

PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA



PROGETTO DEFINITIVO ALTERNATIVE AI SITI DI DEPOSITO

(Richieste CTVA del 22/12/2011 Prot. CTVA/2011/4534 e del 16/03/2012 Prot. CTVA/2012/1012)

EUROLINK S.C.p.A.

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

IL PROGETTISTA
ATI PRO-GLOBAL
Ing. B. Polifroni n° A1845
Arch. S. Fedele n° 274



Ing. E. Pagani
Ordine Ing. Milano n° 15408

IL CONTRAENTE GENERALE
PROJECT MANAGER
(Ing. P.P. Marcheselli)

STRETTO DI MESSINA
Direttore Generale
Ing. G. Fiammenghi

STRETTO DI MESSINA
Amministratore Delegato
Dott. P. Ciucci

Firmato digitalmente ai sensi dell' "Art.21 del D.Lgs. 82/2005"

CZV0713_F0

<i>Unità Funzionale</i>	COLLEGAMENTI VERSANTE CALABRIA
<i>Tipo di sistema</i>	CANTIERI
<i>Raggruppamento di opere/attività</i>	SITI DI RECUPERO AMBIENTALE E PRODUZIONE INERTI
<i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i>	SITI DI RECUPERO AMBIENTALE
<i>Titolo del documento</i>	CRAS - BIZZOLA - RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICA DI STABILITA'

CODICE



CG1400 P RBV C CZ C4 SD 23 00 00 01 F0

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
F0	08/06/2012	EMISSIONE FINALE	ZANGHI'	G. POLIFRONI	B. POLIFRONI

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRAS - RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICA DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD23000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

INDICE

INDICE	3
1 INTRODUZIONE	5
2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	7
3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOTECNICO	7
4 INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	7
5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	9
5.1 Stato iniziale materiali.....	10
6 PERICOLOSITA' SISMICA	11
7 FASI COSTRUTTIVE.....	15
8 MODELLO DI CALCOLO.....	15
8.1 Metodo agli elementi finiti (metodo SSR).....	15
8.2 Metodo dell'equilibrio limite (LEM)	17
9 PRESCRIZIONI ESECUTIVE	19
10 RISULTATI DI CALCOLO	19
10.1 Sezione 1	20
10.2 Sezione 2.....	22
11 TABULATI DI CALCOLO	25
11.1 Sezione 1	25
11.1.1 Post-Operam- Tabulato input.....	25
11.1.2 Post-Operam- Tabulato output.....	32
11.2 Sezione 2	37
11.2.1 Post-Operam- Tabulato input.....	37
11.2.2 Post-Operam- Tabulato output.....	45

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRAS - RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICA DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD23000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

1 INTRODUZIONE

Nella presente relazione si esaminano, dal punto di vista geotecnico, le problematiche relative alla progettazione del deposito denominato "CRAS" sito in località Bizzola, Seminara, provincia di Reggio Calabria.

Il corpo del deposito sarà formato da rifiuti inerti tipo fanghi filtro pressati, macerie di demolizioni, VTR e spritz beton frantumato da scavo in galleria, proveniente dalle lavorazioni inerenti la costruzione del Ponte sullo Stretto di Messina.

Nella presente relazione, verranno dettagliatamente descritte le analisi di stabilità del versante in oggetto, effettuate secondo il metodo **Shear Strength Reduction (SSR)**, applicato ad un modello agli elementi finiti a comportamento elasto-plastico.

Inoltre, con riferimento alla sezione critica del deposito, è stata anche eseguita una verifica di controllo, seguendo l'approccio tradizionale all'equilibrio limite (**LEM**), che mostra come i fattori di sicurezza ottenuti siano congruenti fra loro.

Per le analisi di stabilità sono state studiate due sezioni, sez.1 e sez. 2, le cui tracce sono riportate in rosso nella figura seguente.

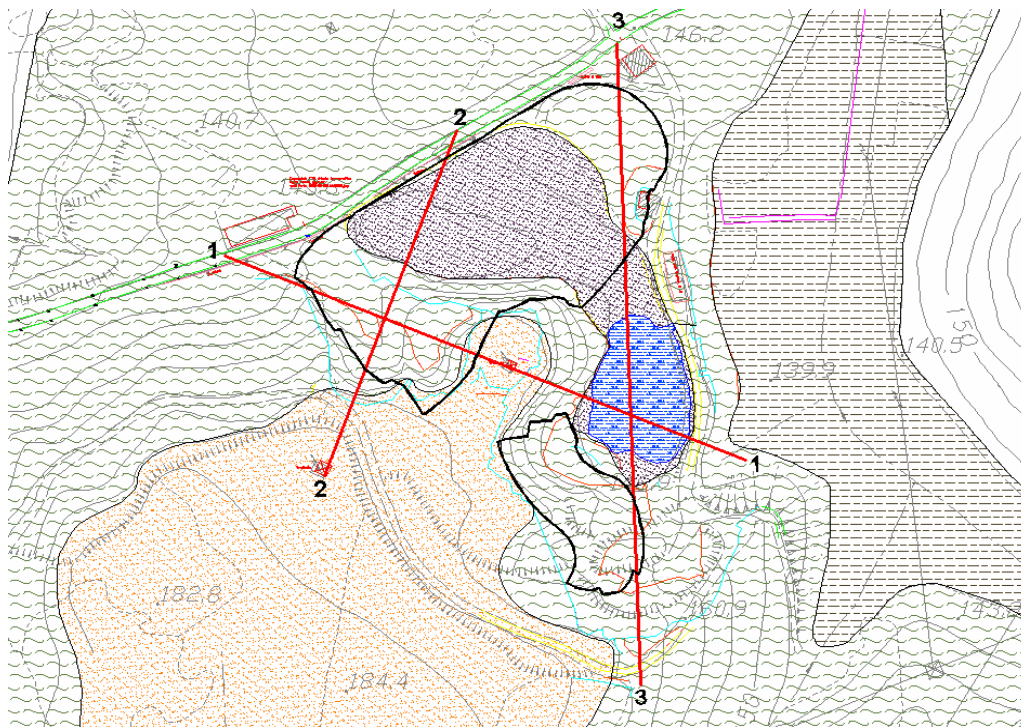




Figura 1.1 : Planimetria del deposito Bizzola con indicazione delle sezioni di calcolo e litologia

Per quanto riguarda gli aspetti litologici, geologici ed idrogeologici dei siti trattati si fa riferimento

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRAS - RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICA DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD23000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

alle specifiche relazioni generali che, relativamente a ciascun ambito, forniscono dettagliatamente le indicazioni su tutta la tratta interessata dai lavori. In particolare, per la parte in oggetto gli elaborati di riferimento sono i seguenti:

Geologia: Relazione Geologica generale e annesse relazioni idrogeologiche



- per la Calabria CG0800PRGDCSBC6G000000001A;

Geotecnica: Relazione Geotecnica generale

- per la Calabria CG0800PRBDCSBC8G000000001A;

Di seguito si riportano le normative utilizzate, i parametri geotecnici adottati, i modelli di calcolo e le verifiche di stabilità dell'opera in esame.

Per ulteriori dettagli si rimanda agli elaborati grafici di progetto a cui il presente documento si affianca.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRAS - RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICA DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD23000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

2 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

- D.M. Infrastrutture 14 Gennaio 2008, pubblicato su S.O. alla G.U. 4 febbraio 2008, n. 29 “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”
- CIRCOLARE 2 Febbraio 2009, n. 617 – Istruzioni per l’applicazione delle ‘Nuove norme tecniche per le costruzioni’ di cui al decreto ministeriale 14 Gennaio 2008 (GU n.47 del 26 Febbraio 2009 – Suppl. Ordinario n.27)
- UNI ENV 1997: “Eurocodice 7. Progettazione geotecnica”

3 **INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOTECNICO**

L’assetto geolitologico dell’area in esame risulta costituito prevalentemente da argille debolmente siltose, appartenenti al Pliocene medio–superiore, e da locali intercalazioni di sabbia limosa e di arenarie. Lo strato affiorante si trova in uno stato di sovraconsolidazione naturale indotto dal sovraccarico esercitato dalla formazione sovrastante, e può essere ritenuto praticamente impermeabile .Le intercalazioni arenacee presenti in profondità sono sede di falde acquifere in pressione ad elevata trasmissività. Durante le operazioni di cava è stata infatti intercettata una di queste intercalazioni che ha determinato la risalita dell’acqua fino alla quota campagna, dando origine al bacino esistente. Il sito presenta scarpate di scavo tendenzialmente instabili e soggette ad arretramento.

4 **INDAGINI GEOGNOSTICHE**

I dati acquisiti in questa fase di studio, integrati anche con le informazioni disponibili da altre indagini, per come specificato nella relazione geologica, hanno consentito di definire, con sufficiente approssimazione il modello geotecnico di progetto. Per quanto riguarda le indagini geofisiche è stato eseguito uno stendimento sismico, le risultanze delle indagini geosismiche MASW ha fornito il valore del $V_{s,30}$, necessario per classificare la categoria di sottosuolo [par.3.2.2, NTC 2008] :

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{v_i}} = 266 \text{ m/s}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRAS - RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICA DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD23000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

Il suolo in esame è, quindi, stato assimilato alla categoria "C" (Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti).

