

# PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA



## PROGETTO DEFINITIVO

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

IMPREGILO S.p.A. (MANDATARIA)


SOCIETÀ ITALIANA PER CONDOTTE D'ACQUA S.p.A. (MANDANTE)

COOPERATIVA MURATORI E CEMENTISTI - C.M.C. DI RAVENNA SOC. COOP. A.R.L. (MANDANTE)

SACYR S.A.U. (MANDANTE)

ISHIKAWAJIMA - HARIMA HEAVY INDUSTRIES CO. LTD (MANDANTE)

A.C.I. S.C.P.A. - CONSORZIO STABILE (MANDANTE)

<p>IL PROGETTISTA <b>PROGLOBAL</b> Dott. Ing. B. Polifroni Ordine Ingegneri Reggio Calabria n° A1845 Dott. Ing. E. Pagani Ordine Ingegneri Milano n° 15408</p> 	<p>IL CONTRAENTE GENERALE  Project Manager (Ing. P.P. Marcheselli)</p>	<p>STRETTO DI MESSINA Direttore Generale e RUP Validazione (Ing. G. Fiammenghi)</p>	<p>STRETTO DI MESSINA  Amministratore Delegato (Dott. P. Ciucci)</p>
--	--	---	--

<p><i>Unità Funzionale</i> COLLEGAMENTI VERSANTE CALABRIA <i>Tipo di sistema</i> CANTIERI <i>Raggruppamento di opere/attività</i> SITI DI STOCCAGGIO - CAVE <i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i> SITI DI RECUPERO AMBIENTALE – SD.19 <i>Titolo del documento</i> CRA1- RELAZIONE GEOTECNICA, VERIFICA DI STABILITA' E RIULTATI DELLE INDAGINI</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">CZ0154_F0</div>
--	--

CODICE	<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">C</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">G</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">4</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">P</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">R</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">B</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">D</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">C</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">C</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Z</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">C</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">4</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">S</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">D</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">9</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">1</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">F</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;">0</div> </div>
--------	---

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
F0	20/06/2011	EMISSIONE FINALE	ZANGHI'	G. POLIFRONI	B. POLIFRONI



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>CRA1 - RELAZIONE GEOTECNICA, VERIFICA DI STABILITA' E RISULTATI DELLE INDAGINI</b>	<i>Codice documento</i> CZ0154_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

## INDICE

1. Introduzione .....	5
2. Normativa di riferimento .....	7
3. Inquadramento geologico.....	7
4. Indagini geognostiche .....	7
5. Caratterizzazione geotecnica .....	11
5.1 Stato iniziale materiali .....	12
5.2 Stima delle caratteristiche meccaniche.....	13
6. Pericolosità sismica.....	13
7. Fasi costruttive.....	16
8. Modello di calcolo .....	16
9. Risultati di calcolo .....	18
10. Tabulati di calcolo.....	25
10.1 Tabulato di input.....	25
10.2 Tabulato di output.....	31
11. Risultati delle indagini.....	37
12. Sondaggi meccanici a carotaggio continuo.....	39
13. Prove penetrometriche dinamiche SPT .....	39
14. Prove penetrometriche dinamiche pesanti.....	41
15. Indagine sismica.....	43
15.1 Prospezione sismica a rifrazione ad onde (P).....	43
15.2 Interpretazione multichannel analysis of surface waves (MASW) .....	43
16. Allegati .....	45



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>CRA1 - RELAZIONE GEOTECNICA, VERIFICA DI STABILITA' E RISULTATI DELLE INDAGINI</b>	<i>Codice documento</i> CZ0154_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

## 1. Introduzione

La presente relazione riguarda le indagini geotecniche, la caratterizzazione fisico meccanica del volume di terreno, e le problematiche connesse con la progettazione del deposito di materiale inerte denominato "CRA1", che sorgerà in località Valle di Gullo nel comune di Melicuccà, in provincia di Reggio Calabria (Fig.1.1).

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 la sezione che permette di individuare le principali configurazioni critiche del deposito (Fig.1.2)

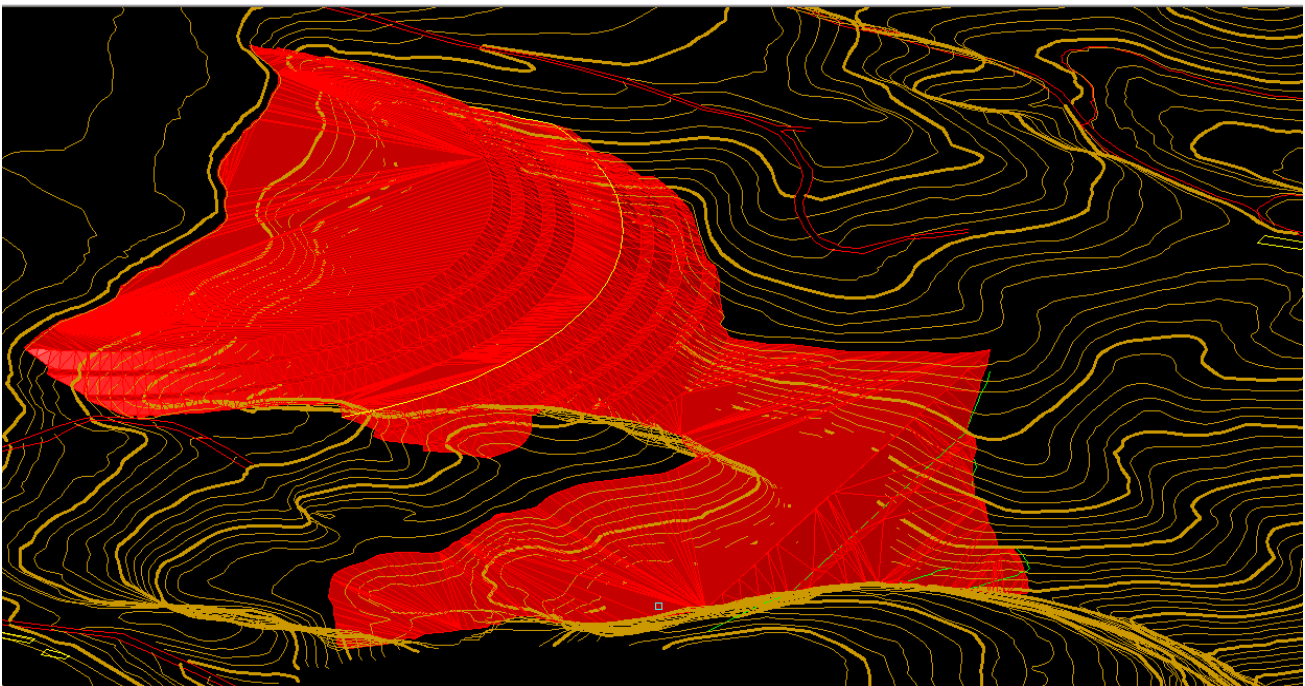


Figura 1.1 : Modello tridimensionale a curve di livello del deposito "CRA1"

Per quanto riguarda gli aspetti litologici, geologici ed idrogeologici dei siti trattati si fa riferimento 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 CG0800PRGDCSBC6G000000001;

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>CRA1 - RELAZIONE GEOTECNICA, VERIFICA DI STABILITA' E RISULTATI DELLE INDAGINI</b>	<i>Codice documento</i> CZ0154_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

**Geotecnica:** Relazione Geotecnica generale

- per la Calabria CG0800PRBDCSBC8G000000001;

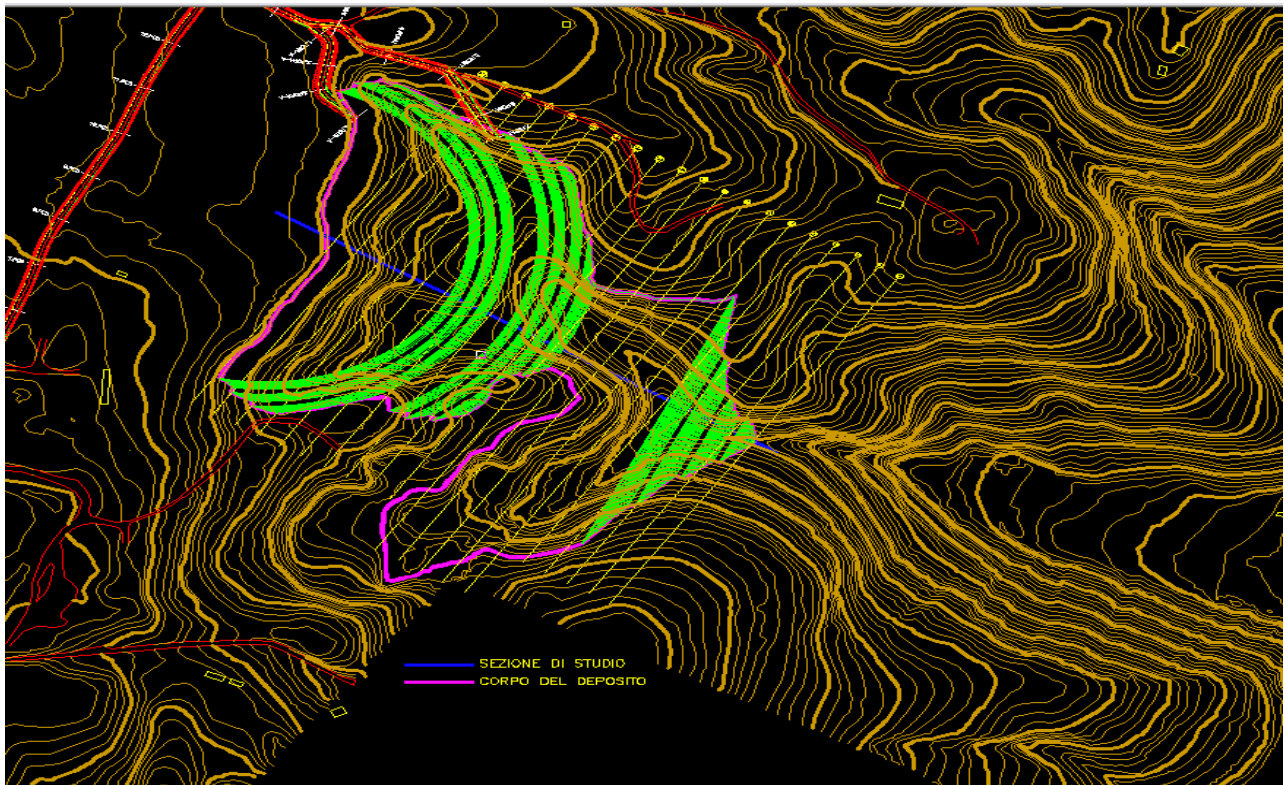


Figura 1.2 : Planimetria del deposito "CRA1" con indicazione della sezione di calcolo

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.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>CRA1 - RELAZIONE GEOTECNICA, VERIFICA DI STABILITA' E RISULTATI DELLE INDAGINI</b>	<i>Codice documento</i> CZ0154_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

## 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

Il sito interessato dall’intervento di realizzazione del deposito è caratterizzato da diversi litotipi. Nelle prossimità del bacino idrografico oggetto di riempimento, per un’area circoscritta, sono stati rilevati depositi colluviali di materiale alluvionale di natura sabbiosa. Localmente sono stati ritrovati anche depositi alluvionali composti da sabbia, ghiaia e ciottoli granitici di spessore 10 cm, legati al deflusso transitorio che si genera nel talweg, in occasione di eventi piovosi a carattere eccezionale. Le indagini eseguite hanno classificato tali terreni come “argille debolmente limose”.

Nella maggiore parte dell’area di stoccaggio sono state, invece, identificate formazioni sabbiose grossolane, localmente ghiaiose, con caratteristiche di permeabilità medio-alta.

Il substrato cristallino, che affiora limitatamente all’interno del bacino, è costituito da rocce molto fratturate e degradate, riconducibili localmente ad un sabbione compatto.

Le caratteristiche geotecniche di tali formazioni risultano ottime, ad eccezione delle aree in cui l’entità di fatturazione e di alterazione risulta particolarmente significativa. La permeabilità di questo strato è medio-bassa. Per maggiori dettagli si rimanda alla relazione geologica.


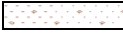


## 4. Indagini geognostiche

Sulla base di quanto descritto nella relazione geologica, sono state progettate una campagna di indagini geotecniche, finalizzate alla caratterizzazione dei parametri meccanici relativi al volume di terreno del deposito. In particolare sono state effettuate le seguenti prove:

- n. 6 prove penetrometriche dinamiche pesanti (DPSH)
- n.2 sondaggi a carotaggio continuo, spinti fino alla profondità di 25.00 m dal piano campagna, per la valutazione del profilo stratigrafico, e n. 3 prove SPT per foro per la determinazione delle caratteristiche geotecniche.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>CRA1 - RELAZIONE GEOTECNICA, VERIFICA DI STABILITA' E RISULTATI DELLE INDAGINI</b>	<i>Codice documento</i> CZ0154_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Le indagini riassumono quattro litotipi, rappresentati rispettivamente da:

-  Argilla debolmente limosa a consistenza molto soffice
-  Sabbia limosa con piccoli ciottoli, a consistenza mediamente densa
-  Sabbia limosa con piccoli ciottoli, a consistenza molto addensata
-  Roccia granitica molto fratturata ed alterata nella parte superficiale

Nella figura successiva è rappresentata la sezione litotecnica con il posizionamento delle indagini effettuate.

