

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

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



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

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

CZV0665_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>	CRA 3 - PETTO - RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'

CODICE



C G 1 4 0 0 P R B V C C Z C 4 S D 2 0 0 0 0 0 0 1 F 0

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<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.....	11
5.1 Stato iniziale dei materiali	12
6 FASI COSTRUTTIVE.....	13
7 PERICOLOSITA' SISMICA	13
8 MODELLO DI CALCOLO.....	17
8.1 Metodo agli elementi finiti (Metodo SSR)	17
8.2 Metodo dell'equilibrio limite (LEM)	18
9 PRESCRIZIONI ESECUTIVE	19
10 RISULTATI DI CALCOLO	21
10.1 Sezione 1.....	21
10.2 Sezione 4.....	24
10.3 Sezione 9.....	26
11 TABULATI DI CALCOLO.....	27
11.1 Sezione 1 – tabulato di input.....	27
11.2 Sezione 1 – tabulato di output.....	35
11.3 Sezione 4 - tabulato di input.....	40
11.4 Sezione 4 - tabulato di output	45
11.5 Sezione 9 - tabulato di input.....	50
11.6 Sezione 9 - tabulato di output	56

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

1 INTRODUZIONE

La presente relazione riguarda la caratterizzazione fisico meccanica del sottosuolo e le verifiche connesse con la progettazione del deposito denominato “CRA3” di materiale classificato come “terre e rocce da scavo” proveniente dalle lavorazioni inerenti la costruzione del Ponte sullo Stretto di Messina. Il deposito in esame (Fig 1.1) sarà realizzato in località “Petto di Braghò” nel comune di Limbadi, in provincia di Reggio Calabria.

Dalla figura 1.1, si evince che il deposito nel suo complesso è costituito da due “corpi” uno di volume maggiore (in alto a destra) che riveste carattere definitivo, l'altro di volume più contenuto (in basso a sinistra) che riveste carattere temporaneo (si prevede, infatti, che il materiale depositato venga successivamente rimosso). Nelle analisi svolte, operando a vantaggio di sicurezza, l'intero deposito è stato considerato definitivo (Vn=50 anni).

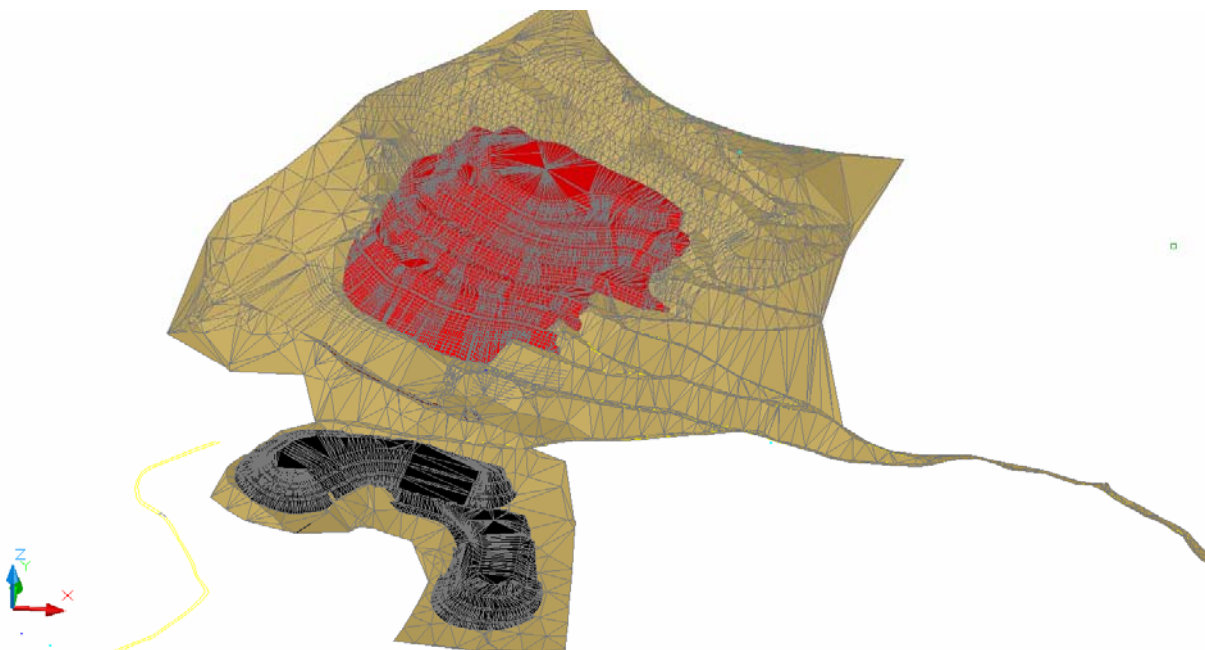




Figura 1.1 : Vista tridimensionale del deposito

Le analisi di stabilità del deposito sono state effettuate secondo il metodo **Shear Strength Reduction (SSR)**, applicato ad un modello agli elementi finiti a comportamento elasto-plastico, considerando le sezioni che permettono di individuare le principali configurazioni critiche dello stesso (Fig.1.2). 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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

Per quanto riguarda gli aspetti litologici, geologici ed idrogeologici si fa riferimento alle specifiche relazioni di progetto integrate con gli elaborati generali di riferimento:

Geologia: Relazione Geologica generale e annesse relazioni idrogeologiche

- per la Calabria CG0800PRGDCSBC6G000000001A;

Geotecnica: Relazione Geotecnica generale

- per la Calabria CG0800PRBDCSBC8G000000001A;

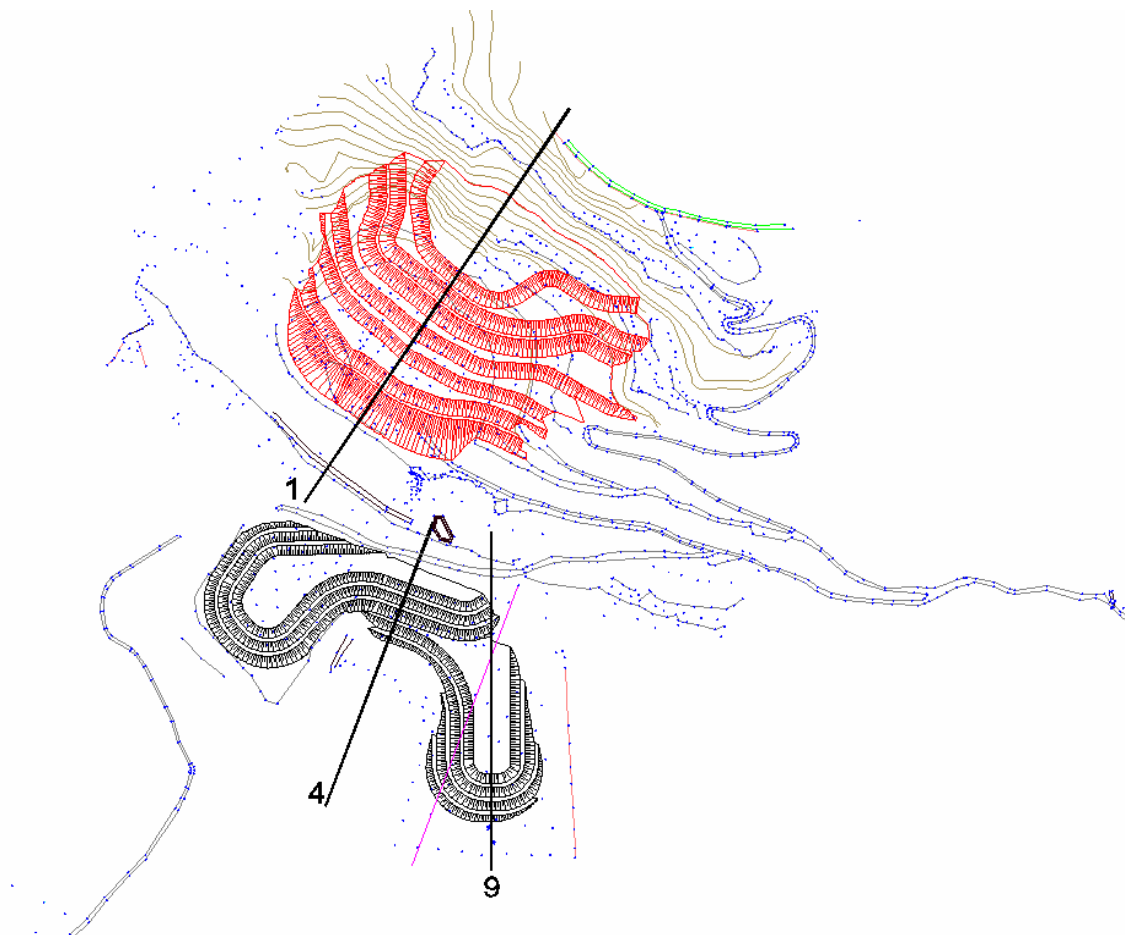


Figura 1.2 : Planimetria del deposito con indicazione delle sezioni di calcolo

Nel seguito si elencano le normative a cui si è fatto riferimento, e si descrivono i parametri geotecnici adottati nei calcoli, i modelli di calcolo e le verifiche di stabilità del deposito in oggetto. Per ulteriori dettagli si rimanda agli elaborati grafici di progetto a cui il presente documento si affianca.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<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**

Il sito interessato dall’intervento si trova sul fianco meridionale di un rilievo collinare oggetto di un’intensa attività estrattiva che ha modificato in modo vistoso l’originario assetto morfologico. Nella situazione attuale si riscontra una depressione aperta verso SW, delimitata da scarpate subverticali, l’assetto geolitologico dell’area considerata risulta definito da una formazione di rocce granitiche cristalline di età paleozoica, formato da rocce intrusive di composizione granitica.

Nell’area esaminata la coltre di alterazione è stata completamente rimossa dalle passate operazioni di scavo. Per l’area di cava in esame, inoltre, le proprietà geotecniche della roccia affiorante rendono tendenzialmente stabile l’assetto geostatico globale delle scarpate che delimitano lo scavo. Nella zona dove sorgeranno i depositi e in quelle circostanti non sono state rinvenute sorgenti che evidenziano la presenza di una rete acquifera sotterranea, almeno fino alle quote interessate dallo scavo. Nella zona del deposito temporaneo il modello geologico è formato da depositi pleistocenici di ambiente alluvionale, in cui prevalgono litotipi ad elevata componente pelitica, molto eterogenei dal punto di vista granulometrico, con la falda acquifera posizionata ad una profondità superiore ai 50 m dal piano campagna.

4 **INDAGINI GEOGNOSTICHE**

I dati acquisiti in questa fase di studio, integrati anche con le informazioni disponibili da altre indagini e da dati di letteratura hanno consentito di definire, con sufficiente approssimazione il modello geotecnico di progetto. A tal riguardo, in figura 4.1 e tabella 4.1, si riportano le sezioni litotecniche di riferimento utilizzate nei calcoli ed i rispettivi parametri geotecnici di sintesi.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012





Litologia	Parametri geotecnici
 <p>Materiale di risulta dell'ex attività estrattiva, composto da blocchi e ciottoli spigolosi di roccia granitica immersi in una matrice sabbioso - ghiaiosa.</p>	Peso Unità di Volume: 1,9 t/mc Angolo di Attrito: 32° Coesione: 0,00 Kg/cmq
 <p>Depositi di natura alluvionale molto eterogenei composti da sabbie argillose con intercalazioni di ghiaie argillose - sabbiose e di argilla sabbiosa.</p>	Peso Unità di Volume: 1,8 t/mc Angolo di Attrito: 30° Coesione: 0,00 Kg/cmq
 <p>Depositi di origine marina composti da sabbie argillose passanti in profondità ad argille debolmente sabbiose.</p>	Peso Unità di Volume: 1,9 t/mc Angolo di Attrito: 28° Coesione: 0,10 Kg/cmq
 <p>Complesso di rocce intrusive di composizione granitica intensamente fratturate e molto alterate nelle porzioni più superficiali.</p>	*Peso Unità di Volume: 2,0 - 2,4 t/mc *Angolo di Attrito: 32° - 40° *Coesione: 0,10 - 1,00 Kg/cmq

Tabella 4.1 : Parametri geotecnici di sintesi

Per quanto riguarda le indagini geofisiche è stato eseguito uno stendimento sismico, le risultanze delle indagini geosismiche MASW hanno fornito il valore del $V_{s,30}$, necessario per classificare la categoria di sottosuolo [par.3.2.2, NTC 2008] :

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}} = 989 \text{ m / s}$$

Il suolo in esame è, quindi, stato assimilato alla categoria "A" (Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi).

