


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

<p><i>Unità Funzionale</i> OPERA DI ATTRAVERSAMENTO</p> <p><i>Tipo di sistema</i> CANTIERI</p> <p><i>Raggruppamento di opere/attività</i> ITINERARI</p> <p><i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i> NUOVI ITINERARI – NI.31</p> <p><i>Titolo del documento</i> P-CN1- RELAZIONE E VERIFICHE GEOTECNICHE</p>	<p><b>CZ0132_F0</b></p>
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------

CODICE	C G 0 0 0 0	P	R X	D	P	C Z	C 2	N I	3 1	0 0	0 0	0 1	F 0
--------	-------------	---	-----	---	---	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
F0	20/06/2011	EMISSIONE FINALE	PUGLIESE	FARINA	PAGANI



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## INDICE

INDICE .....	3
1 Introduzione .....	5
2 Normativa di riferimento .....	7
3 Materiali impiegati .....	7
4 Caratterizzazione geotecnica .....	9
4.1 Stato iniziale materiali .....	9
4.2 Problematiche geotecniche .....	10
4.2.1 Consolidamento con jet-grouting .....	11
4.2.2 Valutazione della costante di sottofondo .....	14
5 Analisi dei carichi .....	15
6 Pericolosità sismica .....	17
7 Fasi costruttive .....	19
8 Modello di calcolo .....	21
9 Risultati di calcolo .....	23
10 Tabulati di calcolo .....	29
10.1 Valutazione capacità portante laterale jet-grouting .....	29
10.2 Analisi non lineare-stima cedimenti .....	31
10.2.1 Ante trattamento .....	31
10.2.1.1 Tabulato di input .....	31
10.2.1.2 Tabulato di output .....	40
10.2.2 Post trattamento .....	41
10.2.2.1 Tabulato di input .....	41
10.2.2.2 Tabulato di output .....	50
10.3 Analisi SSR .....	51
10.3.1 Ante trattamento .....	51
10.3.1.1 Tabulato di input .....	51
10.3.1.2 Tabulato di output .....	61
10.3.2 Post trattamento .....	69
10.3.2.1 Tabulato di input .....	69
10.3.2.2 Tabulato di output .....	79



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 1 Introduzione

Nella presente relazione sono trattate le problematiche e le verifiche geotecniche delle strutture di fondazione dei seguenti sovrappassi:

- Sovrappasso alla pk 0+85.82- codice elaborato CG0000PBZDPCZC2NI31000001A-01
- Sovrappasso alla pk 0+115.70-codice elaborato CG0000PBZDPCZC2NI31000002A-01
- Sovrappasso alla pk 0+676.40- codice elaborato CG0000PBZDPCZC2NI31000004A-01

E' stato effettuato un calcolo tipologico, visto il livello definitivo del progetto, attribuendo a tutte le fondazioni dei suddetti sovrappassi i trattamenti di preconsolidamento del terreno, stabiliti per i sovrappassi alla pk 0+85.82 (indicato inseguito come "sovrappasso I") e 0+115.70 ("sovrappasso II"), che presentano le condizioni di carico più svantaggiose. Le fondazioni sono realizzate in c.a. gettato in opera e hanno tutte spessore pari a 1.30 m.

Sono state effettuate due tipi di analisi, una non-lineare finalizzata alla stima del regime di spinta sulle spalle dei sovrappassi e di quello deformativo, e una di stabilità per verificare la capacità portante delle fondazioni. Entrambe le analisi sono state effettuate in relazione alle fasi di realizzazione delle opere.

Con la finalità di ridurre i cedimenti in fondazione, e di assicurare il soddisfacimento della verifica della capacità portante, si è previsto di praticare un trattamento colonnare con jet-grouting, immediatamente sotto il piano di posa delle fondazioni.

Si riportano le normative di riferimento, i materiali impiegati, la caratterizzazione geotecnica dei terreni, e le analisi svolte.

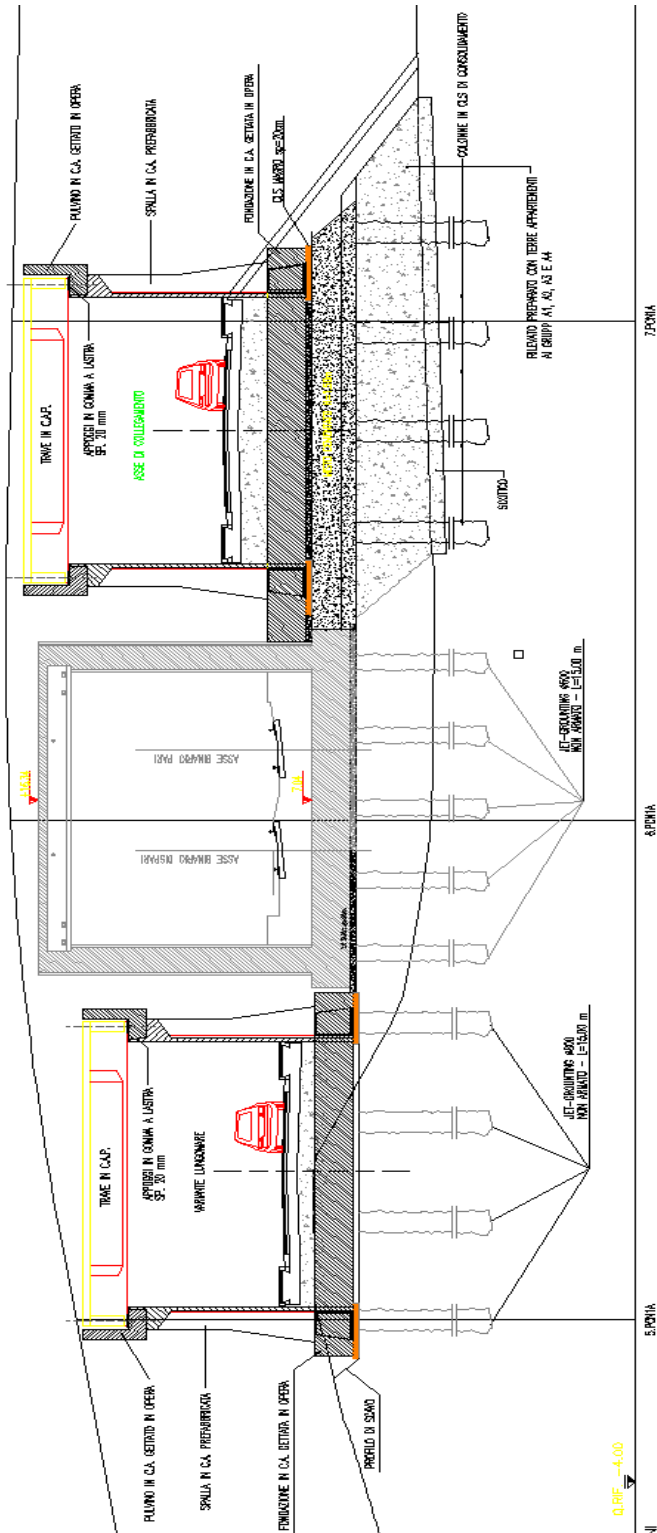


Figura 1.1 : Profilo longitudinale sovrappassi alla pk 0+85.82 e pk 0+115.70

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

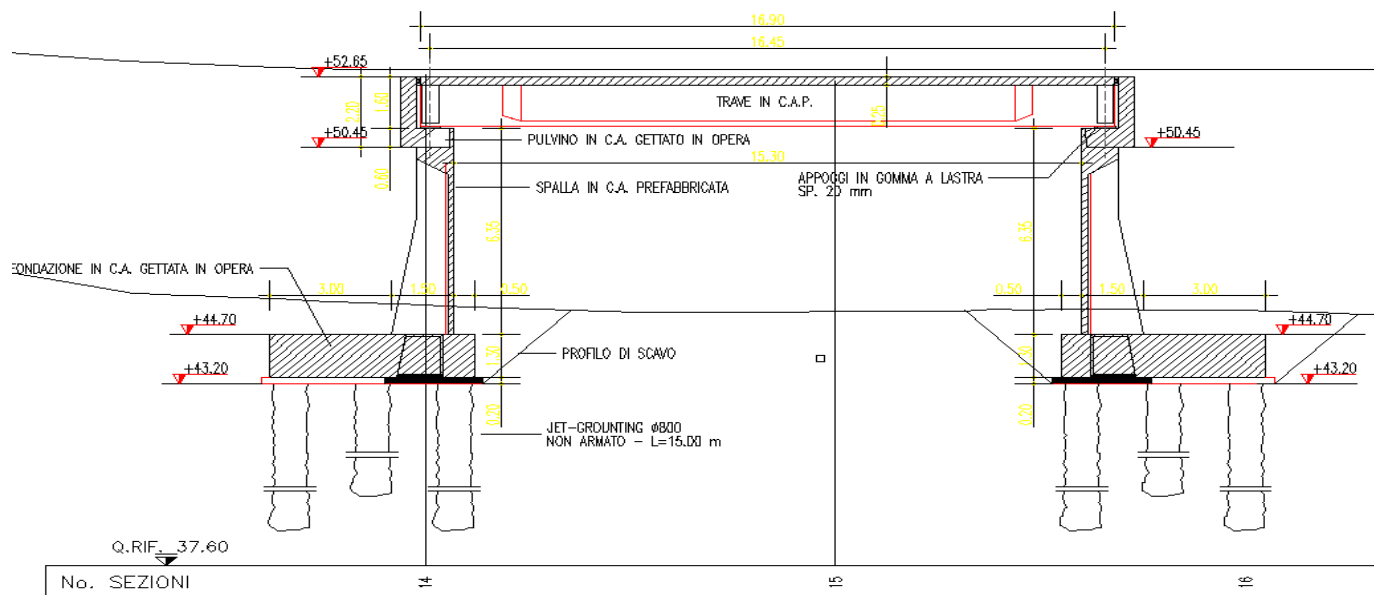


Figura 1.2 : Profilo longitudinale sovrappasso alla pk 0+676.40

## 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 Materiali impiegati

Il calcestruzzo impiegato per le fondazioni è di classe C25/30. Si riportano di seguito le caratteristiche di resistenza e deformazione del materiale:

### CLS FONDAZIONI IN C.A.

Peso specifico	Ps	<b>24.53</b> kN/mc
Classe di resistenza		<b>C25/30</b>
Resistenza caratteristica cubica	Rck	<b>30</b> Mpa
Resistenza caratteristica cilindrica	fck	24.90 Mpa

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Resistenza media cilindrica a compressione	fc <sub>m</sub>	<b>32.90</b> Mpa
Resistenza di progetto a compressione	f <sub>cd</sub>	14.11 Mpa
Resistenza caratteristica a trazione	f <sub>ctk</sub>	<b>1.79</b> Mpa
Resistenza di progetto a trazione	f <sub>ctd</sub>	1.19 Mpa
Valore medio resist. a trazione semplice	f <sub>ctm</sub>	<b>2.56</b> Mpa
Valore medio resist. a trazione per flessione	f <sub>cfm</sub>	<b>3.07</b> Mpa
Modulo di elasticità longitudinale (a 28 gg)	E <sub>cm</sub>	<b>31447</b> Mpa
Coefficiente parziale di sicurezza	γ <sub>c</sub>	<b>1.5</b>
Coefficiente di Poisson	ν	<b>0.2</b>
Coefficiente di dilatazione termica	α	<b>0.00001</b> 1/°C
Resistenza massima nel grafico parabola-rettangolo	f <sub>2</sub>	16.46 Mpa
Deformazione del calcestruzzo alla tensione di picco (parabola-rettangolo)	ε <sub>c2</sub>	<b>0.002</b>
Deformazione ultima del calcestruzzo (parabola-rettangolo)	ε <sub>cu2</sub>	<b>0.0035</b>
Coefficiente parziale di viscosità	φ <sub>v</sub>	<b>3.8</b>
Coefficiente finale di ritiro per essiccamento	ε <sub>cd(t)</sub>	<b>-0.0003</b>
Coefficiente finale di ritiro autogeno	ε <sub>ca(t)</sub>	<b>-5E-05</b>
Tensione tangenziale di aderenza acciaio/cls	f <sub>bd</sub>	<b>2.69</b> Mpa
Spessore fittizio medio	s <sub>f</sub>	<b>12</b> cm

### CLS MAGRONE

Peso specifico	P <sub>s</sub>	<b>24.53</b> kN/mc
Classe di resistenza		<b>C12/15</b>
Resistenza caratteristica cubica	R <sub>ck</sub>	<b>15</b> Mpa
Resistenza caratteristica cilindrica	f <sub>ck</sub>	12.45 Mpa



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 4 Caratterizzazione geotecnica

Il sito interessato dall'intervento di realizzazione dei sovrappassi in oggetto è caratterizzato prevalentemente da depositi costieri di spiaggia

La categoria di sottosuolo [par.3.2.2, NTC 2008] è assimilata alla categoria "B" (rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti).

I parametri geotecnici assunti nelle analisi sono i seguenti:

- Depositi Costieri di spiaggia

$\gamma = 19 \text{ KN/m}^3$	peso di volume
$\gamma_s = 20 \text{ KN/m}^3$	peso di volume saturo
$c' = 0 \text{ kPa}$	coesione efficace
$\phi' = 34^\circ$	angolo di attrito
$E = 50000 \text{ kPa}$	modulo di Young
$\nu = 0.20$	coefficiente di Poisson

- Misto cementato-Rilevato

$\gamma = 21 \text{ KN/m}^3$	peso di volume
$\gamma_s = 22 \text{ KN/m}^3$	peso di volume saturo
$c' = 20 \text{ kPa}$	coesione efficace
$\phi' = 40^\circ$	angolo di attrito
$E = 80000 \text{ kPa}$	modulo di Young
$\nu = 0.30$	coefficiente di Poisson

Cautelativamente in questa fase, il valore di coesione è stato assunto nullo.

### 4.1 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.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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;

Il valore di  $k'$  è stato valutato con la formulazione di Jacky (1944) espresso dalla relazione:

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

## 4.2 Problematiche geotecniche

Dalle analisi di stabilità effettuate sono state rilevate alcune problematiche.

E' stato previsto un trattamento colonnare con jet-grouting che, oltre ad essersi rivelato necessario alla stabilità della fondazione, svolge anche la funzione di ridurre i cedimenti in fondazione.

Le colonne di jet-grouting hanno diametro pari a 80 cm e sono disposte a quinconce (interasse 4.00 m), con lunghezza tipologica pari a 15.00 m. Il preforo viene eseguito a distruzione di nucleo, con iniezione eseguita ad alta pressione (circa 50 MPa) di miscele cementizie, in quantità tale da garantire il dosaggio di 750 Kg/mc di terreno trattato. Il rapporto acqua cemento è pari a 1/1.

Lo strato di terreno consolidato raggiunge valori del modulo di elasticità pari a circa 75 MPa.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

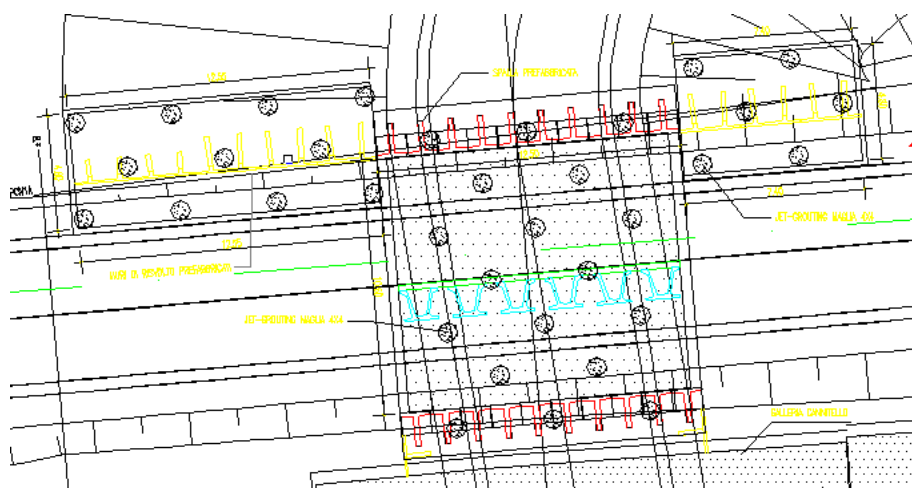


Figura 4.1 : Disposizione planimetrica colonne di jet-grouting

#### 4.2.1 Consolidamento con jet-grouting

La maglia del trattamento con colonne di jet-grouting deve essere scelta in modo da soddisfare la relazione seguente:

$$\sigma_{col} = \frac{q_{es}}{\frac{A_{col}}{A_{tot}} + \frac{E_t}{E_{col}} \cdot \left(1 - \frac{A_{col}}{A_{tot}}\right)} \leq \sigma_{AMM}$$

dove:

- $\sigma_{col}$  tensione relativa alla singola colonna;
- $q_{es}$  tensione d'esercizio;
- $A_{col}$  area della sezione della singola colonna;
- $A_{tot}$  area di influenza che compete alla singola colonna;
- $E_t$  modulo elastico medio del terreno;
- $E_{col}$  modulo elastico della colonna;
- $\sigma_{amm}$  tensione ammissibile relativa alla singola colonna

Il valore del modulo elastico del terreno trattato è ricavabile dalla seguente relazione:

$$E_m = \frac{A_{col}}{A_{tot}} \cdot E_{col} + \left(1 - \frac{A_{col}}{A_{tot}}\right) \cdot E_t$$

L'efficacia del trattamento può essere valutata attraverso un "indice di miglioramento" (m) delle caratteristiche di deformabilità del terreno, definito come segue:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$$m = \frac{E_m}{E_t}$$

Note le caratteristiche di deformabilità del trattamento, e quelle geometriche della disposizione planimetrica delle colonne di jet-grouting, si valuta la resistenza laterale di progetto necessaria per la stima del modulo elastico del terreno trattato. Il modulo elastico della colonna di jet-grouting è stato assunto pari a 500 MPa.

Il carico limite verticale è stato calcolato con la formulazione statica, in funzione della geometria della colonna consolidata, delle caratteristiche del terreno e dell'interfaccia colonna-terreno. Considerando che la realizzazione di una colonna, modifica sempre le caratteristiche del terreno nell'intorno dello stesso, si è assunto un angolo di resistenza a taglio pari a:

$$\phi' = \phi - 3^\circ$$

dove  $\phi$  è l'angolo di resistenza a taglio prima dell'esecuzione.

Il carico limite  $Q_{lim}$  viene convenzionalmente suddiviso in due aliquote, la resistenza alla punta  $Q_p$  e la resistenza laterale  $Q_l$ .