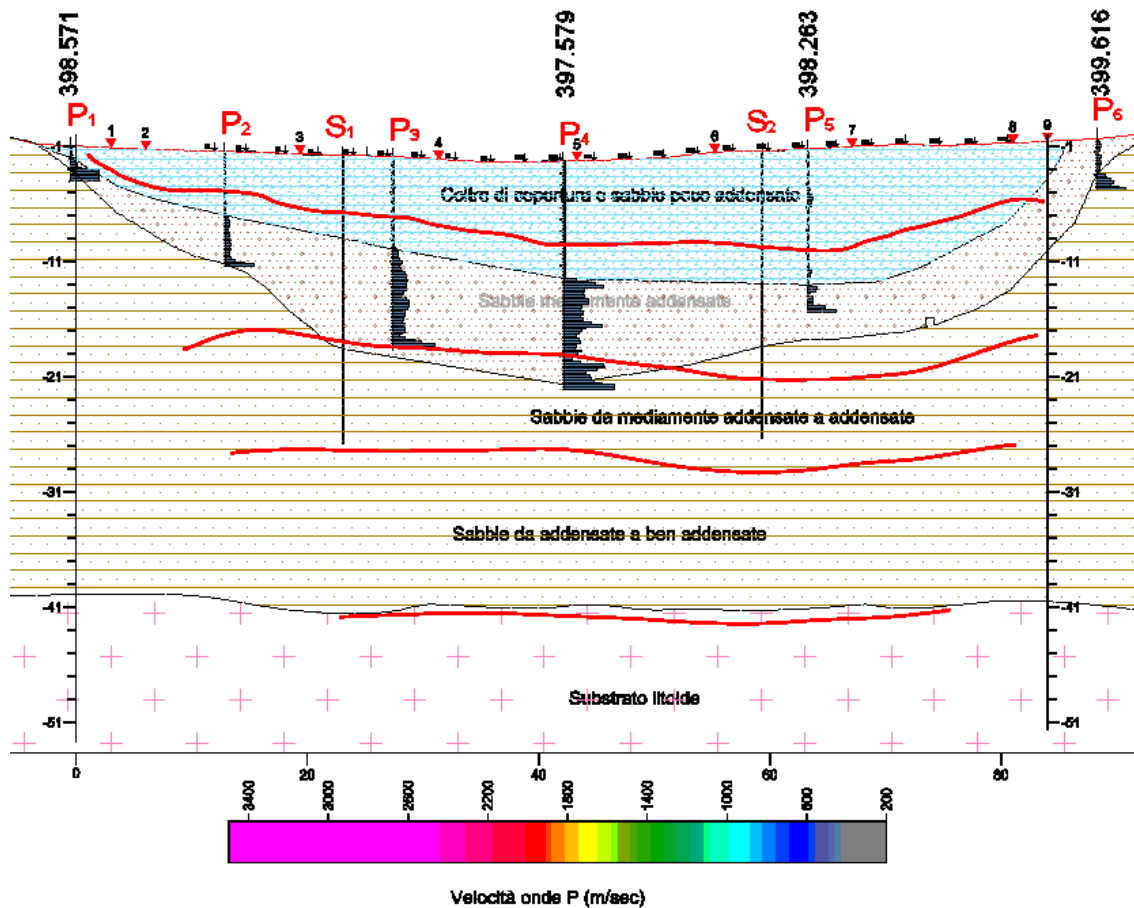


Figura 4.1 : Sezione litotecnica di riferimento con sovrapposizione del modello di velocità

Per quanto riguarda le indagini geofisiche è stato eseguito uno stendimento sismico, attraverso geofoni verticali per la misurazione della velocità di arrivo delle onde P, e la determinazione del profilo di velocità delle onde di taglio S, secondo la metodologia MASW.



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>CRA1 - RELAZIONE GEOTECNICA, VERIFICA DI STABILITA' E RISULTATI DELLE INDAGINI</b>	<i>Codice documento</i> CZ0154_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

La risultanza 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] :

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{v_i}} = 220 \text{ m/s}$$

Il suolo in esame è, quindi, stato assimilato alla categoria “C” (depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti).

Si riportano di seguito i due profili litostratigrafici investigati, dai quali si evince che la sezione C-C comprende i quattro i litotipi prima definiti, mentre nella sezione B-B (dove è previsto lo stoccaggio del materiale inerte) sono presenti solo gli ultimi due (sabbia limosa molto addensata e roccia granitica). Nei calcoli di stabilità si farà riferimento a quest’ultima sezione.

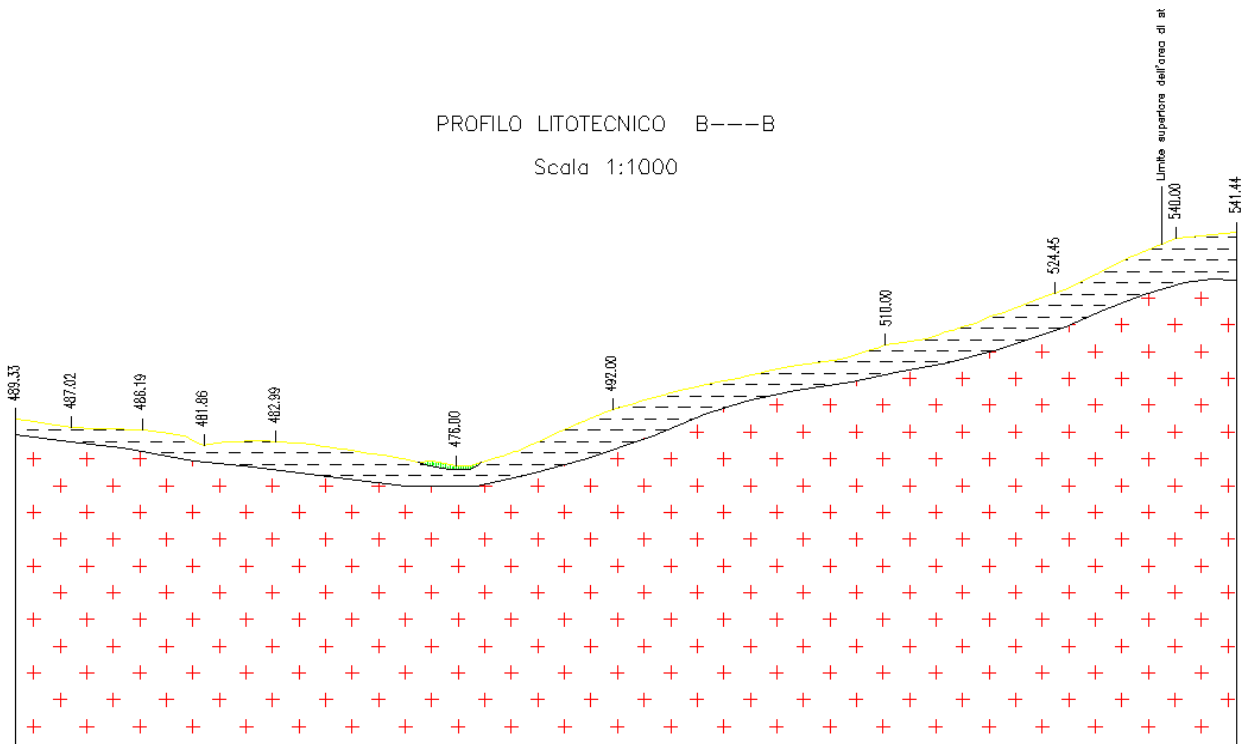


Figura 4.2 : Profilo litotecnico B-B- Deposito “CRA1”

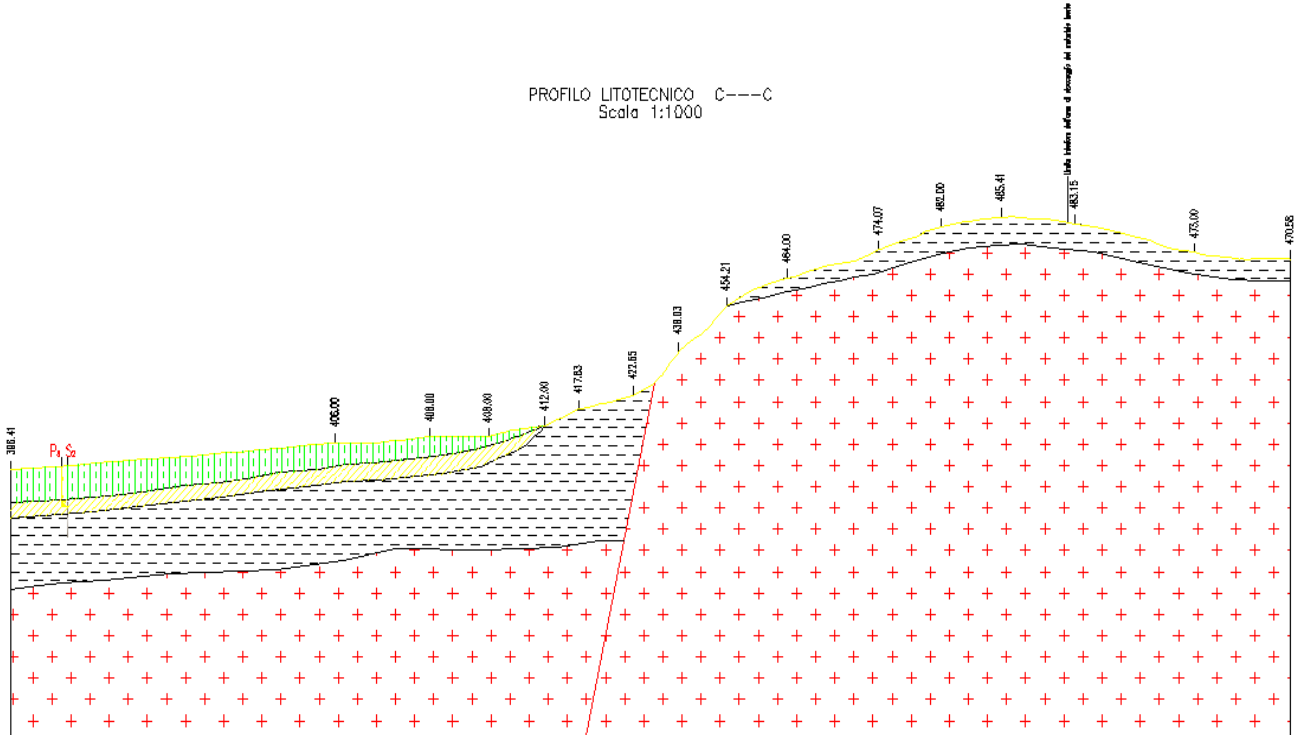


Figura 4.3 : Profilo litotecnico C-C- Deposito "CRA1"

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>CRA1 - RELAZIONE GEOTECNICA, VERIFICA DI STABILITA' E RISULTATI DELLE INDAGINI</b>		<i>Codice documento</i> CZ0154_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 5. Caratterizzazione geotecnica

La caratterizzazione geomeccanica dei litotipi individuati nell'area di intervento è stata effettuata in base alle risultanze delle DPSH e di quelle a carotaggio continuo.

Si riassumono i parametri geotecnici utilizzati nelle analisi:

- **Sabbia limosa con piccoli ciottoli, a consistenza molto densa**

$\gamma = 21.00 \text{ KN/m}^3$	peso di volume
$\gamma_s = 25.00 \text{ KN/m}^3$	peso di volume saturo
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione efficace
$\phi' = 38^\circ$	angolo di attrito
$E = 50000 \text{ kPa}$	modulo di Young
$\nu = 0.235$	coefficiente di Poisson

- **Roccia granitica molto fratturata e alterata nella parte superficiale**

$\gamma = 22.00 \text{ KN/m}^3$	peso di volume
$\gamma_s = 25.00 \text{ KN/m}^3$	peso di volume saturo
$c' = 100 \text{ kPa}$	coesione efficace
$\phi' = 35^\circ$	angolo di attrito
$E = 680000 \text{ kPa}$	modulo di Young
$\nu = 0.30$	coefficiente di Poisson

- **Materiale inerte (che costituirà il corpo del deposito)**

$\gamma = 19.00 \text{ KN/m}^3$	peso di volume
$\gamma_s = 20.00 \text{ KN/m}^3$	peso di volume saturo
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione efficace
$\phi' = 35^\circ$	angolo di attrito
$E = 50000 \text{ kPa}$	modulo di Young
$\nu = 0.30$	coefficiente di Poisson

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>CRA1 - RELAZIONE GEOTECNICA, VERIFICA DI STABILITA' E RISULTATI DELLE INDAGINI</b>	<i>Codice documento</i> CZ0154_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

## 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 risultano rispettivamente:

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

dove

- $\sigma'_H$  tensione orizzontale efficace;
- $\sigma'_V$  tensione verticale efficace;
- $k'$  coefficiente di spinta a riposo pari al rapporto tra la tensione orizzontale e verticale;
- $\sigma_H$  tensione orizzontale totale;
- $\sigma_V$  tensione verticale totale;
- $u$  pressione interstiziale;

Nel caso esaminato è stato assunto un valore di  $k'$  pari a 1.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>CRA1 - RELAZIONE GEOTECNICA, VERIFICA DI STABILITA' E RISULTATI DELLE INDAGINI</b>	<i>Codice documento</i> CZ0154_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

## 5.2 Stima delle caratteristiche meccaniche

Dalle prove effettuate, attraverso correlazioni geotecniche, sono stati ricavati i parametri meccanici e di deformabilità dei terreni presenti nell'area del deposito. Le correlazioni utilizzate sono riportate in tabella:

PARAMETRI	CORRELAZIONI	
	Terreni Coesivi	Terreni Incoerenti
Angolo d'attrito ( $\Phi$ )	Meyerhof (1956)	Owaski Iwasaki
Coesione non drenata ( $c_u$ )	U.S.D.M.S.M (*)	/
Coesione efficace ( $c$ )	U.S.D.M.S.M (*)	/
Peso unità volume	Meyerhof et al.	Meyerhof et al.
Peso unità volume saturo	Meyerhof et al.	Terzaghi-Peck 1948
Modulo di Poisson	AGI	AGI
Modulo a taglio dinamico	Owaski Iwasaki	Owaski Iwasaki
Modulo di Young	Apollonia	Terzaghi
Modulo Edometrico	Stroud e Butler (1975)	Menzenbach & Malcev

(\*) U.S.D.M.S.M. U.S. Design Manual Soil Mechanics

Tabella 5.1

## 6. Pericolosità sismica

Per quanto riguarda l'inquadramento sismotettonico e la sismicità, si rimanda a quanto riportato nella relazione geologica allegata al presente progetto.