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRAS - RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICA DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD23000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Si riassumono i parametri geotecnici utilizzati nelle analisi:

Coltre argillosa allentata da processi di alterazione

		Caratteristici	Di progetto
Peso di Volume	γ [kN/mc]	18.00	18.00
Peso di Volume saturo	γ_s [kN/mc]	19.00	19.00
Coazione efficace	c' [kPa]	10	8
Angolo di attrito	ϕ [°]	20	16.23
Modulo di Young	E [kPa]	2200	2200
Coefficiente di Poisson	ν	0.35	0.35

Argilla debolmente siltosa sovraconsolidata a consistenza molto dura

		Caratteristici	Di progetto
Peso di Volume	γ [kN/mc]	20.00	20.00
Peso di Volume saturo	γ_s [kN/mc]	21.00	21.00
Coazione efficace	c' [kPa]	30	24
Angolo di attrito	ϕ [°]	25	20.45
Modulo di Young	E [kPa]	12500	12500
Coefficiente di Poisson	ν	0.35	0.35

Sabbia limosa

		Caratteristici	Di progetto
Peso di Volume	γ [kN/mc]	19.00	19.00
Peso di Volume saturo	γ_s [kN/mc]	20.00	20.00
Coazione efficace	c' [kPa]	0	0
Angolo di attrito	ϕ [°]	32	26.56
Modulo di Young	E [kPa]	30000	30000
Coefficiente di Poisson	ν	0.30	0.30

Intercalazione sabbiosa -arenacea

		Caratteristici	Di progetto
Peso di Volume	γ [kN/mc]	19.00	19.00
Peso di Volume saturo	γ_s [kN/mc]	20.00	20.00
Coazione efficace	c' [kPa]	0	0
Angolo di attrito	ϕ [°]	35	29.25
Modulo di Young	E [kPa]	30000	30000
Coefficiente di Poisson	ν	0.30	0.30

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRAS - RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICA DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD23000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

Materiale eterogeneo di riempimento degli scavi derivati dalla passata attività estrattiva

		Caratteristici	Di progetto
Peso di Volume	γ [kN/mc]	18.00	18.00
Peso di Volume saturo	γ_s [kN/mc]	19.00	19.00
Coesione efficace	c' [kPa]	0	0
Angolo di attrito	ϕ [°]	22	17.91
Modulo di Young	E [kPa]	2500	2500
Coefficiente di Poisson	ν	0.35	0.35

Materiale che costituirà il corpo del deposito

		Caratteristici	Di progetto
Peso di Volume	γ [kN/mc]	19.00	19.00
Peso di Volume saturo	γ_s [kN/mc]	20.00	20.00
Coesione efficace	c' [kPa]	0	0
Angolo di attrito	ϕ [°]	32	26.56
Modulo di Young	E [kPa]	30000	30000
Coefficiente di Poisson	ν	0.30	0.30

5.1 Stato iniziale materiali

Le condizioni tensionali presenti in situ prima dello scavo sono state considerate di tipo gravitazionale. Le tensioni verticali iniziali in un dato punto del modello del terreno variano, quindi, linearmente con la profondità. Le componenti orizzontali sono ricavate a partire da quelle verticali, attraverso il coefficiente di spinta a riposo k' .

In particolare, in termini di tensioni efficaci e totali esse risultano:

$$\sigma'_H = k' \sigma'_V$$

$$\sigma_H = k'(\sigma_V - u) + u$$

σ'_H tensione orizzontale efficace;

σ'_V tensione verticale efficace;

k' coefficiente di spinta a riposo pari al rapporto tra la tensione orizzontale e verticale;

σ_H tensione orizzontale totale;

σ_V tensione verticale totale;

u pressione interstiziale;

Nel caso esaminato è stato assunto un valore di k' dato dalla seguente relazione [Jaky, 1944]:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRAS - RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICA DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD23000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

$$k' = 1 - \sin \varphi'$$

In cui φ' è l'angolo di resistenza al taglio.

6 PERICOLOSITA' SISMICA

Per quanto riguarda l'inquadramento sismotettonico e la sismicità, si rimanda allo studio geologico successivamente riportato.

Dalla consultazione del "Catalogo dei Forti Terremoti in Italia, 461 a.C.-1990" [Boschi et al., 1997], l'area di interesse si inserisce all'interno di un territorio caratterizzato da un'elevata sismicità.

I parametri sismici sono funzione di diversi fattori, quali:

- coordinate geografiche del sito in esame (latitudine e longitudine)
- vita nominale
- classe dell'opera
- periodo di riferimento
- coefficiente d'uso
- categoria topografica
- categoria di sottosuolo

La vita nominale, funzione del tipo d'opera che verrà realizzata [tabella 2.4I NTC 2008], è stata assunta pari a 50 anni, la classe dell'opera pari a 2, ed il coefficiente d'uso pari a 1. Conseguentemente il periodo di riferimento dell'azione sismica è pari a 50 anni [par. 2.4.3 NTC 2008].

La categoria topografica, funzione della geometria del versante, corrisponde alla categoria T2 [tab. 3.2.IV, NTC 2008], e quella di sottosuolo dedotta dalle indagini sismiche a rifrazione è pari a C.

Le componenti dell'azione sismica sono state valutate a partire dei coefficienti K_0 e K_v , funzione dei seguenti parametri:

$$K_0 = \beta_s \cdot \left(\frac{a_{\max}}{g} \right) \qquad K_v = \pm 0.5 \cdot K_0$$

dove:

β_s coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRAS - RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICA DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD23000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

- g accelerazione di gravità;
 a_{mac} accelerazione massima attesa sul sito;

Quest'ultimo valore dipende dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio, in particolare:

$$a_{mac} = S_s \cdot S_T \cdot a_g$$

S_s coefficiente di amplificazione stratigrafica, 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 coefficiente di amplificazione topografica;

a_g accelerazione orizzontale massima;

Sono stati, così, dedotti i parametri sismici relativi ai diversi stati limite. Si ricorda che nelle analisi di stabilità svolte si è fatto riferimento allo stato limite di salvaguardia della vita (SLV).

Sito in esame:

latitudine: 38,341061
longitudine: 15,890276
Classe: 2
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 44104	Lat: 38,3596	Lon: 15,8448	Distanza: 4469,170
Sito 2 ID: 44105	Lat: 38,3582	Lon: 15,9084	Distanza: 2471,917
Sito 3 ID: 44327	Lat: 38,3082	Lon: 15,9065	Distanza: 3918,804
Sito 4 ID: 44326	Lat: 38,3096	Lon: 15,8430	Distanza: 5409,916

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C
Categoria topografica: T2
Periodo di riferimento: 50anni
Coefficiente cu: 1

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRAS - RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICA DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD23000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 30 [anni]
ag: 0,068 g
Fo: 2,300
Tc*: 0,278 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 50 [anni]
ag: 0,091 g
Fo: 2,278
Tc*: 0,294 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 475 [anni]
ag: 0,269 g
Fo: 2,423
Tc*: 0,365 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 975 [anni]
ag: 0,362 g
Fo: 2,467
Tc*: 0,390 [s]

Coefficienti Sismici
SLO:

Ss: 1,500
Cc: 1,600
St: 1,200
Kh: 0,022
Kv: 0,011
Amax: 1,199
Beta: 0,180

St: 1,200
Kh: 0,131
Kv: 0,066
Amax: 4,153
Beta: 0,310

SLD:

Ss: 1,500
Cc: 1,570
St: 1,200
Kh: 0,030
Kv: 0,015
Amax: 1,610
Beta: 0,180

SLC:

Ss: 1,160
Cc: 1,430
St: 1,200
Kh: 0,156
Kv: 0,078
Amax: 4,943
Beta: 0,310

SLV:

Ss: 1,310
Cc: 1,460

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRAS - RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICA DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD23000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

7 FASI COSTRUTTIVE

Il riempimento del deposito sarà effettuato in progressive stratificazioni (assunte nelle analisi di spessore pari a circa 3.00 m). Nel modello di calcolo impiegato, è stato ricostruito l'intero processo di realizzazione del deposito, partendo dalla configurazione di terreno vergine, corrispondente alle condizioni tensionali iniziali, antecedenti il progressivo accumulo di materiale, fino alle condizioni finali, in presenza di sisma, e della falda acquifera.

In particolare, gli stages di calcolo previsti sono:

- STAGE 1: Condizioni iniziali
- STAGE da 2 a -n-1: Sovrapposizione degli strati di riempimento del deposito
- STAGE n: Azione del sisma e presenza di falda

8 MODELLO DI CALCOLO

8.1 Metodo agli elementi finiti (metodo SSR)



La risoluzione di un problema di stabilità di un versante richiede la conoscenza delle sue equazioni di governo, ovvero le equazioni di equilibrio e quelle costitutive, che descrivono il comportamento meccanico del terreno.

Tali equazioni risultano particolarmente complesse, visto che il terreno è un sistema multifase, riconducibile ad un sistema monofase solo in condizioni di terreno secco, o di analisi in condizioni drenate.

Inoltre, è praticamente impossibile definire una legge costitutiva di validità generale, vista la non-linearità del terreno anche in corrispondenza di piccole deformazioni, la sua anisotropia e la dipendenza del suo comportamento sia dallo sforzo normale che da quello deviatorico.

A causa di tali difficoltà è necessario introdurre delle ipotesi semplificative, ed in particolare:

- Il comportamento costitutivo del terreno viene assunto rigido perfettamente plastico.
- La resistenza del materiale viene espressa unicamente dalla coesione e dall'angolo di resistenza al taglio, assunti costanti e caratteristici dello stato plastico; si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRAS - RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICA DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD23000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

8.2 Metodo dell'equilibrio limite (LEM)

Il metodo dell'equilibrio limite consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito, in tal caso, dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi (linea retta, arco di cerchio, spirale logaritmica). Dall'equilibrio viene calcolata l'azione instabilizzante Ed e confrontata con la resistenza Rd disponibile per il sistema geotecnico, valutata secondo il criterio di rottura di *Coulomb*. Il confronto delle due quantità fornisce l'indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza $F = Rd/Ed$.

Le analisi sono state condotte con il programma di calcolo *SLIDE* della *Rocscience Inc.*, utilizzando il metodo di *Bishop semplificato* (1955), ed ipotizzando superfici di scorrimento circolari di raggio r , con il materiale coinvolto nella rottura suddiviso in conci di larghezza b (vedi schema riportato in figura 8.2), per ognuno dei quali viene espresso il rapporto fra i momenti stabilizzanti M_s (resistenza Rd del sistema geotecnico) e i momenti ribaltanti M_r (azione Ed) calcolati rispetto al centro del cerchio.

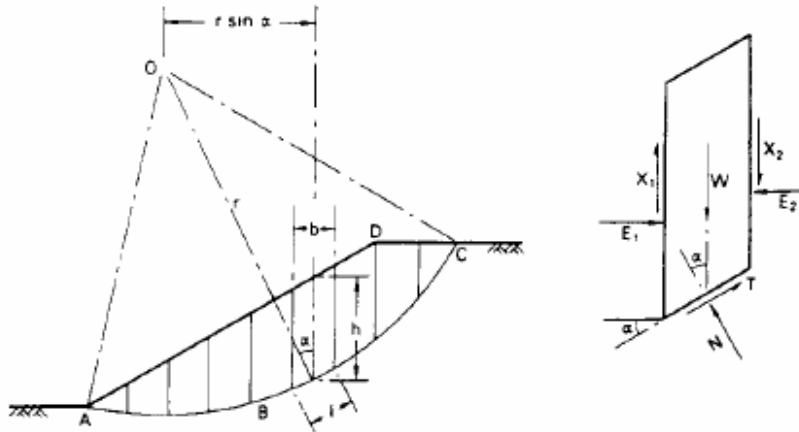


Figura 8.2

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRAS - RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICA DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD23000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRAS - RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICA DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD23000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

9 PRESCRIZIONI ESECUTIVE

Il deposito in esame è formato prevalentemente da materiali classificati come “rifiuti inerti” (fanghi filtro pressati, macerie di demolizioni, VTR e spritz beton frantumato da scavo in galleria).

