

# CONSORZIO PER L'AREA DI SVILUPPO INDUSTRIALE DI BARI

Via delle Dalie, 5 - Z.I. - 70026 - Modugno (Ba)

080.964.16.00-fax080.990.43.06 P.I./C.F.:00830890729

## PROGETTO DEFINITIVO

### DATA

27/ 10/2016

## Interventi di salvaguardia idraulica della zona ASI di Molfetta

Affidamento progettazione  
Deliberazione CdA n. 146 del  
29/07/2016

### CODICE ELABORATO

**D12**

**SCALA**

---

## Relazione geotecnica

### IL PROGETTISTA :

Ing. Simone Milella

### Assistenza e Supporto progettazione :

Ing. Salvatore Vernole

(Deliberazione presidenziale n. 268 del 05/08/2016)

Arch. Ottavio Felice Morea

(Deliberazione presidenziale n. 312 del 30/09/2016)

Ing. Michele Vitti

(Deliberazione presidenziale n. 331 del 12/10/2016)

Per presa visione  
**IL R.U.P.:**

Ing. Giuseppe A. LATROFA

## Sommario

PREMESSA .....	2
LINEAMENTI GEOLOGICI , GEOMORFOLOGICI E IDROGEOLOGICI DEL SITO.....	3
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO DI FONDAZIONE .....	6
SUCCESSIONE STRATIGRAFICA DEL SITO E CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA.....	7
CARATTERI SISMICI DELL'AREA .....	11
TIPOLOGIA DELLE OPERE DI FONDAZIONE E INDAGINI IN SITO.....	13
VERIFICHE DI SICUREZZA .....	15
CALCOLO DELLA CAPACITÀ PORTANTE E DEL CEDIMENTO DEL SUBSTRATO DI FONDAZIONE.....	16
VERIFICA DI SICUREZZA DEL FRONTE SCAVO .....	22
VERIFICA DI SICUREZZA AL SIFONAMENTO .....	25

## PREMESSA

La presente **relazione geotecnica**, redatta dal sottoscritto, rientra nel numero degli elaborati alla base dell'incarico professionale ricevuto dal CONSORZIO PER L'AREA DI SVILUPPO INDUSTRIALE DI BARI (Determinazione presidenziale n.331/2016 del 12/10/2016) e affronta uno studio finalizzato alla caratterizzazione geomeccanica, al calcolo e verifica della capacità portante dei terreni di fondazione delle strutture scatolari progettate per l'attraversamento sotterraneo di un canale di convogliamento delle acque in corrispondenza della SS16, ex SS16, SP Molfetta-Corato, Strada Comunale Lama di Macine, Strada Vicinale San Lorenzo e dell'Attraversamento ferroviario (Comune di Molfetta), nonché alla valutazione dei cedimenti del substrato dove si individua la presenza delle opere di fondazione in relazione agli **INTERVENTI DI SALVAGUARDIA IDRAULICA DELLA ZONA ASI DI MOLFETTA**.

Tale studio geotecnico segue quanto previsto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/08) e della Delibera di Giunta Regionale n°597 del 27/4/04 della Regione Puglia.

La trattazione si basa su specifiche indagini geognostiche contenute nella relazione geologica allegata alla presente e la cui interpretazione e valutazione costituiscono parte integrante della presente.

La struttura oggetto di studio è ubicata in abitato di Molfetta (BA), su un'area avente morfologia caratterizzata da leggera pendenza.

Dalla recente suddivisione e classificazione sismica del territorio nazionale pubblicata dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (CSLLPP), il sito in esame è classificato secondo parametri come gli spettri di risposta e l'accelerazione al suolo  $a_g$ , che lo fanno ricadere nella cosiddetta **"zona 3"**.

## LINEAMENTI GEOLOGICI, GEOMORFOLOGICI E IDROGEOLOGICI DEL SITO

### ***Geomorfologia***

Il territorio interessato dall'intervento di salvaguardia idraulica corrisponde alla vasta area costiera situata a nord-ovest della Città di Molfetta, e confinante a ovest con il limite amministrativo di Bisceglie, a nord con la linea ferroviaria adriatica delle FF.SS., a est dalla S.P. Molfetta-Corato e a sud dalla S.C. Casale.

Il sito in esame presenta un andamento topografico variabile da circa 16m s.l.m. nei pressi della SS 16, ai 46 m s.l.m. a monte dell'agglomerato industriale.

Per quanto attiene la geologia del sito, il territorio di Molfetta è caratterizzato dalla presenza di un substrato di rocce carbonatiche di età cretacea appartenenti alla formazione geologica del "Calcere di Bari", su cui poggiano piaghe di depositi calcareo-arenacei del Quaternario. Si tratta di un potente complesso di rocce sedimentarie in cui si alternano strati calcarei di colore bianchi-grigiastro a calcari dolomitici di colore grigio-avanzato, con spessore variabile da pochi decimetri fino al metro, hanno tessitura omogenea, sono piuttosto compatti e tenaci alla scala di campione.

Da un punto di vista morfologico il territorio rispecchia i caratteri tipici dello stile tabulare delle Murge, con vasti ripiani allungati parallelamente alla costa e debolmente inclinati (1%).

I depositi quaternari continentali, alluvionali terrosi e ciottolosi, presentano un assetto tabulare e conservano intatte le originarie giaciture a conferma che non hanno subito gli effetti tettonici disgiuntivi della fase tettonica appenninica.

Perpendicolarmente alla costa si rinvengono numerosi solchi erosivi (denominate *Lame*) con pareti poco elevate, mediamente inclinate e fondo piatto che incidono i calcari e le calcareniti.

### ***Geolitologia***

In base ai dati desunti dalla letteratura scientifica e alle note illustrative allegate al Foglio n.177 "Bari" della Carta Geologica d'Italia, lo schema geologico del territorio in esame è contraddistinto da affioramenti di rocce calcaree del Cretaceo Superiore, appartenenti al gruppo dei Calcari delle Murge.

Di seguito sono indicati i caratteri litologici e stratigrafici delle formazioni cartografate:

### ***Formazioni marine***

Trattasi di depositi travertinoidi tipo “crosta” e lembi di panchina dell’Olocene presenti lungo la costa tra bisceglie e Bari.

### ***Formazioni continentali***

Corrispondono a depositi sedimentari costituiti da ciottolame calcareo e da materiale terroso derivanti dalla disgregazione dei calcari e delle calcareniti, per lo più presenti sul fondo di solchi erosivi(lame) e, in forma di terrazzi, sui fianchi delle lame.

