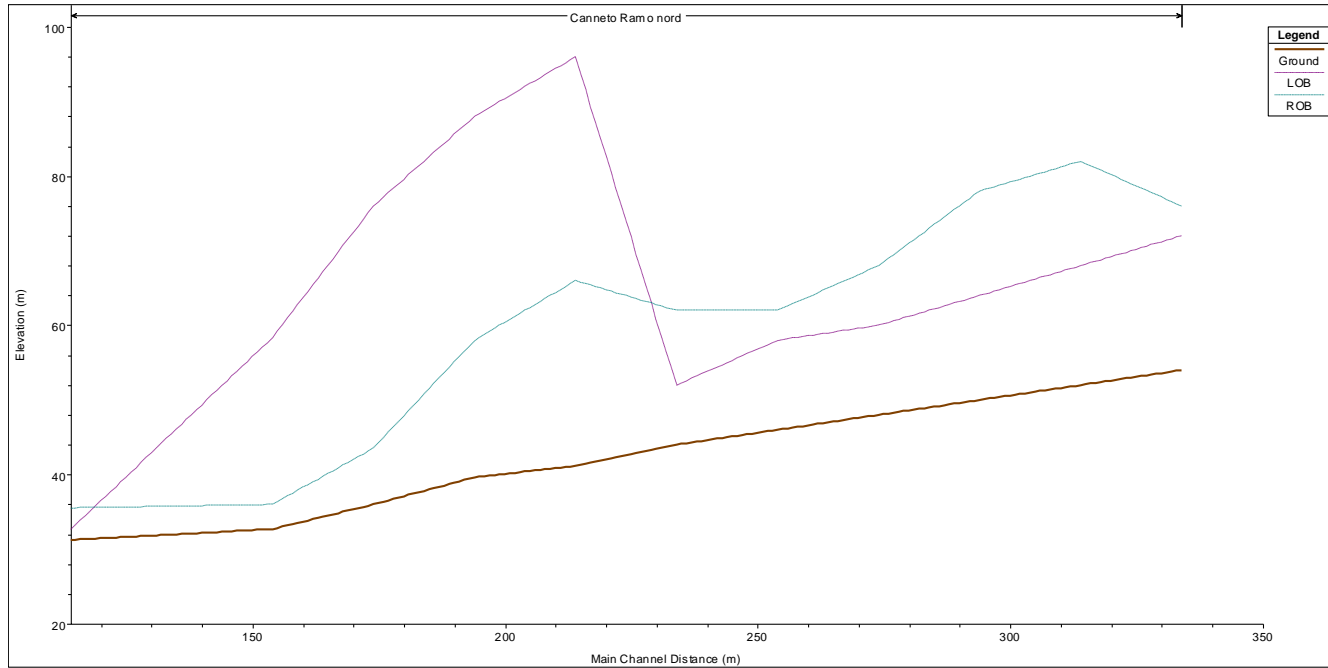




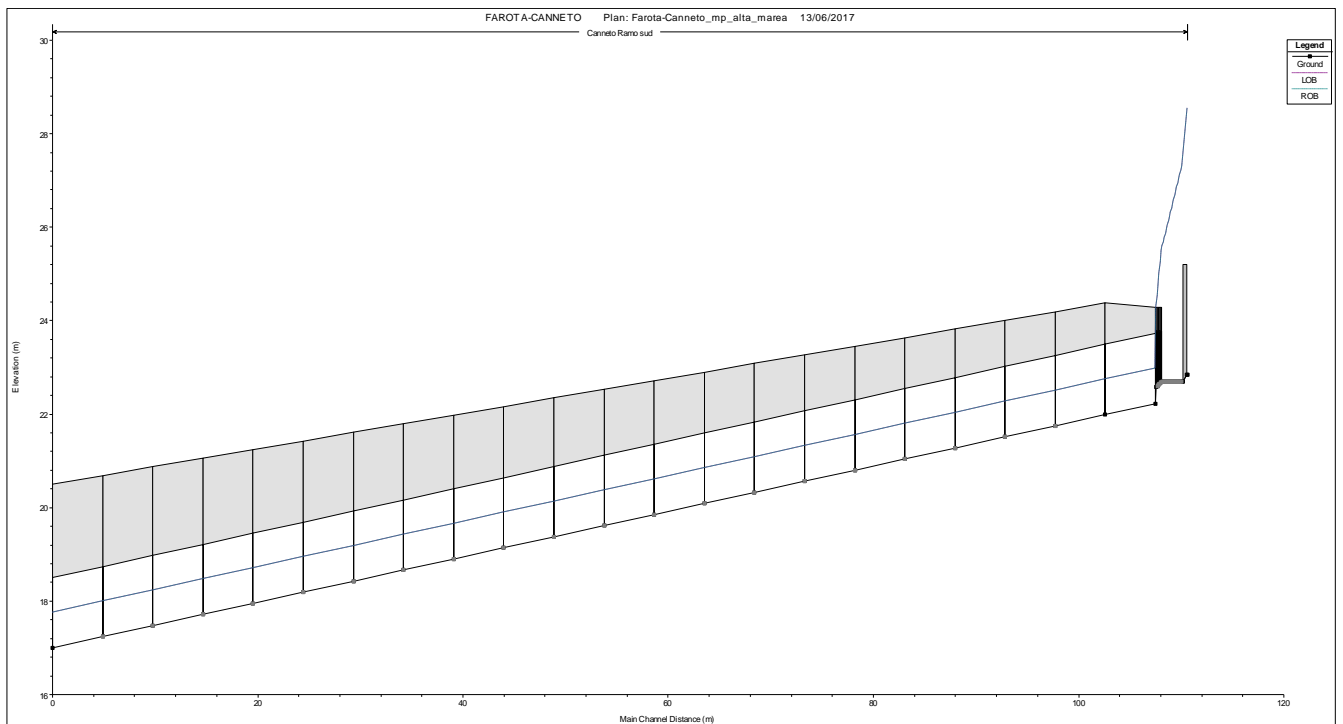
Per le verifiche idrauliche sono stati inseriti tombinamenti e attraversamenti esistenti con le opere previste nel presente progetto (tombinamento finale del torrente Farota con scatolare 3,20x2,70, canale 2.50x2.50 di collegamento del Canneto con il Farota, ecc.).

Come coefficiente di scabrezza si sono assunti ai fini della modellazione idraulica un valore di Strickler pari a  $30 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$  nei tratti torrentizi e  $70 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$  nei tratti tombinati.

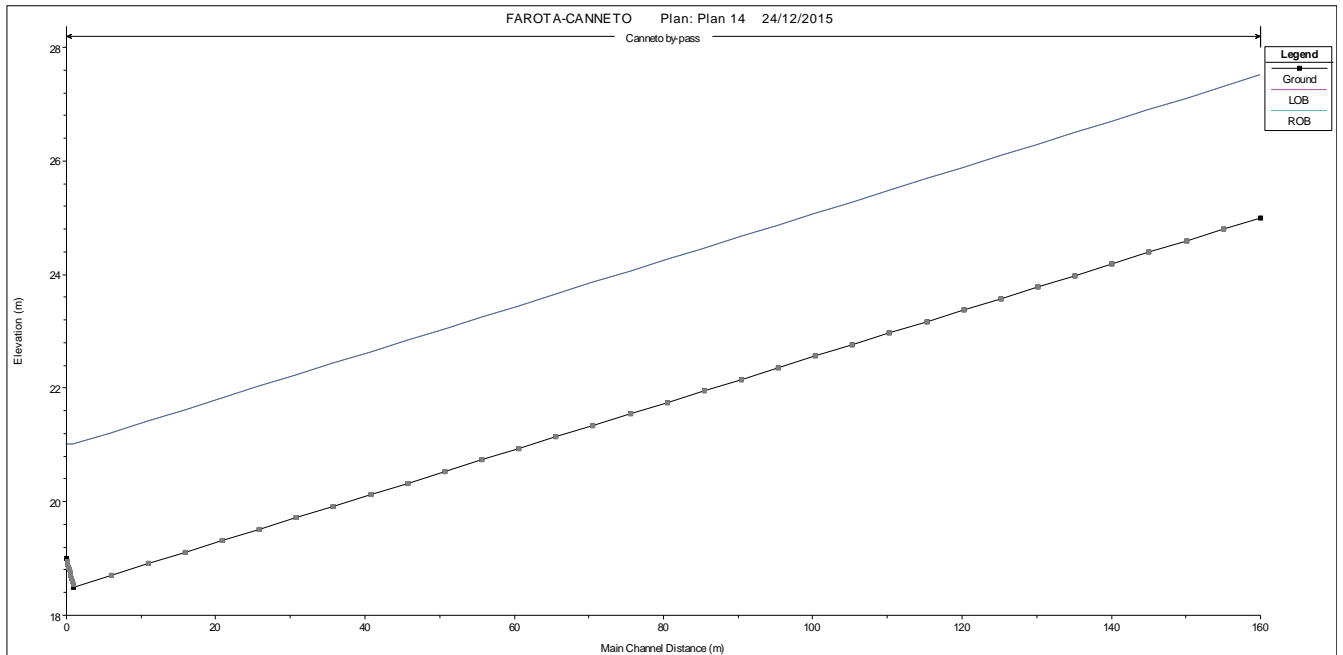
Si riportano di seguito i profili altimetrici dei corsi d'acqua indagati.



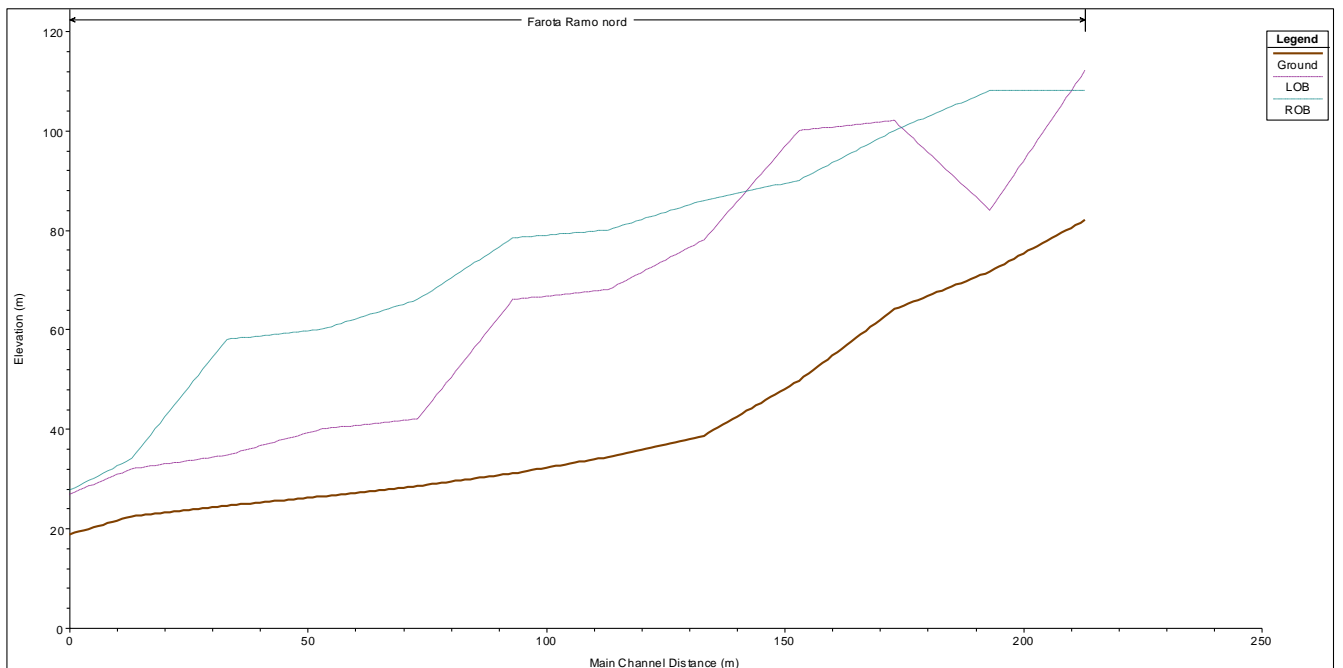
**Figura 40 : Torrente Canneto – Tratto a monte dell'Autostrada.**



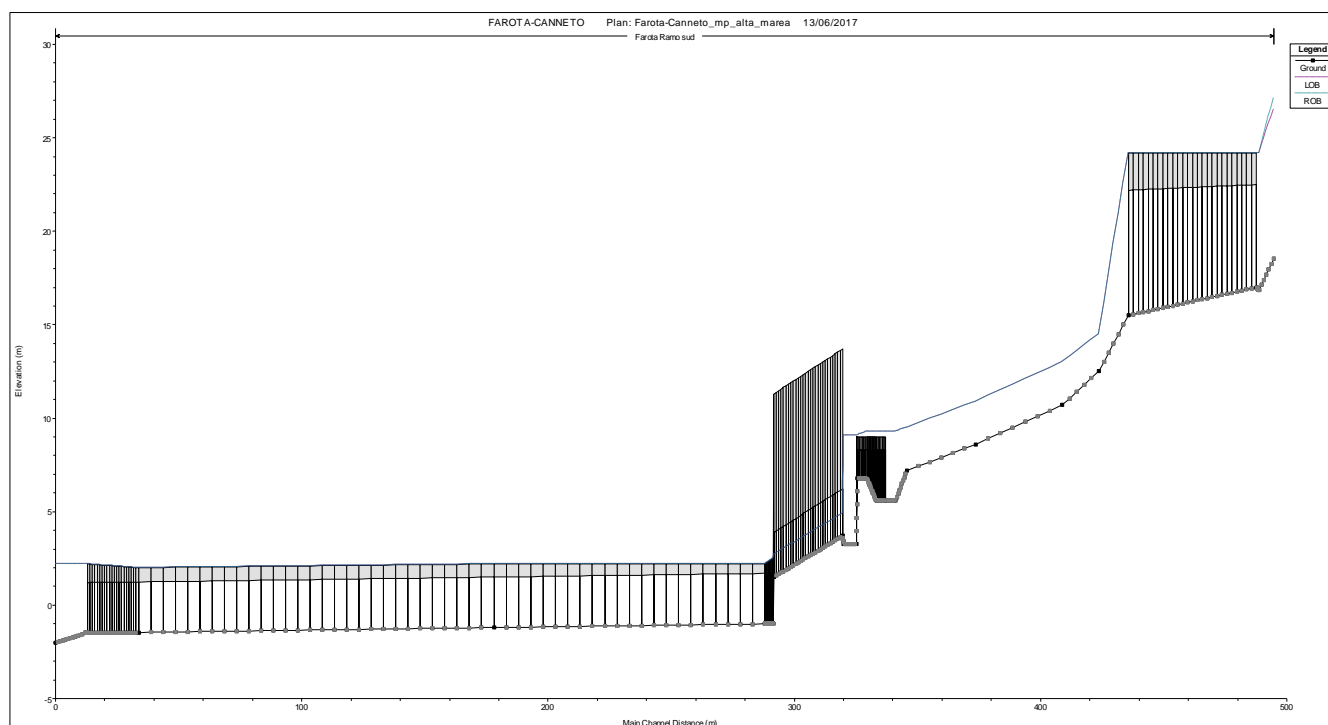
**Figura 41 : Torrente Canneto – Tombinamento sotto l'autostrada.**



**Figura 42 : Canale 250x250 cm di collegamento tra Canneto e Farota.**



**Figura 43 : Torrente Farota – Tratto a monte dell'autostrada.**



**Figura 44 : Torrente Farota – Tratto a valle dell’autostrada.**

#### 2.4.1.2.2 Le condizioni al contorno

Ai fini delle simulazioni idrauliche, come condizioni al contorno sono stati assunti:

- Portate di piena generate dai singoli sottobacini con Tempo di Ritorno 300 anni;
- Livello medio del mare pari a +0.34 m slm, corrispondente alla condizione di alta marea.