Prima della costruzione del corpo del deposito, si deve procedere alla rimozione e asportazione del terreno vegetale ove presente, per uno spessore medio pari a 25 cm, in modo che il piano di posa risulti più regolare possibile, privo di avvallamenti e tale da evitare il ristagno delle acque piovane.

I piani di posa sono ottenuti praticando scavi di sbancamento a gradoni laddove il terreno si presenta non orizzontale. La stesa del materiale deve essere eseguita con regolarità per strati di spessore costante pari a 50 cm. A compattazione avvenuta, i materiali impiegati devono presentare un modulo di deformabilità non inferiore a 15 MPa e caratteristiche di resistenza congruenti con le ipotesi di progetto per il corpo del deposito; queste ultime devono essere accertate in modo rigoroso, e garantite anche a lungo termine, nelle condizioni climatiche e idrogeologiche più sfavorevoli.

E' inoltre opportuno sottolineare la necessità di realizzare una sperimentazione in vera grandezza (“**campo prova**”) al fine di definire, sulla scorta dei risultati delle prove preliminari di laboratorio e con l'impiego di mezzi disponibili, gli spessori di stesa ed il numero di passaggi dei compattatori che permettono di raggiungere le prestazioni prescritte (grado di addensamento, portanza e resistenza). La sperimentazione in scala reale deve riguardare ogni campione omogeneo di materiale che si intende utilizzare per la realizzazione del corpo del deposito e deve essere completata prima della esecuzione dello stesso, in modo da essere di riferimento dei movimenti di materia e delle modalità esecutive di lavorazione. L'area predestinata alla prova deve essere perfettamente livellata, compattata, tale da presentare caratteristiche di deformabilità e resistenza analoghe a quelle dei materiali in esame.

10 RISULTATI DI CALCOLO

L'analisi non-lineare FEM, per la valutazione della stabilità del deposito, è stata effettuata in accordo all' approccio 1, combinazione 2 **A2-M2-R2** [NTC 2008, par.6.8.2], secondo la quale i carichi agiscono con il loro valore caratteristico, mentre i parametri meccanici del terreno sono decurtati del 25%. Tale condizione risulta quella più svantaggiosa per la stabilità.

Il valore del coefficiente di sicurezza per le verifiche, secondo tale approccio, è pari a **1.10** [tabella 6.8.].

L'analisi in condizioni sismiche è stata effettuata considerando le componenti orizzontale e

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRAS - RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICA DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD23000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

verticale, con rotazione dei coefficienti moltiplicativi, come individuato nella relazione [7.3.15] delle NTC 2008. Per semplicità, si è riportato la risposta alla combinazione dell'azione sismica più sfavorevole.

Nelle figure seguenti vengono illustrate le configurazioni del pendio relative ai diversi stages, sia per la condizione precedente che successiva alla realizzazione del deposito, con la contemporanea presenza di sisma e falda.

10.1 Sezione 1

SEZIONE 1 -POST-OPERAM

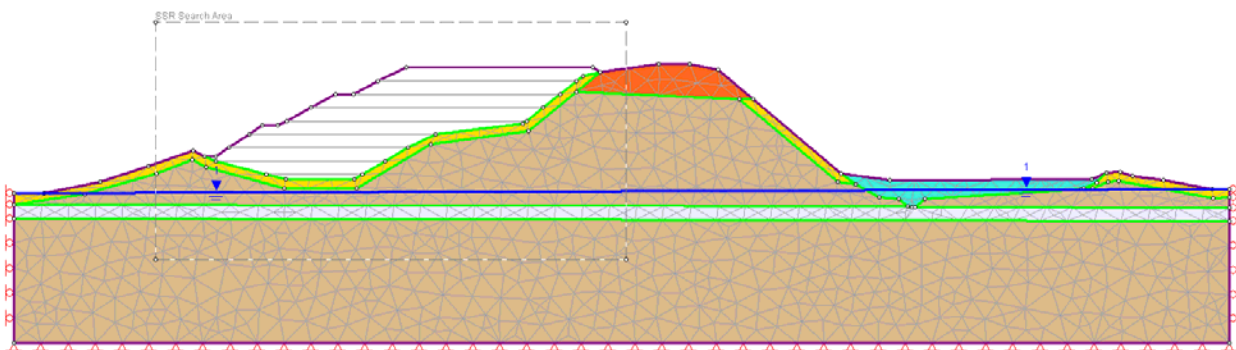


Figura 10.1: Fase iniziale

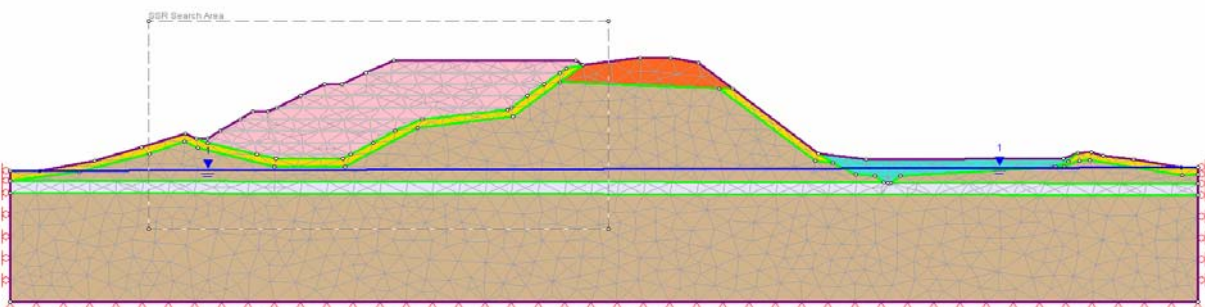




Figura 10.2: Fase di completo riempimento

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRAS - RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICA DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD23000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

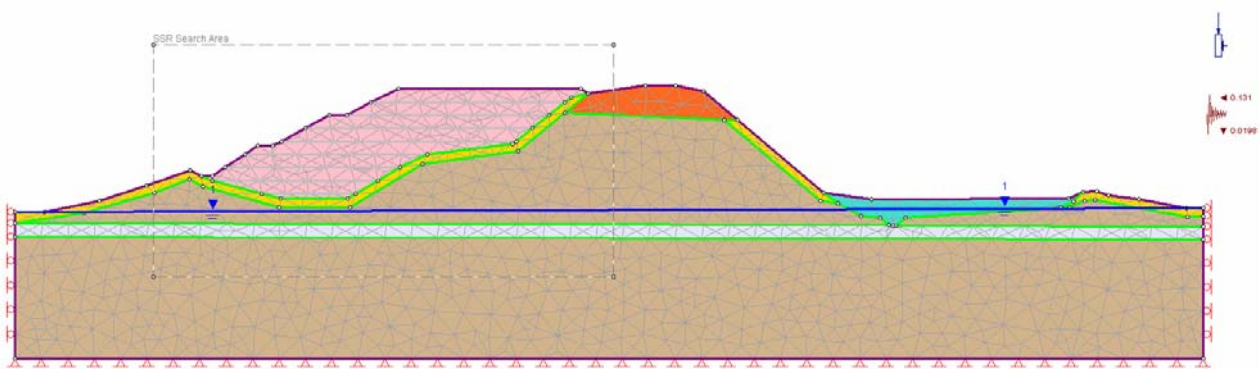


Figura 10.3: Fase finale applicazione del sisma

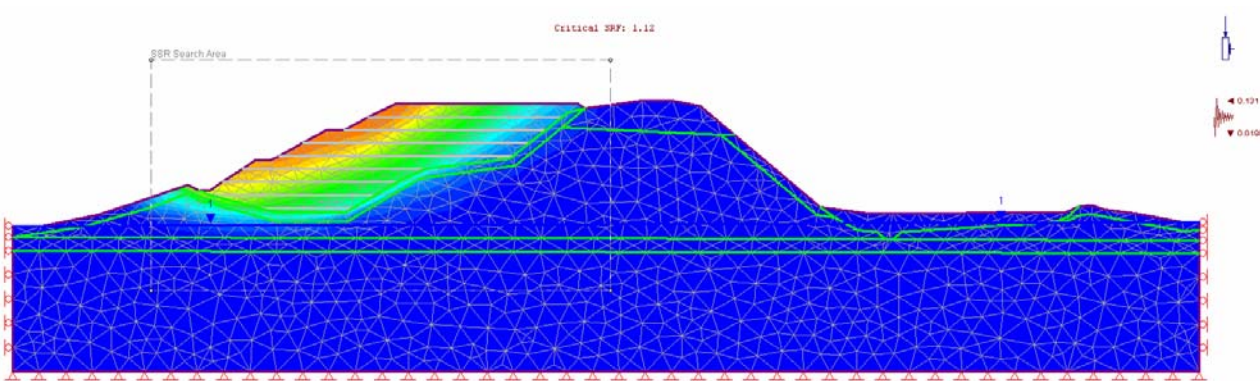


Figura 10.4: Meccanismo di scivolamento - Spostamenti totali - Fase finale sismica- SRF=1.12

L'analisi di stabilità condotta sulla configurazione di completo riempimento del deposito ha fornito un valore del coefficiente di sicurezza pari a **1.12**, superiore al valore normativo.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRAS - RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICA DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD23000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