### ***Calcareniti***

Le calcareniti formano una copertura discontinua di sedimenti marini diagenizzati del Quaternario, costituiti da clasti a granulometria molto variabile e da rari livelli di fossili. Le calcareniti presentano, a luoghi, aspetto massivo, stratificazione irregolare con superfici di strato indistinte che delimitano grosse bancate di spessore anche superiore al metro. Nel complesso si tratta di rocce tenere e poco tenaci di aspetto poroso formatesi essenzialmente per accumulo e successiva cementazione di fossili e detriti calcarei.

### ***Calcari***

Sotto la coltre calcarenitica, è presente l’unità litostratigrafica dei “Calcari di Bari”, riferibile al Cenomaniano-Turoniano, costituita da una successione di strati di roccia calcarea fessurata e in vario modo carsificata, ma compatta e tenace alla scala del campione. Si tratta di calcari a grana fine , talora microcristallini, di colore bianco-avana e a luoghi grigiastro che affiorano nell’area di stretto interesse. Gli strati carbonatici cretacei sono poco inclinati , in media variano dai 5 ° ai 15 ° , e spessori variabili da pochi cm ad 50-60 centimetri.

### ***Idrogeologia***

La scarsa circolazione idrica superficiale è dovuta, essenzialmente ai caratteri geolitologici delle rocce affioranti che tendono a favorire l’infiltrazione rapida nel sottosuolo delle acque di dilavamento superficiale.

L’area in esame appartiene alla cosiddetta “Idrostruttura delle Murge” e costituisce un vasto serbatoio,sede della falda idrica profonda, in cui si accumulano le acque sotterranee, occupando gli orizzonti più fratturati e carsificati che conferiscono all’ammasso una permeabilità per “carsismo” o in “grande”.

La falda di base trae alimentazione dalle precipitazioni meteoriche che cadono diffusamente su tutto il territorio murgiano; la ricarica stessa avviene attraverso vie preferenziali d'infiltrazione dell'acqua meteorica rappresentate da fratture e forme carsiche.

Così come riferito nell'allegato G.& "Carte idrogeologica" , l'isofreatica, nella gran parte dell'area industriale, si attesta leggermente al di sopra del livello del mare. In linea di massima la falda è inclinata verso la linea di costa , dove il suo carico idraulico si annulla e si riversa in mare in forma, generalmente, diffusa.

## **CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO DI FONDAZIONE**

Sulla base delle descrizioni della struttura e delle condizioni delle discontinuità presenti finora analizzate, è possibile procedere con uno studio di classificazione dell'ammasso roccioso attraverso la descrizione del grado di fratturazione e di alterazione della roccia e la misurazione dell'R.Q.D. (Rock Quality Design).

Sono stati effettuati 5 sondaggi "a carotaggio continuo" identificati con le sigle S1, S2, S3, S4 ed S5, spinti tutti fino alla profondità di 10 m ad eccezione del sondaggio S3 profondo 15 metri. Dalle cassette catalogatrici sono stati prelevati n° 15 campioni cilindrici (carote) rimaneggiati per la determinazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche della roccia calcarea interessata dallo scavo del canale su cui si andranno ad attestare le fondazioni delle opere civile previste in progetto.

Il materiale estratto è stato esaminato dal geologo incaricato il quale ha fornito, attraverso le schede da egli allegate (Elaborato D3), le litologie attraversate durante il sondaggio, la loro descrizione e lo spessore delle formazioni, evidenziando il grado di fratturazione e di alterazione della roccia, e misurando il valore dell'R.Q.D.

**La finalità di questo studio è quella di fornire i parametri meccanici per il calcolo della capacità portante dell'ammasso roccioso di fondazione e dei probabili cedimenti.**

## SUCCESSIONE STRATIGRAFICA DEL SITO E CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA

Al fine di ottenere una conoscenza diretta della geologia del sito, nonché la litologia presente al piano di posa delle opere di fondazione si è proceduto all'esecuzione di una campagna di indagini geognostiche sia di tipo diretto, attraverso l'esecuzione di n°5 *sondaggi meccanici a carotaggio continuo*, e sia indirette quali le *prospezioni sismiche a rifrazione di superficie in onde P e onde S*, una *sismica in foro (Down-Hole)*, e l'esecuzione di n°2 *tomografiche elettriche*.

Dal materiale estratto durante i sondaggi geognostici, si ricostruisce la sequenza stratigrafica delle formazioni litologiche attraversate.

I cinque sondaggi a carotaggio continuo, ubicati nell'elaborato G.7 allegato alla relazione geologica "Planimetria con ubicazione delle indagini", hanno consentito di ricostruire le seguenti stratigrafie:

### SONDAGGIO S1

PROFONDITÀ	DESCRIZIONE LITOLOGICA
0 – 0.15	Banchina stradale in cls
0.15 – 1.00	Terreno vegetale scuro
1.00 – 2.00	Ciottoli con sabbia grigia
2.00 – 3.00	Calcere biancastro fratturato con faccia delle fratture alterate
3.00 – 3.50	Marna grigiastra
3.50 – 4.00	Calcere dolomitico
4.00 – 5.00	Calcere bianco compatto
5.00 – 8.00	Calcere biancastro in banchi
8.00 – 9.00	Calcere bianco in strati regolari
9.00 – 10.00	Calcere fratturato con patine di alterazione e terra rossa

### SONDAGGIO S2



PROFONDITÀ	DESCRIZIONE LITOLOGICA
0 – 0.50	Terreno vegetale
0.50 – 2.50	Calcere molto fratturato
2.50 – 3.00	Calcere biancastro stratificato
3.00 – 10.00	Calcere bianco compatto in grossi banchi

### SONDAGGIO S3

PROFONDITÀ	DESCRIZIONE LITOLOGICA
0 – 0.150	Terreno vegetale scuro misto a ciottoli calcarei
1.50 – 2.50	Calcere compatto
2.50 – 3.00	Calcere biancastro molto fratturato
3.00 – 5.50	Calcere bianco compatto in grossi banchi
5.50 – 6.00	Calcere bianco molto fratturato
6.00 – 7.20	Calcere bianco compatto
7.20 – 14.00	Calcere bianco fratturato
14.00 – 15.00	Calcere bianco compatto in grossi banchi

