

# 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>                  Dott. Ing. F. Colla                  Ordine Ingegneri                  Milano                  n°20355                  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>
---	--	---	--

<i>Unità Funzionale</i>	COLLEGAMENTI CALABRIA	<b>CS0462_F0</b>
<i>Tipo di sistema</i>	INFRASTRUTTURE STRADALI OPERE CIVILI	
<i>Raggruppamento di opere/attività</i>	ELEMENTI DI CARATTERE GENERALE	
<i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i>	VIADOTTO SOLARO	
<i>Titolo del documento</i>	RELAZIONE GEOTECNICA	

CODICE	C	G	0	7	0	0	P	R	B	D	C	S	C	0	0	V	I	D	8	0	0	0	0	0	1	F0
--------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
F0	20/06/2011	EMISSIONE FINALE	R.CAFFARENA	G.SCIUTO	F.COLLA



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## INDICE

INDICE .....	3
PREMESSA.....	6
1 RIFERIMENTI NORMATIVI .....	6
2 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....	8
3 CARATTERISTICHE MATERIALI.....	11
3.1 Conglomerato cementizio .....	11
3.1.1 Conglomerato cementizio per sottofondazioni .....	11
3.1.2 Conglomerato cementizio per pali di fondazione.....	11
3.1.3 Conglomerato cementizio per fondazioni .....	11
3.1.4 Conglomerato cementizio per elevazioni .....	12
3.1.5 Conglomerato cementizio per soletta d'impalcato, cordoli e baggioli.....	12
3.1.6 Conglomerato cementizio per lastre tralicciate.....	12
3.2 Acciaio per cemento armato .....	13
3.3 Acciaio per carpenteria metallica tipo CORTEN .....	13
3.4 Collegamenti bullonati .....	14
3.5 Connettori a piolo .....	14
3.6 Saldature.....	14
4 DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA.....	15
4.1 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E UBICAZIONE DELLA STRUTTURA.....	15
4.2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL LUOGO.....	17
4.3 CARATTERIZZAZIONE DELLA SISMICITA' DEL LUOGO .....	47
5 ANALISI DELLE FONDAZIONI .....	54
5.1 ANALISI DEL SISTEMA FONDAZIONALE DELLE SPALLE .....	54
5.1.1.1 DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO .....	58
5.1.2 CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI A INTRADOSSO FONDAZIONE.....	61
5.1.3 Combinazioni per gli S.L.U. ....	63
5.1.3.1 Condizione azione verticali massime (Fz-max) .....	64
5.1.3.2 Condizione azione verticali minime (Fz-min) .....	69
5.1.4 VERIFICHE GEOTECNICHE .....	73
5.1.4.1 VERIFICHE DI RESISTENZA DEL PALO.....	74
5.1.4.2 Verifiche di deformabilità.....	78

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

5.1.4.3	Verifica di capacità portante.....	78
5.2	ANALISI DEL SISTEMA FONDAZIONALE DELLE PILE .....	83
5.2.1.1	DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO .....	83
5.2.2	CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI A INTRADOSSO FONDAZIONE.....	86
5.2.3	Combinazioni per gli S.L.U. ....	88
5.2.3.1	Condizione azione verticali massime (Fz-max) .....	89
5.2.3.2	Condizione azione verticali minime (Fz-min) .....	94
5.2.4	VERIFICHE GEOTECNICHE .....	98
5.2.4.1	VERIFICHE DI RESISTENZA DEL PALO.....	99
5.2.4.2	VERIFICHE DI RESISTENZA DEL PLINTO .....	102
5.2.4.3	Verifiche di deformabilità.....	106
5.2.4.4	Verifica di capacità portante.....	106
5.3	ANALISI AVANZATA DEL SISTEMA FONDAZIONALE DI PILE E SPALLE .....	111
5.3.1	ANALISI DEI CARICHI .....	111
5.3.2	MODELLO DI CALCOLO.....	111
5.3.2.1	PROGRAMMA DI CALCOLO UTILIZZATO .....	111
5.3.2.2	DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO .....	112
5.3.3	Risultati delle analisi delle palificate delle Spalle.....	120
5.3.3.1	Azioni in testa a ciascun palo .....	121
5.3.3.2	Deformazioni lungo l'asse longitudinale per ciascun palo.....	125
5.3.3.3	Deformazioni lungo l'asse trasversale per ciascun palo .....	125
5.3.3.4	Azioni taglianti lungo l'asse longitudinale per ciascun palo.....	126
5.3.3.5	Azioni taglianti lungo l'asse trasversale per ciascun palo .....	126
5.3.3.6	Azioni flettenti con asse vettore lungo l'asse longitudinale per ciascun palo.....	127
5.3.3.7	Azioni flettenti con asse vettore lungo l'asse trasversale per ciascun palo .....	127
5.3.4	Risultati delle analisi delle palificate delle Pile.....	128
5.3.4.1	Azioni in testa a ciascun palo .....	129
5.3.4.2	Deformazioni lungo l'asse longitudinale per ciascun palo.....	133
5.3.4.3	Deformazioni lungo l'asse trasversale per ciascun palo .....	134
5.3.4.4	Azioni taglianti lungo l'asse longitudinale per ciascun palo.....	134
5.3.4.5	Azioni taglianti lungo l'asse trasversale per ciascun palo .....	135
5.3.4.6	Azioni flettenti con asse vettore lungo l'asse longitudinale per ciascun palo.....	135
5.3.4.7	Azioni flettenti con asse vettore lungo l'asse trasversale per ciascun palo .....	136

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

5.3.5 Conclusione delle analisi svolte ..... 137

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## PREMESSA

La presente relazione riguarda il dimensionamento statico del ponte ubicato dalla PK. 2+267 alla PK. 2+457 denominato "Viadotto Solaro" (altezza max. trave 270 cm e luce 40+55+55+40 m), nell'ambito del progetto Definitivo per la realizzazione del "Ponte sullo Stretto di Messina".

### 1 RIFERIMENTI NORMATIVI

- [NT\_1]. D.M. 14.01.2008 "Norme tecniche per le costruzioni (Gazzetta ufficiale 04/02/2008 n. 29)"
- [NT\_2]. C.M. 02.02.2009 "Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme tecniche per le costruzioni (Gazzetta ufficiale 04/02/2008 n. 29)"
- [NT\_3]. UNI EN 1990: 2006 "Eurocodice 0 – Criteri generali di progettazione strutturale"
- [NT\_4]. UNI EN 1991-1-1: 2004 "Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture – Parte 1-1: Azioni in generale – Pesi per unità di volume, pesi propri e sovraccarichi per gli edifici"
- [NT\_5]. UNI EN 1991-1-4: 2005 "Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture – Parte 1-4: Azioni in generale – Azioni del vento"
- [NT\_6]. UNI EN 1991-1-5: 2004 "Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture – Parte 1-5: Azioni in generale – Azioni termiche"
- [NT\_7]. UNI EN 1991-2: 2005 "Eurocodice 1 – Azioni sulle strutture – Parte 2: Carichi da traffico sui ponti"
- [NT\_8]. UNI EN 1992-1-1: 2005 "Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 1-1: Regole generali e regole per gli edifici"
- [NT\_9]. UNI EN 1992-2: 2006 "Eurocodice 2 – Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Parte 2: Ponti di calcestruzzo – Progettazione e dettagli costruttivi"
- [NT\_10]. UNI EN 1993-1-5: 2007 "Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture di acciaio – Parte 1-5: Elementi strutturali a lastra"
- [NT\_11]. UNI EN 1993-1-9: 2005 "Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture di acciaio – Parte 1-9: Fatica"
- [NT\_12]. UNI EN 1993-2: 2007 "Eurocodice 3 – Progettazione delle strutture di acciaio – Parte 2: Ponti in acciaio"
- [NT\_13]. UNI EN 1994-2: 2006 "Eurocodice 4 – Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo – Parte 2: Regole generali e regole per i ponti"

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- [NT\_14]. UNI EN 1997-1: 2005 “Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali”
- [NT\_15]. UNI EN 1998-1: 2005 “Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 1: Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici”
- [NT\_16]. UNI EN 1998-5: 2005 “Eurocodice 8 – Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici”
- [NT\_17]. UNI 11104-2004 “Calcestruzzo – Specificazione, prestazione, produzione e conformità – Istruzioni complementari per l’applicazione della EN 206-1”
- [NT\_18]. UNI EN 197-1-2007 “Cemento: Parte 1 - Composizione, specificazioni e criteri di conformità per cementi comuni
- [NT\_19]. UNI EN 206-1-2006 “Calcestruzzo. Specificazioni, prestazioni, produzione e conformità”
- [NT\_20]. CNR DT 207: 2008 “Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni”

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 2 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

### **RIFERIMENTI PER CALCOLO STRUTTURALE**

- [B1]. A.I.C.A.P. [2006] - "Guida all'uso dell'Eurocodice 2"
- [B2]. ANTONIO MIGLIACCI, FRANCO MOLA [2003] - "Progetto agli stati limite delle strutture in c.a."
- [B3]. CSI COMPUTER & STRUCTURE [2009] - "SAP 2000 user's manual"
- [B4]. C. CESTELLI GUIDI [1987] - "Cemento armato precompresso"
- [B5]. DAVID COLLINGS [2005] - "Steel-concrete composite bridge"
- [B6]. ERASMO VIOLA [1992] - "Scienza delle costruzioni"
- [B7]. INTERNETIONAL CENTRE FOR MECHANICAL SCIENCES [2003] - "Strutture composte: nuove costruzioni – recupero – ponti"
- [B8]. LUIGI SABBATELLA [1998] - "Il cemento armato: la tecnica e la statica"
- [B9]. MARIO PETRANGELI [1996] - "Progettazione e costruzione di ponti"
- [B10]. MARCELLO ARICI, ENZO SIVIERO [2005] - "Nuovi orientamenti per la progettazione di Ponti e Viadotti"
- [B11]. NIGEL R. HEWSON [2006] - "Prestressed concrete bridge: design and construction"
- [B12]. O. BELLUZZI [1996] - "Scienza delle costruzioni"
- [B13]. PAOLO RUGALI [2008] - "Calcolo di strutture in acciaio; guida all'Eurocodice 3"
- [B14]. P. POZZATI, C. CECCOLI [2000] - "Teoria e tecnica delle strutture"
- [B15]. R. WALTHER, B. HOURIET, W. ISLER, P. MOIA, J.F. KLEIN [2008] - "Cable stayed bridges"
- [B16]. WAI-FAH CHEN, LIAN DUAN [2000] - "Bridge engineering, substructure design"

### **RIFERIMENTI PER CALCOLO SISMICO**

- [B17]. ANDRE' PREUMONT, KAZUTO SETO [2008] - "Active control of structures"
- [B18]. AMR S. ELNASHI, LUIGI DI SARNO [2008] - "Fundamental of earthquake engineering"
- [B19]. C. CASAROTTI, R. PINHO, G.M. CALVI [2006] - "Adaptive pushover-based methods for seismic assessment and design of bridge structure"
- [B20]. C.G. LAI, S. FOTI, M. ROTA [2009] - "Input sismico e stabilità geotecnica dei siti in costruzione"
- [B21]. D. PIETRA, G.M. CALVI, R. PINHO [2008] - "Displacement-based seismic design of isolated bridge"

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- [B22]. ERASMO VIOLA [2001] - "Fondamenti di dinamica e vibrazione delle strutture"
- [B23]. IUSS PRESS, rivista quadrimestrale - "Progettazione sismica"
- [B24]. M.J.N. PRIESTLEY, G.M. CALVI, M.J. KOWLASKY [2007] - "Displacement-based seismic design of structures"
- [B25]. P.E. PINTO, P. FRANCHIN, A. LUPOI [2009] - "Valutazione e consolidamento sismico dei ponti esistenti"
- [B26]. P.E. PINTO, R. GIANNINI, P. FRANCHIN [2004] - "seismic reliability analysis of structures"

#### **RIFERIMENTI PER CALCOLO GEOTECNICO**

- [B27]. ASSOCIAZIONE GEOTECNICA ITALIANA [1984] - "Raccomandazioni sui pali di fondazione"
- [B28]. BRINCH-HANSEN, J. [1961] - "A General Formula for Bearing Capacity" - The Danish Geotechnical Institute, Bull. n.11, Copenhagen.
- [B29]. BRINCH-HANSEN, J. [1970] - "A Revised and Extended Formula for Bearing Capacity" - The Danish Geotechnical Institute, Bull. n.28, Copenhagen.
- [B30]. BUSTAMANTE M. & DOIX B. (1985) - "Une méthode pour le calcul des tirants et des micropieux injectés" Bulletin Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, n°140, nov.-déc., ref. 3047
- [B31]. BUSTAMANTE M., GIANESELLI L.. [1982] - "Pile bearing capacity prediction by means of static penetrometer CPT" -.Pr. of the 2th European symposium on penetration testing, Amsterdam.
- [B32]. BOWLES J.E. [1991] - "Fondazioni – Progetto e Analisi" - Editore McGraw-Hill
- [B33]. CARLO CESTELLI GUIDI [1987] - "Geotecnica e tecnica delle fondazioni"
- [B34]. DE BEER, E.E., LADANYI, B. [1961] - "Etude experimentale de la capacite portante du sable sous des fondations circulaires etablies en surface". 5th ICSMFE, Paris, 1, 577-581.
- [B35]. GROUP 7.0 for windows [2000] - Technical & User's manual – Ensoft Inc.
- [B36]. H.G. POULOS, E.H. DAVIS [2002] - "Analisi e progettazione di fondazioni su pali"
- [B37]. JAMIOLKOWSKI M. et al. [1983] - "Scale effects of ultimate pile capacity" - Discussion, JGED, ASCE.
- [B38]. LANCELLOTTA R. [1991] " Geotecnica" – Edizioni Zanichelli.
- [B39]. MEYERHOF, G.G. [1951] - "The Ultimate Bearing Capacity of Foundations" -

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

*Geotechnique*, 2, 301-332.

- [B40]. MEYERHOF, G.G. [1951] - "Some recent research on the bearing capacity of foundations" - *Canadian Geotechnical Journal*, 1, 16-26
- [B41]. MEYERHOF G.G., SASTRY V.V.R.N. [1978] - "Bearing capacity of piles in layered soils. Part 1. Clay overlying sand" - *Canadian Geotechnical Journal*, 15, 171-182, 183-189.
- [B42]. REESE L.C., WRIGHT S.J. [1977] - "Drilled shaft manual" - U.S. Dept. Transportation, Offices of Research and Development, Implementation Div., HDV 2, Washington D.C., vol.1
- [B43]. REESE L.C., W.R.COX, F.D. KOOP [1974] - "Analysis of laterally loaded piles in sand" – Paper N° OCT 2080, Proceedings, Fifth Annual Offshore Technology Conference, Houston, Texas, 1975.
- [B44]. REESE L.C., W.R.COX, F.D. KOOP [1975] - "Field testing and analysis of laterally loaded piles in stiff clay" – Paper N° OCT 2313, Proceedings, Seventh Offshore Technology Conference, Houston, Texas, 1975.
- [B45]. REESE L.C., WELCH R.C. [1975] - "Lateral loading of deep foundations in stiff clay" – *Journal of the geotechnical Division, ASCE*, Vol. 101, No GT7, Proceedings Paper 11456, 1975, pp. 633 – 649.
- [B46]. SKEMPTON, A. W. [1951] - "The bearing capacity of clays" - *Building Research Congress, London*, 1, 180-189.
- [B47]. VESIC, A.S. [1970] - "Tests on instrumented Piles, Ogeechee River Site" - *JSMFD, ASCE*, V. 96, N. SM2, Proc. Paper 7170, March.
- [B48]. VESIC, A.S. [1973] - "Analysis of Ultimate Loads of Shallow Foundations". - *JSMFD, ASCE*, Jan., 45-73.
- [B49]. WELCH, R.C., REESE L.C. [1972] - "Laterally loaded Behavior of drilled shafts" – *Research Report N° 3-5-65-89, conducted for Texas Highway Department and U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Bureau of Public Roads, by Center for Highway Research, The University of Austin.*

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_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						

### 3 CARATTERISTICHE MATERIALI

#### 3.1 Conglomerato cementizio

I conglomerati cementizi dovranno essere realizzati in accordo con le normative UNI 11104 e UNI EN 206-1; più in dettaglio ogni parte strutturale dovrà possedere le seguenti caratteristiche resistenti:

##### 3.1.1 Conglomerato cementizio per sottofondazioni

Classe	C12/15
Resistenza caratteristica cubica	$f_{ck,cube} = 15 \text{ N/mm}^2$
Resistenza caratteristica cilindrica	$f_{ck,cyl} = 12 \text{ N/mm}^2$
Classe di esposizione	X0
Classe di consistenza	S4 / S5

##### 3.1.2 Conglomerato cementizio per pali di fondazione

Classe	C25/30
Resistenza caratteristica cubica	$f_{ck,cube} = 30 \text{ N/mm}^2$
Resistenza caratteristica cilindrica	$f_{ck,cyl} = 25 \text{ N/mm}^2$
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck}/\gamma_c = 0,85 * f_{ck}/1,5 = 14,167 \text{ N/mm}^2$
Resistenza a trazione media	$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} = 2,565 \text{ N/mm}^2$
Resistenza a trazione (frattile 5%)	$f_{ctk 0,05} = 0,7 * f_{ctm} = 1,795 \text{ N/mm}^2$
Resistenza a trazione di calcolo	$f_{ctd} = f_{ctk 0,05} / \gamma_c = 1,197 \text{ N/mm}^2$
Classe di esposizione	XC2
Classe di consistenza	S4-S5

##### 3.1.3 Conglomerato cementizio per fondazioni

Classe	C25/30
Resistenza caratteristica cubica	$f_{ck,cube} = 30 \text{ N/mm}^2$
Resistenza caratteristica cilindrica	$f_{ck,cyl} = 25 \text{ N/mm}^2$
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck}/\gamma_c = 0,85 * f_{ck}/1,5 = 14,167 \text{ N/mm}^2$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_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						

Resistenza a trazione media	$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3}$	= 2,565 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a trazione (frattile 5%)	$f_{ctk\ 0,05} = 0,7 * f_{ctm}$	= 1,795 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a trazione di calcolo	$f_{ctd} = f_{ctk\ 0,05} / \gamma_c$	= 1,197 N/mm <sup>2</sup>
Classe di esposizione	XC2	
Classe di consistenza	S4	

### 3.1.4 Conglomerato cementizio per elevazioni

Classe	C32/40	
Resistenza caratteristica cubica	$f_{ck,cube} = 40$	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica cilindrica	$f_{ck,cyl} = 32$	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c = 0,85 * f_{ck} / 1,5$	= 18,133 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a trazione media	$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3}$	= 3,024 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a trazione (frattile 5%)	$f_{ctk\ 0,05} = 0,7 * f_{ctm}$	= 2,117 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a trazione di calcolo	$f_{ctd} = f_{ctk\ 0,05} / \gamma_c$	= 1,411 N/mm <sup>2</sup>
Classe di esposizione	XC4 – XS1– XF2	
Classe di consistenza	S4	

### 3.1.5 Conglomerato cementizio per soletta d'impalcato, cordoli e baggioli

Classe	C32/40	
Resistenza caratteristica cubica	$f_{ck,cube} = 40$	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica cilindrica	$f_{ck,cyl} = 32$	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c = 0,85 * f_{ck} / 1,5$	= 18,133 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a trazione media	$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3}$	= 3,024 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a trazione (frattile 5%)	$f_{ctk\ 0,05} = 0,7 * f_{ctm}$	= 2,117 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a trazione di calcolo	$f_{ctd} = f_{ctk\ 0,05} / \gamma_c$	= 1,411 N/mm <sup>2</sup>
Classe di esposizione	XF4	
Classe di consistenza	S4	

### 3.1.6 Conglomerato cementizio per lastre tralicciate

Classe	C35/45	
Resistenza caratteristica cubica	$f_{ck,cube} = 45$	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza caratteristica cilindrica	$f_{ck,cyl} = 35$	N/mm <sup>2</sup>

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c = 0,85 * f_{ck} / 1,5 = 19,833 \text{ N/mm}^2$
Resistenza a trazione media	$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3} = 3,210 \text{ N/mm}^2$
Resistenza a trazione (frattile 5%)	$f_{ctk 0,05} = 0,7 * f_{ctm} = 2,247 \text{ N/mm}^2$
Resistenza a trazione di calcolo	$f_{ctd} = f_{ctk 0,05} / \gamma_c = 1,498 \text{ N/mm}^2$
Classe di esposizione	XS1–XF2
Classe di consistenza	S4

### 3.2 Acciaio per cemento armato

Per le armature metalliche si adottano tondini in acciaio del tipo B450C controllato in stabilimento che presentano le seguenti caratteristiche:

Tensione di snervamento caratteristica	$f_{yk} \geq 450 \text{ N/mm}^2$
Tensione caratteristica a rottura	$f_{tk} \geq 540 \text{ N/mm}^2$
Resistenza di calcolo	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 450 / 1,15 = 391,30 \text{ N/mm}^2$
Deformazione caratteristica al carico massimo	$\epsilon_{uk} = 7,5 \%$
Deformazione di progetto	$\epsilon_{ud} = 6,75 \%$

### 3.3 Acciaio per carpenteria metallica tipo CORTEN

In conformità con la norma UNI EN 10025:

- Elementi composti per saldatura:

spessori  $t \leq 40 \text{ mm}$ :

Tipo	S355J2G3
Soglia di snervamento	$f_{yk} \geq 355 \text{ N/mm}^2$
Tensione di rottura	$f_{tk} \geq 470\text{-}630 \text{ N/mm}^2$

spessori  $t > 40 \text{ mm}$ :

Tipo	S355K2G3
Soglia di snervamento	$f_{yk} \geq 315 \text{ N/mm}^2$
Tensione di rottura	$f_{tk} \geq 470\text{-}630 \text{ N/mm}^2$

- Elementi non saldati:

spessori  $t \leq 16 \text{ mm}$ :

Tipo	S355J0
Soglia di snervamento	$f_{yk} \geq 355 \text{ N/mm}^2$
Tensione di rottura	$f_{tk} \geq 470\text{-}630 \text{ N/mm}^2$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

spessori  $16 < t \leq 40$  mm:

Tipo	S355J0
Soglia di snervamento	$f_{yk} \geq 315 \text{ N/mm}^2$
Tensione di rottura	$f_{tk} \geq 470\text{-}630 \text{ N/mm}^2$

### 3.4 Collegamenti bullonati

Giunzioni ad attrito da realizzarsi con bulloneria ad alta resistenza a serraggio controllato secondo UNI 3740 e UNI 20898 parte I e II:

- Viti classe 10.9 (UNI EN ISO 898-1:2001)
- Dadi classe 10 (UNI EN ISO 20898-2:1994)
- Rosette acciaio C50 EN10083 (HRC 32-40) (UNI EN ISO 10083-2:2006)

Le giunzioni bullonate ad attrito dovranno prevedere un coefficiente di attrito pari a 0,3 e coppie di serraggio secondo D.M. 14.01.2008.

I bulloni disposti verticalmente avranno la testa della vite verso l'alto ed il dado verso il basso ed avranno una rosetta sotto la vite ed una sotto il dado.

Fori per bulloni secondo D.M. 14/01/2008.

### 3.5 Connettori a piolo

In conformità con la norma UNI EN ISO 13918:

Acciaio tipo	ST 37-3K (S235J2G3+C450)
Soglia di snervamento	$f_{yk} \geq 350 \text{ N/mm}^2$
Tensione di rottura	$f_{tk} \geq 450 \text{ N/mm}^2$
Allungamento	$A \geq 15\%$
Strizione	$Z \geq 50\%$

### 3.6 Saldature

In conformità con il D.M. 14/01/2008.

Dove non diversamente specificato si prevedono saldature a cordone d'angolo di lato pari a 0.7 per lo spessore minimo da collegare se su entrambi i lati, e di lato pari allo spessore minimo da collegare se su un solo lato. Tutti i cordoni devono essere sigillati sul contorno. Per i giunti a piena penetrazione le lamiere dovranno essere preventivamente preparate con opportuno cianfrino.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 4 DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA

### 4.1 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E UBICAZIONE DELLA STRUTTURA

La zona in cui è individuata l'opera esaminata nel presente documento, ricade all'incirca alla Latitudine di 38,212890 e Longitudine di 15,646679.



F1. Individuazione della zona in cui ricade l'opera

L'opera si sviluppa con andamento curvilineo per il primo tratto ( $R=353$  m), per poi entrare in rettilineo, su un'unica via di corsa di larghezza massima  $B = 9,30$  m (dei quali 6,5 m carrabili) e si presenta retto rispetto alla direzione di percorrenza della viabilità; l'angolo tra l'asse longitudinale del ponte e l'asse appoggi è pari a  $90^\circ$ . Da un punto di vista statico, la struttura è a 4 campate con luce di calcolo pari a  $40+55+55+40$  m:

<b>Campata</b>	<b>Lunghezza [m]</b>
Spalla A – Pila 1	40,00
Pila 1 – Pila 2	55,00
Pila 2 – Pila 3	55,00
Pila 3 – Spalla B	40,00

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

L'impalcato è realizzato mediante 2 travate metalliche continue con soletta in c.a. collaborante (prevista con il sistema costruttivo "a prédalles", armate con tralicci tipo Bausta o similari, autoportanti nei confronti del getto in opera della soletta) e traversi metallici. Le travi in acciaio hanno altezza costante lungo il loro sviluppo longitudinale e un interasse costante di 4,30 m. La larghezza delle piattabande superiori ed inferiori e lo spessore dei singoli elementi è costante lungo lo sviluppo della trave (vedi elaborati grafici) ad esclusione dei conci di pila, dove vengono aumentate le capacità resistenti, per supplire ai momenti negativi (sezione tipo 2 – prevista per una lunghezza di  $\pm 10$  m da asse pila):

	<b>TIPO 1</b>	<b>TIPO 2</b>
H trave (mm)	2700	2700
Piattabanda sup. (mm)	800x40	1100x60
Anima (mm)	28	28
Piattabanda inf. (mm)	1000x45	1100x60

Le travi in acciaio vengono prefabbricate in officina per conci di lunghezza massima 12,00 m, conci risultano trasportabili agevolmente senza oneri specifici.

La spalla è in c.a. con muro frontale, paraghiaia e muri andatori, con fondazione a forma di "C" che si intesta su 8 pali  $\phi 1200$ . La sezione trasversale della spalla è costituita dal muro frontale di spessore costante pari a 2,00 m, posto davanti al muro paraghiaia di spessore di 50 cm che si eleva fino a quota pavimentazione; i muri andatori hanno spessore costante pari a 150 cm.

Le spalle sono rette rispetto all'asse longitudinale del ponte, parallele all'asse appoggi.

Le pile sono in c.a. con sezione trasversale a cassone di dimensioni esterne pari a 2,5x7,5 m. L'elevazione ha altezza massima pari a 12,09 e si intesta sul plinto di fondazione di dimensione in pianta 8,00x10,00. Le fondazioni sono su 9 pali  $\phi 1000$ .

Le pile sono rette rispetto all'asse longitudinale del ponte, parallele all'asse appoggi.

Il sistema di vincolamento è realizzato mediante appoggi tipo VASOFLON, creando uno schema statico isostatico (in fase di esercizio) mediante carrelli e una cerniera. Saranno quindi predisposti:

- su spalla A = 1 appoggi multidirezionali + 1 appoggio unidirezionale longitudinale

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- su Pila 1= 1 appoggi multidirezionali + 1 appoggio unidirezionale longitudinale
- su Pila 2= 1 appoggio unidirezionale trasversali + 1 appoggio fisso
- su Pila 3= 1 appoggi multidirezionali + 1 appoggio unidirezionale longitudinale
- su spalla B = 1 appoggi multidirezionali + 1 appoggio unidirezionale longitudinale

Durante l'evento sismico, saranno invece disposti sulle pile shock-trasmitters, in modo tale che si riesca a ripartita l'azione sismica di progetto alle 3 elevazioni contemporaneamente, diminuendo quindi l'azione sulla singola elevazione.

Le spalle, dovendo rimanere sempre in campo elastico, saranno invece svincolate rispetto alle azioni longitudinali, riducendo sensibilmente le sollecitazioni interne alla struttura.

I dispositivi saranno progettati affinché resistano all'azione di progetto allo stato limite ultimo e risultino idonei:

- a trasmettere le forze conseguenti alle azioni sismiche;
- ad evitare sconnessioni tra gli elementi componenti il dispositivo di vincolo;
- ad evitare la fuoriuscita dei vincoli dalle loro sedi.

Sono presenti inoltre ritegni sismici di emergenza in direzione trasversale (realizzati in cemento armato), i quali non possono però essere considerati come dispositivi di ritenuta adatti a fenomeni ciclici perché durante un evento sismico sono elementi soggetti a fenomeni di martellamento.

Le azioni considerate nel calcolo sono quelle tipiche di una struttura da ponte, con applicazione della Normativa sui ponti stradali D. M. Min. II. TT. del 14 gennaio 2008 – Norme tecniche per le costruzioni.

## 4.2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL LUOGO

Le fondazioni si attestano a una profondità media da p.c. di circa 5,0 m, ad esclusione della fondazione della Spalla B che si attesta a una profondità media da p.c. di circa 18,0 m.

La zona in cui ricade l'opera in oggetto presenta quindi una stratigrafia dove da intradosso fondazione la litologia è caratterizzata da "sabbie e ghiaie di Messina".

Più in dettaglio tale le litologie presentano le seguenti caratteristiche:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_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						

### GHIAIE E SABBIE DI MESSINA

$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	18÷20
$N_{SPT}$ (colpi/30 cm)	70±25
$c'_{picco}$ (kPa)	0÷10
$\phi'_{picco}$ (°)	38÷40 (p'ff=0-272KPa) / 35÷38 (p'ff=272-350KPa)
$C_{cv}'$ (kPa)	0
$\phi_{cv}'$ (°)	33÷35
$k_o$ (-)	0.45-0.55
$V_s$ (m/sec)	$V_s=200+7 \cdot z$ (m/s)
$G'_o$ (MPa)	$G'_o = 1780 \cdot p_a \cdot \left(\frac{p'_o}{p_a}\right)^{0.65}$
$E'$ (MPa)*	$E' = (17 \div 40) \cdot (z)^{0.7}$
$v'$ (-)	0.2
$G_0, G/G_0$	curve teoriche
$D_0, D/D_0$	curve teoriche
$K$ (m/s)	$10^{-4} \div 10^{-5}$
$v'$ (-)	0.2-0.3
$K$ (m/s)	$10^{-7}$

Simbologia:

$\gamma_t$  = peso di volume naturale;

$N_{SPT}$  = resistenza penetrometrica dinamica in prova SPT;

$\phi'$  = angolo di attrito operativo;

$c'$  = intercetta di coesione operativa;

$\phi'_r$  = angolo di attrito residuo;

$c'_r$  = intercetta di coesione residua;

OCR = grado di sovraconsolidazione;

$\sigma_{vo}'$  = pressione verticale efficace geostatica;

$\sigma_{vmax}'$  = pressione verticale efficace massima subita dal deposito;

$c_u$  = resistenza al taglio non drenata riferita a tensioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a condizioni di carico tipo quelle delle prove triassiali di compressione e carico;

$k_o$  = coefficiente di spinta del terreno a riposo;

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$k_v$  = coefficiente di permeabilità verticale riferito a pressioni di consolidazione pari a quelle geostatiche e a problemi di flusso diretto principalmente nella direzione verticale;

$V_s$  = velocità di propagazione delle onde di taglio;

$G_o$  = modulo di taglio iniziale riferito alle pressioni efficaci geostatiche;

$E'$  = modulo di Young "operativo"; \* = si considerano valori nel range per gallerie, fronti di scavo sostenuti, opere di sostegno tirantate o puntonate; valori al minimo del range per fondazioni dirette, fondazioni su pali e rilevati.

$\nu'$  (-) = coefficiente di Poisson

$p_a$  = pressione atmosferica di riferimento, espressa in MPa

$p'_0$  = pressione efficace alla profondità  $z$ , espressa in MPa

Non è stata rinvenuta la falda nei sondaggi presenti in zona (sondaggio C416 con profondità 40 m da p.c.), pertanto nel proseguo della relazione si considererà assente la falda in quanto ininfluente nei dimensionamenti.

Per un maggior dettaglio della caratterizzazione geotecnica dei suoli si rimanda alla relazione generale CG0800PRBDCSBC8G000000001.

Per un maggior dettaglio della stratigrafia di profilo si rimanda agli elaborati:

Profilo geologico-geotecnico      1:2000 CG0800 P F6 D C SB C6 ST 00 00 00 23

Profilo idrogeologico              1:2000 CG0800 P F6 D C SB C6 ST 00 00 00 24

Nel seguito si porta un estratto di dettaglio per la zona in esame.

### **Descrizione delle litologie prevalenti**

Le litologie prevalenti sono costituite dalle formazioni dei Sabbie e Ghiaie di Messina, depositi alluvionali.

Le Sabbie e Ghiaie di Messina sono granulometricamente descritte come ghiaie e ciottoli da sub arrotondati ad appiattiti con matrice di sabbie grossolane.

Depositi alluvionali: si tratta prevalentemente di depositi sabbioso-ghiaiosi olocenici di fondo alveo. L'incisione operata dai corsi d'acqua determina la diretta sovrapposizione di tali depositi sul

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

substrato cristallino-metamorfico. Gli spessori massimi dedotti da affioramento e sondaggi non è superiore alla decina di metri.

La falda non risulta interferente con le opere.

La prova sismica nel sondaggio C417 fornisce una Vs30 di cat. B.

### Indagini previste

Data l'esiguità dei sondaggi e delle prove localmente presenti (C417, SN13), si è scelto di tenere conto anche di altri sondaggi e prove disponibili.

#### Sabbie e Ghiaie di Messina

Si considerano i sondaggi della tratta relativa alla Rampa D\_dec.

- prove SPT (C411, C414, C415, SN11, Svar1)
- 2 prove sismiche (C414, C415)
- 3 prove Le Franc (C411, C414, C415)
- Prove di laboratorio per la determinazione dei parametri fisici ed elle caratteristiche di resistenza (TD, sondaggio C410, Svar1)

#### Depositi alluvionali:

Si considerano i sondaggi della caratterizzazione generale.

- prove SPT (C434, CN451, C415, C430, C417, C203, C213BIS)
- 2 prove sismiche (C417, C430)
- Prove di laboratorio per la determinazione dei parametri fisici

### Caratterizzazione geotecnica

Per i criteri e per gli aspetti generali di caratterizzazione si rimanda a quanto riportato nella relazione Elab. CG0800PRBDCSBC8G000000001. Per la definizione delle categorie di suolo si rimanda al medesimo elaborato ed alla relazione sismica di riferimento.

### Sabbie e Ghiaie di Messina

Per le caratteristiche fisiche da un analisi statistica delle caratteristiche granulometriche emerge, un andamento che conferma che le caratteristiche granulometriche dei materiali in esame sono tipiche di materiali sia di materiali a grana grossa (ghiaie 36%), sia di materiali intermedi (sabbie

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

52%). Il contenuto di fino è mediamente del 11%.

Con riferimento al fuso medio si ha:

- Il valore di  $D_{50}$  è pari a 0.8mm
- Il valore di  $D_{60}$  è pari a 1.2 mm
- Il valore di  $D_{10}$  è pari a 0.025 mm

Il peso di volume dei grani medio  $\gamma_s$  è risultato pari a circa 26 kN/m<sup>3</sup>;

In base a dati di letteratura il valore di  $\gamma_{dmax}$  risulterebbe mediamente pari a circa 21 KN/m<sup>3</sup> mentre  $\gamma_{dmin}$  mediamente pari a circa 16 KN/m<sup>3</sup>.

Per lo stato iniziale si ha:

- **Dr:** I valori di  $N_{spt}$  sono stati corretti con il fattore correttivo  $C_{sg}=0.75$  corrispondente al  $d_{50}=0.8$ mm.
- **$e_o$ :** a partire dal  $d_{50}$  stimato si ottiene di  $e_{max}-e_{min}$  pari a 0.31, non dissimile dai valori reperibili in letteratura ( $0.17 < e_{max}-e_{min} < 0.29$ ) e da quanto misurato in laboratorio (SG10 DG42) con valore medio pari a 0.33. Stimando per  $e_{max}$  un valore pari a 0.7 a partire dai valori di  $Dr$  è stato possibile determinare i valori di  $e_o$  in sito.
- **$\gamma_d$ :** in base a tali valori di  $e_o$  e da  $\gamma_s$  si può stimare  $\gamma_d$ .
- **$K_0$ :** si considera la relazione di Mesri (1989) per tenere conto degli effetti di "aging".

Z(m)	Dr(%) Prevalente sabbiosa	Dr(%) Sabbie e ghiaie	$\gamma_d$ (KN/m <sup>3</sup> )	$K_0$
<b>0-15</b>	<b>0.8</b>	-	<b>18-20</b>	<b>0.40-0.45</b>
<b>&gt;15</b>	<b>0.6-0.8</b>	-	<b>17-18</b>	<b>0.45-0.5</b>

Per i parametri di resistenza al taglio in termini di sforzi efficaci sulla base delle prove SPT si è ottenuto un valore medio di angolo di attrito di 41°, per  $z > 5$ m.

Z(m)	$\phi'_p$ (pff=0-272KPa) (°)	$\phi'_p$ (pff=272-350KPa) (°)	$\phi'_{cv}$ (°)

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

<b>0-15</b>	<b>40-42</b>	<b>37-39</b>	<b>33-35</b>
<b>&gt;15</b>	<b>39-41</b>	<b>36-38</b>	

Ai parametri di resistenza operativi al taglio in termini di sforzi efficaci si sono assegnati i seguenti valori operativi:

$c_p' = 0 \div 10$  kPa = coesione apparente

$\varphi_p' = 38 \div 40^\circ$  = angolo di resistenza al taglio

Per i valori di stato critico, in assenza di prove specifiche, in base ai dati di letteratura si possono definire i seguenti valori operativi.

$c_r' = 0$  kPa = coesione apparente

$\varphi_r' = 33^\circ \div 35^\circ$  = angolo di resistenza al taglio

Per le caratteristiche di deformabilità dalle prove sismiche in foro (C416, C417) si ottengono valori di  $G_0$  che mostrano un andamento crescente con la profondità, da circa 100MPa a circa 500MPa a 40m di profondità.

Una stima con la profondità si rende difficoltosa per la dispersione di  $G_0$ .

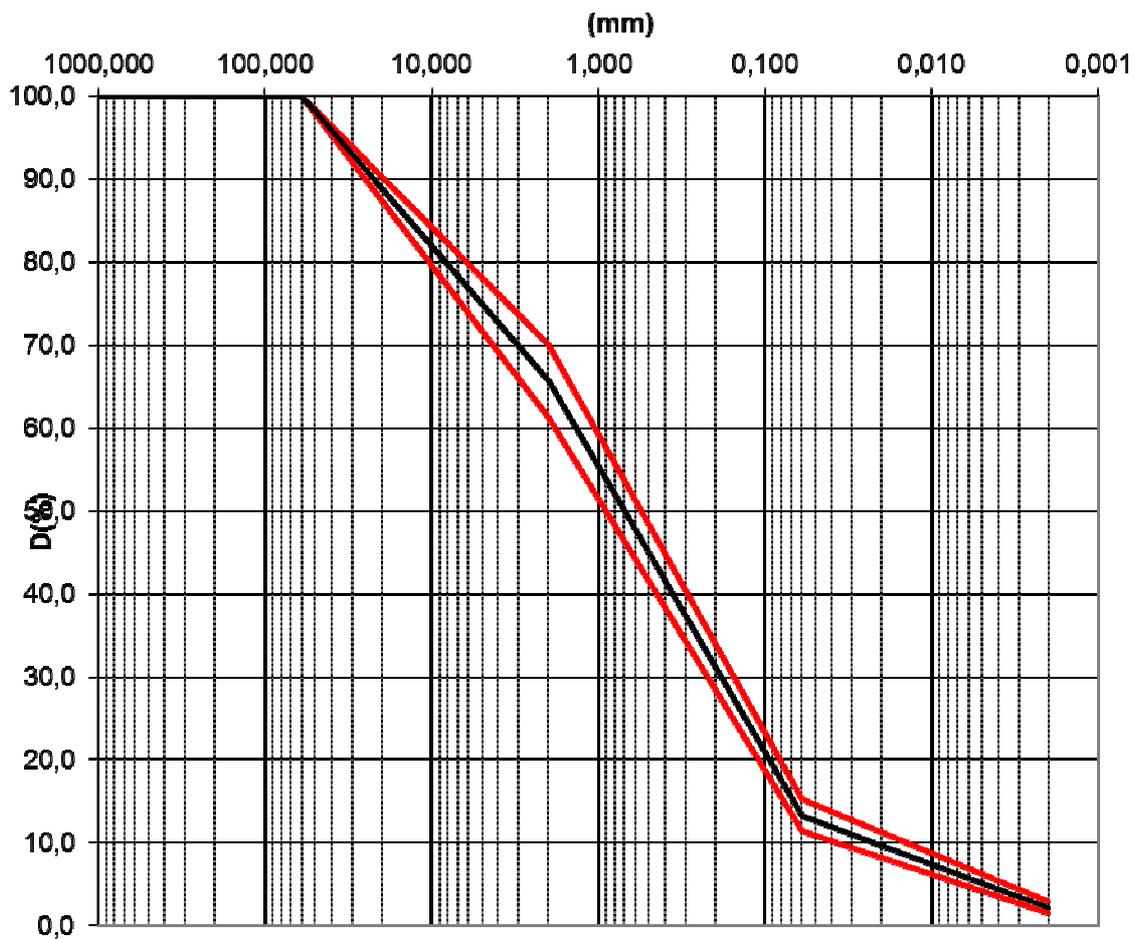
Tenendo conto delle prove SPT si ottiene una stima cautelativa:

z(m)	$G_0$ (MPa)	$E_0$ (MPa)	$E'$ (MPa)
0-25	$60 z^{0.5}$	<b><math>144 z^{0.5}</math></b>	<b><math>(19-48) z^{0.5}</math></b>

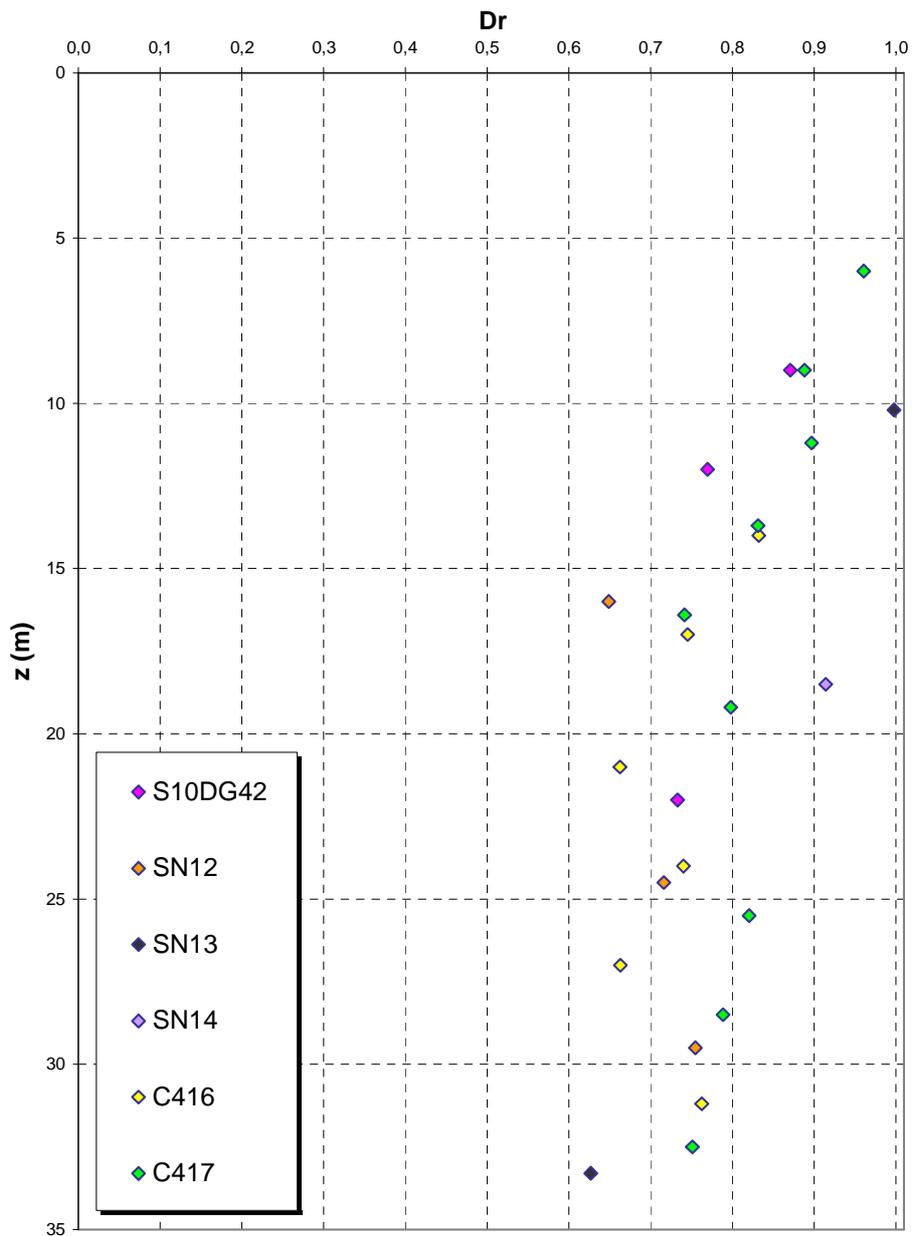
con  $E'$  pari rispettivamente a circa 1/5 ÷ 1/10 (medio-grandi deformazioni) ed a 1/3 di quelli iniziali (piccole deformazioni).

Le 4 prove pressiometriche forniscono invece valori variabili compresi fra 130 e 200 MPa fra 20 ed 35m di profondità.