10.2 Sezione 2

SEZIONE 2- POST-OPERAM

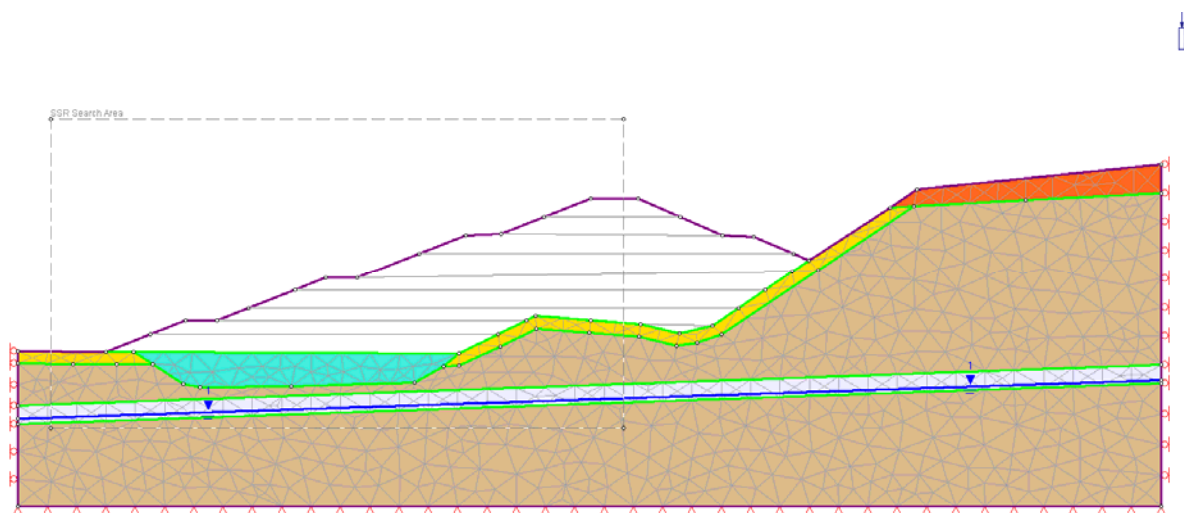


Figura 10.5: Fase iniziale

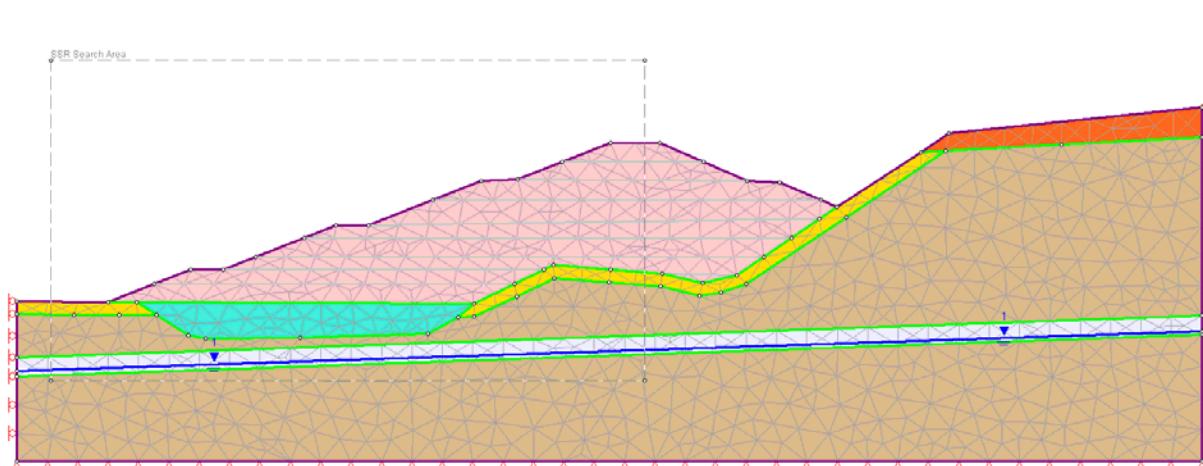


Figura 10.6: Fase completo riempimento

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRAS - RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICA DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD23000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

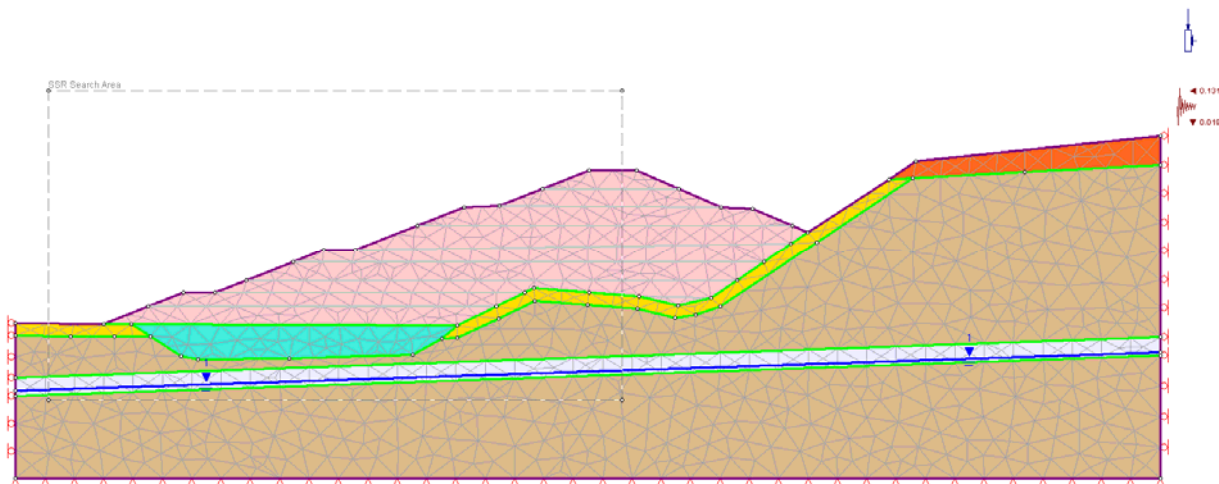


Figura 10.7: Fase finale applicazione sisma e presenza di falda

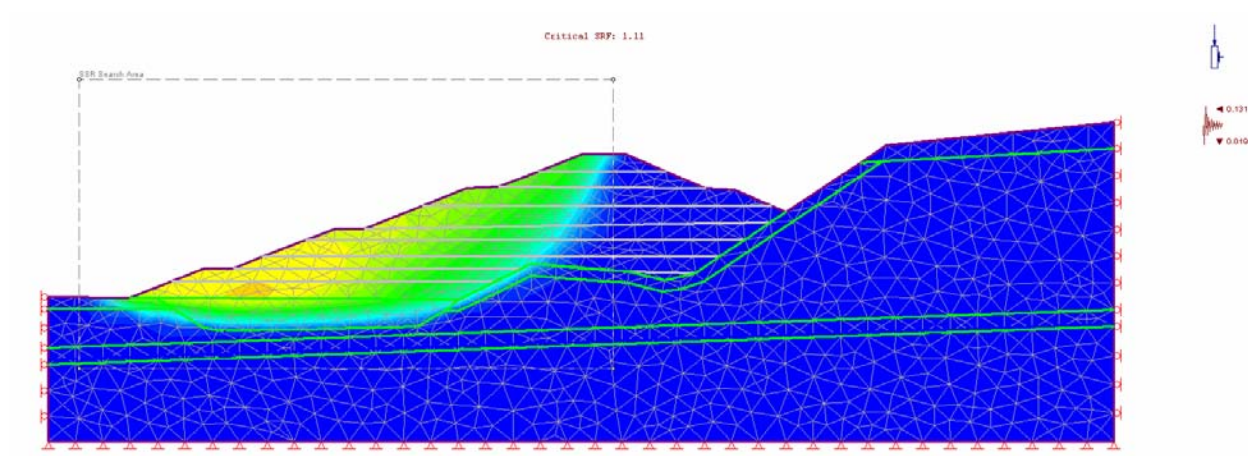




Figura 10.8: Meccanismo di scivolamento - Spostamenti totali - Fase finale sismica- SRF=1.11

Realizzato il deposito il coefficiente di sicurezza è pari a **1.11**, superiore al valore 1.10 stabilito dal codice normativo.

Si riassumono nella tabella seguente i risultati ottenuti per le sezioni studiate.

Configurazione	SFR	
	SEZIONE 1	SEZIONE 2
POST -OPERAM	1.12	1.11

Tabella 10.1

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRAS - RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICA DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD23000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

Come accennato nell'introduzione, la verifica della sezione più critica tra le due esaminate, in tal caso la sezione n.2, è stata anche eseguita secondo l'approccio tradizionale all'equilibrio limite (figura 10.9):

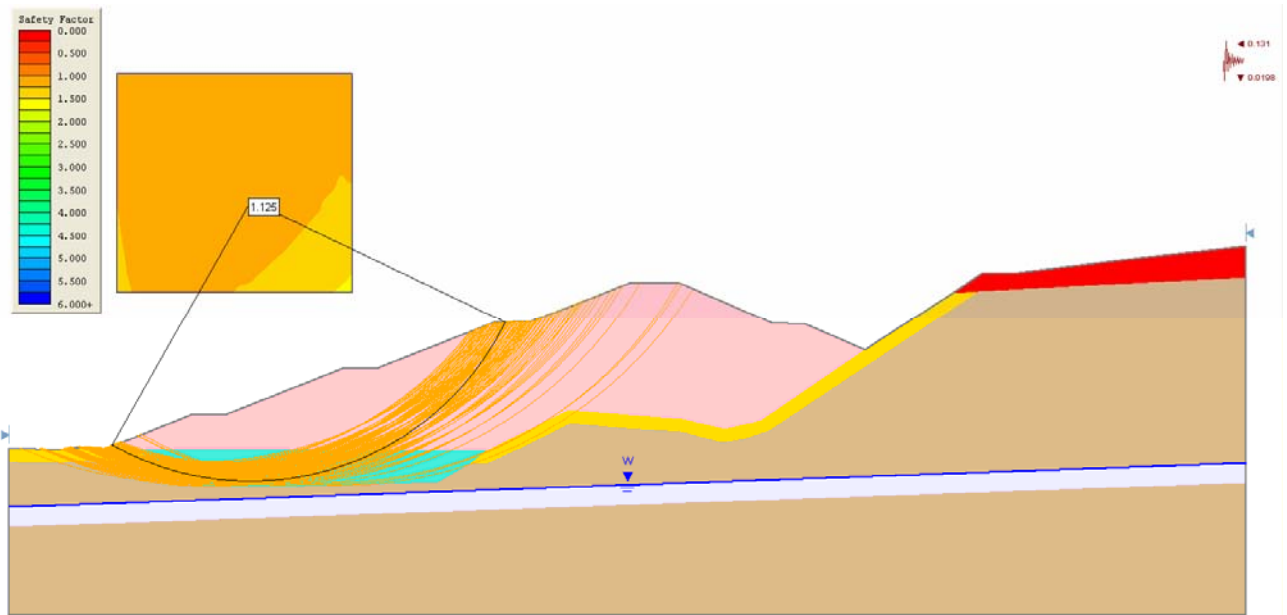


Figura 10.9: Meccanismo di scivolamento – Metodo LEM

Dal confronto fra la figura 10.8 e la figura 10.9 appare evidente come i risultati ottenuti mediante le due analisi siano confrontabili fra di loro. Ciò mostra come il fattore di sicurezza ottenuto con il metodo utilizzato (SSR) sia assolutamente congruente ed in linea con i più tradizionali metodi di verifica della stabilità.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRAS - RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICA DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD23000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

