



## **Comune di Molfetta**

### **Mitigazione del rischio idraulico dell'area P.I.P. del comune di Molfetta mediante la rigenerazione della lama Scorbeto e la rinaturalizzazione della lama Marcinase**

#### **Progetto Definitivo**

Responsabile Unico del Procedimento  
Arch. Lazzaro Pappagallo

Progettazione

Ing. Alessandro Binetti  
(Ordine degli Ingegneri della Provincia di Bari n.4947)

Supporto tecnico scientifico al R.U.P.  
Prof. Ing. Vito Telesca

Supporto alla progettazione



Prof.Ing. Alberto Ferruccio Piccinni  
(Ordine degli Ingegneri della Provincia di Bari n.7288)

Ing. Giovanni Vitone  
(Ordine degli Ingegneri della Provincia di Bari n.3313)

Ing. Luigi Fanelli  
(Ordine degli Ingegneri della Provincia di Bari n.7428)

Gruppo di lavoro interno  
Ing. Luca Lucanie  
Geom. Luciano Mezzina  
Geom. Gaetano De Bari  
Sig.ra Silvana Altomare

#### **ELABORATI DESCRITTIVI**

### **Relazione idrologica-idraulica**

**C**

rapporto --

ottobre 2016 - revisione dicembre 2016

Il Commissario Straordinario  
Dott. Mauro Passerotti

## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>DESCRIZIONE DEI LUOGHI.....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO.....</b>	<b>8</b>
3.1	Lama Marcinase .....	8
3.2	Lama Scorbeto .....	9
<b>4</b>	<b>STUDIO IDROLOGICO.....</b>	<b>18</b>
4.1	L'idrogramma di Piena .....	18
<b>5</b>	<b>ANALISI IDRAULICA - OPERE DI INVITO LAMA MARCINASE E LAMA SCORBETO .....</b>	<b>22</b>
5.1	Teoria del modello idraulico FLO-2D.....	22
5.2	Geometria dei modelli impiegati .....	24
5.3	Risultati.....	26
<b>6</b>	<b>ANALISI IDRAULICA - CANALE DEVIATORE E LAMA SCORBETO.....</b>	<b>32</b>
6.1	Teoria del modello idraulico – moto permanente .....	32
6.2	Geometria del modello .....	35
6.3	Risultati della modellazione .....	38
<b>7</b>	<b>VERIFICHE DI STABILITA' ARGINI.....</b>	<b>45</b>
7.1	Verifica a sifonamento argini .....	45
7.2	Verifica di stabilità argini.....	48
7.2.1	Valutazione dell'azione sismica.....	50

## **1 PREMESSA**

La presente relazione tecnica è di accompagnamento alla progettazione idraulica delle opere di mitigazione del rischio da allagamenti dell'area P.I.P. del comune di Molfetta.

Per addivenire alla progettazione degli interventi di mitigazione si è proceduto ad implementare modelli di calcolo mono e bidimensionali, attraverso i quali è stato possibile individuare le dimensioni geometriche delle opere a farsi e verificare il rispetto dei vincoli imposti della norma quali ad esempio il rispetto del franco di sicurezza.

Per condurre le modellazioni è stata condotta una campagna di rilievi che ha permesso in uno al modello digitale del terreno di ricostruire l'altimetria dello stato dei luoghi, necessaria all'implementazione dei modelli.

Nei paragrafi che seguono oltre ad illustrare brevemente lo stato dei luoghi si riportano i vari step messi in campo per la progettazione - verifica delle opere farsi.

Sinteticamente si riportano le fasi di sviluppo dello studio idraulico:

- Definizione degli idrogrammi di piena e delle portate immesse nei modelli di calcolo
- Studio con modello bidimensionale delle opere di invito delle due lame
- Studio con modello monodimensionale del canale deviatore e della lama Scorbeto
- Verifiche di stabilità dell'arginature delle opere di invito
- Verifiche di stabilità e a sifonamento degli argini della lama Scorbeto

## **2 DESCRIZIONE DEI LUOGHI**

Il Comune di Molfetta sorge a 25 km a nord-ovest della città di Bari e si affaccia sul Mare Adriatico.

Il territorio si estende verso l'entroterra murgiano e confina a sud anche con il comune di Terlizzi. Dal punto di vista geomorfologico, esso è costituito dalle bancate calcaree del Cretaceo inferiore, piuttosto profondamente carsificate come dimostrato dal sito naturalistico-archeologico del Pulo e dalle profonde voragini carsiche in cui ci si imbatte molto spesso durante gli scavi per la realizzazione dei piani di fondazione dei nuovi edifici, concentrate in particolare lungo i margini delle lame che lo solcano in direzione mediamente perpendicolare alla costa. Le lame stesse costituiscono di per sé una delle forme macroscopiche di carsismo epigeo e rappresentano un forte indizio di presenza di forme carsificate ipogee.

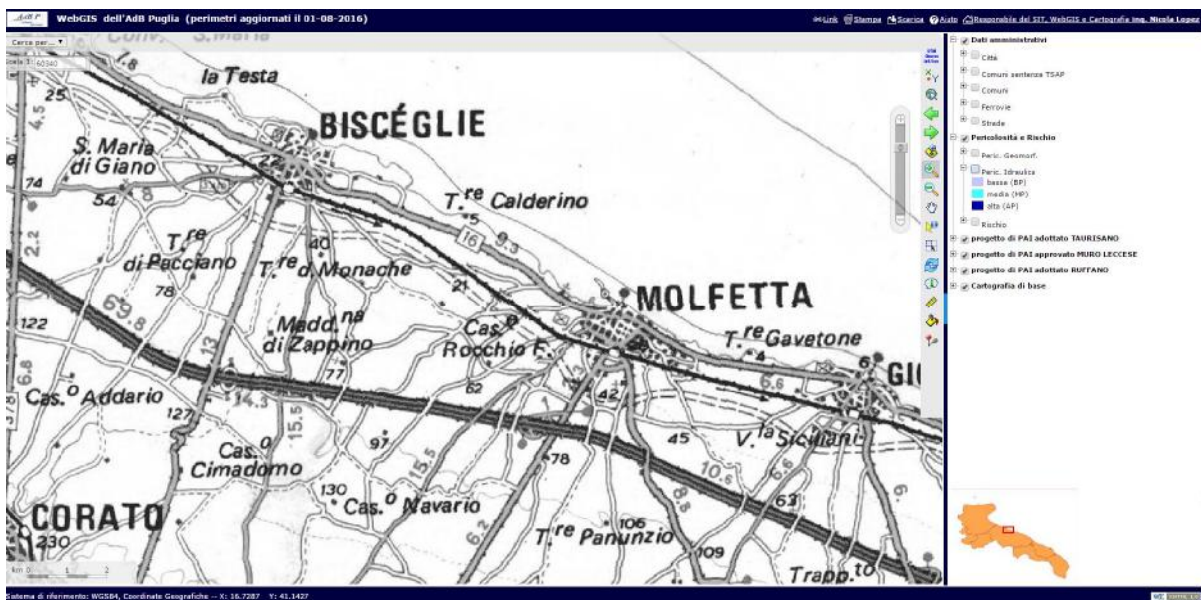


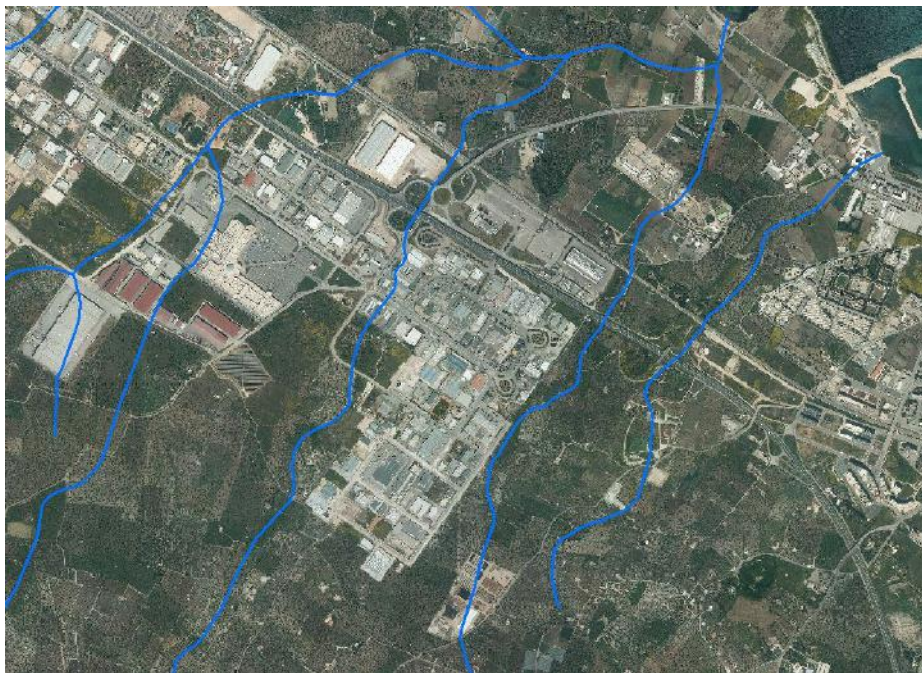
Fig.

*Figura 1: Stralcio planimetrico IGM 1:25.000 area di intervento*

Tuttavia il territorio, pur non molto esteso, ha avuto una vocazione prevalentemente agricola, almeno fino al termine del XX secolo, prima cioè che vi trovasse insediamento una vasta zona industriale (ASI - P.i.p.).

Lo sviluppo del comparto industriale nell'area attraversata da lame naturali nella regione nord-ovest del territorio comunale, ha generato una seria problematica connessa allo smaltimento delle acque meteoriche. Ultima in ordine temporale è l'onda di piena che ha investito la predetta area lo scorso 17 luglio 2016 comportando seri danni alle aziende ivi presenti. Difatti l'area industriale taglia perpendicolarmente il reticolo idrografico in più punti, rispetto ai quali, durante l'edificazione non furono previsti attraversamenti per consentire il regolare deflusso delle acque meteoriche verso la costa.





*Figura 2.2: Stralcio planimetrico su ortofoto con sovrapposizione del reticolo idrografico*

Osservando la planimetria delle aree allagabili della zona oggetto di intervento, si comprende facilmente come di fatto l'area ASI - P.I.P. abbia creato uno sbarramento alle acque zenitali del bacino disposto a monte della zona industriale. Il fronte d'acqua difatti segue le incisioni delle lame sino all'intersezione con l'area industriale, ove l'acqua avanza in forma diffusa e priva di regimazione.



*Figura 2.3: Stralcio planimetrico su ortofoto con sovrapposizione delle aree inondabili AdBP*



Percorrendo la lama Marcinase sono di facile individuazione gli elementi di criticità che scaturiscono proprio dalla presenza degli insediamenti produttivi.

Un primo elemento di criticità è rappresentato dalla viabilità della zona PIP che con il rilevato stradale di via degli Agricoltori funge da vero e proprio sbarramento al deflusso della piena costringendo l'acqua a percorrere altre direzioni o come nel caso dei recenti eventi alluviali a sormontare il rilevato stradale e a proseguire verso valle provocando gli allagamenti dei capannoni.



*Figura 2.4 – Criticità riscontrate lungo la lama Marcinase*

Proseguendo verso valle la lama scompare ed al suo interno si rileva la presenza degli insediamenti produttivi. Risulta però visibile all'occhio umano la presenza della fascia fluviale semplicemente percorrendo via dei Lavoratori: la sede stradale occupa la fascia centrale della lama mentre le aree golenali e di espansione in destra e sinistra idraulica sono occupate dai vari stabilimenti posti morfologicamente sui punti più alti.



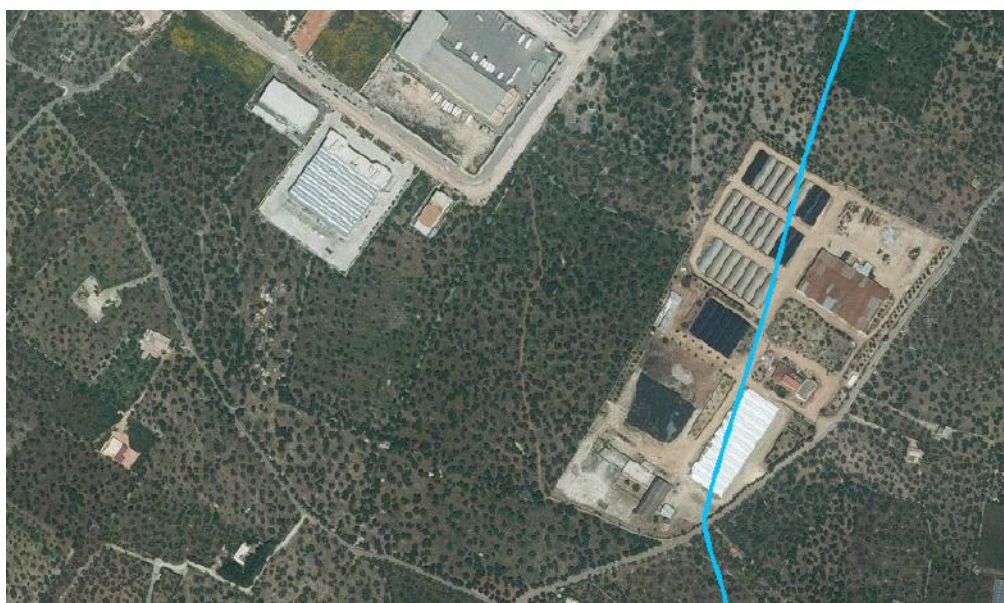
*Figura 2.5 – La lama lungo “Via dei Lavoratori”*

L'unico segno tangibile della presenza della lama è il viadotto a tre campate della strada statale, oggi però attraversato al fondo "lama" dalla viabilità interna dell'area ASI e P.I.P.

Nel suo tratto terminale a valle della SS16 la morfologia è meno accentuata, l'alveo appare occupato da molteplici coltivazioni (uliveti, vigneti, colture orticole) e da serre. La presenza della lama è scarsamente percepibile tanto che in corrispondenza dell'intersezione con la strada vicinale Padula da cui si diparte il viadotto di sovrappasso della linea ferroviaria per raggiungere la zona industriale, non risulta traccia di opere d'arte di attraversamento che garantiscano il deflusso delle acque di piena.

La lama Scorbeto, diversamente dalla Marcinase, è morfologicamente meno accentuata e la sua presenza è poco percepibile. La sua intera superficie è coltivata ad olivo e sono completamente assenti elementi di naturalità.

Nel tratto in prossimità della zona produttiva in asse al tracciato della lama si rileva la presenza di una azienda vivaistica che con la sua estensione occupa completamente la fascia di pertinenza della lama.



*Figura 2.6 – Azienda vivaistica sul tracciato della lama Scorbeto*

Più a valle la continuità della lama è interrotta dalla presenza della strada statale e dalla linea ferroviaria. Sulla prima non risulta presente in asse al tracciato del reticolo alcun elemento di continuità idraulica mentre per la linea ferroviaria si rileva la presenza di un piccolo manufatto di attraversamento.





*Figura 2.7 – Le interferenze con le infrastrutture*

A valle della linea ferroviaria vi è un cenno della lama che tuttavia risulta totalmente occupato dall'impronta dell'impianto di depurazione del comune di Molfetta.

In prossimità della linea di costa, punto in cui la lama Scorbeto e la Marcinase si congiungono, l'attraversamento della ex strada statale S.S. 16 e le opere di urbanizzazione realizzate anni addietro dal comune di Molfetta ricordando la loro presenza.

In corrispondenza della vecchia strada statale infatti si rileva la presenza di un manufatto di attraversamento in cemento armato mentre a valle vi è un accenno di sistemazione idraulica sino alla linea di costa.



*Figura 2.8 – La foce della lama "Scorbeto – Marcinase"*



### 3 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI DI MITIGAZIONE DEL RISCHIO

Il sistema di opere per la mitigazione del rischio idraulico dell'area P.I.P. del comune di Molfetta prevede l'esecuzione di interventi sia sulla lama Marcinase che sulla lama Scorbeto.

Nello specifico l'intervento consiste nell'intercettare i deflussi di piena della lama Marcinase immediatamente a monte della zona P.I.P: deviandoli con un nuovo canale deviatore verso l'alveo della lama Scorbeto.

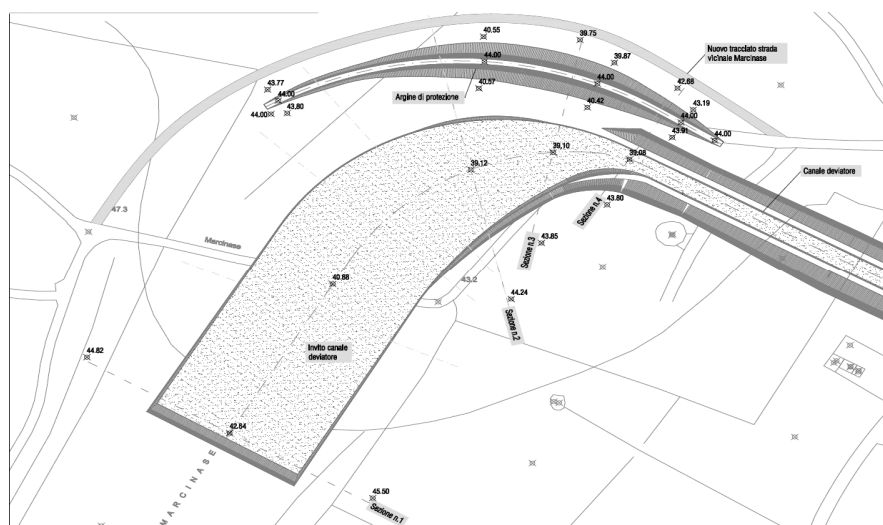
Contestualmente saranno intercettati anche i deflussi della lama Scorbeto prima che questi si ramifichino sul territorio e per il tramite di un nuovo canale sono reindirizzati verso valle; dopo aver ricevuto le acque della lama Marcinase, per il tramite del canale deviatore, proseguiranno verso valle seguendo il tracciato originario della lama Scorbeto sino allo sfocio nella cala San Giacomo.

Di seguito si descrivono dettagliatamente gli interventi per ciascuna delle due lame.

### 3.1 Lama Marcinase

La lama Marcinase, la cui possibilità di ripristino totale è oramai compromessa, sarà intercettata a monte della zona P.I.P. mediante la realizzazione di un opera di invito e sbarramento.

Per consentire un graduale imbrigliamento delle acque verso detta opera, si è previsto di realizzare un'opera di imbocco avente sezione iniziale in asse con la lama e via via un andamento di raccordo con il canale deviatore di progetto. L'opera ha una larghezza iniziale di 50 m e profondità di scavo di 50 cm e via via tende a raccordarsi con il canale subendo un restringimento della sezione ed un incremento di profondità. Per permettere al canale deviatore di imbrigliare tutta la portata, si è previsto di realizzare un argine di contenimento all'interno della lama che consente di interdire il passaggio dell'acqua a valle.



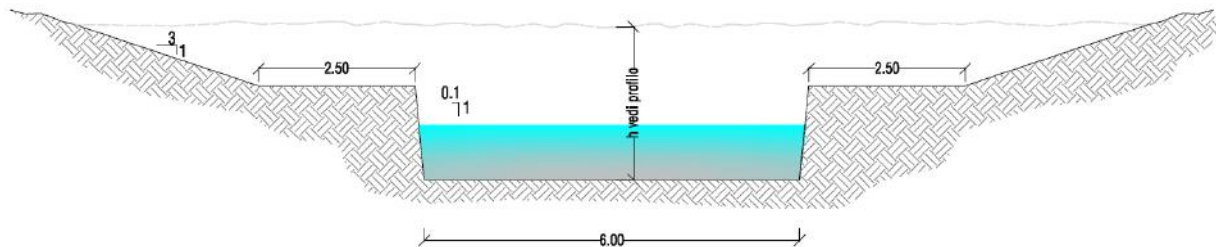
*Figura 3.1 – Opera di invito lama Marcinase*

L'argine della lunghezza di circa 150 si attesterà a quota di 44 m s.l.m. garantendo un franco di sicurezza di circa 2 m rispetto al livello idrico che si attesta a monte in occasione degli eventi con tempo di ritorno di 200 anni.

A partire dall'opera di invito ha origine il canale deviatore che si sviluppa in direzione est verso l'alveo della lama Scorbeto.

Il canale, avente una lunghezza di circa 820 m, sarà realizzato con una sezione trapezia di base 6 m, scarpa 1/10 per la parte attestata nei calcari e scarpa 3/1 per i primi strati superficiali (inferiori ai 2 m).

Per limitare l'ingombro in pianta e contestualmente consentire una più facile esecuzione dell'opera, in destra e sinistra idraulica si provvederà a realizzare una banca di larghezza pari a 2,5 m, che segnerà il passaggio dal materiale calcareo a quello meno coerenti.



*Figura 3.2 – Sezione canale deviatore lama Marcinase*

Poiché il canale attraversa perpendicolarmente la displuviale fra il bacino afferente la lama Marcinase e la Lama Scorbeto, al fine di limitare al minimo lo scavo (altezze di scavo anche di 8 m) la pendenza al fondo è stata assegnata pari allo 0,1%.

Il tracciato del canale deviatore interseca in due punti la viabilità extraurbana. In corrispondenza delle intersezioni con il presente progetto non si prevede il ripristino della continuità stradale bensì l'interruzione della percorrenza. L'accesso alle proprietà posizionate in destra ed in sinistra idraulica resta comunque garantito grazie alla presenza di altra viabilità comunale.

### **3.2 Lama Scorbeto**

La lama Scorbeto con gli interventi di mitigazione progettati assolverà il ruolo di vettore principale per il convogliamento a mare dei deflussi di piena.

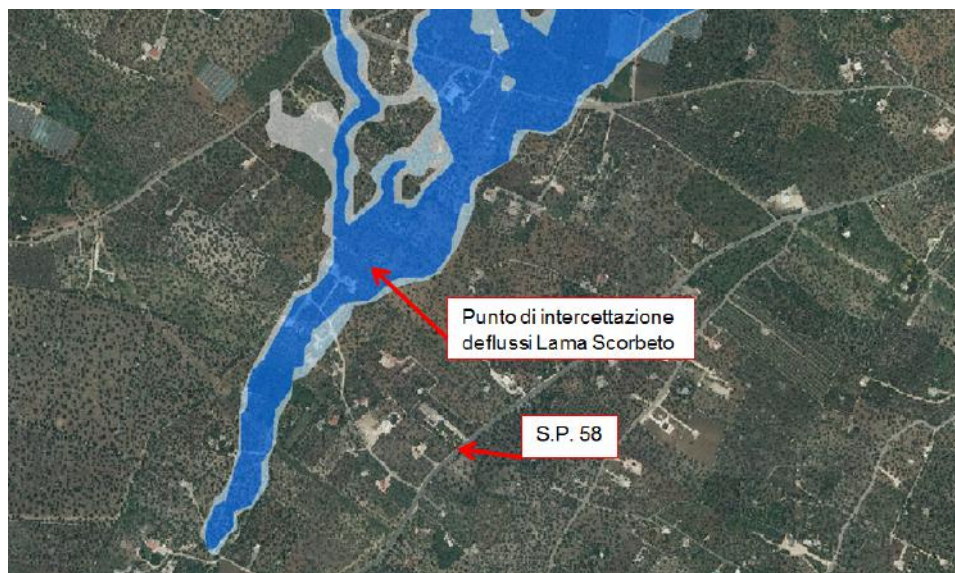
La zona di intervento può essere suddivisa in quattro tratte:

- Tratta a monte della confluenza del canale deviatore della lama Marcinase
- Tratto tra la confluenza del canale deviatore della lama Marcinase e la linea ferroviaria;
- Tratto tra la linea ferroviaria e gli impianti di depurazione e riuso irriguo;



- Tratto tra gli impianti di depurazione e riuso irriguo e la cala San Giacomo

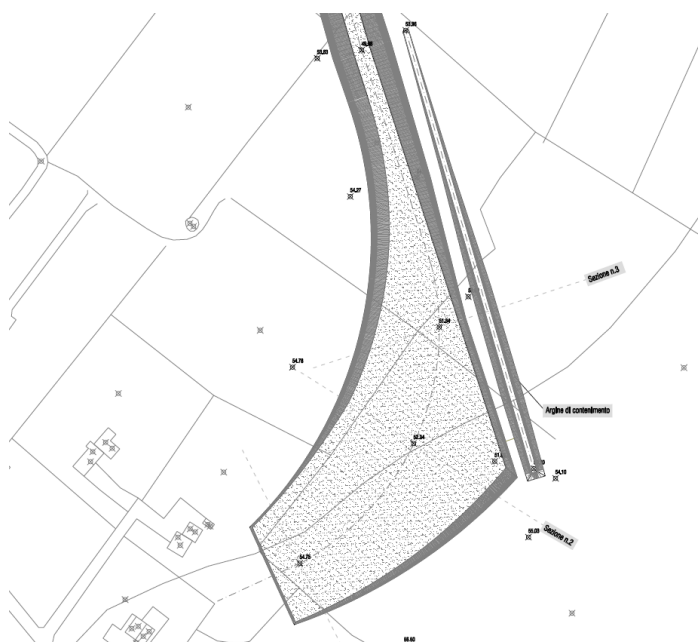
Il primo tratto di intervento sulla lama Scorbeto ha origine a monte in prossimità della strada provinciale S.P. n.56 ovvero nel tratto in cui la piena risulta essere contenuta in una fascia più o meno delimitata.



*Figura 3.3 – Zona di intercettazione della Lama Scorbeto*

L'obiettivo è intercettare ed incanalare i deflussi prima che questi si diffondano e ramifichino sul territorio. In questo punto si è previsto di realizzare un'opera di imbocco che intercetti e convogli le acque verso l'asse della lama oggetto di intervento.

In questo caso l'opera ha una sezione iniziale di 36 m di larghezza, disposta in asse alla Lama Scorbeto e via via tende ad allargarsi e a raccordarsi con la lama Scorbeto. Anche questa opera si prevede la realizzazione di un argine di contenimento finalizzato ad imbrigliare l'acqua verso la lama.

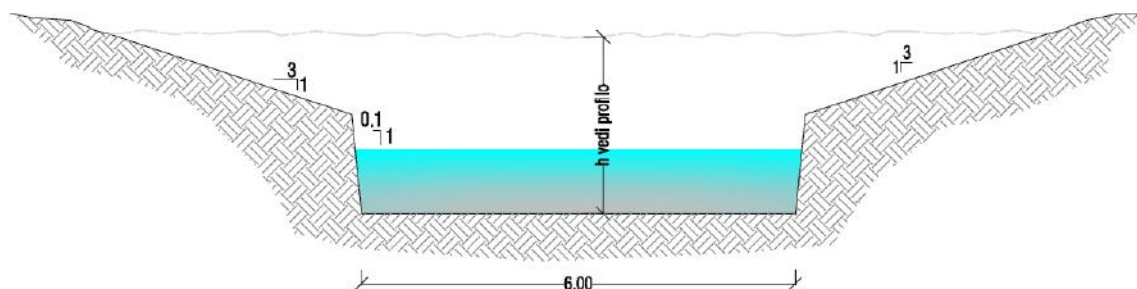


*Figura 3.4 – Opera di invito lama Scorbeto*

L'argine della lunghezza di circa 150 si attesterà a quota di 55,7 m s.l.m. nella sezione iniziale, ovvero sopraelevato di circa 1,5 m rispetto al piano campagna, sino a raccordarsi con il terreno più a valle a quota circa 54 m s.l.m..

L'argine, ammorsato per una profondità di 1 m, sarà realizzato con i paramenti di monte e valle a scarpa b/h pari a 3/2. Questi saranno poi rinverditi per facilitarne l'inserimento ambientale; il paramento di monte inoltre verrà protetto con la posa di massi calcarei.

A partire dall'opera di invito ha origine la sistemazione della lama che seguirà la direzione della ramificazione al suolo della piena sino al raccordo con la sezione terminale del canale deviatore. In questo tratto della lunghezza di circa 820 m, sarà realizzata una sezione trapezia di base 6 m, scarpa 1/10 per la parte attestata nei calcari e scarpa 3/1 per i primi strati superficiali (inferiori ai 2 m).



*Figura 3.5 – Sezione canale deviatore lama Scorbeto – primo tratto*

La nuova “lama” presenterà una pendenza al fondo di circa 1,3 % per poi raccordarsi al fondo del canale deviatore con un tratto avente pendenza del 4,6 %.

Il tracciato del canale deviatore interseca in due punti la viabilità extraurbana. In corrispondenza delle intersezioni si prevede di realizzare due manufatti di attraversamento in



cemento armato a sezione rettangolare ricreando all'interno la sagoma della sezione trasversale del canale in maniera tale da garantire un disturbo quasi nullo durante il transito della piena.



*Figura 3.6 – Attraversamenti stradali lama Marcinase*

Il manufatto avrà dimensioni nette interne di 7 m di base e altezza differente per i due attraversamenti così come di seguito indicato:

Attraversamento	H
S.V. Parieti Nuove	2.28
S.V. Fondo Favale	2.46

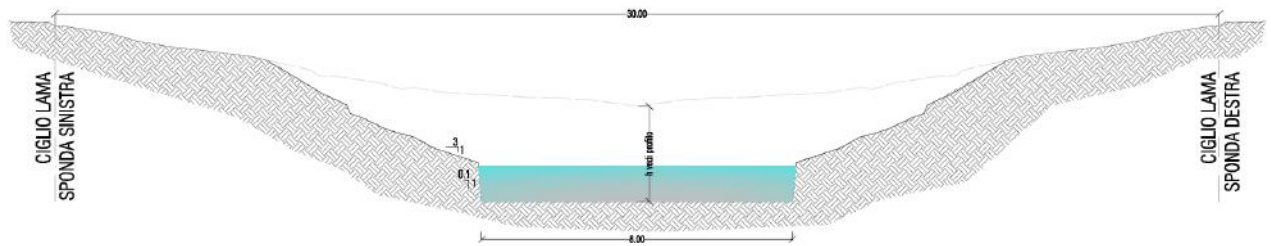
A partire dalla confluenza con il canale deviatore ha inizio il secondo tratto di intervento ovvero il tratto oggetto di rigenerazione.

Si è previsto di provvedere nell'ambito della fascia di esproprio di 30 m di risagomare trasversalmente il terreno ricreando una sezione naturale al cui interno possano defluire le piene e si possa rigenerare l'habitat tipico delle lame pugliesi.

All'interno della fascia di 30 m si è ricavata una sezione incassata nei calcari avente base di 8 m pareti con scarpa b/h pari a 1/10 al cui interno è quasi sempre confinata la piena con tempo di ritorno anche di 500 anni.

Solo in alcuni tratti l'acqua interesserà per eventi con tempo di ritorno di 200 o 500 anni anche le zone golenali.