La resistenza alla punta viene valutata attraverso il metodo di Berezantzev et al, 1961 ("Load bearing capacity and deformation of piled foundations. Proc V Int Conf soil Mech Found Eng, Paris, vol 2, pp 11-15).

Si fa riferimento ad una superficie di scorrimento "alla Terzaghi" che si arresta sul piano di posa (punta colonna). Il cilindro di terreno coassiale alla colonna, ed avente diametro pari all'estensione in sezione della superficie di scorrimento, è in parte "sostenuto" dall'azione tangenziale del rimanente terreno lungo la superficie laterale. Ne consegue un valore della pressione alla base inferiore a  $\gamma D$ , tanto minore quanto più questo "effetto silo" è significativo, cioè quanto più grande è il rapporto  $D/B$ .

Questo aspetto è tenuto in conto dal coefficiente  $N_q$ , che è funzione decrescente di  $D/B$ .

La resistenza unitaria  $Q_p$  alla punta, per il caso di terreno dotato di attrito ( $\phi$ ) e di coesione ( $c$ ), è data dall'espressione:

$$\underline{Q_p = c \cdot N_c + \gamma \cdot L \cdot N_q}$$

dove:

- $\gamma$                     peso unità di volume del terreno;
- $L$                      lunghezza colonna;
- $N_c$  e  $N_q$             fattori di capacità portante già comprensivi dell'effetto forma (circolare);

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Il metodo utilizzato per il calcolo della capacità portante laterale è il metodo proposto da Tomlinson (1971):

$$Q_l = (\alpha c + \sigma K \tan \delta) \cdot A_l$$

- A<sub>l</sub> superficie laterale del palo;
- c valore medio della coesione (o della resistenza a taglio in condizioni non drenate);
- σ pressione verticale efficace del terreno;
- K coefficiente di spinta orizzontale, dipendente dalla tecnologia di esecuzione;

$$K = 1 - \tan^2 \phi$$

- δ attrito palo-terreno funzione della scabrezza della superficie del palo;

$$\delta = 3/4 \tan \phi$$

- α coefficiente d'adesione ricavato come segue nella tabella seguente:

Coefficiente α	
$2.5 \leq c < 5 \text{ t/m}^2$	1.00
$5 \leq c < 10 \text{ t/m}^2$	0.70
$10 \leq c < 15 \text{ t/m}^2$	0.50
$15 \leq c < 20 \text{ t/m}^2$	0.40
$c > 20 \text{ t/m}^2$	0.30



Tabella 4.2

Il valore della resistenza laterale è stata determinata considerando la combinazione di carico A2+M2+R2 [NTC 2008], e risulta pari a 0.37 MN.

L' incremento di coesione e del modulo elastico del terreno trattato è stato così valutato:

Angolo di attrito terreno non trattato	[°]	φ	34
Modulo elastico terreno	[MPa]	E <sup>t</sup>	50
Coesione iniziale	[kPa]	c	0
Resistenza di progetto laterale	[MN]	T <sub>max</sub>	0.37
Coefficiente di sicurezza		F <sub>s</sub>	1
numero di rinforzi		n	18
Area rinforzo	[mq]	A <sub>b</sub>	0.5
Modulo elastico rinforzo	[MPa]	E <sub>b</sub>	500
Superficie da trattare	[mq]		181.25

Tabella 4.3

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Indicando con  $E^*$  e  $c^*$  rispettivamente i valori del modulo elastico e della coesione del terreno consolidato, secondo le relazioni seguenti, si ottiene:

$$E^* = E_t \left( 1 + \frac{A_b}{A_{rt}} \cdot \frac{E_b}{E_t} \right); \quad c^* = c + \frac{1 + \sin \varphi}{2 \cos \varphi} \cdot \frac{n T_{\max}}{S}$$

$E^*$	74.83	[Mpa]
$c^*$	34.54	[kPa]

Tabella 4.4

#### 4.2.2 Valutazione della costante di sottofondo

Per l'analisi strutturale delle spalle, il terreno di fondazione è stato modellato come mezzo elastico alla Winkler. La costante di sottofondo, ed il valore della pressione ultima, sono stati valutati come media tra i valori calcolati attraverso la formulazione di Hansen e quella fornita dall'EC7, secondo le relazioni seguenti:

HANSEN:

$$Q_{ult} = c \cdot N_C \cdot S_C \cdot D_C + g \cdot D_f \cdot N_q \cdot S_q \cdot D_q + 0.5 \cdot g \cdot B \cdot N_g \cdot S_g \cdot D_g$$

$$K_w = c \cdot (N_C \cdot S_C + q \cdot N_q \cdot S_q + 0.5 \cdot g \cdot B \cdot N_g \cdot S_g) \text{ con } c = 0.40$$

EC7:

$$Q_{ult} = c \cdot N_C \cdot S_C + g \cdot N_q \cdot S_q + 0.5 \cdot g \cdot B \cdot N_g \cdot S_g$$

$$K_w = c \cdot (N_C \cdot S_C + q \cdot N_q \cdot S_q + 0.5 \cdot g \cdot B \cdot N_g \cdot S_g) \text{ con } c = 0.40$$

Nella tabella seguente si riportano i valori relativi alla configurazione geotecnica iniziale, e quella successiva al trattamento colonnare.

Configurazione	Kw [kg/cm <sup>3</sup> ]	P <sub>u</sub> / 2.3 [MPa]
A: ante trattamento	6.40	0.68
B: post trattamento	14	1.14

Tabella 4.5

I parametri del terreno consolidati sono stati poi, impiegati nel modello strutturale della spalla più sollecitata tra i tre sovrappassi in oggetto. Dalle combinazioni di carico analizzate risulta che il

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

valore massimo di tensione sul terreno è pari a 0.40 MPa. Il confronto tra quest'ultimo e quello della tensione limite ( $P_u / 2.3$ ) ricavato precedentemente evidenzia l'efficacia del trattamento colonnare :

$$\sigma_T = 0.47 MPa < \sigma_{MAX} = 1.14 MPa$$

## 5 Analisi dei carichi

Il modello considerato per le analisi geotecniche comprende sia la struttura in elevazione (spalle ed impalcato) che le sottostrutture. Le azioni che agiscono durante la fase di costruzione dei sovrappassi sono le seguenti:

### PERMANENTI

- Peso proprio elementi strutturali
- Peso proprio pavimentazione stradale pista di cantiere
- Peso proprio pavimentazione viabilità sovrappassi
- Spinta del rilevato stradale laterale

### VARIABILI



- Sovraccarico stradale nei sovrappassi pari a 20 kN/m<sup>2</sup>
- Sovraccarico relativo ai mezzi di cantiere assunto pari ai carichi mobili di normativa secondo lo schema di carico 1 (carico tandem di entità 150 kN su due assi con impronta 1.20m x 2.00m e carico distribuito disposto sull'impalcato di entità pari a 9 kN/m<sup>2</sup>) [NTC 2008, par. 5.1.3.3.5].
- Sovraccarico sovrappasso ferroviario
- Sovraccarico sul terrapieno assunto pari a 20 kN/m<sup>2</sup>

### AZIONE SISMICA

Visto il carattere provvisorio dell'opera è stato considerato un evento sismico riferito alla vita nominale di 10 anni. Si riportano di seguito le indicazioni relative alla valutazione dell'azione sismica.

### FALDA

In tutte le analisi è stata considerata la presenza della falda al piano di scavo delle fondazioni.

		<p align="center"><b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO</p>		
<p align="center">P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE GEOTECNICHE</p>		<p><i>Codice documento</i> CZ0132_F0</p>	<p><i>Rev</i> F0</p>	<p><i>Data</i> 20/06/2011</p>



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 6 Pericolosità 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 10 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 10 anni [par. 2.4.3 NTC 2008].

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

Le componenti dell'azione sismica sono state valutate a partire dai 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;

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

Si riportano i parametri sismici ricavati.

Sito in esame.

latitudine: 38,218101

longitudine: 15,637727

Classe: 2

Vita nominale: 10

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 44766	Lat: 38,2148	Lon: 15,5857	Distanza: 4563,187
Sito 2 ID: 44767	Lat: 38,2136	Lon: 15,6491	Distanza: 1114,088
Sito 3 ID: 44545	Lat: 38,2636	Lon: 15,6507	Distanza: 5182,078
Sito 4 ID: 44544	Lat: 38,2648	Lon: 15,5872	Distanza: 6815,524

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T2

Periodo di riferimento: 10 anni

Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %  
 Tr: 30 [anni]  
 ag: 0,063 g  
 Fo: 2,341  
 Tc\*: 0,278 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %  
 Tr: 30 [anni]  
 ag: 0,063 g  
 Fo: 2,341  
 Tc\*: 0,278 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %  
 Tr: 95 [anni]  
 ag: 0,119 g  
 Fo: 2,313  
 Tc\*: 0,318[s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %  
 Tr: 195 anni]  
 ag: 0,171 g  
 Fo: 2,355  
 Tc\*: 0,335[s]

Coefficienti Sismici

SLO:  
 Ss: 1,200  
 Cc: 1,420

St: 1,200  
 Kh: 0,016  
 Kv: 0,008  
 Amax: 0,892

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Beta: 0,180  
 SLD:  
 Ss: 1,200  
 Cc: 1,420  
 St: 1,200

Kh: 0,016  
 Kv: 0,008  
 Amax: 0,892  
 Beta: 0,180

SLV:  
 Ss: 1,200  
 Cc: 1,380  
 St: 1,200  
 Kh: 0,041  
 Kv: 0,021  
 Amax: 1,683  
 Beta: 0,240

SLC:  
 Ss: 1,200  
 Cc: 1,370  
 St: 1,200  
 Kh: 0,059  
 Kv: 0,030  
 Amax: 2,414  
 Beta: 0,240



## 7 Fasi costruttive

L'analisi non-lineare e quella di stabilità sono state svolte simulando le fasi costruttive della realizzazione dei sovrappassi, e quelle relative al consolidamento del terreno attraverso il trattamento colonnare con jet-grouting.

Le configurazioni studiate confrontano lo stato deformativo e tensionale precedentemente (configurazione A) e successivamente al trattamento colonnare (configurazione B), al fine di valutarne la sua efficacia. Si riportano gli stages di calcolo:

### CONFIGURAZIONE A

- STAGE 1: Condizioni iniziali
- STAGE 2: Piano di posa di fondazione della galleria
- STAGE 3: Realizzazione della galleria
- STAGE 4: Posa del rilevato
- STAGE 5: Posa misto cementato per piano d' appoggio fondazioni Il sovrappasso
- STAGE 6: Realizzazione del II sovrappasso
- STAGE 7: Scavo per realizzazione I sovrappasso
- STAGE 8: Posa rilevato per piano appoggio fondazioni I sovrappasso

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- STAGE 9: Realizzazione I sovrappasso
- STAGE 10: Sottofondazione stradale sovrappassi
- STAGE 11: Rilevato laterale
- STAGE 12: Applicazione carichi permanenti e sovraccarichi stradali nei sovrappassi
- STAGE 13-16: Applicazioni carichi su rilevato e impalcato nelle diverse posizioni, così come previsto dal codice normativo vigente

### **CONFIGURAZIONE B**

La configurazione B differisce dalla A solo per l'inserimento del trattamento colonnare del terreno di base.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 8 Modello di calcolo

La risoluzione di un problema di stabilità 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.

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.

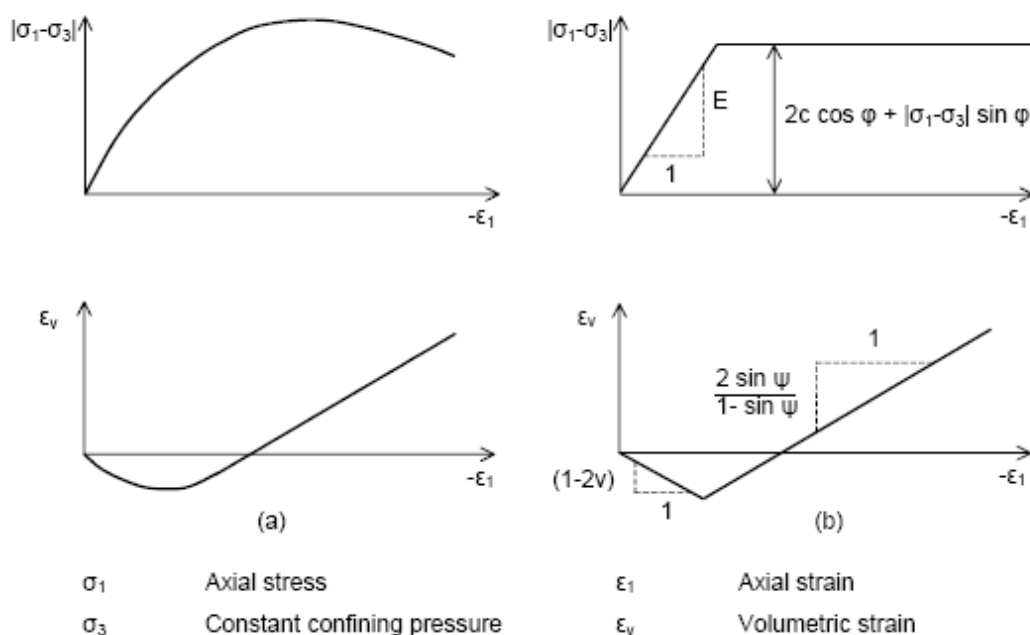


Figura 8.1

Il modello di calcolo rappresenta l'interazione terreno-struttura attraverso l'introduzione di elementi interfaccia, che tengono conto del fattore di riduzione di resistenza dovuto al contatto tra due "elementi" con caratteristiche meccaniche diverse. Si realizzano così degli elementi tipo composto in grado di identificare lo stato di sollecitazione e tensionale sugli elementi al contatto con il

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

terreno. Il software impiegato per le analisi 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, discretizzando il terreno attraverso una mesh uniforme, con elementi finiti a tre nodi [PHASE2, Rocscience 2003].

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  $\nu$ , coesione  $c$ , angolo di attrito  $\varphi$ , e dilatanza  $\psi$ ).

Il metodo adottato dal software per l'analisi di stabilità, necessaria per la valutazione della capacità portante delle fondazioni delle opere in oggetto, 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, 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, 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.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 9 Risultati di calcolo

L'analisi non-lineare per fasi è stata effettuata al fine di valutare il regime di spinta che carica le spalle dei sovrappassi, e il campo di deformazioni sulle relative fondazioni.

Per le verifiche di stabilità delle fondazioni e la stima dei cedimenti è stata considerata la combinazione A2-M2 [NTC 2008, par.6.8.2], secondo la quale i carichi permanenti agiscono con il loro valore caratteristico, mentre quelli variabili sono opportunamente incrementati [tabella 2.6.I e 5.1.VI]. I parametri meccanici del terreno sono decurtati del 25% [tabella 6.2.I].

In particolare, per la verifica di stabilità si è fatto riferimento allo stato limite ultimo A2 GEO, applicando la seguente combinazione di carico:

$$G_k + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \Psi_{02} \cdot Q_{k2} \quad \text{-A2-M2 GEO (SLU)}$$

dove  $G_k$  rappresenta il carico permanente caratteristico,  $Q_{k1}$  l'azione variabile assunta come principale,  $Q_{k2}$  l'azione variabile secondaria,  $\gamma_{Q1}$  e  $\gamma_{Q2}$  i coefficienti di amplificazione dei carichi variabili [tabella 5.1.V],  $\Psi_{02}$  il coefficiente di partecipazione dell'azione variabile secondaria

[tabella 5.1.VI]. Sono state effettuate due combinazioni di carico, considerando come principale il carico variabile da traffico (tandem), secondari i carichi variabili stradali, e viceversa. Vista la modesta entità del sisma, dovuta al carattere provvisorio dell'opera, la combinazione allo SLU sismica non risulta dimensionante.

Per quanto riguarda la valutazione del campo di spostamenti, è stata considerata la combinazione allo SLE rara, secondo la relazione:

$$G_k + Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \Psi_{02} \cdot Q_{k2} \quad \text{-SLE RARA}$$

Nella tabella seguente si riassumono i valori di cedimenti ottenuti per le configurazioni A e B:

Sovrappasso I	CONFIGURAZIONE	
Cedimento ass [cm]	A: Ante trattamento	B: Post trattamento
min	4.03	3.33
medio	7.83	5.30
max	10.37	6.88

Tabella 9.1 a

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Sovrappasso II	CONFIGURAZIONE	
Cedimento ass [cm]	A: Ante trattamento	B: Post trattamento
min	6.38	4.76
medio	9.71	6.30
max	12.26	7.77

Tabella 9.1 b

Si evidenzia come il trattamento colonnare svolga l'azione di riduzione dell'entità dei cedimenti in fondazione di circa il 33%. Essi risultano, pertanto, inferiori a quelli ammissibili strutturali di riferimento per strutture intelaiate, per le quali il cedimento massimo assoluto è pari a 10 cm [tabella 9.2, SOWERS 1962].

Tipo di movimento	Fattore limitante	Cedimenti massimi (cm)
Cedimento assoluto o rigido	Fognature ecc.	(1) 15 ÷ 30 (2)
	Livello d'ingresso scale ecc.	30 ÷ 60
	Probabilità di cedimenti non uniformi:	
	Strutture murarie	2 ÷ 5
	Strutture intelaiate	2 ÷ 10
Rotazione rigida od inclinazione	Fumaioli, torri ecc.	4‰ h
	Accatastamento di merci	10‰ h
	Rotaie per gru	3‰ h
	Macchine tessili	3‰ h
	Turbogeneratori	0,2‰ h
Cedimento differenziale e distorsione	Muri di mattoni continui, alti	0,5 ÷ 1‰ l (3)
	Lesioni di muri di mattoni di edifici di un piano	1 ÷ 2‰ l
	Lesione degli intonaci	1‰ l
	Strutture intelaiate in c.a.	2 ÷ 4‰ l
	Strutture a setti in c.a.	3‰ l
	Strutture intelaiate continue in acciaio	2‰ l
Telato semplice in acciaio	5‰ l	

Tabella 9.2

Si riporta il campo di deformazione relativo alle due configurazioni studiate.



