

PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA



PROGETTO DEFINITIVO

EUROLINK S.C.p.A.

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

 <p>IL PROGETTISTA Dott. Ing. F. Colla Ordine Ingegneri Milano n° 20355 Dott. Ing. E. Pagani Ordine Ingegneri Milano n° 15408</p> 	<p>IL CONTRAENTE GENERALE</p> <p>Project Manager (Ing. P.P. Marcheselli)</p>	<p>STRETTO DI MESSINA Direttore Generale e RUP Validazione (Ing. G. Fiammenghi)</p>	<p>STRETTO DI MESSINA Amministratore Delegato (Dott. P. Ciucci)</p>
--	---	--	---

<p><i>Unità Funzionale</i> OPERA D'ATTRAVERSAMENTO</p> <p><i>Tipo di sistema</i> ATTIVITA' DI CARATTERE GENERALE</p> <p><i>Raggruppamento di opere/attività</i> SISTEMAZIONI ESTERNE ED OPERE ACCESSORIE</p> <p><i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i> CALABRIA - OPERE D'ARTE</p> <p><i>Titolo del documento</i> PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;">PG0095_F0</div>
--	--

CODICE	C G 0 7 0 0 P C L D G T C O P S E 0 1 3 F0
--------	--

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

INDICE

INDICE	3
PREMESSA.....	7
1 RIFERIMENTI NORMATIVI	7
2 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	9
3 CARATTERISTICHE MATERIALI.....	12
3.1 Conglomerato cementizio	12
3.1.1 Conglomerato cementizio per sottofondazioni	12
3.1.2 Conglomerato cementizio per fondazioni	12
3.1.3 Conglomerato cementizio per elevazioni	12
3.2 Acciaio per cemento armato	13
3.3 Acciaio per carpenteria metallica	13
3.4 Collegamenti bullonati	14
3.5 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	21
4.4 CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE	27
4.4.1 Durabilità delle opere.....	27
5 FASI COSTRUTTIVE.....	28
6 ELABORATI DI RIFERIMENTO.....	29
7 ANALISI STRUTTURALE DEL RING.....	30
7.1 ANALISI DEI CARICHI	30
7.1.1 Carichi permanenti strutturali (g_1).....	30
7.1.2 Carichi permanenti portati (g_3)	30
7.1.3 Distorsioni e/o presollecitazioni (ϵ_1).....	30
7.1.4 Variazione termica uniforme (ϵ_3).....	30
7.1.5 Azione del vento (q_5).....	31
7.1.6 Azione sismica (q_6)	33
7.2 MODELLO DI CALCOLO	39
7.2.1 PROGRAMMA DI CALCOLO UTILIZZATO	39

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

7.2.2	DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO.....	42
7.2.3	SISTEMA DI RIFERIMENTO E CONVENZIONE DEI SEGNI.....	45
7.3	ANALISI MODALE DELLA STRUTTURA DEL “RING”	48
7.4	CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI	54
7.4.1	Combinazioni per gli S.L.U.	71
7.4.2	Combinazioni per lo stato limite di fatica	73
7.4.3	Combinazioni per gli S.L.S.....	73
7.5	VERIFICA DELLA STRUTTURA DEL “RING”	74
7.5.1	Verifiche di resistenza e stabilità agli S.L.U.....	74
7.5.1.1	Sezione trasversale del RING	76
7.5.1.2	Montanti del RING	78
7.5.1.3	Pilastrini di sostegno.....	81
7.5.2	Verifica agli S.L.S. per deformabilità	83
7.6	SCARICHI DEL “RING” SULLA PIAZZA.....	85
8	ANALISI STRUTTURALE DELLA PIAZZA.....	88
8.1	ANALISI DEI CARICHI	88
8.1.1	Carichi permanenti strutturali (g_1).....	88
8.1.2	Carichi permanenti portati (g_3)	88
8.1.3	Carichi dovuti alla spinte delle terre (g_3).....	89
8.1.4	Distorsioni e/o presollecitazioni (ε_1).....	90
8.1.5	Variazione termica uniforme (ε_3)	90
8.1.6	Azione sismica (q_6)	90
8.1.7	Azione variabile “folla” (q_9).....	91
8.1.8	Azione variabile “mezzo di lavoro” (q_9).....	92
8.2	MODELLO DI CALCOLO	93
8.2.1	PROGRAMMA DI CALCOLO UTILIZZATO	93
8.2.2	DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO.....	93
8.2.3	SISTEMA DI RIFERIMENTO E CONVENZIONE DEI SEGNI.....	95
8.3	ANALISI MODALE DELLA STRUTTURA DELLA PIAZZA.....	98
8.4	CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI	103
8.4.1	Combinazioni per gli S.L.U.	112
8.4.2	Combinazioni per lo stato limite di fatica	112
8.4.3	Combinazioni per gli S.L.S.....	112

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

8.5	VERIFICA DELLA STRUTTURA DELLA PIAZZA.....	114
8.5.1	Verifica soletta della piazza H=150 cm	115
8.5.2	Verifica soletta dello sbalzo H=100 cm “alleggerito”	117
8.5.3	Verifica del muro di sostegno H=100 cm.....	119
8.5.4	Verifica dei pilastri (sezione 80x36 cm).....	122
8.6	SCARICHI IN FONDAZIONE.....	124
8.6.1	Scarichi in corrispondenza dei pilastri	124
8.6.2	Scarichi in corrispondenza del muro di sostegno	127
9	ANALISI STRUTTURALE DELL’ANFITEATRO	140
9.1	ANALISI DEI CARICHI	140
9.1.1	Carichi permanenti strutturali (g_1).....	140
9.1.2	Carichi permanenti portati (g_3)	140
9.1.3	Carichi dovuti alla spinte delle terre (g_3).....	140
9.1.4	Distorsioni e/o presollecitazioni (ε_1).....	142
9.1.5	Variazione termica uniforme (ε_3)	142
9.1.6	Azione sismica (q_6)	142
9.1.7	Azione variabile “folla” (q_9).....	143
9.2	MODELLO DI CALCOLO	144
9.2.1	PROGRAMMA DI CALCOLO UTILIZZATO	144
9.2.2	DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO.....	144
9.2.3	SISTEMA DI RIFERIMENTO E CONVENZIONE DEI SEGNI	146
9.3	ANALISI MODALE DELLA STRUTTURA DELL’ANFITEATRO	149
9.4	CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI	154
9.4.1	Combinazioni per gli S.L.U.	162
9.4.2	Combinazioni per lo stato limite di fatica	162
9.4.3	Combinazioni per gli S.L.S.....	162
9.5	VERIFICA DELLA STRUTTURA DELL’ANFITEATRO	164
9.5.1	Verifica soletta H=50 cm.....	165
9.5.2	Verifica piedritti H=100 cm	167
9.5.3	Verifica piedritti H=50 cm.....	169
9.5.4	Verifica della fondazione H=150 cm.....	171
9.6	SCARICHI IN FONDAZIONE.....	173
10	ANALISI STRUTTURALE DEI MURI DELLE AIUOLE.....	176

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

10.1	ANALISI DEI CARICHI	176
10.1.1	Carichi permanenti strutturali (g_1).....	176
10.1.2	Carichi dovuti alla spinte delle terre (g_3).....	176
10.1.3	Azione sismica (q_6)	178
10.2	MODELLO DI CALCOLO	179
10.2.1	DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO.....	179
10.2.2	SISTEMA DI RIFERIMENTO E CONVENZIONE DEI SEGNI	179
10.3	CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI	180
10.3.1	Combinazioni per gli S.L.U.....	180
10.3.2	Combinazioni per gli S.L.S.....	180
10.4	VERIFICA DEI MURI DI SOSTEGNO DELLE AIUOLE	181
11	ANALISI DELLE FONDAZIONI	184
11.1.1	ANALISI DEI CARICHI	188
11.1.2	MODELLO DI CALCOLO.....	188
11.1.2.1	PROGRAMMA DI CALCOLO UTILIZZATO	188
11.1.2.2	DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO	188
11.1.3	CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI A INTRADOSSO FONDAZIONE.....	188
11.1.3.1	Combinazioni per gli S.L.U. e S.L.S.	188
11.1.3.2	Azioni a intradosso fondazione pilastri piazza	189
11.1.3.3	Azioni a intradosso muro di sostegno della piazza	189
11.1.3.4	Azioni a intradosso fondazione anfiteatro.....	189
11.1.4	VERIFICHE GEOTECNICHE.....	190
11.1.4.1	Verifica a scorrimento	190
11.1.4.2	Verifica di capacità portante.....	191
11.1.4.3	Calcolo dei cedimenti indotti.....	198

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

PREMESSA

La presente relazione riguarda il dimensionamento statico delle strutture costituenti la "Piazza Cannitello", 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"

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<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”

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		Codice documento PG0095_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Rev</th> <th style="text-align: left;">Data</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: left;">F0</td> <td style="text-align: left;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	Rev	Data	F0	20/06/2011
Rev	Data						
F0	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]. ERASMO VIOLA [1992] - "Scienza delle costruzioni"
- [B6]. LUIGI SABBARELLA [1998] - "Il cemento armato: la tecnica e la statica"
- [B7]. O. BELLUZZI [1996] - "Scienza delle costruzioni"
- [B8]. PAOLO RUGALI [2008] - "Calcolo di strutture in acciaio; guida all'Eurocodice 3"
- [B9]. P. POZZATI, C. CECCOLI [2000] - "Teoria e tecnica delle strutture"

RIFERIMENTI PER CALCOLO SISMICO

- [B10]. ANDRE' PREUMONT, KAZUTO SETO [2008] - "Active control of structures"
- [B11]. AMR S. ELNASHI, LUIGI DI SARNO [2008] - "Fundamental of earthquake engineering"
- [B12]. C. CASAROTTI, R. PINHO, G.M. CALVI [2006] - "Adaptive pushover-based methods for seismic assessment and design of bridge structure"
- [B13]. C.G. LAI, S. FOTI, M. ROTA [2009] - "Input sismico e stabilità geotecnica dei siti in costruzione"
- [B14]. D. PIETRA, G.M. CALVI, R. PINHO [2008] - "Displacement-based seismic design of isolated bridge"
- [B15]. ERASMO VIOLA [2001] - "Fondamenti di dinamica e vibrazione delle strutture"
- [B16]. IUSS PRESS, rivista quadrimestrale - "Progettazione sismica"
- [B17]. M.J.N. PRIESTLEY, G.M. CALVI, M.J. KOWLASKY [2007] - "Displacement-based seismic design of structures"
- [B18]. P.E. PINTO, R. GIANNINI, P. FRANCHIN [2004] - "seismic reliability analysis of structures"

RIFERIMENTI PER CALCOLO GEOTECNICO

- [B19]. ASSOCIAZIONE GEOTECNICA ITALIANA [1984] - "Raccomandazioni sui pali di fondazione"

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		Codice documento PG0095_F0.doc	Rev F0	Data 20/06/2011

- [B20]. BRINCH-HANSEN, J. [1961] - "A General Formula for Bearing Capacity" - The Danish Geotechnical Institute, Bull. n.11, Copenhagen.
- [B21]. BRINCH-HANSEN, J. [1970] - "A Revised and Extended Formula for Bearing Capacity" - The Danish Geotechnical Institute, Bull. n.28, Copenhagen.
- [B22]. 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
- [B23]. 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.
- [B24]. BOWLES J.E. [1991] - "Fondazioni – Progetto e Analisi" - Editore McGraw-Hill
- [B25]. CARLO CESTELLI GUIDI [1987] - "Geotecnica e tecnica delle fondazioni"
- [B26]. 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.
- [B27]. GROUP 7.0 for Windows [2000] - Technical & User's manual – Ensoft Inc.
- [B28]. H.G. POULOS, E.H. DAVIS [2002] - "Analisi e progettazione di fondazioni su pali"
- [B29]. JAMIOLKOWSKI M. et al. [1983] - "Scale effects of ultimate pile capacity" - Discussion, JGED, ASCE.
- [B30]. LANCELOTTA R. [1991] " Geotecnica" – Edizioni Zanichelli.
- [B31]. MEYERHOF, G.G. [1951] - "The Ultimate Bearing Capacity of Foundations" - Geotechnique, 2, 301-332.
- [B32]. MEYERHOF, G.G. [1951] - "Some recent research on the bearing capacity of foundations" - Canadian Geotechnical Journal, 1, 16-26
- [B33]. 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.
- [B34]. 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
- [B35]. REESE L.C., W.R.COX, F.D. KOOP [1974] - "Analysis of lateralli loaded piles in sand" – Paper N° OCT 2080, Proceedings, Fifth Annual Offshore Technology Conference, Houston, Texas, 1975.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- [B36]. 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.
- [B37]. 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.
- [B38]. SKEMPTON, A. W. [1951] - "The bearing capacity of clays" - Building Research Congress, London, 1, 180-189.
- [B39]. VESIC, A.S. [1970] - "Tests on instrumented Piles, Ogeechee River Site" - JSMFD, ASCE, V. 96, N. SM2, Proc. Paper 7170, March.
- [B40]. VESIC, A.S. [1973] - "Analysis of Ultimate Loads of Shallow Foundations". - JSMFD, ASCE, Jan., 45-73.
- [B41]. 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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 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 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	$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c = 0,85 * f_{ck} / 1,5 = 14,167 \text{ N/mm}^2$
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

3.1.3 Conglomerato cementizio per elevazioni

Classe	C32/40
Resistenza caratteristica cubica	$f_{ck,cube} = 40 \text{ N/mm}^2$
Resistenza caratteristica cilindrica	$f_{ck,cyl} = 32 \text{ N/mm}^2$
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck} / \gamma_c = 0,85 * f_{ck} / 1,5 = 18,133 \text{ N/mm}^2$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<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	$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3}$	= 3,024 N/mm ²
Resistenza a trazione (frattile 5%)	$f_{ctk\ 0,05} = 0,7 * f_{ctm}$	= 2,117 N/mm ²
Resistenza a trazione di calcolo	$f_{ctd} = f_{ctk\ 0,05} / \gamma_c$	= 1,411 N/mm ²
Classe di esposizione	XC4 – 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	$f_{yk} \geq 450$ N/mm ²
Tensione caratteristica a rottura	$f_{tk} \geq 540$ N/mm ²
Resistenza di calcolo	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 450/1,15 = 391,30$ 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

In conformità con la norma UNI EN 10025:

- Elementi composti per saldatura:

spessori $t \leq 40$ mm:

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

spessori $t > 40$ mm:

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

- Elementi non saldati:

spessori $t \leq 16$ mm:

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

spessori $16 < t \leq 40$ mm:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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 Saldature

In conformità con il D.M. 14/01/2008.

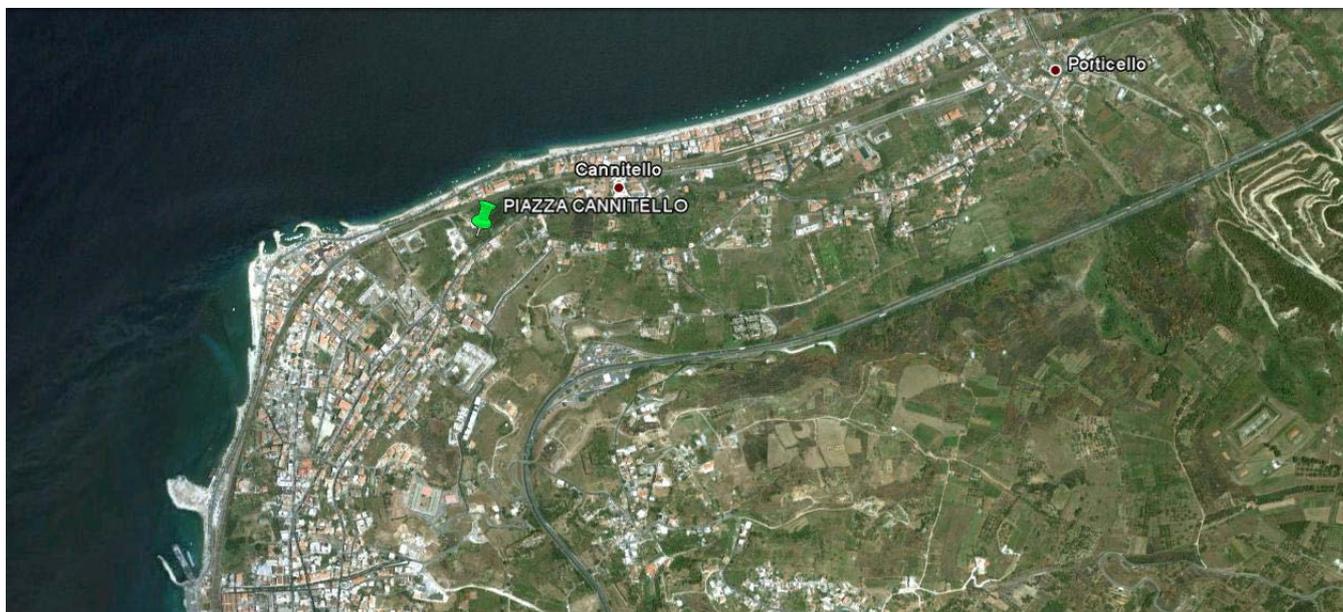
Dove non diversamente specificato si prevedono saldature a cordone d'angolo di lato pari a 0.7 per lo spessore minimo da collegare se su entrambi i lati, e di lato pari allo spessore minimo da collegare se su un solo lato. Tutti i cordoni devono essere sigillati sul contorno. Per i giunti a piena penetrazione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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<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						

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 38,23184 e Longitudine di 15,64333.



F1. Individuazione della zona in cui ricade l'opera

L'opera si sviluppa con un andamento pressoché circolare in pianta, con un raggio prossimo ai 45 m. La struttura si divide su due livelli altimetrici:

- la piazza a quota +10 m s.l.m.
- l'anfiteatro a quota +17,5 m s.l.m.

Al di sopra della piazza che “collega” i due livelli altimetrici è posto un “ring” circolare metallico dello sviluppo di 227 m con solo fine estetico.

Analizzando con più dettaglio gli elementi componenti la piazza, si individuano 5 elementi strutturali principali:

- la piazza a quota 10 m sl.m., separata dall'anfiteatro da un giunto strutturale, costituita interamente da c.a. E' composta da un muro di sostegno dello spessore di 100 cm, fondato

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

su una trave di fondazione anche in c.a. (altezza 100 cm – profondità 450 cm), che funge da sostegno principale per la piazza sovrastante realizzata con una soletta gettata in opera dello spessore di 150 cm

- lo sbalzo della piazza a quota 10 m s.l.m., di spessore 100 cm realizzato in c.a. “alleggerito” (mediante blocchi di polistirolo 40x40x40), collegato rigidamente (senza giunti strutturali) alla piazza e al muro di sostegno sottostante, poggiante su pilastri obliqui rettangolari in c.a. delle dimensioni minime 80x36 cmq; la fondazione dei pilastri è realizzata mediante una trave in c.a. su fondazione diretta (altezza 100 cm – profondità 300 cm) collegata rigidamente alla fondazione del muro di sostegno. I pilastri sono connessi alla piazza sovrastante mediante uno schema di cerniera, per ridurre le azioni flettenti trasmesse dalla sovrastruttura
- l’anfiteatro, realizzato in c.a. mediante setti verticali dello spessore di 50-100 cm, vincolati sulla fondazione dello spessore di 150 cm in c.a. (per maggior dettaglio vedi elaborati grafici); l’anfiteatro è scollegato dalle restanti parti mediante giunti strutturali
- i muri e la piazza a quota 17,50 m sl.m., realizzati in c.a. con le stesse caratteristiche dei muri di sostegno della piazza sottostante, mentre la piazza a quota 17,5 m è realizzata con una platea gettata in opera dello spessore massimo di 80 cm
- il ring, è una struttura metallica realizzata mediante profilati tubolari cavi, costituita da:
 - pilastri $\phi 500$ – sp 30
 - corrente inferiore $\phi 300$ – sp 20
 - correnti superiori $\phi 200$ – sp 15
 - montanti $\phi 200$ – sp 15

la connessione tra pilastri e reticolare spaziale è realizzata mediante bullonatura (connessione capace di trasferire esclusivamente le azioni taglianti e assiali), mentre tutti gli altri elementi sono saldati. I montanti hanno un interasse di 2 m, consentendo quindi l’eventuale realizzazione in officina di parti della reticolare spaziale, trasportando poi i conci in cantiere senza oneri specifici.

Le azioni considerate nel calcolo sono quelle tipiche di una struttura interrata con le aggiunte delle azioni di tipo accidentale, con applicazione della Normativa D. M. Min. Il. TT. del 14 gennaio 2008 – Norme tecniche per le costruzioni.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

4.2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL LUOGO

Essendo l'intervento in prossimità delle opere d'accesso, la caratterizzazione geotecnica del luogo è individuata dalla seguente descrizione.

Descrizione delle litologie prevalenti

La litologia prevalente è costituita dalla formazione del Conglomerato di Pezzo.

Il Conglomerato di Pezzo, di età tortoniana, è la litologia stratigraficamente più bassa della successione sedimentaria. La sua potenza è superiore ai 200 m.

Il conglomerato è composto prevalentemente da clasti di graniti e gneiss cementati in matrice prevalentemente composta da frazioni arenacee fini e limose.

Le dimensioni dei clasti sono eterogenee e variabili da pochi mm fino a blocchi superiori al metro, interpretati come grossi trovanti inglobati nel conglomerato.

Negli affioramenti la formazione presenta un aspetto litoide con scarpate stabili.

Il Conglomerato di Pezzo ha quindi generalmente caratteristiche assimilabili a quelle di rocce tenere.

Localmente non ci sono indagini che indagano nei primi 30m di profondità per la caratterizzazione sismica del suolo. La prova sismica nel vicino sondaggio CS103 fornisce una Vs30 di cat. B.

Indagini previste

Si considerano i sondaggi e le prove localmente disponibili.

- prove di carico su piastra (campagna di indagine 1988 – pozzo P2500)
- 3 prove sismiche (CS103,C423BIS,OTCCH1501)
- Prove pressiometriche e dilatometriche (C403BIS, C404, C423, C423BIS,OTCSPT504)
- Prove di laboratorio per la determinazione dei parametri fisici e meccanici (CS103, FCBH1512, OTCLPT1505, FCCH2509, OTCSPT504, FCBH1501, OTCLPT2503)

Caratterizzazione geotecnica

Per i criteri e per gli aspetti generali di caratterizzazione si rimanda a quanto riportato nella relazione Elab. CG0800PRBDCSBC8G000000001A. Per la definizione delle categorie di suolo si rimanda al medesimo elaborato ed alla relazione sismica di riferimento.

Conglomerato di Pezzo

Per quanto riguarda gli spezzoni di roccia o di conglomerato prelevati nei sondaggi il peso di

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

volume totale γ è risultato mediamente pari a 23 kN/m^3 con i valori più bassi di $20 - 21 \text{ kN/m}^3$ rappresentativi degli spezzoni conglomeratici:

Per lo stato iniziale poiché la litologia in esame è quella, della successione sedimentaria, più vecchia, è difficile tenere in conto in modo sintetico della storia tensionale del deposito che è stato caratterizzato da fenomeni di preconsolidazione e cementazione. La stima può in prima approssimazione essere effettuata: considerando un età di almeno 10 milioni di anni, che $K_{o_{nc}}=0.35 \div 0.5$ ($\phi'=30^\circ \div 40^\circ$) e che $K_{o_{oc}}=0.5 \div 0.6$, tenendo dell'erosione (si stima un fattore minimo pari a 1.4 corrispondente ad $OCR=2$) ed infine considerando gli effetti di "aging" con la correlazione di (Mesri (1989)), si ottiene un valore compreso approssimativamente fra 0.7 e 0.9.

Per i parametri di resistenza al taglio nell'ambito dello strato superficiale più alterato ($z < 25 \div 30 \text{m}$), si fa riferimento alla caratterizzazione geotecnica generale che si basa sull'esito delle prove di carico su piastra, ritenute maggiormente rappresentative del comportamento d'insieme dell'ammasso: si considerano quelle ubicate in prossimità del blocco di ancoraggio lato Calabria (campagna di indagine 1988 – pozzo P2500) ed al proposito si è ripreso lo studio effettuato nel Progetto preliminare ("Le basi del progetto – Geotecnica" – Elab. PP2RA24) (Vd.Elaborazione CG0800PRBDCSBC8G000000001A).

In corrispondenza di un valore medio di $\phi'=40^\circ$ (ottenuto anche da prove pressiometriche) i valori di c' ottenuti variano linearmente, tra 0 e circa 25m di profondità, da 0 a 100 KPa circa.

La resistenza a compressione monoassiale ottenuta invece da prove di laboratorio LPT ha fornito valori molto variabili da qualche MPa ad un max di 30-40MPa.

Per i parametri di deformabilità nel contesto in esame le simiche di riferimento sono CS103, C423bis, OTCCH1501 che evidenziano una certa variabilità, si può porre: $G_0=400-800 \text{ MPa}$ e quindi $E_0=960-1920 \text{ MPa}$.

Le pressiometriche nei fori C403bis (carico), C404 (carico e scarico-ricarico), C423 (carico e scarico-ricarico), C423bis (carico), OTCSTPT504 (scarico-ricarico) forniscono un range di valori variabilissimo fra 15m e 35m di profondità compreso fra 75 e 220 MPa, mediamente pari a 150 MPa.

Facendo riferimento all'esito delle prove sismiche ed al valore medio dei valori scaturiti dalle prove dilatometriche e pressiometriche si ritiene che il range $E'=150 \div 300 \text{ MPa}$, nei primi 20m di spessore del Conglomerato di Pezzo, possa considerarsi adeguato per la tratta in esame.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%; text-align: center;"><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						

In particolare il valore minimo di $E'=150$ MPa si ritiene mediamente rappresentativo del contesto geotecnico in esame in cui sono previste opere che mobilitano medie e grandi deformazioni.

Caratteristiche geotecniche assunte nelle analisi

Le fondazioni dell'opera in oggetto, si attestano a una quota di -2 m da p.c. (+ 1,5 m s.l.m.).

La zona in cui ricade l'opera in oggetto presenta quindi una stratigrafia uniforme caratterizzata dai "conglomerati di pezzo".

Più in dettaglio tale litologia presenta le seguenti caratteristiche:

γ (kN/m ³)	20÷22
c'_{picco} (kPa)	0÷100 (0-25m) per profondità maggiori vedi tabella par. 2.7.4.
ϕ'_{picco} (°)	38-42 (0-25m) per profondità maggiori vedi tabella par. 2.7.4
C_{residuo} (kPa)	vedi tabella par. 2.7.4
Φ_{residuo} (°)	vedi tabella par. 2.7.4
k_o (-)	0.7-0.9
V_s (m/sec)	$V_s = 280 \cdot (z)^{0.2}$
G'_o (MPa)	$G_o = 3000 \cdot p_a \cdot \left(\frac{p'_o}{p_a}\right)^{0.50}$
E' (MPa) *	$E'=150-300$ (0 -20m) $E'=300-500$ (20 - 35m) $E'=500-900$ (35 - 65m) $E'=900 -1500^*$ (>65m)
v' (-)	0.2-0.3
K (m/s)	10^{-7}

Simbologia:

γ_t = peso di volume naturale;

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

ϕ' = angolo di attrito operativo;

c' = intercetta di coesione operativa;

ϕ_r' = angolo di attrito residuo;

c_r' = intercetta di coesione residua;

OCR = grado di sovraconsolidazione;

σ_{vo}' = pressione verticale efficace geostatica;

σ_{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;

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.

ν' (-) = coefficiente di Poisson

p_a = pressione atmosferica di riferimento, espressa in MPa

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

La posizione della falda, nella condizione più critica (muri antistante la piazza) è individuata a -1,5 m da intradosso fondazione.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<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 rigidezza 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 rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali (creazione di cerniere plastiche secondo il criterio della gerarchia delle resistenze), mantenendo ancora un margine di sicurezza (resistenza e rigidezza) 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:

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<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 → ($a_g=0,168g$; $F_0=2,359$; $T^*_c=0,337s$)

Per SLV → ($a_g=0,433g$; $F_0=2,488$; $T^*_c=0,421s$)

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

Il valore del coefficiente di amplificazione stratigrafico risulta:

$$S_s(\text{SLD}) = 1,4 - 0,4 \cdot F_0 \cdot a_g/g = 1,241 \text{ essendo il valore } > 1,2 \text{ si assume } S_s(\text{SLD}) = 1,2$$

$$S_s(\text{SLV}) = 1,4 - 0,4 \cdot F_0 \cdot a_g/g = 0,969 \text{ essendo il valore } < 1 \text{ si assume } S_s(\text{SLV}) = 1,0$$

Vista la collocazione dell'opera può essere assunta come categoria topografica T1 per la classificazione sismica. Il valore di amplificazione topografica risulta $S_t = 1,0$.

L'accelerazione massima è valutata con la relazione:

$$a_{\max}(\text{SLD}) = S \cdot a_g = S_s \cdot S_t \cdot a_g = 1,2 \cdot 1,0 \cdot 0,168g = 0,168g$$

$$a_{\max}(\text{SLV}) = S \cdot a_g = S_s \cdot S_t \cdot a_g = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,433g = 0,433g$$

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

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

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_g	0,168 g
F_0	2,359
T_C	0,337 s
S_S	1,200
C_C	1,367
S_T	1,000
q	1,000

Parametri dipendenti

S	1,200
η	1,000
T_B	0,154 s
T_C	0,461 s
T_D	2,271 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 η 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	0,201
T_B ←	0,154	0,475
T_C ←	0,461	0,475
	0,547	0,400
	0,633	0,346
	0,719	0,304
	0,806	0,272
	0,892	0,245
	0,978	0,224
	1,064	0,206
	1,150	0,190
	1,237	0,177
	1,323	0,165
	1,409	0,155
	1,495	0,146
	1,581	0,138
	1,668	0,131
	1,754	0,125
	1,840	0,119
	1,926	0,114
	2,012	0,109
	2,099	0,104
	2,185	0,100
T_D ←	2,271	0,096
	2,353	0,090
	2,436	0,084
	2,518	0,078
	2,600	0,074
	2,683	0,069
	2,765	0,065
	2,847	0,061
	2,930	0,058
	3,012	0,055
	3,094	0,052
	3,177	0,049
	3,259	0,047
	3,341	0,045
	3,424	0,042
	3,506	0,040
	3,588	0,039
	3,671	0,037
	3,753	0,035
	3,835	0,034
	3,918	0,032
	4,000	0,031

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		Codice documento PG0095_F0.doc	Rev F0	Data 20/06/2011

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

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_{qv}	0,093 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	1,305
S	1,000
η	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	0,093
T_B ←	0,050	0,219
T_C ←	0,150	0,219
	0,235	0,140
	0,320	0,103
	0,405	0,081
	0,490	0,067
	0,575	0,057
	0,660	0,050
	0,745	0,044
	0,830	0,040
	0,915	0,036
T_D ←	1,000	0,033
	1,094	0,027
	1,188	0,023
	1,281	0,020
	1,375	0,017
	1,469	0,015
	1,563	0,013
	1,656	0,012
	1,750	0,011
	1,844	0,010
	1,938	0,009
	2,031	0,008
	2,125	0,007
	2,219	0,007
	2,313	0,006
	2,406	0,006
	2,500	0,005
	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	0,002
	3,719	0,002
	3,813	0,002
	3,906	0,002
	4,000	0,002

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		Codice documento PG0095_F0.doc	Rev Data F0 20/06/2011

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

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0,433 g
F_0	2,488
T_C	0,421 s
S_S	1,000
C_C	1,308
S_T	1,000
q	1,000

Parametri dipendenti

S	1,000
η	1,000
T_B	0,184 s
T_C	0,551 s
T_D	3,331 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)

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

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

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

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

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 η 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	0,433
$T_B \leftarrow$	0,184	1,076
$T_C \leftarrow$	0,551	1,076
	0,683	0,868
	0,816	0,727
	0,948	0,625
	1,080	0,549
	1,213	0,489
	1,345	0,441
	1,477	0,401
	1,610	0,368
	1,742	0,340
	1,874	0,316
	2,007	0,295
	2,139	0,277
	2,272	0,261
	2,404	0,247
	2,536	0,234
	2,669	0,222
	2,801	0,212
	2,933	0,202
	3,066	0,193
	3,198	0,185
$T_D \leftarrow$	3,331	0,178
	3,362	0,175
	3,394	0,171
	3,426	0,168
	3,458	0,165
	3,490	0,162
	3,522	0,159
	3,554	0,156
	3,586	0,154
	3,617	0,151
	3,649	0,148
	3,681	0,146
	3,713	0,143
	3,745	0,141
	3,777	0,138
	3,809	0,136
	3,841	0,134
	3,872	0,132
	3,904	0,130
	3,936	0,127
	3,968	0,125
	4,000	0,123

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		Codice documento PG0095_F0.doc	Rev Data F0 20/06/2011

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

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_{qv}	0,384 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	2,209
S	1,000
η	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	0,384
$T_B \leftarrow$	0,050	0,956
$T_C \leftarrow$	0,150	0,956
	0,235	0,610
	0,320	0,448
	0,405	0,354
	0,490	0,293
	0,575	0,249
	0,660	0,217
	0,745	0,192
	0,830	0,173
	0,915	0,157
$T_D \leftarrow$	1,000	0,143
	1,094	0,120
	1,188	0,102
	1,281	0,087
	1,375	0,076
	1,469	0,066
	1,563	0,059
	1,656	0,052
	1,750	0,047
	1,844	0,042
	1,938	0,038
	2,031	0,035
	2,125	0,032
	2,219	0,029
	2,313	0,027
	2,406	0,025
	2,500	0,023
	2,594	0,021
	2,688	0,020
	2,781	0,019
	2,875	0,017
	2,969	0,016
	3,063	0,015
	3,156	0,014
	3,250	0,014
	3,344	0,013
	3,438	0,012
	3,531	0,011
	3,625	0,011
	3,719	0,010
	3,813	0,010
	3,906	0,009
	4,000	0,009

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

4.4 CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE

In ottemperanza al D.M. del 14.01.2008 (Norme tecniche per le costruzioni), i calcoli sono condotti con il metodo semiprobabilistico agli stati limite.

4.4.1 Durabilità delle opere

Per garantire la durabilità delle strutture in calcestruzzo armato ordinario, esposte all'azione dell'ambiente, si devono adottare i provvedimenti atti a limitare gli effetti di degrado indotti dall'attacco chimico, fisico e derivante dalla corrosione delle armature e dai cicli di gelo e disgelo.

Al fine di ottenere la prestazione richiesta in funzione delle condizioni ambientali, nonché per la definizione della relativa classe, si fa riferimento alle indicazioni contenute nelle Linee Guida sul calcestruzzo strutturale edite dal Servizio Tecnico Centrale del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici ovvero alle norme UNI EN 206-1:2006 ed UNI 11104:2004.

Per le opere della presente relazione si adottano le classi di esposizione indicate al §3.1 ricordando che per ciascuna classe di esposizione le condizioni ambientali da considerare sono le seguenti (in accordo con [NT_1]):

Condizioni ambientali	Classe di esposizione
<i>Ordinarie</i>	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
<i>Aggressive</i>	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
<i>Molto aggressive</i>	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Nella tabella seguente si riportano per completezza anche i limiti di apertura delle fessure in funzione delle condizioni ambientali e della sensibilità delle armature secondo [NT_1]:

Gruppi di esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w_d	Stato limite	w_d
a	<i>Ordinarie</i>	frequente	ap. fessure	$\leq w_2$	ap. fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
b	<i>Aggressive</i>	frequente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$
c	<i>Molto aggressive</i>	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$

Per tutte le parti strutturali componenti l'opera in progetto si utilizzano armature **poco sensibili**.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

5 FASI COSTRUTTIVE

La realizzazione delle strutture della piazza si pone, temporalmente, a valle del cantiere di realizzazione delle torri dell'opera principale.

La realizzazione dell'opera prevede le seguenti fasi principali di costruzione:

ESECUZIONI DI PRIMA FASE:

- la strada Litoranea è deviata per la realizzazione delle torri del ponte;
- sbancamento e preparazione del piano di posa del cls magro di sottofondazione;
- getto del cls magro e realizzazione della soletta di fondazione dei pilastri e del muro di sostegno della piazza a quota +10 m, successivamente al disarmo dei casseri;
- cassetatura delle elevazioni e getto delle parti in c.a. dei pilastri e muro di sostegno, successivamente al disarmo dei casseri;
- getto della soletta in c.a. alleggerita dello sbalzo della piazza.

ESECUZIONI DI SECONDA FASE

- eseguire il riempimento del materiale a tergo del muro (come da specifica tecnica), fino a quota intradosso piazza;
- getto del cls magro e realizzazione della soletta della piazza a quota +10 m.

ESECUZIONI DI TERZA FASE

- cassetatura e getto delle parti in c.a. dell'anfiteatro e dei muri di sostegno della piazza a quota 17,5 m, successivamente al disarmo dei casseri;
- eseguire il riempimento del materiale a tergo del muro (come da specifica tecnica), fino a quota intradosso piazza;
- getto del cls magro e realizzazione della soletta della piazza a quota +17,5 m;
- realizzazione del "ring" metallico;
- realizzazione delle finiture e completamento della piazza come da progetto strutturale e architettonico.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

6 ELABORATI DI RIFERIMENTO

Gli elaborati di riferimento per l'opera in esame sono i seguenti:

Piazza - Relazione tecnico descrittiva dell'opera	-	CG0000	P	RG	D	G	TC	OP	SE	00	00	00	09	A
Piazza - Relazione di calcolo	-	CG0000	P	CL	D	G	TC	OP	SE	00	00	00	13	A
Piazza - Rappresentazione 3D dell'opera	VARIE	CG0000	P	PZ	D	G	TC	OP	SE	00	00	00	17	A
Piazza - Sezione trasversali - vista 3D dell'opera	VARIE	CG0000	P	WZ	D	G	TC	OP	SE	00	00	00	11	A
Piazza - Prospetti	VARIE	CG0000	P	PZ	D	G	TC	OP	SE	00	00	00	18	A
Piazza - Carpenteria piante - tavola 1/4	1:200	CG0000	P	B9	D	G	TC	OP	SE	00	00	00	01	A
Piazza - Carpenteria piante - tavola 2/4	1:200	CG0000	P	B9	D	G	TC	OP	SE	00	00	00	02	A
Piazza - Carpenteria piante - tavola 3/4	1:200	CG0000	P	B9	D	G	TC	OP	SE	00	00	00	03	A
Piazza - Carpenteria piante - tavola 4/4	1:200	CG0000	P	B9	D	G	TC	OP	SE	00	00	00	04	A
Piazza - Carpenteria sezioni - tavola 1/2	1:100	CG0000	P	BA	D	G	TC	OP	SE	00	00	00	01	A
Piazza - Carpenteria sezioni - tavola 2/2	1:100	CG0000	P	BA	D	G	TC	OP	SE	00	00	00	02	A
Piazza - Carpenteria metallica del "Ring"	VARIE	CG0000	P	BZ	D	G	TC	OP	SE	00	00	00	07	A
Piazza - Fasi costruttive	VARIE	CG0000	P	SZ	D	G	TC	OP	SE	00	00	00	06	A

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<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						

7 ANALISI STRUTTURALE DEL RING

7.1 ANALISI DEI CARICHI

Nel seguente paragrafo si descrivono i carichi elementari da assumere per le verifiche dagli SLS, SLU ed in presenza dell'evento sismico.

Per i materiali si assumono i seguenti pesi specifici:

- acciaio: 78,5 kN/m³
- alluminio per rivestimento: 27 kN/m³

7.1.1 Carichi permanenti strutturali (g₁)

Sezione corrente ring	=	0,035 x 78,5	=	2,747 kN/m
Montanti	=	0,0087 x 78,5 x 2 / 2	=	0,683 kN/m
Pilastri	=	0,044 x 78,5	=	3,454 kN/m

7.1.2 Carichi permanenti portati (g₃)

Rivestimento in alluminio	=	(2,1+1) x 2 x 0,001 x 27	=	0,167 kN/m
---------------------------	---	--------------------------	---	------------

Totale carichi permanenti portati ≈ 0,20 kN/m

7.1.3 Distorsioni e/o presollecitazioni (ε₁)

Essendo la struttura priva di ogni tipo di presollecitazione, tale contributo non è presente su tale opera.

7.1.4 Variazione termica uniforme (ε₃)

In accordo con la normativa vigente (vedi § 3.3.5 D.M. 14-01-2008 e § 5.3 UNI EN 1991-1-5:2004) per le strutture in acciaio direttamente esposte a irraggiamento si assume una variazione uniforme di temperatura pari a ±25°C, da cui:

$$\varepsilon_{\Delta T} = \alpha \cdot \Delta T = 1,2 \cdot 10^{-5} \cdot 25 = 3,0 \cdot 10^{-4}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

7.1.5 Azione del vento (q_5)

L'azione del vento è stata assimilata ad un carico orizzontale statico, diretto ortogonalmente all'asse della struttura. Tale azione è stata considerata agente sulla proiezione nel piano verticale delle superfici direttamente investite. La superficie esposta al vento è una parete continua dell'altezza di 2,1 m.

In accordo con la normativa vigente (vedi § 3.3 D.M. 14-01-2008 e § 8 UNI EN 1991-1-4:2005) l'azione del vento si valuta tramite l'espressione:

$$p = q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d$$

dove:

q_b è la pressione cinetica di riferimento

c_e è il coefficiente di esposizione

c_p è il coefficiente di forma

c_d è il coefficiente dinamico

Considerando che l'opera sia collocata in una zona 4 (Calabria) di Classe di rugosità D e data l'ubicazione geografica, si deve fare riferimento alla categoria di esposizione del sito I, da cui:

$$k_r = 0,17$$

$$z_0 = 0,01 \text{ m}$$

$$z_{\min} = 2,00 \text{ m}$$

Il valore di riferimento v_b della velocità del vento si assume pari a:

$$v_b = v_{b,0} = 28 \text{ m/s} \quad (a_s \leq a_0)$$

dove:

$$v_{b,0} = 28 \text{ m/s}$$

$$a_0 = 500 \text{ m}$$

$$k_a = 0,020 \text{ s}^{-1}$$

$$a_s = 65 \text{ m}$$

L'azione da vento viene calcolata facendo riferimento ad un tempo di ritorno pari a $T_R = 200$ anni, si riporta il conseguente valore della velocità di riferimento:

$$v_b = \alpha_R \cdot v_b = 0,75 \sqrt{1 - 0,2 \cdot \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T_R} \right) \right]} \cdot 28,00 = 30,12 \text{ m/s}$$

Da cui la pressione cinetica di riferimento vale:

$$q_b = 1 / 2 \cdot \rho \cdot v_b^2 = 0,5 \cdot 1,25 \cdot 30,12^2 = 567,0 \text{ N/mq} = 0,567 \text{ kN/mq}$$

Considerando inoltre:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: left;">F0</td> <td style="text-align: left;">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						

$$c_p = 1,40$$

$$c_d = 1,00$$

$$c_t = 1,00 \quad (\text{coefficiente di topografia})$$

$$c_e(z) = k_r^2 \cdot c_t(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \cdot \left[7 + c_t \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)\right] = 3,207 \quad \text{per } z=20 \text{ m}$$

Si ottiene la pressione del vento pari a:

$$p = q_b \cdot c_e \cdot c_p \cdot c_d = 0,567 \cdot 3,207 \cdot 1,4 \cdot 1 = 2,545 \text{ kN/mq}$$

Da cui si ottiene l'azione del vento come carico distribuito per unità di lunghezza applicato al baricentro della superficie verticale esposta al vento:

$$\text{Altezza superficie} \quad H_{\text{sup}} = 2,10 \text{ m}$$

$$\text{Azione del vento} \quad F_{w,x} = 2,10 \cdot 2,545 = 3,35 \text{ kN/m}$$

Essendo una struttura molto snella, in accordo con la normativa vigente (vedi § 3.3.9.2 D.M. 14-01-2008 e § e.1.3.1 UNI EN 1991-1-4:2005) deve essere inoltre verificato l'effetto dinamico del vento (distacco alternato dei vortici), onde prevenire effetti di risonanza della struttura.

Tale fenomeno produce un'azione ciclica ortogonale all'asse della struttura, la cui frequenza di applicazione è pari a:

$$f_s = S_t \cdot \frac{v}{b} \quad (\text{formula di Strouhal})$$

dove:

f_s è la frequenza di applicazione del carico

S_t numero di Strouhal (pari a 0,12 per l'opera in esame)

v è la velocità media del vento

b è la dimensione della struttura ortogonale all'azione del vento

Si ottiene quindi:

$$f_s = S_t \cdot \frac{v}{b} = 0,12 \cdot \frac{28}{2,10} = 1,6 \text{ Hz}$$

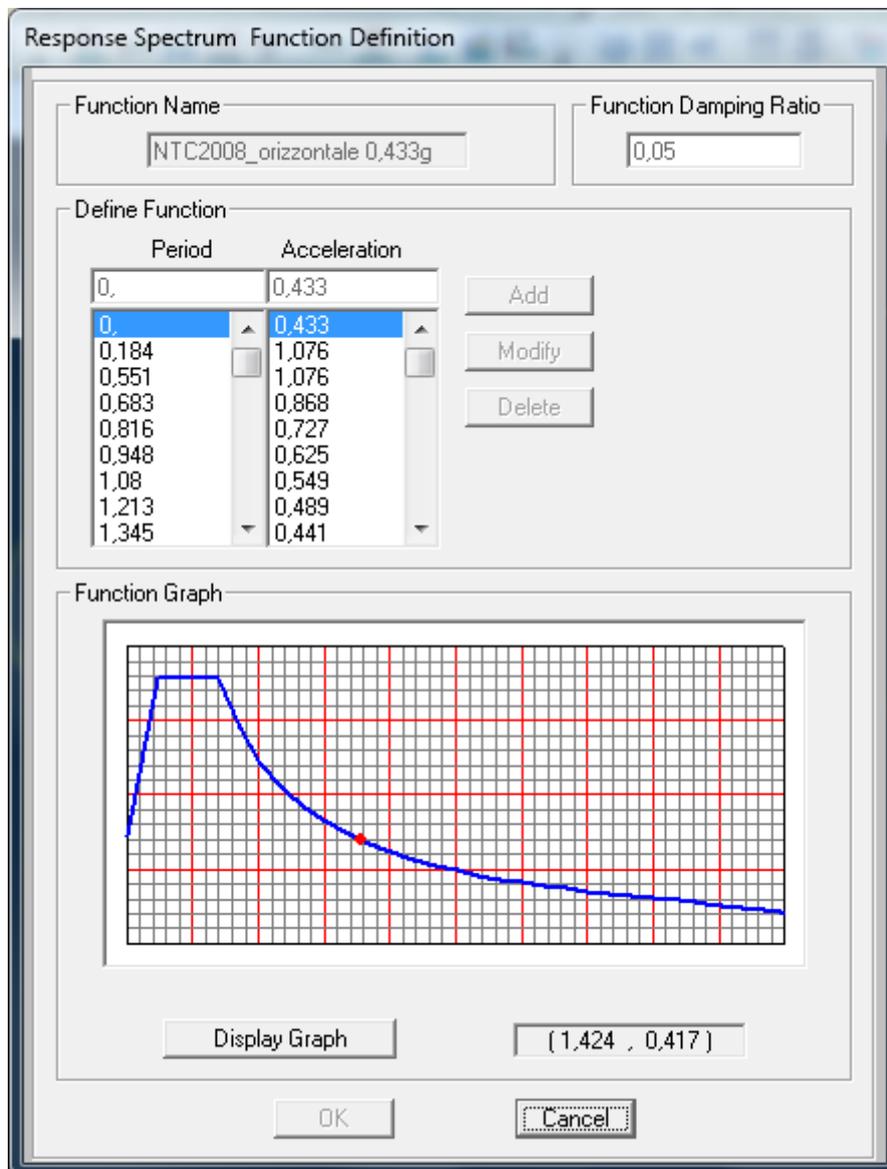
Deve quindi essere verificato che il periodo di vibrazione della struttura (in tutti i suoi modi di vibrare), sia differente dal valore di frequenza di applicazione del carico ottenuto (vedi § 7.3).

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		Codice documento PG0095_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;">Rev</td> <td style="width: 50%;">Data</td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	Rev	Data	F0	20/06/2011
Rev	Data						
F0	20/06/2011						

7.1.6 Azione sismica (q_6)

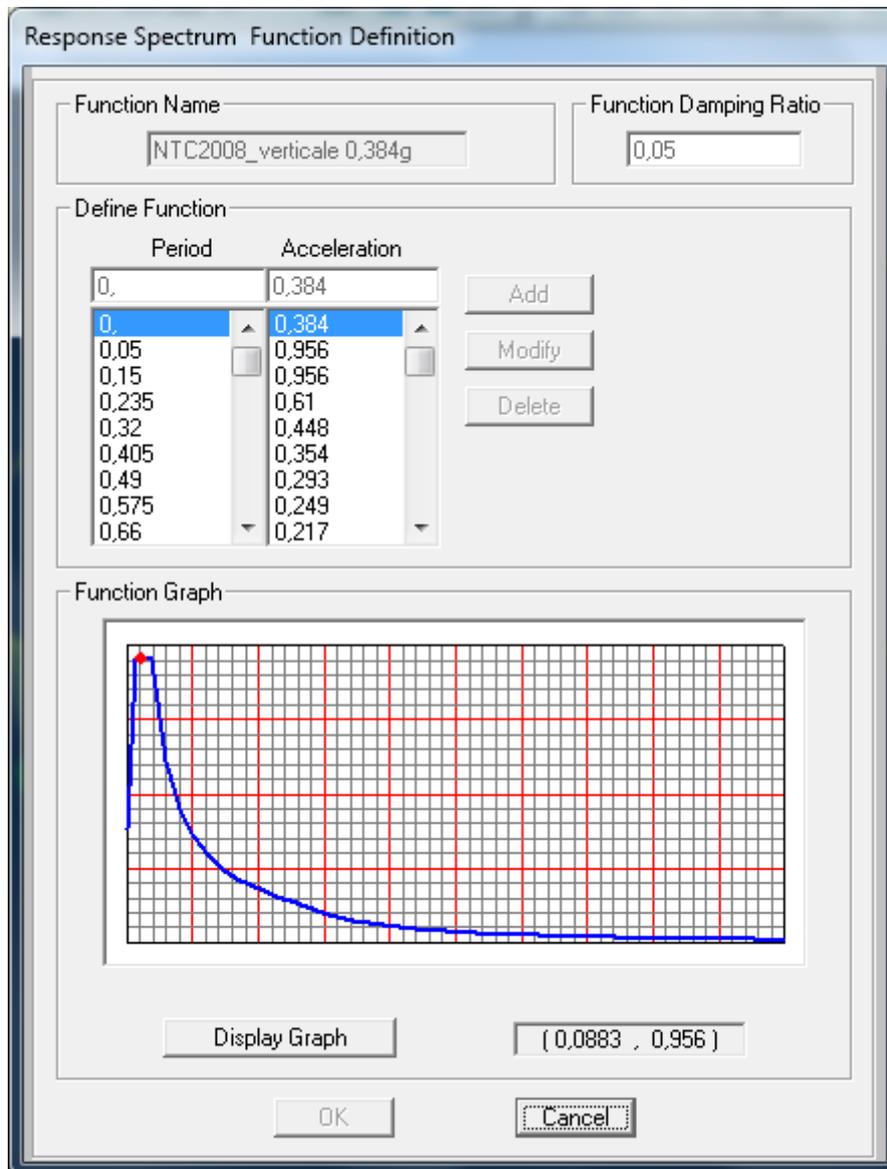
In accordo con la normativa vigente (vedi § 3.2.3 D.M. 14-01-2008 e vedi § C3.2.3 C.M. 02-02-2009), l'azione sismica viene applicata mediante un'analisi spettrale nelle 3 coordinate principali X, Y e Z.

L'analisi consente di definire le sollecitazioni prodotte all'interno della struttura in conseguenza dell'applicazione degli spettri definiti al §4.3 e di seguito riportati in forma grafica:



F2. Spettro di progetto applicato in direzione X e Y

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		Codice documento PG0095_F0.doc	Rev Data F0 20/06/2011



F3. Spettro di progetto applicato in direzione Z

Gli spettri utilizzati per la definizione dell'azione sismica, sono:

- Spettri elastici
- Fattore di struttura $q=1$
- Fattore di smorzamento $\xi=0,05$

Tali ipotesi impongono quindi alla struttura un comportamento elastico lineare anche in conseguenza dell'applicazione del terremoto di progetto, garantendo quindi un maggior livello prestazionale dell'opera (non si ricorre alle caratteristiche plastiche della struttura) e la NON

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

formazione di deformazioni non lineari residue permanenti.

La corretta applicazione dell'analisi spettrale si basa su una corretta analisi modale della struttura.

In accordo con la normativa vigente il numero di modi da considerare deve essere tale da fornire una risposta capace di rappresentare il comportamento dinamico completo della struttura; in particolare il D.M. 14-01-2008 suggerisce di considerare tutti i modi con massa partecipante superiore al 5%, oppure un numero di modi la cui massa partecipante totale sia superiore all'85%. L'analisi modale viene svolta con 2 metodi differenti, onde accertare l'effettivo modo di vibrare proprio dell'opera:

- ⇒ tramite un'analisi con "autovettori" (**Eigen-vector analysis**), con i quali si determinano i modi naturali di vibrare e le frequenze del sistema. Con la conoscenza delle forme modali si ha a disposizione uno strumento eccellente per conoscere il comportamento della struttura.
- ⇒ tramite un'analisi con "vettori di Ritz" (**Ritz-vector analysis**), con i quali si determinano i modi di vibrare utilizzando particolari combinazioni di vettori applicati alla struttura.

Il secondo metodo è migliore rispetto all'utilizzo di autovettori quando si devono svolgere analisi tramite spettro di risposta o analisi "time-history"; tramite la "Ritz-vector analysis" infatti, il modello di calcolo può essere eccitato tramite combinazioni di vettori simili alla storia di carico cui dovrà essere sottoposta la struttura (nel caso in cui si utilizzino accelerogrammi o spettri di risposta per esempio, un efficace "starting load vector" è l'applicazione di un'accelerazione in una determinata direzione). Inoltre l'utilizzo dei vettori di Ritz permette di raggiungere la percentuale di massa partecipante voluta prendendo in considerazione un minor numero di modi di vibrare; in questa maniera si riesce a cogliere l'effettivo comportamento dinamico della struttura senza chiamare in causa modi di vibrare "non-realistici".

Per mostrare quanto esposto, basta osservare la percentuale di massa partecipante attivata nei due metodo sopra citati (vedi § 7.3).

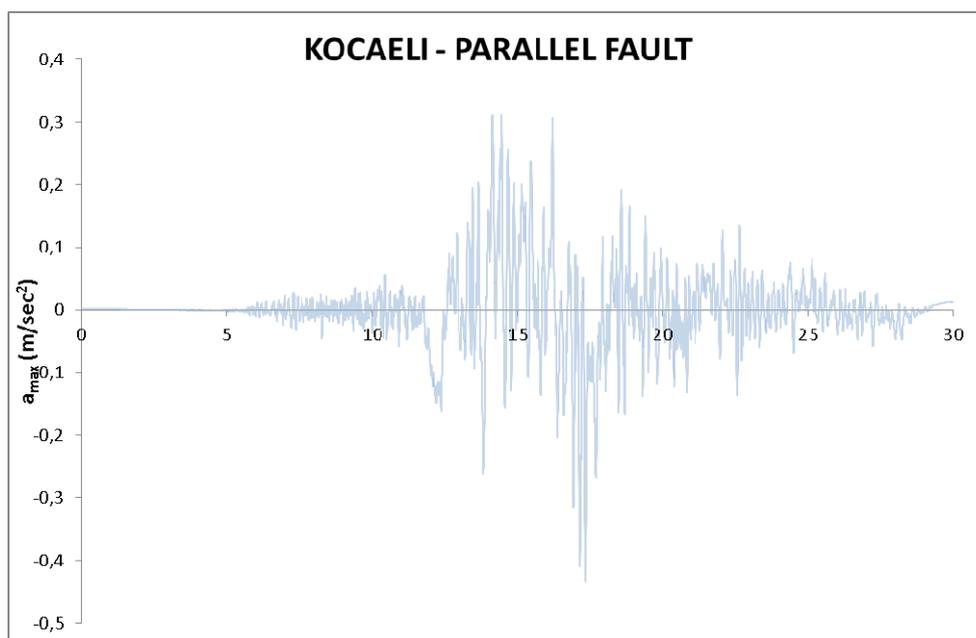
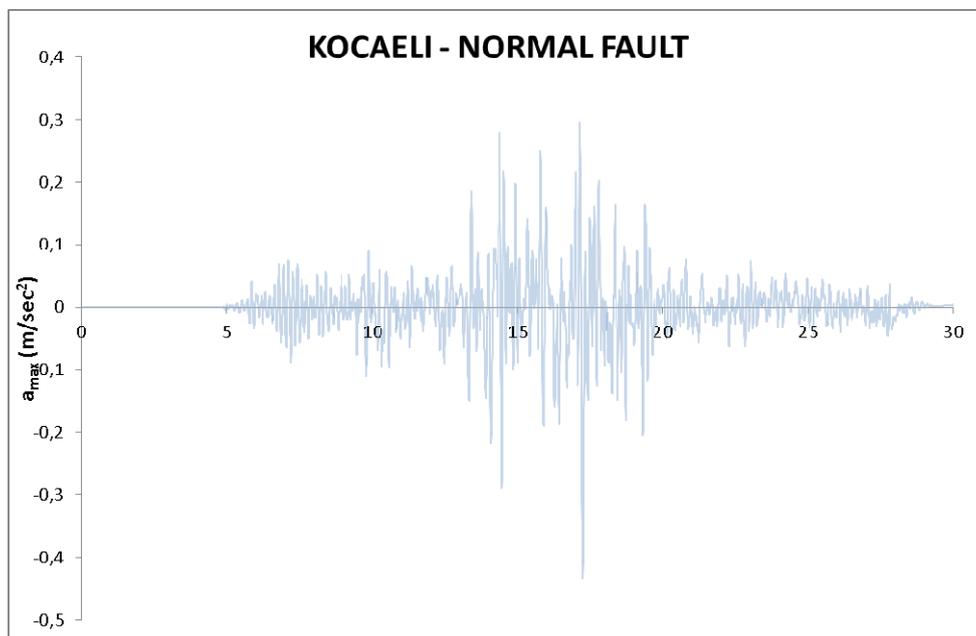
A valle delle analisi svolte, viene condotta anche un'analisi dinamica lineare, mediante l'utilizzo di accelerogrammi registrati, per confermare quando analizzato nelle analisi spettrali.

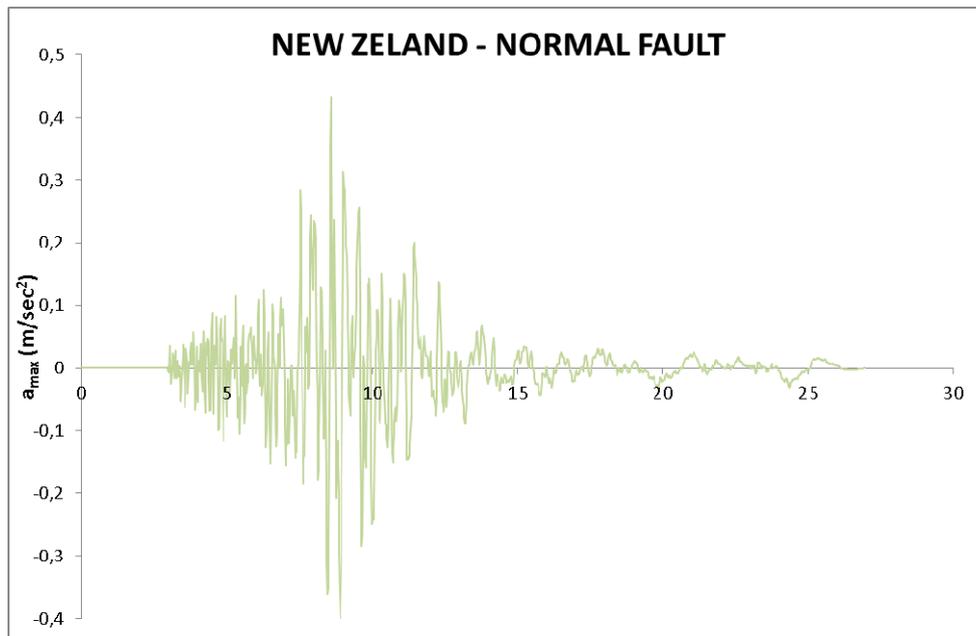
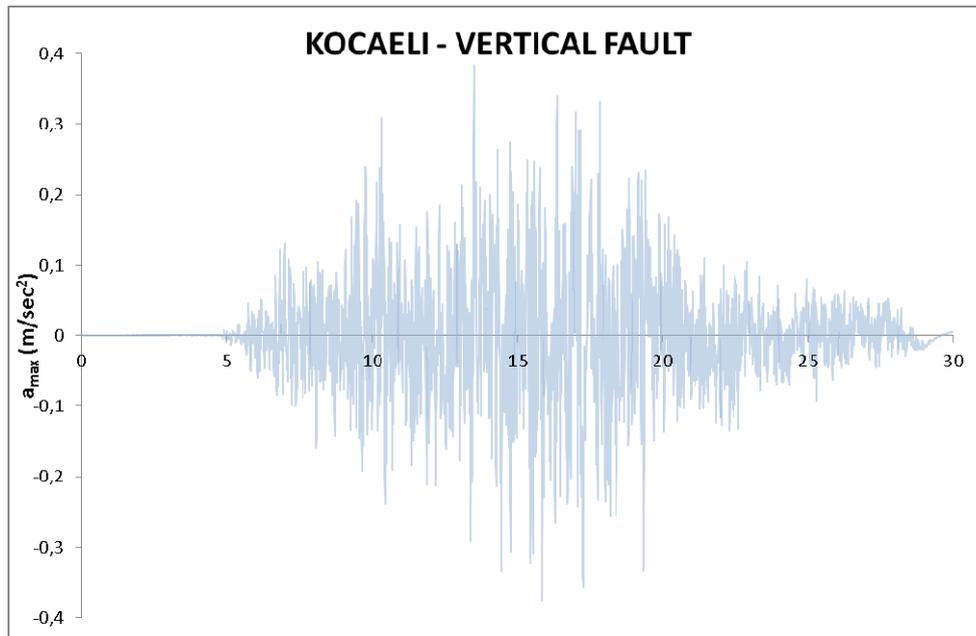
L'uso di accelerogrammi registrati è ammesso dalla normativa vigente, a condizione che la loro scelta sia rappresentativa della sismicità del sito e sia adeguatamente giustificata in base alle caratteristiche sismogenetiche della sorgente, alle condizioni del sito di registrazione, alla magnitudo, alla distanza dalla sorgente e alla massima accelerazione orizzontale attesa al sito.