Questa tipologia di sezione viene mantenuta sino all'attraversamento con la linea ferroviaria Bologna Otranto.

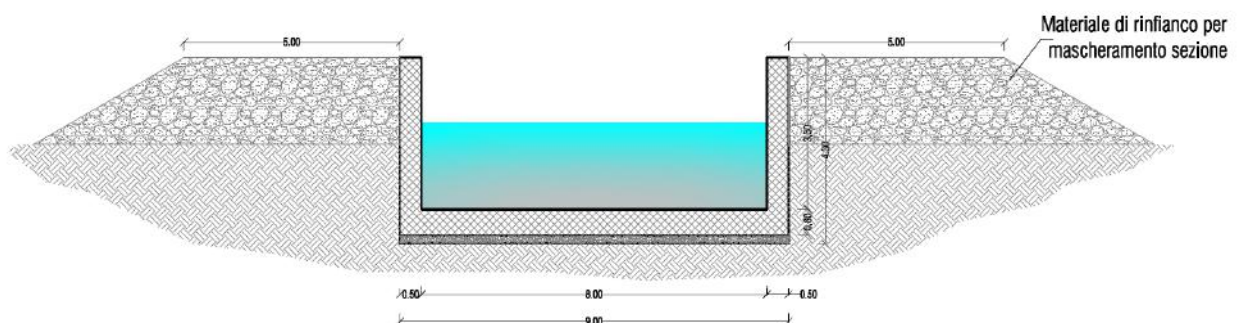


*Figura 3.7– Sezione lama Scorbeto*

Superata la linea ferroviaria la sezione naturale è costretta a subire una variazione di forma per la presenza dei depuratori e di un vincolo altimetrico rappresentato dal collettore emissario del depuratore di Molfetta e dal collettore di collegamento tra il depuratore e l'impianto di riuso.

Dopo circa 150 a valle della linea ferroviaria si è prevista la realizzazione di un tratto artificiale in cemento armato della lunghezza di circa 250 m con sezione rettangolare di base 8 m a altezza dei muri di 3,5 m sino all'ingresso dell'area dell'impianto di riuso e di altezza pari a 3 m sino alla fine dell'area.

Al fine di mascherare l'opera nel tratto esterno al presidio depurativo si è previsto realizzare a tergo delle pareti del canale un argine eseguito con il materiale provenienti dagli scavi opportunamente profilato e compattato.



*Figura 3.8 – Sezione lama Scorbeto tratto artificiale*

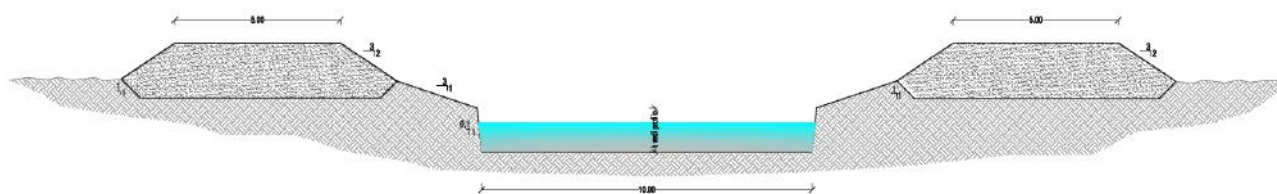
Attraversata la zona dei depuratori per ulteriori 150 m, ovvero nel tratto di raccordo con la piana che porta alla cala San Giacomo, riprende la naturalità della sistemazione idraulica.

In questo tratto sul fondo della lama saranno creati dei salti di fondo che avranno la funzione di dissipare il carico idraulico in eccesso.

Oltrepassato questa zona e sino allo sbocco nella cala San Giacomo la lama verrà arginata per contenere la piena.

In questo tratto, della lunghezza di circa 500, la sezione avrà base di 10 m e sarà delimitata in destra e sinistra idraulica da due argini che garantiranno il rispetto del franco di sicurezza di 1 m richiesto dall'AdB Puglia.





*Figura 3.9 – Sezione lama Scorbeto tratto arginato*

In sinistra idraulica nel tratto compreso tra l'attraversamento della strada vicinale Padula e la ex strada statale n.16, al fini dei accogliere le acque residuali provenienti dal bacino residuo della lama Scorbeto si è previsto di risvoltare le arginature seguendo per circa 500 m il tracciato della lama Marcinase oggetto di esproprio.

Nel rispetto del mantenimento del franco di sicurezza di 1 m gli argini termineranno andandosi ad attestare alla quota altimetrica di 4 m s.l.m. evitando quindi che la piena proveniente dalla lama Scorbeto possa raggiungere l'opera di protezione.



*Figura 3.10 – Risvolto argini in sinistra idraulica*

Per quanto riguarda l'intersezione con le infrastrutture viarie e ferroviarie lungo il tracciato della lama Scorbeto sono presenti una serie di intersezioni:

- N.2 Strade vicinali
- Strada statale S.S. 16
- Ferrovia Bologna – Otranto
- Strada Padala
- Ex Strada statale S.S.16

Per quanto riguarda le due strade vicinali si prevede di realizzare manufatti di attraversamento in cemento armato a sezione rettangolare ricreando all'interno la sagoma della

sezione trasversale del canale in maniera tale da garantire un disturbo quasi nullo durante il transito della piena.

Il manufatto avrà dimensioni nette interne di 9 m di base e altezza differente per i due attraversamenti così come di seguito indicato:

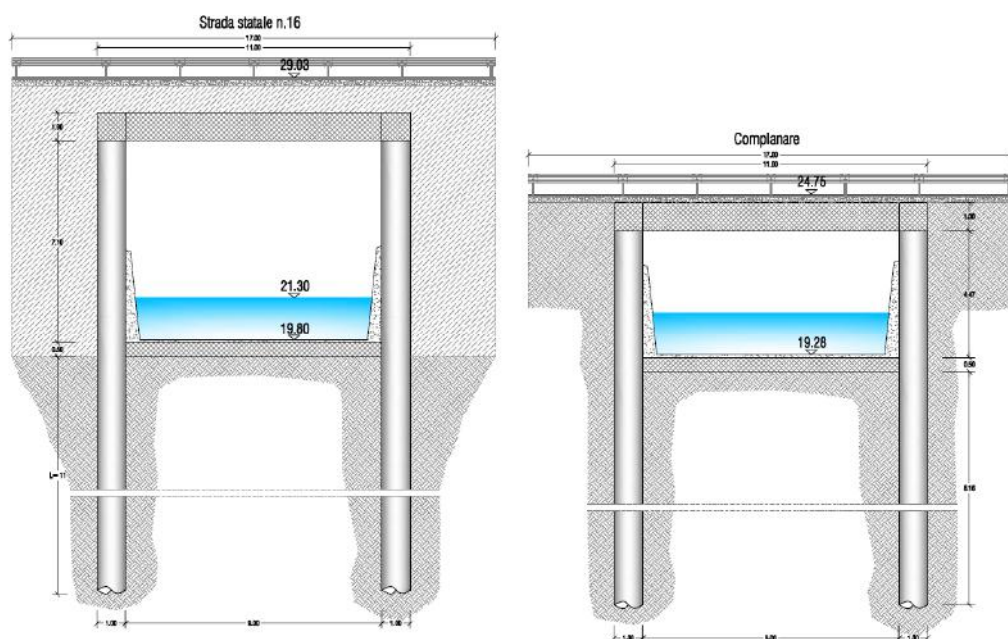
Attraversamento	H
Stradella Scorbeto	4.25
S.V. Coppe	3.69

Per quanto concerne l'intersezione con la strada vicinale San Pancrazio, non si prevede il ripristino della continuità stradale bensì l'interruzione della percorrenza. L'accesso alle proprietà posizionate in destra ed in sinistra idraulica resta comunque garantito grazie alla presenza di altra viabilità comunale.

Per quanto riguarda l'attraversamento della strada statale S.S. 16, non potendo provvedere a realizzare la chiusura al traffico dell'infrastruttura si è optato per una soluzione tecnica che permettesse di realizzare l'opera di attraversamento in due fasi ovvero garantendo comunque il transito dei mezzi ma a su una carreggiata a doppio senso di marcia.

La soluzione tecnica adottata è quella di realizzare una doppia paratia di pali paralleli all'asse del canale e disposti con un interasse di circa 500 m che fungeranno sia da opera provvisoria che da parete del canale.

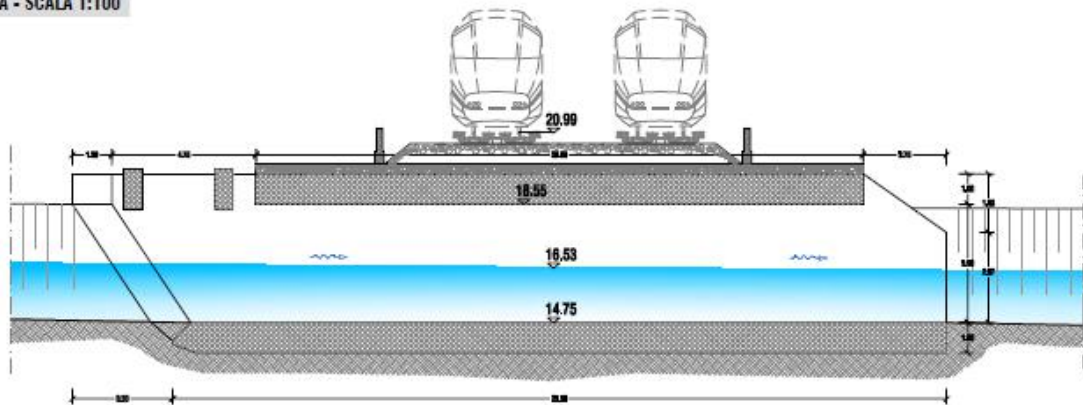
Ad opera completata si realizzerà una sezione libera di 9 m di base e 3,9 m di altezza minima al cui interno verrà ricreata la sagoma della sezione trasversale del canale. L'altezza di 3,9 m è tale da garantire il rispetto del franco di sicurezza di 1,5 m.



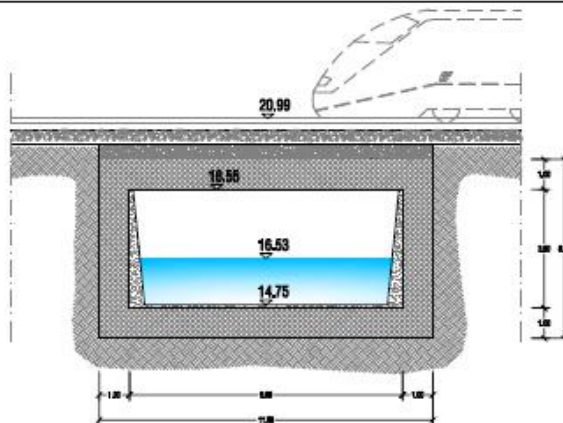
*Figura 3.11 – Particolare attraversamento S.S. 16*

Soluzione diversa è adottata per l'attraversamento della linea ferroviaria. Nello specifico l'opera sarà realizzata con la tecnica dell'infissione oleodinamica del monolite, che consiste nella costruzione fuori opera, in apposita area (fosso di varo), di un manufatto prefabbricato (monolite) il quale viene successivamente posto in esercizio sotto i binari attraverso la spinta, con scavo in avanzamento, a mezzo di martinetti idraulici

SEZIONE A-A - SCALA 1:100



SEZIONE B-B - SCALA 1:100



*Figura 3.12 – Particolare attraversamento RFI*

Il manufatto da realizzare ha sezione trasversale di 9 m di base e altezza netta di 3,9 m. Con queste dimensioni viene garantito il rispetto del franco di sicurezza di 1,5 m per gli eventi con tempo di ritorno di 500 anni, maggiore del tempo di ritorno di 300 anni richiesto dalle norme tecniche di RFI.

Gli ultimi due attraversamenti, ovvero la vecchia strada statale S.S. 16 e la strada vicinale Padula saranno realizzati interrompendo il traffico e instaurando una viabilità alternativa provvisoria. Questa soluzione si rende necessaria in quanto, per entrambe le viabilità, risulta obbligatorio prevedere un innalzamento della livelletta stradale, per poter garantire un franco di



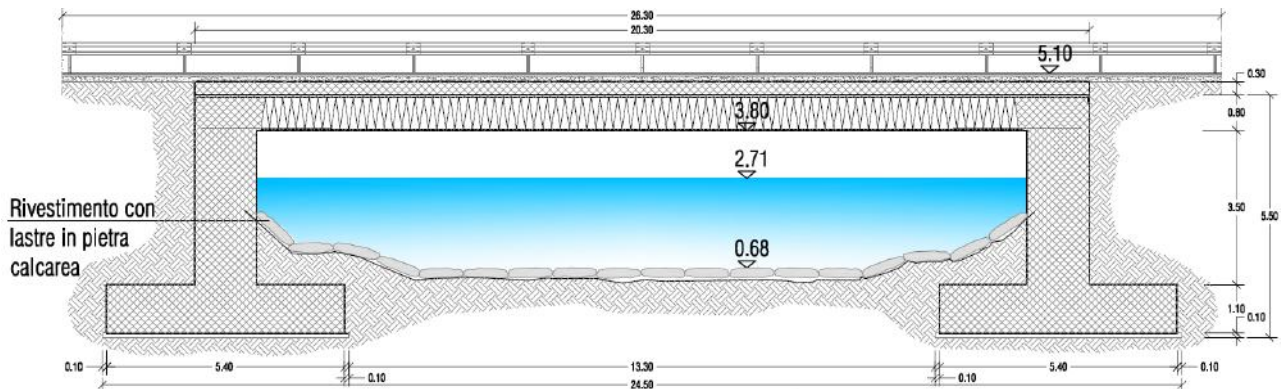
sicurezza di 1 m rispetto al pelo libero dell'acqua in occasione del passaggio della piena con tempo di ritorno di 200 anni.

Nello specifico, per quanto attiene la strada vicinale Padula la livelletta stradale sarà sopraelevata di 2,55 m, portando la quota del piano stradale in asse alla lama dagli attuali 3,10 m s.l.m. a quota di 5,65 m s.l.m.

Per la vecchia strada statale 16, invece, la livelletta stradale sarà sopraelevata di 2,27 m, portando la quota del piano stradale in asse alla lama dagli attuali 2,83 m s.l.m. a quota di 5,10 m s.l.m.

L'opera d'arte di attraversamento è eseguita realizzando due spalle in cemento armato sulle quali saranno montato l'impalcato stradale con l'impiego di travi.

Il fondo della lama verrà poi protetto dalle azioni di trascinamento con la posa di lastre in pietra calcarea.



*Figura 3.13 – Particolare attraversamento Ex S.S: 16 e strada Padula*

## 4 STUDIO IDROLOGICO

Le verifiche idrauliche degli interventi in progetto sono state condotte mediante l'impiego di dati di portata per assegnati tempi di ritorno forniti dall'autorità di Bacino della Regione Puglia. Nella seguente tabella se ne riporta un riepilogo distinto per la Lama Marcinase e per la Lama Scorbeto per eventi con tempo di ritorno rispettivamente di 30, 200 e 500 anni.

Lama	T <sub>c</sub> (h)	Q <sub>30</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>200</sub> (m <sup>3</sup> /s)	Q <sub>500</sub> (m <sup>3</sup> /s)	V <sub>30</sub> (m <sup>3</sup> )	V <sub>200</sub> (m <sup>3</sup> )	V <sub>500</sub> (m <sup>3</sup> )
Marcinase	3.06	18,14	34,13	42,20	501.189	942.913	1.165.773
Scorbeto	2.25	16,93	33,10	41,37	301.943	590.347	737.891

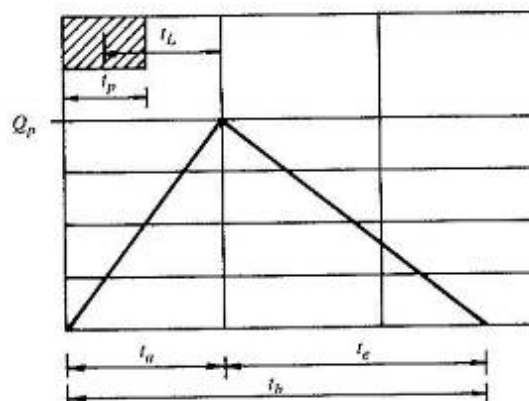
*Tabella 4.1 - Portate al colmo di piena e volumi per il bacino della Lama Marcinase e della Lama Scorbeto forniti dall'AdB della Puglia*

### 4.1 L'idrogramma di Piena

L'idrogramma impiegato nelle simulazioni bidimensionali è quello proposto con la metodologia del Soil Conservation Service. Questo metodo considera un idrogramma approssimato di forma triangolare con una fase crescente di durata  $t_a$  (tempo di accumulo) ed una fase di esaurimento di durata  $t_e$  (tempo di esaurimento) e il cui volume  $V$ , in m<sup>3</sup>, ha la seguente espressione:

$$V = \frac{Q_p}{2}(t_a + t_e) = \frac{Q_p \cdot t_b}{2}$$

con  $t_b$  durata dell'evento di piena.



*Figura 4.2 - Idrogramma triangolare utilizzato per il calcolo della portata al colmo con il metodo SCS*

A seguito di analisi sperimentali dell'SCS è stato stabilito che nella fase crescente dell'idrogramma defluisce un volume idrico che è pari al 37.5% del volume totale  $V$  di deflusso, ne consegue che la durata della fase crescente è pari a 0.375 volte la durata dell'evento di piena  $t_b$  e pertanto:

$$t_b = 2.67 \cdot t_a$$

Di conseguenza è possibile esprimere la portata al colmo secondo la relazione qui di seguito riportata:

$$Q_p = 0.208 \cdot \frac{V \cdot A}{t_a}$$

in cui:

$V$  = volume di deflusso espresso in mm;

$A$  = area del bacino espressa in  $\text{Km}^2$ ;

$t_a$  = tempo di accumulo espresso in h.

La determinazione di  $t_a$ , nell'ipotesi di precipitazione di intensità costante, di durata  $t_p$  e indicando con  $t_L$  il tempo di ritardo (distanza tra il baricentro dello istogramma ed il picco dell'idrogramma triangolare), si effettua con la semplice relazione:

$$t_a = 0.5 \cdot t_p + t_L$$

Per la determinazione del tempo di ritardo, espresso in ore, si utilizza la formula di Mockus:

$$t_L = 0.342 \cdot \frac{L^{0.8}}{s^{0.5}} \cdot \left( \frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}$$

in cui  $s$  è la pendenza del bacino espressa in percentuale,  $L$  è la lunghezza dell'asta principale, prolungata fino alla displuviate espressa in Km.

Sulla base di determinazioni empiriche effettuate dall'SCS, è possibile affermare che il rapporto  $t_L/t_c$  è pari a 0,6, con  $t_c$  tempo di corrivazione del bacino.

La durata della precipitazione che è critica per il bacino, cioè che mette in crisi la rete idrografica perché per essa si raggiunge il valore più elevato di portata, dipende dall'estensione del bacino stesso. Questa circostanza è una logica conseguenza del fenomeno di trasferimento che impone che ogni particella liquida che cade in un punto del bacino deve seguire un suo percorso per giungere alla sezione di chiusura, impiegando, a parità di velocità di trasferimento, un tempo tanto maggiore quanto più lungo è il percorso da effettuare.

Un tempo caratteristico dell'evento di piena è il tempo di ritardo del bacino, generalmente definito come la distanza temporale tra il baricentro dell'idrogramma di piena superficiale, depurato cioè delle portate di base, che sarebbero defluite nel corso d'acqua anche in assenza dell'evento

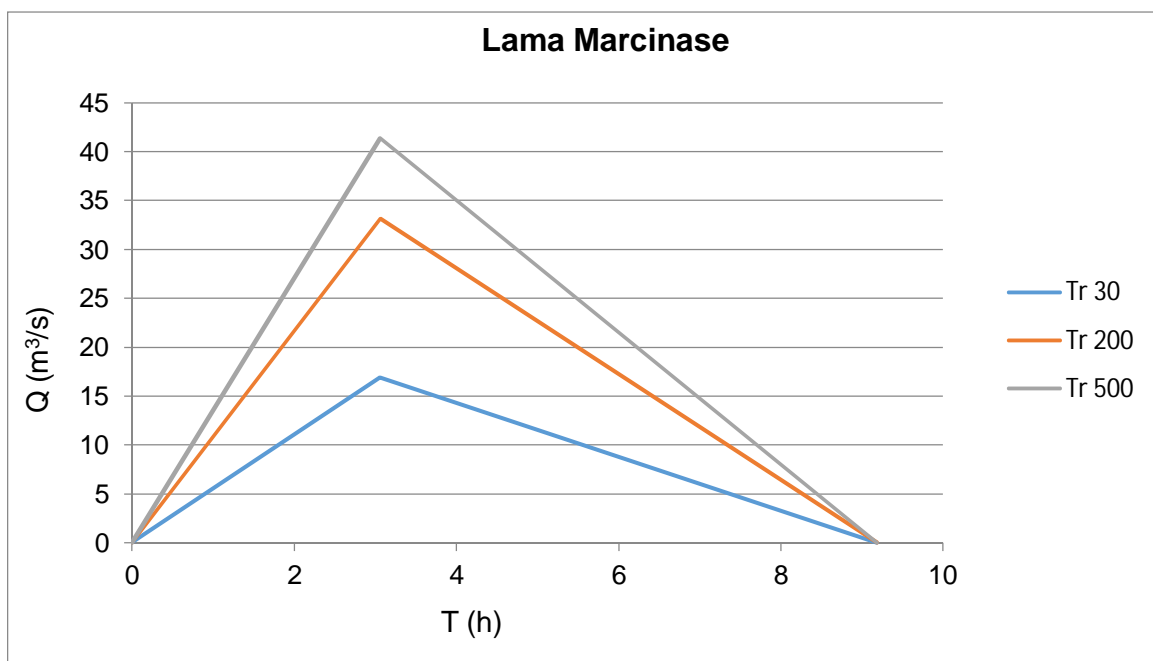


di piena, ed il baricentro del pluviogramma netto. Coerentemente con la metodologia definita dal Soil Conservation Service per la definizione dell'idrogramma di piena, si è scelta, per la determinazione di questo parametro, la formulazione proposta da Mockus, sopra descritta.

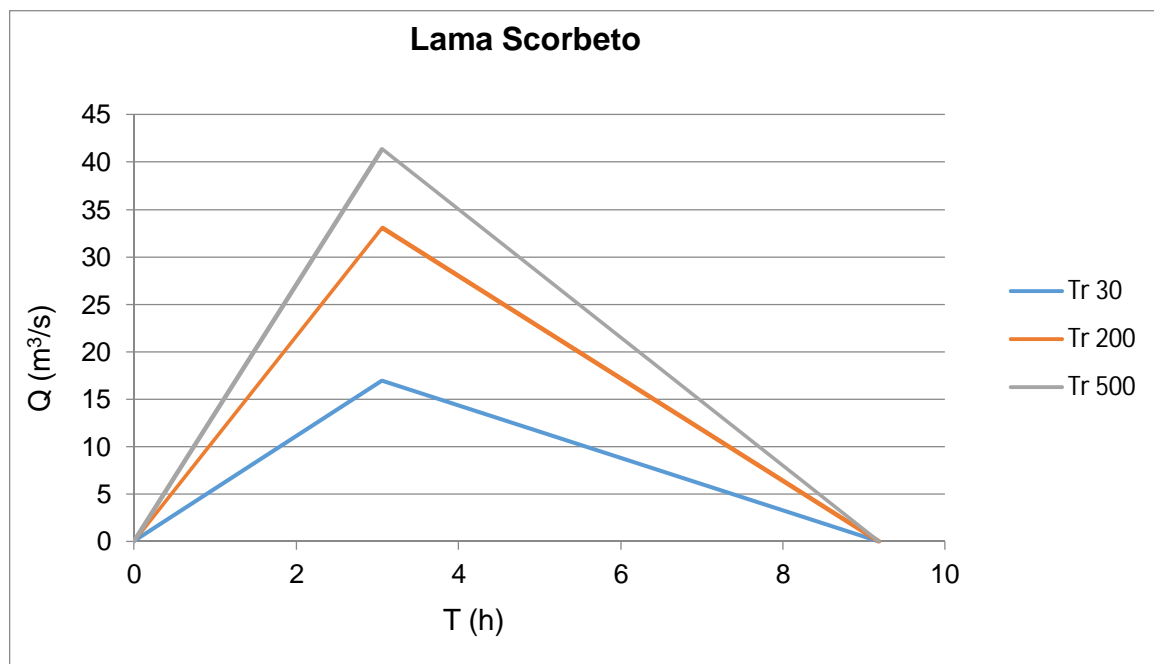
La determinazione del tempo di ritardo consente di individuare le piogge critiche aventi tempo di ritorno  $T_R$  pari a 30, 200 e 500 anni. Le piogge critiche per assegnato tempo di ritorno si definiscono attraverso le curve di possibilità climatiche precedentemente definite; quindi si ricava il valore della pioggia netta, dell'afflusso netto al bacino e della portata al colmo di piena attraverso l'applicazione del metodo Curve Number - SCS già descritto. A tale proposito va sottolineato che avendo utilizzato le piogge critiche per tempi di ritorno pari a 30, 200 e 500 anni si ottengono le portate di piena aventi medesimi rispettivi tempi di ritorno (30, 200 e 500 anni).

I valori di portata sono stati utilizzati nelle analisi idrauliche finalizzate alla definizione delle condizioni effettive di pericolosità idraulica dell'area.

Dovendo procedere, per gli impluvi relativi ai bacini suddetti, alla modellazione in moto vario si è ricavato anche il relativo idrogramma di piena che di seguito si riportano:



*Figura 4.2: Idrogramma di piena Lama Marcinase*



*Figura 4.2: Idrogramma di piena Lama Scorbeto*

## **5 ANALISI IDRAULICA - OPERE DI INVITO LAMA MARCINASE E LAMA SCORBETO**

Il deviatore della Lama Marcinase interseca perpendicolarmente la lama in una zona disposta a monte della zona P.i.p.. Per consentire un graduale imbrigliamento delle acque zenitali verso detta opera, si è previsto di realizzare un'opera di imbocco avente sezione iniziale in asse con la lama e via via un andamento di raccordo con il canale deviatore. L'opera ha una larghezza iniziale di 50 m e profondità di scavo di 50 cm e via via tende a raccordarsi con il canale subendo un restringimento della sezione ed un incremento di profondità. Per permettere al canale deviatore di imbrigliare tutta la portata, si è previsto di realizzare un argine di contenimento all'interno della lama che consente di interdire il passaggio dell'acqua a valle del canale.

Analogamente alla lama Marcinase si è previsto di realizzare un'opera di imbocco anche in corrispondenza della lama Scorbeto. In questo caso l'opera ha una sezione iniziale di 36 m di larghezza, disposta in asse alla Lama Scorbeto e via via tende ad allargarsi e a raccordarsi con la lama Scorbeto.

Nei paragrafi successivi vengono esposti i risultati dello studio idraulico di dettaglio delle due opere che è stato condotto facendo ricorso a un modello bidimensionale ed in particolare al modello di calcolo FLO-2D in quanto il solo studio monodimensionale non permette di riprodurre lo stato effettivo del sistema.

### **5.1 Teoria del modello idraulico FLO-2D**

Il FLO-2D è un software per la modellazione idraulica bidimensionale utilizzato per diversi tipi di verifiche idrauliche come la propagazione delle piene anche quando siano interessate le golene, deflussi in zone non confinate, deflussi in aree urbane, trasformazione afflussi-deflussi, deflusso delle piene in aree costiere e colate fangose e detritiche.

Esso permette di simulare un'inondazione su una topografia complessa e con una data scabrezza basando il suo funzionamento sulla conservazione del volume, che è fondamentale per avere un'esatta distribuzione della piena.

Il modello usa l'equazione completa del moto di un'onda dinamica ed uno schema centrale alle differenze finite con otto potenziali direzioni di flusso per predire il procedere dell'idrogramma di piena su una griglia di elementi quadrati.

Questo software è una combinazione tra modello idrologico e modello idraulico e richiede per ogni simulazione di inondazione principalmente due tipi di informazione: quella associata alle quote (modello digitale del terreno, DTM) e quella pluviometrica distribuita.



La topografia della superficie di flusso potenziale è rappresentata da un sistema di griglie quadrate. Agli elementi di griglia sono assegnati le quote ricavate da un'interpolazione dei punti del DTM.

Un programma GDS (grid developer system) genera il sistema a griglia ed assegna le quote. Il GDS sovrappone le griglie sui punti del DTM ed interpolando per mezzo di particolari punti, detti filtri, determina le quote di ogni elemento di griglia.

Esso genera automaticamente il “piano di piena” (che rappresenterà schematicamente la nostra superficie di inondazione) e gli altri dati per cominciare una simulazione di inondazione.

Il procedere dell'onda di piena sul dominio di flusso è controllato dalla topografia e dalla resistenza al deflusso.

La simulazione dell'inondazione che si sviluppa in due dimensioni è portata a termine tramite un'integrazione numerica delle equazioni del moto e della conservazione del volume fluido, sia per un'inondazione di acqua sia per un flusso di sedimento.

Quindi le equazioni costitutive su cui si basa il modello sono:

1. l'equazione di continuità;

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h v_x}{\partial x} = i$$

2. l'equazione del moto (equazione del momento di un'onda dinamica).

$$S_{fx} = S_{ox} - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{v_x}{g} \cdot \frac{\partial v_x}{\partial x} - \frac{v_x}{g} \cdot \frac{\partial v_x}{\partial x} - \frac{1}{g} \cdot \frac{\partial v_x}{\partial t}$$

dove  $h$  è la profondità di flusso e  $V_x$  è la componente della velocità mediata lungo la profondità. L'eccesso di pioggia può essere diverso da zero sulla superficie di flusso. La componente di attrito del pendio  $S_{fx}$  è basata sull'equazione di Manning.

Gli altri termini includono la pendenza del letto  $S_{ox}$ , variazione di pressione e termini di accelerazione convettivi e locali.

Le equazioni del moto in FLO-2D sono definite meglio come un quasi bidimensionale. L'equazione del moto è risolta calcolando la velocità di flusso media attraverso un elemento di griglia di confine, considerando una direzione alla volta.

Ci sono otto direzioni potenziali di flusso, le quattro perimetrali (nord, sud, est, ovest) e le quattro diagonali (nordest, sudest, nordovest, sudovest).

Ogni calcolo di velocità è essenzialmente monodimensionale in natura ed è risolto indipendentemente delle altre sette direzioni.

La stabilità di questo schema numerico esplicito è basata su uno specifico criterio di controllo della misura della variabile computazionale “intervallo temporale”.

La grandezza delle componenti dell'accelerazione relative alla pendenza del fondo ed ai termini di pressione è importante.