Per quanto concerne il moto ondoso, data la nuova geometria dello sbocco del Farota-Canneto nella trappola Sud, si può affermare che la penetrazione del moto ondoso nello scatolare dovrebbe essere alquanto modesta e la soluzione pratica per ridurla è realizzare una luce grigliata sullo scatolare per dissipare le pulsazioni provenienti dallo sbocco.

In ogni caso, la persistenza di livelli oltre quello della massima marea prevista è da considerarsi quasi istantanea.

La massima altezza d'onda che può esistere sul fondale di -2.5 di fronte allo sbocco, tenendo conto anche del sovrizzo di +0.34 è circa  $0.8 \cdot (2.5 + 0.34) = 2.27$ , pari ad una quota max di cresta di +1.82 sopra il livello di calma e +2.16 sul medio mare.

Il livello dell'acqua potrebbe quindi superare la quota della generatrice superiore dello scatolare, ma ciò avviene per non più di un decimo del periodo d'onda (circa 1 s) e solo per le onde più alte della mareggiata.

Questo livello non è quindi in grado di influenzare il deflusso medio dello scatolare, salvo il fatto di il funzionamento alternato tubo pieno / tubo vuoto.



Si procede pertanto con le verifiche dello scatolare assumendo la condizione di alta marea allo sbocco di +0.34 m slm.

Per lo sbocco del torrente Guidari, essendo lo stesso interno alla darsena portuale, la problematica delle onde è praticamente nulla.

#### 2.4.1.2.3 Risultati delle simulazioni

##### TORRENTE CANNETO

Il torrente Canneto risulta caratterizzato da una corrente rapida con accelerazioni importanti in corrispondenza del manufatto di salto presente a monte dell'autostrada.

Al di sotto del sedime autostradale il torrente risulta caratterizzato da una condotta di diametro interno DN 1500 mm dove il moto si sviluppa in corrente rapida accelerata.

Nei profili e tabelle che seguono si riportano i principali parametri idraulici ed i livelli di piena della corrente con riferimento all'evento con tempo di ritorno di 300 anni.

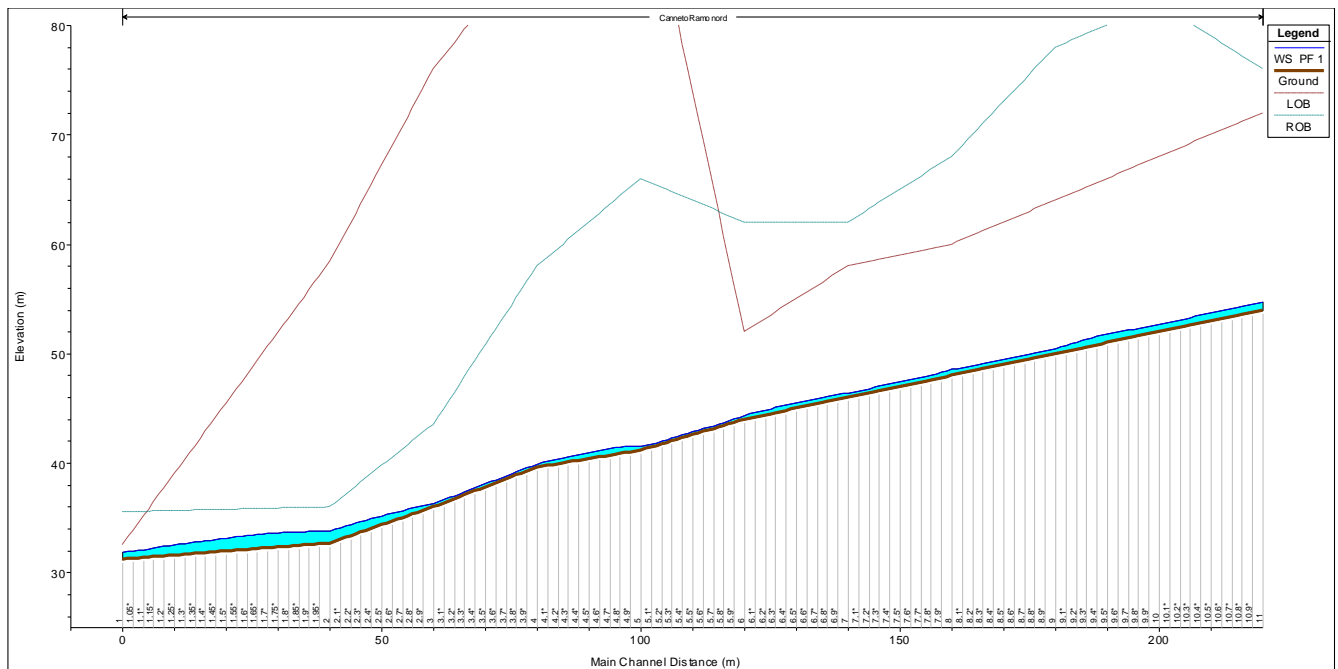
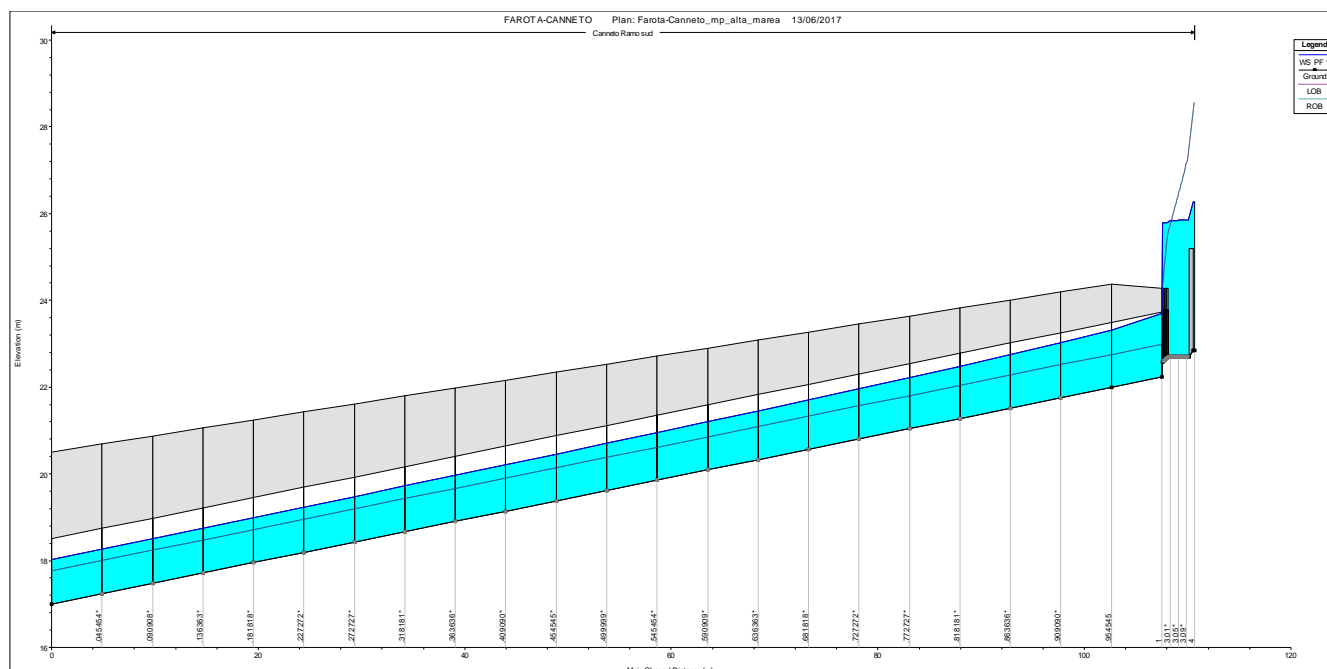


Figura 45 : Profilo idraulico del torrente Canneto a monte dell'autostrada.

COMUNE DI MESSINA - LAVORI DI COSTRUZIONE DELLA PIATTAFORMA LOGISTICA  
INTERMODALE TREMESTIERI CON ANNESSO SCALO PORTUALE - PRIMO STRALCIO FUNZIONALE  
PROGETTO ESECUTIVO

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m <sup>3</sup> /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 (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude # Chl
Ramo nord	11	PF 1	8.73	54.00	54.76	54.76	54.95	0.015840	1.93	4.53	11.96	1.00
Ramo nord	10	PF 1	8.73	52.00	52.68	52.93	53.53	0.103525	4.10	2.13	6.30	2.25
Ramo nord	9	PF 1	8.73	50.00	50.51	50.76	51.45	0.132073	4.30	2.03	7.90	2.70
Ramo nord	8	PF 1	8.73	48.00	48.65	48.86	49.30	0.065562	3.59	2.43	7.51	2.01
Ramo nord	7	PF 1	8.73	46.00	46.44	46.62	47.06	0.105257	3.47	2.51	11.42	2.36
Ramo nord	6	PF 1	8.73	44.00	44.41	44.60	45.10	0.130556	3.67	2.38	11.55	2.59
Ramo nord	5	PF 1	10.60	41.18	41.55	41.68	42.01	0.090157	3.01	3.52	18.16	2.19
Ramo nord	4	PF 1	10.60	39.63	39.93	40.10	40.69	0.203667	3.84	2.76	18.09	3.14
Ramo nord	3	PF 1	10.60	36.00	36.36	36.70	37.71	0.142738	5.14	2.06	6.48	2.91
Ramo nord	2	PF 1	10.60	32.69	33.90	34.24	35.52	0.102030	5.64	1.88	3.12	2.32
Ramo nord	1	PF 1	12.58	30.23	30.82	31.05	31.59	0.054550	3.90	3.23	7.20	1.86
Ramo nord	0.5	PF 1	12.58	25.00	25.30	26.00	30.96	0.742083	10.54	1.19	3.98	6.15

**Tabella 1 : Caratteristiche idrauliche del Torrente Canneto nel tratto a monte dell'autostrada.**



**Figura 46 : Profilo idraulico del torrente Canneto nel tratto al di sotto dell'autostrada.**

River	Reach	River Sta	Profile	Q Total (m <sup>3</sup> /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 (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude # Chl
Canneto	Ramo sud	4	PF 1	8.02	22.85	26.26	23.57	26.28	0.000044	0.56	14.34	4.20	0.10
Canneto	Ramo sud	3.2	Inl Struct										
Canneto	Ramo sud	3.1	PF 1	8.02	22.70	25.86		25.88	0.000054	0.60	13.26	4.20	0.11
Canneto	Ramo sud	3	PF 1	8.02	22.70	25.80	23.69	25.87	0.000638	1.19	6.76	2.60	0.22
Canneto	Ramo sud	2	PF 1	8.02	22.58	25.78	23.66	25.87	0.000593	1.31	6.13	2.27	0.23
Canneto	Ramo sud	1	PF 1	10.81	22.23	23.69	23.69	25.68	0.025990	6.24	1.73	0.44	1.65
Canneto	Ramo sud	0	PF 1	10.81	17.00	18.03	18.47	21.72	0.044236	8.51	1.27	1.37	2.68