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>CRA1 - RELAZIONE GEOTECNICA, VERIFICA DI STABILITA' E RISULTATI DELLE INDAGINI</b>	<i>Codice documento</i> CZ0154_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

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 T3 [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:

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

$g$  accelerazione di gravità;

$a_{\max}$  accelerazione massima attesa sul sito;

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

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

$S_s$  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: 38,3058

longitudine: 15,8830

Classe: 2

Vita nominale: 50

#### **Siti di riferimento**

Sito 1 ID: 44326 Lat: 38,3096 Lon: 15,8430 Distanza: 3517,838

Sito 2 ID: 44327 Lat: 38,3082 Lon: 15,9065 Distanza: 2066,581

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>CRA1 - RELAZIONE GEOTECNICA, VERIFICA DI STABILITA' E RISULTATI DELLE INDAGINI</b>		<i>Codice documento</i> CZ0154_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Sito 3 ID: 44549      Lat: 38,2582      Lon: 15,9048      Distanza: 5630,426

Sito 4 ID: 44548      Lat: 38,2596      Lon: 15,8412      Distanza: 6306,286

### Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica: T3

Periodo di riferimento: 50 anni

Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81%

Tr: 30 [anni]

ag: 0,068 g

Fo: 2,299

Tc\*: 0,277 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10%

Tr: 475[anni]

ag: 0,272 g

Fo: 2.423

Tc: 0,365 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63%

Tr: 50 [anni]

ag: 0,092 g

Fo: 2,277

Tc\*: 0,293[s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %

Tr: 975[anni]

ag: 0.365g

Fo: 2.470

Tc\*: 0,391 [s]

### Coefficienti Sismici

SLO:

Ss: 1,500

Cc: 1,600

St: 1,200

Kh: 0,025

Kv: 0,012

Amax: 1,209

Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,500

Cc: 1,570

St: 1,200

Kh: 0,033

Kv: 0,017

Amax: 1,624

Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,310

Cc: 1,460

St: 1,200

Kh: 0,120

Kv: 0,060

Amax: 4,186

Beta: 0,280

SLC:

Ss: 1,160

Cc: 1,430

St: 1,200

Kh: 0,142

Kv: 0,071

Amax: 4,976

Beta: 0,280

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>CRA1 - RELAZIONE GEOTECNICA, VERIFICA DI STABILITA' E RISULTATI DELLE INDAGINI</b>	<i>Codice documento</i> CZ0154_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

## 7. Fasi costruttive

Il riempimento del deposito in oggetto avviene per strati successivi nel tempo, a partire dalla condizione iniziale è effettuata una progressiva successione di stratificazioni, di spessore pari a circa 5.00 m, fino al raggiungimento delle condizioni finali di completo riempimento.

Nel modello di calcolo impiegato, è stato pertanto 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, o di un evento piovoso.

In particolare, per la sezione di studio sono state previsti i seguenti stage di calcolo:

- STAGE 1: Condizioni iniziali
- STAGE 2-12: Sovrapposizione degli strati di riempimento del deposito
- STAGE 13: Azione del sisma o presenza della falda in condizioni di completa saturazione

## 8. Modello di calcolo

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.





		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>CRA1 - RELAZIONE GEOTECNICA, VERIFICA DI STABILITA' E RISULTATI DELLE INDAGINI</b>	<i>Codice documento</i> CZ0154_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Con l'obiettivo di verificare le condizioni di sicurezza del pendio nell'evoluzione degli stages costruttivi, l'analisi SSR è stata effettuata in diverse fasi, relative a stage di carico intermedi, oltre che nelle condizioni attuali del pendio (**"Fase iniziale"**) e in quelle finali di completamento del deposito (**"Fase finale"**). Si descrive la fase intermedia di analisi:

**"Fase A"**: L'analisi SSR è effettuata dallo STAGE 1 fino allo STAGE 7.

- STAGE 1: Condizioni iniziali
- STAGE 2-7: Sovrapposizione degli strati di riempimento del deposito

Sia nella "Fase 0" che nella "Fase finale" l'analisi SSR è stata effettuata in condizioni statiche, sismiche e/o in presenza di falda.

## 9. Risultati di calcolo

L'analisi SSR è stata condotta 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 la sezione in studio:

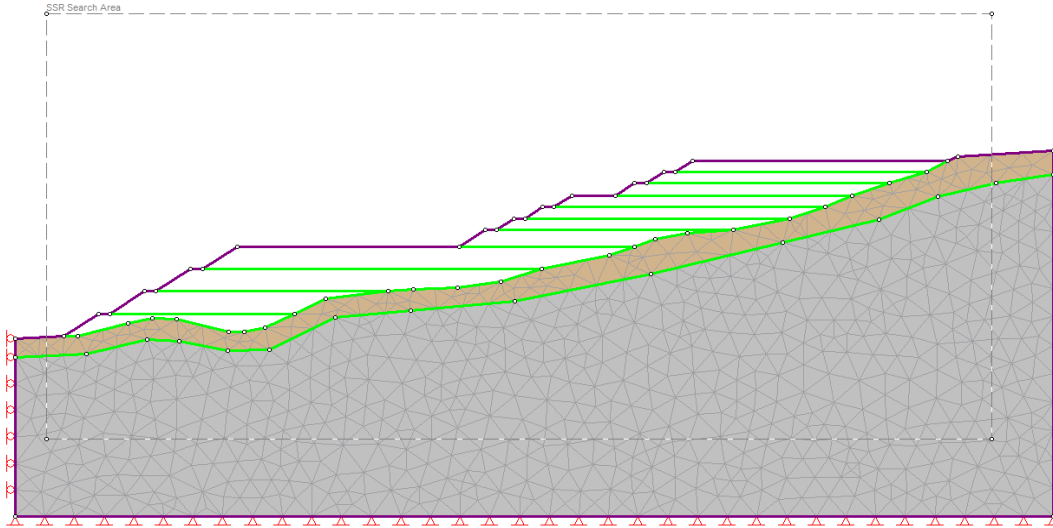


Figura 9.1 : Fase iniziale

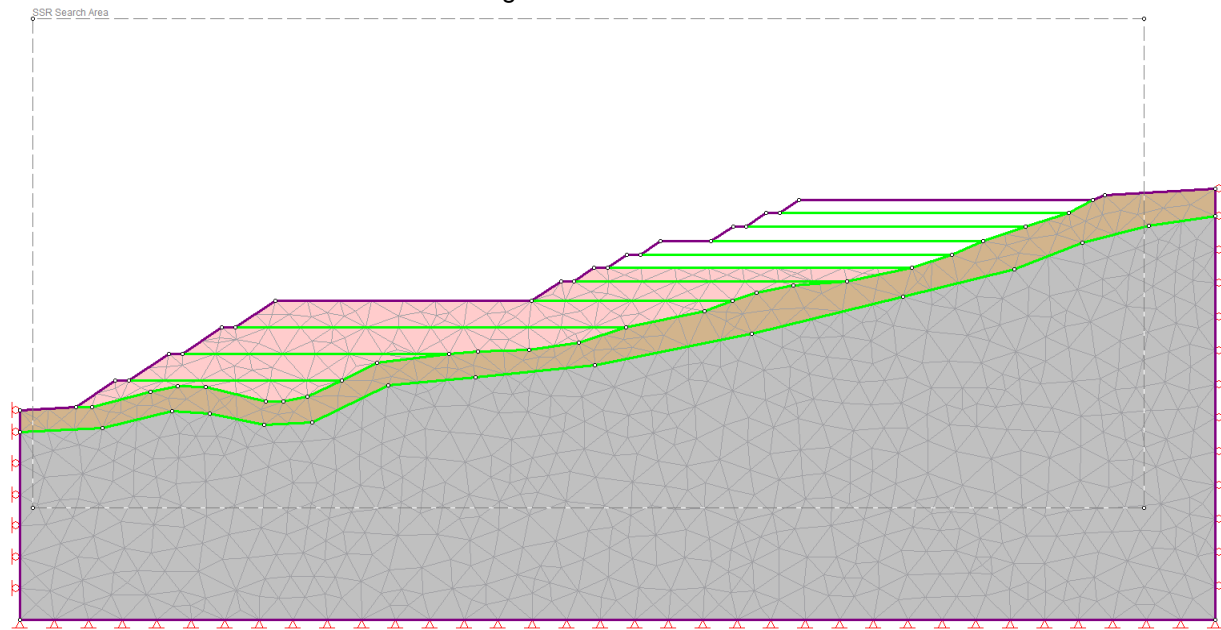


Figura 9.2 : Fase A

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>CRA1 - RELAZIONE GEOTECNICA, VERIFICA DI STABILITA' E RISULTATI DELLE INDAGINI</b>	<i>Codice documento</i> CZ0154_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

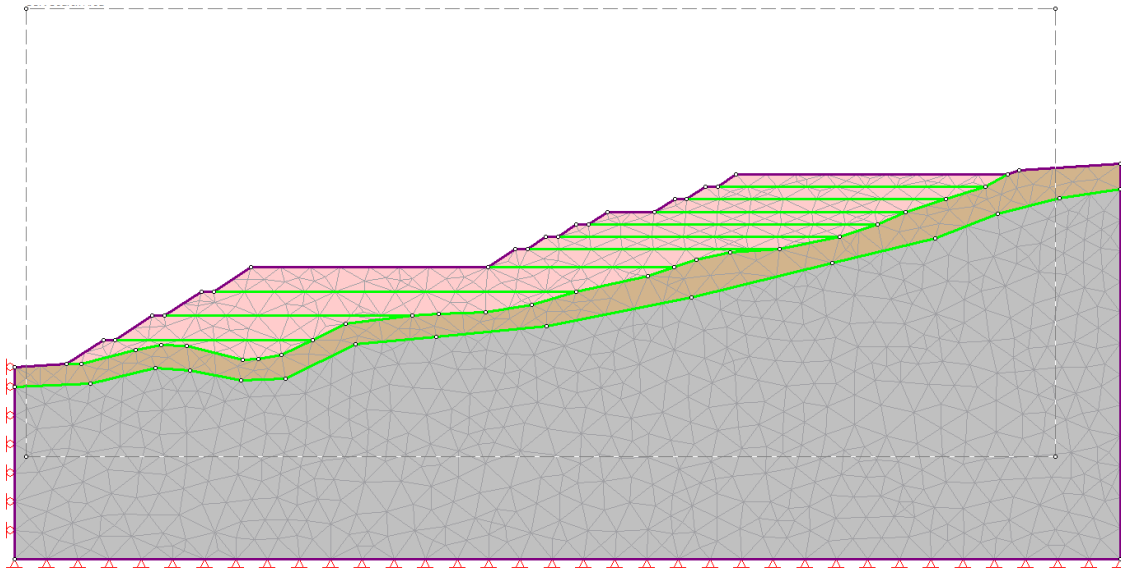


Figura 9.3 : Fase finale

Si riassumono nella tabella seguente i valori del coefficiente di sicurezza del pendio, nelle fasi di analisi SSR, e di riportano i meccanismi di scivolamento corrispondenti:

<i>Fasi Costruttive</i>		<i>SRF</i>
<b>Fase 0</b>	Statica	2.03
	Sismica	1.43
	Falda	1.62
<b>Fase A</b>		1.22
<b>Fase Finale</b>	Statica	1.25
	Sismica	1.12
	Falda	1.40

Tabella 9.4

La condizione più critica risulta quella sismica sia nella fase finale di realizzazione del deposito che in quella iniziale (SFR=1.12-1.43).

