

# PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA



## PROGETTO DEFINITIVO

### EUROLINK S.C.p.A.

IMPREGILO S.p.A. (MANDATARIA)  
SOCIETÀ ITALIANA PER CONDOTTE D'ACQUA S.p.A. (MANDANTE)  
COOPERATIVA MURATORI E CEMENTISTI - C.M.C. DI RAVENNA SOC. COOP. A.R.L. (MANDANTE)  
SACYR S.A.U. (MANDANTE)  
ISHIKAWAJIMA - HARIMA HEAVY INDUSTRIES CO. LTD (MANDANTE)  
A.C.I. S.C.P.A. - CONSORZIO STABILE (MANDANTE)

IL PROGETTISTA  
Studio FC&RR Associati s.r.l.  
Dott. Ing. F. Cavallaro  
Ordine Ingegneri Messina  
n° 1110  
Dott. Ing. E. Pagani  
Ordine Ingegneri Milano  
n° 15408



IL CONTRAENTE GENERALE  
Project Manager  
(Ing. P.P. Marcheselli)

STRETTO DI MESSINA  
Direttore Generale e  
RUP Validazione  
(Ing. G. Fiammenghi)

STRETTO DI MESSINA  
Amministratore Delegato  
(Dott. P. Ciucci)

*Unità Funzionale* COLLEGAMENTI VERSANTE SICILIA  
*Tipo di sistema* CANTIERI  
*Raggruppamento di opere/attività* SITI DI STOCCAGGIO - CAVE  
*Opera - tratto d'opera - parte d'opera* SITI DI RECUPERO AMBIENTALE – SD.68  
*Titolo del documento* SRA3 RELAZIONE GEOTECNICA

CZ0568\_F0

CODICE

C G 2 8 0 0 P R B D S C Z C 4 S D 6 8 0 0 0 0 0 3 F 0

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
F0	20/06/2011	EMISSIONE FINALE	FERRO	FLERES	RUGOLO



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>SRA3 - RELAZIONE GEOTECNICA</b>		<i>Codice documento</i> CZ0568_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## INDICE

Relazione Geotecnica.....	5
1 Normativa di riferimento.....	5
2 Caratteristiche dell'opera .....	7
3 Stato dei luoghi .....	9
4 Inquadramento geologico e geotecnico.....	11
4.1 Caratteristiche geologiche.....	11
4.2 Caratteristiche di acclività e permeabilità .....	11
4.3 Indagini svolte .....	11
4.4 Litotipi e successione stratigrafica.....	12
4.4.1 Terreni in situ.....	12
4.5 Parametri geomeccanici.....	13
5 Caratterizzazione sismica dell'area .....	15
6 Metodi di calcolo .....	17
6.1 Parametri adottati .....	17
6.2 Stabilità d'insieme .....	17
7 Verifiche geotecniche .....	19
7.1 Stabilità d'insieme .....	19



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>SRA3 - RELAZIONE GEOTECNICA</b>		<i>Codice documento</i> CZ0568_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## Relazione Geotecnica

La presente relazione geotecnica definitiva ha per oggetto la caratterizzazione meccanica dei terreni interessati dalla esecuzione dei lavori in oggetto e più specificamente al sito di deposito denominato SRA3.

In particolare, dopo un sintetico riepilogo di tutte le indagini eseguite e dei risultati acquisiti, si procederà alla caratterizzazione geotecnica dei vari strati rinvenuti, alla illustrazione dei diversi metodi di calcolo adottati, alla descrizione della campagna di controlli in corso d'opera.

### 1 Normativa di riferimento

I calcoli e le verifiche sono state effettuate sulla base dei seguenti dispositivi di legge o regolamenti:

- Legge 05.11.1971 n. 1086 “Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica”;
- Legge 02.02.74 n.64 “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”;
- D.M. 14.01.08 “Nuove norme tecniche per le costruzioni”
- Circ. 02.02.09 n. 617 “Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni”
- Eurocodice 2 “Progettazione di strutture in calcestruzzo” EN 2002.