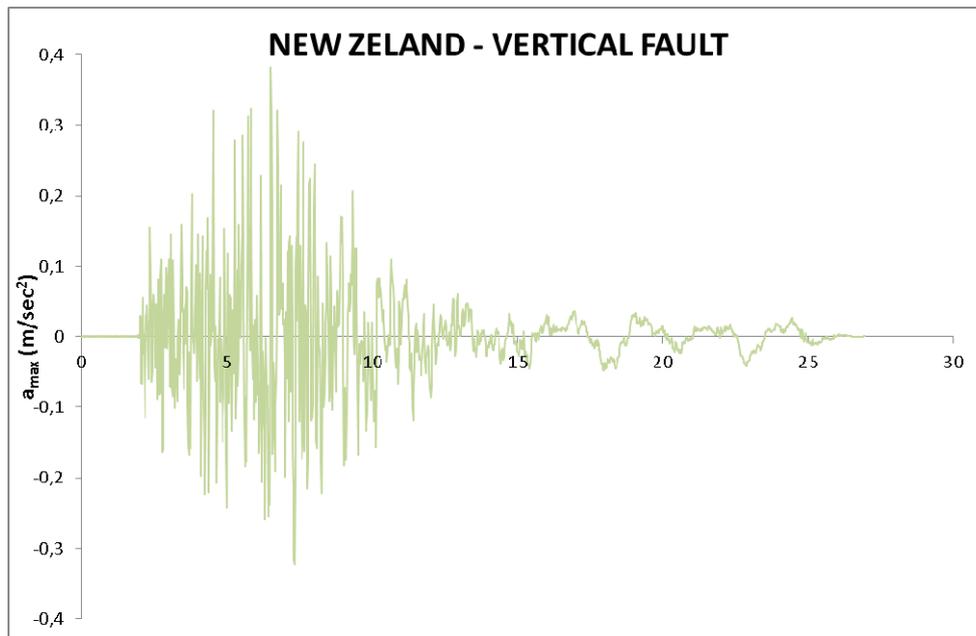
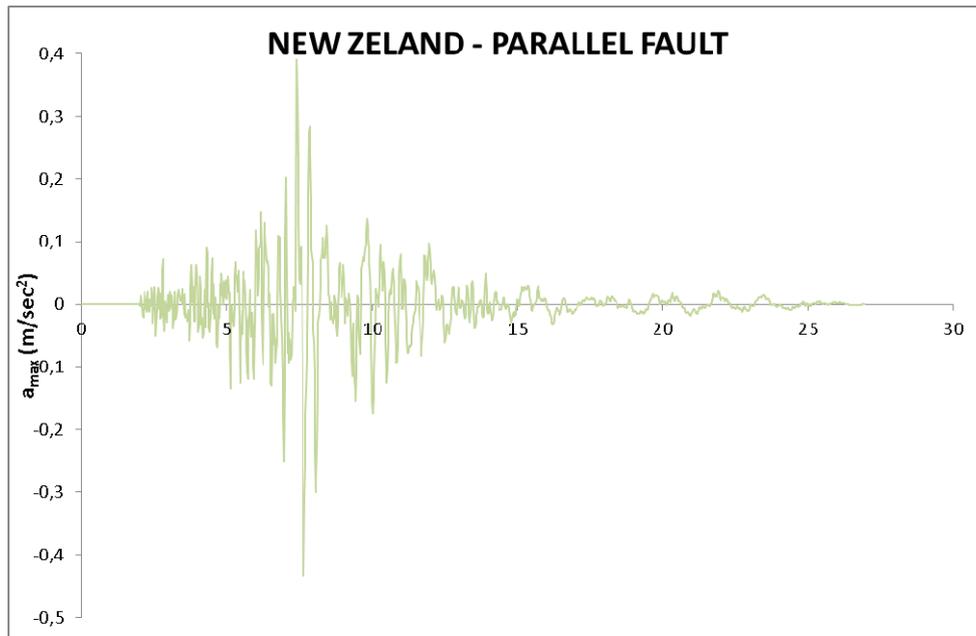
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Gli accelerogrammi registrati devono essere selezionati e scalati in modo da approssimare gli spettri di risposta nel campo di periodi di interesse per il problema in esame.

Per queste analisi l'input sismico è quello rappresentato dagli accelerogrammi reali selezionati dal prof. Braga in accordo con le indicazioni delle NTC 2008 (New Zealand 1987/03/02 01:51, Kocaeli, Turkey 1999/08/17). Si riporta di seguito, in via grafica, l'andamento degli accelerogrammi reali selezionati, scalati al valore target di accelerazione al suolo.







		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

7.2 MODELLO DI CALCOLO

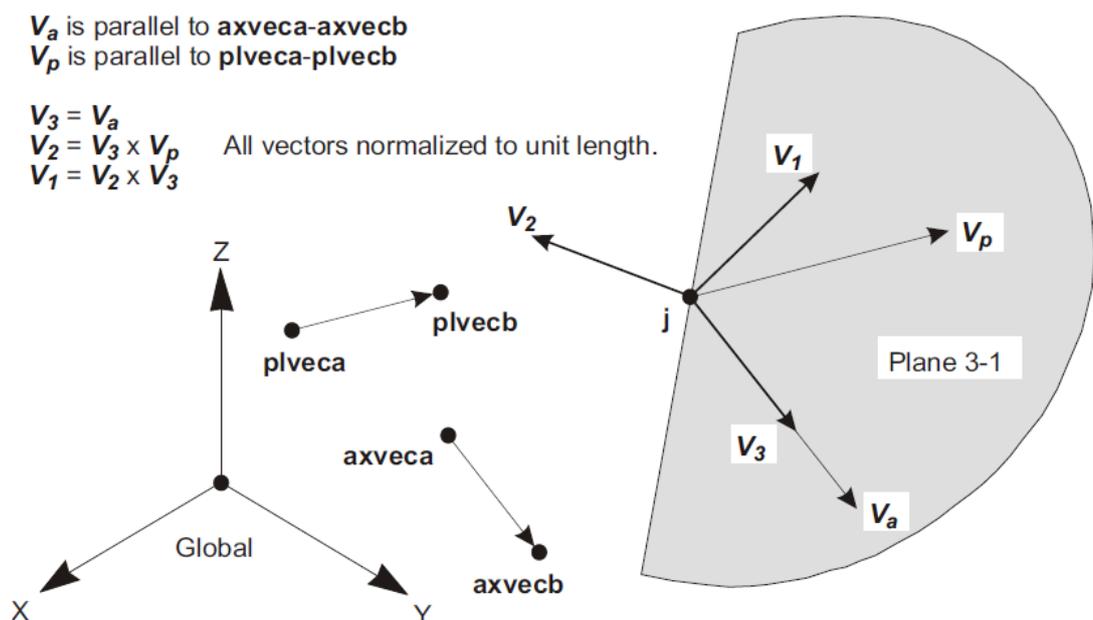
7.2.1 PROGRAMMA DI CALCOLO UTILIZZATO

Il calcolo agli elementi finiti del modello è stato effettuato utilizzando il codice SAP 2000 (versione 14.2.2) prodotto dalla “CSI Computer and Structures Inc.” – Berkeley (CA) - USA.

Il programma è un solutore agli E.F. (Elementi Finiti) capace di modellare strutture di forma qualunque, comunque caricate e vincolate, nell’ambito del comportamento lineare e non.

Sono disponibili i seguenti tipi di oggetto elencati in ordine di dimensione geometrica:

- **“Point:**
 - comune oggetti: sono automaticamente creati in angoli o estremità di tutti gli altri tipi di oggetti, e possono essere aggiunti in modo esplicito
 - collegamento a terra: sono utilizzate per modellare il comportamento di un sostegno speciale ad esempio isolatori, smorzatori, gap, molle multi-lineari
 - il sistema di riferimento per determinare l’orientamento di un elemento punto è:



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

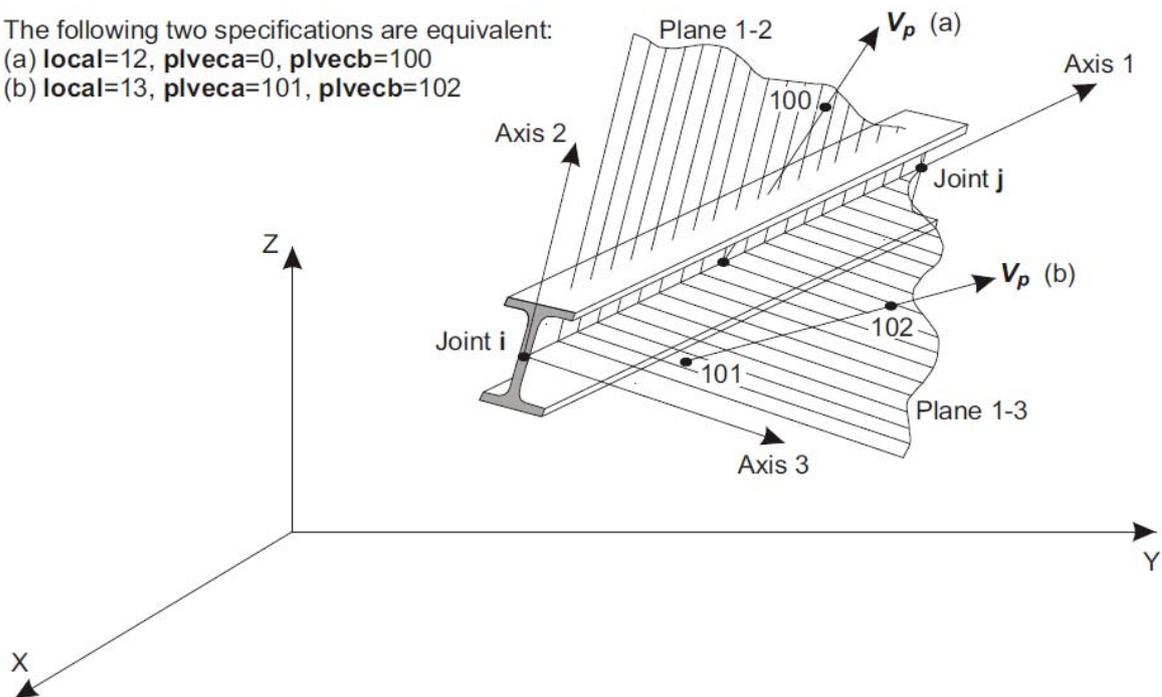
- **“Line”:**

- frame/cable/tendon: sono utilizzate per modellare le travi, colonne, braces, trusses, cavi e tiranti
- collegamento tra oggetti: sono utilizzate per modellare il comportamento di un membro speciali ad esempio isolatori, smorzatori, gap, molle multi-lineari. A differenza degli oggetti o frame/cable/tendon, questi oggetti possono avere lunghezza zero.
- il sistema di riferimento per determinare l’orientamento di un elemento linea è:

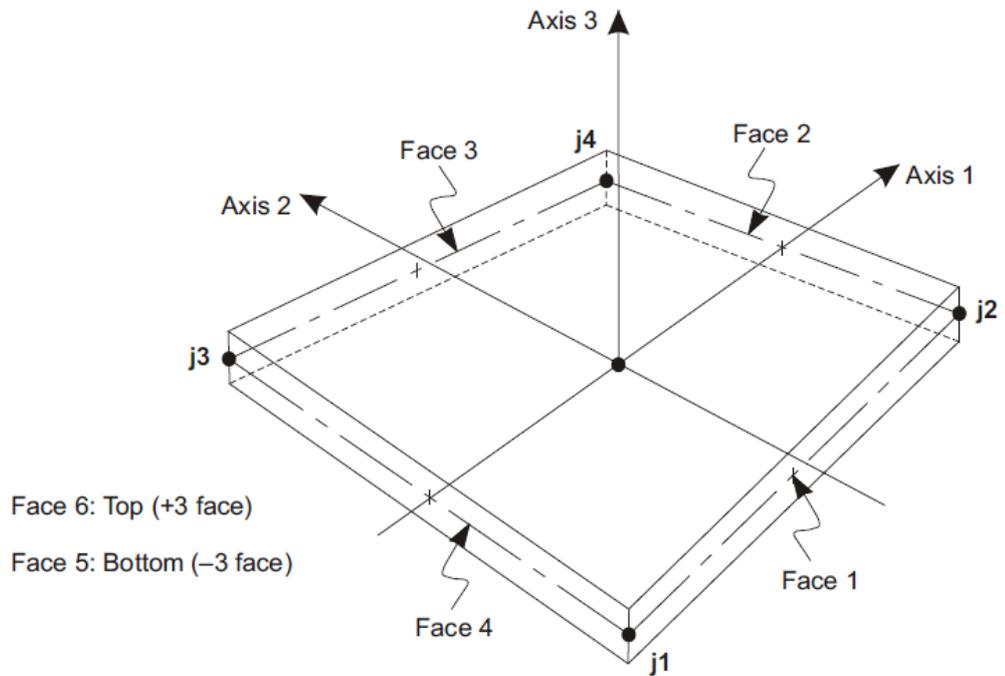
The following two specifications are equivalent:

(a) local=12, plveca=0, plvecb=100

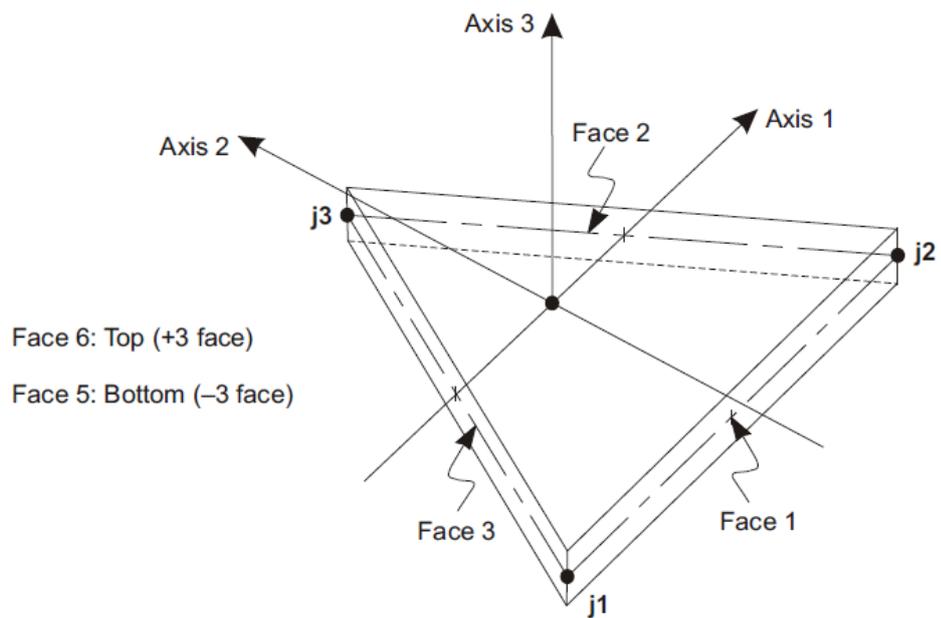
(b) local=13, plveca=101, plvecb=102



- **“Area”:** vengono utilizzate per modellare le pareti, pavimenti e altri membri dotati di spessore, nonché solidi bidimensionale solids (plane stress, plane strain, and axisymmetric solids). Il sistema di riferimento per determinare l’orientamento di un elemento area è:



Four-node Quadrilateral Shell Element



Three-node Triangular Shell Element

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- **“Solid”**: sono utilizzate per la modellazione tridimensionale solida

Il programma SAP2000 permette di svolgere analisi atte a definire la risposta in conseguenza dell'applicazione di carichi mobili, analisi del dominio di frequenza (sia steady-state che power-spectral-density), del dominio del tempo e analisi di instabilità.

Mediante il programma si possono implementare nel modello di calcolo elementi a comportamento particolare quali:

- non linear link element (gaps, hooks, isolators, dampers, and multi-linear plasticity)
- a multi-linear plastic hinge
- catenary cable element
- nonlinear shell element

Il programma SAP2000 permette inoltre di condurre analisi tipo non lineare statica , analisi tipo pushover e analisi non lineari tipo time-history mediante l'utilizzo di analisi modale o integrazione diretta. software contempla la presenza di elementi bidimensionali (piani - shell) in grado di rappresentare sia il comportamento di lastra (effetti flessionali) quanto quello di membrana (sforzi di compressione e trazione), ed elementi tipo trave (beam).

7.2.2 DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO

I pilastri sono realizzati mediante profilati metallici tubolari $\phi 500$ di spessore 30 mm, con inclinazione sull'orizzontale e un'altezza variabile in funzione della disposizione architettonica (vedi elaborati grafici).

Il ring è invece realizzato da una trave reticolare spaziale i cui elementi sono definiti dalle seguenti caratteristiche:

- correnti superiori realizzati mediante profilati metallici tubolari $\phi 200$ di spessore 15 mm
- corrente inferiore realizzato mediante profilato metallico tubolare $\phi 300$ di spessore 20 mm
- montanti realizzati mediante profilati metallici tubolari $\phi 200$ di spessore 15 mm

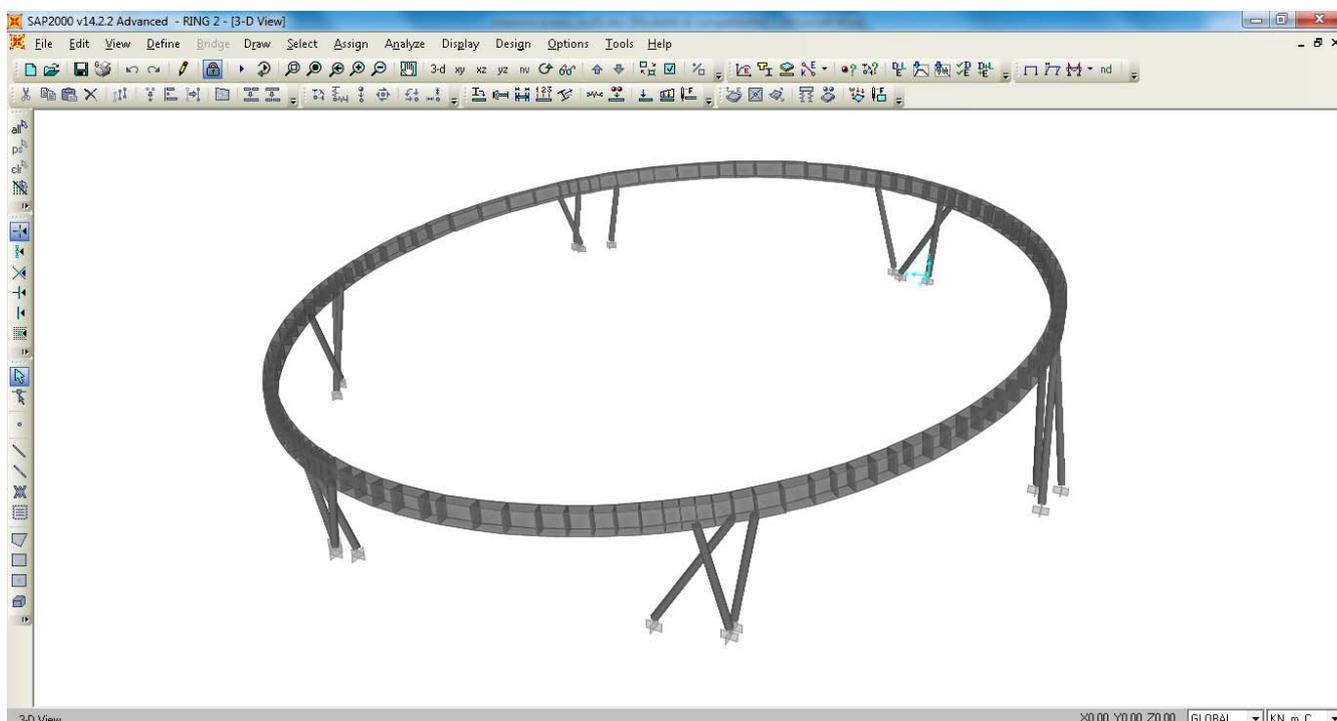
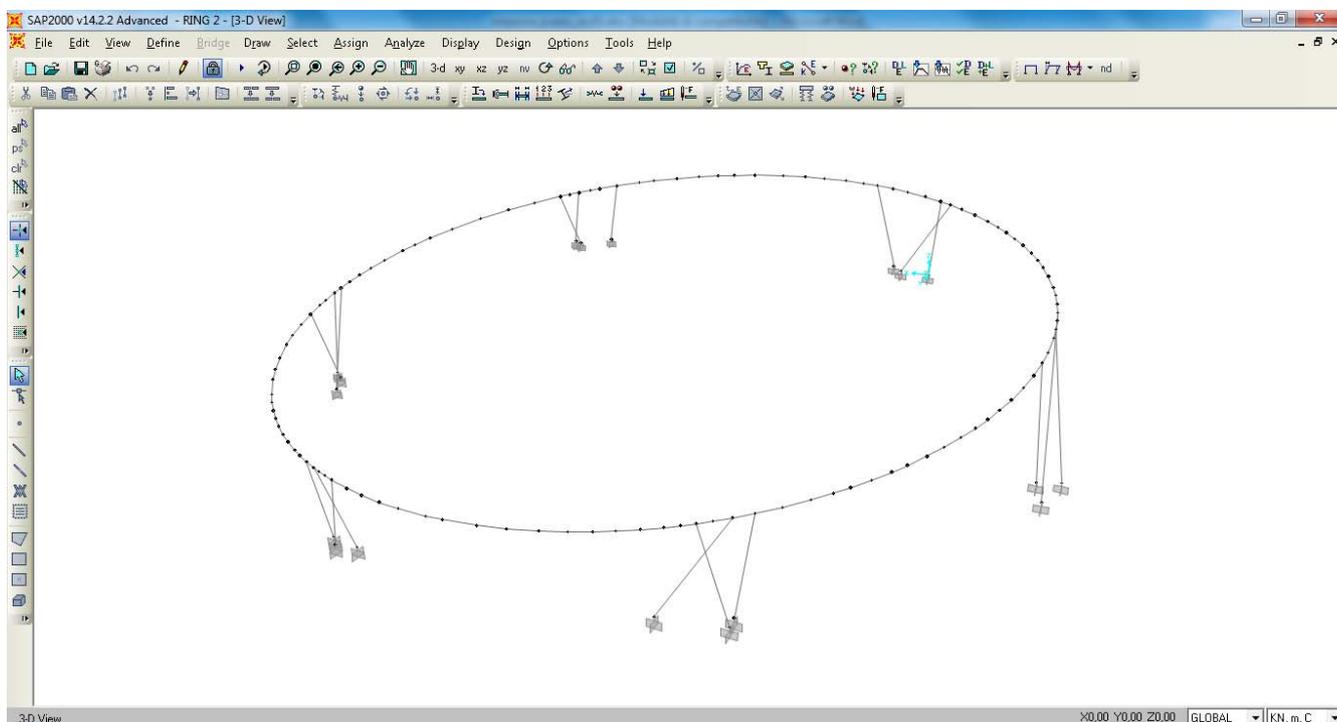
Lo schema statico adottato è quello di una struttura iperstatica, vincolata a terra mediante incastri.

Più in dettaglio, si sono modellati tutte le parti strutturali mediante elementi “beam”, associate alle rispettive rigidità.

I pilastri sono incastrati a terra e collegati al ring mediante delle cerniere, in quanto il sistema di connessione previsto trasferisce solamente le azioni taglianti e normali; la trave reticolare è invece modellata mediante giunti a completo ripristino.

L'analisi strutturale è condotta su un modello spaziale, sottoposto al peso proprio, ai sovraccarichi permanenti e alle azioni accidentali definite in precedenza.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<table border="1"> <tr> <td style="text-align: center;"><i>Rev</i></td> <td style="text-align: center;"><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						

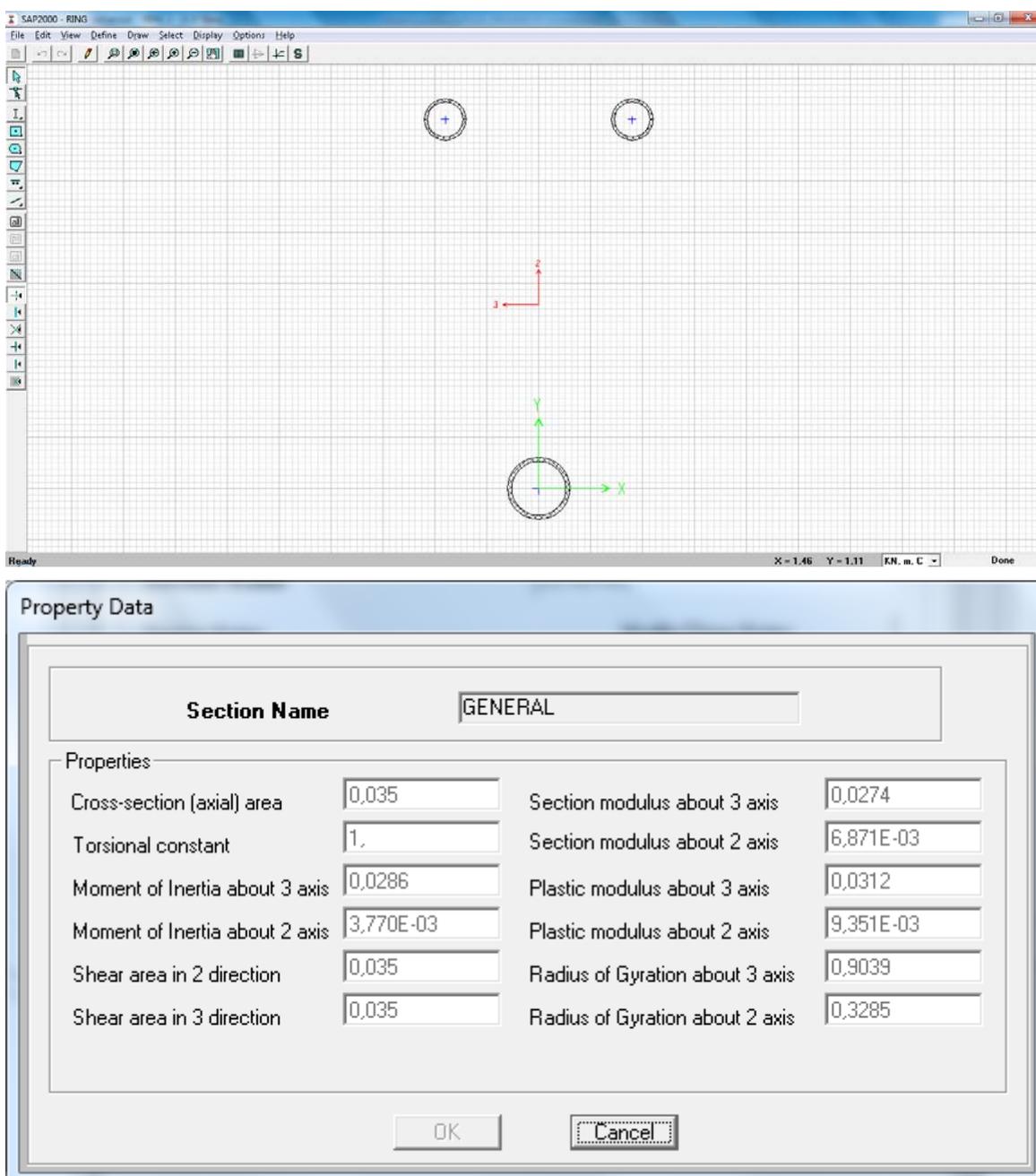


Le analisi, di tipo elastico lineare, sono eseguite per le fasi costruttive e per le situazioni di esercizio della struttura.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

E' stata introdotta una semplificazione nella modellazione del ring; in particolare è stata implementata la reticolare spaziale come una trave avente "sezione generica" (general section). Tale semplificazione rende il modello agli EF più leggero e quindi analizzabile, non alterando la risposta strutturale dell'opera.

Le caratteristiche geometrico-inerziali della "sezione generica" del ring sono state definite considerando come elementi reagenti i soli correnti superiori e inferiore:



The image shows a screenshot of the SAP2000 software interface. The main window displays a grid with two circular ring sections and a 3D coordinate system (X, Y, Z). Below the main window is a 'Property Data' dialog box for a section named 'GENERAL'. The dialog box contains the following properties and values:

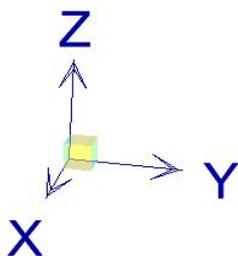
Property Data			
Section Name		GENERAL	
Properties			
Cross-section (axial) area	0,035	Section modulus about 3 axis	0,0274
Torsional constant	1.	Section modulus about 2 axis	6,871E-03
Moment of Inertia about 3 axis	0,0286	Plastic modulus about 3 axis	0,0312
Moment of Inertia about 2 axis	3,770E-03	Plastic modulus about 2 axis	9,351E-03
Shear area in 2 direction	0,035	Radius of Gyration about 3 axis	0,9039
Shear area in 3 direction	0,035	Radius of Gyration about 2 axis	0,3285

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

E' stata poi modellata un porzione della reticolare spaziale con un secondo schema agli EF, col quale si è verificato che l'assunzione fatta, fosse effettivamente corretta. Il controllo è svolto verificando che gli spostamenti dei correnti superiori e inferiore siano pressoché uguali e che gli sforzi nei montanti siano trascurabili.

7.2.3 SISTEMA DI RIFERIMENTO E CONVENZIONE DEI SEGNI

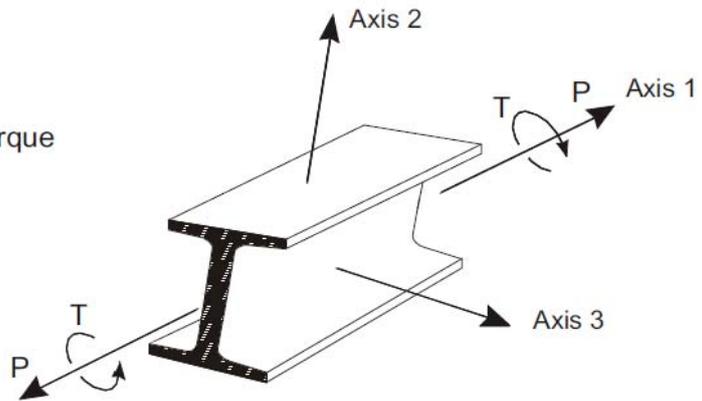
Il sistema di riferimento viene assunto con origine sulla coordinata di ascissa $x=0$, coincidente con la base di uno dei pilastri. La disposizione degli assi segue la "regola della mano destra":



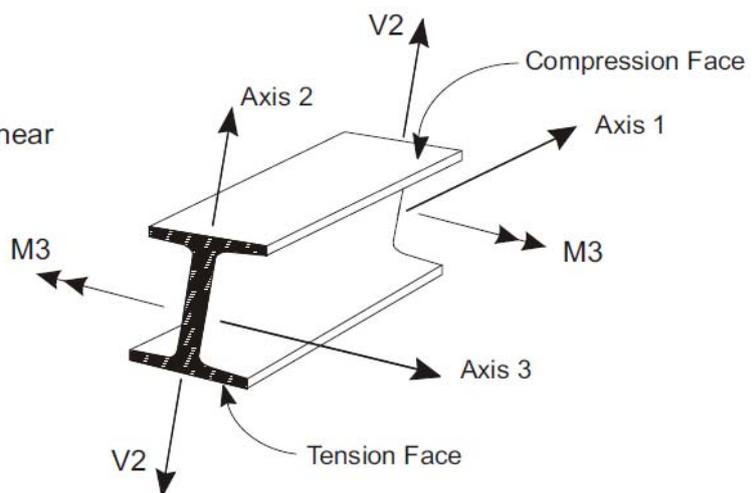
- l'asse X è diretto secondo la tangente alla circonferenza del ring, positivo verso destra;
- l'asse Y è diretto secondo la direzione centripeta alla circonferenza del ring positivo verso l'interno;
- l'asse Z è diretto verso l'alto, positivo verso l'alto.

Si definiscono positive le azioni e sollecitazioni secondo la convenzione riportata nelle figure successive.

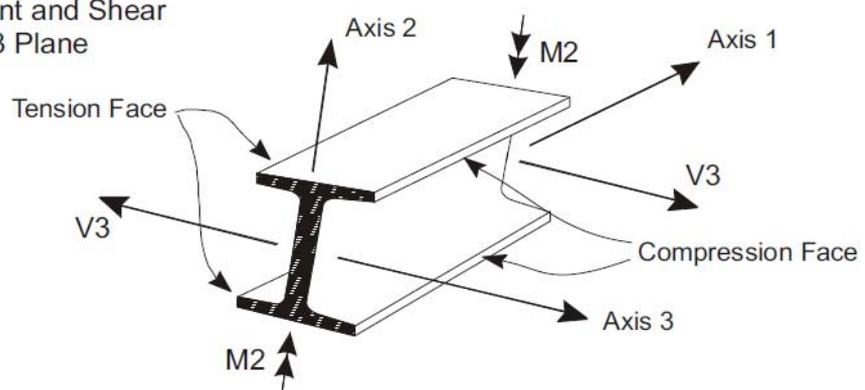
Positive Axial Force and Torque



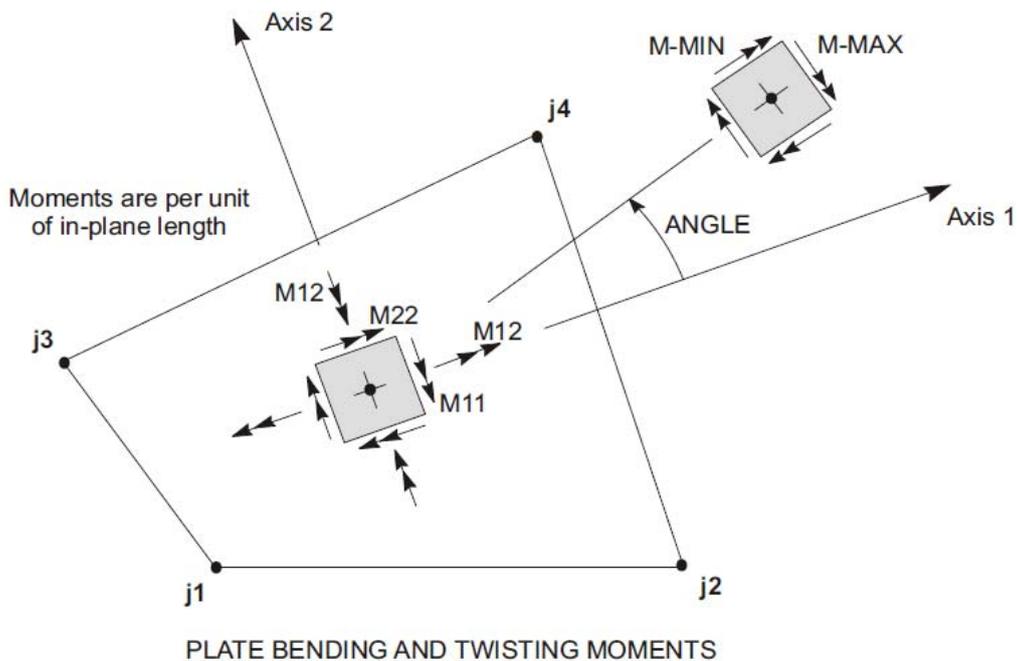
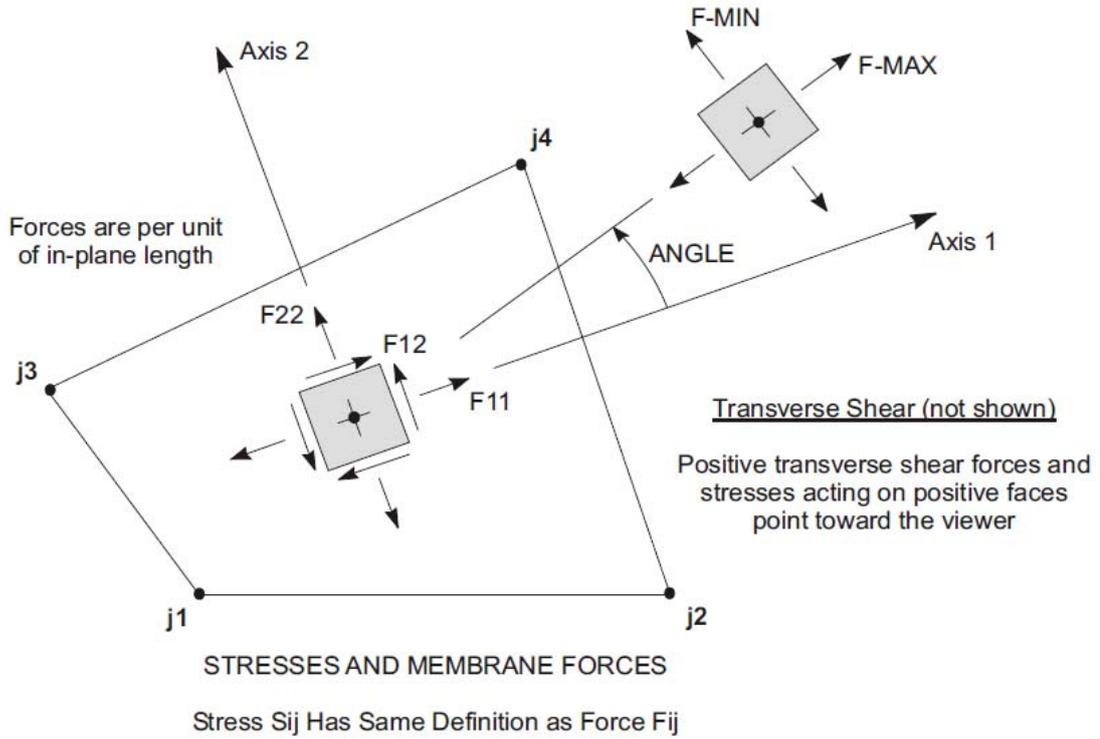
Positive Moment and Shear
in the 1-2 Plane



Positive Moment and Shear
in the 1-3 Plane



F4. Azioni e Sollecitazioni positive negli elementi tipo "line"



F5. Azioni e Sollecitazioni positive negli elementi tipo "Area"

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

7.3 ANALISI MODALE DELLA STRUTTURA DEL “RING”

Si riportano nel seguito le risultanze dell’analisi modale effettuata.

MODAL RITZ VECTOR							
TABLE: Modal Participating Mass Ratios							
StepNum	Period	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ
Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
1	0,395526	0,04809	0,01609	0,00005905	0,00071	0,00097	0,02098
2	0,318185	0,00079	0,00002092	0,00371	0,00014	0,00012	0,00004569
3	0,285283	0,0299	0,0455	0,00001643	0,00197	0,00007132	0,00091
4	0,278165	0,01666	0,09999	0,0002	0,00422	0,00209	0,01155
5	0,24861	0,00196	0,31473	0,00173	0,01428	0,00087	0,03582
6	0,219413	0,08369	0,02987	0,00305	0,00256	0,01125	0,00126
7	0,208162	0,01391	0,05874	0,00036	0,00005043	0,00072	0,11714
8	0,179274	0,11313	0,03321	0,00001147	0,00078	0,02848	0,0046
9	0,167442	0,01226	0,02211	0,00003438	0,0032	0,00087	0,00756
10	0,152932	0,01766	0,00538	0,00207	0,00084	0,00827	0,02307
11	0,142786	0,04921	0,00721	0,00101	0,00026	0,00989	0,00606
12	0,12637	0,00336	0,00199	0,00424	0,00636	0,00069	0,0035
13	0,123435	0,11897	0,00953	0,001	0,00001696	0,01429	0,02169
14	0,11686	0,00255	0,04435	0,01633	0,00546	0,00755	0,00364
15	0,115116	0,02317	0,01495	0,00018	0,0003	0,01241	0,0139
16	0,111799	0,00698	0,02144	0,04806	0,00619	0,06809	0,00095
17	0,10491	0,00276	0,00451	0,03215	0,00074	0,01418	0,00538
18	0,10124	0,01889	0,00985	0,01392	0,00001537	0,00769	0,05588
19	0,098876	0,0023	0,01068	0,00022	0,00013	0,00507	0,01581
20	0,096145	0,01011	0,00119	0,00597	0,00636	0,00004185	0,02598
21	0,092357	0,02626	0,0007	0,00053	0,00072	0,00127	0,02934
22	0,089333	0,0013	0,00039	0,00864	0,00559	0,05682	0,03171
23	0,08415	0,00932	0,00326	0,02957	0,02459	0,03162	0,00158
24	0,07963	0,00228	0,00739	0,17062	0,26479	0,02804	0,00941
25	0,077618	0,00394	0,01711	0,00621	0,00337	0,00833	0,00779
26	0,072809	0,15128	0,00723	0,00624	0,009	0,01498	0,25135
27	0,069917	0,00389	0,00296	0,00337	0,00623	0,00129	0,00039
28	0,067463	0,00275	0,01139	0,00736	0,00048	0,00048	0,00742
29	0,062299	0,04307	0,00035	0,00269	0,00005244	0,00269	0,04469
30	0,057853	0,00003115	0,00531	0,01327	0,0103	0,01134	0,00027
31	0,052731	0,00093	0,00755	0,00269	0,00023	0,0003	0,00308

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

32	0,047149	0,02327	0,00197	0,00244	0,008	0,00062	0,00999
33	0,044133	0,00073	0,0101	0,00402	0,00784	0,00073	0,00153
34	0,040669	0,00762	0,02537	0,00324	0,00675	0,00411	0,00278
35	0,030226	0,04188	0,00742	0,00014	0,00003289	0,00058	0,04149
36	0,027956	0,0056	0,03695	0,00026	0,00085	0,00019	0,00468
37	0,019785	0,00037	0,00095	0,12842	0,04209	0,00141	0,00089
38	0,014573	0,03665	0,02719	0,01888	0,01465	0,01112	0,01975
39	0,013616	0,01976	0,03706	0,01404	0,00864	0,00164	0,00374
40	0,011527	0,00349	0,00084	0,32571	0,21395	0,07645	0,00077

MODAL EIGEN VALUE TABLE: Modal Participating Mass Ratios							
1	0,395526	0,04809	0,01609	0,00005905	0,00071	0,00097	0,02098
2	0,318185	0,00079	0,00002092	0,00371	0,00014	0,00012	0,00004569
3	0,285283	0,0299	0,0455	0,00001643	0,00197	0,00007132	0,00091
4	0,278165	0,01666	0,09999	0,0002	0,00422	0,00209	0,01155
5	0,24861	0,00196	0,31473	0,00173	0,01428	0,00087	0,03582
6	0,219413	0,08369	0,02987	0,00305	0,00256	0,01125	0,00126
7	0,208162	0,01391	0,05874	0,00036	0,00005043	0,00072	0,11714
8	0,179274	0,11313	0,03321	0,00001147	0,00078	0,02848	0,0046
9	0,167442	0,01226	0,02211	0,00003438	0,0032	0,00087	0,00756
10	0,152932	0,01766	0,00538	0,00207	0,00084	0,00827	0,02307
11	0,142786	0,04921	0,00721	0,00101	0,00026	0,00989	0,00606
12	0,12637	0,00336	0,00199	0,00424	0,00636	0,00069	0,0035
13	0,123435	0,11897	0,00953	0,001	0,00001697	0,01429	0,02169
14	0,11686	0,00255	0,04435	0,01633	0,00546	0,00754	0,00365
15	0,115116	0,02317	0,01495	0,00018	0,0003	0,01244	0,01388
16	0,111799	0,00698	0,02144	0,04805	0,00621	0,06809	0,00094
17	0,104922	0,00276	0,00445	0,03198	0,00078	0,01431	0,00543
18	0,101286	0,0182	0,00973	0,01366	0,00003212	0,00748	0,05358
19	0,098959	0,00168	0,00965	0,0000209	0,0005	0,00452	0,01417
20	0,098494	0,00017	0,00068	0,00131	0,00077	0,00075	0,00059
21	0,097014	0,00934	0,00164	0,0031	0,00309	0,00009361	0,02101
22	0,092873	0,01946	0,00008988	0,00503	0,00474	0,00198	0,04569
23	0,090571	0,01239	0,00149	0,00049	0,00027	0,00546	0,00477
24	0,087219	0,00014	0,00012	0,01005	0,01524	0,11637	0,03557
25	0,085006	0,00074	0,00011	0,01171	0,00105	6,111E-08	0,00711
26	0,081273	0,00701	0,00494	0,04597	0,04816	0,01036	0,01248
27	0,079427	0,00142	0,01117	0,13962	0,23393	0,02541	0,00469

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0

28	0,076817	0,00958	0,01129	0,00237	0,00801	0,00441	0,00055
29	0,073588	0,0819	0,00235	0,01122	0,012	0,00712	0,11881
30	0,0713	0,06426	0,00588	0,00000461	0,00167	0,01142	0,12868
31	0,06978	0,00116	0,00411	0,00028	0,00006084	0,00002305	0,00304
32	0,067447	0,0114	0,00794	0,00251	0,0000081	0,00132	0,01465
33	0,06546	0,00643	0,00036	0,00664	0,00001269	0,000003003	0,00352
34	0,063068	0,01416	0,00043	0,00055	0,00023	0,00003824	0,01442
35	0,060134	0,002	0,00002395	0,00199	0,00063	0,00426	0,00193
36	0,059917	0,00033	0,00381	0,00758	0,00768	0,01812	0,00088
37	0,058538	0,01478	0,00088	0,00049	0,00075	0,00257	0,01332
38	0,055696	0,00036	0,00119	0,00086	0,00158	0,001	0,00145
39	0,051998	0,00148	0,00055	0,00698	0,01602	0,00023	0,00272
40	0,051564	0,0000357	0,00618	0,00025	0,00002396	0,00068	0,00116

TABLE: Modal Load Participation Ratios				
OutputCase	ItemType	Item	Static	Dynamic
Text	Text	Text	Percent	Percent
RITZ	Acceleration	UX	100	96,0761
RITZ	Acceleration	UY	100	96,2827
RITZ	Acceleration	UZ	100	88,2634
EIGEN	Acceleration	UX	99,5489	82,3504
EIGEN	Acceleration	UY	99,7154	81,4164
EIGEN	Acceleration	UZ	96,9838	38,6727

Da quanto riportato si conferma quanto anticipato in precedenza: l'analisi tramite vettori di Ritz è migliore perché mobilità più massa partecipante a parità di modi indagati.

TABLE: Modal Periods And Frequencies						
OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
RITZ	Mode	1	0,395526	2,5283	15,886	252,35
RITZ	Mode	2	0,318185	3,1428	19,747	389,94
RITZ	Mode	3	0,285283	3,5053	22,024	485,07
RITZ	Mode	4	0,278165	3,595	22,588	510,22
RITZ	Mode	5	0,24861	4,0224	25,273	638,74
RITZ	Mode	6	0,219413	4,5576	28,636	820,04
RITZ	Mode	7	0,208162	4,8039	30,184	911,08
RITZ	Mode	8	0,179274	5,578	35,048	1228,4
RITZ	Mode	9	0,167442	5,9722	37,525	1408,1

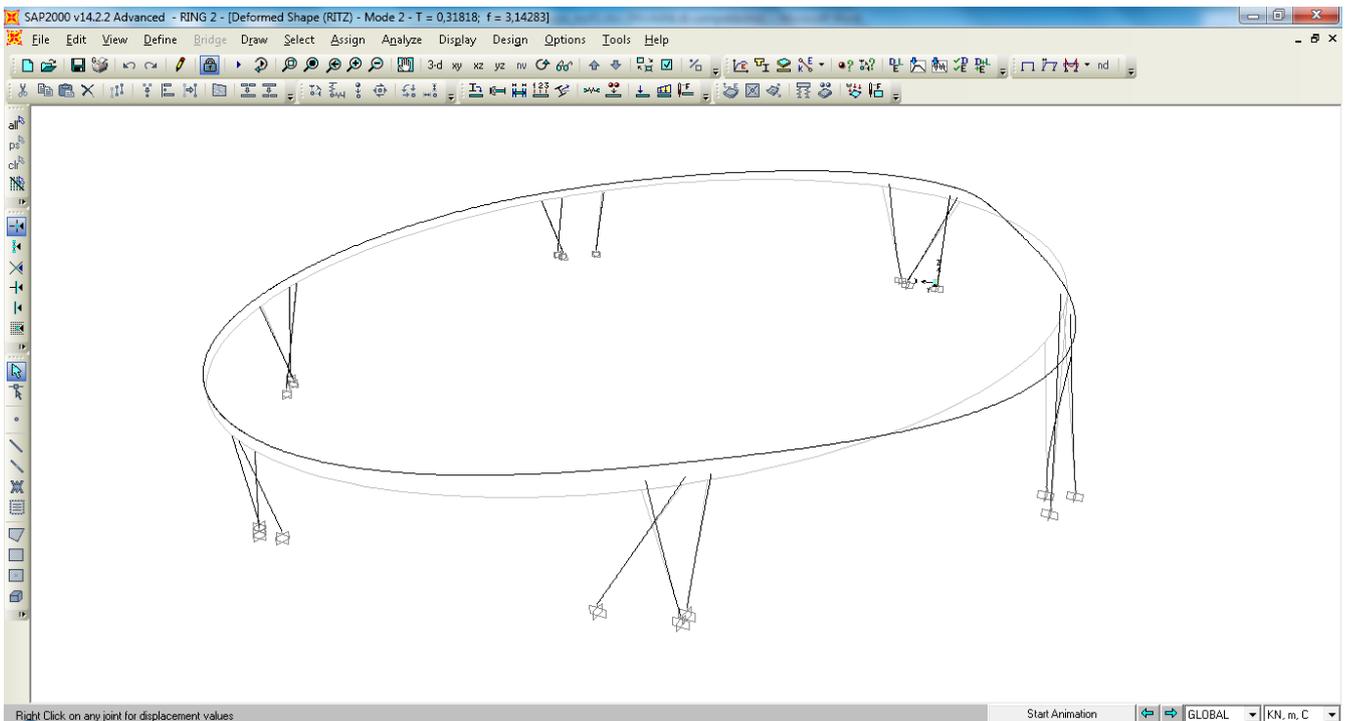
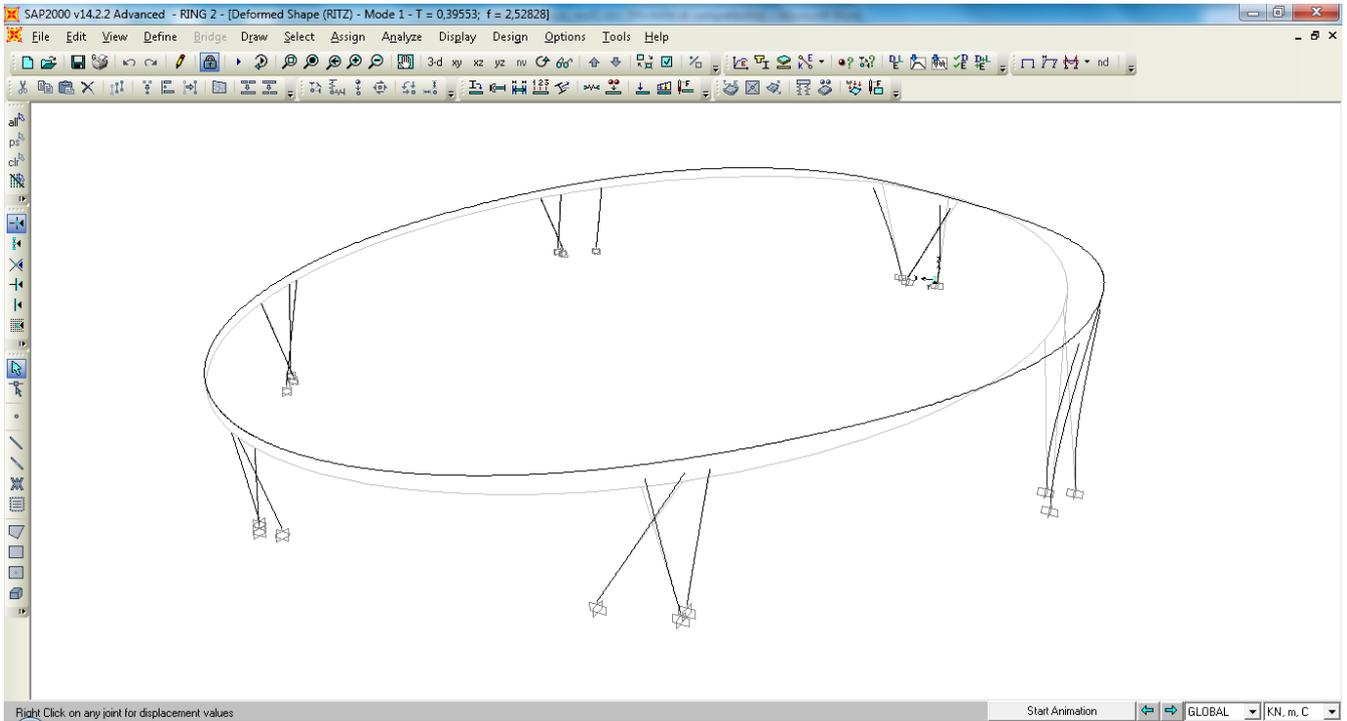
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

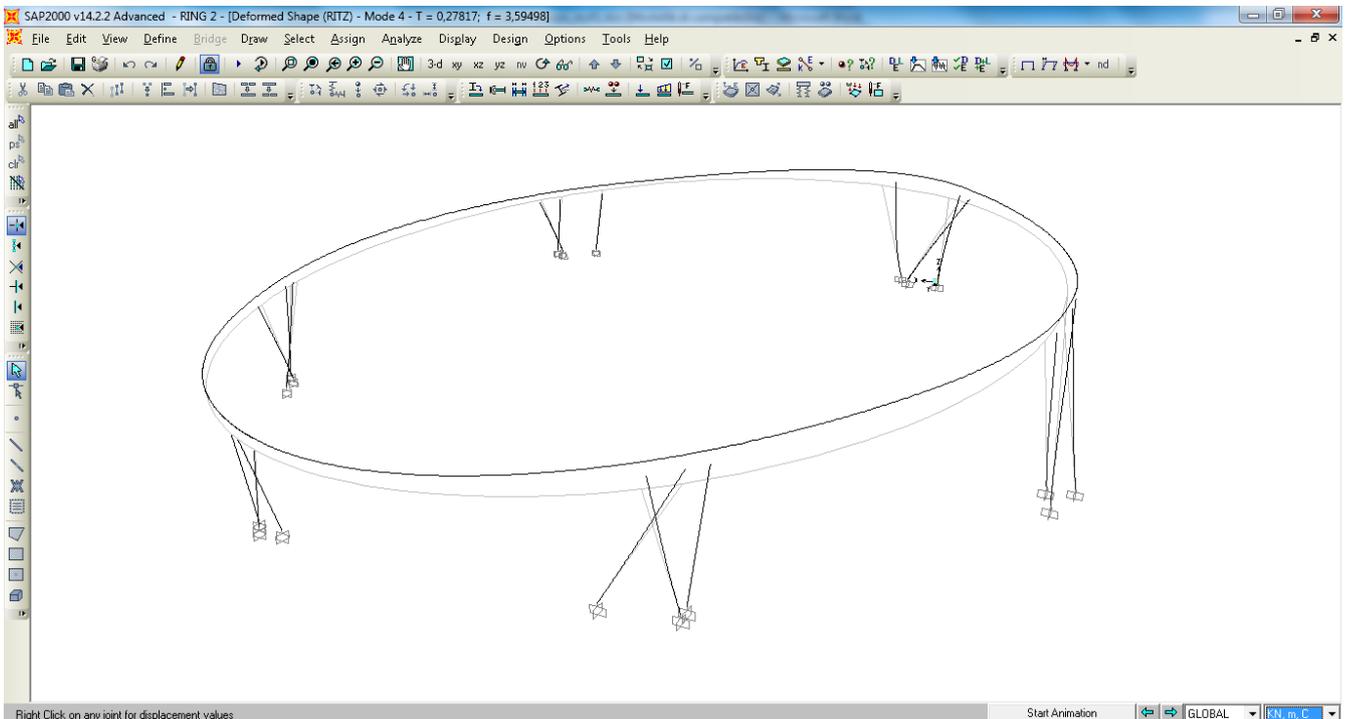
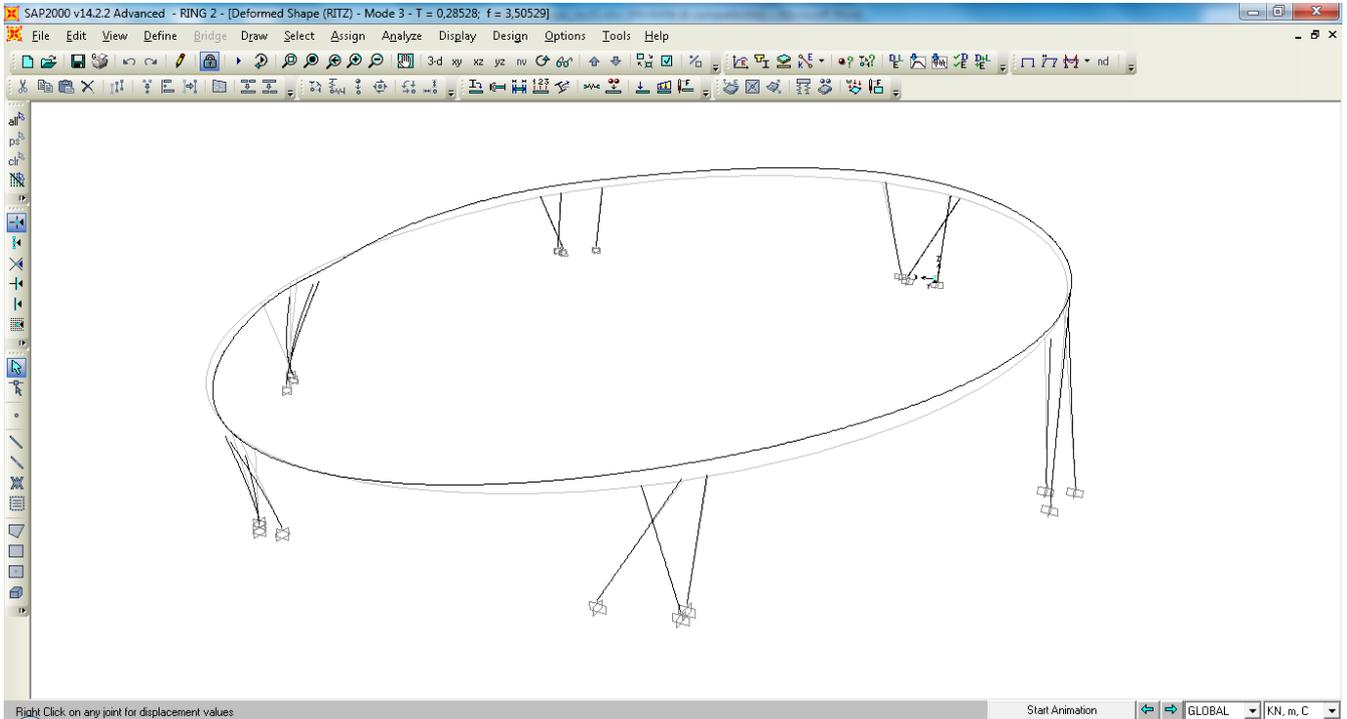
RITZ	Mode	10	0,152932	6,5388	41,085	1688
RITZ	Mode	11	0,142786	7,0035	44,004	1936,4
RITZ	Mode	12	0,12637	7,9133	49,721	2472,1
RITZ	Mode	13	0,123435	8,1014	50,903	2591,1
RITZ	Mode	14	0,11686	8,5573	53,767	2890,9
RITZ	Mode	15	0,115116	8,6869	54,581	2979,1
RITZ	Mode	16	0,111799	8,9446	56,201	3158,5
RITZ	Mode	17	0,10491	9,532	59,891	3587
RITZ	Mode	18	0,10124	9,8775	62,062	3851,7
RITZ	Mode	19	0,098876	10,114	63,546	4038,1
RITZ	Mode	20	0,096145	10,401	65,351	4270,7
RITZ	Mode	21	0,092357	10,828	68,031	4628,3
RITZ	Mode	22	0,089333	11,194	70,335	4946,9
RITZ	Mode	23	0,08415	11,883	74,666	5575
RITZ	Mode	24	0,07963	12,558	78,905	6226
RITZ	Mode	25	0,077618	12,884	80,95	6552,9
RITZ	Mode	26	0,072809	13,735	86,297	7447,1
RITZ	Mode	27	0,069917	14,303	89,866	8076
RITZ	Mode	28	0,067463	14,823	93,135	8674,1
RITZ	Mode	29	0,062299	16,052	100,86	10172
RITZ	Mode	30	0,057853	17,285	108,61	11795
RITZ	Mode	31	0,052731	18,964	119,16	14198
RITZ	Mode	32	0,047149	21,209	133,26	17759
RITZ	Mode	33	0,044133	22,659	142,37	20269
RITZ	Mode	34	0,040669	24,589	154,5	23869
RITZ	Mode	35	0,030226	33,084	207,87	43211
RITZ	Mode	36	0,027956	35,77	224,75	50513
RITZ	Mode	37	0,019785	50,544	317,58	100860
RITZ	Mode	38	0,014573	68,621	431,16	185890
RITZ	Mode	39	0,013616	73,445	461,47	212950
RITZ	Mode	40	0,011527	86,754	545,09	297120

Altro dato importante che si evince subito dall'analisi modale, è la frequenza propria di vibrazione della struttura (evidenziata in giallo nella tabella precedente); da quanto riportato si verifica immediatamente che la frequenza minima di vibrazione della struttura è pari a 2,52 Hz, sempre superiore alla frequenza propria dell'azione del vento pari a 1,62 Hz (vedi § 7.1.5).

Non possono quindi attivarsi fenomeni critici di risonanza della struttura.

Riporto nel seguito le immagini relativi ai primi 4 modi di vibrare della struttura.