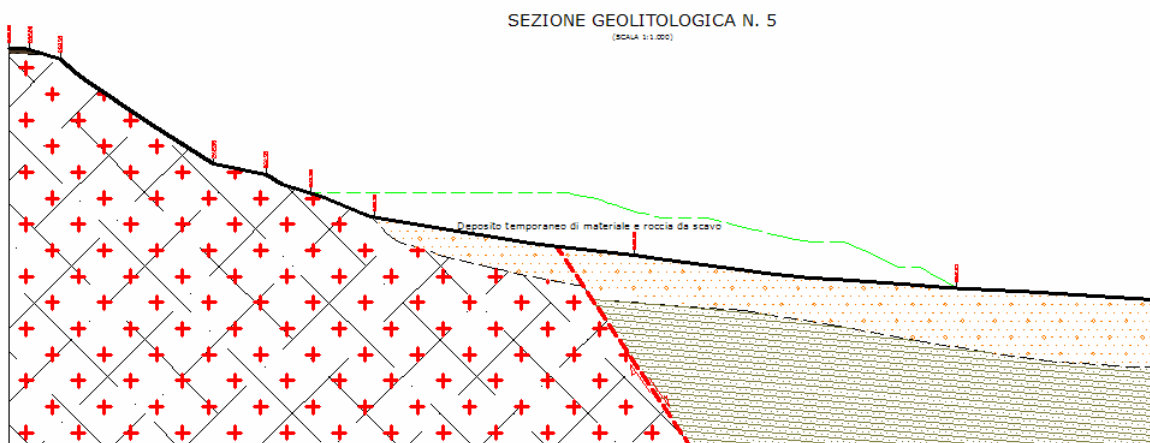
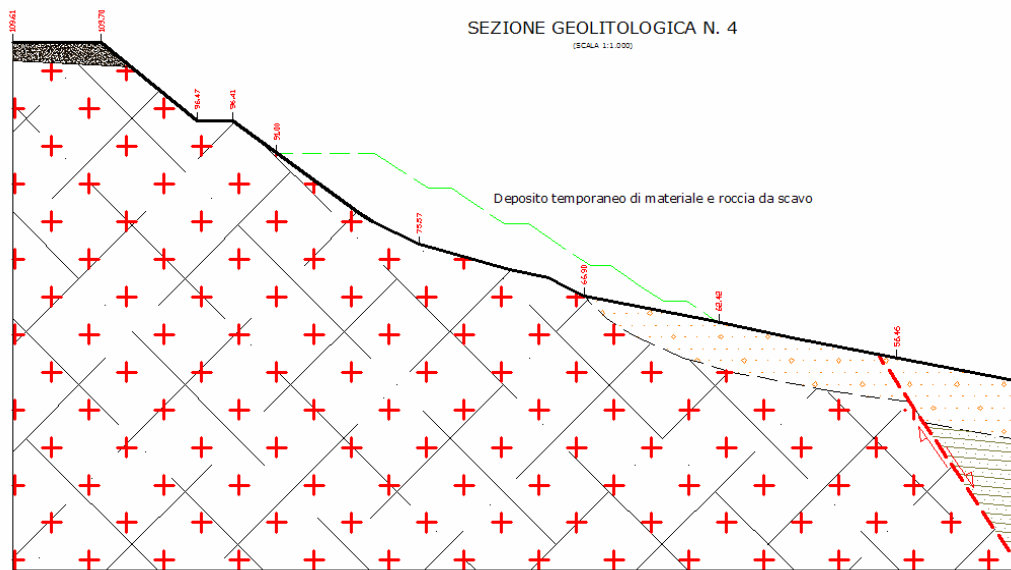
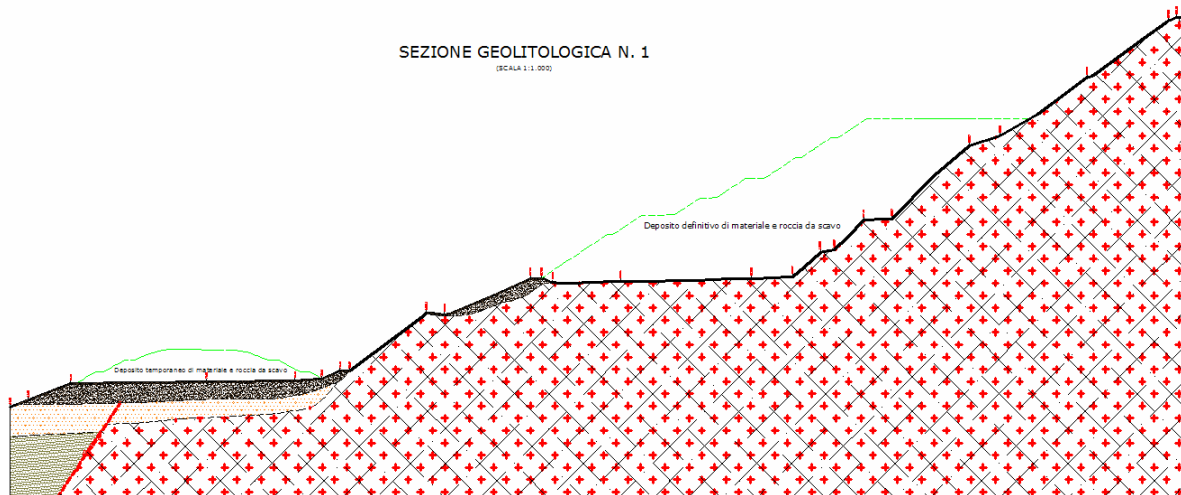


Figura 4.1 : Sezioni geolitologiche di riferimento

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Si riassumono i parametri geotecnici utilizzati nelle analisi:

- **Materiale di risulta composto da blocchi e ciottoli spigolosi di roccia granitica immersi in una matrice sabbioso - ghiaiosa.**

		Caratteristici	Di progetto
Peso di Volume	γ [kN/mc]	19.00	19.00
Coazione efficace	c' [kPa]	0.00	0.00
Angolo di attrito	ϕ [°]	32	26.56
Modulo di Young	E [kPa]	30000	30000
Coefficiente di Poisson	ν	0.30	0.30

- **Depositi alluvionali**

		Caratteristici	Di progetto
Peso di Volume	γ [kN/mc]	18.00	18.00
Coazione efficace	c' [kPa]	0.00	0.00
Angolo di attrito	ϕ [°]	30	24.80
Modulo di Young	E [kPa]	20000	20000
Coefficiente di Poisson	ν	0.30	0.30

- **Depositi marini**

		Caratteristici	Di progetto
Peso di Volume	γ [kN/mc]	19.00	19.00
Coazione efficace	c' [kPa]	10	8.00
Angolo di attrito	ϕ [°]	28	23.00
Modulo di Young	E [kPa]	25000	25000
Coefficiente di Poisson	ν	0.30	0.30

- **Rocce intrusive di composizione granitica**

		Caratteristici	Di progetto
Peso di Volume	γ [kN/mc]	22.00	22.00
Coazione efficace	c' [kPa]	100	80
Angolo di attrito	ϕ [°]	38	32
Modulo di Young	E [kPa]	600000	600000
Coefficiente di Poisson	ν	0.30	0.30

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

▪ **Materiale che costituirà il corpo del deposito**

		Caratteristici	Di progetto
Peso di Volume	γ [kN/mc]	19.00	19.00
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

5.1 Stato iniziale dei 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 risultano rispettivamente:

$$\sigma'_H = k' \sigma'_V \text{ e } \sigma_H = k' (\sigma_V - u) + u$$

dove

- 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]:

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

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

6 FASI COSTRUTTIVE

Il riempimento del deposito sarà effettuato in progressive stratificazioni (nelle analisi assunte di spessore pari a circa 5-6.00 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. In particolare, gli stages di calcolo previsti sono:

- STAGE 1: Condizioni iniziali
- STAGE 2-n-1: Sovrapposizione degli strati di riempimento del deposito
- STAGE n: Azione del sisma

7 PERICOLOSITA' SISMICA

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 dell'intervento, è stata scelta corrisponde alla categoria T3 [tab. 3.2.IV, NTC 2008], e quella di sottosuolo dedotta dalle indagini sismiche a rifrazione è pari a A.

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

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

dove:

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

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). Si riportano i parametri sismici ricavati.

Sito in esame.

latitudine: 38,5392624358499

longitudine: 15,9694331300377

Classe: 2

Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 43217 Lat: 38,5581 Lon: 15,9156 Distanza: 5127,153

Sito 2 ID: 43218 Lat: 38,5567 Lon: 15,9794 Distanza: 2119,417

Sito 3 ID: 43440 Lat: 38,5067 Lon: 15,9775 Distanza: 3689,250

Sito 4 ID: 43439 Lat: 38,5081 Lon: 15,9138 Distanza: 5951,768

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: A

Categoria topografica: T3

Periodo di riferimento: 50anni

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 30 [anni]
ag: 0,067 g
Fo: 2,298
Tc*: 0,280 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 50 [anni]
ag: 0,090 g
Fo: 2,271
Tc*: 0,298 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 475 [anni]
ag: 0,267 g
Fo: 2,422
Tc*: 0,364 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 975 [anni]
ag: 0,360 g
Fo: 2,461
Tc*: 0,389 [s]

Coefficienti Sismici

SLO:

Ss: 1,000
Cc: 1,000
St: 1,200
Kh: 0,016
Kv: 0,008
Amax: 0,788
Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,000
Cc: 1,000
St: 1,200
Kh: 0,022
Kv: 0,011
Amax: 1,059
Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,000
Cc: 1,000
St: 1,200
Kh: 0,096
Kv: 0,048
Amax: 3,137
Beta: 0,300

SLC:

Ss: 1,000
Cc: 1,000
St: 1,200
Kh: 0,129
Kv: 0,065
Amax: 4,233
Beta: 0,300

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

Il software impiegato per l'analisi di stabilità del pendio è un solutore agli elementi finiti a comportamento elasto-plastico, finalizzato alla valutazione dello stato tensionale effettivo e totale del terreno, e del campo di deformazione. Le analisi sono effettuate nell'ipotesi di deformazione piana [PHASE2, Rocscience 2003].

Le analisi di stabilità sono state effettuate discretizzando il terreno attraverso una mesh uniforme, con elementi finiti a tre nodi. Il comportamento degli elementi finiti segue il criterio elasto-perfettamente plastico di Mohr Coulomb, per il quale è richiesta la definizione di cinque parametri fondamentali (modulo di Young E , coefficiente di Poisson ν , coesione c , angolo di attrito φ , e dilatanza ψ).

Il metodo adottato dal software per l'analisi di stabilità è il metodo "Shear Strength Reduction, **SSR**" [Hammath et al 2006, Dawson et al 1999, Griffith & Lane 1999, Matsui & San, 1992].

Il coefficiente di sicurezza viene ottenuto riducendo progressivamente la resistenza a taglio dei materiali che costituiscono il pendio, fino al raggiungimento della condizione di collasso, che coincide con quella di instabilità del modello. La convergenza della soluzione FEM è, quindi, utilizzata come indicatore della condizione di crisi del pendio, per la quale la distribuzione tensionale e deformativa non è determinabile. Il fattore critico di riduzione della resistenza (**Strength Reduction Factor, SRF**) è equivalente al fattore di sicurezza del pendio.