11 TABULATI DI CALCOLO

11.1 Sezione 1

11.1.1 Post-Operam- Tabulato input

Project Settings

General

Project Title: Project1
Number of Stages: 11
Analysis Type: Plane Strain
Solver Type: Gaussian Elimination
Units: Metric, stress as kPa

Stress Analysis

Maximum Number of Iterations: 500
Tolerance: 0.001
Number of Load Steps: Automatic
Convergence Type: Absolute Energy
Tensile Failure: Reduces Shear Strength

Groundwater

Method: Piezometric Lines
Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m³

Strength Reduction

Initial Estimate of SRF: 1
Step Size: Automatic
Tolerance (SRF): 0.01
Limit SSR Search Area: Yes
minx: 1577
maxx: 1683.14
miny: 730.266
maxy: 783.564
Accelerate SSR Analysis: Yes
Convergence Parameters: Automatic

Seismic Loading

Horizontal seismic load coefficient: -0.131 (positive to the right)
Vertical seismic load coefficient: -0.0198 (positive up)
Seismic load applied in: Stage 11

Mesh

Mesh type: uniform
Element type: 3 noded triangles
Number of elements on Stage 1: 1585
Number of nodes on Stage 1: 852
Number of elements on Stage 2: 1592
Number of nodes on Stage 2: 855

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRAS - RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICA DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD23000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

Number of elements on Stage 3: 1616
Number of nodes on Stage 3: 867
Number of elements on Stage 4: 1648
Number of nodes on Stage 4: 883
Number of elements on Stage 5: 1682
Number of nodes on Stage 5: 900
Number of elements on Stage 6: 1712
Number of nodes on Stage 6: 915
Number of elements on Stage 7: 1750
Number of nodes on Stage 7: 934
Number of elements on Stage 8: 1784
Number of nodes on Stage 8: 951
Number of elements on Stage 9: 1812
Number of nodes on Stage 9: 965
Number of elements on Stage 10: 1843
Number of nodes on Stage 10: 980
Number of elements on Stage 11: 1843
Number of nodes on Stage 11: 980

Reset Displacements

Displacements reset after: Stage 1

Material Properties

Material: COLTRE

Initial element loading: field stress & body force

Unit weight: 18 kN/m³

Elastic type: isotropic

Young's modulus: 2200 kPa

Poisson's ratio: 0.35

Failure criterion: Mohr-Coulomb

Tensile strength: 0 kPa

Peak friction angle: 16.23 degrees

Peak cohesion: 8 kPa

Material type: Plastic

Dilation Angle: 0 degrees

Residual Friction Angle: 16.23 degrees

Residual Cohesion: 8 kPa

Piezo to use: 1

Hu Type: Custom

Hu value: 1

Custom Field Stress:

Field stress: gravity

Ground surface elevation: 0 m

Unit weight of overburden: 27 kN/m³

Effective stress ratio (horizontal/vertical in-plane): 0.658

Effective stress ratio (horizontal/vertical out-of-plane): 0.658

Locked-in horizontal stress (in-plane): 0

Locked-in horizontal stress (out-of-plane): 0

Material: LENTE SABBIOSA

Initial element loading: field stress & body force

Unit weight: 19 kN/m³

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRAS - RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICA DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD23000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

Elastic type: isotropic
Young's modulus: 30000 kPa
Poisson's ratio: 0.3
Failure criterion: Mohr-Coulomb
Tensile strength: 0 kPa
Peak friction angle: 29.25 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Material type: Plastic
Dilation Angle: 0 degrees
Residual Friction Angle: 29.25 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa
Piezo to use: 1
Hu Type: Custom
Hu value: 1
Custom Field Stress:
Field stress: gravity
Ground surface elevation: 0 m
Unit weight of overburden: 27 kN/m³
Effective stress ratio (horizontal/vertical in-plane): 0.43
Effective stress ratio (horizontal/vertical out-of-plane): 0.43
Locked-in horizontal stress (in-plane): 0
Locked-in horizontal stress (out-of-plane): 0

Material: ARGILLOSA SILTOSA
Initial element loading: field stress & body force
Unit weight: 20 kN/m³
Elastic type: isotropic
Young's modulus: 12500 kPa
Poisson's ratio: 0.35
Failure criterion: Mohr-Coulomb
Tensile strength: 0 kPa
Peak friction angle: 20.45 degrees
Peak cohesion: 2.4 kPa
Material type: Plastic
Dilation Angle: 0 degrees
Residual Friction Angle: 20.45 degrees
Residual Cohesion: 2.4 kPa
Piezo to use: 1
Hu Type: Custom
Hu value: 1
Custom Field Stress:
Field stress: gravity
Ground surface elevation: 0 m
Unit weight of overburden: 27 kN/m³
Effective stress ratio (horizontal/vertical in-plane): 0.58
Effective stress ratio (horizontal/vertical out-of-plane): 0.58
Locked-in horizontal stress (in-plane): 0
Locked-in horizontal stress (out-of-plane): 0

Material: DEPOSITO
Initial element loading: field stress & body force
Unit weight: 19 kN/m³
Elastic type: isotropic
Young's modulus: 30000 kPa
Poisson's ratio: 0.3

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRAS - RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICA DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD23000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

Failure criterion: Mohr-Coulomb
Tensile strength: 0 kPa
Peak friction angle: 26.56 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Material type: Plastic
Dilation Angle: 0 degrees
Residual Friction Angle: 26.56 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa
Piezo to use: 1
Hu Type: Custom
Hu value: 1
Custom Field Stress:
Field stress: gravity
Ground surface elevation: 0 m
Unit weight of overburden: 27 kN/m³
Effective stress ratio (horizontal/vertical in-plane): 0.48
Effective stress ratio (horizontal/vertical out-of-plane): 0.48
Locked-in horizontal stress (in-plane): 0
Locked-in horizontal stress (out-of-plane): 0

Material: Materiale di riempimento da scavi prec
Initial element loading: field stress & body force
Unit weight: 18 kN/m³
Elastic type: isotropic
Young's modulus: 3000 kPa
Poisson's ratio: 0.35
Failure criterion: Mohr-Coulomb
Tensile strength: 0 kPa
Peak friction angle: 17.91 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Material type: Plastic
Dilation Angle: 0 degrees
Residual Friction Angle: 17.91 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa
Piezo to use: 1
Hu Type: Custom
Hu value: 1
Custom Field Stress:
Field stress: gravity
Ground surface elevation: 0 m
Unit weight of overburden: 27 kN/m³
Effective stress ratio (horizontal/vertical in-plane): 0.626
Effective stress ratio (horizontal/vertical out-of-plane): 0.626
Locked-in horizontal stress (in-plane): 0
Locked-in horizontal stress (out-of-plane): 0

Material: Sabbia limosa
Initial element loading: field stress & body force
Unit weight: 19 kN/m³
Elastic type: isotropic
Young's modulus: 30000 kPa
Poisson's ratio: 0.3
Failure criterion: Mohr-Coulomb
Tensile strength: 0 kPa
Peak friction angle: 26.56 degrees

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRAS - RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICA DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD23000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

Peak cohesion: 0 kPa
Material type: Plastic
Dilation Angle: 0 degrees
Residual Friction Angle: 26.56 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa
Piezo to use: None
Ru value: 0
Custom Field Stress:
Field stress: gravity
Ground surface elevation: 0 m
Unit weight of overburden: 27 kN/m3
Effective stress ratio (horizontal/vertical in-plane): 0.47
Effective stress ratio (horizontal/vertical out-of-plane): 0.47
Locked-in horizontal stress (in-plane): 0
Locked-in horizontal stress (out-of-plane): 0

Areas of Excavated and Filled Elements

Stage 2

Material: DEPOSITO, Area Filled: 21.345 m2

Stage 3

Material: DEPOSITO, Area Filled: 89.304 m2

Stage 4

Material: DEPOSITO, Area Filled: 120.872 m2

Stage 5

Material: DEPOSITO, Area Filled: 123.662 m2

Stage 6

Material: DEPOSITO, Area Filled: 152.465 m2

Stage 7

Material: DEPOSITO, Area Filled: 160.062 m2

Stage 8

Material: DEPOSITO, Area Filled: 154.698 m2

Stage 9

Material: DEPOSITO, Area Filled: 137.208 m2

Stage 10

Material: DEPOSITO, Area Filled: 133.051 m2

Excavation Areas

Original Un-deformed Areas

External Boundary Area: 12922.309 m2
External Boundary Perimeter: 633.209 m

Stage 1

External Boundary Area: 12922.309 m2 (0 m2 change from original area)
External Boundary Perimeter: 633.209 m (0 m change from original perimeter)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRAS - RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICA DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD23000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

Stage 2

External Boundary Area: 12922.313 m² (0.00399599 m² change from original area)
External Boundary Perimeter: 633.232 m (0.0236041 m change from original perimeter)

Stage 3

External Boundary Area: 12922.380 m² (0.0706507 m² change from original area)
External Boundary Perimeter: 633.244 m (0.035549 m change from original perimeter)

Stage 4

External Boundary Area: 12921.775 m² (-0.534199 m² change from original area)
External Boundary Perimeter: 633.303 m (0.0943919 m change from original perimeter)

Stage 5

External Boundary Area: 12921.289 m² (-1.02008 m² change from original area)
External Boundary Perimeter: 633.345 m (0.136594 m change from original perimeter)

Stage 6

External Boundary Area: 12920.515 m² (-1.79407 m² change from original area)
External Boundary Perimeter: 633.386 m (0.177137 m change from original perimeter)

Stage 7

External Boundary Area: 12919.945 m² (-2.36405 m² change from original area)
External Boundary Perimeter: 633.428 m (0.219677 m change from original perimeter)

Stage 8

External Boundary Area: 12918.769 m² (-3.5404 m² change from original area)
External Boundary Perimeter: 633.473 m (0.263834 m change from original perimeter)

Stage 9

External Boundary Area: 12917.792 m² (-4.51723 m² change from original area)
External Boundary Perimeter: 633.509 m (0.300089 m change from original perimeter)

Stage 10

External Boundary Area: 12909.614 m² (-12.6957 m² change from original area)
External Boundary Perimeter: 633.423 m (0.213875 m change from original perimeter)

Stage 11

External Boundary Area: 12901.539 m² (-20.7703 m² change from original area)
External Boundary Perimeter: 633.083 m (-0.125842 m change from original perimeter)