Henderson nel 1966 calcolò i termini dell'equazione del moto per un canale alluvionale ripido ed un idrogramma crescente velocemente. I risultati di Henderson sono i seguenti:

– Termini dell'equazione:	$S_o$	$\delta y/\delta x$	$V\delta V/g\delta x$	$\delta V/g\delta t$
– Grandezza (ft/mi):	26	0.5	0.12-0.25	0.05

dove  $S_o$  rappresenta la pendenza del fondo,  $\delta y/\delta x$  è il gradiente di pressione,  $V\delta V/g\delta x$  è l'accelerazione convettiva,  $\delta V/g\delta t$  è l'accelerazione locale.

Egli dimostrò su varie applicazioni per diverse pendenze, che l'applicazione dell'onda cinematica ( $S_o=S_f$ ) è sufficiente per modellare la progressione dell'onda di piena e che il contributo del gradiente di pressione e delle accelerazioni può essere trascurato.

L'aggiunta del gradiente di pressione migliorerà la simulazione del flusso su superfici caratterizzate da una complessa topografia.

L'equazione di onda diffusiva con il gradiente di pressione è necessaria se il sistema di griglie presenta depressioni topografiche.

I termini dell'accelerazione locale e convettiva sono importanti soprattutto per la soluzione di canali con pendenze nulle (*secche*) o con pendenze molto elevate.

Quindi è sempre usata l'equazione completa del moto, senza apportare nessuna delle semplificazioni suddette, enunciate soltanto per chiarire meglio il modello teorico che è alla base del FLO-2D.

## **5.2 Geometria dei modelli impiegati**

Come primo passo per l'applicazione del modello idraulico, si è proceduto a definire il modello digitale del terreno con riferimento all'area in esame.

Sono stati approntati due modelli schematizzati come segue:

- Modello invito Canale deviatore Marcinase
- Modello invito Lama Scorbeto

### Modello invito Canale deviatore Marcinase

Nel Modello "invito Marcinase" è stata studiata l'area a monte della zona P.I.P. in corrispondenza della lama Marcinase. In questo modello sono stati implementati i tre idrogrammi di piena riportati nel paragrafo 4.1 relativi alla Lama Marcinase. Le simulazioni sono state eseguite per verificare i tiranti e le velocità della corrente in corrispondenza dell'opera di invito e dell'argine di contenimento da disporre all'interno della lama. La simulazione è stata eseguita per eventi con tempi di ritorno rispettivamente di 30, 200 e 500 anni.

Per realizzare il modello digitale del terreno si è impiegato come base dati di riferimento il DTM della regione Puglia dell'area di interesse, accuratamente integrata con un rilievo di dettaglio eseguito in loco (cfr. all.3.1, 3.2, 3.3 e 3.4). In questo modo è stato possibile definire un modello digitale del terreno con celle di calcolo aventi dimensioni di 6 x 6 m.

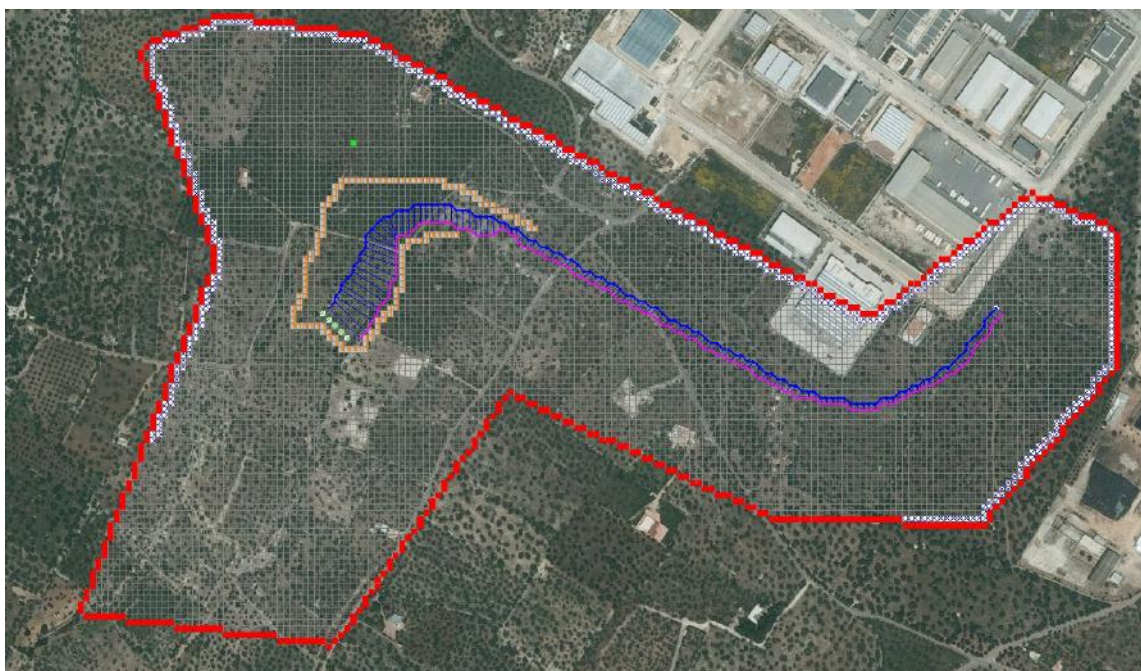
Definito il modello digitale del terreno per la simulazione si è fatto ricorso ad alcune funzioni del modello di calcolo.

In particolare si è fatto ricorso alle seguenti funzioni:

- *In condition*: per assegnare l'idrogramma di piena relativo al bacino della Lama Marcinase;
- *Area and Width Reduction Factor*: nella modalità Completely blocked Grid Element per simulare la presenza dell'argine;
- *Create Channel segment*: per simulare la presenza dell'invito e del canale deviatore la cui geometria è stata assegnata ricavandola dal profilo longitudinale implementato nel modello monodimensionale.
- *Out condition*: per consentire il deflusso al di fuori del dominio computazionale, evitando erronei punti di accumulo.

Per quanto attiene i valori di scabrezza, questi sono stati assunti pari a  $0,04 \text{ s/m}^{1/3}$  per tutto il dominio e 0.025 per le celle dell'invito e del canale deviatore.

L'input è stato inserito in 5 celle disposte a monte dell'opera di invito. La simulazione dell'evento è stata condotta per una durata pari a 18 ore ovvero pari a due volte la durata dell'intero evento di piena. In figura 5.3 si riporta l'estensione del dominio di calcolo.



*Figura 5.1 - Dominio computazionale modello invito Canale deviatore Marcinase*



#### Modello invito Lama Scorbeto

Analogamente si è proceduto per la modellazione dell'invito della Lama Nel Modello "invito Scorbeto". In questo modello l'input è stato inserito in 5 celle disposte a monte dell'opera di invito. La simulazione dell'evento è stata condotta per una durata pari a 13 ore ovvero pari a due volte la durata dell'intero evento di piena. In figura 6.2 si riporta l'estensione del dominio di calcolo.



*Figura 5.2 - Dominio computazionale modello invito Lama Scorbeto"*

### **5.3 Risultati**

Implementate le geometrie dei due modelli si è proceduto con le simulazioni per i tre tempi di ritorno.

#### Modello invito Canale deviatore Marcinase

Con questo modello è possibile verificare se la piena è contenuta all'interno dell'opera di invito. Inoltre noti i tiranti che s'instaurano a monte dell'argine, simulato *Area and Width Reduction Factor* con cui è possibile fissare la quota di progetto da prevedere in sommità dell'argine stesso.

Analizzando i vettori velocità inoltre è possibile ottenere i dati di input per la verifica della stabilità dell'argine.

Nella figura seguente si riportano i risultati della modellazione per eventi con tempo di ritorno di 30 anni con l'indicazione delle aree interessate dal passaggio della piena.

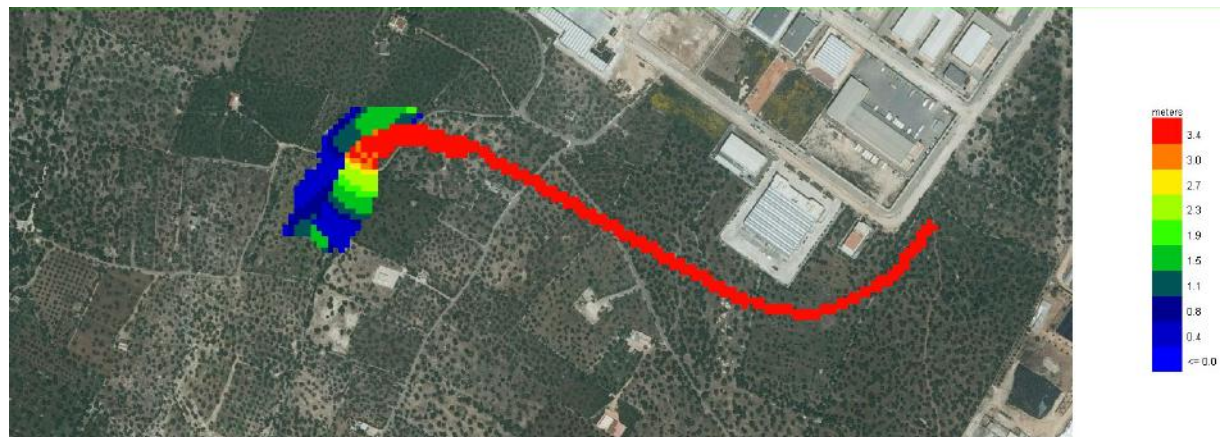


*Figura 5.3 - Risultati modellazione "invito Marcinase"  $Tr=30$  anni*

I risultati del modello evidenziano che l'acqua viene agevolmente imbrigliata all'interno del canale mediante l'opera di invito. In corrispondenza del canale il tirante massimo è di 2.25 m ma mediamente ha un valore di circa 2.15 m. La velocità massima di 1.86 m/s si registra in corrispondenza delle sezioni subito a valle del termine dell'imbocco ove il canale assume una sezione di base larga 6 m.

Dalla simulazione emerge che parte dell'acqua tende a sfuggire dall'opera di imbocco, difatti la macchia blu in sinistra idraulica dell'opera di invito, dimostra che l'acqua tende a raggiungere l'argine. Tuttavia nella parte iniziale i tiranti sono bassissimi, inferiori a 20 cm, mentre in corrispondenza dell'argine il tirante raggiunge un valore massimo di 56 cm e quota assoluta di 41.15 m s.l.m. In detto punto l'acqua arriva con velocità molto basse, difatti il valore massimo è di 0.35 m/s

La seconda simulazione è stata condotta per eventi con tempi di ritorno di 200 anni. Nella figura seguente si riportano i risultati con l'indicazione delle aree interessate dal passaggio della piena.

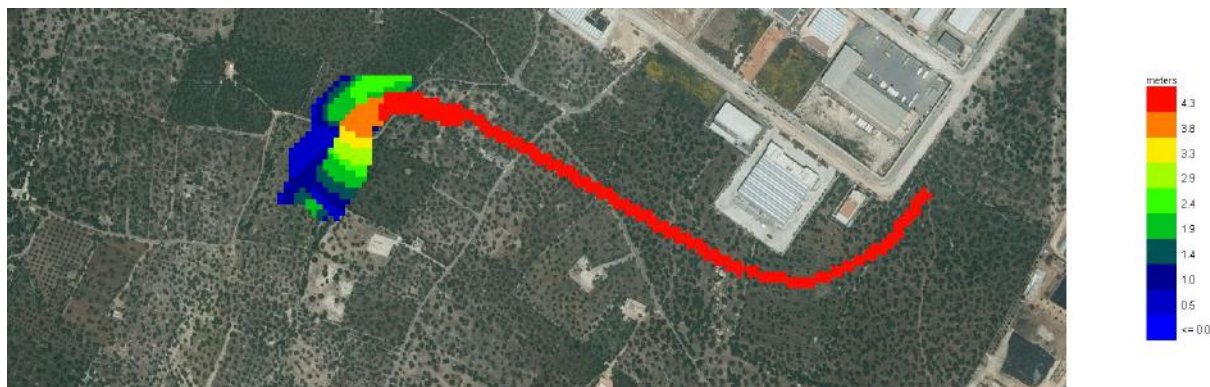


*Figura 5.4 - Risultati modellazione "invito Marcinase"  $Tr=200$  anni*



Anche in questo caso i risultati del modello evidenziano che l'acqua viene agevolmente imbrigliata all'interno del canale mediante l'opera di invito. In corrispondenza del canale il tirante massimo cresce sino a 3.43 m e mediamente ha un valore di circa 3.3 m. Anche la velocità subisce un incremento raggiungendo un valore di 2.51 m/s in corrispondenza delle sezioni subito a valle del termine dell'imbocco ove il canale assume una sezione di base larga 6 m. Anche in questo caso emerge che parte dell'acqua tende a sfuggire dall'opera di imbocco, difatti la macchia blu in sinistra idraulica dell'opera di invito, evidenzia che l'acqua tende a raggiungere l'argine. Anche in questo caso i tiranti sono bassissimi, inferiori a 20 cm, mentre in corrispondenza dell'argine il tirante raggiunge un valore massimo di 1.45 m e quota assoluta di 42.04 m s.l.m.. In corrispondenza dell'argine l'acqua raggiunge velocità molto basse di 0.36 m/s.

L'ultima simulazione è stata condotta per l'evento con tempo di ritorno di 500 anni.



*Figura 5.3 - Risultati modellazione "invito Marcinase"  $Tr=500$  anni*

I risultati sono analoghi ai precedenti. Si riscontra tuttavia un incremento del tirante massimo all'interno del canale ove raggiunge una quota massima di 4.28 m ed un valore medio di 4 m, mentre le velocità si conservano relativamente basse con valori medi di 2.2 m/s e un valore massimo di 2.66 m/s. In corrispondenza dell'argine il tirante massimo raggiunge un valore di 2.12 m e quota assoluta di 42.75 m. Come per le precedenti simulazioni le velocità in corrispondenza del piede dell'argine sono molto basse difatti il valore massimo è di 0.37 m/s.

Nella tabella seguente si riepilogano i risultati delle tre simulazioni con riferimento al tirante che si instaura a monte dell'arginatura e alla velocità di impatto su di esso della corrente (molto basse).

<b>Tempo di ritorno</b>	<b>Tirante (m)</b>	<b>Altezza idrica a monte (m s.l.m.)</b>	<b>Velocità massima di impatto (m/s)</b>
Tr 30	0.56	41.15	0,35
Tr 200	1.45	42.04	0.36
Tr 550	2.12	42.75	0.37

Assumendo la quota in sommità dell'argine pari a 44,0 m s.l.m. e maggiore di 1 m per gli eventi con tempo di ritorno di 500 anni.

Nel complesso i risultati delle simulazioni dimostrano l'efficacia della soluzione progettuale poiché l'acqua tende ad incanalarsi all'interno del canale deviatore e nel complesso sia i tiranti che le velocità sono contenuti nei limiti desiderati. Si evidenzia che la quota massima del tirante idrico in corrispondenza dell'argine che si registra per eventi con tempi di ritorno di 500 anni è di 42.75 m. A vantaggio di sicurezza è stata considerata un'altezza massima del coronamento dell'argine di progetto di 44 m, quindi garantendo un franco di sicurezza di ben 1.25 m, anche per eventi con tempi di ritorno di 500 anni, mentre per gli eventi con tempo di ritorno di 200 anni risulta un franco di sicurezza di circa 2 m.

#### Modello invito Lama Scorbeto

Il secondo modello implementato è stato quello dell'invito della Lama Scorbeto, per verificare se la piena è contenuta all'interno dell'opera di invito e per verificare i tiranti massimi e le velocità massime della corrente che si generano in corrispondenza della lama

Nella figura seguente si riportano i risultati della modellazione per eventi con tempo di ritorno di 30 anni con l'indicazione delle aree interessate dal passaggio della piena.



*Figura 5.5 - Risultati modellazione "invito Scorbeto"  $Tr=30$  anni*

I risultati del modello evidenziano che l'acqua viene agevolmente imbrigliata all'interno del canale mediante l'opera di invito. In corrispondenza del canale il tirante massimo è di 1.26 m in corrispondenza delle sezioni di raccordo dell'invito alla lama Scorbeto e mediamente ha un valore di circa 1.00 m. La velocità massima di 3.5 m/s si registra in corrispondenza delle sezioni terminali del canale e mediamente ha un valore di 3.3 m/s.



Dalla simulazione si riscontra che l'acqua è sempre contenuta nel canale e non tende a tracimare verso valle.

La seconda simulazione è stata condotta per eventi con tempi di ritorno di 200 anni. Nella figura seguente si riportano i risultati con l'indicazione delle aree interessate dal passaggio della piena.



*Figura 5.6 - Risultati modellazione "invito Scorbeto"  $Tr=200$  anni*

Anche in questo caso i risultati del modello evidenziano che l'acqua viene agevolmente imbrigliata all'interno del canale mediante l'opera di invito. In corrispondenza del canale il tirante massimo cresce sino a 2.06 m e mediamente ha un valore di circa 1.5 m. Anche la velocità subisce un incremento raggiungendo un valore di 3.7 m/s. Anche in questo caso l'acqua è sempre contenuta all'interno dell'invito e della lama.

L'ultima simulazione è stata condotta per l'evento con tempo di ritorno di 500 anni.



*Figura 5.7 - Risultati modellazione "invito Scorbeto "  $Tr=500$  anni*

I risultati sono analoghi ai precedenti. Si riscontra tuttavia un incremento del tirante massimo all'interno del canale ove raggiunge una quota massima di 2.38 m ed un valore medio di 1.75 m, mentre le velocità raggiungono un valore massimo di 4 m/s e valori medi di 3.9 m/s. Anche in questa configurazione l'acqua risulta completamente contenuta all'interno dell'opera di invito e all'interno della lama. Tuttavia a vantaggio di sicurezza, la soluzione progettuale prevede la realizzazione di un argine di contenimento avente altezza iniziale di 1.6 m, il quale tende a raccordarsi alla quota terreno dopo circa 160 m.

Nel complesso i risultati delle simulazioni dimostrano l'efficacia della soluzione progettuale poiché l'acqua tende ad incanalarsi all'interno della lama Scorbeto e sia i tiranti che le velocità sono contenuti nei limiti desiderati. Inoltre, sebbene l'acqua risulti sempre contenuta all'interno della lama anche per eventi con tempo di ritorno di 500 anni, è stato previsto a vantaggio di sicurezza un argine di contenimento.

## **6 ANALISI IDRAULICA - CANALE DEVIATORE E LAMA SCORBETO**

Eseguite le simulazioni con modello bidimensionale delle due opere di invito, rispettivamente del canale deviatore della lama Marcinase dell'opera di inalveazione della Lama Scorbeto si è proceduto alla analisi idraulica degli interventi di mitigazioni atti a garantire il convogliamento dell'acqua verso lo sbocco a mare.

Per la verifica delle sezioni trasversali e delle livellette previste per il canale deviatore e per la porzione della sezione della lama Scorbeto che sarà impegnata dal transito dell'acqua si è fatto ricorso ad un modello monodimensionale di calcolo HEC-RAS che ben si adatta a simulare le opere in progetto.

Di seguito si illustrano brevemente i contenuti del modello, rimandando ad ogni approfondimento, ai documenti presenti sul sito ufficiale ([www.hec.usace.army.mil](http://www.hec.usace.army.mil)). HEC-RAS è un programma realizzato per effettuare calcoli idraulici monodimensionali per reticoli idrografici (indifferentemente naturali ed artificiali); il software può lavorare in regime di moto permanente o vario.

Le simulazioni effettuate, per il caso di studio, sono state condotte in regime di moto permanente. Nei punti che seguono si riportano in dettaglio i modelli impiegati ed i relativi risultati.

### **6.1 Teoria del modello idraulico – moto permanente**

Nel caso di moto permanente, il software è in grado di modellare profili sia di correnti lente che veloci, ed inoltre è possibile valutare profili misti, con passaggio attraverso lo stato critico.

Il profilo idraulico è calcolato normalmente (standar step method) attraverso la soluzione iterativa della equazione dell'energia, tra due sezioni consecutive. Le perdite relative al termine cinetico dell'equazione, sono calcolate aggiungendo alle perdite continue per attrito, "J", un coefficiente di contrazione/espansione, che viene moltiplicato per la differenza delle altezze cinetiche medie tra due sezioni successive.

L'equazione che esprime la perdita di energia è la seguente:

$$h_e = LJ' + C \left( \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right)$$

dove:

L = lunghezza del tratto di alveo compreso tra le due sezioni successive, "pesata" in funzione della portata defluente all'interno della sezione trasversale su zone con differente coefficiente di attrito (basato sulla equazione di Manning)

J' = pendenza di attrito "rappresentativa" (media) delle due sezioni successive (in caso di moto uniforme sarebbe parallela al fondo e costante).

C = coefficiente di contrazione o di espansione

Occorre ribadire che il software è programmato per il calcolo di profili nell'ipotesi monodimensionale, e quindi fornisce, per ciascuna sezione trasversale, un'unica altezza del pelo libero e un'unica altezza della linea dell'energia. L'altezza della linea dell'energia, è ottenuta dal calcolo del valore "pesato" dalla portata di ciascuna delle sottosezioni in cui si può suddividere la sezione trasversale.

Per calcolare quindi il valore dell'energia per l'intera sezione, bisogna ricavare la parte relativa alla altezza cinetica media, passando attraverso la valutazione del coefficiente di velocità  $\alpha$  (a sua volta "pesato"):

$$\alpha \frac{\bar{V}^2}{2g} = \frac{Q_1 \frac{V_1^2}{2g} + Q_2 \frac{V_2^2}{2g}}{Q_1 + Q_2}$$

In generale si ottiene, per  $Q = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_N$ :

$$\alpha = \frac{[Q_1 V_1^2 + Q_2 V_2^2 + \dots + Q_N V_N^2]}{Q \bar{V}^2}$$

Come detto, le *perdite continue per attrito* sono valutate come il prodotto di

$$J'_f \times L$$

dove  $J'_f$  è la pendenza media della linee dell'energia tra due sezioni consecutive distanti tra loro L (pesate in funzione delle "portate trasversali").

La pendenza della linea dell'energia è calcolata, per ciascuna sezione, tramite l'equazione di Manning, nel modo seguente:

$$J_f = \left( \frac{Q}{K} \right)^2$$

dove K rappresenta il termine di "trascinamento" e quindi influenza le perdite continue; il modello contiene espressioni alternative che possono essere scelte dall'utente. In particolare l'espressione

$$J_f = \left( \frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2$$

è quella di default nel programma.

Le *perdite per contrazione ed espansione*, rappresentative in un certo senso delle perdite localizzate, sono calcolate in HEC-RAS tramite la seguente equazione:



$$h_{ce} = C \left[ \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} \right]$$

dove:

C = coefficiente di contrazione o espansione.

Il programma assume che vi sia una contrazione, ogni volta che l'altezza cinetica (*velocity head*) a valle è maggiore di quella immediatamente a monte. Al contrario si assume una espansione, quando la altezza cinetica a valle è minore di quella di monte.

In definitiva l'equazione della energia, al fine della valutazione della incognita ovvero del tirante idrico nella singola sezione, viene applicata in maniera iterativa, secondo il seguente schema, assegnate che siano le condizioni al contorno:

1. viene assunta una altezza del pelo libero nella sezione a monte di quella ritenuta nota (o a valle a seconda se siamo in corrente lenta o veloce);
2. su questo valore ipotetico, si valutano i valori di K e della altezza cinetica;
3. ora viene calcolato il termine  $J_f$  e quindi è possibile valutare  $h_e$ ;
4. con i valori ricavati, si ricava la altezza del pelo libero nella sezione di monte;
5. si confrontano il valore appena ricavato, con quello assunto al punto 1 e si reitera il calcolo, sino ad una tolleranza di 0.003 m (valore predefinito, modificabile dall'utente).

Il criterio utilizzato per l'assunzione di una altezza iniziale del tirante, varia nell'ambito della procedura, man mano che si sviluppano passaggi successivi. Nel primo passaggio, relativo ai 5 punti descritti, il tirante si basa sulla proiezione di quello della sezione precedente nella sezione in studio. Nel secondo passaggio, invece, è utilizzato il tirante del primo passaggio, incrementata del 70% dell'errore risultante al primo passaggio (altezza calcolata – altezza assunta). Il terzo passaggio e i successivi, sono invece basati su un metodo di proiezione “secante”, tendente a limitare la discrepanza evidenziata.

In tutte le situazioni in cui non si ha un profilo di corrente gradualmente variato, ma che prevedono risalti idraulici, passaggio attraverso lo stato critico (per bruschi cambi di pendenza, restringimenti, attraversamenti, ponti) e quindi si generano profili di corrente rapidamente variati, il programma utilizza in luogo della equazione dell'energia, l'equazione del momento, o dell'equilibrio dinamico.

L'equazione deriva dalla seconda legge di Newton ( $F = m \cdot a$ , ovvero Forza=massa\*accelerazione), applicata ad una massa d'acqua compresa tra due sezioni; l'espressione della differenza dei momenti nell'unità temporale tra le sezioni 1 e 2, si esprime con la seguente equazione

$$P_2 - P_1 + W_x - F_f = Q\rho\Delta V_x$$

dove:

$P$  = spinta sulle sezioni 1 e 2

$W_x$  = forza peso nella direzione del moto

$F_f$  = forza dovuta alle perdite per l'attrito esterno tra 2 e 1

$Q$  = portata

$\rho$  = densità dell'acqua

$\Delta V_x$  = cambio di velocità tra 2 e 1 nella direzione del moto.

Risolvendo le varie componenti dell'equazione base, si perviene alla formulazione usata dal modello che la soluzione dell'equazione dei momenti, che risulta essere la seguente:

$$\frac{Q_2\beta_2}{gA_2} + A_2\overline{Y_2} + \left(\frac{A_1 + A_2}{2}\right)LS_0 - \left(\frac{A_1 + A_2}{2}\right)L\overline{S_f} = \frac{Q_1\beta_1}{gA_1} + A_1\overline{Y_1}$$

Per concludere questa panoramica sul modello, si rammenta la possibilità di inserire nella geometria del sistema aree di accumulo e rilascio, di esondazione al di fuori del canale principale, e di deposito temporaneo o definitivo (ovvero zone in cui la componente cinetica si annulla).

## **6.2 Geometria del modello**

L'applicazione del modello ha visto, quale primo step, la definizione della geometria del corso d'acqua.

Il modello è stato realizzato ricostruendo 100 sezioni del profilo del terreno, di cui 20 per il canale deviatore denominato "Deviatore" nel modello e 80 della Lama Scorbeto (20 a monte denominato "Scorbeto monte" della confluenza con il canale deviatore e 60 a valle denominato "Scorbeto valle") mediante un rilievo di dettaglio in campo.

Per il canale deviatore è stato ricostruito il profilo della sezione di progetto di tipo trapezia con scarpa 1/3 nella prima porzione di scavo (mediamente variabile da 1 a 2 m di profondità) e scarpa 1/10 nella parte più profonda con larghezza di base di 6 m. E' stata assegnata una pendenza di 0.1 %. Nel complesso il canale avrà una lunghezza di circa 820 m.

Nel modello la Lama Scorbeto è suddivisa in due tronchi; il primo a monte della confluenza con il canale deviatore avente lunghezza di circa 822 m ed il secondo a valle della predetta confluenza avente lunghezza di circa 1900 m. Nei tratti in trincea, analogamente con quanto previsto per il canale deviatore, la sezione sarà di tipo trapezia con scarpa 1/3 nella prima fascia e 1/10 nella parte più profonda con larghezza di base di 6 m. Il fondo della lama avrà una pendenza

dello 1.3 % e conserverà una larghezza di base di 6 m sino alla confluenza con il canale deviatore della Lama Marcinase. A valle della confluenza con il canale deviatore, la sezione della lama Scorbeto subisce un allargamento della larghezza di base di 2 m, e pendenza del fondo variabile compresa tra 4.6% e 0.2%.

Nel tratto che attraversa il depuratore dell'agglomerato di Molfetta e l'impianto di affinamento delle acque reflue, rispettivamente disposti in destra e sinistra idraulica, la sezione è stata ricostruita con forma rettangolare. A valle dei depuratori la sezione subisce un ulteriore allargamento raggiungendo una sezione di base di 10 m. Questa tipologia di sezione si estende per 570 m prima di sfociare nel mare Adriatico, in corrispondenza della cala San Giacomo.

Laddove il battente idrico supera le sponde, è stata impiegata la funzione "Levees" per simulare la presenza delle arginature. Nello specifico gli argini sono stati impiegati tra le sezioni 61S - 66S ove si prevede la realizzazione di un canale in calcestruzzo a sezione rettangolare di base di 10 m e altezza variabile da 3,5 m a 3 m e tra le sezioni 70S - 80S ove si prevede la realizzazione di argini di contenimento in terra.

Il dettaglio delle sezioni di progetto è riportato nell'allegato *4D - Output modellazione idrauliche*.

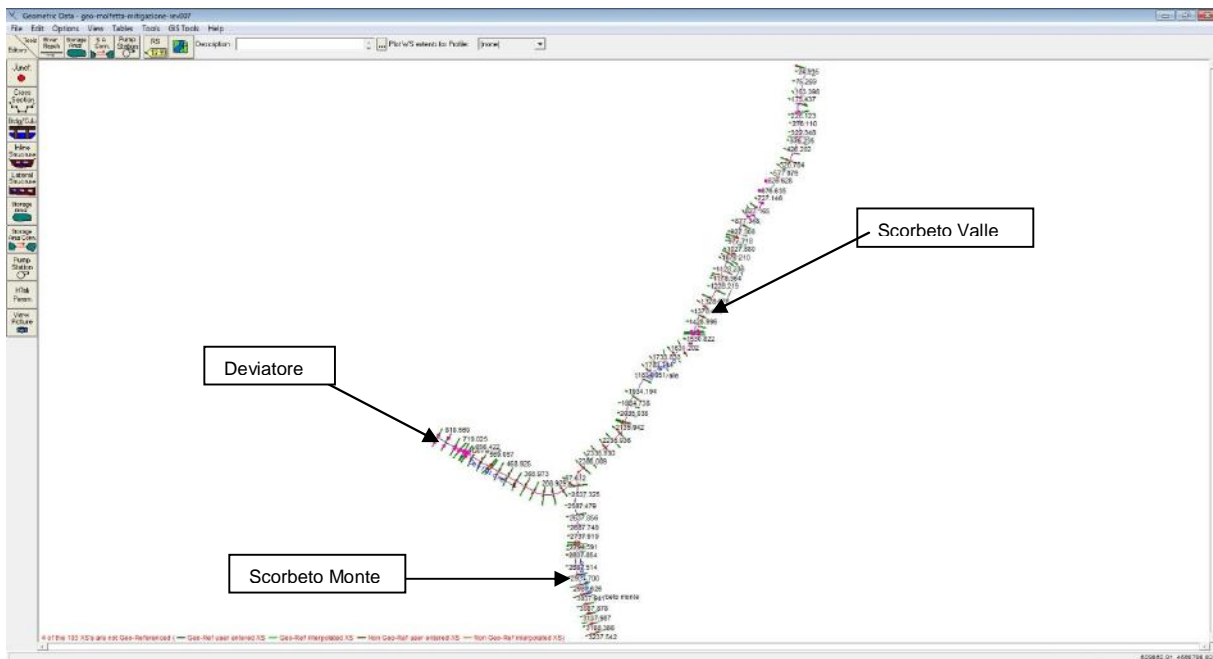
La simulazione è stata effettuata sulla base dei dati derivanti dalla CTR della Regione Puglia consistentemente integrata con rilievi di campo.