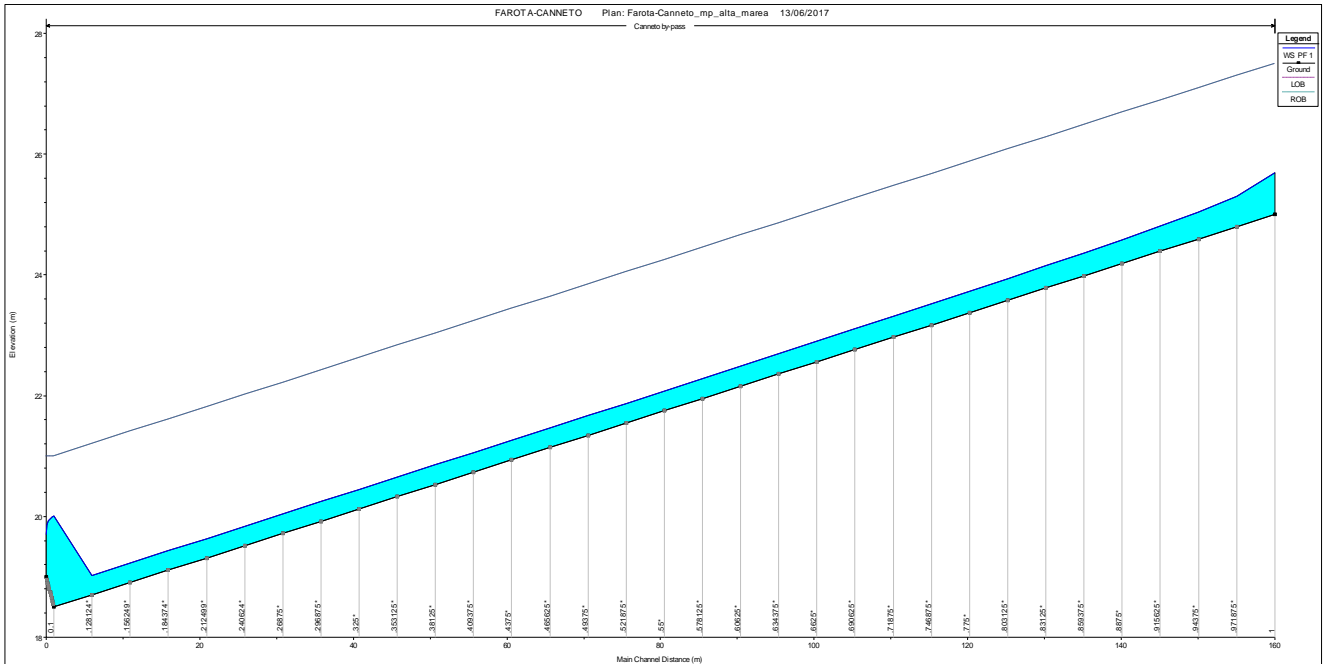
**Tabella 2 : Caratteristiche idrauliche del Torrente Canneto nel tratto al di sotto dell'autostrada.**

Tra le opere di progetto, per sgravare il torrente Canneto, si prevede la realizzazione di un collegamento idraulico con il torrente Farota.

In condizioni di piena la portata transitante lungo il torrente Canneto raggiunge un picco di circa 15,4 mc/s (TR=300 anni).

Per garantire il corretto smaltimento delle portate di piena a valle dell'autostrada è necessario allontanare dall'asta del Canneto una portata di circa 4,58 mc/s. A tal fine si prevede la posa di un canale a cielo aperto 250x250 cm per uno sviluppo di circa 160 m con sbocco sul Farota a monte del ponte autostradale.

L'assetto idraulico del collettore di by-pass è riportato nel profilo e tabella seguente.



**Figura 47 : Profilo idraulico del collettore di by-pass tra il torrente Canneto ed il torrente Farota.**



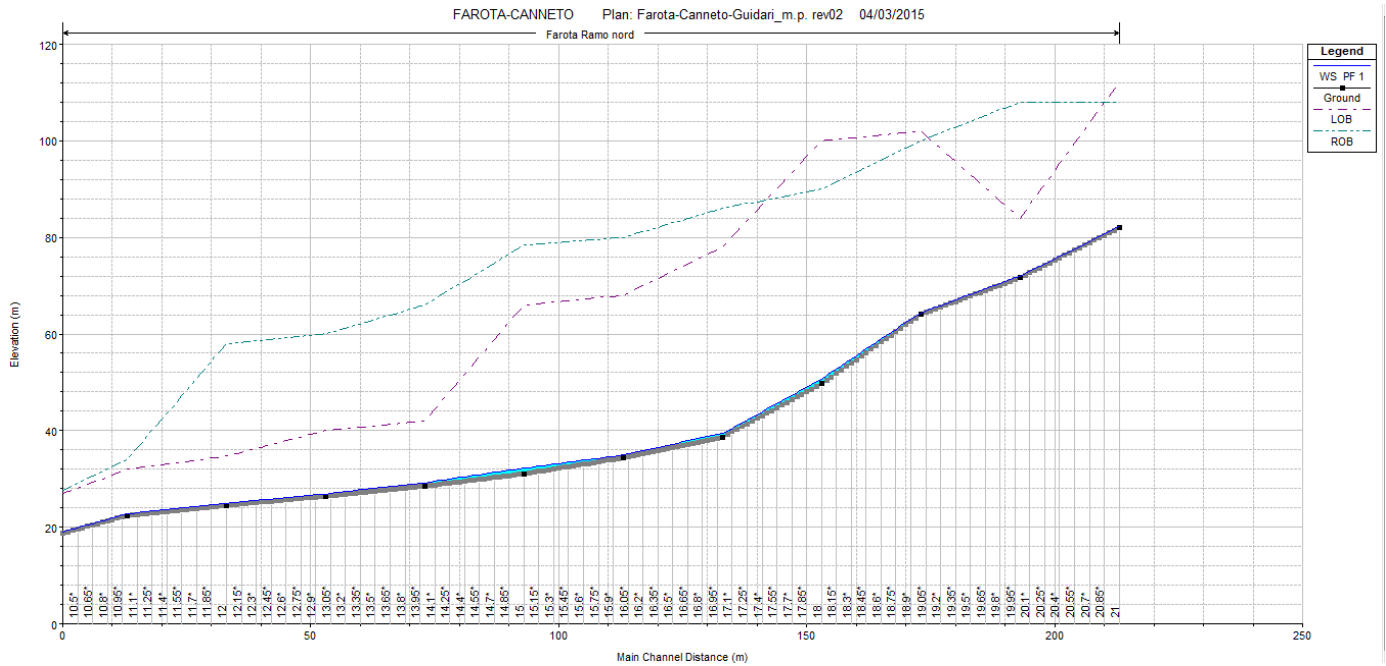
COMUNE DI MESSINA - LAVORI DI COSTRUZIONE DELLA PIATTAFORMA LOGISTICA  
INTERMODALE TREMESTIERI CON ANNESSO SCALO PORTUALE - PRIMO STRALCIO FUNZIONALE  
PROGETTO ESECUTIVO

Reach	River Sta	Profile	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
by-pass	1	PF 1	4.58	25.00	25.70	25.70	26.05	0.004060	2.63	1.74	2.50	1.00
by-pass	971875*	PF 1	4.58	24.80	25.30	25.50	25.98	0.010587	3.66	1.25	2.48	1.65
by-pass	94375*	PF 1	4.58	24.59	25.04	25.29	25.90	0.014918	4.11	1.11	2.48	1.96
by-pass	915625*	PF 1	4.58	24.39	24.81	25.09	25.81	0.018664	4.43	1.03	2.48	2.19
by-pass	8875*	PF 1	4.58	24.19	24.58	24.89	25.69	0.021956	4.67	0.98	2.48	2.37
by-pass	859375*	PF 1	4.58	23.98	24.36	24.68	25.57	0.024720	4.86	0.94	2.48	2.52
by-pass	83125*	PF 1	4.58	23.78	24.15	24.48	25.43	0.027201	5.02	0.91	2.48	2.64
by-pass	803125*	PF 1	4.58	23.58	23.94	24.28	25.28	0.029335	5.14	0.89	2.48	2.74
by-pass	775*	PF 1	4.58	23.38	23.73	24.08	25.13	0.031157	5.25	0.87	2.48	2.82
by-pass	746875*	PF 1	4.58	23.17	23.52	23.87	24.96	0.032626	5.33	0.86	2.48	2.89
by-pass	71875*	PF 1	4.58	22.97	23.31	23.67	24.79	0.033907	5.39	0.85	2.48	2.94
by-pass	690625*	PF 1	4.58	22.77	23.10	23.47	24.62	0.035032	5.45	0.84	2.48	2.99
by-pass	6625*	PF 1	4.58	22.56	22.90	23.26	24.44	0.036024	5.50	0.83	2.48	3.03
by-pass	634375*	PF 1	4.58	22.36	22.69	23.06	24.26	0.036762	5.54	0.83	2.48	3.06
by-pass	60625*	PF 1	4.58	22.16	22.49	22.86	24.07	0.037411	5.57	0.82	2.48	3.09
by-pass	578125*	PF 1	4.58	21.95	22.28	22.65	23.88	0.037969	5.60	0.82	2.48	3.11
by-pass	55*	PF 1	4.58	21.75	22.08	22.45	23.69	0.038447	5.62	0.81	2.48	3.13
by-pass	521875*	PF 1	4.58	21.55	21.87	22.25	23.50	0.039848	5.64	0.81	2.48	3.15
by-pass	49375*	PF 1	4.58	21.34	21.67	22.04	23.30	0.039184	5.66	0.81	2.48	3.16
by-pass	465625*	PF 1	4.58	21.14	21.47	21.84	23.10	0.039465	5.67	0.81	2.48	3.17
by-pass	4375*	PF 1	4.58	20.94	21.26	21.64	22.91	0.039641	5.68	0.81	2.48	3.18
by-pass	409375*	PF 1	4.58	20.73	21.06	21.43	22.71	0.039825	5.69	0.81	2.48	3.19
by-pass	38125*	PF 1	4.58	20.53	20.86	21.23	22.51	0.040009	5.70	0.80	2.48	3.19
by-pass	353125*	PF 1	4.58	20.33	20.65	21.03	22.31	0.040199	5.70	0.80	2.48	3.20
by-pass	325*	PF 1	4.58	20.13	20.45	20.83	22.11	0.040312	5.71	0.80	2.48	3.21
by-pass	296875*	PF 1	4.58	19.92	20.25	20.62	21.91	0.040410	5.71	0.80	2.48	3.21
by-pass	26875*	PF 1	4.58	19.72	20.04	20.42	21.71	0.040495	5.72	0.80	2.48	3.21
by-pass	240624*	PF 1	4.58	19.52	19.84	20.22	21.51	0.040568	5.72	0.80	2.48	3.22
by-pass	212499*	PF 1	4.58	19.31	19.63	20.01	21.30	0.040656	5.73	0.80	2.48	3.22
by-pass	184374*	PF 1	4.58	19.11	19.43	19.81	21.10	0.040712	5.73	0.80	2.48	3.22
by-pass	156249*	PF 1	4.58	18.91	19.23	19.61	20.90	0.040768	5.73	0.80	2.48	3.22
by-pass	128124*	PF 1	4.58	18.70	19.03	19.40	20.70	0.040820	5.73	0.80	2.48	3.23
by-pass	0.1	PF 1	4.58	18.50	20.01	19.20	20.08	0.000503	1.22	3.75	2.49	0.32
by-pass	.09*	PF 1	4.58	18.55	20.00		20.08	0.000556	1.27	3.60	2.49	0.34
by-pass	.08*	PF 1	4.58	18.60	19.99		20.08	0.000618	1.32	3.46	2.49	0.36
by-pass	.07*	PF 1	4.58	18.65	19.98		20.08	0.000693	1.38	3.31	2.49	0.38
by-pass	.06*	PF 1	4.58	18.70	19.97		20.08	0.000784	1.45	3.16	2.49	0.41
by-pass	.05*	PF 1	4.58	18.75	19.96		20.08	0.000897	1.52	3.01	2.49	0.44
by-pass	.04*	PF 1	4.58	18.80	19.94		20.08	0.001041	1.61	2.84	2.49	0.48
by-pass	.03*	PF 1	4.58	18.85	19.93		20.07	0.001233	1.71	2.67	2.49	0.53
by-pass	.02*	PF 1	4.58	18.90	19.90		20.07	0.001508	1.85	2.48	2.49	0.59
by-pass	.01*	PF 1	4.58	18.95	19.86		20.07	0.001959	2.03	2.26	2.49	0.68
by-pass	0	PF 1	4.58	19.00	19.70	19.70	20.05	0.004076	2.63	1.74	2.49	1.01

**Tabella 3 : Caratteristiche idrauliche del collettore di by-pass tra il torrente Canneto ed il torrente Farota.**

**TORRENTE FAROTA**

L'assetto idraulico del torrente Farota risulta caratterizzato, nel tratto a monte dell'autostrada, da un corrente di tipo rapido, mentre nel tratto di valle, per la presenza di restringimenti e riduzioni di pendenza, si alternano correnti lente a correnti veloci. Si riportano di seguito i risultati della simulazione con riferimento all'evento con tempo di ritorno di 300 anni.