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>SRA3 - RELAZIONE GEOTECNICA</b>		<i>Codice documento</i> CZ0568_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 2 Caratteristiche dell'opera

Il deposito in parola interesserà una grande area in cui verranno realizzati due bacini, uno più grande (nord), ed uno più piccolo (sud), comunque limitrofi tra di loro e separati da un crinale morfologico. Nel complesso l'area è ubicata in zona basso collinare e topograficamente interessa una fascia compresa tra la quota massima di circa 360,00 mt. s.l.m. ed una quota minima di 233,00 mt. per il deposito grande, mentre per il più piccolo la quota minima raggiunta è di 225,00 mt.

Al piede del deposito verrà realizzata un'opera di sostegno costituita da terra rinforzata, dell'altezza di 6,0 m fuori terra; le banche delle rilevato avranno larghezza di 4,0 m mentre le scarpate, con pendenza 2/1, avranno altezza di 6,0 m.

Al fine di regimentare le acque di ruscellamento che interesseranno sia le pendici esistenti che il corpo di depositi si è previsto di eseguire canali di gronda in materassi metallici, a monte e sui lati del corpo deposito, una vasca di raccolta dei canali suddetti e di dissipazione prima del rilascio dell'acqua nel naturale impluvio esistente a valle del sito di deposito, opere minori, canalette e pozzetti, per la raccolta delle acque interessanti il corpo del deposito.

Oltre ai sistemi di raccolta e convogliamento delle acque, al fine di evitare pericolosi fenomeni di dilavamento superficiale, è previsto l'inerbimento delle scarpate e la piantumazione di essenze arbustive autoctone, a rapido attecchimento e con apparato radicale sufficientemente profondo.



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>SRA3 - RELAZIONE GEOTECNICA</b>		<i>Codice documento</i> CZ0568_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### **3 Stato dei luoghi**

La zona interessata dal presente studio è posta nella parte nord-orientale della Sicilia, in prossimità dello stretto di Messina, in località Le Fosse, e qualche chilometro a monte della fraz. Contemplazione, nel territorio comunale di Messina. L'area in questione è riscontrabile nella tavoletta in scala 1:25.000 denominata "MESSINA" corrispondente al Foglio 254 IV S.O. della carta d'Italia edita dall'I.G.M..



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>SRA3 - RELAZIONE GEOTECNICA</b>		<i>Codice documento</i> CZ0568_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## **4 Inquadramento geologico e geotecnico**

### **4.1 Caratteristiche geologiche**

Dalla relazione geologica e idrologica, alla quale si rimanda per maggiori dettagli, si evince come l'area in esame ricada interamente all'interno della formazione denominata Sabbie e Ghiaie di Messina. Affiorano nel sito in studio e sono caratterizzate da una copertura di circa 0,70 mt. – 1,00 mt. di suolo agrario, successivamente si passa a Ghiaia da grossolana a media e sabbie medio grossolane con presenza di matrice sabbiosa, con forma da sub-arrotondata ad arrotondata. In generale questa formazione presenta una immersione verso E-SE con valori di inclinazione di 20-25°. Gli elementi principali hanno una granulometria dell'ordine di 4 – 7 cm, ed all'interno di questa formazione si riscontrano anche elementi di dimensioni decimetrici. La natura di questi elementi è quasi sempre metamorfica.

Sondaggi eseguiti a valle del sito in studio, da EUROLINK S.C.P.A., hanno evidenziato uno spessore di oltre 85 mt. (vedi colonna stratigrafica del sondaggio S450, spinto fino alla profondità massima di 129 mt., e dopo un primo passaggio tra gli 85 mt. ed i 93 mt. per un passaggio di marne grigio intensamente fratturate, si ritorna alle sabbie e ghiaie di messina fino ai 130,80 mt., per poi passare alla sottostante formazione costituita dal "calcari brecciati" di colore bianco rosa. Dunque lo spessore della formazione di messina risulta essere considerevole.