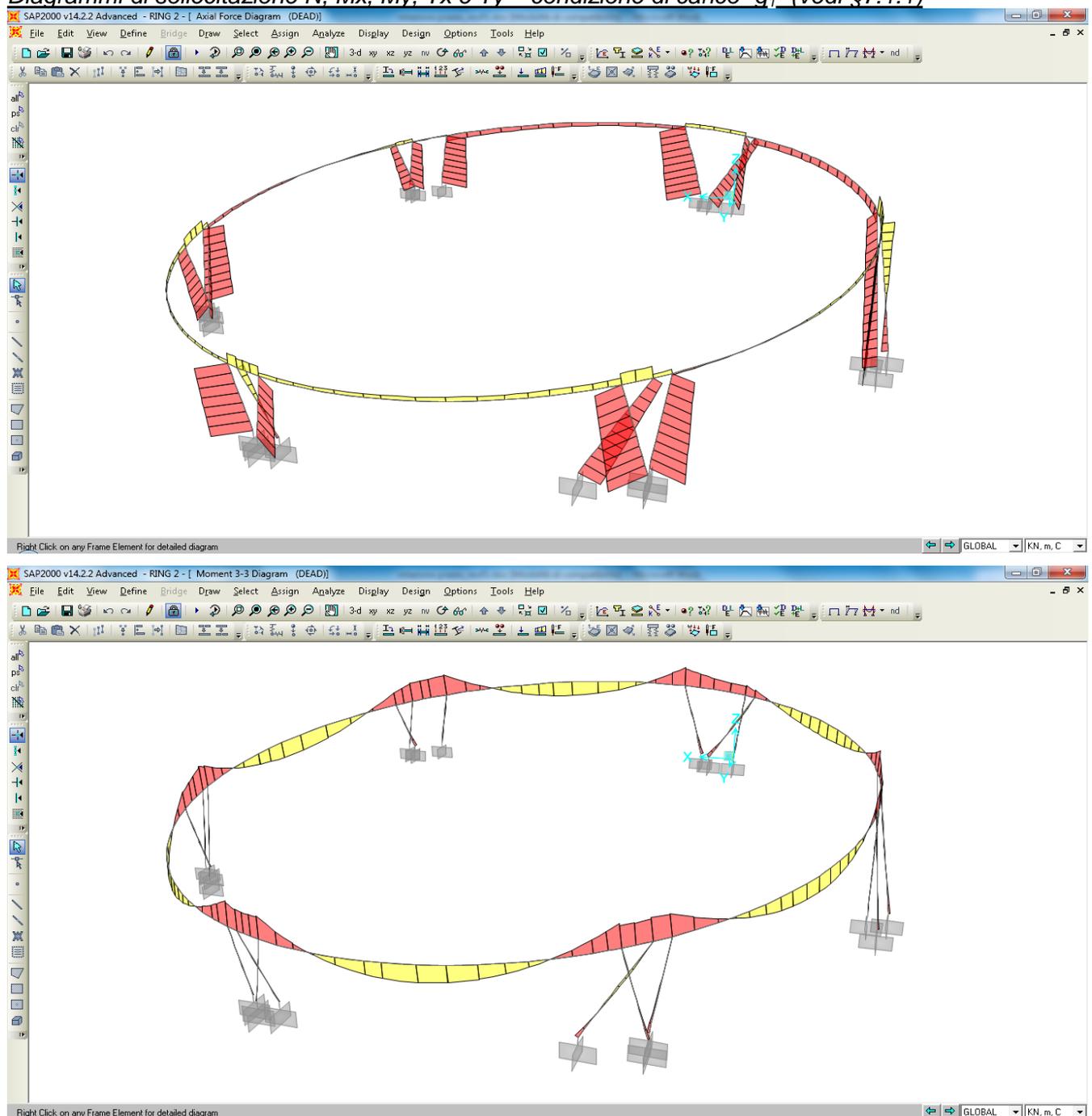


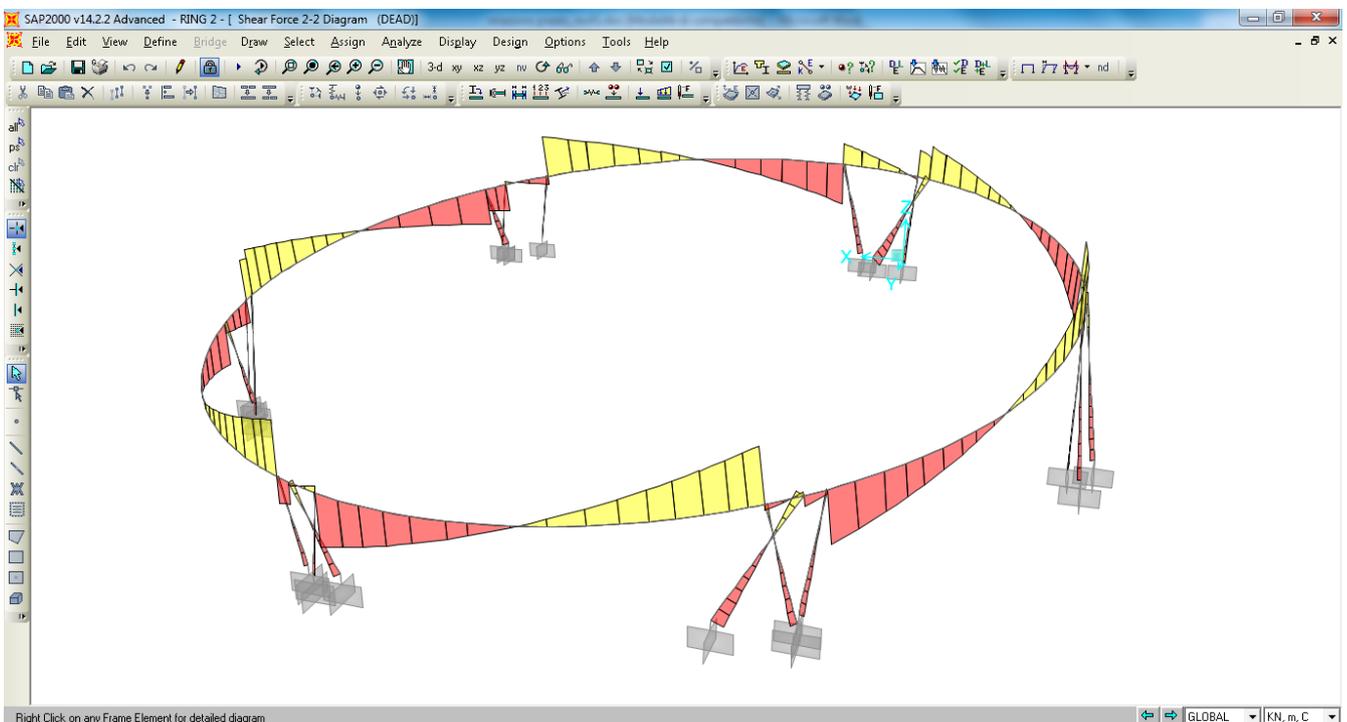
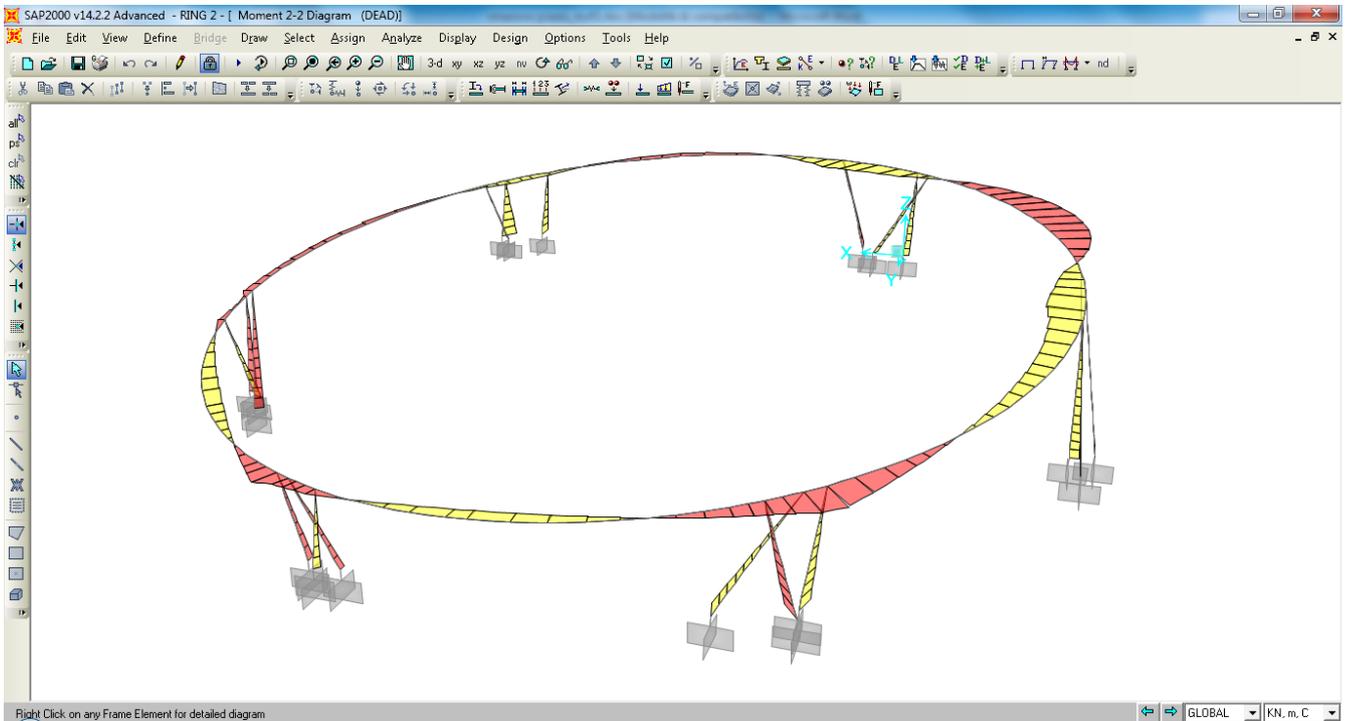
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

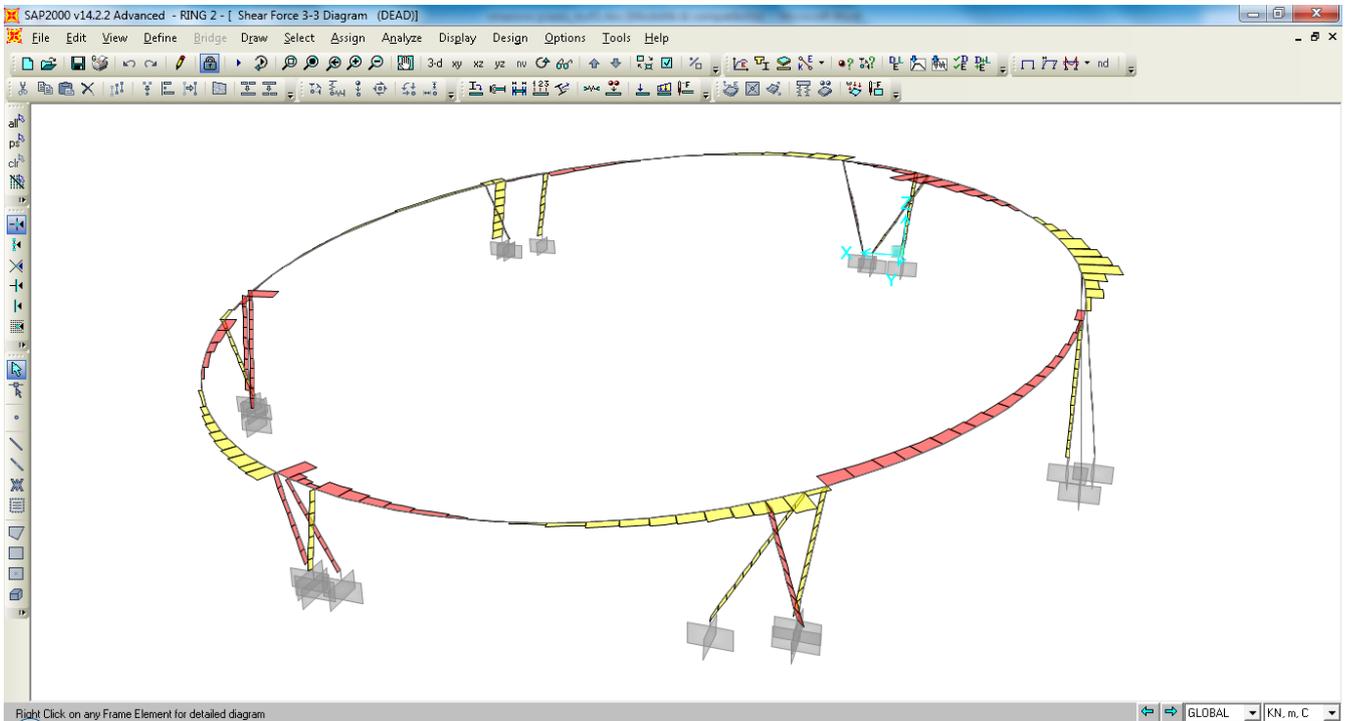
7.4 CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI

Si riportano nel seguito i diagrammi qualitativi di sollecitazione N, M e T per ogni condizione di carico elementare precedentemente individuata (vedi § 7.1)

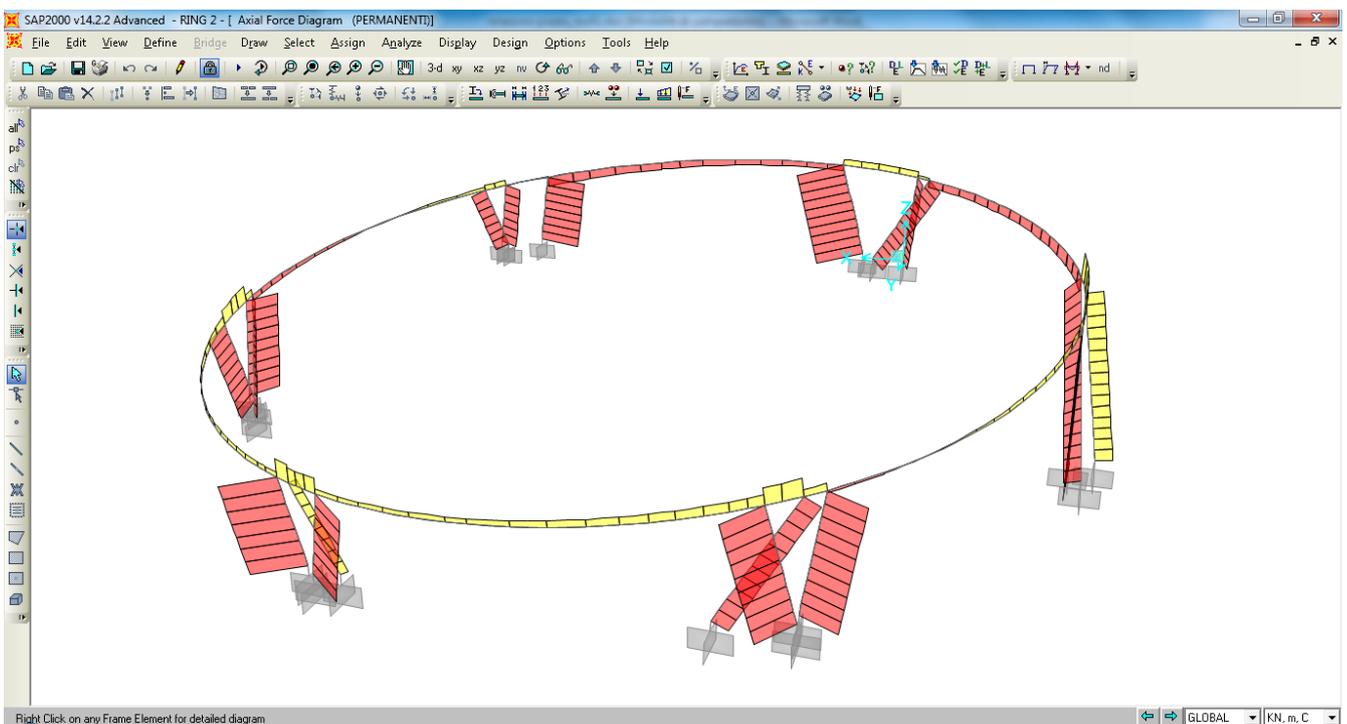
Diagrammi di sollecitazione N, Mx, My, Tx e Ty – condizione di carico “q₁” (vedi §7.1.1)

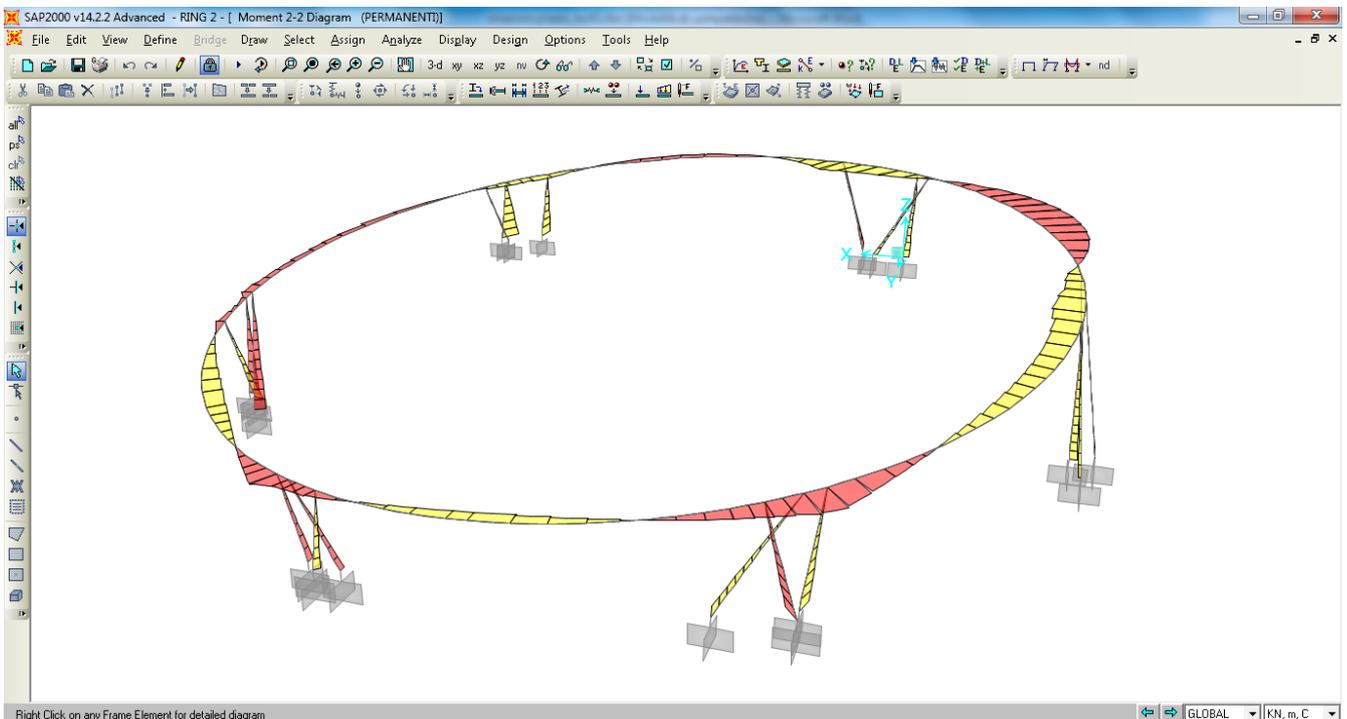
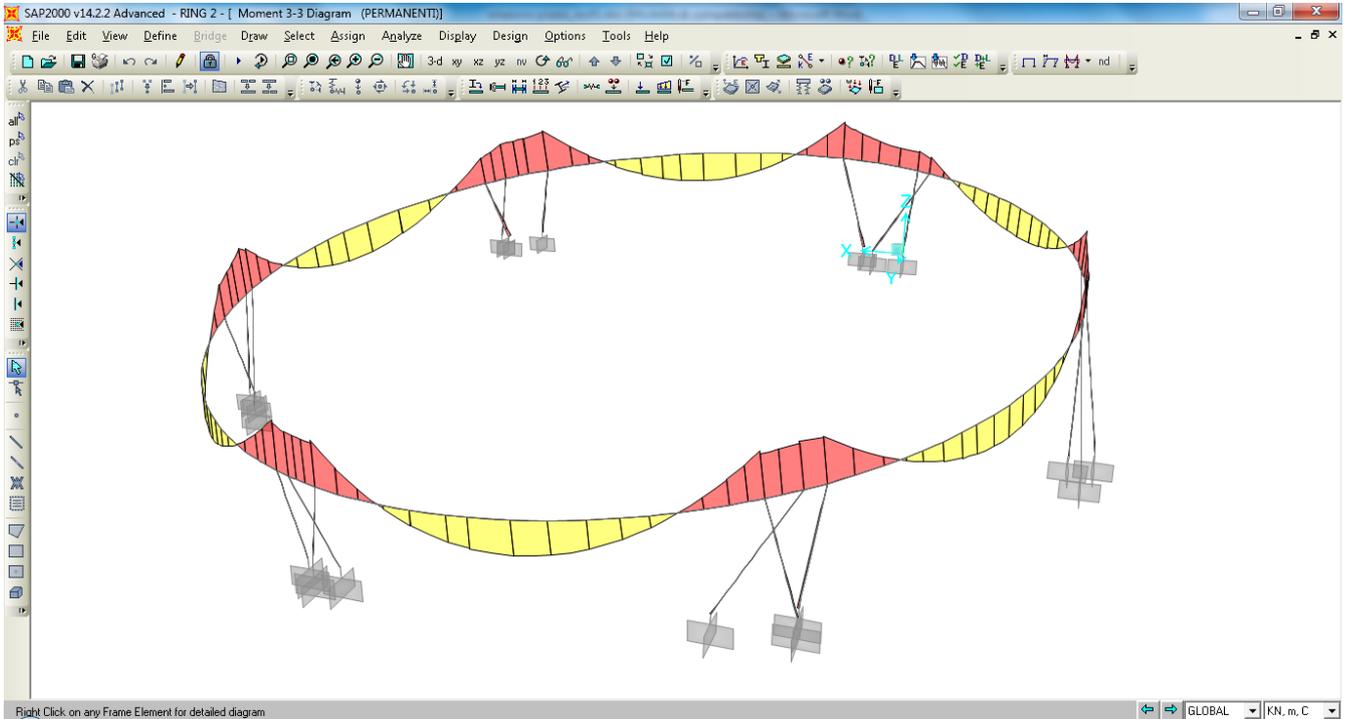


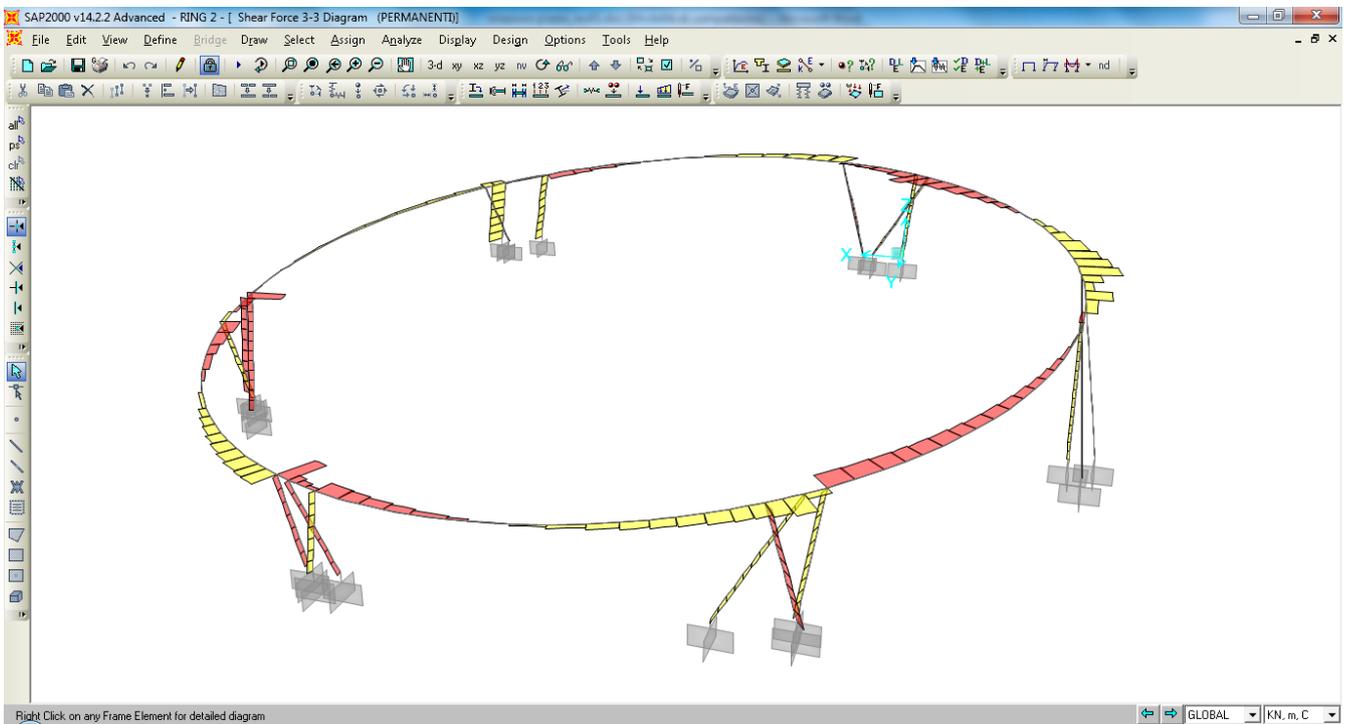
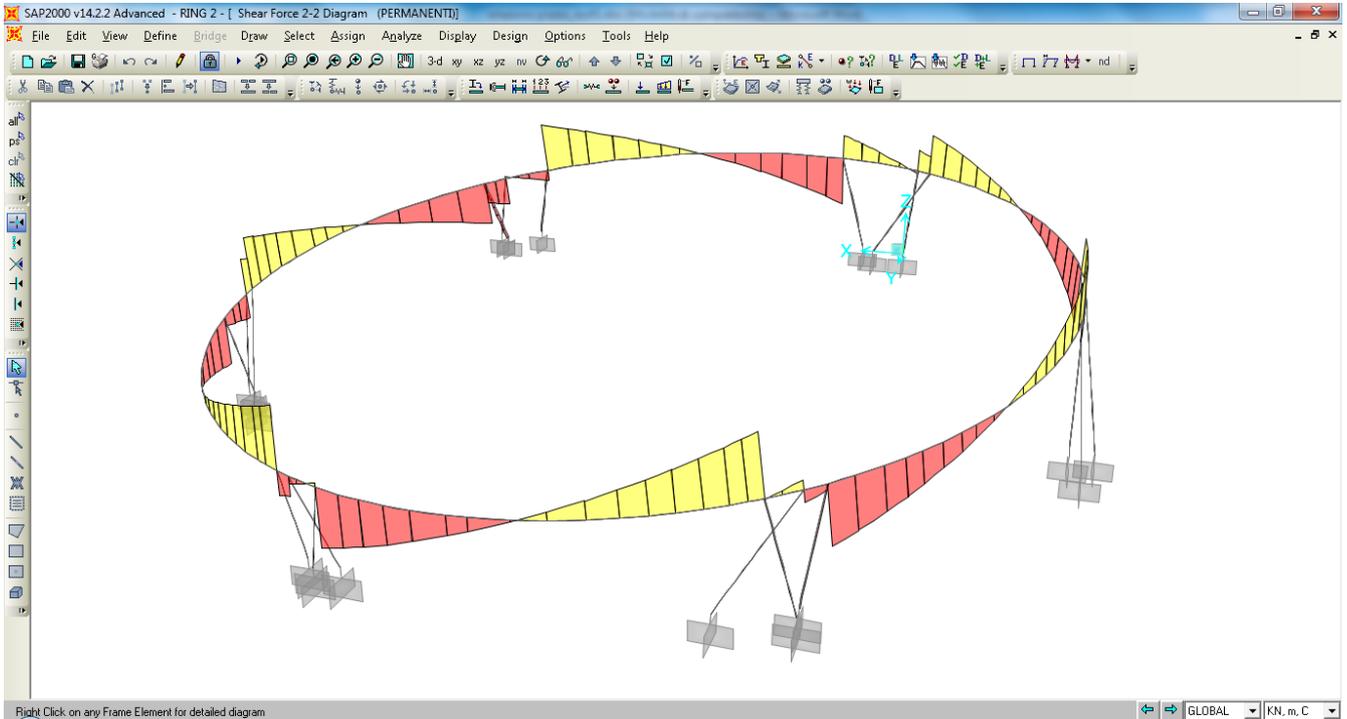




Diagrammi di sollecitazione N, Mx, My, Tx e Ty – condizione di carico “q₃” (vedi § 7.1.2)

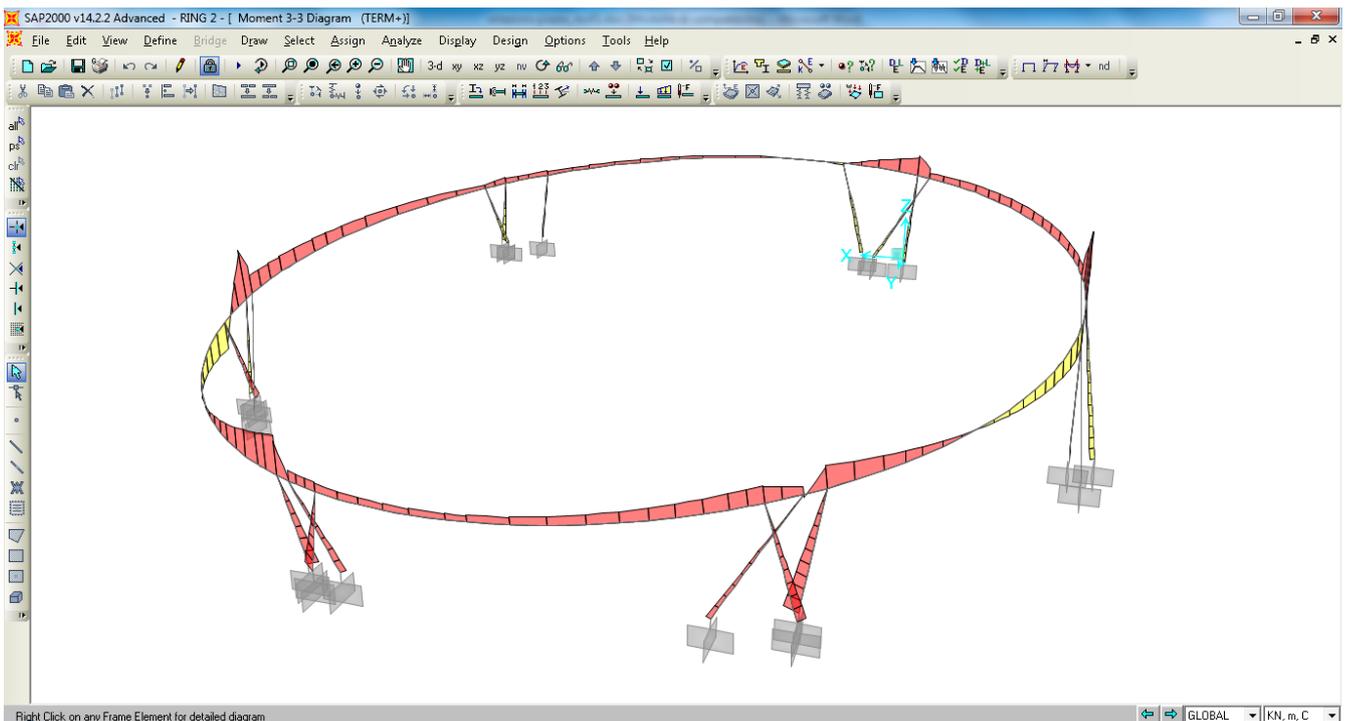
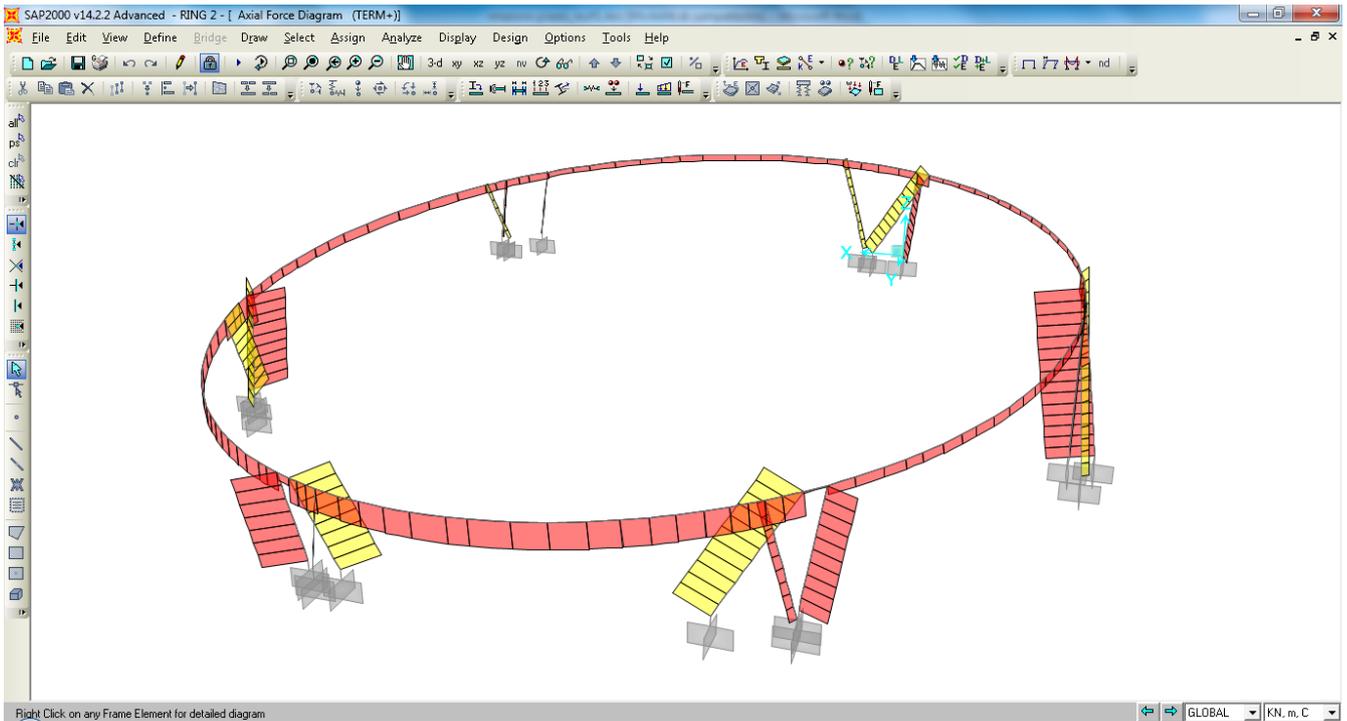


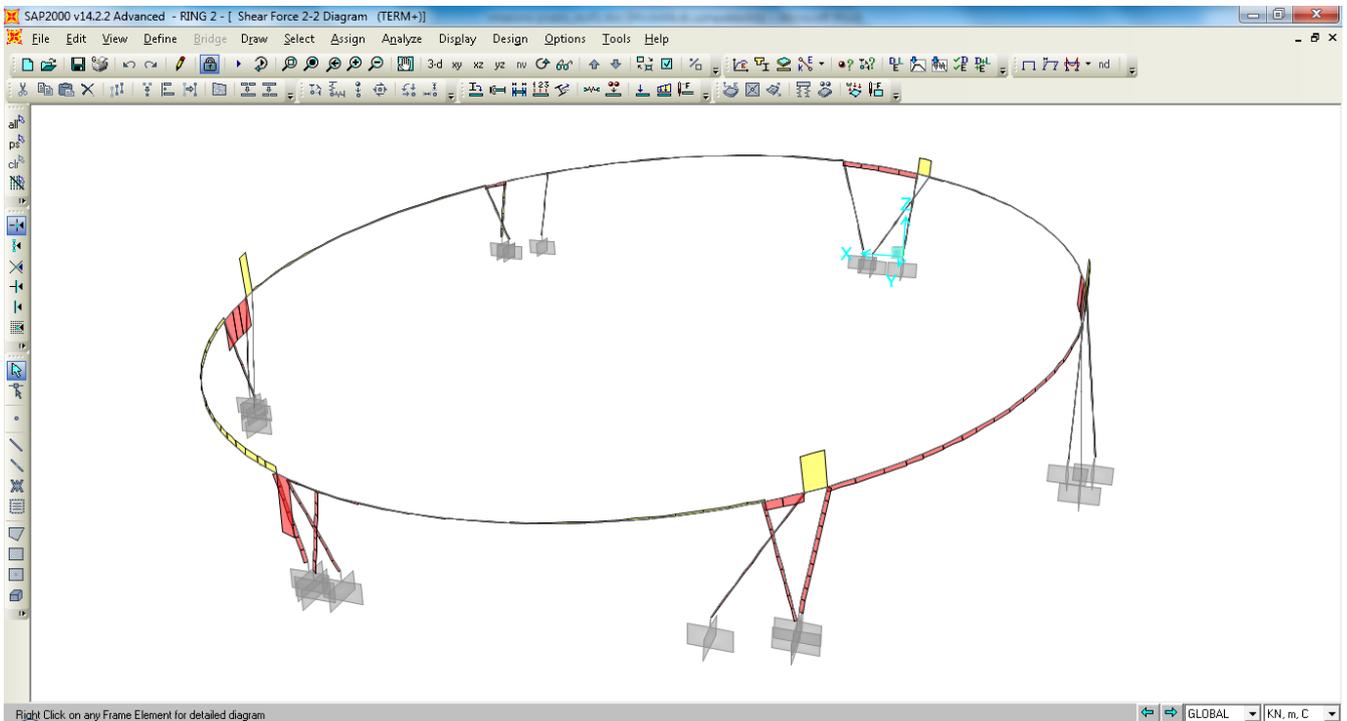
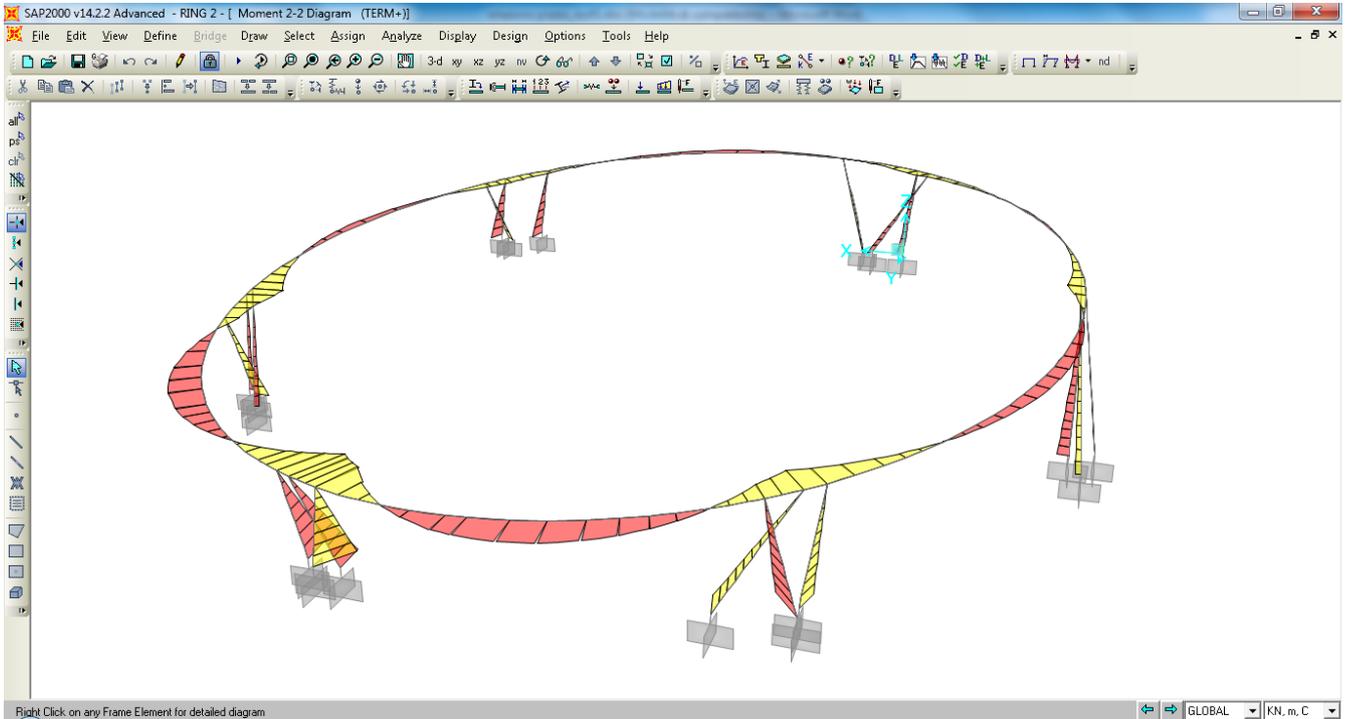




		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<table border="1"> <tr> <td><i>Rev</i></td> <td><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

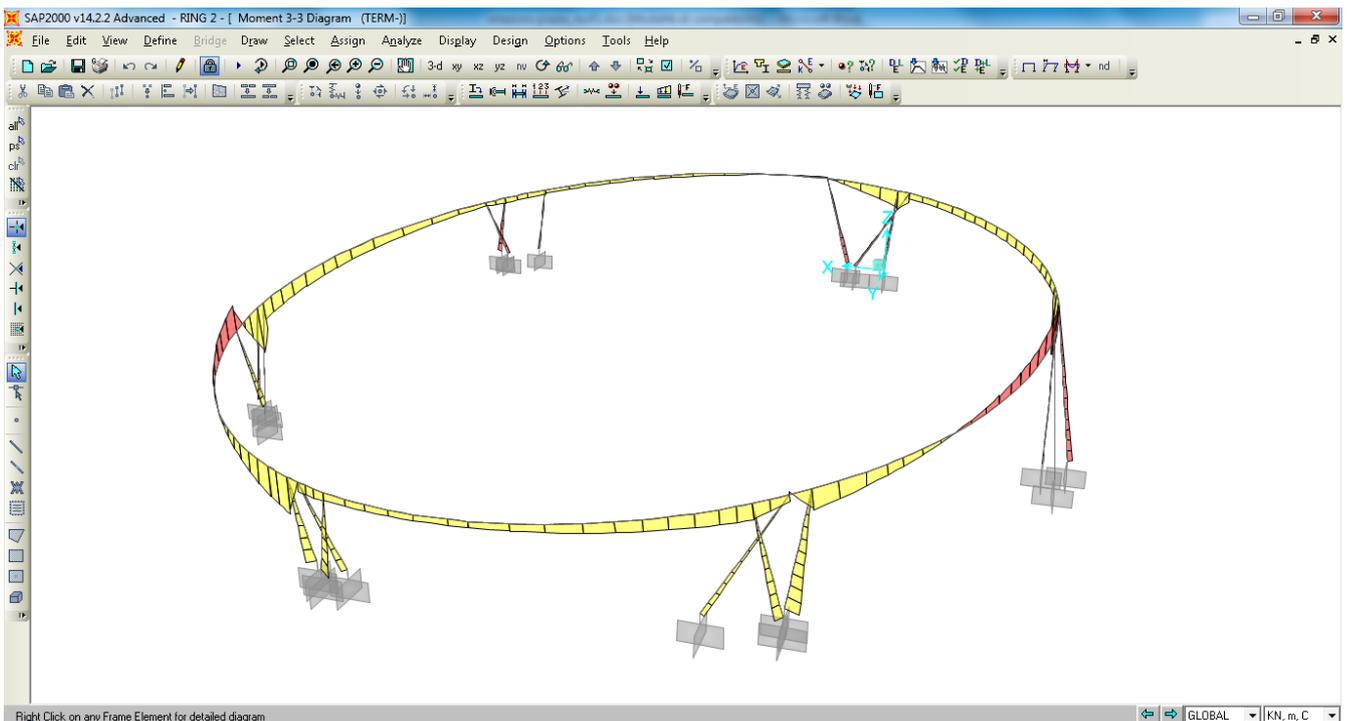
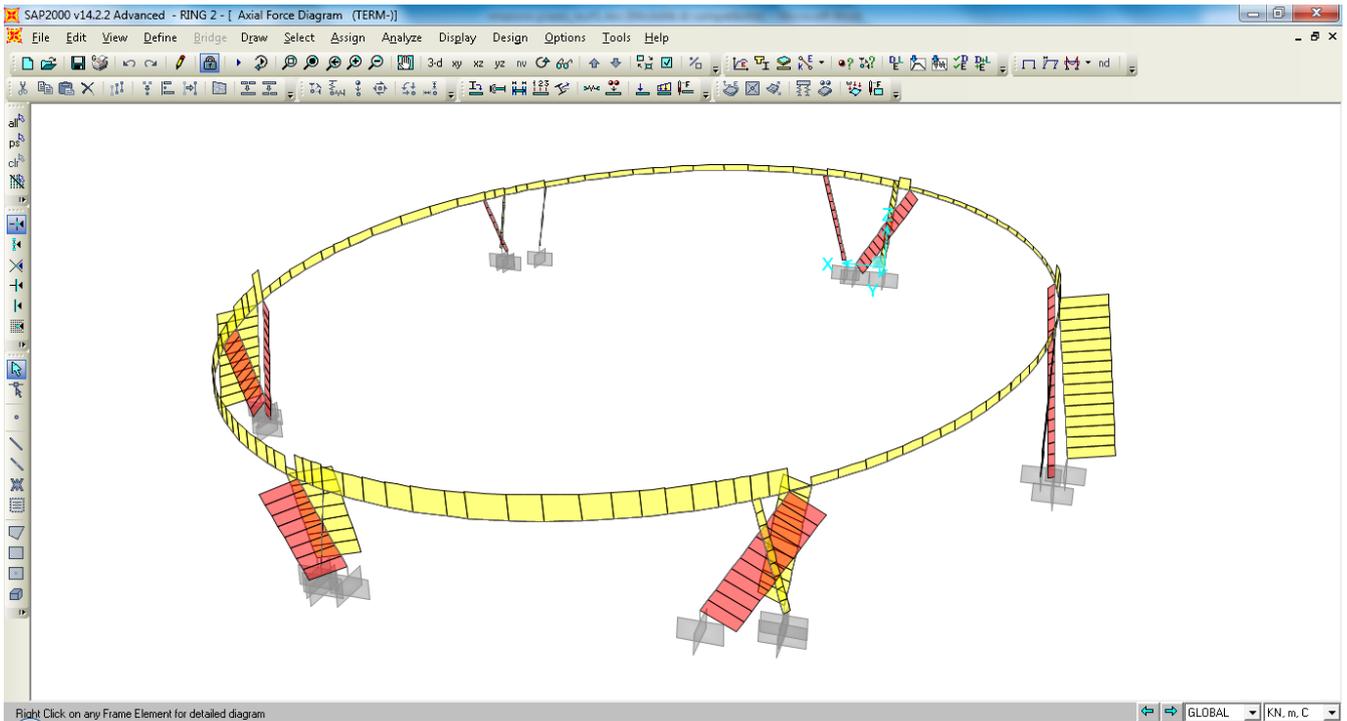
Diagrammi di sollecitazione N, Mx, My, Tx e Ty – condizione di carico “ ϵ_3 ” positivo (vedi § 7.1.4)

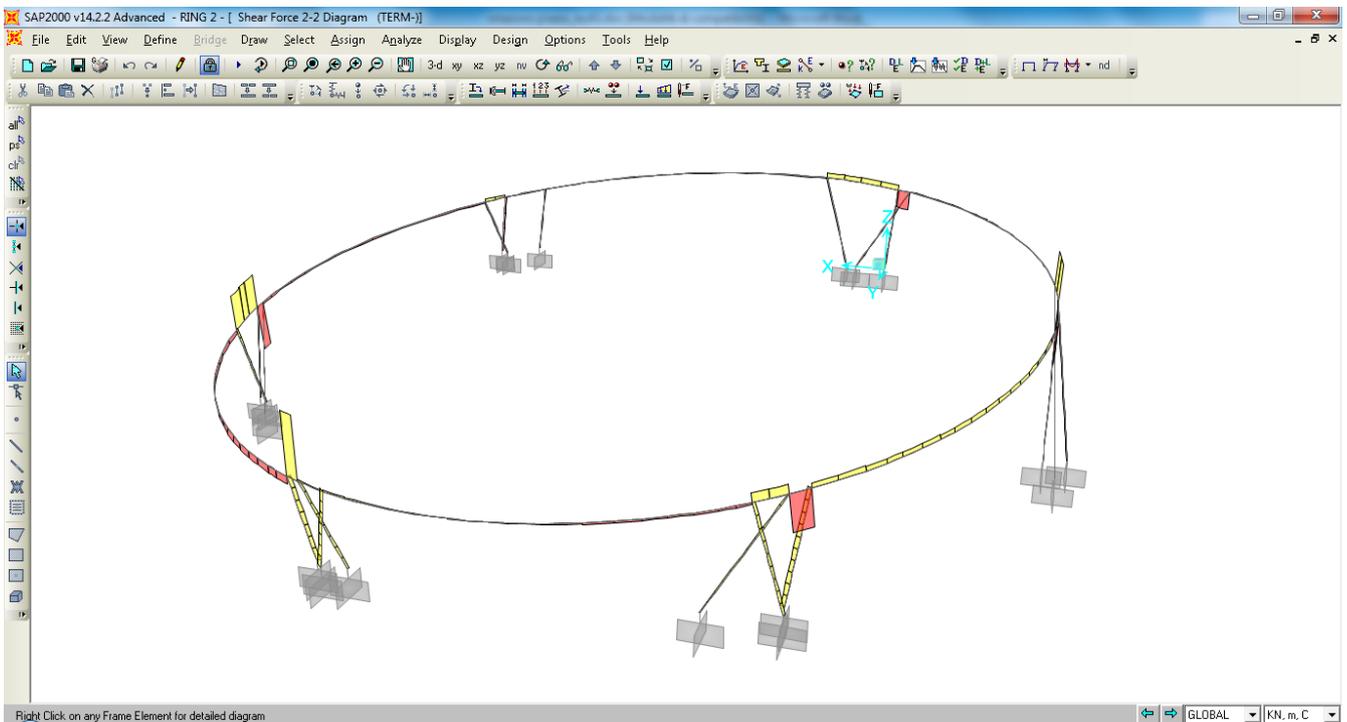
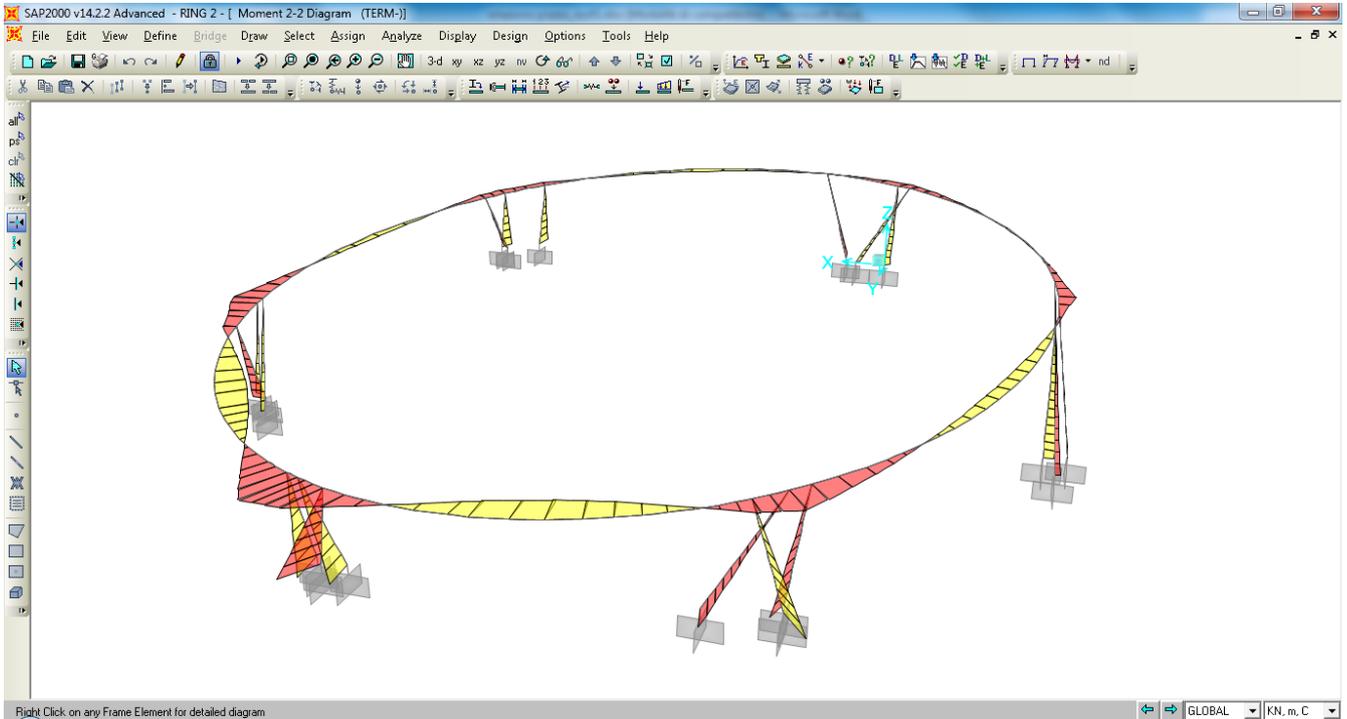




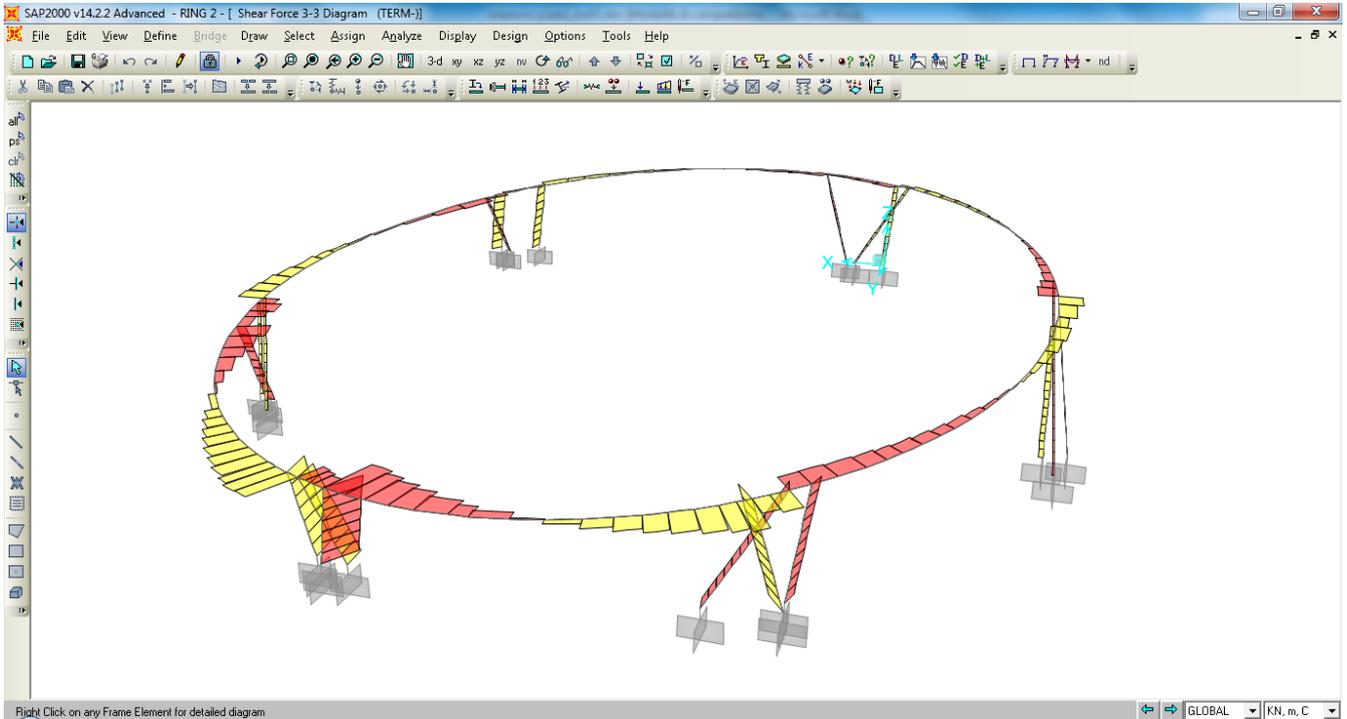
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Diagrammi di sollecitazione N, Mx, My, Tx e Ty – condizione di carico “ ϵ_3 ” negativo (vedi § 7.1.4)

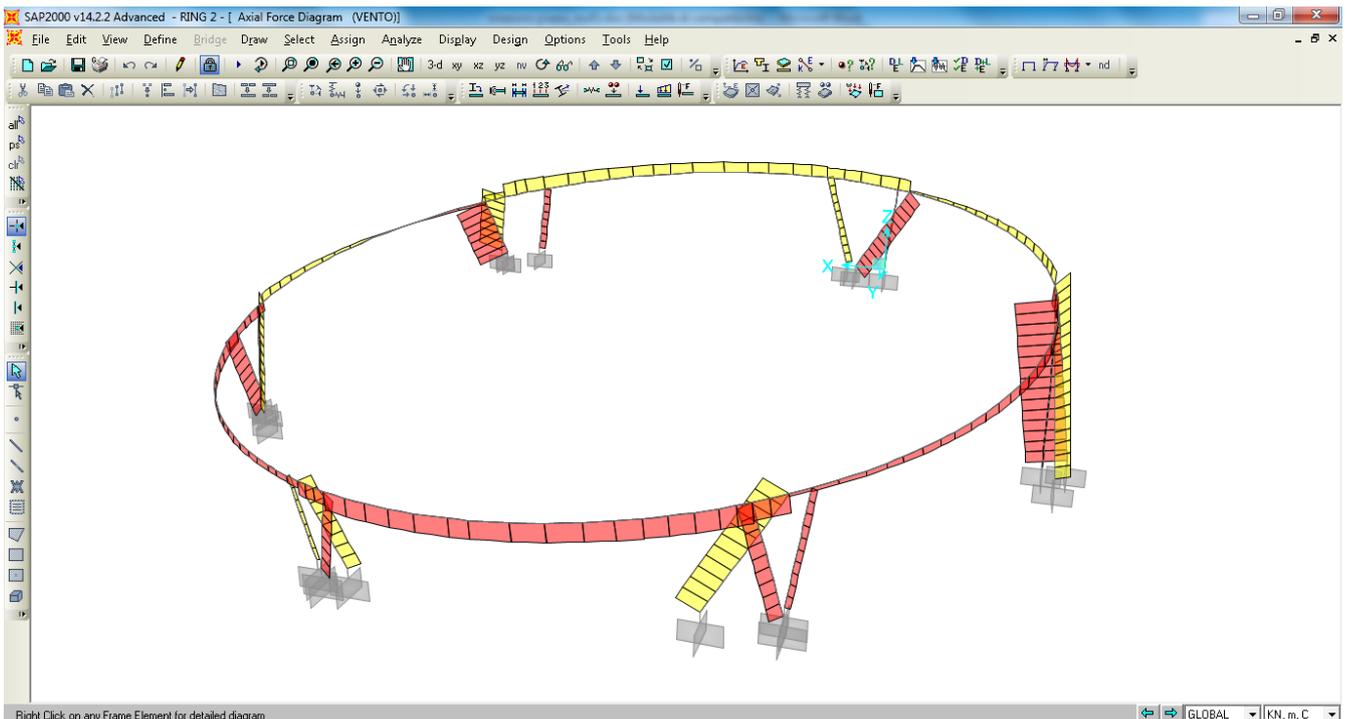


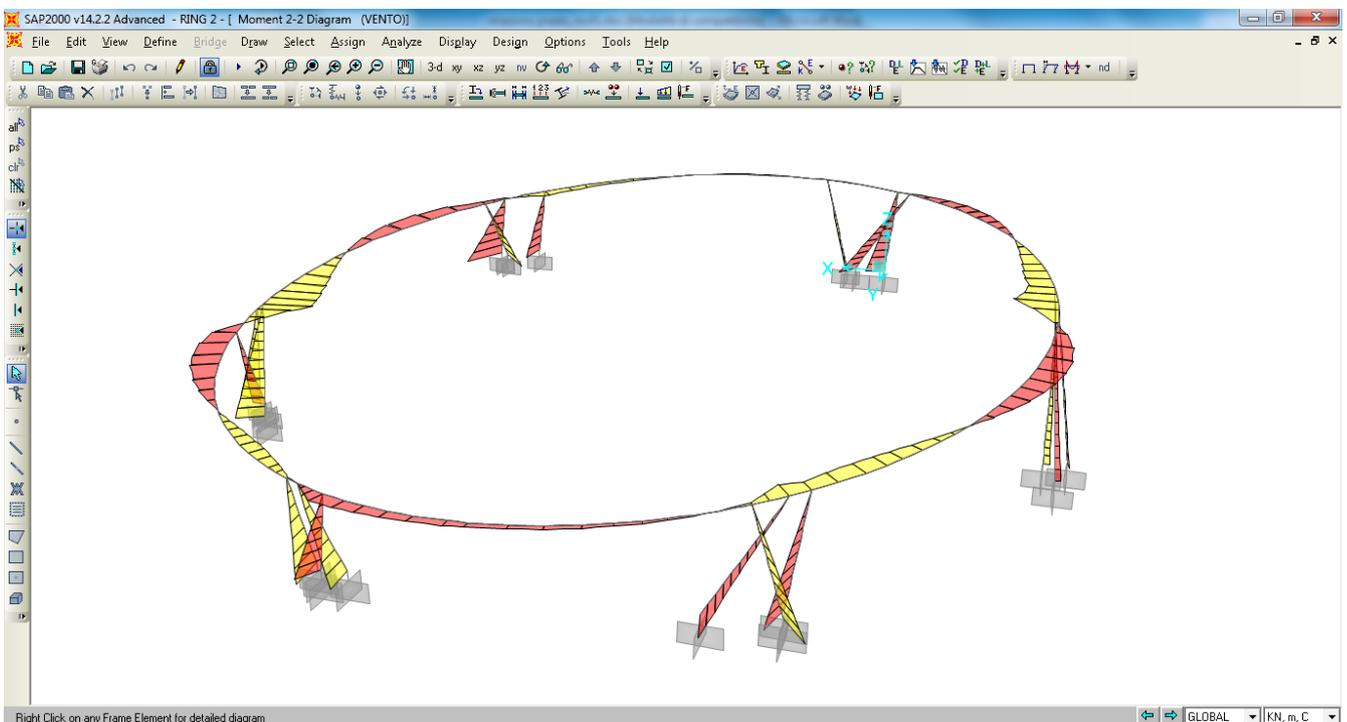
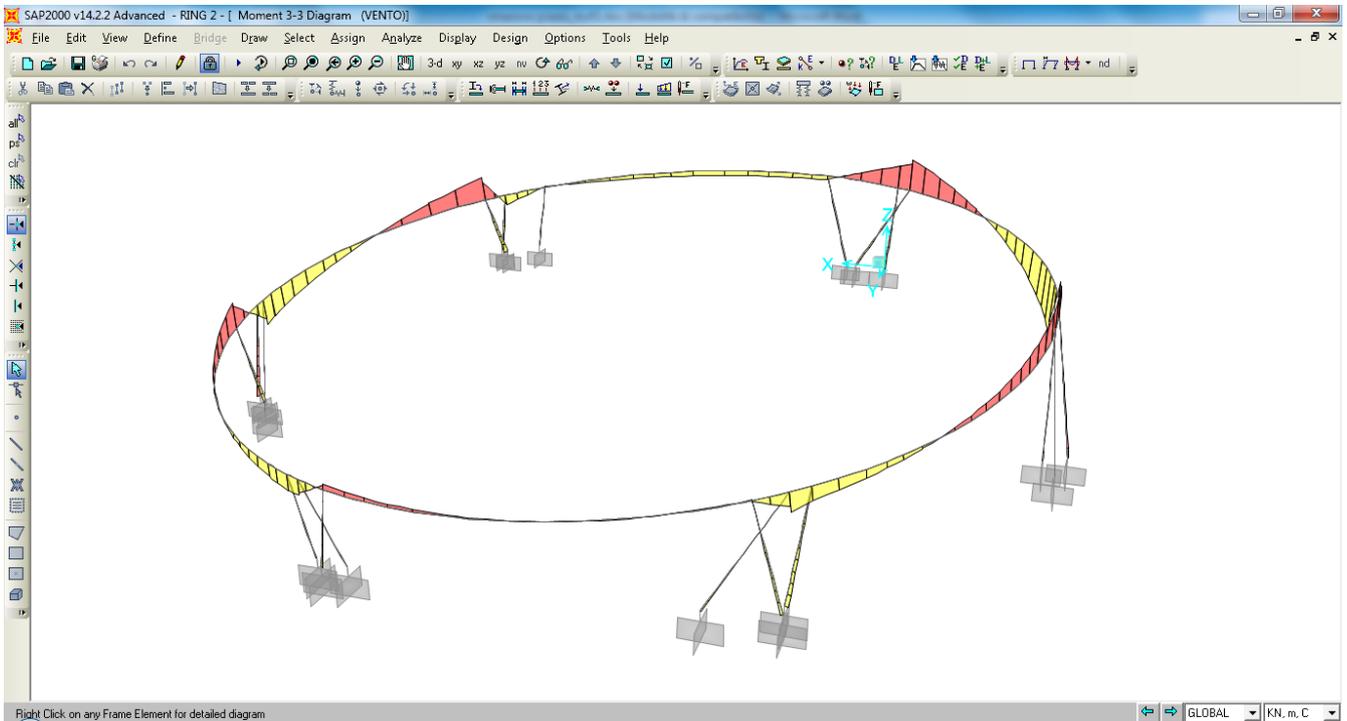