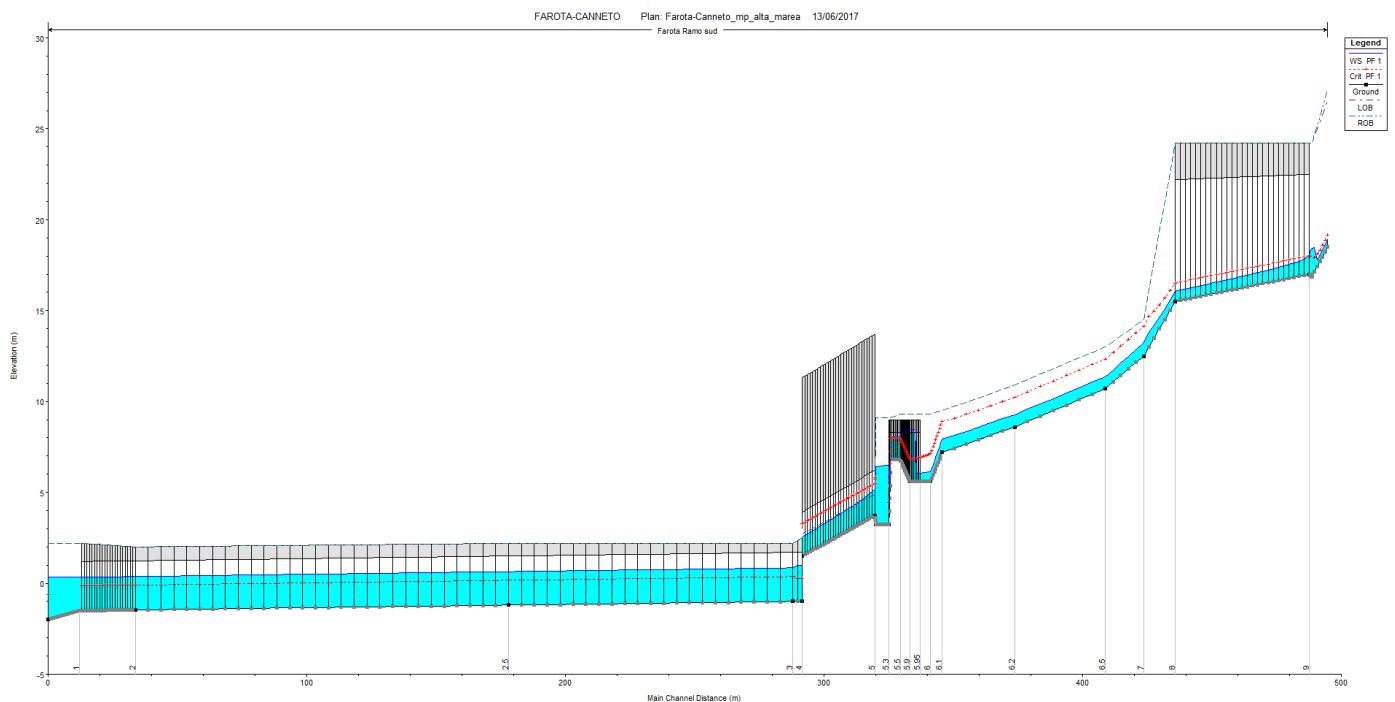


**Figura 48 : Profilo idraulico del torrente Farota a monte dell'autostrada.**

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m <sup>3</sup> /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 (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude # Chl
Ramo nord	21	PF 1	6.38	82.00	82.53	82.53	82.73	0.016340	1.97	3.24	8.36	1.01
Ramo nord	20	PF 1	6.38	71.64	71.99	72.31	74.28	0.502335	6.70	0.95	5.33	5.06
Ramo nord	19	PF 1	6.38	64.07	64.34	64.65	66.12	0.386317	5.91	1.08	5.92	4.42
Ramo nord	18	PF 1	6.38	49.69	50.66	51.43	55.66	0.636392	9.90	0.64	1.36	4.59
Ramo nord	17	PF 1	6.38	38.65	39.37	40.02	44.03	0.567345	9.57	0.67	1.87	5.11
Ramo nord	16	PF 1	6.38	34.36	34.91	35.31	36.99	0.266048	6.38	1.00	3.60	3.87
Ramo nord	15	PF 1	6.38	31.06	32.23	32.59	33.50	0.139884	5.00	1.28	3.10	2.48
Ramo nord	14	PF 1	6.38	28.50	29.18	29.52	30.49	0.134200	5.08	1.26	3.69	2.78
Ramo nord	13	PF 1	6.38	26.42	26.86	27.02	27.50	0.156157	3.53	1.80	10.97	2.78
Ramo nord	12	PF 1	6.38	24.56	24.94	25.08	25.42	0.097733	3.08	2.07	10.99	2.26
Ramo nord	11	PF 1	6.38	22.42	22.77	22.92	23.28	0.109349	3.14	2.03	11.38	2.37

**Tabella 4 : Caratteristiche idrauliche del Torrente Farota nel tratto a monte dell'autostrada.**

COMUNE DI MESSINA - LAVORI DI COSTRUZIONE DELLA PIATTAFORMA LOGISTICA  
INTERMODALE TREMESTIERI CON ANNESSO SCALO PORTUALE - PRIMO STRALCIO FUNZIONALE  
PROGETTO ESECUTIVO



**Figura 49 : Profilo idraulico del torrente Farota a valle dell'autostrada.**

Nel tratto di attraversamento della SS114 e della Ferrovia, la portata con  $Tr=300$  anni è di 16.0 mc/s.

Al di sotto della statale, si prevede la posa di uno scatolare 350x280 cm (350x150 cm nel tratto di interferenza con il condotto fognario), mentre per l'attraversamento della ferrovia verrà spinta una tubazione DN 2400 mm, che collega la canaletta a cielo aperto con lo scatolare 3,20x2,70 m di scarico a mare

Le simulazioni effettuate hanno dimostrato la sufficienza della soluzione proposta anche con eventi trecentennali di piena.

La corrente è di moto rapido con la formazione di un risalto nel tratto a monte della statale, contenuto nella vasca di decantazione predisposta.



COMUNE DI MESSINA - LAVORI DI COSTRUZIONE DELLA PIATTAFORMA LOGISTICA  
INTERMODALE TREMESTIERI CON ANNESSO SCALO PORTUALE - PRIMO STRALCIO FUNZIONALE  
PROGETTO ESECUTIVO

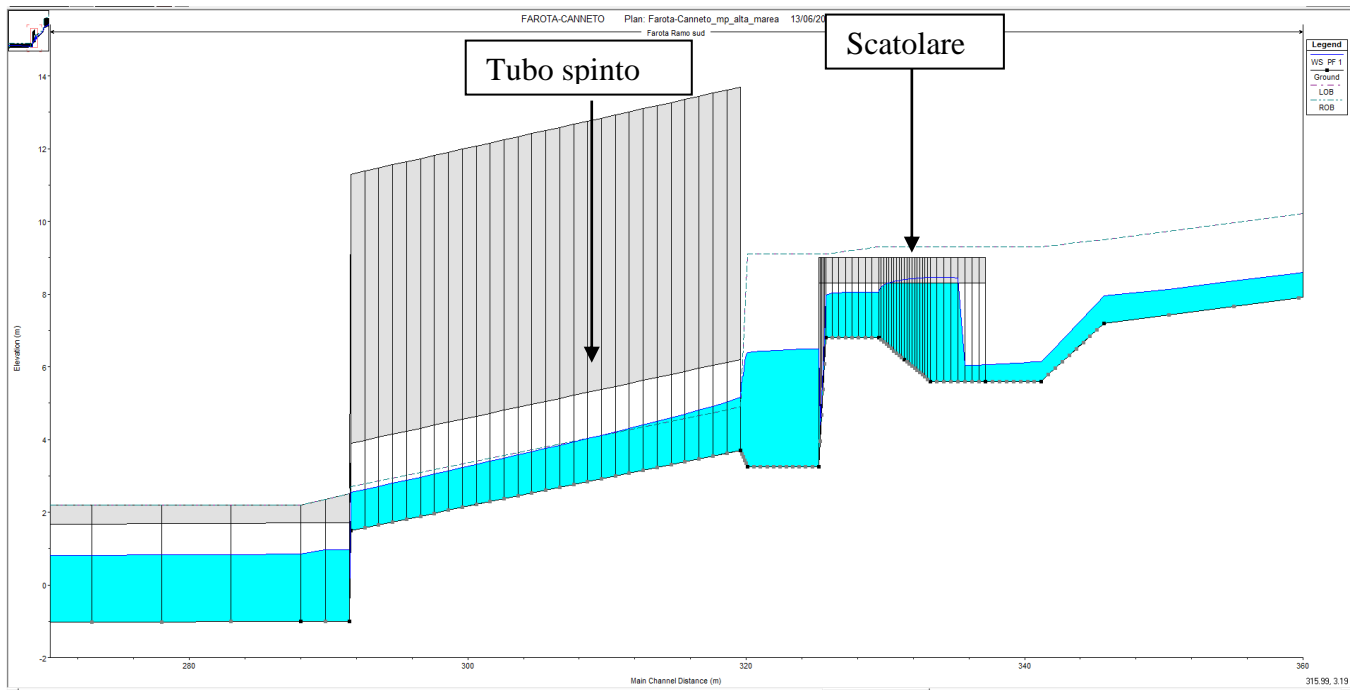


Figura 50: profilo di piena nel tratto di attraversamento della SS114 e della linea ferroviaria

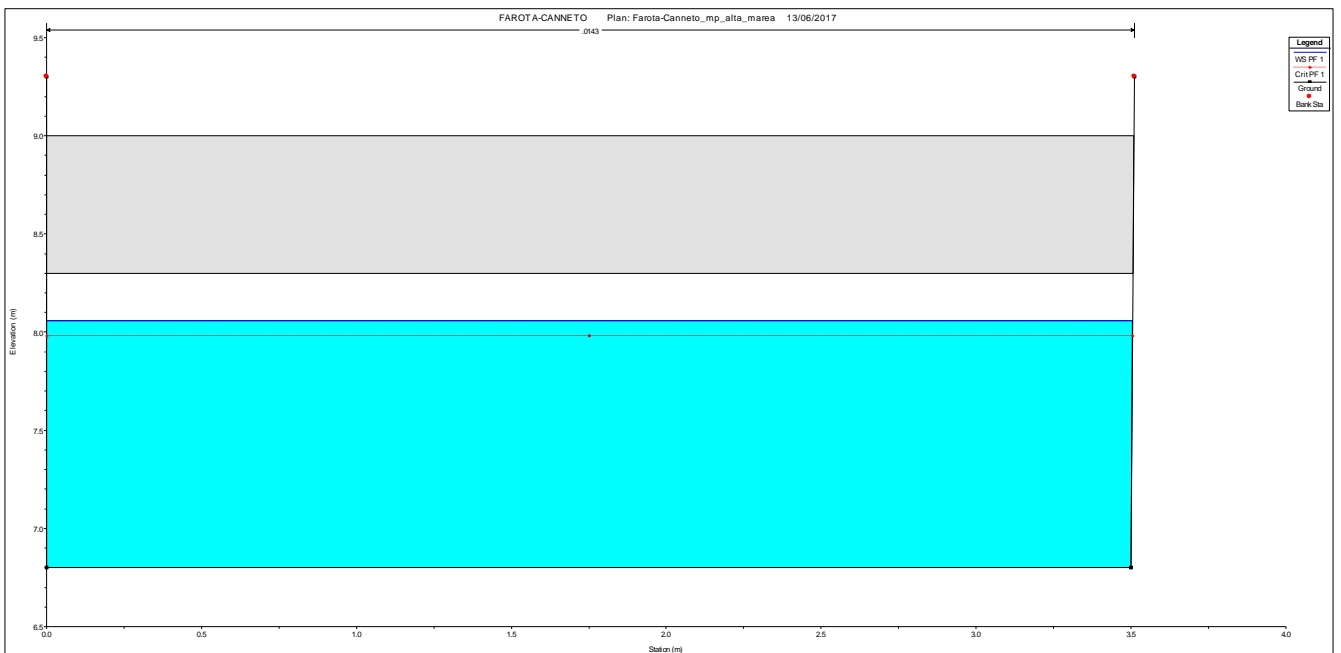


Figura 51: sezione idraulica di piena nello scatolare di attraversamento della SS114

COMUNE DI MESSINA - LAVORI DI COSTRUZIONE DELLA PIATTAFORMA LOGISTICA  
INTERMODALE TREMESTIERI CON ANNESSO SCALO PORTUALE - PRIMO STRALCIO FUNZIONALE  
PROGETTO ESECUTIVO

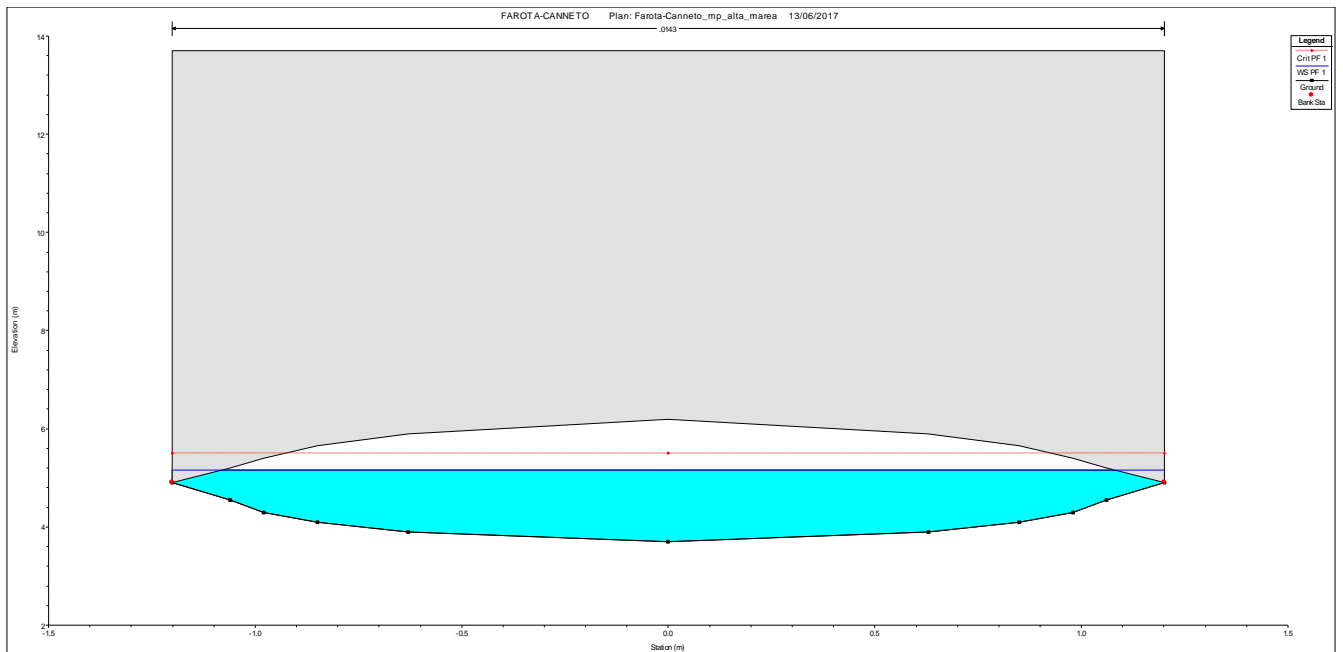


Figura 52: sezione idraulica di piena nel tubo spinto di attraversamento della linea ferroviaria