### **4.2 Caratteristiche di acclività e permeabilità**

Ancora con riferimento alla relazione citata al precedente punto, si rileva come nel caso in esame ci si trovi di fronte ad un'area caratterizzata da acclività medio bassa (per lo più inferiore al 10% ed in ridotte zone compresa fra il 10% e il 25%) mentre i terreni interessati hanno caratteristiche di permeabilità medio-alta, stimabile in  $K > 10^{-2}$  m/s.

### **4.3 Indagini svolte**

In questa fase progettuale si fa principalmente riferimento a dati forniti dalla Soc. Eurolink S.C.P.A. in modo da poter definire le caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni, e la categoria del suolo, così come richiesto dal D.M. 14-01-2008. Nel caso in questione il sondaggio a cui ci si riferisce è il seguente:

- Sondaggio n° S450 (perforazione a carotaggio continuo ml. 129,00);

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>SRA3 - RELAZIONE GEOTECNICA</b>		<i>Codice documento</i> CZ0568_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

I risultati ottenuti hanno consentito di definire la successione lito-stratigrafica dell'area a valle, mentre a monte ci si basa su informazioni storiche, che dovranno essere verificate con indagini in situ in fase di progettualità esecutiva.

Sondaggio S450:	profondità dal p.c. - 1,50 mt.	25 – 33 – 35
	profondità dal p.c. - 3,00 mt.	23 – 31 – 36
	profondità dal p.c. - 4,50 mt.	22 – 30 – 37
	profondità dal p.c. - 6,00 mt.	30 – 33 – 40
	profondità dal p.c. - 7,50 mt.	29 – 34 – 39
	profondità dal p.c. - 9,00 mt.	30 – 37 – 40

Tabella 4.1: Sondaggio S450.

#### 4.4 Litotipi e successione stratigrafica

Si riporta di seguito una breve descrizione dei litotipi rinvenuti e una ricostruzione della successione stratigrafica; si rimanda alla citata relazione geologica per informazioni di dettaglio.

##### 4.4.1 Terreni in situ

I terreni affioranti nel sito in studio sono costituiti da sabbie e ghiaie grossolane con matrice sabbioso-limosa, appartenenti alla formazione delle sabbie e ghiaie di Messina. Lo spessore di questa formazione è superiore agli 80,00 mt., e comunque in quest'area presentano spessori di gran lunga superiori. Vista la litologia questi sono caratterizzati da una permeabilità medio-alta e del tipo primario per "porosità", per cui in questa formazione vi è un naturale drenaggio delle acque, e solo in coincidenza di eventi piovosi particolarmente intensi si può verificare uno scorrimento superficiale delle acque la dove la pendenza delle superfici presenti all'interno del bacino è particolarmente acclive, generando dei fenomeni erosivi localizzati. Terreni del deposito Materiali provenienti da scavi all'aperto e in sotterraneo – Saranno costituiti da materiali appartenenti alle formazioni sopra descritte; quelli provenienti dallo scavo in sotterraneo potranno presentare al loro interno ridotte frazioni di cemento (inferiore al 5%) derivante dai preconsolidamenti eseguiti in avanzamento.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>SRA3 - RELAZIONE GEOTECNICA</b>		<i>Codice documento</i> CZ0568_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

#### 4.5 Parametri geomeccanici

Ancora con riferimento a quanto riportato nella relazione geologica si adotta.

Terreno in situ:

$\gamma = 18,0 / 20,0 \text{ kN/m}^3$ ;

$c' = 0,0 \text{ MPa}$ ;

$\varphi' = 32 / 36^\circ$

Terreno del deposito (costipato):

$\gamma = 17,0 / 19,0 \text{ kN/m}^3$ ;

$c' = 0,0 \text{ MPa}$ ;

$\varphi' = 30 / 32^\circ$ .