8.2 Metodo dell'equilibrio limite (LEM)

Il metodo dell'equilibrio limite consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi (linea retta, arco di cerchio, spirale logaritmica); da tale 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*, da tale confronto ne scaturisce 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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

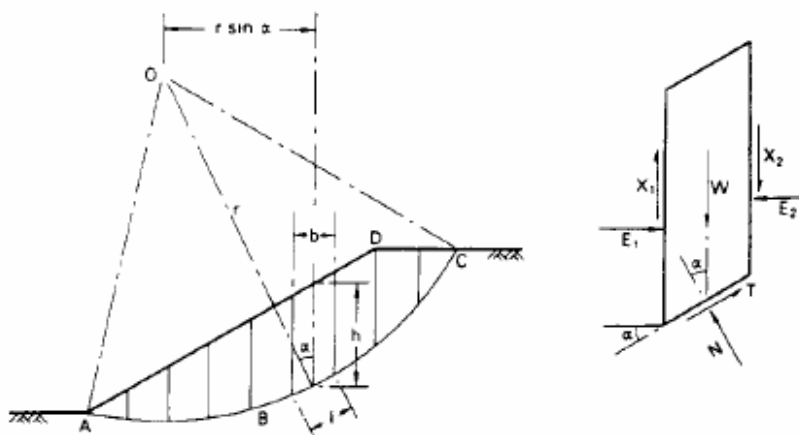


Figura 8.2

9 PRESCRIZIONI ESECUTIVE



Il deposito in esame è formato prevalentemente da materiali classificati come “terre e rocce da scavo” provenienti quindi, da scavi di sbancamento di fondazione o in galleria appartenenti ai gruppi A₁, A₂₋₄, A₂₋₅, A₃ (classificazione **CNR- UNI 10006**, 1963).

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 EuroLink S.C.p.A.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

10 RISULTATI DI CALCOLO

Le analisi sono state condotte seguendo l'Approccio 1, che prevede la combinazione 2 (A2+M2+R2), in accordo al codice normativo vigente [NTC 2008, par.6.8.2].

Secondo tale combinazione i parametri di resistenza del terreno sono decurtati del 25%, mentre gli eventuali carichi agenti sono considerati con il loro valore caratteristico.

L'azione sismica è stata considerata con il suo valore massimo nella direzione orizzontale, mentre ridotta del 30% nella direzione verticale.

Le analisi hanno evidenziato coefficienti di sicurezza superiori al coefficiente limite ($SFR_{normativo}=1.10$) ammesso dalle NTC 2008. Di seguito vengono rappresentate le configurazioni considerate per le sezioni in studio.

10.1 Sezione 1

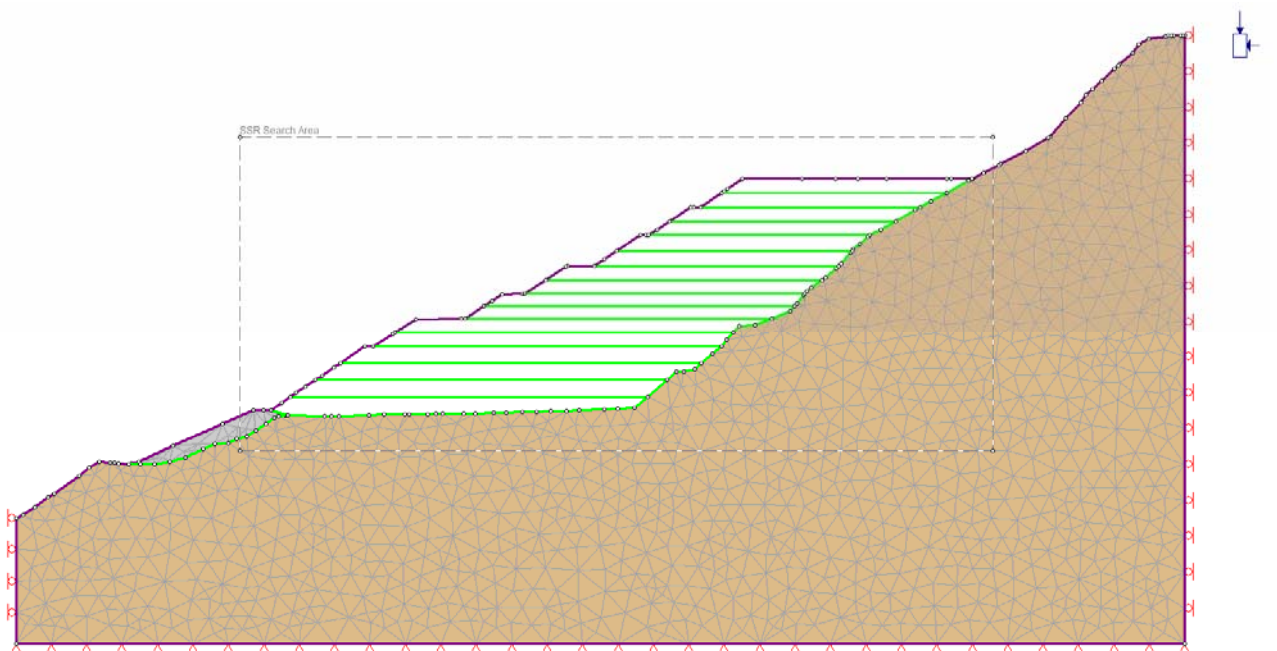


Figura 10.1 : Fase iniziale

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

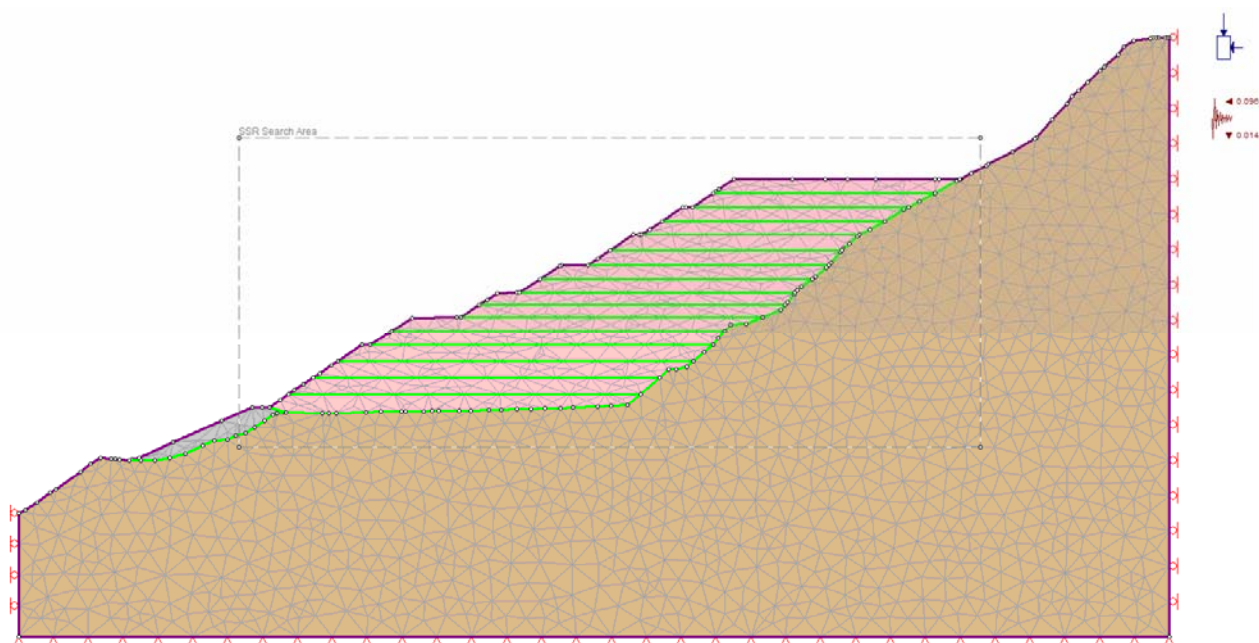


Figura 10.2 : Fase finale – completo riempimento e azione sismica

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

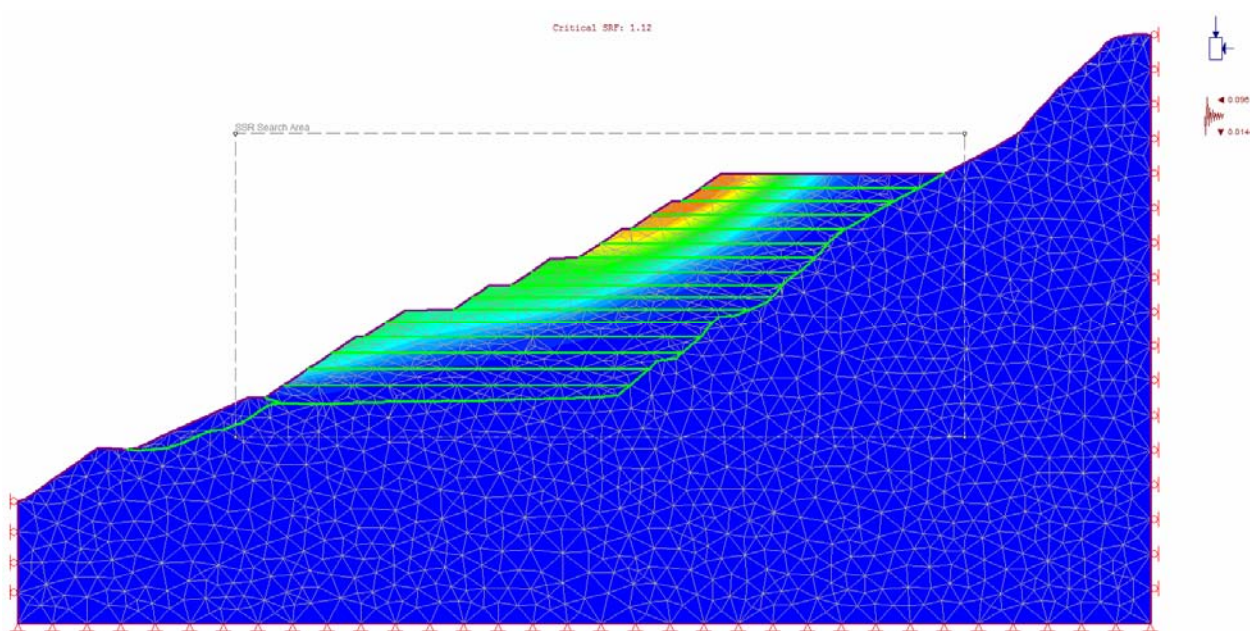




Figura 10.3 : Meccanismo di scivolamento - Spostamenti totali – Fase finale - SFR=1.12

Come accennato nell'introduzione, la verifica della sezione critica (sezione con coefficiente di

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

sicurezza più basso) è stata anche eseguita secondo l'approccio tradizionale all'equilibrio limite (figura 10.4):

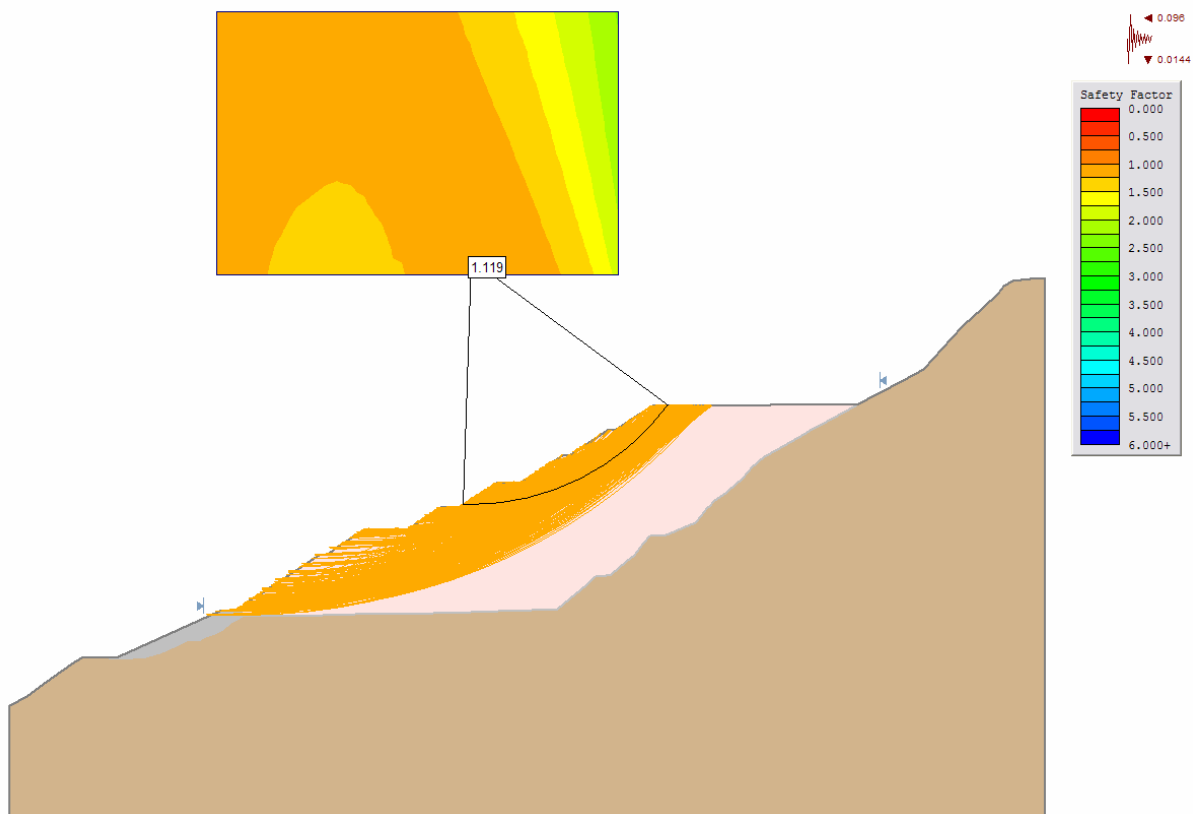


Figura 10.4 : Verifica di stabilità con il metodo dell'equilibrio limite (Sezione 1)

Dal confronto fra la figura 10.3 e la figura 10.4 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.