List of All Coordinates

		1804.388	748.143
		1797.431	748.999
<u>External boundary</u>		1794.677	749.868
1545.100	745.071	1791.661	749.718
1545.100	742.508	1788.257	748.261
1545.100	739.442	1742.619	748.185
1545.100	711.527	1731.685	749.605
1819.262	711.527	1711.930	766.196
1819.262	738.842	1703.861	772.940
1819.262	741.844	1697.511	774.137
1819.262	744.214	1690.593	774.229
1819.262	746.027	1677.327	772.300
1815.413	746.027	1675.580	773.398

1633.643 773.398
1627.229 770.398
1621.605 767.398
1617.651 767.398
1612.028 764.398
1606.580 761.398
1604.647 760.398
1601.158 760.398
1598.128 758.398
1593.583 755.398
1590.553 753.398
1588.015 753.398
1585.449 754.722
1575.378 751.131
1564.438 747.666
1551.759 745.208

Stage boundary

1627.229 770.398
1672.027 770.398

Stage boundary

1621.605 767.398
1668.279 767.398

Stage boundary

1612.028 764.398
1664.532 764.398

Stage boundary

1606.580 761.398
1660.784 761.398

Stage boundary

1598.128 758.398
1640.156 758.398

Stage boundary

1593.583 755.398
1633.997 755.398

Stage boundary

1590.572 752.398
1628.871 752.398

Stage boundary

1601.968 749.443
1623.756 749.405

Material boundary

1711.930 766.196
1708.648 766.333
1671.899 767.881

Material boundary

1731.685 749.605
1735.003 747.265
1740.375 744.285
1744.672 743.794
1746.686 742.208
1747.690 742.013
1748.454 742.046
1750.600 743.792
1785.822 745.984
1786.521 746.268
1789.450 747.487
1791.661 749.718

Material boundary

1746.686 742.208
1545.100 742.508

Material boundary

1819.262 741.844
1748.454 742.046

Material boundary

1545.100 739.442
1819.262 738.842

Material boundary

1545.100 742.508
1561.080 744.921
1577.170 749.630
1585.195 752.602
1588.411 750.944
1605.977 746.337
1622.362 746.347
1639.178 756.132
1661.158 759.135
1671.899 767.881
1677.327 772.300

Material boundary

1708.648 766.333
1730.905 747.763
1735.003 747.265

Material boundary

1819.262 744.214
1815.630 743.978
1794.422 747.851
1791.965 747.731
1788.374 746.268
1786.521 746.268

Material boundary

1588.015 753.398
1590.572 752.398
1601.968 749.443

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRAS - RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICA DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD23000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

1606.479	748.273	1677.327	772.300
1621.821	748.273		
1623.756	749.405		
1628.871	752.398		
1633.997	755.398		
1640.156	758.398		
1659.903	760.693		
1660.784	761.398		
1664.532	764.398		
1668.279	767.398		
1672.027	770.398		
1673.413	771.508		
		<u>Piezometric line</u>	
		1545.100	745.071
		1819.262	746.027
		<u>SSR Search Area</u>	
		1577.000	730.266
		1683.140	730.266
		1683.140	783.564
		1577.000	783.564

11.1.2 Post-Operam- Tabulato output

Shear Strength Reduction - Material Properties

Strength Reduction Factor: 1
Maximum Total Displacement: 1.07522 m
Converged: yes
Material: COLTRE
Peak friction angle: 16.23 degrees
Peak cohesion: 8 kPa
Residual Friction Angle: 16.23 degrees
Residual Cohesion: 8 kPa
Material: LENTE SABBIOSA
Peak friction angle: 29.25 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 29.25 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa
Material: ARGILLOSA SILTOSA
Peak friction angle: 20.45 degrees
Peak cohesion: 2.4 kPa
Residual Friction Angle: 20.45 degrees
Residual Cohesion: 2.4 kPa
Material: DEPOSITO
Peak friction angle: 26.56 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 26.56 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa
Material: Materiale di riempimento da scavi prec
Peak friction angle: 17.91 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 17.91 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa
Material: Sabbia limosa
Peak friction angle: 26.56 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 26.56 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRAS - RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICA DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD23000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

Critical Strength Reduction Factor: 1.12

Maximum Total Displacement: 6.56785 m

Converged: yes

Material: COLTRE

Peak friction angle: 14.5692 degrees

Peak cohesion: 7.14286 kPa

Residual Friction Angle: 14.5692 degrees

Residual Cohesion: 7.14286 kPa

Material: LENTE SABBIOSA

Peak friction angle: 26.5662 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 26.5662 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: ARGILLOSA SILTOSA

Peak friction angle: 18.4146 degrees

Peak cohesion: 2.14286 kPa

Residual Friction Angle: 18.4146 degrees

Residual Cohesion: 2.14286 kPa

Material: DEPOSITO

Peak friction angle: 24.0526 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 24.0526 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Materiale di riempimento da scavi prec

Peak friction angle: 16.0959 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 16.0959 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Sabbia limosa

Peak friction angle: 24.0526 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 24.0526 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Strength Reduction Factor: 1.13

Maximum Total Displacement: 7.74598 m

Converged: no

Material: COLTRE

Peak friction angle: 14.4457 degrees

Peak cohesion: 7.07965 kPa

Residual Friction Angle: 14.4457 degrees

Residual Cohesion: 7.07965 kPa

Material: LENTE SABBIOSA

Peak friction angle: 26.363 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 26.363 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: ARGILLOSA SILTOSA

Peak friction angle: 18.2624 degrees

Peak cohesion: 2.12389 kPa

Residual Friction Angle: 18.2624 degrees

Residual Cohesion: 2.12389 kPa

Material: DEPOSITO

Peak friction angle: 23.8637 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRAS - RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICA DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD23000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

Residual Friction Angle: 23.8637 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa
Material: Materiale di riempimento da scavi prec
Peak friction angle: 15.9607 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 15.9607 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa
Material: Sabbia limosa
Peak friction angle: 23.8637 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 23.8637 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa

Strength Reduction Factor: 1.14
Maximum Total Displacement: 8.70718 m
Converged: no
Material: COLTRE
Peak friction angle: 14.3242 degrees
Peak cohesion: 7.01754 kPa
Residual Friction Angle: 14.3242 degrees
Residual Cohesion: 7.01754 kPa
Material: LENTE SABBIOSA
Peak friction angle: 26.1627 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 26.1627 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa
Material: ARGILLOSA SILTOSA
Peak friction angle: 18.1128 degrees
Peak cohesion: 2.10526 kPa
Residual Friction Angle: 18.1128 degrees
Residual Cohesion: 2.10526 kPa
Material: DEPOSITO
Peak friction angle: 23.6774 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 23.6774 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa
Material: Materiale di riempimento da scavi prec
Peak friction angle: 15.8278 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 15.8278 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa
Material: Sabbia limosa
Peak friction angle: 23.6774 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 23.6774 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa

Strength Reduction Factor: 1.18
Maximum Total Displacement: 11.9394 m
Converged: no
Material: COLTRE
Peak friction angle: 13.8576 degrees
Peak cohesion: 6.77966 kPa
Residual Friction Angle: 13.8576 degrees
Residual Cohesion: 6.77966 kPa

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRAS - RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICA DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD23000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

Material: LENTE SABBIOSA

Peak friction angle: 25.389 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 25.389 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: ARGILLOSA SILTOSA

Peak friction angle: 17.537 degrees

Peak cohesion: 2.0339 kPa

Residual Friction Angle: 17.537 degrees

Residual Cohesion: 2.0339 kPa

Material: DEPOSITO

Peak friction angle: 22.9592 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 22.9592 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Materiale di riempimento da scavi prec

Peak friction angle: 15.3168 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 15.3168 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Sabbia limosa

Peak friction angle: 22.9592 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 22.9592 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Strength Reduction Factor: 1.25

Maximum Total Displacement: 15.5272 m

Converged: no

Material: COLTRE

Peak friction angle: 13.1092 degrees

Peak cohesion: 6.4 kPa

Residual Friction Angle: 13.1092 degrees

Residual Cohesion: 6.4 kPa

Material: LENTE SABBIOSA

Peak friction angle: 24.1334 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 24.1334 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: ARGILLOSA SILTOSA

Peak friction angle: 16.6105 degrees

Peak cohesion: 1.92 kPa

Residual Friction Angle: 16.6105 degrees

Residual Cohesion: 1.92 kPa

Material: DEPOSITO

Peak friction angle: 21.7971 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 21.7971 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Materiale di riempimento da scavi prec

Peak friction angle: 14.4962 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 14.4962 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Sabbia limosa

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRAS - RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICA DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD23000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

Peak friction angle: 21.7971 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 21.7971 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa

Strength Reduction Factor: 1.5

Maximum Total Displacement: 38.2774 m
Converged: no

Material: COLTRE

Peak friction angle: 10.9825 degrees
Peak cohesion: 5.33333 kPa
Residual Friction Angle: 10.9825 degrees
Residual Cohesion: 5.33333 kPa

Material: LENTE SABBIOSA

Peak friction angle: 20.4732 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 20.4732 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa

Material: ARGILLOSA SILTOSA

Peak friction angle: 13.9604 degrees
Peak cohesion: 1.6 kPa
Residual Friction Angle: 13.9604 degrees
Residual Cohesion: 1.6 kPa

Material: DEPOSITO

Peak friction angle: 18.4312 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 18.4312 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Materiale di riempimento da scavi prec

Peak friction angle: 12.1588 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 12.1588 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Sabbia limosa

Peak friction angle: 18.4312 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 18.4312 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa

Yielded Elements

Yielded Mesh Elements

Number of yielded mesh elements on Stage 1: 197
Number of yielded mesh elements on Stage 2: 201
Number of yielded mesh elements on Stage 3: 219
Number of yielded mesh elements on Stage 4: 238
Number of yielded mesh elements on Stage 5: 263
Number of yielded mesh elements on Stage 6: 299
Number of yielded mesh elements on Stage 7: 324
Number of yielded mesh elements on Stage 8: 364
Number of yielded mesh elements on Stage 9: 441
Number of yielded mesh elements on Stage 10: 515
Number of yielded mesh elements on Stage 11: 650

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRAS - RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICA DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD23000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