### SONDAGGIO S4

PROFONDITÀ	DESCRIZIONE LITOLOGICA
0 – 1.00	Terreno torboso scuro
1.00 – 3.00	Calcere molto fratturato con livelli di terra rossa
3.00 – 8.50	Calcere biancastro stratificato con livelli più fratturati
8.50 – 9.00	Calcere bianco molto fratturato
9.00 – 10.00	Calcere bianco compatto

### SONDAGGIO S5

PROFONDITÀ	DESCRIZIONE LITOLOGICA
0 – 1.00	Misto granulare stabilizzato
1.00 – 2.20	Calcare bianco molto fratturato
2.20 – 8.50	Calcare biancastro stratificato con livelli più fratturati
8.50 – 9.00	Calcare bianco molto fratturato
9.00 – 10.00	Calcare bianco compatto

Di seguito si elencano i sondaggi con sigla, quota di riferimento sul livello del mare, profondità, quota di prelievo dei campioni in roccia sottoposti a prove geotecniche di laboratorio:

Sondaggio	Quota (m s.l.m.)	Profondità	Sigla del campione	Profondità prelievo
S1	16	10 m	S1- 4.0	da 4.0 a 4.2 m
			S1- 5.0	da 5.0 a 5.2 m
			S1- 6.5	da 6.5 a 6.7 m
S2	34	10 m	S2- 3.0	da 3.0 a 3.2 m
			S2- 4.0	da 4.0 a 4.2 m
			S2- 4.5	da 4.5 a 4.7 m
S3	45	15 m	S3- 3.5	da 3.5 a 3.6 m
			S3- 3.7	da 3.7 a 3.9 m
			S3- 4.5	da 4.5 a 4.7 m
S4	44	10 m	S4- 4.0	da 4.0 a 4.2 m
			S4- 4.5	da 4.5 a 4.6 m
			S4- 4.6	da 4.6 a 4.8 m
S5	46	10 m	S5- 4.0	da 4.0 a 4.2 m
			S5- 6.4	da 6.5 a 6.7 m
			S5- 8.8	da 8.8 a 9.0 m

Sui 15 campioni di roccia calcarea è stata determinata in laboratorio la resistenza a rottura per compressione uniassiale (E.L.L.) e il peso di volume secco. Di seguito si riporta una tabella ,allegata dal geologo all'elaborato D3 " Indagini geognostiche, geofisiche e prove di laboratorio".

Sondaggio	Ubicazione dei sondaggi geognostici	Sigla dei campioni	Peso di volume secco (Kg/m <sup>3</sup> )	Resistenza a compressione
S1	Attraversamento della S.S. 16	S1- 4.0	2637	1007 Kg/cm <sup>2</sup>
		S1- 5.0	2609	1213 Kg/cm <sup>2</sup>
		S1- 6.5	2585	1215 Kg/cm <sup>2</sup>
S2	Attraversamento della S.S.	S2- 3.0	2.638	1104 Kg/cm <sup>2</sup>

	16 bis	S2- 4.0	2.651	<b>1275 Kg/cm<sup>2</sup></b>
		S2- 4.5	2521	<b>974 Kg/cm<sup>2</sup></b>
S3	Attraversamento della S.C. S. Lorenzo (Savanella)	S3- 3.5	2489	<b>1274 Kg/cm<sup>2</sup></b>
		S3- 3.7	2491	<b>1238 Kg/cm<sup>2</sup></b>
		S3- 4.5	2516	<b>1034 Kg/cm<sup>2</sup></b>
S4	A monte della zona ASI nei pressi della LIDLE	S4- 4.0	2569	<b>1244 Kg/cm<sup>2</sup></b>
		S4- 4.5	2633	<b>1101 Kg/cm<sup>2</sup></b>
		S4- 4.6	2538	<b>1100 Kg/cm<sup>2</sup></b>
S5	Attraversamento della vecchia S.P. Molfetta-Corato	S5- 4.0	2597	<b>1068 Kg/cm<sup>2</sup></b>
		S5- 6.4	2646	<b>1156 Kg/cm<sup>2</sup></b>
		S5- 8.8	2560	<b>1189 Kg/cm<sup>2</sup></b>

#### CARATTERI SISMICI DELL'AREA

La nuova classificazione sismica, approvata dalla Regione Puglia con Deliberazione di Giunta del 02/03/2004 e pubblicata sul BURP n. 33/2004, indica che il territorio di Molfetta è stato classificato come “zona 3”, cui corrisponde un’accelerazione orizzontale [ $a_g/g$ ] con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni ( $a_g/g$ ) < 0.15 e un’accelerazione orizzontale di ancoraggio allo spettro di risposta elastico pari ad ( $a_g/g$ ) = 0.15, secondo l’OPCM n. 3274 del 20-03-03.

Perciò tutti gli interventi devono essere preceduti da indagini per la classificazione sismica, per la definizione del modello geologico e per la modellazione geotecnica, commisurate all’importanza dell’opera, alla sua estensione e agli effetti che può produrre sull’ambiente circostante.

Le “Norme Tecniche per le Costruzioni” hanno stabilito che per ogni intervento va definita l’azione sismica di progetto valutando l’influenza delle condizioni litologiche e morfologiche del sito, mediante la definizione delle categorie di suolo di fondazione.

Tra i parametri di riferimento per la definizione delle categorie di suolo vi è la  $V_{s30}$  corrispondente alla velocità media di propagazione delle onde di taglio nei primi trenta metri di profondità.