10.2 Sezione 4

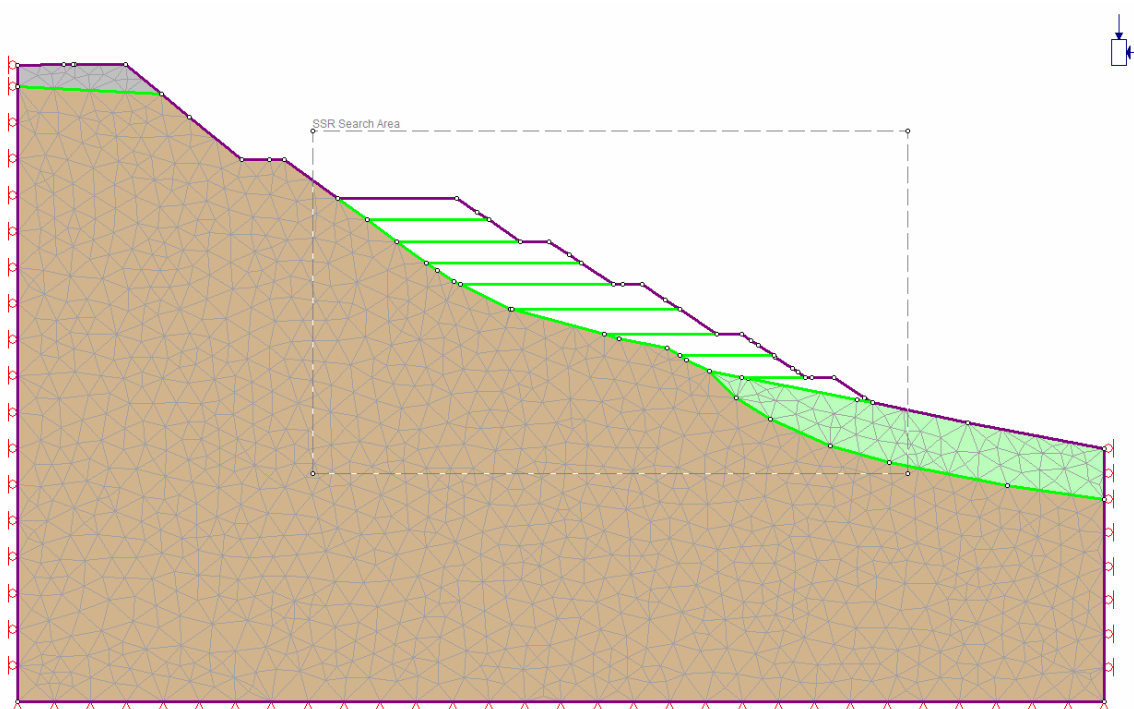


Figura 10.5 : Fase iniziale

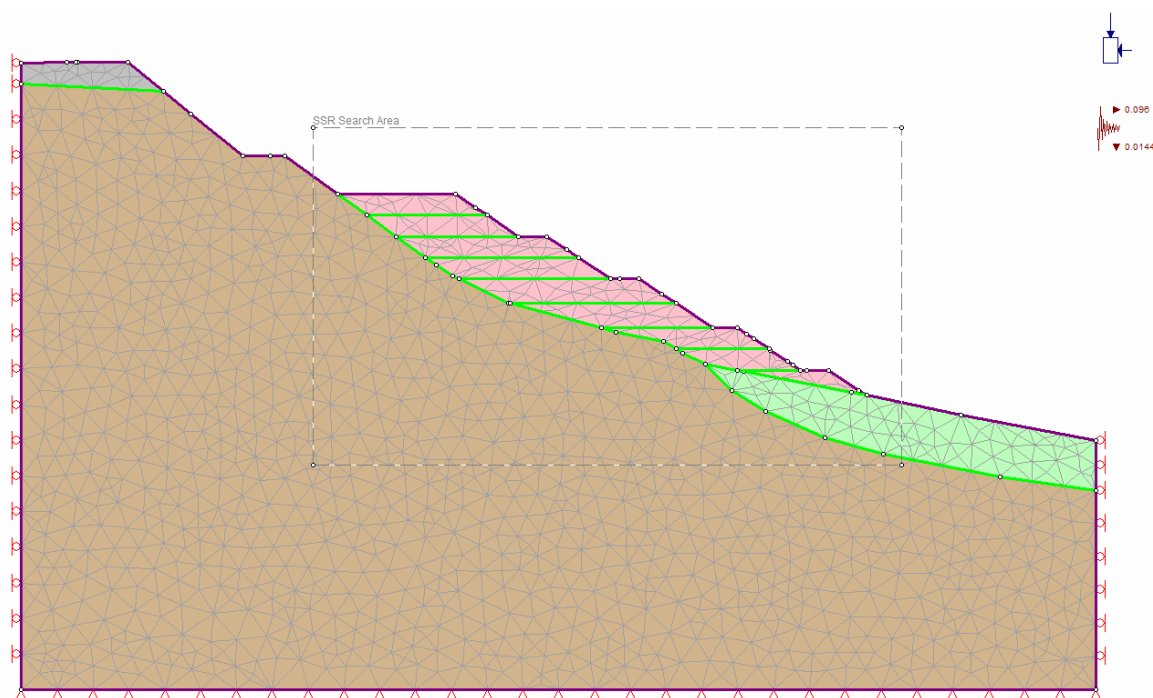




Figura 10.6 : Fase finale – completo riempimento e azione sismica

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

L'analisi di stabilità condotta sulla configurazione di completo riempimento del deposito con materiale inerte ha fornito un valore del coefficiente di sicurezza pari a **1.20**, superiore al valore normativo.

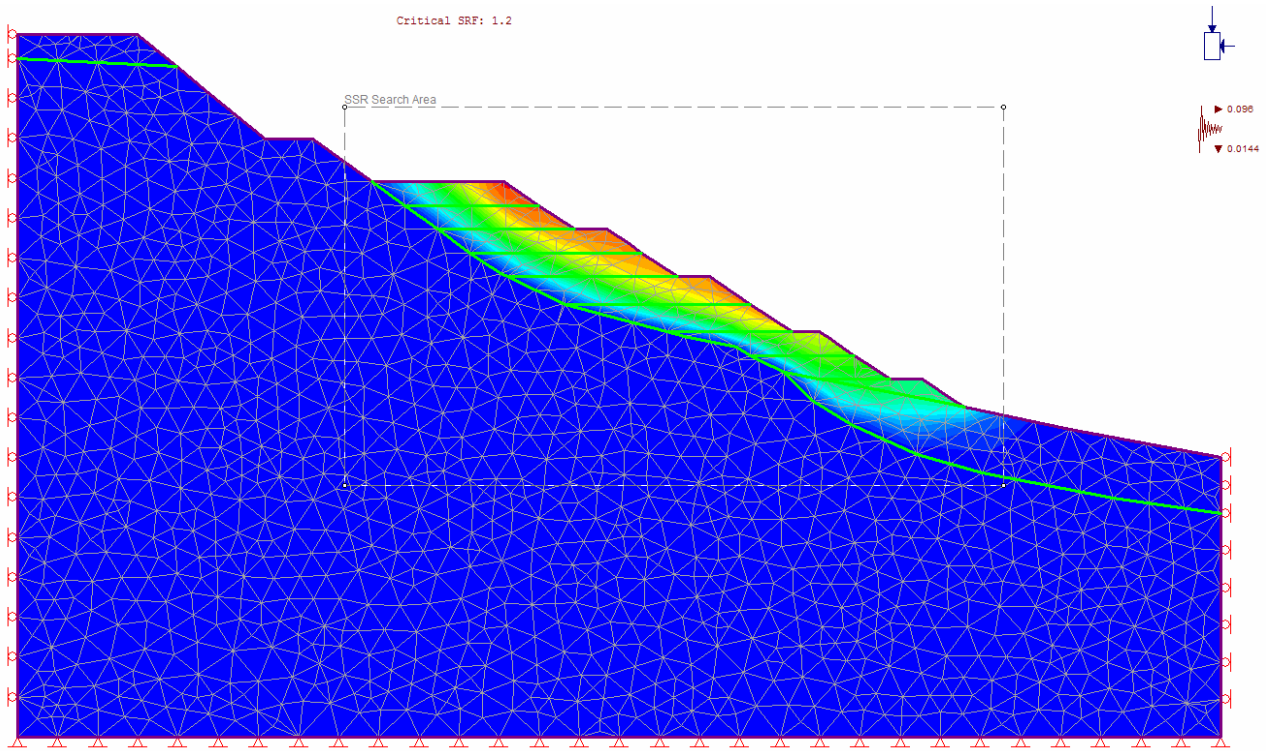


Figura10.7 : Meccanismo di scivolamento - Spostamenti totali – Fase finale - SFR=1.20

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

10.3 Sezione 9

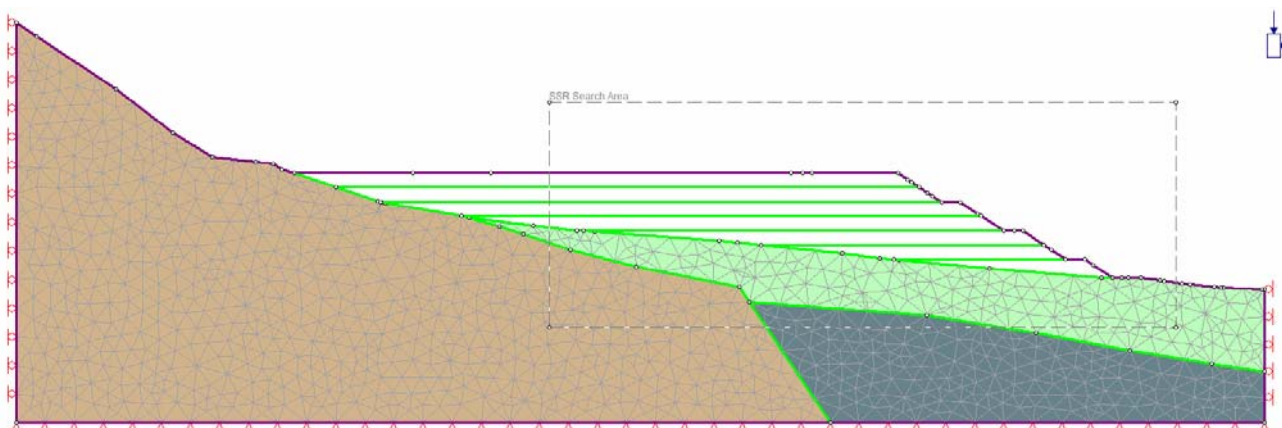


Figura 10.8 : Fase iniziale

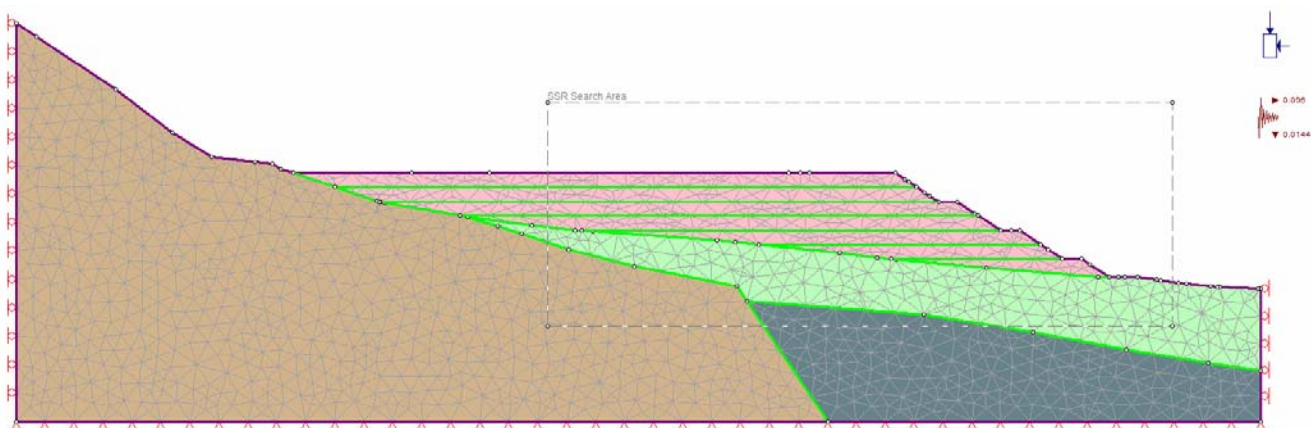




Figura 10.9 : Fase finale – completo riempimento e azione sismica

L'analisi di stabilità condotta sulla configurazione di completo riempimento del deposito con materiale inerte ha fornito un valore del coefficiente di sicurezza pari a **1.33**, superiore al valore normativo.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