Alle sezioni trasversali del canale, a seguito dei sopralluoghi effettuati, si è assegnato un coefficiente di scabrezza, valutato secondo le tabelle di Manning pari a  $0,025 \text{ s/m}^{1/3}$ .

Una ulteriore analisi ha riguardato le condizioni al contorno. Nel caso in oggetto si sono considerate le seguenti condizioni al contorno:

- Deviatore            monte =    Altezza critica;  
                             valle =    Giunzione con il canale "Scorbeto monte";
- Scorbeto Monte   monte =    Altezza critica;  
                             valle =    Giunzione con il canale "Deviatore";
- Scorbeto Valle    monte =    Giunzione con il canale "Deviatore";  
                             valle =    Altezza d'acqua nota pari al livello di marea di 0,50 m s.l.m.;

**Mitigazione del rischio idraulico dell'area P.I.P. del comune di Molfetta mediante la rigenerazione della lama Scorbeto e la rinaturalizzazione della lama Marcinase**



*Figura 6.1 - Planimetria delle sezioni impiegate nel modello di calcolo HEC-RAS*

Si precisa che lungo il tracciato del canale deviatore e della Lama Scorbeto sono presenti degli attraversamenti della viabilità principale riassunti e ubicati tra le sezioni riportate nella seguente tabella:

Tronco	N. attrav.	Sezioni	Sezioni HEC-RAS (river station)	Attraversamento	Sezione (b x h)
Marcinase Monte	1	10 - 11	523,724 - 512,854	S.V. (*)	7.00 x 6.30 m
	2	12 - 13	468.925 – 418.864	S.V. Rocchia (*)	7.00 x 6.85 m
Scorbeto Monte	3	11 - 12	2809.597 – 2794.951	S.V. Parieti	7.00 x 2.28 m
	4	13 - 14	2788.870 – 2774.704	S.V: Fondo	7.00 x 2.46 m
Scorbeto valle	5	41 - 42	1470.971 – 1464.326	S.V. SAN PANCRAZIO (*)	9.00 x 2.92 m
	6	46 - 47	1278.719 – 1228.219	S.S. n.16	9.00 x 3.90 m (min)
	7	49 - 50	1166.489 – 1153.970	S.V.	9.00 x 4.25 m
	8	53 - 54	1060.558 – 1041.180	Ferrovia	9.00 x 3.90 m
	9	57 - 58	963.663 – 946.461	S.V.	9.00 x 3.69 m
	10	72 - 73	346.273 – 322.348	S.V. PADULA	17.5 x 3.50 m
	11	77 - 78	153.398 – 131.	EX S.S.n.16	17.5 x 3.50 m

*Tabella 6.1 - Attraversamenti della viabilità interferente con il tracciato in progetto*



Gli attraversamenti indicati con l'asterisco in tabella non sono previsti in appalto, tuttavia in questa fase si è verificata la loro fattibilità esecutiva futura nel rispetto del mantenimento del franco di sicurezza di 1 m valutato tra l'intradosso dell'impalcato e il pelo libero dell'acqua al transito della piena con tempo di ritorno di 200 anni.

Si precisa che tutti gli attraversamenti hanno una sagomatura interna analoga a quella delle sezioni di monte e di valle del canale, pertanto la presenza degli attraversamenti non influenza il regime di moto. Per tale motivo non sono stati implementati nel modello di calcolo.

Per la verifica del rispetto del franco di si è fatto riferimento al tirante idrico maggiore valutato tra la sezione di monte e quella di valle dell'attraversamento.

### **6.3 Risultati della modellazione**

Definita la geometria del modello, si è proceduto ad eseguire le simulazioni in condizioni di moto permanente, implementando nel modello le portate derivanti dai bacini Marcinase e Scorbeto. Sono stati simulati tre valori di portata per ciascun tronco di canale per ogni tempo di ritorno, tutti riassunti nella seguente tabella, ove si precisa che per il tronco Scorbeto valle è stata considerata la somma dei contributi delle due lame Marcinase e Scorbeto:

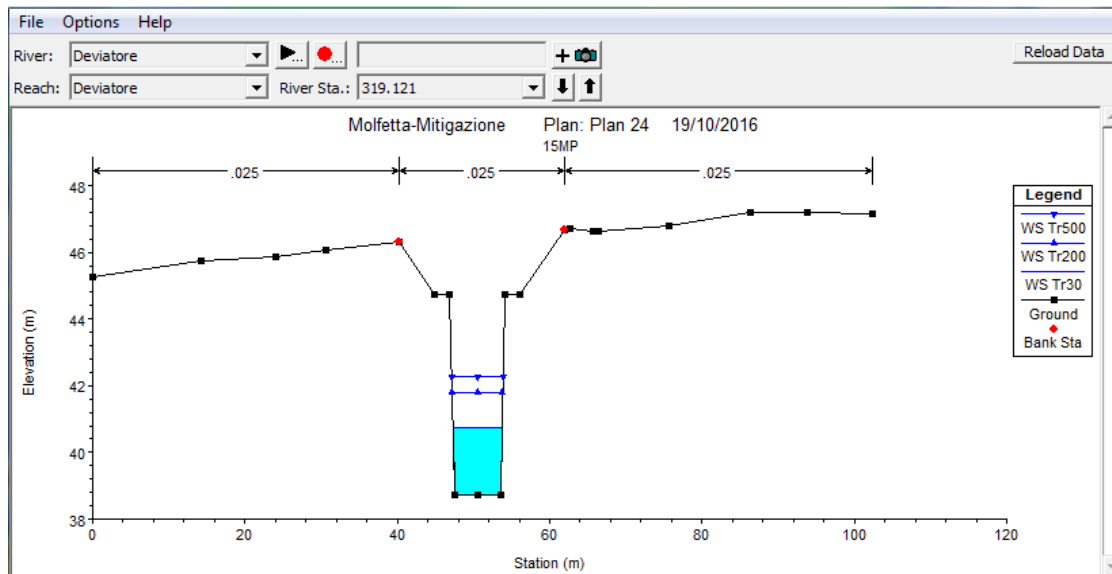
<b>Canale</b>	<b>Tr 30</b>	<b>Tr200</b>	<b>Tr500</b>
-	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s	m <sup>3</sup> /s
Deviatore	18.14	34.3	42.2
Scorbeto Monte	16.93	33.1	41.37
Scorbeto valle	35.07	67.4	83.57

*Tabella 6.2 - Dati di portata implementati nel modello*

Per quanto concerne il canale deviatore, il modello evidenzia che per eventi con tempi di ritorno di 30 anni si raggiungono tiranti massimi dell'ordine di 2 m con velocità medie di 1,5 m/s.

Per eventi con tempi di ritorno di 200 anni si raggiungono tiranti massimi dell'ordine di 3 m con velocità medie di 1,8 m/s di 3.15 m mentre per eventi con tempi di ritorno di 500 anni i massimi tiranti raggiungono valori di 3.70 m e velocità massime di 1.9 m/s.

In tutte le sezioni del canale deviatore non viene mai raggiunto e superato il livello delle banche laterali e pertanto risulta garantito un franco di sicurezza maggiore di 1 m.



**Figura 6.2 – Sezione trasversale canale Deviatore**

Si precisa che le prime sezioni impiegate nel modello non vanno considerate ai fini delle verifiche poiché è prevista la realizzazione di un invito (cfr. tav. 11 - Imbocco deviatore Lama Marcinase) nel canale di progetto. Per le verifiche riguardanti l'invito del canale deviatore si rimanda al paragrafo 5 ove è stato eseguito uno studio di dettaglio dell'opera a farsi mediante l'impiego di un modello bidimensionale. Nel complesso, si evidenzia che le velocità sono molto contenute anche per eventi con tempo di ritorno di 500 anni.

Per quanto attiene i due attraversamenti stradali, le dimensioni assegnate sono tali da garantire il rispetto del franco di sicurezza.

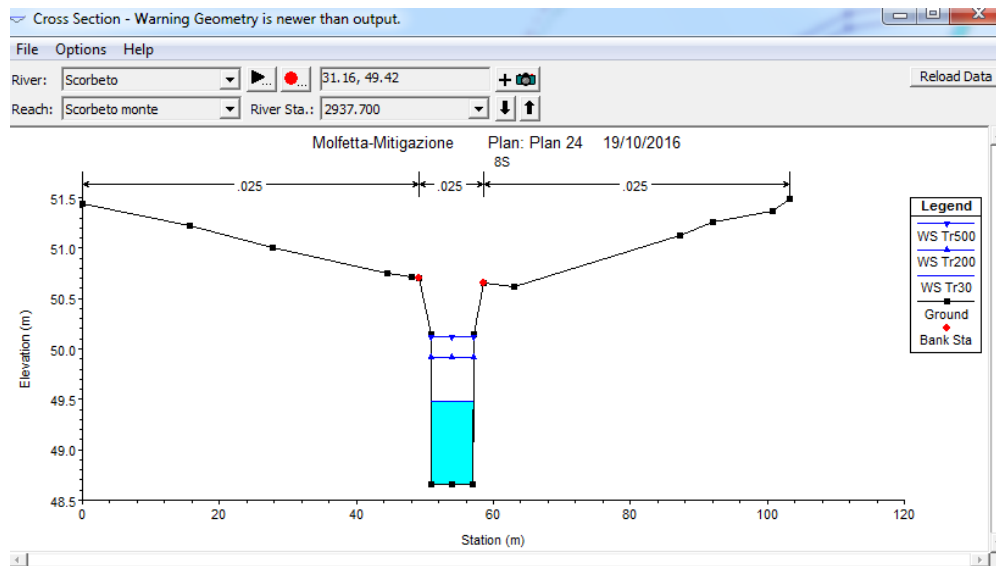
Si riportano nella tabella seguente i valori dei tiranti, le quote di intradosso assunte ed i rispetti franchi di sicurezza.

Tronco	N. attravers.	Sezioni	Attraversamento	Q strada	Q intrad.	Q tirante	Fr
-	-	-	-	m s.l.m.	m s.l.m	m s.l.m	m
Marcinase	1	10 - 11	S.V.	45.44	44.35	42.02	2,33
Monte	2	12 - 13	S.V. Rocchia	45.9	44.80	41.92	2,88

**Tabella 6.3 - Attraversamenti della viabilità interferente con il tracciato in progetto**

Passando ad analizzare i risultati della modellazione sul primo tratto della lama si evince che per eventi con tempi di ritorno di 30 anni i massimi tiranti raggiungono valori inferiori ad 1 m con velocità medie di 3,5 m/s. Per gli eventi di piena con tempo di ritorno di 200 anni si raggiungono valori massimi del tirante di circa 1,3 m e velocità medie di 4,3 m/s mentre per gli eventi di piena con tempo di ritorno di 500 anni si registrano valori dei tiranti massimi di poco maggiori di 1,5 m e velocità inferiori ai 5 m/s.

**Mitigazione del rischio idraulico dell'area P.I.P. del comune di Molfetta mediante la rigenerazione della lama Scorbeto e la rinaturalizzazione della lama Marcinase**



**Figura 6.3 – Sezione trasversale Lama Scorbeto – Tratto di monte**

Sono in corrispondenza del salto di fondo previsto a monte degli attraversamenti delle due strade vicinali il modello fornisce velocità maggiori ai 5 m/s. che sono comunque accettabili sia in considerazione dell'eccezionalità dell'evento sia per le caratteristiche di resistenza del materiale naturale posto al fondo della sezione della lama (calcare).

Per quanto attiene i due attraversamenti stradali, le dimensioni assegnate sono tali da garantire il rispetto del franco di sicurezza.

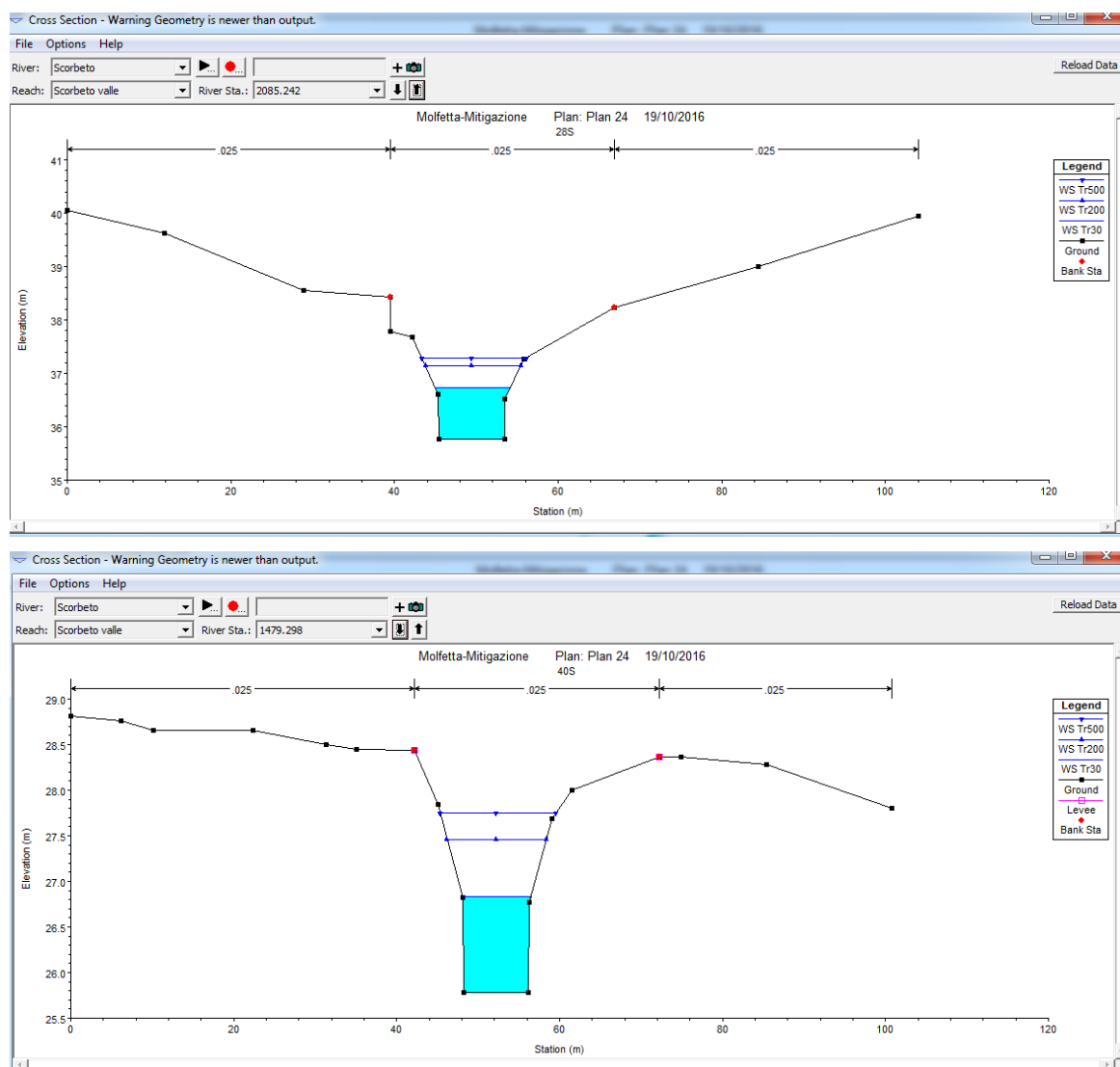
Si riportano nella tabella seguente i valori dei tiranti, le quote di intradosso assunte ed i rispetti franchi di sicurezza.

Tronco	N. attravers.	Sezioni	Attraversamento	Q strada	Q intrad.	Q tirante	Fr
-	-	-	-	m s.l.m.	m s.l.m	m s.l.m	m
Scorbeto Monte	3	11 - 12	S.V. Parieti	49.97	49.10	47.10	1,00
	4	13 - 14	S.V: Fondo	48.9	48.00	46.95	1,05

**Tabella 6.3 - Attraversamenti della viabilità interferente con il tracciato in progetto**

Per quanto concerne il tronco denominato Lama "Scorbeto Valle", dalla modellazione è emerso nel tratto a monte dei depuratori, per eventi con tempi di ritorno di 30, 200 e 500 anni, la piena risulta sempre contenuta nell'alveo centrale e solo in alcuni tratti viene interessata l'area golenale senza però mai raggiungere il ciglio della lama; viene peraltro garantito un buon franco di sicurezza rispetto al ciglio lama ridefinito a seguito degli interventi di rigenerazione della lama Scorbeto.

**Mitigazione del rischio idraulico dell'area P.I.P. del comune di Molfetta mediante la rigenerazione della lama Scorbeto e la rinaturalizzazione della lama Marcinase**

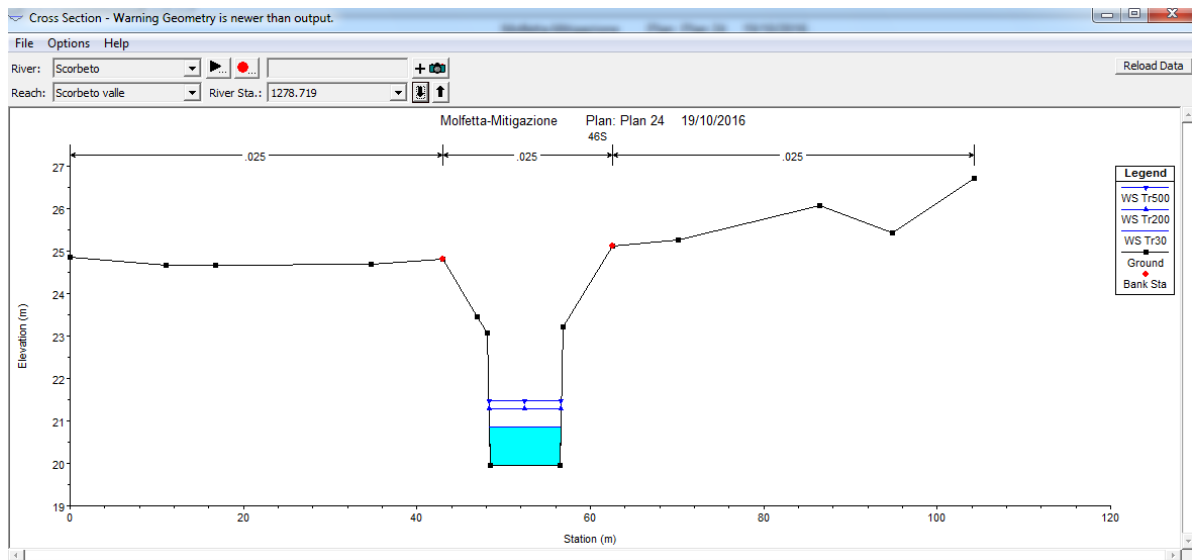


**Figura 6.4 – Sezione trasversale Lama Scorbeto – Tratto valle**

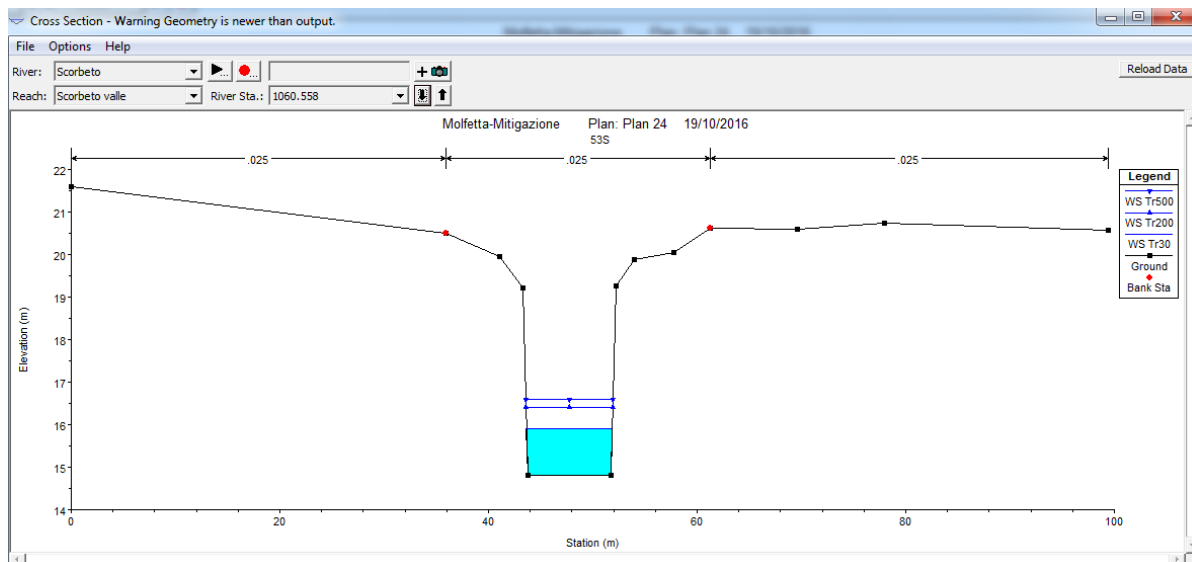
In corrispondenza degli attraversamenti della strada statale S.S: 16 e della linea ferroviaria i tiranti per gli eventi di piena simulati e per le dimensioni assunte per le opere d'arte di attraversamento sono sempre tali da garantire il rispetto del franco di sicurezza maggiore anche di 1,5 m.



**Mitigazione del rischio idraulico dell'area P.I.P. del comune di Molfetta mediante la rigenerazione della lama Scorbeto e la rinaturalizzazione della lama Marcinase**



**Figura 6.5 – Sezione trasversale Lama Scorbeto a monte della S.S: 16**



**Figura 6.6 – Sezione trasversale Lama Scorbeto a monte della linea RFI**

N. attrav.	Sezioni	Attraversamento	Q strada	Q intrad.	Q tirante	Fr
-	-	-	m s.l.m.	m s.l.m	m s.l.m	m
6	46 - 47	S.S. n.16	29.03	23,45	21.30	1,70
8	53 - 54	Ferrovia	20.99	18.65	16.53	2,12

**Tabella 6.4 –Attraversamenti SS.16 e RFI**

Anche per gli altri attraversamenti (minori), le dimensioni geometriche assegnate sono tali da garantire il rispetto del franco di sicurezza.

Si riportano nella tabella seguente i valori dei tiranti, le quote di intradosso assunte ed i rispetti franchi di sicurezza.

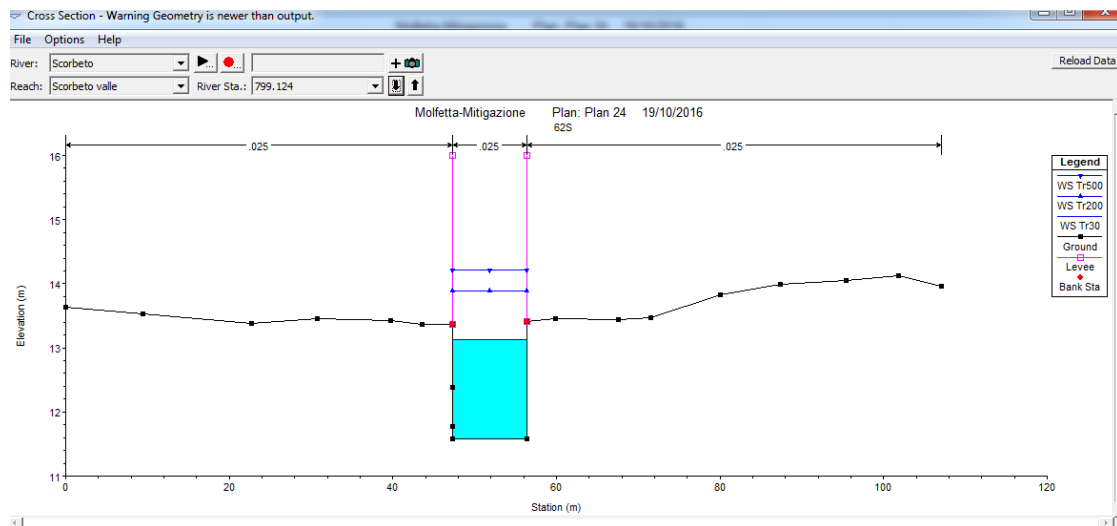
**Mitigazione del rischio idraulico dell'area P.I.P. del comune di Molfetta mediante la rigenerazione della lama Scorbeto e la rinaturalizzazione della lama Marcinase**

N. attravers.	Sezioni	Attraversamento	Q strada	Q intrad.	Q tirante	Fr
-	-	-	m s.l.m.	m s.l.m	m s.l.m	m
5	41 - 42	S.V. SAN PANCRAZIO	28.74	27.64	26.64	1,00
7	49 - 50	S.V.	22.54	21.44	19.60	1,84
9	57 - 58	S.V.	17.43	16.33	15.20	1.13

*Tabella 6.5 –Attraversamenti strade vicinali a valle della confluenza del canale deviatore*

Dopo circa 150 m dall'attraversamento ferroviario, la sezione naturale passa a diventare artificiale di forma rettangolare per poter attraversare l'area dei due depuratori.

In questo tratto mediante l'applicazione della funzione levees è stato possibile definire il livello idrico al passaggio della piena e definire quindi la quota sommitale della parete del canale, sempre posta ad una distanza maggiore di 1 m.



*Figura 6.7 – Sezione trasversale Lama Scorbeto tratto artificiale*

Va evidenziato che anche nelle sezioni comprese tra la 65S e la 68S, ovvero a valle dell'attraversamento dell'area dei depuratori, si registra un incremento di velocità che raggiunge un massimo di 8.41 m/s nella sezione 67S. Detti valori sono dovuti al passaggio dalla condizione di corrente lenta nelle sezioni a monte (61S e 62S ove la pendenza è di 0.2% ed il numero di Froude è inferiore all'unità) alla condizione di corrente veloce (nelle sezioni comprese tra la 65S alla 68S con valori del numero di Froude superiore a 2).

Nell'intervallo compreso tra la sezione 66 e la sezione 68 pertanto si è previsto di realizzare dei gradoni di altezza media di 1 m.

Raggiunta la piana la sezione di base 10 m deve essere necessariamente arginata per contenere le portate di piena. Anche per questo tratto, tra la sezione 69S e la sezione 80S, mediante l'applicazione della funzione levees è stato possibile definire il livello idrico al passaggio della piena e definire quindi la quota sommitale della parete del canale, sempre posta ad una distanza maggiore di 1 m.

Ovviamente anche le piene con tempo di ritorno di 500 anni sono ampiamente contenute nella nuova lama.

Infine per quanto attiene gli ultimi due attraversamenti, ovvero la strada vicinale Padula e la strada ex S.S. 16, per i quali è previsto l'innalzamento della livelletta, mediante la modellazione si è ricavato il tirante idrico nella sezione immediatamente a monte e in funzione di questo valore si è stabilita la quota di intradosso dei nuovi impalcati.

N. attravers.	Sezioni	Attraversamento	Q strada	Q intrad.	Q tirante	Fr
-	-	-	m s.l.m.	m s.l.m	m s.l.m	m
10	72 - 73	S.V. PADULA	5,65	4,35	3.35	1.05
11	77 - 78	EX S.S.n.16	5,10	3,80	2.65	0.68

*Tabella 6.6 –Attraversamenti S.V. Padula e ex S.S.16*

## **7 VERIFICHE DI STABILITA' ARGINI**

Eseguite le modellazioni idrauliche a corredo del dimensionamento – verifica idraulica delle opere in progetto, si è proceduto sulla base dei risultati ottenuti dalle modellazioni in termini di tirante ad condurre le apposite verifiche di stabilità a sifonamento ed a tenuta delle arginature di progetto ovvero dell'argine progettato nell'opera di invito della Lama Marcinase e degli argini della Lama Scorbeto.

### **7.1 Verifica a sifonamento argini**

Per quanto attiene la verifica a sifonamento, come è noto per aversi sifonamento occorre che il gradiente idraulico  $i$  sia superiore al gradiente idraulico critico  $i_c$  dove:

$$i_c = \gamma' / \gamma_w,$$

in cui

$\gamma'$  = peso di volume sommerso del terreno;

$\gamma_w$  = peso di volume dell'acqua.

Nel caso in oggetto il peso di volume sommerso  $\gamma'$  (pari alla differenza tra peso di volume saturo e peso specifico dell'acqua) può essere considerato cautelativamente pari a 1600 Kg/m<sup>3</sup> e quindi il gradiente critico  $i_c$ , visto  $\gamma_w$  pari circa ad 1, risulta uguale a 0,60.

Il gradiente  $i$  è pari, in regime permanente, al suo valore massimo  $i_{max}$ :

$$i_{max} = \Delta H / L,$$

dove  $L$  è la distanza minima monte/valle lungo una linea di flusso e  $\Delta H$  la differenza di carico idraulico.