I valori della  $V_{s30}$  sono tutti superiori a 800 m/s per cui il sottosuolo di fondazione delle opere in progetto rientra nella Categoria A: Ammassi rocciosi affioranti (formazione litoide) caratterizzati da valori della  $V_{s30}$  maggiori di 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione con spessore massimo di 3 m. (Le indagini sismiche succitate sono riportate nella Relazione Geologica allegata)

I valori della  $V_s$  determinata con le prove sismiche consente di determinare il coefficiente di reazione  $K_s$ , con una semplice relazione riportata in alcune pubblicazioni scientifiche. (Semith Tezcan, Zuhail Ozdemir, Ali Keceli e Aykut Erkal)

L'espressione per il calcolo del coefficiente di sottofondo  $K_s$  è la seguente:

$$K_s = 4 \rho V_s$$

Fissato un valore del peso di volume dell'ammasso, pari a 22 a KN/m<sup>3</sup> e prendendo in considerazione la  $V_s$  dei sismo strati sottostanti la coltre di terreno e di calcarenite avremo i seguenti valori di  $K_s$ :

INDAGINE SISMICA	UBICAZIONE	VALORE DEL COEFFICIENTE $K_s$
B.S.1	Attraversamento S.S. 16	<b>17,5</b>
B.S.2	Attraversamento S.S. 16 bis	<b>15,9</b>
B.S.3	Lungo la S.Vic. Salmo	<b>9,1</b>
B.S.4	Vicino Via Arte Bianca	<b>15,2</b>
B.S.5	Lungo la S.Vic. S. Lorenzo	<b>15,6</b>
B.S.6	Spalle ASI presso la LIDLE	<b>16,3</b>
B.S.7	Lungo la S.Vic. S. Lorenzo	<b>8,7</b>
DOWN-HOLE	Strada parco divertimenti	<b>8,4</b>

## TIPOLOGIA DELLE OPERE DI FONDAZIONE

La fondazione è quella parte di struttura a diretto contatto con il terreno, al quale vincola stabilmente la struttura stessa e trasmette i carichi su di essa agenti. A seconda del valore che assume il rapporto tra la profondità del piano di posa  $D$  e la larghezza della base  $B$ , le fondazioni possono essere suddivise in:

- *Superficiali o dirette* ( $D/B \leq 1$ ): plinti isolati, travi rovesce, platee;
- *Intermedie* ( $D/B > 1$ ): pozzi, cassoni;
- *Profonde* ( $D/B \gg 1$ ): palificate.

Le tipologie strutturali adoperate per la realizzazione degli scatolari sono due:

- Scatolari chiusi prefabbricati;
- Scatolari aperti gettati in opera con travi superiori in cls prefabbricate.

In entrambi i casi, la fondazione è costituita da una soletta in cls, ovvero da una platea. Di seguito vengono riportate le dimensioni delle platee di fondazioni riguardanti le 6 tipologie strutturali, le quali variano a seconda della zona in cui verranno realizzate.

### **SS 16 (SCATOLARI PREFABBRICATI)**

Larghezza: 1160 cm

Lunghezza: 1850 cm

Spessore: 100 cm

Profondità del piano di posa: 663 cm

### **Attraversamento Ferroviario (SCATOLARI PREFABBRICATI)**

Larghezza: 1200 cm

Lunghezza: 1850 cm

Spessore: 100 cm

Profondità del piano di posa: 500 cm

### **SP Molfetta-Corato (SCATOLARI APERTI)**

Larghezza: 760 cm

Lunghezza: 495 cm

Spessore: 100 cm

Profondità del piano di posa: 489 cm

**SC Lama di Macine (SCATOLARI APERTI)**

Larghezza : 1160 cm

Lunghezza: 1010 cm

Spessore: 100 cm

Profondità del piano di posa: 571cm

**SV San Lorenzo (SCATOLARI APERTI)**

Larghezza: 1360 cm

Lunghezza: 400 cm

Spessore: 100 cm

Profondità del piano di posa: 580 cm

**EX SS 16 ( SCATOLARI APERTI)**

Larghezza: 1160 cm

Lunghezza: 1080 cm

Spessore: 100 cm

Profondità del piano di posa: 488 cm

**VERIFICHE DI SICUREZZA**

Le verifiche di sicurezza sono state effettuate con metodi che tengano conto della forma e posizione della superficie di scorrimento, dell'assetto strutturale, dei parametri geotecnici e del regime delle pressioni interstiziali.

Nelle verifiche di sicurezza sono stati presi in considerazione tutti i meccanismi di stato limite ultimo e stato limite della salvaguardia della vita della fondazioni sia a breve sia a lungo termine. **In accordo con l'art. 6.4.2.1 del DM 14.01.2008, sono state effettuate verifiche secondo l'Approccio 2 (A1+M1+R3),** tenendo conto dei valori dei coefficienti parziali riportati nelle Tabelle 6.2.I, 6.2.II e 6.4.I; questo significa

che le combinazioni hanno utilizzato delle azioni amplificate dai fattori A1, le resistenza del terreno sono state calcolate sulla base dei parametri geotecnici caratteristici, essendo gli M1 unitari, mentre per la resistenza di progetto si è utilizzato un fattore parziale R3, più cautelativo dei fattori R utilizzati negli altri approcci.

## CALCOLO DELLA CAPACITÀ PORTANTE DEL SUBSTRATO DI FONDAZIONE

Per la valutazione della capacità portante ultima del sottosuolo di fondazione delle opere in progetto si utilizzano i valori di compressione semplice ottenuti a cui si applica, ai sensi della nuova normativa antisismica, un **coefficiente parziale**  $\gamma_{qu} = 1.6$  (lettera c del § 6.2.3.1.2 del citato DM 14.01.2008).

Questi valori, inseriti nelle relazioni più comunemente utilizzate in geotecnica, come l'algoritmo di MANEV e AVRAMOVA-TACHEVA e l'espressione di DAVIS e BOOKER, consentono di determinare, rispettivamente, la coesione dell'ammasso roccioso e la pressione ultima.

Applicando la relazione di MANEV e AVRAMOVA-TACHEVA si determinano i valori della coesione della roccia alla scala dell'ammasso roccioso, tenendo conto della frequenza per metro lineare di roccia.

La relazione è la seguente:

$$c_{\text{ammasso}} = c_l \times (A \times e^{-b \times (f-2)} + B)$$

in cui:

$c_l$  = coesione di laboratorio

$A = 0.114$

$b = 0.48$

$B = 0.02$

$f$  = frequenza delle fratture per metro lineare di roccia.

La frequenza di fratture si ottiene conteggiando i giunti di strato osservabili nel materiale collocato nelle cassette catalogatrici che danno un valore medio  $f = 15$  nei carotaggi S1 ed S5 ed un valore medio  $f = 12$  nei restanti sondaggi.

La capacità portante dell'ammasso roccioso si calcola applicando l'espressione di DAVIS e BOOKER (1974):

$$q_o = 2 \times c_{\text{ammasso}} \times \text{tg}^2(45^\circ + \varphi/2)$$

dove:

$q_o$  = capacità portante ultima della roccia

$c_{\text{ammasso}}$  = coesione relativa all'ammasso roccioso.