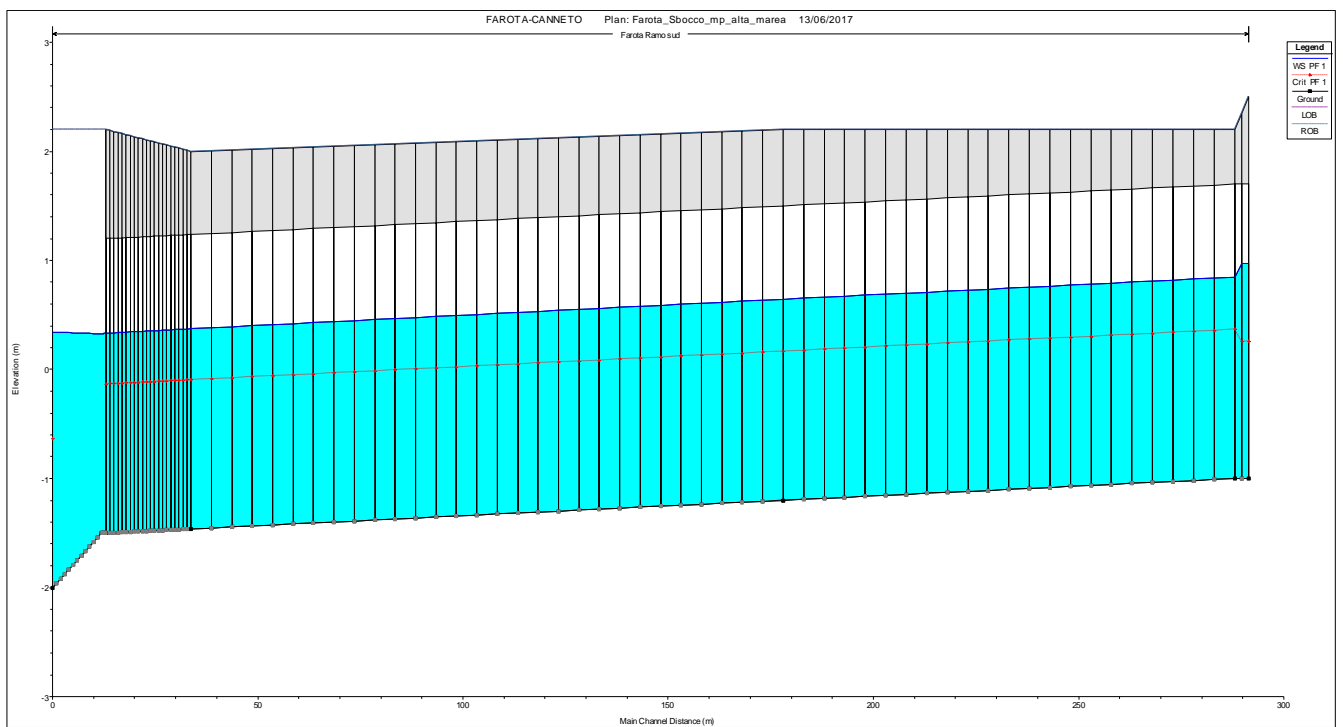


Figura 53 : Profilo idraulico del torrente Farota nel tratto di scarico a mare.

COMUNE DI MESSINA - LAVORI DI COSTRUZIONE DELLA PIATTAFORMA LOGISTICA  
INTERMODALE TREMESTIERI CON ANNESSO SCALO PORTUALE - PRIMO STRALCIO FUNZIONALE  
PROGETTO ESECUTIVO

River	Reach	River Sta	Profile	Q Total (m <sup>3</sup> /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 (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude # Chl
Farota	Ramo sud	10	PF 1	13.10	16.85	18.42		18.57	0.003186	1.70	7.69	5.70	0.47
Farota	Ramo sud	9	PF 1	13.10	17.00	18.02	18.02	18.53	0.003425	3.16	4.14	4.07	1.00
Farota	Ramo sud	8	PF 1	13.10	15.50	16.07	16.52	17.72	0.019634	5.69	2.30	4.07	2.42
Farota	Ramo sud	7	PF 1	13.10	12.50	13.23	14.12	17.30	0.051333	8.94	1.47	2.01	3.34
Farota	Ramo sud	6.5	PF 1	13.10	10.70	11.36	12.32	16.39	0.069127	9.94	1.32	2.01	3.92
Farota	Ramo sud	6.2	PF 1	13.10	8.60	9.27	10.22	14.06	0.064417	9.69	1.35	2.01	3.78
Farota	Ramo sud	6.1	PF 1	14.09	7.20	7.95	8.91	12.35	0.054078	9.29	1.52	2.01	3.42
Farota	Ramo sud	6	PF 1	14.09	5.60	6.15	7.12	12.04	0.087139	10.75	1.31	2.40	4.65
Farota	Ramo sud	5.95	PF 1	14.09	5.60	6.05	6.93	11.68	0.092250	10.51	1.34	2.95	4.97
Farota	Ramo sud	5.9	PF 1	14.09	5.60	8.46	6.80	8.58	0.000701	1.53	9.19		0.29
Farota	Ramo sud	5.8	PF 1	14.09	6.20	8.40	7.38	8.58	0.001312	1.92	7.36		0.41
Farota	Ramo sud	5.5	PF 1	14.09	6.80	8.06	7.98	8.58	0.003160	3.20	4.41	3.50	0.91
Farota	Ramo sud	5.4	PF 1	14.09	6.80	7.98	7.98	8.57	0.003763	3.40	4.14	3.50	1.00
Farota	Ramo sud	5.3	PF 1	14.09	3.25	6.50	4.43	6.58	0.000263	1.24	11.98	3.51	0.22
Farota	Ramo sud	5.1	PF 1	14.09	3.25	6.40		6.57	0.000854	1.86	7.56	2.40	0.34
Farota	Ramo sud	5	PF 1	14.09	3.70	5.16	5.49	6.57	0.010492	5.27	2.67	2.16	1.40
Farota	Ramo sud	4.01	PF 1	14.09	1.50	2.54	3.29	5.96	0.033054	8.19	1.72	2.27	3.01
Farota	Ramo sud	4	PF 1	14.10	-1.00	0.97	0.26	1.23	0.001202	2.23	6.31	3.20	0.51
Farota	Ramo sud	3	PF 1	16.00	-1.00	0.85	0.37	1.22	0.001835	2.71	5.91	3.20	0.64
Farota	Ramo sud	2.5	PF 1	16.00	-1.20	0.64	0.17	1.02	0.001844	2.71	5.90	3.20	0.64
Farota	Ramo sud	2	PF 1	16.00	-1.46	0.37	-0.10	0.75	0.001866	2.72	5.87	3.20	0.64
Farota	Ramo sud	1.01	PF 1	16.00	-1.50	0.33	-0.13	0.71	0.001873	2.73	5.87	3.20	0.64
Farota	Ramo sud	1	PF 1	16.00	-1.50	0.32		0.71	0.010295	2.74	5.84	3.20	0.65

**Tabella 5 : Caratteristiche idrauliche del Torrente Farota nel tratto a valle dell'autostrada.**

### 2.4.1.3 DIMENSIONAMENTO DEL MANUFATTO DI CONNESSIONE CANNETO-FAROTA

Per l'alleggerimento del tratto del torrente Canneto da monte della sede autostradale alla Foce, si prevede l'adeguamento del manufatto di ingresso al tombinamento esistente sotto la sede autostradale.

Il manufatto esistente verrà modificato inserendo una vasca di decantazione ed accumulo del materiale detritico.

Le acque provenienti dal Canneto verranno introdotte nella suddetta vasca e quindi sfioreranno verso la nuova tubazione di collegamento con il torrente Farota. Nel caso in cui le portate aumentassero ulteriormente pare di queste, attraverso uno sfioro di troppo pieno, verrebbero convogliate alla tubazione di attraversamento del piazzale autostradale verso l'originale alveo del Canneto.

Il collegamento tra Canneto e Farota verrà realizzato con un canale rettangolare a cielo aperto, in calcestruzzo armato, di dimensioni 2.50x2.30 m, posato nel tratto più a monte a mezza costa nella scarpata, mentre nel tratto più a valle incassato tra la sede autostradale e la strada bianca esistente a margine.

Nel tratto di valle verso il Farota il nuovo canale sostituirà la canalina di raccolta delle acque della piattaforma stradale.

Per garantire la sufficienza idraulica delle infrastrutture esistenti del Canneto nel tratto di attraversamento dell'autostrada sarà necessario scolare in Farota una portata di 4,58 mc/s.

Il dimensionamento idraulico dell'opera è riassunto nella seguente tabella.



<b>DIMENSIONAMENTO IDRAULICO NODO CANNETO - FAROTA</b>	
Quota fondo	22.70 m slm
Quota setto esistente	25.00 m slm
Quota setto progetto	25.20 m slm
Apertura feritoia esistente	0.30 m
Larghezza sfioro di progetto	1.86 m
Larghezza sfioro esistente	4.20 m
Portata sfioro verso Farota	4.58 mc/s
Altezza critica su sfioro Farota	0.85 m
Quota idrica nella vasca	26.28 m slm
Tirante sullo sfioro verso il Canneto	1.08 m
Portata sfioro verso il Canneto	8.02 mc/s
Portata attraverso la feritoia verso il Canneto	0.00 mc/s
Portata complessiva verso il Canneto	8.02 mc/s
Portata complessiva dal Canneto a monte	12.60 mc/s

La seguente figura rappresenta una sezione longitudinale dell'opera.

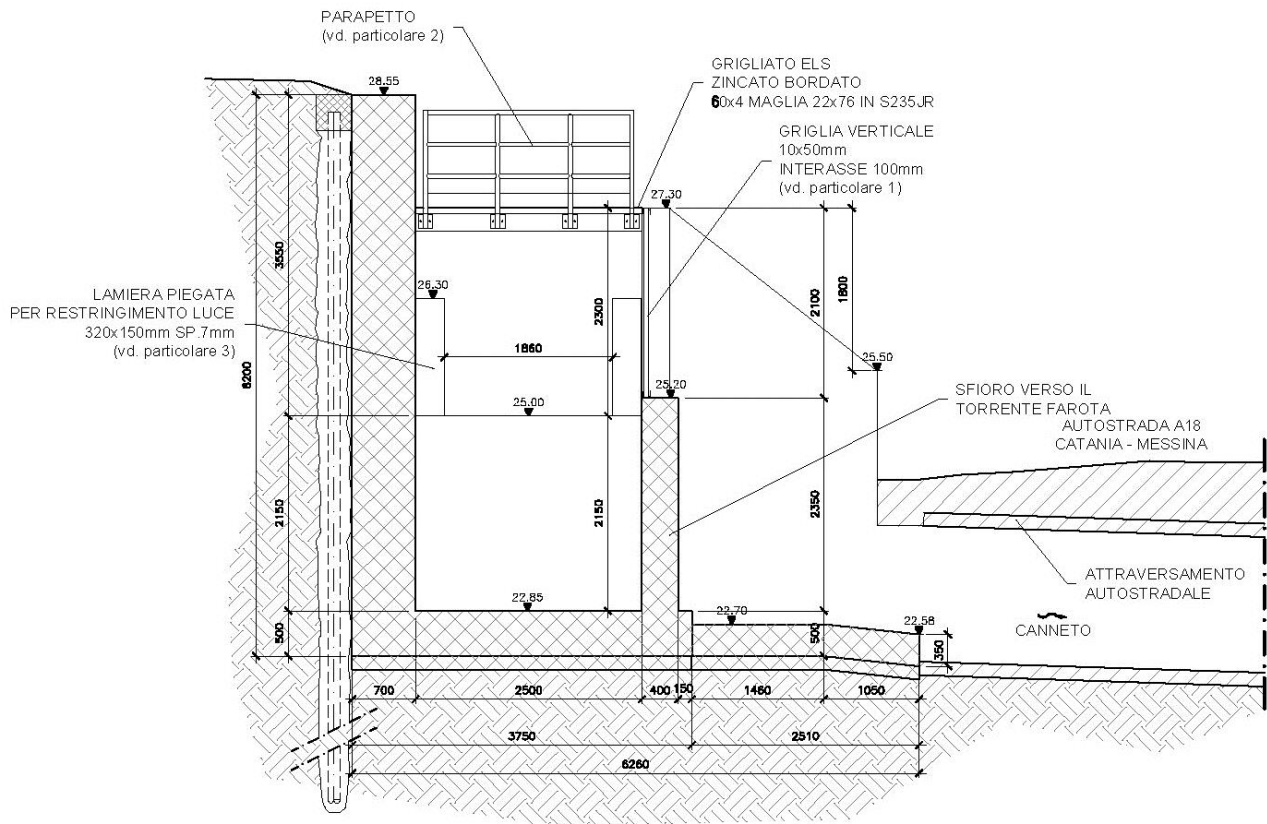


Figura 54: manufatto di collegamento Canneto – Farota

Lo sfioro esistente verso il casello autostradale e quindi verso il torrente Canneto, sarà presidiato da una griglia ferma detriti; in tal modo, in caso di saturazione della vasca di sedimentazione di progetto, il materiale in esubero verrà convogliato verso il canale in c.a. a cielo aperto di collegamento con il Farota, senza ostruire la tubazione di attraversamento del casello autostradale e della sottostante SS 114.