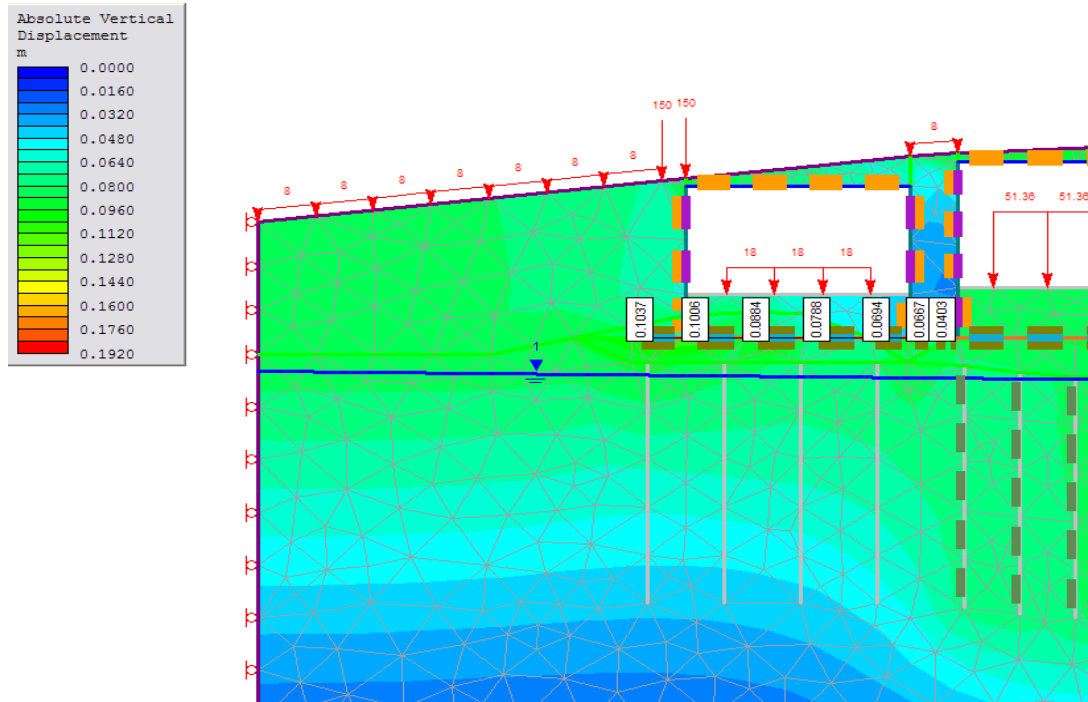


Figura 9.1 : Configurazione ante trattamento- Spostamenti verticali- Condizione di carico spostamento massimo sulla fondazione sovrappasso I

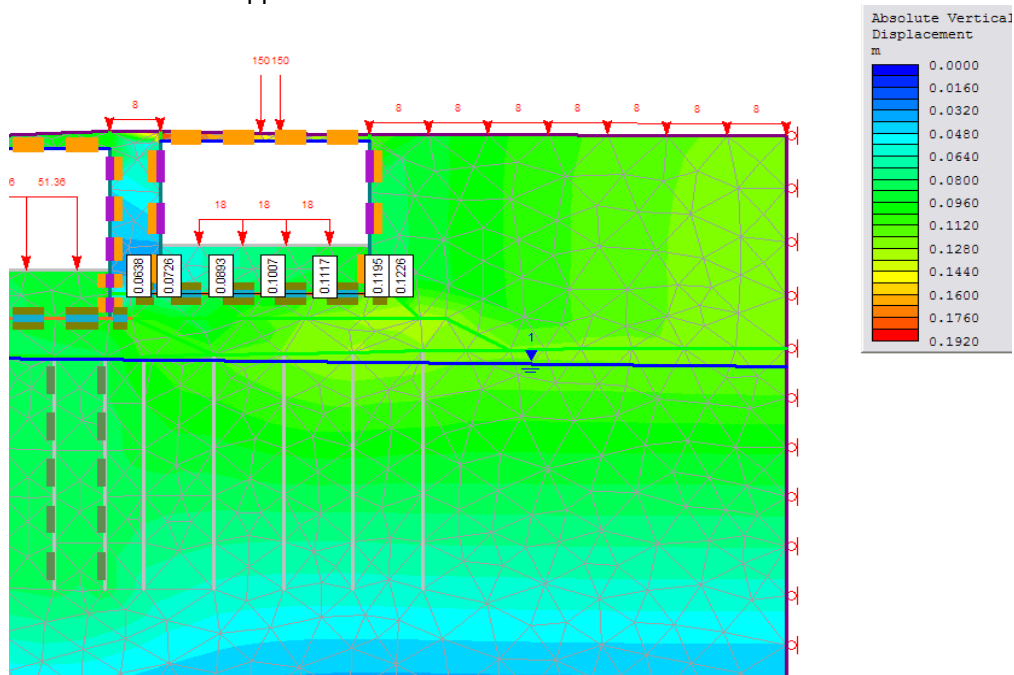


Figura 9.2 : Configurazione ante- trattamento- Spostamenti verticale- Condizione di carico spostamento massimo sulla fondazione sovrappasso II

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

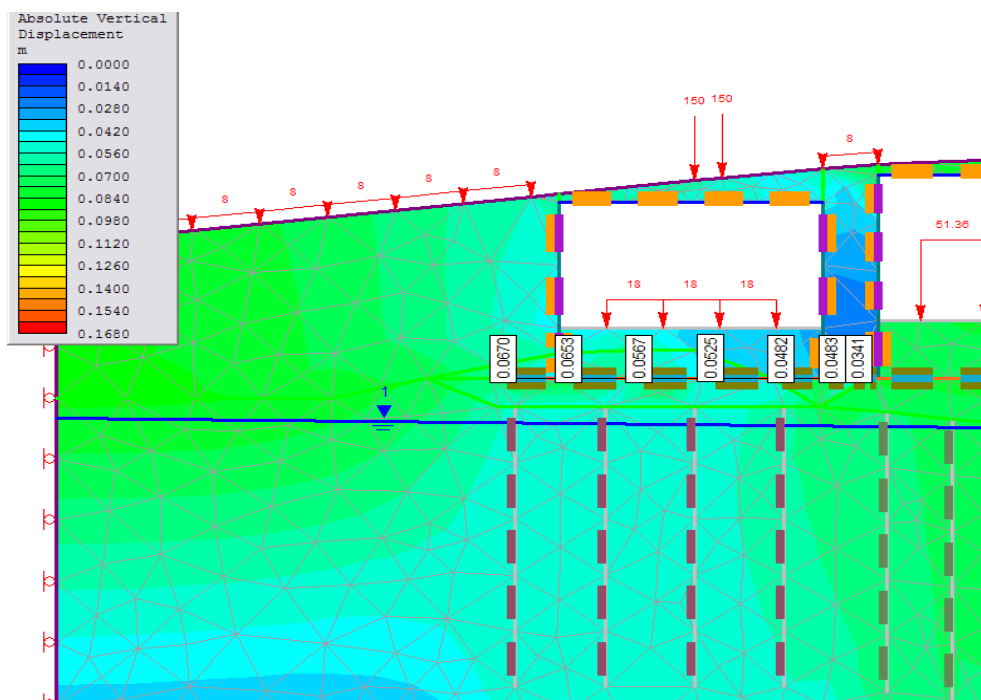


Figura 9.3 : Configurazione post- trattamento- Spostamenti verticali - Condizione di carico spostamento massimo sulla fondazione sovrappasso I

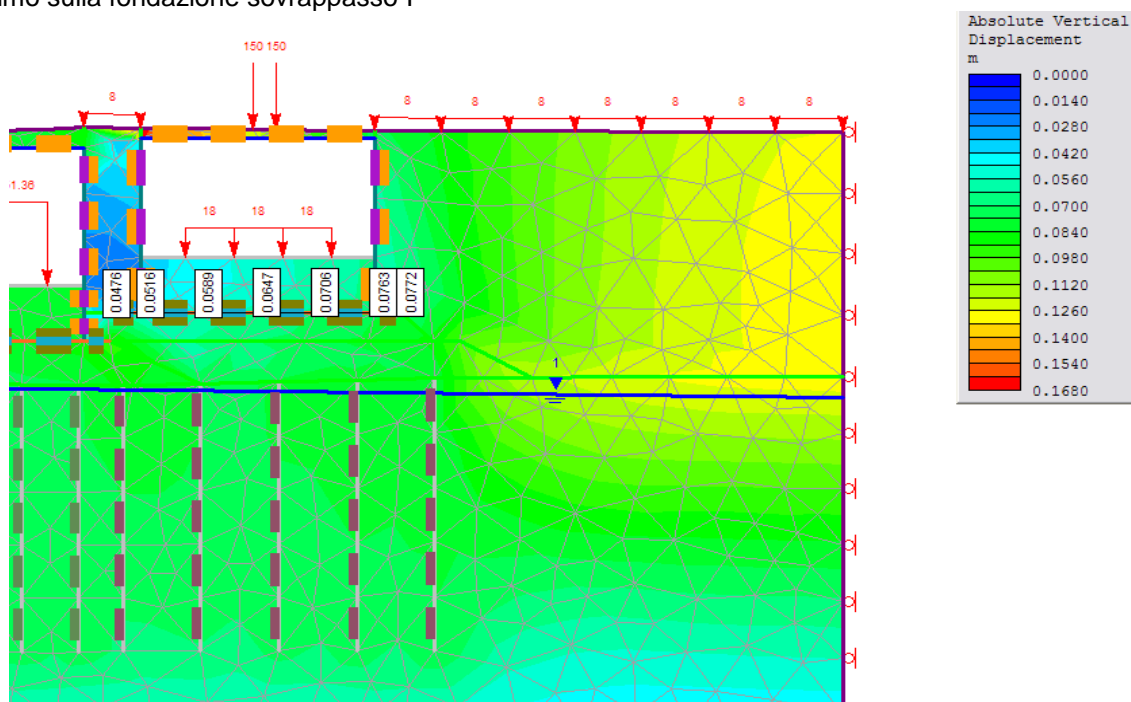




Figura 9.4 : Configurazione post- trattamento- Spostamenti verticali - Condizione di carico spostamento massimo sulla fondazione sovrappasso II

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Per la verifica della capacità portante delle fondazioni è stata eseguita l'analisi SSR, estendendo l'area di ricerca ad una regione sufficientemente ampia, comprendente le fondazioni dei sovrappassi e e della galleria.

La combinazione utilizzata è la combinazione A2-M2- GEO, essendo la più critica per l'apparato fondazionale. Secondo tale combinazione sono stati considerati i carichi permanenti (pesi propri elementi strutturali), i sovraccarichi dei mezzi di cantiere nell'impalcato e nel rilevato stradale, combinati opportunamente secondo quanto previsto dalle NTC 2008.

Nella tabella seguente si confrontano i coefficienti di sicurezza relativi alle due configurazioni studiate, e successivamente la mappatura degli spostamenti relativa.

Configurazione	A: Ante- trattamento	B: Post trattamento
<b>SFR</b>	7.00	7.09

Tabella 9.2

In questo caso il trattamento colonnare determina un modestissimo incremento del fattore di sicurezza SFR, svolgendo la principale azione di riduzione dei cedimenti.

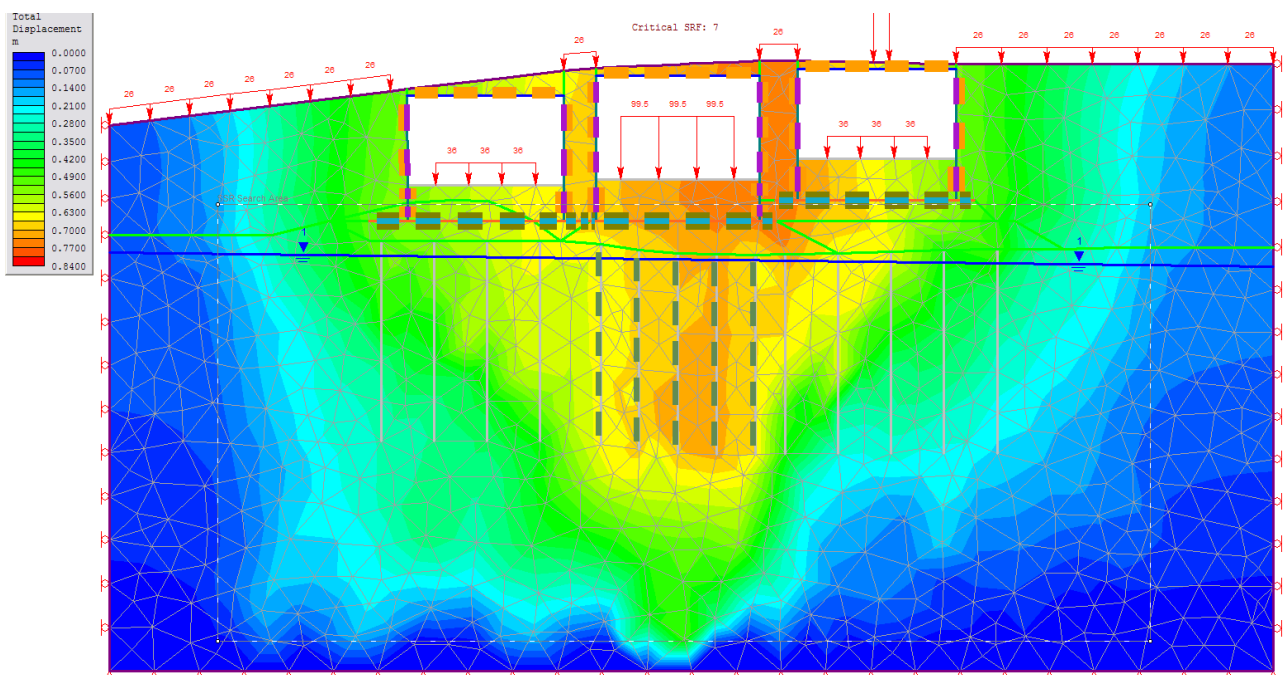


Figura 9.5 : Configurazione A - Analisi SSR - Spostamenti totali - SFR=7.00

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

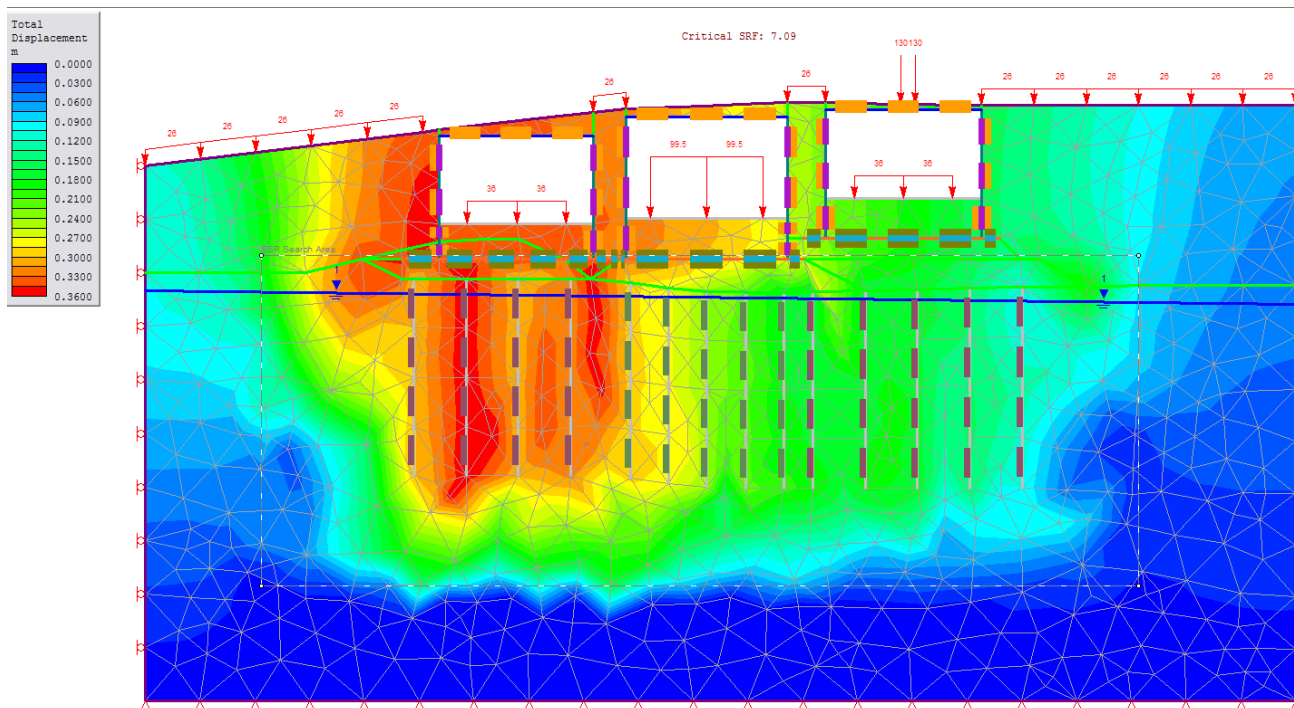


Figura 9.6 : Configurazione B- Analisi SSR - Spostamenti totali - SFR=7.09

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 10 Tabulati di calcolo

Si riportano di seguito i tabulati di calcolo relativi alla valutazione della portanza laterale della colonna di jet grouting, dei cedimenti, e le verifiche di stabilità delle fondazioni dei sovrappassi in oggetto. Per semplicità di scrittura, si riportano i tabulati relativi alla condizione più critica.

### 10.1 Valutazione capacità portante laterale jet-grouting

Diametro punta 0.80 m

Lunghezza 15.00 m

Portanza di punta calcolata con: Berezantzev

Profondità falda da piano campagna 1.00 m

Sistema di iniezione: trifluido

#### Archivio materiali

##### Conglomerati

Nr.	Classe calcestruzzo	fck,cubi [MPa]	Ec [MPa]	fck [MPa]	fcd [MPa]	fctd [MPa]	fctm [MPa]
1	C20/25	250	299600	200	113.3	10.3	22.1
2	C25/30	300	314700	250	141.6	11.9	25.6
3	C28/35	350	323000	280	158.6	12.8	27.6
4	C40/50	500	352200	400	198.3	14.9	32

##### Acciai:

Nr.	Classe acciaio	Es [MPa]	fyk [MPa]	fyd [MPa]	ftk [MPa]	ftd [MPa]	ep_tk	epd_ult	$\beta 1 * \beta 2$ iniz.	$\beta 1 * \beta 2$ finale
1	B450C	2000000	4500	3913	5400	3913	.075	.0675	1	0.5
2	B450C*	2000000	4500	3913	5400	4500	.075	.0675	1	0.5
3	B450C**	2000000	4500	3913	4583	3985	.012	.01	1	0.5
4	S235H	2100000	2400	2087	3600	2087	0.012	0.01	1	0.5
5	S275H	2100000	2800	2435	4300	2435	0.012	0.01	1	0.5
6	S355H	2100000	3600	3130	5100	3600	0.012	0.01	1	0.5

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>	<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0

### Stratigrafia

Nr.: Numero dello strato. Hs: Spessore dello strato. Fi: Angolo di attrito. c: Coesione Alfa: Coefficiente di adesione dell'attrito laterale lungo il fusto.. Vs: Velocità onde di taglio.