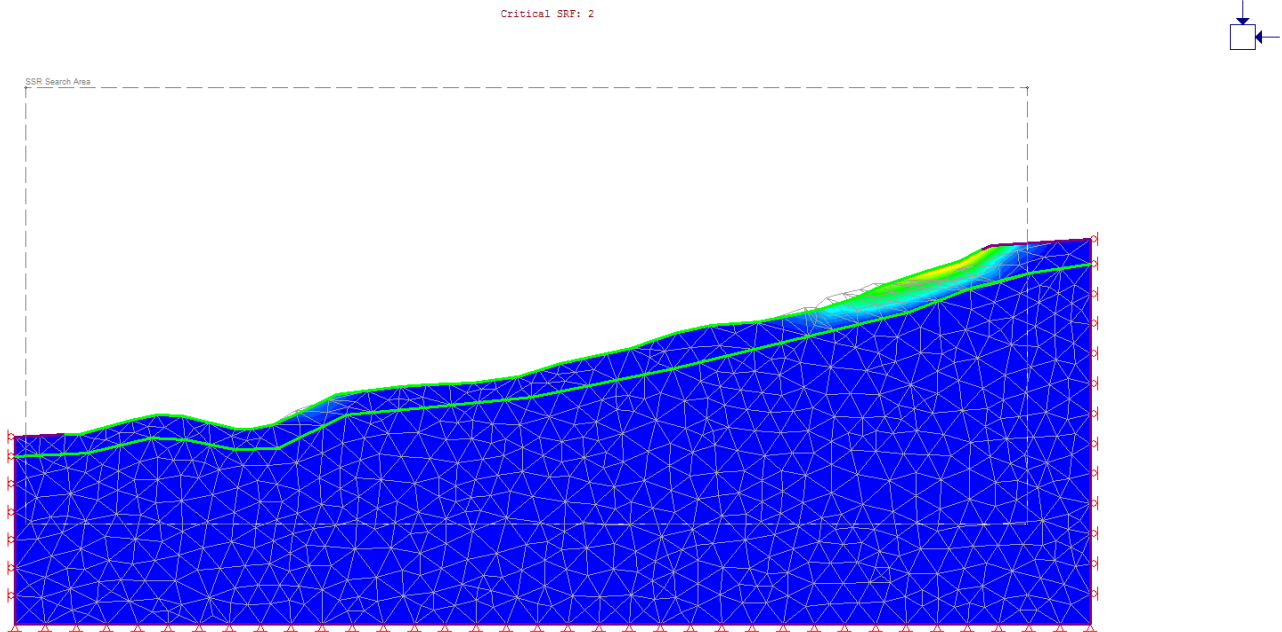


Figura 9.5 : Meccanismo di scivolamento - Spostamenti totali- Fase iniziale - Statica- SFR=2.03

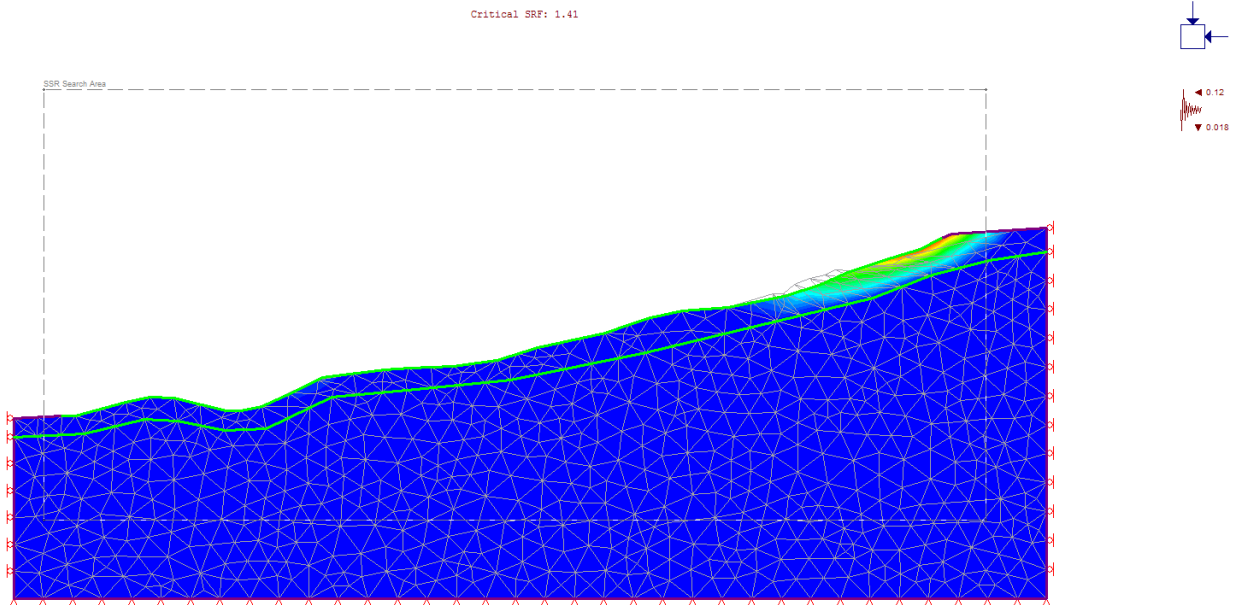


Figura 9.6 : Meccanismo di scivolamento - Spostamenti totali - Fase iniziale - Sismica- SFR=1.43

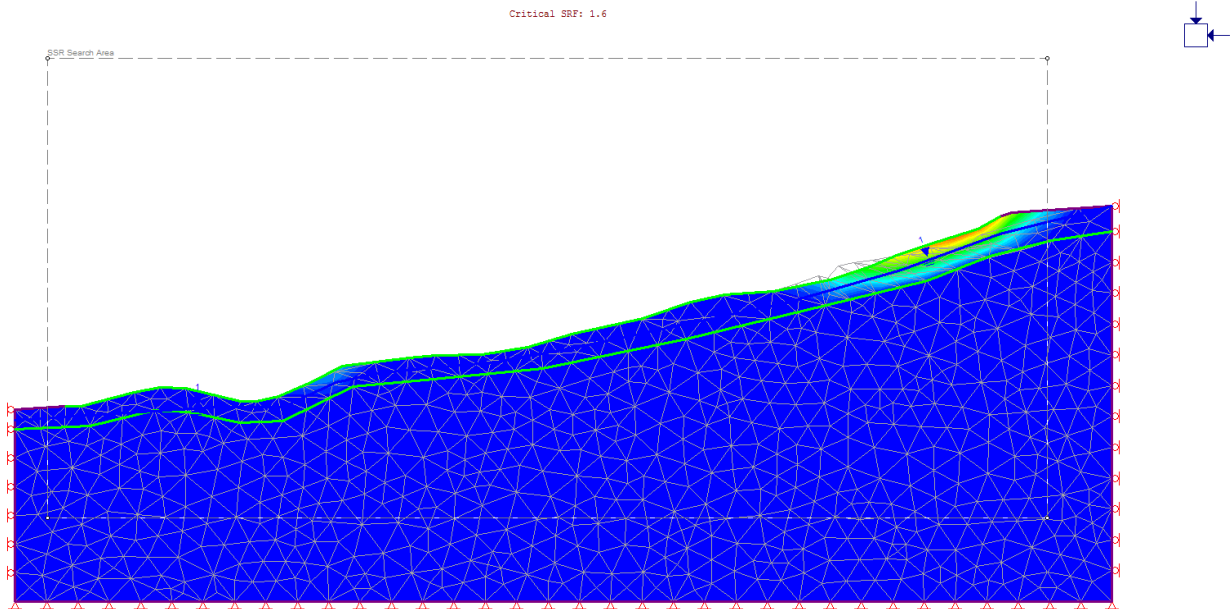


Figura 9.7 : Meccanismo di scivolamento - Spostamenti totali - Fase iniziale -Falda- SFR=1.62

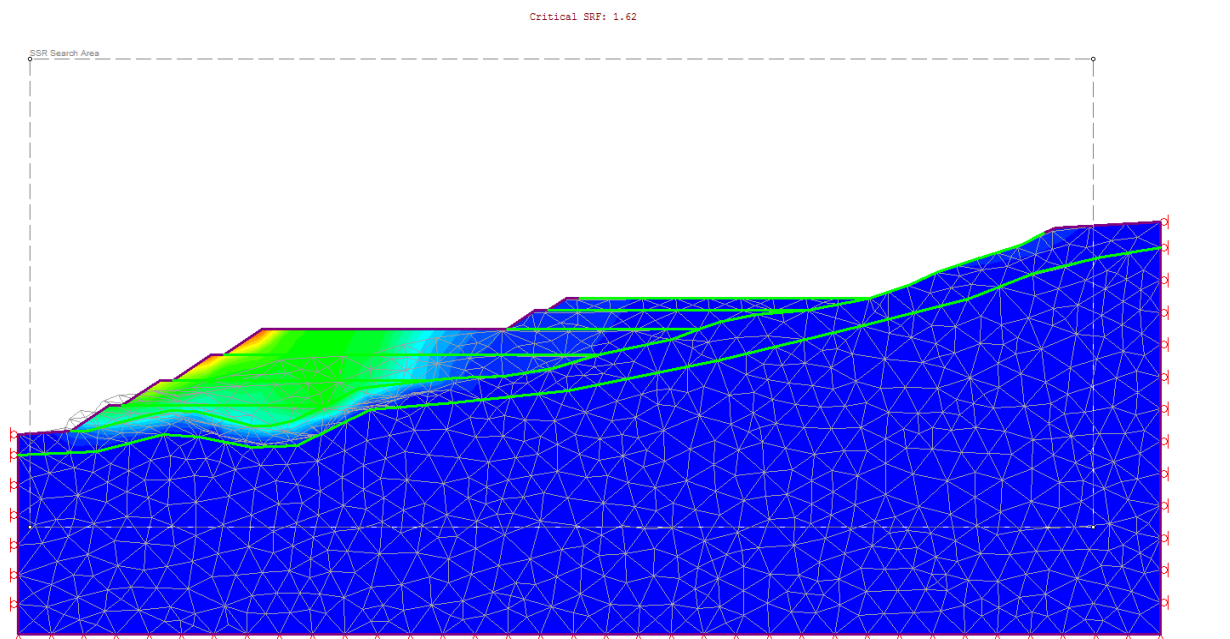


Figura 9.8 : Meccanismo di scivolamento - Spostamenti totali - Fase A- SFR=1.22



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>CRA1 - RELAZIONE GEOTECNICA, VERIFICA DI STABILITA' E RISULTATI DELLE INDAGINI</b>	<i>Codice documento</i> CZ0154_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

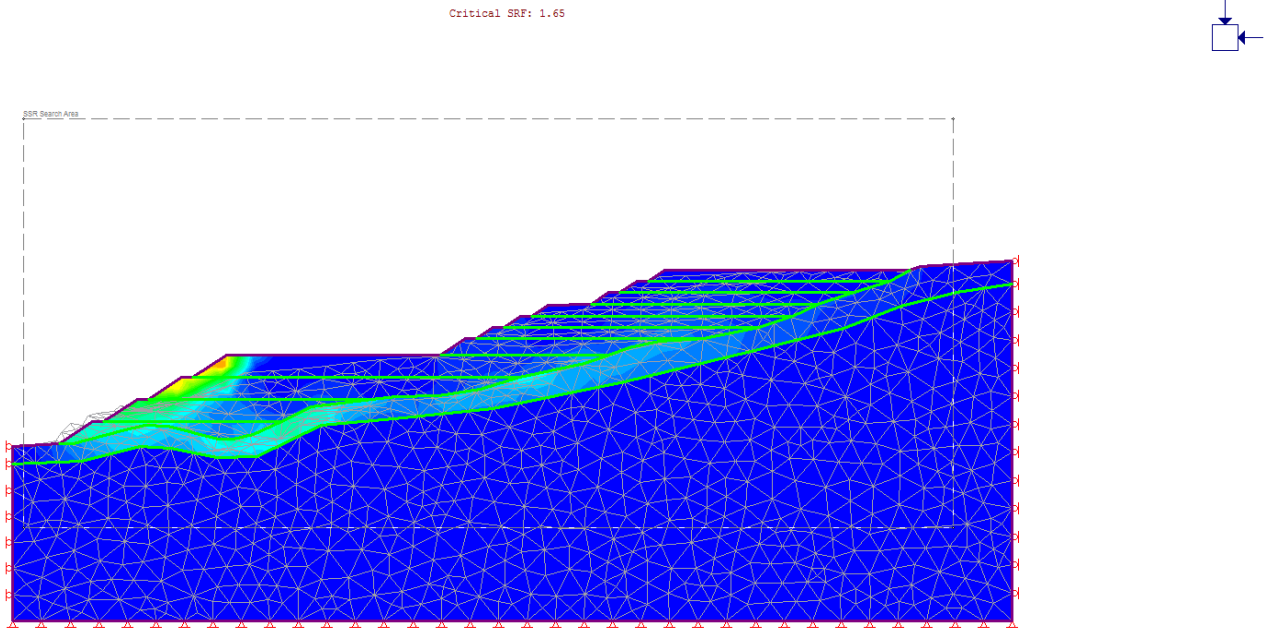


Figura 9.9 : Meccanismo di scivolamento- Spostamenti totali- Fase finale- Statica-SFR=1.25

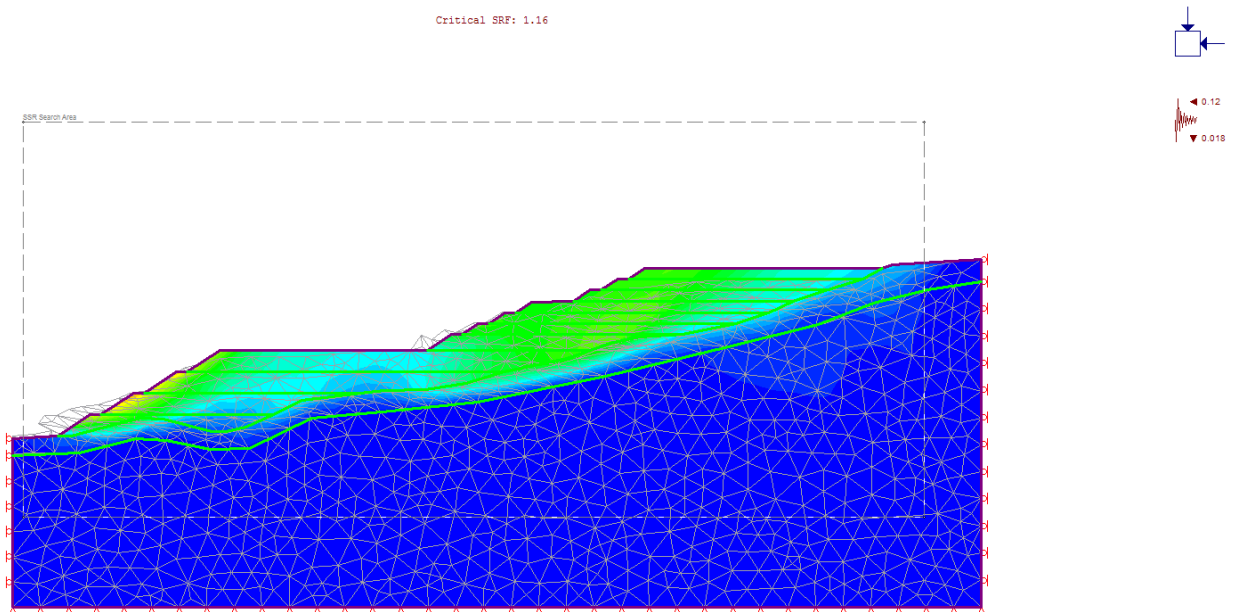


Figura 9.10 : Meccanismo di scivolamento - Spostamenti totali - Fase finale -Sisma- SFR=1.12