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>SRA3 - RELAZIONE GEOTECNICA</b>		<i>Codice documento</i> CZ0568_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 5 Caratterizzazione sismica dell'area

Ai fini della caratterizzazione sismica l'azione viene valutata in riferimento ad una probabilità di superamento inferiore al 10%, corrispondente alla condizione di SLV.

La struttura in oggetto ricade in classe II, con coefficiente di uso ( $C_u$ ) pari a 1.0, e la vita utile associata, per opera non strategica, viene posta pari a 50 anni.

Il terreno di riferimento per la caratterizzazione sismica, nel caso di opera di sostegno di terrapieno, viene valutato in base alla tipologia di terreno naturale alla base del terrapieno. Nel caso specifico si fa riferimento a terreno di tipo **C**. Per quanto riguarda la cat. topografica è opportuno considerare la **categ. "T2"**.

In accordo con il DM 14.01.08 il coefficiente sismico  $k_h$  è definito dalla correlazione siffatte (pt. 7.11.3.5):

$$k_h = \beta_m a_{max}/g = \beta_m (S_s S_t a_g)/g; k_v = \pm 0.5 k_h$$

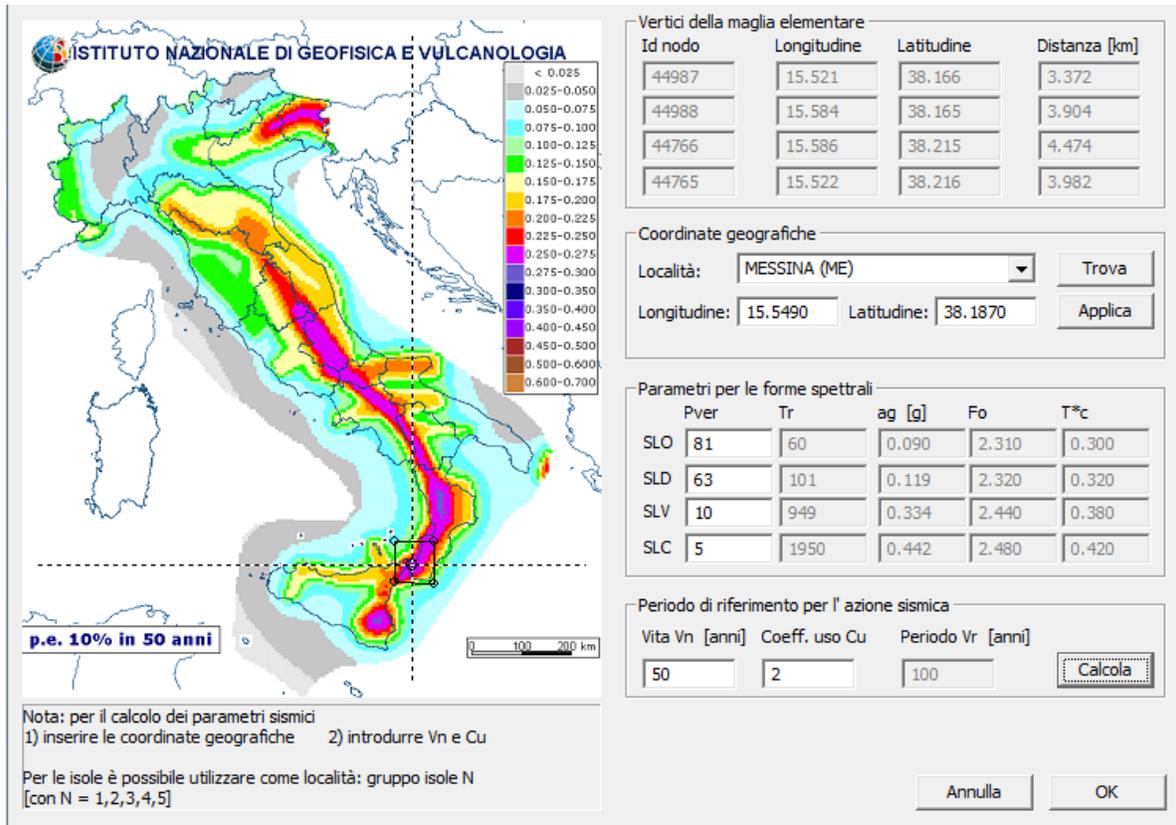


Figura 5.1: Valutazione della pericolosità sismica

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>SRA3 - RELAZIONE GEOTECNICA</b>		<i>Codice documento</i> CZ0568_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 6 Metodi di calcolo

Di seguito vengono illustrati i metodi di calcolo utilizzati per le verifiche geotecniche riportate nei paragrafi seguenti; preliminarmente si riportano i valori dei principali parametri caratteristici adottati.

### 6.1 Parametri adottati

Per le successive calcolazioni geotecniche si assume:

Terreno in situ:

$$\gamma = 19,0 \text{ kN/m}^3;$$

$$c' = 0,0 \text{ MPa};$$

$$\varphi' = 34^\circ$$

Terreno del deposito (costipato):

$$\gamma = 18,0 \text{ kN/m}^3;$$

$$c' = 0,0 \text{ MPa};$$

$$\varphi' = 31^\circ.$$