#### Strat. Nr. 1

Nr.	Hs	Peso unità di Volume [kg/m <sup>3</sup> ]	Peso Unità di volume Saturo [kg/m <sup>3</sup> ]	c [kg/cm <sup>2</sup> ]	Fi (°)	Attrito negativo	Alfa	Modulo elastico [kg/cm <sup>2</sup> ]	Vs [m/s]	Descrizione litologica
1	20.00	1900.00	2000.00	0.00	34.00	No	0.70	0.00	0	sabbia

#### Carico limite

Stratigra fia	Nq	Nc	Fi/C strato punta Palo (°)/[kg/c m <sup>2</sup> ]	Peso palo [kg]	Carico limite punta [kg]	Carico limite laterale [kg]	Carico limite [kg]	Attrito negativo [kg]	Carico limite orizzont ale [kg]
A2+M2+ R2	31.72	50.60	31.2637/ 0.00	18849.5 6	253543. 20	92153.1 7	326846. 80	--	--

#### RESISTENZA DI PROGETTO CARICHI ASSIALI

=====

Resistenza caratteristica carichi assiali. Nome combinazione:     A2+M2+R2

=====

Numero verticali di indagine 1

Fattore correlazione verticale indagate media (xi3) 1.70

Fattore correlazione verticale indagate minima (xi4)         1.70

	Rc, Min [kg]	Rc, Media [kg]	Rc, Max [kg]
Base	253543.20	253543.20	253543.20
Laterale	92153.17	92153.17	92153.17
Totale	326846.80	326846.80	326846.80

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Coefficiente parziale resistenza caratteristica      R2

Base    1.45

Laterale      1.45

Resistenza di progetto base    102857.30    kg

Resistenza di progetto laterale      37384.65    kg

Resistenza di progetto      121392.40    kg

La resistenza di progetto laterale è pari a 0.37 MN.

## 10.2      Analisi non lineare-stima cedimenti

Si riportano i tabulati relativi all'analisi non lineare eseguita seguendo le successive fasi costruttive, al fine di stimare il campo deformativo per le configurazioni A e B.

### 10.2.1      Ante trattamento

#### 10.2.1.1      Tabulato di input

##### **Document Name**

NLA2M2\_senza jet.fez

##### **Project Settings**

###### General

Project Title: Project1

Number of Stages: 16

Analysis Type: Plane Strain

Solver Type: Gaussian Elimination

Units: Metric, stress as kPa

###### Stress Analysis

Maximum Number of Iterations: 2000

Tolerance: 0.002

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

##### **Field Stress**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Field stress: gravity  
 Using actual ground surface  
 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

### **Mesh**

Mesh type: uniform  
 Element type: 3 noded triangles  
 Number of elements on Fase 0: 1106  
   Number of nodes on Fase 0: 601  
 Number of elements on Piano posa+ jet: 1132  
   Number of nodes on Piano posa+ jet: 615  
 Number of elements on Sovrap fs: 1175  
   Number of nodes on Sovrap fs: 650  
 Number of elements on Piano posa+jet: 1198  
   Number of nodes on Piano posa+jet: 662  
 Number of elements on Misto: 1215  
   Number of nodes on Misto: 673  
 Number of elements on Il sovrapp: 1240  
   Number of nodes on Il sovrapp: 692  
 Number of elements on Scavo: 1210  
   Number of nodes on Scavo: 668  
 Number of elements on Piano posa +jet: 1231  
   Number of nodes on Piano posa +jet: 680  
 Number of elements on I sovrapp: 1260  
   Number of nodes on I sovrapp: 701  
 Number of elements on Sottofondazione stradale: 1301  
   Number of nodes on Sottofondazione stradale: 735  
 Number of elements on Terrapieno: 1551  
   Number of nodes on Terrapieno: 872  
 Number of elements on Carichi stradali: 1551  
   Number of nodes on Carichi stradali: 872  
 Number of elements on Carichi terrapieno pos 1: 1551  
   Number of nodes on Carichi terrapieno pos 1: 872  
 Number of elements on Carichi terrapieno pos 2: 1551  
   Number of nodes on Carichi terrapieno pos 2: 872  
 Number of elements on Carichi terrapieno pos 3: 1551  
   Number of nodes on Carichi terrapieno pos 3: 872  
 Number of elements on Carichi terrapieno pos 4: 1551  
   Number of nodes on Carichi terrapieno pos 4: 872

### **Reset Displacements**

Displacements reset after: Fase 0

### **Material Properties**

Material: Depositi Costieri da Spiaggia



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

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: 28.35 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Material type: Plastic

Dilation Angle: 0 degrees

Residual Friction Angle: 28.35 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Piezo to use: 1

Hu Type: Auto

Material: Misto Cementato

Initial element loading: field stress & body force

Unit weight: 21 kN/m<sup>3</sup>

Elastic type: isotropic

Young's modulus: 80000 kPa

Poisson's ratio: 0.3

Failure criterion: Mohr-Coulomb

Tensile strength: 0 kPa

Peak friction angle: 34 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Material type: Plastic

Dilation Angle: 4 degrees

Residual Friction Angle: 34 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Piezo to use: None

Ru value: 0

Material: Rilevato

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**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Piano posa+ jet

Material: Rilevato, Area Filled: 43.409 m2

Sovrap fs

Material: Misto Cementato, Area Filled: 38.548 m2  
 Material: Rilevato, Area Filled: 10.578 m2

Piano posa+jet

Material: Rilevato, Area Filled: 39.443 m2

Misto

Material: Misto Cementato, Area Filled: 27.077 m2

Il sovrapp

Material: Rilevato, Area Filled: 5.583 m2

Scavo

Material: Depositi Costieri da Spiaggia, Area Excavated: 38.525 m2  
 Material: Rilevato, Area Excavated: 3.292 m2

Piano posa +jet

Material: Rilevato, Area Filled: 26.102 m2

I sovrapp

Material: Rilevato, Area Filled: 13.709 m2

Sottofondazione stradale

Material: Rilevato, Area Filled: 69.028 m2

Terrapieno

Material: Rilevato, Area Filled: 580.544 m2

**Excavation Areas**

Original Un-deformed Areas

External Boundary Area: 3925.706 m2  
 External Boundary Perimeter: 262.756 m

Fase 0

External Boundary Area: 3925.706 m2 (0 m2 change from original area)  
 External Boundary Perimeter: 262.756 m (0 m change from original perimeter)

Piano posa+ jet

External Boundary Area: 3925.706 m2 (-4.54747e-013 m2 change from original area)  
 External Boundary Perimeter: 262.756 m (5.68434e-014 m change from original perimeter)

Sovrap fs

External Boundary Area: 3925.177 m2 (-0.528779 m2 change from original area)  
 External Boundary Perimeter: 262.753 m (-0.00298937 m change from original perimeter)

Piano posa+jet

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

External Boundary Area: 3925.129 m<sup>2</sup> (-0.576269 m<sup>2</sup> change from original area)  
 External Boundary Perimeter: 262.753 m (-0.00321884 m change from original perimeter)

Misto

External Boundary Area: 3925.065 m<sup>2</sup> (-0.640881 m<sup>2</sup> change from original area)  
 External Boundary Perimeter: 262.753 m (-0.00351262 m change from original perimeter)

Il sovrapp

External Boundary Area: 3923.955 m<sup>2</sup> (-1.75098 m<sup>2</sup> change from original area)  
 External Boundary Perimeter: 262.752 m (-0.00389034 m change from original perimeter)

Scavo

External Boundary Area: 3923.969 m<sup>2</sup> (-1.73662 m<sup>2</sup> change from original area)  
 External Boundary Perimeter: 262.753 m (-0.00377837 m change from original perimeter)

Piano posa +jet

External Boundary Area: 3923.935 m<sup>2</sup> (-1.77105 m<sup>2</sup> change from original area)  
 External Boundary Perimeter: 262.752 m (-0.00394682 m change from original perimeter)

I sovrapp

External Boundary Area: 3923.633 m<sup>2</sup> (-2.07303 m<sup>2</sup> change from original area)  
 External Boundary Perimeter: 262.751 m (-0.00505318 m change from original perimeter)

Sottofondazione stradale

External Boundary Area: 3922.994 m<sup>2</sup> (-2.7116 m<sup>2</sup> change from original area)  
 External Boundary Perimeter: 262.751 m (-0.005751 m change from original perimeter)

Terrapieno

External Boundary Area: 3917.688 m<sup>2</sup> (-8.01761 m<sup>2</sup> change from original area)  
 External Boundary Perimeter: 262.564 m (-0.192216 m change from original perimeter)

Carichi stradali

External Boundary Area: 3917.402 m<sup>2</sup> (-8.30383 m<sup>2</sup> change from original area)  
 External Boundary Perimeter: 262.562 m (-0.19411 m change from original perimeter)

Carichi terrapieno pos 1

External Boundary Area: 3916.984 m<sup>2</sup> (-8.72197 m<sup>2</sup> change from original area)  
 External Boundary Perimeter: 262.551 m (-0.205198 m change from original perimeter)

Carichi terrapieno pos 2

External Boundary Area: 3916.999 m<sup>2</sup> (-8.70617 m<sup>2</sup> change from original area)  
 External Boundary Perimeter: 262.552 m (-0.204535 m change from original perimeter)

Carichi terrapieno pos 3

External Boundary Area: 3917.015 m<sup>2</sup> (-8.69044 m<sup>2</sup> change from original area)  
 External Boundary Perimeter: 262.552 m (-0.204062 m change from original perimeter)

Carichi terrapieno pos 4

External Boundary Area: 3916.990 m<sup>2</sup> (-8.71599 m<sup>2</sup> change from original area)  
 External Boundary Perimeter: 262.552 m (-0.204617 m change from original perimeter)

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### **Liner Properties**

#### Liner: Fondazione

Liner Type: Beam  
 Formulation: timoshenko  
 Geometry:  
 Thickness: 1.3 m  
 Elastic properties:  
 Young's modulus: 3.1447e+007 kPa  
 Poisson's ratio: 0.2  
 Unit Weight of liner included in analysis  
 Unit Weight: 25 kN/m<sup>3</sup>

#### Liner: Spalla

Liner Type: Beam  
 Formulation: timoshenko  
 Geometry:  
 Area: 0.33 m<sup>2</sup>  
 Moment of Inertia: 0.044 m<sup>4</sup>  
 Elastic properties:  
 Young's modulus: 3.4625e+007 kPa  
 Poisson's ratio: 0.2  
 Unit Weight of liner included in analysis  
 Unit Weight: 25 kN/m<sup>3</sup>

#### Liner: Impalcato

Liner Type: Beam  
 Formulation: timoshenko  
 Geometry:  
 Area: 0.45 m<sup>2</sup>  
 Moment of Inertia: 0.1312 m<sup>4</sup>  
 Elastic properties:  
 Young's modulus: 3.9163e+007 kPa  
 Poisson's ratio: 0.2  
 Unit Weight of liner included in analysis  
 Unit Weight: 25 kN/m<sup>3</sup>

#### Liner: jet-Galleria

Liner Type: Beam  
 Formulation: timoshenko  
 Geometry:  
 Thickness: 0.2941 m  
 Elastic properties:  
 Young's modulus: 3.1447e+007 kPa  
 Poisson's ratio: 0.2  
 Unit Weight of liner included in analysis  
 Unit Weight: 2.36 kN/m<sup>3</sup>

### **Joint Properties**

#### Joint: Interfaccia Elevazione

Normal stiffness: 100000 kPa/m

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Shear stiffness: 10000 kPa/m  
 Initial joint deformation: allowed  
 Pressure from Groundwater Analysis: Not Included  
 Additional Pressure Inside Joint: Not Included  
 Mohr-Coulomb slip criteria  
 Tensile strength: 0 kPa (tension positive)  
 Cohesion: 0 kPa  
 Friction angle: 23.33 degrees

Joint: Interfaccia Fondazione  
 Normal stiffness: 100000 kPa/m  
 Shear stiffness: 10000 kPa/m  
 Initial joint deformation: allowed  
 Pressure from Groundwater Analysis: Not Included  
 Additional Pressure Inside Joint: Not Included  
 Mohr-Coulomb slip criteria  
 Tensile strength: 0 kPa (tension positive)  
 Cohesion: 0 kPa  
 Friction angle: 22.66 degrees

### **Structural Interface Properties**

Structural Interface: Interfaccia Spalla  
 Joint (positive side): Interfaccia Elevazione  
 Liner: Spalla  
 Joint (negative side): Interfaccia Elevazione  
Structural Interface: Interfaccia impalcato  
 Joint (positive side): Interfaccia Elevazione  
 Liner: Impalcato  
 Joint (negative side): Interfaccia Elevazione  
Structural Interface: Interfaccia Fondazione  
 Joint (positive side): Interfaccia Fondazione  
 Liner: Fondazione  
 Joint (negative side): Interfaccia Fondazione

### **List of All Coordinates**

#### External boundary

-2.204	-8.976
85.727	-8.976
85.727	22.871
85.727	36.641
61.763	36.680
59.757	36.680
56.691	36.756
55.531	36.763
51.824	36.835
49.793	36.875
46.871	36.896
44.837	36.807
41.947	36.696

40.513	36.618
36.571	36.446
34.541	36.357
32.076	36.128
27.578	35.611
26.347	35.469
20.278	34.771
19.030	34.611
-2.204	32.033
-2.204	23.827

#### Stage boundary

32.076	24.857
32.076	24.858

#### Stage boundary

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

32.076    27.553  
 29.975    27.553  
 22.415    27.553  
 20.278    27.553

Stage boundary  
 34.541    27.984  
 36.426    27.984  
 44.986    27.984  
 46.871    27.984

Stage boundary  
 61.763    29.557  
 59.536    29.557  
 52.036    29.557  
 49.793    29.557

Stage boundary  
 18.290    8.332  
 18.290    23.332

Stage boundary  
 22.318    8.331  
 22.318    23.331

Stage boundary  
 26.296    8.331  
 26.296    23.331

Stage boundary  
 30.313    8.331  
 30.313    23.331

Stage boundary  
 34.911    8.089  
 34.911    23.089

Stage boundary  
 37.814    7.676  
 37.814    22.676

Stage boundary  
 40.718    7.415  
 40.718    22.415

Stage boundary  
 43.673    7.332  
 43.673    22.332

Stage boundary  
 46.594    7.332  
 46.594    22.332

Stage boundary  
 52.842    7.367  
 52.842    22.446

Stage boundary  
 56.842    7.367  
 56.842    22.535

Stage boundary  
 60.842    7.367  
 60.842    22.646

Stage boundary  
 64.842    7.367  
 64.842    22.756

Stage boundary  
 48.842    7.367  
 48.842    22.367

Material boundary  
 31.878    23.331  
 29.817    24.858  
 29.408    25.042  
 26.397    26.377  
 23.701    26.399  
 20.278    26.220  
 14.375    24.858  
 17.441    23.332  
 18.290    23.332  
 22.318    23.331  
 26.296    23.331  
 30.313    23.331  
 31.878    23.331

Material boundary  
 48.152    24.858  
 64.716    24.858  
 66.151    24.858  
 69.830    22.756  
 73.910    22.871  
 85.727    22.871

Material boundary  
 64.716    24.858  
 63.128    26.446

Material boundary  
 32.076    36.128  
 32.076    34.288

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

Material boundary

34.541 36.357  
34.541 35.771

Material boundary

46.871 36.896  
46.871 35.771

Material boundary

49.793 36.875  
49.793 36.298  
49.793 36.298

Material boundary

61.763 36.680  
61.763 36.297

Material boundary

14.375 24.858  
17.399 24.858

Material boundary

-2.204 23.827  
10.093 23.827  
14.375 24.858

Material boundary

31.878 23.331  
34.911 23.089  
37.814 22.676  
40.718 22.415  
46.594 22.332  
48.842 22.367  
49.352 22.377  
52.842 22.446  
56.842 22.535  
60.842 22.646  
64.842 22.756  
69.830 22.756

Material boundary

46.871 26.446  
48.066 26.446

Material boundary

31.878 23.331  
34.129 24.858

Material boundary

48.152 24.858  
52.842 22.446

Material boundary

20.278 34.771  
20.278 34.288

Structural interface

20.278 34.288  
20.278 27.553  
20.278 26.220  
20.279 24.858  
20.279 24.857

Structural interface

32.076 24.858  
32.076 27.553  
32.076 34.288

Structural interface

34.541 35.771  
34.541 27.984  
34.541 24.858

Structural interface

46.871 24.858  
46.871 26.446  
46.871 27.984  
46.871 35.771

Structural interface

49.793 36.298  
49.793 29.557  
49.793 26.446

Structural interface

61.763 26.446  
61.763 29.557  
61.763 36.297

Structural interface

33.255 24.858  
34.129 24.858  
34.541 24.858  
46.871 24.858  
48.152 24.858

Structural interface

48.066 26.446  
49.793 26.446  
61.763 26.446  
63.128 26.446

Structural interface

17.399 24.858

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

20.279	24.858	32.076	34.288
29.817	24.858	20.278	34.288
32.076	24.858		
33.255	24.858		
<u>Structural interface</u>		<u>Structural interface</u>	
46.871	35.771	61.763	36.297
34.541	35.771	49.793	36.298
<u>Structural interface</u>		<u>Piezometric line</u>	
		-2.204	22.727
		85.727	21.687

### 10.2.1.2 Tabulato di output

#### Displacements



Maximum total displacement for Fase 0: 0 m  
 Maximum total displacement for Piano posa+ jet: 0.00933875 m  
 Maximum total displacement for Sovrap fs: 0.045453 m  
 Maximum total displacement for Piano posa+jet: 0.0511065 m  
 Maximum total displacement for Misto: 0.0588616 m  
 Maximum total displacement for Il sovrapp: 0.13441 m  
 Maximum total displacement for Scavo: 0.133667 m  
 Maximum total displacement for Piano posa +jet: 0.134441 m  
 Maximum total displacement for I sovrapp: 0.135613 m  
 Maximum total displacement for Sottofondazione stradale: 0.151568 m  
 Maximum total displacement for Terrapieno: 0.176134 m  
 Maximum total displacement for Carichi stradali: 0.181672 m  
 Maximum total displacement for Carichi terrapieno pos 1: 0.183134 m  
 Maximum total displacement for Carichi terrapieno pos 2: 0.183614 m  
 Maximum total displacement for Carichi terrapieno pos 3: 0.185636 m  
 Maximum total displacement for Carichi terrapieno pos 4: 0.186837 m