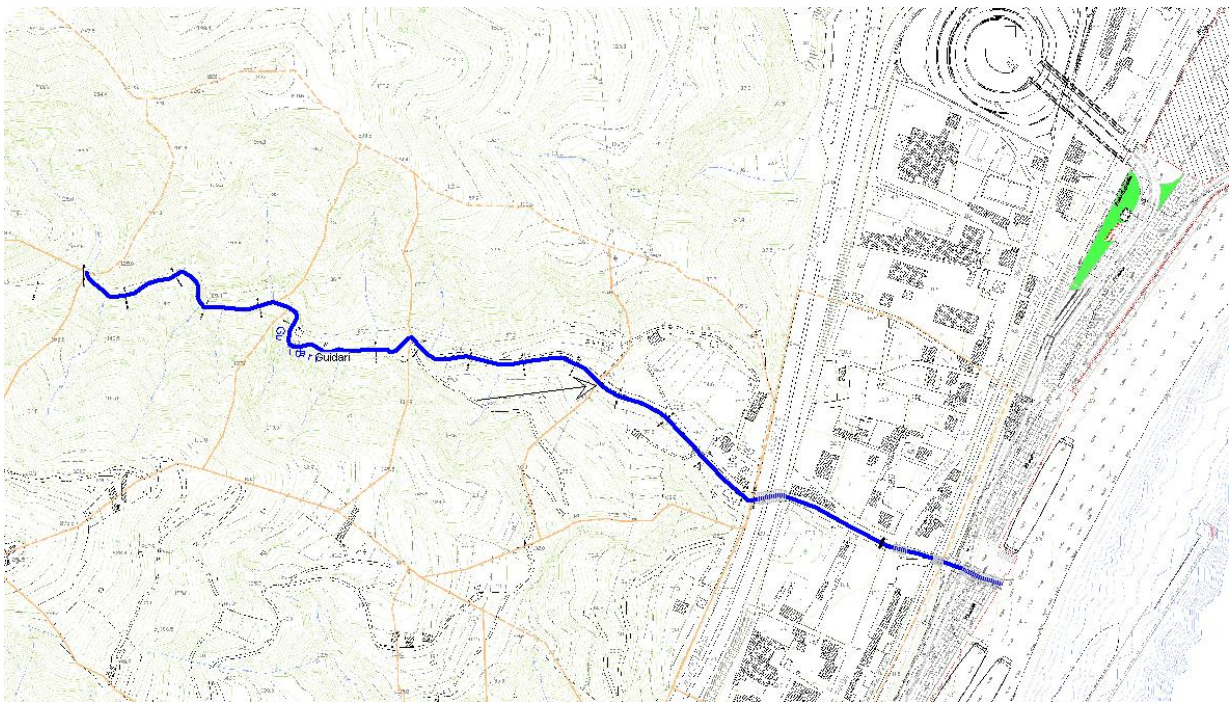
## 2.4.2 TORRENTE GUIDARI

### 2.4.2.1 FUNZIONAMENTO IDRAULICO DEL TORRENTE GUIDARI

#### 2.4.2.1.1 Schematizzazione di calcolo

Sulla base dei rilievi eseguiti si è schematizzata l'asta del torrente Guidari mediante l'inserimento di 39 sezioni, opportunamente interpolate e collegate tra di loro mediante le canalizzazioni di progetto. Complessivamente il corso d'acqua è stato indagato per uno sviluppo planimetrico di circa 1.000 m.

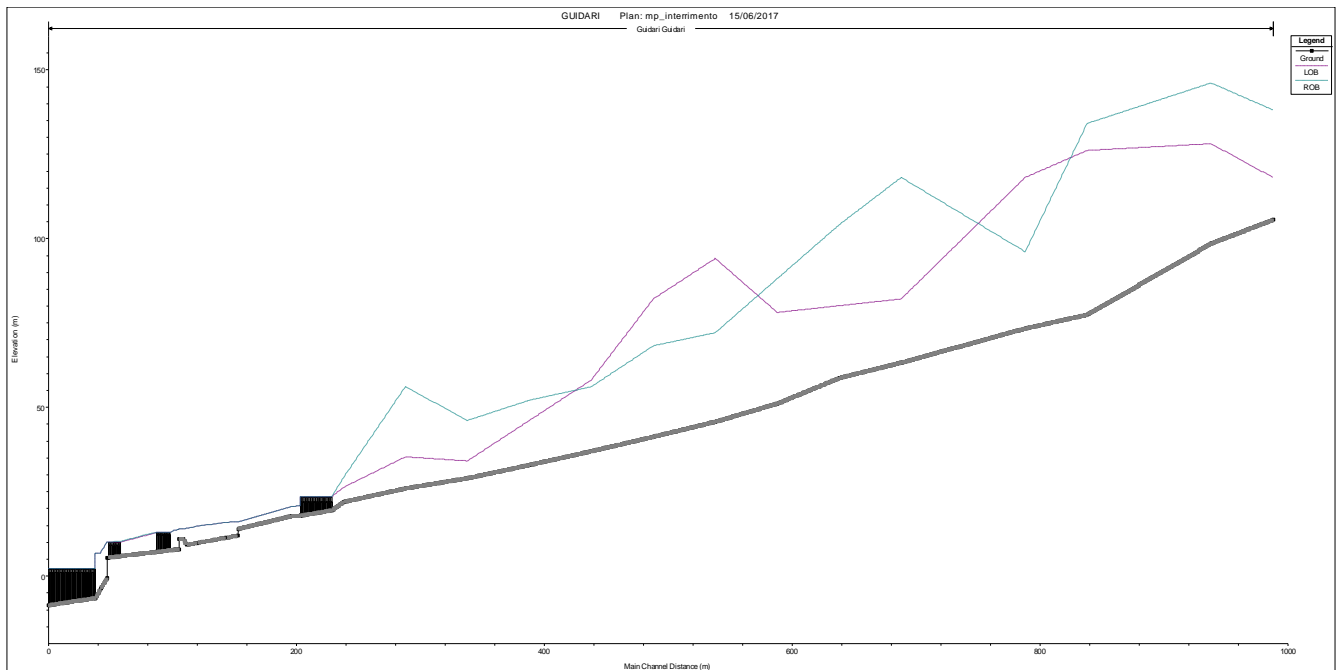
Si riporta di seguito un estratto planimetrico ed altimetrico della geometria ricostruita mediante l'applicativo HEC-RAS 4.0.



**Figura 55 : estratto del modello idraulico con la schematizzazione del torrente Guidari.**

Come coefficiente di scabrezza si è assunto ai fini della modellazione idraulica un valore di Strickler pari a  $30 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$  nei tratti a cielo aperto e  $70 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$  nei tratti tombinati.

Si riportano di seguito i profili altimetrici dei corsi d'acqua indagati.



**Figura 56 : Torrente Guidari.**

#### 2.4.2.1.2 Le condizioni al contorno

Come condizioni al contorno si sono assunti i seguenti parametri:

- Portate di piena generate dai singoli sottobacini con Tempo di Ritorno 300 anni;
- Livello medio del mare pari a +0.34 m slm, corrispondente alla condizione di alta marea.

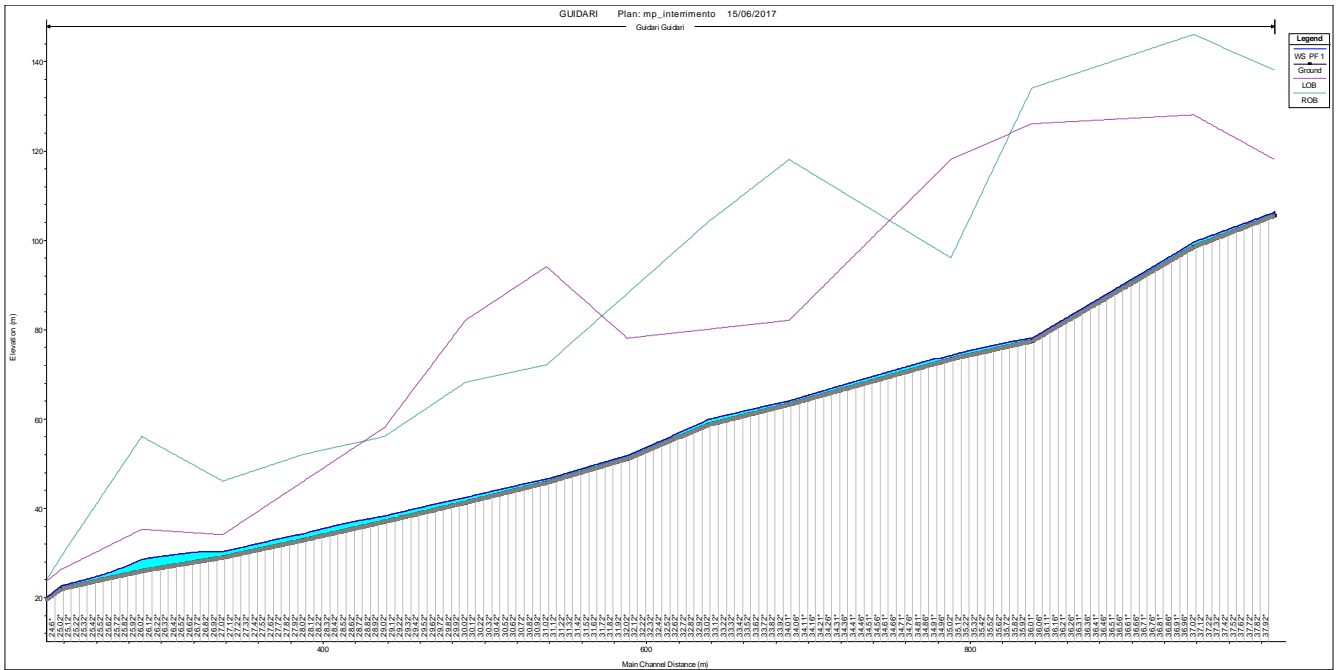
#### 2.4.2.1.3 Risultati delle simulazioni

Il torrente Guidari risulta caratterizzato da un regime di corrente di tipo rapido nel tratto a monte dell'autostrada. Superato il ponte autostradale, la presenza di un restringimento comporta una variazione dell'assetto idraulico con transizione in corrente lenta. A valle del restringimento la corrente torna in condizioni di corrente rapida fino allo sbocco nell'area portuale, ad eccezione della formazione di due risalti: uno in corrispondenza della briglia, l'altro in uscita dal manufatto di attraversamento della ferrovia.

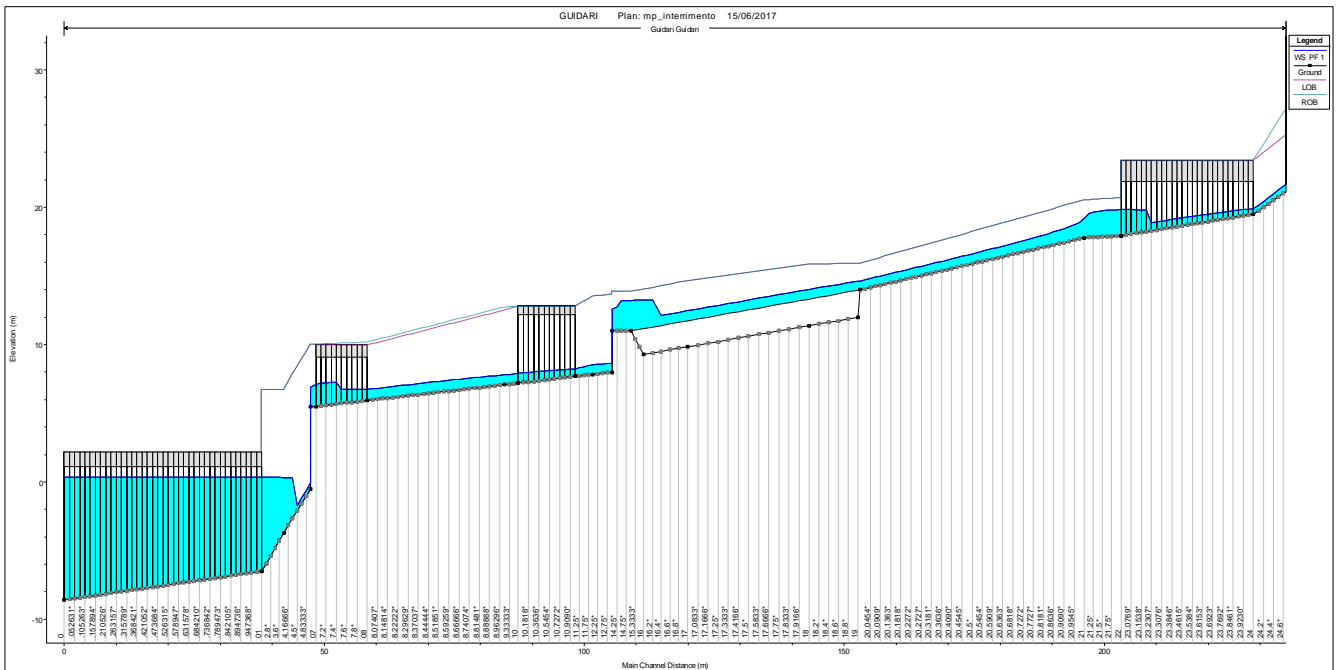
Nel tratto di torrente compreso tra il ponte sulla strada statale ed il ponte sull'autostrada si prevede la realizzazione di una vasca di accumulo sedimenti a monte della briglia. Con riferimento a quest'ultimo intervento la simulazione è stata eseguita nell'ipotesi di completo interrimento della trappola.