### 6.2 Stabilità d'insieme

Con riferimento alle indicazioni fornite nei paragrafi precedenti si effettua la verifica di stabilità globale del pendio (comprensivo del fronte in terra rinforzata), procedendo in accordo con il metodo di Bishop.

La verifica alla stabilità globale del complesso muro+terreno deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a  $\eta_g$ .

Viene usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare. La superficie di scorrimento viene supposta circolare e determinata in modo tale da non avere intersezione con il profilo del muro. Si determina il minimo coefficiente di sicurezza su una maglia di centri di dimensioni 10x10 posta in prossimità della sommità del muro.

Il coefficiente di sicurezza nel metodo di Bishop si esprime secondo la seguente formula:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>SRA3 - RELAZIONE GEOTECNICA</b>		<i>Codice documento</i> CZ0568_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$$\eta = \frac{\sum_i \left( \frac{c_i b_i + (W_i - u_i b_i) \operatorname{tg} \phi_i}{m} \right)}{\sum_i W_i \sin \alpha_i}$$

dove il termine  $m$  è espresso da

$$m = \left( 1 + \frac{\operatorname{tg} \phi_i \operatorname{tg} \alpha_i}{\eta} \right) \cos \alpha_i$$

In questa espressione  $n$  è il numero delle strisce considerate,  $b_i$  e  $\alpha_i$  sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia  $i_{\text{esima}}$  rispetto all'orizzontale,  $W_i$  è il peso della striscia  $i_{\text{esima}}$ ,  $c_i$  e  $\phi_i$  sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia ed  $u_i$  è la pressione neutra lungo la base della striscia.

L'espressione del coefficiente di sicurezza di Bishop contiene al secondo membro il termine  $m$  che è funzione di  $\eta$ . Quindi essa viene risolta per successive approssimazioni assumendo un valore iniziale per  $\eta$  da inserire nell'espressione di  $m$  ed iterare fin quando il valore calcolato coincide con il valore assunto.