$\varphi$  = angolo di attrito interno del materiale di riempimento delle fessure ( $15^\circ$ )



Sviluppando i calcoli avremo i valori contenuti nella seguente tabella:

Sondaggio	Ubicazione dei sondaggi geognostici	Frequenza fratture per metro lineare	Sigla dei campioni	Coesione dell'ammasso (Kg/cm <sup>2</sup> )	Pressione ultima (Kg/cm <sup>2</sup> )
S1	Attraversamento della S.S. 16	15	S1- 4.0	6.36	21.6 Kg/cm <sup>2</sup>
			S1- 5.0	7.67	26.0 Kg/cm <sup>2</sup>
			S1- 6.5	7.68	26.0 Kg/cm <sup>2</sup>
S2	Attraversamento della S.S. 16 bis	12	S2- 3.0	7.22	24.5 Kg/cm <sup>2</sup>
			S2- 4.0	8.34	28.3 Kg/cm <sup>2</sup>
			S2- 4.5	6.37	21.6 Kg/cm <sup>2</sup>
S3	Attraversamento della S.C. S. Lorenzo (Savanella)	12	S3- 3.5	8.34	28.3 Kg/cm <sup>2</sup>
			S3- 3.7	8.10	27.5 Kg/cm <sup>2</sup>
			S3- 4.5	6.77	22.9 Kg/cm <sup>2</sup>
S4	A monte della zona ASI nei pressi della LIDLE	12	S4- 4.0	8.14	27.6 Kg/cm <sup>2</sup>
			S4- 4.5	7.20	24.4 Kg/cm <sup>2</sup>
			S4- 4.6	7.20	24.4 Kg/cm <sup>2</sup>
S5	Attraversamento della vecchia S.P. Molfetta-Corato	15	S5- 4.0	6.75	22.9 Kg/cm <sup>2</sup>
			S5- 6.4	7.31	24.8 Kg/cm <sup>2</sup>
			S5- 8.8	7.51	25.5 Kg/cm <sup>2</sup>

Di seguito vengo riportate le tensioni agenti relative a ciascuna platea di fondazione con la rispettiva verifica:

#### **SS 16 bis (SCATOLARI PREFABBRICATI)**

Larghezza: 1160 cm

Lunghezza: 1850 cm

Spessore: 100 cm

Profondità del piano di posa: 663 cm

Tensione agente:  $\sigma_d = 6,63 \text{ Kg/cm}^2$

Pressione ultima:  $q_{lim} = 21,6 \text{ Kg/cm}^2$

#### **Attraversamento Ferroviario (SCATOLARI PREFABBRICATI)**

Larghezza: 1200 cm

Lunghezza: 1850 cm

Spessore: 100 cm

Profondità del piano di posa: 500 cm

Tensione agente:  $\sigma_d = 6,04 \text{ Kg/cm}^2$

Pressione ultima:  $q_{lim} = 21,6 \text{ Kg/cm}^2$  ( Si è considerato il valore relativo al sondaggio più vicino, ovvero quello dell'Attraversamento della SS 16 bis)

#### **SP Molfetta-Corato (SCATOLARI APERTI)**

Larghezza: 760 cm

Lunghezza: 495 cm

Spessore: 100 cm

Profondità del piano di posa : 489 cm

Tensione agente:  $\sigma_d = 4,89 \text{ Kg/cm}^2$

Pressione ultima:  $q_{lim} = 25,5 \text{ Kg/cm}^2$

#### **SC Lama di Macine (SCATOLARI APERTI)**

Larghezza : 1160 cm

Lunghezza: 1010 cm

Spessore: 100 cm

Profondità del piano di posa: 571cm

Tensione agente:  $\sigma_d = 0,84 \text{ Kg/cm}^2$

Pressione ultima:  $q_{lim} = 21,6 \text{ Kg/cm}^2$  (Si è considerato il valore relativo al sondaggio più vicino, ovvero quello dell'Attraversamento della SS 16 bis)

#### **SV San Lorenzo (SCATOLARI APERTI)**

Larghezza: 1360 cm

Lunghezza: 400 cm

Spessore: 100 cm

Profondità del piano di posa: 580 cm

Tensione agente:  $\sigma_d = 0,88 \text{ Kg/cm}^2$

Pressione ultima:  $q_{lim} = 22,9 \text{ Kg/cm}^2$

#### **EX SS 16 ( SCATOLARI APERTI)**

Larghezza: 1160 cm

Lunghezza: 1080 cm

Spessore: 100 cm

Profondità del piano di posa: 488 cm

Tensione agente:  $\sigma_d = 0,65 \text{ Kg/cm}^2$

Pressione ultima:  $q_{lim} = 26,0 \text{ Kg/cm}^2$

Confrontando il valore delle tensioni agenti nel punto maggiormente sollecitato della platea con le rispettive capacità portanti, è evidente che le verifiche agli SLU risultano positive. (N.B. L'utilizzo delle tensioni come metodo di confronto non prescinde dall'aver effettuato la verifica agli SLU, in quanto i coefficienti del relativo APPROCCIO NORMATIVO sono stati presi in considerazioni a monte).

#### CALCOLO DEI CEDIMENTI DEL SUBSTRATO DI FONDAZIONE

Nel caso in esame si eseguirà la valutazione dei cedimenti utilizzando le relazioni di Stainbrenner.

In questo caso, poiché i cedimenti si considerano trascurabili oltre una profondità pari a  $3B$ , si andrà a suddividere il terreno in una serie di substrati come illustrato di seguito. È opportuno precisare che per la valutazione dei cedimenti è stato assunto un modello pari alla metà dello scatolare sottoposto al massimo carico di uno dei due setti verticali. La base, quindi, è stata assunta pari a 5,00 m (metà del setto di fondazione nel caso dello scatolare RFI) e la lunghezza pari a 10,00 m.