**Sabbie e ghiaie di Messina**

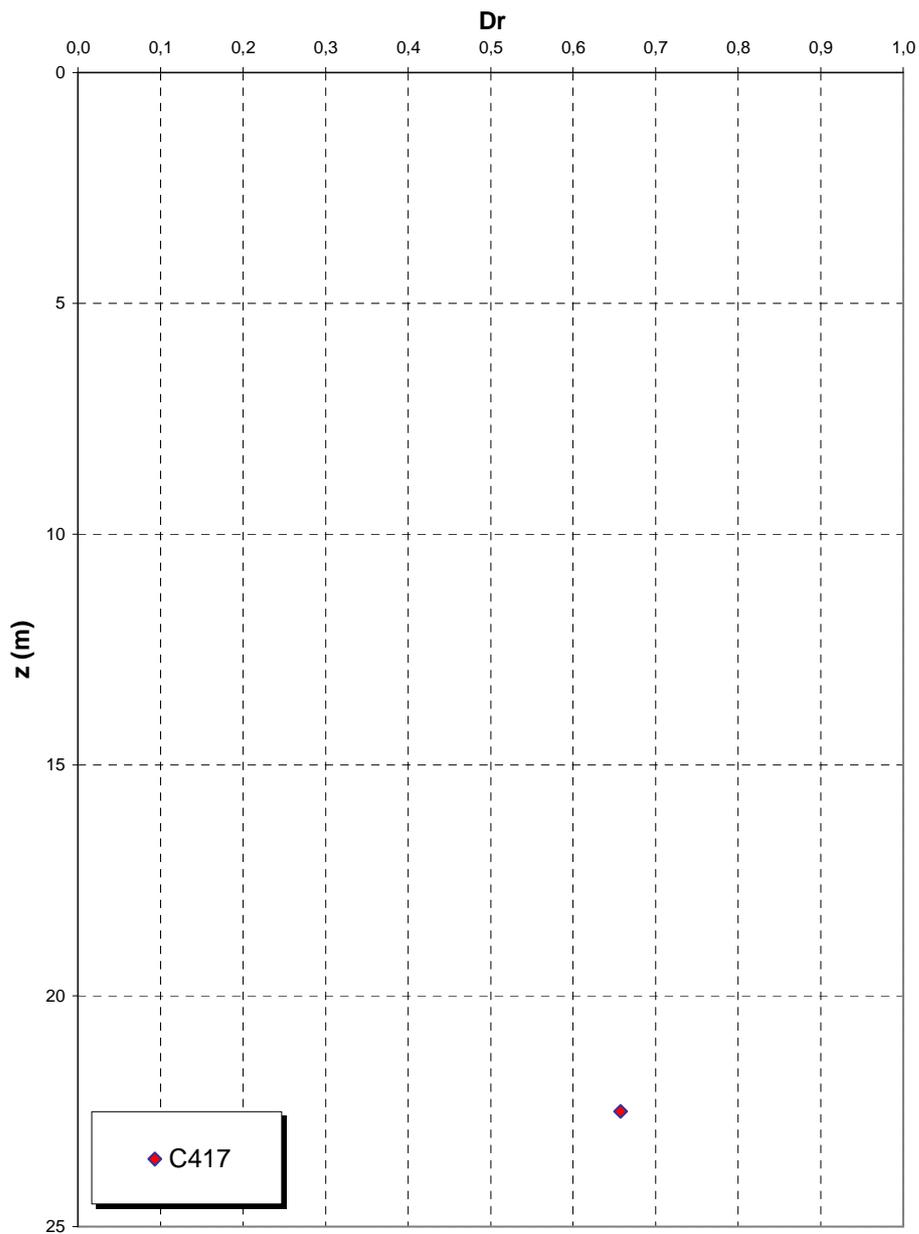


**Dr Skempton (1986)  
Componente sabbiosa prevalente  
SABBIE E GHIAIE DI MESSINA  
- Rampa D\_dec -**

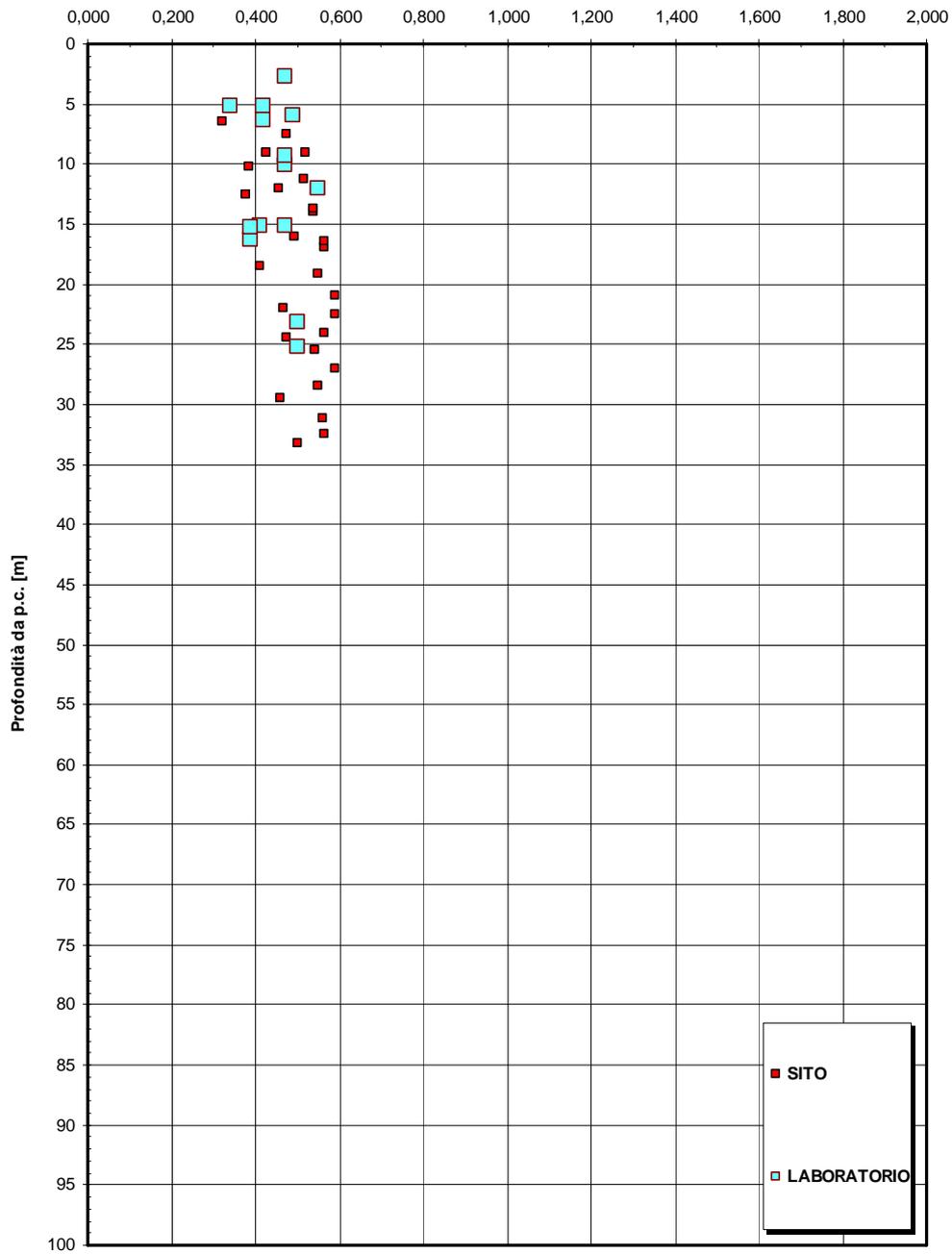


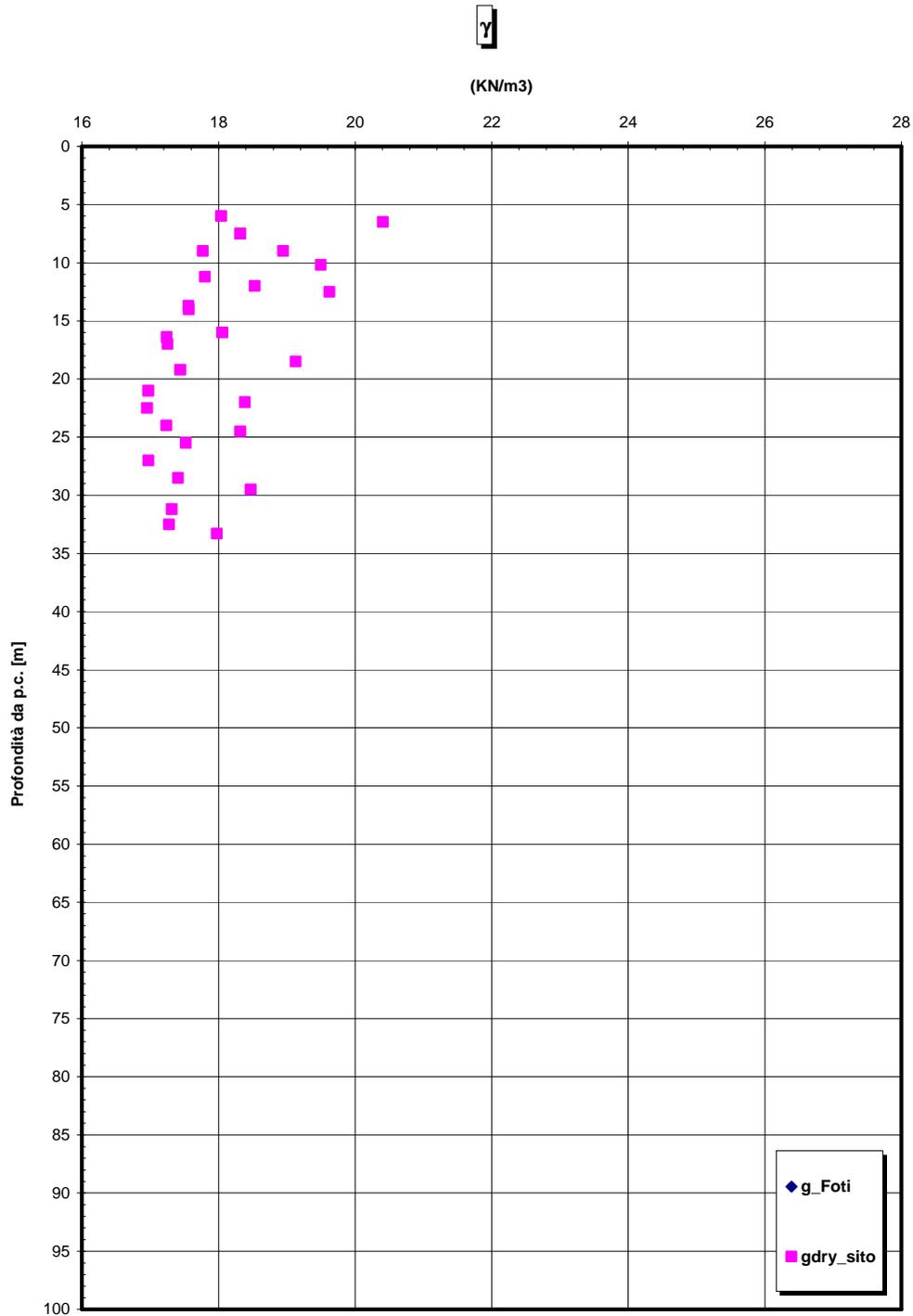
		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

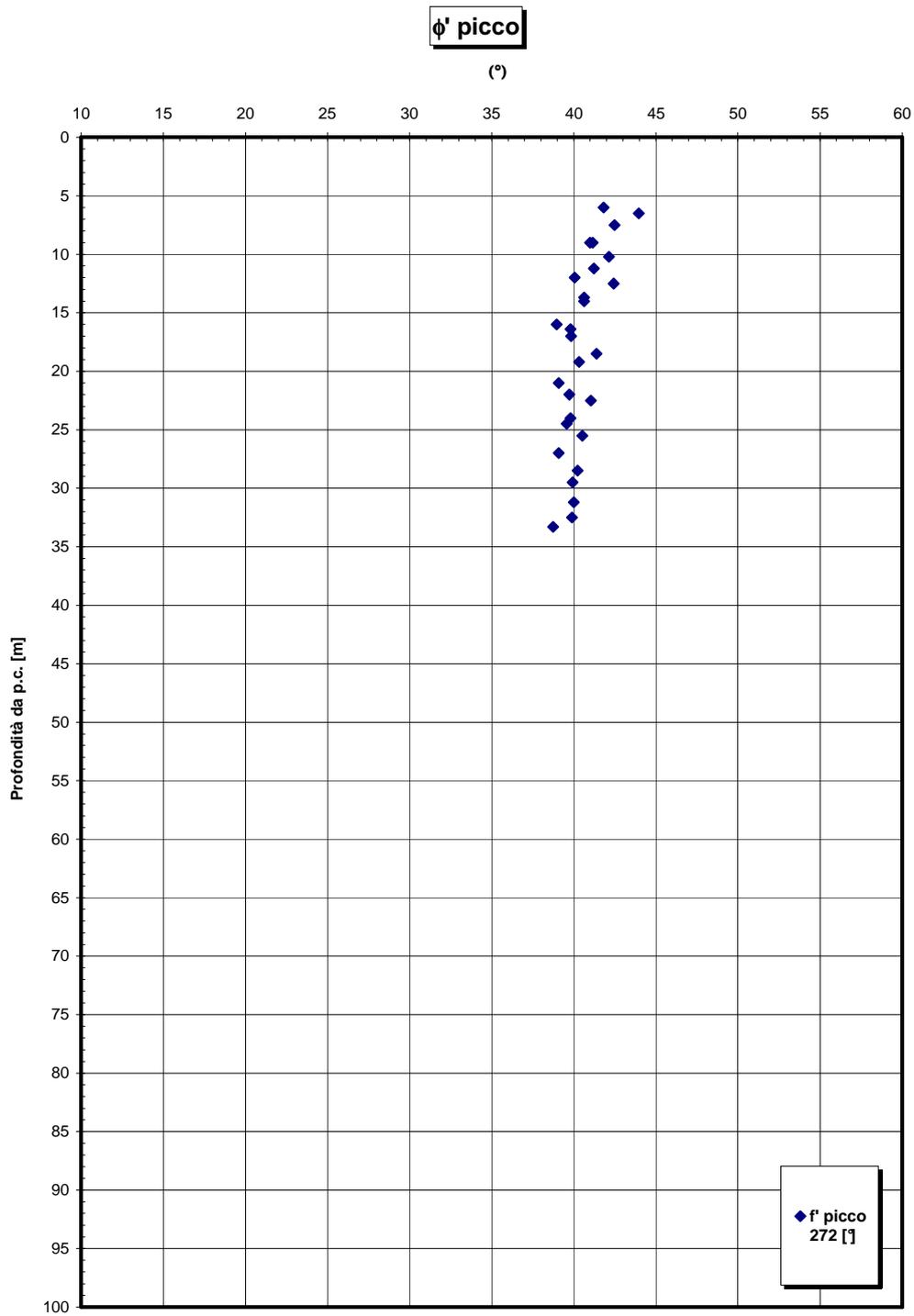
**Dr Cubrinovski e Ishihahara (1999)**  
**Componente ghiaiosa e sabbiosa**  
**SABBIE E GHIAIE DI MESSINA**

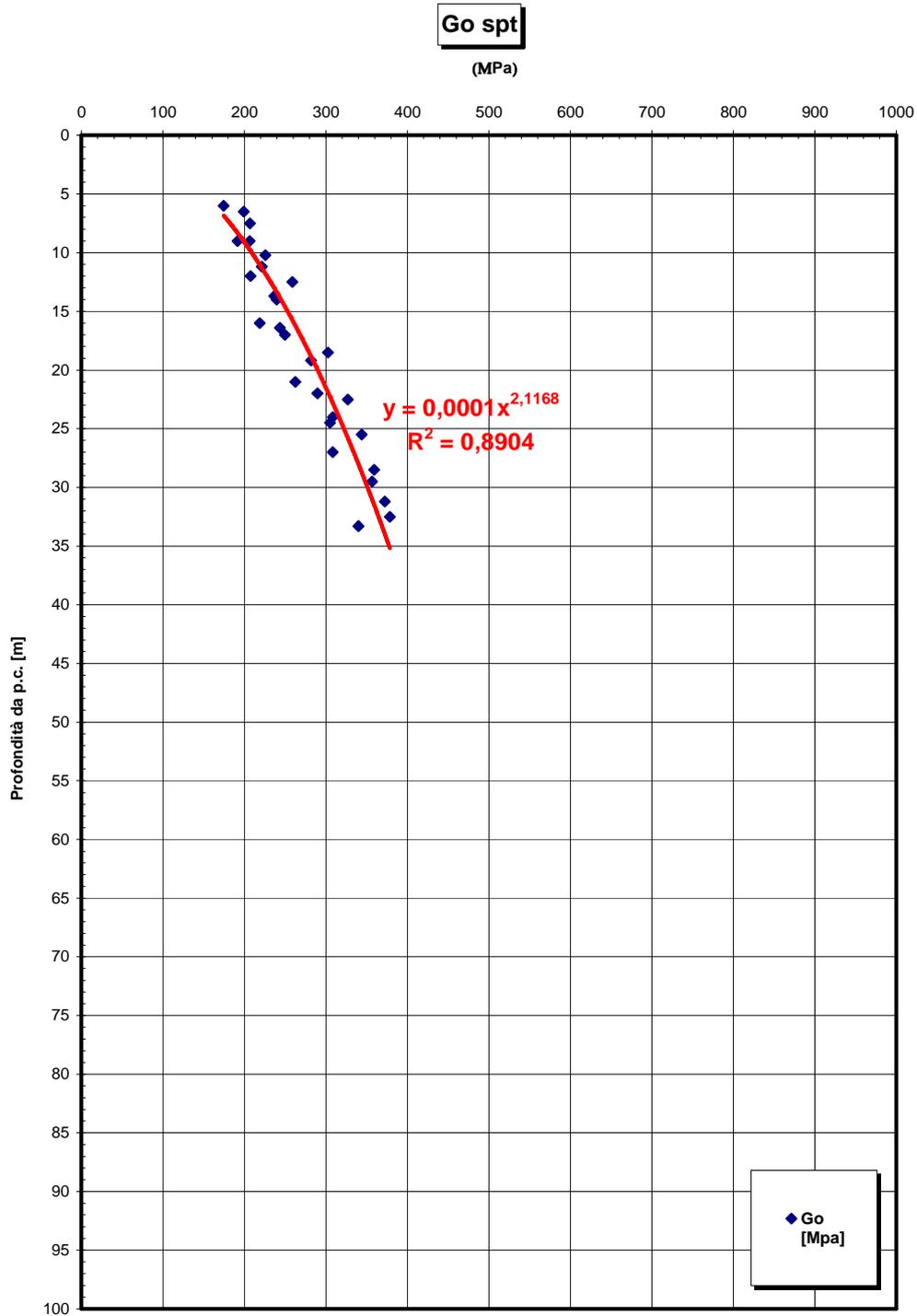


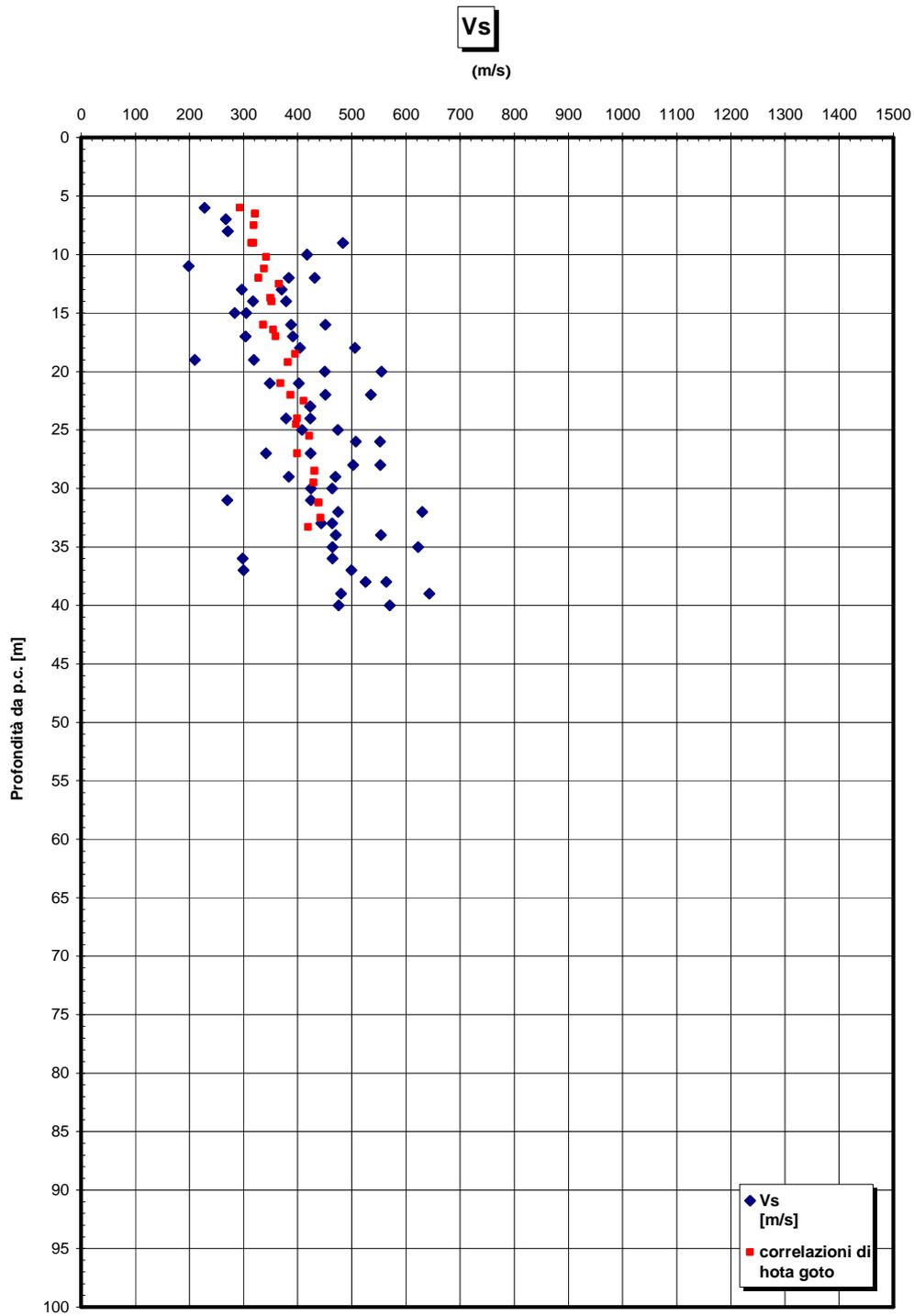
eo



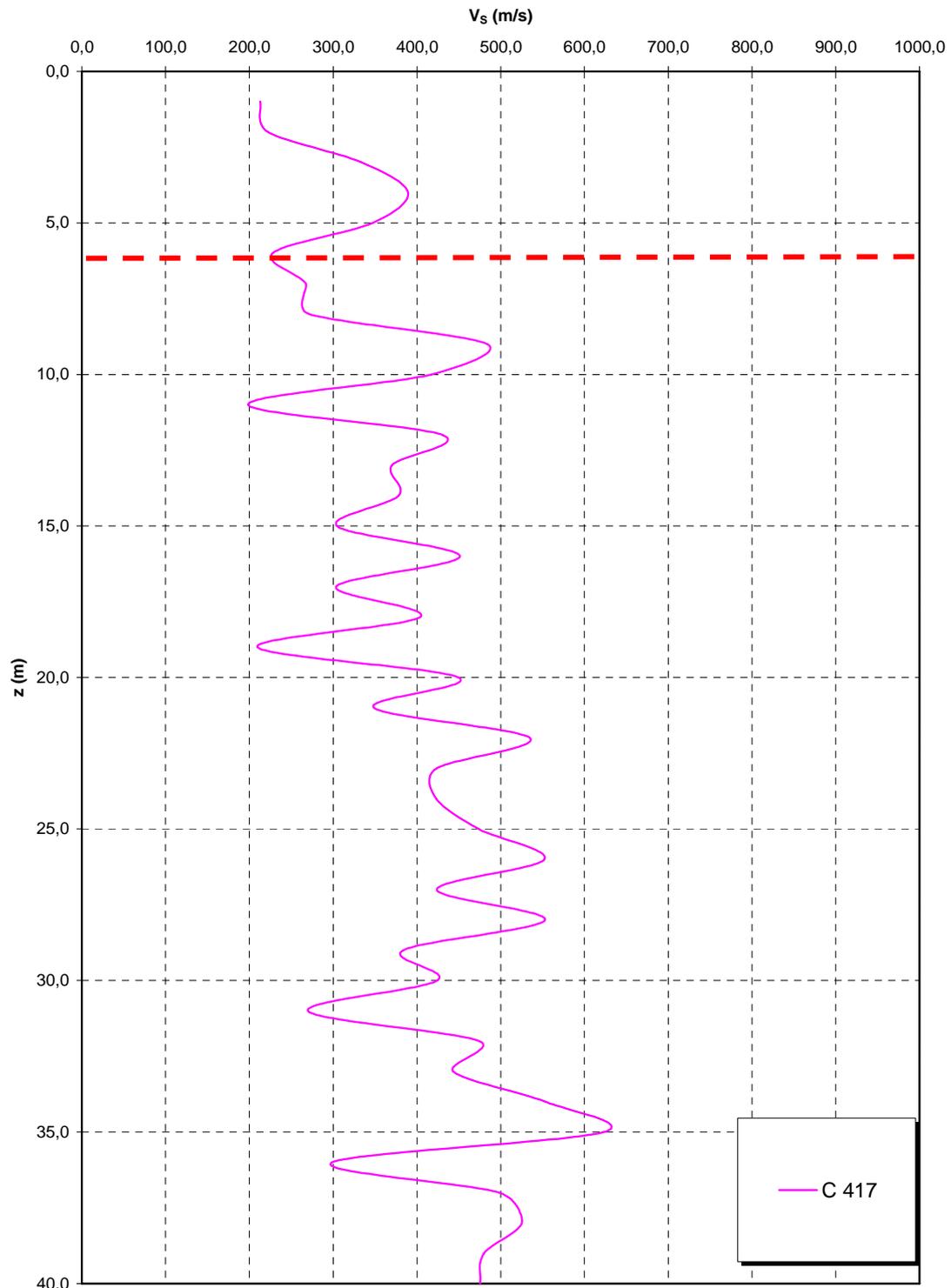


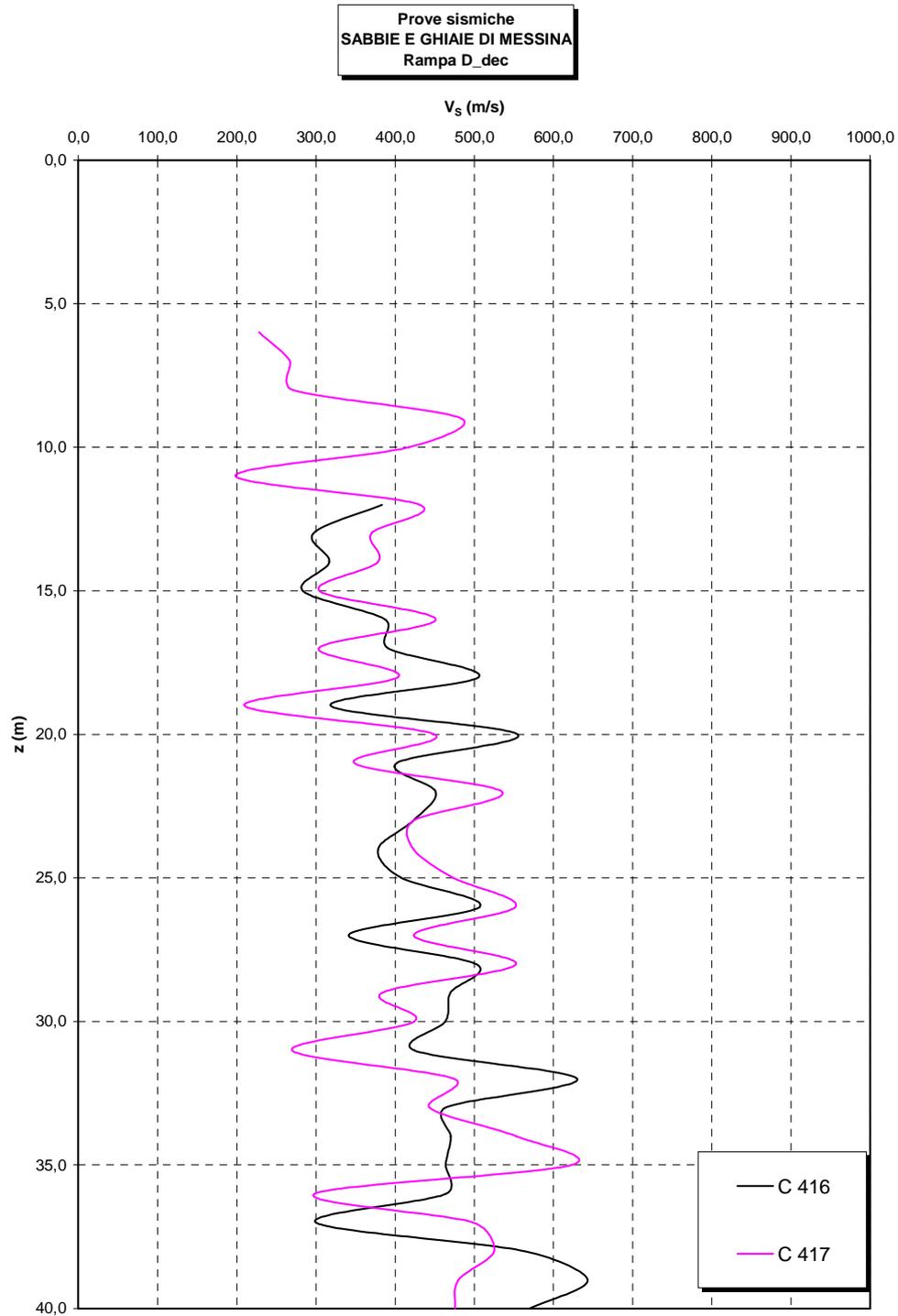


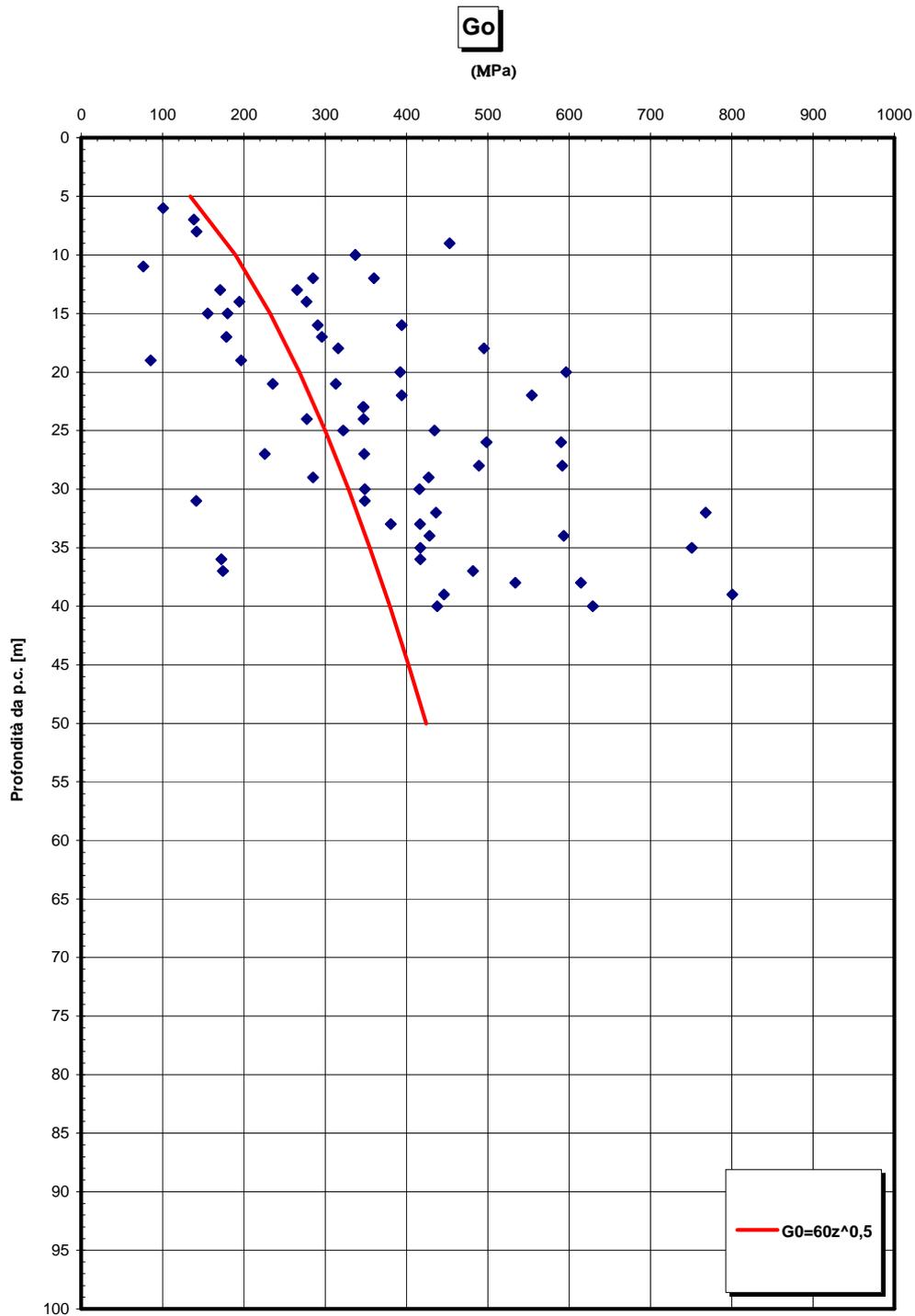




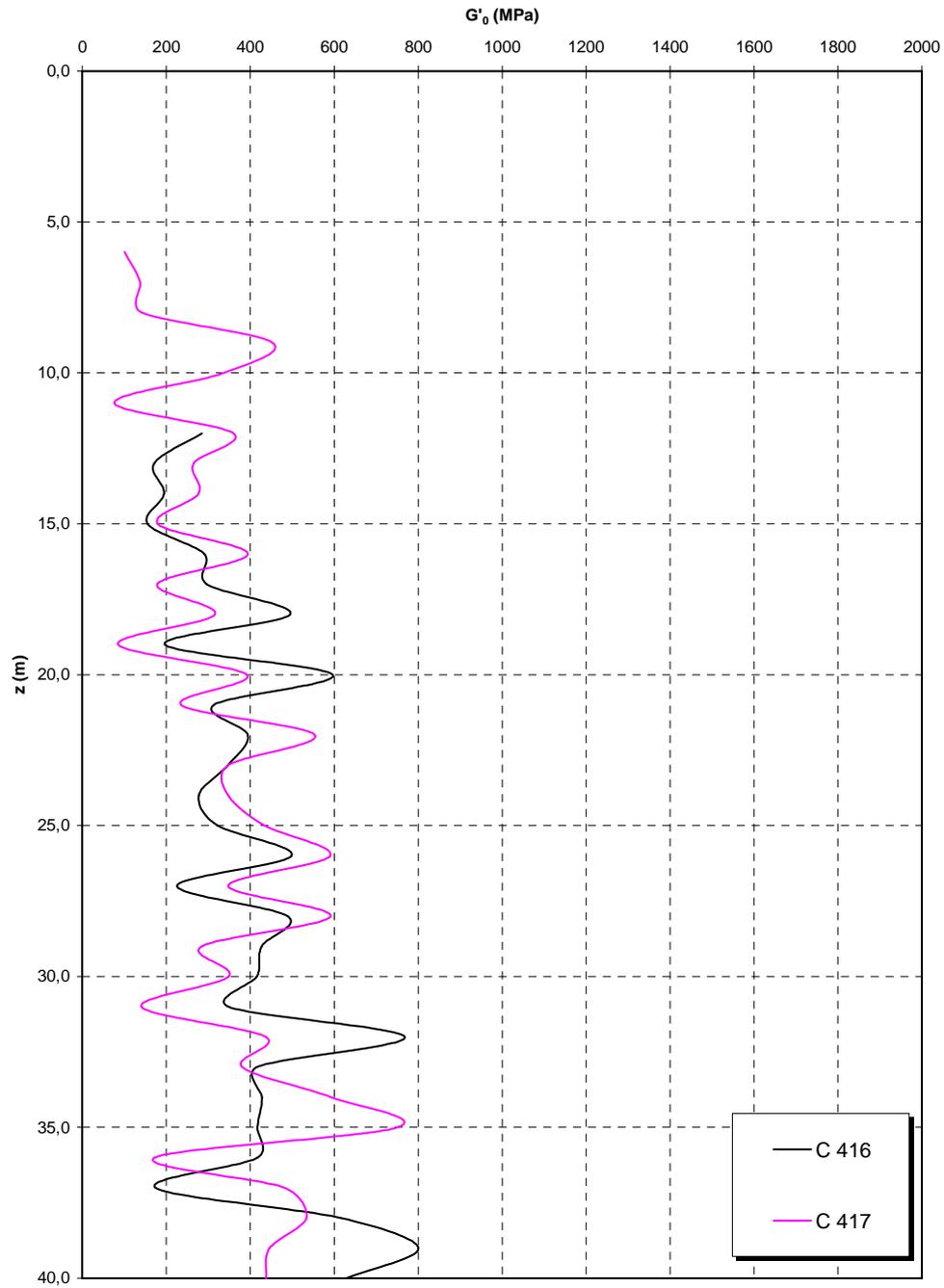
**Prove sismiche  
SABBIE E GHIAIE DI MESSINA**



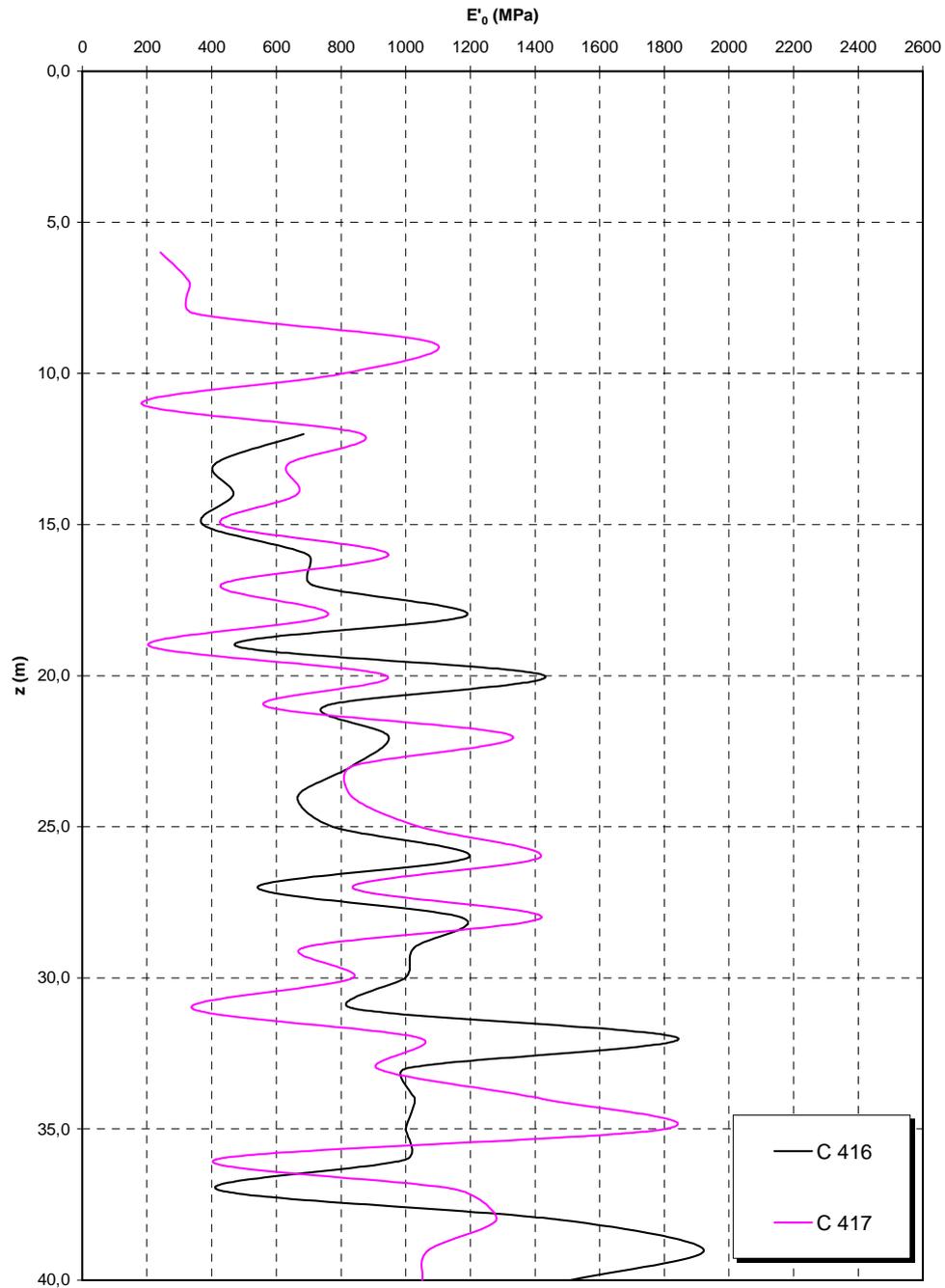




**Prove sismiche  
SABBIE E GHIAIE DI MESSINA  
Rampa D\_dec**

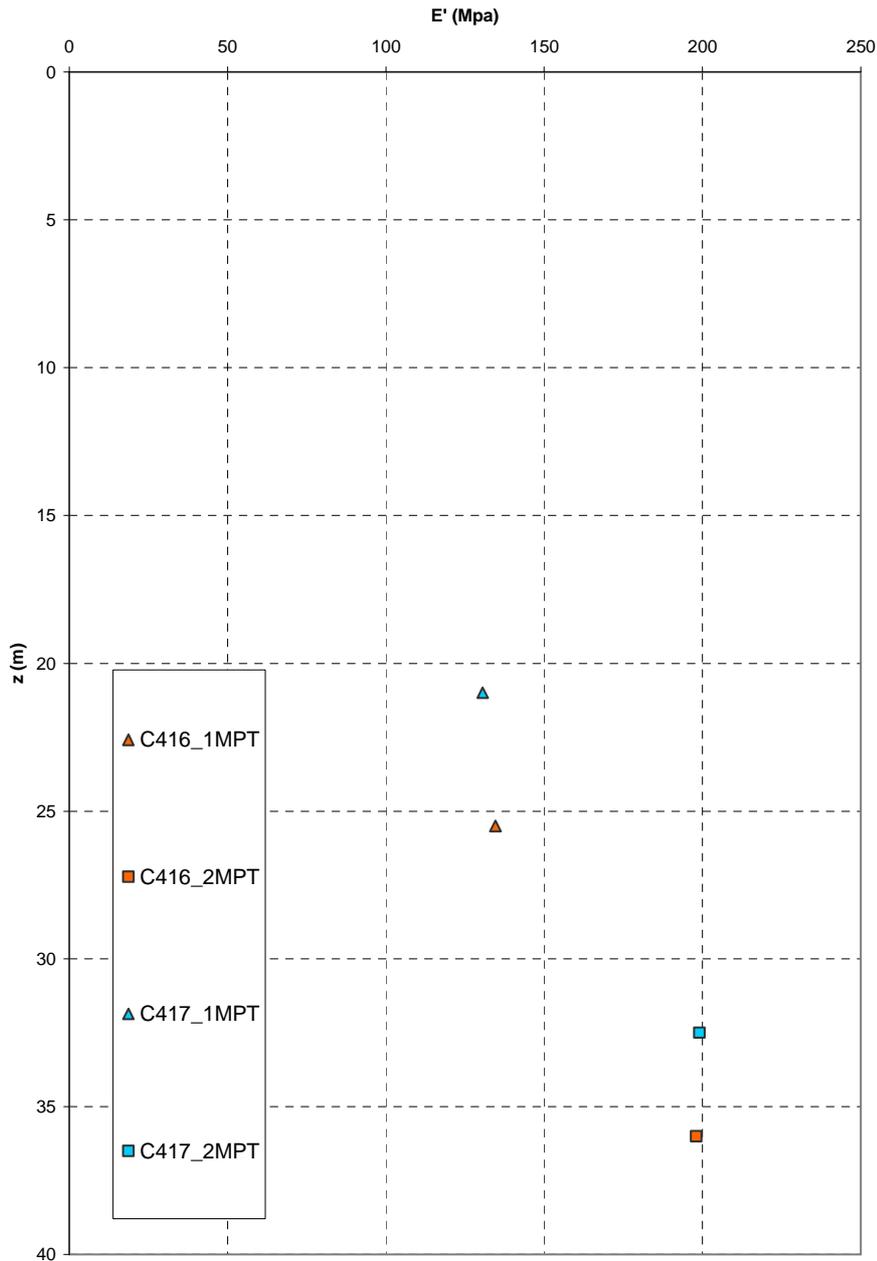


**Prove sismiche  
SABBIE E GHIAIE DI MESSINA  
Rampa D\_dec**



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

**Prove pressiometriche  
SABBIE E GHIAIE DI MESSINA**



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## Depositi Alluvionali

Il numero esiguo a disposizione di prove non consente un'analisi locale per cui si fa riferimento ai risultati della caratterizzazione generale.

Per quanto riguarda le caratteristiche fisiche l'andamento del fuso evidenzia che le caratteristiche granulometriche dei materiali in esame sono tipiche di materiali sia di materiali intermedi (ghiaie 36%, sabbie 49%). Il contenuto di fino è mediamente del 13% .

C'è da dire che a causa del campionamento l'analisi granulometrica (20 prove) può sicuramente risultare poco rappresentativa della parte più grossolana.

Con riferimento al fuso medio si ha:

- Il valore di  $D_{50}$  è pari a 0.8mm
- Il valore di  $D_{60}$  è pari a 1.6 mm
- Il valore di  $D_{10}$  è pari a 0.02 mm

Il peso di volume dei grani  $\gamma_s$  è risultato pari a circa 26.5 kN/m<sup>3</sup>.

Per quanto riguarda le caratteristiche fisiche si ha:

- **Dr**: la densità relativa media della prevalente componente sabbiosa è del 50-70% e del 50-60% della frazione ghiaiosa. I valori di  $N_{spt}$  sono stati corretti con un fattore  $C_{sg}=0.85$ .
- **$e_o$** : stimando per  $e_{max}$  un valore pari a 0.7 ed essendo a conoscenza di  $e_{max} - e_{min}$  (0.31) dalla formula di  $D_r$  si ottiene per  $e_o$  rappresentato nel grafico.
- **$\gamma_d$**  : in base ai valori precedentemente ricavati si può stimare dall'indice dei vuoti  $e_o$  e da  $\gamma_s$  un valore medio di  $\gamma_d$  pari a circa 18KN/m<sup>3</sup>.

Per quanto riguarda le caratteristiche di resistenza sulla base delle prove SPT si è ottenuto un valore medio di angolo di attrito di circa 40°; ai parametri di resistenza operativi al taglio in termini di sforzi efficaci si sono assegnati i seguenti valori operativi:

$c' = 0$  kPa = coesione apparente

$\phi' = 38^\circ \div 40^\circ$  =angolo di resistenza al taglio

Per i valori di stato critico, in assenza di prove specifiche, in base ai dati di letteratura si possono definire i seguenti valori operativi

$c_r' = 0$  kPa = coesione apparente

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$\varphi_r' = 33^\circ\text{-}35^\circ$  =angolo di resistenza al taglio

Per le caratteristiche di deformabilità dalla prova sismica in foro si ottengono valori di  $V_s$  che vanno mediamente da 160 m/s a 190 m/s i primi metri di profondità.

Da prove SPT la media di  $V_s$  stimata fino a 13m di profondità e di circa 200 m/s.  $E_0$  è stimato in 120÷170 MPa a 2m di profondità.

Ai valori delle velocità di taglio sismiche  $V_s$  corrispondono moduli di taglio iniziali  $G_0$  molto variabili. Una stima con la profondità si rende quindi difficoltosa per la dispersione di  $G_0$  e per il numero ridotto di valori.