Data la presenza di un elemento di sostegno posto al piede del pendio, identificato con l'opera in terra rinforzata, il cerchio di scorrimento globale verrà condizionato a passare lungo lo spigolo posteriore (a contatto con il terrapieno) della fondazione del muro in terra rinforzata.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
SRA3 - RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CZ0568_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

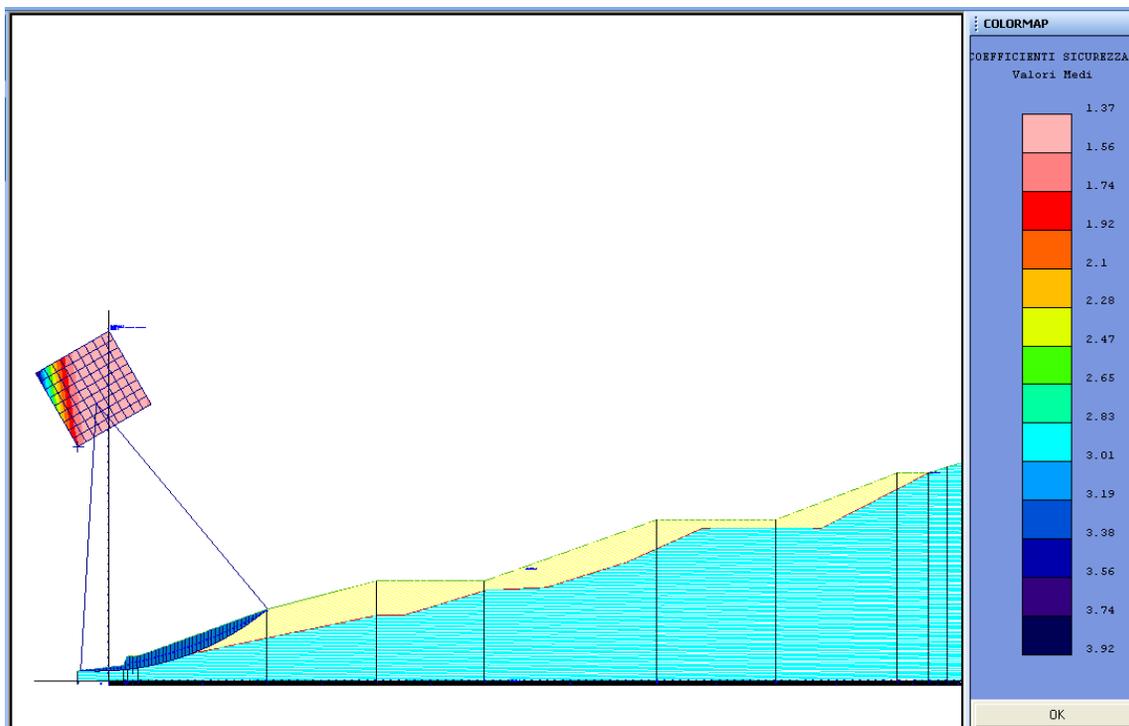
## 7 Verifiche geotecniche

### 7.1 Stabilità d'insieme

Si riportano i diagrammi di verifica della stabilità globale del sistema modellato come in figura, evidenziando il cerchio critico caratterizzato dal minor coefficiente di sicurezza.

In accordo con le indicazioni del DM.14.01.08 la verifica di sicurezza in condizioni sismiche viene effettuata riducendo i parametri geomeccanici con i coefficienti M2 ed utilizzando valori unitari per la combinazione delle azioni sollecitanti (rif 7.11.1 DM 14.01.08); la verifica viene garantita dal mantenimento di valori sollecitanti puramente inferiori ai valori resistenti, e pertanto con coefficienti di sicurezza pari all'unità (rif 7.11.4 DM 14.01.08).

Data la presenza di due depositi indipendenti si presenta nel seguito la verifica di stabilità di entrambi, rispettivamente individuati con le lettere A e B, in condizioni statiche e sismiche.