La relazione di Stainbrenner è la seguente:

$$\Delta\sigma_z = \frac{q}{2\pi} \left[ \arctg \frac{LB}{cz} + \frac{LBz}{c} \left( \frac{1}{m^2} + \frac{1}{n^2} \right) \right]$$

Dove:

$$m^2 = L^2 + z^2$$

$$n^2 = B^2 + z^2$$

$$c = \sqrt{B^2 + L^2 + z^2}$$

Dove  $q$  è il carico netto, ossia il carico che agisce effettivamente al piano di posa della fondazione e che nell'analisi dei cedimenti va calcolato considerando i parametri caratteristici:

$$q_{netta} = q_{es} - \sigma_v|_{z=D} = \frac{N}{BL} + \gamma_{cls} h_{fond} + \gamma_{rinterro} (D - h) - \gamma_w z_w - \sigma_v|_{z=D} = 97,02 \text{ KN/m}^2$$

Il procedimento di valutazione dell'incremento di tensione è iterativo e verrà sviluppato per ogni substrato in cui è stato suddiviso il terreno. Il cedimento finale, quindi, sarà dato dalla somma dei cedimenti parziali di ogni substrato e risulta pari a:

$$W = 1,13 \text{ mm}$$

$$q_{netta} = q_{es} - \sigma_v \Big|_{z=D} = \frac{N}{BL} + \gamma_{cls} h_{fond} + \gamma_{rinterro} (D - h) - \gamma_w z_w - \sigma_v \Big|_{z=D}$$

qnetta -97.02

$$(\Delta\sigma_z) = \sigma_z = \frac{q}{2\pi} \left[ \arctg \frac{LB}{cz} + \frac{LBz}{c} \left( \frac{1}{m^2} + \frac{1}{n^2} \right) \right]$$

$$m^2 = L^2 + z^2; \quad n^2 = B^2 + z^2; \quad c = \sqrt{L^2 + B^2 + z^2}$$

Primo strato

z	B	L	m^2	n^2	c	Δσz	σ'f	E'ed	ε	ε
2.5	5	10	106.25	31.25	11.45644	-23.1985	72.20585	42000	-0.00055	-0.55235

Secondo Strato

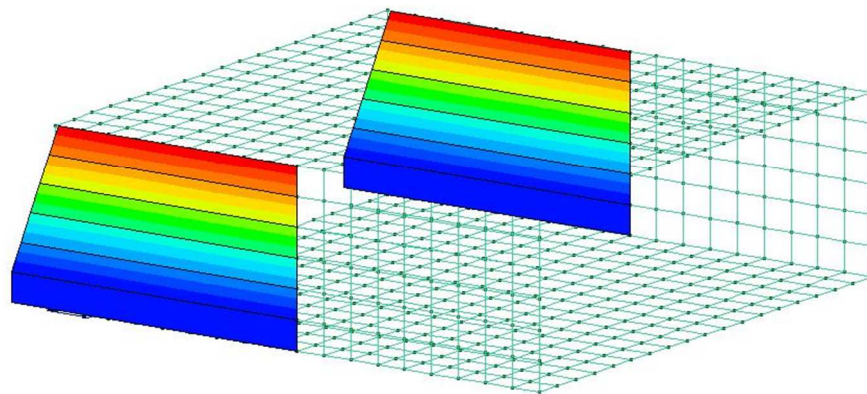
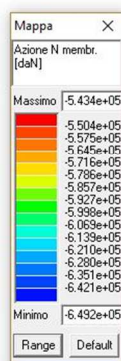
z	B	L	m^2	n^2	c	Δσz	σ'f	E'ed	ε	ε
7.5	5	10	156.25	81.25	13.46291	-15.1454	214.4186	42000	-0.00036	-0.3606

Terzo Strato

z	B	L	m^2	n^2	c	Δσz	σ'f	E'ed	ε	ε
12.5	5	10	256.25	181.25	16.77051	-9.03567	348.8573	42000	-0.00022	-0.21514

Cedimento totale -0.00113 m

Cedimento totale -1.13 mm



Scheda di calcolo dei cedimenti

## VERIFICHE DI SICUREZZA DEL FRONTE SCAVO

In relazione agli scatolari aperti, i quali verranno gettati in opera previo uno scavo, è necessaria la verifica del fronte scavo.

Di seguito vengono riportate le verifiche di sicurezza relative ai 4 scavi in roccia che verranno effettuati propedeutici alla realizzazione in opera degli scatolari in cls.

#### SP Molfetta-Corato (SCATOLARI APERTI)

ROCK STABILITY SOFTWARE (COULOMB and MANEV, AVRAMOVA-TACHEVA)					
INPUT DATI			OUTPUT DATI		
(1)Sigma (kg/cmq)	(2)F (coef sicurezza)	(3)H max progetto	(7)Co (kg/cmq)		
1070	2,5	5	340,8325895		
(4)Phi (gradi)	(5)Gamma (t/mc)		(8)Cm (kg/cmq)	(11)t/mq	
25	2,5		7,021151344	70,21151344	
	(6)beta K1(°)	CALCULATE VALUES		(9)H (m)	
data 45+ phi	45	data 7	84,19713959		
57,5	data 3 (rad)	56,16921075	(10)F di progetto		
1,00356432	0,785398163	data 8	16,83942792		
data2 2 tg....	data 4 (cos beta k)	0,667115427	1) Resistance to Jam		
3,139371154	0,707106781	7) Estimated Cohesion		2) Project Security Number	
data 3	data 5 (sen beta k)	8) Effective Cohesion (kg/cmq)		3) Height Max	
56,16921075	0,707106781	9) Permissible Height		4) Friction Angle	
phi (rad)	data 6 (tg Phi)	10) Security Number		5) Specific Weight	
0,436332313	0,466307658	11) Effective Cohesion (t/mq)		6) Discontinuity Angle	
LEGENDA					
Insert Parameters		Turning out Parameters		Calculation Intermediate Parameters	
Software for the rocks stability calculation					

Dove (1) Sigma rappresenta la resistenza a compressione della roccia, Gamma il peso di volume.

#### SC Lama di Macine (SCATOLARI APERTI)

ROCK STABILITY SOFTWARE (COULOMB and MANEV, AVRAMOVA-TACHEVA)					
INPUT DATI			OUTPUT DATI		
(1)Sigma (kg/cmq)	(2)F (coef sicurezza)	(3)H max progetto	(7)Co (kg/cmq)		
1000	2,5	5,71	318,5351304		
(4)Phi (gradi)	(5)Gamma (t/mc)		(8)Cm (kg/cmq)	(11)t/mq	
25	2,5		6,561823686	65,61823686	
	(6)beta K1(°)	CALCULATE VALUES		(9)H (m)	
data 45+ phi	45	data 7	78,6889155		
57,5	data 3 (rad)	52,49458949	(10)F di progetto		
1,00356432	0,785398163	data 8	13,78089589		
data2 2 tg....	data 4 (cos beta k)	0,667115427	1) Resistance to Jam		
3,139371154	0,707106781	7) Estimated Cohesion		2) Project Security Number	
data 3	data 5 (sen beta k)	8) Effective Cohesion (kg/cmq)		3) Height Max	
52,49458949	0,707106781	9) Permissible Height		4) Friction Angle	
phi (rad)	data 6 (tg Phi)	10) Security Number		5) Specific Weight	
0,436332313	0,466307658	11) Effective Cohesion (t/mq)		6) Discontinuity Angle	
LEGENDA					
Insert Parameters		Turning out Parameters		Calculation Intermediate Parameters	
Software for the rocks stability calculation					