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>CRA1 - RELAZIONE GEOTECNICA, VERIFICA DI STABILITA' E RISULTATI DELLE INDAGINI</b>	<i>Codice documento</i> CZ0154_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

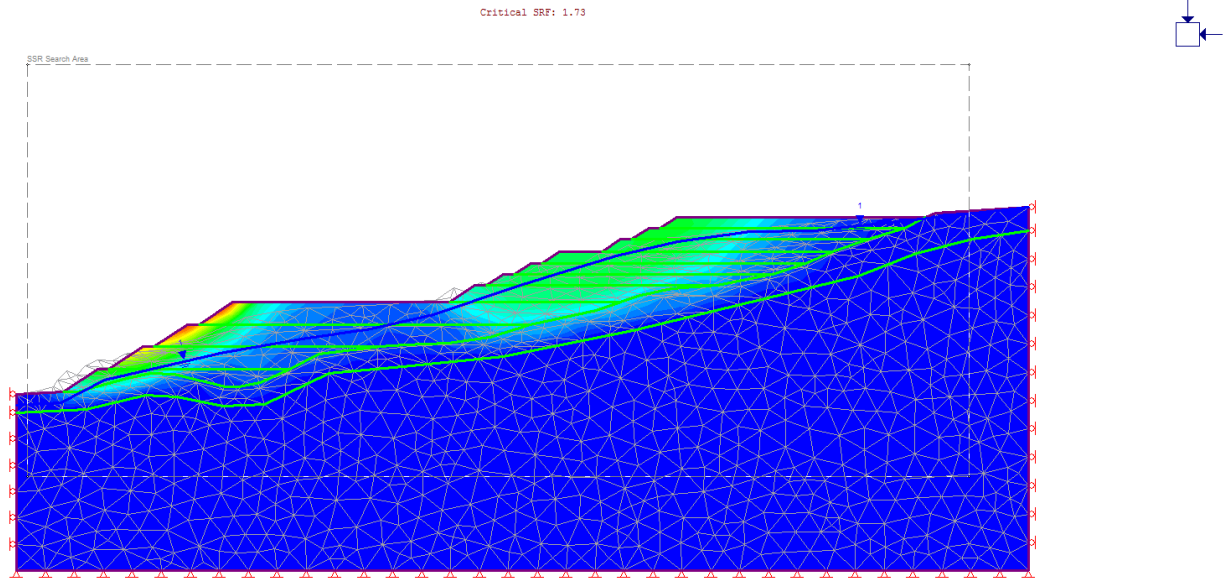


Figura 9.11 : Meccanismo di scivolamento - Spostamenti totali - Fase finale - Falda- SFR=1.40



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>CRA1 - RELAZIONE GEOTECNICA, VERIFICA DI STABILITA' E RISULTATI DELLE INDAGINI</b>	<i>Codice documento</i> CZ0154_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

## 10. Tabulati di calcolo

### 10.1 Tabulato di input

#### Document Name

FASEFINALE\_SISMA

#### Project Settings

##### General

Project Title: DEPOSITO CRA\_1

Number of Stages: 13

Analysis Type: Plane Strain

Solver Type: Gaussian Elimination

Units: Metric, stress as kPa

##### Stress Analysis

Maximum Number of Iterations: 1000

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/m<sup>3</sup>

##### Strength Reduction

Initial Estimate of SRF: 1

Step Size: Automatic

Tolerance (SRF): 0.01

Limit SSR Search Area: Yes

minx: 36.582

maxx: 443.266

miny: 66.285

maxy: 205.857

Accelerate SSR Analysis: Yes

Convergence Parameters: Automatic

#### Field Stress

Field stress: gravity

Using actual ground surface

Effective stress ratio (horizontal/vertical in-plane): 1

Effective stress ratio (horizontal/vertical out-of-plane): 1

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

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

#### Seismic Loading

Horizontal seismic load coefficient: -0.12 (positive to the right)

Vertical seismic load coefficient: -0.018 (positive up)

Seismic load applied in: Stage 13

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>CRA1 - RELAZIONE GEOTECNICA, VERIFICA DI STABILITA' E RISULTATI DELLE INDAGINI</b>		<i>Codice documento</i> CZ0154_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## **Mesh**

Mesh type: uniform  
Element type: 3 noded triangles  
Number of elements on Stage 1: 1308  
Number of nodes on Stage 1: 701  
Number of elements on Stage 2: 1339  
Number of nodes on Stage 2: 716  
Number of elements on Stage 3: 1380  
Number of nodes on Stage 3: 737  
Number of elements on Stage 4: 1436  
Number of nodes on Stage 4: 765  
Number of elements on Stage 5: 1509  
Number of nodes on Stage 5: 802  
Number of elements on Stage 6: 1539  
Number of nodes on Stage 6: 817  
Number of elements on Stage 7: 1573  
Number of nodes on Stage 7: 834  
Number of elements on Stage 8: 1607  
Number of nodes on Stage 8: 852  
Number of elements on Stage 9: 1640  
Number of nodes on Stage 9: 869  
Number of elements on Stage 10: 1670  
Number of nodes on Stage 10: 884  
Number of elements on Stage 11: 1700  
Number of nodes on Stage 11: 899  
Number of elements on Stage 12: 1738  
Number of nodes on Stage 12: 918  
Number of elements on Stage 13: 1738  
Number of nodes on Stage 13: 918

## **Reset Displacements**

Displacements reset after: Stage 1

## **Material Properties**

Material: Sabbia Limosa mediamente addensata  
Initial element loading: field stress & body force  
Unit weight: 21 kN/m<sup>3</sup>  
Elastic type: isotropic  
Young's modulus: 50000 kPa  
Poisson's ratio: 0.235  
Failure criterion: Mohr-Coulomb  
Tensile strength: 0 kPa  
Peak friction angle: 32 degrees  
Peak cohesion: 0 kPa  
Material type: Plastic  
Dilation Angle: 0 degrees  
Residual Friction Angle: 32 degrees  
Residual Cohesion: 0 kPa  
Piezo to use: None  
Ru value: 0

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>CRA1 - RELAZIONE GEOTECNICA, VERIFICA DI STABILITA' E RISULTATI DELLE INDAGINI</b>	<i>Codice documento</i> CZ0154_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Material: Roccia granitica

Initial element loading: field stress & body force  
Unit weight: 22 kN/m<sup>3</sup>  
Elastic type: isotropic  
Young's modulus: 680000 kPa  
Poisson's ratio: 0.3  
Failure criterion: Mohr-Coulomb  
Tensile strength: 0 kPa  
Peak friction angle: 29.25 degrees  
Peak cohesion: 80 kPa  
Material type: Plastic  
Dilation Angle: 0 degrees  
Residual Friction Angle: 29.25 degrees  
Residual Cohesion: 80 kPa  
Piezo to use: None  
Ru value: 0

Material: Deposito

Initial element loading: field stress & body force  
Unit weight: 19 kN/m<sup>3</sup>  
Elastic type: isotropic  
Young's modulus: 50000 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: None  
Ru value: 0

**Areas of Excavated and Filled Elements**

Stage 2

Material: Deposito, Area Filled: 472.742 m<sup>2</sup>

Stage 3

Material: Deposito, Area Filled: 868.144 m<sup>2</sup>

Stage 4

Material: Deposito, Area Filled: 1396.728 m<sup>2</sup>

Stage 5

Material: Deposito, Area Filled: 1634.797 m<sup>2</sup>

Stage 6

Material: Deposito, Area Filled: 641.162 m<sup>2</sup>

Stage 7

Material: Deposito, Area Filled: 560.810 m<sup>2</sup>

Stage 8

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>CRA1 - RELAZIONE GEOTECNICA, VERIFICA DI STABILITA' E RISULTATI DELLE INDAGINI</b>	<i>Codice documento</i> CZ0154_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Material: Deposito, Area Filled: 597.817 m<sup>2</sup>

Stage 9

Material: Deposito, Area Filled: 628.170 m<sup>2</sup>

Stage 10

Material: Deposito, Area Filled: 586.850 m<sup>2</sup>

Stage 11

Material: Deposito, Area Filled: 553.376 m<sup>2</sup>

Stage 12

Material: Deposito, Area Filled: 554.085 m<sup>2</sup>

**Excavation Areas**

Original Un-deformed Areas

External Boundary Area: 60485.913 m<sup>2</sup>

External Boundary Perimeter: 1174.247 m

Stage 1

External Boundary Area: 60485.913 m<sup>2</sup> (0 m<sup>2</sup> change from original area)

External Boundary Perimeter: 1174.247 m (0 m change from original perimeter)

Stage 2

External Boundary Area: 60485.444 m<sup>2</sup> (-0.469131 m<sup>2</sup> change from original area)

External Boundary Perimeter: 1174.247 m (0.000257723 m change from original perimeter)

Stage 3

External Boundary Area: 60484.544 m<sup>2</sup> (-1.36914 m<sup>2</sup> change from original area)

External Boundary Perimeter: 1174.255 m (0.00762522 m change from original perimeter)

Stage 4

External Boundary Area: 60483.317 m<sup>2</sup> (-2.59637 m<sup>2</sup> change from original area)

External Boundary Perimeter: 1174.266 m (0.0186716 m change from original perimeter)

Stage 5

External Boundary Area: 60473.696 m<sup>2</sup> (-12.2166 m<sup>2</sup> change from original area)

External Boundary Perimeter: 1174.270 m (0.0228886 m change from original perimeter)

Stage 6

External Boundary Area: 60472.664 m<sup>2</sup> (-13.2487 m<sup>2</sup> change from original area)

External Boundary Perimeter: 1174.285 m (0.0382915 m change from original perimeter)

Stage 7

External Boundary Area: 60471.947 m<sup>2</sup> (-13.9662 m<sup>2</sup> change from original area)

External Boundary Perimeter: 1174.296 m (0.0493267 m change from original perimeter)

Stage 8

External Boundary Area: 60471.164 m<sup>2</sup> (-14.7492 m<sup>2</sup> change from original area)

External Boundary Perimeter: 1174.308 m (0.0608796 m change from original perimeter)

Stage 9

External Boundary Area: 60469.466 m<sup>2</sup> (-16.4473 m<sup>2</sup> change from original area)

External Boundary Perimeter: 1174.324 m (0.0766657 m change from original perimeter)

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>CRA1 - RELAZIONE GEOTECNICA, VERIFICA DI STABILITA' E RISULTATI DELLE INDAGINI</b>	<i>Codice documento</i> CZ0154_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Stage 10

External Boundary Area: 60468.424 m<sup>2</sup> (-17.489 m<sup>2</sup> change from original area)  
External Boundary Perimeter: 1174.339 m (0.0923167 m change from original perimeter)

Stage 11

External Boundary Area: 60467.373 m<sup>2</sup> (-18.5395 m<sup>2</sup> change from original area)  
External Boundary Perimeter: 1174.351 m (0.103998 m change from original perimeter)

Stage 12

External Boundary Area: 60461.279 m<sup>2</sup> (-24.6337 m<sup>2</sup> change from original area)  
External Boundary Perimeter: 1174.334 m (0.0867214 m change from original perimeter)

Stage 13

External Boundary Area: 60460.253 m<sup>2</sup> (-25.6595 m<sup>2</sup> change from original area)  
External Boundary Perimeter: 1174.290 m (0.0430696 m change from original perimeter)

**List of All Coordinates**

External boundary

20.047 80.829  
20.047 9.952  
474.229 9.952  
474.229 162.425  
474.229 172.863  
432.427 170.295  
427.838 168.495  
316.182 168.495  
308.619 163.495  
303.577 163.495  
296.014 158.495  
290.972 158.495  
282.707 153.026  
263.433 152.886  
255.756 147.795  
250.730 147.795  
243.190 142.795  
238.163 142.795  
230.633 137.795  
225.615 137.795  
214.329 130.295  
117.002 130.295  
101.826 120.295  
96.768 120.295  
81.592 110.295  
76.533 110.295  
61.359 100.295  
56.299 100.295  
41.123 90.295  
20.047 89.004

Material boundary

41.123 90.295  
47.237 90.295  
69.535 96.119

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>CRA1 - RELAZIONE GEOTECNICA, VERIFICA DI STABILITA' E RISULTATI DELLE INDAGINI</b>	<i>Codice documento</i> CZ0154_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

80.047 98.303  
90.581 97.968  
113.448 92.295  
120.047 92.361  
129.337 94.295  
142.306 100.295  
155.762 107.004  
183.187 110.295  
194.065 111.215  
213.451 111.845  
232.449 114.747  
250.463 120.295  
280.047 126.514  
290.868 130.295  
300.047 133.503  
313.872 136.295  
334.246 137.795  
358.874 142.795  
374.173 147.795  
385.928 153.026  
402.344 158.495  
418.598 163.495  
427.838 168.495

Material boundary  
142.306 100.295  
61.359 100.295

Material boundary  
183.187 110.295  
81.592 110.295

Material boundary  
250.463 120.295  
101.826 120.295

Material boundary  
290.868 130.295  
214.329 130.295

Material boundary  
334.246 137.795  
230.633 137.795

Material boundary  
358.874 142.795  
243.190 142.795

Material boundary  
374.173 147.795  
255.756 147.795

Material boundary  
385.928 153.026  
282.707 153.026

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>CRA1 - RELAZIONE GEOTECNICA, VERIFICA DI STABILITA' E RISULTATI DELLE INDAGINI</b>	<i>Codice documento</i> CZ0154_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Material boundary