#### Yielded Elements

##### Yielded Mesh Elements

Number of yielded mesh elements on Fase 0: 90  
 Number of yielded mesh elements on Piano posa+ jet: 100  
 Number of yielded mesh elements on Sovrap fs: 214  
 Number of yielded mesh elements on Piano posa+jet: 229  
 Number of yielded mesh elements on Misto: 249  
 Number of yielded mesh elements on Il sovrapp: 316  
 Number of yielded mesh elements on Scavo: 324  
 Number of yielded mesh elements on Piano posa +jet: 332  
 Number of yielded mesh elements on I sovrapp: 347  
 Number of yielded mesh elements on Sottofondazione stradale: 375  
 Number of yielded mesh elements on Terrapieno: 521  
 Number of yielded mesh elements on Carichi stradali: 521  
 Number of yielded mesh elements on Carichi terrapieno pos 1: 522  
 Number of yielded mesh elements on Carichi terrapieno pos 2: 522



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Number of yielded mesh elements on Carichi terrapieno pos 3: 522  
 Number of yielded mesh elements on Carichi terrapieno pos 4: 524

Yielded Liner Elements

- Number of yielded liner elements on Fase 0: 0
- Number of yielded liner elements on Piano posa+ jet: 0
- Number of yielded liner elements on Sovrap fs: 0
- Number of yielded liner elements on Piano posa+jet: 0
- Number of yielded liner elements on Misto: 0
- Number of yielded liner elements on II sovrapp: 0
- Number of yielded liner elements on Scavo: 0
- Number of yielded liner elements on Piano posa +jet: 0
- Number of yielded liner elements on I sovrapp: 0
- Number of yielded liner elements on Sottofondazione stradale: 0
- Number of yielded liner elements on Terrapieno: 0
- Number of yielded liner elements on Carichi stradali: 0
- Number of yielded liner elements on Carichi terrapieno pos 1: 0
- Number of yielded liner elements on Carichi terrapieno pos 2: 0
- Number of yielded liner elements on Carichi terrapieno pos 3: 0
- Number of yielded liner elements on Carichi terrapieno pos 4: 0

**10.2.2 Post trattamento**

**10.2.2.1 Tabulato di input**

**Document Name**

NLA2M2\_jet.fez

**Project Settings**

General

Project Title: Project1  
 Number of Stages: 16  
 Analysis Type: Plane Strain  
 Solver Type: Gaussian Elimination  
 Units: Metric, stress as kPa

Stress Analysis

Maximum Number of Iterations: 2000  
 Tolerance: 0.002  
 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>

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## **Field Stress**

Field stress: gravity  
 Using actual ground surface  
 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

## **Mesh**

Mesh type: uniform  
 Element type: 3 noded triangles  
 Number of elements on Fase 0: 1106  
   Number of nodes on Fase 0: 601  
 Number of elements on Piano posa+ jet: 1132  
   Number of nodes on Piano posa+ jet: 615  
 Number of elements on Sovrap fs: 1175  
   Number of nodes on Sovrap fs: 650  
 Number of elements on Piano posa+jet: 1198  
   Number of nodes on Piano posa+jet: 662  
 Number of elements on Misto: 1215  
   Number of nodes on Misto: 673  
 Number of elements on II sovrapp: 1240  
   Number of nodes on II sovrapp: 692  
 Number of elements on Scavo: 1210  
   Number of nodes on Scavo: 668  
 Number of elements on Piano posa +jet: 1231  
   Number of nodes on Piano posa +jet: 680  
 Number of elements on I sovrapp: 1260  
   Number of nodes on I sovrapp: 701  
 Number of elements on Sottofondazione stradale: 1301  
   Number of nodes on Sottofondazione stradale: 735  
 Number of elements on Terrapieno: 1551  
   Number of nodes on Terrapieno: 872  
 Number of elements on Carichi stradali: 1551  
   Number of nodes on Carichi stradali: 872  
 Number of elements on Carichi terrapieno pos 1: 1551  
   Number of nodes on Carichi terrapieno pos 1: 872  
 Number of elements on Carichi terrapieno pos 2: 1551  
   Number of nodes on Carichi terrapieno pos 2: 872  
 Number of elements on Carichi terrapieno pos 3: 1551  
   Number of nodes on Carichi terrapieno pos 3: 872  
 Number of elements on Carichi terrapieno pos 4: 1551  
   Number of nodes on Carichi terrapieno pos 4: 872

## **Reset Displacements**

Displacements reset after: Fase 0

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: center;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

## **Material Properties**

### Material: Depositi Costieri da Spiaggia

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: 28.35 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Material type: Plastic  
 Dilation Angle: 0 degrees  
 Residual Friction Angle: 28.35 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa  
 Piezo to use: 1  
 Hu Type: Auto

### Material: Misto Cementato

Initial element loading: field stress & body force  
 Unit weight: 21 kN/m<sup>3</sup>  
 Elastic type: isotropic  
 Young's modulus: 80000 kPa  
 Poisson's ratio: 0.3  
 Failure criterion: Mohr-Coulomb  
 Tensile strength: 0 kPa  
 Peak friction angle: 34 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Material type: Plastic  
 Dilation Angle: 4 degrees  
 Residual Friction Angle: 34 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa  
 Piezo to use: None  
 Ru value: 0

### Material: Rilevato

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

### Piano posa+ jet

Material: Rilevato, Area Filled: 43.409 m2

### Sovrap fs

Material: Misto Cementato, Area Filled: 38.548 m2

Material: Rilevato, Area Filled: 10.578 m2

### Piano posa+jet

Material: Rilevato, Area Filled: 39.443 m2

### Misto

Material: Misto Cementato, Area Filled: 27.077 m2

### Il sovrapp

Material: Rilevato, Area Filled: 5.583 m2

### Scavo

Material: Depositi Costieri da Spiaggia, Area Excavated: 38.525 m2

Material: Rilevato, Area Excavated: 3.292 m2

### Piano posa +jet

Material: Rilevato, Area Filled: 26.102 m2

### I sovrapp

Material: Rilevato, Area Filled: 13.709 m2

### Sottofondazione stradale

Material: Rilevato, Area Filled: 69.028 m2

### Terrapieno

Material: Rilevato, Area Filled: 580.544 m2

## **Excavation Areas**

### Original Un-deformed Areas

External Boundary Area: 3925.706 m2

External Boundary Perimeter: 262.756 m

### Fase 0

External Boundary Area: 3925.706 m2 (0 m2 change from original area)

External Boundary Perimeter: 262.756 m (0 m change from original perimeter)

### Piano posa+ jet

External Boundary Area: 3925.706 m2 (-4.54747e-013 m2 change from original area)

External Boundary Perimeter: 262.756 m (5.68434e-014 m change from original perimeter)

### Sovrap fs

External Boundary Area: 3925.177 m2 (-0.528779 m2 change from original area)

External Boundary Perimeter: 262.753 m (-0.00298937 m change from original perimeter)

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Piano posa+jet

External Boundary Area: 3925.136 m<sup>2</sup> (-0.570085 m<sup>2</sup> change from original area)  
 External Boundary Perimeter: 262.753 m (-0.00318999 m change from original perimeter)

Misto

External Boundary Area: 3925.085 m<sup>2</sup> (-0.620358 m<sup>2</sup> change from original area)  
 External Boundary Perimeter: 262.753 m (-0.00342316 m change from original perimeter)

Il sovrapp

External Boundary Area: 3924.080 m<sup>2</sup> (-1.62613 m<sup>2</sup> change from original area)  
 External Boundary Perimeter: 262.753 m (-0.00369706 m change from original perimeter)

Scavo

External Boundary Area: 3924.094 m<sup>2</sup> (-1.61162 m<sup>2</sup> change from original area)  
 External Boundary Perimeter: 262.753 m (-0.00361776 m change from original perimeter)

Piano posa +jet

External Boundary Area: 3924.061 m<sup>2</sup> (-1.64422 m<sup>2</sup> change from original area)  
 External Boundary Perimeter: 262.753 m (-0.00377465 m change from original perimeter)

I sovrapp

External Boundary Area: 3923.846 m<sup>2</sup> (-1.85995 m<sup>2</sup> change from original area)  
 External Boundary Perimeter: 262.752 m (-0.00469318 m change from original perimeter)

Sottofondazione stradale

External Boundary Area: 3923.434 m<sup>2</sup> (-2.27193 m<sup>2</sup> change from original area)  
 External Boundary Perimeter: 262.751 m (-0.00544586 m change from original perimeter)

Terrapieno

External Boundary Area: 3918.615 m<sup>2</sup> (-7.09089 m<sup>2</sup> change from original area)  
 External Boundary Perimeter: 262.561 m (-0.195202 m change from original perimeter)

Carichi stradali

External Boundary Area: 3918.392 m<sup>2</sup> (-7.31394 m<sup>2</sup> change from original area)  
 External Boundary Perimeter: 262.560 m (-0.196807 m change from original perimeter)

Carichi terrapieno pos 1

External Boundary Area: 3918.027 m<sup>2</sup> (-7.67847 m<sup>2</sup> change from original area)  
 External Boundary Perimeter: 262.549 m (-0.207634 m change from original perimeter)

Carichi terrapieno pos 2

External Boundary Area: 3918.039 m<sup>2</sup> (-7.66704 m<sup>2</sup> change from original area)  
 External Boundary Perimeter: 262.549 m (-0.207106 m change from original perimeter)

Carichi terrapieno pos 3

External Boundary Area: 3918.046 m<sup>2</sup> (-7.65991 m<sup>2</sup> change from original area)  
 External Boundary Perimeter: 262.550 m (-0.206669 m change from original perimeter)

Carichi terrapieno pos 4

External Boundary Area: 3918.035 m<sup>2</sup> (-7.67046 m<sup>2</sup> change from original area)  
 External Boundary Perimeter: 262.549 m (-0.207192 m change from original perimeter)

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## **Liner Properties**

### Liner: Fondazione

Liner Type: Beam  
 Formulation: timoshenko  
 Geometry:  
 Thickness: 1.3 m  
 Elastic properties:  
 Young's modulus: 3.1447e+007 kPa  
 Poisson's ratio: 0.2  
 Unit Weight of liner included in analysis  
 Unit Weight: 25 kN/m<sup>3</sup>

### Liner: Spalla

Liner Type: Beam  
 Formulation: timoshenko  
 Geometry:  
 Area: 0.33 m<sup>2</sup>  
 Moment of Inertia: 0.044 m<sup>4</sup>  
 Elastic properties:  
 Young's modulus: 3.4625e+007 kPa  
 Poisson's ratio: 0.2  
 Unit Weight of liner included in analysis  
 Unit Weight: 25 kN/m<sup>3</sup>

### Liner: Impalcato

Liner Type: Beam  
 Formulation: timoshenko  
 Geometry:  
 Area: 0.45 m<sup>2</sup>  
 Moment of Inertia: 0.1312 m<sup>4</sup>  
 Elastic properties:  
 Young's modulus: 3.9163e+007 kPa  
 Poisson's ratio: 0.2  
 Unit Weight of liner included in analysis  
 Unit Weight: 25 kN/m<sup>3</sup>

### Liner: jet-proposto

Liner Type: Beam  
 Formulation: timoshenko  
 Geometry:  
 Thickness: 0.392 m  
 Elastic properties:  
 Young's modulus: 3.1447e+007 kPa  
 Poisson's ratio: 0.2  
 Unit Weight of liner included in analysis  
 Unit Weight: 3.14 kN/m<sup>3</sup>

### Liner: jet-Galleria

Liner Type: Beam  
 Formulation: timoshenko

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

**Geometry:**

Thickness: 0.2941 m

Elastic properties:

Young's modulus: 3.1447e+007 kPa

Poisson's ratio: 0.2

Unit Weight of liner included in analysis

Unit Weight: 2.36 kN/m<sup>3</sup>

**Joint Properties**

Joint: Interfaccia Elevazione

Normal stiffness: 100000 kPa/m

Shear stiffness: 10000 kPa/m

Initial joint deformation: allowed

Pressure from Groundwater Analysis: Not Included

Additional Pressure Inside Joint: Not Included

Mohr-Coulomb slip criteria

Tensile strength: 0 kPa (tension positive)

Cohesion: 0 kPa

Friction angle: 23.33 degrees

Joint: Interfaccia Fondazione

Normal stiffness: 100000 kPa/m

Shear stiffness: 10000 kPa/m

Initial joint deformation: allowed

Pressure from Groundwater Analysis: Not Included

Additional Pressure Inside Joint: Not Included

Mohr-Coulomb slip criteria

Tensile strength: 0 kPa (tension positive)

Cohesion: 0 kPa

Friction angle: 22.66 degrees

**Structural Interface Properties**

Structural Interface: Interfaccia Spalla

Joint (positive side): Interfaccia Elevazione

Liner: Spalla

Joint (negative side): Interfaccia Elevazione

Structural Interface: Interfaccia impalcato

Joint (positive side): Interfaccia Elevazione

Liner: Impalcato

Joint (negative side): Interfaccia Elevazione

Structural Interface: Interfaccia Fondazione

Joint (positive side): Interfaccia Fondazione

Liner: Fondazione

Joint (negative side): Interfaccia Fondazione

**List of All Coordinates**

External boundary

-2.204      -8.976

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

85.727	-8.976		
85.727	22.871		<u>Stage boundary</u>
85.727	36.641	26.296	8.331
61.763	36.680	26.296	23.331
59.757	36.680		
56.691	36.756		<u>Stage boundary</u>
55.531	36.763	30.313	8.331
51.824	36.835	30.313	23.331
49.793	36.875		
46.871	36.896		<u>Stage boundary</u>
44.837	36.807	34.911	8.089
41.947	36.696	34.911	23.089
40.513	36.618		
36.571	36.446		<u>Stage boundary</u>
34.541	36.357	37.814	7.676
32.076	36.128	37.814	22.676
27.578	35.611		
26.347	35.469		<u>Stage boundary</u>
20.278	34.771	40.718	7.415
19.030	34.611	40.718	22.415
-2.204	32.033		
-2.204	23.827		<u>Stage boundary</u>
		43.673	7.332
<u>Stage boundary</u>		43.673	22.332
32.076	24.857		
32.076	24.858		<u>Stage boundary</u>
		46.594	7.332
<u>Stage boundary</u>		46.594	22.332
32.076	27.553		
29.975	27.553		<u>Stage boundary</u>
22.415	27.553	52.842	7.367
20.278	27.553	52.842	22.446
<u>Stage boundary</u>			<u>Stage boundary</u>
34.541	27.984	56.842	7.367
36.426	27.984	56.842	22.535
44.986	27.984		
46.871	27.984		<u>Stage boundary</u>
		60.842	7.367
<u>Stage boundary</u>		60.842	22.646
61.763	29.557		
59.536	29.557		<u>Stage boundary</u>
52.036	29.557	64.842	7.367
49.793	29.557	64.842	22.756
<u>Stage boundary</u>			<u>Stage boundary</u>
18.290	8.332	48.842	7.367
18.290	23.332	48.842	22.367
<u>Stage boundary</u>			<u>Material boundary</u>
22.318	8.331	31.878	23.331
22.318	23.331	29.817	24.858



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

<p>29.408    25.042</p> <p>26.397    26.377</p> <p>23.701    26.399</p> <p>20.278    26.220</p> <p>14.375    24.858</p> <p>17.441    23.332</p> <p>18.290    23.332</p> <p>22.318    23.331</p> <p>26.296    23.331</p> <p>30.313    23.331</p> <p>31.878    23.331</p> <p><u>Material boundary</u></p> <p>48.152    24.858</p> <p>64.716    24.858</p> <p>66.151    24.858</p> <p>69.830    22.756</p> <p>73.910    22.871</p> <p>85.727    22.871</p> <p><u>Material boundary</u></p> <p>64.716    24.858</p> <p>63.128    26.446</p> <p><u>Material boundary</u></p> <p>32.076    36.128</p> <p>32.076    34.288</p> <p><u>Material boundary</u></p> <p>34.541    36.357</p> <p>34.541    35.771</p> <p><u>Material boundary</u></p> <p>46.871    36.896</p> <p>46.871    35.771</p> <p><u>Material boundary</u></p> <p>49.793    36.875</p> <p>49.793    36.298</p> <p>49.793    36.298</p> <p><u>Material boundary</u></p> <p>61.763    36.680</p> <p>61.763    36.297</p> <p><u>Material boundary</u></p> <p>14.375    24.858</p> <p>17.399    24.858</p> <p><u>Material boundary</u></p> <p>-2.204    23.827</p> <p>10.093    23.827</p>	<p>14.375    24.858</p> <p><u>Material boundary</u></p> <p>31.878    23.331</p> <p>34.911    23.089</p> <p>37.814    22.676</p> <p>40.718    22.415</p> <p>46.594    22.332</p> <p>48.842    22.367</p> <p>49.352    22.377</p> <p>52.842    22.446</p> <p>56.842    22.535</p> <p>60.842    22.646</p> <p>64.842    22.756</p> <p>69.830    22.756</p> <p><u>Material boundary</u></p> <p>46.871    26.446</p> <p>48.066    26.446</p> <p><u>Material boundary</u></p> <p>31.878    23.331</p> <p>34.129    24.858</p> <p><u>Material boundary</u></p> <p>48.152    24.858</p> <p>52.842    22.446</p> <p><u>Material boundary</u></p> <p>20.278    34.771</p> <p>20.278    34.288</p> <p><u>Structural interface</u></p> <p>20.278    34.288</p> <p>20.278    27.553</p> <p>20.278    26.220</p> <p>20.279    24.858</p> <p>20.279    24.857</p> <p><u>Structural interface</u></p> <p>32.076    24.858</p> <p>32.076    27.553</p> <p>32.076    34.288</p> <p><u>Structural interface</u></p> <p>34.541    35.771</p> <p>34.541    27.984</p> <p>34.541    24.858</p> <p><u>Structural interface</u></p> <p>46.871    24.858</p> <p>46.871    26.446</p>
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