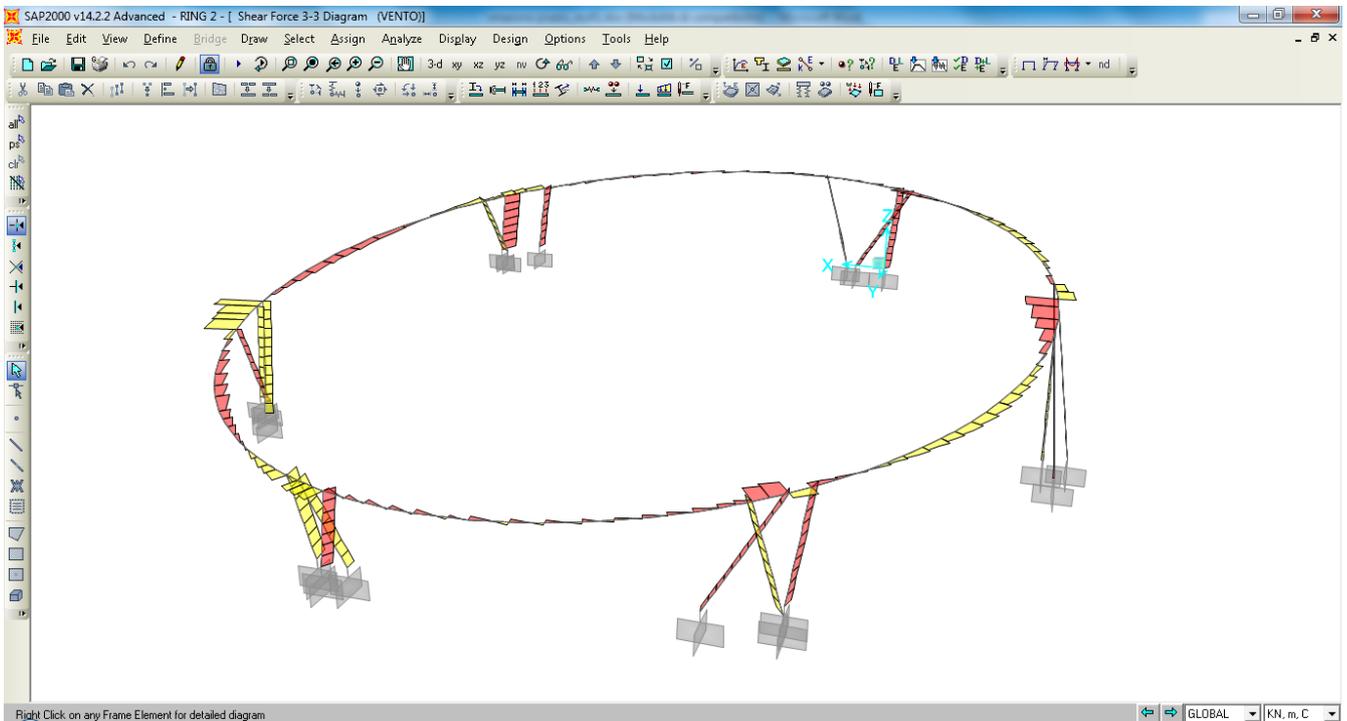
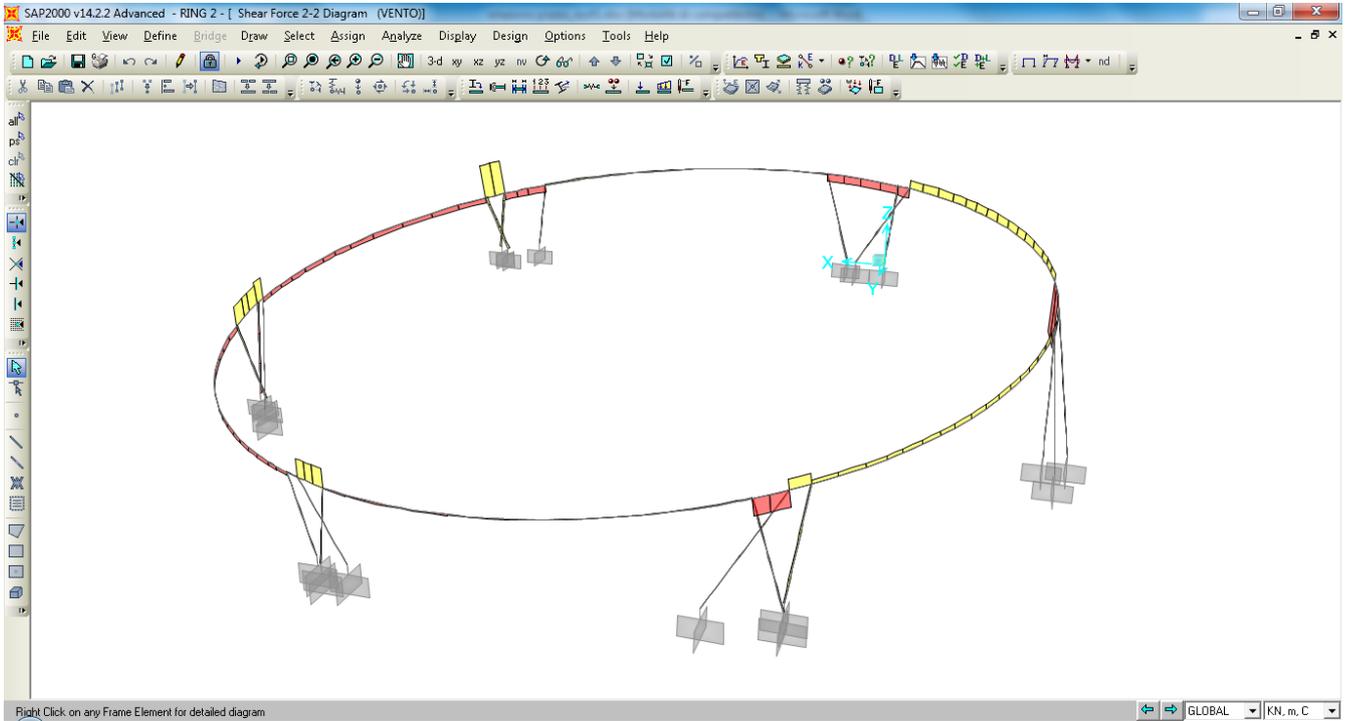
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<table border="1"> <tr> <td><i>Rev</i></td> <td><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						



Diagrammi di sollecitazione N , M_x , M_y , T_x e T_y – condizione di carico “ q_5 ” (vedi § 7.1.5)



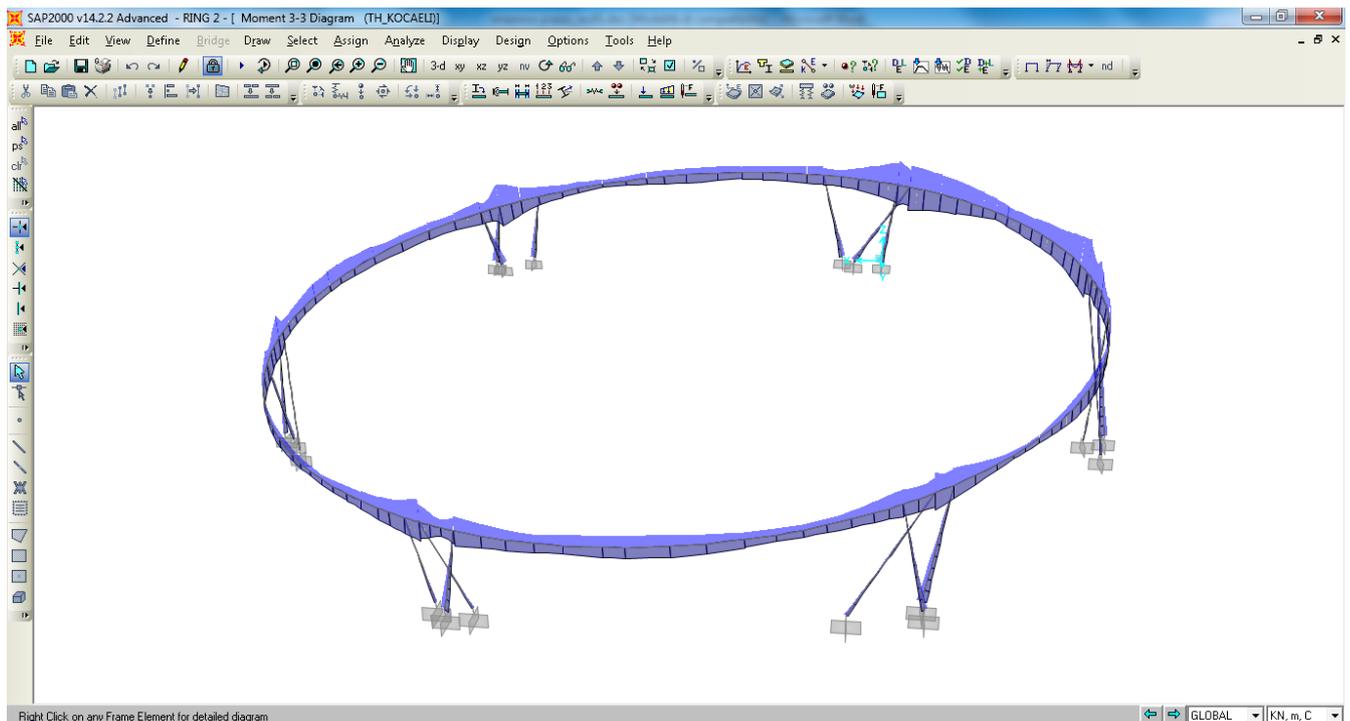
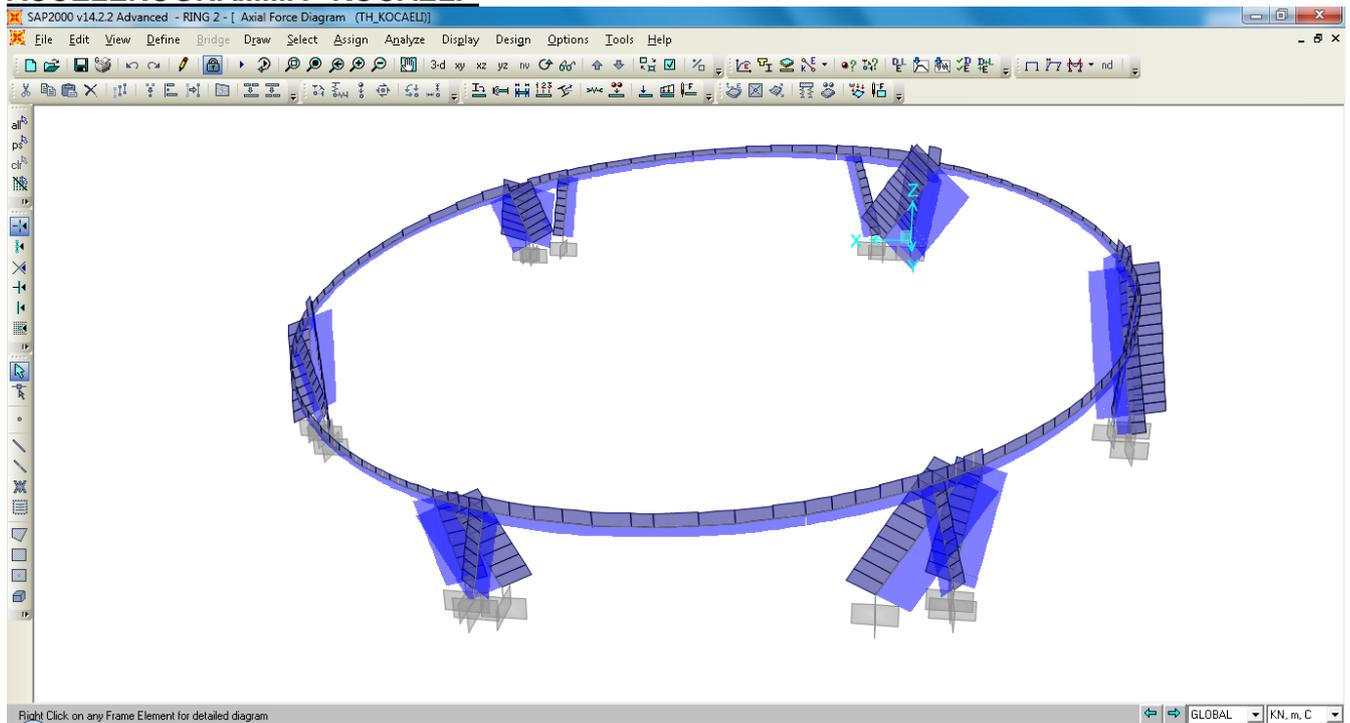


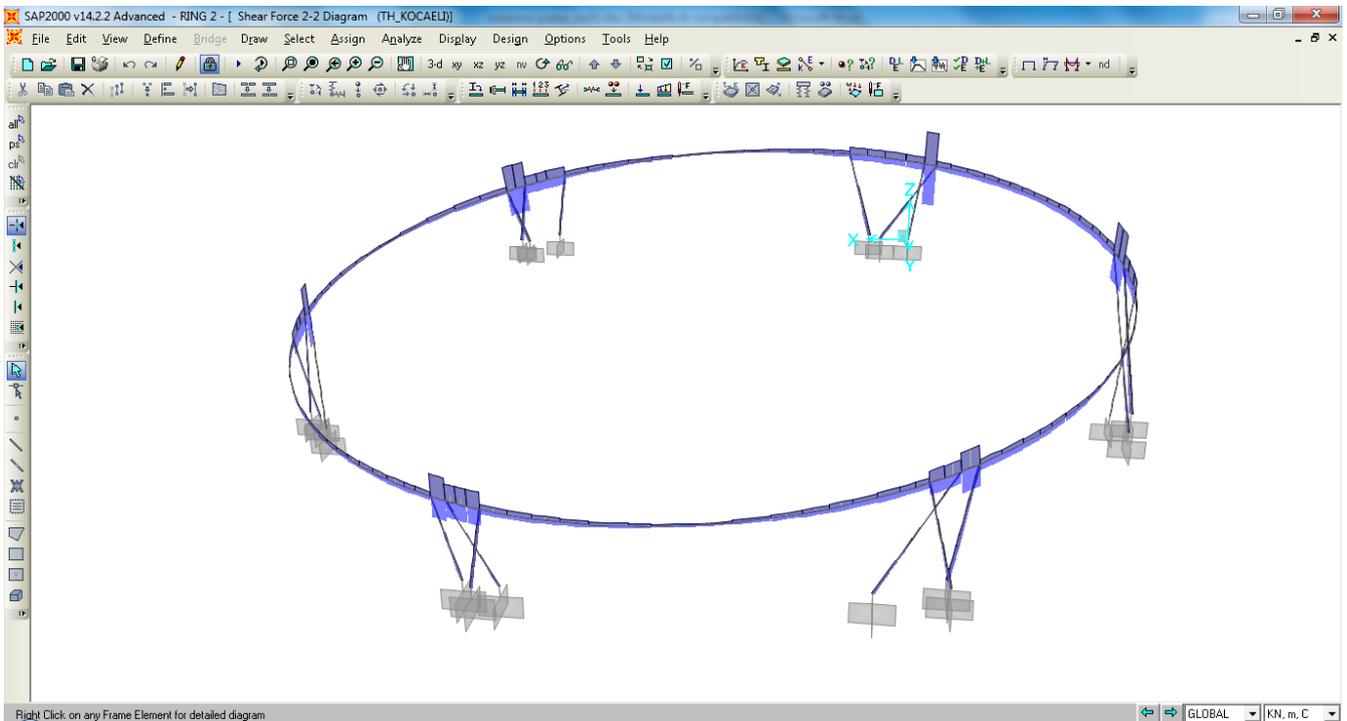
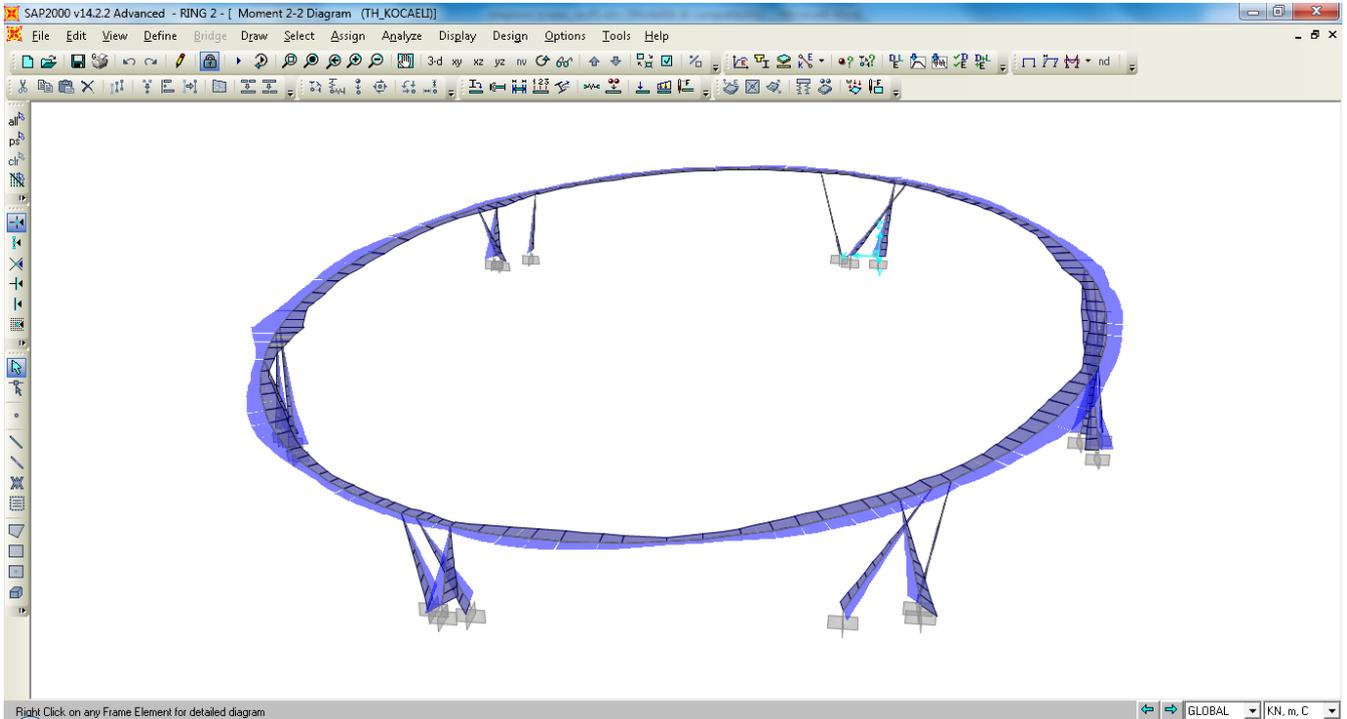


		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

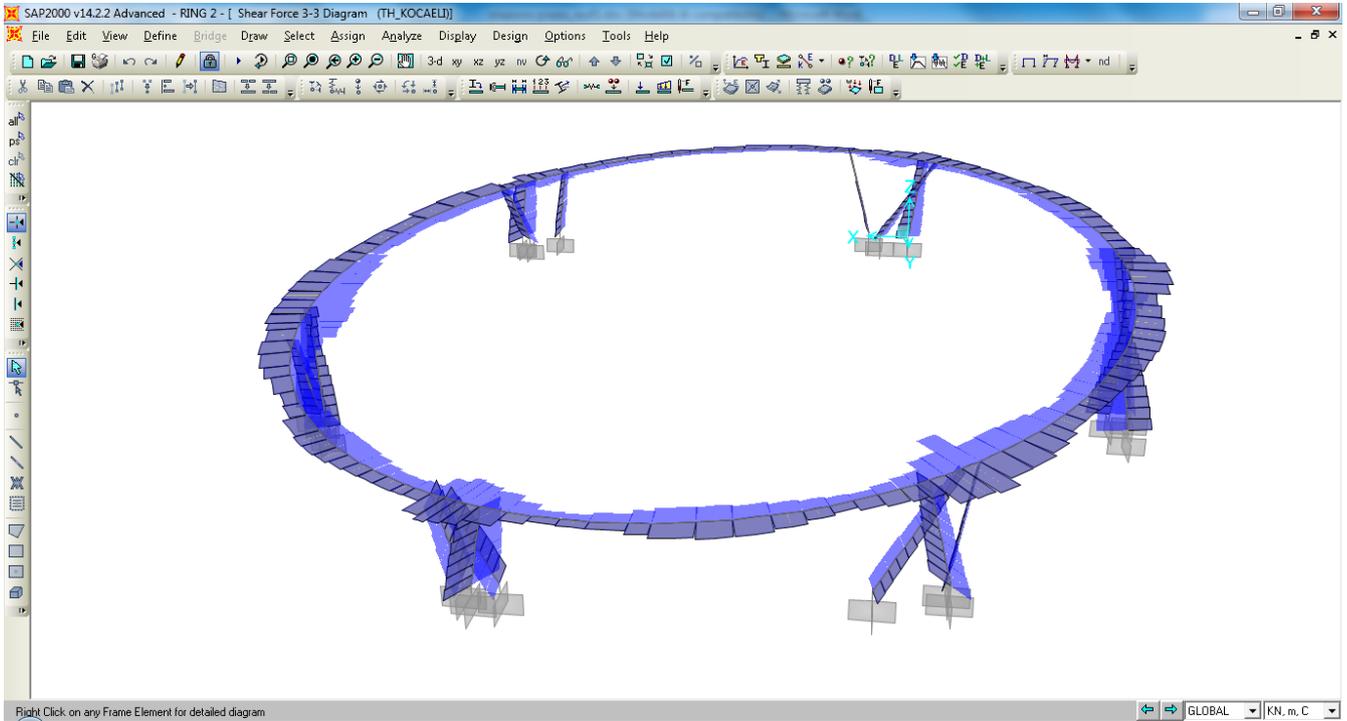
Diagrammi di sollecitazione N, Mx, My, Tx e Ty – condizione di carico “q₆” (vedi 7.1.6)

ACCELEROGRAMMA “KOCAELI”

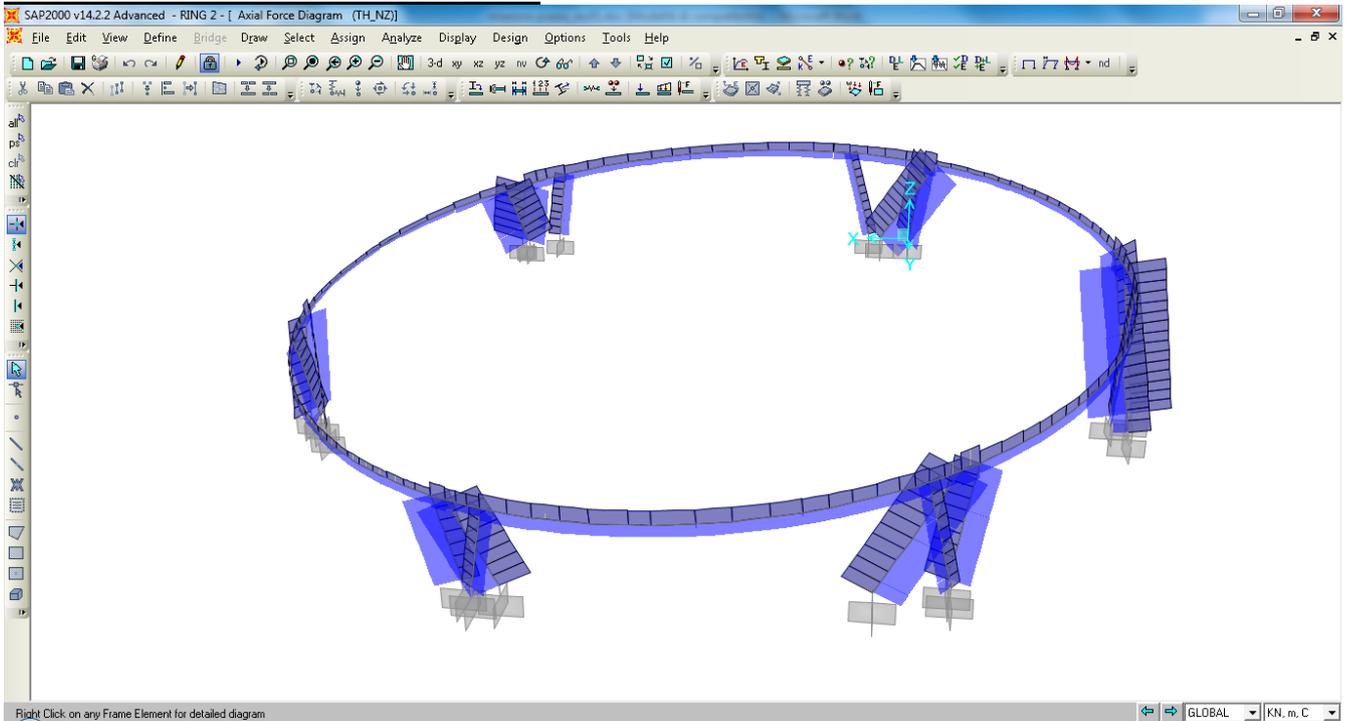


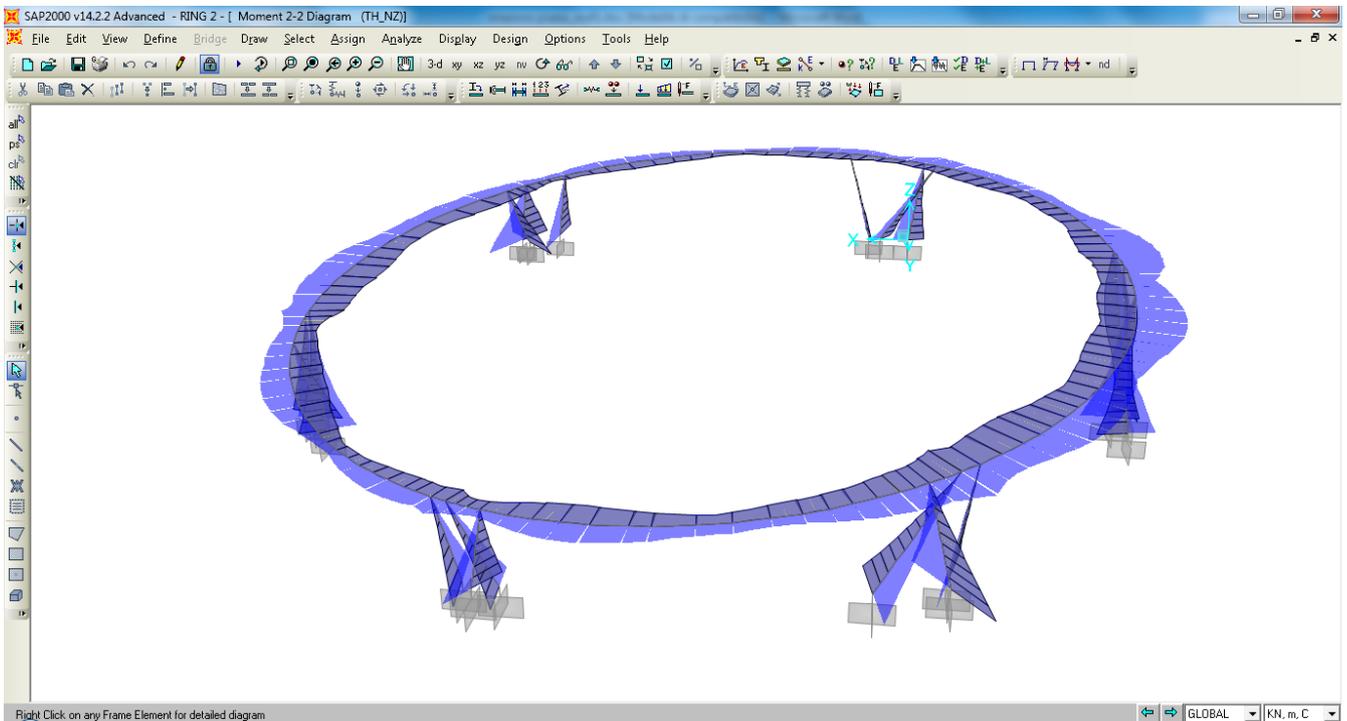
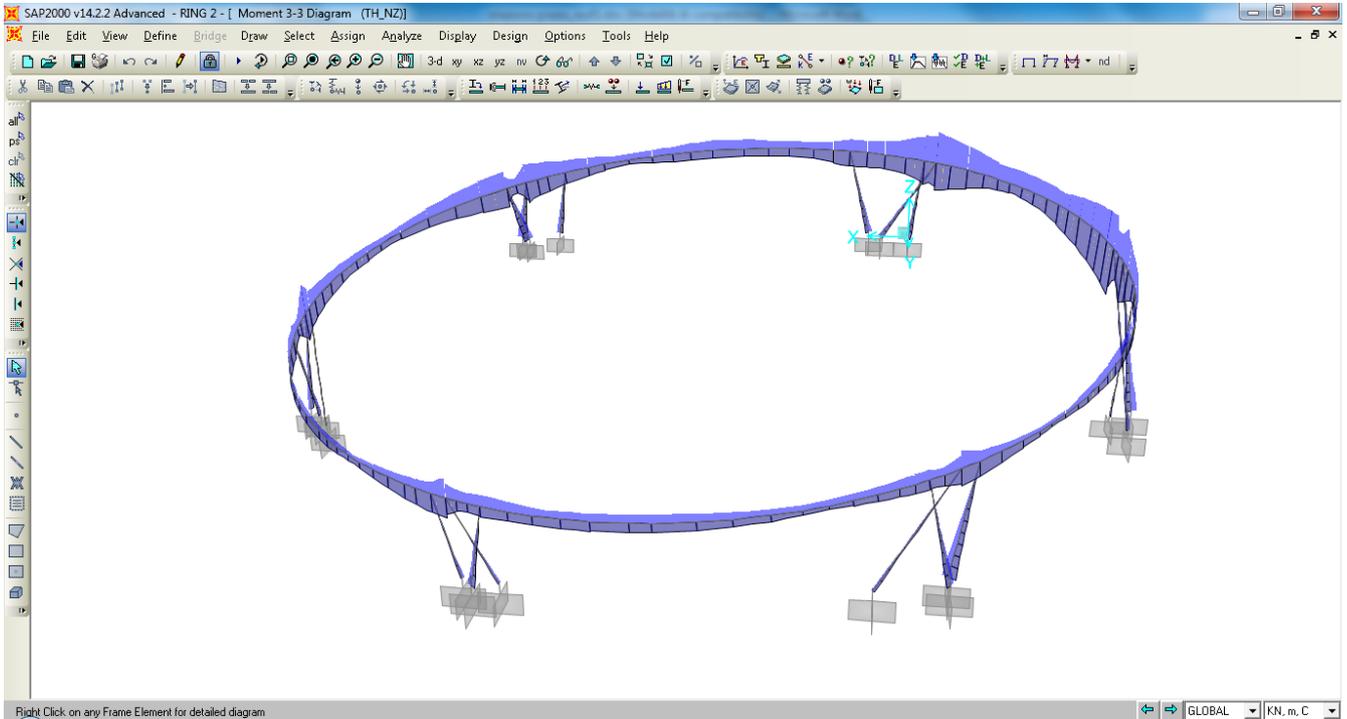


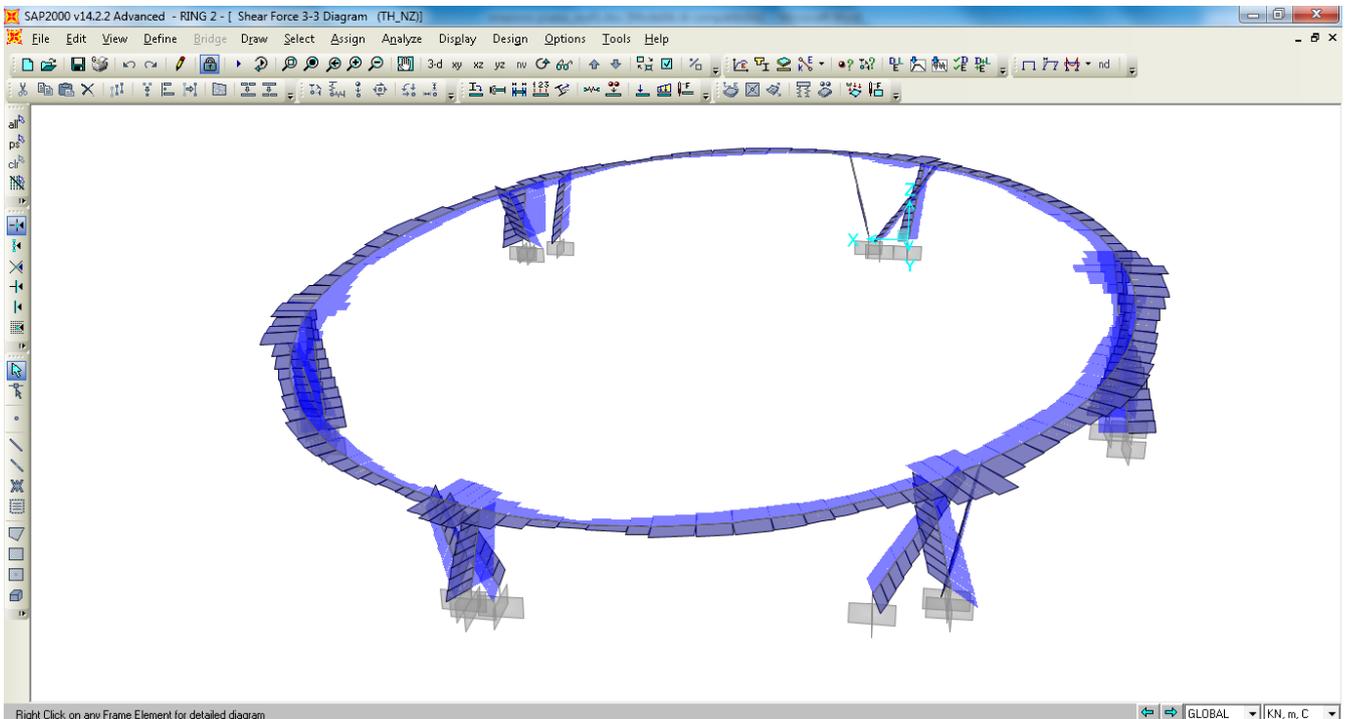
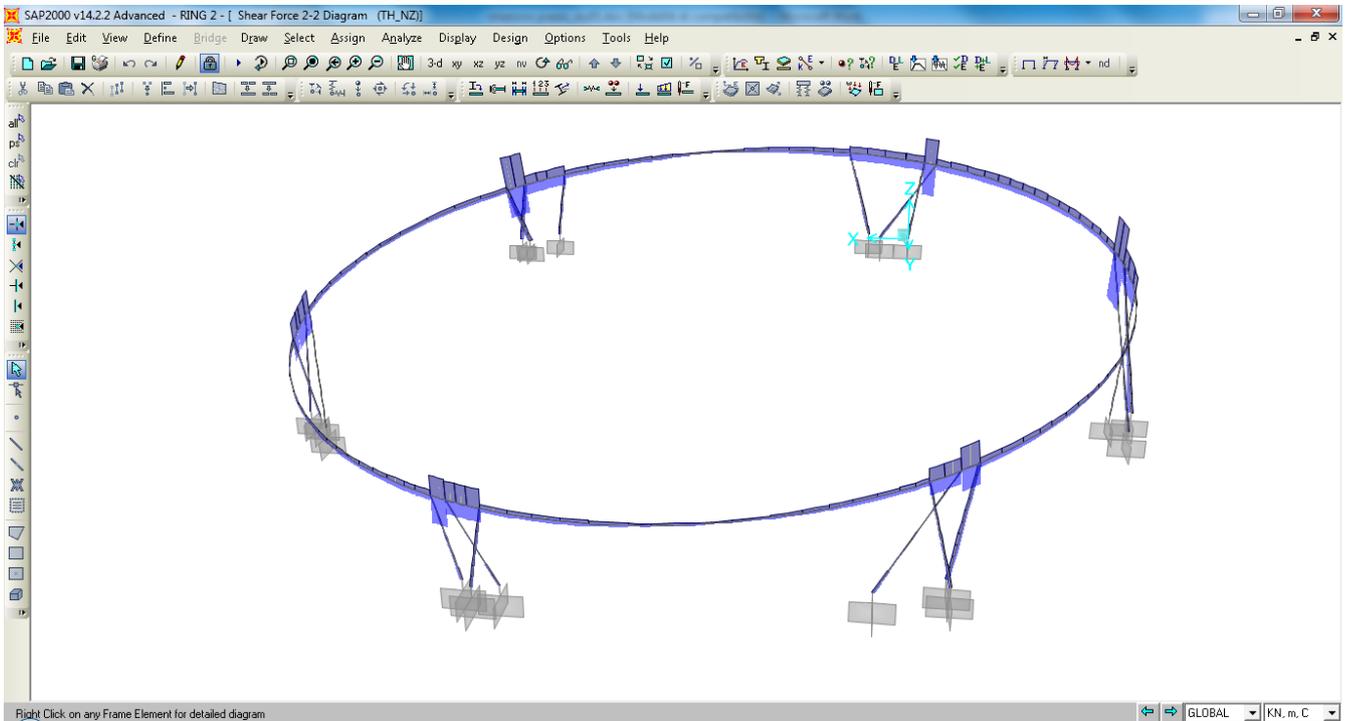
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011



ACCELEROGRAMMA "NEW ZEALAND"







		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

7.4.1 Combinazioni per gli S.L.U.

Si applicano le combinazioni di carico in accordo al DM 14. 01 .2008.

La Tab. 2.6.I 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:

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

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

Tabella 2.6.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

		Coefficiente γ_F	EQU	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0	1,0
	sfavorevoli		1,1	1,3	1,0
Carichi permanenti non strutturali ⁽¹⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5	1,3

⁽¹⁾Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare per essi gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

I valori dei coefficienti ψ_{0j} , ψ_{1j} e ψ_{2j} per le diverse categorie di azioni sono riportati nella Tab.

2.5.I di [NT_1] e riportati nel seguito per completezza.

Tabella 2.5.I – Valori dei coefficienti di combinazione

Categoria/Azione variabile	ψ_{0j}	ψ_{1j}	ψ_{2j}
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left; padding: 2px;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left; padding: 2px;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center; padding: 2px;">F0</td> <td style="text-align: center; padding: 2px;">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						

Le combinazioni di azioni per le verifiche agli stati limite ultimi sono definite al punto 2.5.3 del D.M. 14 gennaio 2008:

$$\sum_{j>1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

$$E + \sum_{j>1} G_{k,j} + P + \sum_{i>1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

con

+ implica "da combinarsi con"

\sum implica "l'effetto combinato di"

G_k è il valore caratteristico delle azioni permanenti

E è l'azione del sisma per lo stato limite considerato

P è il valore caratteristico delle azioni di precompressione

Q_k è il valore caratteristico delle azioni variabili

γ_G , γ_P e γ_Q sono i coefficienti parziali delle azioni per gli SLU

ψ_0, ψ_2 sono i coefficienti di combinazione delle azioni variabili

Le combinazioni di carico adottate per le verifiche di resistenza agli SLU sono le seguenti:

- $SLU1 = 1,3 \cdot G_k + 1,5 \cdot Q_5 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot \varepsilon_{3+}$
- $SLU2 = 1,3 \cdot G_k + 1,5 \cdot Q_5 + 1,5 \cdot 0,6 \cdot \varepsilon_{3-}$
- $SIS1 = G_k + E_x + 0,3 \cdot E_y + 0,3 \cdot E_z$
- $SIS2 = G_k + 0,3 \cdot E_x + E_y + 0,3 \cdot E_z$
- $SIS3 = G_k + 0,3 \cdot E_x + 0,3 \cdot E_y + E_z$

essendo:

- | | |
|--------------------|--|
| G_k | pesi propri e carichi permanenti ($g_1 + g_2$) |
| Q_5 | azione compatibile del vento |
| ε_{3-} | (-25 °C) variazione termica uniforme |
| ε_{3+} | (+25 °C) variazione termica uniforme |
| E_i | azione sismica in direzione i-esima |

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<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						

7.4.2 Combinazioni per lo stato limite di fatica

Non essendo una struttura soggetta a carichi ciclici, la verifica a fatica risulta trascurabile.

7.4.3 Combinazioni per gli S.L.S.

Essendo la struttura in acciaio, le verifiche associate a tale stato limite sono eseguite in funzione delle combinazioni di carico **rara** espresse dalla relazione seguente:

$$\sum_{j>1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

dove

+ implica "da combinarsi con"

\sum implica "l'effetto combinato di"

G_k è il valore caratteristico delle azioni permanenti

P è il valore caratteristico delle azioni di precompressione

Q_k è il valore caratteristico delle azioni variabili

ψ_0 sono i coefficienti di combinazione delle azioni variabili

Le combinazioni di carico adottate per le verifiche di resistenza agli SLS sono le seguenti:

- SLS1 = $G_k + Q_5 + 0,6 \cdot \epsilon_{3+}$
- SLS2 = $G_k + Q_5 + 0,6 \cdot \epsilon_{3-}$

essendo:

G_k pesi propri e carichi permanenti ($g_1 + g_2$)

Q_5 azione compatibile del vento

ϵ_{3-} (-25 °C) variazione termica uniforme

ϵ_{3+} (+25 °C) variazione termica uniforme

E_i azione sismica in direzione i-esima

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<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						

7.5 VERIFICA DELLA STRUTTURA DEL “RING”

7.5.1 Verifiche di resistenza e stabilità agli S.L.U.

VERIFICHE DI RESISTENZA

Le verifiche sono eseguite in accordo con il § 4.2.4 di D.M. 14-01-2008, assumendo un'analisi elastica per il calcolo delle tensioni agenti nella struttura. Le resistenze di progetto dei materiali costituenti la sezione del ponte sono (vedi § 3):

- Acciaio da carpenteria S355:

per elementi di spessore $t \leq 40$ mm	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_a = 355 / 1,05$	= 338 MPa
per elementi di spessore $t > 40$ mm	$f_{yd} = (f_{yk} - 20) / \gamma_a$	= 319 MPa

La verifica è soddisfatta se risulta:

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{f_{yk} \cdot A / \gamma_{M0}} + \frac{M_{Ed}}{f_{yk} \cdot W_{el} / \gamma_{M0}} \leq 1,0$$

con

- N_{Ed} e M_{Ed} sollecitazioni assiali e flessionali di progetto;
- A e W_{el} proprietà elastiche della sezione trasversale;
- γ_{M0} coefficiente parziale di sicurezza, pari ad 1,05.

La resistenza di progetto a taglio è definita come:

$$V_{c,Rd} = \frac{f_{yk} \cdot A_v}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}}$$

dove:

- A_v è l'area resistente a taglio;
- γ_{M0} è il fattore parziale di sicurezza assunto pari a 1,05;

La verifica è posta in forma adimensionale come rapporto tra le azioni sollecitanti e la capacità resistente:

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{b,Rd}} \leq 1,0$$

dove V_{Ed} è la sollecitazione tagliante di progetto.

Per valori di $\overline{\eta}_3$ (vedere sotto) inferiori a 0,5 non è necessario controllare l'interazione tra le

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<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						

sollecitazioni normali e tangenziali; per valori superiori si adotta la seguente espressione del dominio di resistenza:

$$\bar{\eta}_1 + \left(1 - \frac{M_{f,Rd}}{M_{Pl,Rd}}\right) \cdot (2 \cdot \bar{\eta}_3 - 1)^2 \leq 1,0$$

in cui

- $M_{f,Rd}$ è il momento resistente di progetto delle sole flange efficaci;
- $M_{Pl,Rd}$ è la resistenza plastica della sezione trasversale composta dall'area effettiva delle flange e dall'intera anima senza tener conto della classe di quest'ultima;
- $\bar{\eta}_1 = \frac{M_{Ed}}{M_{Pl,Rd}}$
- $\bar{\eta}_3 = \frac{V_{Ed}}{V_{bw,Rd}}$

VERIFICHE DI STABILITÀ

Le verifiche sono eseguite in accordo con il § C4.2.4.1.3.3.1 di C.M. 02-02-2009, assumendo un'analisi elastica per il calcolo delle tensioni agenti nella struttura. Le resistenze di progetto dei materiali costituenti la sezione del ponte sono (vedi § 3):

- Acciaio da carpenteria S355:
- per elementi di spessore $t \leq 40$ mm $f_{yd} = f_{yk} / \gamma_{M1} = 355 / 1,10 = 323$ MPa
- per elementi di spessore $t > 40$ mm $f_{yd} = (f_{yk} - 20) / \gamma_{M1} = 303$ MPa

La verifica è soddisfatta se risulta:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_{\min} \cdot f_{yk} \cdot A / \gamma_{M1}} + \frac{M_{y,eq,Ed}}{f_{yk} \cdot W_y \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}\right) / \gamma_{M1}} + \frac{M_{z,eq,Ed}}{f_{yk} \cdot W_z \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right) / \gamma_{M1}} \leq 1,0$$

con

- N_{Ed} e M_{Ed} sollecitazioni assiali e flessionali di progetto;
- A , W_y e W_z proprietà elastiche della sezione trasversale;
- χ_{\min} minimo fattore relativo all'inflessione intorno agli assi principali;
- $N_{cr,y}$ e $N_{cr,z}$ carichi critici Euleriani relativi all'inflessione nei rispettivi assi principali;
- γ_{M1} coefficiente parziale di sicurezza, pari ad 1,10.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

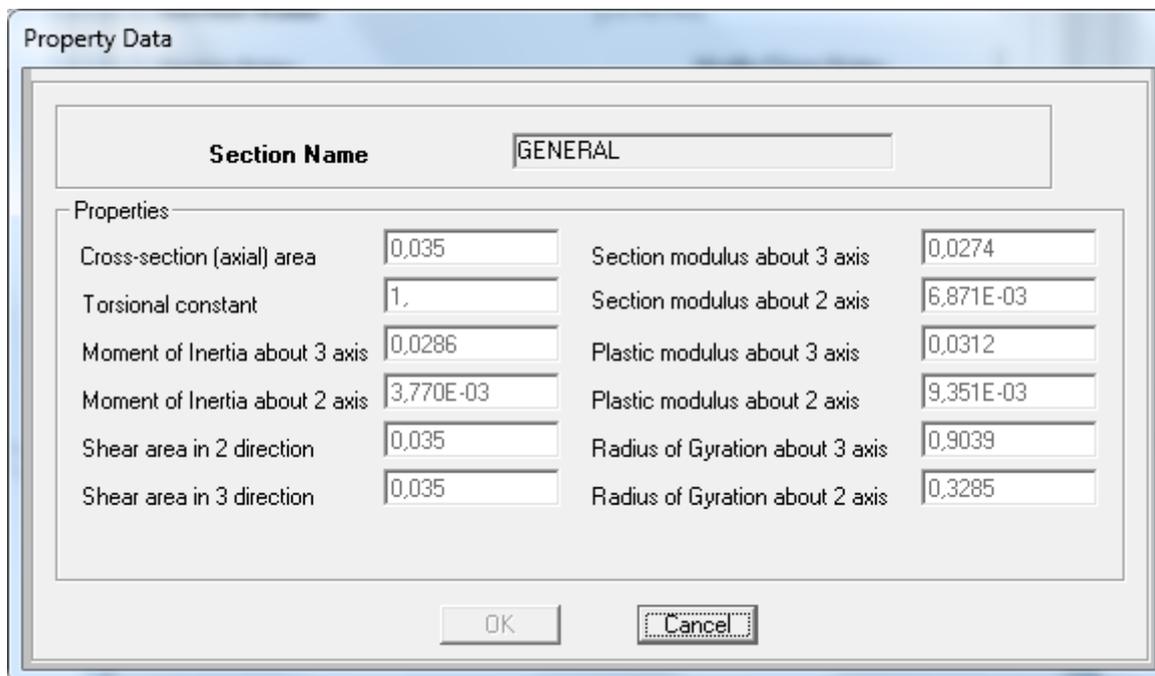
7.5.1.1 Sezione trasversale del RING

Dalle analisi svolte nei modelli di calcolo, le massime azioni (indicate in giallo) agli SLU per la sezione sono:

TABLE: Element Forces - Frames								
Frame	OutputCase	CaseType	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
39	SLU2	Combination	351,001	-123,71	45,18	-124,8335	-44,4951	245,8414
44	SLU1	Combination	-38,257	-127,671	2,773	150,9998	-262,9907	-587,8172
54	SLU1	Combination	-236,222	468,065	104,125	-330,755	419,4699	585,8684
54	SLU1	Combination	-227,275	474,657	105,66	-330,755	291,001	8,5631
117	SLU1	Combination	-311,246	-784,864	42,078	338,6188	306,9424	-951,4537
118	SLU1	Combination	-333,451	-768,65	30,093	324,6701	189,7549	1498,3076
119	SLU2	Combination	220,592	45,251	0,515	299,2236	158,181	1948,8644
133	SLU1	Combination	7,67	198,25	-44,948	-87,4176	13,2195	-1809,3201

A favore di sicurezza, i correnti superiore e inferiore assorbono tutta l'azione flettente, assiale e tagliante.

Le caratteristiche inerziali della sezione sono:



Property Data

Section Name GENERAL

Properties:

Cross-section (axial) area	0,035	Section modulus about 3 axis	0,0274
Torsional constant	1.	Section modulus about 2 axis	6,871E-03
Moment of Inertia about 3 axis	0,0286	Plastic modulus about 3 axis	0,0312
Moment of Inertia about 2 axis	3,770E-03	Plastic modulus about 2 axis	9,351E-03
Shear area in 2 direction	0,035	Radius of Gyration about 3 axis	0,9039
Shear area in 3 direction	0,035	Radius of Gyration about 2 axis	0,3285

OK Cancel

Con riferimento alle norme vigenti (vedi § 4.2.3.1 del D.M. 14-01-2008 e § 5.5 di EN 1993-1-1:2005) le parti componenti la sezione vengono classificate come **classe 1**:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<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						

$$\frac{d}{t} = \frac{200}{15} = 13,3 \leq 50 \cdot \frac{235}{f_{yk}} = 33 \quad (\text{correnti superiori})$$

$$\frac{d}{t} = \frac{300}{20} = 15 \leq 50 \cdot \frac{235}{f_{yk}} = 33 \quad (\text{corrente inferiore})$$

Con riferimento alle norme vigenti si eseguono le verifiche di resistenza e stabilità delle membrature della sezione in esame (vedi § 4.2.4.1.2 e 4.2.4.1.3 del D.M. 14-01-2008).

VERIFICA DI RESISTENZA

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{f_{yk} \cdot A / \gamma_{M0}} + \frac{M_{Ed,2}}{f_{yk} \cdot W_{el,2} / \gamma_{M0}} + \frac{M_{Ed,3}}{f_{yk} \cdot W_{el,3} / \gamma_{M0}} =$$

$$= \frac{351}{355 \cdot 10^3 \cdot 0,035 / 1,05} - \frac{44,5}{355 \cdot 10^3 \cdot 6,871 \cdot 10^{-3} / 1,05} + \frac{246}{355 \cdot 10^3 \cdot 0,0274 / 1,05} = 0,075 \leq 1 \quad (\text{FRAME 39})$$

$$= \frac{-236}{355 \cdot 10^3 \cdot 0,035 / 1,05} + \frac{419,5}{355 \cdot 10^3 \cdot 6,871 \cdot 10^{-3} / 1,05} + \frac{585,9}{355 \cdot 10^3 \cdot 0,0274 / 1,05} = 0,223 \leq 1 \quad (\text{FRAME 54})$$

$$= \frac{221}{355 \cdot 10^3 \cdot 0,035 / 1,05} + \frac{158,2}{355 \cdot 10^3 \cdot 6,871 \cdot 10^{-3} / 1,05} + \frac{1948,9}{355 \cdot 10^3 \cdot 0,0274 / 1,05} = 0,297 \leq 1 \quad (\text{FRAME 133})$$

Tutte le verifiche flessionali risultano soddisfatte.

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{f_{yk} \cdot A_v / \gamma_{M0}} \cdot \sqrt{3} =$$

$$= \frac{\sqrt{474,7^2 + 105,7^2}}{355 \cdot 10^3 \cdot 0,035 / 1,05} \cdot \sqrt{3} = 0,072 \leq 1 \quad (\text{FRAME 54})$$

$$= \frac{\sqrt{784,9^2 + 42,1^2}}{355 \cdot 10^3 \cdot 0,035 / 1,05} \cdot \sqrt{3} = 0,115 \leq 1 \quad (\text{FRAME 117})$$

Tutte le verifiche taglianti risultano soddisfatte (essendo $\eta_3 < 0.5$ si può trascurare l'interazione taglio/flessione).

VERIFICA DI STABILITA'

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_{\min} \cdot f_{yk} \cdot A / \gamma_{M1}} + \frac{M_{2eq,Ed}}{f_{yk} \cdot W_2 \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,2}} \right) / \gamma_{M1}} + \frac{M_{3eq,Ed}}{f_{yk} \cdot W_3 \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,3}} \right) / \gamma_{M1}} \leq 1$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%; text-align: center;"><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						

dove

$$\chi_{\min} = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}} = 1,063$$

$$\Phi = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,473$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = 0,079$$

$$N_{cr,2} = \frac{\chi_2 \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 1953441 \text{ kN}$$

$$N_{cr,3} = \frac{\chi_3 \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 14819211 \text{ kN}$$

Si riporta la verifica della combinazione più gravosa (FRAME 118):

$$\frac{333,5 \cdot 1,10}{1,063 \cdot 355 \cdot 10^3 \cdot 0,035} + \frac{189,8 \cdot 1,10}{355 \cdot 10^3 \cdot 6,871 \cdot 10^{-3} \cdot \left(1 - \frac{333,45}{1953441} \right)} + \frac{1498,3 \cdot 1,10}{355 \cdot 10^3 \cdot 0,0274 \cdot \left(1 - \frac{333,45}{14819211} \right)} = 0,283$$

Le verifiche risultano soddisfatte.

7.5.1.2 Montanti del RING

Dalle analisi svolte nei modelli di calcolo, le massime azioni agli SLU per la sezione sono:

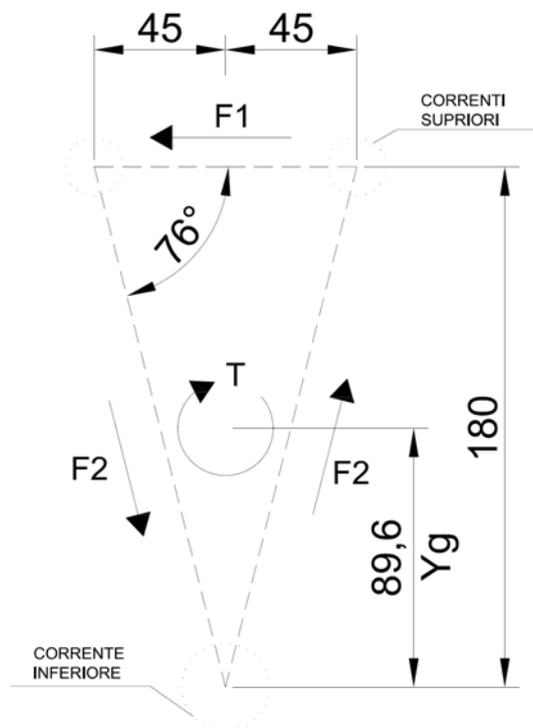
TABLE: Element Forces - Frames			
Frame	OutputCase	CaseType	T
Text	Text	Text	KN-m
116	SLU2	Combination	431,455
54	SLU2	Combination	-362,0115

A favore di sicurezza, i montanti assorbono tutta l'azione torcente.

L'azione sollecitante T deve essere moltiplicata per l'area di influenza di ogni montante $i=2$ m.

Tramite l'equilibrio delle forze reagenti all'interno dei montanti, soggette all'azione torcente T, si ottengono le massime azioni assiali agenti negli elementi stessi (vedi figura seguente).

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO	Codice documento PG0095_F0.doc	Rev F0	Data 20/06/2011



F6. Schema di ripartizione delle azioni

Le caratteristiche inerziali della sezione sono:

Property Data

Section Name RING_MONTANTI

Properties

Cross-section (axial) area	8,718E-03	Section modulus about 3 axis	3,754E-04
Torsional constant	7,407E-05	Section modulus about 2 axis	3,754E-04
Moment of Inertia about 3 axis	3,754E-05	Plastic modulus about 3 axis	5,096E-04
Moment of Inertia about 2 axis	3,754E-05	Plastic modulus about 2 axis	5,096E-04
Shear area in 2 direction	5,872E-03	Radius of Gyration about 3 axis	0,0656
Shear area in 3 direction	5,872E-03	Radius of Gyration about 2 axis	0,0656

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left; padding: 2px;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left; padding: 2px;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center; padding: 2px;">F0</td> <td style="text-align: center; padding: 2px;">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						

Con riferimento alle norme vigenti (vedi § 4.2.3.1 del D.M. 14-01-2008 e § 5.5 di EN 1993-1-1:2005) le parti componenti la sezione vengono classificate come **classe 1**:

$$\frac{d}{t} = \frac{200}{15} = 13,3 \leq 50 \cdot \frac{235}{f_{yk}} = 33$$

Con riferimento alle norme vigenti si eseguono le verifiche di resistenza e stabilità delle membrature della sezione in esame (vedi § 4.2.4.1.2 e 4.2.4.1.3 del D.M. 14-01-2008).

VERIFICA DI STABILITA'

L'elemento risulta prevalentemente soggetto a sforzo normale; per cui la verifica da eseguire è che $N_{Ed} \leq N_{b,Rd}$, con N_{Ed} sforzo normale di progetto e $N_{b,Rd}$ la resistenza a instabilità dell'elemento.

$$N_{Ed} = \frac{T \cdot i}{2 \cdot \cos \alpha \cdot x_1 + 2 \cdot \sin \alpha \cdot x_2} = \frac{431,5 \cdot 2}{2 \cdot \cos 76 \cdot 0,904 + 2 \cdot \sin 76 \cdot 0,225} = 987,38 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{987,38}{\chi \cdot A \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{987,38}{0,913 \cdot 8718 \cdot 323 \cdot 10^{-3}} = 0,384 \leq 1 \quad (\text{la verifica risulta soddisfatta})$$

dove

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}} = 0,913$$

$$\Phi = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0,609$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = 0,369$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

7.5.1.3 Pilastrini di sostegno

Dalle analisi svolte nei modelli di calcolo, le massime azioni (indicate in giallo) agli SLU per la sezione sono:

TABLE: Element Forces - Frames								
Frame	OutputCase	CaseType	P	V2	V3	T	M2	M3
Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
9	SLU2	Combination	-108,37	-28,731	19,53	7,783E-13	175,4124	-240,5824
13	SLU1	Combination	976,254	7,173	-1,691	0	4,475E-13	9,612E-14
17	SLU1	Combination	700,235	33,682	-61,435	9,711E-13	-405,0214	235,3227
17	SLU1	Combination	729,764	37,706	-61,435	0	1,772E-12	3,143E-13
18	SLU1	Combination	-821,061	25,19	69,034	1,625E-12	463,539	206,1157
18	SLU2	Combination	-831,356	22,714	59,847	1,449E-12	401,8508	189,4892

Le caratteristiche inerziali della sezione sono:

Property Data

Section Name

Properties

Cross-section (axial) area	0,0443	Section modulus about 3 axis	4,912E-03
Torsional constant	2,423E-03	Section modulus about 2 axis	4,912E-03
Moment of Inertia about 3 axis	1,228E-03	Plastic modulus about 3 axis	6,572E-03
Moment of Inertia about 2 axis	1,228E-03	Plastic modulus about 2 axis	6,572E-03
Shear area in 2 direction	0,0297	Radius of Gyration about 3 axis	0,1665
Shear area in 3 direction	0,0297	Radius of Gyration about 2 axis	0,1665

Con riferimento alle norme vigenti (vedi § 4.2.3.1 del D.M. 14-01-2008 e § 5.5 di EN 1993-1-1:2005) le parti componenti la sezione vengono classificate come **classe 1**:

$$\frac{d}{t} = \frac{500}{30} = 16,6 \leq 50 \cdot \frac{235}{f_{yk}} = 33$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<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						

Con riferimento alle norme vigenti si eseguono le verifiche di resistenza e stabilità delle membrature della sezione in esame (vedi § 4.2.4.1.2 e 4.2.4.1.3 del D.M. 14-01-2008).