402.344      158.495  
296.014      158.495

Material boundary

418.598      163.495  
308.619      163.495

Material boundary

20.047 80.829  
51.157 82.239  
77.827 88.747  
91.933 87.887  
112.821      83.693  
131.038      84.355  
160.040      98.590  
193.170      101.530  
238.437      105.981  
298.028      117.988  
355.658      131.931  
397.844      142.169  
423.786      152.346  
449.031      158.680  
474.229      162.425

SSR Search Area

36.582 66.285  
443.266      66.285  
443.266      205.857  
36.582 205.857

## 10.2 Tabulato di output

### Shear Strength Reduction - Material Properties

Strength Reduction Factor: 1

Maximum Total Displacement: 0.584221 m

Converged: yes

Material: Sabbia Limosa mediamente addensata

Peak friction angle: 32 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 32 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Roccia granitica

Peak friction angle: 29.25 degrees

Peak cohesion: 80 kPa

Residual Friction Angle: 29.25 degrees

Residual Cohesion: 80 kPa

Material: Deposito

Peak friction angle: 29.25 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 29.25 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>CRA1 - RELAZIONE GEOTECNICA, VERIFICA DI STABILITA' E RISULTATI DELLE INDAGINI</b>	<i>Codice documento</i> CZ0154_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

**Critical Strength Reduction Factor: 1.12**

Maximum Total Displacement: 4.07365 m

Converged: yes

Material: Sabbia Limosa mediamente addensata

Peak friction angle: 29.158 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 29.158 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Roccia granitica

Peak friction angle: 26.5662 degrees

Peak cohesion: 71.4286 kPa

Residual Friction Angle: 26.5662 degrees

Residual Cohesion: 71.4286 kPa

Material: Deposito

Peak friction angle: 26.5662 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 26.5662 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Strength Reduction Factor: 1.13

Maximum Total Displacement: 3.7401 m

Converged: no

Material: Sabbia Limosa mediamente addensata

Peak friction angle: 28.9418 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 28.9418 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Roccia granitica

Peak friction angle: 26.363 degrees

Peak cohesion: 70.7965 kPa

Residual Friction Angle: 26.363 degrees

Residual Cohesion: 70.7965 kPa

Material: Deposito

Peak friction angle: 26.363 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 26.363 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Strength Reduction Factor: 1.14

Maximum Total Displacement: 4.16134 m

Converged: no

Material: Sabbia Limosa mediamente addensata

Peak friction angle: 28.7285 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 28.7285 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Roccia granitica

Peak friction angle: 26.1627 degrees

Peak cohesion: 70.1754 kPa

Residual Friction Angle: 26.1627 degrees

Residual Cohesion: 70.1754 kPa

Material: Deposito

Peak friction angle: 26.1627 degrees

Peak cohesion: 0 kPa



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>CRA1 - RELAZIONE GEOTECNICA, VERIFICA DI STABILITA' E RISULTATI DELLE INDAGINI</b>	<i>Codice documento</i> CZ0154_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Residual Friction Angle: 26.1627 degrees  
Residual Cohesion: 0 kPa

Strength Reduction Factor: 1.18  
Maximum Total Displacement: 5.04972 m  
Converged: no  
Material: Sabbia Limosa mediamente addensata  
Peak friction angle: 27.9035 degrees  
Peak cohesion: 0 kPa  
Residual Friction Angle: 27.9035 degrees  
Residual Cohesion: 0 kPa  
Material: Roccia granitica  
Peak friction angle: 25.389 degrees  
Peak cohesion: 67.7966 kPa  
Residual Friction Angle: 25.389 degrees  
Residual Cohesion: 67.7966 kPa  
Material: Deposito  
Peak friction angle: 25.389 degrees  
Peak cohesion: 0 kPa  
Residual Friction Angle: 25.389 degrees  
Residual Cohesion: 0 kPa

Strength Reduction Factor: 1.25  
Maximum Total Displacement: 8.26514 m  
Converged: no  
Material: Sabbia Limosa mediamente addensata  
Peak friction angle: 26.5603 degrees  
Peak cohesion: 0 kPa  
Residual Friction Angle: 26.5603 degrees  
Residual Cohesion: 0 kPa  
Material: Roccia granitica  
Peak friction angle: 24.1334 degrees  
Peak cohesion: 64 kPa  
Residual Friction Angle: 24.1334 degrees  
Residual Cohesion: 64 kPa  
Material: Deposito  
Peak friction angle: 24.1334 degrees  
Peak cohesion: 0 kPa  
Residual Friction Angle: 24.1334 degrees  
Residual Cohesion: 0 kPa

Strength Reduction Factor: 1.5  
Maximum Total Displacement: 19.3037 m  
Converged: no  
Material: Sabbia Limosa mediamente addensata  
Peak friction angle: 22.6156 degrees  
Peak cohesion: 0 kPa  
Residual Friction Angle: 22.6156 degrees  
Residual Cohesion: 0 kPa  
Material: Roccia granitica  
Peak friction angle: 20.4732 degrees  
Peak cohesion: 53.3333 kPa  
Residual Friction Angle: 20.4732 degrees  
Residual Cohesion: 53.3333 kPa  
Material: Deposito

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>CRA1 - RELAZIONE GEOTECNICA, VERIFICA DI STABILITA' E RISULTATI DELLE INDAGINI</b>	<i>Codice documento</i> CZ0154_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

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

### **Areas of Excavated and Filled Elements**

#### Stage 2

Material: Deposito, Area Filled: 472.742 m2

#### Stage 3

Material: Deposito, Area Filled: 868.144 m2

#### Stage 4

Material: Deposito, Area Filled: 1396.728 m2

#### Stage 5

Material: Deposito, Area Filled: 1634.797 m2

#### Stage 6

Material: Deposito, Area Filled: 641.162 m2

#### Stage 7

Material: Deposito, Area Filled: 560.810 m2

#### Stage 8

Material: Deposito, Area Filled: 597.817 m2

#### Stage 9

Material: Deposito, Area Filled: 628.170 m2

#### Stage 10

Material: Deposito, Area Filled: 586.850 m2

#### Stage 11

Material: Deposito, Area Filled: 553.376 m2

#### Stage 12

Material: Deposito, Area Filled: 554.085 m2

### **Excavation Areas**

#### Original Un-deformed Areas

External Boundary Area: 60485.913 m2

External Boundary Perimeter: 1174.247 m

#### Stage 1

External Boundary Area: 60485.913 m2 (0 m2 change from original area)

External Boundary Perimeter: 1174.247 m (0 m change from original perimeter)

#### Stage 2

External Boundary Area: 60485.444 m2 (-0.469131 m2 change from original area)

External Boundary Perimeter: 1174.247 m (0.000257723 m change from original perimeter)

#### Stage 3

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>CRA1 - RELAZIONE GEOTECNICA, VERIFICA DI STABILITA' E RISULTATI DELLE INDAGINI</b>	<i>Codice documento</i> CZ0154_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

External Boundary Area: 60484.544 m<sup>2</sup> (-1.36914 m<sup>2</sup> change from original area)  
External Boundary Perimeter: 1174.255 m (0.00762522 m change from original perimeter)

Stage 4

External Boundary Area: 60483.317 m<sup>2</sup> (-2.59637 m<sup>2</sup> change from original area)  
External Boundary Perimeter: 1174.266 m (0.0186716 m change from original perimeter)

Stage 5

External Boundary Area: 60473.696 m<sup>2</sup> (-12.2166 m<sup>2</sup> change from original area)  
External Boundary Perimeter: 1174.270 m (0.0228886 m change from original perimeter)

Stage 6

External Boundary Area: 60472.664 m<sup>2</sup> (-13.2487 m<sup>2</sup> change from original area)  
External Boundary Perimeter: 1174.285 m (0.0382915 m change from original perimeter)

Stage 7

External Boundary Area: 60471.947 m<sup>2</sup> (-13.9662 m<sup>2</sup> change from original area)  
External Boundary Perimeter: 1174.296 m (0.0493267 m change from original perimeter)

Stage 8

External Boundary Area: 60471.164 m<sup>2</sup> (-14.7492 m<sup>2</sup> change from original area)  
External Boundary Perimeter: 1174.308 m (0.0608796 m change from original perimeter)

Stage 9

External Boundary Area: 60469.466 m<sup>2</sup> (-16.4473 m<sup>2</sup> change from original area)  
External Boundary Perimeter: 1174.324 m (0.0766657 m change from original perimeter)

Stage 10

External Boundary Area: 60468.424 m<sup>2</sup> (-17.489 m<sup>2</sup> change from original area)  
External Boundary Perimeter: 1174.339 m (0.0923167 m change from original perimeter)

Stage 11

External Boundary Area: 60467.373 m<sup>2</sup> (-18.5395 m<sup>2</sup> change from original area)  
External Boundary Perimeter: 1174.351 m (0.103998 m change from original perimeter)

Stage 12

External Boundary Area: 60461.279 m<sup>2</sup> (-24.6337 m<sup>2</sup> change from original area)  
External Boundary Perimeter: 1174.334 m (0.0867214 m change from original perimeter)

Stage 13

External Boundary Area: 60460.253 m<sup>2</sup> (-25.6595 m<sup>2</sup> change from original area)  
External Boundary Perimeter: 1174.290 m (0.0430696 m change from original perimeter)

**Displacements**

Maximum total displacement for Stage 1: 0 m  
Maximum total displacement for Stage 2: 0.0286891 m  
Maximum total displacement for Stage 3: 0.0906366 m  
Maximum total displacement for Stage 4: 0.149276 m  
Maximum total displacement for Stage 5: 0.222304 m  
Maximum total displacement for Stage 6: 0.22268 m  
Maximum total displacement for Stage 7: 0.222837 m  
Maximum total displacement for Stage 8: 0.222975 m  
Maximum total displacement for Stage 9: 0.223087 m  
Maximum total displacement for Stage 10: 0.223156 m

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>CRA1 - RELAZIONE GEOTECNICA, VERIFICA DI STABILITA' E RISULTATI DELLE INDAGINI</b>	<i>Codice documento</i> CZ0154_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Maximum total displacement for Stage 11: 0.223215 m  
Maximum total displacement for Stage 12: 0.235358 m  
Maximum total displacement for Stage 13: 0.619041 m

### **Yielded Elements**

#### Yielded Mesh Elements

Number of yielded mesh elements on Stage 1: 41  
Number of yielded mesh elements on Stage 2: 48  
Number of yielded mesh elements on Stage 3: 56  
Number of yielded mesh elements on Stage 4: 69  
Number of yielded mesh elements on Stage 5: 85  
Number of yielded mesh elements on Stage 6: 89  
Number of yielded mesh elements on Stage 7: 94  
Number of yielded mesh elements on Stage 8: 98  
Number of yielded mesh elements on Stage 9: 104  
Number of yielded mesh elements on Stage 10: 109  
Number of yielded mesh elements on Stage 11: 116  
Number of yielded mesh elements on Stage 12: 122  
Number of yielded mesh elements on Stage 13: 438

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>CRA1 - RELAZIONE GEOTECNICA, VERIFICA DI STABILITA' E RISULTATI DELLE INDAGINI</b>	<i>Codice documento</i> CZ0154_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

## 11. Risultati delle indagini

Nella precedente fase progettuale, in cui era previsto che il limite inferiore dell'area di stoccaggio fosse collocato a circa 150 m a monte della ex linea ferroviaria, era stato *programmato ed eseguito* il seguente piano di indagine in situ:

- sondaggi a carotaggio continuo;
- prove penetrometriche SPT in foro;
- prove penetrometriche dinamiche pesanti;
- prospezioni sismiche a onde P e secondo la metodologia Masw.

I risultati delle suddette prove avevano messo in evidenza la presenza di un orizzonte litologico superficiale riconducibile a depositi di soliflusso e dilavamento, composto da *Argilla debolmente sabbiosa di colore variabile da nero a marrone, a consistenza variabile da soffice a molto soffice*<sup>1</sup>. Questo strato imponeva scelte progettuali impegnative sia sotto il profilo geotecnico che economico.

Pertanto, dopo la prima revisione progettuale interna, veniva deciso di arretrare a monte di circa 350 m il limite inferiore dell'area di deposito, dove la suddetta unità litotecnica non era presente ed il substrato di appoggio del materiale di stoccaggio è composto da *Sabbia debolmente limosa di colore biancastro a granulometria medio – fine, con sottili intercalazioni di limo, a consistenza molto addensata*<sup>2</sup>. Nell'ambito dell'area considerata questa unità litotecnica mantiene caratteristiche geotecniche complessivamente uniformi.

In un simile contesto le caratteristiche geotecniche ricavate con il suddetto programma di indagine sono ritenute valide anche per questa fase progettuale. Questa scelta è stata in parte anche dettata dalle notevoli difficoltà ambientali dell'area in cui è stato riposizionato il nuovo limite inferiore del bacino di stoccaggio, che non consentono un agevole accesso ai mezzi meccanici per eseguire una nuova campagna di indagine.

Di seguito sono illustrati i risultati della campagna geognostica eseguita nella precedente fase progettuale.

L'ubicazione e le modalità tecnico-esecutive dei lavori di indagine sono state disposte dal tecnico, dott. geol. Francesco Surace, a cui è stata affidata anche la direzione in fase esecutiva.

<sup>1</sup> Definito come *Unità Litotecnica 1* nel Modello Geotecnico del Sottosuolo (rif. Cap. 10 della Relazione Geologica).

<sup>2</sup> Definito come *Unità Litotecnica 3* nel Modello Geotecnico del Sottosuolo (rif. Cap. 10 della Relazione Geologica).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>CRA1 - RELAZIONE GEOTECNICA, VERIFICA DI STABILITA' E RISULTATI DELLE INDAGINI</b>	<i>Codice documento</i> CZ0154_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

I risultati delle indagini e la relativa documentazione fotografica sono riportati in appendice alla presente relazione.