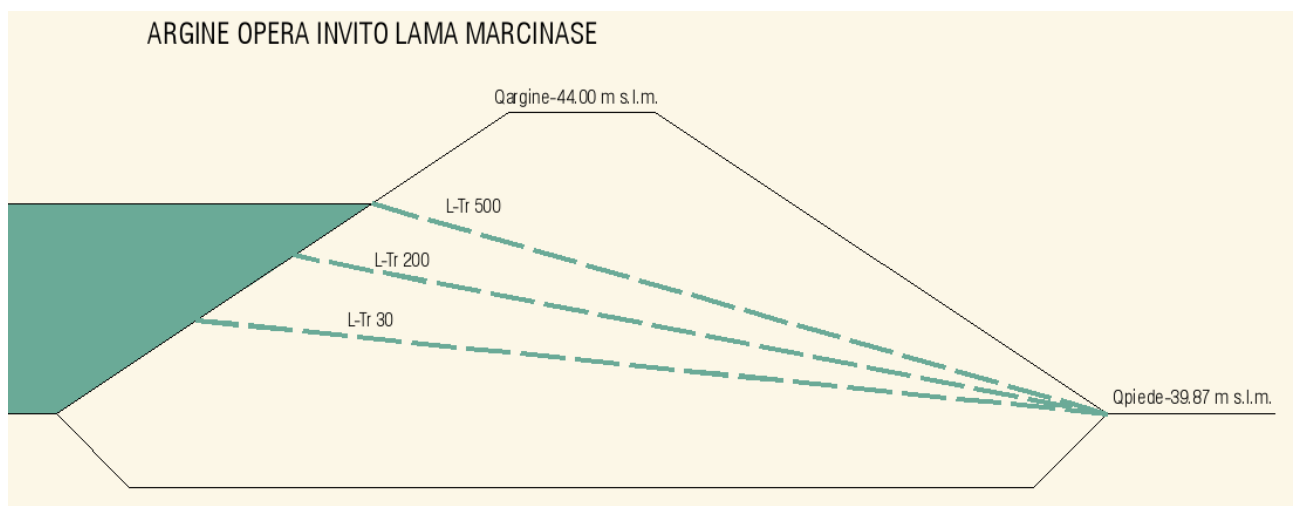
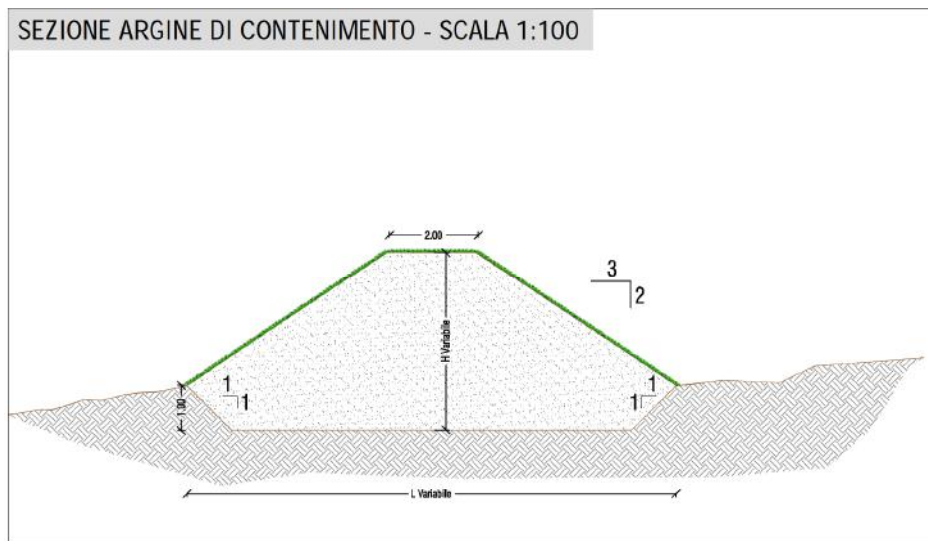
L'approccio più semplice, che conduce a cautelativa sovrastima, è quello di considerare la distanza  $L$  pari alla minima linea di deflusso che consente il passaggio delle particelle d'acqua da monte fino a valle dell'argine.

Tenuto conto delle caratteristiche costruttive dell'argine si può asserire che la linea di flusso più svantaggiosa è quella che si instaura lungo la congiungente il punto di contatto dell'acqua con il paramento di monte (quello a contatto con l'acqua) e il piede del paramento di valle.

Di seguito si riportano i risultati delle verifiche eseguite per l'argine progettato nell'opera di invito della Lama Marcinase e per gli argini della Lama Scorbeto condotte per la sezione più svantaggiata.



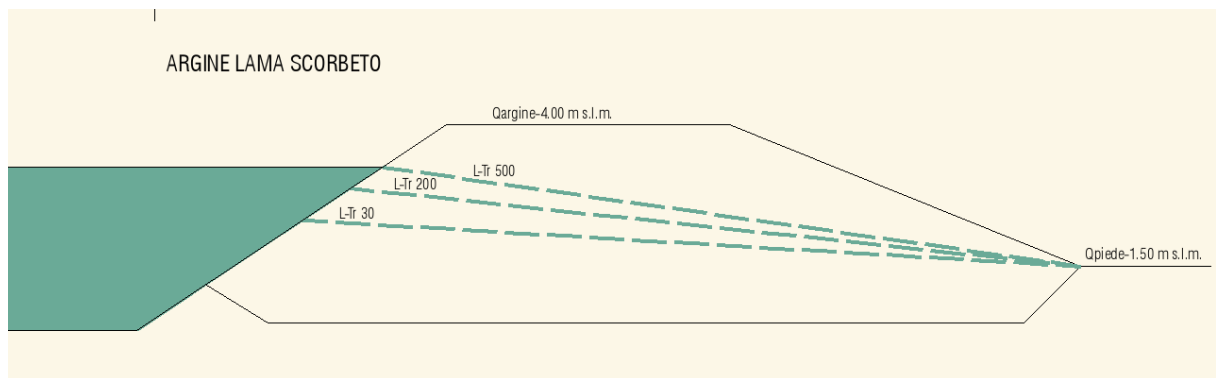
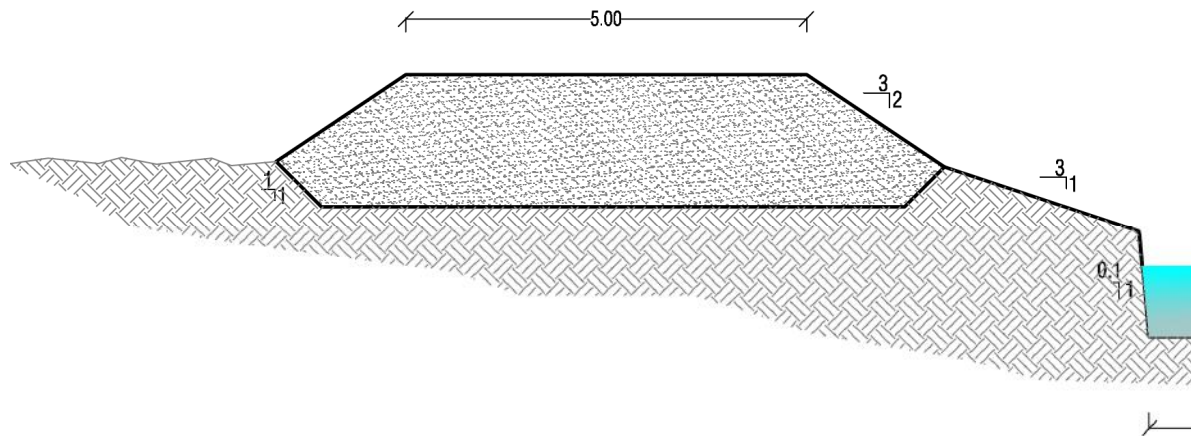
**Argine nell'opera di invito della Lama Marcinase**



*Figura 7.1 –Sezione argine opera invito Lama Marcinase*

	Quota livello piena	Quota paramento valle	L	imax	ic	Fs
	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m)			
Tr 30	41,15	39,87	12,50	0,10	0,60	5,9
Tr 200	42,04	39,87	11,30	0,19	0,60	3,1
Tr 500	42,75	39,87	10,50	0,27	0,60	2,2

Il fattore di sicurezza al sifonamento risulta pertanto mediante elevato



	Quota livello piena	Quota paramento valle	L	imax	ic	Fs
	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m)			
Tr 30	2,31	1,50	13,75	0,06	0,60	10,2
Tr 200	2,97	1,50	12,95	0,11	0,60	5,3
Tr 500	3,25	1,50	12,45	0,14	0,60	4,3

## **7.2 Verifica di stabilità argini**

L'analisi di stabilità di un pendio/argine, attraverso la valutazione dell'equilibrio limite, consiste nella stima di un coefficiente di sicurezza ( $F_s$ ) alla traslazione e/o alla rotazione del volume di terra o roccia compreso fra la superficie del versante ed una superficie di taglio potenziale imposta.

La procedura di calcolo prende in considerazione tutte le forze e/o i momenti agenti lungo il piano di taglio, fornendo una valutazione della stabilità globale attraverso le equazioni d'equilibrio fornite dalla statica.

I metodi di calcolo di  $F_s$  impiegati si basano sulle tecniche di verifica dette LIMIT EQUILIBRIUM METHOD (che di seguito indicheremo sempre come LEM), (Duncan 1996; Krahn 2003).

Nei metodi LEM (LIMIT EQUILIBRIUM METHOD) il calcolo di  $F_s$  viene effettuato su una specifica superficie di scivolamento definita entro un pendio. Dato che le porzioni potenzialmente instabili sono definibili in un spazio 3D il calcolo viene sviluppato sopra una striscia rappresentativa di larghezza unitaria, quindi bidimensionale (2D) della superficie di potenziale scivolamento.

Nell'applicazione del metodo dell'equilibrio limite tale superficie separa la parte di pendio stabile da quella potenzialmente instabile. La parte stabile inferiore rimane indeformata e non subisce rotture. Si suppone che la massa superiore, fino al momento della rottura, non subisca deformazioni. Collassi e deformazioni sono posteriori allo sviluppo di una superficie di rottura. Vieni quindi assunto un comportamento a rottura rigido perfettamente plastico: non si deforma fino a quando non arriva a rottura. Tuttavia il valore di  $F_s$  (e quindi il suo grado di stabilità o propensione al movimento) si riferisce alle condizioni precedenti al fenomeno di rottura.

Per ogni superficie di potenziale scivolamento si può quindi derivare lo sforzo di taglio totale mobilitato (domanda) e la resistenza al taglio disponibile (capacità) e quindi è possibile definire  $F_s$  come il rapporto tra questi due sforzi.

Usando ad esempio il criterio di rottura Mohr-Coulomb:  $F_s$  è il fattore per cui occorre dividere i parametri della resistenza al taglio del terreno lungo i vari tratti della superficie, per provocare la rottura del pendio lungo tutta la superficie considerata e nel medesimo tempo.

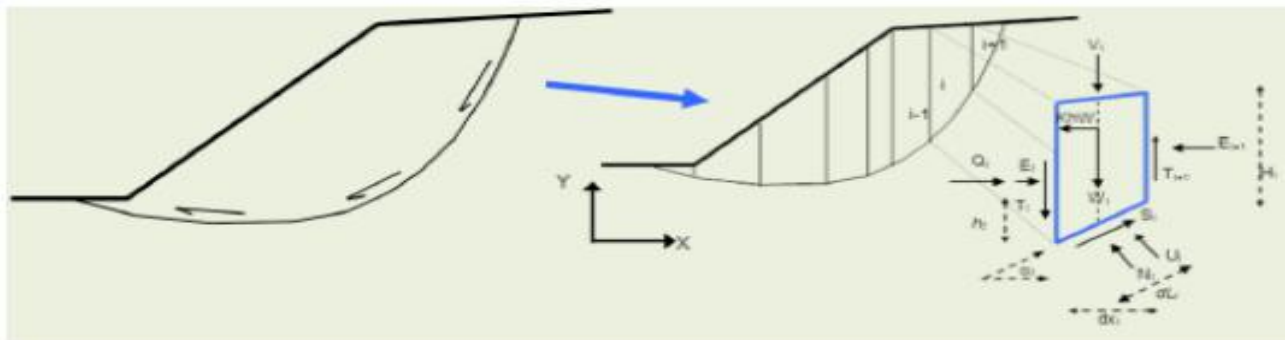
Che avverrà qualora sia verificata la condizione di eguaglianza tra sforzi mobilitati e disponibili, ovvero tra domanda e capacità.

Se  $F_s > 1.0$  siamo in condizioni di stabilità, mentre per  $F_s < 1.0$  siamo in condizioni instabili dovuti a un generalizzato deficit di resistenza. Un altro assunto fondamentale dei metodi LEM è che nel caso di variabilità delle caratteristiche di resistenza al taglio lungo la superficie di scivolamento, sebbene  $F_s$  possa essere in realtà localmente variabile, si assume che  $F_s$  sia costante lungo tutta la superficie di potenziale scivolamento assunta. Ovvero abbiamo dovunque la medesima frazione di resistenza al taglio mobilitata rispetto a quella massima mobilitabile.

Fs deve essere valutato entro un preciso riferimento spaziale. E' perciò necessario considerare una potenziale superficie di scorrimento nella massa del pendio e valutare tutte le forze (e momenti) agenti (ovvero che inducono lo scivolamento) e resistenti (che si oppongono allo scivolamento) su detta superficie. In pratica, essendo infinite le superfici di scivolamento possibili, Fs viene valutato per ognuna delle superfici di un campione rappresentativo, generate con un certo criterio entro il volume del pendio assunto.

In tal modo il "FATTORE DI SICUREZZA" del pendio sarà quello che compete alla superficie di scorrimento

con Fs più basso. Tale superficie è detta anche "SUPERFICIE CRITICA". Una superficie di scivolamento assunta divide in due parti distinte il pendio (vedi figura). Superiormente abbiamo una massa potenzialmente instabile supposta rigida e inferiormente una massa rigida stabile. L'equazione permette di determinare la stabilità del pendio nei confronti della superficie considerata precedentemente.



Le forze agenti sono le componenti tangenziali del peso proprio della massa e degli eventuali sovraccarichi superficiali agenti sulla superficie di scivolamento, mentre le forze resistenti sono le resistenze al taglio mobilitate nei vari punti di detta superficie che dipendono dagli sforzi normali applicati e dalla resistenza al taglio locale del suolo. Sistemi di forze interne e esterne (es. opere di rinforzo) influiscono nella stabilità globale del pendio e devono essere considerate opportunamente; cosa che viene effettuata in tutti i metodi di calcolo rigorosi che verranno trattati più avanti.

Per procedere con il calcolo di Fs la massa potenzialmente instabile viene suddivisa in "Fette" detti Conci delimitate da superficie verticali. Su ogni concio vengono valutate singolarmente le forze agenti e resistenti. L'insieme delle forze agenti sul concio singolo è presentato in figura. Queste forze sono W=Peso del concio, S=Forza di taglio mobilitata sulla base del concio, N=Forza peso normale alla base del concio, U=Forza esercitata dal carico idraulico agente sulla base, T=Forza verticale interconco, E=Forza orizzontale interconco . Fs può essere determinato mediante gruppi di equazioni per l'equilibrio dei corpi rigidi, ovvero: l'equilibrio alla traslazione nelle direzioni verticali e orizzontali e l'equilibrio alla rotazione rispetto a un punto.

In pratica tutto il sistema di forze verticali, orizzontali e dei momenti devono garantire una somma 0.



Quando tutti i parametri di interesse sono noti si passa al calcolo di  $F_s$ . L'algoritmo di calcolo può implementare uno dei diversi metodi esistenti nell'ambito dei modelli LEM dove i procedimenti di calcolo avvengono in modo iterativo. I vari metodi, BISHOP (1955), MORGESTERN & PRICE (1965), SPENCER (1967), JANBU (1973) sono tutti riconducibili al "General equilibrium method" di FREDLUND et al. (1981), abbreviato con GLE. Questi metodi si diversificano per il tipo delle assunzioni e semplificazioni fatte per ridurre il numero delle incognite nel problema, tuttavia come mostrato in numerosi studi comparativi FREDLUND et al. (1981), Duncan (1996), la differenza percentuale dei valori di  $F_s$  calcolati generalmente non supera il 10%, che è perfettamente compatibile con il grado di incertezza insito in tale tipo di analisi.

Per la verifica in oggetto è stato utilizzato il programma SLOPE STABILITY ANALYSIS PROGRAM (SSAP) Versione 4.8 (2016) sviluppato dal Dr. Lorenzo Borselli (Docente di Geotecnica e Geologia Applicata Facoltà Di Ingegneria, Universidad Autonoma de San Luis Potosí. an Luis Potosí., Mexico, già Ricercatore e Responsabile di Sezione C.N.R – IRPI, Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica, ITALIA). A partire dalla versione 4.0 di SSAP e nei successivi aggiornamenti è stato implementato un nuovo kernel di calcolo del fattore  $F_s$ , basato sull'algoritmo di Zhu (2005).

La verifica di stabilità è stata condotta sulle sezioni di argini più svantaggiate, in termini quantitativi, le condizioni di stabilità dell'argine oggetto di studio.

In entrambe le configurazioni progettate è assicurata la stabilità delle arginature.

Di seguito è riportato il file con i dati inseriti nel calcolo e i risultati ottenuti dalla verifica.

### **7.2.1 Valutazione dell'azione sismica**

Nelle verifiche agli Stati Limite Ultimi la stabilità dei pendii nei confronti dell'azione sismica viene eseguita con il metodo pseudo-statico. Per i terreni che sotto l'azione di un carico ciclico possono sviluppare pressioni interstiziali elevate viene considerato un aumento in percento delle pressioni neutre che tiene conto di questo fattore di perdita di resistenza.

Ai fini della valutazione dell'azione sismica, nelle verifiche agli stati limite ultimi, vengono considerate le seguenti forze statiche equivalenti:

$$F_H = K_o \cdot W$$

$$F_V = K_v \cdot W$$

Essendo:

$F_H$  e  $F_V$  rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio;

W: peso concio

$K_o$ : Coefficiente sismico orizzontale

$K_V$ : Coefficiente sismico verticale.

Calcolo coefficienti sismici

Le NTC 2008 calcolano i coefficienti  $K_O$  e  $K_V$  in dipendenza di vari fattori:

$$K_O = \beta_s \cdot (a_{max}/g)$$

$$K_V = \pm 0,5 \times K_O$$

Con

$\beta_s$  coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

$a_{max}$  accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

$g$  accelerazione di gravità.

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{max} = S_S S_T a_g$$

$S_S$  (effetto di amplificazione stratigrafica):  $0.90 \leq S_S \leq 1.80$ ; è funzione di  $F_0$  (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E).

$S_T$  (effetto di amplificazione topografica).

Il valore di  $S_T$  varia con il variare delle quattro categorie topografiche introdotte:

$$T1(S_T = 1.0) \quad T2(S_T = 1.20) \quad T3(S_T = 1.20) \quad T4(S_T = 1.40).$$

Questi valori sono calcolati come funzione del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi.

Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$T_R = -V_R / \ln(1 - PVR)$$

Con  $V_R$  vita di riferimento della costruzione e PVR probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso  $V_R$  dovrà essere maggiore o uguale a 35 anni.

Con l'OPCM 3274 e successive modifiche, i coefficienti sismici orizzontale  $K_O$  e verticale  $K_V$  che interessano tutte le masse vengono calcolati come:

$$K_O = S \cdot (a_g/g) \quad K_V = 0.5 \cdot K_O$$

$S$ : fattore dipendente dal tipo di suolo secondo lo schema:

- tipo A -  $S=1$ ;
- tipo B -  $S=1.25$ ;
- tipo C -  $S=1.25$ ;

**Mitigazione del rischio idraulico dell'area P.I.P. del comune di Molfetta mediante la rigenerazione della lama Scorbeto e la rinaturalizzazione della lama Marcinase**

- tipo E - S=1.25;
- tipo D - S=1.35.

Per pendii con inclinazione superiore a 15° e dislivello superiore a 30 m, l'azione sismica deve essere incrementata moltiplicandola per il coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$ :

- $S_T \geq 1,2$  per siti in prossimità del ciglio superiore di pendii scoscesi isolati;
- $S_T \geq 1,4$  per siti prossimi alla sommità di profili topografici aventi larghezza in testa molto inferiore alla larghezza alla base e pendenza media  $> 30^\circ$ ;
- $S_T \geq 1,2$  per siti dello stesso tipo ma pendenza media inferiore.

L'applicazione del D.M. 88 e successive modifiche ed integrazioni è consentito mediante l'inserimento del coefficiente sismico orizzontale  $K_0$  in funzione delle Categorie Sismiche secondo il seguente schema: I Cat.  $K_0=0.1$ ; II Cat.  $K_0=0.07$ ; III Cat.  $K_0=0.04$

Per l'applicazione dell'Eurocodice 8 (progettazione geotecnica in campo sismico) il coefficiente sismico orizzontale viene così definito:

$$K_0 = a_{gR} \cdot \gamma_I \cdot S / (g)$$

$a_{gR}$  : accelerazione di picco di riferimento su suolo rigido affiorante,

$\gamma_I$ : fattore di importanza,

S: soil factor e dipende dal tipo di terreno (da A ad E).

$$a_g = a_{gR} \cdot \gamma_I$$

è la "design ground acceleration on type A ground".

Il coefficiente sismico verticale  $K_V$  è definito in funzione di  $K_0$ , e vale:

$$K_V = \pm 0.5 \cdot K_0$$

Con riferimento all'opere in verifica i Coefficiente azione sismica orizzontale e vertical risultano pari rispettivamente a 0,0142 (kh) e 0,0071 (kv)

**Parametri sismici su sito di riferimento**

Categoria sottosuolo:

B

Categoria topografica:

T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	$a_g$ [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,15	2,39	0,16
S.L.D.	50,0	0,2	2,45	0,21
S.L.V.	475,0	0,58	2,61	0,43
S.L.C.	975,0	0,81	2,58	0,49

**Coefficienti sismici orizzontali e verticali**

Opera:

Stabilità dei pendii

S.L. Stato limite	$a_{max}$ [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,18	0,2	0,0037	0,0018
S.L.D.	0,24	0,2	0,0049	0,0024
<b>S.L.V.</b>	<b>0,696</b>	<b>0,2</b>	<b>0,0142</b>	<b>0,0071</b>
S.L.C.	0,972	0,2	0,0198	0,0099

La verifica di stabilità dell'argine è stata condotta, in condizioni A2+M2+R2, ai sensi del DM/2008 e pertanto nell'impiego del software SAAP 2010 rel. 4.8.0 si è ridotto il  $c'k$  e  $\tan\Phi'k$  di 1.25.

**Argine nell'opera di invito della Lama Marcinase**

Mitigazione del rischio idraulico dell'area P.I.P. del comune di Molfetta mediante la rigenerazione della lama Scorbeto e la rinaturalizzazione della lama Marcinase

SSAP 4.8.0 (2016) - Slope Stability Analysis Program  
Software by Dr.Geol. L.Borselli - www.lorenzo-borselli.eu  
SSAP/DXF generator rel. 1.4.2 (2016)

Data : 31/10/2016  
Localita' :  
Descrizione :  
[n] = N. strato o lonto

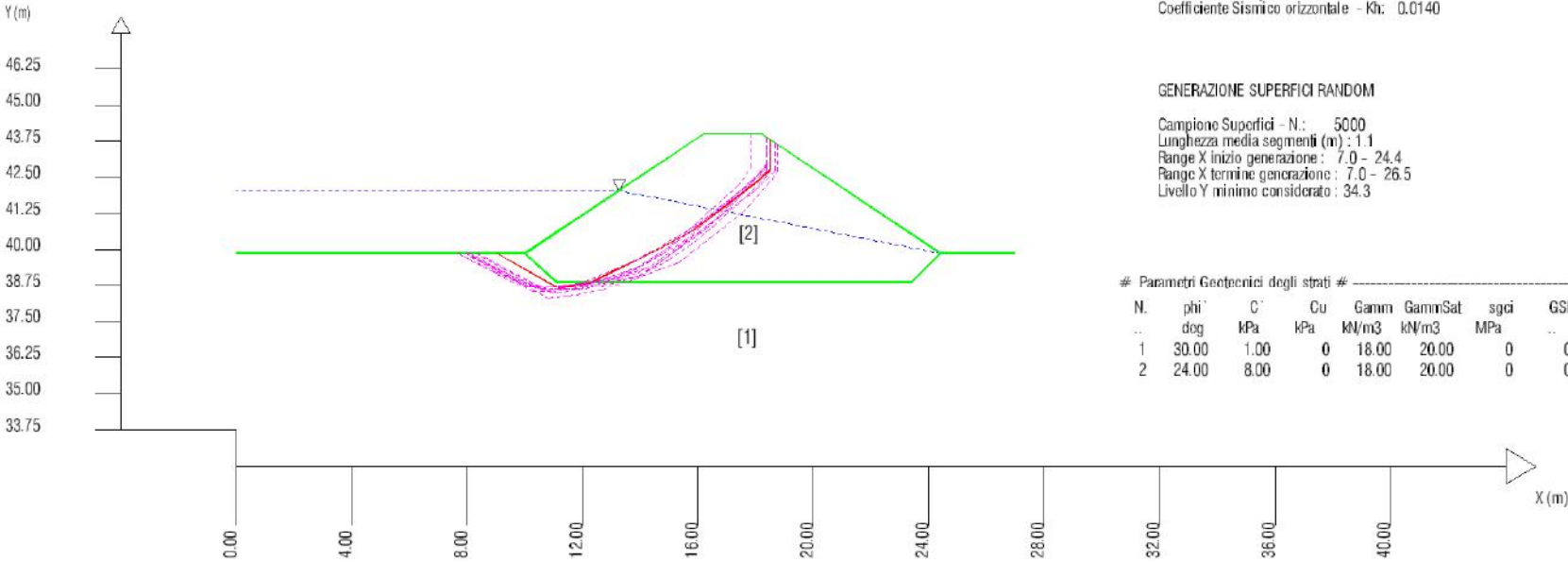
Modello di calcolo : Morgenstern - Price (1965)

DATI 10 SUP. CON MINOR Fs

Fs minimo : 1.5132  
Range Fs : 1.5132 - 1.5597  
Differenza % Range Fs : 2.98  
Coefficiente Sismico orizzontale - Kh: 0.0140

GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM

Campione Superfici - N.: 5000  
Lunghezza media segmenti (m) : 1.1  
Range X inizio generazione : 7.0 - 24.4  
Range X termine generazione : 7.0 - 26.5  
Livello Y minimo considerato : 34.3



# Parametri Geotecnici degli strati #

N.	phi° deg	C° kPa	Cu kPa	Gamm kN/m3	GammSat kN/m3	sgci MPa	GSI	mi	D
1	30.00	1.00	0	18.00	20.00	0	0	0	0
2	24.00	8.00	0	18.00	20.00	0	0	0	0



Report elaborazioni

-----  
SSAP 4.8.0 - Slope Stability Analysis Program (1991,2016)

Build No. 8885

BY

Dr. Geol. LORENZO BORSELLI \*,\*\*

\*UASLP, San Luis Potosi, Mexico

e-mail: lborselli@gmail.com

CV e WEB page personale: WWW.LORENZO-BORSELLI.EU

\*\* Già' Ricercatore CNR-IRPI fino a Luglio 2011  
-----

Ultima Revisione struttura tabelle del report: 20 OTTOBRE 2016  
-----

File report: C:\SSAP2010\pendii\ARGINE\_MARC\REPORT.txt

Data: 31/10/2016

Localita' : Molfetta

Descrizione: ARGINE OPERA INVITO LAMA MARCINASE

Modello pendio: ARG\_MAR.mod

----- PARAMETRI DEL MODELLO DEL PENDIO -----

\_\_\_ PARAMETRI GEOMETRICI - Coordinate X Y (in m) \_\_\_

SUP T.		SUP 2		SUP 3		SUP 4	
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
0.00	39.87	10.00	39.87	-	-	-	-
10.00	39.87	16.20	44.00	-	-	-	-
16.20	44.00	18.20	44.00	-	-	-	-
18.20	44.00	24.40	39.87	-	-	-	-
24.40	39.87	23.40	38.87	-	-	-	-
27.00	39.87	11.10	38.87	-	-	-	-
-	-	10.00	39.87	-	-	-	-

---- SUP FALDA -----

X Y (in m)

0.00	42.04
13.26	42.04
24.40	39.87

----- GESTIONE ACQUIFERI -----

Strati esclusi da acquifero:

Esclusione sovraccarico pendio sommerso: NON ATTIVATA

Peso unitario fluido (kN/m^3): 9.81

Parametri funzione dissipazione superficiale pressione dei fluidi:

Coefficiente A

0

Coefficiente K

0.000800

Pressione minima fluidi Uo\_Min (kPa)

0.01

Coefficiente di soprapressione oltre pressione idrostatica

1.00

Limitazione dissipazione a a Pressione Idrostatica = ATTIVA

**Mitigazione del rischio idraulico dell'area P.I.P. del comune di Molfetta mediante la rigenerazione della lama Scorbeto e la rinaturalizzazione della lama Marcinase**

STABILITE CONDIZIONI PER LA VERIFICA CON SOVRAPPRESSIONE ACQUIFERI CON DISSIPAZIONE IN DIREZIONE DELLA SUPERFICIE

----- PARAMETRI GEOMECCANICI -----

	fi`	C`	Cu	Gamm	Gamm_sat	STR_IDX	sgci	GSI	mi	D
STRATO 1	30.00	1.00	0.00	18.00	20.00	1.888	0.00	0.00	0.00	0.00
STRATO 2	24.00	8.00	0.00	18.00	20.00	1.588	0.00	0.00	0.00	0.00

Note: fi` \_\_\_\_\_ Angolo di attrito interno efficace(in gradi)

C` \_\_\_\_\_ Coesione efficace (in Kpa)

Cu \_\_\_\_\_ Resistenza al taglio Non drenata (in Kpa)

Gamm \_\_\_\_\_ Peso di volume terreno fuori falda (in KN/m^3)

Gamm\_sat \_\_\_\_\_ Peso di volume terreno immerso (in KN/m^3)

STR\_IDX \_\_\_\_\_ Indice di resistenza (usato in solo in 'SNIFF SEARCH) (adimensionale)

---- SOLO Per AMMASSI ROCCIOSI FRATTURATI - Parametri Criterio di Rottura di Hoek (2002)-

sgci \_\_\_\_\_ Resistenza Compressione Uniassiale Roccia Intatta (in MPa)

GSI \_\_\_\_\_ Geological Strenght Index ammasso(adimensionale)

mi \_\_\_\_\_ Indice litologico ammasso(adimensionale)

D \_\_\_\_\_ Fattore di disturbo ammasso(adimensionale)

Fattore di riduzione NTC2008 gammaPHI=1.25 e gammaC=1.25

----- INFORMAZIONI GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM -----

\*\*\* PARAMETRI PER LA GENERAZIONE DELLE SUPERFICI

METODO DI RICERCA: CONVEX RANDOM - Chen (1992)

FILTRAGGIO SUPERFICI : ATTIVATO

COORDINATE X1,X2,Y OSTACOLO : 0.00 0.00 0.00

LUNGHEZZA MEDIA SEGMENTI (m): 1.1 (+/-) 50%

INTERVALLO ASCISSE RANDOM STARTING POINT (Xmin .. Xmax): 7.00 24.40

LIVELLO MINIMO CONSIDERATO (Ymin): 34.25

INTERVALLO ASCISSE AMMESSO PER LA TERMINAZIONE (Xmin .. Xmax): 7.00 26.46

\*\*\* TOTALE SUPERFICI GENERATE : 5000

----- INFORMAZIONI PARAMETRI DI CALCOLO -----

METODO DI CALCOLO : MORGENSTERN - PRICE (Morgenstern & Price, 1965)

COEFFICIENTE SISMICO UTILIZZATO Kh : 0.0140

COEFFICIENTE SISMICO UTILIZZATO Kv (assunto Nnegativo) : -0.0070

COEFFICIENTE c=Kv/Kh UTILIZZATO : 0.5000

FORZA ORIZZONTALE ADDIZIONALE IN TESTA (kN/m): 0.00

FORZA ORIZZONTALE ADDIZIONALE ALLA BASE (kN/m): 0.00

N.B. Le forze orizzontali addizionali in testa e alla base sono poste uguali a 0 durante le tutte le verifiche globali.