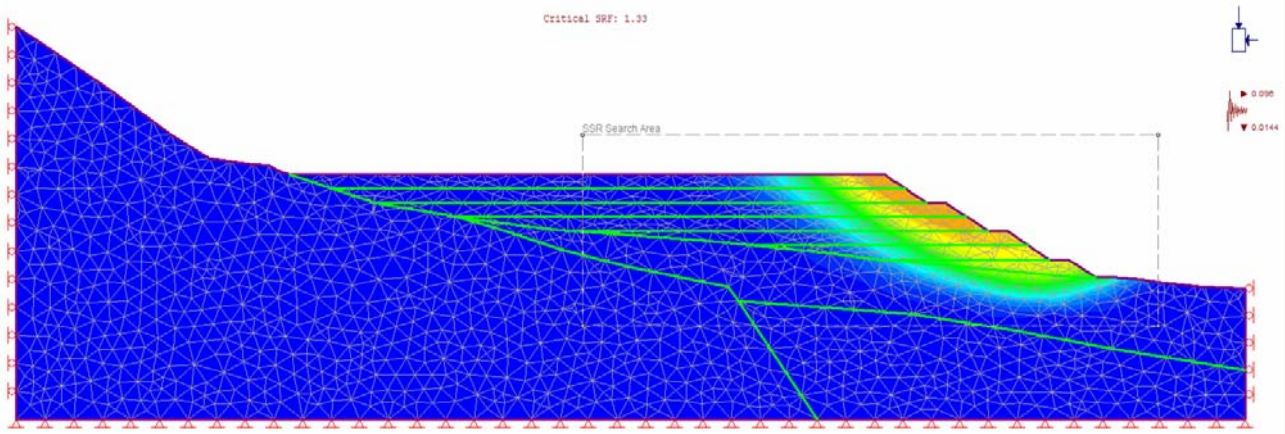


Figura 9.9 : Meccanismo di scivolamento - Spostamenti totali – Fase finale - SFR=1.33

11 TABULATI DI CALCOLO

11.1 Sezione 1 – tabulato di input

Document Name

Sezione1_stabilità_sisma.fez

Project Settings

General

Project Title: Project1

Number of Stages: 18

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: 79.883

maxx: 348.183

miny: 68.523

maxy: 180.287

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

Accelerate SSR Analysis: Yes
Convergence Parameters: Automatic

Seismic Loading

Horizontal seismic load coefficient: -0.096 (positive to the right)
Vertical seismic load coefficient: -0.0144 (positive up)
Seismic load applied in: Stage 18

Mesh

Mesh type: uniform
Element type: 3 noded triangles
Number of elements on Stage 1: 2243
Number of nodes on Stage 1: 1204
Number of elements on Stage 2: 2308
Number of nodes on Stage 2: 1230
Number of elements on Stage 3: 2370
Number of nodes on Stage 3: 1262
Number of elements on Stage 4: 2428
Number of nodes on Stage 4: 1291
Number of elements on Stage 5: 2483
Number of nodes on Stage 5: 1318
Number of elements on Stage 6: 2537
Number of nodes on Stage 6: 1345
Number of elements on Stage 7: 2586
Number of nodes on Stage 7: 1370
Number of elements on Stage 8: 2623
Number of nodes on Stage 8: 1388
Number of elements on Stage 9: 2671
Number of nodes on Stage 9: 1412
Number of elements on Stage 10: 2711
Number of nodes on Stage 10: 1431
Number of elements on Stage 11: 2756
Number of nodes on Stage 11: 1453
Number of elements on Stage 12: 2797
Number of nodes on Stage 12: 1473
Number of elements on Stage 13: 2832
Number of nodes on Stage 13: 1490
Number of elements on Stage 14: 2867
Number of nodes on Stage 14: 1507
Number of elements on Stage 15: 2905
Number of nodes on Stage 15: 1526
Number of elements on Stage 16: 2943
Number of nodes on Stage 16: 1544
Number of elements on Stage 17: 2985
Number of nodes on Stage 17: 1566
Number of elements on Stage 18: 2985
Number of nodes on Stage 18: 1566

Reset Displacements

Displacements reset after: Stage 1

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

Material Properties

Material: MATERIALE INERTE

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: 29.25 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Material type: Plastic

Dilation Angle: 0 degrees

Residual Friction Angle: 29.25 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Stage 1: Piezo to use: None

Hu Type: Auto

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): 0.426

Effective stress ratio (horizontal/vertical out-of-plane): 0.426

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

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

Material: ROCCIE GRANITICHE

Initial element loading: field stress & body force

Unit weight: 22 kN/m³

Elastic type: isotropic

Young's modulus: 600000 kPa

Poisson's ratio: 0.3

Failure criterion: Mohr-Coulomb

Tensile strength: 0 kPa

Peak friction angle: 32 degrees

Peak cohesion: 80 kPa

Material type: Plastic

Dilation Angle: 2 degrees

Residual Friction Angle: 32 degrees

Residual Cohesion: 80 kPa

Stage 1: Piezo to use: None

Hu Type: Auto

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): 0.384

Effective stress ratio (horizontal/vertical out-of-plane): 0.384

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

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

Material: MATERIALE DI RISULTA

Initial element loading: field stress & body force

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

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
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

List of All Coordinates

External boundary

55.947 70.306
43.780 64.519
41.139 64.052
40.140 63.837
36.587 64.132
35.095 64.240
33.692 64.289
29.549 64.480
26.191 62.415
22.443 59.578
13.533 53.345
11.381 51.945
6.827 48.566
2.471 45.730
0.000 44.673
0.000 0.000
416.632 0.000
416.632 216.459
416.032 216.483
415.058 216.519
412.792 216.591
411.872 216.621
410.685 216.493
409.552 216.345
403.575 215.386
400.104 213.302
398.043 210.386
393.366 206.260
392.845 205.795

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

391.488	204.618
386.850	200.386
383.674	197.533
381.383	195.386
379.393	192.680
374.012	187.070
368.361	180.505
367.784	180.116
359.725	175.386
351.008	170.827
350.185	170.386
344.929	167.647
340.870	165.515
340.832	165.515
333.338	165.503
331.687	165.500
310.236	165.470
300.081	165.455
292.081	165.443
280.212	165.423
258.855	165.386
253.642	161.911
252.369	161.062
251.415	160.427
243.864	155.392
241.525	155.388
240.400	155.386
232.900	150.386
228.365	147.363
225.390	145.379
224.463	145.381
222.400	145.386
214.209	139.925
209.714	136.929
206.028	134.472
196.471	134.390
195.885	134.265
188.697	129.473
181.198	124.474
180.492	124.466
173.318	124.386
169.672	121.967
166.783	120.050
160.116	115.625
158.681	115.606
142.436	115.386
135.113	110.506
134.456	110.067
127.432	105.386
124.432	105.386
115.535	99.457
113.389	98.026
109.125	95.184
106.639	93.527
103.024	91.118

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

99.920 89.049
97.637 87.527
94.713 85.578
90.848 82.940
88.185 82.868
84.489 82.789
73.670 78.058

Material boundary

90.848 82.940
95.892 81.150
96.805 80.883

Material boundary

300.738 142.345
304.395 145.379

Material boundary

106.639 93.527
232.129 93.527
235.335 96.511
237.903 96.665
242.039 97.421
244.381 99.457
248.303 102.866
251.397 105.386
253.320 107.913
255.589 110.506
257.625 112.832
263.321 113.182
269.288 115.625
275.869 118.320
277.424 120.050
278.354 121.084
280.619 124.004
281.053 124.474
281.895 125.386
283.499 126.705
287.302 129.473
288.557 130.386
292.393 133.679
293.264 134.472
294.269 135.386
297.543 139.307
298.056 139.925
298.438 140.386
300.738 142.345
303.651 144.838
304.395 145.379
304.405 145.386
308.269 147.267
313.634 150.386
320.381 154.307
322.269 155.386
322.281 155.392

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

326.128	157.375
331.568	160.386
331.640	160.427
339.559	164.826
340.584	165.386
340.832	165.515

Material boundary

251.397	105.386
127.432	105.386

Material boundary

269.288	115.625
160.116	115.625

Material boundary

281.053	124.474
181.198	124.474

Material boundary

293.264	134.472
206.028	134.472

Material boundary

304.395	145.379
225.390	145.379

Material boundary

322.281	155.392
243.864	155.392

Material boundary

90.848	82.940
96.805	80.883
109.852	80.648
112.315	80.661
115.073	80.743
125.805	81.154
131.297	81.291
138.617	81.360
140.134	81.390
146.670	81.439
149.595	81.513
152.124	81.557
159.565	81.688
163.739	81.709
170.147	81.844
174.869	81.975
180.509	82.145
185.503	82.341
190.475	82.438
196.237	82.582
200.736	82.685
209.635	83.033
214.336	83.311

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

220.553 83.657
225.092 87.527
232.129 93.527

Material boundary

40.140 63.837
44.348 63.628
49.302 63.843
54.762 64.498
60.440 66.171
66.795 69.062
70.846 70.821
75.727 71.119
78.796 72.577
82.290 73.595
85.493 75.560
89.133 78.179
92.045 80.071
93.574 80.653
96.805 80.883

Material boundary

225.092 87.527
97.637 87.527

Material boundary

244.381 99.457
115.535 99.457

Material boundary

255.589 110.506
135.113 110.506

Material boundary

277.424 120.050
166.783 120.050

Material boundary

287.302 129.473
188.697 129.473

Material boundary

298.056 139.925
214.209 139.925

Material boundary

313.634 150.386
232.900 150.386

Material boundary

331.640 160.427
251.415 160.427

SSR Search Area

79.883 68.523

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

348.183 68.523
348.183 180.287
79.883 180.287

11.2 Sezione 1 – tabulato di output

Shear Strength Reduction - Material Properties

Strength Reduction Factor: 1

Converged: yes

Material: MATERIALE INERTE

Peak friction angle: 29.26 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 29.26 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa

Material: ROCCIE GRANITICHE

Peak friction angle: 32 degrees
Peak cohesion: 80 kPa
Residual Friction Angle: 32 degrees
Residual Cohesion: 80 kPa

Material: MATERIALE DI RISULTA

Peak friction angle: 26.56 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 26.56 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa

Critical Strength Reduction Factor: 1.12

Converged: yes

Material: MATERIALE INERTE

Peak friction angle: 26.5755 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 26.5755 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa

Material: ROCCIE GRANITICHE

Peak friction angle: 29.158 degrees
Peak cohesion: 71.4286 kPa
Residual Friction Angle: 29.158 degrees
Residual Cohesion: 71.4286 kPa

Material: MATERIALE DI RISULTA

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

Converged: no

Material: MATERIALE INERTE

Peak friction angle: 26.3723 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 26.3723 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa

Material: ROCCIE GRANITICHE

Peak friction angle: 28.9418 degrees

Peak cohesion: 70.7965 kPa
Residual Friction Angle: 28.9418 degrees
Residual Cohesion: 70.7965 kPa

Material: MATERIALE DI RISULTA

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

Converged: no

Material: MATERIALE INERTE

Peak friction angle: 26.1719 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 26.1719 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa

Material: ROCCIE GRANITICHE

Peak friction angle: 28.7285 degrees
Peak cohesion: 70.1754 kPa
Residual Friction Angle: 28.7285 degrees
Residual Cohesion: 70.1754 kPa

Material: MATERIALE DI RISULTA

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

Converged: no

Material: MATERIALE INERTE

Peak friction angle: 25.3981 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 25.3981 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa

Material: ROCCIE GRANITICHE

Peak friction angle: 27.9035 degrees
Peak cohesion: 67.7966 kPa
Residual Friction Angle: 27.9035 degrees
Residual Cohesion: 67.7966 kPa

Material: MATERIALE DI RISULTA

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

Converged: no

Material: MATERIALE INERTE

Peak friction angle: 24.1422 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 24.1422 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa

Material: ROCCIE GRANITICHE

Peak friction angle: 26.5603 degrees
Peak cohesion: 64 kPa

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

Residual Friction Angle: 26.5603 degrees
Residual Cohesion: 64 kPa
Material: MATERIALE DI RISULTA
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

Converged: no
Material: MATERIALE INERTE
Peak friction angle: 20.4809 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 20.4809 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa

Material: ROCCIE GRANITICHE
Peak friction angle: 22.6156 degrees
Peak cohesion: 53.3333 kPa
Residual Friction Angle: 22.6156 degrees
Residual Cohesion: 53.3333 kPa

Material: MATERIALE DI RISULTA
Peak friction angle: 18.4312 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 18.4312 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa

Areas of Excavated and Filled Elements

Stage 2
Material: MATERIALE INERTE, Area Filled: 736.072 m2

Stage 3
Material: MATERIALE INERTE, Area Filled: 758.836 m2

Stage 4
Material: MATERIALE INERTE, Area Filled: 751.702 m2

Stage 5
Material: MATERIALE INERTE, Area Filled: 758.109 m2

Stage 6
Material: MATERIALE INERTE, Area Filled: 625.328 m2

Stage 7
Material: MATERIALE INERTE, Area Filled: 625.438 m2

Stage 8
Material: MATERIALE INERTE, Area Filled: 489.891 m2

Stage 9
Material: MATERIALE INERTE, Area Filled: 482.560 m2

Stage 10
Material: MATERIALE INERTE, Area Filled: 494.980 m2

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

Stage 11

Material: MATERIALE INERTE, Area Filled: 489.104 m2

Stage 12

Material: MATERIALE INERTE, Area Filled: 467.089 m2

Stage 13

Material: MATERIALE INERTE, Area Filled: 451.631 m2

Stage 14

Material: MATERIALE INERTE, Area Filled: 400.832 m2

Stage 15

Material: MATERIALE INERTE, Area Filled: 406.960 m2

Stage 16

Material: MATERIALE INERTE, Area Filled: 399.741 m2

Stage 17

Material: MATERIALE INERTE, Area Filled: 407.031 m2

Excavation Areas

Original Un-deformed Areas

External Boundary Area: 55132.926 m2

External Boundary Perimeter: 1147.859 m

Stage 1

External Boundary Area: 55132.926 m2 (0 m2 change from original area)

External Boundary Perimeter: 1147.859 m (0 m change from original perimeter)

Stage 2

External Boundary Area: 55132.819 m2 (-0.106715 m2 change from original area)

External Boundary Perimeter: 1147.862 m (0.00304635 m change from original perimeter)

Stage 3

External Boundary Area: 55132.620 m2 (-0.306247 m2 change from original area)

External Boundary Perimeter: 1147.864 m (0.00476343 m change from original perimeter)

Stage 4

External Boundary Area: 55132.243 m2 (-0.682928 m2 change from original area)

External Boundary Perimeter: 1147.865 m (0.00613857 m change from original perimeter)

Stage 5

External Boundary Area: 55131.664 m2 (-1.26229 m2 change from original area)

External Boundary Perimeter: 1147.870 m (0.0107256 m change from original perimeter)

Stage 6

External Boundary Area: 55131.238 m2 (-1.68847 m2 change from original area)

External Boundary Perimeter: 1147.875 m (0.0162507 m change from original perimeter)

Stage 7

External Boundary Area: 55129.590 m2 (-3.33604 m2 change from original area)

External Boundary Perimeter: 1147.890 m (0.0309735 m change from original perimeter)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

Stage 8

External Boundary Area: 55129.220 m² (-3.70669 m² change from original area)
External Boundary Perimeter: 1147.906 m (0.0469345 m change from original perimeter)

Stage 9

External Boundary Area: 55128.159 m² (-4.76725 m² change from original area)
External Boundary Perimeter: 1147.924 m (0.064931 m change from original perimeter)

Stage 10

External Boundary Area: 55127.472 m² (-5.45387 m² change from original area)
External Boundary Perimeter: 1147.937 m (0.0783907 m change from original perimeter)

Stage 11

External Boundary Area: 55126.049 m² (-6.87737 m² change from original area)
External Boundary Perimeter: 1147.956 m (0.0975591 m change from original perimeter)

Stage 12

External Boundary Area: 55125.147 m² (-7.77959 m² change from original area)
External Boundary Perimeter: 1147.973 m (0.114304 m change from original perimeter)

Stage 13

External Boundary Area: 55124.184 m² (-8.74229 m² change from original area)
External Boundary Perimeter: 1147.988 m (0.129315 m change from original perimeter)

Stage 14

External Boundary Area: 55123.401 m² (-9.52539 m² change from original area)
External Boundary Perimeter: 1147.998 m (0.139402 m change from original perimeter)

Stage 15

External Boundary Area: 55122.293 m² (-10.6332 m² change from original area)
External Boundary Perimeter: 1148.010 m (0.150853 m change from original perimeter)

Stage 16

External Boundary Area: 55121.753 m² (-11.173 m² change from original area)
External Boundary Perimeter: 1148.020 m (0.161482 m change from original perimeter)

Stage 17

External Boundary Area: 55114.987 m² (-17.9395 m² change from original area)
External Boundary Perimeter: 1147.976 m (0.11709 m change from original perimeter)

Stage 18

External Boundary Area: 55109.047 m² (-23.8795 m² change from original area)
External Boundary Perimeter: 1147.877 m (0.0184691 m change from original perimeter)

Yielded Elements

Yielded Mesh Elements

Number of yielded mesh elements on Stage 1: 228
Number of yielded mesh elements on Stage 2: 232
Number of yielded mesh elements on Stage 3: 237
Number of yielded mesh elements on Stage 4: 252
Number of yielded mesh elements on Stage 5: 276
Number of yielded mesh elements on Stage 6: 294
Number of yielded mesh elements on Stage 7: 310

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

Number of yielded mesh elements on Stage 8: 321
Number of yielded mesh elements on Stage 9: 342
Number of yielded mesh elements on Stage 10: 367
Number of yielded mesh elements on Stage 11: 397
Number of yielded mesh elements on Stage 12: 423
Number of yielded mesh elements on Stage 13: 444
Number of yielded mesh elements on Stage 14: 477
Number of yielded mesh elements on Stage 15: 508
Number of yielded mesh elements on Stage 16: 548
Number of yielded mesh elements on Stage 17: 588
Number of yielded mesh elements on Stage 18: 941

11.3 Sezione 4 - tabulato di input

Document Name

Sezione4_stabilità_sisma.fez

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: 41.297
maxx: 124.565
miny: 31.943
maxy: 79.809
Accelerate SSR Analysis: Yes
Convergence Parameters: Automatic

Seismic Loading

Horizontal seismic load coefficient: 0.096 (positive to the right)
Vertical seismic load coefficient: -0.0144 (positive up)
Seismic load applied in: Stage 11

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

Mesh

Mesh type: uniform
Element type: 3 noded triangles
Number of elements on Stage 1: 2260
Number of nodes on Stage 1: 1182
Number of elements on Stage 2: 2273
Number of nodes on Stage 2: 1189
Number of elements on Stage 3: 2289
Number of nodes on Stage 3: 1198
Number of elements on Stage 4: 2311
Number of nodes on Stage 4: 1209
Number of elements on Stage 5: 2336
Number of nodes on Stage 5: 1222
Number of elements on Stage 6: 2368
Number of nodes on Stage 6: 1238
Number of elements on Stage 7: 2390
Number of nodes on Stage 7: 1248
Number of elements on Stage 8: 2424
Number of nodes on Stage 8: 1266
Number of elements on Stage 9: 2442
Number of nodes on Stage 9: 1275
Number of elements on Stage 10: 2462
Number of nodes on Stage 10: 1285
Number of elements on Stage 11: 2462
Number of nodes on Stage 11: 1285

Reset Displacements

Displacements reset after: Stage 1

Material Properties

Material: MATERIALE INERTE
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: 29.25 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Material type: Plastic
Dilation Angle: 0 degrees
Residual Friction Angle: 29.25 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa
Stage 1: Piezo to use: None
Hu Type: Auto
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): 0.426

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

Effective stress ratio (horizontal/vertical out-of-plane): 0.426
Locked-in horizontal stress (in-plane): 0
Locked-in horizontal stress (out-of-plane): 0

Material: ROCCIE GRANITICHE

Initial element loading: field stress & body force
Unit weight: 22 kN/m³
Elastic type: isotropic
Young's modulus: 600000 kPa
Poisson's ratio: 0.3
Failure criterion: Mohr-Coulomb
Tensile strength: 0 kPa
Peak friction angle: 32 degrees
Peak cohesion: 80 kPa
Material type: Plastic
Dilation Angle: 2 degrees
Residual Friction Angle: 32 degrees
Residual Cohesion: 80 kPa
Stage 1: Piezo to use: None
Hu Type: Auto
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): 0.385
Effective stress ratio (horizontal/vertical out-of-plane): 0.385
Locked-in horizontal stress (in-plane): 0
Locked-in horizontal stress (out-of-plane): 0

Material: DEPOSITI ALLUVIONALI

Initial element loading: field stress & body force
Unit weight: 18 kN/m³
Elastic type: isotropic
Young's modulus: 20000 kPa
Poisson's ratio: 0.3
Failure criterion: Mohr-Coulomb
Tensile strength: 0 kPa
Peak friction angle: 24.8 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Material type: Plastic
Dilation Angle: 0 degrees
Residual Friction Angle: 24.8 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): 0.5
Effective stress ratio (horizontal/vertical out-of-plane): 0.5
Locked-in horizontal stress (in-plane): 0
Locked-in horizontal stress (out-of-plane): 0

Material: MATERIALE DI RISULTA

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

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
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

List of All Coordinates

External boundary

37.276 75.793
35.211 75.850
31.280 75.851
24.023 81.694
20.067 84.939
15.026 89.074
7.907 89.062
7.656 89.059
6.416 89.042
0.000 88.983
0.000 85.995
0.000 0.000
152.093 -0.000
152.093 28.339
152.093 35.410
132.907 39.024
119.635 41.796
118.511 42.546
114.262 45.378
111.135 45.378
110.261 45.378
109.149 46.120
108.415 46.609
105.984 48.229
105.761 48.378
103.602 49.818
102.593 50.490
101.261 51.378

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

97.881 51.378
92.629 54.878
90.629 56.212
87.377 58.378
84.623 58.378
83.376 58.378
78.875 61.378
77.204 62.492
74.376 64.378
70.374 64.378
65.873 67.378
64.292 68.432
61.371 70.378
44.757 70.378

Material boundary

44.757 70.378
48.902 67.378
53.046 64.378
57.191 61.378
58.639 60.330
61.007 58.796
61.863 58.378
68.877 54.952
69.148 54.878
82.085 51.378
84.195 50.807
90.805 49.417
92.627 48.378
93.567 47.843
96.814 46.274
100.562 42.497
105.292 39.581
113.684 35.806
121.917 33.468
138.486 30.264
152.093 28.339