#### SV San Lorenzo (SCATOLARI APERTI)

ROCK STABILITY SOFTWARE (COULOMB and MANEV, AVRAMOVA-TACHEVA)					
INPUT DATI			OUTPUT DATI		
(1)Sigma (kg/cmq)	(2)F (coef sicurezza)	(3)H max progetto	(7)Co (kg/cmq)		
1000	2,5	5,8	318,5351304		
(4)Phi (gradi)	(5)Gamma (t/mc)		(8)Cm (kg/cmq)	(11)t/mq	
25	2,5		6,561823686	65,61823686	
	(6)beta K1(°)	CALCULATE VALUES		(9)H (m)	
data 45+ phi	45	data 7	78,6889155		
57,5	data 3 (rad)	52,49458949	(10)F di progetto		
1,00356432	0,785398163	data 8	13,5670544		
data2 2 tg....	data 4 (cos beta k)	0,667115427	1) Resistance to Jam		
3,139371154	0,707106781	7) Estimated Cohesion		2) Project Security Number	
data 3	data 5 (sen beta k)	8) Effective Cohesion (kg/cmq)		3) Height Max	
52,49458949	0,707106781	9) Permissible Height		4) Friction Angle	
phi (rad)	data 6 (tg Phi)	10) Security Number		5) Specific Weight	
0,436332313	0,466307658	11) Effective Cohesion (t/mq)		6) Discontinuity Angle	
LEGENDA					
Insert Parameters		Turning out Parameters		Calculation Intermediate Parameters	
Software for the rocks stability calculation					

#### EX SS 16 ( SCATOLARI APERTI)

ROCK STABILITY SOFTWARE (COULOMB and MANEV, AVRAMOVA-TACHEVA)					
INPUT DATI			OUTPUT DATI		
(1)Sigma (kg/cmq)	(2)F (coef sicurezza)	(3)H max progetto		(7)Co (kg/cmq)	
1000	2,5	4,9		318,5351304	
(4)Phi (gradi)	(5)Gamma (t/mc)			(8)Cm (kg/cmq)	(11)t/mq
25	2,5			6,561823686	65,61823686
	(6)beta K1(°)	CALCULATE VALUES		(9)H (m)	
data 45+ phi	45	data 7		78,6889155	
57,5	data 3 (rad)	52,49458949		(10)F di progetto	
1,00356432	0,785398163	data 8		16,05896235	
data2 2 tg....	data 4 (cos beta k)	0,667115427		1) Resistance to Jam	
3,139371154	0,707106781	7) Estimated Cohesion		2) Project Security Number	
data 3	data 5 (sen beta k)	8) Effective Cohesion (kg/cmq)		3) Height Max	
52,49458949	0,707106781	9) Permissible Height		4) Friction Angle	
phi (rad)	data 6 (tg Phi)	10) Security Number		5) Specific Weight	
0,436332313	0,466307658	11) Effective Cohesion (t/mq)		6) Discontinuity Angle	
LEGENDA					
Insert Parameters		Turning out Parameters		Calculation Intermediate Parameters	
Software for the rocks stability calculation					

Dai risultati ottenuti si evince che la verifica relativa ai fronti di scavo è positiva.

#### VERIFICHE DI SICUREZZA AL SIFONAMENTO

Il sifonamento è un fenomeno provocato da una risalita verticale di fluido in un suolo che non è in grado di opporsi a tale spinta. Il risultato è quello di una inondazione con rottura degli strati superficiali e/o profondi e danneggiamento o distruzione delle opere costruite. Il fenomeno è legato alla filtrazione che varia il regime delle pressioni rispetto alla spinta idrostatica ed è innescato da una differenza di pressione tra la parte a monte e valle di un'opera di sostegno.

In assenza del regime delle pressioni si è ipotizzato lo scenario più critico di filtrazione in seguito al quale si è desunto il gradiente di efflusso  $i_E$ , confrontandolo con il gradiente critico  $i_c$ , il quale risulta essere una proprietà intrinseca del substrato.

Tale verifica è stata condotta per tre sezioni relative al canale fuori terra .

Dal profilo longitudinale allegato, le sezioni in esame risultano essere:

- Sezione n. 10 (distanza progressiva di 549,05 m)
- Sezione n. 14 (distanza progressiva di 927,53 m)
- Sezione n. 56 (distanza progressiva di 3174,88 m)

#### Sezione n. 10 (Tipologico 3)

In tale sezione il  $\Delta h$  (battente all'interno dell'alveo) è di circa 1,60 m.

Considerando il percorso più critico di filtrazione si ha :

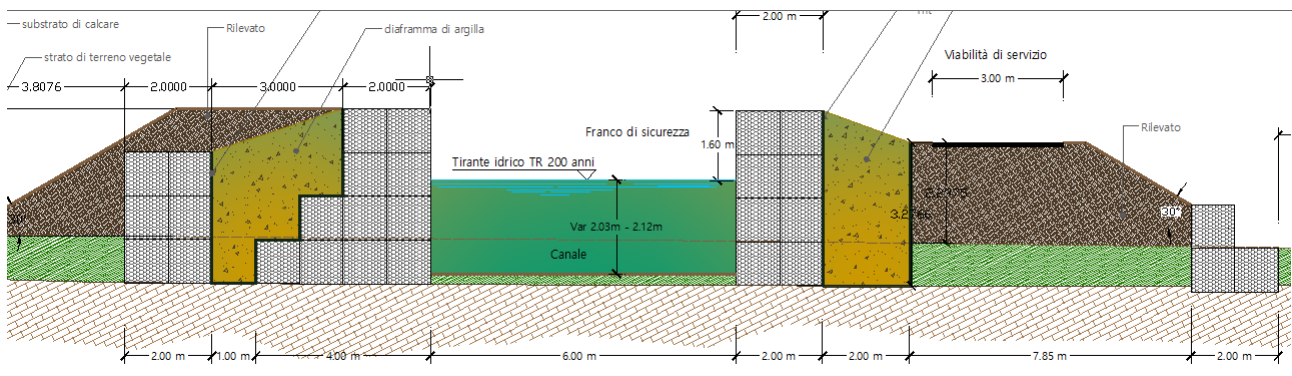
$i_E = \Delta h / L = 1,60 \text{ m} / 13,85 \text{ m} = 0,12$  , dove L rappresenta la distanza dalla base dell'alveo ed il punto più esterno dell'argine.