46.871	27.984	63.128	26.446
46.871	35.771		
<u>Structural interface</u>		<u>Structural interface</u>	
49.793	36.298	17.399	24.858
49.793	29.557	20.279	24.858
49.793	26.446	29.817	24.858
		32.076	24.858
		33.255	24.858
<u>Structural interface</u>		<u>Structural interface</u>	
61.763	26.446	46.871	35.771
61.763	29.557	34.541	35.771
61.763	36.297		
<u>Structural interface</u>		<u>Structural interface</u>	
33.255	24.858	32.076	34.288
34.129	24.858	20.278	34.288
34.541	24.858		
46.871	24.858	<u>Structural interface</u>	
48.152	24.858	61.763	36.297
		49.793	36.298
<u>Structural interface</u>		<u>Piezometric line</u>	
48.066	26.446	-2.204	22.727
49.793	26.446	85.727	21.687
61.763	26.446		

### 10.2.2.2 Tabulato di output

#### Displacements

Maximum total displacement for Fase 0: 0 m  
 Maximum total displacement for Piano posa+ jet: 0.00933875 m  
 Maximum total displacement for Sovrap fs: 0.045453 m  
 Maximum total displacement for Piano posa+jet: 0.0502313 m  
 Maximum total displacement for Misto: 0.0560501 m  
 Maximum total displacement for Il sovrapp: 0.130699 m  
 Maximum total displacement for Scavo: 0.130125 m  
 Maximum total displacement for Piano posa +jet: 0.131051 m  
 Maximum total displacement for I sovrapp: 0.132475 m  
 Maximum total displacement for Sottofondazione stradale: 0.145778 m  
 Maximum total displacement for Terrapieno: 0.161427 m  
 Maximum total displacement for Carichi stradali: 0.165894 m  
 Maximum total displacement for Carichi terrapieno pos 1: 0.166933 m  
 Maximum total displacement for Carichi terrapieno pos 2: 0.167361 m  
 Maximum total displacement for Carichi terrapieno pos 3: 0.168961 m  
 Maximum total displacement for Carichi terrapieno pos 4: 0.169524 m

#### Yielded Elements

##### Yielded Mesh Elements

Number of yielded mesh elements on Fase 0: 90

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Number of yielded mesh elements on Piano posa+ jet: 100  
 Number of yielded mesh elements on Sovrap fs: 214  
 Number of yielded mesh elements on Piano posa+jet: 226  
 Number of yielded mesh elements on Misto: 234  
 Number of yielded mesh elements on Il sovrapp: 262  
 Number of yielded mesh elements on Scavo: 264  
 Number of yielded mesh elements on Piano posa +jet: 271  
 Number of yielded mesh elements on I sovrapp: 279  
 Number of yielded mesh elements on Sottofondazione stradale: 300  
 Number of yielded mesh elements on Terrapieno: 591  
 Number of yielded mesh elements on Carichi stradali: 592  
 Number of yielded mesh elements on Carichi terrapieno pos 1: 593  
 Number of yielded mesh elements on Carichi terrapieno pos 2: 594  
 Number of yielded mesh elements on Carichi terrapieno pos 3: 594  
 Number of yielded mesh elements on Carichi terrapieno pos 4: 598

#### Yielded Liner Elements

Number of yielded liner elements on Fase 0: 0  
 Number of yielded liner elements on Piano posa+ jet: 0  
 Number of yielded liner elements on Sovrap fs: 0  
 Number of yielded liner elements on Piano posa+jet: 0  
 Number of yielded liner elements on Misto: 0  
 Number of yielded liner elements on Il sovrapp: 0  
 Number of yielded liner elements on Scavo: 0  
 Number of yielded liner elements on Piano posa +jet: 0  
 Number of yielded liner elements on I sovrapp: 0  
 Number of yielded liner elements on Sottofondazione stradale: 0  
 Number of yielded liner elements on Terrapieno: 0  
 Number of yielded liner elements on Carichi stradali: 0  
 Number of yielded liner elements on Carichi terrapieno pos 1: 0  
 Number of yielded liner elements on Carichi terrapieno pos 2: 0  
 Number of yielded liner elements on Carichi terrapieno pos 3: 0  
 Number of yielded liner elements on Carichi terrapieno pos 4: 0

## **10.3      Analisi SSR**

### **10.3.1    Ante trattamento**

#### **10.3.1.1    Tabulato di input**

#### **Document Name**

SSRA2M2\_Falda\_senza jet.fez

#### **Project Settings**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### General

Project Title: Project1  
 Number of Stages: 16  
 Analysis Type: Plane Strain  
 Solver Type: Gaussian Elimination  
 Units: Metric, stress as kPa

### Stress Analysis

Maximum Number of Iterations: 1500  
 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: 5.98258  
 maxx: 76.4325  
 miny: -6.68805  
 maxy: 26.11  
 Accelerate SSR Analysis: Yes  
 Convergence Parameters: Automatic

### **Field Stress**

Field stress: gravity  
 Using actual ground surface  
 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

### **Mesh**

Mesh type: uniform  
 Element type: 3 noded triangles  
 Number of elements on Fase 0: 1106  
 Number of nodes on Fase 0: 601  
 Number of elements on Piano posa+ jet: 1132  
 Number of nodes on Piano posa+ jet: 615  
 Number of elements on Sovrap fs: 1165  
 Number of nodes on Sovrap fs: 645  
 Number of elements on Piano posa+jet: 1188  
 Number of nodes on Piano posa+jet: 657  
 Number of elements on Misto: 1205  
 Number of nodes on Misto: 668  
 Number of elements on Il sovrapp: 1214  
 Number of nodes on Il sovrapp: 679

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Number of elements on Scavo: 1184  
 Number of nodes on Scavo: 655  
 Number of elements on Piano posa +jet: 1205  
 Number of nodes on Piano posa +jet: 667  
 Number of elements on I sovrapp: 1216  
 Number of nodes on I sovrapp: 679  
 Number of elements on Sottofondazione stradale: 1257  
 Number of nodes on Sottofondazione stradale: 713  
 Number of elements on Terrapieno: 1501  
 Number of nodes on Terrapieno: 847  
 Number of elements on Carichi stradali: 1501  
 Number of nodes on Carichi stradali: 847  
 Number of elements on Carichi terrapieno pos 1: 1501  
 Number of nodes on Carichi terrapieno pos 1: 847  
 Number of elements on Carichi terrapieno pos 2: 1501  
 Number of nodes on Carichi terrapieno pos 2: 847  
 Number of elements on Carichi terrapieno pos 3: 1501  
 Number of nodes on Carichi terrapieno pos 3: 847  
 Number of elements on Carichi terrapieno pos 4: 1501  
 Number of nodes on Carichi terrapieno pos 4: 847

### **Reset Displacements**

Displacements reset after: Fase 0

### **Material Properties**

#### Material: Depositi Costieri da Spiaggia

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: 28.35 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Material type: Plastic

Dilation Angle: 0 degrees

Residual Friction Angle: 28.35 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Piezo to use: 1

Hu Type: Auto

#### Material: Misto Cementato

Initial element loading: field stress & body force

Unit weight: 21 kN/m<sup>3</sup>

Elastic type: isotropic

Young's modulus: 80000 kPa

Poisson's ratio: 0.3

Failure criterion: Mohr-Coulomb

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Tensile strength: 0 kPa  
 Peak friction angle: 34 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Material type: Plastic  
 Dilation Angle: 4 degrees  
 Residual Friction Angle: 34 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa  
 Piezo to use: None  
 Ru value: 0

Material: Rilevato

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**

Piano posa+ jet

Material: Rilevato, Area Filled: 43.409 m<sup>2</sup>

Sovrap fs

Material: Misto Cementato, Area Filled: 38.548 m<sup>2</sup>  
 Material: Rilevato, Area Filled: 10.578 m<sup>2</sup>

Piano posa+jet

Material: Rilevato, Area Filled: 39.443 m<sup>2</sup>

Misto

Material: Misto Cementato, Area Filled: 27.077 m<sup>2</sup>

Il sovrapp

Material: Rilevato, Area Filled: 5.583 m<sup>2</sup>

Scavo

Material: Depositi Costieri da Spiaggia, Area Excavated: 38.525 m<sup>2</sup>  
 Material: Rilevato, Area Excavated: 3.292 m<sup>2</sup>

Piano posa +jet

Material: Rilevato, Area Filled: 26.102 m<sup>2</sup>

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

I sovrapp

Material: Rilevato, Area Filled: 13.709 m<sup>2</sup>

Sottofondazione stradale

Material: Rilevato, Area Filled: 69.028 m<sup>2</sup>

Terrapieno

Material: Rilevato, Area Filled: 580.477 m<sup>2</sup>

**Excavation Areas**

Original Un-deformed Areas

External Boundary Area: 3925.639 m<sup>2</sup>

External Boundary Perimeter: 262.756 m

Fase 0

External Boundary Area: 3925.639 m<sup>2</sup> (0 m<sup>2</sup> change from original area)

External Boundary Perimeter: 262.756 m (0 m change from original perimeter)

Piano posa+ jet

External Boundary Area: 3925.639 m<sup>2</sup> (0 m<sup>2</sup> change from original area)

External Boundary Perimeter: 262.756 m (0 m change from original perimeter)

Sovrap fs

External Boundary Area: 3925.112 m<sup>2</sup> (-0.526375 m<sup>2</sup> change from original area)

External Boundary Perimeter: 262.753 m (-0.00297697 m change from original perimeter)

Piano posa+jet

External Boundary Area: 3925.065 m<sup>2</sup> (-0.573792 m<sup>2</sup> change from original area)

External Boundary Perimeter: 262.753 m (-0.00320667 m change from original perimeter)

Misto

External Boundary Area: 3925.000 m<sup>2</sup> (-0.638216 m<sup>2</sup> change from original area)

External Boundary Perimeter: 262.753 m (-0.00350056 m change from original perimeter)

II sovrapp

External Boundary Area: 3923.891 m<sup>2</sup> (-1.74759 m<sup>2</sup> change from original area)

External Boundary Perimeter: 262.753 m (-0.00386391 m change from original perimeter)

Scavo

External Boundary Area: 3923.906 m<sup>2</sup> (-1.7323 m<sup>2</sup> change from original area)

External Boundary Perimeter: 262.753 m (-0.00374723 m change from original perimeter)

Piano posa +jet

External Boundary Area: 3923.872 m<sup>2</sup> (-1.76666 m<sup>2</sup> change from original area)

External Boundary Perimeter: 262.752 m (-0.00391591 m change from original perimeter)

I sovrapp

External Boundary Area: 3923.582 m<sup>2</sup> (-2.05634 m<sup>2</sup> change from original area)

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

External Boundary Perimeter: 262.751 m (-0.00492799 m change from original perimeter)

#### Sottofondazione stradale

External Boundary Area: 3922.944 m<sup>2</sup> (-2.69427 m<sup>2</sup> change from original area)

External Boundary Perimeter: 262.751 m (-0.00568005 m change from original perimeter)

#### Terrapieno

External Boundary Area: 3917.654 m<sup>2</sup> (-7.98485 m<sup>2</sup> change from original area)

External Boundary Perimeter: 262.567 m (-0.189782 m change from original perimeter)

#### Carichi stradali

External Boundary Area: 3917.090 m<sup>2</sup> (-8.5487 m<sup>2</sup> change from original area)

External Boundary Perimeter: 262.563 m (-0.193564 m change from original perimeter)

#### Carichi terrapieno pos 1

External Boundary Area: 3916.132 m<sup>2</sup> (-9.50622 m<sup>2</sup> change from original area)

External Boundary Perimeter: 262.531 m (-0.225014 m change from original perimeter)

#### Carichi terrapieno pos 2

External Boundary Area: 3916.145 m<sup>2</sup> (-9.49396 m<sup>2</sup> change from original area)

External Boundary Perimeter: 262.532 m (-0.224464 m change from original perimeter)

#### Carichi terrapieno pos 3

External Boundary Area: 3916.156 m<sup>2</sup> (-9.48225 m<sup>2</sup> change from original area)

External Boundary Perimeter: 262.532 m (-0.224054 m change from original perimeter)

#### Carichi terrapieno pos 4

External Boundary Area: 3916.133 m<sup>2</sup> (-9.50599 m<sup>2</sup> change from original area)

External Boundary Perimeter: 262.532 m (-0.224562 m change from original perimeter)

### **Liner Properties**

#### Liner: Fondazione

Liner Type: Beam

Formulation: timoshenko

Geometry:

Thickness: 1.3 m

Elastic properties:

Young's modulus: 3.1447e+007 kPa

Poisson's ratio: 0.2

Unit Weight of liner included in analysis

Unit Weight: 25 kN/m<sup>3</sup>

#### Liner: Spalla

Liner Type: Beam

Formulation: timoshenko

Geometry:

Area: 0.33 m<sup>2</sup>

Moment of Inertia: 0.044 m<sup>4</sup>

Elastic properties:

Young's modulus: 3.4625e+007 kPa

Poisson's ratio: 0.2



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Unit Weight of liner included in analysis  
 Unit Weight: 25 kN/m<sup>3</sup>

Liner: Impalcato

Liner Type: Beam  
 Formulation: timoshenko  
 Geometry:  
 Area: 0.45 m<sup>2</sup>  
 Moment of Inertia: 0.1312 m<sup>4</sup>  
 Elastic properties:  
 Young's modulus: 3.9163e+007 kPa  
 Poisson's ratio: 0.2  
 Unit Weight of liner included in analysis  
 Unit Weight: 25 kN/m<sup>3</sup>

Liner: jet-Galleria

Liner Type: Beam  
 Formulation: timoshenko  
 Geometry:  
 Thickness: 0.2941 m  
 Elastic properties:  
 Young's modulus: 3.1447e+007 kPa  
 Poisson's ratio: 0.2  
 Unit Weight of liner included in analysis  
 Unit Weight: 2.36 kN/m<sup>3</sup>

**Joint Properties**

Joint: Interfaccia Elevazione

Normal stiffness: 100000 kPa/m  
 Shear stiffness: 10000 kPa/m  
 Initial joint deformation: allowed  
 Pressure from Groundwater Analysis: Not Included  
 Additional Pressure Inside Joint: Not Included  
 Mohr-Coulomb slip criteria  
 Tensile strength: 0 kPa (tension positive)  
 Cohesion: 0 kPa  
 Friction angle: 23.33 degrees

Joint: Interfaccia Fondazione

Normal stiffness: 100000 kPa/m  
 Shear stiffness: 10000 kPa/m  
 Initial joint deformation: allowed  
 Pressure from Groundwater Analysis: Not Included  
 Additional Pressure Inside Joint: Not Included  
 Mohr-Coulomb slip criteria  
 Tensile strength: 0 kPa (tension positive)  
 Cohesion: 0 kPa  
 Friction angle: 22.66 degrees

**Structural Interface Properties**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

**Structural Interface: Interfaccia Spalla**

Joint (positive side): Interfaccia Elevazione  
 Liner: Spalla  
 Joint (negative side): Interfaccia Elevazione

**Structural Interface: Interfaccia impalcato**

Joint (positive side): Interfaccia Elevazione  
 Liner: Impalcato  
 Joint (negative side): Interfaccia Elevazione

**Structural Interface: Interfaccia Fondazione**

Joint (positive side): Interfaccia Fondazione  
 Liner: Fondazione  
 Joint (negative side): Interfaccia Fondazione

**List of All Coordinates**

External boundary

-2.204	-8.976
85.727	-8.976
85.727	22.871
85.727	36.641
61.763	36.680
59.757	36.680
56.691	36.756
55.531	36.763
51.824	36.835
49.793	36.875
46.871	36.896
44.837	36.807
41.947	36.696
40.513	36.618
36.571	36.446
34.541	36.357
32.076	36.128
27.578	35.611
26.347	35.469
20.278	34.771
19.005	34.602
-2.204	32.033
-2.204	23.827

Stage boundary

32.076	24.857
32.076	24.858

Stage boundary

32.076	27.553
29.975	27.553
22.415	27.553
20.278	27.553

Stage boundary

34.541	27.984
36.426	27.984
44.986	27.984
46.871	27.984

Stage boundary

61.763	29.557
59.536	29.557
52.036	29.557
49.793	29.557

Stage boundary

18.290	8.332
18.290	23.332

Stage boundary

22.318	8.331
22.318	23.331

Stage boundary

26.296	8.331
26.296	23.331

Stage boundary

30.313	8.331
30.313	23.331

Stage boundary

34.911	8.089
34.911	23.089

Stage boundary

37.814	7.676
37.814	22.676

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Stage boundary  
 40.718    7.415  
 40.718    22.415

Stage boundary  
 43.673    7.332  
 43.673    22.332

Stage boundary  
 46.594    7.332  
 46.594    22.332

Stage boundary  
 52.842    7.367  
 52.842    22.446

Stage boundary  
 56.842    7.367  
 56.842    22.535

Stage boundary  
 60.842    7.367  
 60.842    22.646

Stage boundary  
 64.842    7.367  
 64.842    22.756

Stage boundary  
 48.842    7.367  
 48.842    22.367

Material boundary  
 31.878    23.331  
 29.817    24.858  
 29.408    25.042  
 26.397    26.377  
 23.701    26.399  
 20.278    26.220  
 14.375    24.858  
 17.441    23.332  
 18.290    23.332  
 22.318    23.331  
 26.296    23.331  
 30.313    23.331  
 31.878    23.331

Material boundary  
 48.152    24.858  
 64.716    24.858  
 66.151    24.858

69.830    22.756  
 73.910    22.871  
 85.727    22.871

Material boundary  
 64.716    24.858  
 63.128    26.446

Material boundary  
 32.076    36.128  
 32.076    34.288

Material boundary  
 34.541    36.357  
 34.541    35.771

Material boundary  
 46.871    36.896  
 46.871    35.771

Material boundary  
 49.793    36.875  
 49.793    36.298  
 49.793    36.298

Material boundary  
 61.763    36.680  
 61.763    36.297

Material boundary  
 14.375    24.858  
 17.399    24.858

Material boundary  
 -2.204    23.827  
 10.093    23.827  
 14.375    24.858

Material boundary  
 31.878    23.331  
 34.911    23.089  
 37.814    22.676  
 40.718    22.415  
 46.594    22.332  
 48.842    22.367  
 49.352    22.377  
 52.842    22.446  
 56.842    22.535  
 60.842    22.646  
 64.842    22.756  
 69.830    22.756