Material boundary

20.067 84.939
0.000 85.995

Material boundary

119.635 41.796
117.466 42.249
102.203 45.198
101.300 45.378
96.814 46.274

Material boundary

101.300 45.378
110.261 45.378

Material boundary

82.085 51.378

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

97.881 51.378

Material boundary

61.863 58.378

83.376 58.378

Material boundary

53.046 64.378

70.374 64.378

Material boundary

48.902 67.378

65.873 67.378

Material boundary

57.191 61.378

78.875 61.378

Material boundary

69.148 54.878

92.629 54.878

Material boundary

92.627 48.378

105.761 48.378

SSR Search Area

41.297 31.943

124.565 31.943

124.565 79.809

41.297 79.809

11.4 Sezione 4 - tabulato di output

Strength Reduction Factor: 1

Converged: yes

Material: MATERIALE INERTE

Peak friction angle: 29.25 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 29.25 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: ROCCIE GRANITICHE

Peak friction angle: 32 degrees

Peak cohesion: 80 kPa

Residual Friction Angle: 32 degrees

Residual Cohesion: 80 kPa

Material: DEPOSITI ALLUVIONALI

Peak friction angle: 24.8 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 24.8 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: MATERIALE DI RISULTA

Peak friction angle: 26.56 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

Residual Friction Angle: 26.56 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa

Strength Reduction Factor: 1.12

Converged: yes

Material: MATERIALE INERTE

Peak friction angle: 26.5662 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 26.5662 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa

Material: ROCCIE GRANITICHE

Peak friction angle: 29.158 degrees
Peak cohesion: 71.4286 kPa
Residual Friction Angle: 29.158 degrees
Residual Cohesion: 71.4286 kPa

Material: DEPOSITI ALLUVIONALI

Peak friction angle: 22.419 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 22.419 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa

Material: MATERIALE DI RISULTA

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

Strength Reduction Factor: 1.18

Converged: yes

Material: MATERIALE INERTE

Peak friction angle: 25.389 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 25.389 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa

Material: ROCCIE GRANITICHE

Peak friction angle: 27.9035 degrees
Peak cohesion: 67.7966 kPa
Residual Friction Angle: 27.9035 degrees
Residual Cohesion: 67.7966 kPa

Material: DEPOSITI ALLUVIONALI

Peak friction angle: 21.3843 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 21.3843 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa

Material: MATERIALE DI RISULTA

Peak friction angle: 22.9592 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 22.9592 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa

Strength Reduction Factor: 1.19

Converged: yes

Material: MATERIALE INERTE

Peak friction angle: 25.2022 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 25.2022 degrees

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: ROCCIE GRANITICHE

Peak friction angle: 27.704 degrees

Peak cohesion: 67.2269 kPa

Residual Friction Angle: 27.704 degrees

Residual Cohesion: 67.2269 kPa

Material: DEPOSITI ALLUVIONALI

Peak friction angle: 21.2207 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 21.2207 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: MATERIALE DI RISULTA

Peak friction angle: 22.7861 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 22.7861 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Critical Strength Reduction Factor: 1.2

Converged: yes

Material: MATERIALE INERTE

Peak friction angle: 25.0179 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 25.0179 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: ROCCIE GRANITICHE

Peak friction angle: 27.5071 degrees

Peak cohesion: 66.6667 kPa

Residual Friction Angle: 27.5071 degrees

Residual Cohesion: 66.6667 kPa

Material: DEPOSITI ALLUVIONALI

Peak friction angle: 21.0594 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 21.0594 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: MATERIALE DI RISULTA

Peak friction angle: 22.6154 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 22.6154 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Strength Reduction Factor: 1.21

Converged: no

Material: MATERIALE INERTE

Peak friction angle: 24.8362 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 24.8362 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: ROCCIE GRANITICHE

Peak friction angle: 27.3128 degrees

Peak cohesion: 66.1157 kPa

Residual Friction Angle: 27.3128 degrees

Residual Cohesion: 66.1157 kPa

Material: DEPOSITI ALLUVIONALI

Peak friction angle: 20.9004 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

Residual Friction Angle: 20.9004 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa
Material: MATERIALE DI RISULTA
Peak friction angle: 22.4471 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 22.4471 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa

Strength Reduction Factor: 1.25

Converged: no
Material: MATERIALE INERTE
Peak friction angle: 24.1334 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 24.1334 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa

Material: ROCCIE GRANITICHE
Peak friction angle: 26.5603 degrees
Peak cohesion: 64 kPa
Residual Friction Angle: 26.5603 degrees
Residual Cohesion: 64 kPa

Material: DEPOSITI ALLUVIONALI
Peak friction angle: 20.2869 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 20.2869 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa

Material: MATERIALE DI RISULTA
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

Converged: no
Material: MATERIALE INERTE
Peak friction angle: 20.4732 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 20.4732 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa

Material: ROCCIE GRANITICHE
Peak friction angle: 22.6156 degrees
Peak cohesion: 53.3333 kPa
Residual Friction Angle: 22.6156 degrees
Residual Cohesion: 53.3333 kPa

Material: DEPOSITI ALLUVIONALI
Peak friction angle: 17.1211 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 17.1211 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa

Material: MATERIALE DI RISULTA
Peak friction angle: 18.4312 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 18.4312 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

Areas of Excavated and Filled Elements

Stage 2

Material: MATERIALE INERTE, Area Filled: 22.994 m2

Stage 3

Material: MATERIALE INERTE, Area Filled: 36.121 m2

Stage 4

Material: MATERIALE INERTE, Area Filled: 46.144 m2

Stage 5

Material: MATERIALE INERTE, Area Filled: 68.735 m2

Stage 6

Material: MATERIALE INERTE, Area Filled: 85.950 m2

Stage 7

Material: MATERIALE INERTE, Area Filled: 65.234 m2

Stage 8

Material: MATERIALE INERTE, Area Filled: 64.519 m2

Stage 9

Material: MATERIALE INERTE, Area Filled: 51.450 m2

Stage 10

Material: MATERIALE INERTE, Area Filled: 50.379 m2

Excavation Areas

Original Un-deformed Areas

External Boundary Area: 9350.417 m2

External Boundary Perimeter: 444.311 m

Stage 1

External Boundary Area: 9350.417 m2 (0 m2 change from original area)

External Boundary Perimeter: 444.311 m (0 m change from original perimeter)

Stage 2

External Boundary Area: 9350.335 m2 (-0.0817027 m2 change from original area)

External Boundary Perimeter: 444.311 m (0.000151905 m change from original perimeter)

Stage 3

External Boundary Area: 9350.290 m2 (-0.127455 m2 change from original area)

External Boundary Perimeter: 444.313 m (0.00240774 m change from original perimeter)

Stage 4

External Boundary Area: 9350.201 m2 (-0.215965 m2 change from original area)

External Boundary Perimeter: 444.312 m (0.000939941 m change from original perimeter)

Stage 5

External Boundary Area: 9350.151 m2 (-0.265603 m2 change from original area)

External Boundary Perimeter: 444.313 m (0.00209865 m change from original perimeter)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

Stage 6

External Boundary Area: 9350.045 m² (-0.37234 m² change from original area)
External Boundary Perimeter: 444.313 m (0.0023159 m change from original perimeter)

Stage 7

External Boundary Area: 9349.991 m² (-0.425857 m² change from original area)
External Boundary Perimeter: 444.315 m (0.00390497 m change from original perimeter)

Stage 8

External Boundary Area: 9349.872 m² (-0.545194 m² change from original area)
External Boundary Perimeter: 444.315 m (0.00477721 m change from original perimeter)

Stage 9

External Boundary Area: 9349.807 m² (-0.610025 m² change from original area)
External Boundary Perimeter: 444.317 m (0.00680245 m change from original perimeter)

Stage 10

External Boundary Area: 9349.614 m² (-0.802968 m² change from original area)
External Boundary Perimeter: 444.312 m (0.00122221 m change from original perimeter)

Stage 11

External Boundary Area: 9349.562 m² (-0.854778 m² change from original area)
External Boundary Perimeter: 444.280 m (-0.0304695 m change from original perimeter)

Yielded Elements

Yielded Mesh Elements

Number of yielded mesh elements on Stage 1: 71
Number of yielded mesh elements on Stage 2: 98
Number of yielded mesh elements on Stage 3: 110
Number of yielded mesh elements on Stage 4: 137
Number of yielded mesh elements on Stage 5: 153
Number of yielded mesh elements on Stage 6: 163
Number of yielded mesh elements on Stage 7: 176
Number of yielded mesh elements on Stage 8: 203
Number of yielded mesh elements on Stage 9: 227
Number of yielded mesh elements on Stage 10: 242
Number of yielded mesh elements on Stage 11: 359

11.5 Sezione 9 - tabulato di input

Document Name

Sezione9_stabilità_sisma.fe3

Project Settings

General

Project Title: Project1
Number of Stages: 9
Analysis Type: Plane Strain
Solver Type: Gaussian Elimination

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

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: 120.087

maxx: 241.965

miny: 19.858

maxy: 60.51

Accelerate SSR Analysis: Yes

Convergence Parameters: Automatic

Seismic Loading

Horizontal seismic load coefficient: 0.096 (positive to the right)

Vertical seismic load coefficient: -0.0144 (positive up)

Seismic load applied in: Stage 9

Mesh

Mesh type: uniform

Element type: 3 noded triangles

Number of elements on Stage 1: 2148

Number of nodes on Stage 1: 1140

Number of elements on Stage 2: 2176

Number of nodes on Stage 2: 1154

Number of elements on Stage 3: 2224

Number of nodes on Stage 3: 1178

Number of elements on Stage 4: 2296

Number of nodes on Stage 4: 1214

Number of elements on Stage 5: 2387

Number of nodes on Stage 5: 1258

Number of elements on Stage 6: 2484

Number of nodes on Stage 6: 1306

Number of elements on Stage 7: 2581

Number of nodes on Stage 7: 1355

Number of elements on Stage 8: 2697

Number of nodes on Stage 8: 1415

Number of elements on Stage 9: 2697

Number of nodes on Stage 9: 1415

Reset Displacements

Displacements reset after: Stage 1

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

Material Properties

Material: MATERIALE INERTE

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: 29.25 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Material type: Plastic

Dilation Angle: 0 degrees

Residual Friction Angle: 29.25 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Stage 1: Piezo to use: None

Hu Type: Auto

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): 0.426

Effective stress ratio (horizontal/vertical out-of-plane): 0.426

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

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

Material: ROCCIE GRANITICHE

Initial element loading: field stress & body force

Unit weight: 22 kN/m³

Elastic type: isotropic

Young's modulus: 600000 kPa

Poisson's ratio: 0.3

Failure criterion: Mohr-Coulomb

Tensile strength: 0 kPa

Peak friction angle: 32 degrees

Peak cohesion: 80 kPa

Material type: Plastic

Dilation Angle: 2 degrees

Residual Friction Angle: 32 degrees

Residual Cohesion: 80 kPa

Stage 1: Piezo to use: None

Hu Type: Auto

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): 0.385

Effective stress ratio (horizontal/vertical out-of-plane): 0.385

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

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

Material: DEPOSITI ALLUVIONALI

Initial element loading: field stress & body force

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

Unit weight: 18 kN/m³
Elastic type: isotropic
Young's modulus: 20000 kPa
Poisson's ratio: 0.3
Failure criterion: Mohr-Coulomb
Tensile strength: 0 kPa
Peak friction angle: 24.8 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Material type: Plastic
Dilation Angle: 0 degrees
Residual Friction Angle: 24.8 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): 0.5
Effective stress ratio (horizontal/vertical out-of-plane): 0.5
Locked-in horizontal stress (in-plane): 0
Locked-in horizontal stress (out-of-plane): 0

Material: DEPOSITI MARINI
Initial element loading: field stress & body force
Unit weight: 19 kN/m³
Elastic type: isotropic
Young's modulus: 25000 kPa
Poisson's ratio: 0.3
Failure criterion: Mohr-Coulomb
Tensile strength: 0 kPa
Peak friction angle: 23 degrees
Peak cohesion: 8 kPa
Material type: Plastic
Dilation Angle: 0 degrees
Residual Friction Angle: 23 degrees
Residual Cohesion: 8 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): 0.53
Effective stress ratio (horizontal/vertical out-of-plane): 0.53
Locked-in horizontal stress (in-plane): 0
Locked-in horizontal stress (out-of-plane): 0