L'ubicazione dei punti di indagine, con la relativa denominazione, è stata riportata a parte su apposito elaborato planimetrico.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>CRA1 - RELAZIONE GEOTECNICA, VERIFICA DI STABILITA' E RISULTATI DELLE INDAGINI</b>	<i>Codice documento</i> CZ0154_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

## 12. Sondaggi meccanici a carotaggio continuo

La perforazione a carotaggio continuo è stata eseguita al fine di acquisire la stratigrafia del sottosuolo del terreno (carote) lungo la verticale di sondaggio. La metodologia eseguita è quella prevista dalle "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche AGI-1977" ed alle "Modalità tecniche delle indagini geognostiche ANISIG-1997".

Per l'esecuzione dei sondaggi, è stata utilizzata una sonda idraulica cingolata marca *CMV MK 900*, con testa di rotazione azionata da motore idraulico a coppia variabile e cambio meccanico.

Le modalità di perforazione a carotaggio (velocità di avanzamento, velocità di rotazione, pressione della spinta esercitata sull'utensile, pressione del fluido di circolazione), sono state costantemente adattate al fine di rendere minimo il disturbo indotto nei terreni carotati, e di avere la massima percentuale di carotaggio possibile.

Nei terreni ove il carotaggio non ha determinato particolari problematiche le perforazioni sono state condotte a rotazione e carotaggio continuo utilizzando un carotiere semplice Ø 101 mm, di 1,5 m di lunghezza, con corona widia, con l'ausilio di minime quantità di fluido di circolazione. Per evitare franamenti delle pareti del foro e per una migliore riuscita delle prove nel corso dei sondaggi si è provveduto a far seguire la perforazione, fin dove necessario, da una tubazione di rivestimento Ø 127 mm, spinta a rotazione.

Le carote estratte sono state riposte in apposite cassette catalogatrici in materiale plastico, munite di coperchio e scomparti divisorii, sulle quali sono stati riportati: la denominazione del sondaggio, il numero della cassetta e le quote progressive di prelievo delle carote. Le cassette catalogatrici sono state singolarmente fotografate e saranno conservate, per un periodo di 60 giorni, a disposizione della committenza.

Sono stati effettuati n. 2 sondaggi, spinti entrambi fino alla profondità di 25 m.

## 13. Prove penetrometriche dinamiche SPT

Nel corso delle perforazioni si è provveduto all'esecuzione di prove penetrometriche dinamiche, discontinue, del tipo SPT (Standard Penetration Test).

La prova penetrometrica SPT standard consiste nel conteggio del numero di colpi necessari a far avanzare un tubo a punta conica Ø 50.8 mm con angolo di penetrazione di 60° [AGI 1977], nel terreno per tre successivi tratti di 15 cm a partire dal fondo di un foro di sondaggio. Il numero di colpi relativo al primo tratto di avanzamento (N1) serve per superare la porzione di terreno eventualmente disturbata dalla perforazione, la somma del numero di colpi relativi agli ultimi due

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>CRA1 - RELAZIONE GEOTECNICA, VERIFICA DI STABILITA' E RISULTATI DELLE INDAGINI</b>	<i>Codice documento</i> CZ0154_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

tratti di avanzamento (N2+N3) viene definita N spt e consente di ricavare, mediante correlazioni empiriche alcuni parametri geotecnici dei terreni attraversati (per N spt >50 la prova è stata considerata "a rifiuto" ed è stato rilevato il relativo avanzamento in cm). Per le prove è stata utilizzata un'attrezzatura unificata NENZI con massa battente del tipo "Pilcon" da 63.5 Kg a sganciamento automatico, con altezza di caduta costante di 76 cm, adoperando una batteria di aste di Ø 76 mm.

Sono state effettuate n. 3 prove Spt per ogni sondaggio, alle profondità di 15, 20, e 25 m.



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>CRA1 - RELAZIONE GEOTECNICA, VERIFICA DI STABILITA' E RISULTATI DELLE INDAGINI</b>	<i>Codice documento</i> CZ0154_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

## 14. Prove penetrometriche dinamiche pesanti

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi  $\delta$ ) misurando il numero di colpi N necessari.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- peso massa battente M
- altezza libera caduta H
- punta conica: diametro base cono D, area base A (angolo di apertura  $\alpha$ )
- avanzamento (penetrazione)  $\delta$
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

Nell'indagine eseguita è stato utilizzato un penetrometro dinamico super pesante (DPSH-B), mod. Pagani TG 63/200, avente le seguenti caratteristiche tecniche:

Rif. Norme	DIN 4094
PESO MASSA BATTENTE : M	63,50 kg
ALTEZZA CADUTA LIBERA: H	0,75 m
PESO SISTEMA BATTUTA : Ms	0,63 kg
DIAMETRO PUNTA CONICA: D	51,00 mm
AREA BASE PUNTA CONICA: A	20,43 cm <sup>2</sup>
ANGOLO APERTURA PUNTA: $\alpha$	90°
LUNGHEZZA DELLE ASTE: La	1,00 m
PESO ASTE PER METRO: Ma	6,31 kg
PROF. GIUNZIONE 1a ASTA: P1	0,40 m
AVANZAMENTO PUNTA : $\delta$	0,20 m
NUMERO DI COLPI PUNTA: N= N <sub>(20)</sub>	Relativo ad un avanzamento di 20 cm
RIVESTIMENTO / FANGHI	NO
ENERGIA SPECIFICA x COLPO $Q = (MH) / (A \delta) = 11,65565 \text{ kg/cm}^2$ (prova SPT: Q <sub>spt</sub> = 7.83 kg/cm <sup>2</sup> )	
COEFF. TEORICO DI ENERGIA $\beta t = Q/Q_{spt} = 1,489$ (teoricamente: N <sub>spt</sub> = $\beta t N$ )	

Tabella 13.1

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>CRA1 - RELAZIONE GEOTECNICA, VERIFICA DI STABILITA' E RISULTATI DELLE INDAGINI</b>	<i>Codice documento</i> CZ0154_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

Sono state effettuate n. 6 prove, per complessivi 67,8 m di infissione nel terreno, con profondità di penetrazione che variano da 3 fino 19,8 m.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>CRA1 - RELAZIONE GEOTECNICA, VERIFICA DI STABILITA' E RISULTATI DELLE INDAGINI</b>	<i>Codice documento</i> CZ0154_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

## 15. Indagine sismica

La prospezione sismica è stata eseguita secondo gli standard di riferimento, utilizzando un Sismografo modulare Geometrics Geode a 24 canali, con conversione analogico-digitale a 24 bit, ad elevata dinamica, avente le seguenti caratteristiche principali:

- Range dinamico: 144 dB di sistema.
- Distorsione: 0.0005 % @ 2.0 ms.
- Banda di acquisizione: 1.75-20.000 Hz.
- Accuratezza trigger: 1/32 del passo di campionamento.
- Impedenza: 20 Kohm.
- Filtri in acquisizione: LowCut: 10, 15, 25, 35, 50, 70, 100, 140, 200, 280, 400 Hz 24/48 dB/Octave, Butterworth. Notch: 50, 60, 180 Hz. HighCut: 32, 64, 125, 250, 500, 1000 Hz 24/48 dB/Octave.
- Intervallo di campionamento: 0.02, 0.03125, 0.0625, 0.125, 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 8.0, 16.0 msec.
- Lunghezza di registrazione: 16.384 campioni.
- Pre-trigger: fino a tutta la lunghezza di registrazione.
- Delay: da 0 a 9999 ms in passi di una lunghezza di intervallo.

Per il rilievo della velocità del moto del suolo sono stati utilizzati geofoni *Geospace*, con frequenza di oscillazione di 10 Hz (Onde P) e di 4.5 Hz (MASW).

### 15.1 Prospezione sismica a rifrazione ad onde (p)

Lo stendimento sismico è stato realizzato a 24 canali d'acquisizione, adottando una distanza tra i geofoni di 3 metri, per una lunghezza di 72 m. Per generare onde P rifratte d'ampiezza rilevabile, è stata utilizzata una mazza del peso di 9 Kg battente su un piattello metallico. E' stato effettuato un congruo numero di punti d'energizzazione, per la cui precisa ubicazione si rimanda al modello di velocità allegato.

### 15.2 Interpretazione multichannel analysis of surface waves (masw)

E' stata eseguita un'elaborazione su un sismogramma ottenuto da un punto di energizzazione posto a 6 metri dal primo geofono, lungo la medesima base sismica utilizzata per la prospezione ad onde P. La tecnica si basa sullo studio della dispersione della velocità di fase delle onde

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>CRA1 - RELAZIONE GEOTECNICA, VERIFICA DI STABILITA' E RISULTATI DELLE INDAGINI</b>	<i>Codice documento</i> CZ0154_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

superficiali di tipo Rayleigh (R), nota in letteratura come Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW). Il sismogramma è stato oggetto di *filtraggio* per l'eliminazione delle alte frequenze e "depurato" dalle onde di volume, al fine di ottenere dei picchi d'ampiezza nelle oscillazioni relative alle onde di superficie.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>CRA1 - RELAZIONE GEOTECNICA, VERIFICA DI STABILITA' E RISULTATI DELLE INDAGINI</b>	<i>Codice documento</i> CZ0154_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

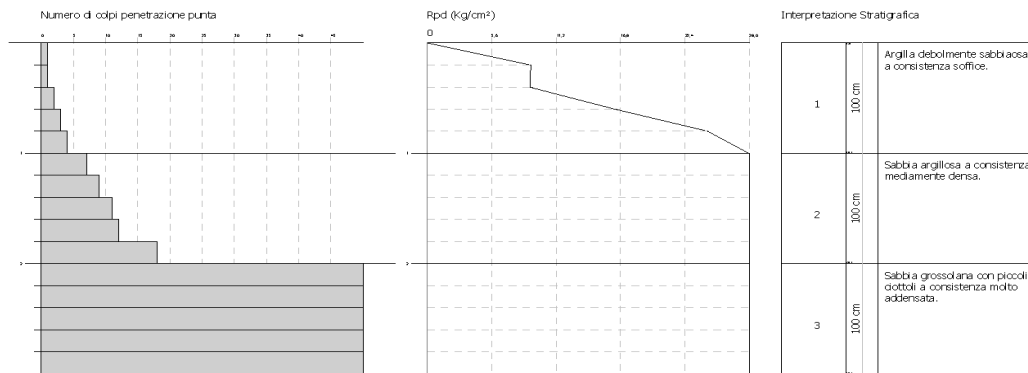
## 16. Allegati

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr. 1  
Strumento utilizzato... DP5H TG 63-200 PAGANI

Committente: EURCLINK s.c.p.a.  
Cantiere: Deposito Materiale Inerte CRA 1  
Località: Melicuccà (RC)

Data: 04/06/2010

Scala 1:50

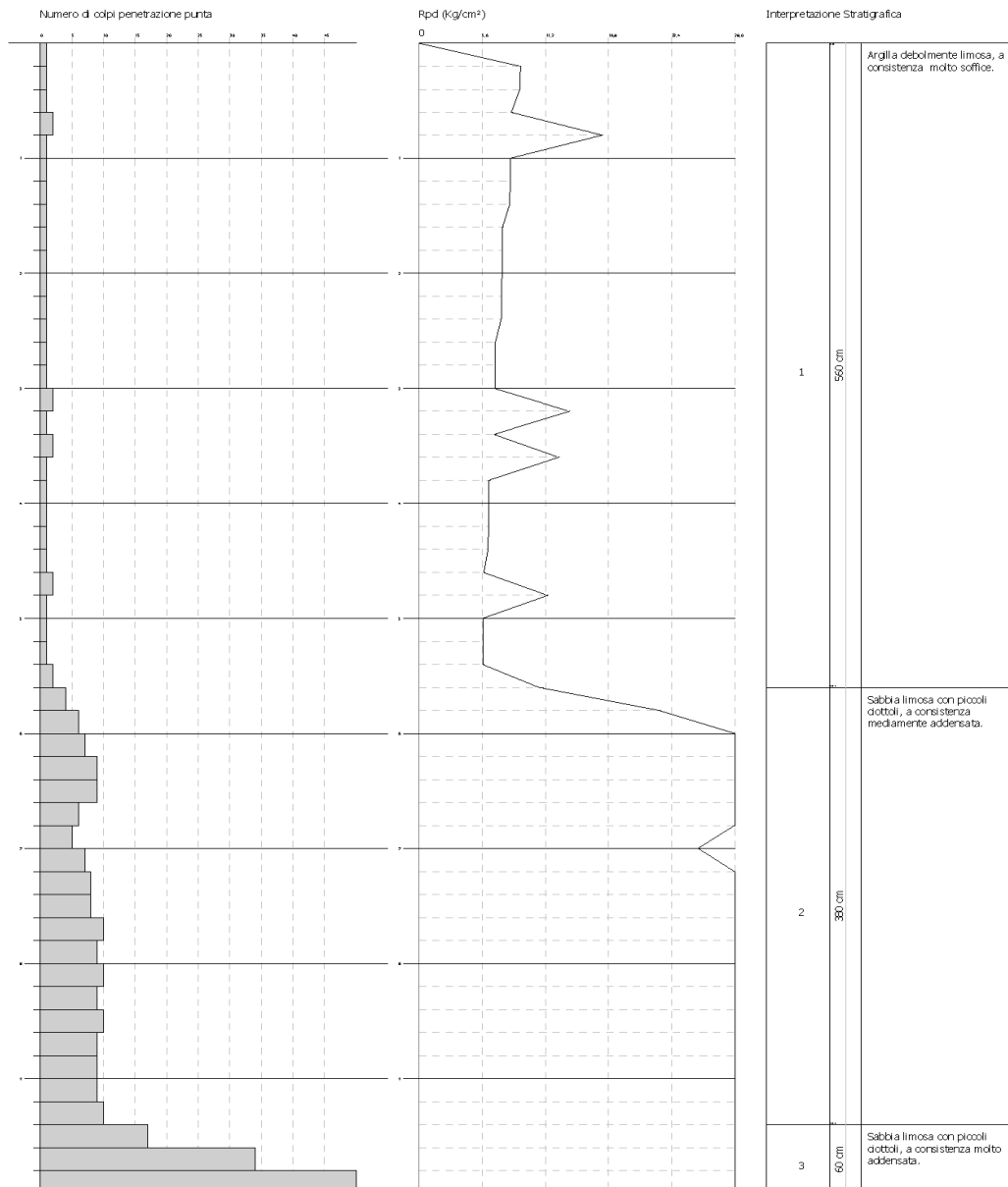


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr. 2  
Strumento utilizzato... DSSH TG 63-200 PAGANI