11.2 Sezione 2

11.2.1 Post-Operam- Tabulato input

Project Settings

General

Project Title: Project2

Number of Stages: 11

Analysis Type: Plane Strain

Solver Type: Gaussian Elimination

Units: Metric, stress as kPa

Stress Analysis

Maximum Number of Iterations: 500

Tolerance: 0.001

Number of Load Steps: Automatic

Convergence Type: Absolute Energy

Tensile Failure: Reduces Shear Strength

Groundwater

Method: Piezometric Lines

Pore Fluid Unit Weight: 9.81 kN/m³

Strength Reduction

Initial Estimate of SRF: 1

Step Size: Automatic

Tolerance (SRF): 0.01

Limit SSR Search Area: Yes

minx: 13.9071

maxx: 107.66

miny: 19.2871

maxy: 69.9944

Accelerate SSR Analysis: Yes

Convergence Parameters: Automatic

Seismic Loading

Horizontal seismic load coefficient: -0.131 (positive to the right)

Vertical seismic load coefficient: -0.0198 (positive up)

Seismic load applied in: Stage 11

Mesh

Mesh type: uniform

Element type: 3 noded triangles

Number of elements on Stage 1: 1282

Number of nodes on Stage 1: 693

Number of elements on Stage 2: 1334

Number of nodes on Stage 2: 719

Number of elements on Stage 3: 1371

Number of nodes on Stage 3: 738

Number of elements on Stage 4: 1413

Number of nodes on Stage 4: 758

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRAS - RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICA DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD23000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

Number of elements on Stage 5: 1491
Number of nodes on Stage 5: 797
Number of elements on Stage 6: 1537
Number of nodes on Stage 6: 820
Number of elements on Stage 7: 1600
Number of nodes on Stage 7: 852
Number of elements on Stage 8: 1652
Number of nodes on Stage 8: 879
Number of elements on Stage 9: 1679
Number of nodes on Stage 9: 893
Number of elements on Stage 10: 1696
Number of nodes on Stage 10: 902
Number of elements on Stage 11: 1696
Number of nodes on Stage 11: 902

Reset Displacements

Displacements reset after: Stage 1

Material Properties

Material: COLTRE

Initial element loading: field stress & body force
Unit weight: 18 kN/m³
Elastic type: isotropic
Young's modulus: 2200 kPa
Poisson's ratio: 0.35
Failure criterion: Mohr-Coulomb
Tensile strength: 0 kPa
Peak friction angle: 16.23 degrees
Peak cohesion: 8 kPa
Material type: Plastic
Dilation Angle: 0 degrees
Residual Friction Angle: 16.23 degrees
Residual Cohesion: 8 kPa
Piezo to use: 1
Hu Type: Custom
Hu value: 1
Custom Field Stress:
Field stress: gravity
Ground surface elevation: 0 m
Unit weight of overburden: 27 kN/m³
Effective stress ratio (horizontal/vertical in-plane): 0.658
Effective stress ratio (horizontal/vertical out-of-plane): 0.658
Locked-in horizontal stress (in-plane): 0
Locked-in horizontal stress (out-of-plane): 0

Material: LENTE SABBIOSA

Initial element loading: field stress & body force
Unit weight: 19 kN/m³
Elastic type: isotropic
Young's modulus: 30000 kPa
Poisson's ratio: 0.3
Failure criterion: Mohr-Coulomb

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRAS - RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICA DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD23000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

Tensile strength: 0 kPa
Peak friction angle: 29.25 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Material type: Plastic
Dilation Angle: 0 degrees
Residual Friction Angle: 29.25 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa
Piezo to use: 1
Hu Type: Custom
Hu value: 1
Custom Field Stress:
Field stress: gravity
Ground surface elevation: 0 m
Unit weight of overburden: 27 kN/m³
Effective stress ratio (horizontal/vertical in-plane): 0.43
Effective stress ratio (horizontal/vertical out-of-plane): 0.43
Locked-in horizontal stress (in-plane): 0
Locked-in horizontal stress (out-of-plane): 0

Material: ARGILLOSA SILTOSA
Initial element loading: field stress & body force
Unit weight: 20 kN/m³
Elastic type: isotropic
Young's modulus: 12500 kPa
Poisson's ratio: 0.35
Failure criterion: Mohr-Coulomb
Tensile strength: 0 kPa
Peak friction angle: 20.45 degrees
Peak cohesion: 2.4 kPa
Material type: Plastic
Dilation Angle: 0 degrees
Residual Friction Angle: 20.45 degrees
Residual Cohesion: 2.4 kPa
Piezo to use: 1
Hu Type: Custom
Hu value: 1
Custom Field Stress:
Field stress: gravity
Ground surface elevation: 0 m
Unit weight of overburden: 27 kN/m³
Effective stress ratio (horizontal/vertical in-plane): 0.58
Effective stress ratio (horizontal/vertical out-of-plane): 0.58
Locked-in horizontal stress (in-plane): 0
Locked-in horizontal stress (out-of-plane): 0

Material: DEPOSITO
Initial element loading: field stress & body force
Unit weight: 19 kN/m³
Elastic type: isotropic
Young's modulus: 30000 kPa
Poisson's ratio: 0.3
Failure criterion: Mohr-Coulomb
Tensile strength: 0 kPa
Peak friction angle: 26.56 degrees
Peak cohesion: 0 kPa

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRAS - RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICA DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD23000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

Material type: Plastic
Dilation Angle: 0 degrees
Residual Friction Angle: 26.56 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa
Piezo to use: 1
Hu Type: Custom
Hu value: 1
Custom Field Stress:
Field stress: gravity
Ground surface elevation: 0 m
Unit weight of overburden: 27 kN/m3
Effective stress ratio (horizontal/vertical in-plane): 0.48
Effective stress ratio (horizontal/vertical out-of-plane): 0.48
Locked-in horizontal stress (in-plane): 0
Locked-in horizontal stress (out-of-plane): 0

Material: Materiale di riempimento da scavi prec
Initial element loading: field stress & body force
Unit weight: 18 kN/m3
Elastic type: isotropic
Young's modulus: 3000 kPa
Poisson's ratio: 0.35
Failure criterion: Mohr-Coulomb
Tensile strength: 0 kPa
Peak friction angle: 17.91 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Material type: Plastic
Dilation Angle: 0 degrees
Residual Friction Angle: 17.91 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa
Piezo to use: None
Ru value: 0
Custom Field Stress:
Field stress: gravity
Ground surface elevation: 0 m
Unit weight of overburden: 27 kN/m3
Effective stress ratio (horizontal/vertical in-plane): 0.626
Effective stress ratio (horizontal/vertical out-of-plane): 0.626
Locked-in horizontal stress (in-plane): 0
Locked-in horizontal stress (out-of-plane): 0

Material: Sabbia limosa
Initial element loading: field stress & body force
Unit weight: 19 kN/m3
Elastic type: isotropic
Young's modulus: 30000 kPa
Poisson's ratio: 0.3
Failure criterion: Mohr-Coulomb
Tensile strength: 0 kPa
Peak friction angle: 26.56 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Material type: Plastic
Dilation Angle: 0 degrees
Residual Friction Angle: 26.56 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRAS - RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICA DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD23000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

Piezo to use: None
Ru value: 0
Custom Field Stress:
Field stress: gravity
Ground surface elevation: 0 m
Unit weight of overburden: 27 kN/m³
Effective stress ratio (horizontal/vertical in-plane): 0.47
Effective stress ratio (horizontal/vertical out-of-plane): 0.47
Locked-in horizontal stress (in-plane): 0
Locked-in horizontal stress (out-of-plane): 0

Areas of Excavated and Filled Elements

Stage 2

Material: DEPOSITO, Area Filled: 173.374 m²

Stage 3

Material: DEPOSITO, Area Filled: 135.719 m²

Stage 4

Material: DEPOSITO, Area Filled: 169.938 m²

Stage 5

Material: DEPOSITO, Area Filled: 235.885 m²

Stage 6

Material: DEPOSITO, Area Filled: 186.733 m²

Stage 7

Material: DEPOSITO, Area Filled: 233.117 m²

Stage 8

Material: DEPOSITO, Area Filled: 166.657 m²

Stage 9

Material: DEPOSITO, Area Filled: 83.982 m²

Stage 10

Material: DEPOSITO, Area Filled: 45.016 m²

Excavation Areas

Original Un-deformed Areas

External Boundary Area: 7985.796 m²

External Boundary Perimeter: 466.069 m

Stage 1

External Boundary Area: 7985.796 m² (0 m² change from original area)

External Boundary Perimeter: 466.069 m (0 m change from original perimeter)

Stage 2

External Boundary Area: 7985.370 m² (-0.425627 m² change from original area)

External Boundary Perimeter: 466.080 m (0.0112001 m change from original perimeter)

Stage 3

External Boundary Area: 7984.586 m² (-1.20908 m² change from original area)

External Boundary Perimeter: 466.094 m (0.0251537 m change from original perimeter)

Stage 4

External Boundary Area: 7984.380 m² (-1.41594 m² change from original area)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRAS - RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICA DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD23000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

External Boundary Perimeter: 466.112 m (0.0429012 m change from original perimeter)

Stage 5

External Boundary Area: 7983.897 m² (-1.8987 m² change from original area)

External Boundary Perimeter: 466.138 m (0.0690907 m change from original perimeter)

Stage 6

External Boundary Area: 7983.363 m² (-2.4326 m² change from original area)

External Boundary Perimeter: 466.182 m (0.113466 m change from original perimeter)

Stage 7

External Boundary Area: 7982.188 m² (-3.60748 m² change from original area)

External Boundary Perimeter: 466.268 m (0.199405 m change from original perimeter)

Stage 8

External Boundary Area: 7979.738 m² (-6.0575 m² change from original area)

External Boundary Perimeter: 466.336 m (0.266861 m change from original perimeter)

Stage 9

External Boundary Area: 7977.998 m² (-7.79785 m² change from original area)

External Boundary Perimeter: 466.363 m (0.294065 m change from original perimeter)

Stage 10

External Boundary Area: 7975.775 m² (-10.0208 m² change from original area)

External Boundary Perimeter: 466.313 m (0.244226 m change from original perimeter)

Stage 11

External Boundary Area: 7974.736 m² (-11.06 m² change from original area)

External Boundary Perimeter: 465.789 m (-0.279632 m change from original perimeter)