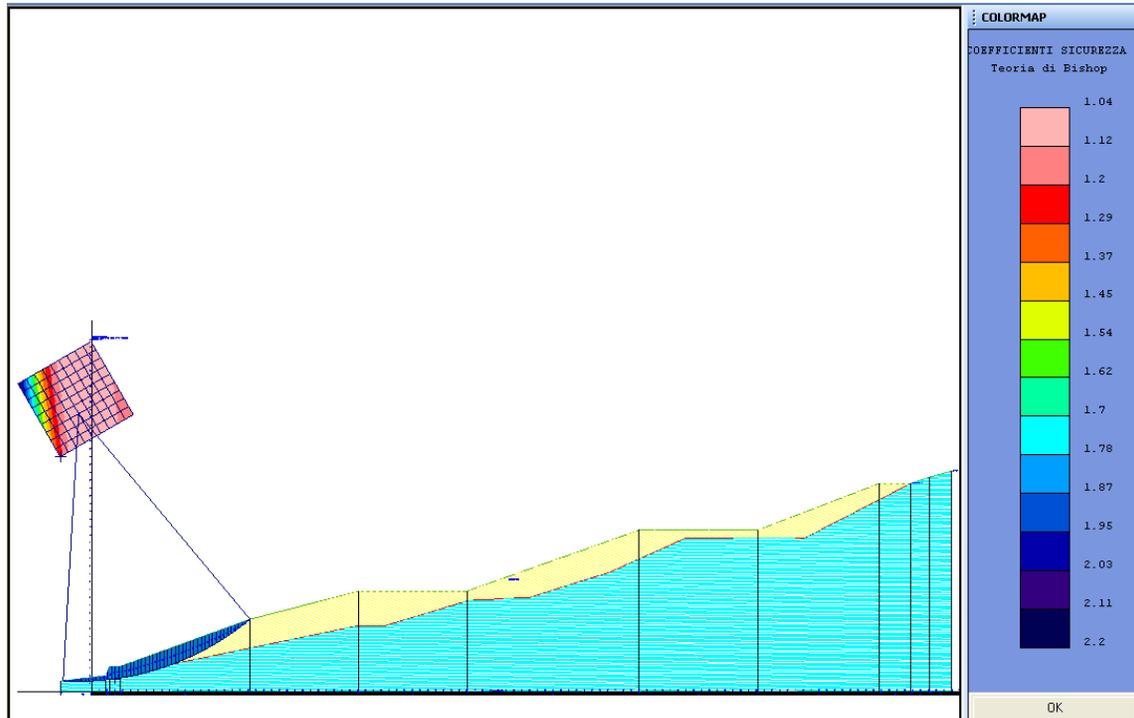
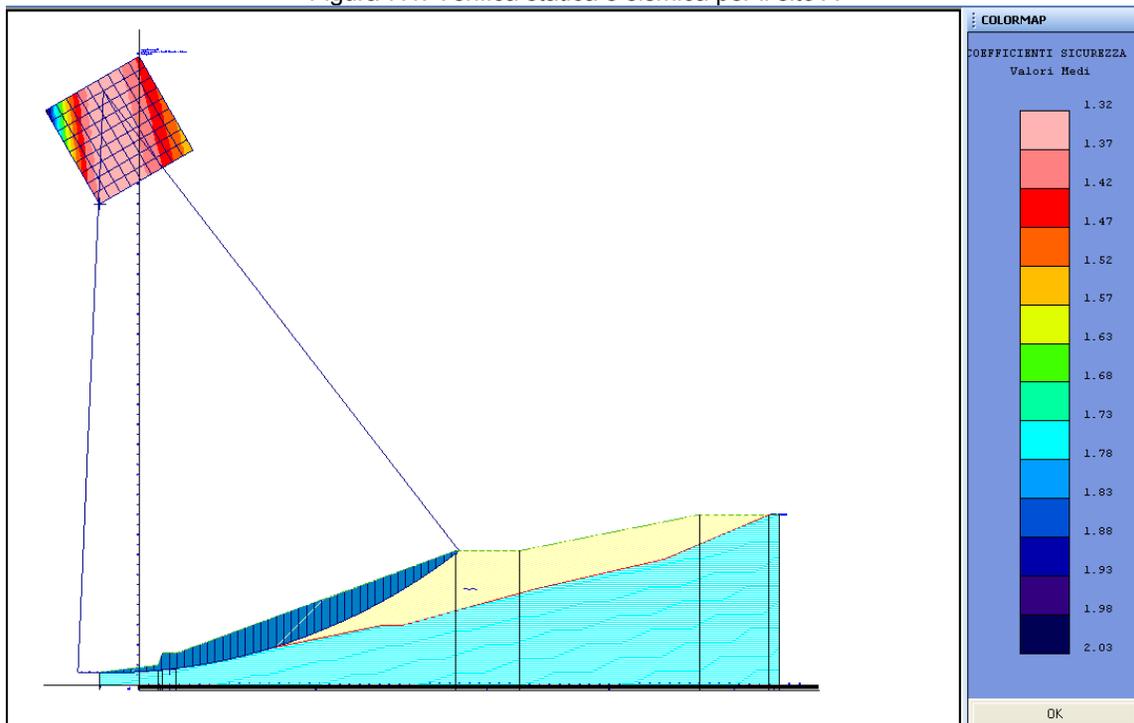