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

<u>Material boundary</u>	61.763	26.446
46.871	26.446	61.763
48.066	26.446	61.763
61.763	26.446	61.763
61.763	29.557	61.763
61.763	36.297	61.763
<u>Material boundary</u>	<u>Structural interface</u>	
31.878	33.255	24.858
34.129	34.129	24.858
	34.541	24.858
<u>Material boundary</u>	46.871	24.858
48.152	48.152	24.858
52.842		
<u>Material boundary</u>	<u>Structural interface</u>	
20.278	48.066	26.446
20.278	49.793	26.446
	61.763	26.446
	63.128	26.446
<u>Structural interface</u>	<u>Structural interface</u>	
20.278	17.399	24.858
20.278	20.279	24.858
20.278	29.817	24.858
20.279	32.076	24.858
20.279	33.255	24.858
<u>Structural interface</u>	<u>Structural interface</u>	
32.076	46.871	35.771
32.076	34.541	35.771
32.076		
<u>Structural interface</u>	<u>Structural interface</u>	
34.541	32.076	34.288
34.541	20.278	34.288
34.541		
<u>Structural interface</u>	<u>Structural interface</u>	
46.871	61.763	36.297
46.871	49.793	36.298
46.871		
46.871	<u>Piezometric line</u>	
	-2.204	22.476
	85.727	21.436
<u>Structural interface</u>	<u>SSR Search Area</u>	
49.793	5.983	-6.688
49.793	76.433	-6.688
49.793	76.433	26.110
	5.983	26.110
<u>Structural interface</u>		

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 10.3.1.2 Tabulato di output

#### **Shear Strength Reduction - Material Properties**

##### Strength Reduction Factor: 1

Maximum Total Displacement: 0.00502417 m

Converged: yes

##### Material: Depositi Costieri da Spiaggia

Peak friction angle: 28.35 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 28.35 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

##### Material: Misto Cementato

Peak friction angle: 34 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 34 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

##### Material: Rilevato

Peak friction angle: 29.25 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 29.25 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

##### Strength Reduction Factor: 1.5

Maximum Total Displacement: 0.0945205 m

Converged: yes

##### Material: Depositi Costieri da Spiaggia

Peak friction angle: 19.7844 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 19.7844 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

##### Material: Misto Cementato

Peak friction angle: 24.2121 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 24.2121 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

##### Material: Rilevato

Peak friction angle: 20.4732 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 20.4732 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

##### Strength Reduction Factor: 2

Maximum Total Displacement: 0.285067 m

Converged: yes

##### Material: Depositi Costieri da Spiaggia

Peak friction angle: 15.0981 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 15.0981 degrees

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Misto Cementato

Peak friction angle: 18.6369 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 18.6369 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Rilevato

Peak friction angle: 15.643 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 15.643 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Strength Reduction Factor: 2.5

Maximum Total Displacement: 0.323538 m

Converged: yes

Material: Depositi Costieri da Spiaggia

Peak friction angle: 12.1792 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 12.1792 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Misto Cementato

Peak friction angle: 15.0991 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 15.0991 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Rilevato

Peak friction angle: 12.6264 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 12.6264 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Strength Reduction Factor: 3

Maximum Total Displacement: 0.344784 m

Converged: yes

Material: Depositi Costieri da Spiaggia

Peak friction angle: 10.196 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 10.196 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Misto Cementato

Peak friction angle: 12.6714 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 12.6714 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Rilevato

Peak friction angle: 10.574 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 10.574 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Strength Reduction Factor: 3.5

Maximum Total Displacement: 0.356184 m

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

Converged: yes

Material: Depositi Costieri da Spiaggia

Peak friction angle: 8.7639 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 8.7639 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Misto Cementato

Peak friction angle: 10.9081 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 10.9081 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Rilevato

Peak friction angle: 9.09071 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 9.09071 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Strength Reduction Factor: 4

Maximum Total Displacement: 0.368118 m

Converged: yes

Material: Depositi Costieri da Spiaggia

Peak friction angle: 7.68241 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 7.68241 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Misto Cementato

Peak friction angle: 9.57158 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 9.57158 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Rilevato

Peak friction angle: 7.96999 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 7.96999 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Strength Reduction Factor: 4.5

Maximum Total Displacement: 0.395689 m

Converged: yes

Material: Depositi Costieri da Spiaggia

Peak friction angle: 6.83739 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 6.83739 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Misto Cementato

Peak friction angle: 8.52465 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 8.52465 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Rilevato

Peak friction angle: 7.09401 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Residual Friction Angle: 7.09401 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Strength Reduction Factor: 5

Maximum Total Displacement: 0.38461 m  
 Converged: yes

Material: Depositi Costieri da Spiaggia

Peak friction angle: 6.15919 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 6.15919 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Misto Cementato

Peak friction angle: 7.68292 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 7.68292 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Rilevato

Peak friction angle: 6.3908 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 6.3908 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Strength Reduction Factor: 5.5

Maximum Total Displacement: 0.425957 m  
 Converged: yes

Material: Depositi Costieri da Spiaggia

Peak friction angle: 5.603 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 5.603 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Misto Cementato

Peak friction angle: 6.99172 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 6.99172 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Rilevato

Peak friction angle: 5.81399 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 5.81399 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Strength Reduction Factor: 6

Maximum Total Displacement: 0.441743 m  
 Converged: yes

Material: Depositi Costieri da Spiaggia

Peak friction angle: 5.1387 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 5.1387 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Misto Cementato

Peak friction angle: 6.41415 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

Residual Friction Angle: 6.41415 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Rilevato

Peak friction angle: 5.33241 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 5.33241 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Strength Reduction Factor: 6.5

Maximum Total Displacement: 0.487451 m  
 Converged: yes

Material: Depositi Costieri da Spiaggia

Peak friction angle: 4.74529 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 4.74529 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Misto Cementato

Peak friction angle: 5.92441 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 5.92441 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Rilevato

Peak friction angle: 4.92433 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 4.92433 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

**Critical Strength Reduction Factor: 7**

Maximum Total Displacement: 0.770006 m  
 Converged: yes

Material: Depositi Costieri da Spiaggia

Peak friction angle: 4.40773 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 4.40773 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Misto Cementato

Peak friction angle: 5.50393 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 5.50393 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Rilevato

Peak friction angle: 4.57414 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 4.57414 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Strength Reduction Factor: 7.01

Maximum Total Displacement: 1.88262 m  
 Converged: no

Material: Depositi Costieri da Spiaggia

Peak friction angle: 4.40147 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Residual Friction Angle: 4.40147 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Misto Cementato

Peak friction angle: 5.49613 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 5.49613 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Rilevato

Peak friction angle: 4.56764 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 4.56764 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Strength Reduction Factor: 7.05

Maximum Total Displacement: 3.86993 m  
 Converged: no

Material: Depositi Costieri da Spiaggia

Peak friction angle: 4.37659 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 4.37659 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Misto Cementato

Peak friction angle: 5.46514 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 5.46514 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Rilevato

Peak friction angle: 4.54184 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 4.54184 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Strength Reduction Factor: 7.12

Maximum Total Displacement: 1.75822 m  
 Converged: no

Material: Depositi Costieri da Spiaggia

Peak friction angle: 4.33373 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 4.33373 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Misto Cementato

Peak friction angle: 5.41173 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 5.41173 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Rilevato

Peak friction angle: 4.49737 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 4.49737 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Strength Reduction Factor: 7.25

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Maximum Total Displacement: 4.68683 m

Converged: no

Material: Depositi Costieri da Spiaggia

Peak friction angle: 4.25631 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 4.25631 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Misto Cementato

Peak friction angle: 5.31525 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 5.31525 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Rilevato

Peak friction angle: 4.41705 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 4.41705 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Strength Reduction Factor: 7.5

Maximum Total Displacement: 5.81201 m

Converged: no

Material: Depositi Costieri da Spiaggia

Peak friction angle: 4.11493 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 4.11493 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Misto Cementato

Peak friction angle: 5.13904 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 5.13904 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Rilevato

Peak friction angle: 4.27037 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 4.27037 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

**Displacements**

Maximum total displacement for Fase 0: 0 m

Maximum total displacement for Piano posa+ jet: 0.00933854 m

Maximum total displacement for Sovrap fs: 0.0451945 m

Maximum total displacement for Piano posa+jet: 0.0508375 m

Maximum total displacement for Misto: 0.0585712 m

Maximum total displacement for Il sovrapp: 0.134326 m

Maximum total displacement for Scavo: 0.133527 m

Maximum total displacement for Piano posa +jet: 0.134291 m

Maximum total displacement for I sovrapp: 0.13545 m

Maximum total displacement for Sottofondazione stradale: 0.151375 m

Maximum total displacement for Terrapieno: 0.177488 m

Maximum total displacement for Carichi stradali: 0.188493 m

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Maximum total displacement for Carichi terrapieno pos 1: 0.192488 m  
 Maximum total displacement for Carichi terrapieno pos 2: 0.192906 m  
 Maximum total displacement for Carichi terrapieno pos 3: 0.194652 m  
 Maximum total displacement for Carichi terrapieno pos 4: 0.195412 m

## **Yielded Elements**

### Yielded Mesh Elements

Number of yielded mesh elements on Fase 0: 86  
 Number of yielded mesh elements on Piano posa+ jet: 96  
 Number of yielded mesh elements on Sovrap fs: 190  
 Number of yielded mesh elements on Piano posa+jet: 197  
 Number of yielded mesh elements on Misto: 214  
 Number of yielded mesh elements on Il sovrapp: 275  
 Number of yielded mesh elements on Scavo: 278  
 Number of yielded mesh elements on Piano posa +jet: 286  
 Number of yielded mesh elements on I sovrapp: 294  
 Number of yielded mesh elements on Sottofondazione stradale: 318  
 Number of yielded mesh elements on Terrapieno: 334  
 Number of yielded mesh elements on Carichi stradali: 334  
 Number of yielded mesh elements on Carichi terrapieno pos 1: 334  
 Number of yielded mesh elements on Carichi terrapieno pos 2: 334  
 Number of yielded mesh elements on Carichi terrapieno pos 3: 334  
 Number of yielded mesh elements on Carichi terrapieno pos 4: 334

### Yielded Liner Elements

Number of yielded liner elements on Fase 0: 0  
 Number of yielded liner elements on Piano posa+ jet: 0  
 Number of yielded liner elements on Sovrap fs: 0  
 Number of yielded liner elements on Piano posa+jet: 0  
 Number of yielded liner elements on Misto: 0  
 Number of yielded liner elements on Il sovrapp: 0  
 Number of yielded liner elements on Scavo: 0  
 Number of yielded liner elements on Piano posa +jet: 0  
 Number of yielded liner elements on I sovrapp: 0  
 Number of yielded liner elements on Sottofondazione stradale: 0  
 Number of yielded liner elements on Terrapieno: 0  
 Number of yielded liner elements on Carichi stradali: 0  
 Number of yielded liner elements on Carichi terrapieno pos 1: 0  
 Number of yielded liner elements on Carichi terrapieno pos 2: 0  
 Number of yielded liner elements on Carichi terrapieno pos 3: 0  
 Number of yielded liner elements on Carichi terrapieno pos 4: 0

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 10.3.2 Post trattamento

#### 10.3.2.1 Tabulato di input

#### **Document Name**

SSRA2M2\_Falda\_jet\_fond1.fez

#### **Project Settings**

##### General

Project Title: Project1  
 Number of Stages: 16  
 Analysis Type: Plane Strain  
 Solver Type: Gaussian Elimination  
 Units: Metric, stress as kPa

##### Stress Analysis

Maximum Number of Iterations: 1500  
 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: 6.65059  
 maxx: 73.7568  
 miny: -0.184854  
 maxy: 25.1629  
 Accelerate SSR Analysis: Yes  
 Convergence Parameters: Automatic

#### **Field Stress**

Field stress: gravity  
 Using actual ground surface  
 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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## **Mesh**



Mesh type: uniform  
 Element type: 3 noded triangles  
 Number of elements on Fase 0: 888  
   Number of nodes on Fase 0: 485  
 Number of elements on Piano posa+ jet: 915  
   Number of nodes on Piano posa+ jet: 499  
 Number of elements on Sovrap fs: 941  
   Number of nodes on Sovrap fs: 524  
 Number of elements on Piano posa+jet: 961  
   Number of nodes on Piano posa+jet: 534  
 Number of elements on Misto: 974  
   Number of nodes on Misto: 543  
 Number of elements on II sovrapp: 982  
   Number of nodes on II sovrapp: 553  
 Number of elements on Scavo: 950  
   Number of nodes on Scavo: 528  
 Number of elements on Piano posa +jet: 969  
   Number of nodes on Piano posa +jet: 539  
 Number of elements on I sovrapp: 978  
   Number of nodes on I sovrapp: 549  
 Number of elements on Sottofondazione stradale: 1014  
   Number of nodes on Sottofondazione stradale: 579  
 Number of elements on Terrapieno: 1219  
   Number of nodes on Terrapieno: 693  
 Number of elements on Carichi stradali: 1219  
   Number of nodes on Carichi stradali: 693  
 Number of elements on Carichi terrapieno pos 1: 1219  
   Number of nodes on Carichi terrapieno pos 1: 693  
 Number of elements on Carichi terrapieno pos 2: 1219  
   Number of nodes on Carichi terrapieno pos 2: 693  
 Number of elements on Carichi terrapieno pos 3: 1219  
   Number of nodes on Carichi terrapieno pos 3: 693  
 Number of elements on Carichi terrapieno pos 4: 1219  
   Number of nodes on Carichi terrapieno pos 4: 693

## **Reset Displacements**

Displacements reset after: Fase 0

## **Material Properties**

Material: Depositi Costieri da Spiaggia  
 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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Tensile strength: 0 kPa  
 Peak friction angle: 28.35 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Material type: Plastic  
 Dilation Angle: 0 degrees  
 Residual Friction Angle: 28.35 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa  
 Piezo to use: 1  
 Hu Type: Auto

Material: Misto Cementato

Initial element loading: field stress & body force  
 Unit weight: 21 kN/m<sup>3</sup>  
 Elastic type: isotropic  
 Young's modulus: 80000 kPa  
 Poisson's ratio: 0.3  
 Failure criterion: Mohr-Coulomb  
 Tensile strength: 0 kPa  
 Peak friction angle: 34 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Material type: Plastic  
 Dilation Angle: 4 degrees  
 Residual Friction Angle: 34 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa  
 Piezo to use: None  
 Ru value: 0

Material: Rilevato

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

### Piano posa+ jet

Material: Rilevato, Area Filled: 43.409 m2

### Sovrap fs

Material: Misto Cementato, Area Filled: 38.548 m2  
 Material: Rilevato, Area Filled: 10.578 m2

### Piano posa+jet

Material: Rilevato, Area Filled: 39.443 m2

### Misto

Material: Misto Cementato, Area Filled: 27.077 m2

### Il sovrapp

Material: Rilevato, Area Filled: 5.583 m2

### Scavo

Material: Depositi Costieri da Spiaggia, Area Excavated: 38.525 m2  
 Material: Rilevato, Area Excavated: 3.292 m2

### Piano posa +jet

Material: Rilevato, Area Filled: 26.102 m2

### I sovrapp

Material: Rilevato, Area Filled: 13.709 m2

### Sottofondazione stradale

Material: Rilevato, Area Filled: 69.028 m2

### Terrapieno

Material: Rilevato, Area Filled: 580.477 m2

## **Excavation Areas**

### Original Un-deformed Areas

External Boundary Area: 3925.639 m2  
 External Boundary Perimeter: 262.756 m

### Fase 0

External Boundary Area: 3925.639 m2 (0 m2 change from original area)  
 External Boundary Perimeter: 262.756 m (0 m change from original perimeter)

### Piano posa+ jet

External Boundary Area: 3925.639 m2 (-4.54747e-013 m2 change from original area)  
 External Boundary Perimeter: 262.756 m (5.68434e-014 m change from original perimeter)

### Sovrap fs



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

External Boundary Area: 3925.125 m<sup>2</sup> (-0.514096 m<sup>2</sup> change from original area)  
 External Boundary Perimeter: 262.753 m (-0.0029261 m change from original perimeter)

Piano posa+jet

External Boundary Area: 3925.083 m<sup>2</sup> (-0.555344 m<sup>2</sup> change from original area)  
 External Boundary Perimeter: 262.753 m (-0.00312868 m change from original perimeter)

Misto

External Boundary Area: 3925.036 m<sup>2</sup> (-0.60305 m<sup>2</sup> change from original area)  
 External Boundary Perimeter: 262.753 m (-0.00335285 m change from original perimeter)

Il sovrapp

External Boundary Area: 3924.072 m<sup>2</sup> (-1.56631 m<sup>2</sup> change from original area)  
 External Boundary Perimeter: 262.753 m (-0.00371443 m change from original perimeter)

Scavo

External Boundary Area: 3924.084 m<sup>2</sup> (-1.55454 m<sup>2</sup> change from original area)  
 External Boundary Perimeter: 262.753 m (-0.00364953 m change from original perimeter)

Piano posa +jet

External Boundary Area: 3924.052 m<sup>2</sup> (-1.58685 m<sup>2</sup> change from original area)  
 External Boundary Perimeter: 262.753 m (-0.00380626 m change from original perimeter)

I sovrapp

External Boundary Area: 3923.853 m<sup>2</sup> (-1.78602 m<sup>2</sup> change from original area)  
 External Boundary Perimeter: 262.752 m (-0.00457402 m change from original perimeter)

Sottofondazione stradale

External Boundary Area: 3923.438 m<sup>2</sup> (-2.20029 m<sup>2</sup> change from original area)  
 External Boundary Perimeter: 262.751 m (-0.0053958 m change from original perimeter)

Terrapieno

External Boundary Area: 3918.762 m<sup>2</sup> (-6.87689 m<sup>2</sup> change from original area)  
 External Boundary Perimeter: 262.569 m (-0.187517 m change from original perimeter)

Carichi stradali

External Boundary Area: 3918.324 m<sup>2</sup> (-7.31518 m<sup>2</sup> change from original area)  
 External Boundary Perimeter: 262.566 m (-0.190721 m change from original perimeter)

Carichi terrapieno pos 1

External Boundary Area: 3917.474 m<sup>2</sup> (-8.16437 m<sup>2</sup> change from original area)  
 External Boundary Perimeter: 262.535 m (-0.221799 m change from original perimeter)

Carichi terrapieno pos 2

External Boundary Area: 3917.481 m<sup>2</sup> (-8.15759 m<sup>2</sup> change from original area)  
 External Boundary Perimeter: 262.535 m (-0.221296 m change from original perimeter)

Carichi terrapieno pos 3

External Boundary Area: 3917.485 m<sup>2</sup> (-8.15417 m<sup>2</sup> change from original area)  
 External Boundary Perimeter: 262.535 m (-0.220923 m change from original perimeter)

Carichi terrapieno pos 4

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

External Boundary Area: 3917.474 m<sup>2</sup> (-8.16495 m<sup>2</sup> change from original area)  
 External Boundary Perimeter: 262.535 m (-0.221403 m change from original perimeter)