**COMUNE DI MESSINA - LAVORI DI COSTRUZIONE DELLA PIATTAFORMA LOGISTICA  
INTERMODALE TREMESTIERI CON ANNESSO SCALO PORTUALE - PRIMO STRALCIO FUNZIONALE  
PROGETTO ESECUTIVO**



**Figura 57 : Profilo idraulico del torrente Guidari a monte dell'autostrada.**



**Figura 58 : Profilo idraulico del torrente Guidari nel tratto di valle.**

COMUNE DI MESSINA - LAVORI DI COSTRUZIONE DELLA PIATTAFORMA LOGISTICA  
INTERMODALE TREMESTIERI CON ANNESSO SCALO PORTUALE - PRIMO STRALCIO FUNZIONALE  
PROGETTO ESECUTIVO

River	Reach	River Sta	Profile	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
Guidari	Guidari	38	PF 1	16.60	105.61	106.51	106.51	106.82	0.013352	2.47	6.73	10.88	1.00
Guidari	Guidari	37	PF 1	16.60	98.57	99.65	100.18	101.77	0.117954	6.44	2.58	4.74	2.79
Guidari	Guidari	36	PF 1	16.60	77.47	78.12	78.65	80.75	0.219600	7.19	2.31	6.11	3.73
Guidari	Guidari	35	PF 1	16.60	73.39	74.20	74.65	75.92	0.107393	5.81	2.86	5.95	2.67
Guidari	Guidari	34	PF 1	21.21	63.28	64.06	64.49	65.85	0.131466	5.93	3.58	8.67	2.95
Guidari	Guidari	33	PF 1	21.21	58.72	59.94	60.36	61.39	0.084950	5.34	3.97	7.28	2.30
Guidari	Guidari	32	PF 1	23.53	51.15	51.83	52.35	54.20	0.156971	6.82	3.45	7.76	3.27
Guidari	Guidari	31	PF 1	23.53	45.77	46.55	47.13	48.73	0.103199	6.55	3.59	5.75	2.65
Guidari	Guidari	30	PF 1	23.53	41.31	42.42	42.86	44.08	0.101670	5.71	4.12	8.36	2.59
Guidari	Guidari	29	PF 1	23.53	37.03	38.32	38.78	39.93	0.080609	5.62	4.19	6.87	2.30
Guidari	Guidari	28	PF 1	26.87	32.94	34.31	34.79	36.22	0.124519	6.12	4.39	9.32	2.84
Guidari	Guidari	27	PF 1	26.87	29.02	30.32	30.93	32.22	0.074701	6.10	4.40	6.15	2.30
Guidari	Guidari	26	PF 1	26.87	26.00	28.61	28.91	29.56	0.058334	4.32	6.22	9.48	1.70
Guidari	Guidari	25	PF 1	29.21	22.00	22.73	23.22	24.51	0.098996	5.91	4.95	9.23	2.58
Guidari	Guidari	24	PF 1	32.18	19.50	19.91	20.48	22.72	0.220173	7.43	4.33	10.50	3.69
Guidari	Guidari	23	PF 1	32.18	17.92	19.84	18.91	19.97	0.001817	1.60	20.07	10.50	0.37
Guidari	Guidari	22	PF 1	32.18	17.92	19.84		19.97	0.001802	1.60	20.13	10.50	0.37
Guidari	Guidari	21	PF 1	32.18	17.78	19.18	19.18	19.88	0.016094	3.72	8.66	6.20	1.00
Guidari	Guidari	20	PF 1	32.18	13.99	14.63	15.13	16.58	0.092670	6.18	5.21	8.10	2.46
Guidari	Guidari	19	PF 1	32.18	13.96	14.62	15.11	16.53	0.090670	6.13	5.25	8.10	2.43
Guidari	Guidari	18	PF 1	32.18	13.32	14.02	14.52	15.71	0.073725	5.76	5.58	8.00	2.20
Guidari	Guidari	17	PF 1	32.18	11.73	12.46	12.93	14.08	0.067457	5.64	5.70	7.80	2.11
Guidari	Guidari	16	PF 1	32.18	11.16	13.26		13.45	0.004424	1.94	16.62	13.20	0.55
Guidari	Guidari	15	PF 1	32.18	10.99	13.21		13.44	0.006212	2.13	15.09	13.20	0.64
Guidari	Guidari	14	PF 1	32.18	10.99	12.56	12.56	13.35	0.017601	3.93	8.18	5.20	1.00
Guidari	Guidari	13	PF 1	32.18	7.99	8.62	9.50	12.99	0.231305	9.26	3.47	5.50	3.72
Guidari	Guidari	12	PF 1	32.18	7.83	8.54	9.34	12.00	0.161461	8.24	3.91	5.50	3.12
Guidari	Guidari	10	PF 1	32.18	7.19	7.92	8.42	9.69	0.074927	5.90	5.45	7.50	2.21
Guidari	Guidari	09	PF 1	32.18	7.08	7.80	8.28	9.48	0.071250	5.74	5.60	7.80	2.16
Guidari	Guidari	08	PF 1	32.18	5.94	6.74	7.11	8.00	0.047123	4.98	6.47	8.10	1.78
Guidari	Guidari	07	PF 1	32.18	5.50	7.08	6.90	7.63	0.011168	3.28	9.82	6.20	0.83
Guidari	Guidari	06	PF 1	32.18	5.50	6.90	6.90	7.60	0.016137	3.72	8.65	6.20	1.00
Guidari	Guidari	05	PF 1	32.18	-0.50	-0.06	0.90	6.97	0.542583	11.74	2.74	6.20	5.64
Guidari	Guidari	04	PF 1	32.18	-3.70	0.32		0.36	0.000286	0.85	37.80	9.40	0.14
Guidari	Guidari	02	PF 1	32.18	-6.50	0.34		0.35	0.000071	0.50	64.28	9.40	0.06
Guidari	Guidari	01	PF 1	32.18	-6.50	0.34	-5.44	0.35	0.000071	0.50	64.28	9.40	0.06

**Tabella 6 : Caratteristiche idrauliche del Torrente Guidari.**

#### **2.4.2.2 SISTEMAZIONI BACINO DI MONTE TORRENTE GUIDARI**

Per prevenire le colate detritiche ed i conseguenti danni che il trasporto solido provoca nella sua discesa verso valle, specie in presenza di centri abitati, è necessario intervenire sull'asta del torrente.

Il progetto prevede quindi la realizzazione di una briglia sul torrente Guidari a monte della Autostrada, ubicata subito al di sopra del salto roccioso dove il corso d'acqua inizia ad inerpicarsi con elevate pendenze lungo le colline sovrastanti. Tale briglia a gabbioni sarà provvista di una catena di fondo (soglia) realizzata circa 15 m più a valle per prevenire eventuali fenomeni di scalzamento del piede.

La fondazione della briglia sarà approfondita fino a -2.00 m dal fondo alveo.

La briglia che verrà realizzata sarà facilmente raggiungibile transitando sul fondo dell'alveo torrentizio, con una breve pista di scavalco della struttura (indispensabile anche in sede di realizzazione dell'opera per raggiungere il sito di imposta della briglia) per l'accesso al bacino a monte.

A monte della briglia si creerà un volume disponibile per l'accumulo del materiale detritico pari a 1050 mc.

Considerando anche il volume disponibile nella sistemazione prevista tra l'autostrada e la SS114, di 750 mc, si ottiene un volume utile complessivo di 1800 mc circa.

I bacini previsti potranno contenere la portata solida derivante da un evento meteorico associabile a tempi di ritorno di 300 anni (stimabile in 1500 mc).

In condizioni ordinarie, con un apporto solido di 920 mc/anno, i bacini si riempiranno in circa 1,5 anni ed andranno pertanto periodicamente puliti.

### 2.4.3 IL TORRENTE PALUMARA

Le simulazioni idrauliche dello scarico del torrente Palumara a mare sono state condotte con le seguenti condizioni al contorno:

- Quota di marea: +0,34 m slm
- Portata in ingresso: 5,8 mc/s (portata di colmo Tr 300 anni)

I risultati delle simulazioni sono ripotati nel seguente profilo dal quale si evince che:

- Lo scatolare 2x2 ha un funzionamento a pelo libero
- Le tubazioni in uscita hanno un funzionamento in pressione con qualunque livello di marea.

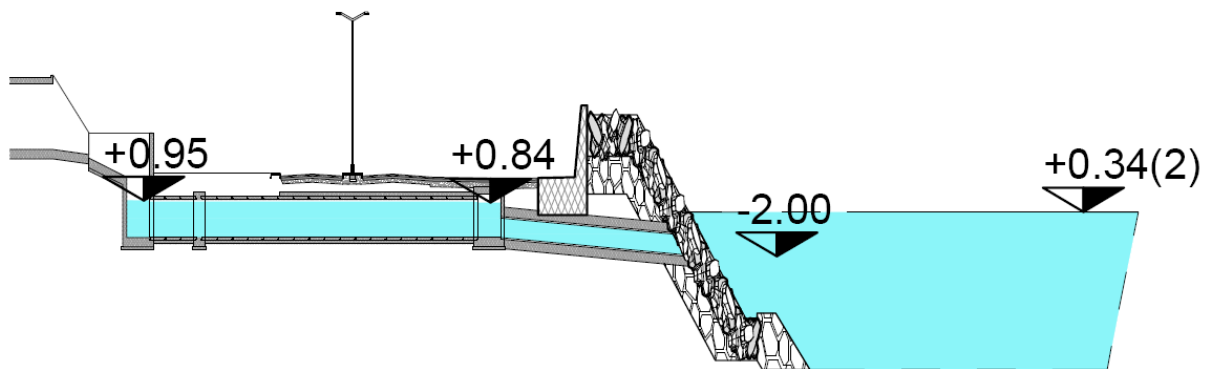


Figura 59: profilo di piena Palumara



### **3 APPENDICE 1 – IL MODELLO DI SIMULAZIONE IDRAULICA HEC-RAS**

#### **3.1 GENERALITÀ**

Data la tipologia degli interventi, le soluzioni progettuali verranno indagate mediante l'applicazione del modello di simulazione idraulica Hec-Ras per le verifiche idrauliche lungo i canali oggetto di indagine.

HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center - River Analysis System) è un modello di simulazione idraulica monodimensionale progettato per canali naturali ed artificiali.

#### **3.2 COMPONENTI IDRAULICI DI ANALISI**

Il sistema di HEC-RAS contiene tre componenti unidimensionali di analisi dei corsi d'acqua : (1) simulazione a moto permanente (steady flow); (2) simulazione a moto vario (unsteady flow); (3) analisi del trasporto solido. Un elemento chiave è che tutti e quattro i componenti usano una rappresentazione di dati geometrica comune unitamente alle procedure di calcolo. Oltre alle tre componenti di analisi dei corsi d'acqua, il sistema contiene parecchie applicazioni che possono essere invocate una volta che i profili di base del pelo libero sono stati computati.

#### **3.3 SIMULAZIONE A MOTO VARIO**

Questa componente del HEC-RAS simula il sistema in regime di moto vario. Il *solver* delle equazioni idrauliche è stato adattato dal modello UNET del Dott. Robert L. Barkau (Barkau, 1992 e HEC, 1997). Le componenti di analisi a moto vario sono state sviluppate soprattutto per i calcoli di regime di flusso subcritico. I calcoli idraulici per le sezioni trasversali, gli attraversamenti, i salti di fondo ed altre strutture idrauliche che sono state sviluppate per le simulazioni a moto permanente sono state implementate per le analisi a moto vario.

Le caratteristiche speciali di questo tipo di analisi comprendono: analisi della rottura di una diga; stazioni di pompaggio; conche di navigazioni e sistemi in pressione.

#### **3.4 DESCRIZIONE MATEMATICA DEL MODELLO UTILIZZATO**

Il modello matematico idraulico simula il moto vario di una corrente monodimensionale tramite l'integrazione agli elementi finiti delle equazioni dell'energia e della continuità.

Nel seguito si descriveranno brevemente le equazioni che governano il moto e l'approccio seguito per la loro integrazione.

#### **3.5 LE EQUAZIONI DEL MOTO VARIO MONODIMENSIONALE**

Una corrente a pelo libero si definisce 'monodimensionale' quando il moto in una direzione è predominante rispetto alle rimanenti. In queste ipotesi, appare conveniente quindi risolvere l'equazione di conservazione dell'energia lungo l'ascissa curvilinea  $s$  in termini di velocità media, introducendo coefficienti correttivi di modo che il bilancio energetico risulti soddisfatto lungo ciascun tratto di tubo di flusso.

L'energia specifica per una corrente monodimensionale si scrive:

$$E = h_f + d + \alpha \frac{U^2}{2g} \quad (1)$$

dove  $h_f$  è la quota del fondo rispetto ad un qualsiasi piano di riferimento,  $d$  è il tirante idrico e  $\alpha$ , coefficiente di Coriolis, definito come  $\alpha = \frac{A^2}{Q^3} \int_A u^3 dA$ .

La velocità media della corrente  $U$  è definita come  $U = \frac{1}{A} \int_A u \cdot dA$ .

L'equazione del moto vario per correnti unidirezionali diventa:

$$\frac{\partial E}{\partial x} = -\frac{\beta}{g} \frac{\partial U}{\partial t} - J \quad (2)$$

con  $\beta$  coefficiente di Coriolis definito come  $\beta = \frac{A}{Q^2} \int_A u^2 dA$  e  $J$  la cadente piezometrica.

L'equazione di continuità per il tubo di flusso, trascurando termini di ordine superiore, si scrive:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \eta B \frac{\partial d}{\partial t} = 0 \quad (3)$$

Considerando il fondo del canale inerodibile e, quindi, introducendo la definizione di quota idrica  $h = h_f + d$ , la (3) si può scrivere:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \eta B \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad (3bis)$$

Il coefficiente  $\eta$ , funzione del tirante idrico e molto simile, concettualmente ad un coefficiente di immagazzinamento, ha la funzione di descrivere situazioni quali il parziale asciugamento o allagamento e, di conseguenza, di stabilizzare il sistema per bassissime lame d'acqua.