VERIFICA DI RESISTENZA

$$\eta_1 = \frac{N_{Ed}}{f_{yk} \cdot A / \gamma_{M0}} + \frac{M_{Ed,2}}{f_{yk} \cdot W_{el,2} / \gamma_{M0}} + \frac{M_{Ed,3}}{f_{yk} \cdot W_{el,3} / \gamma_{M0}} =$$

$$= \frac{976,3 \cdot 1,05}{355 \cdot 10^3 \cdot 0,0443} + \frac{0 \cdot 1,05}{355 \cdot 10^3 \cdot 4,91 \cdot 10^{-3}} + \frac{0 \cdot 1,05}{355 \cdot 10^3 \cdot 4,91 \cdot 10^{-3}} = 0,065 \leq 1 \quad (\text{FRAME 13})$$

$$= \frac{700,23 \cdot 1,05}{355 \cdot 10^3 \cdot 0,0443} + \frac{405,02 \cdot 1,05}{355 \cdot 10^3 \cdot 4,91 \cdot 10^{-3}} + \frac{235,33 \cdot 1,05}{355 \cdot 10^3 \cdot 4,91 \cdot 10^{-3}} = 0,432 \leq 1 \quad (\text{FRAME 17})$$

Tutte le verifiche flessionali risultano soddisfatte.

$$\eta_3 = \frac{V_{Ed}}{f_{yk} \cdot A_v / \gamma_{M0}} \cdot \sqrt{3} =$$

$$= \frac{\sqrt{37,7^2 + 61,44^2}}{355 \cdot 10^3 \cdot 0,0443 / 1,05} \cdot \sqrt{3} = 0,008 \leq 1 \quad (\text{FRAME 17})$$

$$= \frac{\sqrt{25,2^2 + 69,04^2}}{355 \cdot 10^3 \cdot 0,0443 / 1,05} \cdot \sqrt{3} = 0,008 \leq 1 \quad (\text{FRAME 18})$$

Tutte le verifiche taglianti risultano soddisfatte (essendo $\eta_3 < 0.5$ si può trascurare l'interazione taglio/flessione).

VERIFICA DI STABILITA'

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_{\min} \cdot f_{yk} \cdot A / \gamma_{M1}} + \frac{M_{2eq,Ed}}{f_{yk} \cdot W_2 \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,2}}\right) / \gamma_{M1}} + \frac{M_{3eq,Ed}}{f_{yk} \cdot W_3 \left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,3}}\right) / \gamma_{M1}} \leq 1$$

dove

$$\chi_{\min} = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \lambda^2}} = 0,407$$

$$\Phi = 0,5 \cdot \left[1 + \alpha \cdot (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2\right] = 1,550$$

$$\lambda = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} = 1,257$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </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						

$$N_{cr,2} = \frac{\chi_2 \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 9942 \text{ kN}$$

$$N_{cr,3} = \frac{\chi_3 \cdot A \cdot f_y}{\gamma_{M1}} = 9942 \text{ kN}$$

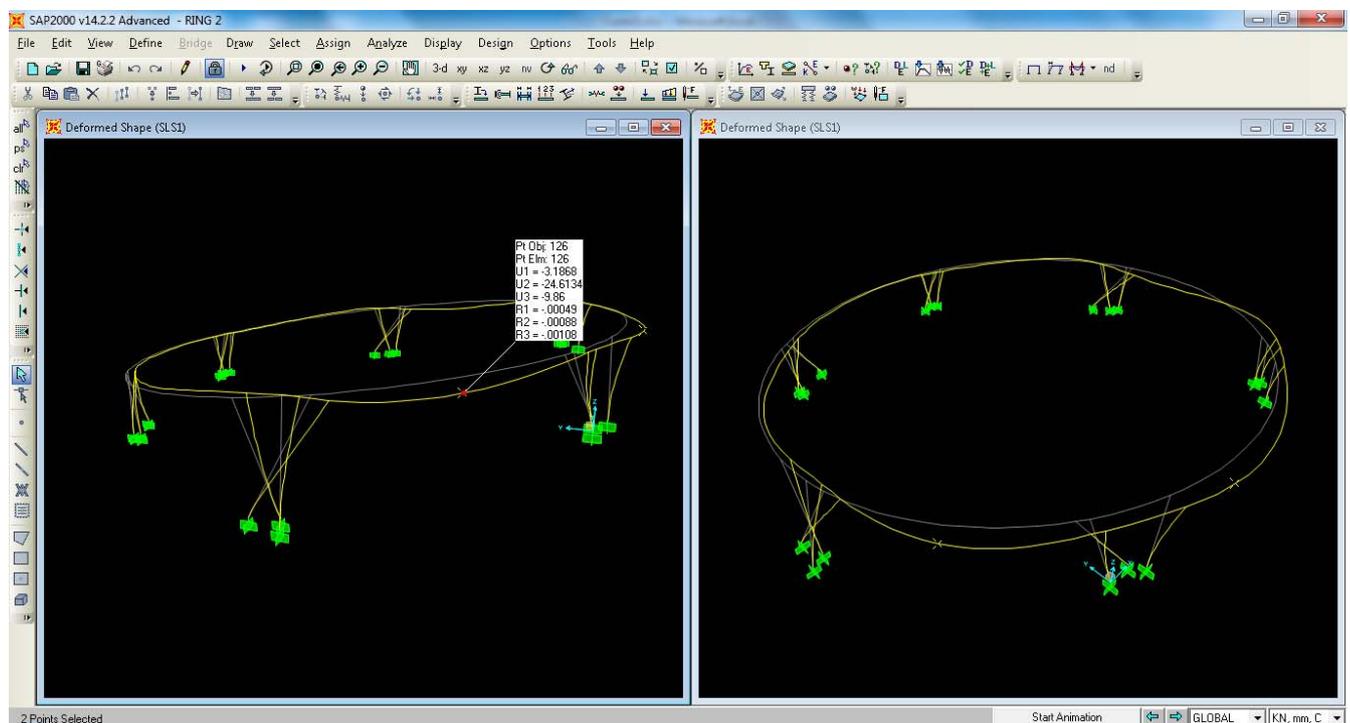
Si riporta la verifica della combinazione più gravosa (FRAME 18):

$$\frac{831,35 \cdot 1,10}{1,063 \cdot 355 \cdot 10^3 \cdot 0,0443} + \frac{401,85 \cdot 1,10}{355 \cdot 10^3 \cdot 4,91 \cdot 10^{-3} \cdot \left(1 - \frac{831,35}{9942}\right)} + \frac{189,49 \cdot 1,10}{355 \cdot 10^3 \cdot 4,91 \cdot 10^{-3} \cdot \left(1 - \frac{831,35}{9942}\right)} = 0,601$$

Le verifiche risultano soddisfatte.

7.5.2 Verifica agli S.L.S. per deformabilità

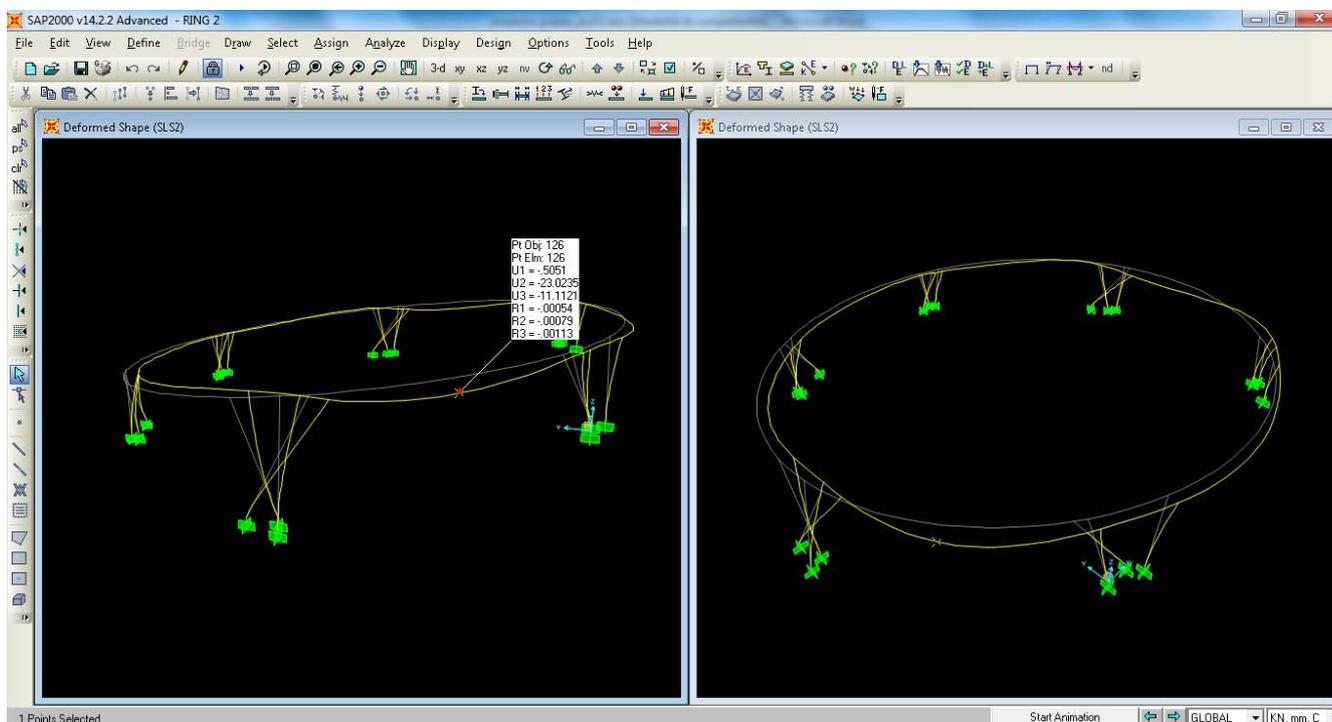
Si riportano nel seguito, in forma grafica, le massime deformazioni ottenute nelle due combinazioni analizzate (vedi §7.4.3).



Nella combinazione SLS1 si ottengono quindi i seguenti valori massimi di spostamento:

- spostamento verticale 9 mm
- spostamento orizzontale 25 mm

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011



Nella combinazione SLS2 si ottengono quindi i seguenti valori massimi di spostamento:

- spostamento verticale 11 mm
- spostamento orizzontale 23 mm

INFLESSIONE NEL PIANO VERTICALE

In accordo con le normative vigenti (vedi §4.2.4.2.1 del DM 14.1.2008) il massimo valore di inflessione verticale non deve eccedere il valore $L/200$.

Dai valori riportati nelle immagini precedenti si evince che la massima deformazione nel piano verticale è pari a 11 mm, pari a $1/2600$ (luce libera pari a 29 m), da cui risulta soddisfatta la verifica.

INFLESSIONE NEL PIANO ORIZZONTALE

In accordo con le normative vigenti (vedi §4.2.4.2.2 del DM 14.1.2008) il massimo valore di inflessione laterale non deve eccedere il valore $L/300$.

Dai valori riportati nelle immagini precedenti si evince che la massima deformazione nel piano laterale è pari a 25 mm, pari a $1/1160$ (luce libera pari a 29 m), da cui risulta soddisfatta la verifica.

7.6 SCARICHI DEL "RING" SULLA PIAZZA

Si riportano gli scarichi del ring sulla piazza in forma tabellare.

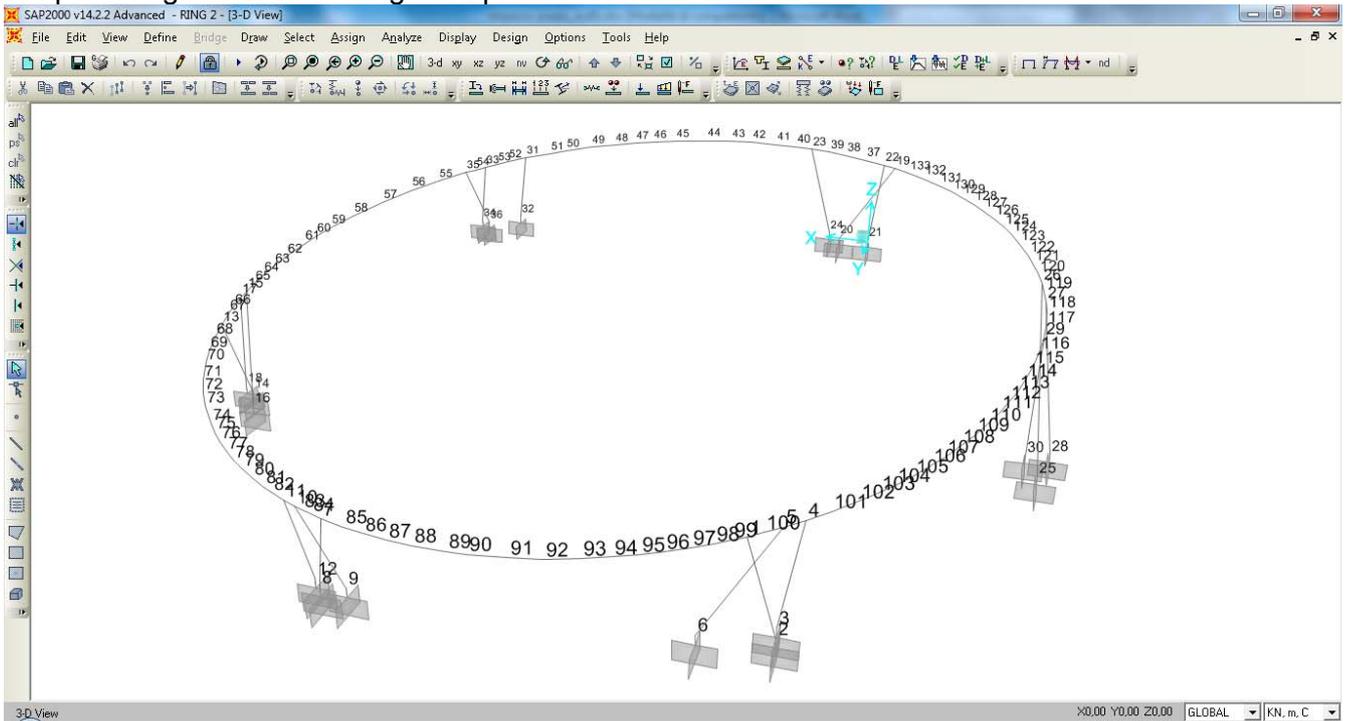


TABLE: Joint Reactions

Joint	OutputCase	CaseType	F1	F2	F3	M1	M2	M3
Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
2	DEAD	LinStatic	15,228	8,438	82,648	26,3205	-1,1596	-5,8234
2	VENTO	LinStatic	26,615	42,059	137,709	-158,1934	-41,9362	43,3824
2	TERM+	LinStatic	4,747	-5,518	10,535	62,7724	20,0302	-17,7954
2	TERM-	LinStatic	-4,747	5,518	-10,535	-62,7724	-20,0302	17,7954
2	PERMANENTI	Combination	0,347	0,199	1,448	0,4221	0,1301	-0,1189
3	DEAD	LinStatic	-8,448	0,267	76,909	22,1262	12,3342	3,0133
3	VENTO	LinStatic	-15,645	21,143	58,558	-167,953	-56,3418	-24,5307
3	TERM+	LinStatic	-3,87	-3,602	40,597	48,978	24,1424	6,8108
3	TERM-	LinStatic	3,87	3,602	-40,597	-48,978	-24,1424	-6,8108
3	PERMANENTI	Combination	-0,206	0,016	1,356	0,4036	0,1081	0,0602
6	DEAD	LinStatic	-15,729	-4,951	49,862	8,961	29,0133	8,9373
6	VENTO	LinStatic	137,991	41,873	-238,788	-109,1739	-40,1524	-70,1306
6	TERM+	LinStatic	29,928	1,865	-46,835	34,7598	17,459	22,9071

PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO

Codice documento

PG0095_F0.doc

Rev

F0

Data

20/06/2011

6	TERM-	LinStatic	-29,928	-1,865	46,835	-34,7598	-17,459	-22,9071
6	PERMANENTI	Combination	-0,321	-0,1	0,556	0,2785	0,0942	0,1779
8	DEAD	LinStatic	-12,98	6,635	77,777	8,6449	3,0739	1,3869
8	VENTO	LinStatic	-38,068	40,145	173,981	-124,4082	-17,5509	-23,1712
8	TERM+	LinStatic	0,013	-11,303	0,585	73,69	0,8577	14,873
8	TERM-	LinStatic	-0,013	11,303	-0,585	-73,69	-0,8577	-14,873
8	PERMANENTI	Combination	-0,321	0,166	1,57	0,1495	-0,0137	0,032
9	DEAD	LinStatic	-3,829	-1,322	7,748	7,0612	-9,9414	-2,9385
9	VENTO	LinStatic	-74,536	10,277	-152,913	-113,8599	-3,4222	55,2704
9	TERM+	LinStatic	-30,98	-10,412	-59,862	48,5792	-12,9619	-22,8867
9	TERM-	LinStatic	30,98	10,412	59,862	-48,5792	12,9619	22,8867
9	PERMANENTI	Combination	-0,147	-0,036	-0,307	0,1359	0,0114	-0,0663
12	DEAD	LinStatic	20,795	1,666	98,733	8,3293	-4,3695	-1,9034
12	VENTO	LinStatic	-9,217	22,502	-35,518	-152,965	-3,023	37,7805
12	TERM+	LinStatic	14,041	-6,999	69,114	60,2882	-19,2494	-14,197
12	TERM-	LinStatic	-14,041	6,999	-69,114	-60,2882	19,2494	14,197
12	PERMANENTI	Combination	0,54	0,048	2,175	0,1688	0,0289	-0,0426
14	DEAD	LinStatic	-1,235	17,593	66,085	13,9681	-6,1402	2,4761
14	VENTO	LinStatic	5,179	110,028	250,576	-121,4632	63,6501	-25,4383
14	TERM+	LinStatic	-2,63	-19,406	-44,107	21,7023	-25,5137	9,9312
14	TERM-	LinStatic	2,63	19,406	44,107	-21,7023	25,5137	-9,9312
14	PERMANENTI	Combination	-0,033	0,435	1,154	0,0422	-0,1834	0,0703
16	DEAD	LinStatic	8,856	-17,497	52,134	-25,3153	-22,5855	-5,2212
16	VENTO	LinStatic	-99,501	202,348	-311,838	-83,8027	77,2289	76,8526
16	TERM+	LinStatic	-20,686	35,479	-57,934	3,6527	-5,6659	-4,7741
16	TERM-	LinStatic	20,686	-35,479	57,934	-3,6527	5,6659	4,7741
16	PERMANENTI	Combination	0,23	-0,456	0,727	0,0532	-0,1988	-0,1415
18	DEAD	LinStatic	-2,619	-9,134	110,208	1,107	-11,4108	-1,0712
18	VENTO	LinStatic	15,313	11,945	35,687	-137,1848	141,4363	11,5251
18	TERM+	LinStatic	-2,797	-10,392	98,601	8,9408	-12,5006	-1,0638
18	TERM-	LinStatic	2,797	10,392	-98,601	-8,9408	12,5006	1,0638
18	PERMANENTI	Combination	-0,064	-0,201	1,973	0,1204	-0,3249	-0,0292
20	DEAD	LinStatic	-15,683	9,517	52,57	29,9635	33,9304	4,5575
20	VENTO	LinStatic	-123,11	94,437	206,599	-126,3387	1,9826	-76,1896
20	TERM+	LinStatic	14,321	-7,821	-24,036	-15,4048	-0,2476	-9,0978
20	TERM-	LinStatic	-14,321	7,821	24,036	15,4048	0,2476	9,0978
20	PERMANENTI	Combination	-0,428	0,265	0,741	0,2477	0,1322	0,0959
21	DEAD	LinStatic	-6,405	12,623	72,105	33,1052	6,5443	2,3681
21	VENTO	LinStatic	4,747	15,317	-16,214	-191,9932	25,2651	-32,3426

PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO

Codice documento

PG0095_F0.doc

Rev

F0

Data

20/06/2011

21	TERM+	LinStatic	-3,639	11,488	29,695	-26,2488	2,0346	-4,0039
21	TERM-	LinStatic	3,639	-11,488	-29,695	26,2488	-2,0346	4,0039
21	PERMANENTI	Combination	-0,1	0,189	0,809	0,4701	0,0432	0,0483
24	DEAD	LinStatic	24,412	-0,355	116,444	36,5636	-18,4278	-9,0754
24	VENTO	LinStatic	-19,848	14,217	-86,104	-165,984	29,2214	43,0855
24	TERM+	LinStatic	-1,7	4,616	-8,376	-47,3408	5,0669	12,4018
24	TERM-	LinStatic	1,7	-4,616	8,376	47,3408	-5,0669	-12,4018
24	PERMANENTI	Combination	0,64	-0,0021	2,47	0,8463	-0,1607	-0,2193
25	DEAD	LinStatic	11,475	-57,992	153,275	-51,5438	-9,5352	0,3079
25	VENTO	LinStatic	-64,861	321,264	-645,326	-52,2034	-32,5224	-10,9438
25	TERM+	LinStatic	-3,4	20,129	-41,159	1,9228	8,6305	4,0619
25	TERM-	LinStatic	3,4	-20,129	41,159	-1,9228	-8,6305	-4,0619
25	PERMANENTI	Combination	0,261	-1,307	2,658	-0,0269	0,0468	0,0256
28	DEAD	LinStatic	-2,267	-0,155	18,278	0,8186	-17,5072	0,131
28	VENTO	LinStatic	71,818	11,16	478,683	-57,5604	-42,877	9,6355
28	TERM+	LinStatic	12,709	0,87	75,064	3,4038	13,7048	-0,7351
28	TERM-	LinStatic	-12,709	-0,87	-75,064	-3,4038	-13,7048	0,7351
28	PERMANENTI	Combination	-0,107	-0,008626	-0,669	-0,0181	-0,0262	0,0032
30	DEAD	LinStatic	1,913	34,825	118,554	32,1773	-10,6489	3,3015
30	VENTO	LinStatic	1,18	42,469	95,484	-59,8846	-21,0883	10,1193
30	TERM+	LinStatic	0,123	-16,034	-39,097	6,5051	16,6912	-6,8246
30	TERM-	LinStatic	-0,123	16,034	39,097	-6,5051	-16,6912	6,8246
30	PERMANENTI	Combination	0,048	0,804	2,017	-0,0284	-0,1412	0,057
32	DEAD	LinStatic	-11,889	-3,132	95,129	22,3812	-6,3568	2,9839
32	VENTO	LinStatic	-11,762	27,229	106,817	-196,1529	17,9004	-26,1617
32	TERM+	LinStatic	-0,474	7,197	-1,238	-51,7897	-4,5979	-6,9098
32	TERM-	LinStatic	0,474	-7,197	1,238	51,7897	4,5979	6,9098
32	PERMANENTI	Combination	-0,327	-0,087	2,176	0,6224	-0,262	0,083
34	DEAD	LinStatic	-8,193	-1,116	66,628	24,1154	-7,3866	3,432
34	VENTO	LinStatic	60,72	21,667	-526,839	-302,2306	-43,917	-36,6393
34	TERM+	LinStatic	-1,856	6,398	4,282	-40,4895	-8,5451	-4,7843
34	TERM-	LinStatic	1,856	-6,398	-4,282	40,4895	8,5451	4,7843
34	PERMANENTI	Combination	-0,186	-0,041	1,091	0,6025	-0,3016	0,0912
36	DEAD	LinStatic	6,597	4,091	43,1	22,9345	-17,9378	-2,4797
36	VENTO	LinStatic	132,983	165,69	469,446	-311,7712	-52,5214	106,8549
36	TERM+	LinStatic	-3,849	3,445	-5,829	-30,5555	-13,0986	12,4349
36	TERM-	LinStatic	3,849	-3,445	5,829	30,5555	13,0986	-12,4349
36	PERMANENTI	Combination	0,175	0,119	0,781	0,4638	-0,3751	-0,0471

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<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						

8 ANALISI STRUTTURALE DELLA PIAZZA

8.1 ANALISI DEI CARICHI

Nel seguente paragrafo si descrivono i carichi elementari da assumere per le verifiche dagli SLS, SLU ed in presenza dell'evento sismico.

Per i materiali si assumono i seguenti pesi specifici:

- calcestruzzo: 25 kN/m³
- terreno di rilevato: 19 kN/m³
- terreno nelle aiuole: 20 kN/m³

8.1.1 Carichi permanenti strutturali (g₁)

Solaio della piazza sp. 150 cm	=	1,50 x 25	=	37,50 kN/m ²
Solaio dello sbalzo sp. 100 cm "alleggerito"	=	0,64 x 25	=	16,00 kN/m ²
Muro di contenimento sp. 100 cm	=	1,00 x 25	=	25,00 kN/m ²
Pilastri 30x160	=	0,48 x 25	=	12,00 kN/m

8.1.2 Carichi permanenti portati (g₃)

Pavimentazione in pietra sp.4 cm	=	0,04 x 27	=	1,08 kN/m ²
Allettamento sp.2,5 cm	=	0,025 x 17	=	0,425 kN/m ²
Massetto sp.13,5 cm	=	0,135 x 25	=	3,375 kN/m ²
Soletta in c.c.a. sp. 7,5 cm	=	0,075 x 25	=	1,875 kN/m ²
Elementi di alleggerimento	=		=	0,10 kN/m ²
Totale carichi permanenti portati				≈ 7,00 kN/m²

Nelle zone in corrispondenza delle aiuole si considera assente la pavimentazione, e si considera (a favore di sicurezza) un riempimento in terra a tutta altezza. Considerando che le aiuole sono alte 45 cm sopra la pavimentazione, risulta un'altezza di ricoprimento sulla piazza di 95 cm, da cui:

Terreno interno alle aiuole	=	0,95 x 20	=	19 kN/m ²
-----------------------------	---	-----------	---	----------------------

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

8.1.3 Carichi dovuti alla spinte delle terre (g₃)

Il rinterro a ridosso del muro verrà realizzato tramite materiale arido di buone caratteristiche meccaniche. Per tale materiale si assumono i seguenti parametri:

- peso specifico $\gamma_t = 19 \text{ kN/m}^3$
- angolo di attrito $\phi = 35^\circ$

da cui risulta un coefficiente di spinta attiva $\lambda_a = 0,271$ ed un coefficiente di spinta a riposo $\lambda_o = 0,426$.

Per le verifiche in condizione GEO e SIS, si riducono i parametri geotecnici secondo i coefficienti γ_m , ottenendo quindi:

- peso specifico $\gamma_t = 19 \text{ kN/m}^3$
- angolo di attrito $\phi = 29,26^\circ$

da cui risulta un coefficiente di spinta attiva $\lambda_a = 0,343$ ed un coefficiente di spinta a riposo $\lambda_o = 0,511$.

Essendo la struttura rigida, capace quindi di subire spostamenti di tipo roto-traslazionale limitati, a favore di sicurezza viene considerata la spinta della terra in condizione di spinta a riposo sia in fase statica che in fase sismica.

Si applicano, di conseguenza, i valori delle spinte secondo la profondità con $p_h = \lambda_o \gamma_t z$ e con il consueto diagramma triangolari delle pressioni orizzontali.

Caratteristiche del sistema muro-terreno:

peso per unità di volume terreno	$\gamma_{\text{terreno}} =$	19	kN/m^3
angolo di attrito interno del terreno	$\phi' =$	35	$^\circ$
inclinazione del paramento	$\psi =$	90	$^\circ$
angolo di attrito terreno-paramento	$\delta =$	0	$^\circ$
angolo di inclinazione del terrapieno	$\beta =$	0	$^\circ$
coefficiente di spinta a riposo	$K_0 =$	0,426	
altezza del paramento + fondazione	$h_{\text{paramento}} =$	7,00	m

Calcolo delle spinte sul paramento e loro quota di applicazione:

$F_{X_{sp,terr}} = 1/2 * \gamma_{\text{terreno}} * h_{\text{paramento}}^2 * K_0 =$	198,303	kN/m
applicata a $z_F = h_{\text{paramento}} / 3 =$	2,33	m

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Per le verifiche in condizione GEO e SIS, le spinte sono le seguenti:

Caratteristiche del sistema muro-terreno:

peso per unità di volume terreno	$\gamma_{\text{terreno}} =$	19	kN/m ³
angolo di attrito interno del terreno	$\phi' =$	29,26	°
inclinazione del paramento	$\psi =$	90	°
angolo di attrito terreno-paramento	$\delta =$	0	°
angolo di inclinazione del terrapieno	$\beta =$	0	°
coefficiente di spinta a riposo	$K_0 =$	0,511	
altezza del paramento + fondazione	$h_{\text{paramento}} =$	7,00	m

Calcolo delle spinte sul paramento e loro quota di applicazione:

$F_{x_{\text{sp.terr}}} = 1/2 * \gamma_{\text{terreno}} * h^2_{\text{paramento}} * K_0 =$	237,870	kN
applicata a $z_F = h_{\text{paramento}} / 3 =$	2,33	m

8.1.4 Distorsioni e/o presollecitazioni (ϵ_1)

Essendo la struttura priva di ogni tipo di presollecitazione, tale contributo non è presente su tale opera.

8.1.5 Variazione termica uniforme (ϵ_3)

Essendo la struttura a contatto col terreno, e non direttamente esposta all'irraggiamento solare (il pavimento alleggerito funge anche da coibente per le strutture), tale tipo di sollecitazione risulta trascurabile.

8.1.6 Azione sismica (q_6)

Come ampiamente descritto al paragrafo 7.1.6, anche per la struttura della piazza vengono condotte due analisi:

- un'analisi spettrale nelle 3 coordinate principali X, Y e Z;
- un'analisi dinamica lineare, mediante l'utilizzo di accelerogrammi registrati, per confermare quando analizzato nelle analisi spettrali.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Gli input di calcolo sono i medesimi già descritti al paragrafo 7.1.6, a cui si rimanda per maggiori dettagli.

Oltre alle azioni inerziali prodotte dall'eccitazione dinamica del sisma, deve essere preso in conto anche l'incremento di spinta delle terre.

L'applicazione delle azioni sismiche dovute all'incremento di spinta del terreno viene affrontato mediante il metodo pseudostatico ([NT_1] § 7.11.6).

L'analisi sismica è stata fatta considerando il valore di ancoraggio dello spettro.

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

$$k_h = \beta_m \cdot \frac{a_{\max}}{g} = 0,433 \qquad k_v = \pm 0.5 \cdot k_h = 0,216$$

dove

a_{\max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g = accelerazione di gravità;

β = parametro riduttivo dell'azione sismica in accordo con il §7.11.6.2.1

A favore di sicurezza si assume che la struttura non ammetta spostamenti relativi rispetto al terreno, pertanto il coefficiente β_m , assume il valore 1.

Le spinte delle terre, considerando lo scatolare una struttura rigida e priva di spostamenti (NT § 7.11.6.2.1 e EC8-5 § .7.3.2.1), sono calcolate in regime di spinta a riposo che comporta il calcolo delle spinte sismiche in tali condizioni; l'incremento dinamico di spinta del terreno può essere calcolato come:

$$\Delta P_d = S \cdot a_g / g \cdot \gamma \cdot h_{\text{tot}}^2 = 0,433 \cdot 19 \cdot 7^2 = 403,12 \text{ kN/m}$$

Il punto di applicazione della spinta è posto $h_{\text{tot}}/2$, con " h_{tot} " altezza dal piano fondazione a intradosso piazza.

8.1.7 Azione variabile "folla" (q_9)

In accordo con la normativa vigente (vedi § 3.1.4 D.M. 14-01-2008), come indicato nella tabella 3.1.II, viene considerato un carico accidentale tipo C3: "*ambienti suscettibili di affollamento privi di ostacoli per il libero movimento delle persone*".

Il carico ad esso associato è pari a $q_{\text{folla}} = 5 \text{ kN/mq}$.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

8.1.8 Azione variabile “mezzo di lavoro” (q_0)

Oltre ai carichi precedentemente analizzati è stata presa in considerazione anche la possibilità che un mezzo di lavoro possa essere collocato sulla piazza durante la fase di costruzione e/o manutenzione della piazza.

In questa fase progettuale è stato assunto, in via cautelativa, un mezzo ideale pesante assunto pari al carico Q_{ik} di normativa vigente (vedi § 5.1.3.3 D.M. 14 -01-2008), ovvero lo schema di carico 1 (LM1), costituito da 4 carichi concentrati da 150 kN ciascuno, applicati su impronte di pneumatico di forma quadrata e lato 0,40 m.

Un'analisi più dettagliata, riferito ai mezzi effettivamente transitabili sulla piazza, si rimanda a una fase successiva della progettazione.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

8.2 MODELLO DI CALCOLO

8.2.1 PROGRAMMA DI CALCOLO UTILIZZATO

Vedi paragrafo 7.2.1.

8.2.2 DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO

Tutta la piazza è realizzata mediante calcestruzzo armato gettato in opera.

Lo schema statico adottato è quello di una struttura iperstatica, vincolata a terra mediante incastri.

Più in dettaglio, si sono modellati tutte le parti strutturali mediante elementi “shell”, associate alle rispettive rigidezze, ad esclusione dei pilastri di sostegno dello sbalzo della piastra, modellati mediante elementi “beam”.

L’analisi strutturale è condotta su un modello spaziale, sottoposto al peso proprio, ai sovraccarichi permanenti e alle azioni accidentali definite in precedenza.

L’interazione col terreno al di sotto della piazza di fondazione, è stato modellato 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 rigidezza degli elementi “link” “molle” è stata definita in funzione della deformabilità del terreno, della geometria della fondazione e della deformabilità della fondazione.

In particolare si definisce la rigidezza dell’elemento “link”, ricorrendo al metodo di Vesić (vedi riferimento bibliografico [B24]), il quale definisce in primo luogo il modulo di reazione del terreno come:

$$k_s = 0,65 \cdot \sqrt[12]{\frac{E_s \cdot B^4}{E_F \cdot I_F}} \cdot \frac{E_s}{1 - \mu^2} \quad \text{kN/m}^2$$

indicando con:

E_s, E_F = moduli elastici di deformazione rispettivamente del terreno e della fondazione [kN/m²]

I_F = momento d’inerzia della fondazione (riferito alla sezione retta) [m⁴]

μ = coefficiente di Poisson

B = dimensione trasversale della fondazione [m]

Essendo terreno da rilevato, il modulo di deformazione è pari a $E_s = 15000 \text{ kN/m}^2$. Il terreno al di

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </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						

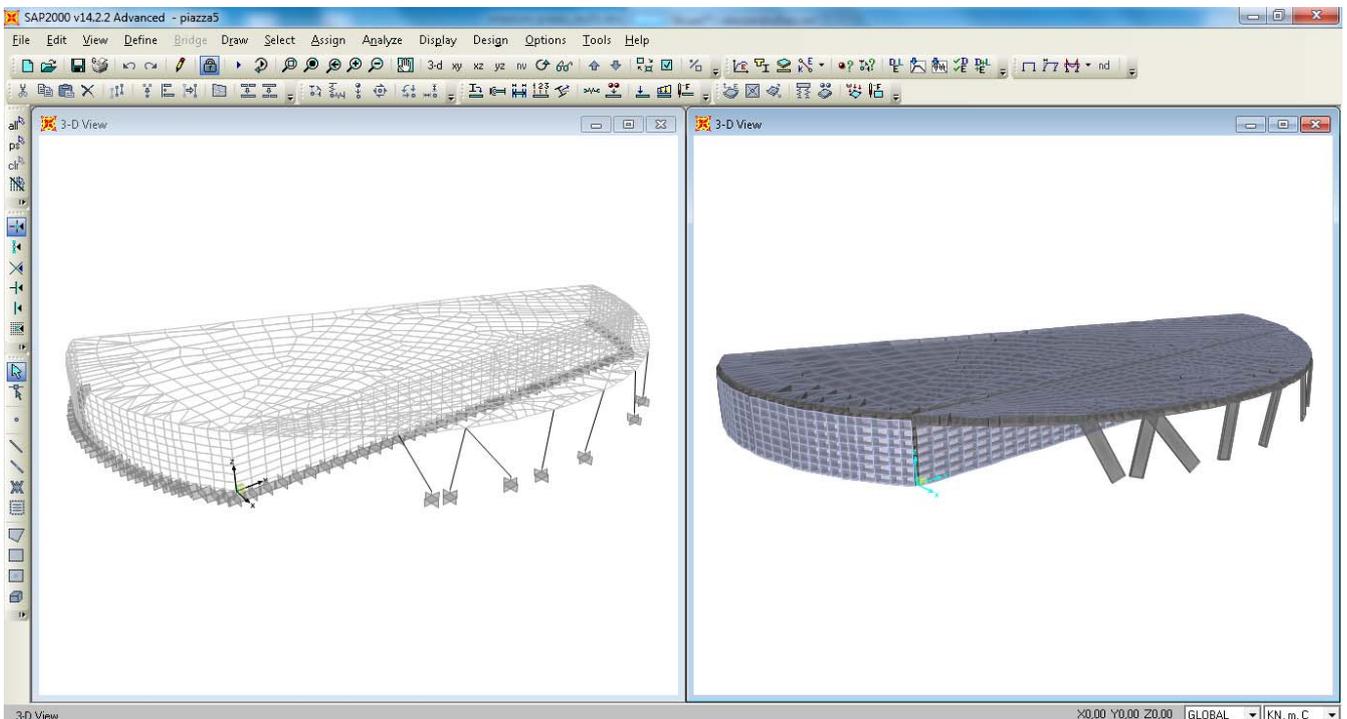
sotto della fondazione rimane così definito:

$\mu =$	0,3	
$E_S =$	15000	kN/mq
$E_F =$	35013000	kN/mq
$B =$	1,00	m
$I_F =$	0,28125	m ⁴
$k_s =$	6.240,15	kN/mq

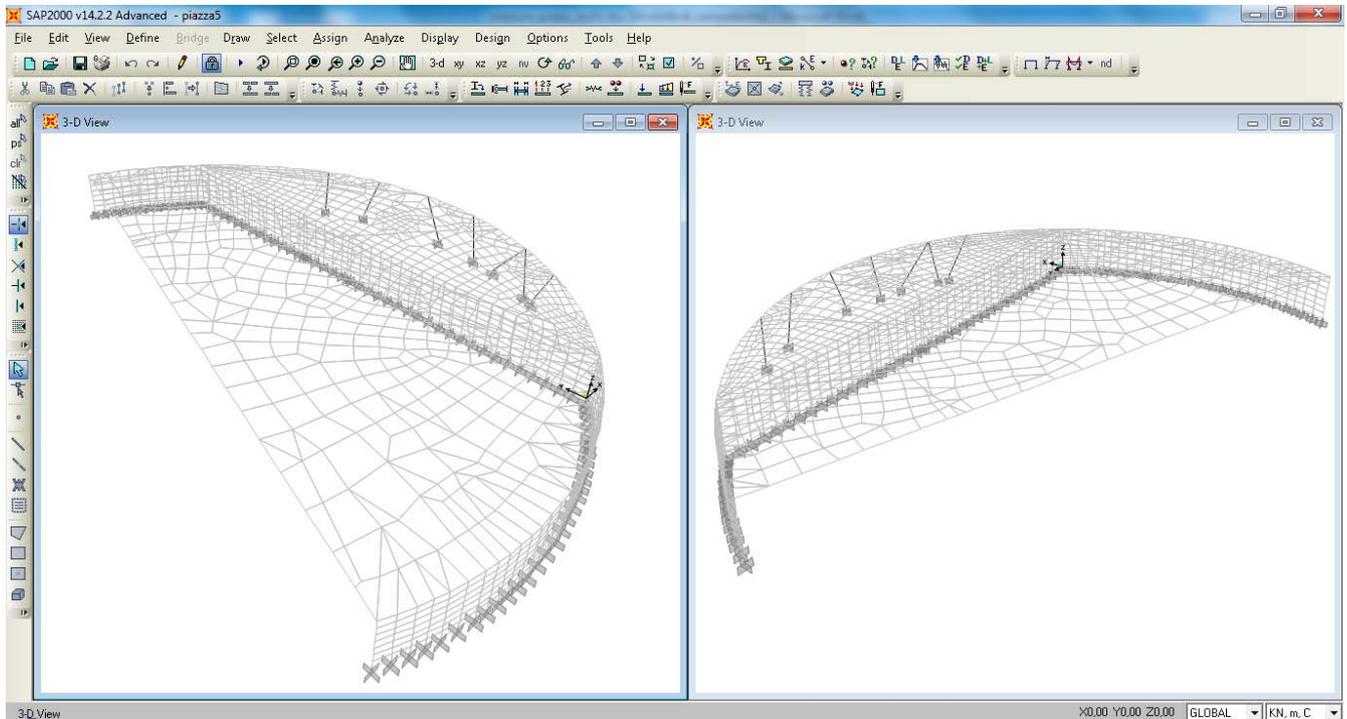
Il valore implementato nel modello di calcolo è quindi pari a 6,24 MPa.

A favore di sicurezza viene invece trascurato il contributo resistente del terreno nelle pareti verticali del modello.

Le analisi, di tipo elastico non lineare, sono eseguite per le situazioni di esercizio della struttura. Riporto di seguito in forma grafica il modello di calcolo implementato.

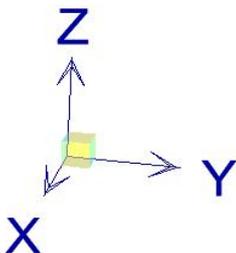


		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td style="text-align: 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						



8.2.3 SISTEMA DI RIFERIMENTO E CONVENZIONE DEI SEGNI

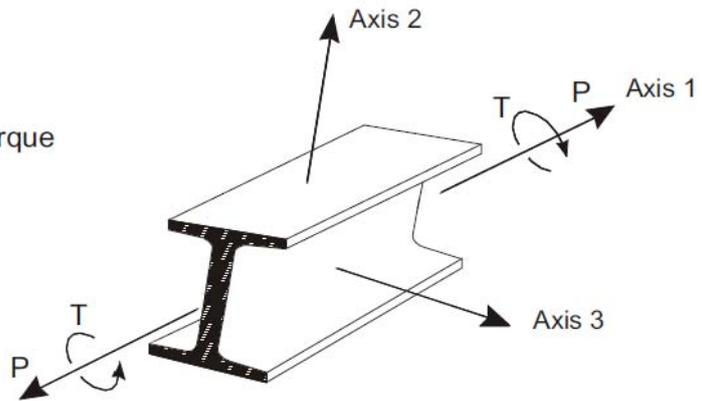
Il sistema di riferimento viene assunto con origine sullo spigolo sinistro del muro di sostegno della piazza, a quota estradosso fondazione. La disposizione degli assi segue la “regola della mano destra”:



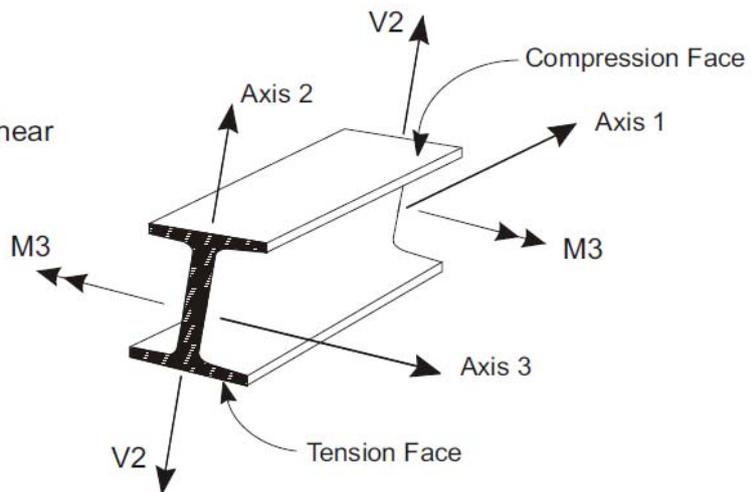
- l’asse X è diretto ortogonale al muro di sostegno, positivo verso il mare;
- l’asse Y è diretto parallelamente al muro di sostegno, positivo verso sinistra;
- l’asse Z è diretto verso l’alto, positivo verso l’alto.

Si definiscono positive le azioni e sollecitazioni secondo la convenzione riportata nelle figure successive.

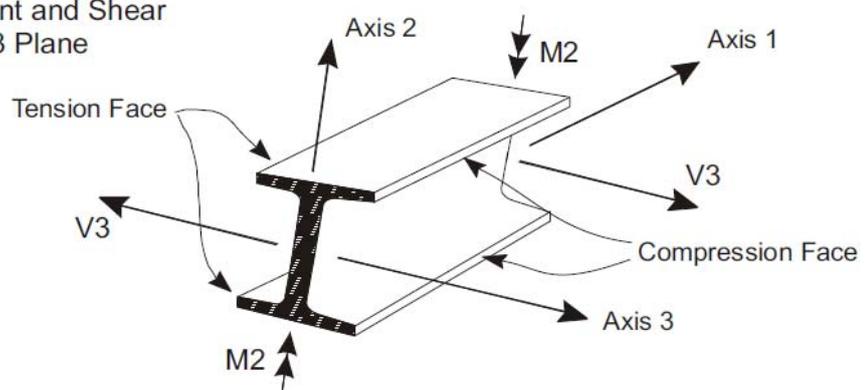
Positive Axial Force and Torque



Positive Moment and Shear
in the 1-2 Plane

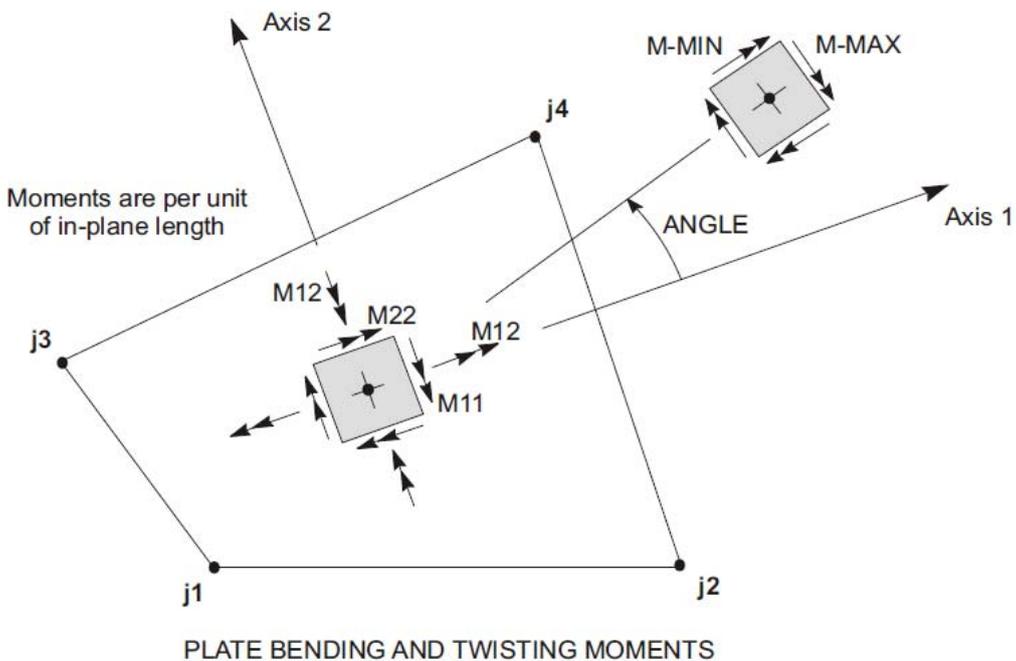
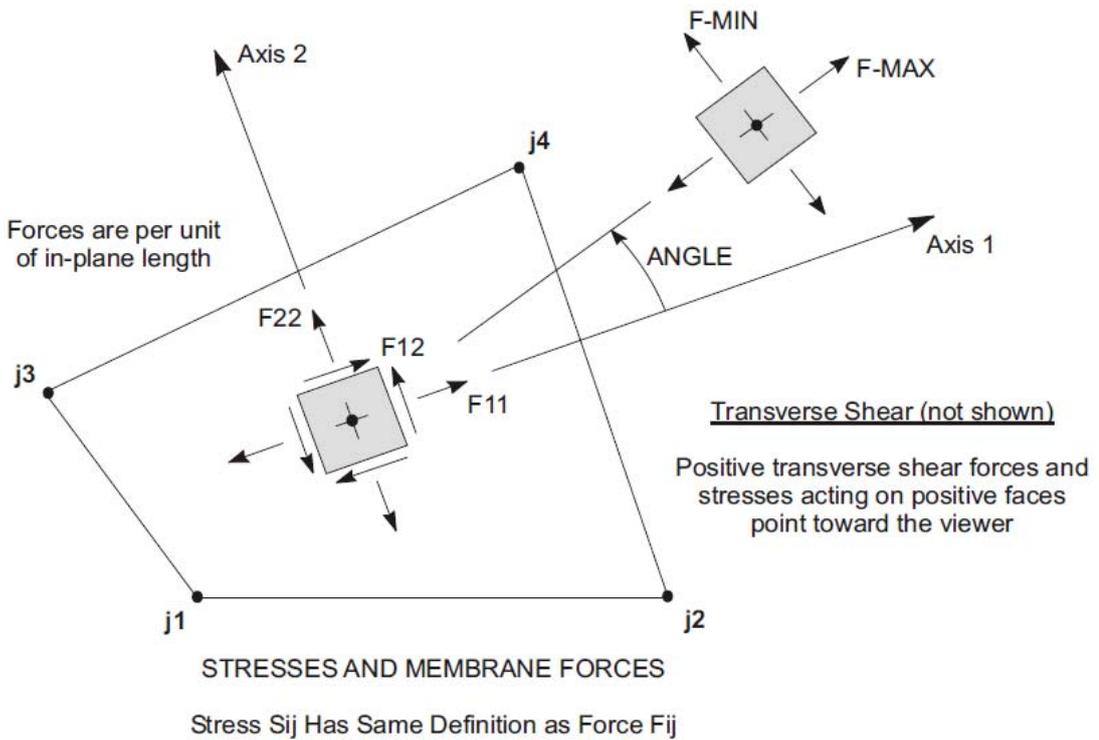


Positive Moment and Shear
in the 1-3 Plane



F7. Azioni e Sollecitazioni positive negli elementi tipo "line"

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO	Codice documento PG0095_F0.doc	Rev F0	Data 20/06/2011



F8. Azioni e Sollecitazioni positive negli elementi tipo "Area"

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0

8.3 ANALISI MODALE DELLA STRUTTURA DELLA PIAZZA

Si riportano nel seguito le risultanze dell'analisi modale effettuata.

MODAL RITZ VECTOR							
TABLE: Modal Participating Mass Ratios							
StepNum	Period	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ
Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
1	0,174896	0,32171	0,02507	0,0494	0,10795	0,21711	0,34977
2	0,167412	0,03357	0,00485	0,33251	0,11721	0,47617	0,041
3	0,163125	0,15556	0,00605	0,03437	0,19071	0,01908	0,14645
4	0,153603	0,15631	0,01187	0,05783	0,02147	0,02527	0,17093
5	0,150405	0,01959	0,00273	0,00074	0,00388	0,01419	0,02328
6	0,136952	0,01028	0,00441	0,09213	0,03856	0,00000295	0,01888
7	0,12801	0,01295	0,00283	0,00646	0,00448	0,02172	0,0035
8	0,114617	0,0129	0,00097	0,01986	0,03615	0,00085	0,00318
9	0,10186	0,00149	0,00127	0,00932	0,00961	0,01301	0,0022
10	0,099566	0,0851	0,49943	0,00063	0,02453	0,01015	0,08381
11	0,092369	0,00374	0,00056	0,00316	0,00543	0,00147	0,00425
12	0,08756	0,00372	0,01655	0,05221	0,02249	0,00049	0,00201
13	0,08078	0,00297	0,00387	0,02049	0,03132	0,00119	0,00009712
14	0,066561	0,0000269	0,22889	0,0021	0,00982	0,00111	0,03421
15	0,060199	0,00174	0,01057	0,04795	0,0212	0,00117	0,0007
16	0,051408	0,07093	0,01876	0,00023	0,00028	0,01514	0,00413
17	0,047713	0,00129	0,03862	0,00271	0,00561	0,00041	0,02117
18	0,028615	0,02254	0,04787	0,0146	0,02531	0,00003341	0,00009037
19	0,027	0,03707	0,03565	0,0084	0,00004189	0,00001951	0,0042
20	0,023938	0,01012	0,00035	0,12083	0,07157	0,01288	0,00044

MODAL EIGEN VALUES							
TABLE: Modal Participating Mass Ratios							
StepNum	Period	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ
Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
1	0,174896	0,32171	0,02507	0,0494	0,10795	0,2171	0,34977
2	0,167412	0,03357	0,00485	0,33248	0,11721	0,476	0,04101
3	0,163125	0,15555	0,00605	0,0344	0,1907	0,019	0,1464
4	0,153618	0,15479	0,01172	0,05753	0,02113	0,0262	0,16949
5	0,150538	0,02111	0,00287	0,00099	0,00425	0,01447	0,02467
6	0,136977	0,01029	0,00442	0,09195	0,03833	0,00000131	0,01899
7	0,128069	0,01271	0,00281	0,00654	0,00436	0,02072	0,00336
8	0,115353	0,01173	0,00081	0,01792	0,03822	0,00125	0,00332

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		Codice documento PG0095_F0.doc	Rev F0	Data 20/06/2011

9	0,110374	0,0013	0,00024	0,00001424	0,00591	0,0019	0,00001876
10	0,103414	0,00065	0,00012	0,01042	0,00251	0,02241	0,00147
11	0,102509	0,00146	0,00653	0,000001247	0,00025	0,0000719	0,00087
12	0,099509	0,08327	0,49444	0,00022	0,0193	0,00884	0,0834
13	0,098434	0,002	0,00179	0,00316	0,00771	0,00152	0,00261
14	0,091509	0,00419	0,00086	0,00451	0,01785	0,00117	0,00039
15	0,087541	0,00318	0,00782	0,04193	0,03541	0,0003	0,00001005
16	0,083469	0,00001391	0,00272	0,01698	0,00654	0,00153	0,00192
17	0,081853	0,00057	0,00329	0,0024	0,0067	0,00349	0,00217
18	0,079279	0,00066	0,01156	0,00146	0,02222	0,00093	0,00155
19	0,07738	0,00002061	0,00004501	4,019E-07	0,00001218	3,196E-08	0,00002296
20	0,072771	0,00003943	0,000002042	1,96E-08	0,000000364	0,000000262	0,00006653

TABLE: Modal Load Participation Ratios				
OutputCase	ItemType	Item	Static	Dynamic
Text	Text	Text	Percent	Percent
RITZ	Acceleration	UX	100	96,3618
RITZ	Acceleration	UY	100	96,1213
RITZ	Acceleration	UZ	100	87,5938
EIGEN	Acceleration	UX	98,7781	81,8811
EIGEN	Acceleration	UY	84,7057	58,8004
EIGEN	Acceleration	UZ	98,0264	67,2304

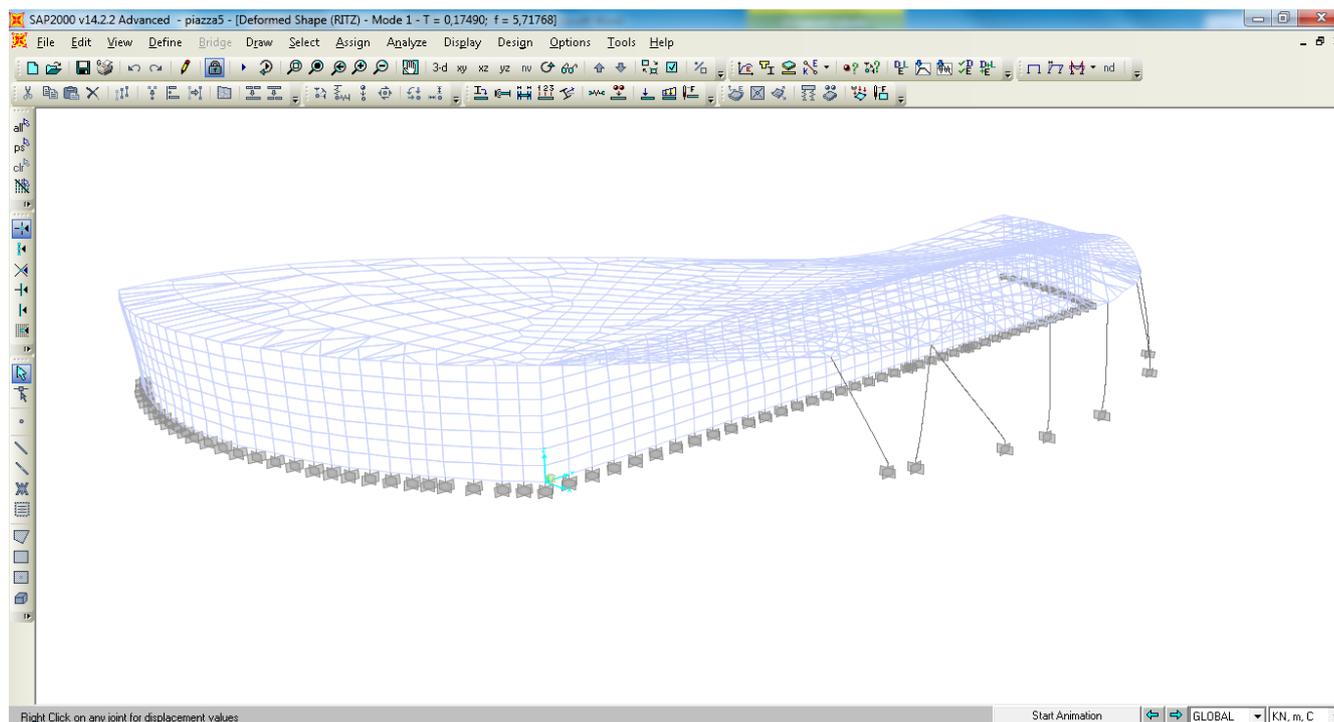
Da quanto riportato si conferma quanto anticipato in precedenza: l'analisi tramite vettori di Ritz è migliore perché mobilità più massa partecipante a parità di modi indagati.