I valori >0 impostati dall'utente sono utilizzati solo in caso di verifica singola

----- RISULTATO FINALE ELABORAZIONI -----

\* DATI RELATIVI ALLE 10 SUPERFICI GENERATE CON MINOR Fs \*

Fattore di sicurezza (FS)	1.5132	- Min. -	X	Y	Lambda=	0.3228
	9.03	39.87				
	10.15	39.24				
	11.16	38.66				
	12.21	38.83				
	13.18	39.31				
	14.48	39.94				
	15.83	40.67				
	16.94	41.51				

**Mitigazione del rischio idraulico dell'area P.I.P. del comune di Molfetta mediante la rigenerazione della lama Scorbeto e la rinaturalizzazione della lama Marcinase**

18.10 42.40  
18.50 42.77  
18.50 43.80

Fattore di sicurezza (FS) 1.5369 - N.2 -- X Y Lambda= 0.3024  
7.71 39.87  
8.86 39.26  
10.25 38.52  
10.95 38.50  
12.02 38.67  
13.18 39.00  
14.32 39.32  
15.28 40.02  
16.07 40.61  
16.73 41.10  
17.43 41.80  
18.19 42.74  
18.36 42.94  
18.36 43.89

Fattore di sicurezza (FS) 1.5376 - N.3 -- X Y Lambda= 0.3021  
8.10 39.87  
9.50 39.11  
10.73 38.54  
11.64 38.69  
13.12 39.33  
13.91 39.67  
15.27 40.44  
15.88 40.80  
16.72 41.45  
17.88 42.34  
18.36 42.71  
18.36 43.89

Fattore di sicurezza (FS) 1.5420 - N.4 -- X Y Lambda= 0.3040  
7.97 39.87  
8.48 39.59  
9.40 39.08  
10.81 38.30  
11.51 38.37  
12.65 38.56  
13.75 38.97  
14.68 39.31  
15.33 39.55  
15.83 39.94  
16.42 40.40  
17.58 41.31  
18.44 42.30  
18.77 42.68  
18.77 43.62

Fattore di sicurezza (FS) 1.5431 - N.5 -- X Y Lambda= 0.3007  
7.98 39.87  
9.36 39.19  
10.38 38.72  
11.27 38.65  
12.00 38.73  
13.38 39.20

**Mitigazione del rischio idraulico dell'area P.I.P. del comune di Molfetta mediante la rigenerazione della lama Scorbeto e la rinaturalizzazione della lama Marcinase**

13.92	39.39
15.24	40.24
16.02	40.87
17.09	41.73
18.22	42.70
18.38	42.88
18.38	43.88

Fattore di sicurezza (FS)	1.5515	- N.6 --	X	Y	Lambda= 0.3181
	8.31	39.87			
	9.24	39.35			
	10.51	38.70			
	11.13	38.71			
	12.44	38.90			
	13.34	39.05			
	14.31	39.58			
	15.37	40.40			
	16.32	41.25			
	17.41	42.23			
	17.85	42.87			
	17.85	44.00			

Fattore di sicurezza (FS)	1.5529	- N.7 --	X	Y	Lambda= 0.2906
	7.68	39.87			
	9.02	39.20			
	10.26	38.68			
	10.84	38.66			
	11.55	38.75			
	12.86	38.91			
	14.02	39.43			
	14.76	39.84			
	15.56	40.33			
	16.08	40.79			
	17.22	41.80			
	18.03	42.53			
	18.36	42.93			
	18.36	43.89			

Fattore di sicurezza (FS)	1.5550	- N.8 --	X	Y	Lambda= 0.2929
	8.04	39.87			
	9.13	39.25			
	9.89	38.87			
	10.55	38.62			
	11.78	38.61			
	13.29	38.94			
	14.00	39.10			
	14.99	39.65			
	15.77	40.18			
	16.54	40.83			
	17.00	41.24			
	18.12	42.25			
	18.52	42.73			
	18.52	43.79			

Fattore di sicurezza (FS)	1.5587	- N.9 --	X	Y	Lambda= 0.3010
	7.93	39.87			
	9.08	39.21			
	10.03	38.72			

**Mitigazione del rischio idraulico dell'area P.I.P. del comune di Molfetta mediante la rigenerazione della lama Scorbeto e la rinaturalizzazione della lama Marcinase**

11.14	38.46
12.70	38.72
13.99	39.08
14.53	39.47
15.35	40.05
16.34	40.75
17.07	41.54
17.91	42.43
18.36	42.91
18.36	43.89

Fattore di sicurezza (FS)	1.5597	- N.10 --	X	Y	Lambda= 0.3049
---------------------------	--------	-----------	---	---	----------------

8.37	39.87
9.55	39.22
10.69	38.65
11.28	38.74
12.82	38.97
14.19	39.34
14.69	39.66
15.82	40.48
17.05	41.36
18.00	42.05
18.67	42.71
18.67	43.69

----- ANALISI DEFICIT DI RESISTENZA -----

# DATI RELATIVI ALLE 10 SUPERFICI GENERATE CON MINOR Fs \*

# Analisi Deficit in riferimento a FS(progetto) = 1.100

Sup N.	FS	FTR(kN/m)	FTA(kN/m)	Bilancio(kN/m)	ESITO
1	1.513	180.2	119.1	49.2	Surplus
2	1.537	192.1	125.0	54.6	Surplus
3	1.538	180.2	117.2	51.3	Surplus
4	1.542	210.8	136.7	60.4	Surplus
5	1.543	184.3	119.4	52.9	Surplus
6	1.551	173.6	111.9	50.5	Surplus
7	1.553	186.6	120.1	54.4	Surplus
8	1.555	196.8	126.5	57.6	Surplus
9	1.559	193.9	124.4	57.1	Surplus
10	1.560	193.5	124.1	57.0	Surplus

Esito analisi: SURPLUS di RESISTENZA!

Valore minimo di SURPLUS di RESISTENZA (kN/m): 49.2

Note: FTR --> Forza totale Resistente rispetto alla superficie di scivolamento (componente Orizzontale)

FTA --> Forza totale Agente rispetto alla superficie di scivolamento (componente Orizzontale)

IMPORTANTE! : Il Deficit o il Surplus di resistenza viene espresso in kN per metro di LARGHEZZA rispetto al fronte della scarpata



**Mitigazione del rischio idraulico dell'area P.I.P. del comune di Molfetta mediante la rigenerazione della lama Scorbeto e la rinaturalizzazione della lama Marcinase**

TABELLA PARAMETRI CONCI DELLA SUPERFICIE INDIVIDUATA CON MINOR FS

X (m)	dx (m)	alpha (gradi)	W (kN/m)	ru (-)	U (kPa)	phi' (gradi)	c'/Cu (kPa)
9.031	0.148	-29.60	3.25	0.98	21.70	30.00	1.00
9.178	0.148	-29.60	3.50	0.95	22.52	30.00	1.00
9.326	0.148	-29.60	3.74	0.92	23.36	30.00	1.00
9.474	0.148	-29.60	3.99	0.89	24.19	30.00	1.00
9.622	0.148	-29.60	4.24	0.87	25.04	30.00	1.00
9.770	0.148	-29.60	4.48	0.85	26.03	30.00	1.00
9.918	0.082	-29.60	2.59	0.86	26.71	30.00	1.00
10.000	0.148	-29.60	4.43	0.87	26.90	30.00	1.00
10.148	0.000	-29.60	0.00	0.86	27.63	30.00	1.00
10.148	0.148	-29.59	4.85	0.86	27.63	30.00	1.00
10.296	0.148	-29.59	5.26	0.82	28.72	30.00	1.00
10.444	0.148	-29.59	5.68	0.77	29.72	30.00	1.00
10.592	0.148	-29.59	6.10	0.73	30.44	30.00	1.00
10.740	0.148	-29.59	6.52	0.70	31.25	30.00	1.00
10.888	0.148	-29.59	6.94	0.68	32.03	30.00	1.00
11.035	0.065	-29.59	3.16	0.66	32.68	30.00	1.00
11.100	0.056	-29.59	2.81	0.65	32.85	30.00	1.00
11.156	0.148	9.20	7.54	0.65	32.95	30.00	1.00
11.304	0.148	9.20	7.64	0.63	32.90	30.00	1.00
11.452	0.148	9.20	7.74	0.62	32.57	30.00	1.00
11.600	0.148	9.20	7.84	0.61	32.31	30.00	1.00
11.748	0.148	9.20	7.94	0.59	32.08	30.00	1.00
11.896	0.148	9.20	8.04	0.58	31.83	30.00	1.00
12.044	0.148	9.20	8.14	0.57	31.51	30.00	1.00
12.192	0.021	9.20	1.17	0.56	31.24	30.00	1.00
12.213	0.074	25.95	4.10	0.56	31.19	30.00	1.00
12.287	0.148	25.95	8.17	0.56	30.98	24.00	8.00
12.435	0.148	25.95	8.13	0.54	30.20	24.00	8.00
12.583	0.148	25.95	8.09	0.53	29.35	24.00	8.00
12.730	0.148	25.95	8.05	0.52	28.62	24.00	8.00
12.878	0.148	25.95	8.01	0.51	27.86	24.00	8.00
13.026	0.074	25.95	3.98	0.50	27.14	24.00	8.00
13.100	0.083	25.95	4.46	0.50	26.86	24.00	8.00
13.183	0.077	25.96	4.12	0.49	26.57	24.00	8.00
13.260	0.148	25.96	7.95	0.48	26.22	24.00	8.00
13.408	0.148	25.96	7.99	0.46	25.15	24.00	8.00
13.556	0.148	25.96	8.03	0.44	24.01	24.00	8.00
13.704	0.148	25.96	8.07	0.42	22.99	24.00	8.00
13.852	0.148	25.96	8.11	0.40	22.00	24.00	8.00
14.000	0.148	25.96	8.15	0.38	21.01	24.00	8.00
14.147	0.148	25.96	8.19	0.36	20.00	24.00	8.00
14.295	0.148	25.96	8.23	0.34	18.86	24.00	8.00
14.443	0.034	25.96	1.88	0.32	18.07	24.00	8.00
14.477	0.148	28.57	8.27	0.32	17.96	24.00	8.00
14.625	0.148	28.57	8.28	0.30	17.04	24.00	8.00
14.773	0.148	28.57	8.30	0.28	15.69	24.00	8.00
14.921	0.148	28.57	8.31	0.26	14.56	24.00	8.00
15.069	0.148	28.57	8.33	0.24	13.49	24.00	8.00
15.217	0.148	28.57	8.34	0.22	12.41	24.00	8.00
15.365	0.148	28.57	8.36	0.20	11.34	24.00	8.00
15.512	0.148	28.57	8.37	0.18	10.24	24.00	8.00
15.660	0.148	28.57	8.39	0.16	8.97	24.00	8.00
15.808	0.019	28.57	1.10	0.14	8.09	24.00	8.00

**Mitigazione del rischio idraulico dell'area P.I.P. del comune di Molfetta mediante la rigenerazione della lama Scorbeto e la rinaturalizzazione della lama Marcinase**

15.828	0.148	36.86	8.36	0.14	8.02	24.00	8.00
15.976	0.148	36.86	8.29	0.12	6.80	24.00	8.00
16.124	0.076	36.86	4.26	0.09	5.17	24.00	8.00
16.200	0.148	36.86	8.05	0.08	4.58	24.00	8.00
16.348	0.148	36.86	7.71	0.06	3.21	24.00	8.00
16.496	0.148	36.86	7.38	0.03	1.74	24.00	8.00
16.644	0.103	36.86	4.95	0.01	0.66	24.00	8.00
16.747	0.148	36.86	6.83	0.00	0.20	24.00	8.00
16.895	0.048	36.86	2.13	0.00	0.02	24.00	8.00
16.942	0.148	37.55	6.44	0.00	0.01	24.00	8.00
17.090	0.110	37.55	4.58	0.00	0.00	24.00	8.00
17.200	0.148	37.55	5.92	0.00	0.00	24.00	8.00
17.348	0.148	37.55	5.62	0.00	0.00	24.00	8.00
17.496	0.148	37.55	5.32	0.00	0.00	24.00	8.00
17.644	0.148	37.55	5.01	0.00	0.00	24.00	8.00
17.792	0.148	37.55	4.71	0.00	0.00	24.00	8.00
17.940	0.148	37.55	4.41	0.00	0.00	24.00	8.00
18.087	0.011	37.55	0.30	0.00	0.00	24.00	8.00
18.098	0.102	43.07	2.84	0.00	0.00	24.00	8.00
18.200	0.148	43.07	3.68	0.00	0.00	24.00	8.00
18.348	0.148	43.07	3.05	0.00	0.00	24.00	8.00

-----  
**LEGENDA SIMBOLI**

X(m) : Ascissa sinistra concio

dx(m) : Larghezza concio

alpha(gradi) : Angolo pendenza base concio

W(kN/m) : Forza peso concio

ru(-) : Coefficiente locale pressione interstiziale

U(kPa) : Pressione totale dei pori base concio

phi'(gradi) : Angolo di attrito efficace base concio

c'/Cu (kPa) : Coesione efficace o Resistenza al taglio in condizioni non drenate

-----

**Mitigazione del rischio idraulico dell'area P.I.P. del comune di Molfetta mediante la rigenerazione della lama Scorbeto e la rinaturalizzazione della lama Marcinase**

TABELLA DIAGRAMMA DELLE FORZE DELLA SUPERFICIE INDIVIDUATA CON MINOR FS

X (m)	ht (m)	yt (m)	yt' (--)	E(x) (kN/m)	T(x) (kN/m)	E' (kN)	rho(x) (--)	local_FS_FEM (--)	local_FS_p-qFEM (--)			
9.031	0.000	39.870	-0.284	0.000000000E+0000	0.000000000E+0000	0.000000000E+0000	0.000000000E+0000	0.050	0.220	0.256		
9.178	0.042	39.828	-0.284	1.313723371E-0001	1.710651725E-0002	9.464967394E-0001	0.050	0.220	0.256			
9.326	0.084	39.786	-0.284	2.800033651E-0001	3.912782487E-0002	1.070840228E+0000	0.059	0.220	0.240			
9.474	0.126	39.744	-0.314	4.481603986E-0001	6.689560590E-0002	1.211519011E+0000	0.117	0.220	0.235			
9.622	0.159	39.693	-0.320	6.384086146E-0001	1.013062514E-0001	1.370679095E+0000	0.213	0.220	0.248			
9.770	0.199	39.649	-0.272	8.536501833E-0001	1.428004790E-0001	8.311358157E+0000	0.515	0.347	0.290			
9.918	0.247	39.612	-0.240	3.097168540E+0000	5.385749118E-0001	1.164738571E+0001	0.556	0.572	0.356			
10.000	0.275	39.594	-0.216	4.181198184E+0000	7.413792255E-0001	1.503617604E+0001	0.603	0.728	0.399			
10.148	0.328	39.563	-0.211	7.042676196E+0000	1.294520511E+0000	2.417388540E+0001	0.378	1.145	0.503			
10.148	0.328	39.563	-0.204	7.042982925E+0000	1.294581819E+0000	2.417477591E+0001	0.378	1.145	0.503			
10.296	0.381	39.533	-0.210	1.137144851E+0001	2.203985637E+0000	3.394544517E+0001	0.380	1.742	0.636			
10.444	0.433	39.501	-0.221	1.711150548E+0001	3.562858188E+0000	4.390577675E+0001	0.415	2.422	0.781			
10.592	0.484	39.467	-0.204	2.418874440E+0001	5.458647146E+0000	5.063574794E+0001	0.459	2.795	0.859			
10.740	0.541	39.440	-0.146	3.169052919E+0001	7.812896558E+0000	4.948659432E+0001	0.511	2.531	0.819			
10.888	0.609	39.424	-0.062	3.856261497E+0001	1.011186387E+0001	4.319235667E+0001	0.544	2.054	0.743			
11.035	0.690	39.422	0.007	4.455374677E+0001	1.221742895E+0001	3.764888346E+0001	0.564	1.637	0.683			
11.100	0.731	39.426	0.067	4.689512178E+0001	1.306921400E+0001	3.484493254E+0001	0.573	1.500	0.665			
11.156	0.767	39.430	0.140	4.878312792E+0001	1.374322590E+0001	3.236837119E+0001	0.583	1.392	0.652			
11.304	0.767	39.454	0.207	5.310664001E+0001	1.533771582E+0001	2.621736259E+0001	0.611	1.123	0.623			
11.452	0.780	39.491	0.314	5.657662499E+0001	1.668604902E+0001	2.077852594E+0001	0.628	0.896	0.605			
11.600	0.812	39.547	0.413	5.924000787E+0001	1.781112334E+0001	1.503910681E+0001	0.641	0.735	0.599			
11.748	0.855	39.613	0.428	6.098912736E+0001	1.858809078E+0001	8.665587330E+0000	0.646	0.707	0.615			
11.896	0.891	39.674	0.384	6.185896712E+0001	1.912056611E+0001	3.367768598E+0000	0.648	0.738	0.664			
12.044	0.920	39.727	0.353	6.206965389E+0001	1.937562666E+0001	-2.696668738E-0001	0.641	0.783	0.720			
12.192	0.947	39.778	0.347	6.182116829E+0001	1.940839237E+0001	-3.102943127E+0000	0.630	0.831	0.778			
12.213	0.951	39.785	0.362	6.175122542E+0001	1.939705982E+0001	-3.536193434E+0000	0.629	0.838	0.787			
12.287	0.942	39.812	0.416	6.143346165E+0001	1.931304933E+0001	-5.037116158E+0000	0.627	0.863	0.816			
12.435	0.936	39.878	0.504	6.049006604E+0001	1.901647079E+0001	-7.579356872E+0000	0.625	0.929	0.891			
12.583	0.947	39.961	0.585	5.924099135E+0001	1.862379487E+0001	-9.133696522E+0000	0.617	1.002	0.977			
12.730	0.965	40.051	0.608	5.783311221E+0001	1.818119505E+0001	-9.794672734E+0000	0.607	1.068	1.060			
12.878	0.983	40.141	0.563	5.635620225E+0001	1.771689377E+0001	-1.012376782E+0001	0.595	1.092	1.099			
13.026	0.988	40.217	0.488	5.486508611E+0001	1.724812644E+0001	-1.002644487E+0001	0.581	1.100	1.117			
13.100	0.984	40.249	0.436	5.412532732E+0001	1.701556592E+0001	-1.006224001E+0001	0.576	1.102	1.123			
13.183	0.980	40.286	0.436	5.328292045E+0001	1.675073556E+0001	-1.027956273E+0001	0.571	1.103	1.129			
13.260	0.976	40.319	0.461	5.247772240E+0001	1.649760267E+0001	-1.064692705E+0001	0.567	1.105	1.133			
13.408	0.974	40.389	0.500	5.083842560E+0001	1.598225128E+0001	-1.149806004E+0001	0.558	1.110	1.144			

**Mitigazione del rischio idraulico dell'area P.I.P. del comune di Molfetta mediante la rigenerazione della lama Scorbeto e la rinaturalizzazione della lama Marcinase**

13.556	0.980	40.467	0.557	4.909627051E+0001	1.543456398E+0001	-1.207744363E+0001	0.546	1.118	1.156
13.704	0.995	40.554	0.637	4.727058880E+0001	1.486061812E+0001	-1.252573501E+0001	0.532	1.126	1.165
13.852	1.024	40.656	0.652	4.542486480E+0001	1.428037149E+0001	-1.230604624E+0001	0.518	1.133	1.167
14.000	1.044	40.747	0.589	4.365925656E+0001	1.372531114E+0001	-1.151811013E+0001	0.505	1.139	1.164
14.147	1.055	40.830	0.547	4.201197546E+0001	1.325326059E+0001	-1.074478393E+0001	0.493	1.140	1.154
14.295	1.061	40.909	0.521	4.049291202E+0001	1.283121450E+0001	-9.843687788E+0000	0.481	1.139	1.142
14.443	1.065	40.984	0.499	3.906456768E+0001	1.242205140E+0001	-9.627083086E+0000	0.469	1.136	1.131
14.477	1.064	41.000	0.507	3.873903896E+0001	1.232788229E+0001	-9.710500420E+0000	0.466	1.135	1.128
14.625	1.060	41.076	0.538	3.725201851E+0001	1.188533362E+0001	-1.046719325E+0001	0.457	1.132	1.117
14.773	1.062	41.159	0.576	3.564928674E+0001	1.140036143E+0001	-1.117387386E+0001	0.445	1.132	1.105
14.921	1.069	41.247	0.615	3.393625972E+0001	1.087704083E+0001	-1.196197023E+0001	0.431	1.135	1.092
15.069	1.082	41.341	0.677	3.213527479E+0001	1.031995353E+0001	-1.227367695E+0001	0.415	1.141	1.083
15.217	1.108	41.447	0.677	3.033813856E+0001	9.760829882E+0000	-1.194464230E+0001	0.399	1.147	1.075
15.365	1.122	41.541	0.624	2.860605020E+0001	9.220679027E+0000	-1.153067488E+0001	0.383	1.151	1.069
15.512	1.132	41.632	0.601	2.693646556E+0001	8.695240078E+0000	-1.102716399E+0001	0.367	1.149	1.067
15.660	1.138	41.719	0.560	2.532665127E+0001	8.178381256E+0000	-1.084683845E+0001	0.349	1.144	1.071
15.808	1.136	41.797	0.525	2.369288990E+0001	7.633074680E+0000	-1.134508997E+0001	0.331	1.140	1.083
15.828	1.135	41.807	0.498	2.347109846E+0001	7.558342626E+0000	-1.144761300E+0001	0.328	1.140	1.085
15.976	1.098	41.881	0.500	2.172061406E+0001	6.945354174E+0000	-1.215960331E+0001	0.309	1.143	1.109
16.124	1.061	41.955	0.489	1.987312339E+0001	6.269560976E+0000	-1.285576154E+0001	0.286	1.158	1.147
16.200	1.039	41.990	0.484	1.887836891E+0001	5.889517764E+0000	-1.313657754E+0001	0.273	1.172	1.172
16.348	1.002	42.063	0.484	1.693045342E+0001	5.116655266E+0000	-1.304528658E+0001	0.250	1.216	1.243
16.496	0.961	42.133	0.438	1.506093571E+0001	4.367757776E+0000	-1.213636014E+0001	0.226	1.270	1.321
16.644	0.909	42.193	0.389	1.334338741E+0001	3.694210793E+0000	-1.113580510E+0001	0.202	1.327	1.404
16.747	0.870	42.231	0.369	1.223285848E+0001	3.285806409E+0000	-1.036660385E+0001	0.187	1.356	1.445
16.895	0.814	42.285	0.354	1.077535771E+0001	2.780239028E+0000	-9.409819982E+0000	0.168	1.391	1.496
16.942	0.793	42.300	0.350	1.033321796E+0001	2.632856761E+0000	-9.208675627E+0000	0.162	1.402	1.512
17.090	0.733	42.354	0.378	8.997736546E+0000	2.199028827E+0000	-8.921412042E+0000	0.144	1.434	1.558
17.200	0.692	42.398	0.421	8.023404590E+0000	1.892349169E+0000	-8.833517589E+0000	0.131	1.460	1.596
17.348	0.643	42.462	0.484	6.739047711E+0000	1.509314025E+0000	-8.538722614E+0000	0.112	1.504	1.659
17.496	0.608	42.541	0.556	5.499127186E+0000	1.162799009E+0000	-8.195606725E+0000	0.093	1.553	1.730
17.644	0.580	42.627	0.545	4.327584445E+0000	8.585561472E-0001	-7.596319761E+0000	0.074	1.606	1.809
17.792	0.542	42.702	0.487	3.263885008E+0000	6.027611264E-0001	-6.762497492E+0000	0.056	1.662	1.892
17.940	0.497	42.771	0.447	2.325333466E+0000	4.009885964E-0001	-5.963229349E+0000	0.050	1.702	1.953
18.087	0.447	42.834	0.422	1.496547514E+0000	2.405106228E-0001	-5.217006509E+0000	0.050	1.728	1.995
18.098	0.442	42.838	0.396	1.441870610E+0000	2.304976778E-0001	-5.155509205E+0000	0.050	1.729	1.996
18.200	0.388	42.879	0.593	9.496243682E-0001	1.426238820E-0001	-4.472344771E+0000	0.050	1.740	2.015
18.348	0.357	42.986	0.593	3.777347762E-0001	5.005285942E-0002	-3.219478605E+0000	0.050	1.963	2.346

LEGENDA SIMBOLI

X(m) : Ascissa sinistra concio  
ht(m) : Altezza linea di thrust da nodo sinistro base concio  
yt(m) : coordinata Y linea di thrust  
yt'(-) : gradiente pendenza locale linea di thrust  
E(x)(kN/m) : Forza Normale interconcio  
T(x)(kN/m) : Forza Tangenziale interconcio  
E' (kN) : derivata Forza normale interconcio  
Rho(x) (-) : fattore mobilizzazione resistenza al taglio verticale interconcio ZhU et al.(2003)  
FS\_FEM(x) (-) : fattore di sicurezza locale stimato (locale in X) by qFEM  
FS\_p-qFEM(x) (-) : fattore di sicurezza locale stimato (locale in X) by p-qFEM Procedure

---



**Mitigazione del rischio idraulico dell'area P.I.P. del comune di Molfetta mediante la rigenerazione della lama Scorbeto e la rinaturalizzazione della lama Marcinase**

TABELLA SFORZI DI TAGLIO DISTRIBUITI LUNGO SUPERFICIE INDIVIDUATA CON MINOR FS

X (m)	dx (m)	dl (m)	alpha (gradi)	TauStress (kPa)	TauF (kN/m)
9.031	0.148	0.170	-29.597	-9.204	-1.566
9.178	0.148	0.170	-29.597	-9.903	-1.685
9.326	0.148	0.170	-29.597	-10.602	-1.803
9.474	0.148	0.170	-29.597	-11.301	-1.922
9.622	0.148	0.170	-29.597	-12.000	-2.041
9.770	0.148	0.170	-29.597	-12.698	-2.160
9.918	0.082	0.094	-29.597	-13.242	-1.248
10.000	0.148	0.170	-29.597	-21.262	-3.617
10.148	0.000	0.000	-29.597	-21.652	-0.000
10.148	0.148	0.170	-29.587	-22.040	-3.749
10.296	0.148	0.170	-29.587	-22.818	-3.881
10.444	0.148	0.170	-29.587	-23.596	-4.014
10.592	0.148	0.170	-29.587	-24.374	-4.146
10.740	0.148	0.170	-29.587	-25.152	-4.278
10.888	0.148	0.170	-29.587	-25.931	-4.411
11.035	0.065	0.074	-29.587	-26.490	-1.967
11.100	0.056	0.065	-29.587	-26.807	-1.732
11.156	0.148	0.150	9.201	1.581	0.237
11.304	0.148	0.150	9.201	2.220	0.333
11.452	0.148	0.150	9.201	2.859	0.428
11.600	0.148	0.150	9.201	3.499	0.524
11.748	0.148	0.150	9.201	4.138	0.620
11.896	0.148	0.150	9.201	4.777	0.716
12.044	0.148	0.150	9.201	5.416	0.812
12.192	0.021	0.021	9.201	5.781	0.123
12.213	0.074	0.082	25.946	19.480	1.604
12.287	0.148	0.164	25.946	19.722	3.244
12.435	0.148	0.164	25.946	20.046	3.297
12.583	0.148	0.164	25.946	20.369	3.351
12.730	0.148	0.164	25.946	20.693	3.404
12.878	0.148	0.164	25.946	21.016	3.457
13.026	0.074	0.082	25.946	21.258	1.743
13.100	0.083	0.092	25.946	21.430	1.977
13.183	0.077	0.086	25.956	21.637	1.854
13.260	0.148	0.165	25.956	21.747	3.578
13.408	0.148	0.165	25.956	21.858	3.596
13.556	0.148	0.165	25.956	21.969	3.614
13.704	0.148	0.165	25.956	22.080	3.632
13.852	0.148	0.165	25.956	22.191	3.651
14.000	0.148	0.165	25.956	22.301	3.669
14.147	0.148	0.165	25.956	22.412	3.687
14.295	0.148	0.165	25.956	22.523	3.705
14.443	0.034	0.037	25.956	22.591	0.846
14.477	0.148	0.168	28.575	24.077	4.055
14.625	0.148	0.168	28.575	24.122	4.063
14.773	0.148	0.168	28.575	24.167	4.070
14.921	0.148	0.168	28.575	24.212	4.078
15.069	0.148	0.168	28.575	24.256	4.086
15.217	0.148	0.168	28.575	24.301	4.093
15.365	0.148	0.168	28.575	24.346	4.101
15.512	0.148	0.168	28.575	24.391	4.108
15.660	0.148	0.168	28.575	24.436	4.116
15.808	0.019	0.022	28.575	24.461	0.542
15.828	0.148	0.185	36.856	27.639	5.109
15.976	0.148	0.185	36.856	27.395	5.064
16.124	0.076	0.096	36.856	27.210	2.600
16.200	0.148	0.185	36.856	26.595	4.916
16.348	0.148	0.185	36.856	25.491	4.712

**Mitigazione del rischio idraulico dell'area P.I.P. del comune di Molfetta mediante la rigenerazione della lama Scorbeto e la rinaturalizzazione della lama Marcinase**

16.496	0.148	0.185	36.856	24.386	4.508
16.644	0.103	0.129	36.856	23.448	3.025
16.747	0.148	0.185	36.856	22.579	4.174
16.895	0.048	0.059	36.856	21.938	1.303
16.942	0.148	0.187	37.551	21.421	3.997
17.090	0.110	0.138	37.551	20.550	2.843
17.200	0.148	0.187	37.551	19.680	3.672
17.348	0.148	0.187	37.551	18.680	3.485
17.496	0.148	0.187	37.551	17.680	3.299
17.644	0.148	0.187	37.551	16.680	3.112
17.792	0.148	0.187	37.551	15.680	2.925
17.940	0.148	0.187	37.551	14.680	2.739
18.087	0.011	0.013	37.551	14.144	0.188
18.098	0.102	0.140	43.070	14.088	1.966
18.200	0.148	0.202	43.070	12.586	2.548
18.348	0.148	0.202	43.070	10.442	2.114