Figura 7.1: Verifica statica e sismica per il sito A



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>SRA3 - RELAZIONE GEOTECNICA</b>		<i>Codice documento</i> CZ0568_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

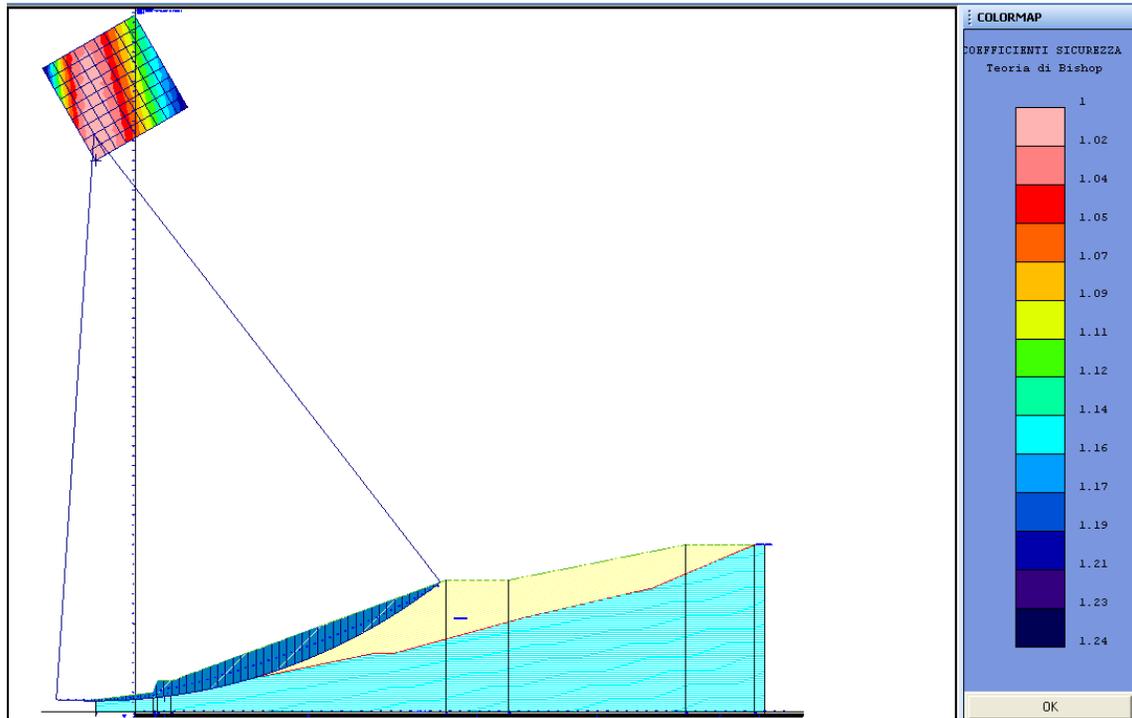


Figura 7.3: Verifica statica e sismica per il sito B