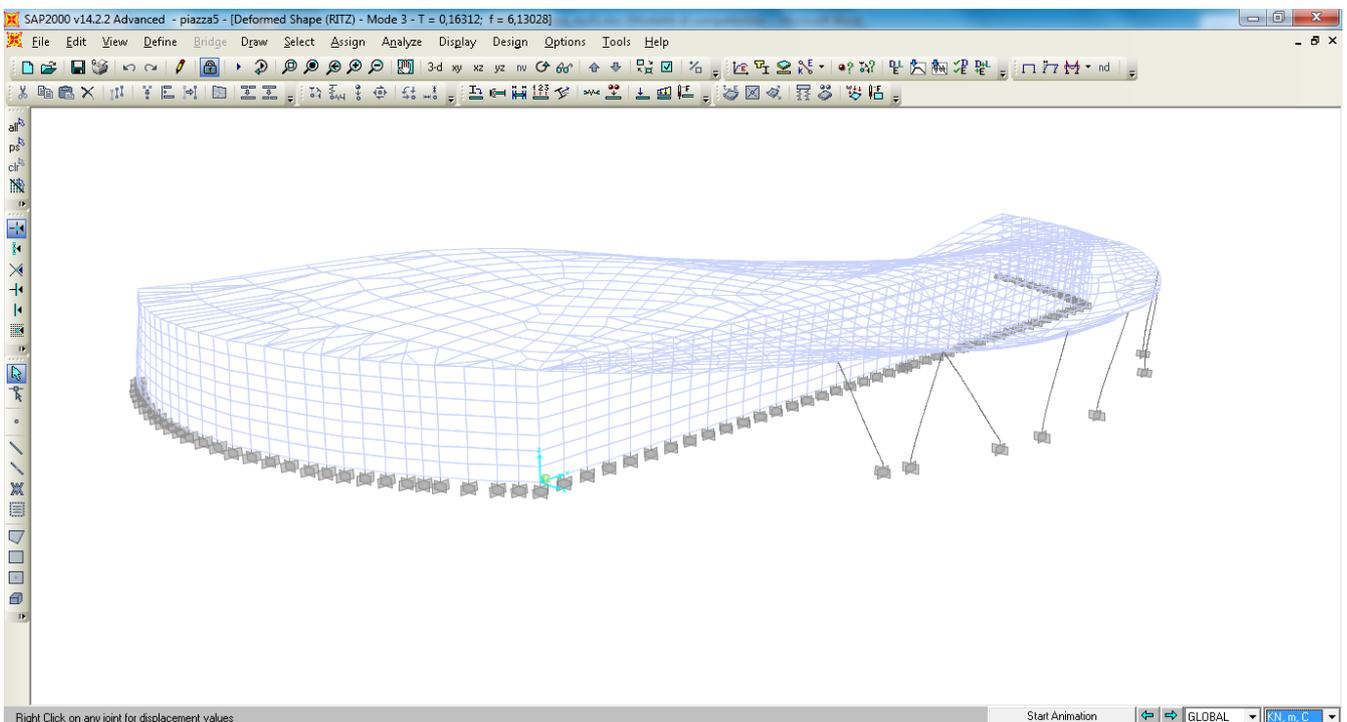
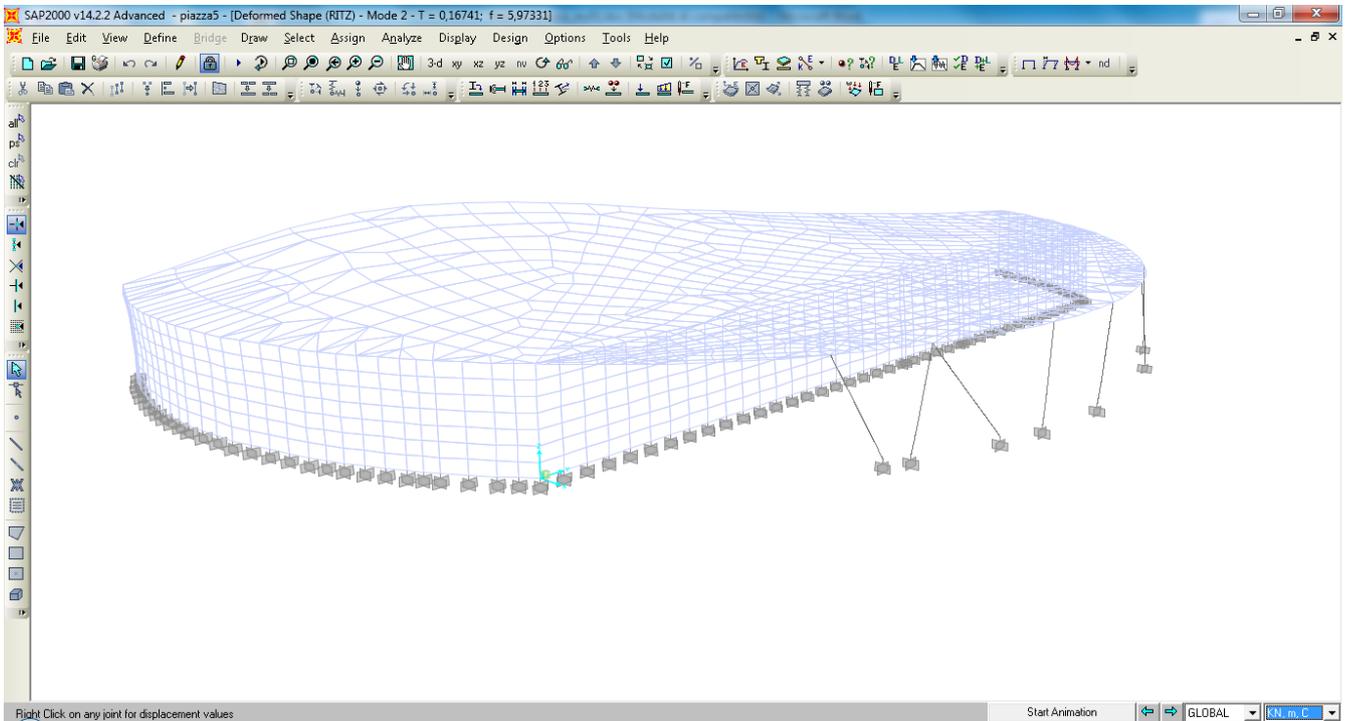
TABLE: Modal Periods And Frequencies						
OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
RITZ	Mode	1	0,174896	5,7177	35,925	1290,6
RITZ	Mode	2	0,167412	5,9733	37,531	1408,6
RITZ	Mode	3	0,163125	6,1303	38,518	1483,6
RITZ	Mode	4	0,153603	6,5103	40,905	1673,3
RITZ	Mode	5	0,150405	6,6487	41,775	1745,2
RITZ	Mode	6	0,136952	7,3018	45,879	2104,9
RITZ	Mode	7	0,12801	7,8119	49,084	2409,2
RITZ	Mode	8	0,114617	8,7247	54,819	3005,1
RITZ	Mode	9	0,10186	9,8174	61,685	3805
RITZ	Mode	10	0,099566	10,044	63,106	3982,3

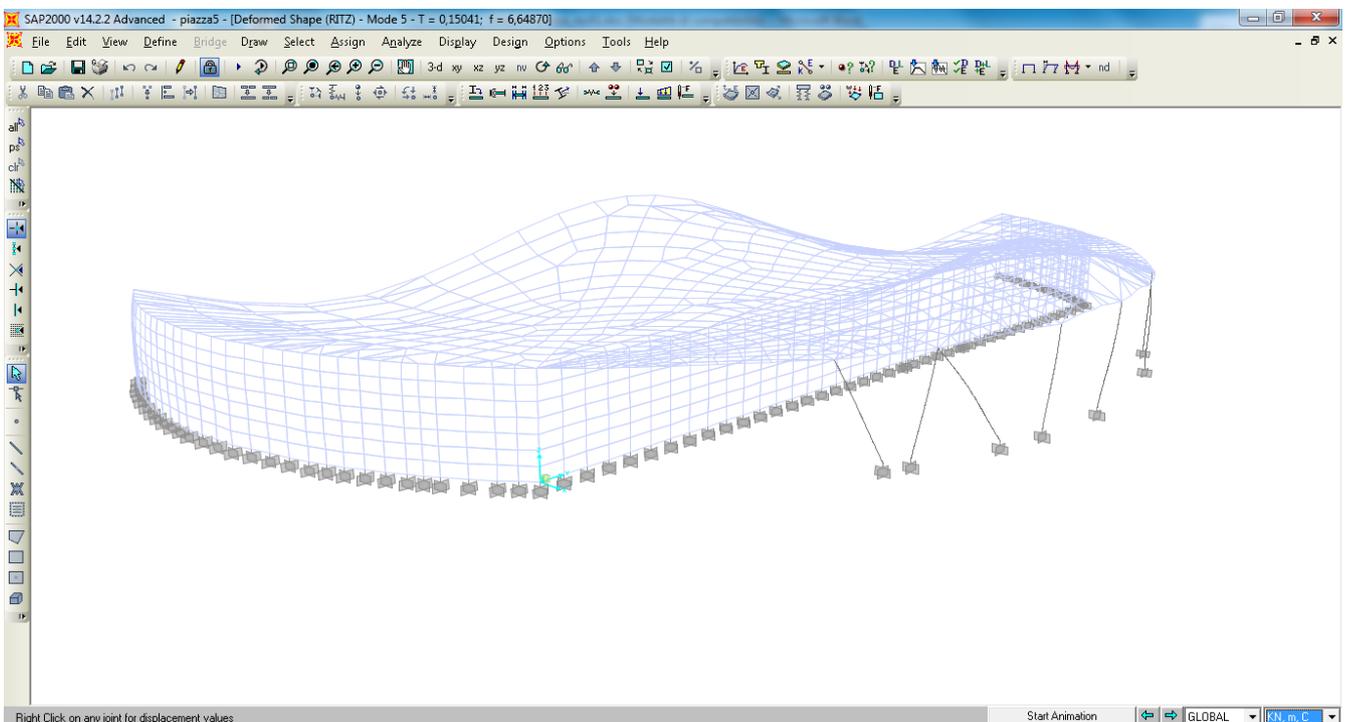
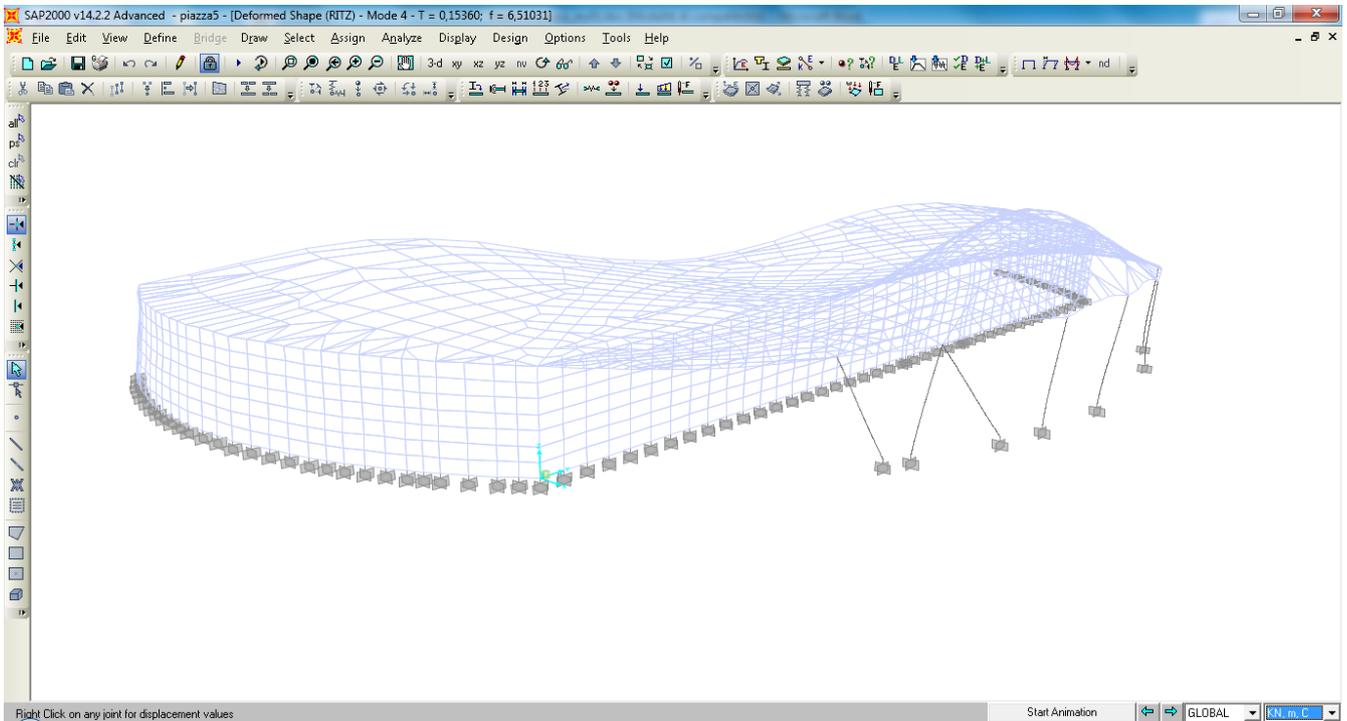
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

RITZ	Mode	11	0,092369	10,826	68,022	4627
RITZ	Mode	12	0,08756	11,421	71,758	5149,3
RITZ	Mode	13	0,08078	12,379	77,781	6049,9
RITZ	Mode	14	0,066561	15,024	94,397	8910,8
RITZ	Mode	15	0,060199	16,612	104,37	10894
RITZ	Mode	16	0,051408	19,452	122,22	14938
RITZ	Mode	17	0,047713	20,959	131,69	17342
RITZ	Mode	18	0,028615	34,947	219,58	48215
RITZ	Mode	19	0,027	37,038	232,71	54156
RITZ	Mode	20	0,023938	41,775	262,48	68895

Riporto nel seguito le immagini relativi ai primi 5 modi di vibrare della struttura.





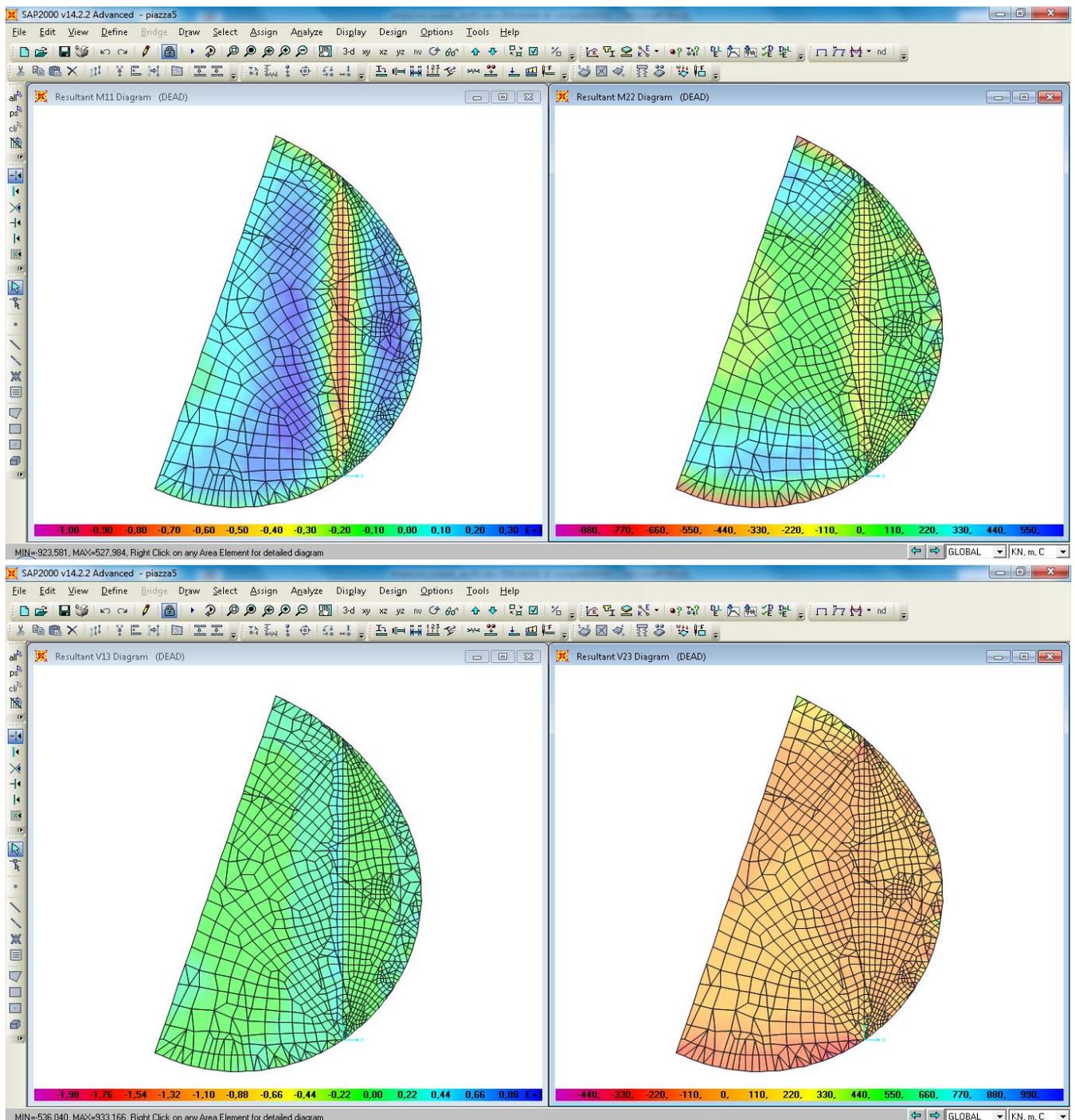


		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

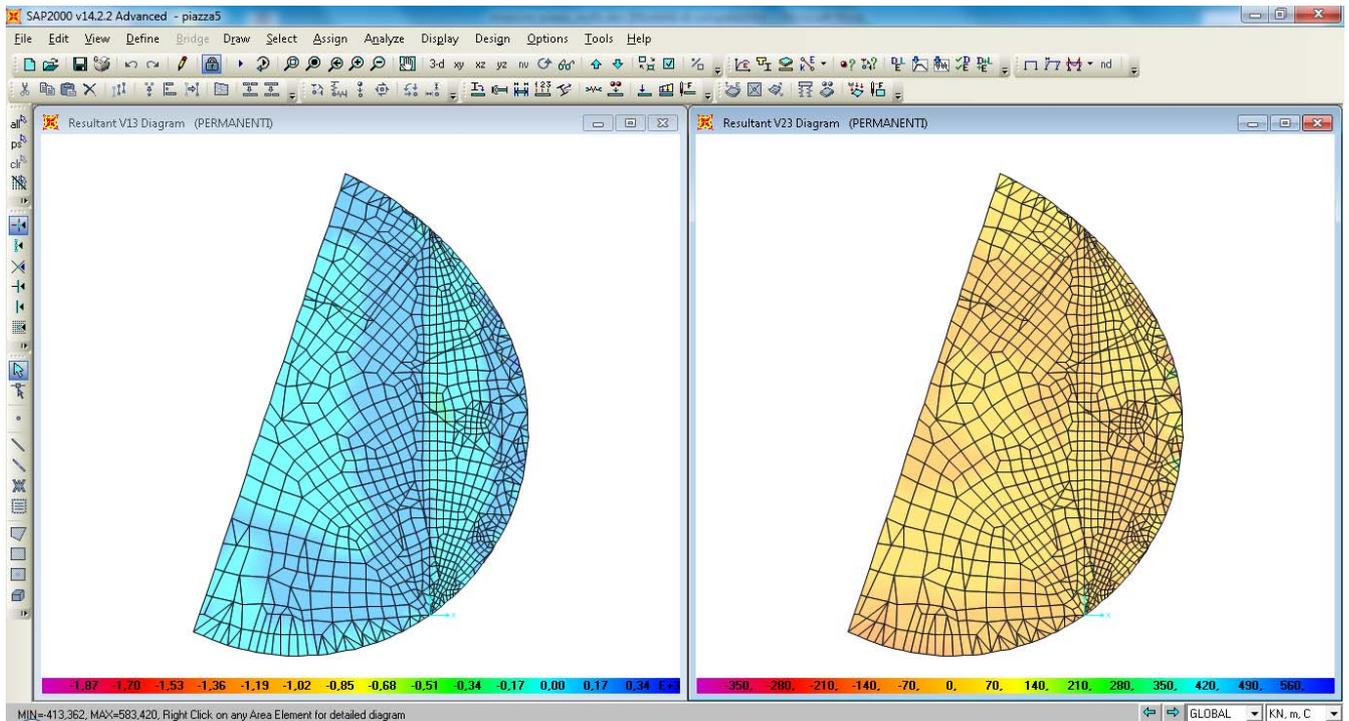
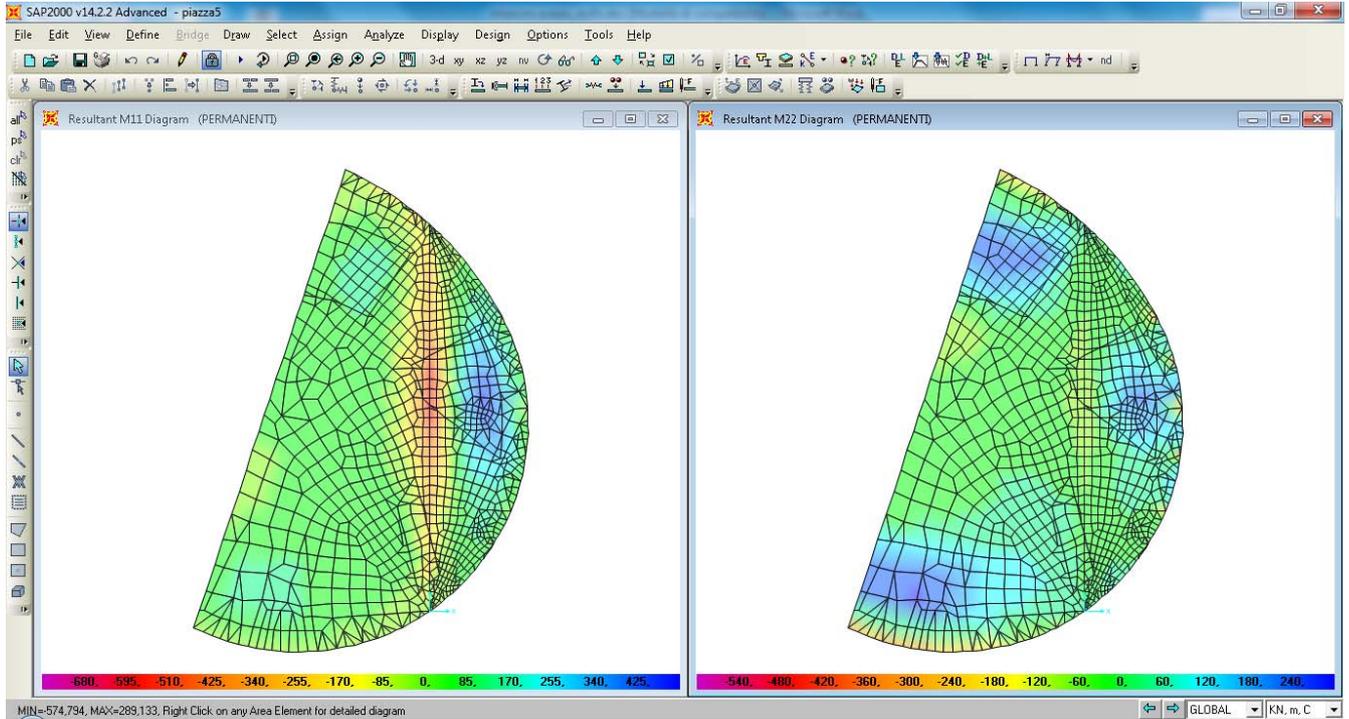
8.4 CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI

Si riportano nel seguito i diagrammi qualitativi di sollecitazione N, M e T per ogni condizione di carico elementare precedentemente individuata (vedi § 8.1)

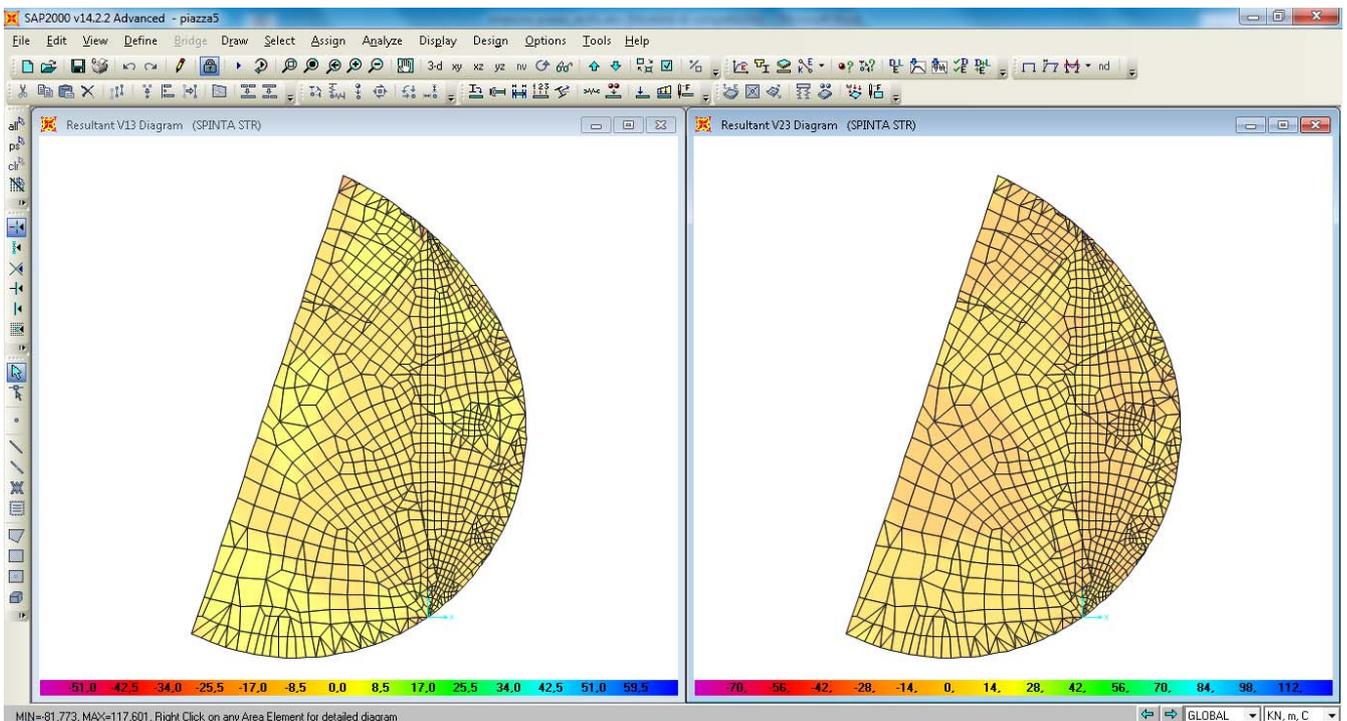
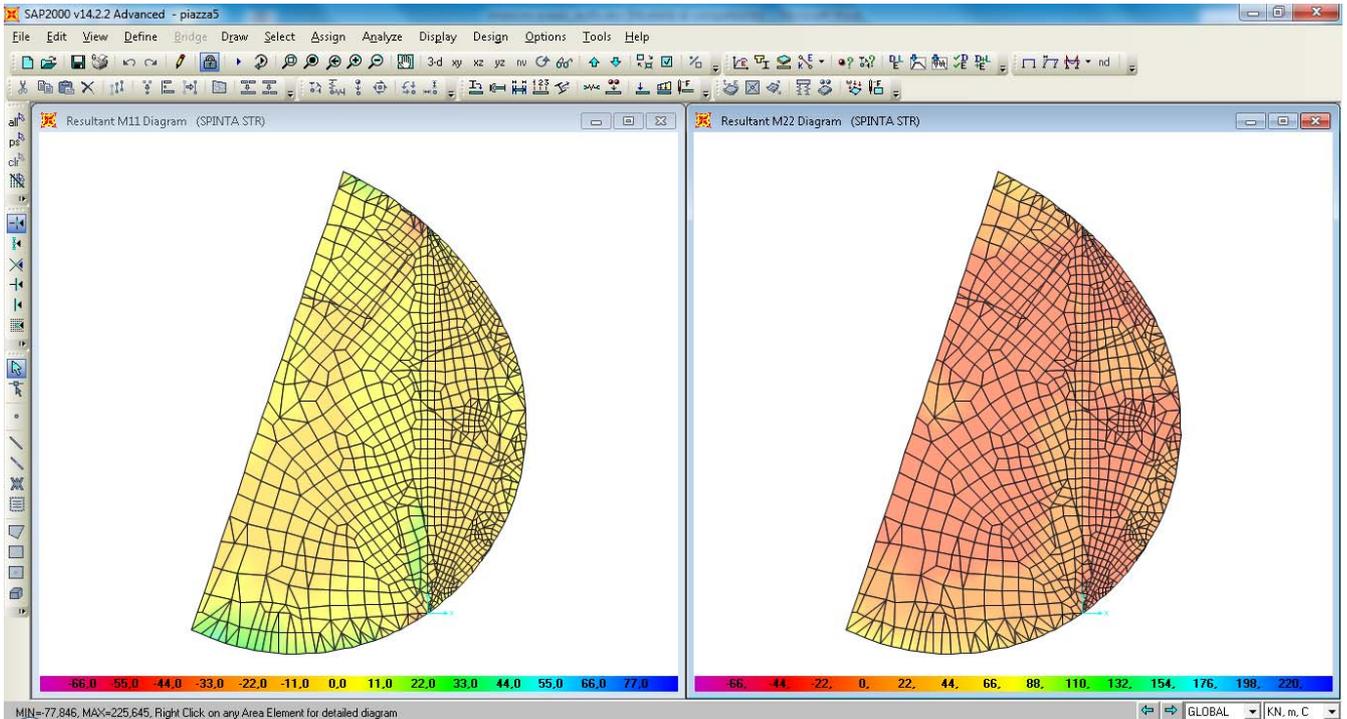
Diagrammi di sollecitazione M_x , M_y , T_x e T_y – condizione di carico “ q_1 ” (vedi § 8.1.1)



Diagrammi di sollecitazione M_x , M_y , T_x e T_y – condizione di carico “ q_3 ” (vedi § 8.1.2)

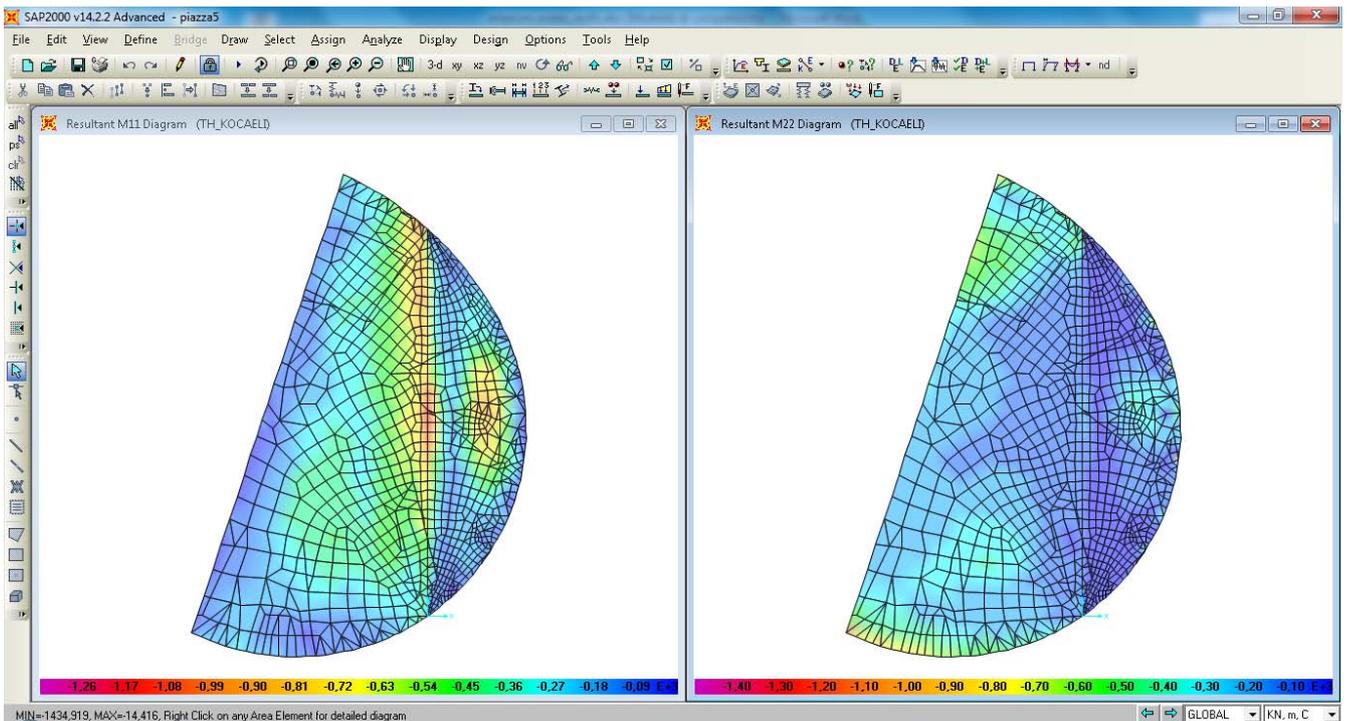
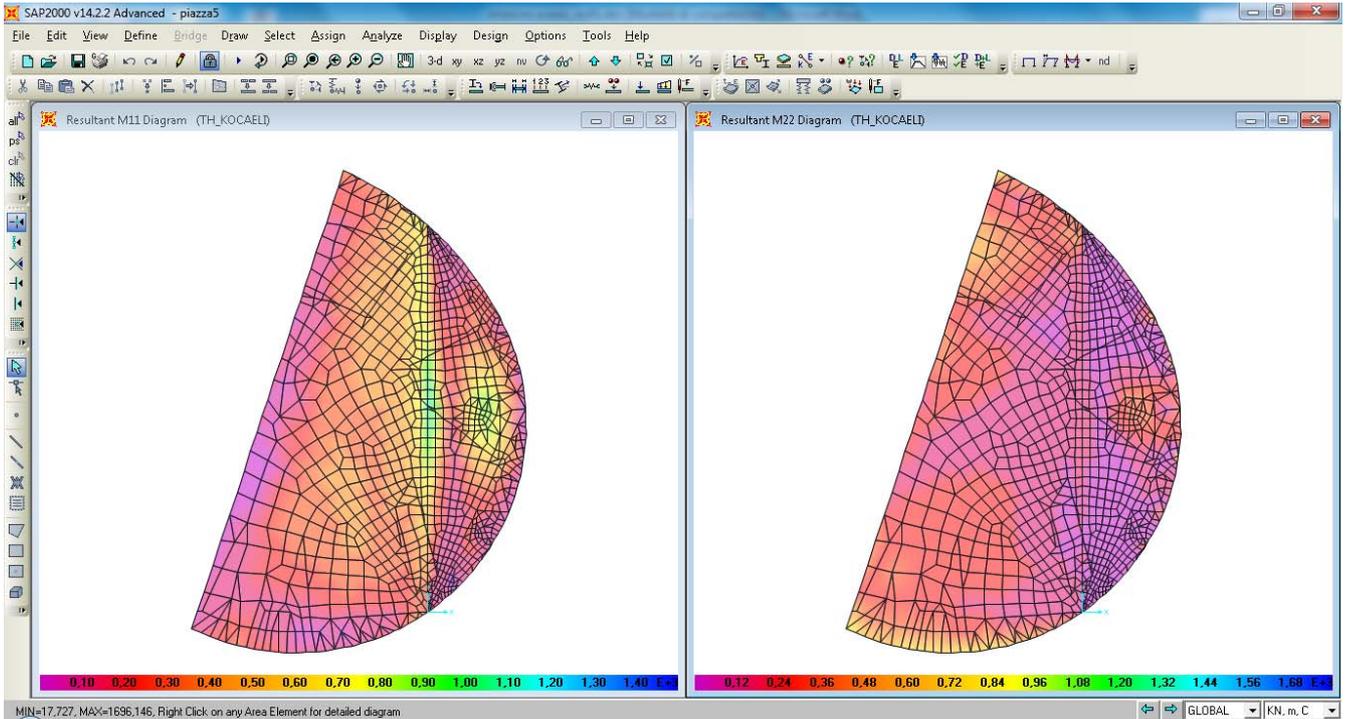


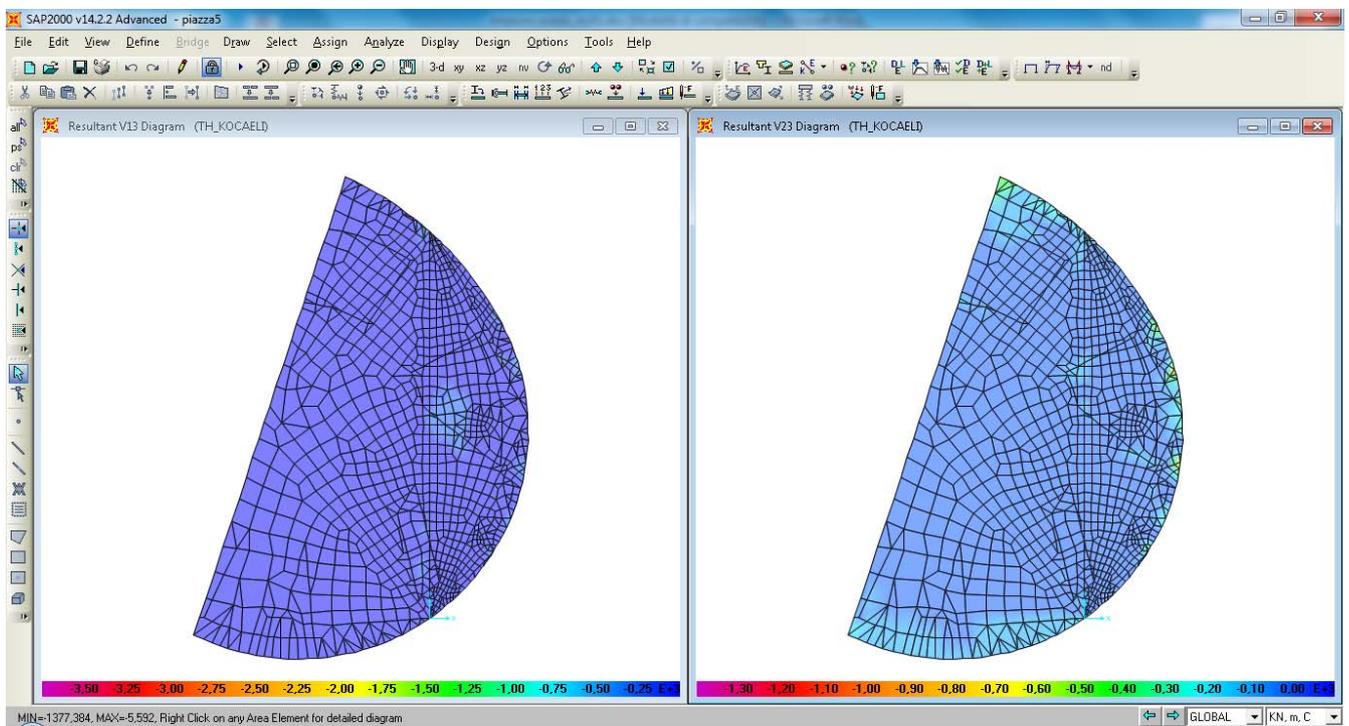
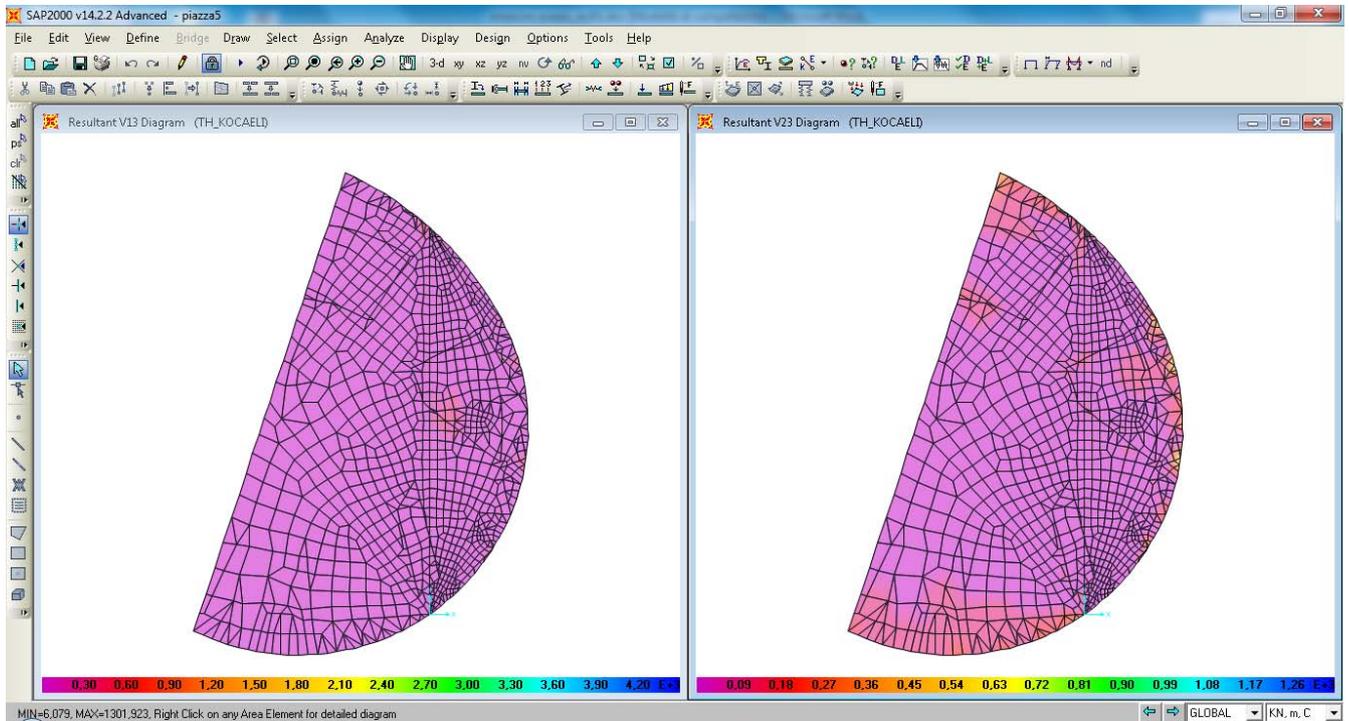
Diagrammi di sollecitazione M_x , M_y , T_x e T_y – condizione di carico “ q_3 ” (vedi § 8.1.3)



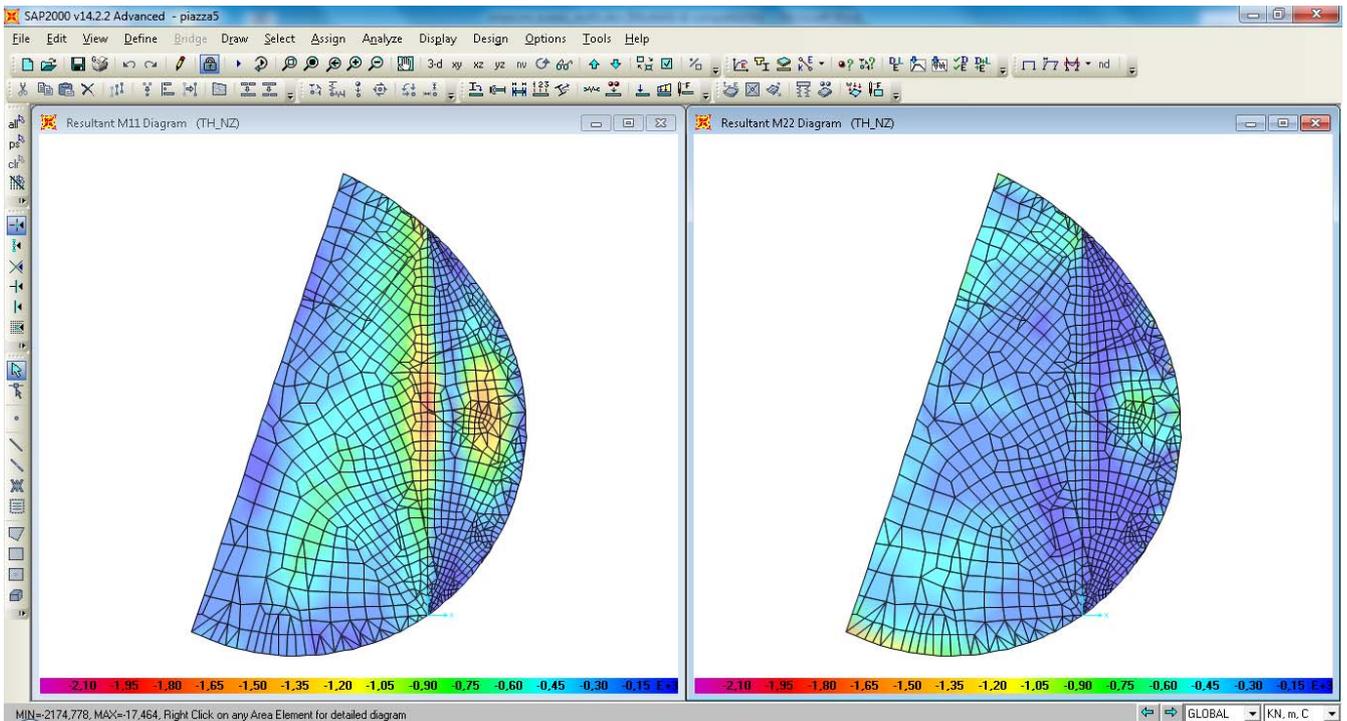
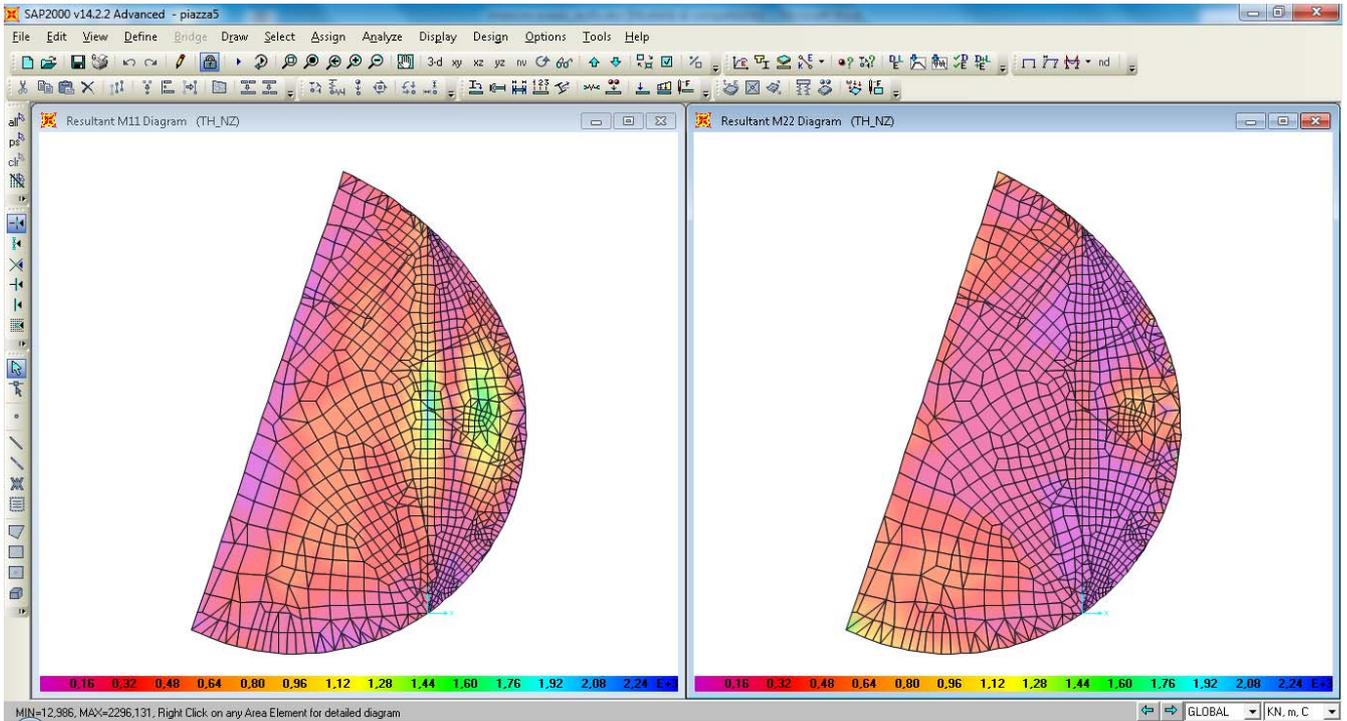
Diagrammi di sollecitazione M_x , M_y , T_x e T_y – condizione di carico “ q_6 ” (vedi § 8.1.6)

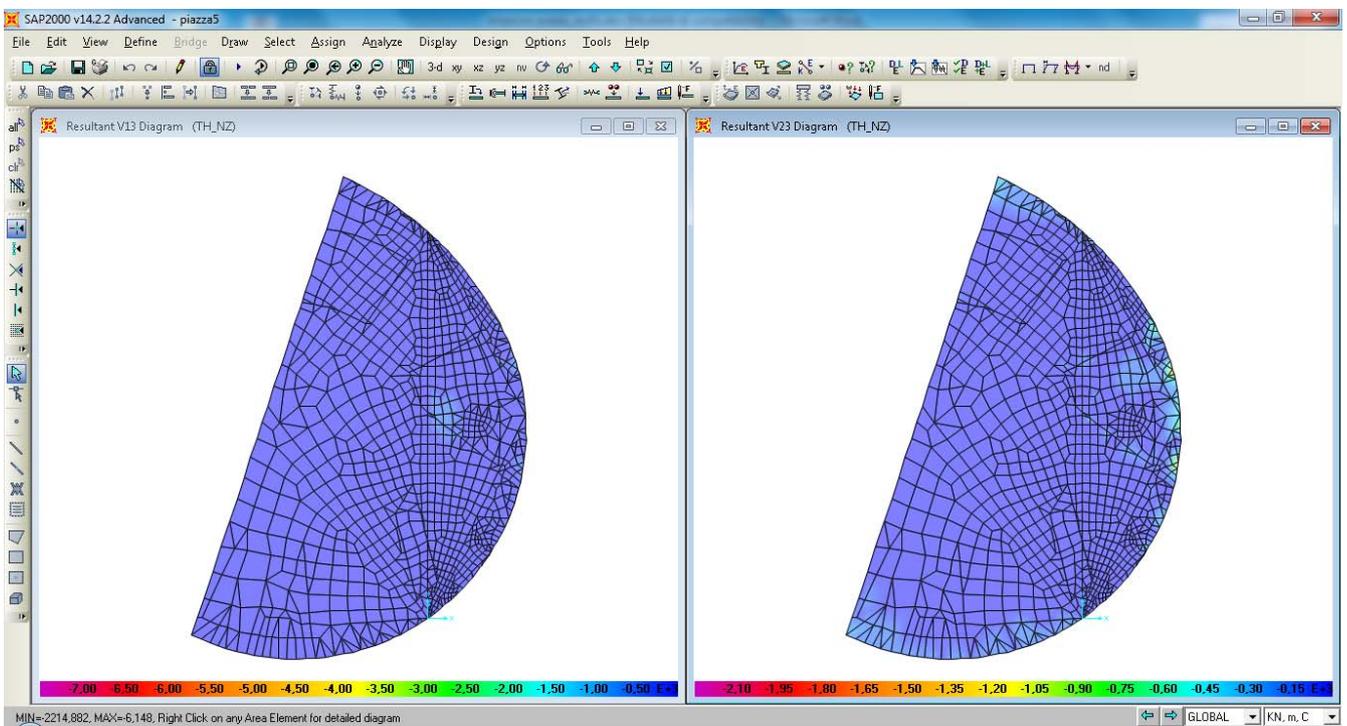
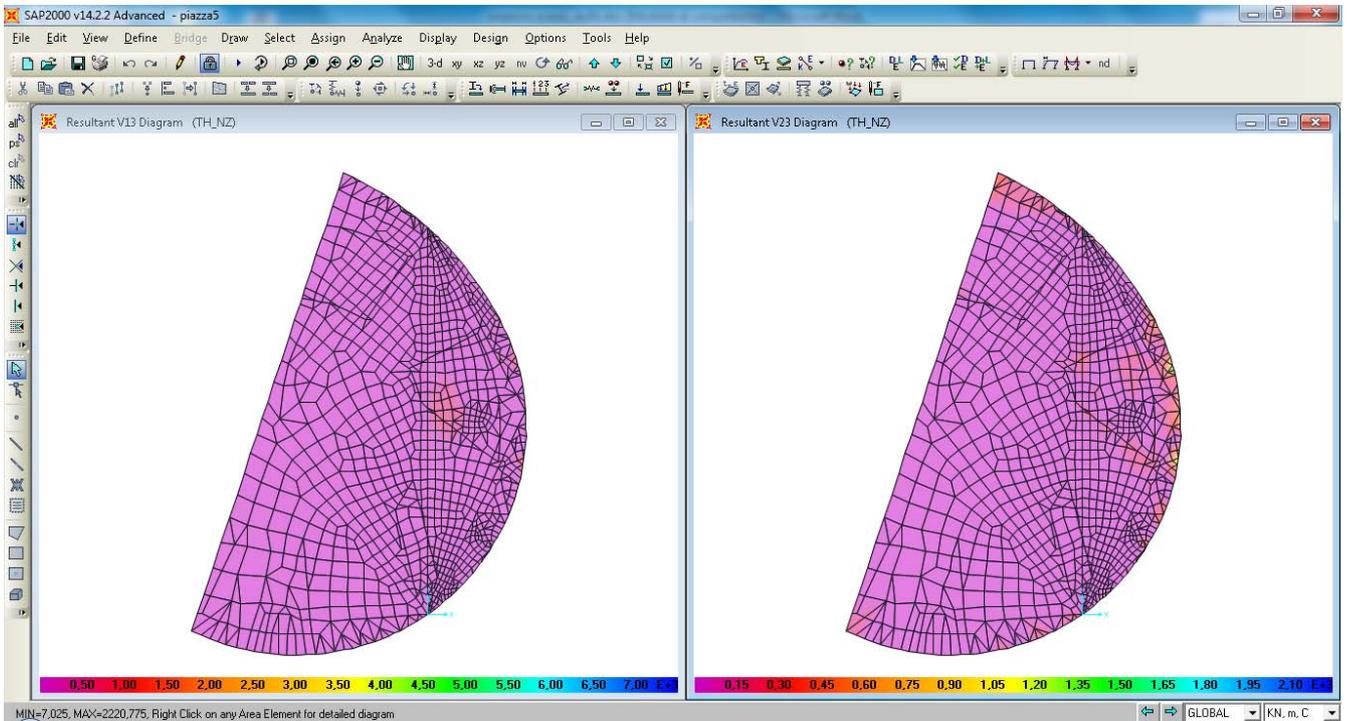
ACCELEROGRAMMA “KOCAELI”



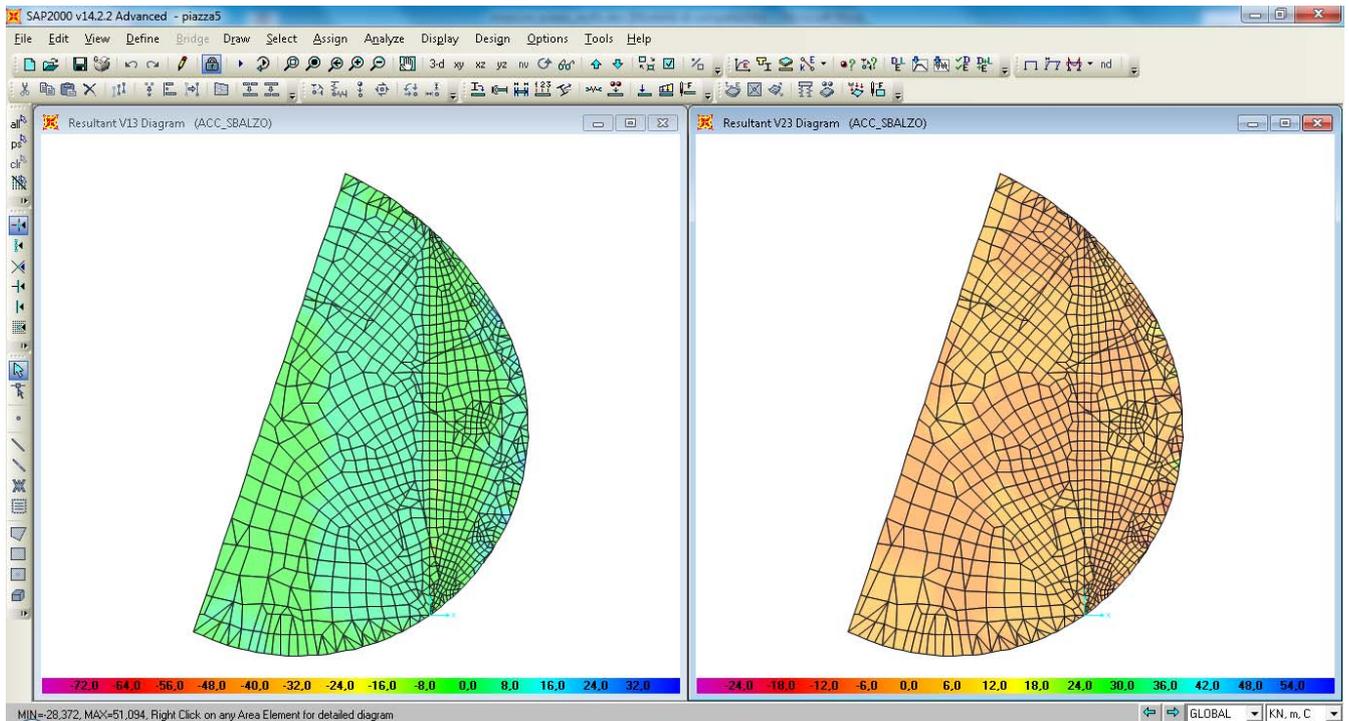
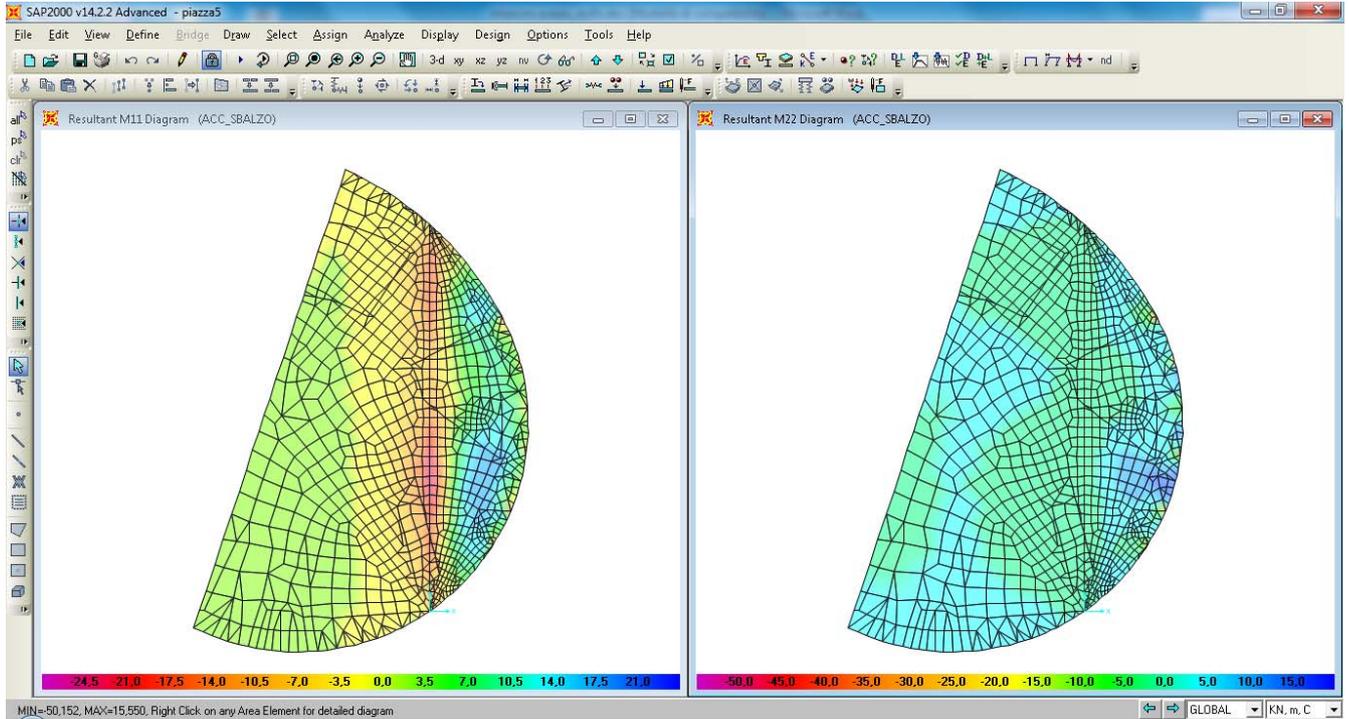


ACCELEROGRAMMA "NEW ZEALAND"

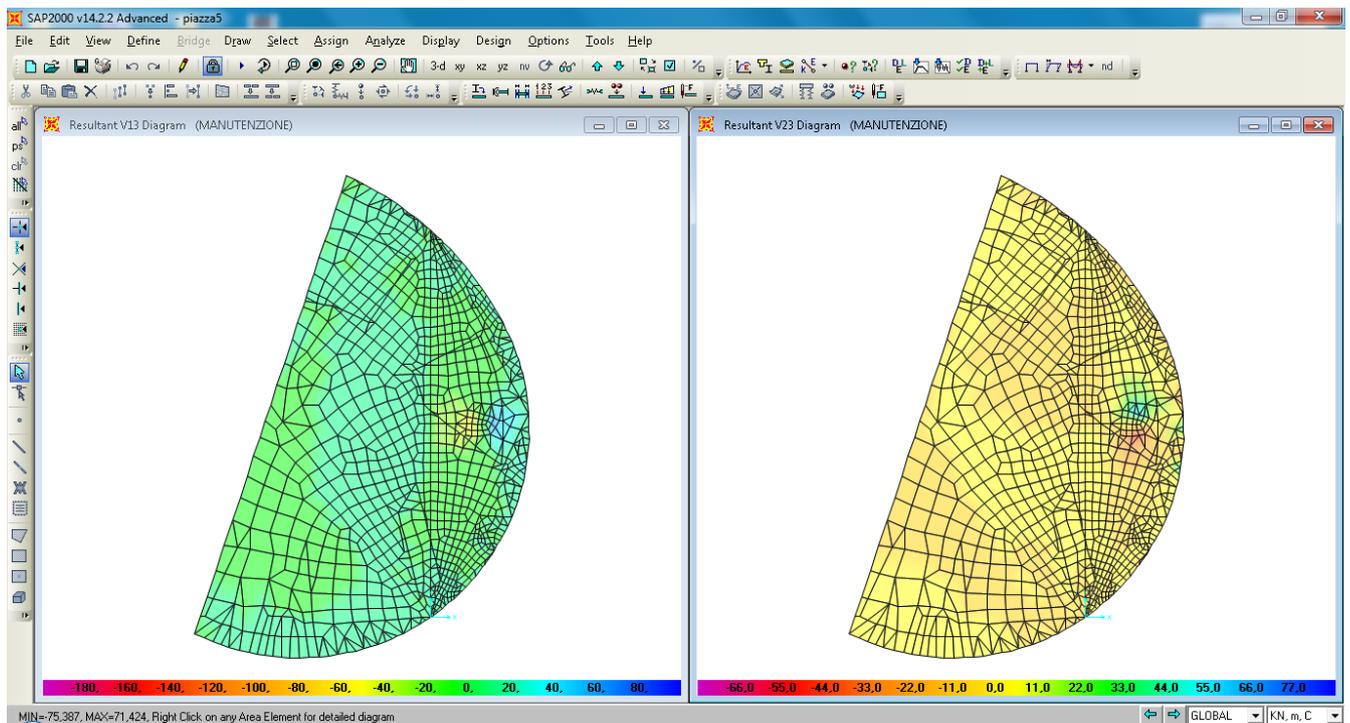
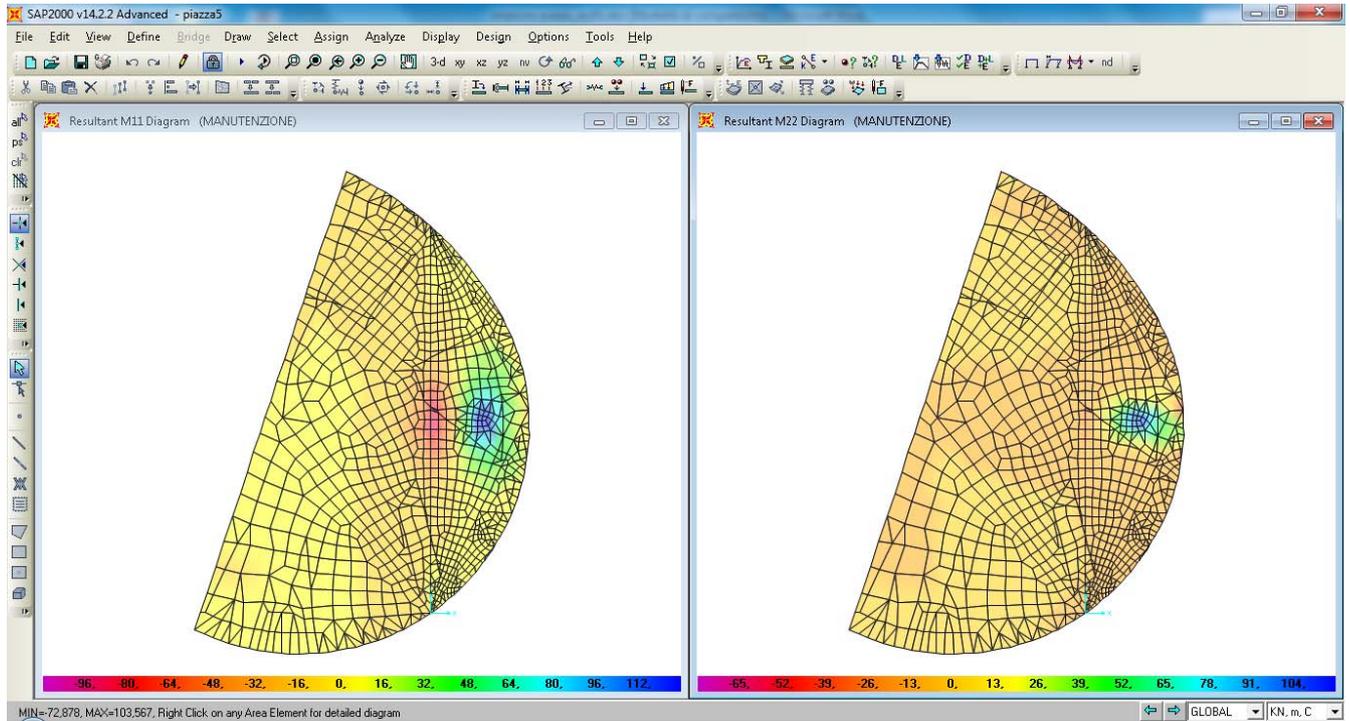




Diagrammi di sollecitazione M_x , M_y , T_x e T_y – condizione di carico “ q_0 ” (vedi § 8.1.7)



Diagrammi di sollecitazione M_x , M_y , T_x e T_y – condizione di carico “ q_0 ” (vedi § 8.1.8)



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<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						

8.4.1 Combinazioni per gli S.L.U.

Si applicano le combinazioni di carico in accordo al DM 14. 01 .2008 già descritte al § 7.4.1.

Le combinazioni di carico adottate per le verifiche di resistenza agli SLU sono le seguenti:

- $SLU1 = 1,3 \cdot G_k + 1,3 \cdot G_3 + 1,5 \cdot Q_{9\text{-folla}}$
- $SLU2 = 1,3 \cdot G_k + 1,3 \cdot G_3 + 1,5 \cdot Q_{9\text{-manutenzione}}$
- $SIS1 = G_k + G_3 + E_x + 0,3 \cdot E_y + 0,3 \cdot E_z$
- $SIS2 = G_k + G_3 + 0,3 \cdot E_x + E_y + 0,3 \cdot E_z$
- $SIS3 = G_k + G_3 + 0,3 \cdot E_x + 0,3 \cdot E_y + E_z$

essendo:

- G_k pesi propri e carichi permanenti ($g_1 + g_2$)
- G_3 spinta delle terre
- $Q_{9\text{-folla}}$ accidentale da folla
- $Q_{9\text{-manutenzione}}$ accidentale da manutenzione (mezzo d'opera)
- E_i azione sismica in direzione i-esima

8.4.2 Combinazioni per lo stato limite di fatica

Non essendo una struttura soggetta a carichi ciclici, la verifica a fatica risulta trascurabile.