Committente: EUROLINK s.c.p.a.  
Cantiere: Deposito Materiale Inerte CRA 1  
Località: Melicuccà (RC)

Data: 04/06/2010

Scala 1:50

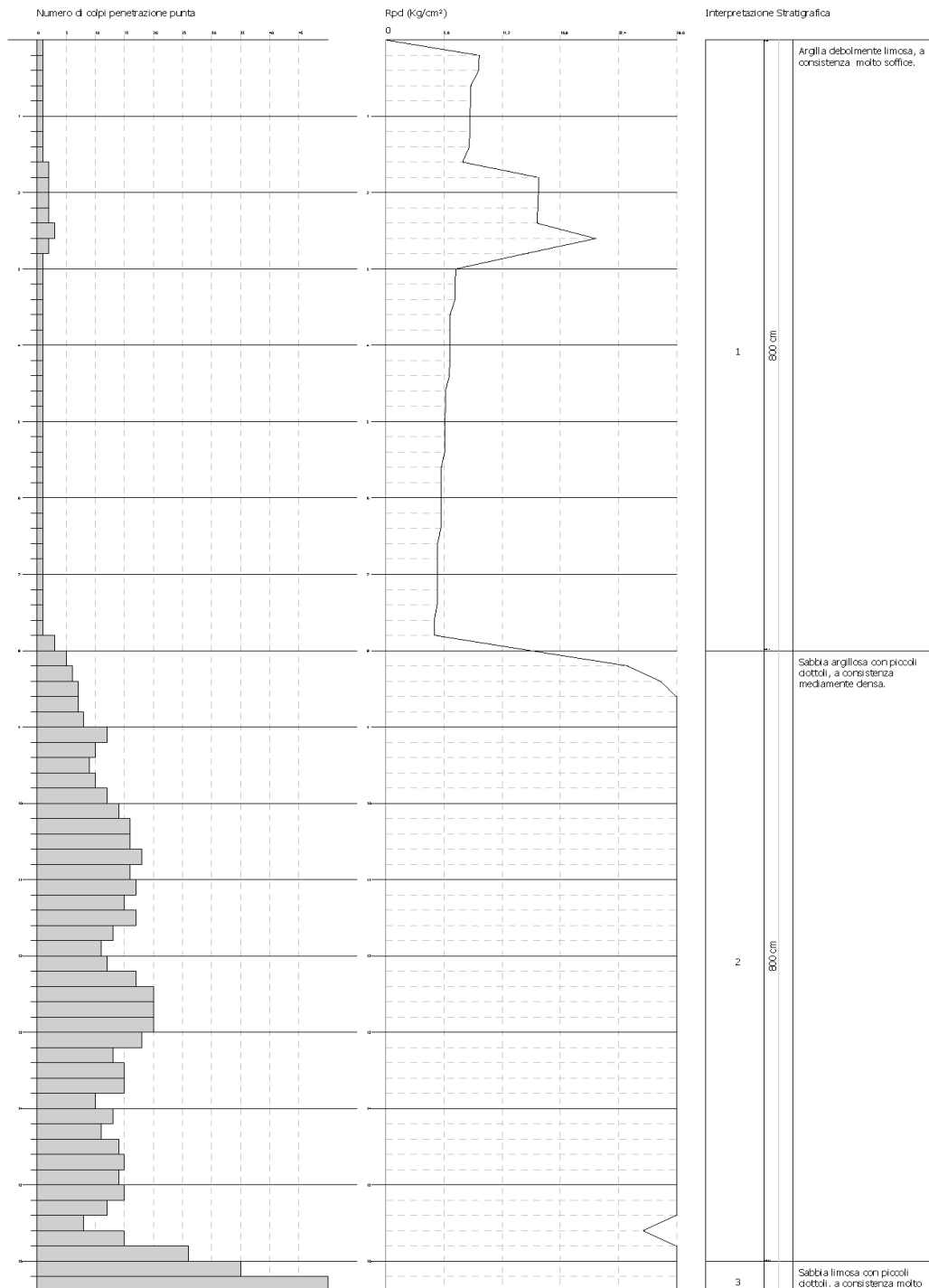


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.3  
Strumento utilizzato... DFSH TG 63-200 PAGANI

Committente: EUROLINK s.c.p.a.  
Cantiere: Deposito Materiale Inerte CRA 1  
Località: Melicuccà (RC)

Data: 04/06/2010

Scala: 1:70



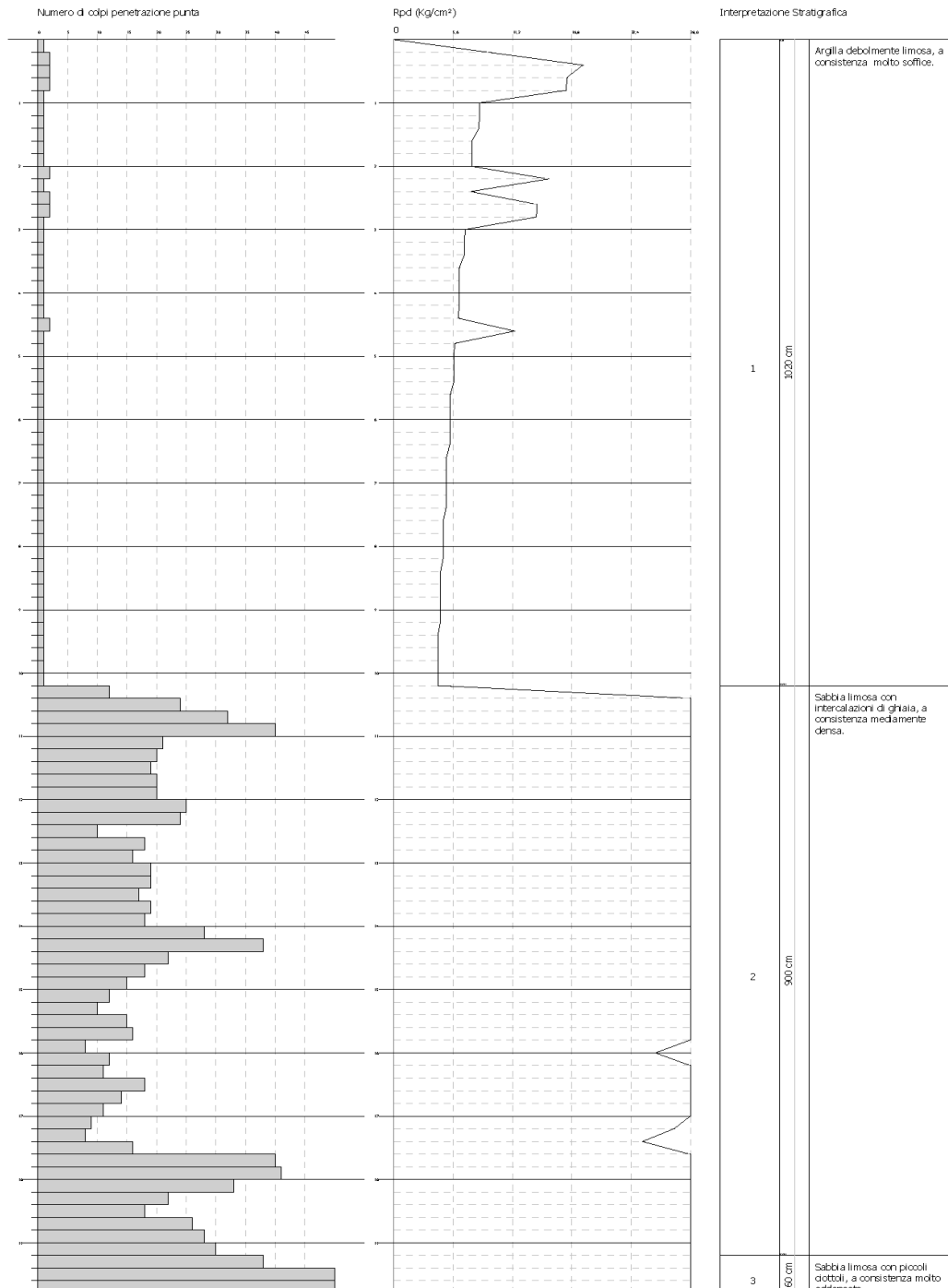


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr. 4  
Strumento utilizzato... DPH TG 63-200 PAGANE

Committente: EUROLINK s.c.p.a.  
Cantiere: Deposito Materiale Inerte CRA 1  
Località: Melicuccà (RC)

Data: 02/09/2010

Scala 1:85

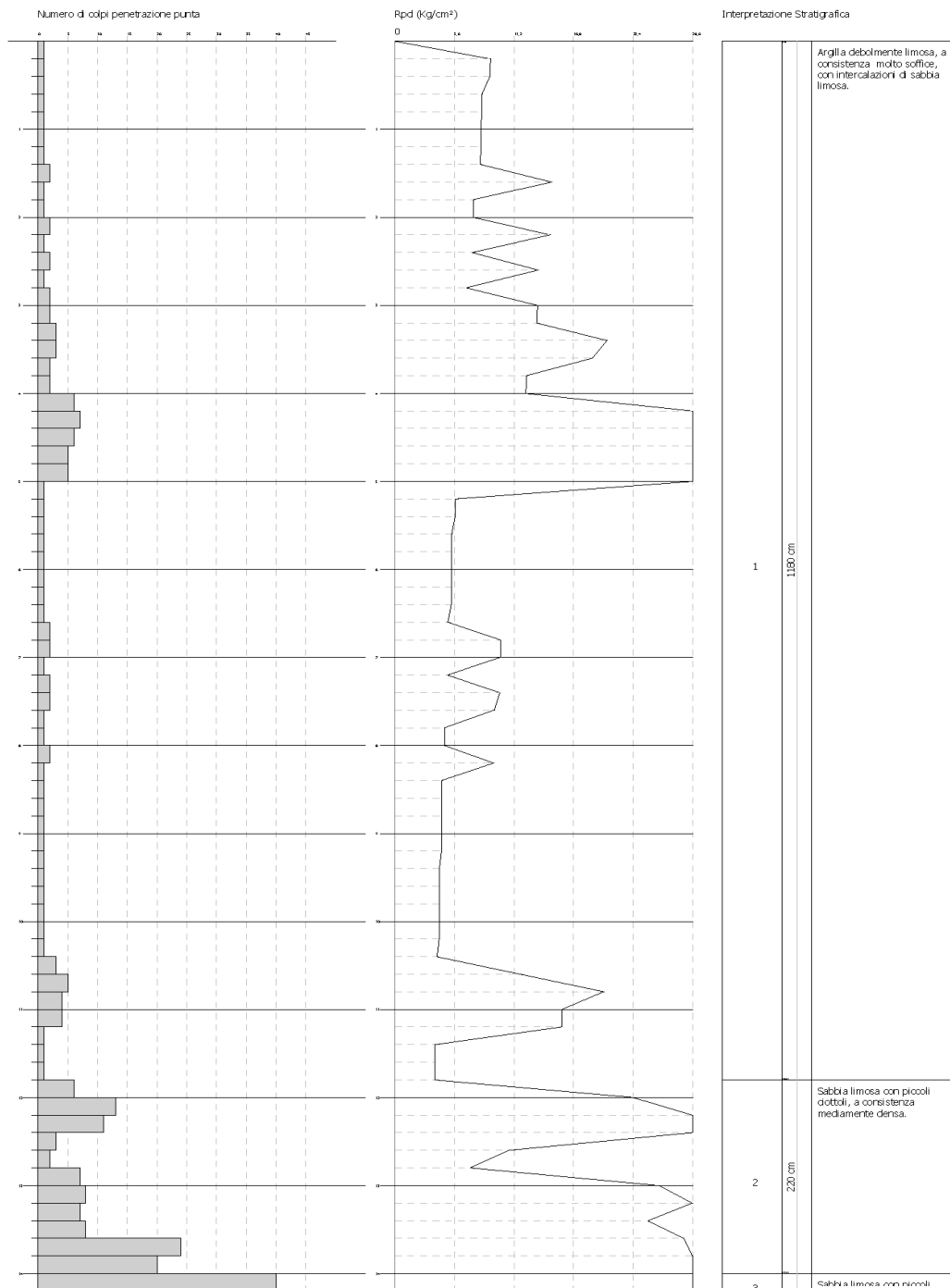


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr. 5  
Strumento utilizzato... DF5H TG 63-200 PAGANI

Committente: EUROLINK s.c.p.a.  
Cantiere: Deposito Materiale Inerte CRA 1  
Località: Melicuccà (RC)

Data: 04/06/2010

Scala 1:61



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr. 6  
Strumento utilizzato... DF5H TG 63-200 PAGANI

Committente: EUROLINK s.c.p.a.  
Cantiere: Deposito Materiale Inerte CRA 1  
Località: Melicuccà (RC)

Data: 04/06/2010

Scala 1:50