$G_0$  ed  $E_0$  si possono esprimere in funzione di  $z(m)$ , una stima da SPT è data da:

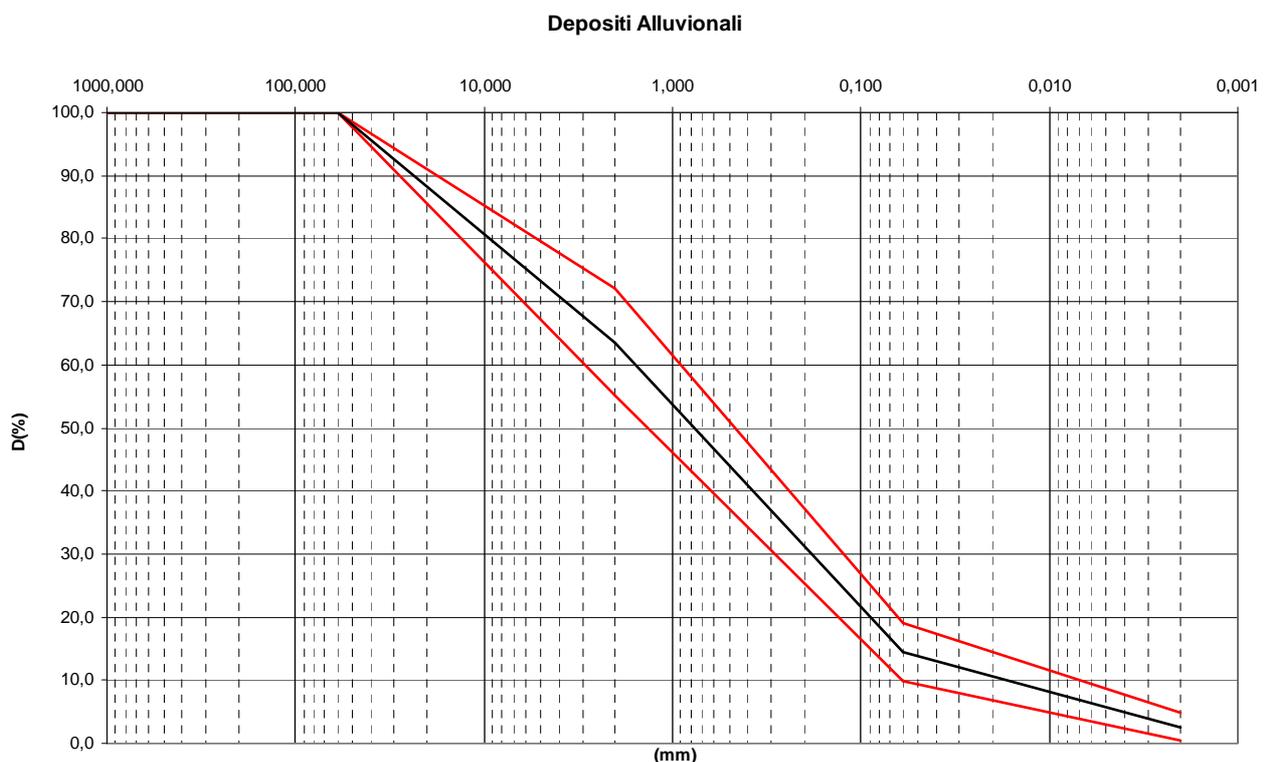
$$G_o = 14 \cdot z$$

$$E_o = 34 \cdot z$$

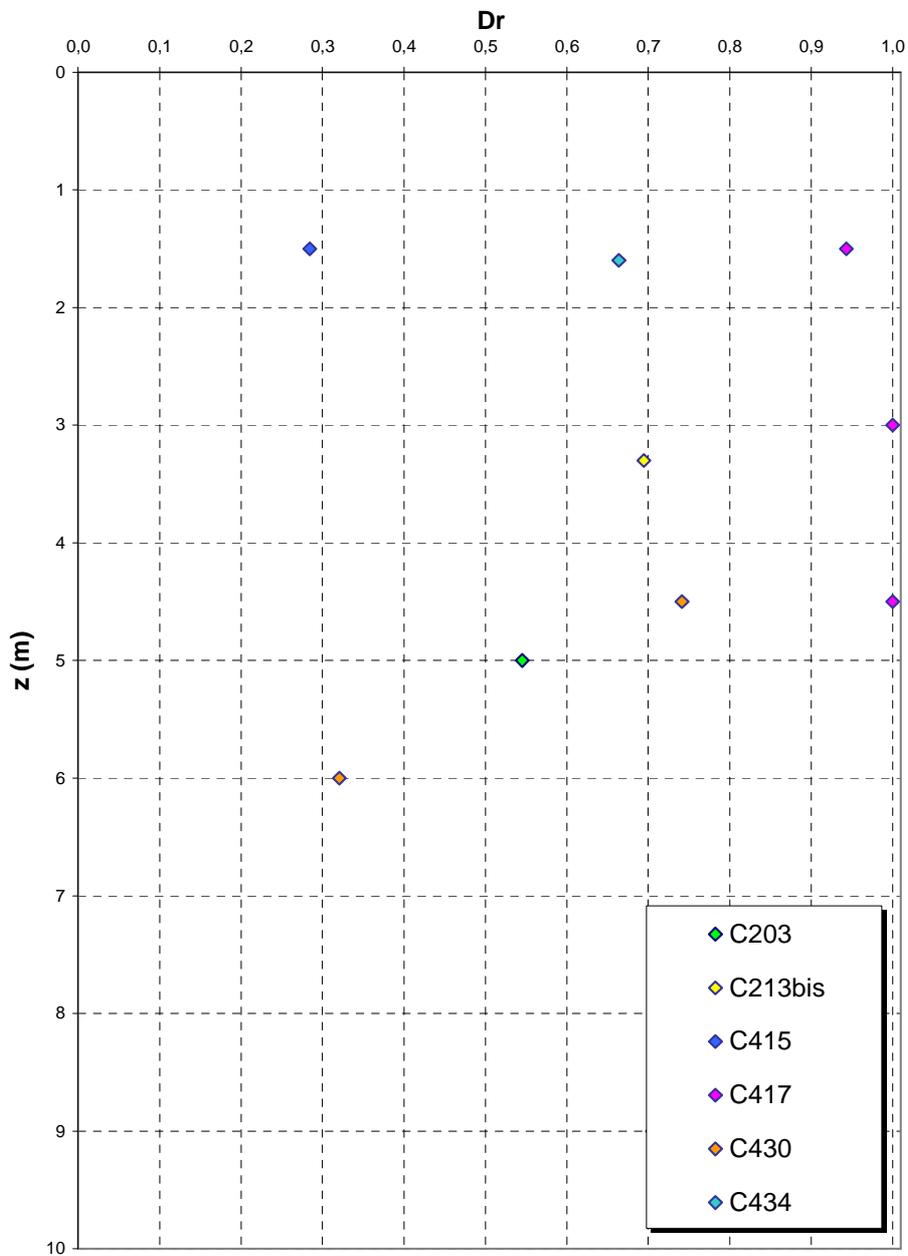
I moduli di Young “operativi” a medie deformazioni, valutati sulla base dei criteri descritti nei capitoli precedenti risulteranno pari a:

$$E = (4 - 11) \cdot z$$

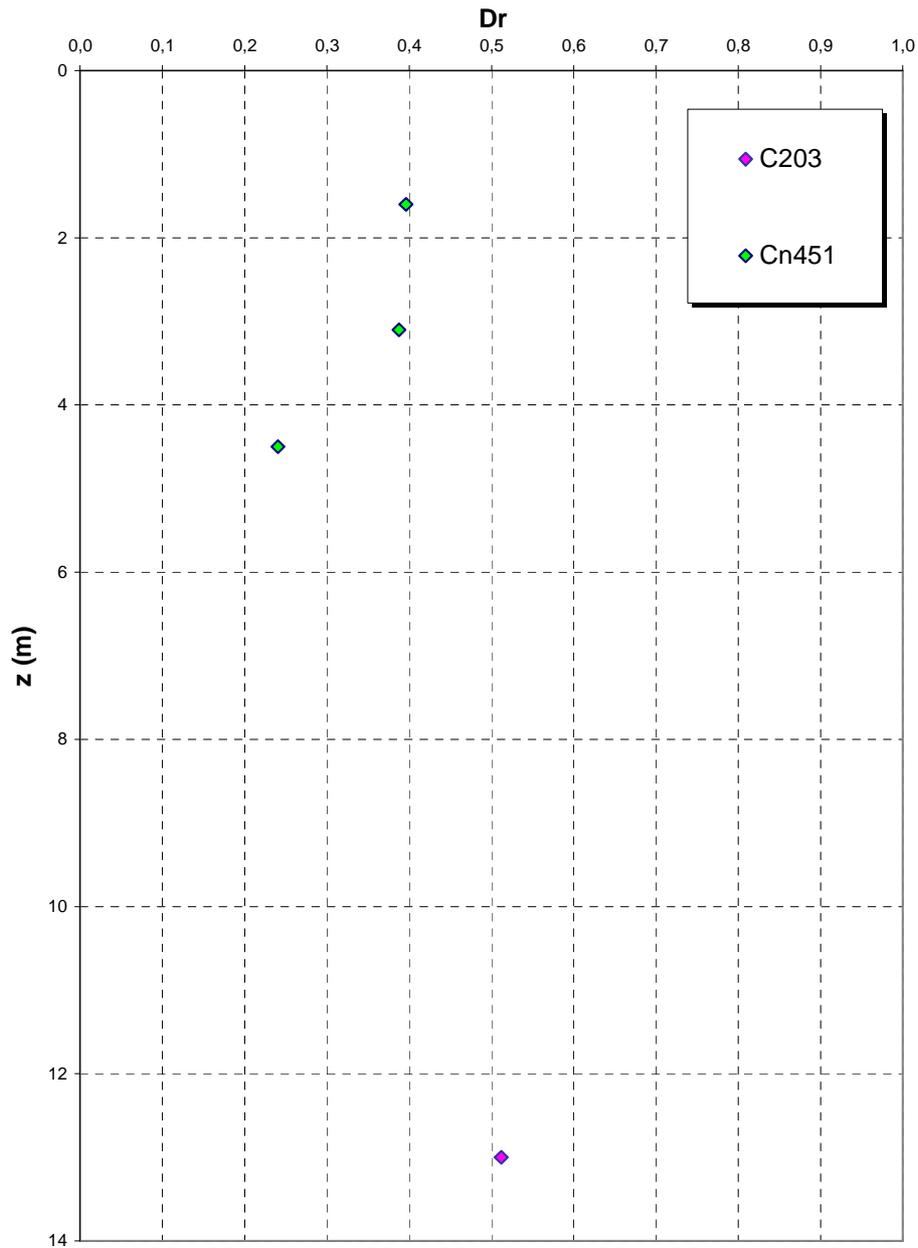
pari rispettivamente a circa 1/10 ÷ 1/5 ed 1/3 di quelli iniziali.



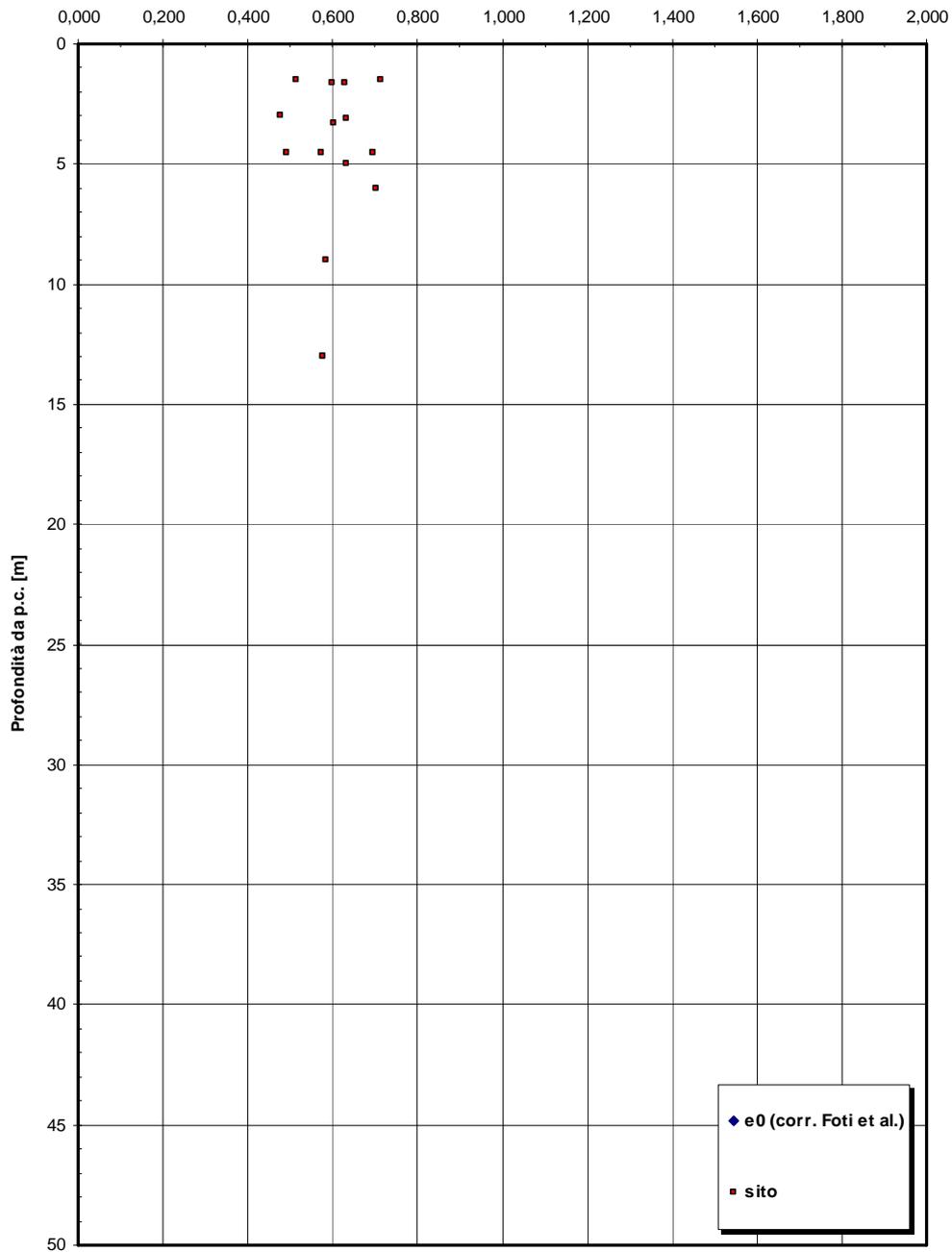
**Dr Skempton (1986)  
Componente sabbiosa prevalente  
DEPOSITI ALLUVIONALI**

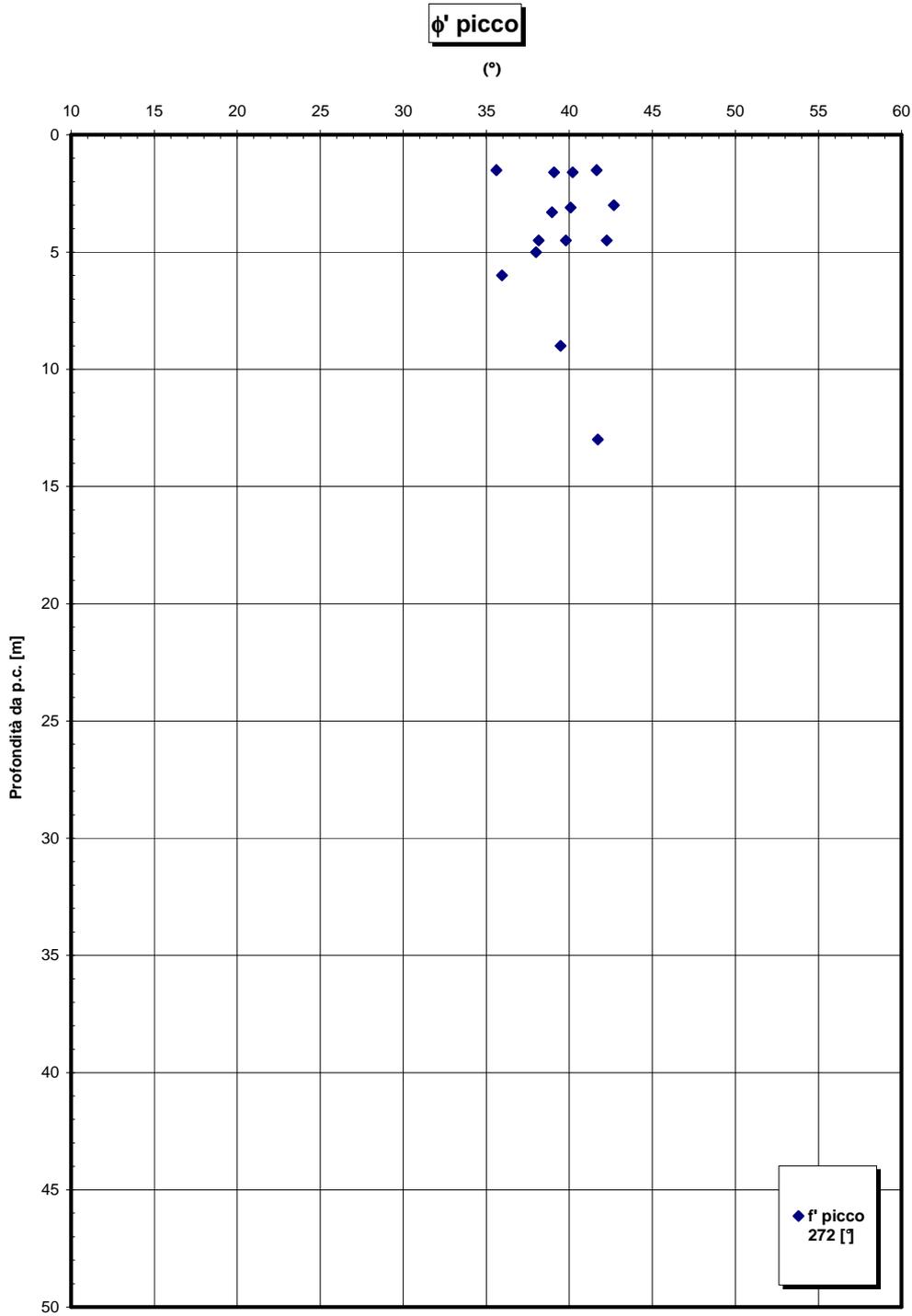


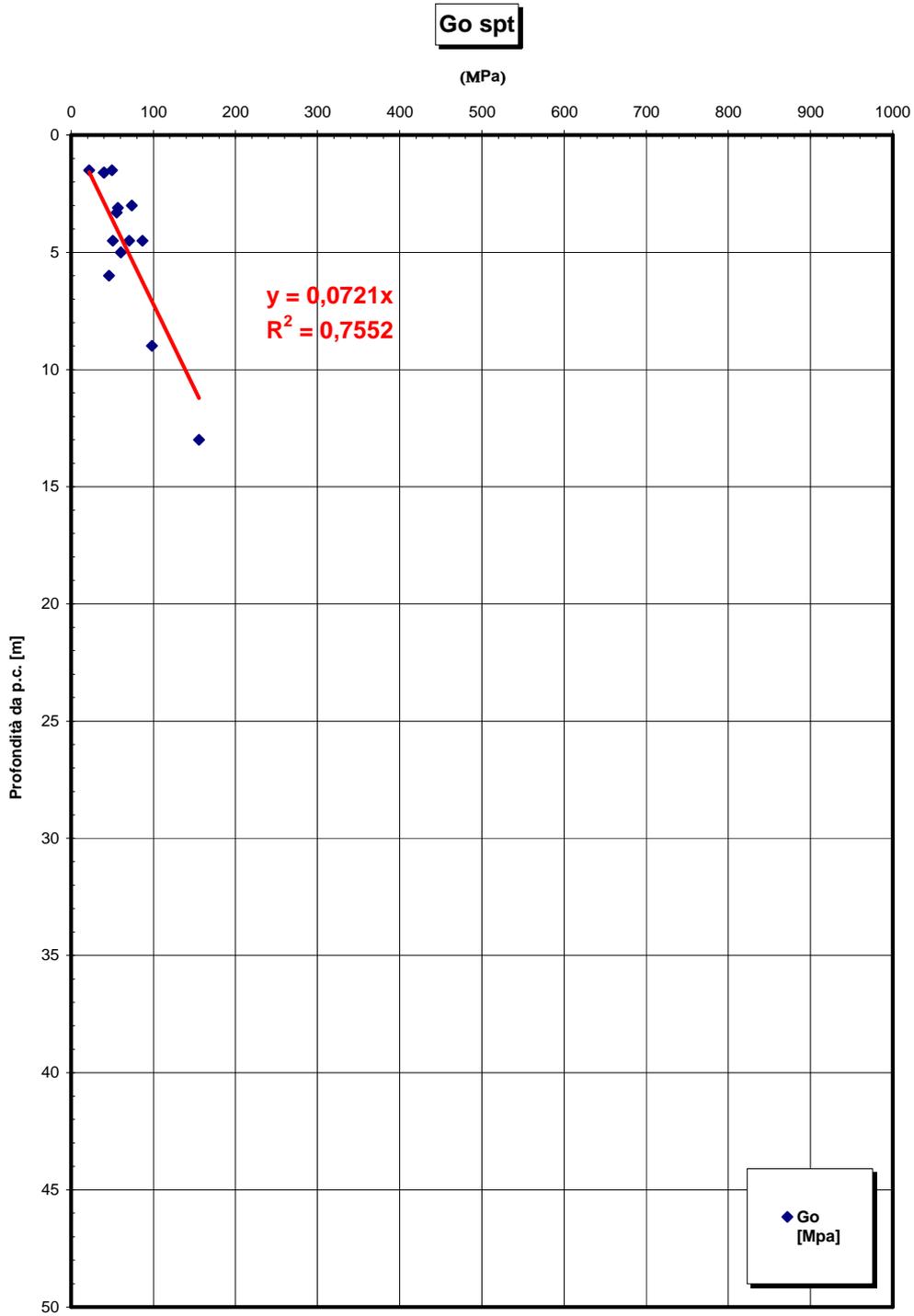
**Dr Cubrinovski e Ishihahara (1999)  
Componente ghiaiosa e sabbiosa  
DEPOSITI ALLUVIONALI**

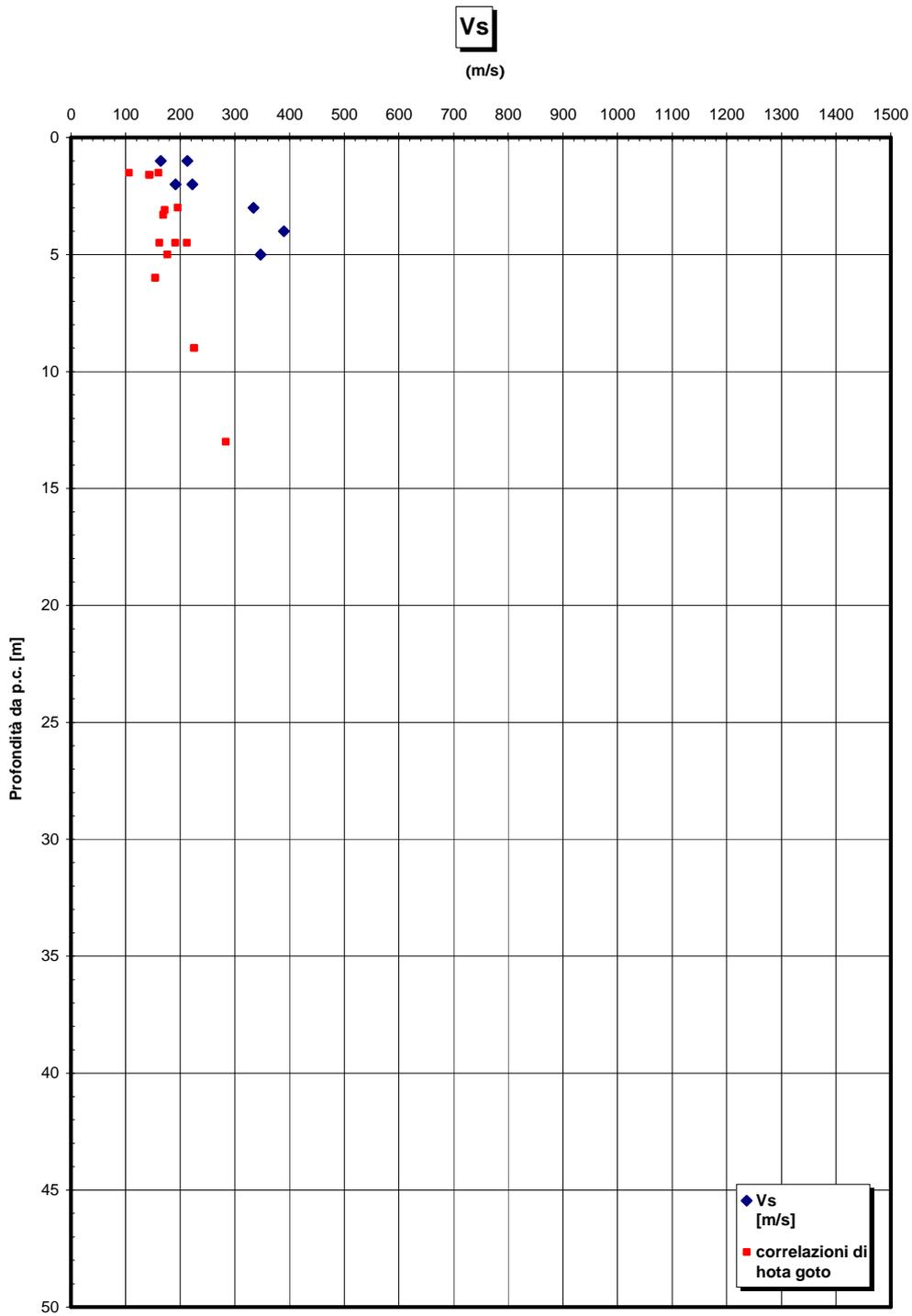


**eo**

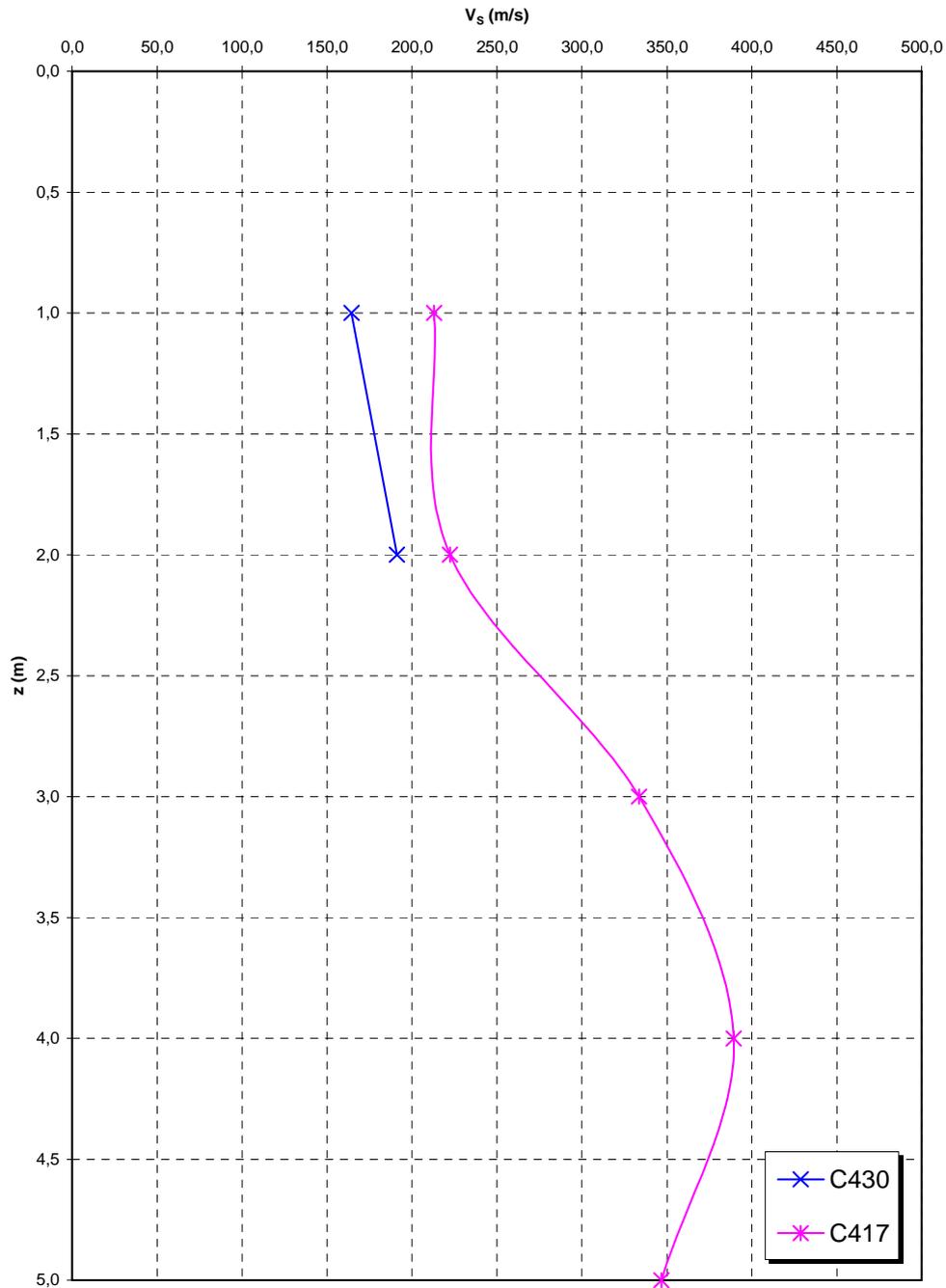




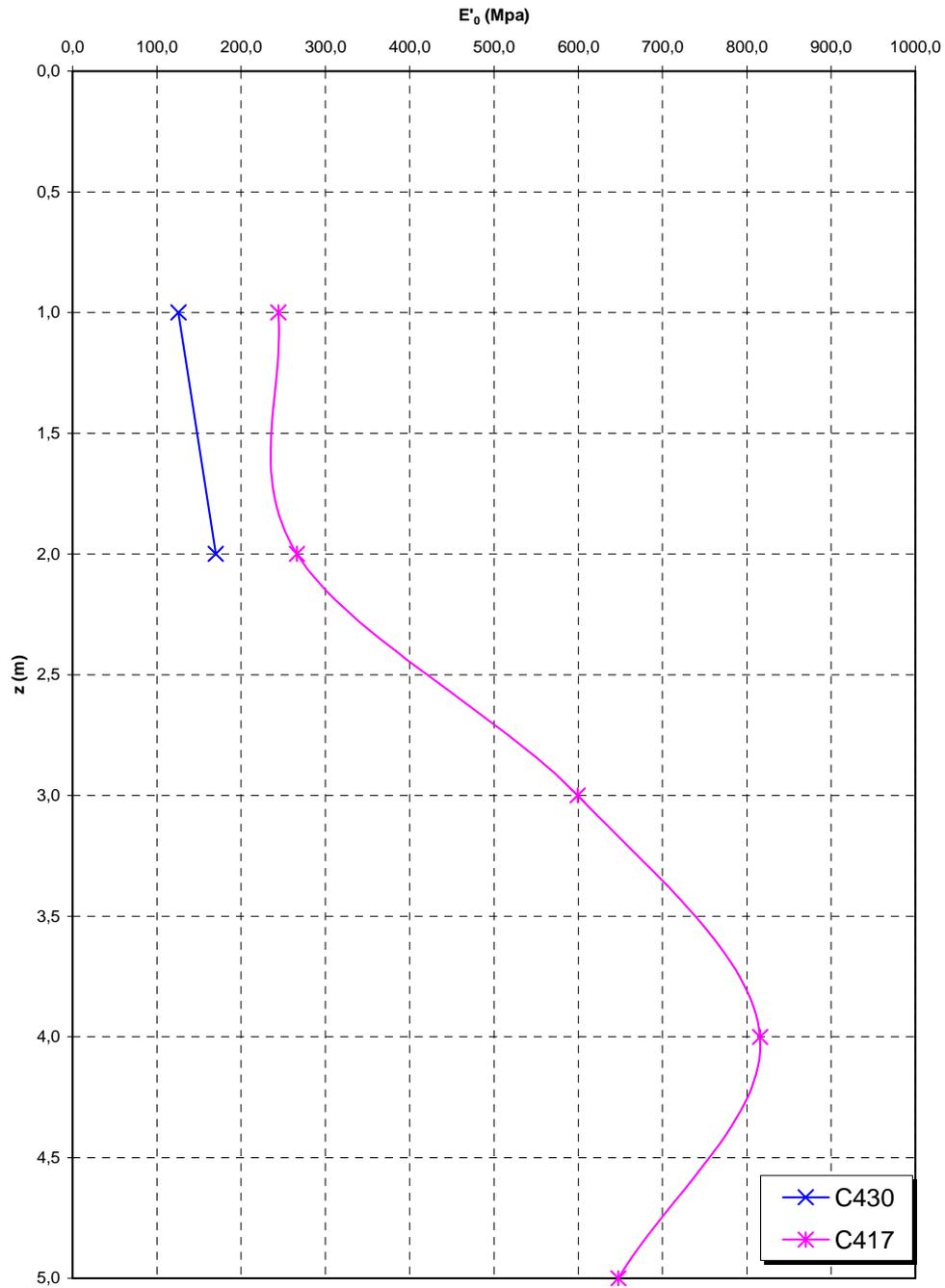




**Prove sismiche  
DEPOSITI ALLUVIONALI**



**Prove sismiche  
DEPOSITI ALLUVIONALI**



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 4.3 CARATTERIZZAZIONE DELLA SISMICITA' DEL LUOGO

L'effetto dell'azione sismica di progetto sull'opera nel suo complesso, includendo il volume significativo di terreno, la struttura di fondazione, gli elementi strutturali e non, nonché gli impianti, deve rispettare gli stati limite ultimi e di esercizio definiti al § 3.2.1, i cui requisiti di sicurezza sono indicati nel § 7.1 della norma.

Il rispetto degli stati limite si considera conseguito quando:

- nei confronti degli stati limite di esercizio siano rispettate le verifiche relative al solo Stato Limite di Danno;
- nei confronti degli stati limite ultimi siano rispettate le verifiche relative al solo Stato Limite di salvaguardia della Vita.

Per Stato Limite di Danno (SLD) s'intende che l'opera, nel suo complesso, a seguito del terremoto, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non provocare rischi agli utenti e non compromette significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali e orizzontali. Lo stato limite di esercizio comporta la verifica delle tensioni di lavoro, in conformità al § 4.1.2.2.5 [NT\_1].

Per Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV) si intende che l'opera a seguito del terremoto subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali e impiantistici e significativi danni di componenti strutturali, cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali (creazione di cerniere plastiche secondo il criterio della gerarchia delle resistenze), mantenendo ancora un margine di sicurezza (resistenza e rigidità) nei confronti delle azioni verticali.

Gli stati limite, sia di esercizio sia ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni che l'opera a realizzarsi deve assolvere durante un evento sismico; per la funzione che l'opera deve espletare nella sua vita utile, è significativo calcolare lo Stato Limite di Danno (SLD) per l'esercizio e lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV) per lo stato limite ultimo.

Per la definizione dell'azione sismica, occorre definire il periodo di riferimento  $P_{VR}$  in funzione dello stato limite considerato.

La vita nominale ( $V_N$ ) dell'opera è stata assunta pari a  $V_N = 100$  anni.

La classe d'uso assunta è la IV, da cui  $C_u = 2$ .

Il periodo di riferimento ( $V_R$ ) per l'azione sismica, data la vita nominale e la classe d'uso vale:

$$V_R = V_N \cdot C_u = 200 \text{ anni}$$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

I valori di probabilità di superamento del periodo di riferimento  $P_{VR}$ , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente è:

$$P_{VR}(\text{SLD}) = 63\%$$

$$P_{VR}(\text{SLV}) = 10\%$$

Il periodo di ritorno dell'azione sismica  $T_R$  espresso in anni, vale:

$$T_R(\text{SLD}) = \frac{V_r}{\ln(1 - P_{vr})} = 201 \text{ anni}$$

$$T_R(\text{SLV}) = \frac{V_r}{\ln(1 - P_{vr})} = 1898 \text{ anni}$$

Dato il valore del periodo di ritorno suddetto, tramite le tabelle riportate nell'Allegato B della norma o tramite la mappatura messa a disposizione in rete dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), è possibile definire i valori di  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T^*_c$ .

$a_g$  → accelerazione orizzontale massima del terreno su suolo di categoria A, espressa come frazione dell'accelerazione di gravità;

$F_0$  → valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

$T^*_c$  → periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;

$S$  → coefficiente che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica ( $S_s$ ) e dell'amplificazione topografica ( $S_t$ );

I valori delle caratteristiche sismiche ( $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T^*_c$ ) per lo Stato Limite di salvaguardia della Vita sono:

Per SLD → ( $a_g=0,175g$  ;  $F_0=2,352$  ;  $T^*_c=0,335s$ )

Per SLV → ( $a_g=0,448g$  ;  $F_0=2,490$  ;  $T^*_c=0,423s$ )

Il sottosuolo su cui insiste l'opera può essere inserito nella categoria "B".

Il valore del coefficiente di amplificazione stratigrafico risulta:

$$S_s(\text{SLD}) = 1,4 - 0,4 \cdot F_0 \cdot a_g/g = 1,235 \text{ essendo il valore } > 1,2 \text{ si assume } S_s(\text{SLD}) = 1,2$$

$$S_s(\text{SLV}) = 1,4 - 0,4 \cdot F_0 \cdot a_g/g = 0,953 \text{ essendo il valore } < 1 \text{ si assume } S_s(\text{SLV}) = 1,0$$

Le caratteristiche della superficie topografica possono essere assunte come categoria T1, adottando di conseguenza un valore di amplificazione topografica  $S_T = 1,0$ .

L'accelerazione massima è valutata con la relazione:

$$a_{\max}(\text{SLD}) = S \cdot a_g = S_s \cdot S_T \cdot a_g = 1,2 \cdot 1,0 \cdot 0,175g = 0,209g$$

$$a_{\max}(\text{SLV}) = S \cdot a_g = S_s \cdot S_T \cdot a_g = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,448g = 0,448g$$

Per completezza di riportano gli spettri elastici di progetto (in forma tabellare) sia per gli SLD che per gli SLV in direzione orizzontale e verticale:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
RELAZIONE GEOTECNICA		Codice documento CS0462_F0	Rev    Data F0    20/06/2011

### Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLD

#### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
$a_g$	0,175 g
$F_0$	2,352
$T_C$	0,335 s
$S_S$	1,200
$C_C$	1,369
$S_T$	1,000
$q$	1,000

#### Parametri dipendenti

$S$	1,200
$\eta$	1,000
$T_B$	0,153 s
$T_C$	0,459 s
$T_D$	2,298 s

#### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

#### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

#### Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,209
$T_B$ ←	0,153	0,493
$T_C$ ←	0,459	0,493
	0,546	0,414
	0,634	0,356
	0,721	0,313
	0,809	0,279
	0,897	0,252
	0,984	0,230
	1,072	0,211
	1,159	0,195
	1,247	0,181
	1,335	0,169
	1,422	0,159
	1,510	0,150
	1,597	0,141
	1,685	0,134
	1,773	0,127
	1,860	0,121
	1,948	0,116
	2,035	0,111
	2,123	0,106
	2,211	0,102
$T_D$ ←	2,298	0,098
	2,379	0,092
	2,460	0,086
	2,541	0,080
	2,622	0,075
	2,703	0,071
	2,784	0,067
	2,865	0,063
	2,946	0,060
	3,027	0,057
	3,109	0,054
	3,190	0,051
	3,271	0,049
	3,352	0,046
	3,433	0,044
	3,514	0,042
	3,595	0,040
	3,676	0,038
	3,757	0,037
	3,838	0,035
	3,919	0,034
	4,000	0,032

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
RELAZIONE GEOTECNICA		Codice documento CS0462_F0	Rev    Data F0    20/06/2011

**Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite:    SLD**

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLD
$a_{qv}$	0,098 g
$S_S$	1,000
$S_T$	1,000
$q$	1,000
$T_B$	0,050 s
$T_C$	0,150 s
$T_D$	1,000 s

**Parametri dipendenti**

$F_v$	1,327
$S$	1,000
$\eta$	1,000

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 §. 3.2.3.5})$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_o \cdot \left( \frac{a_g}{g} \right)^{0,5} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.11})$$

**Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)**

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

**Punti dello spettro di risposta**

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,098
$T_B \leftarrow$	0,050	0,232
$T_C \leftarrow$	0,150	0,232
	0,235	0,148
	0,320	0,109
	0,405	0,086
	0,490	0,071
	0,575	0,060
	0,660	0,053
	0,745	0,047
	0,830	0,042
	0,915	0,038
$T_D \leftarrow$	1,000	0,035
	1,094	0,029
	1,188	0,025
	1,281	0,021
	1,375	0,018
	1,469	0,016
	1,563	0,014
	1,656	0,013
	1,750	0,011
	1,844	0,010
	1,938	0,009
	2,031	0,008
	2,125	0,008
	2,219	0,007
	2,313	0,006
	2,406	0,006
	2,500	0,006
	2,594	0,005
	2,688	0,005
	2,781	0,004
	2,875	0,004
	2,969	0,004
	3,063	0,004
	3,156	0,003
	3,250	0,003
	3,344	0,003
	3,438	0,003
	3,531	0,003
	3,625	0,003
	3,719	0,003
	3,813	0,002
	3,906	0,002
	4,000	0,002

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		RELAZIONE GEOTECNICA	<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0

### Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLV

#### Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
$a_g$	0,448 g
$F_0$	2,490
$T_C$	0,423 s
$S_S$	1,000
$C_C$	1,307
$S_T$	1,000
$q$	1,000

#### Parametri dipendenti

$S$	1,000
$\eta$	1,000
$T_B$	0,184 s
$T_C$	0,552 s
$T_D$	3,394 s

#### Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

#### Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

#### Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,448
$T_B \leftarrow$	0,184	1,117
$T_C \leftarrow$	0,552	1,117
	0,688	0,897
	0,823	0,750
	0,958	0,644
	1,094	0,564
	1,229	0,502
	1,364	0,452
	1,500	0,411
	1,635	0,377
	1,770	0,348
	1,906	0,324
	2,041	0,302
	2,176	0,283
	2,311	0,267
	2,447	0,252
	2,582	0,239
	2,717	0,227
	2,853	0,216
	2,988	0,206
	3,123	0,198
	3,259	0,189
$T_D \leftarrow$	3,394	0,182
	3,423	0,179
	3,452	0,176
	3,481	0,173
	3,509	0,170
	3,538	0,167
	3,567	0,165
	3,596	0,162
	3,625	0,159
	3,654	0,157
	3,683	0,154
	3,711	0,152
	3,740	0,150
	3,769	0,147
	3,798	0,145
	3,827	0,143
	3,856	0,141
	3,885	0,139
	3,913	0,137
	3,942	0,135
	3,971	0,133
	4,000	0,131

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> <i>Data</i> F0     20/06/2011

**Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite:    SLV**

**Parametri indipendenti**

STATO LIMITE	SLV
$a_{gv}$	0,405 g
$S_S$	1,000
$S_T$	1,000
$q$	1,000
$T_B$	0,050 s
$T_C$	0,150 s
$T_D$	1,000 s

**Parametri dipendenti**

$F_v$	2,251
$S$	1,000
$\eta$	1,000

**Espressioni dei parametri dipendenti**

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 §. 3.2.3.5})$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_0 \cdot \left( \frac{a_g}{g} \right)^{0,5} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.11})$$

**Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)**

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

**Punti dello spettro di risposta**

	T [s]	Se [g]
	0,000	0,405
$T_B \leftarrow$	0,050	1,010
$T_C \leftarrow$	0,150	1,010
	0,235	0,644
	0,320	0,473
	0,405	0,374
	0,490	0,309
	0,575	0,263
	0,660	0,229
	0,745	0,203
	0,830	0,182
	0,915	0,166
$T_D \leftarrow$	1,000	0,151
	1,094	0,127
	1,188	0,107
	1,281	0,092
	1,375	0,080
	1,469	0,070
	1,563	0,062
	1,656	0,055
	1,750	0,049
	1,844	0,045
	1,938	0,040
	2,031	0,037
	2,125	0,034
	2,219	0,031
	2,313	0,028
	2,406	0,026
	2,500	0,024
	2,594	0,023
	2,688	0,021
	2,781	0,020
	2,875	0,018
	2,969	0,017
	3,063	0,016
	3,156	0,015
	3,250	0,014
	3,344	0,014
	3,438	0,013
	3,531	0,012
	3,625	0,012
	3,719	0,011
	3,813	0,010
	3,906	0,010
	4,000	0,009

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

L'applicazione delle azioni sismiche alle sottostrutture, viene affrontato mediante il metodo pseudostatico ([NT\_1] § 7.11.6). In queste condizioni l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico.

L'analisi sismica per il corpo Spalla è stata fatta considerando il valore di ancoraggio dello spettro. Essendo le spalle opere a comportamento deformabile (potendo permettere movimenti relativi di roto-traslazione fra struttura e terreno), l'azione sismica viene valutata in accordo con UNI EN 1998-5:2005 secondo la relazione di Mononobe-Okabe:

$$\beta \leq \phi - \theta: K = \frac{\text{sen}^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \text{sen}^2 \psi \text{sen}(\psi - \theta - \delta) \left[ 1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\phi + \delta) \text{sen}(\phi - \beta - \theta)}{\text{sen}(\psi - \theta - \delta) \text{sen}(\psi + \beta)}} \right]^2}$$

$$\beta > \phi - \theta: K = \frac{\text{sen}^2(\psi + \phi - \theta)}{\cos \theta \text{sen}^2 \psi \text{sen}(\psi - \theta - \delta)}$$

In cui:

- $\phi'_d$  è il valore di progetto dell'angolo di resistenza a taglio del terreno, cioè:  $\phi'_d = \tan^{-1}\left(\frac{\tan \phi'}{\gamma_{\phi'}}\right)$ ;
- $\psi$  e  $\beta$  sono gli angoli di inclinazione rispetto all'orizzontale, rispettivamente della parete del muro rivolta a monte e della superficie del terrapieno, come mostrato in figura E.1;
- $\delta_d$  è il valore di progetto dell'angolo di attrito tra terreno e muro, cioè:  $\delta_d = \tan^{-1}\left(\frac{\tan \delta}{\gamma_{\phi'}}\right)$ ;
- $\theta$  è l'angolo definito sotto nei punti da **E.5** a **E.7**.

Il punto di applicazione della spinta è posto  $h_{tot}/2$ , con "h<sub>tot</sub>" altezza del muro di sostegno.

Nelle verifiche allo Stato Limite Ultimo, i valori dei coefficienti sismici orizzontali  $k_h$  e verticale  $k_v$  possono essere valutati mediante le espressioni:

$$k_h = \beta_m \cdot \frac{a_{max}}{g} \qquad k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

dove

- $a_{max}$  = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;
- $g$  = accelerazione di gravità;
- $\beta$  = parametro riduttivo dell'azione sismica in accordo con il §7.11.6.2.1 di [NT\_1] (cautelativamente si assumerà  $\beta = 1,00$ ).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 5 ANALISI DELLE FONDAZIONI

### 5.1 ANALISI DEL SISTEMA FONDAZIONALE DELLE SPALLE

In accordo con il D.M. 14.01.2008 § 6.4 e con la C.M. 02.02.2009 vengono condotte le analisi di tipo geotecnico del complesso terreno\spalla.

Gli stati limite ultimi delle fondazioni su pali si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che compongono la fondazione stessa.

La verifica della suddetta condizione deve essere effettuata impiegando diverse combinazioni di gruppi di coefficienti parziali, rispettivamente definiti per le azioni (A1 e A2), per i parametri geotecnici (M1 e M2) e per le resistenze (R1, R2 e R3).

I diversi gruppi di coefficienti di sicurezza parziali sono scelti nell'ambito di due approcci progettuali distinti e alternativi.

Nel primo approccio progettuale (Approccio 1) sono previste due diverse combinazioni di gruppi di coefficienti: la prima combinazione è generalmente più severa nei confronti del dimensionamento strutturale delle opere a contatto con il terreno, mentre la seconda combinazione è generalmente più severa nei riguardi del dimensionamento geotecnico.

Nel secondo approccio progettuale (Approccio 2) è prevista un'unica combinazione di gruppi di coefficienti, da adottare sia nelle verifiche strutturali sia nelle verifiche geotecniche.

#### Approccio 1

Nelle verifiche agli stati limite ultimi per il dimensionamento geotecnico della fondazione (GEO), si considera lo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dal raggiungimento della resistenza del terreno. L'analisi può essere condotta con la Combinazione 2 (A2+M1+R2), nella quale i parametri di resistenza del terreno sono ridotti tramite i coefficienti parziali del gruppo M2, i coefficienti globali  $\gamma_R$  sulla resistenza del sistema (R2) sono unitari e le sole azioni variabili sono amplificate con i coefficienti del gruppo A2. I parametri di resistenza di progetto sono perciò inferiori a quelli caratteristici e di conseguenza i valori di progetto delle spinte sul muro di sostegno sono maggiori e le resistenze in fondazione sono minori dei rispettivi valori caratteristici.

Nelle verifiche STR si considerano gli stati limite ultimi per raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali o comunque negli elementi che costituiscono il muro di sostegno, inclusi eventuali ancoraggi. L'analisi può essere svolta utilizzando la Combinazione 1 (A1+M1+R1), nella

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

quale i coefficienti sui parametri di resistenza del terreno (M1) e sulla resistenza globale del sistema (R1) sono unitari, mentre le azioni permanenti e variabili sono amplificate mediante i coefficienti parziali del gruppo A1 che possono essere applicati alle spinte, ai pesi e ai sovraccarichi.

#### Approccio 2

Nelle verifiche per il dimensionamento geotecnico della fondazione (GEO), si considera lo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dal raggiungimento della resistenza del terreno.

L'analisi può essere condotta con la Combinazione (A1+M1+R3), nella quale le azioni permanenti e variabili sono amplificate mediante i coefficienti parziali del gruppo A1, che possono essere applicati alle spinte, ai pesi e ai sovraccarichi; i coefficienti parziali sui parametri di resistenza del terreno (M1) sono unitari e la resistenza globale del sistema è ridotta tramite i coefficienti  $\gamma_R$  del gruppo R3. Tali coefficienti si applicano solo alla resistenza globale del terreno, che è costituita, a seconda dello stato limite considerato, dalla forza parallela al piano di posa della fondazione che ne produce lo scorrimento, o dalla forza normale alla fondazione che produce il collasso per carico limite. Essi vengono quindi utilizzati solo nell'analisi degli stati limite GEO.