## **Liner Properties**

### Liner: Fondazione

Liner Type: Beam  
 Formulation: timoshenko  
 Geometry:  
 Thickness: 1.3 m  
 Elastic properties:  
 Young's modulus: 3.1447e+007 kPa  
 Poisson's ratio: 0.2  
 Unit Weight of liner included in analysis  
 Unit Weight: 25 kN/m<sup>3</sup>

### Liner: Spalla

Liner Type: Beam  
 Formulation: timoshenko  
 Geometry:  
 Area: 0.33 m<sup>2</sup>  
 Moment of Inertia: 0.044 m<sup>4</sup>  
 Elastic properties:  
 Young's modulus: 3.4625e+007 kPa  
 Poisson's ratio: 0.2  
 Unit Weight of liner included in analysis  
 Unit Weight: 25 kN/m<sup>3</sup>



### Liner: Impalcato

Liner Type: Beam  
 Formulation: timoshenko  
 Geometry:  
 Area: 0.45 m<sup>2</sup>  
 Moment of Inertia: 0.1312 m<sup>4</sup>  
 Elastic properties:  
 Young's modulus: 3.9163e+007 kPa  
 Poisson's ratio: 0.2  
 Unit Weight of liner included in analysis  
 Unit Weight: 25 kN/m<sup>3</sup>

### Liner: jet-proposto

Liner Type: Beam  
 Formulation: timoshenko  
 Geometry:  
 Thickness: 0.392 m  
 Elastic properties:  
 Young's modulus: 3.1447e+007 kPa  
 Poisson's ratio: 0.2  
 Unit Weight of liner included in analysis  
 Unit Weight: 3.14 kN/m<sup>3</sup>

### Liner: jet-Galleria

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Liner Type: Beam  
 Formulation: timoshenko  
 Geometry:  
 Thickness: 0.2941 m  
 Elastic properties:  
 Young's modulus: 3.1447e+007 kPa  
 Poisson's ratio: 0.2  
 Unit Weight of liner included in analysis  
 Unit Weight: 2.36 kN/m<sup>3</sup>

### **Joint Properties**

#### Joint: Interfaccia Elevazione

Normal stiffness: 100000 kPa/m  
 Shear stiffness: 10000 kPa/m  
 Initial joint deformation: allowed  
 Pressure from Groundwater Analysis: Not Included  
 Additional Pressure Inside Joint: Not Included  
 Mohr-Coulomb slip criteria  
 Tensile strength: 0 kPa (tension positive)  
 Cohesion: 0 kPa  
 Friction angle: 23.33 degrees

#### Joint: Interfaccia Fondazione

Normal stiffness: 100000 kPa/m  
 Shear stiffness: 10000 kPa/m  
 Initial joint deformation: allowed  
 Pressure from Groundwater Analysis: Not Included  
 Additional Pressure Inside Joint: Not Included  
 Mohr-Coulomb slip criteria  
 Tensile strength: 0 kPa (tension positive)  
 Cohesion: 0 kPa  
 Friction angle: 22.66 degrees

### **Structural Interface Properties**

#### Structural Interface: Interfaccia Spalla

Joint (positive side): Interfaccia Elevazione  
 Liner: Spalla  
 Joint (negative side): Interfaccia Elevazione

#### Structural Interface: Interfaccia impalcato

Joint (positive side): Interfaccia Elevazione  
 Liner: Impalcato  
 Joint (negative side): Interfaccia Elevazione

#### Structural Interface: Interfaccia Fondazione

Joint (positive side): Interfaccia Fondazione  
 Liner: Fondazione  
 Joint (negative side): Interfaccia Fondazione

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: center;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

### List of All Coordinates

#### External boundary

-2.204	-8.976
85.727	-8.976
85.727	22.871
85.727	36.641
61.763	36.680
59.757	36.680
56.691	36.756
55.531	36.763
51.824	36.835
49.793	36.875
46.871	36.896
44.837	36.807
41.947	36.696
40.513	36.618
36.571	36.446
34.541	36.357
32.076	36.128
27.578	35.611
26.347	35.469
20.278	34.771
19.005	34.602
-2.204	32.033
-2.204	23.827

#### Stage boundary

32.076	24.857
32.076	24.858

#### Stage boundary

32.076	27.553
29.975	27.553
22.415	27.553
20.278	27.553

#### Stage boundary

34.541	27.984
36.426	27.984
44.986	27.984
46.871	27.984

#### Stage boundary

61.763	29.557
59.536	29.557
52.036	29.557
49.793	29.557

#### Stage boundary

18.290	8.332
18.290	23.332

#### Stage boundary

22.318	8.331
22.318	23.331

#### Stage boundary

26.296	8.331
26.296	23.331

#### Stage boundary

30.313	8.331
30.313	23.331

#### Stage boundary

34.911	8.089
34.911	23.089

#### Stage boundary

37.814	7.676
37.814	22.676

#### Stage boundary

40.718	7.415
40.718	22.415

#### Stage boundary

43.673	7.332
43.673	22.332

#### Stage boundary

46.594	7.332
46.594	22.332

#### Stage boundary

52.842	7.367
52.842	22.446

#### Stage boundary

56.842	7.367
56.842	22.535

#### Stage boundary


60.842	7.367
60.842	22.646

#### Stage boundary

64.842	7.367
64.842	22.756

#### Stage boundary

48.842	7.367
48.842	22.367

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

Material boundary

31.878	23.331
29.817	24.858
29.408	25.042
26.397	26.377
23.701	26.399
20.278	26.220
14.375	24.858
17.441	23.332
18.290	23.332
22.318	23.331
26.296	23.331
30.313	23.331
31.878	23.331

Material boundary

48.152	24.858
64.716	24.858
66.151	24.858
69.830	22.756
73.910	22.871
85.727	22.871

Material boundary

64.716	24.858
63.128	26.446

Material boundary

32.076	36.128
32.076	34.288

Material boundary

34.541	36.357
34.541	35.771

Material boundary

46.871	36.896
46.871	35.771

Material boundary

49.793	36.875
49.793	36.298
49.793	36.298

Material boundary

61.763	36.680
61.763	36.297

Material boundary

14.375	24.858
17.399	24.858

Material boundary

-2.204	23.827
10.093	23.827
14.375	24.858

Material boundary

31.878	23.331
34.911	23.089
37.814	22.676
40.718	22.415
46.594	22.332
48.842	22.367
49.352	22.377
52.842	22.446
56.842	22.535
60.842	22.646
64.842	22.756
69.830	22.756

Material boundary

46.871	26.446
48.066	26.446

Material boundary

31.878	23.331
34.129	24.858

Material boundary

48.152	24.858
52.842	22.446

Material boundary

20.278	34.771
20.278	34.288

Structural interface



20.278	34.288
20.278	27.553
20.278	26.220
20.279	24.858
20.279	24.857

Structural interface

32.076	24.858
32.076	27.553
32.076	34.288

Structural interface

34.541	35.771
34.541	27.984
34.541	24.858

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

		49.793	26.446
<u>Structural interface</u>		61.763	26.446
46.871	24.858	63.128	26.446
46.871	26.446		
46.871	27.984		
46.871	35.771		
<u>Structural interface</u>			
49.793	36.298		
49.793	29.557		
49.793	26.446		
<u>Structural interface</u>			
61.763	26.446		
61.763	29.557		
61.763	36.297		
<u>Structural interface</u>			
33.255	24.858		
34.129	24.858		
34.541	24.858		
46.871	24.858		
48.152	24.858		
<u>Structural interface</u>			
48.066	26.446		
<u>SSR Search Area</u>			
6.651	-0.185		
73.757	-0.185		
73.757	25.163		
6.651	25.163		

Structural interface

17.399	24.858
20.279	24.858
29.817	24.858
32.076	24.858
33.255	24.858

Structural interface

46.871	35.771
34.541	35.771

Structural interface

32.076	34.288
20.278	34.288

Structural interface

61.763	36.297
49.793	36.298

Piezometric line

-2.204	22.476
85.727	21.436

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 10.3.2.2 Tabulato di output

#### **Shear Strength Reduction - Material Properties**

##### Strength Reduction Factor: 1

Maximum Total Displacement: 0.00402635 m

Converged: yes

##### Material: Depositi Costieri da Spiaggia

Peak friction angle: 28.35 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 28.35 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

##### Material: Misto Cementato

Peak friction angle: 34 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 34 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

##### Material: Rilevato

Peak friction angle: 29.25 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 29.25 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

##### Strength Reduction Factor: 1.5

Maximum Total Displacement: 0.0497974 m

Converged: yes

##### Material: Depositi Costieri da Spiaggia

Peak friction angle: 19.7844 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 19.7844 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

##### Material: Misto Cementato

Peak friction angle: 24.2121 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 24.2121 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

##### Material: Rilevato

Peak friction angle: 20.4732 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 20.4732 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

##### Strength Reduction Factor: 2

Maximum Total Displacement: 0.162094 m

Converged: yes

##### Material: Depositi Costieri da Spiaggia

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

Peak friction angle: 15.0981 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 15.0981 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Misto Cementato

Peak friction angle: 18.6369 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 18.6369 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Rilevato

Peak friction angle: 15.643 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 15.643 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Strength Reduction Factor: 2.5

Maximum Total Displacement: 0.187474 m  
 Converged: yes

Material: Depositi Costieri da Spiaggia

Peak friction angle: 12.1792 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 12.1792 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Misto Cementato

Peak friction angle: 15.0991 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 15.0991 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Rilevato

Peak friction angle: 12.6264 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 12.6264 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Strength Reduction Factor: 3

Maximum Total Displacement: 0.199862 m  
 Converged: yes

Material: Depositi Costieri da Spiaggia

Peak friction angle: 10.196 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 10.196 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Misto Cementato

Peak friction angle: 12.6714 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 12.6714 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Rilevato

Peak friction angle: 10.574 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 10.574 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>	<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Strength Reduction Factor: 3.5

Maximum Total Displacement: 0.207082 m

Converged: yes

Material: Depositi Costieri da Spiaggia

Peak friction angle: 8.7639 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 8.7639 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Misto Cementato

Peak friction angle: 10.9081 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 10.9081 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Rilevato

Peak friction angle: 9.09071 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 9.09071 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Strength Reduction Factor: 4

Maximum Total Displacement: 0.216793 m

Converged: yes

Material: Depositi Costieri da Spiaggia

Peak friction angle: 7.68241 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 7.68241 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Misto Cementato

Peak friction angle: 9.57158 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 9.57158 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Rilevato

Peak friction angle: 7.96999 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 7.96999 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Strength Reduction Factor: 4.5

Maximum Total Displacement: 0.21549 m

Converged: yes

Material: Depositi Costieri da Spiaggia

Peak friction angle: 6.83739 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 6.83739 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Misto Cementato

Peak friction angle: 8.52465 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 8.52465 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

Material: Rilevato

Peak friction angle: 7.09401 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 7.09401 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Strength Reduction Factor: 5

Maximum Total Displacement: 0.217546 m  
 Converged: yes

Material: Depositi Costieri da Spiaggia

Peak friction angle: 6.15919 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 6.15919 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Misto Cementato

Peak friction angle: 7.68292 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 7.68292 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Rilevato

Peak friction angle: 6.3908 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 6.3908 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Strength Reduction Factor: 5.5

Maximum Total Displacement: 0.25263 m  
 Converged: yes

Material: Depositi Costieri da Spiaggia

Peak friction angle: 5.603 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 5.603 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Misto Cementato

Peak friction angle: 6.99172 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 6.99172 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Rilevato

Peak friction angle: 5.81399 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 5.81399 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Strength Reduction Factor: 6

Maximum Total Displacement: 0.250736 m  
 Converged: yes

Material: Depositi Costieri da Spiaggia

Peak friction angle: 5.1387 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 5.1387 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

Material: Misto Cementato

Peak friction angle: 6.41415 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 6.41415 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Rilevato

Peak friction angle: 5.33241 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 5.33241 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Strength Reduction Factor: 6.5

Maximum Total Displacement: 0.250996 m  
 Converged: yes

Material: Depositi Costieri da Spiaggia

Peak friction angle: 4.74529 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 4.74529 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Misto Cementato

Peak friction angle: 5.92441 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 5.92441 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Rilevato

Peak friction angle: 4.92433 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 4.92433 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Strength Reduction Factor: 7

Maximum Total Displacement: 0.368291 m  
 Converged: yes

Material: Depositi Costieri da Spiaggia

Peak friction angle: 4.40773 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 4.40773 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Misto Cementato

Peak friction angle: 5.50393 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 5.50393 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Rilevato

Peak friction angle: 4.57414 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 4.57414 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Strength Reduction Factor: 7.05

Maximum Total Displacement: 0.310347 m  
 Converged: yes

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Material: Depositi Costieri da Spiaggia

Peak friction angle: 4.37659 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 4.37659 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Misto Cementato

Peak friction angle: 5.46514 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 5.46514 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Rilevato

Peak friction angle: 4.54184 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 4.54184 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Strength Reduction Factor: 7.08

Maximum Total Displacement: 1.53805 m  
 Converged: yes

Material: Depositi Costieri da Spiaggia

Peak friction angle: 4.35812 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 4.35812 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Misto Cementato

Peak friction angle: 5.44212 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 5.44212 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Rilevato

Peak friction angle: 4.52267 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 4.52267 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

**Critical Strength Reduction Factor: 7.09**

Maximum Total Displacement: 0.358654 m  
 Converged: yes

Material: Depositi Costieri da Spiaggia

Peak friction angle: 4.352 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 4.352 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Misto Cementato

Peak friction angle: 5.43449 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 5.43449 degrees  
 Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Rilevato

Peak friction angle: 4.51632 degrees  
 Peak cohesion: 0 kPa  
 Residual Friction Angle: 4.51632 degrees

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Residual Cohesion: 0 kPa

**Strength Reduction Factor: 7.1**

Maximum Total Displacement: 0.646574 m

Converged: no

**Material: Depositi Costieri da Spiaggia**

Peak friction angle: 4.34589 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 4.34589 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

**Material: Misto Cementato**

Peak friction angle: 5.42688 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 5.42688 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

**Material: Rilevato**

Peak friction angle: 4.50998 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 4.50998 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

**Strength Reduction Factor: 7.12**

Maximum Total Displacement: 1.15858 m

Converged: no

**Material: Depositi Costieri da Spiaggia**

Peak friction angle: 4.33373 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 4.33373 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

**Material: Misto Cementato**

Peak friction angle: 5.41173 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 5.41173 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

**Material: Rilevato**

Peak friction angle: 4.49737 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 4.49737 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

**Strength Reduction Factor: 7.25**

Maximum Total Displacement: 2.89071 m

Converged: no

**Material: Depositi Costieri da Spiaggia**

Peak friction angle: 4.25631 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 4.25631 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

**Material: Misto Cementato**

Peak friction angle: 5.31525 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 5.31525 degrees

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Rilevato

Peak friction angle: 4.41705 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 4.41705 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Strength Reduction Factor: 7.5

Maximum Total Displacement: 1.71784 m

Converged: no

Material: Depositi Costieri da Spiaggia

Peak friction angle: 4.11493 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 4.11493 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Misto Cementato

Peak friction angle: 5.13904 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 5.13904 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

Material: Rilevato

Peak friction angle: 4.27037 degrees

Peak cohesion: 0 kPa

Residual Friction Angle: 4.27037 degrees

Residual Cohesion: 0 kPa

**Displacements**

Maximum total displacement for Fase 0: 0 m

Maximum total displacement for Piano posa+ jet: 0.00932332 m

Maximum total displacement for Sovrap fs: 0.0442114 m

Maximum total displacement for Piano posa+jet: 0.0489876 m

Maximum total displacement for Misto: 0.0545342 m

Maximum total displacement for Il sovrapp: 0.124462 m

Maximum total displacement for Scavo: 0.123996 m

Maximum total displacement for Piano posa +jet: 0.124911 m

Maximum total displacement for I sovrapp: 0.126318 m

Maximum total displacement for Sottofondazione stradale: 0.140136 m

Maximum total displacement for Terrapieno: 0.156289 m

Maximum total displacement for Carichi stradali: 0.165133 m

Maximum total displacement for Carichi terrapieno pos 1: 0.167929 m

Maximum total displacement for Carichi terrapieno pos 2: 0.168294 m

Maximum total displacement for Carichi terrapieno pos 3: 0.169698 m

Maximum total displacement for Carichi terrapieno pos 4: 0.170058 m

**Yielded Elements**

Yielded Mesh Elements

Number of yielded mesh elements on Fase 0: 70

Number of yielded mesh elements on Piano posa+ jet: 79

Number of yielded mesh elements on Sovrap fs: 150

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>P-CN1 – RELAZIONE E VERIFICHE          GEOTECNICHE</b>		<i>Codice documento</i> CZ0132_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Number of yielded mesh elements on Piano posa+jet: 152  
 Number of yielded mesh elements on Misto: 158  
 Number of yielded mesh elements on Il sovrapp: 167  
 Number of yielded mesh elements on Scavo: 161  
 Number of yielded mesh elements on Piano posa +jet: 167  
 Number of yielded mesh elements on I sovrapp: 169  
 Number of yielded mesh elements on Sottofondazione stradale: 191  
 Number of yielded mesh elements on Terrapieno: 234  
 Number of yielded mesh elements on Carichi stradali: 235  
 Number of yielded mesh elements on Carichi terrapieno pos 1: 239  
 Number of yielded mesh elements on Carichi terrapieno pos 2: 239  
 Number of yielded mesh elements on Carichi terrapieno pos 3: 239  
 Number of yielded mesh elements on Carichi terrapieno pos 4: 240

Yielded Liner Elements

Number of yielded liner elements on Fase 0: 0  
 Number of yielded liner elements on Piano posa+ jet: 0  
 Number of yielded liner elements on Sovrap fs: 0  
 Number of yielded liner elements on Piano posa+jet: 0  
 Number of yielded liner elements on Misto: 0  
 Number of yielded liner elements on Il sovrapp: 0  
 Number of yielded liner elements on Scavo: 0  
 Number of yielded liner elements on Piano posa +jet: 0  
 Number of yielded liner elements on I sovrapp: 0  
 Number of yielded liner elements on Sottofondazione stradale: 0  
 Number of yielded liner elements on Terrapieno: 0  
 Number of yielded liner elements on Carichi stradali: 0  
 Number of yielded liner elements on Carichi terrapieno pos 1: 0  
 Number of yielded liner elements on Carichi terrapieno pos 2: 0  
 Number of yielded liner elements on Carichi terrapieno pos 3: 0  
 Number of yielded liner elements on Carichi terrapieno pos 4: 0