Il gradiente critico,  $i_c$  , è una proprietà intrinseca del materiale ed è pari a :

$$i_c = \gamma' / \gamma_w = (25 - 10) \text{ KN/m}^3 / 10 \text{ KN/m}^3 = 1,5$$

Risulta dunque :  $i_E < i_c$  , quindi la verifica al sifonamento risulta essere positiva.

(FS>4-5)



Tipologico 3 – Sezione trasversale

#### Sezione n. 14 (Tipologico 6)

In tale sezione il  $\Delta h$  (battente all'interno dell'alveo) è di circa 1,35 m.

Considerando il percorso più critico di filtrazione si ha :

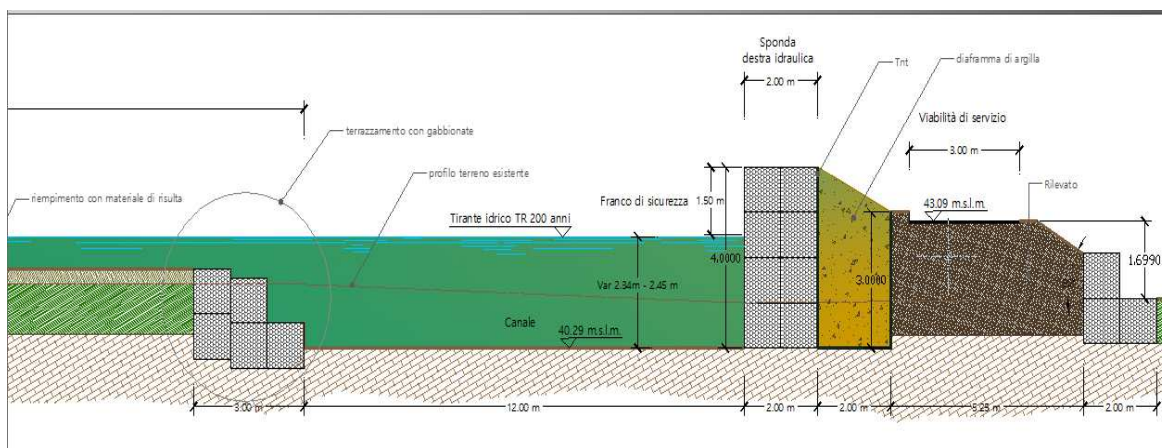
$i_E = \Delta h / L = 1,35 \text{ m} / 11,25 \text{ m} = 0,12$  , dove L rappresenta la distanza dalla base dell'alveo ed il punto più esterno dell'argine.

Il gradiente critico,  $i_c$  , è una proprietà intrinseca del materiale ed è pari a :

$$i_c = \gamma' / \gamma_w = (25 - 10) \text{ KN/m}^3 / 10 \text{ KN/m}^3 = 1,5$$

Risulta dunque :  $i_E < i_c$  , quindi la verifica al sifonamento risulta essere positiva (FS>4-5)





*Tipologico 6 – Stralcio sezione trasversale*

**Sezione n. 56 (Tipologico 14)**

In tale sezione il  $\Delta h$  (battente all'interno dell'alveo) è di circa 2,22 m.

Considerando il percorso più critico di filtrazione si ha :

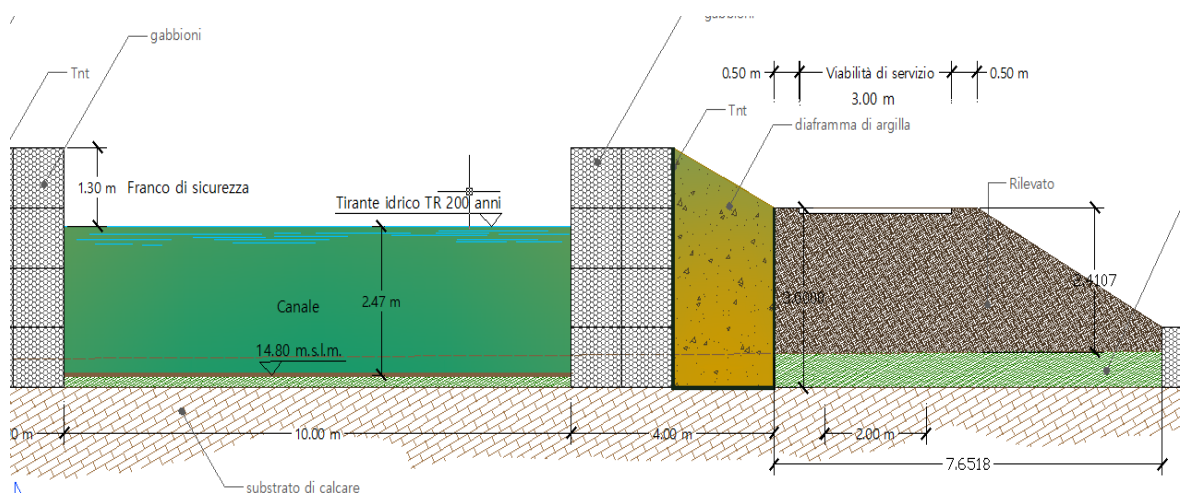
$i_E = \Delta h / L = 2,22 \text{ m} / 11,65 \text{ m} = 0,19$  , dove L rappresenta la distanza dalla base dell'alveo ed il punto più esterno dell'argine.

Il gradiente critico,  $\sigma_c$ , è una proprietà intrinseca del materiale ed è pari a :

$$i_c = \gamma' / \gamma_w = (25 - 10) \text{ kN/m}^3 / 10 \text{ kN/m}^3 = 1,5$$

Risulta dunque :  $i_e < i_c$  , quindi la verifica al sifonamento risulta essere positiva.

(FS>4-5)



*Tipologico 14 – Stralcio sezione trasversale*

Tanto si doveva sulla base dell'incarico ricevuto.

DOTT. ING. MICHELE VITTI