8.4.3 Combinazioni per gli S.L.S.

Essendo la struttura in c.a. sollecitata prevalentemente da carichi permanenti, le verifiche associate a tale stato limite sono eseguite in funzione delle combinazioni di carico **quasi permanente** espresse dalla relazione seguente:

$$\sum_{j>1} G_{k,j} + P + \sum_{i>1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

dove

- + implica "da combinarsi con"
- \sum implica "l'effetto combinato di"

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

G_k è il valore caratteristico delle azioni permanenti

P è il valore caratteristico delle azioni di precompressione

Q_k è il valore caratteristico delle azioni variabili

ψ_2 sono i coefficienti di combinazione delle azioni variabili

Le combinazioni di carico adottate per le verifiche di resistenza agli SLS sono le seguenti:

- $SLS1 = G_k + G_3 + 0,6 \cdot Q_{9-folla}$

essendo:

G_k pesi propri e carichi permanenti ($g_1 + g_2$)

G_3 spinta delle terre

$G_{9-folla}$ accidentale da folla

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

8.5 VERIFICA DELLA STRUTTURA DELLA PIAZZA

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).

Le verifiche a fessurazione sono state condotte considerando:

Verifica di formazione delle fessure: la verifica si esegue per la sezione interamente reagente e per le sollecitazioni di esercizio si determina la massima trazione nel calcestruzzo σ_{ct} , confrontandola con la resistenza caratteristica a trazione per flessione f_{ctk} : se risulta $\sigma_{ct} < f_{ctk}$ la verifica è soddisfatta, altrimenti si procede alla verifica di apertura delle fessure.

Verifica di apertura delle fessure: l'apertura convenzionale delle fessure è calcolata con le modalità indicate dal D. M. Min. Il. TT. del 14 gennaio 2008, e valutata con le sollecitazioni relative alle Combinazioni FR o QP della normativa vigente sui ponti stradali. La massima apertura ammissibile risulta rispettivamente (le strutture in ambiente aggressivo ed armature poco sensibili):

b.1) combinazione di carico Frequente:

$$w_k \leq w_2 = 0,30 \text{ mm}$$

b.2) combinazione di carico quasi permanente:

$$w_k \leq w_1 = 0,20 \text{ mm}$$

La massima apertura ammissibile risulta rispettivamente (le strutture in ambiente ordinario ed armature poco sensibili):

b.1) combinazione di carico Frequente:

$$w_k \leq w_3 = 0,40 \text{ mm}$$

b.2) combinazione di carico quasi permanente:

$$w_k \leq w_2 = 0,30 \text{ mm}$$

Verifica delle tensioni di esercizio: le verifiche si eseguono per la condizione di carico Quasi Permanente e Rara, verificando rispettivamente che le tensioni di lavoro siano inferiori ai seguenti limiti:

- per la condizione QP si verifica che le massime tensioni presenti nel calcestruzzo siano inferiori a $\sigma_c < 0.45 f_{ck}$;
- per la condizione rara si verifica che le massime tensioni presenti nel calcestruzzo siano inferiori a $\sigma_c < 0.60 f_{ck}$, mentre quelle dell'acciaio $\sigma_s < 0.80 f_{yk}$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Nelle verifiche successive si trascura la verifica in esercizio per combinazione rara e frequente, perché non dimensionante.

8.5.1 Verifica soletta della piazza H=150 cm

Le sollecitazioni massime, dedotte dai modelli di analisi, per la sezione considerata sono:

COMB	Mmax (kNm)	Mmin (kNm)	T (kN)
STR	912,00	-2070,00	1160,00
SIS	1435,00	-3183,00	1626,00
QP	702,00	-1580,00	-

Si prevede un'armatura a flessione pari a:

- $\phi 22$ passo 10 cm a 6,5 cm da esterno sezione (compressa)
- $\phi 22$ passo 10 cm a 6,5 cm da esterno sezione (tesa)
- $\phi 22$ passo 20 cm a 12 cm da esterno sezione (tesa)

Si prevede un'armatura a taglio pari a:

si prevedono n° 13,3 braccia/mq $\phi 12$ (ciascun braccio a interasse 25 cm per 30 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 ≥ 1.000							

N.Comb.	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.
1	S	0	207000	0	0	323603	0	1,563
2	S	0	318300	0	0	323603	0	1,017

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,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O 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,O sez.)
Yf min	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,O 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,O sez.)
Yf max	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,O sez.)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		Codice documento PG0095_F0.doc	Rev F0	Data 20/06/2011

N.Comb.	ec max	ec 3/7	Xc max	Yc max	ef min	Xf min	Yf min	ef max	Xf max	Yf max
1	0,00140	-0,00371	-50,0	150,0	0,00089	-43,5	143,5	-0,01000	-43,5	6,5
2	0,00140	-0,00371	-50,0	150,0	0,00089	-43,5	143,5	-0,01000	-43,5	6,5

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a	Coeff. a nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
b	Coeff. b nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
c	Coeff. c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O 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	0,000000000	0,000079456	-0,010516465	0,123	0,700
2	0,000000000	0,000079456	-0,010516465	0,123	0,700

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max	Massima tensione positiva di compressione nel conglomerato [daN/cm ²]
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione negativa di trazione nell'acciaio [daN/cm ²]
Xf min	Ascissa in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Yf min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff.	Area di conglomerato [cm ²] in zona tesa considerata aderente alle barre
D fess.	Distanza calcolata tra le fessure espressa in mm
K3	Coeff. (§ B.6.6.2 Istruz.DM96) dipendente dalla forma del diagramma tensioni
Ap.fess.	Apertura fessure in mm. Calcolo secondo §4.1.2.2.4.6 NTC.

N.Comb.	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xf min	Yf min	Ac eff.	D fess.	K3	Ap.Fess.
1	S	51,4	50,0	150,0	-2163	-33,8	6,5	2614	178	0,125	0,196

Elementi che non richiedono armatura a taglio

f_{ck}	=	32	Mpa	
d	=	1350	mm	altezza utile
A_{sl}	=	7959,9	mm ²	armatura longitudinale tesa
b_w	=	1000	mm	larghezza minima della sezione in zona tesa
A_c	=	1350000	mm ²	area sezione calcestruzzo
N_{ed}	=	0	kN	forza assiale nella sezione (positive le compressioni)
$C_{rd,c}$	=	0,12		
k_1	=	0,15		
k	=	1,3849	≤	2
ρ_1	=	0,005896222	≤	0,02
σ_{cp}	=	0,0000	<	3,6267
V_{min}	=	0,3227		
$V_{Rd,c}$	=	597,28	kN	formula estesa
$V_{Rd,c}$	=	435,62	kN	valore minimo di resistenza

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<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						

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
$d =$	1350	mm	altezza utile
$z =$	1215	mm	braccio della coppia interna
$A_{sw} =$	376,8	mm ²	area sezione trasversale armatura a taglio
$s =$	250	mm	passo staffe
$f_{ywd} =$	391,30	Mpa	tensione di progetto delle armature a taglio
$\alpha_{cw} =$	1,0000		
$v_1 =$	0,5232		
$f_{cd} =$	18,13	Mpa	
$V_{Rd,s} =$	1791,57	kN	resistenza lato acciaio
$V_{Rd,max} =$	3974,67	kN	resistenza lato calcestruzzo
0,590	≤	4,74368	verifica di duttilità per rottura lato acciaio

8.5.2 Verifica soletta dello sbalzo H=100 cm "alleggerito"

Le sollecitazioni massime, dedotte dai modelli di analisi, per la sezione considerata sono:

COMB	Mmax (kNm)	Mmin (kNm)	T (kN)
STR	1051,00	-1524,00	1638,00
SIS	2373,00	-2226,00	2081,00
QP	805,00	-1142,00	-

Si prevede un'armatura a flessione pari a:

$\phi 26$ passo 10 cm a 4,5 cm da esterno sezione (compressa)

$\phi 26$ passo 10 cm a 4,5 cm da esterno sezione (tesa)

6 $\phi 26$ disposte nell'anima tra due alleggerimenti

Si prevede un'armatura a taglio pari a:

si prevedono n° 25 braccia/mq $\phi 12$ (ciascun braccio a interasse 20 cm per 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.)

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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 ≥ 1.000

N.Comb.	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.
1	S	0	152400	0	0	255858	0	1,679
2	S	0	237300	0	0	255858	0	1,078

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,O sez.)
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O 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,O sez.)
Yf min Ordinata in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,O 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,O sez.)
Yf max Ordinata in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,O 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	0,00185	-0,00347	-50,0	100,0	0,00130	-45,5	95,5	-0,01000	-45,5	4,5
2	0,00185	-0,00347	-50,0	100,0	0,00130	-45,5	95,5	-0,01000	-45,5	4,5

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a Coeff. a nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
b Coeff. b nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
c Coeff. c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O 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	0,000000000	0,000124122	-0,010558551	0,156	0,700
2	0,000000000	0,000124122	-0,010558551	0,156	0,700

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max Massima tensione positiva di compressione nel conglomerato [daN/cm²]
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min Minima tensione negativa di trazione nell'acciaio [daN/cm²]
Xf min Ascissa in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Yf min Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff. Area di conglomerato [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
D fess. Distanza calcolata tra le fessure espressa in mm
K3 Coeff. (§ B.6.6.2 Istruz.DM96) dipendente dalla forma del diagramma tensioni
Ap.fess. Apertura fessure in mm. Calcolo secondo §4.1.2.2.4.6 NTC.

N.Comb.	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xf min	Yf min	Ac eff.	D fess.	K3	Ap.Fess.
1	S	63,3	50,0	100,0	-2088	-45,5	4,5	2467	135	0,125	0,199

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<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						

Elementi che non richiedono armatura a taglio

$f_{ck} =$	32	Mpa	
$d =$	900	mm	altezza utile
$A_{sl} =$	7959,9	mm ²	armatura longitudinale tesa
$b_w =$	600	mm	larghezza minima della sezione in zona tesa
$A_c =$	540000	mm ²	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
$\rho_1 =$	0,014740556	\leq	0,02
$\sigma_{cp} =$	0,0000	$<$	3,6267
$V_{min} =$	0,3534		
$V_{Rd,c} =$	344,50	kN	formula estesa
$V_{Rd,c} =$	190,82	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
$b_w =$	600	mm	larghezza minima della sezione
$d =$	900	mm	altezza utile
$z =$	810	mm	braccio della coppia interna
$A_{sw} =$	565,2	mm ²	area sezione trasversale armatura a taglio
$s =$	200	mm	passo staffe
$f_{ywd} =$	391,30	Mpa	tensione di progetto delle armature a taglio
$\alpha_{cw} =$	1,0000		
$v_1 =$	0,5232		
$f_{cd} =$	18,13	Mpa	
$V_{Rd,s} =$	2239,46	kN	resistenza lato acciaio
$V_{Rd,max} =$	1589,87	kN	resistenza lato calcestruzzo
1,843	\leq	4,74368	verifica di duttilità per rottura lato acciaio

8.5.3 Verifica del muro di sostegno H=100 cm

Le sollecitazioni massime, dedotte dai modelli di analisi, per la sezione considerata sono:

COMB	Mmax (kNm)	Mmin (kNm)	T (kN)
STR	726,00	-1095,00	476,00
SIS	2827,00	-1968,00	1491,00
QP	556,00	-839,00	-

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		Codice documento PG0095_F0.doc	Rev F0	Data 20/06/2011

Si prevede un'armatura a flessione pari a:

$\phi 26$ passo 10 cm a 6,5 cm da esterno sezione (compressa)

$\phi 26$ passo 10 cm a 6,5 cm da esterno sezione (tesa)

$\phi 20$ passo 20 cm a 12 cm da esterno sezione (tesa)

Si prevede un'armatura a taglio pari a:

si prevedono n° 13,3 braccia/mq $\phi 12$ (ciascun braccio a interasse 25 cm per 30 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 ≥ 1.000

N.Comb.	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.
1	S	0	109500	0	0	301089	0	2,750
2	S	0	282700	0	0	301089	0	1,065

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	0,00219	-0,00340	-50,0	100,0	0,00134	-43,5	93,5	-0,01000	-43,5	6,5
2	0,00219	-0,00340	-50,0	100,0	0,00134	-43,5	93,5	-0,01000	-43,5	6,5

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	0,000000000	0,000130360	-0,010847339	0,180	0,700
2	0,000000000	0,000130360	-0,010847339	0,180	0,700

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max	Massima tensione positiva di compressione nel conglomerato [daN/cm ²]
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione negativa di trazione nell'acciaio [daN/cm ²]
Xf min	Ascissa in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Yf min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff.	Area di conglomerato [cm ²] in zona tesa considerata aderente alle barre
D fess.	Distanza calcolata tra le fessure espressa in mm
K3	Coeff. (§ B.6.6.2 Istruz.DM96) dipendente dalla forma del diagramma tensioni
Ap.fess.	Apertura fessure in mm. Calcolo secondo §4.1.2.2.4.6 NTC.

N.Comb.	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xf min	Yf min	Ac eff.	D fess.	K3	Ap.Fess.
1	S	45,0	-50,0	100,0	-1254	14,5	6,5	2571	150	0,125	0,096

Elementi che non richiedono armatura a taglio

$f_{ck} =$	32	Mpa	
$d =$	900	mm	altezza utile
$A_{sl} =$	5306,6	mm ²	armatura longitudinale tesa
$b_w =$	1000	mm	larghezza minima della sezione in zona tesa
$A_c =$	900000	mm ²	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
$\rho_1 =$	0,005896222	≤	0,02
$\sigma_{cp} =$	0,0000	<	3,6267
$v_{min} =$	0,3534		
$V_{Rd,c} =$	423,06	kN	formula estesa
$V_{Rd,c} =$	318,04	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
$A_{sw} =$	376,8	mm ²	area sezione trasversale armatura a taglio
$s =$	250	mm	passo staffe
$f_{ywd} =$	391,30	Mpa	tensione di progetto delle armature a taglio
$\alpha_{cw} =$	1,0000		
$v_1 =$	0,5232		
$f_{cd} =$	18,13	Mpa	

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		Codice documento PG0095_F0.doc	Rev F0	Data 20/06/2011

$V_{Rd,s} =$	1194,38	kN	resistenza lato acciaio
$V_{Rd,max} =$	2649,78	kN	resistenza lato calcestruzzo
0,590	≤	4,74368	verifica di duttilità per rottura lato acciaio

La verifica effettuata del muro di sostegno della piazza a quota +10,00 m s.l.m. è estesa anche al muro di sostegno che sorregge la seconda piazza a quota +17,50 m s.l.m., in quanto hanno le stesse caratteristiche geometrico-inerziali e sollecitanti.

8.5.4 Verifica dei pilastri (sezione 80x36 cm)

Le sollecitazioni massime, dedotte dai modelli di analisi, per la sezione considerata sono:

COMB	M11 (kNm)	M22 (kNm)	N (kN)	T (kN)
STR	143,00	0	-800,00	60,00
SIS (Mmax)	223,00	311,00	-1227,00	170,00
SIS (Nmax+)	0	0	+1061,00	-
SIS (Nmax-)	328,00	86,00	-4742,00	-
QP	108,00	0	-599,00	-

Si prevede un'armatura a flessione pari a:

$\phi 20$ passo 10 cm a 4,5 cm da esterno sezione (compressa)

$\phi 20$ passo 10 cm a 4,5 cm da esterno sezione (tesa)

Si prevede un'armatura a taglio pari a:

non occorrono armature a taglio

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 ≥ 1.000							

N.Comb.	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.
1	S	80000	14300	0	79988	41777	0	2,921
2	S	122700	22300	31100	122717	43781	60736	1,956
3	S	-106100	10	0	-106098	15279	0	999,000

METODO AGLI STATI LIMITE ULTIMI - DEFORMAZIONI UNITARIE ALLO STATO ULTIMO

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		Codice documento PG0095_F0.doc	Rev F0	Data 20/06/2011

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,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O 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,O sez.)
Yf min	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,O 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,O sez.)
Yf max	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,O 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	0,00282	-0,00346	-80,0	36,0	0,00099	75,5	31,5	-0,01000	-75,5	4,5
2	0,00350	-0,00140	80,0	36,0	0,00232	75,5	31,5	-0,00675	-75,5	4,5
3	0,00102	-0,00438	80,0	36,0	-0,00055	75,5	31,5	-0,01000	-75,5	4,5

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

a	Coeff. a nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
b	Coeff. b nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O gen.
c	Coeff. c nell'eq. dell'asse neutro $aX+bY+c=0$ nel rif. X,Y,O 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	0,000000000	0,000407122	-0,011832049		
2	0,000016059	0,000246143	-0,006645885		
3	0,000000000	0,000349888	-0,011574498		

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max	Massima tensione positiva di compressione nel conglomerato [daN/cm ²]
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,O)
Sf min	Minima tensione negativa di trazione nell'acciaio [daN/cm ²]
Xf min	Ascissa in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Yf min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,O)
Ac eff.	Area di conglomerato [cm ²] in zona tesa considerata aderente alle barre
D fess.	Distanza calcolata tra le fessure espressa in mm
K3	Coeff. (§ B.6.6.2 Istruz.DM96) dipendente dalla forma del diagramma tensioni
Ap.fess.	Apertura fessure in mm. Calcolo secondo §4.1.2.2.4.6 NTC.

N.Comb.	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xf min	Yf min	Ac eff.	D fess.	K3	Ap.Fess.
1	S	35,4	-80,0	36,0	-157	-75,5	4,5	2571	0	0,125	0,000

Elementi che non richiedono armatura a taglio

f_{ck}	32	Mpa	
d	324	mm	altezza utile
A_{sl}	3140	mm ²	armatura longitudinale tesa
b_w	800	mm	larghezza minima della sezione in zona tesa
A_c	259200	mm ²	area sezione calcestruzzo
N_{ed}	0	kN	forza assiale nella sezione (positive le compressioni)
$C_{rd,c}$	0,12		
k_1	0,15		
k	1,7857	≤	2

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0

$$\rho_1 = 0,012114198 \leq 0,02$$

$$\sigma_{cp} = 0,0000 < 3,6267$$

$$V_{min} = 0,4724$$

$$V_{Rd,c} = 187,97 \text{ kN} \quad \text{formula estesa}$$

$$V_{Rd,c} = 122,46 \text{ kN} \quad \text{valore minimo di resistenza}$$

8.6 SCARICHI IN FONDAZIONE

8.6.1 Scarichi in corrispondenza dei pilastri

Si riportano le azioni scaricate a estradosso fondazione dei pilastri a valle della piazza.

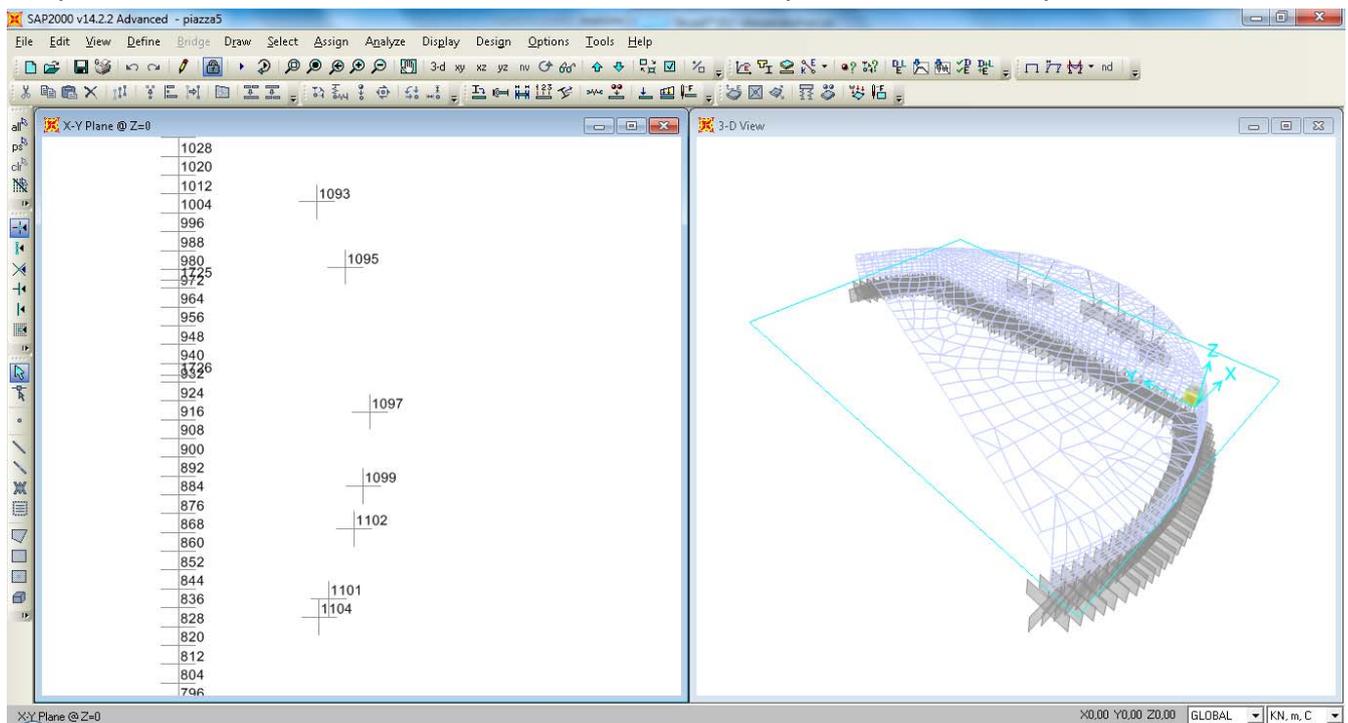


TABLE: Joint Reactions

Joint	OutputCase	CaseType	StepType	F1	F2	F3	M1	M2
Text	Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m
1093	SLU1_piazza	Combination		41,679	-71,583	1700,644	-13,5897	-8,7214
1093	SLU1_sbalzo	Combination		43,867	-75,378	1793,12	-15,9398	-10,2892
1093	COMBOX	Combination	Max	88,931	28,979	2945,989	466,2872	346,2123
1093	COMBOX	Combination	Min	-35,471	-123,529	-306,047	-603,6033	-438,5657
1093	COMBOY	Combination	Max	73,284	42,733	2455,169	272,6697	181,9068
1093	COMBOY	Combination	Min	-19,824	-137,284	184,773	-409,9858	-274,2602

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

1093	COMBOZ	Combination	Max	91,317	44,277	2974,863	189,0789	141,6495
1093	COMBOZ	Combination	Min	-37,857	-138,828	-334,921	-326,3949	-234,0029
1093	SLS1_piazza	Combination		32,096	-55,135	1311,199	-10,8928	-7,0104
1093	SLS1_sbalzo	Combination		32,971	-56,654	1348,189	-11,8329	-7,6376
1095	SLU1_piazza	Combination		215,682	-677,25	2020,639	-105,8196	-34,3003
1095	SLU1_sbalzo	Combination		221,115	-694,372	2070,498	-109,0985	-35,4991
1095	COMBOX	Combination	Max	371,153	148,935	3434,277	319,0083	168,4349
1095	COMBOX	Combination	Min	-48,671	-1165,425	-360,954	-572,5306	-258,743
1095	COMBOY	Combination	Max	295,553	-76,158	2726,586	180,7437	77,6318
1095	COMBOY	Combination	Min	26,929	-940,332	346,736	-434,2661	-167,9399
1095	COMBOZ	Combination	Max	354,218	89,094	3244,449	106,3678	68,1446
1095	COMBOZ	Combination	Min	-31,735	-1105,583	-171,127	-359,8901	-158,4527
1095	SLS1_piazza	Combination		165,989	-521,229	1555,244	-81,768	-26,5384
1095	SLS1_sbalzo	Combination		168,163	-528,077	1575,187	-83,0796	-27,0179
1097	SLU1_piazza	Combination		-32,629	891,849	2241,401	137,8617	4,4847
1097	SLU1_sbalzo	Combination		-33,519	915,668	2299,037	139,6533	4,4065
1097	COMBOX	Combination	Max	35,876	1796,573	4389,39	326,9085	87,1227
1097	COMBOX	Combination	Min	-88,062	-401,307	-901,344	-160,963	-89,8954
1097	COMBOY	Combination	Max	20,659	1389,091	3398,652	318,181	57,5649
1097	COMBOY	Combination	Min	-72,845	6,175	89,394	-152,2355	-60,3375
1097	COMBOZ	Combination	Max	32,79	1670,907	4095,174	265,1241	62,1468
1097	COMBOZ	Combination	Min	-84,976	-275,64	-607,127	-99,1787	-64,9195
1097	SLS1_piazza	Combination		-25,124	686,595	1725,454	105,9408	3,4122
1097	SLS1_sbalzo	Combination		-25,48	696,123	1748,508	106,6575	3,3809
1099	SLU1_piazza	Combination		64,769	376,445	2186,368	62,5958	-11,4863
1099	SLU1_sbalzo	Combination		67,362	391,636	2271,523	64,0665	-11,9118
1099	COMBOX	Combination	Max	117,198	654,589	3693,717	161,673	65,4945
1099	COMBOX	Combination	Min	-18,687	-74,226	-337,695	-83,5436	-89,439
1099	COMBOY	Combination	Max	100,325	530,352	2962,54	219,401	53,839
1099	COMBOY	Combination	Min	-1,814	50,011	393,483	-141,2716	-77,7834
1099	COMBOZ	Combination	Max	113,527	610,237	3456,454	145,2337	44,21
1099	COMBOZ	Combination	Min	-15,016	-29,874	-100,432	-67,1042	-68,1545
1099	SLS1_piazza	Combination		49,853	289,785	1682,978	48,125	-8,871
1099	SLS1_sbalzo	Combination		50,89	295,862	1717,039	48,7133	-9,0412
1101	SLU1_piazza	Combination		105,415	236,469	1173,672	40,1754	-18,5484
1101	SLU1_sbalzo	Combination		110,832	248,662	1230,696	41,3398	-19,2305
1101	COMBOX	Combination	Max	158,662	327,529	1547,41	154,2027	96,1198
1101	COMBOX	Combination	Min	-1,078	28,791	233,952	-76,8882	-140,3652
1101	COMBOY	Combination	Max	168,636	354,679	1547,957	186,5111	79,8589

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0

1101	COMBOY	Combination	Min	-11,052	1,641	233,404	-109,1966	-124,1044
1101	COMBOZ	Combination	Max	171,224	343,343	1632,608	132,2965	55,7813
1101	COMBOZ	Combination	Min	-13,64	12,977	148,754	-54,9819	-100,0267
1101	SLS1_piazza	Combination		81,125	181,994	903,318	30,9894	-14,343
1101	SLS1_sbalzo	Combination		83,292	186,872	926,128	31,4551	-14,6159
1102	SLU1_piazza	Combination		-140,229	-412,101	632,569	-132,5798	44,7978
1102	SLU1_sbalzo	Combination		-147,51	-433,471	660,844	-134,7207	45,4463
1102	COMBOX	Combination	Max	42,427	30,945	947,803	-3,8086	201,7341
1102	COMBOX	Combination	Min	-262,065	-674,594	38,429	-202,6585	-136,3024
1102	COMBOY	Combination	Max	47,797	84,044	970,956	50,1744	249,4761
1102	COMBOY	Combination	Min	-267,436	-727,693	15,276	-256,6415	-184,0445
1102	COMBOZ	Combination	Max	37,148	28,794	941,68	23,0423	234,6507
1102	COMBOZ	Combination	Min	-256,787	-672,443	44,552	-229,5094	-169,219
1102	SLS1_piazza	Combination		-107,978	-317,313	487,004	-102,0123	34,4511
1102	SLS1_sbalzo	Combination		-110,89	-325,861	498,314	-102,8687	34,7104
1104	SLU1_piazza	Combination		-204,048	-360,95	918,87	-84,6285	47,508
1104	SLU1_sbalzo	Combination		-220,84	-390,632	988,07	-87,5069	49,0214
1104	COMBOX	Combination	Max	46,587	55,258	1476,269	54,598	150,6428
1104	COMBOX	Combination	Min	-362,384	-612,252	-65,481	-164,2981	-95,6056
1104	COMBOY	Combination	Max	24,044	20,347	1415,934	85,7169	144,7097
1104	COMBOY	Combination	Min	-339,841	-577,34	-5,147	-195,417	-89,6726
1104	COMBOZ	Combination	Max	84,146	142,529	1698,911	51,3554	126,4216
1104	COMBOZ	Combination	Min	-399,943	-699,523	-288,123	-161,0555	-71,3845
1104	SLS1_piazza	Combination		-157,687	-278,933	709,777	-65,1387	36,5403
1104	SLS1_sbalzo	Combination		-164,403	-290,806	737,457	-66,2901	37,1457

Come si evince dai dai riportati, e considerando che le azioni si scaricano su una lunghezza efficace di fondazione di circa 48 m, lo scarico complessivo in fondazione è il seguente (N.B. i valori ripostati sono le reazioni vincolari, pertanto in fondazione agiranno le stesse forze, ma cambiate di segno):

OutputCase	F1	F2	F3	M1	M2
Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m
SLU1_sbalzo	41,307	-37,887	11313,79	-102,2063	21,9436
COMBOX	860,834	3042,808	18434,86	1478,8691	1115,7611
SLS1_sbalzo	34,543	-22,541	8550,822	-77,2454	16,9244

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

8.6.2 Scarichi in corrispondenza del muro di sostegno

Si riportano le azioni scaricate a estradosso fondazione del muro a sostegno della piazza.

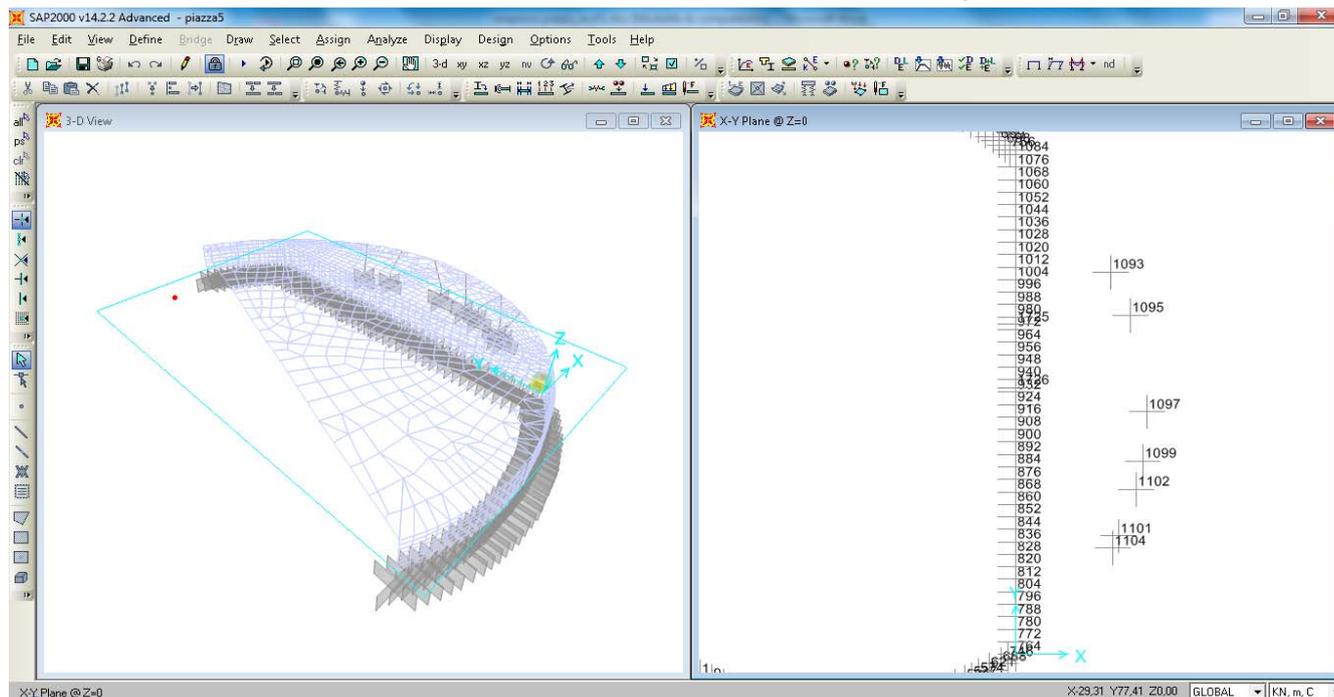


TABLE: Joint Reactions

Joint	OutputCase	CaseType	StepType	F1	F2	F3	M1	M2
Text	Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m
772	SLU1_piazza	Combination		-301,65	474,006	936,743	-28,4986	-388,2085
772	SLU1_sbalzo	Combination		-298,895	477,418	959,239	-28,7414	-386,0712
772	COMBOX	Combination	Max	-154,002	2103,742	6067,163	45,2663	542,3237
772	COMBOX	Combination	Min	-1039,974	-513,097	-3334,362	-149,5257	-2083,8128
772	COMBOY	Combination	Max	-280,455	2748,658	5469,049	81,6022	217,8576
772	COMBOY	Combination	Min	-913,521	-1158,014	-2736,248	-185,8616	-1759,3467
772	COMBOZ	Combination	Max	-318,391	1767,777	3989,542	15,0491	-71,8498
772	COMBOZ	Combination	Min	-875,585	-177,132	-1256,741	-119,3086	-1469,6393
772	SLS1_piazza	Combination		-231,37	364,182	723,048	-21,9143	-298,0308
772	SLS1_sbalzo	Combination		-230,268	365,547	732,047	-22,0115	-297,1759
780	SLU1_piazza	Combination		-399,664	458,82	1095,959	-24,9186	-594,9116
780	SLU1_sbalzo	Combination		-394,282	464,108	1109,348	-25,2626	-587,44
780	COMBOX	Combination	Max	-349,592	2626,154	3028,608	64,9177	274,982
780	COMBOX	Combination	Min	-1145,417	-944,164	-952,75	-162,9431	-2446,9967
780	COMBOY	Combination	Max	-455,339	3256,337	2817,119	98,9902	-107,0107

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

780	COMBOY	Combination	Min	-1039,67	-1574,347	-741,261	-197,0156	-2065,004
780	COMBOZ	Combination	Max	-465,093	2047,166	2362,969	25,5391	-330,4565
780	COMBOZ	Combination	Min	-1029,916	-365,175	-287,11	-123,5645	-1841,5581
780	SLS1_piazza	Combination		-306,151	353,087	842,233	-19,193	-455,8296
780	SLS1_sbalzo	Combination		-303,998	355,202	847,589	-19,3306	-452,841
788	SLU1_piazza	Combination		-449,09	339,272	1396,296	-17,3685	-783,4549
788	SLU1_sbalzo	Combination		-442,399	347,371	1403,609	-17,8596	-770,9378
788	COMBOX	Combination	Max	-377,125	2849,153	1865,128	85,2505	279,2761
788	COMBOX	Combination	Min	-1259,915	-1356,358	352,945	-168,6481	-2939,6158
788	COMBOY	Combination	Max	-495,161	3453,49	1844,561	118,2887	-198,9278
788	COMBOY	Combination	Min	-1141,878	-1960,695	373,511	-201,6863	-2461,412
788	COMBOZ	Combination	Max	-506,199	2098,307	1906,386	38,7407	-418,1206
788	COMBOZ	Combination	Min	-1130,841	-605,512	311,687	-122,1383	-2242,2192
788	SLS1_piazza	Combination		-343,88	262,147	1070,769	-13,4411	-599,6777
788	SLS1_sbalzo	Combination		-341,204	265,387	1073,695	-13,6375	-594,6709
796	SLU1_piazza	Combination		-472,827	211,063	1613,447	-10,2466	-837,6652
796	SLU1_sbalzo	Combination		-465,384	221,683	1618,114	-10,869	-823,7831
796	COMBOX	Combination	Max	-367,883	2902,361	1598,399	97,4535	367,8375
796	COMBOX	Combination	Min	-1333,248	-1634,434	787,519	-167,3419	-3174,1843
796	COMBOY	Combination	Max	-499,976	3501,183	1588,446	130,8	-186,6471
796	COMBOY	Combination	Min	-1201,154	-2233,256	797,472	-200,6884	-2619,6997
796	COMBOZ	Combination	Max	-514,098	2062,785	1861,29	48,0911	-405,5596
796	COMBOZ	Combination	Min	-1187,033	-794,859	524,629	-117,9795	-2400,7871
796	SLS1_piazza	Combination		-361,997	164,447	1236,497	-8,0108	-641,1483
796	SLS1_sbalzo	Combination		-359,02	168,695	1238,364	-8,2598	-635,5954
804	SLU1_piazza	Combination		-486,611	113,528	1743,082	-5,4661	-902,5587
804	SLU1_sbalzo	Combination		-478,622	125,666	1747,722	-6,1548	-886,7026
804	COMBOX	Combination	Max	-346,55	2864,45	1885,733	103,6102	475,5014
804	COMBOX	Combination	Min	-1391,702	-1780,197	615,793	-163,9693	-3421,8061
804	COMBOY	Combination	Max	-493,323	3473,543	1789,367	137,7683	-156,0992
804	COMBOY	Combination	Min	-1244,928	-2389,29	712,16	-198,1274	-2790,2056
804	COMBOZ	Combination	Max	-511,012	1997,232	2031,277	53,5386	-376,9028
804	COMBOZ	Combination	Min	-1227,24	-912,98	470,25	-113,8978	-2569,4019
804	SLS1_piazza	Combination		-372,516	89,977	1335,786	-4,3587	-690,6721
804	SLS1_sbalzo	Combination		-369,321	94,833	1337,642	-4,6342	-684,3297
812	SLU1_piazza	Combination		-494,598	46,217	1812,696	-1,9238	-893,0637
812	SLU1_sbalzo	Combination		-486,158	58,995	1818,837	-2,6406	-877,2905
812	COMBOX	Combination	Max	-320,829	2763,5	2041,811	104,6562	602,9327
812	COMBOX	Combination	Min	-1441,561	-1823,817	529,932	-156,891	-3547,9422

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0

812	COMBOY	Combination	Max	-482,476	3394,622	1919,371	140,2848	-95,2945
812	COMBOY	Combination	Min	-1279,914	-2454,939	652,372	-192,5195	-2849,715
812	COMBOZ	Combination	Max	-503,801	1913,003	2132,198	56,2692	-323,2344
812	COMBOZ	Combination	Min	-1258,589	-973,32	439,545	-108,504	-2621,7751
812	SLS1_piazza	Combination		-378,606	38,431	1389,371	-1,6444	-683,5559
812	SLS1_sbalzo	Combination		-375,229	43,542	1391,827	-1,9311	-677,2466
820	SLU1_piazza	Combination		-498,235	4,694	1846,024	0,0584	-922,6208
820	SLU1_sbalzo	Combination		-489,384	17,416	1854,415	-0,6487	-905,5983
820	COMBOX	Combination	Max	-292,965	2631,282	2095,97	102,55	714,6428
820	COMBOX	Combination	Min	-1484,903	-1801,152	515,844	-149,0578	-3733,7119
820	COMBOY	Combination	Max	-469,692	3290,751	1967,832	139,8768	-53,6548
820	COMBOY	Combination	Min	-1308,175	-2460,622	643,982	-186,3846	-2965,4143
820	COMBOZ	Combination	Max	-494,549	1822,827	2174,288	56,8106	-286,4786
820	COMBOZ	Combination	Min	-1283,318	-992,698	437,526	-103,3184	-2732,5904
820	SLS1_piazza	Combination		-381,361	6,479	1415,223	-0,117	-706,1073
820	SLS1_sbalzo	Combination		-377,821	11,567	1418,579	-0,3999	-699,2983
828	SLU1_piazza	Combination		-497,783	-19,444	1860,068	1,3019	-891,9545
828	SLU1_sbalzo	Combination		-488,537	-7,257	1870,913	0,6263	-875,0037
828	COMBOX	Combination	Max	-264,083	2482,952	2097,778	98,6738	845,312
828	COMBOX	Combination	Min	-1521,271	-1739,397	537,266	-140,3696	-3831,8351
828	COMBOY	Combination	Max	-456,085	3173,909	1973,454	137,8485	13,1334
828	COMBOY	Combination	Min	-1329,269	-2430,354	661,59	-179,5443	-2999,6565
828	COMBOZ	Combination	Max	-483,922	1730,653	2184,235	56,2826	-229,3184
828	COMBOZ	Combination	Min	-1301,433	-987,098	450,809	-97,9784	-2757,2047
828	SLS1_piazza	Combination		-380,976	-12,245	1426,246	0,8485	-682,7449
828	SLS1_sbalzo	Combination		-377,277	-7,37	1430,584	0,5783	-675,9646
836	SLU1_piazza	Combination		-494,121	-30,937	1866,475	1,9053	-902,4906
836	SLU1_sbalzo	Combination		-484,463	-19,633	1879,6	1,2782	-884,321
836	COMBOX	Combination	Max	-235,225	2331,839	2078,616	93,7851	954,4658
836	COMBOX	Combination	Min	-1551,066	-1656,725	572,959	-131,6496	-3984,4217
836	COMBOY	Combination	Max	-442,831	3054,876	1962,412	134,7968	55,3951
836	COMBOY	Combination	Min	-1343,46	-2379,762	689,164	-172,6613	-3085,351
836	COMBOZ	Combination	Max	-472,503	1641,03	2180,445	54,9459	-191,915
836	COMBOZ	Combination	Min	-1313,788	-965,917	471,13	-92,8104	-2838,0409
836	SLS1_piazza	Combination		-378,114	-21,327	1431,304	1,3259	-690,672
836	SLS1_sbalzo	Combination		-374,25	-16,806	1436,553	1,0751	-683,4041
844	SLU1_piazza	Combination		-487,451	-34,396	1873,479	2,0007	-860,4326
844	SLU1_sbalzo	Combination		-477,362	-24,207	1888,437	1,4346	-841,9794
844	COMBOX	Combination	Max	-206,494	2185,605	2057,177	88,6195	1083,9924

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

844	COMBOX	Combination	Min	-1574,618	-1566,49	612,983	-123,4743	-4064,6878
844	COMBOY	Combination	Max	-430,021	2939,772	1950,248	131,4125	123,0292
844	COMBOY	Combination	Min	-1351,091	-2320,658	719,912	-166,2674	-3103,7247
844	COMBOZ	Combination	Max	-460,27	1556,15	2175,364	53,234	-132,3884
844	COMBOZ	Combination	Min	-1320,842	-937,035	494,796	-88,0888	-2848,3071
844	SLS1_piazza	Combination		-372,925	-24,266	1436,678	1,4147	-658,4481
844	SLS1_sbalzo	Combination		-368,889	-20,19	1442,662	1,1882	-651,0668
852	SLU1_piazza	Combination		-478,595	-35,002	1883,98	2,116	-857,8703
852	SLU1_sbalzo	Combination		-468,068	-26,056	1900,165	1,6156	-838,1332
852	COMBOX	Combination	Max	-177,413	2045,877	2043,302	83,5852	1190,6156
852	COMBOX	Combination	Min	-1594,331	-1477,526	650,083	-115,4313	-4191,8196
852	COMBOY	Combination	Max	-417,118	2828,854	1944,253	127,9981	164,9858
852	COMBOY	Combination	Min	-1354,625	-2260,503	749,133	-159,8442	-3166,1899
852	COMBOZ	Combination	Max	-447,175	1474,85	2175,205	51,5235	-93,188
852	COMBOZ	Combination	Min	-1324,568	-906,499	518,181	-83,3696	-2908,016
852	SLS1_piazza	Combination		-366,037	-25,003	1444,599	1,5177	-656,2193
852	SLS1_sbalzo	Combination		-361,826	-21,424	1451,074	1,3176	-648,3245
860	SLU1_piazza	Combination		-467,938	-33,883	1897,418	1,9916	-809,5788
860	SLU1_sbalzo	Combination		-457,005	-26,244	1914,142	1,5614	-789,3315
860	COMBOX	Combination	Max	-147,284	1917,435	2042,083	78,9811	1317,095
860	COMBOX	Combination	Min	-1612,015	-1395,69	677,714	-108,3165	-4258,57
860	COMBOY	Combination	Max	-403,29	2725,887	1946,904	124,8446	231,1609
860	COMBOY	Combination	Min	-1356,009	-2204,142	772,893	-154,1801	-3172,6359
860	COMBOZ	Combination	Max	-432,949	1399,31	2182,568	49,8609	-31,0897
860	COMBOZ	Combination	Min	-1326,35	-877,564	537,229	-79,1964	-2910,3852
860	SLS1_piazza	Combination		-357,751	-24,381	1454,666	1,4354	-619,0559
860	SLS1_sbalzo	Combination		-353,378	-21,325	1461,355	1,2633	-610,957
868	SLU1_piazza	Combination		-456,466	-32,37	1912,755	2,0026	-799,2081
868	SLU1_sbalzo	Combination		-445,182	-26,035	1929,314	1,6411	-777,8527
868	COMBOX	Combination	Max	-116,254	1801,675	2056,881	75,0164	1419,6426
868	COMBOX	Combination	Min	-1629,366	-1324,682	690,862	-101,6672	-4365,8867
868	COMBOY	Combination	Max	-388,628	2630,54	1959,109	122,0135	271,0703
868	COMBOY	Combination	Min	-1356,992	-2153,546	788,634	-148,6643	-3217,3144
868	COMBOZ	Combination	Max	-417,794	1329,408	2199,319	48,4912	9,7185
868	COMBOZ	Combination	Min	-1327,826	-852,415	548,425	-75,1421	-2955,9626
868	SLS1_piazza	Combination		-348,826	-23,405	1466,133	1,454	-610,7305
868	SLS1_sbalzo	Combination		-344,313	-20,872	1472,757	1,3094	-602,1883
876	SLU1_piazza	Combination		-444,523	-28,368	1930,962	1,7422	-750,4662
876	SLU1_sbalzo	Combination		-432,969	-23,315	1946,687	1,4491	-728,7581

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

876	COMBOX	Combination	Max	-84,603	1704,608	2090,753	71,7812	1540,9455
876	COMBOX	Combination	Min	-1646,571	-1267,181	688,117	-96,2721	-4425,3138
876	COMBOY	Combination	Max	-373,3	2547,084	1982,254	119,5541	334,4069
876	COMBOY	Combination	Min	-1357,874	-2109,656	796,616	-144,045	-3218,7752
876	COMBOZ	Combination	Max	-401,686	1268,643	2228,537	47,277	74,0539
876	COMBOZ	Combination	Min	-1329,488	-831,216	550,333	-71,768	-2958,4222
876	SLS1_piazza	Combination		-339,533	-20,474	1479,806	1,2623	-573,1138
876	SLS1_sbalzo	Combination		-334,911	-18,453	1486,096	1,145	-564,4306
884	SLU1_piazza	Combination		-432,77	-22,936	1954,815	1,5293	-737,4528
884	SLU1_sbalzo	Combination		-421,042	-19,125	1969,084	1,3014	-715,1507
884	COMBOX	Combination	Max	-52,986	1628,072	2145,592	69,5835	1638,7185
884	COMBOX	Combination	Min	-1663,941	-1227,134	672,089	-91,8694	-4520,6449
884	COMBOY	Combination	Max	-357,86	2474,876	2017,766	117,5828	372,756
884	COMBOY	Combination	Min	-1359,068	-2073,938	799,915	-139,8687	-3254,6824
884	COMBOZ	Combination	Max	-384,902	1217,075	2273,706	46,4897	117,2571
884	COMBOZ	Combination	Min	-1332,025	-816,137	543,975	-68,7756	-2999,1835
884	SLS1_piazza	Combination		-330,383	-16,409	1497,863	1,1048	-562,7253
884	SLS1_sbalzo	Combination		-325,691	-14,884	1503,57	1,0136	-553,8045
892	SLU1_piazza	Combination		-421,366	-16,513	1986,376	1,1427	-691,94
892	SLU1_sbalzo	Combination		-409,566	-13,918	1998,591	0,9802	-669,7615
892	COMBOX	Combination	Max	-21,854	1575,158	2220,313	68,5131	1753,6456
892	COMBOX	Combination	Min	-1681,12	-1208,478	647,177	-88,9096	-4577,496
892	COMBOY	Combination	Max	-342,601	2414,931	2065,344	116,1143	433,6598
892	COMBOY	Combination	Min	-1360,372	-2048,251	802,146	-136,5107	-3257,5102
892	COMBOZ	Combination	Max	-367,552	1176,019	2335,893	46,0831	184,6344
892	COMBOZ	Combination	Min	-1335,421	-809,339	531,598	-66,4796	-3008,4848
892	SLS1_piazza	Combination		-321,503	-11,564	1521,912	0,8135	-527,5631
892	SLS1_sbalzo	Combination		-316,784	-10,526	1526,798	0,7485	-518,6916
900	SLU1_piazza	Combination		-410,961	-11,989	2025,243	0,951	-679,7712
900	SLU1_sbalzo	Combination		-399,193	-10,548	2034,821	0,8501	-657,6572
900	COMBOX	Combination	Max	7,945	1545,972	2308,994	68,9947	1844,3174
900	COMBOX	Combination	Min	-1698,216	-1216,128	618,84	-87,223	-4664,4086
900	COMBOY	Combination	Max	-328,23	2365,274	2121,218	115,4378	469,7441
900	COMBOY	Combination	Min	-1362,041	-2035,43	806,615	-133,6661	-3289,8354
900	COMBOZ	Combination	Max	-350,351	1144,751	2411,344	46,4463	229,6186
900	COMBOZ	Combination	Min	-1339,92	-814,907	516,49	-64,6747	-3049,7098
900	SLS1_piazza	Combination		-313,397	-8,171	1551,654	0,6713	-517,8517
900	SLS1_sbalzo	Combination		-308,69	-7,594	1555,485	0,6309	-509,0061
908	SLU1_piazza	Combination		-401,841	-10,2	2068,59	0,843	-641,2569

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0

908	SLU1_sbalzo	Combination		-390,206	-9,78	2075,015	0,7984	-619,817
908	COMBOX	Combination	Max	35,698	1541,365	2401,623	71,0074	1947,3068
908	COMBOX	Combination	Min	-1714,916	-1252,566	592,803	-86,9159	-4718,7581
908	COMBOY	Combination	Max	-315,242	2325,41	2178,717	115,4258	524,447
908	COMBOY	Combination	Min	-1363,976	-2036,611	815,708	-131,3343	-3295,8982
908	COMBOZ	Combination	Max	-334,064	1124,096	2491,701	47,5559	294,7878
908	COMBOZ	Combination	Min	-1345,155	-835,298	502,725	-63,4644	-3066,2391
908	SLS1_piazza	Combination		-306,29	-6,876	1584,921	0,5935	-488,0953
908	SLS1_sbalzo	Combination		-301,636	-6,709	1587,491	0,5756	-479,5194
916	SLU1_piazza	Combination		-394,738	-12,344	2112,842	0,9719	-635,0416
916	SLU1_sbalzo	Combination		-383,319	-12,7	2115,787	0,9707	-614,2174
916	COMBOX	Combination	Max	60,364	1560,7	2486,594	74,8097	2023,0039
916	COMBOX	Combination	Min	-1731,376	-1319,112	575,198	-88,1079	-4797,3182
916	COMBOY	Combination	Max	-304,493	2294,553	2230,441	116,5246	552,1841
916	COMBOY	Combination	Min	-1366,518	-2052,965	831,351	-129,8227	-3326,4983
916	COMBOZ	Combination	Max	-320,031	1114,352	2566,74	49,6894	332,2217
916	COMBOZ	Combination	Min	-1350,98	-872,764	495,052	-62,9876	-3106,536
916	SLS1_piazza	Combination		-300,748	-8,605	1618,971	0,6973	-483,028
916	SLS1_sbalzo	Combination		-296,18	-8,747	1620,149	0,6969	-474,6983
924	SLU1_piazza	Combination		-389,951	-18,285	2154,256	1,2576	-608,4774
924	SLU1_sbalzo	Combination		-378,814	-19,09	2153,74	1,283	-588,6823
924	COMBOX	Combination	Max	81,235	1602,941	2553,727	79,9359	2104,609
924	COMBOX	Combination	Min	-1747,376	-1415,367	570,65	-89,988	-4847,0413
924	COMBOY	Combination	Max	-296,515	2271,342	2269,02	117,3718	593,0803
924	COMBOY	Combination	Min	-1369,626	-2083,769	855,357	-127,4239	-3335,5127
924	COMBOZ	Combination	Max	-309,318	1115,182	2626,903	52,4757	381,9827
924	COMBOZ	Combination	Min	-1356,822	-927,609	497,474	-62,5278	-3124,4151
924	SLS1_piazza	Combination		-297,007	-13,264	1650,934	0,9237	-462,5333
924	SLS1_sbalzo	Combination		-292,552	-13,586	1650,727	0,9339	-454,6153
932	SLU1_piazza	Combination		-261,619	-16,912	1472,151	1,3512	-421,1555
932	SLU1_sbalzo	Combination		-254,292	-17,549	1470,151	1,3799	-408,1388
932	COMBOX	Combination	Max	64,538	1110,127	1746,793	65,41	1441,5474
932	COMBOX	Combination	Min	-1187,258	-1011,881	387,426	-70,6874	-3313,1056
932	COMBOY	Combination	Max	-196,985	1525,494	1554,754	90,8335	400,0681
932	COMBOY	Combination	Min	-925,735	-1427,248	579,466	-96,1108	-2271,6263
932	COMBOZ	Combination	Max	-204,571	756,92	1797,066	42,5245	260,2373
932	COMBOZ	Combination	Min	-918,149	-658,673	337,154	-47,8018	-2131,7955
932	SLS1_piazza	Combination		-199,231	-12,518	1128,341	1,0104	-320,0727
932	SLS1_sbalzo	Combination		-196,3	-12,773	1127,541	1,0219	-314,866

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

940	SLU1_piazza	Combination		-321,554	-39,92	1828,361	2,3104	-510,5714
940	SLU1_sbalzo	Combination		-312,825	-40,591	1823,399	2,3441	-495,6634
940	COMBOX	Combination	Max	87,127	1453,325	2152,813	85,0804	1820,846
940	COMBOX	Combination	Min	-1465,765	-1419,122	500,065	-87,8671	-4114,093
940	COMBOY	Combination	Max	-240,922	1854,024	1891,108	110,7004	508,8573
940	COMBOY	Combination	Min	-1137,715	-1819,821	761,77	-113,4872	-2802,1043
940	COMBOZ	Combination	Max	-249,869	944,173	2211,153	54,6366	339,3748
940	COMBOZ	Combination	Min	-1128,769	-909,97	441,725	-57,4234	-2632,6219
940	SLS1_piazza	Combination		-244,874	-30,314	1401,684	1,7518	-387,9915
940	SLS1_sbalzo	Combination		-241,383	-30,582	1399,699	1,7653	-382,0283
948	SLU1_piazza	Combination		-393,594	-66,798	2215,255	3,6311	-614,4495
948	SLU1_sbalzo	Combination		-383,312	-67,476	2208,216	3,6633	-597,284
948	COMBOX	Combination	Max	109,765	1836,958	2580,363	104,3777	2236,0519
948	COMBOX	Combination	Min	-1787,212	-1865,557	628,931	-103,0854	-5011,6346
948	COMBOY	Combination	Max	-294,914	2235,17	2271,031	127,2054	626,199
948	COMBOY	Combination	Min	-1382,533	-2263,768	938,263	-125,9131	-3401,7818
948	COMBOZ	Combination	Max	-306,695	1156,079	2656,631	66,1787	418,399
948	COMBOZ	Combination	Min	-1370,752	-1184,678	552,663	-64,8864	-3193,9818
948	SLS1_piazza	Combination		-299,792	-51,118	1698,447	2,7786	-467,0485
948	SLS1_sbalzo	Combination		-295,679	-51,389	1695,631	2,7915	-460,1823
956	SLU1_piazza	Combination		-401,435	-90,483	2194,025	4,9486	-644,7164
956	SLU1_sbalzo	Combination		-391,44	-91,052	2186,634	4,9802	-627,9857
956	COMBOX	Combination	Max	109,153	1944,521	2522,344	115,9888	2243,1352
956	COMBOX	Combination	Min	-1800,44	-2060,508	648,509	-109,7865	-5072,4107
956	COMBOY	Combination	Max	-301,856	2232,568	2224,305	132,701	609,1636
956	COMBOY	Combination	Min	-1389,431	-2348,555	946,548	-126,4987	-3438,4391
956	COMBOZ	Combination	Max	-315,853	1175,602	2604,275	72,55	394,3263
956	COMBOZ	Combination	Min	-1375,434	-1291,589	566,578	-66,3476	-3223,6018
956	SLS1_piazza	Combination		-305,876	-69,62	1682,191	3,8073	-490,3559
956	SLS1_sbalzo	Combination		-301,878	-69,847	1679,235	3,82	-483,6636
964	SLU1_piazza	Combination		-412,125	-110,845	2147,981	5,9033	-660,363
964	SLU1_sbalzo	Combination		-402,393	-111,403	2141,085	5,9399	-644,3496
964	COMBOX	Combination	Max	103,338	2068,142	2444,8	127,1455	2246,941
964	COMBOX	Combination	Min	-1812,516	-2269,063	646,841	-116,2942	-5103,7166
964	COMBOY	Combination	Max	-311,82	2237,189	2161,096	136,7032	599,6594
964	COMBOY	Combination	Min	-1397,358	-2438,11	930,545	-125,852	-3456,435
964	COMBOZ	Combination	Max	-328,952	1199,491	2528,318	78,1654	375,6156
964	COMBOZ	Combination	Min	-1380,227	-1400,413	563,322	-67,3142	-3232,3911
964	SLS1_piazza	Combination		-314,184	-85,575	1646,705	4,5585	-502,6633

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

964	SLS1_sbalzo	Combination		-310,291	-85,798	1643,946	4,5732	-496,2579
972	SLU1_piazza	Combination		-299,373	-86,8	1484,71	5,3359	-499,2971
972	SLU1_sbalzo	Combination		-292,641	-87,24	1480,497	5,3716	-487,8851
972	COMBOX	Combination	Max	67,12	1535,952	1671,485	110,4028	1576,3764
972	COMBOX	Combination	Min	-1288,605	-1719,681	458,445	-98,4631	-3650,2192
972	COMBOY	Combination	Max	-227,78	1591,327	1492,34	112,7689	402,5156
972	COMBOY	Combination	Min	-993,705	-1775,056	637,59	-100,8292	-2476,3584
972	COMBOZ	Combination	Max	-242,08	864,644	1738,668	66,8362	238,3083
972	COMBOZ	Combination	Min	-979,405	-1048,374	391,262	-54,8964	-2312,151
972	SLS1_piazza	Combination		-228,351	-67,128	1138,045	4,1292	-380,3485
972	SLS1_sbalzo	Combination		-225,659	-67,304	1136,36	4,1435	-375,7836
980	SLU1_piazza	Combination		-346,977	-104,011	1586,372	6,0648	-598,2351
980	SLU1_sbalzo	Combination		-339,623	-104,866	1583,61	6,1239	-585,8557
980	COMBOX	Combination	Max	66,738	1911,177	1834,963	132,7074	1743,1265
980	COMBOX	Combination	Min	-1455,039	-2195,675	415,984	-116,3751	-4131,1597
980	COMBOY	Combination	Max	-264,979	1820,065	1612,21	128,8082	423,5124
980	COMBOY	Combination	Min	-1123,323	-2104,562	638,737	-112,4758	-2811,5456
980	COMBOZ	Combination	Max	-283,674	1017,818	1869,705	78,8344	228,9347
980	COMBOZ	Combination	Min	-1104,628	-1302,316	381,242	-62,5021	-2616,968
980	SLS1_piazza	Combination		-264,845	-80,632	1215,512	4,7018	-456,3755
980	SLS1_sbalzo	Combination		-261,903	-80,975	1214,407	4,7255	-451,4238
988	SLU1_piazza	Combination		-451,814	-128,791	1939,281	6,8499	-769,6302
988	SLU1_sbalzo	Combination		-442,799	-130,372	1937,853	6,9514	-754,8002
988	COMBOX	Combination	Max	69,806	2557,664	2284,952	165,1339	2169,2471
988	COMBOX	Combination	Min	-1842,759	-2963,484	446,871	-143,1736	-5201,0908
988	COMBOY	Combination	Max	-346,753	2329,636	1998,936	153,1021	516,0451
988	COMBOY	Combination	Min	-1426,2	-2735,456	732,887	-131,1417	-3547,8888
988	COMBOZ	Combination	Max	-373,053	1325,236	2303,167	96,3308	263,5503
988	COMBOZ	Combination	Min	-1399,9	-1731,056	428,656	-74,3704	-3295,3939
988	SLS1_piazza	Combination		-345,115	-99,952	1485,613	5,3178	-587,7196
988	SLS1_sbalzo	Combination		-341,508	-100,584	1485,041	5,3584	-581,7876
996	SLU1_piazza	Combination		-467,93	-121,39	1875,235	6,4591	-828,0366
996	SLU1_sbalzo	Combination		-459,241	-123,844	1876,289	6,6133	-813,4395
996	COMBOX	Combination	Max	52,216	2762,427	2299,325	181,1769	2118,4144
996	COMBOX	Combination	Min	-1850,282	-3223,062	316,946	-155,894	-5243,3864
996	COMBOY	Combination	Max	-360,603	2389,682	1982,514	160,6133	473,238
996	COMBOY	Combination	Min	-1437,463	-2850,317	633,757	-135,3303	-3598,21
996	COMBOZ	Combination	Max	-389,09	1389,06	2264,309	103,8103	215,3077
996	COMBOZ	Combination	Min	-1408,977	-1849,694	351,962	-78,5273	-3340,2797