Nelle verifiche STR si considerano gli stati limite ultimi per raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali o comunque negli elementi che costituiscono il muro di sostegno. Per tale analisi non si utilizza il coefficiente  $\gamma_R$  e si procede come nella Combinazione 1 dell'Approccio 1.

Per le verifiche si farà invece riferimento **all'Approccio 2**.

I coefficienti parziali  $\gamma_F$  vengono riportati di seguito (vedi tabella 5.1.V).

La resistenza caratteristica  $R_k$  del palo singolo può essere dedotta da:

- a) risultati di prove di carico statico di progetto su pali pilota (§ 6.4.3.7.1 di [NT\_1]);
- b) metodi di calcolo analitici, dove  $R_k$  è calcolata a partire dai valori caratteristici dei parametri geotecnici, oppure con l'impiego di relazioni empiriche che utilizzino direttamente i risultati di prove in sito (prove penetrometriche, pressiometriche, ecc.);
- c) risultati di prove dinamiche di progetto, ad alto livello di deformazione, eseguite su pali pilota (§ 6.4.3.7.1 di [NT\_1]).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		RELAZIONE GEOTECNICA	<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0

**Tabella 5.1.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU**

		Coefficiente	EQU <sup>(1)</sup>	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Carichi permanenti non strutturali <sup>(2)</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Carichi variabili da traffico	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Carichi variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli	$\gamma_{e1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,00 <sup>(3)</sup>	1,00 <sup>(4)</sup>	1,00
Ritiro e viscosità, Variazioni termiche, Cedimenti vincolari	favorevoli	$\gamma_{e2}, \gamma_{e3}, \gamma_{e4}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,20	1,20	1,00

<sup>(1)</sup> Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.  
<sup>(2)</sup> Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.  
<sup>(3)</sup> 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna  
<sup>(4)</sup> 1,20 per effetti locali

**Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE	(M1)	(M2)
		$\gamma_M$		
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

Per l'opera in oggetto si procederà alla definizione delle resistenze di progetto come definito al punto b), sulla base dei parametri geotecnici desunti dalle indagini in sito e in laboratorio e riportati in sintesi al § 4.2.

Con riferimento alle procedure analitiche che prevedano l'utilizzo dei parametri geotecnici o dei

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		RELAZIONE GEOTECNICA	<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0

risultati di prove in sito, il valore caratteristico della resistenza  $R_{c,k}$  (o  $R_{t,k}$ ) è dato dal minore dei valori ottenuti applicando alle resistenze calcolate  $R_{c,cal}$  ( $R_{t,cal}$ ) i fattori di correlazione  $\xi$  riportati nella Tab. 6.4.IV, in funzione del numero  $n$  di verticali di indagine:

$$R_{c,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c,cal})_{media}}{\xi_3}, \frac{(R_{c,cal})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

$$R_{t,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{t,cal})_{media}}{\xi_3}, \frac{(R_{t,cal})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

**Tabella 6.4.IV** – Fattori di correlazione  $\xi$  per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate.

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	$\geq 10$
$\xi_3$	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
$\xi_4$	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

Per l'opera in oggetto si considera presente una sola verticale d'indagine per fondazione, pertanto si assume  $\xi = 1,7$ .

Infine si riportano nel seguito i valori dei coefficienti parziali  $\gamma_R$  per il calcolo dei pali di fondazione in funzione del tipo di verifica e del tipo di approccio considerato.

- Per pali soggetti a carichi assiali si considerano i seguenti coefficienti parziali:

**Tabella 6.4.II** – Coefficienti parziali  $\gamma_R$  da applicare alle resistenze caratteristiche.

Resistenza	Simbolo	Pali infissi			Pali trivellati			Pali ad elica continua		
		(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)	(R1)	(R2)	(R3)
Base	$\gamma_b$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,7	1,35	1,0	1,6	1,3
Laterale in compressione	$\gamma_s$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15	1,0	1,45	1,15
Totale (*)	$\gamma_t$	1,0	1,45	1,15	1,0	1,6	1,30	1,0	1,55	1,25
Laterale in trazione	$\gamma_{st}$	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25	1,0	1,6	1,25

(\*) da applicare alle resistenze caratteristiche dedotte dai risultati di prove di carico di progetto.

- Per pali soggetti a carichi trasversali si considerano i seguenti coefficienti parziali:

**Tabella 6.4.VI** - Coefficienti parziali  $\gamma_T$  per le verifiche agli stati limite ultimi di pali soggetti a carichi trasversali.

COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
$\gamma_T = 1,0$	$\gamma_T = 1,6$	$\gamma_T = 1,3$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_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						

### 5.1.1.1 DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO

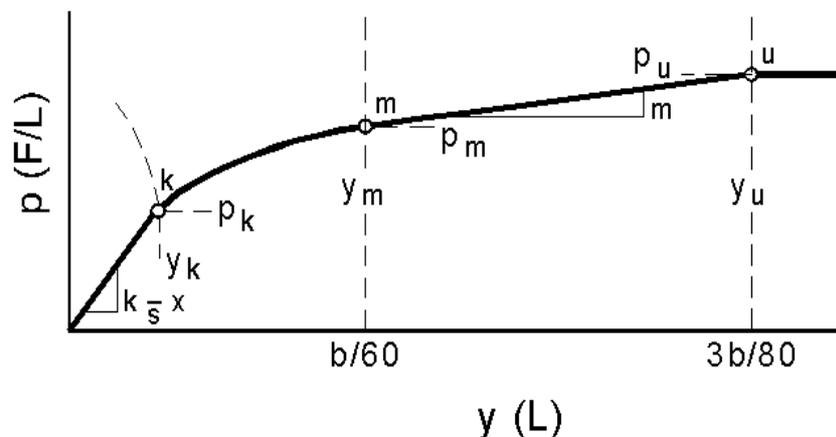
Il modello implementato è un modello agli EF, dove vengono schematizzati due principali elementi:

- *la platea di fondazione*
- *il palo*

La platea di fondazione, vincolata sui pali e soggetta alle azioni trasferite dalle elevazioni, è composto da elementi di tipo “Area” (shell tick element) con modellazione del comportamento bidimensionale alla Mindlin, includendo quindi anche le deformazioni taglianti degli elementi.

Il palo invece è modellato come un elemento di tipo “linea” (beam element), con modellazione del comportamento alla Saint-Venant.

La non linearità (plasticità del materiale) per i terreni presenti in sito può essere definita secondo la legge p-y (sforzi-spostamenti) secondo Reese, Cox e Koop del tipo:



F2. Digramma p-y secondo Reese, Cox e Koop

A favore di sicurezza si trascura il contributo di plasticità offerto dal terreno, limitando quindi gli sforzi\deformazioni al tratto a comportamento lineare (verificato a posteriori in funzioni delle deformazioni massime subite dall'elemento “palo”).

L'interazione col terreno è stata quindi modellata mediante elementi di connessione (link element) con comportamento elastico non lineare (dove la non linearità è dettata dal fatto che l'elemento link reagisce solo a compressione).

La rigidità degli elementi “link” “molle” è stata definita in funzione della deformabilità del terreno, della geometria del palo e della deformabilità sua deformabilità. In particolare si definisce la rigidità dell'elemento “link”, ricorrendo al metodo di Vesić (vedi riferimento bibliografico [B32]), il quale definisce in primo luogo il modulo di reazione del terreno come:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$$k_s = \frac{k'_s}{D} = 2 \cdot \frac{0,65}{D} \cdot \sqrt[12]{\frac{E_s \cdot D^4}{E_p \cdot I_p}} \cdot \frac{E_s}{1 - \mu^2} \quad \text{kN/m}^3$$

indicando con:

$E_s$  ,  $E_p$  = moduli elastici di deformazione rispettivamente del terreno e del palo di fondazione [kN/m<sup>2</sup>]

$D$  = diametro del palo di fondazione [m]

$I_p$  = momento d'inerzia del palo di fondazione [m<sup>4</sup>]

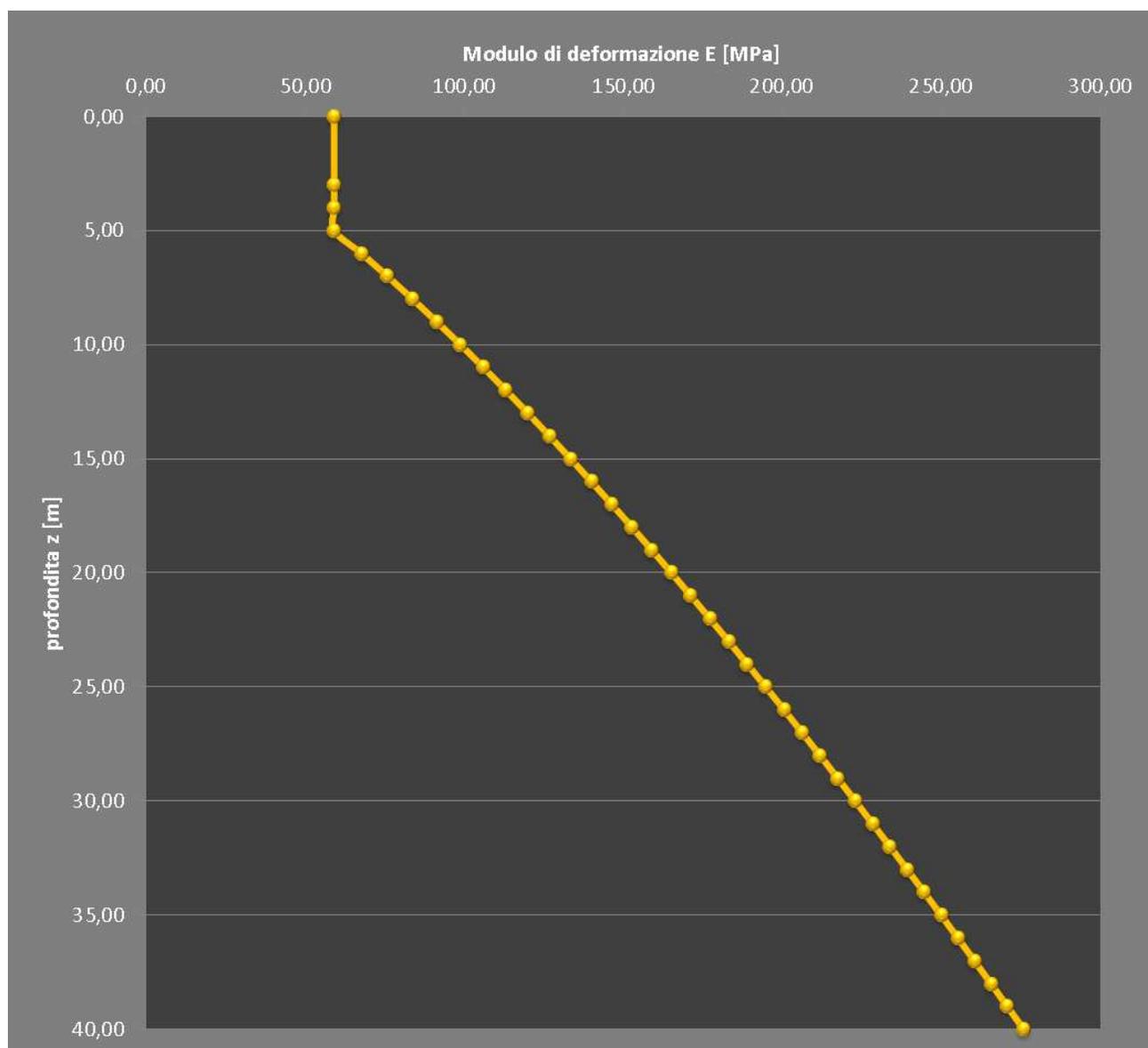
$\mu$  = coefficiente di Poisson

Secondo la caratterizzazione geologico\geotecnica desunta dalla campagna indagini eseguita, la zona in cui ricade l'opera presenta un modulo di deformazione che segue la legge  $E = 18 \cdot (z)^{0,7}$ , da cui  $E_{\min} = 59$  MPa ed  $E_{\max} = 170$  MPa (profondità di -20 m da intradosso fondazione).

Si prende in considerazione l'andamento del modulo di deformazione del terreno in direzione verticale, in quanto nella formula di Vesic, per definire il valore delle molle di reazione orizzontale, viene richiamato il valore  $E_s$  (modulo di Young).

Si riporta l'andamento grafico del modulo di deformazione:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011



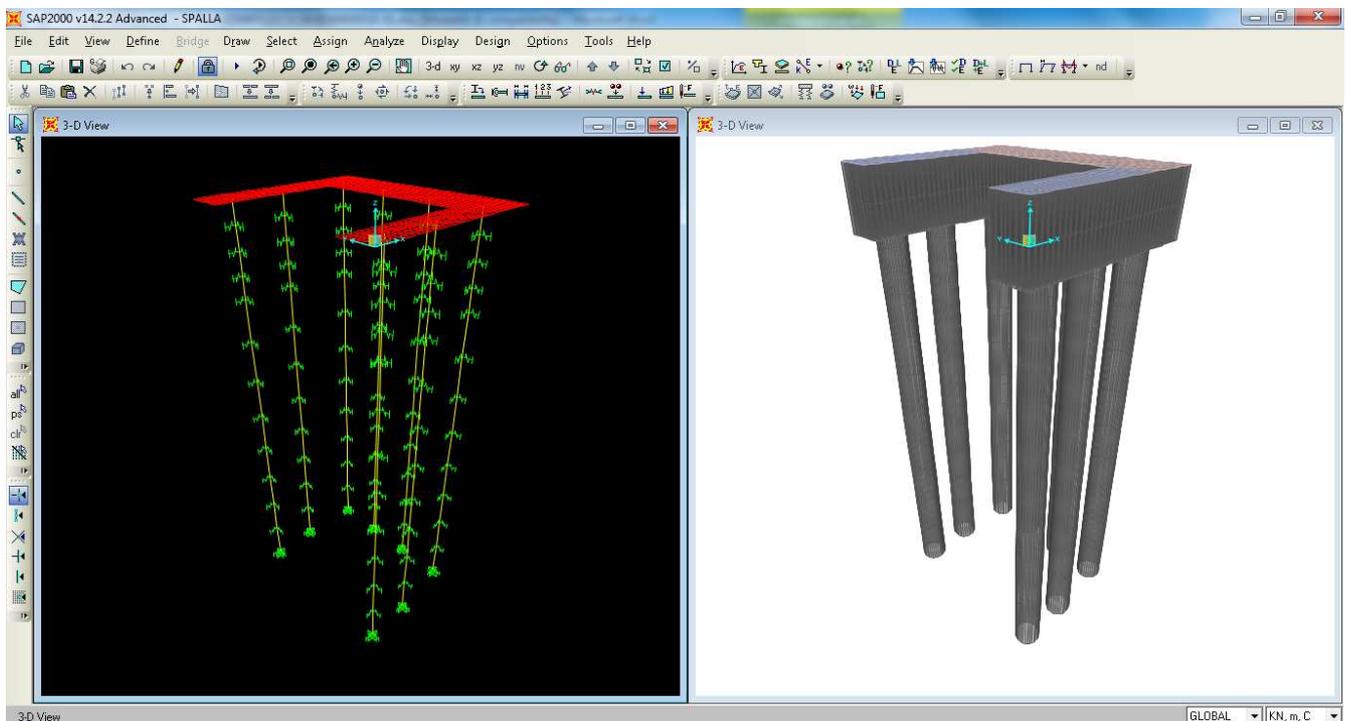
Di seguito si riportano le caratteristiche dei materiali e delle sezioni implementati nel modello.

<b>TABLE: Material Properties 02 - Basic Mechanical Properties</b>						
<b>Material</b>	<b>UnitWeight</b>	<b>UnitMass</b>	<b>E1</b>	<b>G12</b>	<b>U12</b>	<b>A1</b>
Text	KN/m3	KN-s2/m4	KN/m2	KN/m2	Unitless	1/C
C25/30	25	2,5	30500000	12708333	0,2	0,0000099

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

TABLE: Area Section Properties							
Section	Material	MatAngle	AreaType	Type	DrillDOF	Thickness	BendThick
Text	Text	Degrees	Text	Text	Yes/No	m	m
Sp250	C25/30	0	Shell	Shell-Thick	Yes	2,5	2,5

Di seguito si riporta una rappresentazione grafica del modello implementato:



F3. Modello agli EF del sistema terreno-struttura

### 5.1.2 CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI A INTRADOSSO FONDAZIONE

Si riporta nel seguito il valore di ogni condizione elementare considerata a quota intradosso fondazione; più in particolare si adotta come origine delle azioni applicate il baricentro della pianta della platea di fondazione.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		RELAZIONE GEOTECNICA	<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0

		Fx	Fy	Fz	x	y	z	Mx	My	Mz
		[kN]	[kN]	[kN]	[m]	[m]	[m]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
permanenti strutturali	g <sub>1</sub>	0,00	0,00	-9.490,68	-0,10	-0,05	4,37	533,38	2.779,30	0,00
permanenti non strutturali	g <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	-0,10	-0,05	4,37	0,00	0,00	0,00
permanenti portati	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	-728,00	-0,10	-0,05	4,37	69,53	1.528,80	0,00
spinta del terreno	g <sub>3</sub>	3.782,54	0,00	0,00			3,34	0,00	12.633,67	0,00
spinta dovuta al sovraccarico	g <sub>3</sub>	794,73	0,00	0,00			5,01	0,00	3.981,62	0,00
spinta del terreno in fase sismica	g <sub>3</sub>	10.291,01	0,00	0,00			5,01	0,00	51.557,95	0,00
distorsioni e presollecitazioni	ε <sub>1</sub>	0,00	0,00	-106,00				5,06	232,70	0,00
ritiro	ε <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00				0,00	0,00	0,00
variazioni termiche	ε <sub>3</sub>	0,00	0,00	-348,00				16,62	763,96	0,00
viscosità	ε <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00				0,00	0,00	0,00
carichi mobili	q <sub>1</sub> -q <sub>2</sub>	0,00	0,00	-2.974,00	-0,10	-0,05	4,37	284,06	6.245,40	0,00
frenamento	q <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	-0,10	-0,05	4,37	0,00	0,00	0,00
azione centrifuga	q <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	-0,10	-0,05	4,37	0,00	0,00	0,00
vento	q <sub>5</sub>	0,00	254,00	0,00	-0,10	-0,05	4,37	-1.297,96	0,00	533,40
sisma (direzione X)	q <sub>6</sub>	4.550,10	0,00	0,00	-0,10	-0,05	4,37	0,00	19.903,67	217,30
sisma (direzione Y)	q <sub>6</sub>	0,00	2.505,93	0,00	-0,10	-0,05	4,37	-19.958,41	0,00	8.109,90
sisma (direzione Z)	q <sub>6</sub>	0,00	0,00	-817,34	-0,10	-0,05	4,37	85,57	2.061,27	0,00
resistenze parassite	q <sub>7</sub>	116,79	0,00	0,00	-0,10	-0,05	4,37	0,00	787,16	11,15
veicoli in svio	q <sub>8</sub>	0,00	0,00	0,00				0,00	0,00	0,00
altre azioni variabili	q <sub>9</sub>	0,00	0,00	0,00				0,00	0,00	0,00

Le azioni sismiche sono già state moltiplicate per i fattori di rotazione, assumendo come dimensionante la combinazione 1,00 Ex + 0,3 Ey + 0,3 Ez.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 5.1.3 Combinazioni per gli S.L.U.

Si applicano le combinazioni di carico del DM 14. 01 .2008.

La Tab. 5.1.V di [NT\_1] fornisce i valori dei coefficienti parziali delle azioni da assumere nell'analisi per la determinazione degli effetti delle azioni nelle verifiche agli stati limite ultimi; il significato dei simboli è il seguente:

- $\gamma_{G1}$  coefficiente parziale del peso proprio della struttura, del terreno e dell'acqua;
- $\gamma_{G2}$  coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali;
- $\gamma_Q$  coefficiente parziale delle azioni variabili da traffico;
- $\gamma_{Qi}$  coefficiente parziale delle azioni variabili.

Il coefficiente parziale della precompressione si assume pari a  $\gamma_P=1$ .

**Tabella 5.1.V – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU**

		Coefficiente	EQU <sup>(1)</sup>	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Carichi permanenti non strutturali <sup>(2)</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Carichi variabili da traffico	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Carichi variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli	$\gamma_{\epsilon 1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,00 <sup>(3)</sup>	1,00 <sup>(4)</sup>	1,00
Ritiro e viscosità, Variazioni termiche, Cedimenti vincolari	favorevoli	$\gamma_{\epsilon 2}, \gamma_{\epsilon 3}, \gamma_{\epsilon 4}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,20	1,20	1,00

<sup>(1)</sup> Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.  
<sup>(2)</sup> Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.  
<sup>(3)</sup> 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna  
<sup>(4)</sup> 1,20 per effetti locali

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		RELAZIONE GEOTECNICA	Codice documento CS0462_F0	Rev F0

I valori dei coefficienti  $\phi_{0j}$ ,  $\phi_{1j}$  e  $\phi_{2j}$  per le diverse categorie di azioni sono riportati nella Tab. 5.1.VI di [NT\_1] e riportati nel seguito per completezza.

**Tabella 5.1.VI - Coefficienti  $\psi$  per le azioni variabili per ponti stradali e pedonali**

Azioni	Gruppo di azioni (Tabella 5.1.IV)	Coefficiente $\psi_0$ di combinazione	Coefficiente $\psi_1$ (valori frequenti)	Coefficiente $\psi_2$ (valori quasi permanenti)
Azioni da traffico (Tabella 5.1.IV)	Schema 1 (Carichi tandem)	0,75	0,75	0,0
	Schemi 1, 5 e 6 (Carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,0
	Schemi 3 e 4 (carichi concentrati)	0,40	0,40	0,0
	Schema 2	0,0	0,75	0,0
	2	0,0	0,0	0,0
	3	0,0	0,0	0,0
Vento $q_5$	Vento a ponte scarico SLU e SLE	0,6	0,2	0,0
	Esecuzione	0,8	----	0,0
	Vento a ponte carico	0,6		
	4 (folla)	----	0,75	0,0
Neve $q_5$	5	0,0	0,0	0,0
	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
Temperatura	esecuzione	0,8	0,6	0,5
	$T_k$	0,6	0,6	0,5

Di seguito si riportano i valori delle sollecitazioni a intradosso fondazione per ogni combinazione di carico considerata, sia considerando la situazione in cui le azioni verticali sono massimizzate sia la condizione per cui le azioni verticali sono minimizzate.

### 5.1.3.1 Condizione azione verticali massime (Fz-max)

RARA		Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
		[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
permanenti strutturali	$g_1$	0,00	0,00	-9.490,68	533,38	2.779,30	0,00
permanenti non strutturali	$g_2$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
permanenti portati	$g_3$	0,00	0,00	-728,00	69,53	1.528,80	0,00
spinta del terreno	$g_3$	3.782,54	0,00	0,00	0,00	12.633,67	0,00
spinta dovuta al sovraccarico	$g_3$	596,05	0,00	0,00	0,00	2.986,21	0,00

RELAZIONE GEOTECNICA

Codice documento  
CS0462\_F0

Rev  
F0

Data  
20/06/2011

spinta del terreno in fase sismica	$g_3$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
distorsioni e presollecitazioni	$\varepsilon_1$	0,00	0,00	-106,00	5,06	232,70	0,00
ritiro	$\varepsilon_2$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
variazioni termiche	$\varepsilon_3$	0,00	0,00	-348,00	16,62	763,96	0,00
viscosità	$\varepsilon_4$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
carichi mobili	$q_1 \cdot q_2$	0,00	0,00	-2.974,00	284,06	6.245,40	0,00
frenamento	$q_3$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
azione centrifuga	$q_4$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
vento	$q_5$	0,00	152,40	0,00	-778,78	0,00	320,04
sisma	$q_6$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
resistenze parassite	$q_7$	87,59	0,00	0,00	0,00	590,37	8,37
veicoli in svio	$q_8$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
altre azioni variabili	$q_9$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

<b>FR</b>		Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
		[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
permanenti strutturali	$g_1$	0,00	0,00	-9.490,68	533,38	2.779,30	0,00
permanenti non strutturali	$g_2$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
permanenti portati	$g_3$	0,00	0,00	-728,00	69,53	1.528,80	0,00
spinta del terreno	$g_3$	3.782,54	0,00	0,00	0,00	12.633,67	0,00
spinta dovuta al sovraccarico	$g_3$	596,05	0,00	0,00	0,00	2.986,21	0,00
spinta del terreno in fase sismica	$g_3$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
distorsioni e presollecitazioni	$\varepsilon_1$	0,00	0,00	-106,00	5,06	232,70	0,00
ritiro	$\varepsilon_2$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
variazioni termiche	$\varepsilon_3$	0,00	0,00	-174,00	8,31	381,98	0,00
viscosità	$\varepsilon_4$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
carichi mobili	$q_1 \cdot q_2$	0,00	0,00	-2.230,50	213,04	4.684,05	0,00
frenamento	$q_3$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
azione centrifuga	$q_4$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
vento	$q_5$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
sisma	$q_6$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
resistenze parassite	$q_7$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
veicoli in svio	$q_8$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
altre azioni variabili	$q_9$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

<b>QP</b>		Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
		[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
permanenti strutturali	$g_1$	0,00	0,00	-9.490,68	533,38	2.779,30	0,00
permanenti non strutturali	$g_2$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

RELAZIONE GEOTECNICA

Codice documento  
CS0462\_F0

Rev  
F0

Data  
20/06/2011

permanenti portati	$g_3$	0,00	0,00	-728,00	69,53	1.528,80	0,00
spinta del terreno	$g_3$	3.782,54	0,00	0,00	0,00	12.633,67	0,00
spinta dovuta al sovraccarico	$g_3$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
spinta del terreno in fase sismica	$g_3$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
distorsioni e presollecitazioni	$\varepsilon_1$	0,00	0,00	-106,00	5,06	232,70	0,00
ritiro	$\varepsilon_2$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
variazioni termiche	$\varepsilon_3$	0,00	0,00	-174,00	8,31	381,98	0,00
viscosità	$\varepsilon_4$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
carichi mobili	$q_1$ - $q_2$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
frenamento	$q_3$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
azione centrifuga	$q_4$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
vento	$q_5$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
sisma	$q_6$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
resistenze parassite	$q_7$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
veicoli in svio	$q_8$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
altre azioni variabili	$q_9$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

<b>EQU</b>		Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
		[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
permanenti strutturali	$g_1$	0,00	0,00	-10.439,74	586,71	3.057,23	0,00
permanenti non strutturali	$g_2$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
permanenti portati	$g_3$	0,00	0,00	-800,80	76,49	1.681,68	0,00
spinta del terreno	$g_3$	4.160,79	0,00	0,00	0,00	13.897,04	0,00
spinta dovuta al sovraccarico	$g_3$	1.072,89	0,00	0,00	0,00	5.375,18	0,00
spinta del terreno in fase sismica	$g_3$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
distorsioni e presollecitazioni	$\varepsilon_1$	0,00	0,00	-106,00	5,06	232,70	0,00
ritiro	$\varepsilon_2$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
variazioni termiche	$\varepsilon_3$	0,00	0,00	-250,56	11,97	550,05	0,00
viscosità	$\varepsilon_4$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
carichi mobili	$q_1$ - $q_2$	0,00	0,00	-4.014,90	383,48	8.431,29	0,00
frenamento	$q_3$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
azione centrifuga	$q_4$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
vento	$q_5$	0,00	228,60	0,00	-1.168,16	0,00	480,06
sisma	$q_6$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
resistenze parassite	$q_7$	118,25	0,00	0,00	0,00	797,00	11,29
veicoli in svio	$q_8$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
altre azioni variabili	$q_9$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

<b>STR</b>	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
------------	----	----	----	----	----	----

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>	<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0

		[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
permanenti strutturali	g <sub>1</sub>	0,00	0,00	-12.812,41	720,06	3.752,06	0,00
permanenti non strutturali	g <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
permanenti portati	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	-982,80	93,87	2.063,88	0,00
spinta del terreno	g <sub>3</sub>	5.106,43	0,00	0,00	0,00	17.055,46	0,00
spinta dovuta al sovraccarico	g <sub>3</sub>	1.072,89	0,00	0,00	0,00	5.375,18	0,00
spinta del terreno in fase sismica	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
distorsioni e presollecitazioni	ε <sub>1</sub>	0,00	0,00	-106,00	5,06	232,70	0,00
ritiro	ε <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
variazioni termiche	ε <sub>3</sub>	0,00	0,00	-250,56	11,97	550,05	0,00
viscosità	ε <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
carichi mobili	q <sub>1</sub> -q <sub>2</sub>	0,00	0,00	-4.014,90	383,48	8.431,29	0,00
frenamento	q <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
azione centrifuga	q <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
vento	q <sub>5</sub>	0,00	228,60	0,00	-1.168,16	0,00	480,06
sisma	q <sub>6</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
resistenze parassite	q <sub>7</sub>	118,25	0,00	0,00	0,00	797,00	11,29
veicoli in svio	q <sub>8</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
altre azioni variabili	q <sub>9</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

<b>GEO</b>		Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
		[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
permanenti strutturali	g <sub>1</sub>	0,00	0,00	-9.490,68	533,38	2.779,30	0,00
permanenti non strutturali	g <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
permanenti portati	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	-728,00	69,53	1.528,80	0,00
spinta del terreno	g <sub>3</sub>	4.534,77	0,00	0,00	0,00	15.146,13	0,00
spinta dovuta al sovraccarico	g <sub>3</sub>	1.095,70	0,00	0,00	0,00	5.489,46	0,00
spinta del terreno in fase sismica	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
distorsioni e presollecitazioni	ε <sub>1</sub>	0,00	0,00	-106,00	5,06	232,70	0,00
ritiro	ε <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
variazioni termiche	ε <sub>3</sub>	0,00	0,00	-208,80	9,97	458,38	0,00
viscosità	ε <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
carichi mobili	q <sub>1</sub> -q <sub>2</sub>	0,00	0,00	-3.420,10	326,66	7.182,21	0,00
frenamento	q <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
azione centrifuga	q <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
vento	q <sub>5</sub>	0,00	198,12	0,00	-1.012,41	0,00	416,05
sisma	q <sub>6</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
resistenze parassite	q <sub>7</sub>	100,73	0,00	0,00	0,00	678,93	9,62

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
		<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>				<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0

veicoli in svio	q <sub>8</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
altre azioni variabili	q <sub>9</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

<b>SISMICA</b>		Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
		[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
permanenti strutturali	g <sub>1</sub>	0,00	0,00	-9.490,68	533,38	2.779,30	0,00
permanenti non strutturali	g <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
permanenti portati	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	-728,00	69,53	1.528,80	0,00
spinta del terreno	g <sub>3</sub>	2.403,87	0,00	0,00	0,00	8.028,93	0,00
spinta dovuta al sovraccarico	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
spinta del terreno in fase sismica	g <sub>3</sub>	3.494,03	0,00	0,00	0,00	17.505,11	0,00
distorsioni e presollecitazioni	ε <sub>1</sub>	0,00	0,00	-106,00	5,06	232,70	0,00
ritiro	ε <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
variazioni termiche	ε <sub>3</sub>	0,00	0,00	-174,00	8,31	381,98	0,00
viscosità	ε <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
carichi mobili	q <sub>1</sub> -q <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
frenamento	q <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
azione centrifuga	q <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
vento	q <sub>5</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
sisma (direzione X)	q <sub>6</sub>	3.500,08	0,00	0,00	0,00	15.310,51	167,15
sisma (direzione Y)	q <sub>6</sub>	0,00	2.505,93	0,00	-19.958,41	0,00	8.109,90
sisma (direzione Z)	q <sub>6</sub>	0,00	0,00	-817,34	85,57	2.061,27	0,00
resistenze parassite	q <sub>7</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
veicoli in svio	q <sub>8</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
altre azioni variabili	q <sub>9</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

#### RIEPILOGO DELLE AZIONI NELLE DIVERSE COMBINAZIONI

<b>RIEPILOGO</b>	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
<b>COMBINAZIONE RARA</b>	4.466,18	152,40	-13.646,68	129,87	27.760,43	328,41
<b>COMBINAZIONE FR</b>	4.378,59	0,00	-12.729,18	829,32	25.226,72	0,00
<b>COMBINAZIONE QP</b>	3.782,54	0,00	-10.498,68	616,28	17.556,46	0,00
<b>COMBINAZIONE EQU</b>	5.351,93	228,60	-15.612,00	-104,46	34.022,18	491,35
<b>COMBINAZIONE STR</b>	6.297,57	228,60	-18.166,67	46,27	38.257,63	491,35
<b>COMBINAZIONE GEO</b>	5.731,20	198,12	-13.953,58	-67,80	33.495,91	425,67
<b>COMBINAZIONE SISMICA</b>	9.397,98	2.505,93	-11.316,02	-19.256,55	47.828,61	8.277,05

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>	<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0

### 5.1.3.2 Condizione azione verticali minime (Fz-min)

<b>RARA</b>		Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
		[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
permanenti strutturali	g <sub>1</sub>	0,00	0,00	-9.490,68	533,38	2.779,30	0,00
permanenti non strutturali	g <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
permanenti portati	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	-728,00	69,53	1.528,80	0,00
spinta del terreno	g <sub>3</sub>	3.782,54	0,00	0,00	0,00	12.633,67	0,00
spinta dovuta al sovraccarico	g <sub>3</sub>	596,05	0,00	0,00	0,00	2.986,21	0,00
spinta del terreno in fase sismica	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
distorsioni e presollecitazioni	ε <sub>1</sub>	0,00	0,00	-106,00	5,06	232,70	0,00
ritiro	ε <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
variazioni termiche	ε <sub>3</sub>	0,00	0,00	-348,00	16,62	763,96	0,00
viscosità	ε <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
carichi mobili	q <sub>1</sub> -q <sub>2</sub>	0,00	0,00	-2.974,00	284,06	6.245,40	0,00
frenamento	q <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
azione centrifuga	q <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
vento	q <sub>5</sub>	0,00	152,40	0,00	-778,78	0,00	320,04
sisma	q <sub>6</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
resistenze parassite	q <sub>7</sub>	87,59	0,00	0,00	0,00	590,37	8,37
veicoli in svio	q <sub>8</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
altre azioni variabili	q <sub>9</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

<b>FR</b>		Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
		[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
permanenti strutturali	g <sub>1</sub>	0,00	0,00	-9.490,68	533,38	2.779,30	0,00
permanenti non strutturali	g <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
permanenti portati	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	-728,00	69,53	1.528,80	0,00
spinta del terreno	g <sub>3</sub>	3.782,54	0,00	0,00	0,00	12.633,67	0,00
spinta dovuta al sovraccarico	g <sub>3</sub>	596,05	0,00	0,00	0,00	2.986,21	0,00
spinta del terreno in fase sismica	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
distorsioni e presollecitazioni	ε <sub>1</sub>	0,00	0,00	-106,00	5,06	232,70	0,00
ritiro	ε <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
variazioni termiche	ε <sub>3</sub>	0,00	0,00	-174,00	8,31	381,98	0,00
viscosità	ε <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
carichi mobili	q <sub>1</sub> -q <sub>2</sub>	0,00	0,00	-2.230,50	213,04	4.684,05	0,00
frenamento	q <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
azione centrifuga	q <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
vento	q <sub>5</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

RELAZIONE GEOTECNICA

Codice documento  
CS0462\_F0

Rev  
F0

Data  
20/06/2011

sisma	q <sub>6</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
resistenze parassite	q <sub>7</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
veicoli in svio	q <sub>8</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
altre azioni variabili	q <sub>9</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

QP		Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
		[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
permanenti strutturali	g <sub>1</sub>	0,00	0,00	-9.490,68	533,38	2.779,30	0,00
permanenti non strutturali	g <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
permanenti portati	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	-728,00	69,53	1.528,80	0,00
spinta del terreno	g <sub>3</sub>	3.782,54	0,00	0,00	0,00	12.633,67	0,00
spinta dovuta al sovraccarico	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
spinta del terreno in fase sismica	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
distorsioni e presollecitazioni	ε <sub>1</sub>	0,00	0,00	-106,00	5,06	232,70	0,00
ritiro	ε <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
variazioni termiche	ε <sub>3</sub>	0,00	0,00	-174,00	8,31	381,98	0,00
viscosità	ε <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
carichi mobili	q <sub>1</sub> -q <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
frenamento	q <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
azione centrifuga	q <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
vento	q <sub>5</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
sisma	q <sub>6</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
resistenze parassite	q <sub>7</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
veicoli in svio	q <sub>8</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
altre azioni variabili	q <sub>9</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

EQU		Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
		[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
permanenti strutturali	g <sub>1</sub>	0,00	0,00	-8.541,61	480,04	2.501,37	0,00
permanenti non strutturali	g <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
permanenti portati	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	-655,20	62,58	1.375,92	0,00
spinta del terreno	g <sub>3</sub>	4.160,79	0,00	0,00	0,00	13.897,04	0,00
spinta dovuta al sovraccarico	g <sub>3</sub>	1.072,89	0,00	0,00	0,00	5.375,18	0,00
spinta del terreno in fase sismica	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
distorsioni e presollecitazioni	ε <sub>1</sub>	0,00	0,00	-95,40	4,56	209,43	0,00
ritiro	ε <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
variazioni termiche	ε <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
viscosità	ε <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
carichi mobili	q <sub>1</sub> -q <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

RELAZIONE GEOTECNICA

Codice documento  
CS0462\_F0

Rev  
F0

Data  
20/06/2011

frenamento	q <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
azione centrifuga	q <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
vento	q <sub>5</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
sisma	q <sub>6</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
resistenze parassite	q <sub>7</sub>	118,25	0,00	0,00	0,00	797,00	11,29
veicoli in svio	q <sub>8</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
altre azioni variabili	q <sub>9</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

STR		FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
		[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
permanenti strutturali	g <sub>1</sub>	0,00	0,00	-9.490,68	533,38	2.779,30	0,00
permanenti non strutturali	g <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
permanenti portati	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	-728,00	69,53	1.528,80	0,00
spinta del terreno	g <sub>3</sub>	5.106,43	0,00	0,00	0,00	17.055,46	0,00
spinta dovuta al sovraccarico	g <sub>3</sub>	1.072,89	0,00	0,00	0,00	5.375,18	0,00
spinta del terreno in fase sismica	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
distorsioni e presollecitazioni	ε <sub>1</sub>	0,00	0,00	-106,00	5,06	232,70	0,00
ritiro	ε <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
variazioni termiche	ε <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
viscosità	ε <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
carichi mobili	q <sub>1</sub> -q <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
frenamento	q <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
azione centrifuga	q <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
vento	q <sub>5</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
sisma	q <sub>6</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
resistenze parassite	q <sub>7</sub>	118,25	0,00	0,00	0,00	797,00	11,29
veicoli in svio	q <sub>8</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
altre azioni variabili	q <sub>9</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

GEO		FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
		[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
permanenti strutturali	g <sub>1</sub>	0,00	0,00	-9.490,68	533,38	2.779,30	0,00
permanenti non strutturali	g <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
permanenti portati	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	-728,00	69,53	1.528,80	0,00
spinta del terreno	g <sub>3</sub>	4.534,77	0,00	0,00	0,00	15.146,13	0,00
spinta dovuta al sovraccarico	g <sub>3</sub>	1.095,70	0,00	0,00	0,00	5.489,46	0,00
spinta del terreno in fase sismica	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
distorsioni e presollecitazioni	ε <sub>1</sub>	0,00	0,00	-106,00	5,06	232,70	0,00
ritiro	ε <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>	<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0

variazioni termiche	$\varepsilon_3$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
viscosità	$\varepsilon_4$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
carichi mobili	$q_1$ - $q_2$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
frenamento	$q_3$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
azione centrifuga	$q_4$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
vento	$q_5$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
sisma	$q_6$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
resistenze parassite	$q_7$	100,73	0,00	0,00	0,00	678,93	9,62
veicoli in svio	$q_8$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
altre azioni variabili	$q_9$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

<b>SISMICA</b>		Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
		[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
permanenti strutturali	$g_1$	0,00	0,00	-9.490,68	533,38	2.779,30	0,00
permanenti non strutturali	$g_2$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
permanenti portati	$g_3$	0,00	0,00	-728,00	69,53	1.528,80	0,00
spinta del terreno	$g_3$	2.403,87	0,00	0,00	0,00	8.028,93	0,00
spinta dovuta al sovraccarico	$g_3$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
spinta del terreno in fase sismica	$g_3$	3.494,03	0,00	0,00	0,00	17.505,11	0,00
distorsioni e presollecitazioni	$\varepsilon_1$	0,00	0,00	-106,00	5,06	232,70	0,00
ritiro	$\varepsilon_2$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
variazioni termiche	$\varepsilon_3$	0,00	0,00	-174,00	8,31	381,98	0,00
viscosità	$\varepsilon_4$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
carichi mobili	$q_1$ - $q_2$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
frenamento	$q_3$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
azione centrifuga	$q_4$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
vento	$q_5$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
sisma (direzione X)	$q_6$	3.500,08	0,00	0,00	0,00	15.310,51	167,15
sisma (direzione Y)	$q_6$	0,00	2.505,93	0,00	-19.958,41	0,00	8.109,90
sisma (direzione Z)	$q_6$	0,00	0,00	817,34	-85,57	-2.061,27	0,00
resistenze parassite	$q_7$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
veicoli in svio	$q_8$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
altre azioni variabili	$q_9$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### RIEPILOGO DELLE AZIONI NELLE DIVERSE COMBINAZIONI

<b>RIEPILOGO</b>	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
<b>COMBINAZIONE RARA</b>	4.466,18	152,40	-13.646,68	129,87	27.760,43	328,41
<b>COMBINAZIONE FR</b>	4.378,59	0,00	-12.729,18	829,32	25.226,72	0,00
<b>COMBINAZIONE QP</b>	3.782,54	0,00	-10.498,68	616,28	17.556,46	0,00
<b>COMBINAZIONE EQU</b>	5.351,93	0,00	-9.292,21	547,18	24.155,95	11,29
<b>COMBINAZIONE STR</b>	6.297,57	0,00	-10.324,68	607,97	27.768,45	11,29
<b>COMBINAZIONE GEO</b>	5.731,20	0,00	-10.324,68	607,97	25.855,33	9,62
<b>COMBINAZIONE SISMICA</b>	9.397,98	2.505,93	-9.681,33	-19.427,69	43.706,06	8.277,05

#### 5.1.4 VERIFICHE GEOTECNICHE

In accordo con quanto indicato al paragrafo 5.1 si conducono ora le verifiche geotecniche fondamentali:

- Verifica di resistenza del palo singolo
- Verifica di capacità portante del palo singolo

Il comportamento dei pali in gruppo  $E_g$  viene valutato secondo l'equazione di Converse-Labarre:

$$E_g = 1 - \theta \cdot \frac{(n-1) \cdot m + (m-1) \cdot n}{90 \cdot m \cdot n}$$

Dove

$m$  è il numero di colonne di pali

$n$  è il numero di righe di pali

$$\theta = \arctan\left(\frac{D}{s}\right) = 26,56^\circ$$

Da cui si ottiene:

$$E_g = 1 - 26,56 \cdot \frac{(4-1) \cdot 1}{90 \cdot 4} = 0,778$$

Pertanto la capacità complessiva della fondazione dovrà essere valutata come  $Q_{ult} \cdot n_p \cdot E_g$ , con  $Q_{ult}$  capacità portante del singolo palo,  $n_p$  numero di pali ed  $E_g$  efficienza di gruppo.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

#### 5.1.4.1 VERIFICHE DI RESISTENZA DEL PALO

Di seguito si riportano le verifiche delle sezioni più significative e per le Combinazioni di carico risultate più critiche. I calcoli di verifica sono effettuati con il metodo degli Stati Limite, applicando il combinato D. M.14.01.2008 con l'UNI EN 1992 (Eurocodice 2).

##### Sezione incastro palo-plinto

Le sollecitazioni per la sezione considerata sono:

COMB	N (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)	Fx (kN)	Fy (kN)
SIS	-3500,00	900,00	2670,00	1622,00	458,00
STR	-520,00	106,00	1040,00	1018,00	50,00

Si prevede un'armatura a flessione pari a:

$\phi 26$  passo 7,5 cm a 7 cm da esterno sezione (46 barre disposte radialmente)

Si prevede un'armatura a taglio pari a:

si prevede una spirale  $\phi 12$  passo 10 cm nei primi metri di palo e passo 25 cm nella restante parte.

##### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata							
N	Sforzo normale assegnato [in daN] (positivo se di compressione)							
Mx	Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia							
My	Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia							
N ult	Sforzo normale ultimo [in daN] nella sezione (positivo se di compress.)							
Mx ult	Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia							
My ult	Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia							
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult,Mx ult,My ult) e (N,Mx,My) Verifica positiva se tale rapporto risulta $\geq 1.000$							

N.Comb.	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.
1	S	-350000	90000	267000	-349988	99439	294132	1,102
2	S	-52000	10600	104000	-51971	42535	417602	4,015

##### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione							
ec 3/7	Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace							
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,0 sez.)							
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,0 sez.)							
ef min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)							
Xf min	Ascissa in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,0 sez.)							
Yf min	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,0 sez.)							
ef max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)							
Xf max	Ascissa in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,0 sez.)							
Yf max	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,0 sez.)							

N.Comb.	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	ef min	Xf min	Yf min	ef max	Xf max	Yf max

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>	<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0

1	0,00248	-0,00315	56,9	19,2	0,00182	50,9	18,1	-0,01000	-50,9	-18,1
2	0,00350	-0,00223	59,7	6,1	0,00283	53,9	3,7	-0,00921	-53,9	-3,7

#### POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a	Coeff. a nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,0 gen.
b	Coeff. b nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,0 gen.
c	Coeff. c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,0 gen.
x/d	Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N. Comb.	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0,000103705	0,000034957	-0,004091120		
2	0,000110924	0,000011306	-0,003189909		

#### Elementi che non richiedono armatura a taglio

$f_{ck} =$	25	Mpa	
$d =$	1080	mm	altezza utile
$A_{sl} =$	7959,9	mm <sup>2</sup>	armatura longitudinale tesa
$b_w =$	1200	mm	larghezza minima della sezione in zona tesa
$A_c =$	1296000	mm <sup>2</sup>	area sezione calcestruzzo
$N_{ed} =$	0	kN	forza assiale nella sezione (positive le compressioni)
$C_{rd,c} =$	0,12		
$k_1 =$	0,15		
$k =$	1,4303	$\leq$	2
$\rho_1 =$	0,006141898	$\leq$	0,02
$\sigma_{cp} =$	0,0000	$<$	2,8333
$V_{min} =$	0,2994		
$V_{Rd,c} =$	552,89	kN	formula estesa
$V_{Rd,c} =$	387,97	kN	valore minimo di resistenza

#### Elementi che richiedono armatura a taglio

precompresso?	no		
$\sigma_{cp} =$	-	Mpa	tensione media di compressione nel cls (positiva)
$\alpha =$	90	°	1,57 radianti
$\theta =$	21,8	°	0,38 radianti
$b_w =$	1200	mm	larghezza minima della sezione
$d =$	1080	mm	altezza utile
$z =$	972	mm	braccio della coppia interna
$A_{sw} =$	226,08	mm <sup>2</sup>	area sezione trasversale armatura a taglio
$s =$	100	mm	passo staffe
$f_{ywd} =$	391,30	Mpa	tensione di progetto delle armature a taglio
$\alpha_{cw} =$	1,0000		
$v_1 =$	0,54		
$f_{cd} =$	14,17	Mpa	
$V_{Rd,s} =$	2149,88	kN	resistenza lato acciaio

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>	<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0

$V_{Rd,max} = 3076,72$  kN resistenza lato calcestruzzo  
 $0,737 \leq 3,825$  verifica di duttilità per rottura lato acciaio

### Sezione a – 5 m da incastro palo-plinto

Le sollecitazioni per la sezione considerata sono:

COMB	N (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)	Fx (kN)	Fy (kN)
SIS	-3200,00	270,00	1000,00	630,00	160,00
STR	-200,00	27,00	860,00	170,00	20,00

Si prevede un'armatura a flessione pari a:

$\phi 26$  passo 10 cm a 7 cm da esterno sezione (34 barre disposte radialmente)

Si prevede un'armatura a taglio pari a:

si prevede una spirale  $\phi 12$  passo 10 cm nei primi metri di palo e passo 25 cm nella restante parte.

#### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [in daN] (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N ult	Sforzo normale ultimo [in daN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx ult	Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My ult	Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult, Mx ult, My ult) e (N, Mx, My) Verifica positiva se tale rapporto risulta $\geq 1.000$

N.Comb.	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.
1	S	-320000	27000	100000	-319989	53208	197930	1,979
2	S	-20000	10600	104000	-20003	33515	326132	3,136

#### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7	Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,0 sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,0 sez.)
ef min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xf min	Ascissa in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,0 sez.)
Yf min	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,0 sez.)
ef max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xf max	Ascissa in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,0 sez.)
Yf max	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,0 sez.)

N.Comb.	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	ef min	Xf min	Yf min	ef max	Xf max	Yf max
1	0,00201	-0,00341	57,9	15,6	0,00137	51,9	14,8	-0,01000	-51,9	-14,8
2	0,00341	-0,00264	59,7	6,1	0,00271	53,8	5,0	-0,01000	-53,8	-5,0

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

**POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA**

- a Coeff. a nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,0 gen.  
b Coeff. b nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,0 gen.  
c Coeff. c nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,0 gen.  
x/d Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)  
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N.Comb.	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0,000101686	0,000027455	-0,004312863		
2	0,000117060	0,000011931	-0,003646288		

**Elementi che non richiedono armatura a taglio**

$f_{ck} =$	25	Mpa	
$d =$	1080	mm	altezza utile
$A_{sl} =$	7959,9	mm <sup>2</sup>	armatura longitudinale tesa
$b_w =$	1200	mm	larghezza minima della sezione in zona tesa
$A_c =$	1296000	mm <sup>2</sup>	area sezione calcestruzzo
$N_{ed} =$	0	kN	forza assiale nella sezione (positive le compressioni)
$C_{rd,c} =$	0,12		
$k_1 =$	0,15		
$k =$	1,4303	≤	2
$\rho_1 =$	0,006141898	≤	0,02
$\sigma_{cp} =$	0,0000	<	2,8333
$V_{min} =$	0,2994		
$V_{Rd,c} =$	552,89	kN	formula estesa
$V_{Rd,c} =$	387,97	kN	valore minimo di resistenza

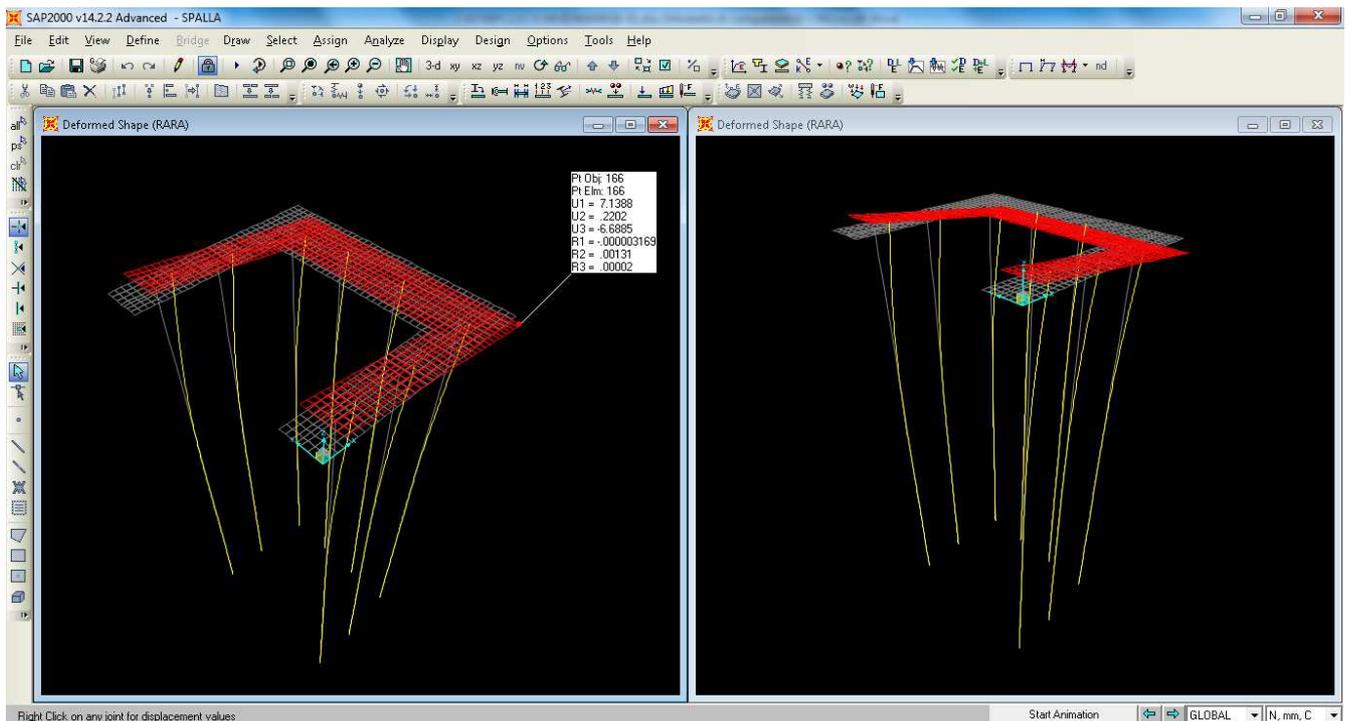
**Elementi che richiedono armatura a taglio**

precompresso?	no		
$\sigma_{cp} =$	-	Mpa	tensione media di compressione nel cls (positiva)
$\alpha =$	90	°	1,57 radianti
$\theta =$	21,8	°	0,38 radianti
$b_w =$	1200	mm	larghezza minima della sezione
$d =$	1080	mm	altezza utile
$z =$	972	mm	braccio della coppia interna
$A_{sw} =$	226,08	mm <sup>2</sup>	area sezione trasversale armatura a taglio
$s =$	100	mm	passo staffe
$f_{ywd} =$	391,30	Mpa	tensione di progetto delle armature a taglio
$\alpha_{cw} =$	1,0000		
$V_1 =$	0,54		
$f_{cd} =$	14,17	Mpa	
$V_{Rd,s} =$	2149,88	kN	resistenza lato acciaio
$V_{Rd,max} =$	3076,72	kN	resistenza lato calcestruzzo
0,737	≤	3,825	verifica di duttilità per rottura lato acciaio

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

#### 5.1.4.2 Verifiche di deformabilità

Dal modello di calcolo analizzato, osservando la combinazione SLS – RARA, si sono ottenuti degli spostamenti massimi in direzioni longitudinale X pari a 7 mm:



Tale valore è ampiamente all'interno del tratto a comportamento lineare del terreno, pertanto l'assunzione fatta di trascurare il campo plastico risulta corretta. Inoltre si conferma la validità dell'assunzione del regime di spinta attivo durante l'azione sismica.

Gli spostamenti verticali massimi invece sono dell'ordine dei 6 mm, valore ammissibile per le ipotesi fatte e la tipologia di opera in esame.

#### 5.1.4.3 Verifica di capacità portante

Dalle analisi condotte sul modello agli elementi finiti, si ottengono i seguenti valori max\min di sforzo agente nel singolo palo (negativo lo sforzo di trazione):

- Nmax = 6500 kN (azione di compressione - combinazione SIS)
- Nmin = -3500 kN (azione di trazione - combinazione SIS)

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Come già indicato al paragrafo 5.1, la resistenza caratteristica  $R_k$  del palo singolo può essere dedotta da metodi di calcolo analitici, dove  $R_k$  è calcolata a partire dai valori caratteristici dei parametri geotecnici, oppure con l'impiego di relazioni empiriche che utilizzino direttamente i risultati di prove in sito (prove penetrometriche, pressiometriche, ecc.);

Con riferimento alle procedure analitiche che prevedano l'utilizzo dei parametri geotecnici o dei risultati di prove in sito, il valore caratteristico della resistenza  $R_{c,k}$  (o  $R_{t,k}$ ) è dato dal minore dei valori ottenuti applicando alle resistenze calcolate  $R_{c,cal}$  ( $R_{t,cal}$ ) i fattori di correlazione  $\xi$  riportati nella Tab. 6.4.IV, in funzione del numero  $n$  di verticali di indagine:

$$R_{c,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c,cal})_{media}}{\xi_3}, \frac{(R_{c,cal})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

$$R_{t,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{t,cal})_{media}}{\xi_3}, \frac{(R_{t,cal})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

**Tabella 6.4.IV** – Fattori di correlazione  $\xi$  per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate.

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	$\geq 10$
$\xi_3$	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
$\xi_4$	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

Per l'opera in oggetto si considera presente una sola verticale d'indagine per fondazione, pertanto si assume  $\xi = 1,7$ .

I coefficienti parziali  $\gamma_R$  per il calcolo dei pali di fondazione, avendo adottato pali ad elica continua e l'**approccio 2** di calcolo, sono:

- $\gamma_b = 1,30$
- $\gamma_s = 1,15$
- $\gamma_{st} = 1,25$

Il valore della resistenza di progetto  $R_d$  viene quindi ottenuto come:

$$R_{d,c} = \frac{R_{k,b}}{\xi \cdot \gamma_b} + \frac{R_{k,l}}{\xi \cdot \gamma_s} - W = \frac{q_b \cdot A_p}{\xi \cdot \gamma_b} + \frac{\sum q_{s,i} \cdot A_i}{\xi \cdot \gamma_s} - W \quad \text{resistenza di progetto, pali in compressione}$$

$$R_{d,t} = \frac{R_{k,t}}{\xi \cdot \gamma_{st}} + W = \frac{\sum q_{s,i} \cdot A_i}{\xi \cdot \gamma_{st}} + W \quad \text{resistenza di progetto, pali in trazione}$$

dove:

$$q_{si} = q_{ai} + \mu_i \cdot k_i \cdot \sigma'_{vi}$$

$$q_p = c \cdot N_c + q' \cdot N_q$$

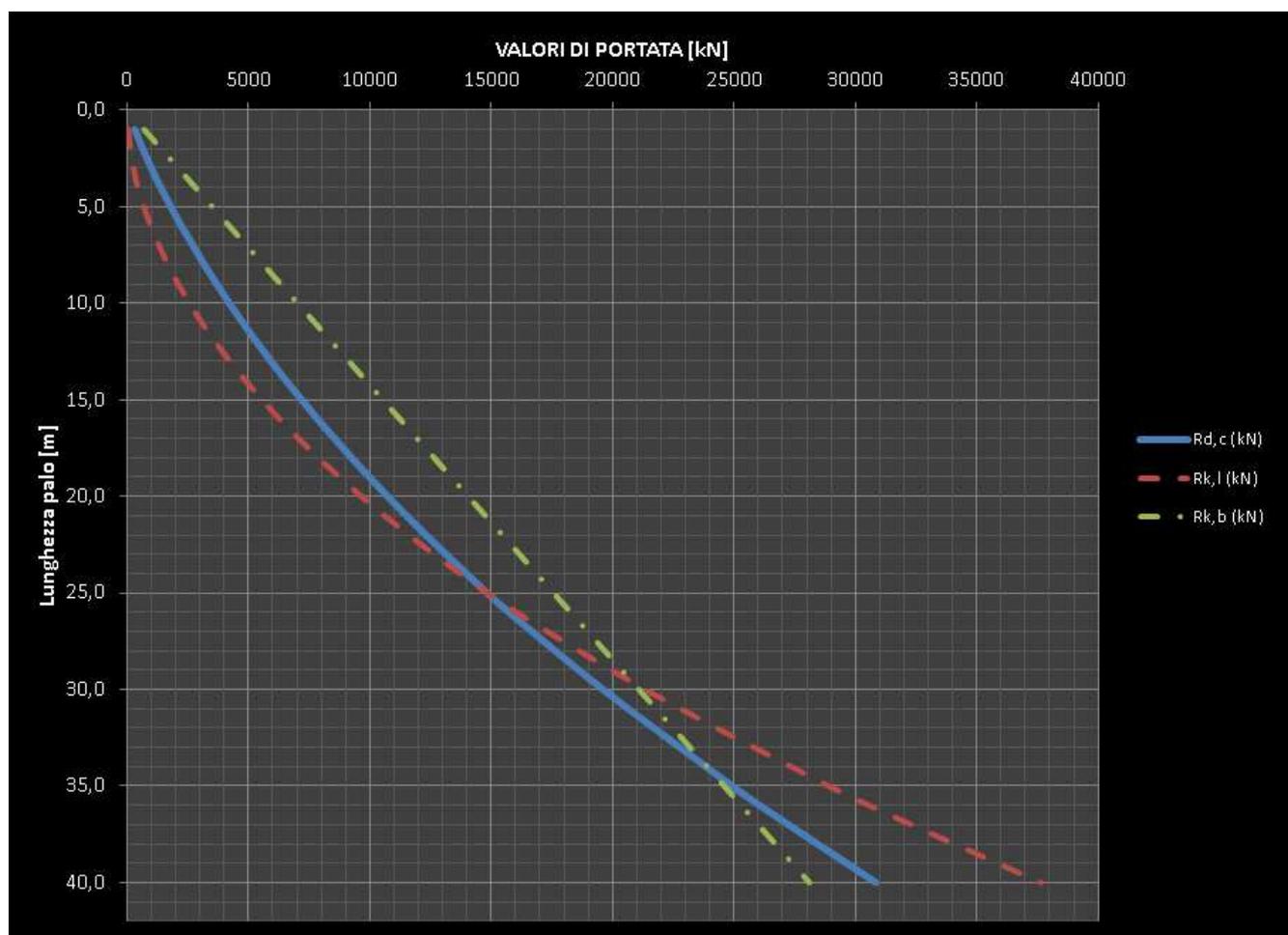
		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- $q_{ai}$  = Adesione laterale pari a  $\alpha c'$   
 $\mu_i$  = Coefficiente di attrito terreno/palo pari a  $\tan \phi$   
 $k_i$  = Rapporto tra tensione normale sulla superficie laterale del palo alla profondità  $z$  e tensione verticale  $\sigma_v$  agente alla stessa profondità, cautelativamente assunto pari a 0,7 (in compressione) e 0,5 (in trazione)  
 $\sigma'_{vi}$  = Pressione efficace media sul tratto di palo  
 $A_{li}$  = Area della superficie laterale del tratto di palo  
 $c'$  = Coesione del terreno  
 $q'_l$  = Pressione efficace sul piano orizzontale passante per la punta del palo  
 $N_q$  = Fattori adimensionali di capacità portante funzioni dell'angolo di attrito del terreno  $\phi$  e del rapporto tra lunghezza e diametro del palo.  
 $N_c$  = Fattore di capacità portante (terre coesive)  
 $A_p$  = Area della punta  
 $W$  = peso proprio del palo

Nel seguito si riportano in forma tabellare e grafica i valori di capacità portante in funzione della lunghezza del palo per azioni di compressione:

H (m)	L (m)	H <sub>c</sub> (m)	Δh (m)	γ (Kn/m³)	σ <sub>vo</sub> (KPa)	U <sub>o</sub> (KPa)	σ'_{vo} (KPa)	N <sub>spt</sub>	Cu (KPa)	φ (°)	α	K <sub>i</sub>	N <sub>c</sub>	N <sub>q</sub>	Al (m²)	Ap (m²)	R <sub>k,l</sub> (kN)	R <sub>k,b</sub> (kN)	R <sub>d,c</sub> (kN)
1,0	1,0	0,5	1,0	20	20	-	20			40,0	-	0,7	-	31,1	3,77	1,13	44	703	312
2,0	2,0	1,5	1,0	20	40	-	40			40,0	-	0,7	-	31,1	3,77	1,13	133	1405	647
3,0	3,0	2,5	1,0	20	60	-	60			40,0	-	0,7	-	31,1	3,77	1,13	266	2108	1005
4,0	4,0	3,5	1,0	20	80	-	80			40,0	-	0,7	-	31,1	3,77	1,13	443	2811	1385
6,0	6,0	5,0	2,0	20	120	-	120			40,0	-	0,7	-	31,1	7,54	1,13	974	4216	2237
8,0	8,0	7,0	2,0	20	160	-	160			40,0	-	0,7	-	31,1	7,54	1,13	1683	5622	3178
10,0	10,0	9,0	2,0	20	200	-	200			40,0	-	0,7	-	31,1	7,54	1,13	2568	7027	4211
12,0	12,0	11,0	2,0	20	240	-	240			40,0	-	0,7	-	31,1	7,54	1,13	3631	8433	5334
14,0	14,0	13,0	2,0	20	280	-	280			40,0	-	0,7	-	31,1	7,54	1,13	4871	9838	6548
16,0	16,0	15,0	2,0	20	320	-	320			40,0	-	0,7	-	31,1	7,54	1,13	6288	11244	7852
18,0	18,0	17,0	2,0	20	360	-	360			40,0	-	0,7	-	31,1	7,54	1,13	7882	12649	9247
20,0	20,0	19,0	2,0	20	400	-	400			40,0	-	0,7	-	31,1	7,54	1,13	9654	14054	10732
22,0	22,0	21,0	2,0	20	440	-	440			40,0	-	0,7	-	31,1	7,54	1,13	11602	15460	12308
24,0	24,0	23,0	2,0	20	480	-	480			40,0	-	0,7	-	31,1	7,54	1,13	13728	16865	13975
26,0	26,0	25,0	2,0	20	520	-	520			40,0	-	0,7	-	31,1	7,54	1,13	16031	18271	15732
30,0	30,0	28,0	4,0	20	600	-	600			40,0	-	0,7	-	31,1	15,08	1,13	21345	21082	19609
34,0	34,0	32,0	4,0	20	680	-	680			40,0	-	0,7	-	31,1	15,08	1,13	27367	23893	23849
36,0	36,0	35,0	2,0	20	720	-	720			40,0	-	0,7	-	31,1	7,54	1,13	30556	25298	26059
40,0	40,0	38,0	4,0	20	800	-	800			40,0	-	0,7	-	31,1	15,08	1,13	37641	28109	30842

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		RELAZIONE GEOTECNICA	<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0

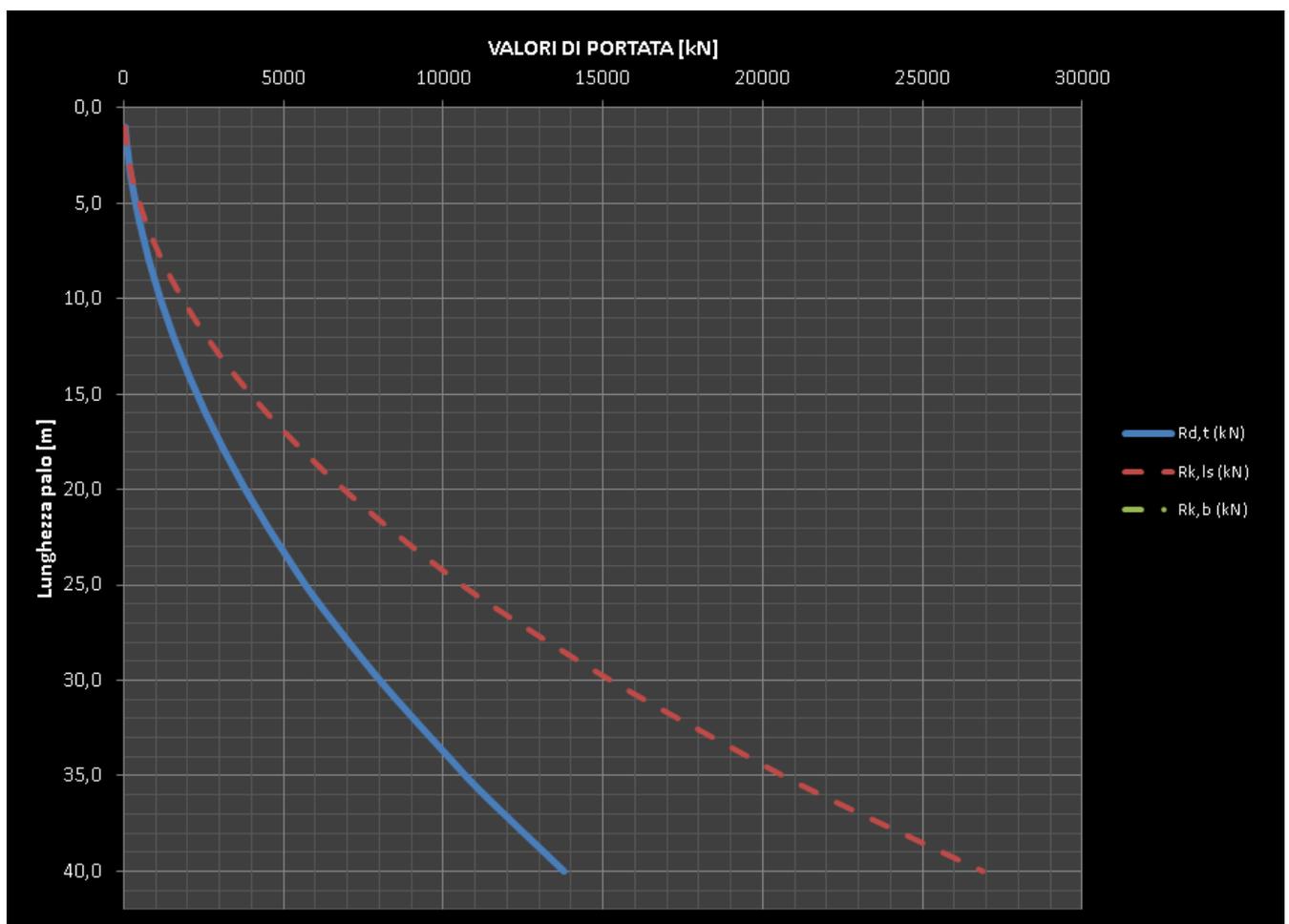


Nel seguito si riportano in forma tabellare e grafica i valori di capacità portante in funzione della lunghezza del palo per azioni di trazione:

H (m)	L (m)	H <sub>c</sub> (m)	Δh (m)	γ (Kn/m <sup>3</sup> )	σ <sub>vo</sub> (KPa)	U <sub>o</sub> (KPa)	σ' <sub>vo</sub> (KPa)	N <sub>spt</sub>	Cu (KPa)	φ (°)	α	K <sub>i</sub>	N <sub>c</sub>	N <sub>q</sub>	Al (m <sup>2</sup> )	Ap (m <sup>2</sup> )	R <sub>k,l,s</sub> (kN)	R <sub>k,b</sub> (kN)	R <sub>d,t</sub> (kN)
1,0	1,0	0,5	1,0	20	20	-	20			40,0	-	0,5	-	31,1	3,77	1,13	32		43
2,0	2,0	1,5	1,0	20	40	-	40			40,0	-	0,5	-	31,1	3,77	1,13	95		101
3,0	3,0	2,5	1,0	20	60	-	60			40,0	-	0,5	-	31,1	3,77	1,13	190		174
4,0	4,0	3,5	1,0	20	80	-	80			40,0	-	0,5	-	31,1	3,77	1,13	316		262
6,0	6,0	5,0	2,0	20	120	-	120			40,0	-	0,5	-	31,1	7,54	1,13	696		497
8,0	8,0	7,0	2,0	20	160	-	160			40,0	-	0,5	-	31,1	7,54	1,13	1202		792
10,0	10,0	9,0	2,0	20	200	-	200			40,0	-	0,5	-	31,1	7,54	1,13	1835		1146
12,0	12,0	11,0	2,0	20	240	-	240			40,0	-	0,5	-	31,1	7,54	1,13	2594		1560
14,0	14,0	13,0	2,0	20	280	-	280			40,0	-	0,5	-	31,1	7,54	1,13	3479		2033
16,0	16,0	15,0	2,0	20	320	-	320			40,0	-	0,5	-	31,1	7,54	1,13	4492		2566
18,0	18,0	17,0	2,0	20	360	-	360			40,0	-	0,5	-	31,1	7,54	1,13	5630		3158
20,0	20,0	19,0	2,0	20	400	-	400			40,0	-	0,5	-	31,1	7,54	1,13	6896		3810

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>	<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0

22,0	22,0	21,0	2,0	20	440	-	440			40,0	-	0,5	-	31,1	7,54	1,13	8287		4522
24,0	24,0	23,0	2,0	20	480	-	480			40,0	-	0,5	-	31,1	7,54	1,13	9806		5293
26,0	26,0	25,0	2,0	20	520	-	520			40,0	-	0,5	-	31,1	7,54	1,13	11450		6123
30,0	30,0	28,0	4,0	20	600	-	600			40,0	-	0,5	-	31,1	15,08	1,13	15246		8022
34,0	34,0	32,0	4,0	20	680	-	680			40,0	-	0,5	-	31,1	15,08	1,13	19548		10160
36,0	36,0	35,0	2,0	20	720	-	720			40,0	-	0,5	-	31,1	7,54	1,13	21825		11288
40,0	40,0	38,0	4,0	20	800	-	800			40,0	-	0,5	-	31,1	15,08	1,13	26886		13783



Adottando pali di lunghezza 20 m, entrambe le verifiche (a trazione e compressione) risultano soddisfatte.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_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						

## 5.2 ANALISI DEL SISTEMA FONDAZIONALE DELLE PILE

In accordo con il D.M. 14.01.2008 § 6.4 e con la C.M. 02.02.2009 vengono condotte le analisi di tipo geotecnico del complesso terreno\spalla.

L'approccio adottato è il medesimo utilizzato nelle analisi delle spalle a cui si rimanda per maggior dettaglio (vedi §5.1).

### 5.2.1.1 DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO

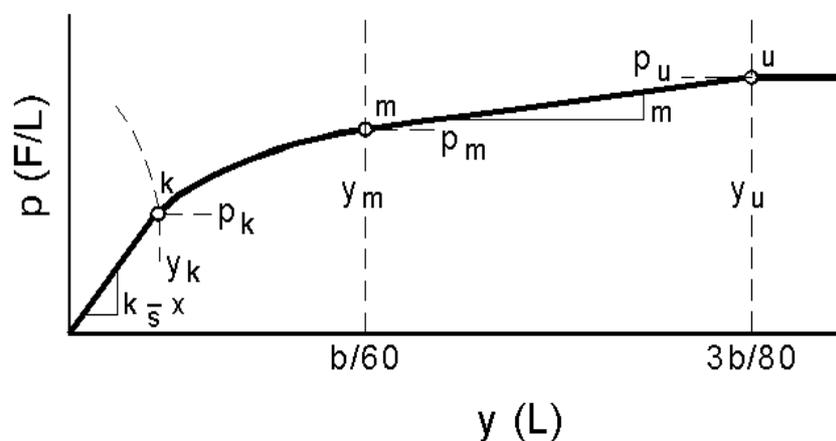
Il modello implementato è un modello agli EF, dove vengono schematizzati due principali elementi:

- *la platea di fondazione*
- *il palo*

La platea di fondazione, vincolata sui pali e soggetta alle azioni trasferite dalle elevazioni, è composto da elementi di tipo "Area" (shell tick element) con modellazione del comportamento bidimensionale alla Mindlin, includendo quindi anche le deformazioni taglianti degli elementi.

Il palo invece è modellato come un elemento di tipo "linea" (beam element), con modellazione del comportamento alla Saint-Venant.

La non linearità (plasticità del materiale) per i terreni presenti in sito può essere definita secondo la legge p-y (sforzi-spostamenti) secondo Reese, Cox e Koop del tipo:



F4. Digramma p-y secondo Reese, Cox e Koop

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

A favore di sicurezza si trascura il contributo di plasticità offerto dal terreno, limitando quindi gli sforzi\deformazioni al tratto a comportamento lineare (verificato a posteriori in funzioni delle deformazioni massime subite dall'elemento "palo").

L'interazione col terreno è stata quindi modellata mediante elementi di connessione (link element) con comportamento elastico non lineare (dove la non linearità è dettata dal fatto che l'elemento link reagisce solo a compressione).

La rigidità degli elementi "link" "molle" è stata definita in funzione della deformabilità del terreno, della geometria del palo e della deformabilità sua deformabilità. In particolare si definisce la rigidità dell'elemento "link", ricorrendo al metodo di Vesić (vedi riferimento bibliografico [B32]), il quale definisce in primo luogo il modulo di reazione del terreno come:

$$k_s = \frac{k'_s}{D} = 2 \cdot \frac{0,65}{D} \cdot \sqrt[12]{\frac{E_s \cdot D^4}{E_p \cdot I_p}} \cdot \frac{E_s}{1 - \mu^2} \quad \text{kN/m}^3$$

indicando con:

$E_s$  ,  $E_p$  = moduli elastici di deformazione rispettivamente del terreno e del palo di fondazione [kN/m<sup>2</sup>]

$D$  = diametro del palo di fondazione [m]

$I_p$  = momento d'inerzia del palo di fondazione [m<sup>4</sup>]

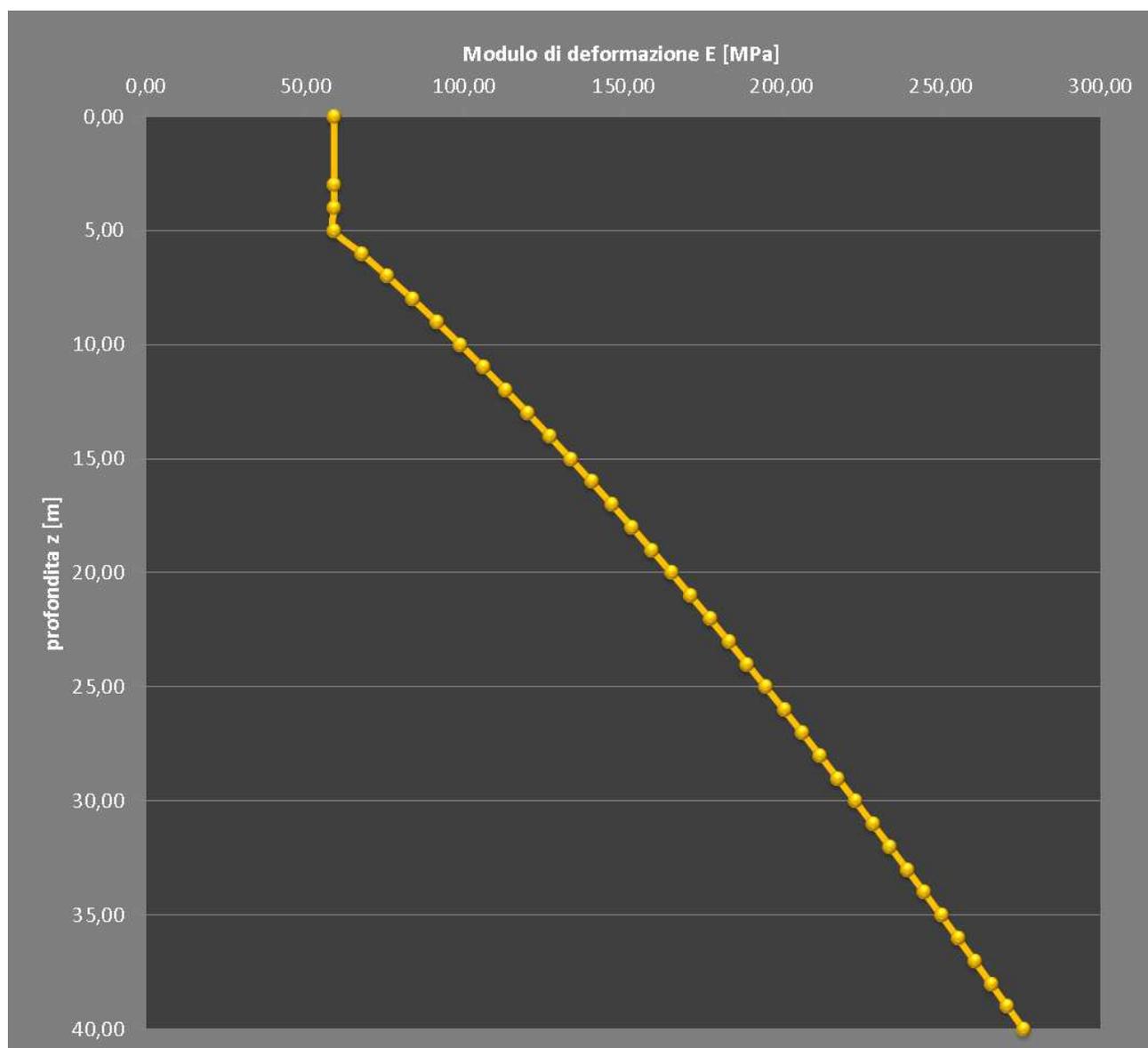
$\mu$  = coefficiente di Poisson

Secondo la caratterizzazione geologico\geotecnica desunta dalla campagna indagini eseguita, la zona in cui ricade l'opera presenta un modulo di deformazione che segue la legge  $E = 18 \cdot (z)^{0,7}$ , da cui  $E_{\min} = 59$  MPa ed  $E_{\max} = 270$  MPa (profondità di -40 m da intradosso fondazione).

Si prende in considerazione l'andamento del modulo di deformazione del terreno in direzione verticale, in quanto nella formula di Vesic, per definire il valore delle molle di reazione orizzontale, viene richiamato il valore  $E_s$  (modulo di Young).

Si riporta l'andamento grafico del modulo di deformazione:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011



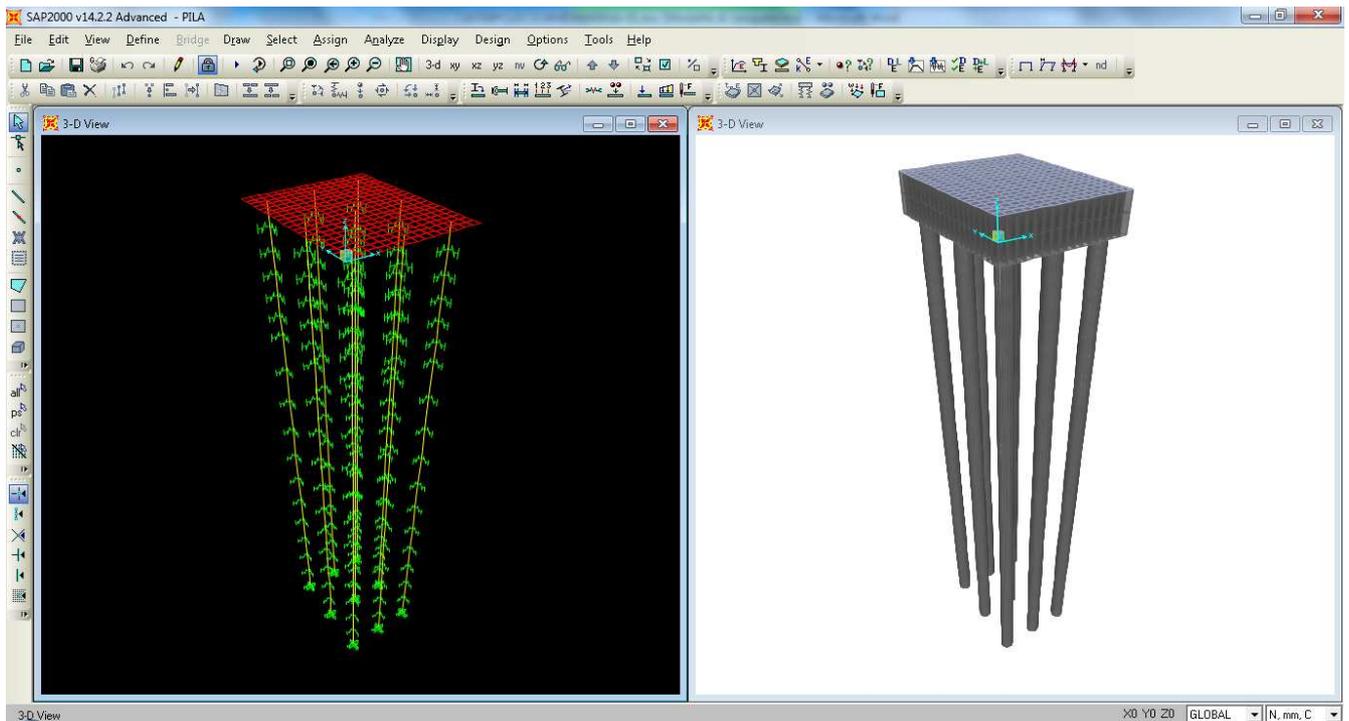
Di seguito si riportano le caratteristiche dei materiali e delle sezioni implementati nel modello.

TABLE: Material Properties 02 - Basic Mechanical Properties						
Material	UnitWeight	UnitMass	E1	G12	U12	A1
Text	KN/m3	KN-s2/m4	KN/m2	KN/m2	Unitless	1/C
C25/30	25	2,5	30500000	12708333	0,2	0,0000099

TABLE: Area Section Properties							
Section	Material	MatAngle	AreaType	Type	DrillDOF	Thickness	BendThick
Text	Text	Degrees	Text	Text	Yes/No	m	m
Sp220	C25/30	0	Shell	Shell-Thick	Yes	2,2	2,2

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Di seguito si riporta una rappresentazione grafica del modello implementato:



*F5. Modello agli EF del sistema terreno-struttura*

## 5.2.2 CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI A INTRADOSSO FONDAZIONE

Si riporta nel seguito il valore di ogni condizione elementare considerata a quota intradosso fondazione; più in particolare si adotta come origine delle azioni applicate il baricentro della pianta della platea di fondazione.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

		Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
		[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
permanenti strutturali	g <sub>1</sub>	0,00	0,00	-14.556,87	0,00	0,00	0,00
permanenti non strutturali	g <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
permanenti portati	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	-2.822,00	0,00	0,00	0,00
spinta del terreno	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
spinta dovuta al sovraccarico	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
spinta del terreno in fase sismica	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
distorsioni e presollecitazioni	ε <sub>1</sub>	0,00	0,00	-408,00	0,00	0,00	0,00
ritiro	ε <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
variazioni termiche	ε <sub>3</sub>	0,00	0,00	-114,00	0,00	0,00	0,00
viscosità	ε <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
carichi mobili	q <sub>1</sub> ·q <sub>2</sub>	0,00	0,00	-3.547,00	5.774,90	0,00	0,00
frenamento	q <sub>3</sub>	873,00	0,00	0,00	0,00	13.042,62	0,00
azione centrifuga	q <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
vento	q <sub>5</sub>	234,89	1.028,92	0,00	-13.649,38	1.960,16	0,00
sisma (direzione X)	q <sub>6</sub>	7.083,28	0,00	0,00	0,00	105.740,83	0,00
sisma (direzione Y)	q <sub>6</sub>	0,00	2.214,78	0,00	-31.919,80	0,00	0,00
sisma (direzione Z)	q <sub>6</sub>	0,00	0,00	-1.165,91	0,00	0,00	0,00
resistenze parassite	q <sub>7</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
veicoli in svio	q <sub>8</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
altre azioni variabili	q <sub>9</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Le azioni sismiche sono già state moltiplicate per i fattori di rotazione, assumendo come dimensionante la combinazione 1,00 Ex + 0,3 Ey + 0,3 Ez.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 5.2.3 Combinazioni per gli S.L.U.

Si applicano le combinazioni di carico del DM 14. 01 .2008.

La Tab. 5.1.V di [NT\_1] fornisce i valori dei coefficienti parziali delle azioni da assumere nell'analisi per la determinazione degli effetti delle azioni nelle verifiche agli stati limite ultimi; il significato dei simboli è il seguente:

- $\gamma_{G1}$  coefficiente parziale del peso proprio della struttura, del terreno e dell'acqua;
- $\gamma_{G2}$  coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali;
- $\gamma_Q$  coefficiente parziale delle azioni variabili da traffico;
- $\gamma_{Qi}$  coefficiente parziale delle azioni variabili.

Il coefficiente parziale della precompressione si assume pari a  $\gamma_P=1$ .

**Tabella 5.1.V** – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

		Coefficiente	EQU <sup>(1)</sup>	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	$\gamma_{G1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Carichi permanenti non strutturali <sup>(2)</sup>	favorevoli	$\gamma_{G2}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Carichi variabili da traffico	favorevoli	$\gamma_Q$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Carichi variabili	favorevoli	$\gamma_{Qi}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli	$\gamma_{\epsilon 1}$	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,00 <sup>(3)</sup>	1,00 <sup>(4)</sup>	1,00
Ritiro e viscosità, Variazioni termiche, Cedimenti vincolari	favorevoli	$\gamma_{\epsilon 2}, \gamma_{\epsilon 3}, \gamma_{\epsilon 4}$	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,20	1,20	1,00

<sup>(1)</sup> Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.  
<sup>(2)</sup> Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.  
<sup>(3)</sup> 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna  
<sup>(4)</sup> 1,20 per effetti locali

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		RELAZIONE GEOTECNICA	<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0

I valori dei coefficienti  $\phi_{0j}$ ,  $\phi_{1j}$  e  $\phi_{2j}$  per le diverse categorie di azioni sono riportati nella Tab. 5.1.VI di [NT\_1] e riportati nel seguito per completezza.

**Tabella 5.1.VI - Coefficienti  $\psi$  per le azioni variabili per ponti stradali e pedonali**

<i>Azioni</i>	<i>Gruppo di azioni (Tabella 5.1.IV)</i>	<i>Coefficiente <math>\psi_0</math> di combinazione</i>	<i>Coefficiente <math>\psi_1</math> (valori frequenti)</i>	<i>Coefficiente <math>\psi_2</math> (valori quasi permanenti)</i>
<i>Azioni da traffico (Tabella 5.1.IV)</i>	Schema 1 (Carichi tandem)	0,75	0,75	0,0
	Schemi 1, 5 e 6 (Carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,0
	Schemi 3 e 4 (carichi concentrati)	0,40	0,40	0,0
	Schema 2	0,0	0,75	0,0
	2	0,0	0,0	0,0
	3	0,0	0,0	0,0
<i>Vento <math>q_5</math></i>	4 (folla)	----	0,75	0,0
	5	0,0	0,0	0,0
	Vento a ponte scarico SLU e SLE	0,6	0,2	0,0
	Esecuzione	0,8	----	0,0
<i>Neve <math>q_5</math></i>	Vento a ponte carico	0,6		
	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
<i>Temperatura</i>	esecuzione	0,8	0,6	0,5
	$T_k$	0,6	0,6	0,5

Di seguito si riportano i valori delle sollecitazioni a intradosso fondazione per ogni combinazione di carico considerata, sia considerando la situazione in cui le azioni verticali sono massimizzate sia la condizione per cui le azioni verticali sono minimizzate.