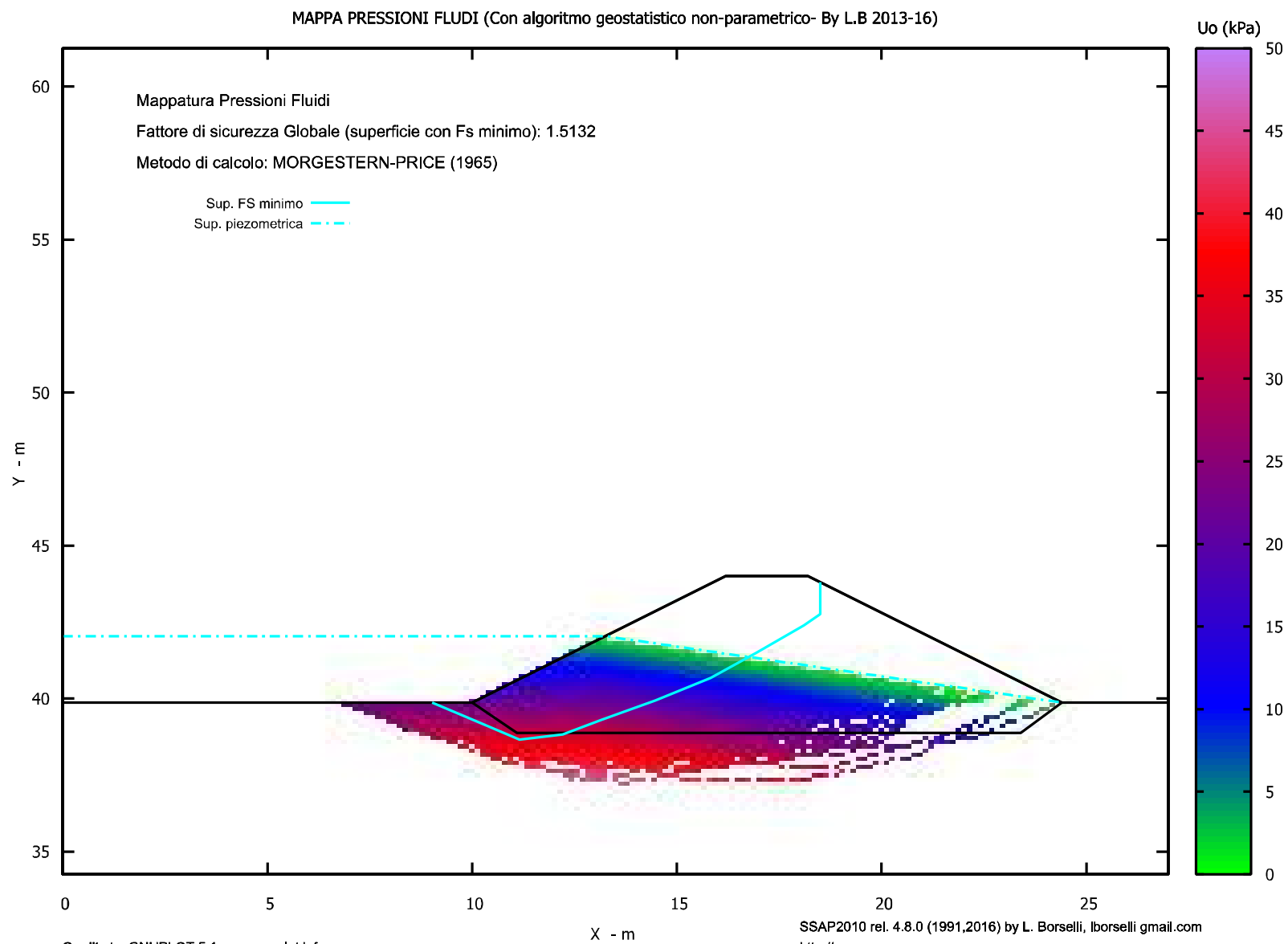
---

**LEGENDA SIMBOLI**

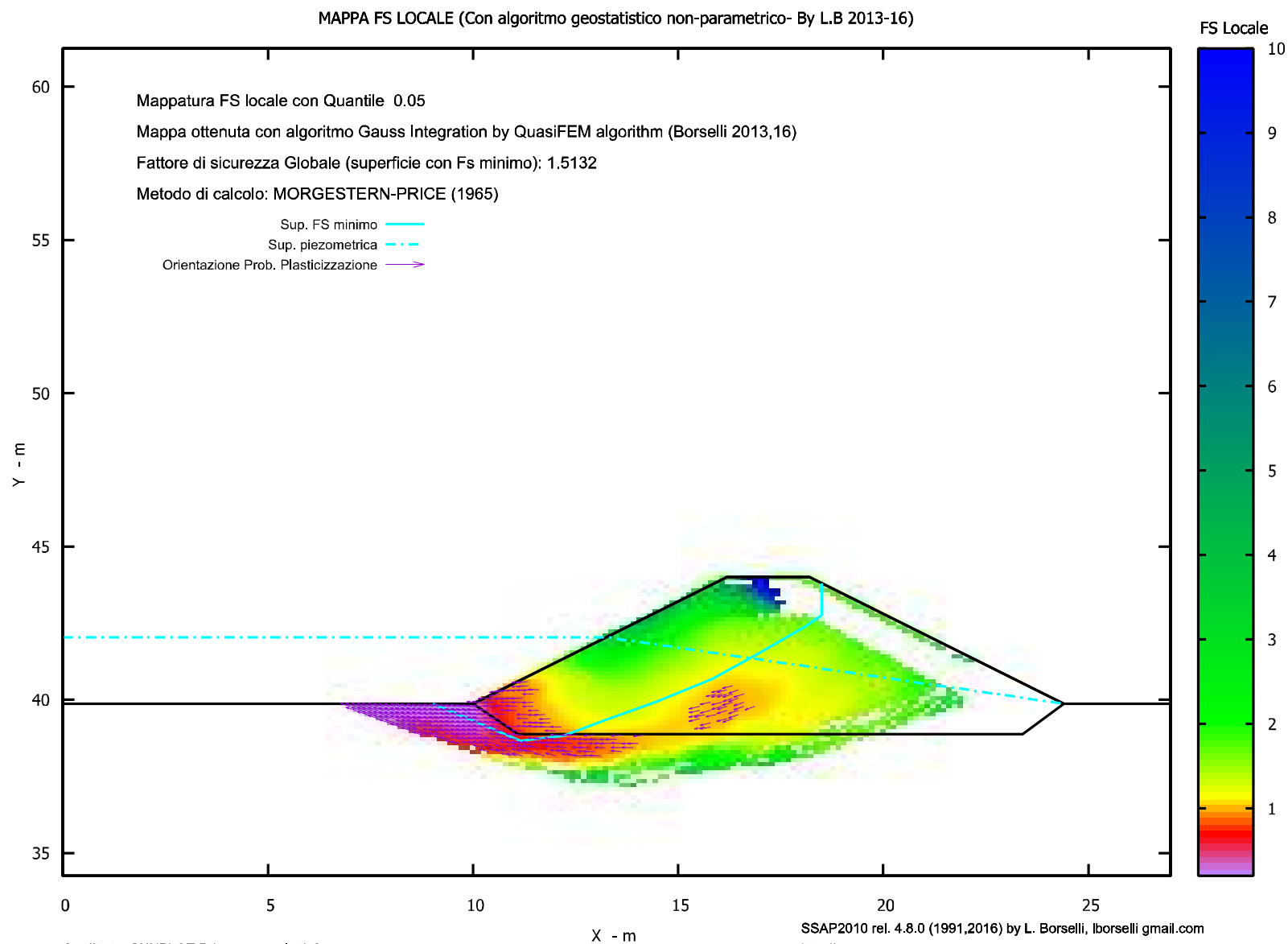
X(m) : Ascissa sinistra concio  
dx(m) : Larghezza concio  
dl(m) : lunghezza base concio  
alpha(gradi) : Angolo pendenza base concio  
TauStress(kPa) : Sforzo di taglio su base concio  
TauF (kN/m) : Forza di taglio su base concio

---

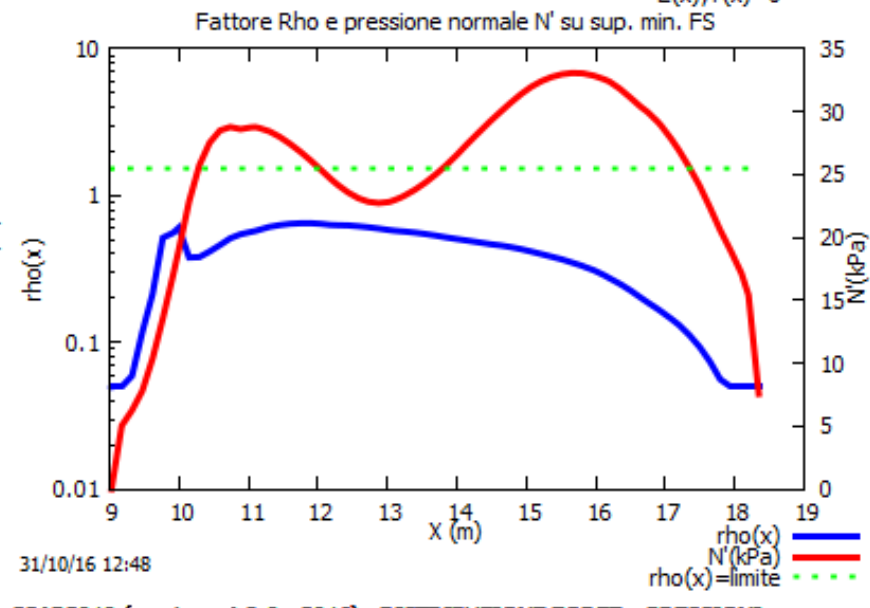
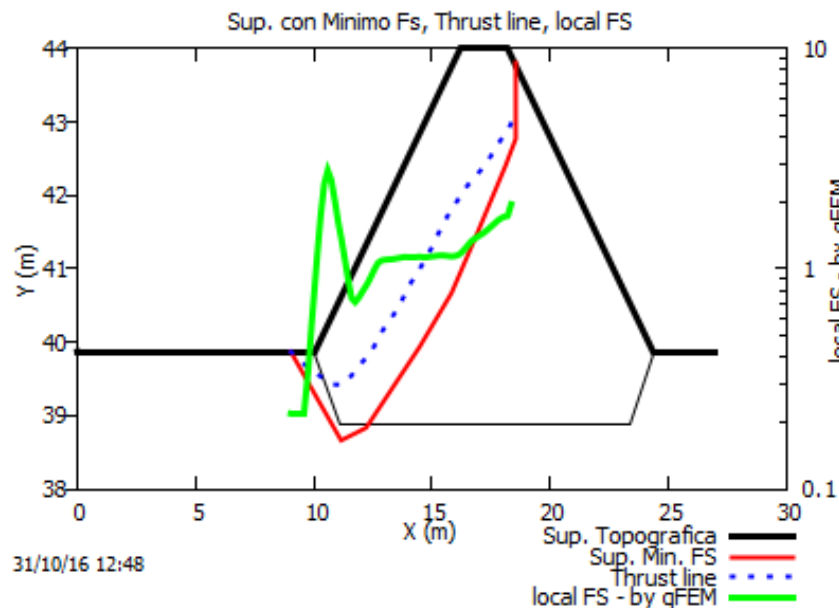
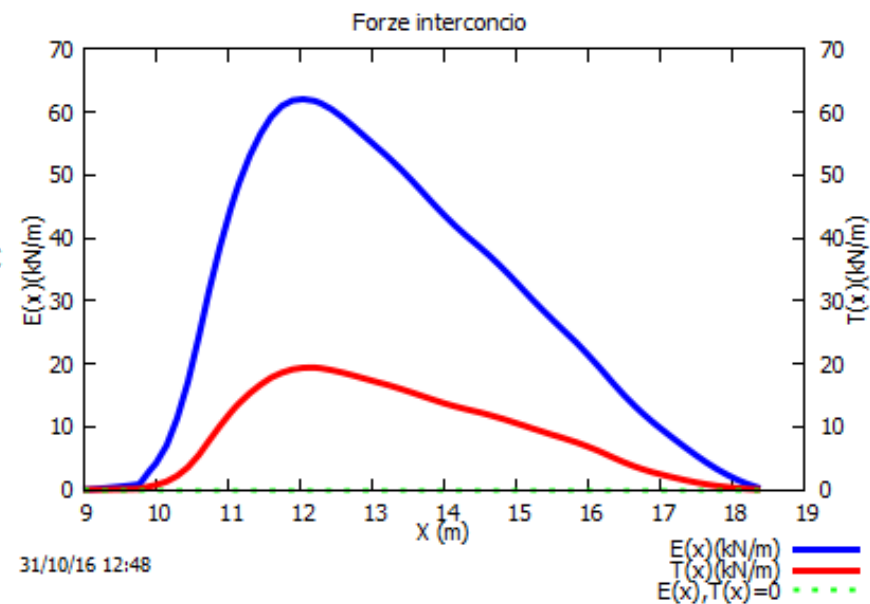
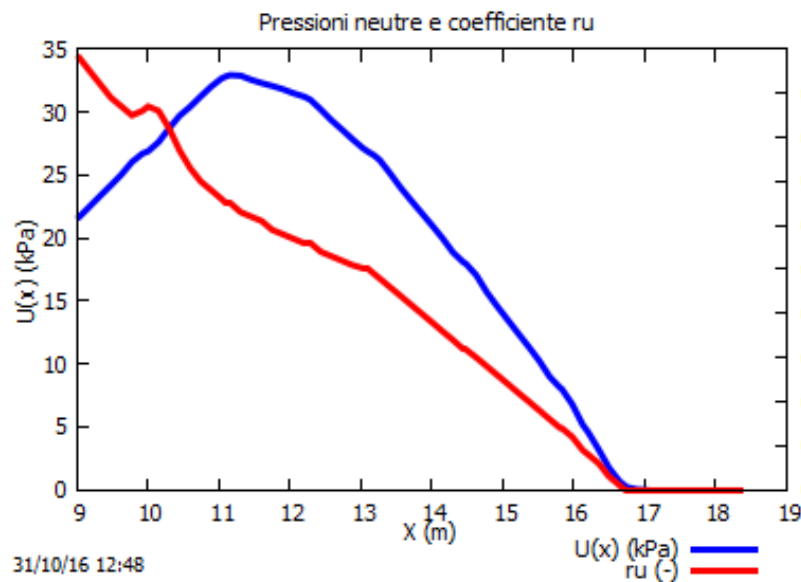
**Mitigazione del rischio idraulico dell'area P.I.P. del comune di Molfetta mediante la rigenerazione della lama Scorbeto e la rinaturalizzazione della lama Marcinase**



**Mitigazione del rischio idraulico dell'area P.I.P. del comune di Molfetta mediante la rigenerazione della lama Scorbeto e la rinaturalizzazione della lama Marcinase**



**Mitigazione del rischio idraulico dell'area P.I.P. del comune di Molfetta mediante la rigenerazione della lama Scorbeto e la rinaturalizzazione della lama Marcinase**

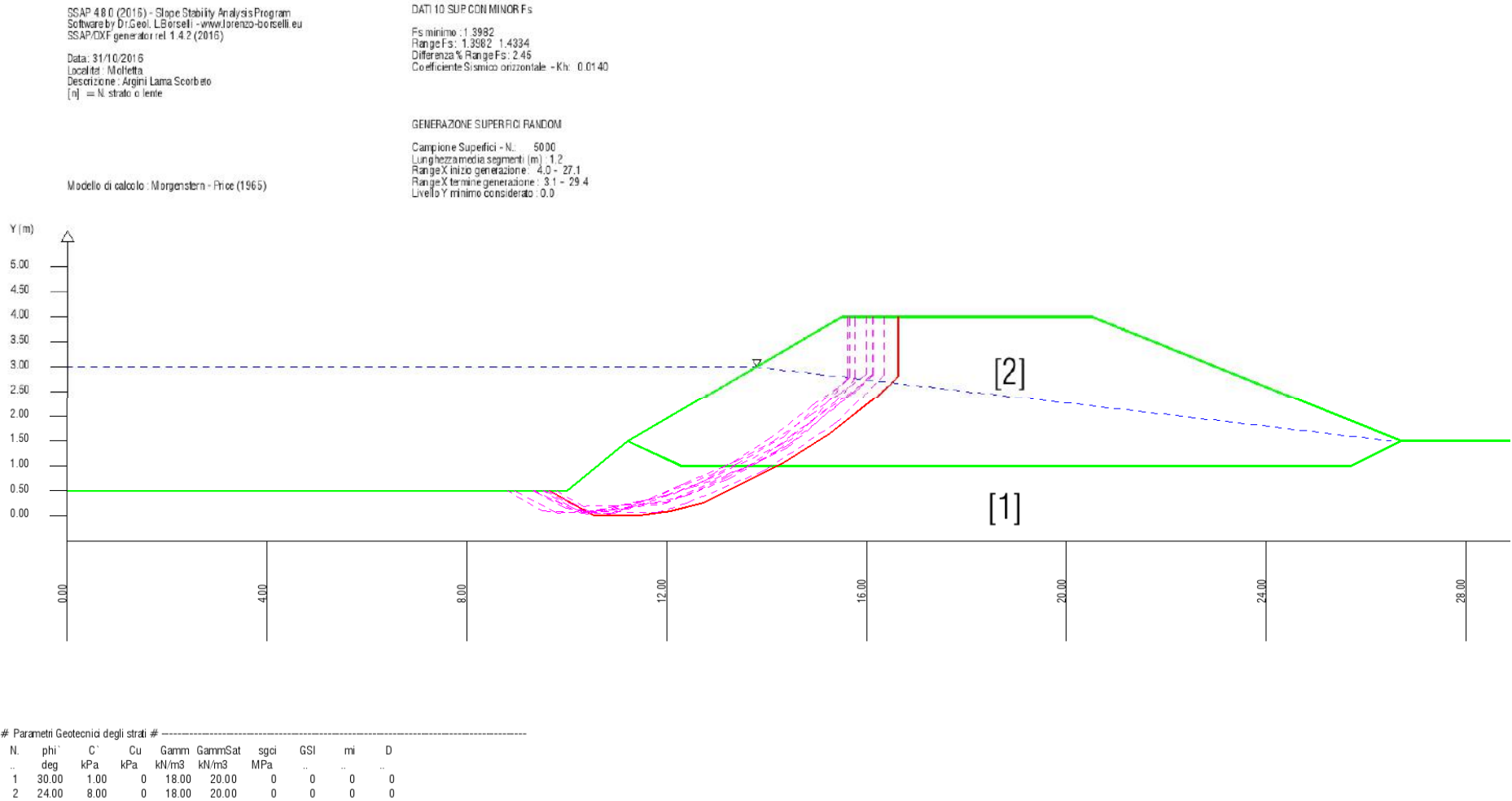


SSAP2010 (versione 4.8.0 - 2016) - DISTRIBUZIONE FORZE e PRESSIONI

**Argine Lama Scorbeto**



Mitigazione del rischio idraulico dell'area P.I.P. del comune di Molfetta mediante la rigenerazione della lama Scorbeto e la rinaturalizzazione della lama Marcinase



**Mitigazione del rischio idraulico dell'area P.I.P. del comune di Molfetta mediante la rigenerazione della lama Scorbeto e la rinaturalizzazione della lama Marcinase**

# Report elaborazioni #

-----  
SSAP 4.8.0 - Slope Stability Analysis Program (1991,2016)  
Build No. 8885  
BY  
Dr. Geol. LORENZO BORSELLI \*,\*\*  
\*UASLP, San Luis Potosi, Mexico  
e-mail: lborselli@gmail.com  
CV e WEB page personale: WWW.LORENZO-BORSELLI.EU  
\*\* Gia' Ricercatore CNR-IRPI fino a Luglio 2011  
-----

Ultima Revisione struttura tabelle del report: 20 OTTOBRE 2016  
-----

File report: C:\SSAP2010\pendii\ARGINE\_SCORBETO\RISULTATO\_SCP.txt  
Data: 31/10/2016  
Localita' : Molfetta  
Descrizione: Argini Lama Scorbeto  
Modello pendio: ARG\_SCO.mod  
----- PARAMETRI DEL MODELLO DEL PENDIO -----

\_\_\_ PARAMETRI GEOMETRICI - Coordinate X Y (in m) \_\_\_

SUP T.		SUP 2		SUP 3		SUP 4	
X	Y	X	Y	X	Y	X	Y
0.00	0.50	11.22	1.50	-	-	-	-
10.00	0.50	15.50	4.00	-	-	-	-
11.22	1.50	20.50	4.00	-	-	-	-
15.50	4.00	26.70	1.50	-	-	-	-
20.50	4.00	25.70	1.00	-	-	-	-
26.70	1.50	12.30	1.00	-	-	-	-
30.00	1.50	11.22	1.50	-	-	-	-

---- SUP FALDA -----  
X Y (in m)

0.00	3.00
13.80	3.00
26.50	1.50

----- GESTIONE ACQUIFERI -----

Strati esclusi da acquifero:  
Esclusione sovraccarico pendio sommerso: NON ATTIVATA  
Peso unitario fluido (kN/m<sup>3</sup>): 9.81

Parametri funzione dissipazione superficiale pressione dei fluidi:

Coefficiente A 0  
Coefficiente K 0.000800  
Pressione minima fluidi Uo\_Min (kPa) 0.01  
Coefficiente di soprapressione oltre pressione idrostatica 1.00  
Limitazione dissipazione a Pressione Idrostatica = ATTIVA

STABILITE CONDIZIONI PER LA VERIFICA CON SOVRAPPRESSIONE ACQUIFERI CON  
DISSIPAZIONE IN DIREZIONE DELLA SUPERFICIE

----- PARAMETRI GEOMECCANICI -----

**Mitigazione del rischio idraulico dell'area P.I.P. del comune di Molfetta mediante la rigenerazione della lama Scorbeto e la rinaturalizzazione della lama Marcinase**

	fi`	C`	Cu	Gamm	Gamm_sat	STR_IDX	sgci	GSI	mi	D
STRATO 1	30.00	1.00	0.00	18.00	20.00	1.888	0.00	0.00	0.00	0.00
STRATO 2	24.00	8.00	0.00	18.00	20.00	1.588	0.00	0.00	0.00	0.00

Note: fi` \_\_\_\_\_ Angolo di attrito interno efficace(in gradi)  
C` \_\_\_\_\_ Coesione efficace (in Kpa)  
Cu \_\_\_\_\_ Resistenza al taglio Non drenata (in Kpa)  
Gamm \_\_\_\_\_ Peso di volume terreno fuori falda (in KN/m^3)  
Gamm\_sat \_\_\_\_\_ Peso di volume terreno immerso (in KN/m^3)  
STR\_IDX \_\_\_\_\_ Indice di resistenza (usato in solo in 'SNIFF SEARCH) (adimensionale)  
---- SOLO Per AMMASSI ROCCIOSI FRATTURATI - Parametri Criterio di Rottura di Hoek (2002)-  
sigci \_\_\_\_\_ Resistenza Compressione Uniassiale Roccia Intatta (in MPa)  
GSI \_\_\_\_\_ Geological Strenght Index ammasso(adimensionale)  
mi \_\_\_\_\_ Indice litologico ammasso(adimensionale)  
D \_\_\_\_\_ Fattore di disturbo ammasso(adimensionale)  
Fattore di riduzione NTC2008 gammaPHI=1.25 e gammaC=1.25

----- INFORMAZIONI GENERAZIONE SUPERFICI RANDOM -----

\*\*\* PARAMETRI PER LA GENERAZIONE DELLE SUPERFICI

METODO DI RICERCA: CONVEX RANDOM - Chen (1992)  
FILTRAGGIO SUPERFICI : ATTIVATO  
COORDINATE X1,X2,Y OSTACOLO : 0.00 0.00 0.00  
LUNGHEZZA MEDIA SEGMENTI (m): 1.2 (+/-) 50%  
INTERVALLO ASCISSE RANDOM STARTING POINT (Xmin .. Xmax): 4.00 27.10  
LIVELLO MINIMO CONSIDERATO (Ymin): 0.00  
INTERVALLO ASCISSE AMMESSO PER LA TERMINAZIONE (Xmin .. Xmax): 3.10 29.40

\*\*\* TOTALE SUPERFICI GENERATE : 5000

----- INFORMAZIONI PARAMETRI DI CALCOLO -----

METODO DI CALCOLO : MORGENSTERN - PRICE (Morgenstern & Price, 1965)  
COEFFICIENTE SISMICO UTILIZZATO Kh : 0.0140  
COEFFICIENTE SISMICO UTILIZZATO Kv (assunto Nnegativo) : -0.0070  
COEFFICIENTE c=Kv/Kh UTILIZZATO : 0.5000  
FORZA ORIZZONTALE ADDIZIONALE IN TESTA (kN/m): 0.00  
FORZA ORIZZONTALE ADDIZIONALE ALLA BASE (kN/m): 0.00

N.B. Le forze orizzontali addizionali in testa e alla base sono poste uguali a 0 durante le tutte le verifiche globali.  
I valori >0 impostati dall'utente sono utilizzati solo in caso di verifica singola

----- RISULTATO FINALE ELABORAZIONI -----

\* DATI RELATIVI ALLE 10 SUPERFICI GENERATE CON MINOR Fs \*

Fattore di sicurezza (FS)	1.3982	- Min.	- X	Y	Lambda= 0.2391
	9.66	0.50			
	10.54	0.00			
	11.47	0.01			
	12.08	0.09			
	12.73	0.26			
	14.30	1.04			
	15.26	1.64			
	16.22	2.41			
	16.63	2.80			
	16.63	4.00			

Fattore di sicurezza (FS)	1.4045	- N.2 --	- X	Y	Lambda= 0.2423
	9.51	0.50			

**Mitigazione del rischio idraulico dell'area P.I.P. del comune di Molfetta mediante la rigenerazione della lama Scorbeto e la rinaturalizzazione della lama Marcinase**

10.24	0.10
11.80	0.07
12.39	0.25
13.97	0.92
15.41	1.87
16.34	2.84
16.34	4.00

Fattore di sicurezza (FS)	1.4073 - N.3 --	X	Y	Lambda= 0.2423
	9.55			0.50
	10.39			0.09
	11.30			0.18
	12.34			0.39
	13.22			0.73
	13.85			1.09
	14.45			1.44
	15.81			2.54
	16.14			2.85
	16.14			4.00

Fattore di sicurezza (FS)	1.4086 - N.4 --	X	Y	Lambda= 0.2464
	9.36			0.50
	10.30			0.05
	12.00			0.40
	12.59			0.63
	13.41			1.04
	14.35			1.60
	15.42			2.59
	15.62			2.77
	15.62			4.00

Fattore di sicurezza (FS)	1.4184 - N.5 --	X	Y	Lambda= 0.2565
	9.64			0.50
	10.50			0.07
	11.99			0.25
	13.18			0.75
	14.22			1.30
	14.93			1.90
	15.55			2.71
	15.61			2.79
	15.61			4.00

Fattore di sicurezza (FS)	1.4215 - N.6 --	X	Y	Lambda= 0.2273
	8.94			0.50
	9.83			0.05
	11.23			0.14
	12.45			0.55
	13.62			0.98
	14.49			1.61
	15.56			2.38
	16.11			2.85
	16.11			4.00

Fattore di sicurezza (FS)	1.4245 - N.7 --	X	Y	Lambda= 0.2353
	9.35			0.50
	9.98			0.15
	10.86			0.04

**Mitigazione del rischio idraulico dell'area P.I.P. del comune di Molfetta mediante la rigenerazione della lama Scorbeto e la rinaturalizzazione della lama Marcinase**

11.50	0.29
12.92	0.83
14.06	1.55
14.90	2.19
15.66	2.78
15.66	4.00

Fattore di sicurezza (FS)	1.4314	- N.8 --	X	Y	Lambda= 0.2443
	9.80	0.50			
	10.33	0.20			
	10.96	0.21			
	12.01	0.27			
	13.38	0.89			
	14.40	1.35			
	15.67	2.45			
	16.12	2.84			
	16.12	4.00			

Fattore di sicurezza (FS)	1.4316	- N.9 --	X	Y	Lambda= 0.2443
	9.32	0.50			
	10.40	0.04			
	12.04	0.42			
	12.77	0.70			
	14.33	1.45			
	15.40	2.31			
	15.76	2.77			
	15.76	4.00			

Fattore di sicurezza (FS)	1.4334	- N.10 --	X	Y	Lambda= 0.2247
	8.81	0.50			
	9.52	0.10			
	10.95	0.05			
	12.31	0.63			
	13.45	1.12			
	14.14	1.50			
	14.85	2.00			
	15.42	2.43			
	15.99	2.85			
	15.99	4.00			

----- ANALISI DEFICIT DI RESISTENZA -----

# DATI RELATIVI ALLE 10 SUPERFICI GENERATE CON MINOR FS \*

# Analisi Deficit in riferimento a FS(progetto) = 1.100

Sup N.	FS	FTR(kN/m)	FTA(kN/m)	Bilancio(kN/m)	ESITO
1	1.398	86.7	62.0	18.5	Surplus
2	1.404	79.6	56.6	17.2	Surplus
3	1.407	73.1	51.9	16.0	Surplus
4	1.409	61.2	43.4	13.4	Surplus
5	1.418	64.5	45.5	14.5	Surplus
6	1.422	70.6	49.6	16.0	Surplus
7	1.424	60.5	42.5	13.8	Surplus
8	1.431	72.2	50.4	16.7	Surplus
9	1.432	66.0	46.1	15.3	Surplus
10	1.433	67.7	47.2	15.7	Surplus

Esito analisi: SURPLUS di RESISTENZA!