L'espressione (1) può essere sostituita in (2) e, tenendo conto che  $U = \frac{Q}{A}$ , si ottiene:

$$\frac{\beta}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} - \frac{\beta Q}{gA^2} \frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\alpha Q}{gA^2} \frac{\partial Q}{\partial x} - \frac{\alpha Q^2}{gA^3} \frac{\partial A}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} + J = 0 \quad (4)$$

e, ricordando che (a) al primo ordine vale l'espressione  $\frac{\partial A}{\partial t} \approx B \cdot \frac{\partial h}{\partial t}$ , dove  $\eta \cdot B$  è la larghezza effettiva della sezione al pelo libero, mediata sull'intero tronco, che (b) nel caso di corrente monodimensionale il numero di Froude è definito come  $Fr^2 = \frac{\alpha Q^2 B}{g A^3}$ , che (c) per l'equazione di continuità  $\frac{\partial Q}{\partial x} = -\eta B \frac{\partial h}{\partial t}$  e che (d) al primo ordine vale  $\frac{\partial A}{\partial x} \approx \eta B \cdot \frac{\partial h}{\partial x}$ , l'equazione (4) diventa:

$$\frac{\beta}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} - \eta \frac{\beta QB}{gA^2} \frac{\partial h}{\partial t} - \eta \frac{\alpha QB}{gA^2} \frac{\partial h}{\partial t} - \eta \frac{\alpha Q^2 B}{gA^3} \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} + J = 0$$

cioè:

$$\frac{\beta}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} - \eta(\beta + \alpha) \frac{QB}{gA^2} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h}{\partial x} (1 - \eta Fr^2) + J = 0 \quad (5)$$

L'espressione  $\frac{\partial A}{\partial x} \approx \eta B \cdot \frac{\partial h}{\partial x}$  è corretta perché il corso d'acqua viene pensato costituito da una successione di tratti a sezione e quota media del fondo costanti.

La generica sezione viene suddivisa in N sottosezioni ciascuna caratterizzata da un'area  $A_i$ , da un raggio idraulico  $R_{Hi}$ , dalla medesima quota della superficie libera e dalla stessa pendenza della quota piezometrica. Nell'ipotesi *quasi-statica* si assume infatti che, per il calcolo di  $\alpha$ ,  $\beta$  e  $J$  il moto nella sottosezione  $i$ -esima possa essere considerato uniforme per la stessa portata  $Q$  e quota idrica  $h$ , cioè:

$$u_i = K_{Si} R_{Hi}^{2/3} J^{1/2} \quad i = 1, \dots, N \quad (6)$$

Con qualche passaggio si ricava:  $J = \frac{Q^2}{\left( \sum_{i=1}^N K_{Si} R_{Hi}^{2/3} A_i \right)^2}$  e, tenendo conto della direzione del moto,

$$J = \frac{Q|Q|}{\left( \sum_{i=1}^N K_{Si} R_{Hi}^{2/3} A_i \right)^2} = r \cdot Q|Q| \quad (7)$$

$$\alpha = \frac{A^2 \cdot \sum_{i=1}^N (K_{Si} R_{Hi}^2) A_i}{\left( \sum_{i=1}^N K_{Si} R_{Hi}^{2/3} A_i \right)^3} \quad (8)$$

$$\beta = \frac{A \cdot \sum_{i=1}^N (K_{Si}^2 R_{Hi}^{4/3}) A_i}{\left( \sum_{i=1}^N K_{Si} R_{Hi}^{2/3} A_i \right)^2} \quad (9)$$

### 3.6 METODOLOGIA E DISCRETIZZAZIONE SPAZIO-TEMPORALE

L'equazione (5) viene discretizzata nel tempo mediante uno schema alle differenze finite e linearizzata. Tenendo conto della (7) si ricava:

$$Q^{n+1} = Q^n + \left( \frac{\eta(\beta + \alpha) QB}{\beta A} \right)^n (h^{n+1} - h^n) - \frac{\partial(h^{n+1} + h^n)}{\partial x} \left( \frac{(1 - \eta Fr^2) gA}{\beta} \right)^n \frac{\Delta t}{2} +$$

$$- \left( r|Q| \frac{gA}{\beta} \right)^n (Q^{n+1} + Q^n) \frac{\Delta t}{2}$$

e, indicando con

$$c_1 = 1 + \frac{\Delta t}{2} \left( r|Q| \frac{gA}{\beta} \right)^n \quad c_2 = 1 - \frac{\Delta t}{2} \left( r|Q| \frac{gA}{\beta} \right)^n$$

$$c_3 = \left( \frac{\eta(\beta + \alpha) QB}{\beta A} \right)^n \quad c_4 = \left( \frac{(1 - \eta Fr^2) gA}{\beta} \right)^n \frac{\Delta t}{2}$$

si ottiene:

$$Q^{n+1} = \frac{c_2}{c_1} Q^n + \frac{c_3}{c_1} (h^{n+1} - h^n) - \frac{c_4}{c_1} \frac{\partial(h^{n+1} + h^n)}{\partial x} \quad (10)$$

L'espressione (10) viene quindi sostituita nell'equazione di continuità (3) che viene quindi risolta nella sola incognita  $h$  quota del pelo libero attraverso un metodo agli elementi finiti adottando una schematizzazione quadratica per la quota idrica  $h$ , considerando per le grandezze  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$  e  $c_4$  un valore costante, caratteristico, nel generico tronco. Assumendo la portata costante nel generico canale, la quota del pelo libero e la derivata del pelo libero nella (10) sono da intendersi come valori caratteristici (costanti) sull'elemento.

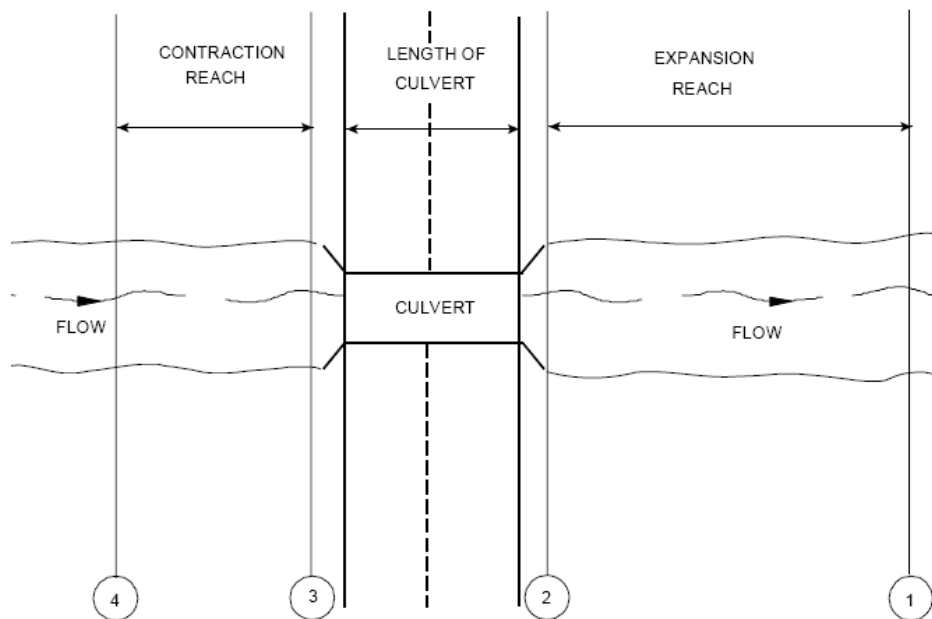


### 3.7 CRITERI PER LA VERIFICA DEGLI ATTRAVERSAMENTI

Le caratteristiche del moto in corrispondenza degli attraversamenti (caratterizzati nello studio in esame, per lo più da condotte scatolari) dipendono principalmente dalla forma dell'imbocco, dal tipo di sezione, dalla scabrezza, dalla pendenza e dalle condizioni idrometriche di monte e di valle, oppure di valle.

La verifica del dislivello  $\Delta h$  tra il carico di monte e quello di valle, viene svolta attraverso gli strumenti del modello idraulico.

Per la modellazione idraulica degli attraversamenti sono richieste quattro sezioni, come riportato nella figura seguente:



**Figura 60** Sezioni di riferimento per l'analisi delle caratteristiche idrauliche del flusso attraverso il coltretto (attraversamenti).

Si riporta di seguito lo schema idraulico per la modellazione degli attraversamenti:

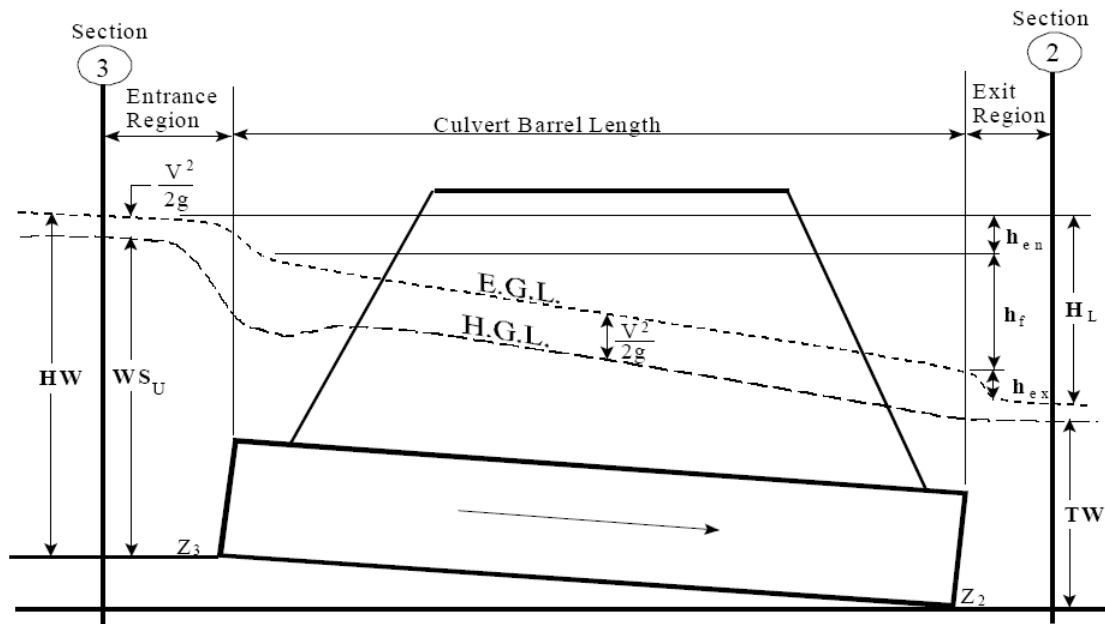


Figura 61 : Schema per l'identificazione dei parametri idraulici che insistono a monte ed a valle dell'attraversamento.

Dove:

1. TW : tirante idrico in corrispondenza della sezione di sbocco del tombotto;
2. HW : è la profondità dalla quota di scorrimento alla linea dell'energia;
3.  $WS_U$  : tirante idrico in corrispondenza della sezione di imbocco del tombotto;
4.  $Z_3$  : quota di scorrimento del tombotto a monte;
5.  $Z_2$  : quota di scorrimento del tombotti a valle;
6.  $h_{en}$  : perdite di energia in corrispondenza all'imbocco;
7.  $h_f$  : perdite continue di energia all'interno del tombotti;
8.  $h_{ex}$  : perdite di energia in corrispondenza dello sbocco;
9.  $H_L$  : somma totale delle perdite.

Il modello Hec-Ras utilizza l'equazione di Bernoulli per la stima della variazione della linea dell'energia attraverso il tombotto.

L'equazione usata dal programma è la seguente:

$$Z_3 + Y_3 + \frac{a_3 V_3^2}{2g} = Z_2 + Y_2 + \frac{a_2 V_2^2}{2g} + H_L$$

Dove:

1.  $Z_3$  : quota di scorrimento del tombotto a monte;
2.  $Y_3$  : tirante idrico a monte dell'imbocco dell'attraversamento;
3.  $V_3$  : velocità media della corrente nella sezione di monte;

4.  $a_3$  : coefficiente correttivo della velocità;
5.  $Z_2$  : quota di scorrimento del tombotti a valle;
6.  $Y_2$  : tirante idrico a valle dell'imbocco dell'attraversamento;
7.  $a_2$  : coefficiente correttivo della velocità;
8.  $H_L$  : totali perdite di energia attraverso il tombotto.

La perdita  $H_L$  è stimata dalla seguente formula:

$$H_L = h_{en} + h_f + h_{ex}$$

Dove:

1.  $h_{en}$  : perdite all'imbocco;
2.  $h_f$  : perdite continue;
3.  $h_{ex}$  : perdite allo sbocco;

Le perdite continue all'interno del tombotto vengono stimate utilizzando l'equazione di Mannig, come riportato nelle seguente espressione:

$$h_f = L \cdot \left( \frac{Q_n}{A \cdot R^{2/3}} \right)^2$$

Dove:

1.  $L$  : lunghezza del tombotto;
2.  $Q$  : portata attraverso il tombotto;
3.  $n$  : coefficiente di Manning;
4.  $A$  : area liquida;
5.  $R$  : raggio idraulico.

### 3.8 PERDITE ALL'IMBOCCO

Le perdite all'imbocco sono calcolate in funzione della velocità all'interno del tombotti.

$$h_{en} = k_{en} \frac{V_{en}^2}{2g}$$

Dove:

1.  $h_{en}$  : perdita di energia all'imbocco;
2.  $k_{en}$  : coefficiente di perdita, assunto pari a 0.5;
3.  $V_{en}$  : velocità del flusso nel tombotti all'imbocco;
4.  $g$  : accelerazione di gravità.

### 3.9 PERDITE ALLO SBOCCO

Le perdite allo sbocco sono computate in funzione della differenza dei termini cinetici nel tratto finale del tombotto ed a valle di quest'ultimo.

L'equazione impiegata è la seguente:

$$h_{ex} = k_{ex} \left( \frac{a_{ex} V_{ex}^2}{2g} - \frac{a_2 V_2^2}{2g} \right)$$

Dove :

1.  $h_{ex}$  : perdita di energia allo sbocco;
2.  $k_{ex}$  : coefficiente di perdita assunto pari a 1 (condizioni di sbocco a spigolo vivo);
3.  $V_{ex}$  : velocità del flusso all'uscita dell'attraversamento;
4.  $V_2$  : velocità del flusso a valle del tombotti.

Si riporta di seguito le due tipologie di condotte caratteristiche del modello idraulico in esame.