### 5.2.3.1 Condizione azione verticali massime (Fz-max)

<b>RARA</b>		Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
		[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
permanenti strutturali	$g_1$	0,00	0,00	-14.556,87	0,00	0,00	0,00
permanenti non strutturali	$g_2$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
permanenti portati	$g_3$	0,00	0,00	-2.822,00	0,00	0,00	0,00
spinta del terreno	$g_3$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
spinta dovuta al sovraccarico	$g_3$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

RELAZIONE GEOTECNICA

Codice documento  
CS0462\_F0

Rev  
F0

Data  
20/06/2011

spinta del terreno in fase sismica	$g_3$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
distorsioni e presollecitazioni	$\varepsilon_1$	0,00	0,00	-408,00	0,00	0,00	0,00
ritiro	$\varepsilon_2$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
variazioni termiche	$\varepsilon_3$	0,00	0,00	-114,00	0,00	0,00	0,00
viscosità	$\varepsilon_4$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
carichi mobili	$q_1, q_2$	0,00	0,00	-3.547,00	5.774,90	0,00	0,00
frenamento	$q_3$	654,75	0,00	0,00	0,00	9.781,97	0,00
azione centrifuga	$q_4$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
vento	$q_5$	140,93	617,35	0,00	-8.189,63	1.176,10	0,00
sisma	$q_6$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
resistenze parassite	$q_7$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
veicoli in svio	$q_8$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
altre azioni variabili	$q_9$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

FR		Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
		[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
permanenti strutturali	$g_1$	0,00	0,00	-14.556,87	0,00	0,00	0,00
permanenti non strutturali	$g_2$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
permanenti portati	$g_3$	0,00	0,00	-2.822,00	0,00	0,00	0,00
spinta del terreno	$g_3$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
spinta dovuta al sovraccarico	$g_3$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
spinta del terreno in fase sismica	$g_3$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
distorsioni e presollecitazioni	$\varepsilon_1$	0,00	0,00	-408,00	0,00	0,00	0,00
ritiro	$\varepsilon_2$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
variazioni termiche	$\varepsilon_3$	0,00	0,00	-57,00	0,00	0,00	0,00
viscosità	$\varepsilon_4$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
carichi mobili	$q_1, q_2$	0,00	0,00	-2.660,25	4.331,18	0,00	0,00
frenamento	$q_3$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
azione centrifuga	$q_4$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
vento	$q_5$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
sisma	$q_6$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
resistenze parassite	$q_7$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
veicoli in svio	$q_8$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
altre azioni variabili	$q_9$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

QP		Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
		[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
permanenti strutturali	$g_1$	0,00	0,00	-14.556,87	0,00	0,00	0,00
permanenti non strutturali	$g_2$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

RELAZIONE GEOTECNICA

Codice documento  
CS0462\_F0

Rev  
F0

Data  
20/06/2011

permanenti portati	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	-2.822,00	0,00	0,00	0,00
spinta del terreno	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
spinta dovuta al sovraccarico	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
spinta del terreno in fase sismica	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
distorsioni e presollecitazioni	ε <sub>1</sub>	0,00	0,00	-408,00	0,00	0,00	0,00
ritiro	ε <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
variazioni termiche	ε <sub>3</sub>	0,00	0,00	-57,00	0,00	0,00	0,00
viscosità	ε <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
carichi mobili	q <sub>1</sub> -q <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
frenamento	q <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
azione centrifuga	q <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
vento	q <sub>5</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
sisma	q <sub>6</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
resistenze parassite	q <sub>7</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
veicoli in svio	q <sub>8</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
altre azioni variabili	q <sub>9</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

<b>EQU</b>		Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
		[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
permanenti strutturali	g <sub>1</sub>	0,00	0,00	-16.012,56	0,00	0,00	0,00
permanenti non strutturali	g <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
permanenti portati	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	-3.104,20	0,00	0,00	0,00
spinta del terreno	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
spinta dovuta al sovraccarico	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
spinta del terreno in fase sismica	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
distorsioni e presollecitazioni	ε <sub>1</sub>	0,00	0,00	-408,00	0,00	0,00	0,00
ritiro	ε <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
variazioni termiche	ε <sub>3</sub>	0,00	0,00	-82,08	0,00	0,00	0,00
viscosità	ε <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
carichi mobili	q <sub>1</sub> -q <sub>2</sub>	0,00	0,00	-4.788,45	7.796,12	0,00	0,00
frenamento	q <sub>3</sub>	883,91	0,00	0,00	0,00	13.205,65	0,00
azione centrifuga	q <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
vento	q <sub>5</sub>	211,40	926,03	0,00	-12.284,44	1.764,15	0,00
sisma	q <sub>6</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
resistenze parassite	q <sub>7</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
veicoli in svio	q <sub>8</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
altre azioni variabili	q <sub>9</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

<b>STR</b>	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
------------	----	----	----	----	----	----

RELAZIONE GEOTECNICA

*Codice documento*  
CS0462\_F0

*Rev*  
F0

*Data*  
20/06/2011

		[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
permanenti strutturali	g <sub>1</sub>	0,00	0,00	-19.651,78	0,00	0,00	0,00
permanenti non strutturali	g <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
permanenti portati	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	-3.809,70	0,00	0,00	0,00
spinta del terreno	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
spinta dovuta al sovraccarico	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
spinta del terreno in fase sismica	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
distorsioni e presollecitazioni	ε <sub>1</sub>	0,00	0,00	-408,00	0,00	0,00	0,00
ritiro	ε <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
variazioni termiche	ε <sub>3</sub>	0,00	0,00	-82,08	0,00	0,00	0,00
viscosità	ε <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
carichi mobili	q <sub>1</sub> -q <sub>2</sub>	0,00	0,00	-4.788,45	7.796,12	0,00	0,00
frenamento	q <sub>3</sub>	883,91	0,00	0,00	0,00	13.205,65	0,00
azione centrifuga	q <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
vento	q <sub>5</sub>	211,40	926,03	0,00	-12.284,44	1.764,15	0,00
sisma	q <sub>6</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
resistenze parassite	q <sub>7</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
veicoli in svio	q <sub>8</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
altre azioni variabili	q <sub>9</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

<b>GEO</b>		F <sub>x</sub>	F <sub>y</sub>	F <sub>z</sub>	M <sub>x</sub>	M <sub>y</sub>	M <sub>z</sub>
		[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
permanenti strutturali	g <sub>1</sub>	0,00	0,00	-14.556,87	0,00	0,00	0,00
permanenti non strutturali	g <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
permanenti portati	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	-2.822,00	0,00	0,00	0,00
spinta del terreno	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
spinta dovuta al sovraccarico	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
spinta del terreno in fase sismica	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
distorsioni e presollecitazioni	ε <sub>1</sub>	0,00	0,00	-408,00	0,00	0,00	0,00
ritiro	ε <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
variazioni termiche	ε <sub>3</sub>	0,00	0,00	-68,40	0,00	0,00	0,00
viscosità	ε <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
carichi mobili	q <sub>1</sub> -q <sub>2</sub>	0,00	0,00	-4.079,05	6.641,14	0,00	0,00
frenamento	q <sub>3</sub>	752,96	0,00	0,00	0,00	11.249,26	0,00
azione centrifuga	q <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
vento	q <sub>5</sub>	183,21	802,56	0,00	-10.646,51	1.528,93	0,00
sisma	q <sub>6</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
resistenze parassite	q <sub>7</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
veicoli in svio	q <sub>8</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>	<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0

altre azioni variabili	q <sub>9</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
------------------------	----------------	------	------	------	------	------	------

<b>SISMICA</b>		Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
		[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
permanenti strutturali	g <sub>1</sub>	0,00	0,00	-14.556,87	0,00	0,00	0,00
permanenti non strutturali	g <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
permanenti portati	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	-2.822,00	0,00	0,00	0,00
spinta del terreno	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
spinta dovuta al sovraccarico	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
spinta del terreno in fase sismica	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
distorsioni e presollecitazioni	ε <sub>1</sub>	0,00	0,00	-408,00	0,00	0,00	0,00
ritiro	ε <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
variazioni termiche	ε <sub>3</sub>	0,00	0,00	-57,00	0,00	0,00	0,00
viscosità	ε <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
carichi mobili	q <sub>1</sub> -q <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
frenamento	q <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
azione centrifuga	q <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
vento	q <sub>5</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
sisma (direzione X)	q <sub>6</sub>	7.083,28	0,00	0,00	0,00	105.740,83	0,00
sisma (direzione Y)	q <sub>6</sub>	0,00	2.214,78	0,00	-31.919,80	0,00	0,00
sisma (direzione Z)	q <sub>6</sub>	0,00	0,00	-1.165,91	0,00	0,00	0,00
resistenze parassite	q <sub>7</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
veicoli in svio	q <sub>8</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
altre azioni variabili	q <sub>9</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

#### RIEPILOGO DELLE AZIONI NELLE DIVERSE COMBINAZIONI

<b>RIEPILOGO</b>	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
<b>COMBINAZIONE RARA</b>	795,68	617,35	-21.447,87	-2.414,73	10.958,06	0,00
<b>COMBINAZIONE FR</b>	0,00	0,00	-20.504,12	4.331,18	0,00	0,00
<b>COMBINAZIONE QP</b>	0,00	0,00	-17.843,87	0,00	0,00	0,00
<b>COMBINAZIONE EQU</b>	1.095,31	926,03	-24.395,29	-4.488,32	14.969,80	0,00
<b>COMBINAZIONE STR</b>	1.095,31	926,03	-28.740,01	-4.488,32	14.969,80	0,00
<b>COMBINAZIONE GEO</b>	936,18	802,56	-21.934,32	-4.005,38	12.778,19	0,00
<b>COMBINAZIONE SISMICA</b>	7.083,28	2.214,78	-19.009,79	-31.919,80	105.740,83	0,00

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>	<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0

### 5.2.3.2 Condizione azione verticali minime (Fz-min)

<b>RARA</b>		Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
		[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
permanenti strutturali	g <sub>1</sub>	0,00	0,00	-14.556,87	0,00	0,00	0,00
permanenti non strutturali	g <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
permanenti portati	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	-2.822,00	0,00	0,00	0,00
spinta del terreno	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
spinta dovuta al sovraccarico	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
spinta del terreno in fase sismica	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
distorsioni e presollecitazioni	ε <sub>1</sub>	0,00	0,00	-408,00	0,00	0,00	0,00
ritiro	ε <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
variazioni termiche	ε <sub>3</sub>	0,00	0,00	-114,00	0,00	0,00	0,00
viscosità	ε <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
carichi mobili	q <sub>1</sub> -q <sub>2</sub>	0,00	0,00	-3.547,00	5.774,90	0,00	0,00
frenamento	q <sub>3</sub>	654,75	0,00	0,00	0,00	9.781,97	0,00
azione centrifuga	q <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
vento	q <sub>5</sub>	140,93	617,35	0,00	-8.189,63	1.176,10	0,00
sisma	q <sub>6</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
resistenze parassite	q <sub>7</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
veicoli in svio	q <sub>8</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
altre azioni variabili	q <sub>9</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

<b>FR</b>		Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
		[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
permanenti strutturali	g <sub>1</sub>	0,00	0,00	-14.556,87	0,00	0,00	0,00
permanenti non strutturali	g <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
permanenti portati	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	-2.822,00	0,00	0,00	0,00
spinta del terreno	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
spinta dovuta al sovraccarico	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
spinta del terreno in fase sismica	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
distorsioni e presollecitazioni	ε <sub>1</sub>	0,00	0,00	-408,00	0,00	0,00	0,00
ritiro	ε <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
variazioni termiche	ε <sub>3</sub>	0,00	0,00	-57,00	0,00	0,00	0,00
viscosità	ε <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
carichi mobili	q <sub>1</sub> -q <sub>2</sub>	0,00	0,00	-2.660,25	4.331,18	0,00	0,00
frenamento	q <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
azione centrifuga	q <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
vento	q <sub>5</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>	<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0

sisma	q <sub>6</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
resistenze parassite	q <sub>7</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
veicoli in svio	q <sub>8</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
altre azioni variabili	q <sub>9</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

<b>QP</b>		FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
		[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
permanenti strutturali	g <sub>1</sub>	0,00	0,00	-14.556,87	0,00	0,00	0,00
permanenti non strutturali	g <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
permanenti portati	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	-2.822,00	0,00	0,00	0,00
spinta del terreno	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
spinta dovuta al sovraccarico	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
spinta del terreno in fase sismica	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
distorsioni e presollecitazioni	ε <sub>1</sub>	0,00	0,00	-408,00	0,00	0,00	0,00
ritiro	ε <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
variazioni termiche	ε <sub>3</sub>	0,00	0,00	-57,00	0,00	0,00	0,00
viscosità	ε <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
carichi mobili	q <sub>1</sub> ·q <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
frenamento	q <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
azione centrifuga	q <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
vento	q <sub>5</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
sisma	q <sub>6</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
resistenze parassite	q <sub>7</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
veicoli in svio	q <sub>8</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
altre azioni variabili	q <sub>9</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

<b>EQU</b>		FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
		[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
permanenti strutturali	g <sub>1</sub>	0,00	0,00	-13.101,19	0,00	0,00	0,00
permanenti non strutturali	g <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
permanenti portati	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	-2.539,80	0,00	0,00	0,00
spinta del terreno	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
spinta dovuta al sovraccarico	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
spinta del terreno in fase sismica	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
distorsioni e presollecitazioni	ε <sub>1</sub>	0,00	0,00	-367,20	0,00	0,00	0,00
ritiro	ε <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
variazioni termiche	ε <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
viscosità	ε <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
carichi mobili	q <sub>1</sub> ·q <sub>2</sub>	0,00	0,00	-4.788,45	7.796,12	0,00	0,00

RELAZIONE GEOTECNICA

Codice documento  
CS0462\_F0

Rev  
F0

Data  
20/06/2011

frenamento	q <sub>3</sub>	883,91	0,00	0,00	0,00	13.205,65	0,00
azione centrifuga	q <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
vento	q <sub>5</sub>	211,40	926,03	0,00	-12.284,44	1.764,15	0,00
sisma	q <sub>6</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
resistenze parassite	q <sub>7</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
veicoli in svio	q <sub>8</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
altre azioni variabili	q <sub>9</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

STR		Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
		[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
permanenti strutturali	g <sub>1</sub>	0,00	0,00	-14.556,87	0,00	0,00	0,00
permanenti non strutturali	g <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
permanenti portati	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	-2.822,00	0,00	0,00	0,00
spinta del terreno	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
spinta dovuta al sovraccarico	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
spinta del terreno in fase sismica	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
distorsioni e presollecitazioni	ε <sub>1</sub>	0,00	0,00	-408,00	0,00	0,00	0,00
ritiro	ε <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
variazioni termiche	ε <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
viscosità	ε <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
carichi mobili	q <sub>1</sub> -q <sub>2</sub>	0,00	0,00	-4.788,45	7.796,12	0,00	0,00
frenamento	q <sub>3</sub>	883,91	0,00	0,00	0,00	13.205,65	0,00
azione centrifuga	q <sub>4</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
vento	q <sub>5</sub>	211,40	926,03	0,00	-12.284,44	1.764,15	0,00
sisma	q <sub>6</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
resistenze parassite	q <sub>7</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
veicoli in svio	q <sub>8</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
altre azioni variabili	q <sub>9</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

GEO		Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
		[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
permanenti strutturali	g <sub>1</sub>	0,00	0,00	-14.556,87	0,00	0,00	0,00
permanenti non strutturali	g <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
permanenti portati	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	-2.822,00	0,00	0,00	0,00
spinta del terreno	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
spinta dovuta al sovraccarico	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
spinta del terreno in fase sismica	g <sub>3</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
distorsioni e presollecitazioni	ε <sub>1</sub>	0,00	0,00	-408,00	0,00	0,00	0,00
ritiro	ε <sub>2</sub>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>	<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0

variazioni termiche	$\varepsilon_3$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
viscosità	$\varepsilon_4$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
carichi mobili	$q_1 \cdot q_2$	0,00	0,00	-4.079,05	6.641,14	0,00	0,00
frenamento	$q_3$	752,96	0,00	0,00	0,00	11.249,26	0,00
azione centrifuga	$q_4$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
vento	$q_5$	183,21	802,56	0,00	-10.646,51	1.528,93	0,00
sisma	$q_6$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
resistenze parassite	$q_7$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
veicoli in svio	$q_8$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
altre azioni variabili	$q_9$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

<b>SISMICA</b>		Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
		[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
permanenti strutturali	$g_1$	0,00	0,00	-14.556,87	0,00	0,00	0,00
permanenti non strutturali	$g_2$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
permanenti portati	$g_3$	0,00	0,00	-2.822,00	0,00	0,00	0,00
spinta del terreno	$g_3$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
spinta dovuta al sovraccarico	$g_3$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
spinta del terreno in fase sismica	$g_3$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
distorsioni e presollecitazioni	$\varepsilon_1$	0,00	0,00	-408,00	0,00	0,00	0,00
ritiro	$\varepsilon_2$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
variazioni termiche	$\varepsilon_3$	0,00	0,00	-57,00	0,00	0,00	0,00
viscosità	$\varepsilon_4$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
carichi mobili	$q_1 \cdot q_2$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
frenamento	$q_3$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
azione centrifuga	$q_4$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
vento	$q_5$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
sisma (direzione X)	$q_6$	7.083,28	0,00	0,00	0,00	105.740,83	0,00
sisma (direzione Y)	$q_6$	0,00	2.214,78	0,00	-31.919,80	0,00	0,00
sisma (direzione Z)	$q_6$	0,00	0,00	1.165,91	0,00	0,00	0,00
resistenze parassite	$q_7$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
veicoli in svio	$q_8$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
altre azioni variabili	$q_9$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		RELAZIONE GEOTECNICA	<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0

### RIEPILOGO DELLE AZIONI NELLE DIVERSE COMBINAZIONI

<b>RIEPILOGO</b>	Fx	Fy	Fz	Mx	My	Mz
	[kN]	[kN]	[kN]	[kNm]	[kNm]	[kNm]
<b>COMBINAZIONE RARA</b>	795,68	617,35	-21.447,87	-2.414,73	10.958,06	0,00
<b>COMBINAZIONE FR</b>	0,00	0,00	-20.504,12	4.331,18	0,00	0,00
<b>COMBINAZIONE QP</b>	0,00	0,00	-17.843,87	0,00	0,00	0,00
<b>COMBINAZIONE EQU</b>	1.095,31	926,03	-20.796,64	-4.488,32	14.969,80	0,00
<b>COMBINAZIONE STR</b>	1.095,31	926,03	-22.575,32	-4.488,32	14.969,80	0,00
<b>COMBINAZIONE GEO</b>	936,18	802,56	-21.865,92	-4.005,38	12.778,19	0,00
<b>COMBINAZIONE SISMICA</b>	7.083,28	2.214,78	-16.677,96	-31.919,80	105.740,83	0,00

#### 5.2.4 VERIFICHE GEOTECNICHE

In accordo con quanto indicato al paragrafo 5.1 si conducono ora le verifiche geotecniche fondamentali:

- Verifica di resistenza del palo singolo
- Verifica di resistenza del plinto
- Verifica di capacità portante del palo singolo

Il comportamento dei pali in gruppo  $E_g$  viene valutato secondo l'equazione di Converse-Labarre:

$$E_g = 1 - \theta \cdot \frac{(n-1) \cdot m + (m-1) \cdot n}{90 \cdot m \cdot n}$$

Dove

$m$  è il numero di colonne di pali

$n$  è il numero di righe di pali

$$\theta = \arctan\left(\frac{D}{s}\right) = 18,40^\circ$$

Da cui si ottiene:

$$E_g = 1 - 18,40 \cdot \frac{(3-1) \cdot 3 + (3-1) \cdot 3}{90 \cdot 12} = 0,795$$

Pertanto la capacità complessiva della fondazione dovrà essere valutata come  $Q_{ult} \cdot n_p \cdot E_g$ , con  $Q_{ult}$  capacità portante del singolo palo,  $n_p$  numero di pali ed  $E_g$  efficienza di gruppo.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		Codice documento CS0462_F0	Rev F0	Data 20/06/2011

#### 5.2.4.1 VERIFICHE DI RESISTENZA DEL PALO

Di seguito si riportano le verifiche delle sezioni più significative e per le Combinazioni di carico risultate più critiche. I calcoli di verifica sono effettuati con il metodo degli Stati Limite, applicando il combinato D. M.14.01.2008 con l'UNI EN 1992 (Eurocodice 2).

##### Sezione incastro palo-plinto

Le sollecitazioni per la sezione considerata sono:

COMB	N (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)	Fx (kN)	Fy (kN)
SIS	-5700,00	305,00	954,00	789,00	235,00
STR	2000,00	175,00	140,00	123,00	104,00

Si prevede un'armatura a flessione pari a:

$\phi$  26 passo 7,5 cm a 7 cm da esterno sezione (38 barre disposte radialmente)

Si prevede un'armatura a taglio pari a:

si prevede una spirale  $\phi$  12 passo 10 cm nei primi metri di palo e passo 25 cm nella restante parte.

##### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata							
N	Sforzo normale assegnato [in daN] (positivo se di compressione)							
Mx	Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia							
My	Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia							
N ult	Sforzo normale ultimo [in daN] nella sezione (positivo se di compress.)							
Mx ult	Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia							
My ult	Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia							
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult, Mx ult, My ult) e (N, Mx, My) Verifica positiva se tale rapporto risulta $\geq 1.000$							

N.Comb.	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.
1	S	-570000	30500	95400	-570016	32154	100249	1,051
2	S	200000	17500	14000	200025	249471	199457	14,252

##### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione							
ec 3/7	Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace							
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,0 sez.)							
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,0 sez.)							
ef min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)							
Xf min	Ascissa in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,0 sez.)							
Yf min	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,0 sez.)							
ef max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)							
Xf max	Ascissa in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,0 sez.)							
Yf max	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,0 sez.)							

N.Comb.	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	ef min	Xf min	Yf min	ef max	Xf max	Yf max
---------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>	<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0

1	0,00124	-0,00389	47,6	15,2	0,00051	42,7	10,8	-0,01000	-42,7	-10,8
2	0,00350	-0,00054	31,2	39,0	0,00293	27,0	34,7	-0,00537	-27,0	-34,7

#### POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a	Coeff. a nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,0 gen.
b	Coeff. b nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,0 gen.
c	Coeff. c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,0 gen.
x/d	Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N. Comb.	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0,000113965	0,000036435	-0,004745429		
2	0,000058953	0,000073691	-0,001218503		

#### Elementi che non richiedono armatura a taglio

$f_{ck} =$	25	Mpa	
$d =$	900	mm	altezza utile
$A_{sl} =$	4710	mm <sup>2</sup>	armatura longitudinale tesa
$b_w =$	1000	mm	larghezza minima della sezione in zona tesa
$A_c =$	900000	mm <sup>2</sup>	area sezione calcestruzzo
$N_{ed} =$	0	kN	forza assiale nella sezione (positive le compressioni)
$C_{rd,c} =$	0,12		
$k_1 =$	0,15		
$k =$	1,4714	$\leq$	2
$\rho_1 =$	0,005233333	$\leq$	0,02
$\sigma_{cp} =$	0,0000	$<$	2,8333
$V_{min} =$	0,3123		
$V_{Rd,c} =$	374,45	kN	formula estesa
$V_{Rd,c} =$	281,11	kN	valore minimo di resistenza

#### Elementi che richiedono armatura a taglio

precompresso?	no		
$\sigma_{cp} =$	-	Mpa	tensione media di compressione nel cls (positiva)
$\alpha =$	90	°	1,57 radianti
$\theta =$	21,8	°	0,38 radianti
$b_w =$	1000	mm	larghezza minima della sezione
$d =$	900	mm	altezza utile
$z =$	810	mm	braccio della coppia interna
$A_{sw} =$	226,08	mm <sup>2</sup>	area sezione trasversale armatura a taglio
$s =$	100	mm	passo staffe
$f_{ywd} =$	391,30	Mpa	tensione di progetto delle armature a taglio
$\alpha_{cw} =$	1,0000		
$v_1 =$	0,54		
$f_{cd} =$	14,17	Mpa	
$V_{Rd,s} =$	1791,57	kN	resistenza lato acciaio

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$V_{Rd,max} = 2136,61$  kN resistenza lato calcestruzzo  
 $0,885 \leq 3,825$  verifica di duttilità per rottura lato acciaio

### Sezione a – 10 m da incastro palo-plinto

Le sollecitazioni per la sezione considerata sono:

COMB	N (kN)	Mx (kNm)	My (kNm)	Fx (kN)	Fy (kN)
SIS	-4700,00	15,00	60,00	160,00	100,00
STR	2200,00	5,00	10,00	25,00	20,00

Si prevede un'armatura a flessione pari a:

$\phi 26$  passo 10 cm a 7 cm da esterno sezione (26 barre disposte radialmente)

Si prevede un'armatura a taglio pari a:

si prevede una spirale  $\phi 12$  passo 10 cm nei primi metri di palo e passo 25 cm nella restante parte.

#### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata  
N Sforzo normale assegnato [in daN] (positivo se di compressione)  
Mx Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
N ult Sforzo normale ultimo [in daN] nella sezione (positivo se di compress.)  
Mx ult Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia  
My ult Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia  
Mis.Sic. Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult, Mx ult, My ult) e (N, Mx, My)  
Verifica positiva se tale rapporto risulta  $\geq 1.000$

N.Comb.	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.
1	S	-470000	1500	6000	-469997	9906	39460	6,578
2	S	220000	1000	500	220011	224088	111771	223,979

#### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max Deform. unit. massima del conglomerato a compressione  
ec 3/7 Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace  
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,0 sez.)  
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,0 sez.)  
ef min Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)  
Xf min Ascissa in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,0 sez.)  
Yf min Ordinata in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,0 sez.)  
ef max Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)  
Xf max Ascissa in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,0 sez.)  
Yf max Ordinata in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,0 sez.)

N.Comb.	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	ef min	Xf min	Yf min	ef max	Xf max	Yf max
1	0,00042	-0,00434	48,5	12,1	-0,00028	41,1	15,6	-0,01000	-41,1	-15,6
2	0,00350	-0,00070	22,4	44,7	0,00291	20,4	39,0	-0,00570	-20,4	-39,0

#### POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

a      Coeff. a nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,0 gen.  
b      Coeff. b nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,0 gen.  
c      Coeff. c nell'eq. dell'asse neutro  $aX+bY+c=0$  nel rif. X,Y,0 gen.  
x/d    Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless.(travi)  
C.Rid. Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N. Comb.	a	b	c	x/d	C.Rid.
1	0,000107919	0,000026980	-0,005139167		
2	0,000043795	0,000087589	-0,001396386		

#### Elementi che non richiedono armatura a taglio

$f_{ck} =$	25	Mpa	
$d =$	900	mm	altezza utile
$A_{sl} =$	4710	mm <sup>2</sup>	armatura longitudinale tesa
$b_w =$	1000	mm	larghezza minima della sezione in zona tesa
$A_c =$	900000	mm <sup>2</sup>	area sezione calcestruzzo
$N_{ed} =$	0	kN	forza assiale nella sezione (positive le compressioni)
$C_{rd,c} =$	0,12		
$k_1 =$	0,15		
$k =$	1,4714	≤	2
$\rho_1 =$	0,005233333	≤	0,02
$\sigma_{cp} =$	0,0000	<	2,8333
$V_{min} =$	0,3123		
$V_{Rd,c} =$	374,45	kN	formula estesa
$V_{Rd,c} =$	281,11	kN	valore minimo di resistenza

#### 5.2.4.2 VERIFICHE DI RESISTENZA DEL PLINTO

Di seguito si riportano le verifiche delle sezioni più significative e per le Combinazioni di carico risultate più critiche (combinazione SISMICA).

Cautelativamente si analizza il plinto, schematizzandolo incastrato al fusto della pila e soggetto al carico verticale del palo più sollecitato.

Il palo più caricato trasmette, ai fini della flessione del plinto, una forza pari a  $P = 10000$  kN.

La distanza tra il punto di applicazione del carico e la sezione d'incastro è pari a  $d = 2,11$  m.

Le sollecitazioni agenti sono quindi pari a :

$$M = P \cdot d = 21100 \text{ kNm}$$

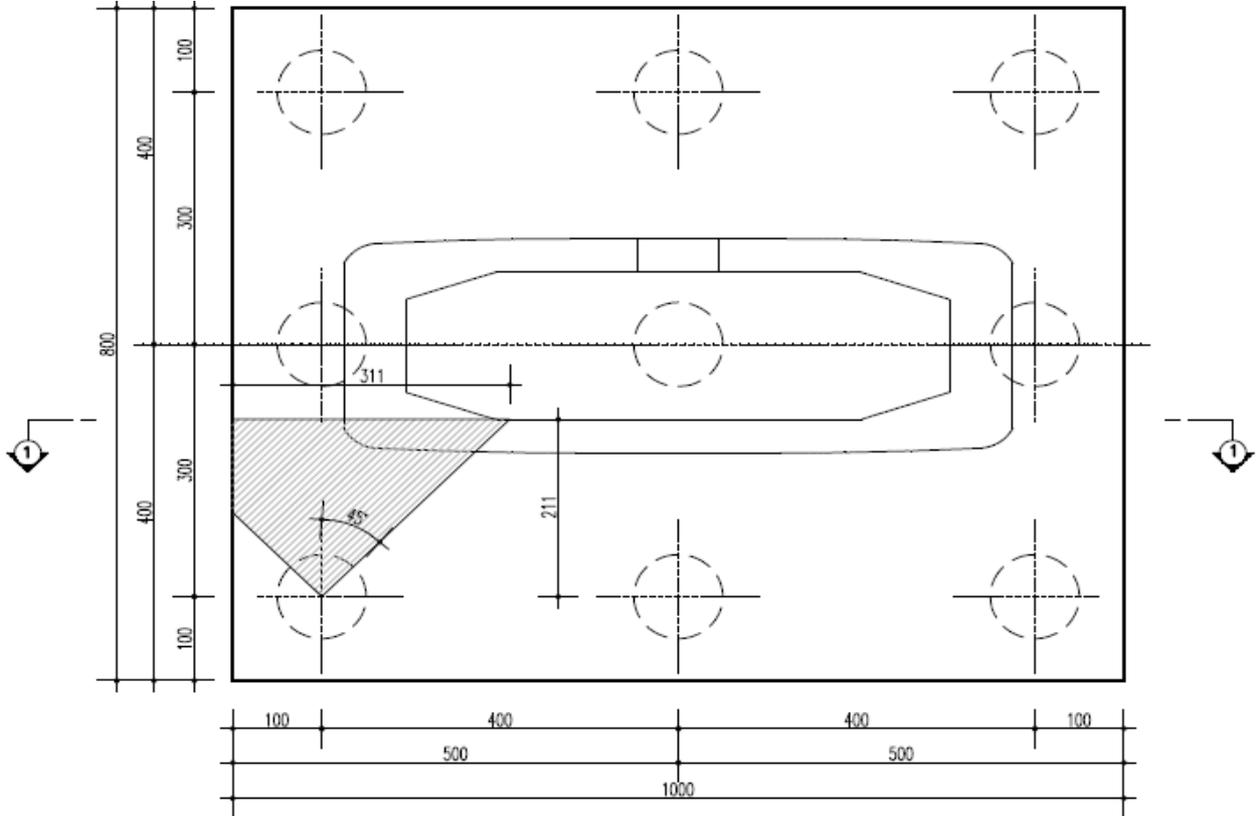
$$T = P = 10000 \text{ kN}$$

Ipotizzando una diffusione delle tensioni a 45°, la sezione di verifica (sezione 1-1 nella figura seguente) ha una larghezza pari a  $b = 3,11$  m, da cui si ottiene:

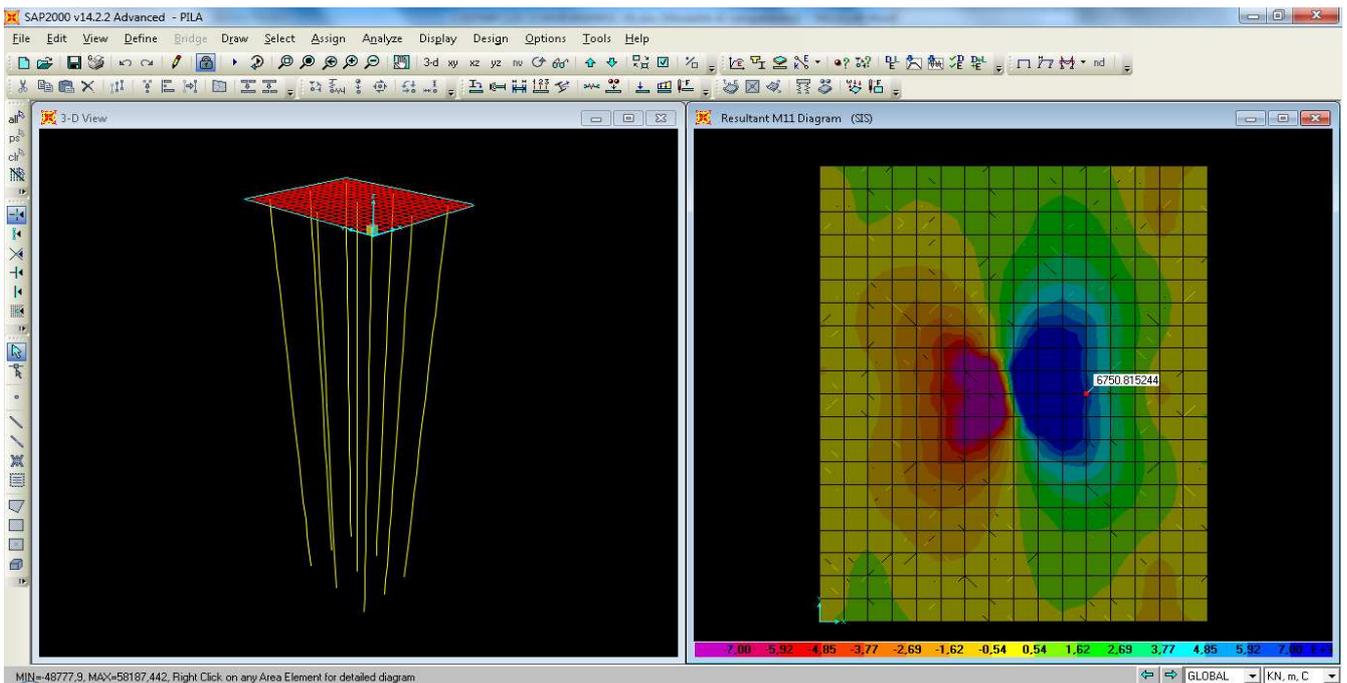
$$M_d = M / b = 6785 \text{ kNm/m}$$

$$T_d = T / b = 3215 \text{ kN/m}$$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011



I valori ipotizzati dalla schematizzazione semplificata sono in buon accordo con quanto ottenuto dal modello agli EF, di cui riporto la rappresentazione grafica dell'andamento delle tensioni:



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

I calcoli di verifica sono effettuati con il metodo degli Stati Limite, applicando il combinato D. M.14.01.2008 con l'UNI EN 1992 (Eurocodice 2).

Si prevede un'armatura a flessione pari a:

$\phi$  26 passo 10 cm a 7 cm da esterno sezione (zona compressa)

$\phi$  26 passo 10 cm a 7 cm da esterno sezione (zona tesa)

$\phi$  26 passo 10 cm a 14 cm da esterno sezione (zona tesa)

Si prevede un'armatura a taglio pari a:

si prevedono staffe  $\phi$ 14 passo 20 cm

#### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - RISULTATI PRESSO-TENSO FLESSIONE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
N	Sforzo normale assegnato [in daN] (positivo se di compressione)
Mx	Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My	Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
N ult	Sforzo normale ultimo [in daN] nella sezione (positivo se di compress.)
Mx ult	Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse x princ. d'inerzia
My ult	Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inerzia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult, Mx ult, My ult) e (N, Mx, My) Verifica positiva se tale rapporto risulta $\geq 1.000$

N.Comb.	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.
1	S	0	678500	0	0	889907	0	1,312

#### METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

ec max	Deform. unit. massima del conglomerato a compressione
ec 3/7	Deform. unit. del conglomerato nella fibra a 3/7 dell'altezza efficace
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,0 sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,0 sez.)
ef min	Deform. unit. minima nell'acciaio (negativa se di trazione)
Xf min	Ascissa in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,0 sez.)
Yf min	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,0 sez.)
ef max	Deform. unit. massima nell'acciaio (positiva se di compress.)
Xf max	Ascissa in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,0 sez.)
Yf max	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,0 sez.)

N.Comb.	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	ef min	Xf min	Yf min	ef max	Xf max	Yf max
1	0,00161	-0,00353	-50,0	220,0	0,00123	-43,0	213,0	-0,01000	-43,0	7,0

#### POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a	Coeff. a nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,0 gen.
b	Coeff. b nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,0 gen.
c	Coeff. c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,0 gen.
x/d	Rapp. di duttilità a rottura in presenza di sola fless. (travi)
C.Rid.	Coeff. di riduz. momenti per sola flessione in travi continue

N.Comb.	a	b	c	x/d	C.Rid.
1					

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

-----

1      0,000000000    0,000054494    -0,010381455      0,138      0,700

**ARMATURE A TAGLIO**

Diametro staffe:                    14 mm  
Passo staffe:                        20,0 cm                    [Passo massimo di normativa = 20,5 cm]  
N.Bracci staffe:                      2

**METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - VERIFICHE A TAGLIO**

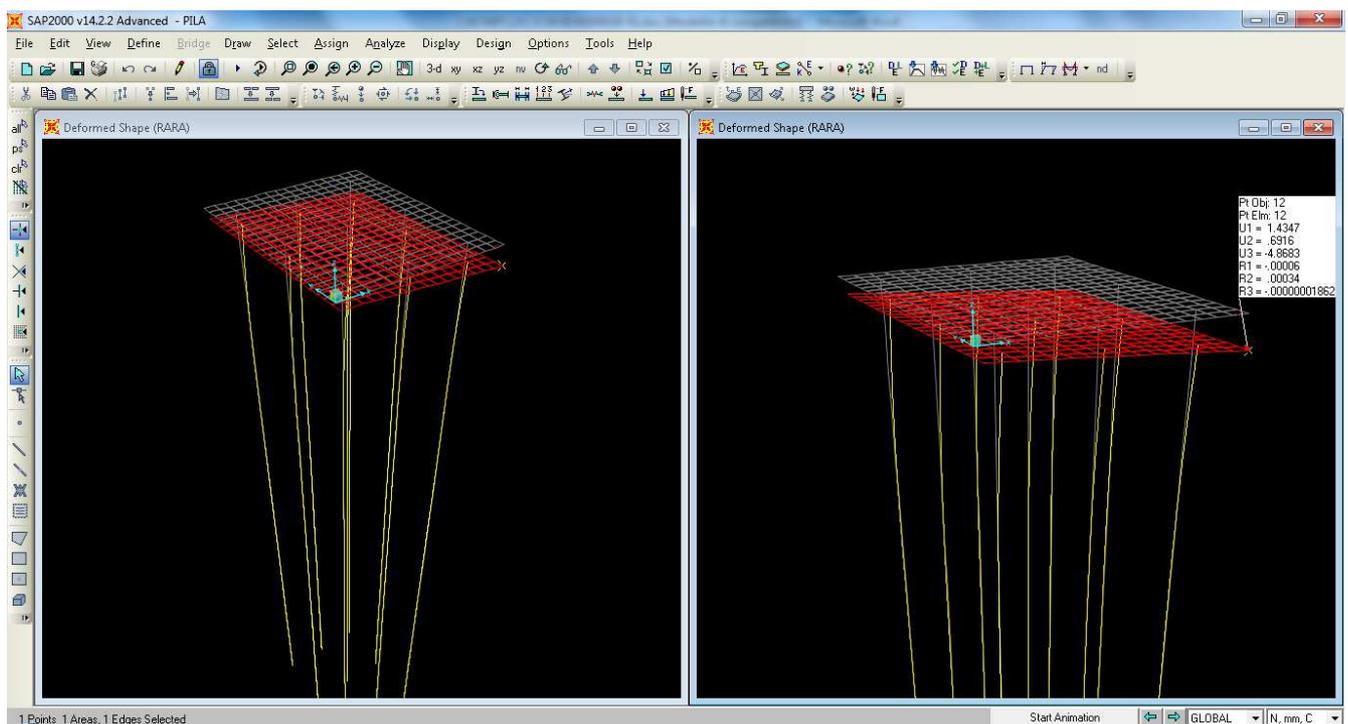
Ver                    S = comb. verificata a taglio / N = comb. non verificata  
Vsdu                  Taglio agente [daN] = proiez. di Vx e Vy sulla normale all'asse neutro  
Vcd                    Taglio resistente ultimo [daN] lato conglomerato compresso  
Vwd                    Taglio resistente [daN] assorbito dalle staffe  
Dmed                  Altezza utile media pesata [cm] valutata lungo strisce ortog. all'asse neutro.  
Vengono prese nella media le strisce con almeno un estremo compresso.  
I pesi della media sono costituiti dalle stesse lunghezze delle strisce.  
bw                     Larghezza media resistente a taglio [cm] misurate parallel. all'asse neutro.  
E' data dal rapporto tra l'area delle sopradette strisce resistenti e Dmed.  
Teta                   Angolo [gradi sessadec.] di inclinazione dei puntoni di conglomerato  
Acw                   Coefficiente maggiorativo della resistenza a taglio per compressione  
Ast                    Area staffe+legature strettam. necessarie a taglio per metro di pil.[cm<sup>2</sup>/m]  
A\_Eff                  Area staffe+legature efficaci nella direzione del taglio di combinaz.[cm<sup>2</sup>/m]  
(Tra parentesi è indicata la quota dell'area relativa alle sole legature.  
L'area della legatura è ridotta col fattore L/d\_max con L=lungh.legat.proietta-  
ta sulla direz. del taglio e d\_max= massima altezza utile nella direz.del taglio)

N.Comb.	Ver	Vsdu	Vcd	Vwd	Dmed	bw	Teta	Acw	Ast	A_Eff
1	S	321500	600219	577362	213,0	100,0	21,80°	1,000	17,1	30,8(0,0)

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 5.2.4.3 Verifiche di deformabilità

Dal modello di calcolo analizzato, osservando la combinazione SLS – RARA, si sono ottenuti degli spostamenti massimi in direzioni longitudinale X pari a 2 mm:



Tale valore è ampiamente all'interno del tratto a comportamento lineare del terreno, pertanto l'assunzione fatta di trascurare il campo plastico risulta corretta. Inoltre si conferma la validità dell'assunzione del regime di spinta attivo durante l'azione sismica.

Gli spostamenti verticali massimi invece sono dell'ordine dei 5 mm, valore ammissibile per le ipotesi fatte e la tipologia di opera in esame.

### 5.2.4.4 Verifica di capacità portante

Dalle analisi condotte sul modello agli elementi finiti, si ottengono i seguenti valori max\min di sforzo agente nel singolo palo (negativo lo sforzo di trazione):

- Nmax = 10000 kN (azione di compressione - combinazione SIS)
- Nmin = -5700 kN (azione di trazione - combinazione SIS)

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Come già indicato al paragrafo 5.1, la resistenza caratteristica  $R_k$  del palo singolo può essere dedotta da metodi di calcolo analitici, dove  $R_k$  è calcolata a partire dai valori caratteristici dei parametri geotecnici, oppure con l'impiego di relazioni empiriche che utilizzino direttamente i risultati di prove in sito (prove penetrometriche, pressiometriche, ecc.);

Con riferimento alle procedure analitiche che prevedano l'utilizzo dei parametri geotecnici o dei risultati di prove in sito, il valore caratteristico della resistenza  $R_{c,k}$  (o  $R_{t,k}$ ) è dato dal minore dei valori ottenuti applicando alle resistenze calcolate  $R_{c,cal}$  ( $R_{t,cal}$ ) i fattori di correlazione  $\xi$  riportati nella Tab. 6.4.IV, in funzione del numero  $n$  di verticali di indagine:

$$R_{c,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{c,cal})_{media}}{\xi_3}, \frac{(R_{c,cal})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

$$R_{t,k} = \text{Min} \left\{ \frac{(R_{t,cal})_{media}}{\xi_3}, \frac{(R_{t,cal})_{min}}{\xi_4} \right\}$$

**Tabella 6.4.IV** – Fattori di correlazione  $\xi$  per la determinazione della resistenza caratteristica in funzione del numero di verticali indagate.

Numero di verticali indagate	1	2	3	4	5	7	$\geq 10$
$\xi_3$	1,70	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40
$\xi_4$	1,70	1,55	1,48	1,42	1,34	1,28	1,21

Per l'opera in oggetto si considera presente una sola verticale d'indagine per fondazione, pertanto si assume  $\xi = 1,7$ .

I coefficienti parziali  $\gamma_R$  per il calcolo dei pali di fondazione, avendo adottato pali trivellati e l'**approccio 2** di calcolo, sono:

- $\gamma_b = 1,35$
- $\gamma_s = 1,15$
- $\gamma_{st} = 1,25$

Il valore della resistenza di progetto  $R_d$  viene quindi ottenuto come:

$$R_{d,c} = \frac{R_{k,b}}{\xi \cdot \gamma_b} + \frac{R_{k,l}}{\xi \cdot \gamma_s} - W = \frac{q_b \cdot A_p}{\xi \cdot \gamma_b} + \frac{\sum q_{s,i} \cdot A_i}{\xi \cdot \gamma_s} - W \quad \text{resistenza di progetto, pali in compressione}$$

$$R_{d,t} = \frac{R_{k,lt}}{\xi \cdot \gamma_{st}} + W = \frac{\sum q_{s,i} \cdot A_i}{\xi \cdot \gamma_{st}} + W \quad \text{resistenza di progetto, pali in trazione}$$

dove:

$$q_{si} = q_{ai} + \mu_i \cdot k_i \cdot \sigma'_{vi}$$

$$q_p = c \cdot N_c + q' \cdot N_q$$

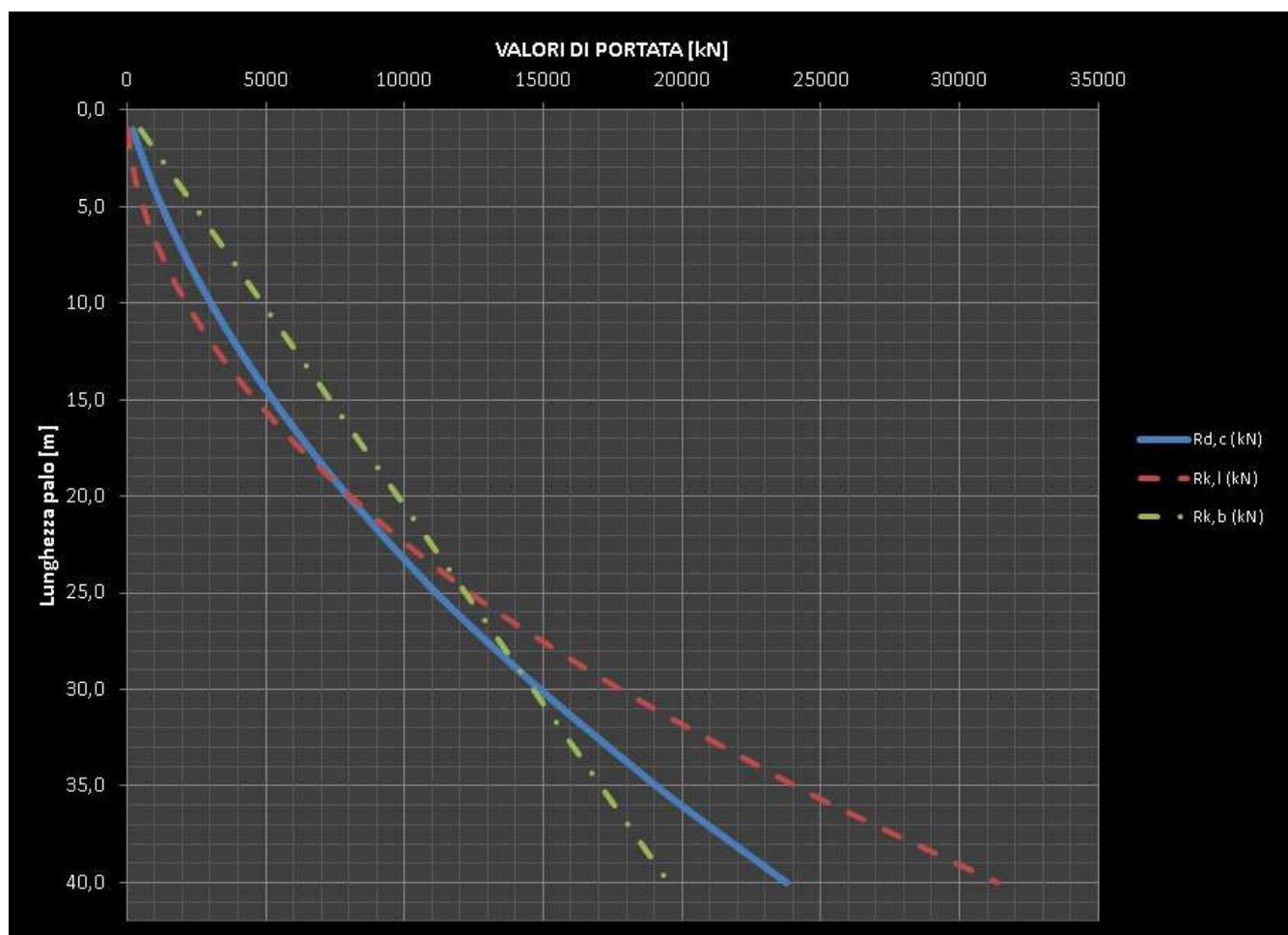
		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- $q_{ai}$  = Adesione laterale pari a  $\alpha c'$   
 $\mu_i$  = Coefficiente di attrito terreno/palo pari a  $\tan \phi$   
 $k_i$  = Rapporto tra tensione normale sulla superficie laterale del palo alla profondità  $z$  e tensione verticale  $\sigma_v$  agente alla stessa profondità, cautelativamente assunto pari a 0,7 (in compressione) e 0,5 (in trazione)  
 $\sigma'_{vi}$  = Pressione efficace media sul tratto di palo  
 $A_{li}$  = Area della superficie laterale del tratto di palo  
 $c'$  = Coesione del terreno  
 $q'_l$  = Pressione efficace sul piano orizzontale passante per la punta del palo  
 $N_q$  = Fattori adimensionali di capacità portante funzioni dell'angolo di attrito del terreno  $\phi$  e del rapporto tra lunghezza e diametro del palo.  
 $N_c$  = Fattore di capacità portante (terre coesive)  
 $A_p$  = Area della punta  
 $W$  = peso proprio del palo

Nel seguito si riportano in forma tabellare e grafica i valori di capacità portante in funzione della lunghezza del palo per azioni di compressione:

H (m)	L (m)	H <sub>c</sub> (m)	Δh (m)	γ (Kn/m³)	σ <sub>vo</sub> (KPa)	U <sub>o</sub> (KPa)	σ'_{vo} (KPa)	N <sub>spt</sub>	C <sub>u</sub> (KPa)	φ (°)	α	K <sub>i</sub>	N <sub>c</sub>	N <sub>q</sub>	Al (m²)	Ap (m²)	R <sub>k,l</sub> (kN)	R <sub>k,b</sub> (kN)	R <sub>d,c</sub> (kN)
1,0	1,0	0,5	1,0	20	20	-	20			40,0	-	0,7	-	31,1	3,14	0,79	37	488	212
2,0	2,0	1,5	1,0	20	40	-	40			40,0	-	0,7	-	31,1	3,14	0,79	111	976	443
3,0	3,0	2,5	1,0	20	60	-	60			40,0	-	0,7	-	31,1	3,14	0,79	221	1464	692
4,0	4,0	3,5	1,0	20	80	-	80			40,0	-	0,7	-	31,1	3,14	0,79	369	1952	961
6,0	6,0	5,0	2,0	20	120	-	120			40,0	-	0,7	-	31,1	6,28	0,79	812	2928	1573
8,0	8,0	7,0	2,0	20	160	-	160			40,0	-	0,7	-	31,1	6,28	0,79	1402	3904	2261
10,0	10,0	9,0	2,0	20	200	-	200			40,0	-	0,7	-	31,1	6,28	0,79	2140	4880	3025
12,0	12,0	11,0	2,0	20	240	-	240			40,0	-	0,7	-	31,1	6,28	0,79	3026	5856	3864
14,0	14,0	13,0	2,0	20	280	-	280			40,0	-	0,7	-	31,1	6,28	0,79	4059	6832	4779
16,0	16,0	15,0	2,0	20	320	-	320			40,0	-	0,7	-	31,1	6,28	0,79	5240	7808	5769
18,0	18,0	17,0	2,0	20	360	-	360			40,0	-	0,7	-	31,1	6,28	0,79	6569	8784	6834
20,0	20,0	19,0	2,0	20	400	-	400			40,0	-	0,7	-	31,1	6,28	0,79	8045	9760	7975
22,0	22,0	21,0	2,0	20	440	-	440			40,0	-	0,7	-	31,1	6,28	0,79	9669	10736	9192
24,0	24,0	23,0	2,0	20	480	-	480			40,0	-	0,7	-	31,1	6,28	0,79	11440	11712	10484
26,0	26,0	25,0	2,0	20	520	-	520			40,0	-	0,7	-	31,1	6,28	0,79	13359	12688	11851
30,0	30,0	28,0	4,0	20	600	-	600			40,0	-	0,7	-	31,1	12,57	0,79	17787	14640	14889
34,0	34,0	32,0	4,0	20	680	-	680			40,0	-	0,7	-	31,1	12,57	0,79	22806	16592	18228
36,0	36,0	35,0	2,0	20	720	-	720			40,0	-	0,7	-	31,1	6,28	0,79	25463	17568	19973
40,0	40,0	38,0	4,0	20	800	-	800			40,0	-	0,7	-	31,1	12,57	0,79	31367	19520	23765

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		RELAZIONE GEOTECNICA	<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0

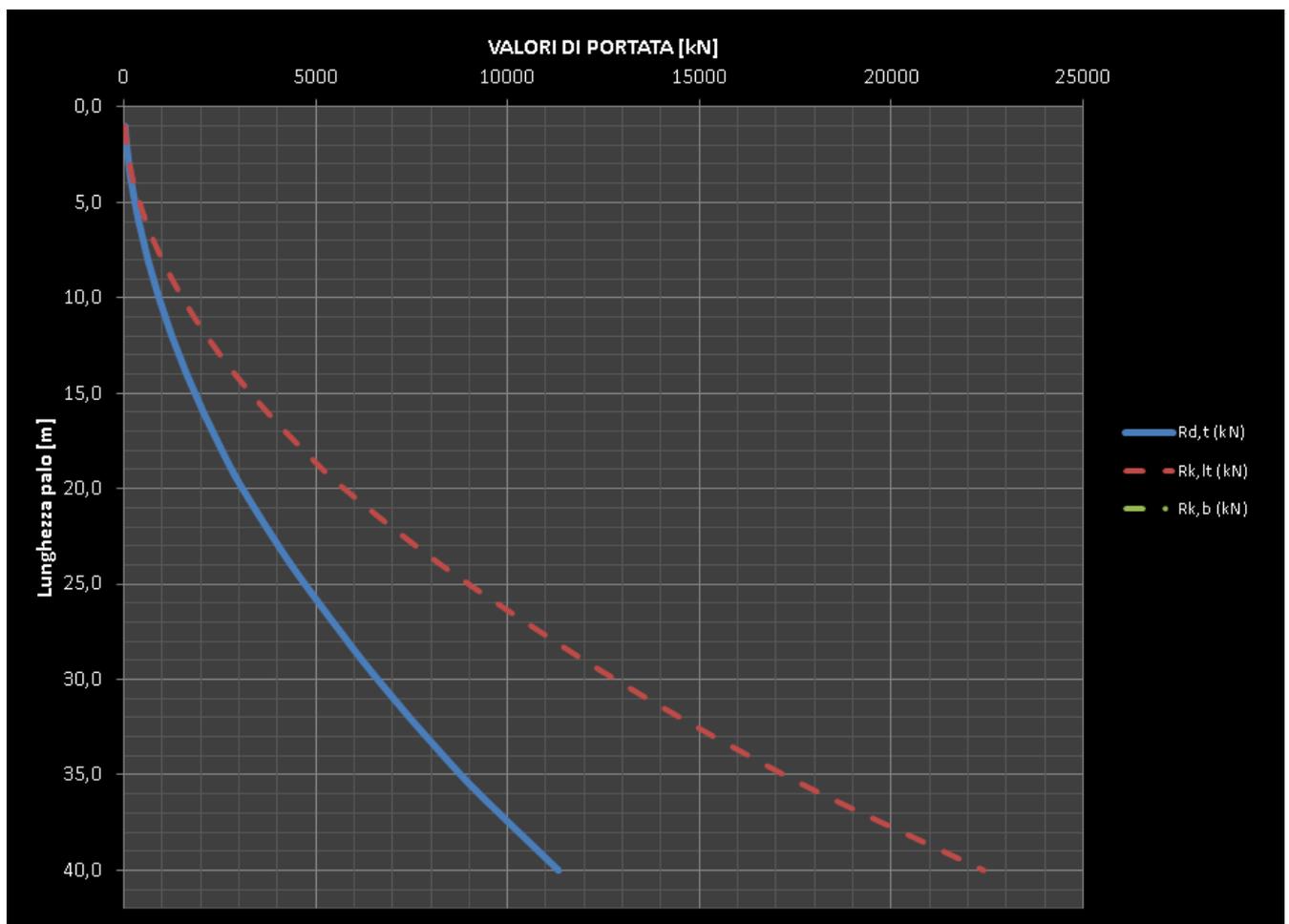


Nel seguito si riportano in forma tabellare e grafica i valori di capacità portante in funzione della lunghezza del palo per azioni di trazione:

H (m)	L (m)	H <sub>c</sub> (m)	Δh (m)	γ (Kn/m <sup>3</sup> )	σ <sub>vo</sub> (KPa)	U <sub>o</sub> (KPa)	σ' <sub>vo</sub> (KPa)	N <sub>spt</sub>	Cu (KPa)	φ (°)	α	K <sub>i</sub>	N <sub>c</sub>	N <sub>q</sub>	Al (m <sup>2</sup> )	Ap (m <sup>2</sup> )	R <sub>k,lt</sub> (kN)	R <sub>k,b</sub> (kN)	R <sub>d,t</sub> (kN)
1,0	1,0	0,5	1,0	20	20	-	20			40,0	-	0,5	-	31,1	3,14	0,79	26		32
2,0	2,0	1,5	1,0	20	40	-	40			40,0	-	0,5	-	31,1	3,14	0,79	79		76
3,0	3,0	2,5	1,0	20	60	-	60			40,0	-	0,5	-	31,1	3,14	0,79	158		133
4,0	4,0	3,5	1,0	20	80	-	80			40,0	-	0,5	-	31,1	3,14	0,79	264		203
6,0	6,0	5,0	2,0	20	120	-	120			40,0	-	0,5	-	31,1	6,28	0,79	580		391
8,0	8,0	7,0	2,0	20	160	-	160			40,0	-	0,5	-	31,1	6,28	0,79	1002		628
10,0	10,0	9,0	2,0	20	200	-	200			40,0	-	0,5	-	31,1	6,28	0,79	1529		916
12,0	12,0	11,0	2,0	20	240	-	240			40,0	-	0,5	-	31,1	6,28	0,79	2161		1253
14,0	14,0	13,0	2,0	20	280	-	280			40,0	-	0,5	-	31,1	6,28	0,79	2900		1639
16,0	16,0	15,0	2,0	20	320	-	320			40,0	-	0,5	-	31,1	6,28	0,79	3743		2075
18,0	18,0	17,0	2,0	20	360	-	360			40,0	-	0,5	-	31,1	6,28	0,79	4692		2561

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>	<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0

20,0	20,0	19,0	2,0	20	400	-	400			40,0	-	0,5	-	31,1	6,28	0,79	5746		3097
24,0	24,0	22,0	4,0	20	480	-	480			40,0	-	0,5	-	31,1	12,57	0,79	8277		4366
28,0	28,0	26,0	4,0	20	560	-	560			40,0	-	0,5	-	31,1	12,57	0,79	11229		5834
30,0	30,0	29,0	2,0	20	600	-	600			40,0	-	0,5	-	31,1	6,28	0,79	12811		6617
32,0	32,0	31,0	2,0	20	640	-	640			40,0	-	0,5	-	31,1	6,28	0,79	14498		7450
34,0	34,0	33,0	2,0	20	680	-	680			40,0	-	0,5	-	31,1	6,28	0,79	16290		8333
36,0	36,0	35,0	2,0	20	720	-	720			40,0	-	0,5	-	31,1	6,28	0,79	18188		9265
40,0	40,0	38,0	4,0	20	800	-	800			40,0	-	0,5	-	31,1	12,57	0,79	22405		11329



Adottando pali di lunghezza 30 m, entrambe le verifiche (a trazione e compressione) risultano soddisfatte.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 5.3 ANALISI AVANZATA DEL SISTEMA FONDAZIONALE DI PILE E SPALLE

Per confermare le analisi svolte nei paragrafi precedenti, nei quali si è utilizzato:

- un modello agli EF nella schematizzazione delle fondazioni di pile e spalle
- comportamento del terreno elastico lineare
- controllo che le deformazioni subite dagli elementi confermasse l'ipotesi fatta

si esegue in questo paragrafo un analisi statica non lineare alle Differenze Finite, del complesso fondazione\terreno mediante il software GROUP 7.0.