**Mitigazione del rischio idraulico dell'area P.I.P. del comune di Molfetta mediante la rigenerazione della lama Scorbeto e la rinaturalizzazione della lama Marcinase**

Valore minimo di SURPLUS di RESISTENZA (kN/m): 13.4

Note: FTR --> Forza totale Resistente rispetto alla superficie di scivolamento (componente Orizzontale)

FTA --> Forza totale Agente rispetto alla superficie di scivolamento (componente Orizzontale)

IMPORTANTE! : Il Deficit o il Surplus di resistenza viene espresso in kN per metro di LARGHEZZA rispetto al fronte della scarpata

TABELLA PARAMETRI CONCI DELLA SUPERFICIE INDIVIDUATA CON MINOR FS

X (m)	dx (m)	alpha (gradi)	W (kN/m)	ru (-)	U (kPa)	phi' (gradi)	c'/Cu (kPa)
9.659	0.125	-29.41	3.12	0.99	24.87	30.00	1.00
9.784	0.125	-29.41	3.30	0.96	25.56	30.00	1.00
9.908	0.092	-29.41	2.53	0.96	25.65	30.00	1.00
10.000	0.125	-29.41	2.99	0.98	25.13	30.00	1.00
10.125	0.125	-29.41	3.32	0.99	26.25	30.00	1.00
10.249	0.125	-29.41	3.65	0.95	27.89	30.00	1.00
10.374	0.125	-29.41	3.98	0.90	28.79	30.00	1.00
10.499	0.042	-29.41	1.41	0.86	29.26	30.00	1.00
10.540	0.125	0.52	4.34	0.85	29.38	30.00	1.00
10.665	0.125	0.52	4.49	0.82	29.50	30.00	1.00
10.790	0.125	0.52	4.64	0.78	29.42	30.00	1.00
10.914	0.125	0.52	4.80	0.76	29.36	30.00	1.00
11.039	0.125	0.52	4.95	0.73	29.26	30.00	1.00
11.164	0.056	0.52	2.28	0.71	29.30	30.00	1.00
11.220	0.125	0.52	5.31	0.69	29.43	30.00	1.00
11.345	0.125	0.52	5.41	0.67	29.45	30.00	1.00
11.469	0.125	7.74	5.50	0.66	29.25	30.00	1.00
11.594	0.125	7.74	5.56	0.65	29.07	30.00	1.00
11.719	0.125	7.74	5.62	0.64	28.90	30.00	1.00
11.843	0.125	7.74	5.68	0.63	28.74	30.00	1.00
11.968	0.113	7.74	5.20	0.62	28.56	30.00	1.00
12.081	0.125	13.98	5.78	0.61	28.35	30.00	1.00
12.205	0.095	13.98	4.40	0.60	28.06	30.00	1.00
12.300	0.125	13.98	5.83	0.59	27.83	30.00	1.00
12.425	0.125	13.98	5.86	0.58	27.51	30.00	1.00
12.549	0.125	13.98	5.88	0.57	27.18	30.00	1.00
12.674	0.058	13.98	2.73	0.56	26.84	30.00	1.00
12.732	0.125	26.64	5.89	0.56	26.65	30.00	1.00
12.856	0.125	26.64	5.83	0.55	26.07	30.00	1.00
12.981	0.125	26.64	5.78	0.54	25.38	30.00	1.00
13.106	0.125	26.64	5.73	0.53	24.76	30.00	1.00
13.230	0.125	26.64	5.68	0.53	24.07	30.00	1.00
13.355	0.005	26.64	0.23	0.52	23.63	30.00	1.00
13.360	0.125	26.64	5.63	0.52	23.61	30.00	1.00
13.485	0.125	26.64	5.58	0.51	23.10	30.00	1.00
13.609	0.125	26.64	5.53	0.50	22.28	30.00	1.00
13.734	0.066	26.64	2.90	0.49	21.64	30.00	1.00
13.800	0.125	26.64	5.48	0.48	21.32	30.00	1.00
13.925	0.125	26.64	5.49	0.46	20.58	30.00	1.00
14.049	0.125	26.64	5.49	0.44	19.68	30.00	1.00
14.174	0.039	26.64	1.73	0.43	19.01	30.00	1.00
14.213	0.085	26.64	3.73	0.43	18.90	24.00	8.00
14.298	0.125	31.98	5.48	0.42	18.44	24.00	8.00
14.423	0.125	31.98	5.44	0.39	17.31	24.00	8.00
14.547	0.125	31.98	5.41	0.37	16.35	24.00	8.00
14.672	0.125	31.98	5.38	0.36	15.45	24.00	8.00



**Mitigazione del rischio idraulico dell'area P.I.P. del comune di Molfetta mediante la rigenerazione della lama Scorbeto e la rinaturalizzazione della lama Marcinase**

14.797	0.125	31.98	5.34	0.34	14.54	24.00	8.00
14.921	0.125	31.98	5.31	0.32	13.63	24.00	8.00
15.046	0.125	31.98	5.27	0.30	12.75	24.00	8.00
15.171	0.091	31.98	3.81	0.28	11.81	24.00	8.00
15.261	0.125	38.66	5.19	0.26	11.09	24.00	8.00
15.386	0.114	38.66	4.67	0.24	9.96	24.00	8.00
15.500	0.125	38.66	4.94	0.22	8.93	24.00	8.00
15.625	0.125	38.66	4.69	0.20	7.77	24.00	8.00
15.749	0.125	38.66	4.44	0.19	6.63	24.00	8.00
15.874	0.125	38.66	4.19	0.16	5.51	24.00	8.00
15.999	0.125	38.66	3.94	0.14	4.41	24.00	8.00
16.123	0.092	38.66	2.75	0.11	3.26	24.00	8.00
16.216	0.125	43.71	3.48	0.08	2.36	24.00	8.00
16.340	0.125	43.71	3.18	0.04	1.02	24.00	8.00
16.465	0.037	43.71	0.88	0.01	0.30	24.00	8.00
16.502	0.125	43.71	2.81	0.01	0.22	24.00	8.00

---

**LEGENDA SIMBOLI**

X(m) : Ascissa sinistra concio

dx(m) : Larghezza concio

alpha(gradi) : Angolo pendenza base concio

W(kN/m) : Forza peso concio

ru(-) : Coefficiente locale pressione interstiziale

U(kPa) : Pressione totale dei pori base concio

phi'(gradi) : Angolo di attrito efficace base concio

c'/Cu (kPa) : Coesione efficace o Resistenza al taglio in condizioni non drenate

---

**Mitigazione del rischio idraulico dell'area P.I.P. del comune di Molfetta mediante la rigenerazione della lama Scorbeto e la rinaturalizzazione della lama Marcinase**

TABELLA DIAGRAMMA DELLE FORZE DELLA SUPERFICIE INDIVIDUATA CON MINOR FS

X (m)	ht (m)	yt (m)	yt' (--)	E(x) (kN/m)	T(x) (kN/m)	E' (kN)	rho(x) (--)	local_FS_FEM (--)	local_FS_p-qFEM (--)	
9.659	0.000	0.500	-0.282	0.000000000E+0000	0.000000000E+0000	0.000000000E+0000	0.000000000E+0000	0.047	0.220	0.230
9.784	0.035	0.465	-0.282	1.213809143E-0001	1.586682525E-0002	1.032793953E+0000	0.047	0.220	0.230	
9.908	0.070	0.430	-0.282	2.574951549E-0001	3.424574834E-0002	1.039077263E+0001	0.063	0.339	0.293	
10.000	0.096	0.404	-0.045	2.367857838E+0000	3.149149103E-0001	1.362384540E+0001	0.111	0.641	0.372	
10.125	0.182	0.420	0.081	4.537643161E+0000	6.192813919E-0001	2.094963470E+0001	0.177	1.056	0.467	
10.249	0.257	0.424	0.020	7.609197983E+0000	1.106706528E+0000	2.846280451E+0001	0.431	1.361	0.526	
10.374	0.328	0.425	0.022	1.148309480E+0001	1.793647114E+0000	3.262229136E+0001	0.408	1.336	0.527	
10.499	0.403	0.430	0.047	1.546518810E+0001	2.569810833E+0000	3.038378753E+0001	0.408	1.159	0.520	
10.540	0.429	0.433	0.115	1.670505058E+0001	2.832915404E+0000	2.887631438E+0001	0.417	1.097	0.522	
10.665	0.444	0.449	0.175	2.007759123E+0001	3.563506151E+0000	2.521277820E+0001	0.441	0.936	0.548	
10.790	0.471	0.476	0.249	2.296124646E+0001	4.244176332E+0000	2.117202757E+0001	0.457	0.843	0.599	
10.914	0.504	0.511	0.291	2.542021161E+0001	4.910474672E+0000	1.857177131E+0001	0.473	0.827	0.657	
11.039	0.541	0.549	0.288	2.763598650E+0001	5.528618002E+0000	1.694063598E+0001	0.482	0.868	0.698	
11.164	0.574	0.582	0.263	2.959659331E+0001	6.113528992E+0000	1.446292874E+0001	0.489	0.908	0.723	
11.220	0.587	0.597	0.260	3.037905584E+0001	6.366575815E+0000	1.339291175E+0001	0.498	0.920	0.730	
11.345	0.619	0.630	0.272	3.192767218E+0001	6.877182364E+0000	1.159887675E+0001	0.500	0.935	0.743	
11.469	0.653	0.665	0.297	3.329979743E+0001	7.341020294E+0000	1.049684267E+0001	0.497	0.937	0.754	
11.594	0.675	0.703	0.323	3.453872226E+0001	7.761551228E+0000	9.386547871E+0000	0.493	0.934	0.762	
11.719	0.700	0.745	0.331	3.564220197E+0001	8.111237939E+0000	8.280263117E+0000	0.487	0.935	0.769	
11.843	0.723	0.786	0.327	3.658776833E+0001	8.418971393E+0000	6.822657384E+0000	0.480	0.937	0.773	
11.968	0.747	0.827	0.325	3.733200124E+0001	8.677389458E+0000	5.113891724E+0000	0.473	0.934	0.775	
12.081	0.768	0.863	0.329	3.782831378E+0001	8.859441068E+0000	3.686150842E+0000	0.466	0.927	0.774	
12.205	0.779	0.905	0.351	3.818586065E+0001	9.002924243E+0000	2.009722151E+0000	0.457	0.924	0.770	
12.300	0.791	0.940	0.373	3.830843463E+0001	9.069416511E+0000	5.575413359E-0001	0.452	0.924	0.765	
12.425	0.806	0.986	0.374	3.825059995E+0001	9.102150444E+0000	-1.486701679E+0000	0.448	0.921	0.751	
12.549	0.822	1.034	0.377	3.794349849E+0001	9.060746507E+0000	-3.427018031E+0000	0.440	0.906	0.732	
12.674	0.838	1.081	0.385	3.739849625E+0001	8.942588732E+0000	-5.306818331E+0000	0.429	0.878	0.714	
12.732	0.847	1.104	0.417	3.706827898E+0001	8.859003193E+0000	-6.151249034E+0000	0.425	0.864	0.707	
12.856	0.837	1.157	0.473	3.619174078E+0001	8.618654538E+0000	-7.885622044E+0000	0.416	0.832	0.689	
12.981	0.840	1.222	0.516	3.510885094E+0001	8.301576776E+0000	-9.495485958E+0000	0.403	0.808	0.666	
13.106	0.841	1.285	0.504	3.383113267E+0001	7.919082582E+0000	-1.091137749E+0001	0.387	0.798	0.631	
13.230	0.840	1.347	0.473	3.241962072E+0001	7.524178637E+0000	-1.160296582E+0001	0.369	0.797	0.597	

**Mitigazione del rischio idraulico dell'area P.I.P. del comune di Molfetta mediante la rigenerazione della lama Scorbeto e la rinaturalizzazione della lama Marcinase**

13.355	0.834	1.403	0.448	3.096292010E+0001	7.132585322E+0000	-1.172803045E+0001	0.351	0.799	0.566
13.360	0.833	1.405	0.433	3.090308156E+0001	7.116378810E+0000	-1.173200835E+0001	0.351	0.799	0.565
13.485	0.825	1.459	0.445	2.943511881E+0001	6.723200122E+0000	-1.178366612E+0001	0.336	0.801	0.527
13.609	0.819	1.516	0.487	2.797173256E+0001	6.336675006E+0000	-1.167940280E+0001	0.320	0.806	0.479
13.734	0.821	1.581	0.534	2.652553059E+0001	5.964311752E+0000	-1.151591552E+0001	0.303	0.816	0.438
13.800	0.825	1.618	0.566	2.576869760E+0001	5.778057713E+0000	-1.140728445E+0001	0.295	0.826	0.433
13.925	0.833	1.689	0.531	2.436431321E+0001	5.450015523E+0000	-1.109384983E+0001	0.281	0.869	0.474
14.049	0.833	1.750	0.489	2.300363558E+0001	5.141238906E+0000	-1.075950824E+0001	0.266	0.935	0.585
14.174	0.830	1.811	0.483	2.167316810E+0001	4.841158870E+0000	-1.062154944E+0001	0.250	0.995	0.710
14.213	0.830	1.830	0.490	2.125691618E+0001	4.746694171E+0000	-1.061414563E+0001	0.246	1.008	0.742
14.298	0.829	1.871	0.502	2.035804973E+0001	4.540313563E+0000	-1.059768192E+0001	0.239	1.036	0.817
14.423	0.814	1.935	0.540	1.904203261E+0001	4.232387585E+0000	-1.051835066E+0001	0.229	1.066	0.908
14.547	0.808	2.006	0.606	1.773460007E+0001	3.920612668E+0000	-1.046260779E+0001	0.217	1.086	0.972
14.672	0.810	2.086	0.656	1.643237924E+0001	3.608809365E+0000	-1.043319642E+0001	0.205	1.095	0.986
14.797	0.815	2.169	0.632	1.513315377E+0001	3.302684736E+0000	-1.040865762E+0001	0.192	1.104	0.990
14.921	0.812	2.243	0.590	1.383840629E+0001	2.999406374E+0000	-1.036281146E+0001	0.178	1.116	1.003
15.046	0.807	2.317	0.576	1.254905830E+0001	2.700417874E+0000	-1.032588821E+0001	0.165	1.127	1.027
15.171	0.800	2.387	0.552	1.126373815E+0001	2.402356703E+0000	-1.029255346E+0001	0.150	1.133	1.056
15.261	0.791	2.435	0.539	1.033303270E+0001	2.184389183E+0000	-1.023825076E+0001	0.139	1.138	1.081
15.386	0.759	2.503	0.535	9.064610543E+0000	1.882021493E+0000	-1.010149232E+0001	0.124	1.153	1.125
15.500	0.728	2.563	0.516	7.920911459E+0000	1.603764012E+0000	-9.922421997E+0000	0.109	1.184	1.183
15.625	0.692	2.626	0.514	6.699734698E+0000	1.304274652E+0000	-9.654711444E+0000	0.095	1.238	1.266
15.749	0.657	2.691	0.493	5.518137692E+0000	1.024132142E+0000	-9.296023758E+0000	0.080	1.305	1.364
15.874	0.615	2.749	0.474	4.384199723E+0000	7.672046048E-0001	-8.859677373E+0000	0.064	1.378	1.472
15.999	0.576	2.810	0.498	3.323027860E+0000	5.469725058E-0001	-8.103413699E+0000	0.049	1.455	1.589
16.123	0.540	2.873	0.488	2.376679385E+0000	3.655001800E-0001	-7.050369540E+0000	0.047	1.529	1.702
16.216	0.508	2.915	0.502	1.763013823E+0000	2.565860154E-0001	-6.277625023E+0000	0.047	1.584	1.787
16.340	0.456	2.982	0.568	1.043354111E+0000	1.404375906E-0001	-5.236448609E+0000	0.047	1.676	1.926
16.465	0.411	3.057	0.549	4.703432960E-0001	5.844580435E-0002	-3.901359474E+0000	0.047	1.782	2.081
16.502	0.390	3.071	0.549	3.349369305E-0001	4.048355215E-0002	-3.452972076E+0000	0.047	1.847	2.175

-----  
**LEGENDA SIMBOLI**

X(m) : Ascissa sinistra concio  
ht(m) : Altezza linea di thrust da nodo sinistro base concio  
yt(m) : coordinata Y linea di trust  
yt'(-) : gradiente pendenza locale linea di trust  
E(x)(kN/m) : Forza Normale interconcio  
T(x)(kN/m) : Forza Tangenziale interconcio  
E' (kN) : derivata Forza normale interconcio

***Mitigazione del rischio idraulico dell'area P.I.P. del comune di Molfetta mediante la rigenerazione della lama Scorbeto e la rinaturalizzazione della lama Marcinase***

Rho(x) (-) : fattore mobilizzazione resistenza al taglio verticale interconcio ZhU et al.(2003)

FS\_FEM(x) (-) : fattore di sicurezza locale stimato (locale in X) by qFEM

FS\_p-qFEM(x) (-) : fattore di sicurezza locale stimato (locale in X) by p-qFEM Procedure

-----

**Mitigazione del rischio idraulico dell'area P.I.P. del comune di Molfetta mediante la rigenerazione della lama Scorbeto e la rinaturalizzazione della lama Marcinase**

TABELLA SFORZI DI TAGLIO DISTRIBUITI LUNGO SUPERFICIE INDIVIDUATA CON MINOR FS

X (m)	dx (m)	dl (m)	alpha (gradi)	TauStress (kPa)	TauF (kN/m)
9.659	0.125	0.143	-29.407	-10.449	-1.495
9.784	0.125	0.143	-29.407	-11.031	-1.579
9.908	0.092	0.105	-29.407	-11.536	-1.212
10.000	0.125	0.143	-29.407	-21.559	-3.085
10.125	0.125	0.143	-29.407	-22.184	-3.175
10.249	0.125	0.143	-29.407	-22.810	-3.264
10.374	0.125	0.143	-29.407	-23.435	-3.353
10.499	0.042	0.048	-29.407	-23.852	-1.146
10.540	0.125	0.125	0.517	-11.672	-1.455
10.665	0.125	0.125	0.517	-11.009	-1.372
10.790	0.125	0.125	0.517	-10.345	-1.290
10.914	0.125	0.125	0.517	-9.681	-1.207
11.039	0.125	0.125	0.517	-9.017	-1.124
11.164	0.056	0.056	0.517	-8.535	-0.480
11.220	0.125	0.125	0.517	-6.260	-0.780
11.345	0.125	0.125	0.517	-5.881	-0.732
11.469	0.125	0.126	7.735	0.083	0.010
11.594	0.125	0.126	7.735	0.510	0.064
11.719	0.125	0.126	7.735	0.937	0.118
11.843	0.125	0.126	7.735	1.364	0.172
11.968	0.113	0.114	7.735	1.771	0.202
12.081	0.125	0.128	13.980	7.010	0.901
12.205	0.095	0.097	13.980	7.356	0.717
12.300	0.125	0.128	13.980	7.701	0.989
12.425	0.125	0.128	13.980	8.094	1.040
12.549	0.125	0.128	13.980	8.487	1.090
12.674	0.058	0.059	13.980	8.775	0.521
12.732	0.125	0.139	26.641	17.156	2.393
12.856	0.125	0.139	26.641	17.275	2.409
12.981	0.125	0.139	26.641	17.395	2.426
13.106	0.125	0.139	26.641	17.514	2.443
13.230	0.125	0.139	26.641	17.634	2.459
13.355	0.005	0.006	26.641	17.696	0.101
13.360	0.125	0.139	26.641	17.758	2.477
13.485	0.125	0.139	26.641	17.878	2.493
13.609	0.125	0.139	26.641	17.998	2.510
13.734	0.066	0.074	26.641	18.095	1.337
13.800	0.125	0.139	26.641	18.118	2.527
13.925	0.125	0.139	26.641	18.130	2.529
14.049	0.125	0.139	26.641	18.143	2.530
14.174	0.039	0.044	26.641	18.151	0.796
14.213	0.085	0.095	26.641	18.157	1.721
14.298	0.125	0.147	31.984	20.186	2.967
14.423	0.125	0.147	31.984	20.060	2.948
14.547	0.125	0.147	31.984	19.935	2.930
14.672	0.125	0.147	31.984	19.809	2.911
14.797	0.125	0.147	31.984	19.683	2.893
14.921	0.125	0.147	31.984	19.557	2.874
15.046	0.125	0.147	31.984	19.432	2.856
15.171	0.091	0.107	31.984	19.323	2.065
15.261	0.125	0.160	38.656	20.654	3.297
15.386	0.114	0.146	38.656	20.317	2.971
15.500	0.125	0.160	38.656	19.658	3.138
15.625	0.125	0.160	38.656	18.660	2.979
15.749	0.125	0.160	38.656	17.663	2.820
15.874	0.125	0.160	38.656	16.665	2.660

**Mitigazione del rischio idraulico dell'area P.I.P. del comune di Molfetta mediante la rigenerazione della lama Scorbeto e la rinaturalizzazione della lama Marcinase**

15.999	0.125	0.160	38.656	15.668	2.501
16.123	0.092	0.118	38.656	14.800	1.748
16.216	0.125	0.172	43.707	14.129	2.436
16.340	0.125	0.172	43.707	12.915	2.227
16.465	0.037	0.051	43.707	12.128	0.618
16.502	0.125	0.172	43.707	11.410	1.968

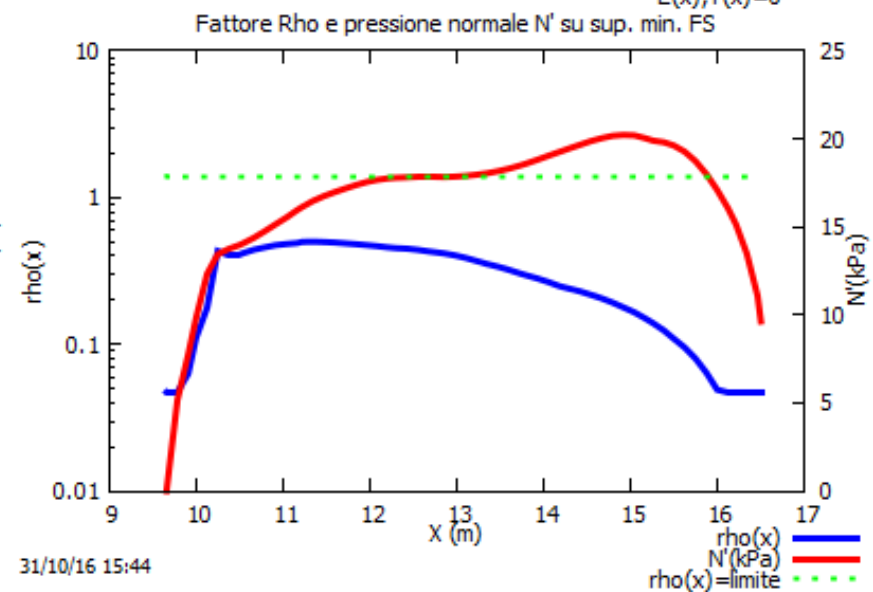
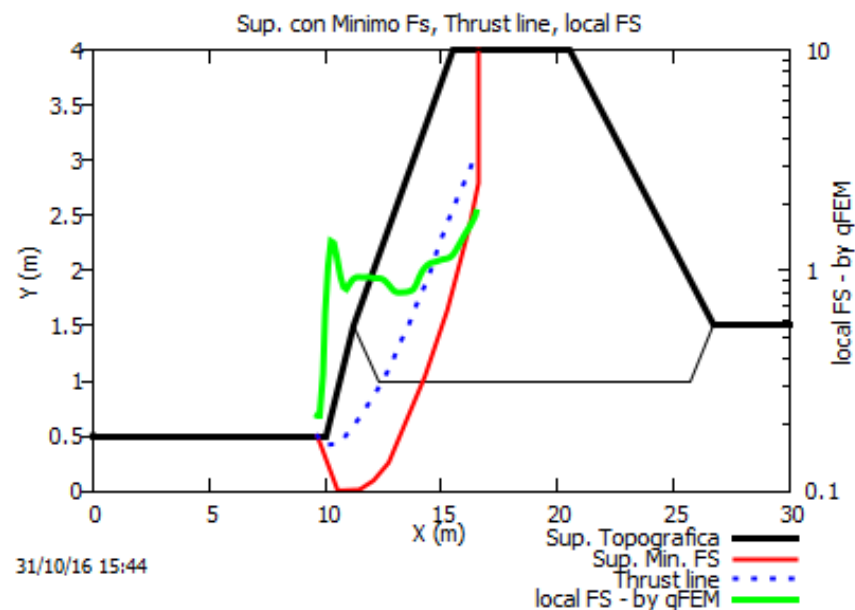
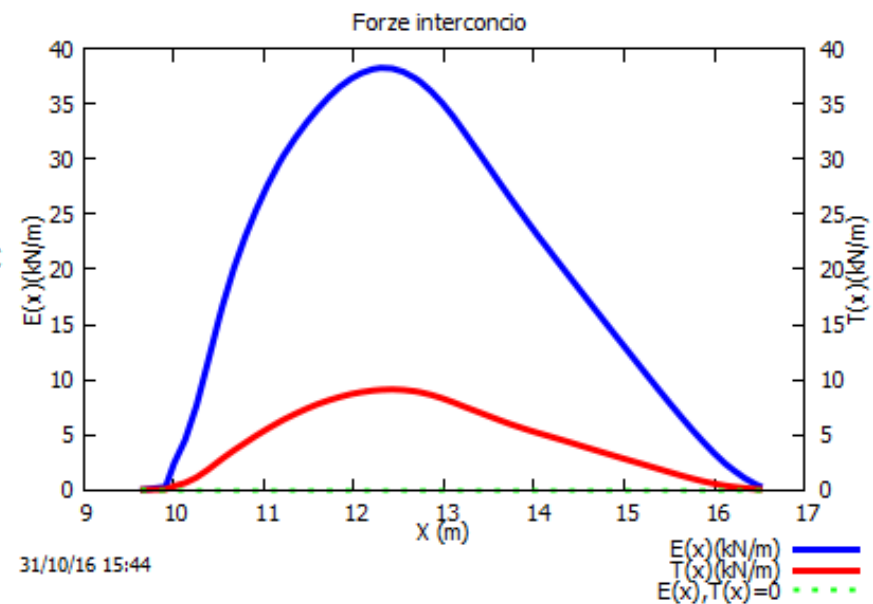
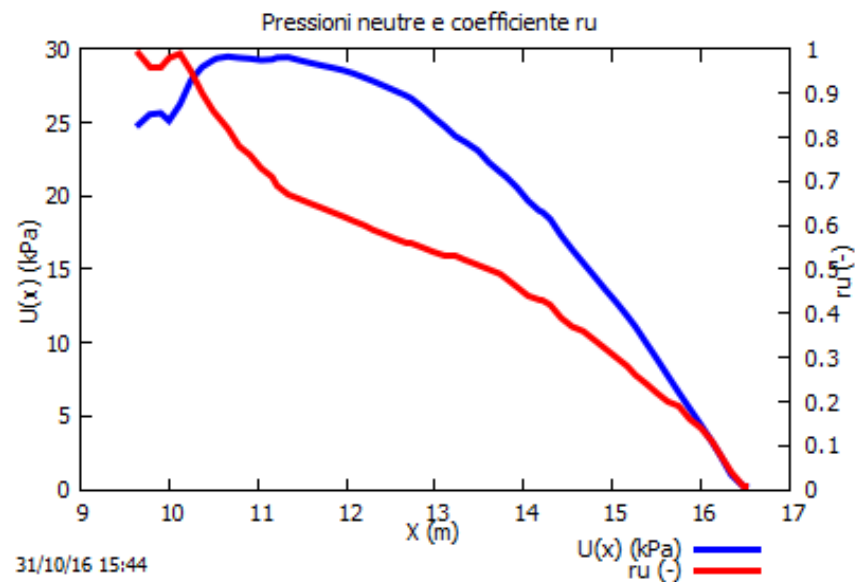
---

**LEGENDA SIMBOLI**

X(m) : Ascissa sinistra concio  
dx(m) : Larghezza concio  
dl(m) : lunghezza base concio  
alpha(gradi) : Angolo pendenza base concio  
TauStress(kPa) : Sforzo di taglio su base concio  
TauF (kN/m) : Forza di taglio su base concio

---

**Mitigazione del rischio idraulico dell'area P.I.P. del comune di Molfetta mediante la rigenerazione della lama Scorbeto e la rinaturalizzazione della lama Marcinase**



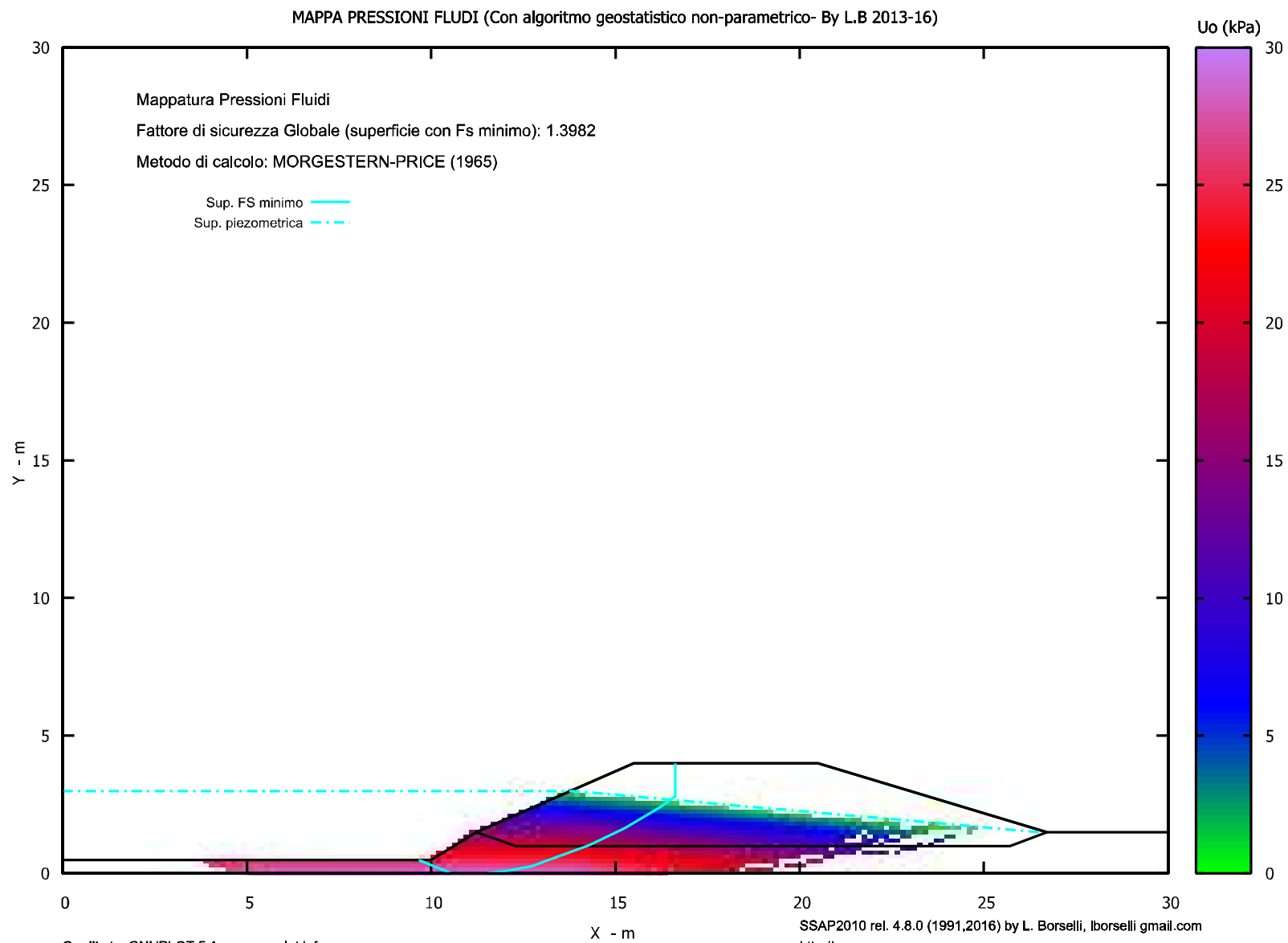
SSAP2010 (versione 4.8.0 - 2016) - DISTRIBUZIONE FORZE e PRESSIONI

Relazione idraulica

Pag. 83 di 85



**Mitigazione del rischio idraulico dell'area P.I.P. del comune di Molfetta mediante la rigenerazione della lama Scorbeto e la rinaturalizzazione della lama Marcinase**



**Mitigazione del rischio idraulico dell'area P.I.P. del comune di Molfetta mediante la rigenerazione della lama Scorbeto e la rinaturalizzazione della lama Marcinase**