List of All Coordinates

External boundary

8.543 6.444

195.649 6.444

195.649 26.577

195.649 29.579

195.649 57.778

195.649 62.502

155.668 58.365

151.249 55.398

138.040 46.720

135.450 47.840

129.019 50.621

123.887 50.840

116.948 53.840

110.010 56.840

102.298 56.840

94.650 53.840

87.664 51.100

81.903 50.840

74.254 47.840

64.057 43.840

58.958 43.840

53.859 41.840

46.210 38.840

41.112 36.840

36.013 36.840

30.251 34.580

22.946 31.715

8.543 31.768

8.543 29.767

8.543 22.917

8.543 19.916

Stage boundary

116.948 53.840

94.650 53.840

Stage boundary

123.887 50.840

87.664 51.100

Stage boundary

135.450 47.840

74.254 47.840

Stage boundary

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRAS - RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICA DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD23000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

135.277 44.840
64.057 43.840

Stage boundary

130.868 41.840
53.859 41.840

Stage boundary

126.458 38.840
46.210 38.840

Stage boundary

91.713 36.840
41.112 36.840

Stage boundary

87.120 34.580
30.251 34.580

Stage boundary

122.258 35.983
110.481 36.244

Material boundary

93.222 37.583
110.481 36.244

Material boundary

8.543 29.767
17.472 29.725
24.626 29.690
30.536 29.662

Material boundary

78.149 29.375
80.718 31.430

Material boundary

22.946 31.715
27.460 31.693
80.718 31.430
87.120 34.580
91.713 36.840
93.222 37.583
102.274 36.843
110.481 36.244
116.816 34.657
122.258 35.983
126.458 38.840
130.868 41.840
135.277 44.840
138.040 46.720

Material boundary

27.460 31.693

30.536 29.662

35.592 26.473

38.326 25.904

53.279 26.057

73.496 26.672

78.149 29.375

80.761 29.431

87.523 32.577

93.440 35.515

102.042 34.854

110.162 34.262

116.330 32.717

119.648 33.213

123.781 34.553

139.548 45.130

155.148 55.607

173.449 56.588

195.649 57.778

Material boundary

155.148 55.607

151.249 55.398

Material boundary

195.649 29.579

8.543 22.917

Material boundary

195.649 26.577

8.543 19.916

Piezometric line

8.543 20.752

195.649 27.011

SSR Search Area

13.907 19.287

107.660 19.287

107.660 69.994

13.907 69.994

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRAS - RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICA DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD23000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

11.2.2 Post-Operam- Tabulato output

Shear Strength Reduction - Material Properties

Strength Reduction Factor: 1
Maximum Total Displacement: 0.918972 m
Converged: yes
Material: COLTRE
Peak friction angle: 16.23 degrees
Peak cohesion: 8 kPa
Residual Friction Angle: 16.23 degrees
Residual Cohesion: 8 kPa
Material: LENTE SABBIOSA
Peak friction angle: 29.25 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 29.25 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa
Material: ARGILLOSA SILTOSA
Peak friction angle: 20.45 degrees
Peak cohesion: 2.4 kPa
Residual Friction Angle: 20.45 degrees
Residual Cohesion: 2.4 kPa
Material: DEPOSITO
Peak friction angle: 26.56 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 26.56 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa
Material: Materiale di riempimento da scavi prec
Peak friction angle: 17.91 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 17.91 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa
Material: Sabbia limosa
Peak friction angle: 26.56 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 26.56 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa

Strength Reduction Factor: 1.05
Maximum Total Displacement: 1.52947 m
Converged: yes
Material: COLTRE
Peak friction angle: 15.4951 degrees
Peak cohesion: 7.61905 kPa
Residual Friction Angle: 15.4951 degrees
Residual Cohesion: 7.61905 kPa
Material: LENTE SABBIOSA
Peak friction angle: 28.0736 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 28.0736 degrees

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
CRAS – RELAZIONE GEOLOGICA	<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD23000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: ARGILLOSA SILTOSA

Peak friction angle: 19.5517 degrees

Peak cohesion: 2.28571 kPa

Residual Friction Angle: 19.5517 degrees

Residual Cohesion: 2.28571 kPa

Material: DEPOSITO

Peak friction angle: 25.4584 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 25.4584 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Materiale di riempimento da scavi prec

Peak friction angle: 17.1081 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 17.1081 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Sabbia limosa

Peak friction angle: 25.4584 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 25.4584 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Strength Reduction Factor: 1.08

Maximum Total Displacement: 3.18973 m

Converged: yes

Material: COLTRE

Peak friction angle: 15.0846 degrees

Peak cohesion: 7.40741 kPa

Residual Friction Angle: 15.0846 degrees

Residual Cohesion: 7.40741 kPa

Material: LENTE SABBIOSA

Peak friction angle: 27.4087 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 27.4087 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: ARGILLOSA SILTOSA

Peak friction angle: 19.0482 degrees

Peak cohesion: 2.22222 kPa

Residual Friction Angle: 19.0482 degrees

Residual Cohesion: 2.22222 kPa

Material: DEPOSITO

Peak friction angle: 24.8376 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 24.8376 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Materiale di riempimento da scavi prec

Peak friction angle: 16.6595 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 16.6595 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Sabbia limosa

Peak friction angle: 24.8376 degrees

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
CRAS - RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICA DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD23000001	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: left;">F0</td> <td style="text-align: left;">08/06/2012</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	08/06/2012
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	08/06/2012						

Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 24.8376 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa

Strength Reduction Factor: 1.1

Maximum Total Displacement: 4.89567 m

Converged: yes

Material: COLTRE

Peak friction angle: 14.8225 degrees

Peak cohesion: 7.27273 kPa

Residual Friction Angle: 14.8225 degrees

Residual Cohesion: 7.27273 kPa

Material: LENTE SABBIOSA

Peak friction angle: 26.9813 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 26.9813 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: ARGILLOSA SILTOSA

Peak friction angle: 18.7262 degrees

Peak cohesion: 2.18182 kPa

Residual Friction Angle: 18.7262 degrees

Residual Cohesion: 2.18182 kPa

Material: DEPOSITO

Peak friction angle: 24.4392 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 24.4392 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Materiale di riempimento da scavi prec

Peak friction angle: 16.373 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 16.373 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Sabbia limosa

Peak friction angle: 24.4392 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 24.4392 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Critical Strength Reduction Factor: 1.11

Maximum Total Displacement: 5.84555 m

Converged: yes

Material: COLTRE

Peak friction angle: 14.6948 degrees

Peak cohesion: 7.20721 kPa

Residual Friction Angle: 14.6948 degrees

Residual Cohesion: 7.20721 kPa

Material: LENTE SABBIOSA

Peak friction angle: 26.7723 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 26.7723 degrees

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
CRAS – RELAZIONE GEOLOGICA	<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD23000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

Residual Cohesion: 0 kPa
Material: ARGILLOSA SILTOSA
Peak friction angle: 18.5691 degrees
Peak cohesion: 2.16216 kPa
Residual Friction Angle: 18.5691 degrees
Residual Cohesion: 2.16216 kPa
Material: DEPOSITO
Peak friction angle: 24.2445 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 24.2445 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa
Material: Materiale di riempimento da scavi prec
Peak friction angle: 16.2333 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 16.2333 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa
Material: Sabbia limosa
Peak friction angle: 24.2445 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 24.2445 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa

Strength Reduction Factor: 1.12
Maximum Total Displacement: 6.17629 m
Converged: no
Material: COLTRE
Peak friction angle: 14.5692 degrees
Peak cohesion: 7.14286 kPa
Residual Friction Angle: 14.5692 degrees
Residual Cohesion: 7.14286 kPa
Material: LENTE SABBIOSA
Peak friction angle: 26.5662 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 26.5662 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa
Material: ARGILLOSA SILTOSA
Peak friction angle: 18.4146 degrees
Peak cohesion: 2.14286 kPa
Residual Friction Angle: 18.4146 degrees
Residual Cohesion: 2.14286 kPa
Material: DEPOSITO
Peak friction angle: 24.0526 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 24.0526 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa
Material: Materiale di riempimento da scavi prec
Peak friction angle: 16.0959 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 16.0959 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa
Material: Sabbia limosa
Peak friction angle: 24.0526 degrees

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
CRAS - RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICA DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD23000001	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: left;">F0</td> <td style="text-align: left;">08/06/2012</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	08/06/2012
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	08/06/2012						

Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 24.0526 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa

Strength Reduction Factor: 1.25

Maximum Total Displacement: 15.9658 m
Converged: no

Material: COLTRE

Peak friction angle: 13.1092 degrees
Peak cohesion: 6.4 kPa
Residual Friction Angle: 13.1092 degrees
Residual Cohesion: 6.4 kPa

Material: LENTE SABBIOSA

Peak friction angle: 24.1334 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 24.1334 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa

Material: ARGILLOSA SILTOSA

Peak friction angle: 16.6105 degrees
Peak cohesion: 1.92 kPa
Residual Friction Angle: 16.6105 degrees
Residual Cohesion: 1.92 kPa

Material: DEPOSITO

Peak friction angle: 21.7971 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 21.7971 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Materiale di riempimento da scavi prec

Peak friction angle: 14.4962 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 14.4962 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Sabbia limosa

Peak friction angle: 21.7971 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 21.7971 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa

Strength Reduction Factor: 1.5

Maximum Total Displacement: 29.2591 m
Converged: no

Material: COLTRE

Peak friction angle: 10.9825 degrees
Peak cohesion: 5.33333 kPa
Residual Friction Angle: 10.9825 degrees
Residual Cohesion: 5.33333 kPa

Material: LENTE SABBIOSA

Peak friction angle: 20.4732 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 20.4732 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa

Material: ARGILLOSA SILTOSA

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRAS – RELAZIONE GEOLOGICA		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD23000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

Peak friction angle: 13.9604 degrees
Peak cohesion: 1.6 kPa
Residual Friction Angle: 13.9604 degrees
Residual Cohesion: 1.6 kPa
Material: DEPOSITO
Peak friction angle: 18.4312 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 18.4312 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa
Material: Materiale di riempimento da scavi prec
Peak friction angle: 12.1588 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 12.1588 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa
Material: Sabbia limosa
Peak friction angle: 18.4312 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 18.4312 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa

Yielded Elements

Yielded Mesh Elements

Number of yielded mesh elements on Stage 1: 6
Number of yielded mesh elements on Stage 2: 34
Number of yielded mesh elements on Stage 3: 54
Number of yielded mesh elements on Stage 4: 86
Number of yielded mesh elements on Stage 5: 151
Number of yielded mesh elements on Stage 6: 193
Number of yielded mesh elements on Stage 7: 233
Number of yielded mesh elements on Stage 8: 307
Number of yielded mesh elements on Stage 9: 382
Number of yielded mesh elements on Stage 10: 421
Number of yielded mesh elements on Stage 11: 549