In accordo con il D.M. 14.01.2008 § 6.4 e con la C.M. 02.02.2009 vengono condotte le analisi di tipo geotecnico del complesso terreno\spalla.

#### 5.3.1 ANALISI DEI CARICHI

L'analisi dei carichi è stata svolta ai paragrafi precedenti di analisi delle sottostrutture. Nel seguito si farà riferimento alla sola combinazione SISMICA (vedi paragrafo 5.1.3 e 5.2.3), risultata più gravosa sia per le fondazioni delle Spalle che per le fondazioni delle Pile.

#### 5.3.2 MODELLO DI CALCOLO

##### 5.3.2.1 PROGRAMMA DI CALCOLO UTILIZZATO

L'analisi della palificata è stata condotta con il programma di calcolo Group 7.0, prodotto da Ensoft Inc, che consente di analizzare il comportamento di un gruppo di pali sottoposto a sollecitazioni assiali, di taglio e momento.

Il programma consente di definire sia un modello bidimensionale, utilizzabile dove tale semplificazione risulti accettabile, sia tridimensionale. E' possibile schematizzare pali verticali o inclinati, e si possono assumere vincoli del tipo a incastro, a cerniera o elastici tra la testa del palo e la fondazione. Il calcolo della palificata viene condotto ipotizzando che il plinto di fondazione sia infinitamente rigido.

Dove non diversamente specificato dall'utente, il programma è in grado di generare internamente curve di risposta non lineare del terreno, carico – cedimento (curve t-z) per condizioni di carico assiale, torsione – rotazione ( $M - \theta$ ) per condizioni di carico torsionali, e carico orizzontale – spostamento orizzontale (curve p-y) per carichi orizzontali.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

In particolare, per le curve p-y relative a carichi orizzontali, vengono utilizzate le correlazioni riportate nel paragrafo seguente.

Per quanto riguarda le curve carico – cedimento relative a condizioni di carico assiale, il programma genera internamente, in base alla natura del terreno, le curve di trasferimento del carico assiale in funzione dello spostamento verticale del palo; tali curve sono implementate sulla base di dati ricavati da numerosi studi effettuati su pali strumentati, realizzati in terreni di diversa natura.

### 5.3.2.2 DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO

La valutazione dei parametri necessari ad individuare il comportamento di un palo libero di ruotare in testa, soggetto a carico orizzontale e momento flettente applicati in testa, è effettuata attraverso la risoluzione del problema di un palo infisso in un semispazio elastico sollecitato da una forza concentrata  $H_t$  agente in sommità del palo ed una coppia  $M_t$ ; tale problema è governato dalla risoluzione dell'equazione differenziale:

$$E_P J \frac{d^4 y}{dx^4} + Q \frac{d^2 y}{dx^2} = p$$

con:

$p$  =  $-E_S y$  reazione orizzontale del terreno per unità di lunghezza

$E_S$  = modulo di reazione orizzontale del terreno (modulo secante della curva di reazione del terreno p-y)

$E_P$  = modulo elastico del palo

$J$  = modulo di inerzia della sezione del palo

$y$  = spostamento orizzontale del palo alla quota  $x$  lungo il fusto del palo

$Q$  = carico assiale agente sul palo

Per pali caricati lateralmente di rigidità flessionale  $E_P J$  costante con la profondità e immersi in terreni caratterizzati dalle seguenti tre possibili diverse leggi di variazione del modulo  $E_S$  con la profondità:

- $E_S = k$             modulo di reazione costante
- $E_S = k x$         modulo di reazione variabile linearmente con la profondità
- $E_S = k_1 + k_2 x$     variazione del modulo di reazione con legge polinomiale

si può fare riferimento alle soluzioni in forma chiusa individuate da Matlock-Reese [1960].

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

In questo caso, la valutazione dei parametri:

y = spostamento orizzontale

s = rotazione

M = momento flettente

T = taglio

p = reazione orizzontale

si può effettuare con riferimento alle seguenti formule:

$$y = \left( \frac{H_t \cdot T^3}{E \cdot J} \right) \cdot A_y + \left( \frac{M_t \cdot T^2}{E \cdot J} \right) \cdot B_y$$

$$s = \left( \frac{H_t \cdot T^2}{E \cdot J} \right) \cdot A_z + \left( \frac{M_t \cdot T}{E \cdot J} \right) \cdot B_z$$

$$M = (H_t \cdot T) \cdot A_m + M_t \cdot B_m$$

$$H = H_t \cdot A_s + \left( \frac{M_t}{T} \right) \cdot B_s$$

$$p = \left( \frac{H_t}{T} \right) \cdot A_p + \left( \frac{M_t}{T^2} \right) \cdot B_p$$

dove:

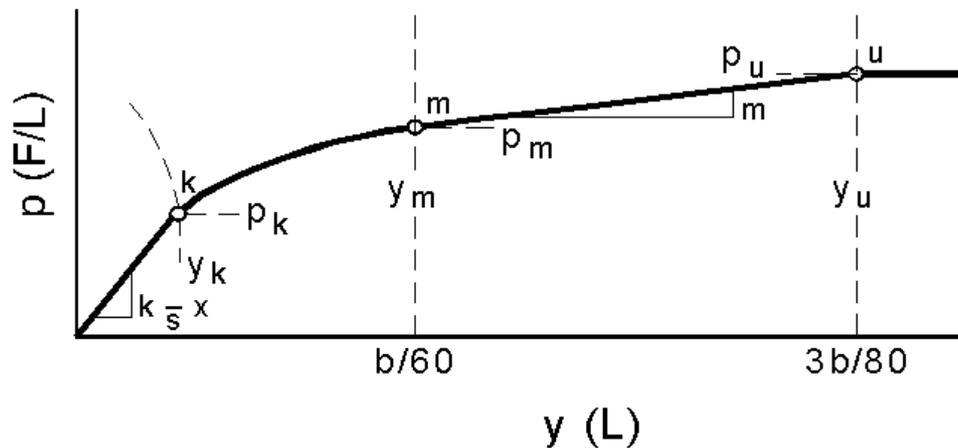
$A_y, B_y, A_s, B_s, A_m, B_m, A_v, B_v, A_p, B_p$  = coefficienti adimensionali, funzione di:

- andamento con la profondità del modulo di reazione orizzontale del terreno;
- flessibilità relativa, rappresentata dai rapporti L/T e z/T, con L pari alla lunghezza del palo e z pari alla profondità generica dal piano campagna, dove  $T = (E_p J / k_1)^{0.2}$

In modo più rigoroso, l'equazione differenziale che descrive il comportamento del palo sottoposto a carico orizzontale può essere risolta iterativamente con un metodo di calcolo alle differenze finite, suddividendo il palo in conci di lunghezza h ed assegnando le adeguate condizioni al contorno alla testa del palo.

Le curve p-y di risposta del terreno, che esprimono la resistenza del terreno in funzione della profondità e dello spostamento del palo, possono essere ricavate in relazione alla tipologia di terreni e alle proprietà geo-meccaniche che li caratterizzano.

Per i terreni presenti nella zona di intervento, si fa riferimento alle curve definite da Reese, Cox e Koop.



1- calcolo di  $p = \min(p_{u1}; p_{u2})$

$$p_{u1} = \gamma \cdot z \cdot \frac{K_0 \cdot z \cdot \tan \phi \cdot \sin \beta}{\tan(\beta - \phi) \cdot \cos \alpha} \cdot A_1 + \frac{\tan \beta}{\tan(\beta - \phi)} \cdot (D \cdot A_3 + z \cdot \tan \beta \cdot \tan \alpha \cdot A_3^2) + \gamma \cdot z \cdot [K_0 \cdot z \cdot \tan \beta \cdot (\tan \phi \cdot \sin \beta - \tan \alpha) \cdot A_1 - K_a \cdot D]$$

$$p_{u2} = K_a \cdot D \cdot \gamma \cdot z \cdot (\tan^2 \beta - 1) + K_0 \cdot D \cdot \tan \phi \cdot \tan^4 \beta$$

$$A_1 = (4 \cdot A_2^3 - 3 \cdot A_2^2 + 1)$$

$$A_2 = (\tan \beta \cdot \tan \delta) / (\tan \beta \cdot \tan \delta + 1)$$

$$A_3 = 1 - A_2$$

dove:

$p_u$  resistenza laterale unitaria ultima

$y$  spostamento orizzontale

$\gamma$  peso di volume efficace

$z$  profondità da p.c.

$K_0$  coefficiente di spinta a riposo

$\phi$  angolo di attrito

$\beta$   $45 + \phi/2$

$\alpha$   $\phi/2$

$D$  diametro del palo

$K_a$   $\tan^2(45 + \phi/2)$

$\delta$  inclinazione del piano campagna rispetto all'orizzontale

2- calcolo di  $p_u = A_i \cdot p$  (Figura F7)

3- calcolo di  $p_m = B_i \cdot p$  (Figura F7)

4- definizione del tratto iniziale della curva  $p-y$

5- definizione del tratto parabolico della curva  $p-y$

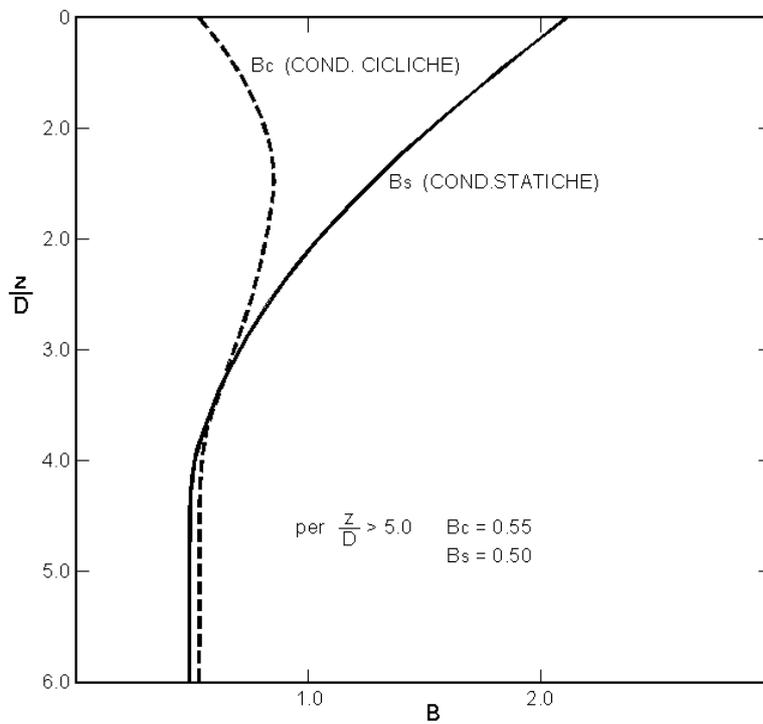
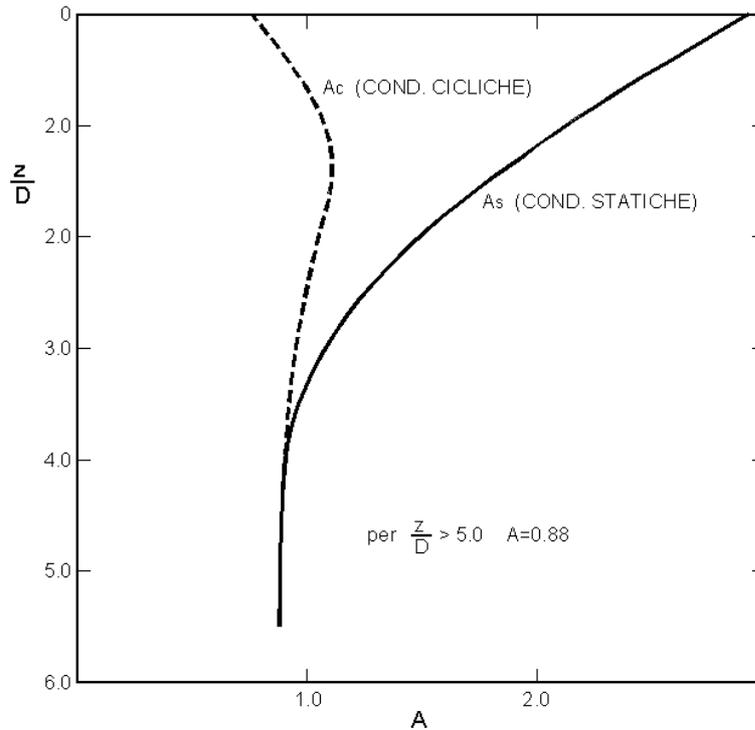
$$p = C y^{1/n}$$

dove:

$$n = p_m / m y_m$$

$$C = p_m / (y_m)^{1/n}$$

F6. Curva  $p-y$  per SABBIE – carichi statici e ciclici



F7. Parametri A e B per definire la curva p-y per SABBIE – carichi statici e ciclici

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

I parametri di calcolo geotecnici sono stati desunti dal sondaggio C417 (unico sondaggio nella zona d'intervento). In particolare si è fatto riferimento ai risultati delle prove Nspt in foro che forniscono valori da -6 m a -32,5 m da p.c.

Si riportano di seguito i valori di Nspt alle varie profondità:

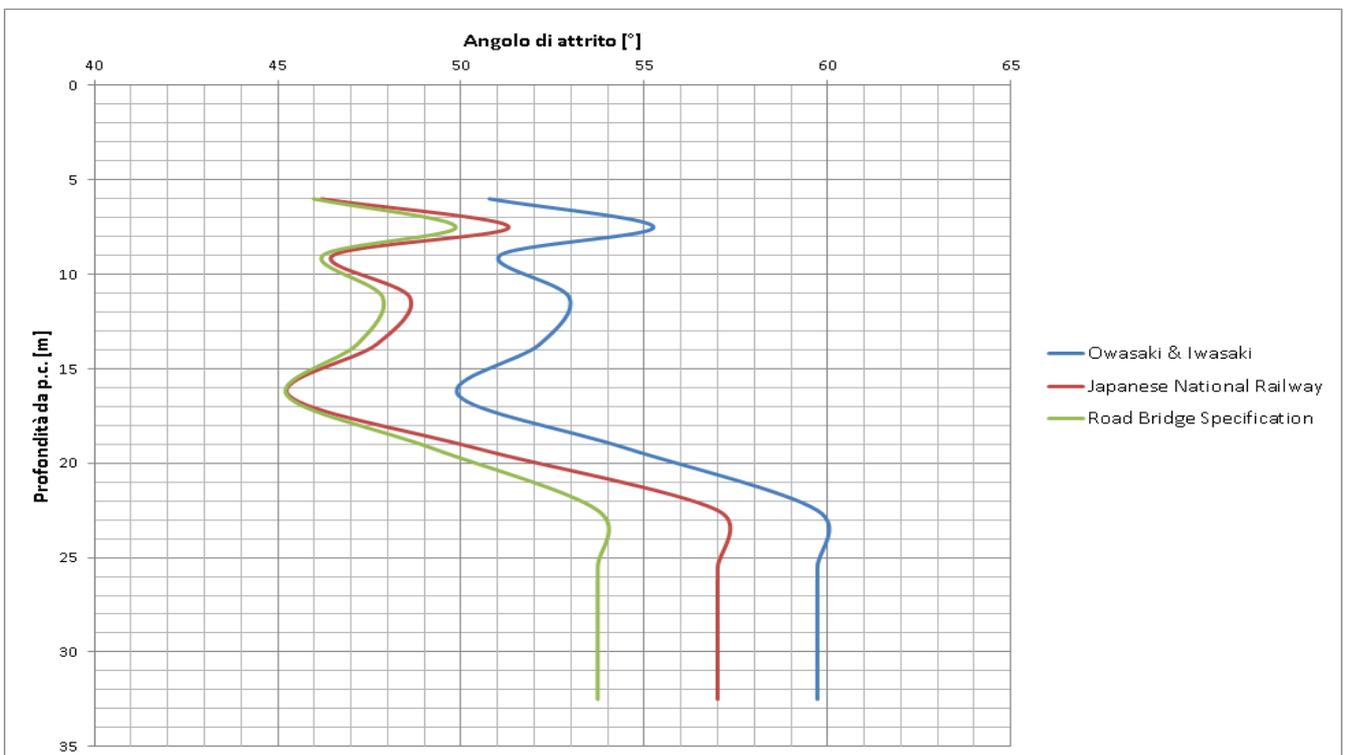
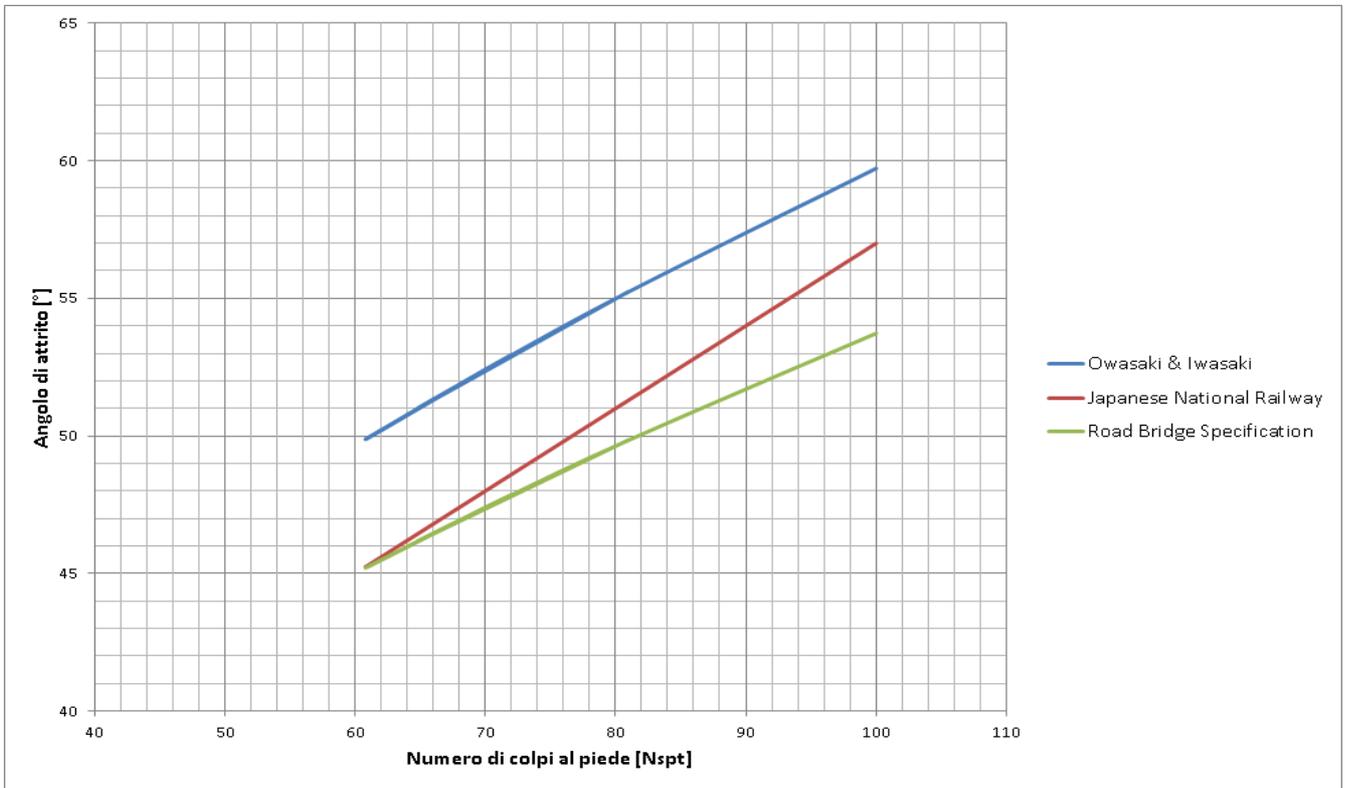
C417	Rampa D dec	6.00	64
C417	Rampa D dec	7.50	81
C417	Rampa D dec	9.00	65
C417	Rampa D dec	11.20	72
C417	Rampa D dec	13.70	69
C417	Rampa D dec	16.4	61
C417	Rampa D dec	19.2	78
C417	Rampa D dec	22.50	100
C417	Rampa D dec	25.50	100
C417	Rampa D dec	28.50	100
C417	Rampa D dec	32.50	100

Si è fatto riferimento alle correlazioni empiriche di:

- Owasaki & Iwasaki  $\phi = \sqrt{20 \cdot Nspt} + 15$
- Japanese National Railway  $\phi = 0,3 \cdot Nspt + 27$
- Road Bridge Specification  $\phi = \sqrt{15 \cdot Nspt} + 15$

Si ottengono valori di angolo di attrito superiori a 45°:

		Owasaki & Iwasaki	Japanese National Railway	Road Bridge Specification
z	Nspt	$\phi_1$	$\phi_2$	$\phi_3$
6	64	51	46	46
7.5	81	55	51	50
9	65	51	47	46
11.2	72	53	49	48
13.7	69	52	48	47
16.4	61	50	45	45
19.2	78	54	50	49
22.5	100	60	57	54
25.5	100	60	57	54
28.5	100	60	57	54
32.5	100	60	57	54



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		RELAZIONE GEOTECNICA	<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0

Cautelativamente si assumerà nelle calcolazioni un angolo di attrito pari a 40°.

Dalla relazione geotecnica generale CG0800PRBDCSBC8G000000001 si possono desumere alcune indicazioni anche relativamente ai test di laboratorio e ai risultati delle prove pressiometriche (che confermano i valori desunti dalle Nspt):

Tabella 25 Riepilogo risultati prove di laboratorio

SONDAGGIO	N° PROVINO	z (m)	Opera	PROVA	c' [kPa]	φ' [°]
Svar1	C1	2.75	Rampa D 1+600-2+200 / Rampa M	TD	15	38
Svar1	C2	5.20	Rampa D 1+600-2+200 / Rampa M	TD	0	38
Svar1	C3	15.20	Rampa D 1+600-2+200 / Rampa M	TD	16	40
Svar1	C4	25.20	Rampa D 1+600-2+200 / Rampa M	TD	3	38
C417	CI 1	12.2	Rampa D dec	TD	15	41

Tabella 26 Riepilogo risultati prove pressiometriche

FORO	Opera	z (m)	Ep(MPa)	E'(MPa)	φ'
C414	Rampa D 1+600-2+200 / Rampa B 0+800-1+325 / Rampa M	12	84.38	337.52	41
C414	Rampa D 1+600-2+200 / Rampa B 0+800-1+325 / Rampa M	23.5	4.1	16.40	26
C415	Rampa D 1+600-2+200 / Rampa B 0+800-1+325 / Rampa M	10.2	34.66	138.64	41
C415	Rampa D 1+600-2+200 / Rampa B 0+800-1+325 / Rampa M	20.8	42.8	171.20	42
C416	Rampa D dec	25.5	33.66	134.64	40
C416	Rampa D dec	36	49.5	198.00	41
C417	Rampa D dec	21	32.64	130.56	40
C417	Rampa D dec	32.5	49.76	199.04	40

Nella definizione delle curve t-z, si è definito il valore limite di attrito laterale in funzione della relazione valida per terreni granulari, dato dall'espressione:

$$\tau_{LIM} = K \cdot \sigma'_v \cdot \tan(\phi) < 150 \text{ kPa}$$

dove:

k = rapporto tra pressione orizzontale e pressione verticale efficace in prossimità del palo.

σ'<sub>v</sub> = pressione geostatica verticale efficace;

φ = angolo di resistenza al taglio del terreno naturale.

Per i pali trivellati si adotta [Reese – Wright (1977)]:

k = 0.7 in compressione

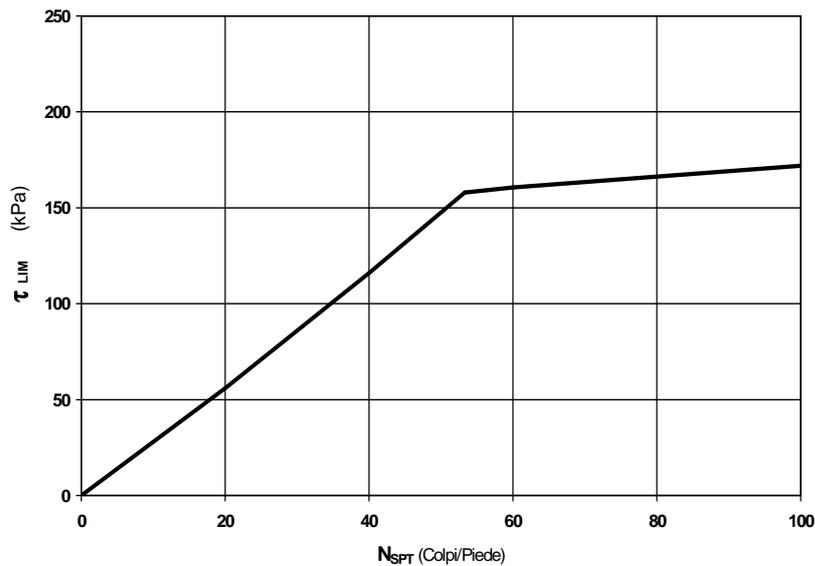
k = 0.5 in trazione

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_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						

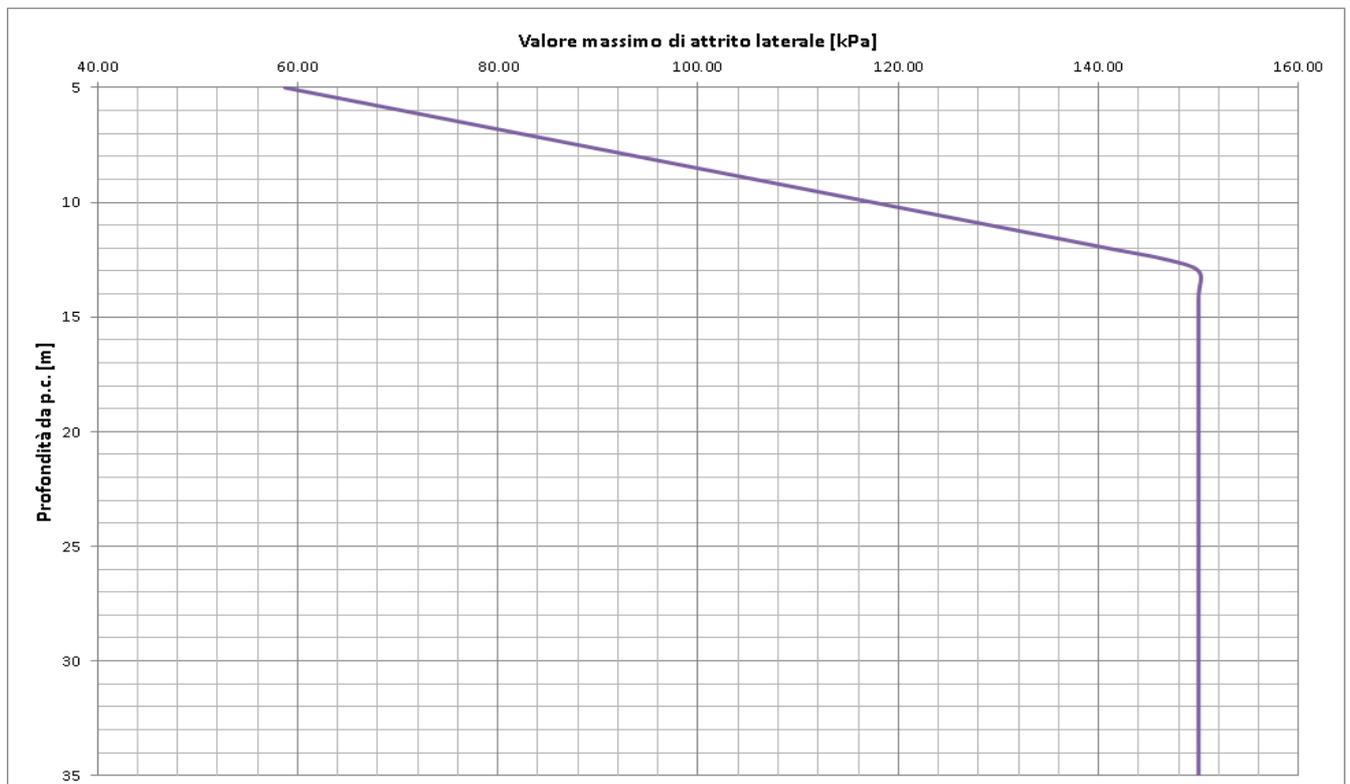
Per i pali trivellati deve essere comunque soddisfatta anche la seguente verifica:

$$\tau_{lim} \leq \tau = f(N_{SPT}) \quad , \quad \text{con } N_{SPT} = \text{numero di colpi/piede in prova SPT}$$

Nella figura seguente è illustrata la correlazione proposta da Wright e Reese tra il valore della  $\tau_{lim}$  e il valore di  $N_{SPT}$  :



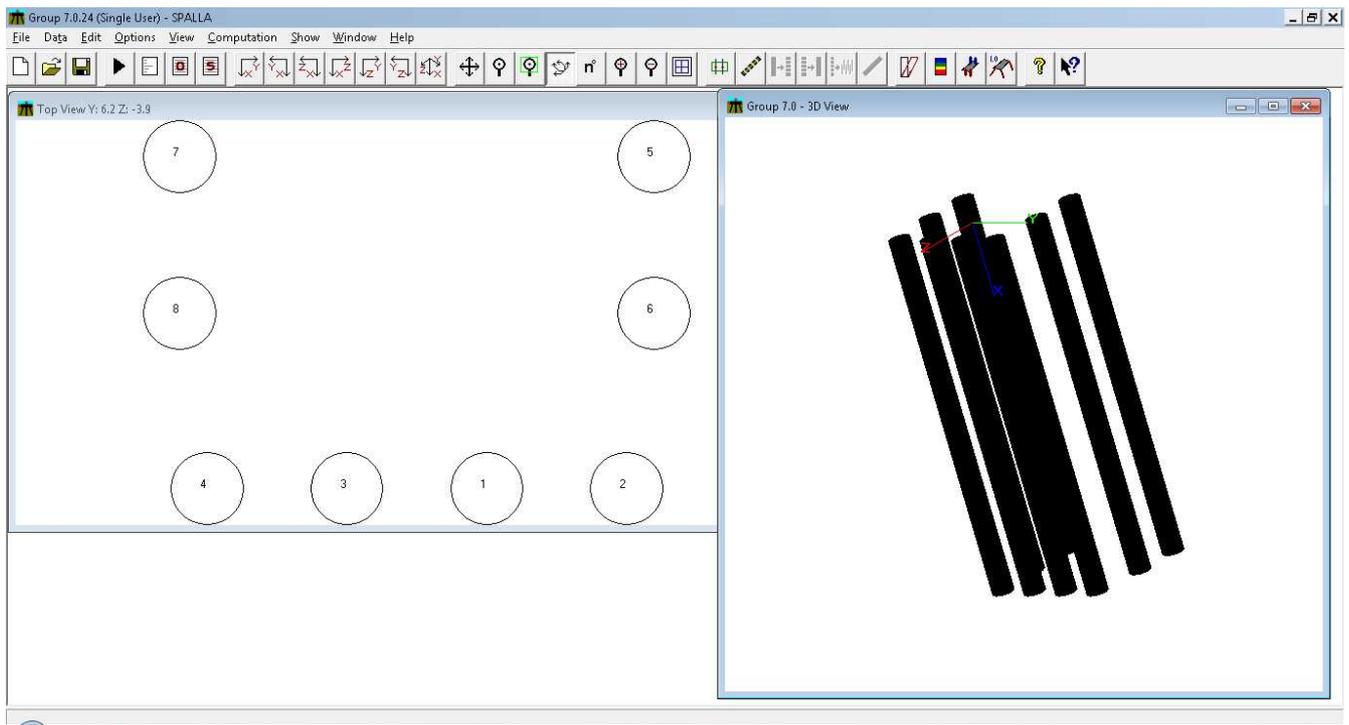
Con le ipotesi assunte si ottiene la seguente curva di attrito massimo laterale attivabile:



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE GEOTECNICA</b>		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 5.3.3 Risultati delle analisi delle palificate delle Spalle

Le spalle sono fondate su n. 8 pali trivellati di diametro  $D=1200$  mm, disposti come in figura sottostante, a una distanza minima di  $3d$ .



Si riportano i risultati più significativi dedotti dall'analisi. In particolare si riportano:

- le azioni in testa a ciascun palo
- le deformazioni lungo l'asse longitudinale per ciascun palo
- le deformazioni lungo l'asse trasversale per ciascun palo
- le azioni taglianti lungo l'asse longitudinale per ciascun palo
- le azioni taglianti lungo l'asse trasversale per ciascun palo
- le azioni flettenti con asse vettore lungo l'asse longitudinale per ciascun palo
- le azioni flettenti con asse vettore lungo l'asse trasversale per ciascun palo

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 5.3.3.1 Azioni in testa a ciascun palo

**PileTopResults**

Cap Results      Pile Group: 1 (8)       Local Axes  
 Global Axes

Pile Top Displacements		Pile Top Reactions	
Displacement X (m)	0.00252	Axial Force (kN)	3890
Displacement Y (m)	0.000265	Shear Y (kN)	319
Displacement Z (m)	0.00362	Shear Z (kN)	1250
Rotation X (rad)	5.52E-6	Moment X (kN-m)	0.348
Rotation Y (rad)	0.00112	Moment Y (kN-m)	-516
Rotation Z (rad)	0.000177	Moment Z (kN-m)	655

**PileTopResults**

Cap Results      Pile Group: 2 (8)       Local Axes  
 Global Axes

Pile Top Displacements		Pile Top Reactions	
Displacement X (m)	0.00212	Axial Force (kN)	3310
Displacement Y (m)	0.000265	Shear Y (kN)	347
Displacement Z (m)	0.00364	Shear Z (kN)	1430
Rotation X (rad)	5.52E-6	Moment X (kN-m)	0.348
Rotation Y (rad)	0.00112	Moment Y (kN-m)	-656
Rotation Z (rad)	0.000177	Moment Z (kN-m)	685

**PileTopResults**

Cap Results      Pile Group: 3 (8)       Local Axes  
 Global Axes

Pile Top Displacements		Pile Top Reactions	
Displacement X (m)	0.00293	Axial Force (kN)	4470
Displacement Y (m)	0.000265	Shear Y (kN)	319
Displacement Z (m)	0.00361	Shear Z (kN)	1240
Rotation X (rad)	5.52E-6	Moment X (kN-m)	0.348
Rotation Y (rad)	0.00112	Moment Y (kN-m)	-505
Rotation Z (rad)	0.000177	Moment Z (kN-m)	655

**PileTopResults**

Cap Results      Pile Group: 4 (8)       Local Axes  
 Global Axes

Pile Top Displacements		Pile Top Reactions	
Displacement X (m)	0.00334	Axial Force (kN)	5050
Displacement Y (m)	0.000265	Shear Y (kN)	347
Displacement Z (m)	0.0036	Shear Z (kN)	1400
Rotation X (rad)	5.52E-6	Moment X (kN-m)	0.348
Rotation Y (rad)	0.00112	Moment Y (kN-m)	-620
Rotation Z (rad)	0.000177	Moment Z (kN-m)	685

**PileTopResults**

Cap Results      Pile Group: 5 (8)       Local Axes  
 Global Axes

Pile Top Displacements		Pile Top Reactions	
Displacement X (m)	-0.00413	Axial Force (kN)	-2580
Displacement Y (m)	0.000295	Shear Y (kN)	300
Displacement Z (m)	0.00364	Shear Z (kN)	1050
Rotation X (rad)	5.52E-6	Moment X (kN-m)	0.348
Rotation Y (rad)	0.00112	Moment Y (kN-m)	-358
Rotation Z (rad)	0.000177	Moment Z (kN-m)	640

**PileTopResults**

Cap Results      Pile Group: 6 (8)       Local Axes  
 Global Axes

Pile Top Displacements		Pile Top Reactions	
Displacement X (m)	-0.00122	Axial Force (kN)	-1060
Displacement Y (m)	0.000281	Shear Y (kN)	288
Displacement Z (m)	0.00364	Shear Z (kN)	1020
Rotation X (rad)	5.52E-6	Moment X (kN-m)	0.348
Rotation Y (rad)	0.00112	Moment Y (kN-m)	-341
Rotation Z (rad)	0.000177	Moment Z (kN-m)	624

**PileTopResults**

Cap Results      Pile Group: 7 (8)       Local Axes  
 Global Axes

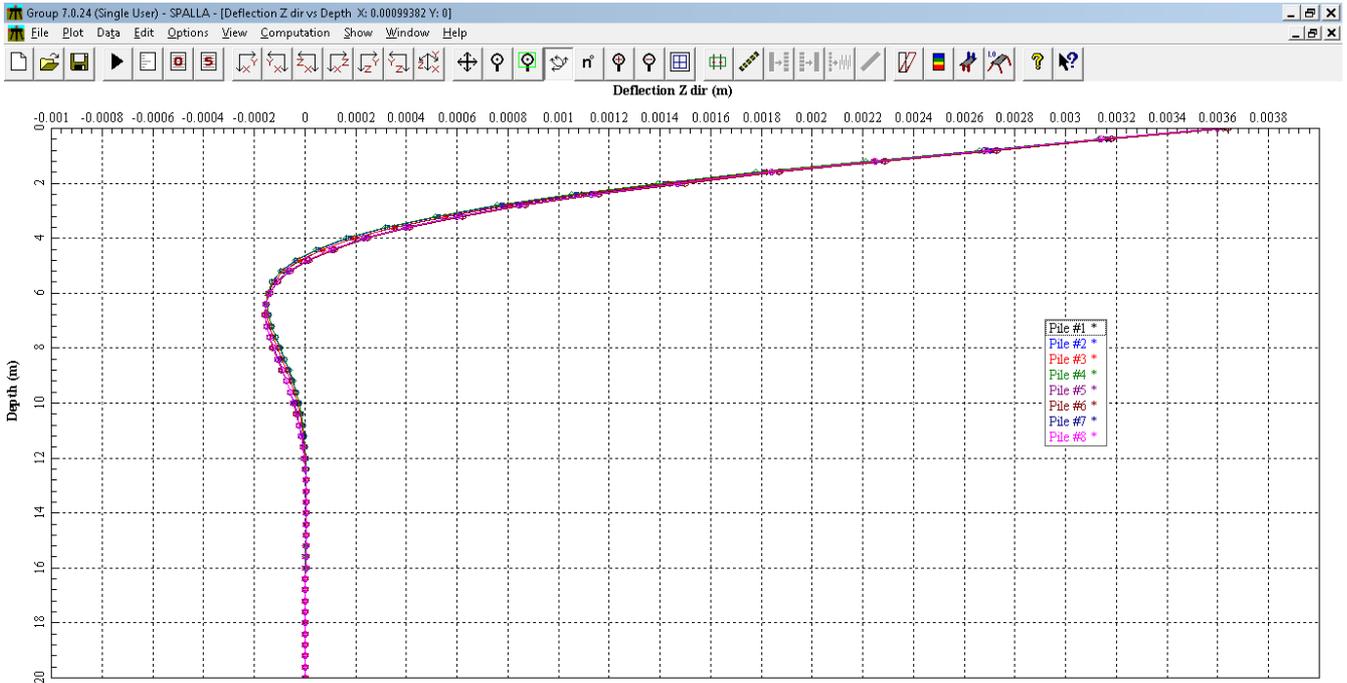
Pile Top Displacements		Pile Top Reactions	
Displacement X (m)	-0.00275	Axial Force (kN)	-2030
Displacement Y (m)	0.000295	Shear Y (kN)	299
Displacement Z (m)	0.0036	Shear Z (kN)	1020
Rotation X (rad)	5.52E-6	Moment X (kN-m)	0.348
Rotation Y (rad)	0.00112	Moment Y (kN-m)	-323
Rotation Z (rad)	0.000177	Moment Z (kN-m)	640

**PileTopResults**

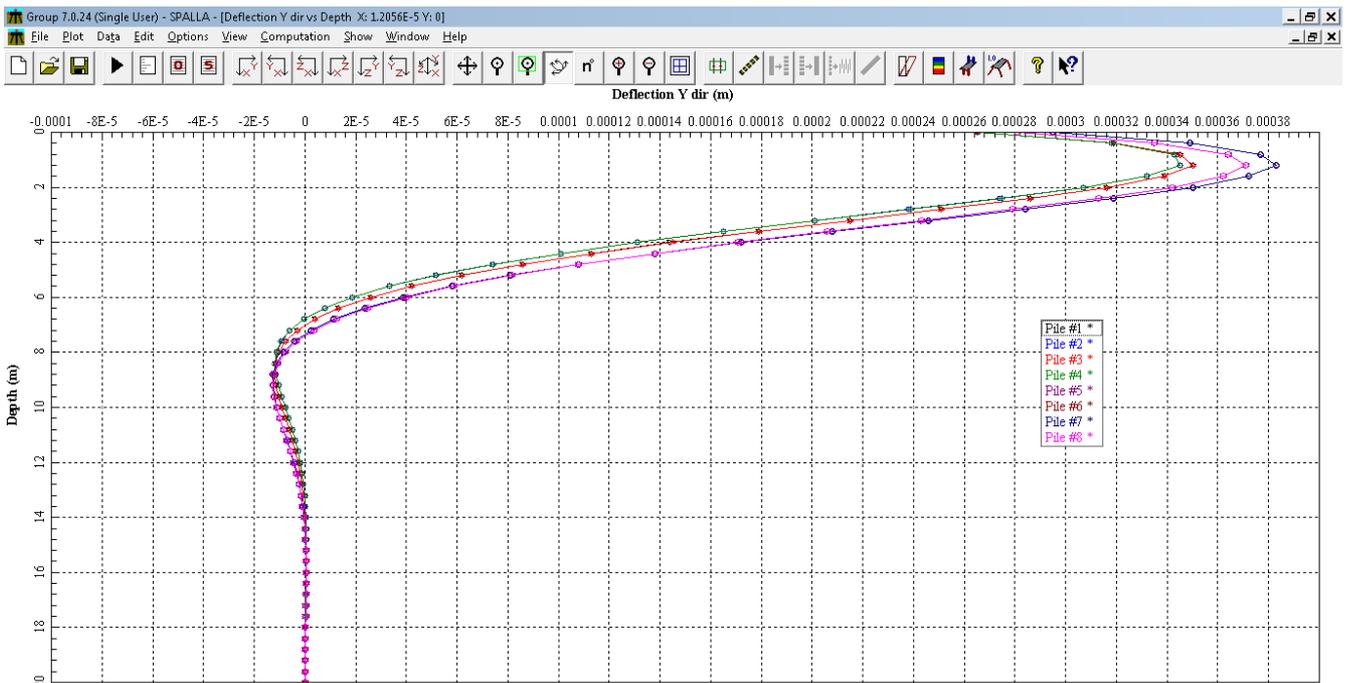
Cap Results      Pile Group: 8 (8)       Local Axes  
 Global Axes