List of All Coordinates

External boundary
224.800 32.818
223.052 33.984
219.052 33.984
215.935 36.062

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

214.505	37.015
210.052	39.984
208.363	39.984
206.052	39.984
201.396	43.088
200.677	43.567
197.052	45.984
193.052	45.984
191.188	47.208
190.094	47.926
188.434	49.019
186.857	50.087
185.919	50.593
184.052	51.984
166.076	51.984
164.220	51.984
161.782	51.984
98.985	51.984
82.797	51.984
57.982	51.984
55.486	52.826
53.582	54.035
50.044	54.245
40.913	55.329
32.781	60.408
20.771	69.417
4.246	80.480
0.000	83.360
0.000	0.000
169.841	0.000
260.503	0.000
260.503	10.599
260.503	27.766
259.915	27.716
251.968	28.108
251.378	28.166
249.987	28.256
244.957	28.897
243.198	29.080
239.581	29.607
238.619	29.769
234.703	30.145
231.997	30.168
230.746	30.188
228.776	30.168

Material boundary

169.841	0.000
153.021	25.122
150.946	28.220
129.426	32.562
115.615	36.034
105.831	39.257
100.788	40.830
92.864	43.088

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

Material boundary

260.503	10.599
249.488	12.185
232.333	15.083
212.777	18.703
190.047	22.334
153.021	25.122

Material boundary

57.982	51.984
66.771	49.019
75.501	46.074
76.097	45.984
76.316	45.951
77.019	45.837
92.864	43.088
94.526	42.800
107.962	41.074
116.967	40.078
118.476	39.984
120.769	39.842
146.694	37.893
150.496	37.534
155.404	37.015
172.351	35.225
180.144	34.283
183.156	33.984
184.314	33.869
203.129	32.085
226.426	30.144
228.776	30.168

Material boundary

219.052	33.984
183.156	33.984

Material boundary

206.052	39.984
118.476	39.984

Material boundary

193.052	45.984
76.097	45.984

Material boundary

201.396	43.088
92.864	43.088

Material boundary

214.505	37.015
155.404	37.015

Material boundary

188.434	49.019
---------	--------

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

66.771 49.019

SSR Search Area

120.087	19.858
241.965	19.858
241.965	60.510
120.087	60.510

11.6 Sezione 9 - tabulato di output

Shear Strength Reduction - Material Properties

Strength Reduction Factor: 1

Converged: yes

Material: MATERIALE INERTE

Peak friction angle: 29.25 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 29.25 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: ROCCIE GRANITICHE

Peak friction angle: 32 degrees

Peak cohesion: 80 kPa

Residual Friction Angle: 32 degrees

Residual Cohesion: 80 kPa

Material: DEPOSITI ALLUVIONALI

Peak friction angle: 24.8 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 24.8 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: DEPOSITI MARINI

Peak friction angle: 23 degrees

Peak cohesion: 8 kPa

Residual Friction Angle: 23 degrees

Residual Cohesion: 8 kPa

Strength Reduction Factor: 1.25

Converged: yes

Material: MATERIALE INERTE

Peak friction angle: 24.1334 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 24.1334 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: ROCCIE GRANITICHE

Peak friction angle: 26.5603 degrees

Peak cohesion: 64 kPa

Residual Friction Angle: 26.5603 degrees

Residual Cohesion: 64 kPa

Material: DEPOSITI ALLUVIONALI

Peak friction angle: 20.2869 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 20.2869 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: DEPOSITI MARINI

Peak friction angle: 18.7565 degrees

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

Peak cohesion: 6.4 kPa
Residual Friction Angle: 18.7565 degrees
Residual Cohesion: 6.4 kPa

Strength Reduction Factor: 1.26

Converged: yes

Material: MATERIALE INERTE

Peak friction angle: 23.9635 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 23.9635 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: ROCCIE GRANITICHE

Peak friction angle: 26.3781 degrees

Peak cohesion: 63.4921 kPa

Residual Friction Angle: 26.3781 degrees

Residual Cohesion: 63.4921 kPa

Material: DEPOSITI ALLUVIONALI

Peak friction angle: 20.1389 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 20.1389 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: DEPOSITI MARINI

Peak friction angle: 18.6179 degrees

Peak cohesion: 6.34921 kPa

Residual Friction Angle: 18.6179 degrees

Residual Cohesion: 6.34921 kPa

Strength Reduction Factor: 1.31

Converged: yes

Material: MATERIALE INERTE

Peak friction angle: 23.1468 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 23.1468 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: ROCCIE GRANITICHE

Peak friction angle: 25.5011 degrees

Peak cohesion: 61.0687 kPa

Residual Friction Angle: 25.5011 degrees

Residual Cohesion: 61.0687 kPa

Material: DEPOSITI ALLUVIONALI

Peak friction angle: 19.4288 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 19.4288 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: DEPOSITI MARINI

Peak friction angle: 17.9537 degrees

Peak cohesion: 6.10687 kPa

Residual Friction Angle: 17.9537 degrees

Residual Cohesion: 6.10687 kPa

Strength Reduction Factor: 1.32

Converged: yes

Material: MATERIALE INERTE

Peak friction angle: 22.9897 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

Residual Friction Angle: 22.9897 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: ROCCIE GRANITICHE

Peak friction angle: 25.3322 degrees

Peak cohesion: 60.6061 kPa

Residual Friction Angle: 25.3322 degrees

Residual Cohesion: 60.6061 kPa

Material: DEPOSITI ALLUVIONALI

Peak friction angle: 19.2926 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 19.2926 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: DEPOSITI MARINI

Peak friction angle: 17.8263 degrees

Peak cohesion: 6.06061 kPa

Residual Friction Angle: 17.8263 degrees

Residual Cohesion: 6.06061 kPa

Critical Strength Reduction Factor: 1.33

Converged: yes

Material: MATERIALE INERTE

Peak friction angle: 22.8346 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 22.8346 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: ROCCIE GRANITICHE

Peak friction angle: 25.1654 degrees

Peak cohesion: 60.1504 kPa

Residual Friction Angle: 25.1654 degrees

Residual Cohesion: 60.1504 kPa

Material: DEPOSITI ALLUVIONALI

Peak friction angle: 19.1581 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 19.1581 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: DEPOSITI MARINI

Peak friction angle: 17.7007 degrees

Peak cohesion: 6.01504 kPa

Residual Friction Angle: 17.7007 degrees

Residual Cohesion: 6.01504 kPa

Strength Reduction Factor: 1.34

Converged: no

Material: MATERIALE INERTE

Peak friction angle: 22.6815 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 22.6815 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: ROCCIE GRANITICHE

Peak friction angle: 25.0006 degrees

Peak cohesion: 59.7015 kPa

Residual Friction Angle: 25.0006 degrees

Residual Cohesion: 59.7015 kPa

Material: DEPOSITI ALLUVIONALI

Peak friction angle: 19.0254 degrees

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 19.0254 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa
Material: DEPOSITI MARINI
Peak friction angle: 17.5768 degrees
Peak cohesion: 5.97015 kPa
Residual Friction Angle: 17.5768 degrees
Residual Cohesion: 5.97015 kPa

Strength Reduction Factor: 1.37
Converged: no
Material: MATERIALE INERTE
Peak friction angle: 22.2337 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 22.2337 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa
Material: ROCCIE GRANITICHE
Peak friction angle: 24.5182 degrees
Peak cohesion: 58.3942 kPa
Residual Friction Angle: 24.5182 degrees
Residual Cohesion: 58.3942 kPa
Material: DEPOSITI ALLUVIONALI
Peak friction angle: 18.6379 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 18.6379 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa
Material: DEPOSITI MARINI
Peak friction angle: 17.2148 degrees
Peak cohesion: 5.83942 kPa
Residual Friction Angle: 17.2148 degrees
Residual Cohesion: 5.83942 kPa

Strength Reduction Factor: 1.5
Converged: no
Material: MATERIALE INERTE
Peak friction angle: 20.4732 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 20.4732 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa
Material: ROCCIE GRANITICHE
Peak friction angle: 22.6156 degrees
Peak cohesion: 53.3333 kPa
Residual Friction Angle: 22.6156 degrees
Residual Cohesion: 53.3333 kPa
Material: DEPOSITI ALLUVIONALI
Peak friction angle: 17.1211 degrees
Peak cohesion: 0 kPa
Residual Friction Angle: 17.1211 degrees
Residual Cohesion: 0 kPa
Material: DEPOSITI MARINI
Peak friction angle: 15.8006 degrees
Peak cohesion: 5.33333 kPa
Residual Friction Angle: 15.8006 degrees
Residual Cohesion: 5.33333 kPa

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

Strength Reduction Factor: 1.75

Converged: no

Material: MATERIALE INERTE

Peak friction angle: 17.7455 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 17.7455 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: ROCCIE GRANITICHE

Peak friction angle: 19.65 degrees

Peak cohesion: 45.7143 kPa

Residual Friction Angle: 19.65 degrees

Residual Cohesion: 45.7143 kPa

Material: DEPOSITI ALLUVIONALI

Peak friction angle: 14.7907 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 14.7907 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: DEPOSITI MARINI

Peak friction angle: 13.6342 degrees

Peak cohesion: 4.57143 kPa

Residual Friction Angle: 13.6342 degrees

Residual Cohesion: 4.57143 kPa

Areas of Excavated and Filled Elements

Stage 2

Material: MATERIALE INERTE, Area Filled: 83.943 m2

Stage 3

Material: MATERIALE INERTE, Area Filled: 143.379 m2

Stage 4

Material: MATERIALE INERTE, Area Filled: 219.901 m2

Stage 5

Material: MATERIALE INERTE, Area Filled: 307.531 m2

Stage 6

Material: MATERIALE INERTE, Area Filled: 332.221 m2

Stage 7

Material: MATERIALE INERTE, Area Filled: 362.578 m2

Stage 8

Material: MATERIALE INERTE, Area Filled: 367.091 m2

Excavation Areas

Original Un-deformed Areas

External Boundary Area: 13057.640 m2

External Boundary Perimeter: 648.148 m

Stage 1

External Boundary Area: 13057.640 m2 (0 m2 change from original area)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
CRA 3 – RELAZIONE GEOTECNICA E VERIFICHE DI STABILITA'		<i>Codice documento</i> CG1400PRBVCCZC4SD20000001	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 08/06/2012

External Boundary Perimeter: 648.148 m (0 m change from original perimeter)

Stage 2

External Boundary Area: 13057.079 m² (-0.560844 m² change from original area)
External Boundary Perimeter: 648.164 m (0.0165447 m change from original perimeter)

Stage 3

External Boundary Area: 13056.737 m² (-0.902377 m² change from original area)
External Boundary Perimeter: 648.173 m (0.0251169 m change from original perimeter)

Stage 4

External Boundary Area: 13056.255 m² (-1.38437 m² change from original area)
External Boundary Perimeter: 648.182 m (0.0340919 m change from original perimeter)

Stage 5

External Boundary Area: 13056.065 m² (-1.57462 m² change from original area)
External Boundary Perimeter: 648.189 m (0.0410413 m change from original perimeter)

Stage 6

External Boundary Area: 13055.711 m² (-1.92911 m² change from original area)
External Boundary Perimeter: 648.196 m (0.04841 m change from original perimeter)

Stage 7

External Boundary Area: 13055.548 m² (-2.0918 m² change from original area)
External Boundary Perimeter: 648.202 m (0.0548003 m change from original perimeter)

Stage 8

External Boundary Area: 13051.889 m² (-5.75049 m² change from original area)
External Boundary Perimeter: 648.184 m (0.0364679 m change from original perimeter)

Stage 9

External Boundary Area: 13049.639 m² (-8.00132 m² change from original area)
External Boundary Perimeter: 648.168 m (0.0208261 m change from original perimeter)

Yielded Elements

Yielded Mesh Elements

Number of yielded mesh elements on Stage 1: 88
Number of yielded mesh elements on Stage 2: 99
Number of yielded mesh elements on Stage 3: 138
Number of yielded mesh elements on Stage 4: 215
Number of yielded mesh elements on Stage 5: 283
Number of yielded mesh elements on Stage 6: 335
Number of yielded mesh elements on Stage 7: 390
Number of yielded mesh elements on Stage 8: 426
Number of yielded mesh elements on Stage 9: 541