Pile Top Displacements		Pile Top Reactions	
Displacement X (m)	0.000165	Axial Force (kN)	270
Displacement Y (m)	0.000281	Shear Y (kN)	287
Displacement Z (m)	0.0036	Shear Z (kN)	998
Rotation X (rad)	5.52E-6	Moment X (kN-m)	0.348
Rotation Y (rad)	0.00112	Moment Y (kN-m)	-307
Rotation Z (rad)	0.000177	Moment Z (kN-m)	624

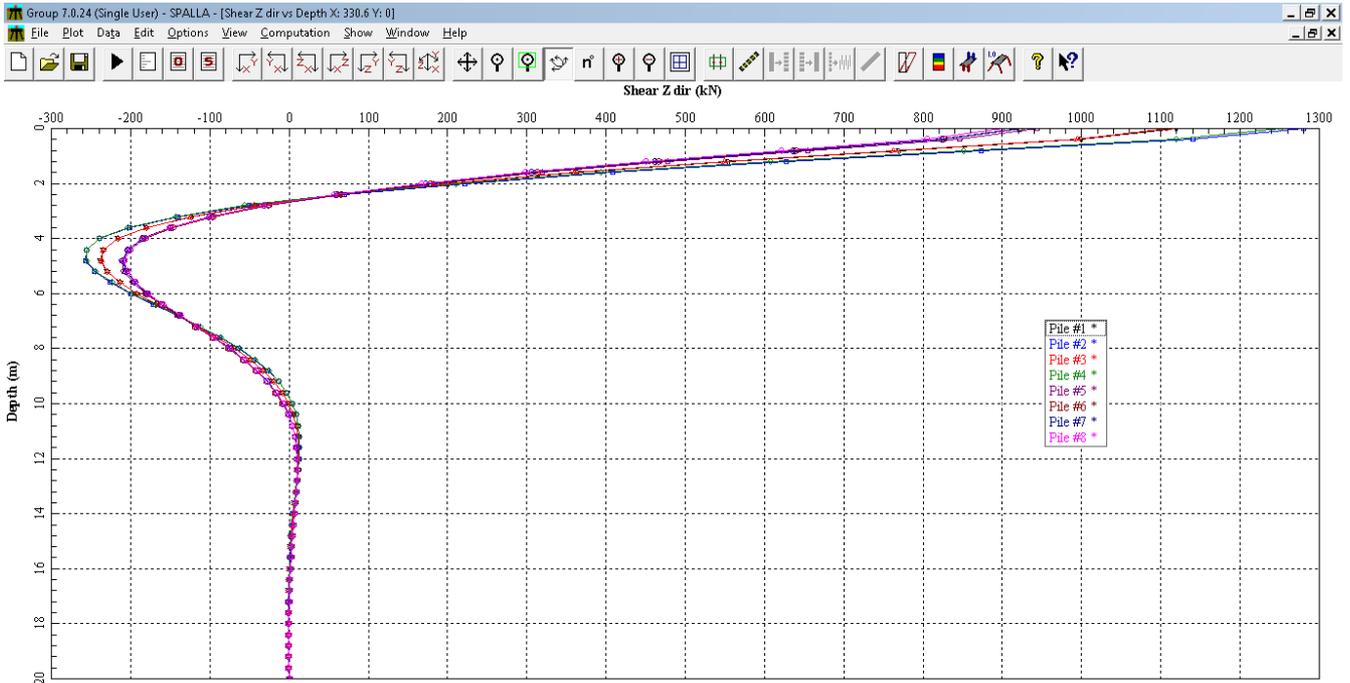
### 5.3.3.2 Deformazioni lungo l'asse longitudinale per ciascun palo



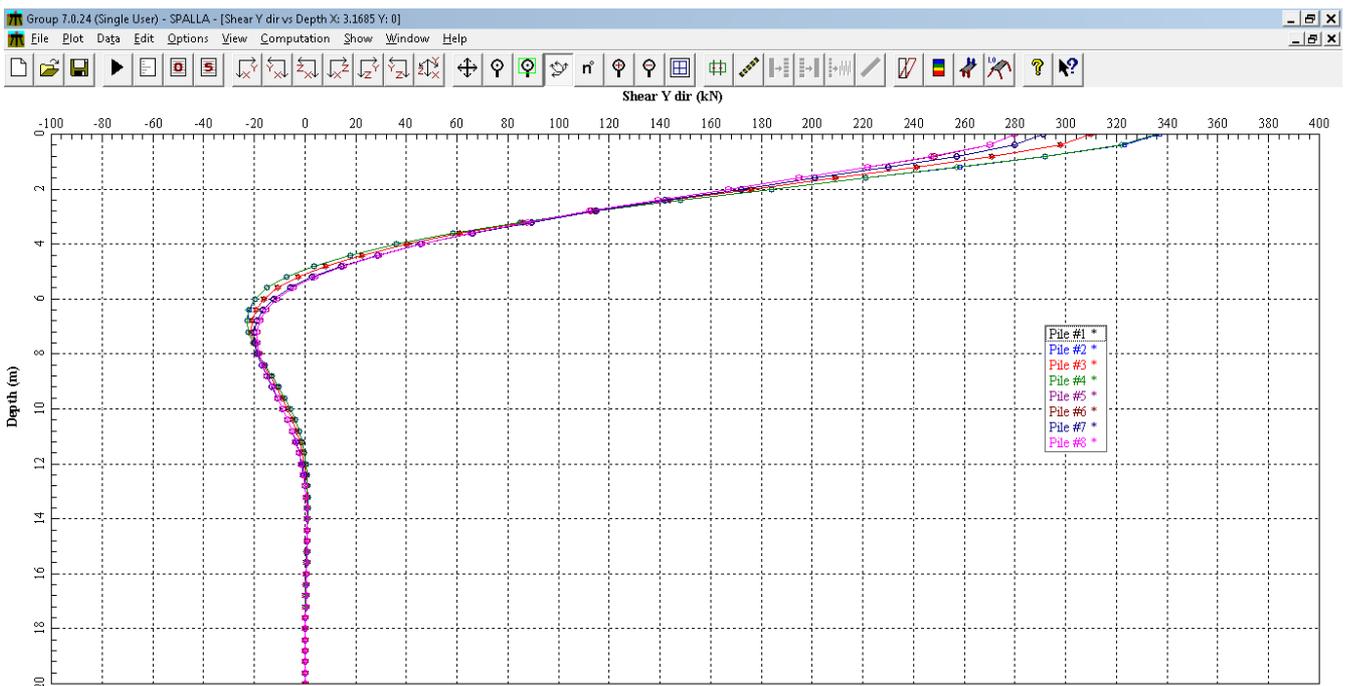
### 5.3.3.3 Deformazioni lungo l'asse trasversale per ciascun palo



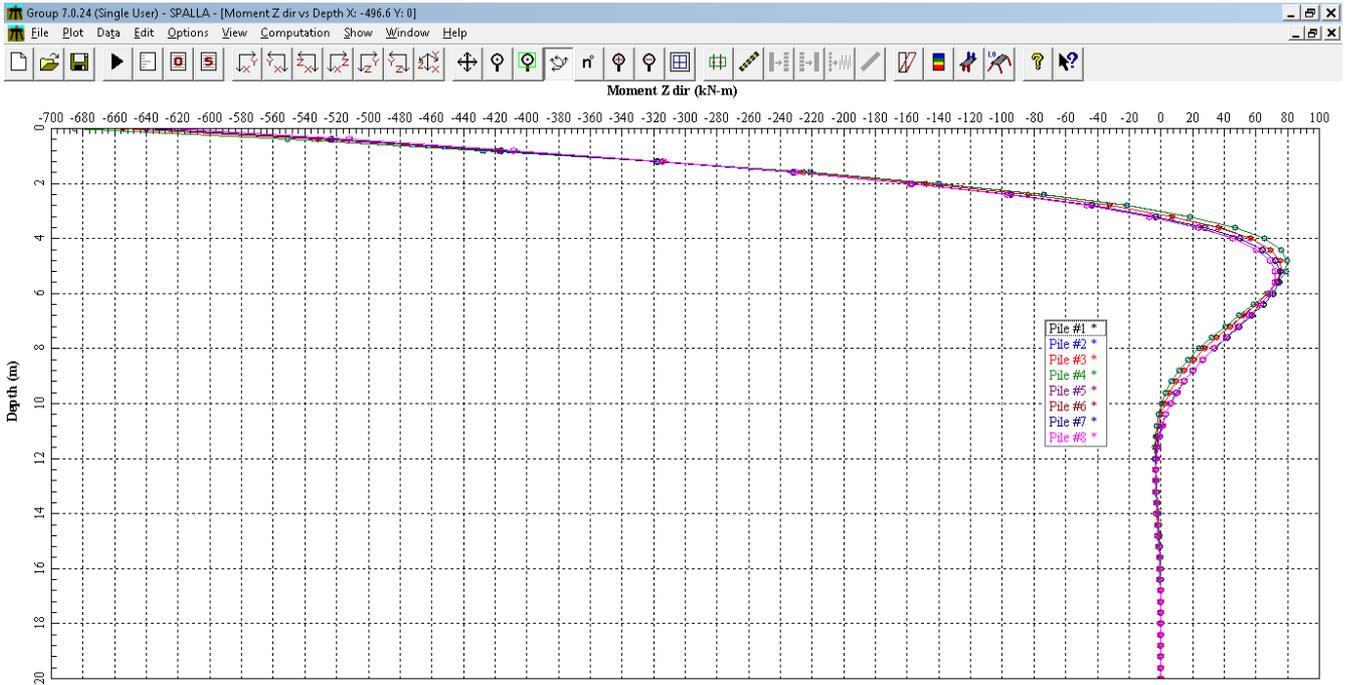
### 5.3.3.4 Azioni taglianti lungo l'asse longitudinale per ciascun palo



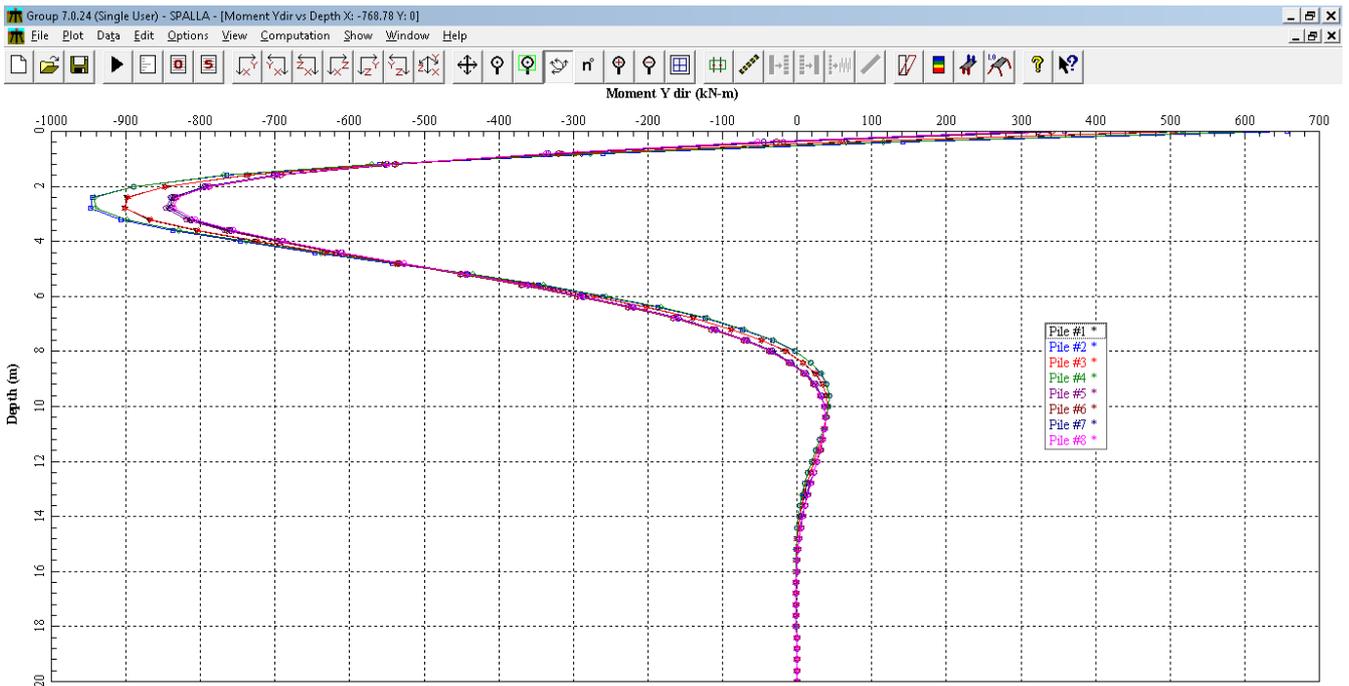
### 5.3.3.5 Azioni taglianti lungo l'asse trasversale per ciascun palo



**5.3.3.6 Azioni flettenti con asse vettore lungo l'asse longitudinale per ciascun palo**



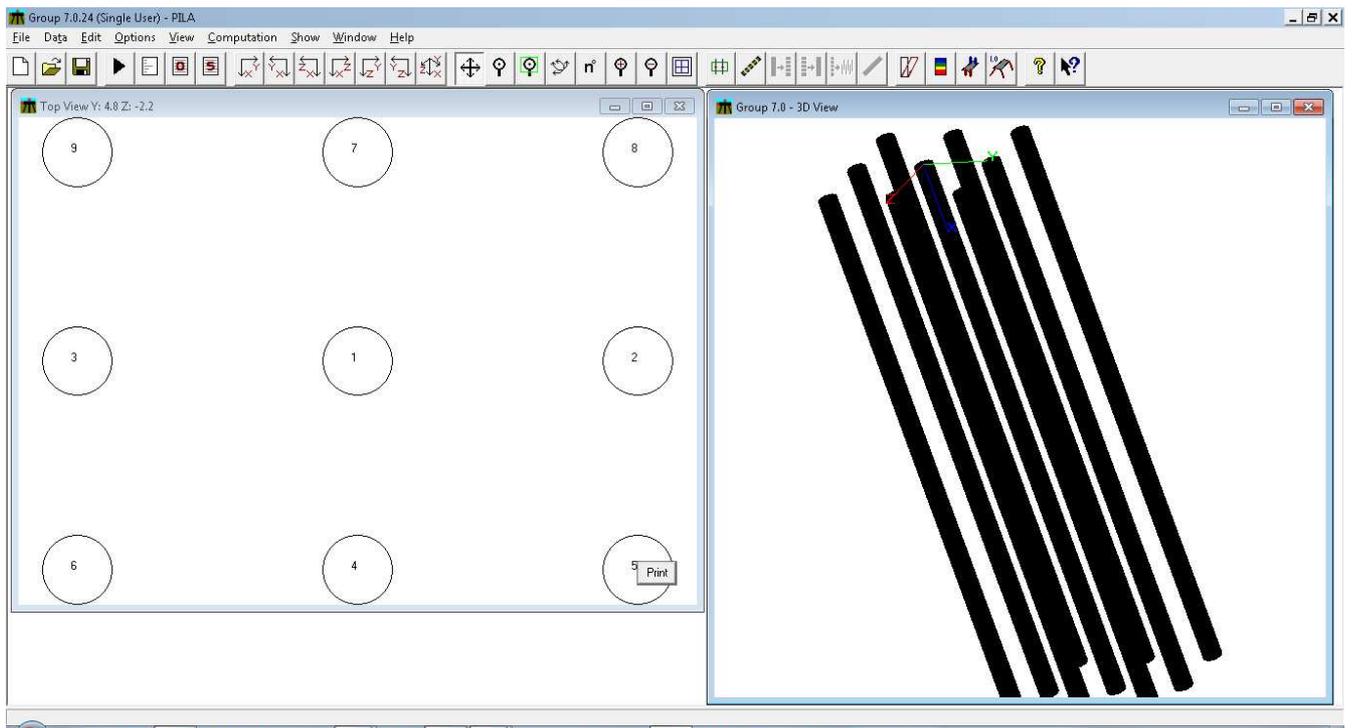
**5.3.3.7 Azioni flettenti con asse vettore lungo l'asse trasversale per ciascun palo**



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 5.3.4 Risultati delle analisi delle palificate delle Pile

Le pile sono fondate su n. 9 pali trivellati di diametro  $D=1000$  mm, disposti come in figura sottostante, a una distanza minima di  $3d$ .

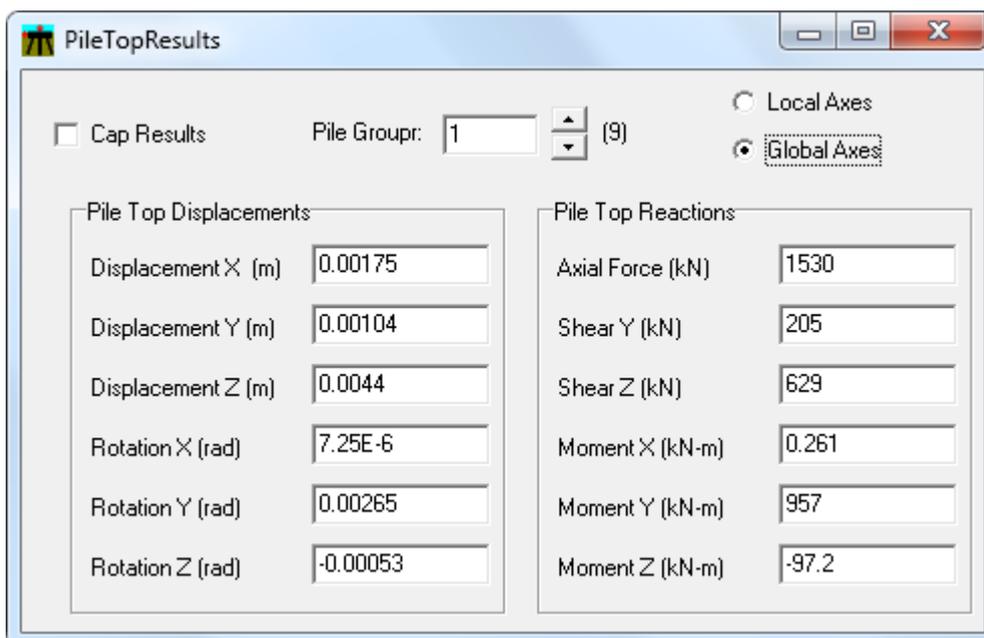


Si riportano i risultati più significativi dedotti dall'analisi. In particolare si riportano:

- le azioni in testa a ciascun palo
- le deformazioni lungo l'asse longitudinale per ciascun palo
- le deformazioni lungo l'asse trasversale per ciascun palo
- le azioni taglianti lungo l'asse longitudinale per ciascun palo
- le azioni taglianti lungo l'asse trasversale per ciascun palo
- le azioni flettenti con asse vettore lungo l'asse longitudinale per ciascun palo
- le azioni flettenti con asse vettore lungo l'asse trasversale per ciascun palo

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

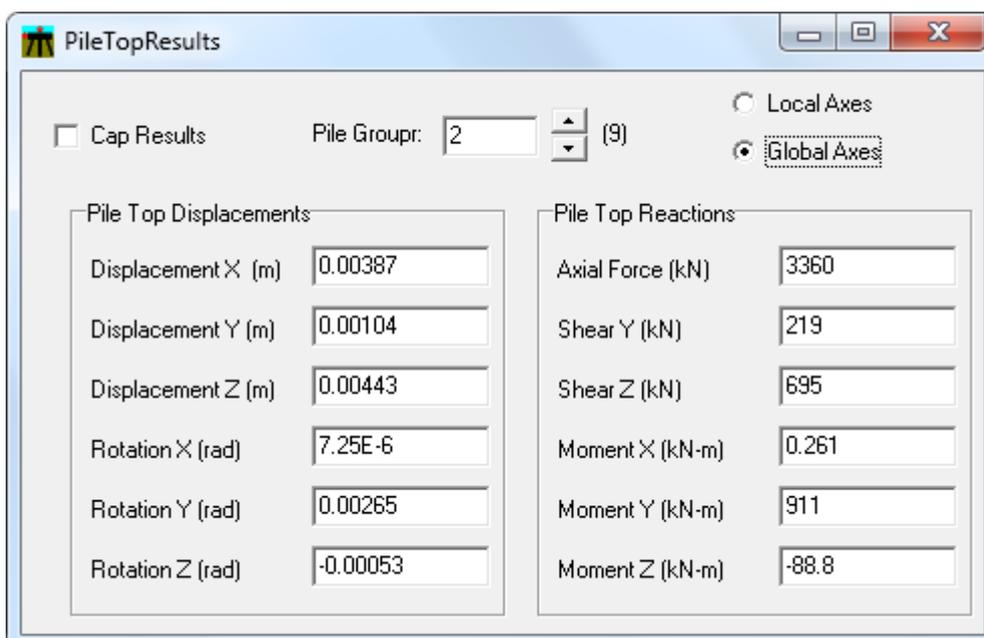
### 5.3.4.1 Azioni in testa a ciascun palo



**PileTopResults** (9)

Cap Results    Pile Group: 1     Local Axes  
 Global Axes

Pile Top Displacements		Pile Top Reactions	
Displacement X (m)	0.00175	Axial Force (kN)	1530
Displacement Y (m)	0.00104	Shear Y (kN)	205
Displacement Z (m)	0.0044	Shear Z (kN)	629
Rotation X (rad)	7.25E-6	Moment X (kN-m)	0.261
Rotation Y (rad)	0.00265	Moment Y (kN-m)	957
Rotation Z (rad)	-0.00053	Moment Z (kN-m)	-97.2



**PileTopResults** (9)

Cap Results    Pile Group: 2     Local Axes  
 Global Axes

Pile Top Displacements		Pile Top Reactions	
Displacement X (m)	0.00387	Axial Force (kN)	3360
Displacement Y (m)	0.00104	Shear Y (kN)	219
Displacement Z (m)	0.00443	Shear Z (kN)	695
Rotation X (rad)	7.25E-6	Moment X (kN-m)	0.261
Rotation Y (rad)	0.00265	Moment Y (kN-m)	911
Rotation Z (rad)	-0.00053	Moment Z (kN-m)	-88.8

**PileTopResults**

Cap Results      Pile Group: 3 (9)       Local Axes  
 Global Axes

Pile Top Displacements		Pile Top Reactions	
Displacement X (m)	-0.000374	Axial Force (kN)	-364
Displacement Y (m)	0.00104	Shear Y (kN)	215
Displacement Z (m)	0.00437	Shear Z (kN)	650
Rotation X (rad)	7.25E-6	Moment X (kN-m)	0.261
Rotation Y (rad)	0.00265	Moment Y (kN-m)	961
Rotation Z (rad)	-0.00053	Moment Z (kN-m)	-92.7

**PileTopResults**

Cap Results      Pile Group: 4 (9)       Local Axes  
 Global Axes

Pile Top Displacements		Pile Top Reactions	
Displacement X (m)	0.0097	Axial Force (kN)	7510
Displacement Y (m)	0.00102	Shear Y (kN)	293
Displacement Z (m)	0.0044	Shear Z (kN)	1010
Rotation X (rad)	7.25E-6	Moment X (kN-m)	0.261
Rotation Y (rad)	0.00265	Moment Y (kN-m)	763
Rotation Z (rad)	-0.00053	Moment Z (kN-m)	-55.2

**PileTopResults**

Cap Results      Pile Group: 5 (9)       Local Axes  
 Global Axes

Pile Top Displacements		Pile Top Reactions	
Displacement X (m)	0.0118	Axial Force (kN)	8830
Displacement Y (m)	0.00102	Shear Y (kN)	296
Displacement Z (m)	0.00443	Shear Z (kN)	1040
Rotation X (rad)	7.25E-6	Moment X (kN-m)	0.261
Rotation Y (rad)	0.00265	Moment Y (kN-m)	734
Rotation Z (rad)	-0.00053	Moment Z (kN-m)	-53.2

**PileTopResults**

Cap Results      Pile Group: 6 (9)       Local Axes  
 Global Axes

Pile Top Displacements		Pile Top Reactions	
Displacement X (m)	0.00758	Axial Force (kN)	6040
Displacement Y (m)	0.00102	Shear Y (kN)	294
Displacement Z (m)	0.00437	Shear Z (kN)	998
Rotation X (rad)	7.25E-6	Moment X (kN-m)	0.261
Rotation Y (rad)	0.00265	Moment Y (kN-m)	785
Rotation Z (rad)	-0.00053	Moment Z (kN-m)	-55.5

**PileTopResults**

Cap Results      Pile Group: 7 (9)       Local Axes  
 Global Axes

Pile Top Displacements		Pile Top Reactions	
Displacement X (m)	-0.0062	Axial Force (kN)	-3550
Displacement Y (m)	0.00106	Shear Y (kN)	223
Displacement Z (m)	0.0044	Shear Z (kN)	655
Rotation X (rad)	7.25E-6	Moment X (kN-m)	0.261
Rotation Y (rad)	0.00265	Moment Y (kN-m)	954
Rotation Z (rad)	-0.00053	Moment Z (kN-m)	-82.2

**PileTopResults**

Cap Results      Pile Group: 8 (9)       Local Axes  
 Global Axes

Pile Top Displacements		Pile Top Reactions	
Displacement X (m)	-0.00408	Axial Force (kN)	-2690
Displacement Y (m)	0.00106	Shear Y (kN)	238
Displacement Z (m)	0.00443	Shear Z (kN)	722
Rotation X (rad)	7.25E-6	Moment X (kN-m)	0.261
Rotation Y (rad)	0.00265	Moment Y (kN-m)	909
Rotation Z (rad)	-0.00053	Moment Z (kN-m)	-73.9

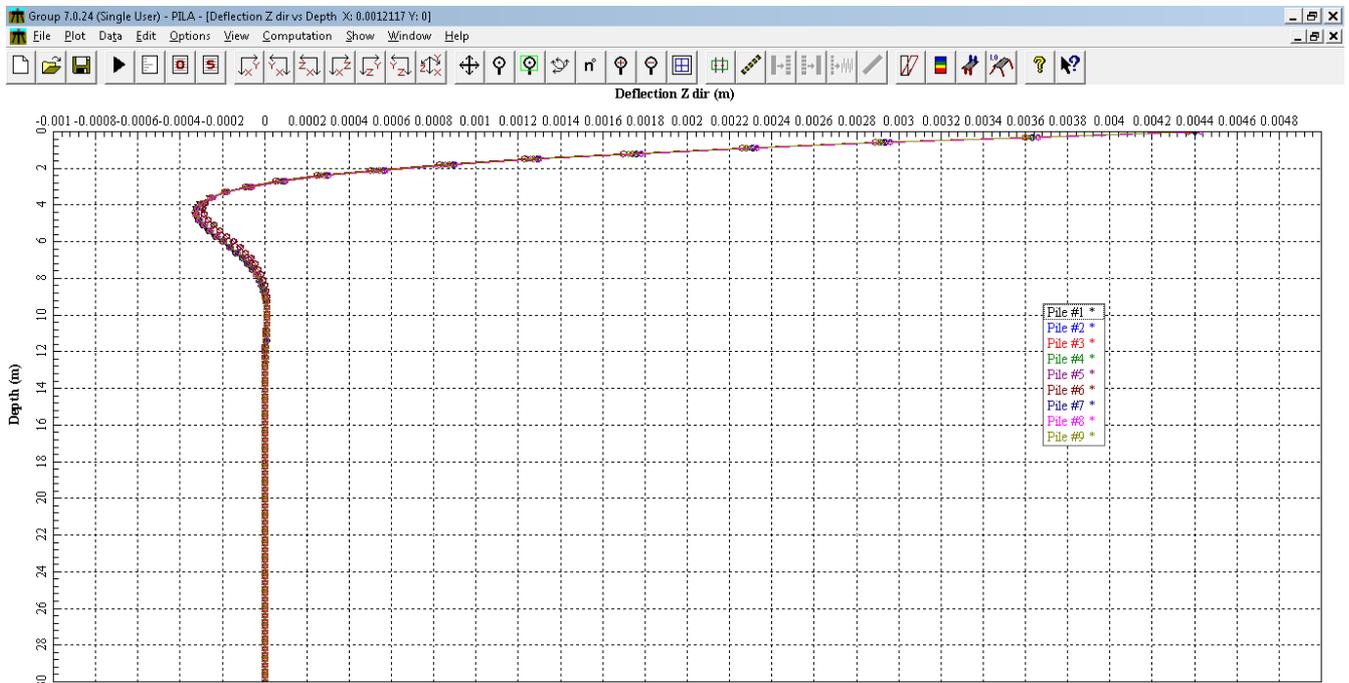
		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

**PileTopResults**

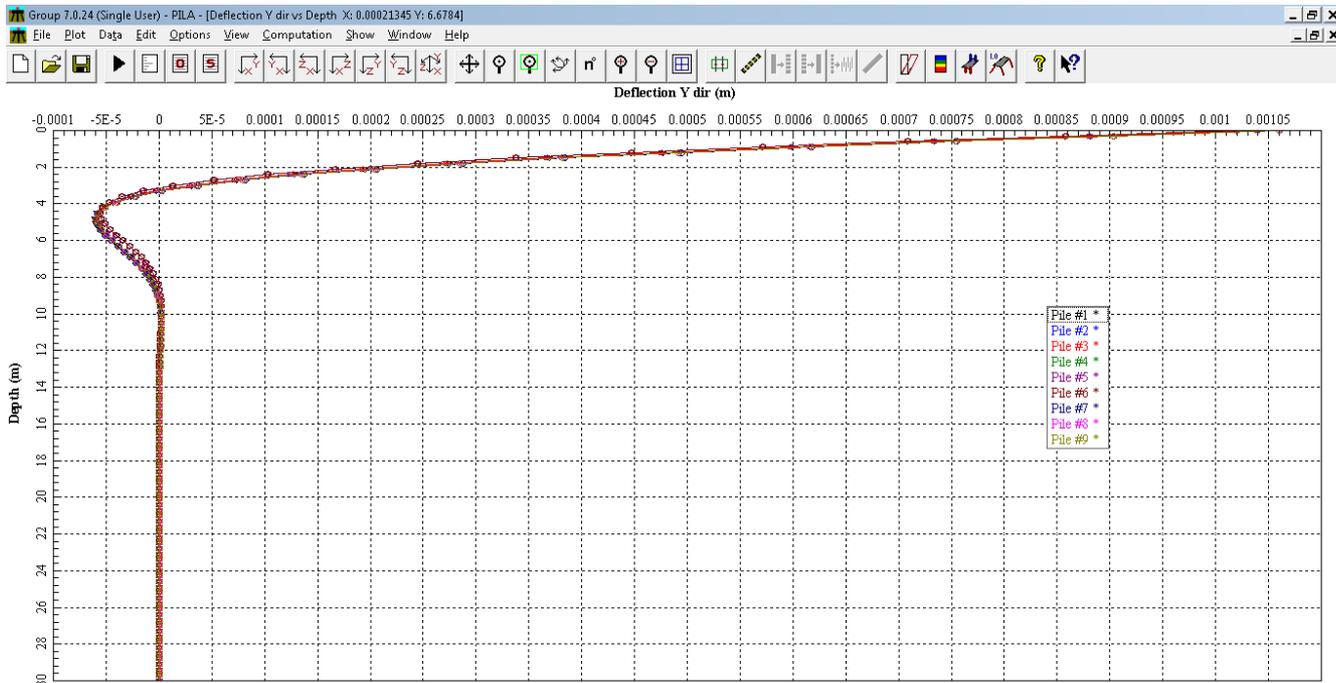
Cap Results     
 Pile Group:  (9)     
  Local Axes  
 Global Axes

Pile Top Displacements		Pile Top Reactions	
Displacement X (m)	<input type="text" value="-0.00832"/>	Axial Force (kN)	<input type="text" value="-3990"/>
Displacement Y (m)	<input type="text" value="0.00106"/>	Shear Y (kN)	<input type="text" value="233"/>
Displacement Z (m)	<input type="text" value="0.00437"/>	Shear Z (kN)	<input type="text" value="675"/>
Rotation X (rad)	<input type="text" value="7.25E-6"/>	Moment X (kN-m)	<input type="text" value="0.261"/>
Rotation Y (rad)	<input type="text" value="0.00265"/>	Moment Y (kN-m)	<input type="text" value="956"/>
Rotation Z (rad)	<input type="text" value="-0.00053"/>	Moment Z (kN-m)	<input type="text" value="-77.1"/>

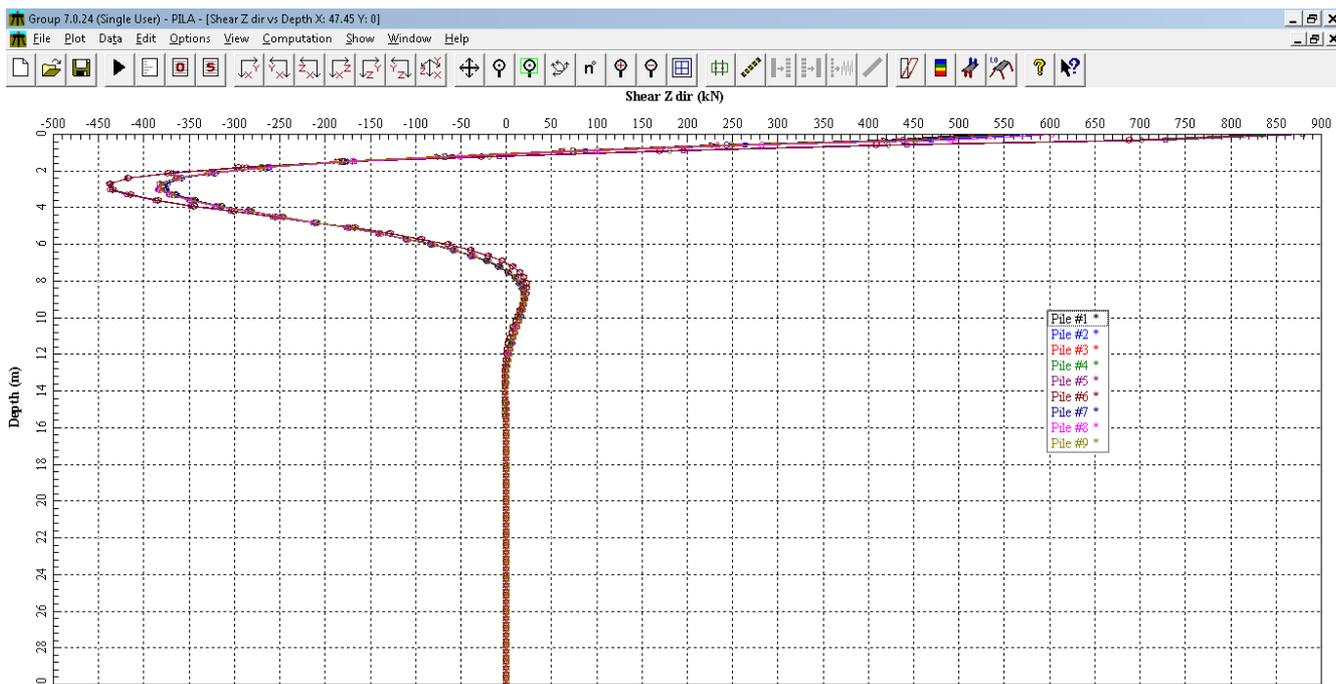
### 5.3.4.2 Deformazioni lungo l'asse longitudinale per ciascun palo



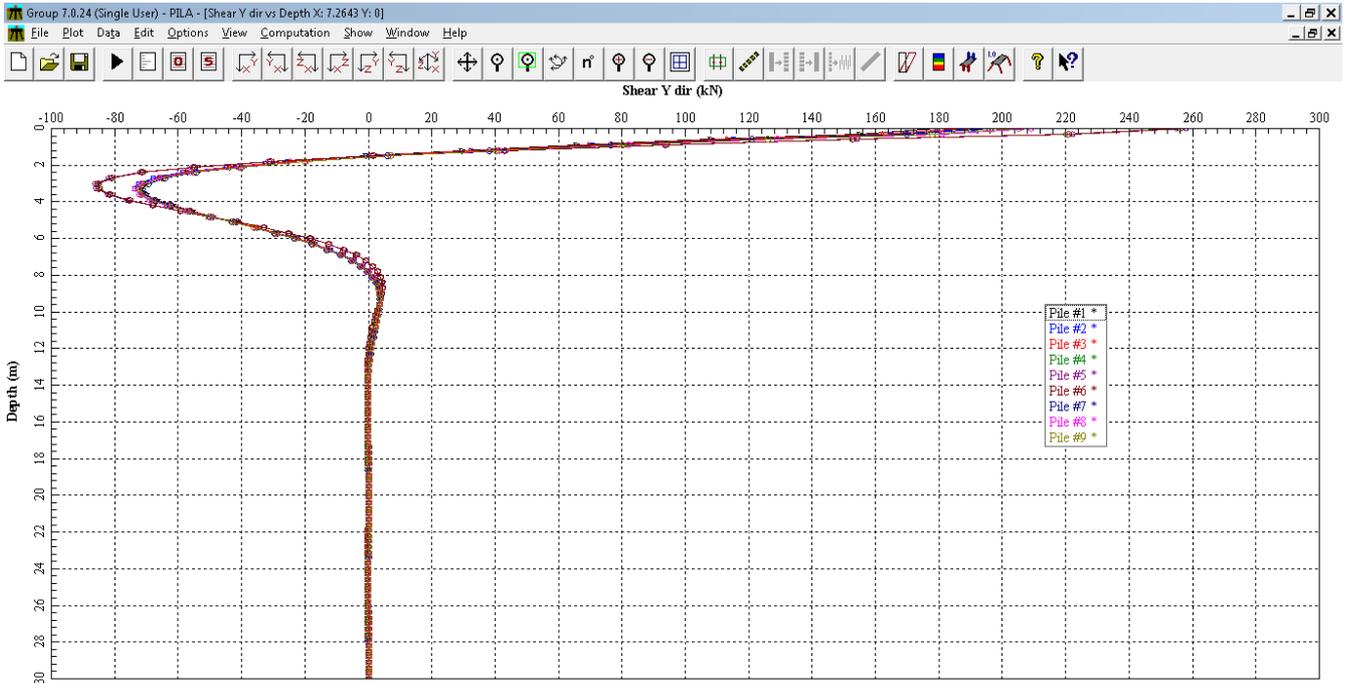
### 5.3.4.3 Deformazioni lungo l'asse trasversale per ciascun palo



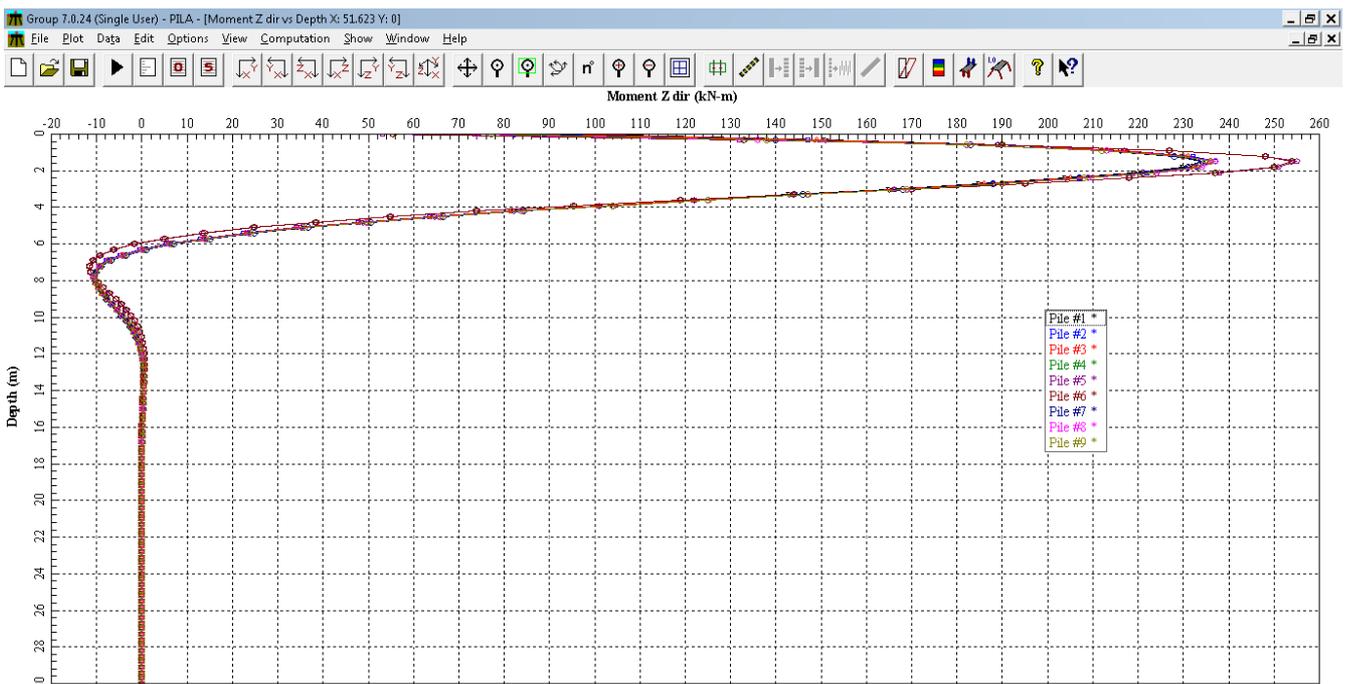
### 5.3.4.4 Azioni taglianti lungo l'asse longitudinale per ciascun palo



### 5.3.4.5 Azioni taglianti lungo l'asse trasversale per ciascun palo

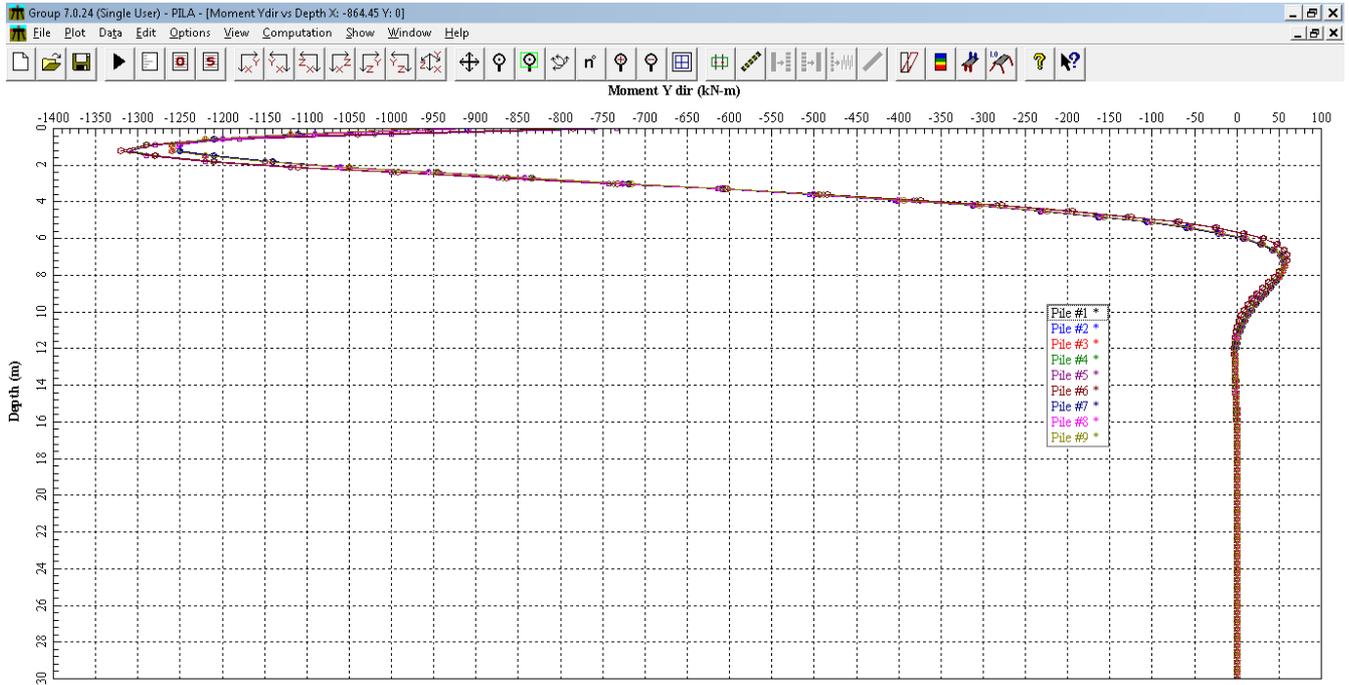


### 5.3.4.6 Azioni flettenti con asse vettore lungo l'asse longitudinale per ciascun palo



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_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						

### 5.3.4.7 Azioni flettenti con asse vettore lungo l'asse trasversale per ciascun palo



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> CS0462_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 5.3.5 Conclusione delle analisi svolte

Dalle analisi svolte ai paragrafi precedenti, si ottengono risultati in ottimo accordo che le analisi svolte sui modelli agli EF riportate ai paragrafi 5.1 e 5.2.

Per una maggior comprese delle risultanze nei due modelli si riportano in forma tabellare i valori delle grandezze fondamentali per ciascun modello, e indicando la differenza percentuale ottenuta (se la differenza è positiva, i valori ottenuti nel modello avanzato sono maggiori di quanto analizzato nel modello agli EF).

#### ANALISI CONDOTTE SULLA SPALLA

GRANDEZZA INDAGATA	MODELLO AGLI EF	MODELLO CON GROUP	DIFFERENZA %
Azione assiale Nmin [kN]	-3500	-2580	-35,66%
Azione assiale Nmax [kN]	6500	5050	-28,71%
Azione tagliante direzione longitudinale [kN]	1622	1300	-24,77%
Azione tagliante direzione trasversale [kN]	458	340	-34,71%
Azione flettente asse direzione longitudinale [kNm]	900	700	-28,57%
Azione flettente asse direzione trasversale [kNm]	2670	1000	-167,00%
Massima deformazione direzione longitudinale [mm]	12,6	3,6	-250,00%
Massima deformazione direzione trasversale [mm]	3,2	0,5	-540,00%

#### ANALISI CONDOTTE SULLA PILA

GRANDEZZA INDAGATA	MODELLO AGLI EF	MODELLO CON GROUP	DIFFERENZA %
Azione assiale Nmin [kN]	-5700	-3990	-42,86%
Azione assiale Nmax [kN]	10000	8830	-13,25%
Azione tagliante direzione longitudinale [kN]	789	900	12,33%
Azione tagliante direzione trasversale [kN]	289	260	-11,15%
Azione flettente asse direzione longitudinale [kNm]	305	255	-19,61%
Azione flettente asse direzione trasversale [kNm]	954	1310	<b>27,18%</b>
Massima deformazione direzione longitudinale [mm]	13,2	4,4	-200,00%
Massima deformazione direzione trasversale [mm]	3,2	1,05	-204,76%

Dai dati di raffronto riportati, si vede che i dimensionamenti condotti siano corretti; in particolare emerge subito come il modello di calcolo avanzato conduce, come ci si aspettava, a sollecitazioni\deformazioni inferiori rispetto al modello agli EF, in quanto in quest'ultimo non sono stati presi in conto i comportamenti non lineari del terreno.

L'unico dato che aumenta è la massima azione tagliante in direzione trasversale della pila, valore che comunque risulta verificato con le armature adottate.