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

996	SLS1_piazza	Combination		-357,712	-94,367	1436,317	5,025	-633,0253
996	SLS1_sbalzo	Combination		-354,237	-95,348	1436,738	5,0866	-627,1865
1004	SLU1_piazza	Combination		-482,841	-111,815	1825,074	6,0238	-847,9905
1004	SLU1_sbalzo	Combination		-474,535	-115,385	1828,512	6,2388	-834,4554
1004	COMBOX	Combination	Max	32,379	2981,381	2345,764	196,3769	2063,2659
1004	COMBOX	Combination	Min	-1852,986	-3497,12	174,644	-167,8791	-5213,0463
1004	COMBOY	Combination	Max	-374,097	2459,825	1988,425	167,4915	445,4262
1004	COMBOY	Combination	Min	-1446,51	-2975,564	531,983	-138,9937	-3595,2066
1004	COMBOZ	Combination	Max	-403,723	1460,279	2248,329	110,8681	183,5521
1004	COMBOZ	Combination	Min	-1416,884	-1976,018	272,079	-82,3703	-3333,3325
1004	SLS1_piazza	Combination		-369,399	-87,118	1397,838	4,6967	-649,0043
1004	SLS1_sbalzo	Combination		-366,076	-88,546	1399,213	4,7827	-643,5903
1012	SLU1_piazza	Combination		-496,029	-103,722	1791,138	5,5919	-905,4036
1012	SLU1_sbalzo	Combination		-488,156	-108,626	1796,675	5,8808	-892,4004
1012	COMBOX	Combination	Max	10,305	3211,906	2415,902	213,2188	1994,0113
1012	COMBOX	Combination	Min	-1849,986	-3789,02	32,616	-181,1684	-5233,1398
1012	COMBOY	Combination	Max	-387,239	2538,142	2013,249	175,5978	399,5053
1012	COMBOY	Combination	Min	-1452,442	-3115,255	435,269	-143,5474	-3638,6338
1012	COMBOZ	Combination	Max	-417,131	1536,554	2251,786	118,8605	136,5942
1012	COMBOZ	Combination	Min	-1422,55	-2113,668	196,732	-86,8101	-3375,7227
1012	SLS1_piazza	Combination		-379,765	-81,048	1371,947	4,3742	-693,6108
1012	SLS1_sbalzo	Combination		-376,616	-83,01	1374,162	4,4898	-688,4095
1020	SLU1_piazza	Combination		-506,503	-103,28	1771,322	5,549	-910,6584
1020	SLU1_sbalzo	Combination		-499,119	-109,67	1778,529	5,9194	-899,0282
1020	COMBOX	Combination	Max	-13,241	3438,897	2493,953	230,4118	1918,7607
1020	COMBOX	Combination	Min	-1840,309	-4091,502	-94,501	-194,1115	-5154,7927
1020	COMBOY	Combination	Max	-399,432	2614,736	2048,084	184,2135	370,7872
1020	COMBOY	Combination	Min	-1454,118	-3267,34	351,368	-147,9131	-3606,8192
1020	COMBOZ	Combination	Max	-429,165	1609,062	2265,935	127,2823	106,5446
1020	COMBOZ	Combination	Min	-1424,385	-2261,667	133,517	-90,9819	-3342,5766
1020	SLS1_piazza	Combination		-388,045	-80,897	1356,976	4,3523	-698,3051
1020	SLS1_sbalzo	Combination		-385,092	-83,453	1359,858	4,5004	-693,653
1028	SLU1_piazza	Combination		-513,986	-117,382	1756,902	6,312	-961,0466
1028	SLU1_sbalzo	Combination		-507,139	-125,33	1765,247	6,7681	-950,1259
1028	COMBOX	Combination	Max	-37,452	3642,854	2550,594	248,5892	1832,7054
1028	COMBOX	Combination	Min	-1824,163	-4393,901	-185,956	-206,6078	-5144,5369
1028	COMBOY	Combination	Max	-410,238	2676,951	2074,117	193,9177	323,2312
1028	COMBOY	Combination	Min	-1451,377	-3427,998	290,521	-151,9364	-3635,0627
1028	COMBOZ	Combination	Max	-439,897	1666,65	2273,804	136,6483	58,8685

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

1028	COMBOZ	Combination	Min	-1421,719	-2417,697	90,835	-94,6669	-3370,6999
1028	SLS1_piazza	Combination		-394,015	-91,947	1346,181	4,9514	-737,4573
1028	SLS1_sbalzo	Combination		-391,276	-95,126	1349,519	5,1338	-733,089
1036	SLU1_piazza	Combination		-517,503	-152,45	1733,778	7,9896	-946,0729
1036	SLU1_sbalzo	Combination		-511,241	-161,855	1742,717	8,5287	-936,7376
1036	COMBOX	Combination	Max	-62,065	3781,713	2527,694	264,4327	1737,9226
1036	COMBOX	Combination	Min	-1799,837	-4659,152	-194,805	-215,6272	-5009,8894
1036	COMBOY	Combination	Max	-419,306	2699,574	2055,446	202,7226	293,5404
1036	COMBOY	Combination	Min	-1442,596	-3577,013	277,443	-153,9172	-3565,5071
1036	COMBOZ	Combination	Max	-449,327	1688,692	2246,466	145,3414	26,6599
1036	COMBOZ	Combination	Min	-1412,575	-2566,13	86,422	-96,5359	-3298,6267
1036	SLS1_piazza	Combination		-396,92	-119,084	1328,718	6,2522	-726,5007
1036	SLS1_sbalzo	Combination		-394,415	-122,846	1332,293	6,4679	-722,7666
1044	SLU1_piazza	Combination		-516,674	-218,59	1681,268	11,428	-982,4758
1044	SLU1_sbalzo	Combination		-511,034	-229,021	1690,482	12,0299	-974,0119
1044	COMBOX	Combination	Max	-86,716	3803,426	2319,079	278,486	1642,6423
1044	COMBOX	Combination	Min	-1766,57	-4847,064	-27,747	-220,2129	-4965,3909
1044	COMBOY	Combination	Max	-426,409	2650,274	1930,608	211,2928	249,1899
1044	COMBOY	Combination	Min	-1426,877	-3693,911	360,725	-153,0197	-3571,9385
1044	COMBOZ	Combination	Max	-457,355	1648,464	2137,031	154,0569	-21,6745
1044	COMBOZ	Combination	Min	-1395,931	-2692,101	154,302	-95,7838	-3301,0741
1044	SLS1_piazza	Combination		-396,457	-170,001	1288,748	8,9022	-754,7531
1044	SLS1_sbalzo	Combination		-394,201	-174,173	1292,434	9,1429	-751,3675
1052	SLU1_piazza	Combination		-509,479	-322,464	1570,606	16,5999	-929,3116
1052	SLU1_sbalzo	Combination		-504,501	-333,009	1580,487	17,2213	-922,7882
1052	COMBOX	Combination	Max	-110,867	3618,996	1754,244	283,3245	1533,0327
1052	COMBOX	Combination	Min	-1719,729	-4870,897	474,333	-213,8057	-4739,3725
1052	COMBOY	Combination	Max	-430,476	2477,476	1632,028	215,1654	227,0547
1052	COMBOY	Combination	Min	-1400,121	-3729,377	596,549	-145,6465	-3433,3945
1052	COMBOZ	Combination	Max	-462,678	1505,267	1884,927	159,1511	-49,393
1052	COMBOZ	Combination	Min	-1367,918	-2757,168	343,65	-89,6323	-3156,9468
1052	SLS1_piazza	Combination		-391,075	-249,704	1204,34	12,8734	-714,286
1052	SLS1_sbalzo	Combination		-389,083	-253,922	1208,292	13,1219	-711,6766
1060	SLU1_piazza	Combination		-491,099	-463,624	1369,224	24,4836	-900,864
1060	SLU1_sbalzo	Combination		-486,861	-472,906	1381,612	25,0536	-895,9137
1060	COMBOX	Combination	Max	-129,706	3151,761	2161,128	280,7855	1448,2928
1060	COMBOX	Combination	Min	-1649,629	-4647,612	-9,568	-196,1013	-4549,5852
1060	COMBOY	Combination	Max	-426,066	2139	1883,275	215,8384	221,7454
1060	COMBOY	Combination	Min	-1353,268	-3634,851	268,285	-131,1542	-3323,0378

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0

1060	COMBOZ	Combination	Max	-459,654	1227,84	1985,475	162,1825	-62,8884
1060	COMBOZ	Combination	Min	-1319,68	-2723,691	166,085	-77,4984	-3038,404
1060	SLS1_piazza	Combination		-377,074	-357,761	1050,804	18,914	-692,59
1060	SLS1_sbalzo	Combination		-375,379	-361,474	1055,759	19,142	-690,6099
1068	SLU1_piazza	Combination		-443,977	-592,426	1086,778	33,1771	-703,3512
1068	SLU1_sbalzo	Combination		-440,75	-599,111	1105,537	33,6278	-701,7915
1068	COMBOX	Combination	Max	-124,989	2327,465	4785,281	260,3462	1381,3607
1068	COMBOX	Combination	Min	-1522,406	-3997,184	-2594,826	-159,5035	-3980,3142
1068	COMBOY	Combination	Max	-392,858	1616,274	3448,158	206,9818	300,8037
1068	COMBOY	Combination	Min	-1254,537	-3285,993	-1257,703	-106,1391	-2899,7572
1068	COMBOZ	Combination	Max	-428,303	811,861	3051,311	157,6312	13,1728
1068	COMBOZ	Combination	Min	-1219,093	-2481,579	-860,856	-56,7885	-2612,1263
1068	SLS1_piazza	Combination		-340,998	-456,043	836,024	25,5616	-541,1956
1068	SLS1_sbalzo	Combination		-339,707	-458,717	843,527	25,7419	-540,5716
1725	SLU1_piazza	Combination		-214,839	-65,124	1024,869	4,7653	-345,0708
1725	SLU1_sbalzo	Combination		-210,134	-65,513	1022,426	4,7983	-337,5727
1725	COMBOX	Combination	Max	45,428	1147,585	1170,467	98,1597	1114,304
1725	COMBOX	Combination	Min	-914,619	-1305,3	292,073	-86,6529	-2566,3822
1725	COMBOY	Combination	Max	-163,671	1137,459	1032,681	97,9101	287,5732
1725	COMBOY	Combination	Min	-705,519	-1295,174	429,859	-86,4033	-1739,6513
1725	COMBOZ	Combination	Max	-174,573	627,085	1203,057	58,9982	167,8682
1725	COMBOZ	Combination	Min	-694,618	-784,8	259,483	-47,4913	-1619,9464
1725	SLS1_piazza	Combination		-163,921	-50,433	785,423	3,6904	-263,0595
1725	SLS1_sbalzo	Combination		-162,039	-50,589	784,446	3,7037	-260,0603
1726	SLU1_piazza	Combination		-194,02	-17,686	1101,3	1,2816	-290,9784
1726	SLU1_sbalzo	Combination		-188,647	-18,147	1098,913	1,3107	-281,8781
1726	COMBOX	Combination	Max	50,512	853,815	1304,646	59,5282	1099,4286
1726	COMBOX	Combination	Min	-883,794	-806,848	295,197	-63,3011	-2455,944
1726	COMBOY	Combination	Max	-145,607	1128,922	1145,122	80,5032	318,4936
1726	COMBOY	Combination	Min	-687,674	-1081,956	454,721	-84,2761	-1675,0091
1726	COMBOZ	Combination	Max	-151,015	567,979	1338,581	38,4816	216,6211
1726	COMBOZ	Combination	Min	-682,267	-521,013	261,262	-42,2545	-1573,1366
1726	SLS1_piazza	Combination		-147,747	-13,297	844,211	0,9627	-221,0795
1726	SLS1_sbalzo	Combination		-145,598	-13,482	843,256	0,9743	-217,4394

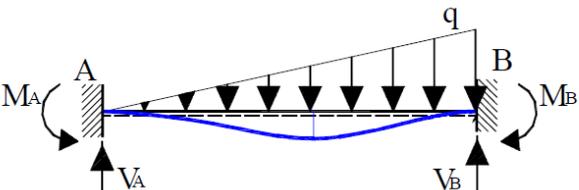
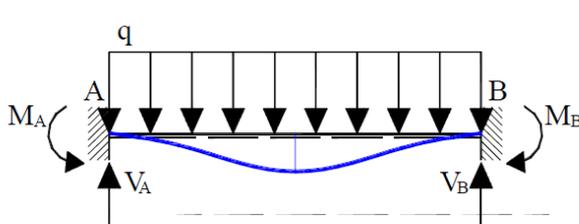
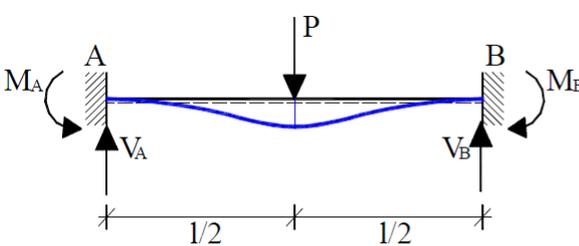
Come si evince dai dati riportati, e considerando che le azioni si scaricano su una lunghezza efficace di fondazione di circa 73 m, lo scarico complessivo in fondazione è il seguente (N.B. i valori riportati sono le reazioni vincolari, pertanto in fondazione agiranno le stesse forze, ma

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		Codice documento PG0095_F0.doc	Rev F0	Data 20/06/2011

cambiate di segno):

OutputCase	F1	F2	F3	M1	M2
Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m
SLU1_piazza	-17124,55	-1693,58	69427,136	97,4481	-29458,103
COMBOX	-3026,511	91804,933	92532,835	5128,0739	58282,5792
SLS1_piazza	-13094,77	-1285,797	53222,679	73,9948	-22525,246

I valori riportati sono stati verificati anche con un modello semplificato a trave di profondità unitaria. Poiché il muro è collegato rigidamente alla piazza che superiore, il modello che meglio schematizza il comportamento del muro è di trave incastro-incastro:

	$V_A = \frac{3}{20} ql; \quad V_B = \frac{7}{20} ql$ $M_A = \frac{1}{30} ql^2; \quad M_B = \frac{1}{20} ql^2$
	$V_A = V_B = \frac{ql}{2}$ $M_A = M_B = \frac{ql^2}{12}$
	$V_A = V_B = \frac{P}{2}$ $M_A = M_B = \frac{Pl}{8}$

In particolare si sono verificati le sollecitazioni nella condizione sismica (più gravosa), tenendo in considerazione i pesi propri, la spinta delle terre, i permanenti portati e le azioni sismiche.

Le sollecitazioni ottenute a estradosso fondazione nel modello semplificato sono le seguenti:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

L =	7,00 m	luce di calcolo
q1 =	34,00 kN/m	spinta del terreno
q2 =	57,57 kN/m	incrementi di spinta sismica
pp =	175,00 kN	peso proprio
port =	645,00 kN	permanenti portati
sis =	355,06 kN	inerzia sismica
M =	686,81 kNm	azione flettente
T =	462,33 kN	azione tagliante
N =	820,00 kN	sforzo normale

Dividendo i valori ottenuti dal modello di calcolo agli EF per la lunghezza del muro (lunghezza 73 m) si ottengono i valori per unità di lunghezza:

OutputCase	F1	F2	F3	M1	M2
Text	KN/m	KN/m	KN/m	KN-m/m	KN-m/m
COMBOX	-41,45905	1257,6018	1267,5731	70,247588	798,391496

E' immediato vedere che le azioni flettenti e normali sono dello stesso ordine di grandezza (un po' superiori le sollecitazioni ottenute nel modello agli EF), mentre l'azione tagliante è di un ordine di grandezza superiore rispetto a quanto ottenuto nel modello semplificato. I risultati sono in accordo con quello che ci si aspettava, e la differenza è dovuta al comportamento differente modellato nei due modelli: modello agli EF comportamento a lastra, modello semplificato comportamento a trave.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left; padding: 2px;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left; padding: 2px;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center; padding: 2px;">F0</td> <td style="text-align: center; padding: 2px;">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						

9 ANALISI STRUTTURALE DELL'ANFITEATRO

9.1 ANALISI DEI CARICHI

Nel seguente paragrafo si descrivono i carichi elementari da assumere per le verifiche dagli SLS, SLU ed in presenza dell'evento sismico.

Per i materiali si assumono i seguenti pesi specifici:

- calcestruzzo: 25 kN/m³
- terreno di rilevato: 19 kN/m³

9.1.1 Carichi permanenti strutturali (g₁)

Tutte le strutture sono in c.a. gettato in opera, il peso proprio della struttura viene eseguito in automatico dal programma, in funzione della sezione assegnata.

9.1.2 Carichi permanenti portati (g₃)

Pavimentazione in pietra sp.4 cm	=	0,04 x 27	=	1,08 kN/m ²
Allettamento sp.2,5 cm	=	0,025 x 17	=	0,425 kN/m ²
Gradini	=			5,76 kN/m ²

Totale carichi permanenti portati ≈ 7,50 kN/m²

9.1.3 Carichi dovuti alla spinte delle terre (g₃)

Il rinterro a ridosso del muro verrà realizzato tramite materiale arido di buone caratteristiche meccaniche. Per tale materiale si assumono i seguenti parametri:

- peso specifico $\gamma_t = 19 \text{ kN/m}^3$
- angolo di attrito $\phi = 35^\circ$

da cui risulta un coefficiente di spinta attiva $\lambda_a = 0,271$ ed un coefficiente di spinta a riposo $\lambda_o = 0,426$.

Per le verifiche in condizione GEO e SIS, si riducono i parametri geotecnici secondo i coefficienti γ_m , ottenendo quindi:

- peso specifico $\gamma_t = 19 \text{ kN/m}^3$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- angolo di attrito $\phi=29,26^\circ$

da cui risulta un coefficiente di spinta attiva $\lambda_a = 0,343$ ed un coefficiente di spinta a riposo $\lambda_o = 0,511$.

Essendo la struttura rigida, capace quindi di subire spostamenti di tipo roto-traslazionale limitati, a favore di sicurezza viene considerata la spinta della terra in condizione di spinta a riposo sia in fase statica che in fase sismica.

Si applicano, di conseguenza, i valori delle spinte secondo la profondità con $p_h = \lambda_o \gamma_t z$ e con il consueto diagramma triangolari delle pressioni orizzontali.

Caratteristiche del sistema muro-terreno:

peso per unità di volume terreno	$\gamma_{\text{terreno}} =$	19	kN/m ³
angolo di attrito interno del terreno	$\phi' =$	35	°
inclinazione del paramento	$\psi =$	90	°
angolo di attrito terreno-paramento	$\delta =$	0	°
angolo di inclinazione del terrapieno	$\beta =$	0	°
coefficiente di spinta a riposo	$K_0 =$	0,426	
altezza del paramento + fondazione	$h_{\text{paramento}} =$	7,00	m

Calcolo delle spinte sul paramento e loro quota di applicazione:

$$F_{x_{sp,terr}} = 1/2 * \gamma_{\text{terreno}} * h_{\text{paramento}}^2 * K_0 = 198,303 \text{ kN/m}$$

$$\text{applicata a } z_F = h_{\text{paramento}} / 3 = 2,33 \text{ m}$$

Per le verifiche in condizione GEO e SIS, le spinte sono le seguenti:

Caratteristiche del sistema muro-terreno:

peso per unità di volume terreno	$\gamma_{\text{terreno}} =$	19	kN/m ³
angolo di attrito interno del terreno	$\phi' =$	29,26	°
inclinazione del paramento	$\psi =$	90	°
angolo di attrito terreno-paramento	$\delta =$	0	°
angolo di inclinazione del terrapieno	$\beta =$	0	°
coefficiente di spinta a riposo	$K_0 =$	0,511	

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

altezza del paramento + fondazione $h_{\text{paramento}} = 7,00$ m

Calcolo delle spinte sul paramento e loro quota di applicazione: - -

$$F_{x_{sp,terr}} = 1/2 * \gamma_{\text{terreno}} * h_{\text{paramento}}^2 * K_0 = 237,870 \text{ kN}$$

$$\text{applicata a } z_F = h_{\text{paramento}} / 3 = 2,33 \text{ m}$$

9.1.4 Distorsioni e/o presollecitazioni (ϵ_1)

Essendo la struttura priva di ogni tipo di presollecitazione, tale contributo non è presente su tale opera.

9.1.5 Variazione termica uniforme (ϵ_3)

Essendo la struttura a contatto col terreno, e non direttamente esposta all'irraggiamento solare tale tipo di sollecitazione risulta trascurabile.

9.1.6 Azione sismica (q_6)

Come ampiamente descritto al paragrafo 7.1.6, anche per la struttura della piazza viene condotta un'analisi spettrale nelle 2 coordinate principali X e Z. Non viene condotta l'analisi dinamica, in quanto il modello analizzato è un modello semplificato che prende in esame una sezione di profondità unitaria dell'anfiteatro.

Gli input di calcolo sono i medesimi già descritti al paragrafo 7.1.6, a cui si rimanda per maggiori dettagli.

Oltre alle azioni inerziali prodotte dall'eccitazione dinamica del sisma, deve essere preso in conto anche l'incremento di spinta delle terre.

L'applicazione delle azioni sismiche dovute all'incremento di spinta del terreno viene affrontato mediante il metodo pseudostatico ([NT_1] § 7.11.6).

L'analisi sismica è stata fatta considerando il valore di ancoraggio dello spettro.

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

$$k_h = \beta_m \cdot \frac{a_{\max}}{g} = 0,433 \qquad k_v = \pm 0.5 * k_h = 0,216$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

dove

a_{max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g = accelerazione di gravità;

β = parametro riduttivo dell'azione sismica in accordo con il §7.11.6.2.1

A favore di sicurezza si assume che la struttura non ammetta spostamenti relativi rispetto al terreno, pertanto il coefficiente β_m , assume il valore 1.

Le spinte delle terre, considerando lo scatolare una struttura rigida e priva di spostamenti (NT § 7.11.6.2.1 e EC8-5 § .7.3.2.1), sono calcolate in regime di spinta a riposo che comporta il calcolo delle spinte sismiche in tali condizioni; l'incremento dinamico di spinta del terreno può essere calcolato come:

$$\Delta P_d = S \cdot a_g / g \cdot \gamma \cdot h_{tot}^2 = 0,433 \cdot 19 \cdot 7^2 = 403,12 \text{ kN/m}$$

Il punto di applicazione della spinta è posto $h_{tot}/2$, con "h_{tot}" altezza dal piano fondazione a intradosso piazza.

9.1.7 Azione variabile "folla" (q_9)

In accordo con la normativa vigente (vedi § 3.1.4 D.M. 14-01-2008), come indicato nella tabella 3.1.II, viene considerato un carico accidentale tipo C3: "ambienti suscettibili di affollamento privi di ostacoli per il libero movimento delle persone".

Il carico ad esso associato è pari a $q_{folla} = 5 \text{ kN/mq}$.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

9.2 MODELLO DI CALCOLO

9.2.1 PROGRAMMA DI CALCOLO UTILIZZATO

Vedi paragrafo 7.2.1.

9.2.2 DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO

Tutta l'anfiteatro è realizzato mediante calcestruzzo armato gettato in opera.

Lo schema statico adottato è quello di una struttura iperstatica chiusa, vincolata a terra mediante molle tipo alla Winkler.

Più in dettaglio, si sono modellate tutte le parti strutturali mediante elementi "beam", associate alle rispettive rigidità. L'analisi strutturale è condotta su un modello bidimensionale (analizzando quindi una striscia di struttura di profondità unitaria), sottoposto al peso proprio, ai sovraccarichi permanenti e alle azioni accidentali definite in precedenza.

L'interazione col terreno al di sotto della fondazione, è stata 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 della fondazione e della deformabilità della fondazione.

In particolare si definisce la rigidità dell'elemento "link", ricorrendo al metodo di Vesić (vedi riferimento bibliografico [B24]), il quale definisce in primo luogo il modulo di reazione del terreno come:

$$k_s = 0,65 \cdot \sqrt[12]{\frac{E_s \cdot B^4}{E_F \cdot I_F}} \cdot \frac{E_s}{1 - \mu^2} \quad \text{kN/m}^2$$

indicando con:

E_s, E_F = moduli elastici di deformazione rispettivamente del terreno e della fondazione [kN/m²]

I_F = momento d'inerzia della fondazione (riferito alla sezione retta) [m⁴]

μ = coefficiente di Poisson

B = dimensione trasversale della fondazione [m]

Al di sotto dell'impronta dell'anfiteatro, viene eseguito un riempimento in misto-cementato, per

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

migliorare le caratteristiche del terreno riportate, con la funzione di irrigidire la risposta dinamica del terreno sollecitato dai carichi variabili da folla. Il misto cementato deve essere esteso per circa 3 m al di sotto della fondazione.

Si assume quindi un modulo di deformazione è pari a $E_s = 30000 \text{ kN/m}^2$. Il terreno al di sotto della fondazione rimane così definito:

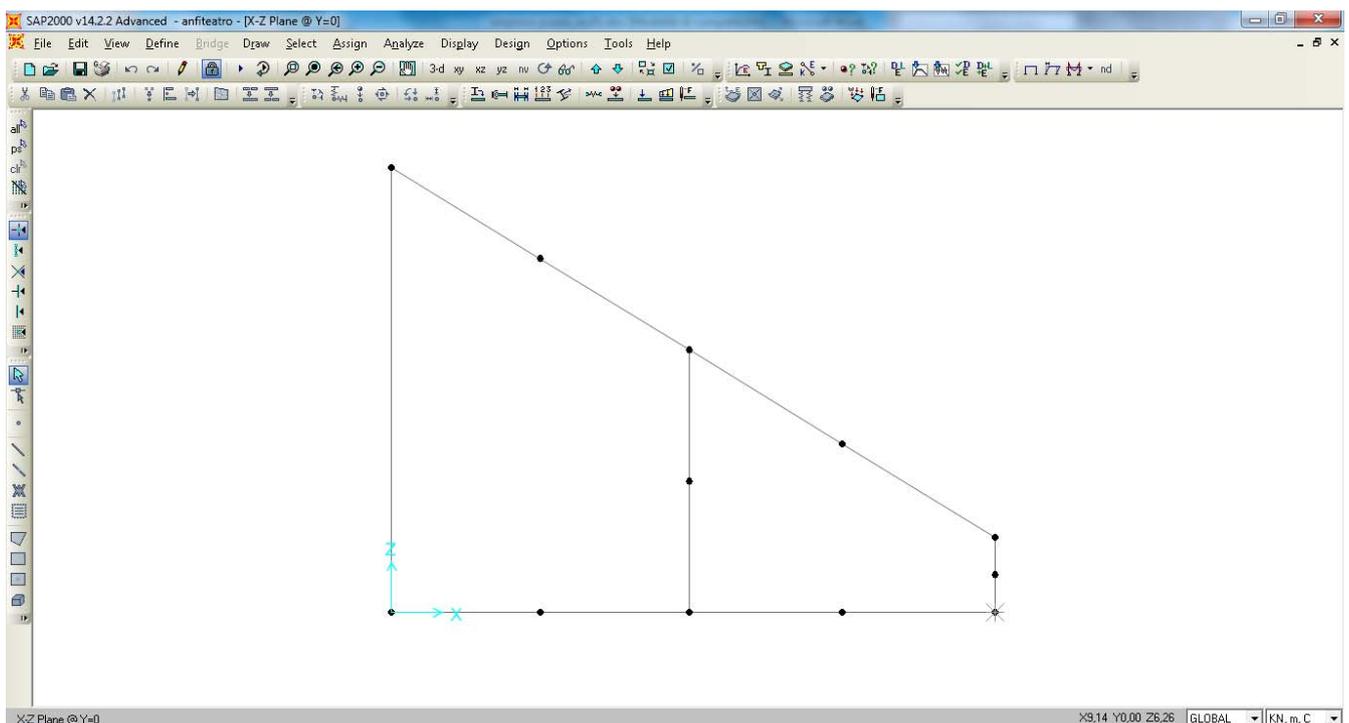
$\mu =$	0,3	
$E_s =$	30000	kN/mq
$E_F =$	33049000	kN/mq
$B =$	1,00	m
$I_F =$	0,28125	m^4
$k_s =$	13.286,15	kN/mq

Il valore implementato nel modello di calcolo è quindi pari a 13,28 MPa.

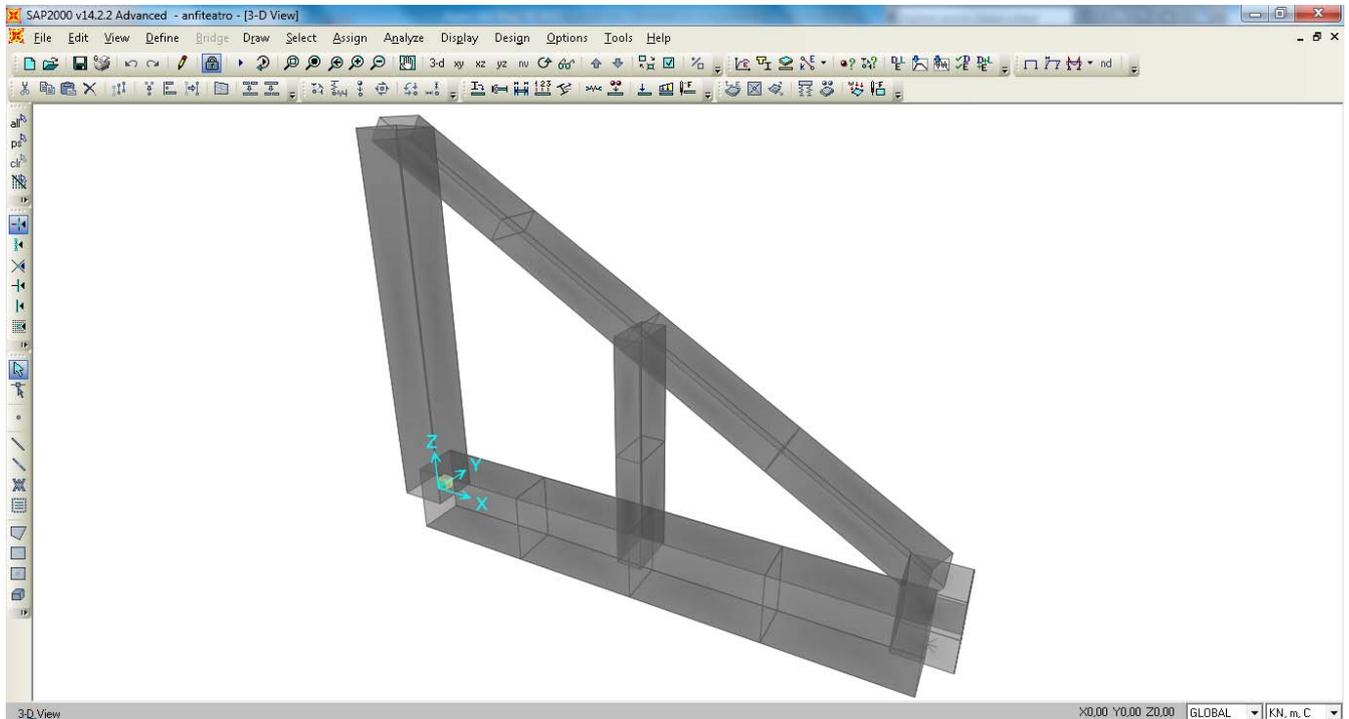
A favore di sicurezza viene invece trascurato il contributo resistente del terreno nelle pareti verticali del modello.

Le analisi, di tipo elastico lineare, sono eseguite per le situazioni di esercizio della struttura.

Riporto di seguito in forma grafica il modello di calcolo implementato.

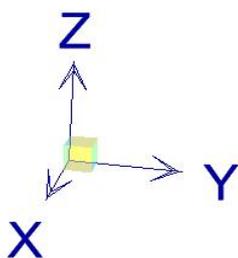


		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011



9.2.3 SISTEMA DI RIFERIMENTO E CONVENZIONE DEI SEGNI

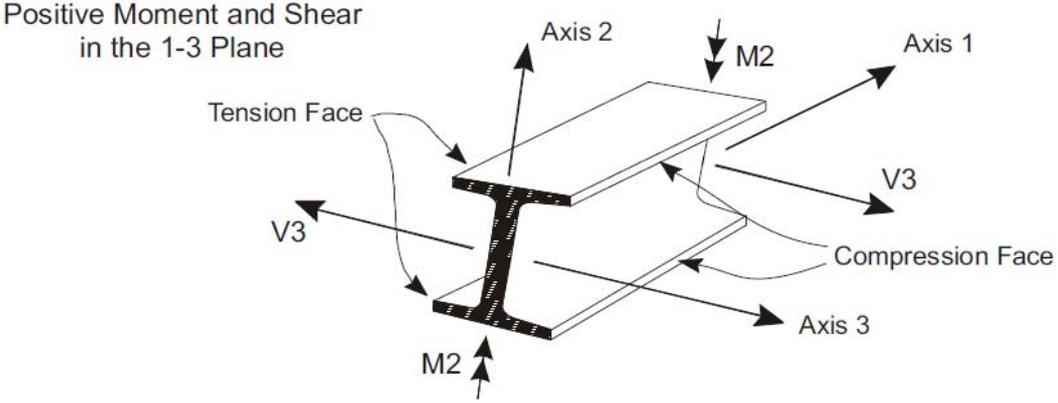
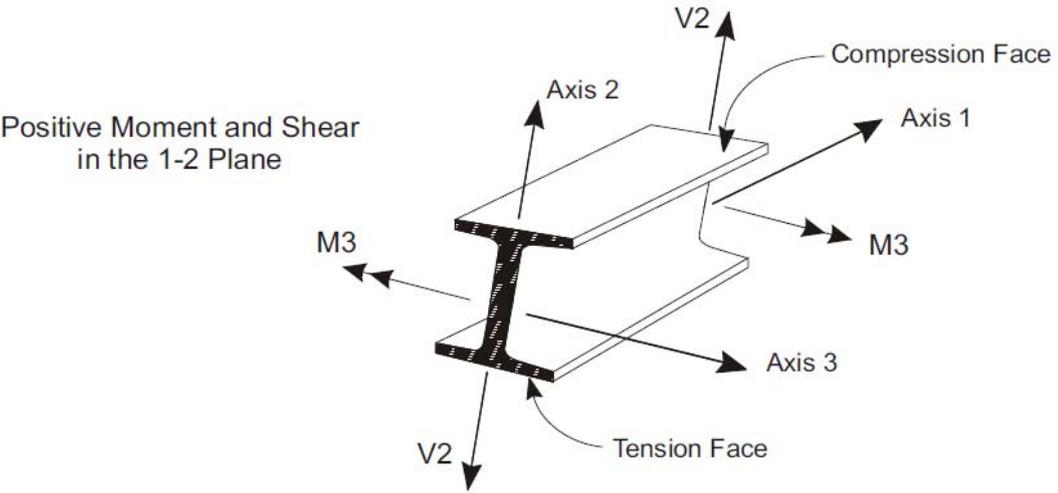
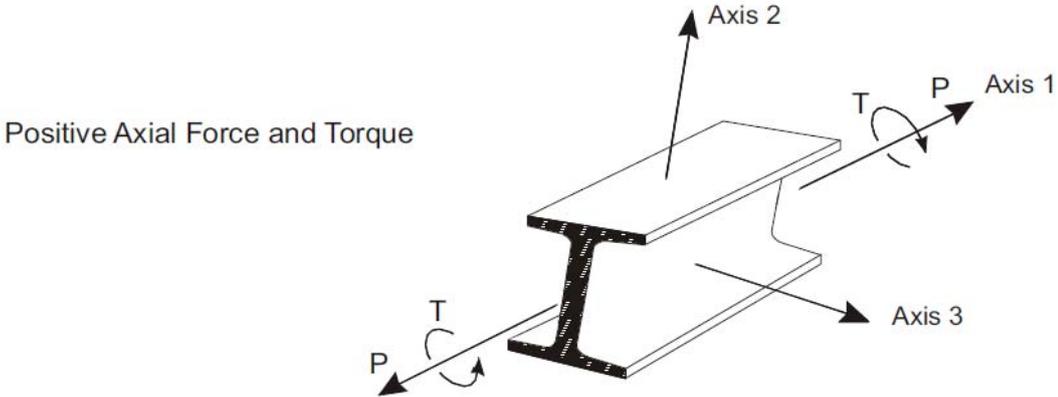
Il sistema di riferimento viene assunto con origine sullo inferiore della struttura a quota intradosso fondazione (vedi figure precedenti). La disposizione degli assi segue la “regola della mano destra”:



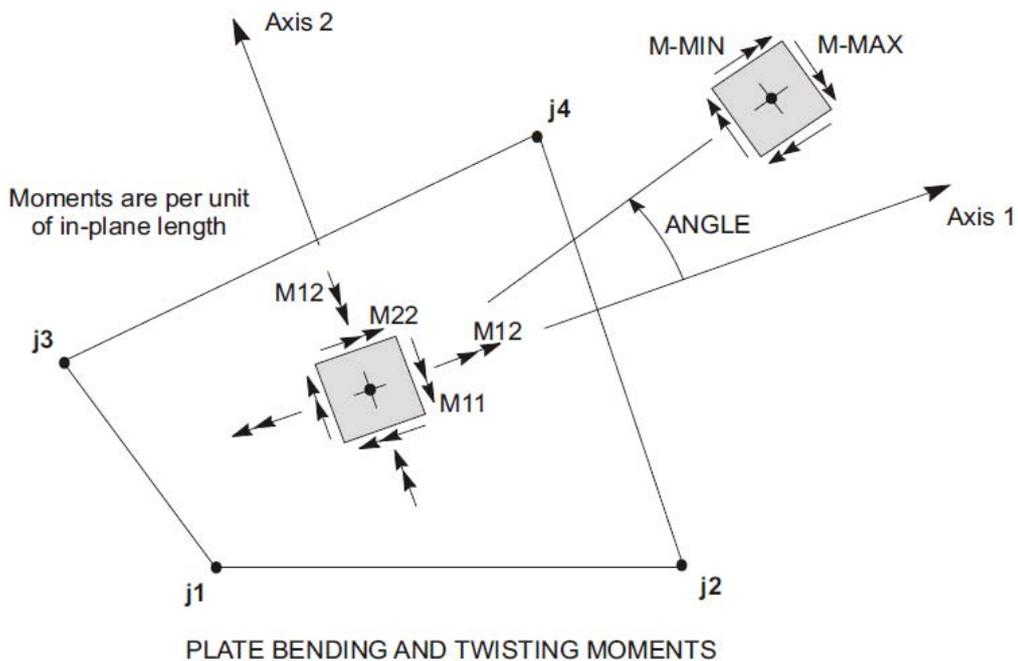
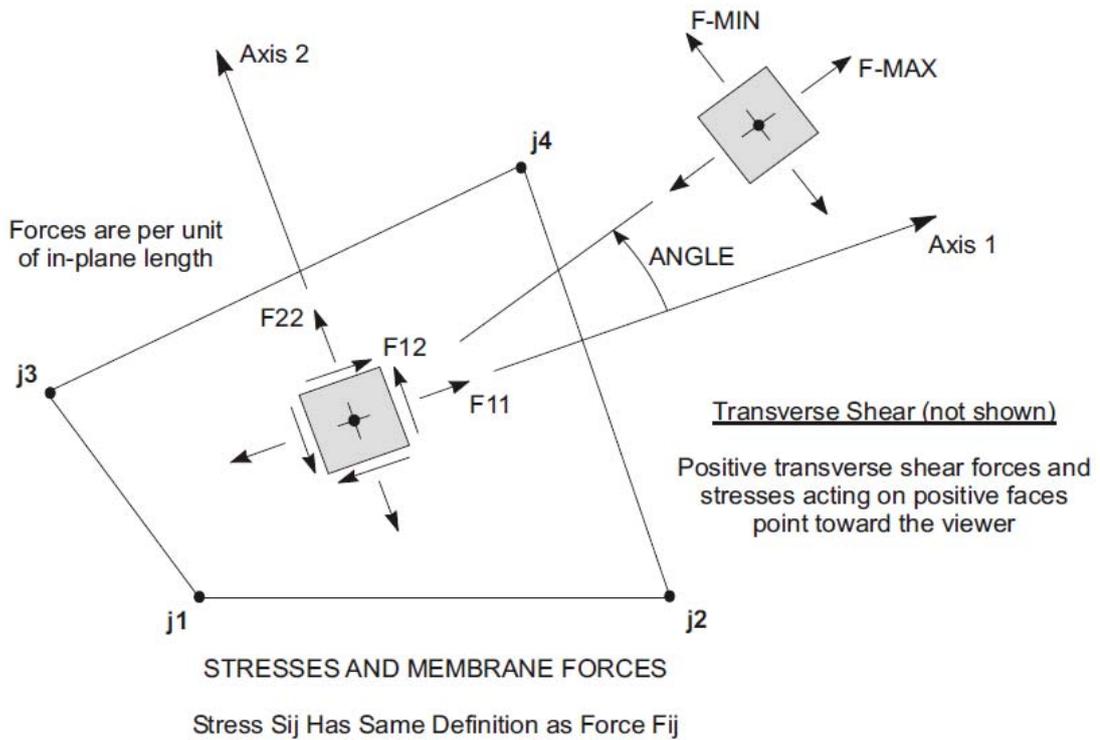
- l'asse X è diretto verso l'interno della piazza, positivo verso il mare;
- l'asse Z è diretto verso l'alto, positivo verso l'alto.

Si definiscono positive le azioni e sollecitazioni secondo la convenzione riportata nelle figure successive.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	



F9. Azioni e Sollecitazioni positive negli elementi tipo "line"



F10. Azioni e Sollecitazioni positive negli elementi tipo "Area"

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

9.3 ANALISI MODALE DELLA STRUTTURA DELL'ANFITEATRO

Si riportano nel seguito le risultanze dell'analisi modale effettuata.

MODAL RITZ VECTOR							
TABLE: Modal Participating Mass Ratios							
StepNum	Period	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ
Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
1	0,269757	0,20155	0	0,08075	0	0,27692	0
2	0,159076	0,02	0	0,91838	0	0,72181	0
3	0,055362	0,14319	0	0,00055	0	0,00094	0
4	0,03765	0,00127	0	0,00005817	0	0,00013	0
5	0,032317	0,11618	0	0,00009158	0	0,000004948	0
6	0,024839	0,04223	0	0,00016	0	0,00016	0
7	0,019878	0,00009213	0	0,000008294	0	0,00003288	0
8	0,015402	0,0695	0	0,000000212	0	4,551E-07	0
9	0,014018	0,20893	0	1,04E-10	0	3,559E-07	0
10	0,012205	0,01989	0	0,000001484	0	2,202E-07	0
11	0,01184	0,04851	0	0,000003738	0	0,000001398	0
12	0,010954	0,01592	0	5,399E-08	0	6,677E-07	0
13	0,009046	0,0002	0	0,00000128	0	0,000000147	0
14	0,008422	0,000009043	0	0,000001993	0	0,000001706	0
15	0,007971	0,02127	0	0,000000103	0	4,783E-08	0
16	0,005807	0,000001417	0	4,774E-08	0	2,25E-08	0
17	0,005218	0,01194	0	2,257E-08	0	5,324E-10	0
18	0,004025	0,03562	0	6,286E-11	0	1,381E-09	0
19	0,003253	0,00004307	0	1,067E-08	0	1,456E-08	0
20	0,001993	0,03472	0	2,806E-11	0	1,004E-10	0

MODAL EIGEN VALUES							
TABLE: Modal Participating Mass Ratios							
StepNum	Period	UX	UY	UZ	RX	RY	RZ
Unitless	Sec	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless	Unitless
1	0,269757	0,20155	0	0,08075	0	0,27692	0
2	0,159076	0,02	0	0,91838	0	0,72181	0
3	0,055362	0,14319	0	0,00055	0	0,00094	0
4	0,03765	0,00127	0	0,00005817	0	0,00013	0
5	0,032317	0,11618	0	0,00009158	0	0,000004948	0
6	0,024839	0,04223	0	0,00016	0	0,00016	0

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0

7	0,019878	0,00009213	0	0,000008294	0	0,00003288	0
8	0,015402	0,0695	0	0,000000212	0	4,551E-07	0
9	0,014018	0,20893	0	1,04E-10	0	3,559E-07	0
10	0,012205	0,01989	0	0,000001484	0	2,203E-07	0
11	0,01184	0,0485	0	0,000003738	0	0,000001398	0
12	0,010954	0,01592	0	5,386E-08	0	6,677E-07	0
13	0,009058	0,00018	0	0,000001222	0	1,299E-07	0
14	0,008438	5,446E-07	0	0,000002034	0	0,000001701	0
15	0,007976	0,02118	0	1,159E-07	0	5,924E-08	0
16	0,006495	0,00038	0	1,617E-08	0	2,894E-08	0
17	0,006077	0,00014	0	9,887E-09	0	3,529E-10	0
18	0,005571	0,00065	0	1,625E-08	0	4,011E-10	0
19	0,005322	0,00511	0	2,541E-08	0	8,261E-09	0
20	0,005057	0,0007	0	4,43E-09	0	6,572E-09	0

OutputCase	ItemType	Item	Static	Dynamic
Text	Text	Text	Percent	Percent
RITZ	Acceleration	UX	100	99,1069
RITZ	Acceleration	UY	0	0
RITZ	Acceleration	UZ	100	100
EIGEN	Acceleration	UX	99,9947	91,5605
EIGEN	Acceleration	UY	0	0
EIGEN	Acceleration	UZ	100	100

Da quanto riportato si conferma quanto anticipato in precedenza: l'analisi tramite vettori di Ritz è migliore perché mobilità più massa partecipante a parità di modi indagati.

OutputCase	StepType	StepNum	Period	Frequency	CircFreq	Eigenvalue
Text	Text	Unitless	Sec	Cyc/sec	rad/sec	rad2/sec2
RITZ	Mode	1	0,269757	3,707	23,292	542,52
RITZ	Mode	2	0,159076	6,2863	39,498	1560,1
RITZ	Mode	3	0,055362	18,063	113,49	12881
RITZ	Mode	4	0,03765	26,56	166,88	27850
RITZ	Mode	5	0,032317	30,944	194,43	37801
RITZ	Mode	6	0,024839	40,26	252,96	63988
RITZ	Mode	7	0,019878	50,308	316,09	99915
RITZ	Mode	8	0,015402	64,925	407,94	166410

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

RITZ	Mode	9	0,014018	71,336	448,22	200900
RITZ	Mode	10	0,012205	81,931	514,79	265010
RITZ	Mode	11	0,01184	84,461	530,68	281620
RITZ	Mode	12	0,010954	91,292	573,61	329030
RITZ	Mode	13	0,009046	110,54	694,55	482400
RITZ	Mode	14	0,008422	118,74	746,04	556570
RITZ	Mode	15	0,007971	125,45	788,21	621280
RITZ	Mode	16	0,005807	172,22	1082,1	1170900
RITZ	Mode	17	0,005218	191,65	1204,2	1450100
RITZ	Mode	18	0,004025	248,46	1561,1	2437100
RITZ	Mode	19	0,003253	307,43	1931,7	3731300
RITZ	Mode	20	0,001993	501,73	3152,5	9938000

Altro dato importante che si evince subito dall'analisi modale, è la frequenza propria di vibrazione della struttura (evidenziata in giallo nella tabella precedente); da quanto riportato si verifica immediatamente che la frequenza minima di vibrazione dell'insieme terreno-struttura è pari a 3,707 Hz, mentre la vibrazione propria della tribuna è pari a 18,03 Hz (3° modo di vibrare).

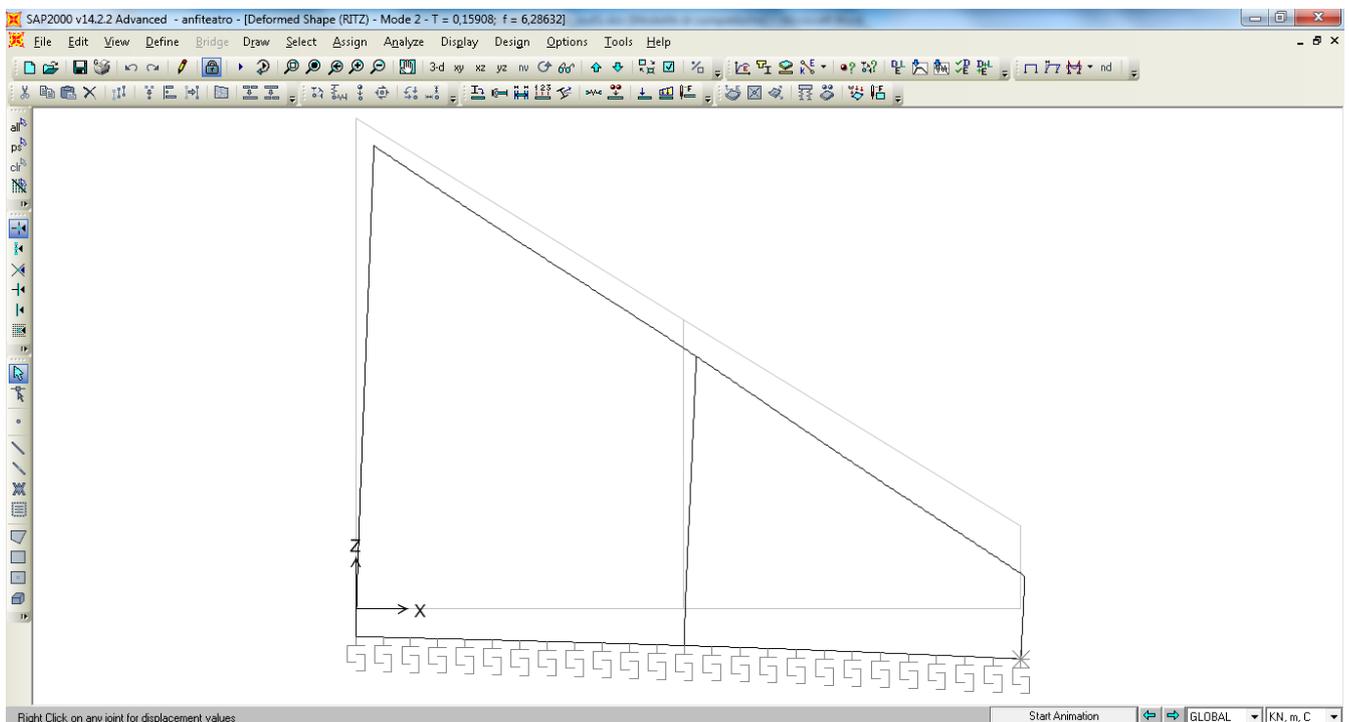
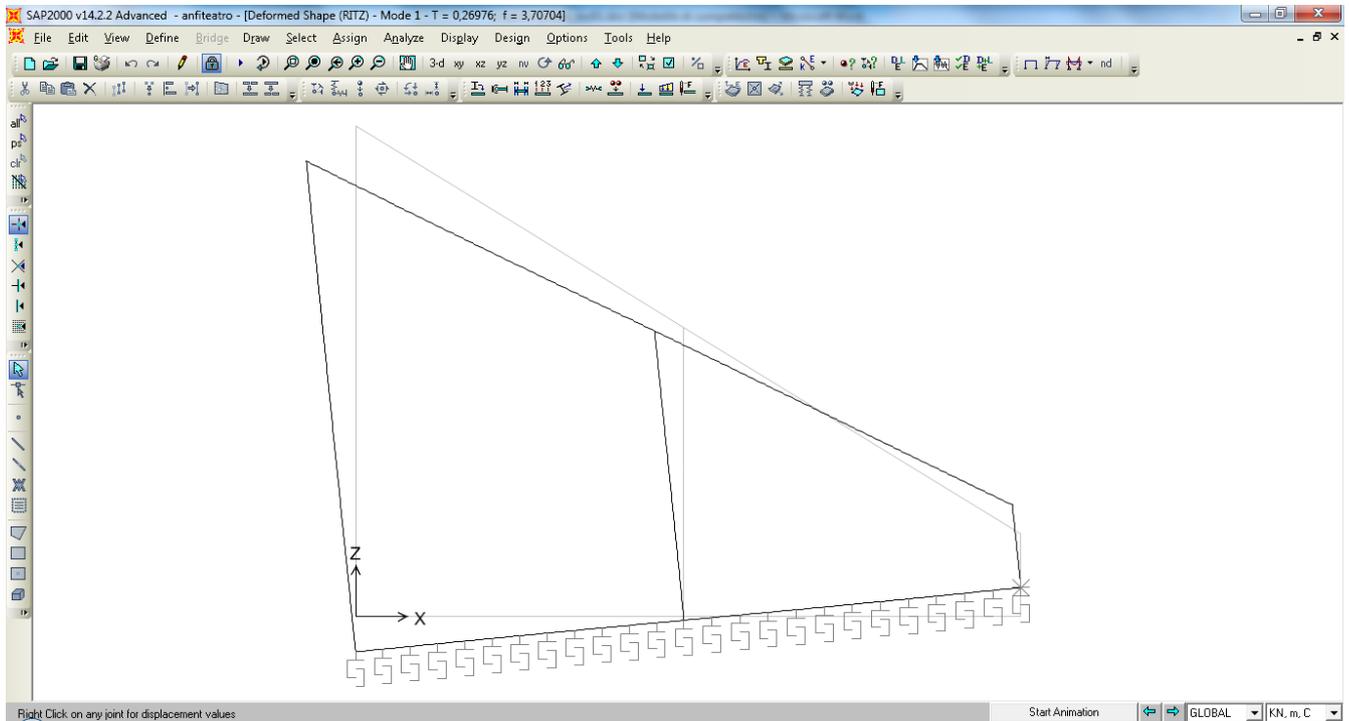
Questi dati sono fondamentali in quanto, facendo riferimento al paragrafo 5.7 di UNI EN 1991-2:2003, bisogna verificare che la frequenza propria della struttura non entri in risonanza con le azioni accidentali (quali la folla sulle gradinate). L'EC1 individua per i ponti pedonali i seguenti intervalli di frequenza critica:

- in direzioni orizzontale la frequenza deve essere al di fuori dell'intervallo 0,5-1,5 Hz
- in direzione verticale la frequenza deve essere al di fuori dell'intervallo 1,0-3,0 Hz

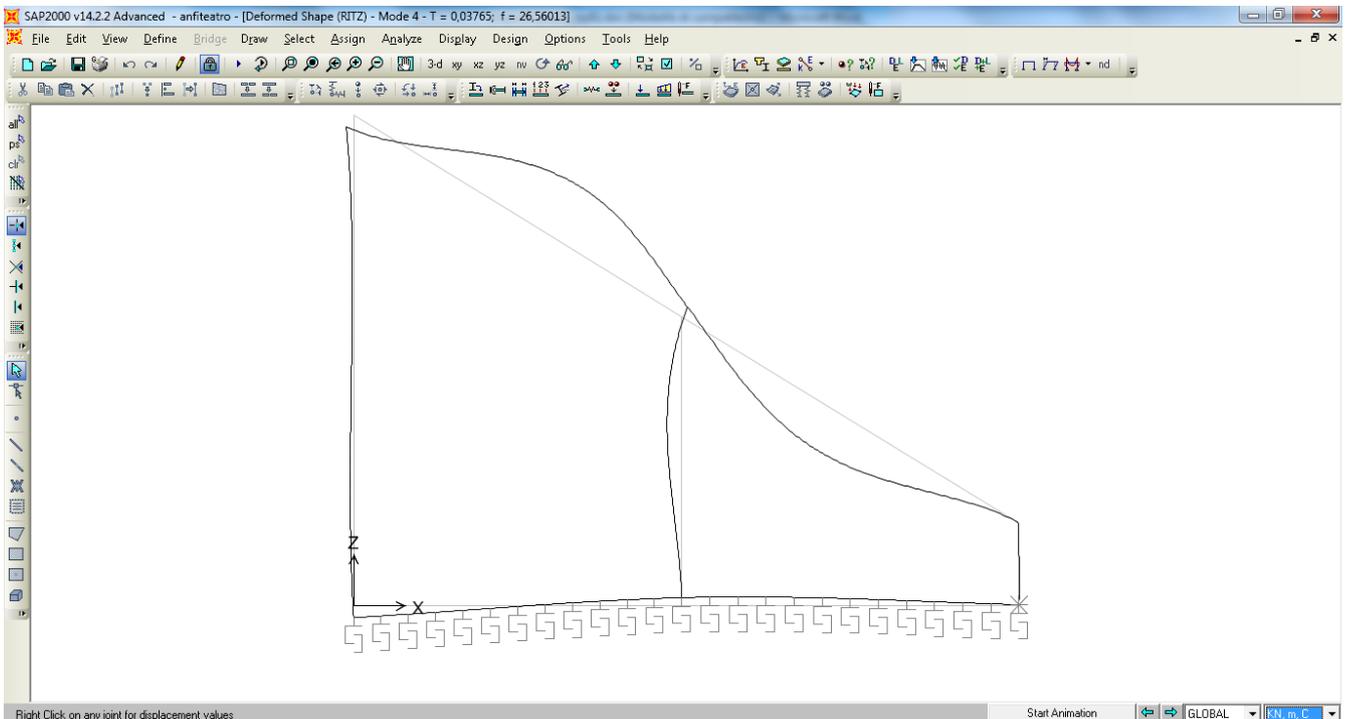
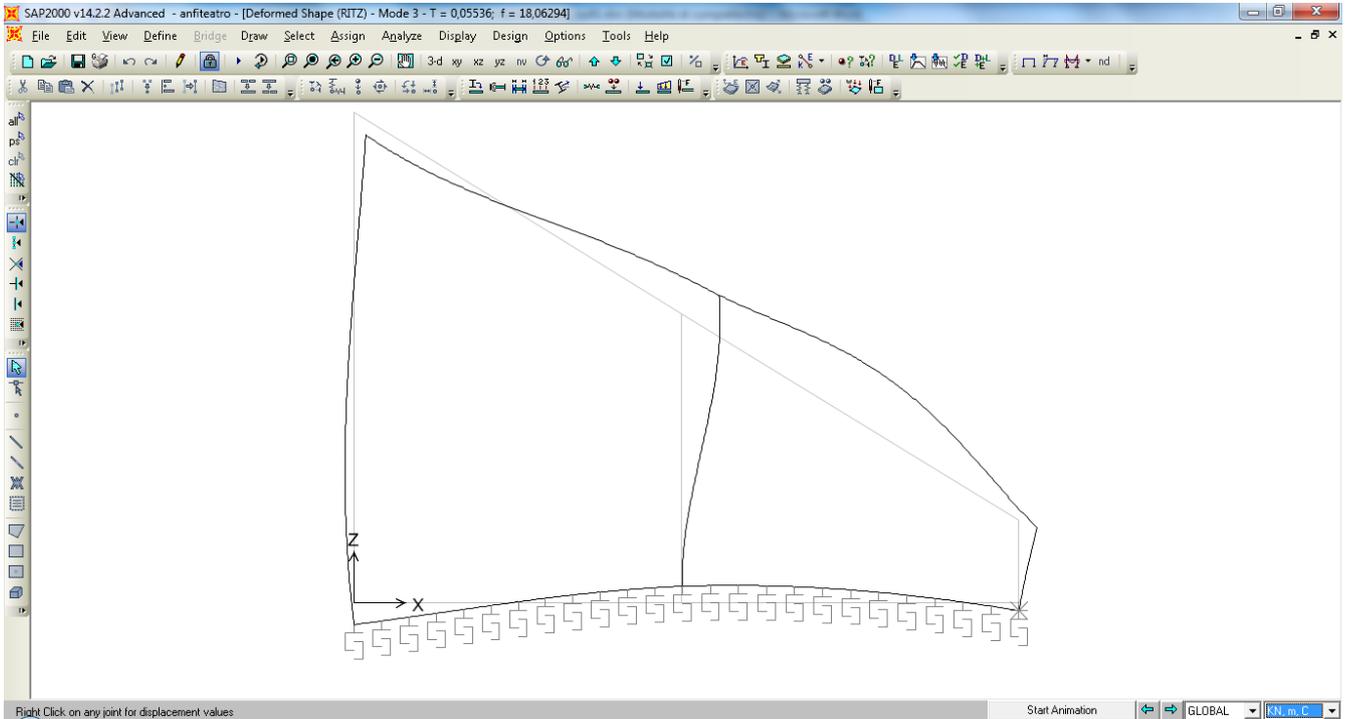
Non possono quindi attivarsi fenomeni critici di risonanza della struttura.

Analisi più dettagliate del fenomeno vengono rimandate alla fase successiva di progettazione.

Riporto nel seguito le immagini relativi ai primi 4 modi di vibrare della struttura.



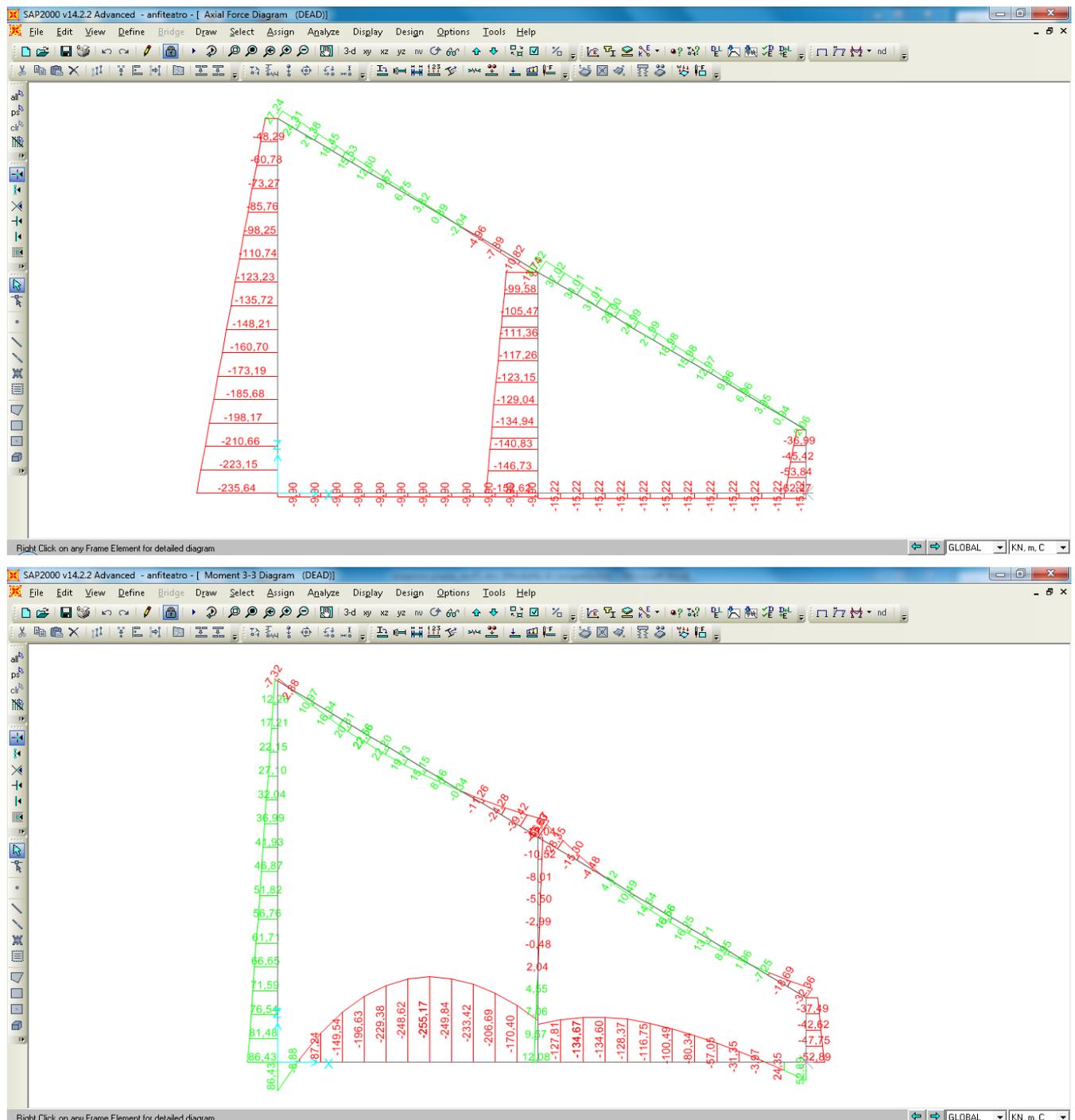
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">Rev</th> <th style="text-align: left;">Data</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: left;">F0</td> <td style="text-align: left;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	Rev	Data	F0	20/06/2011
Rev	Data						
F0	20/06/2011						

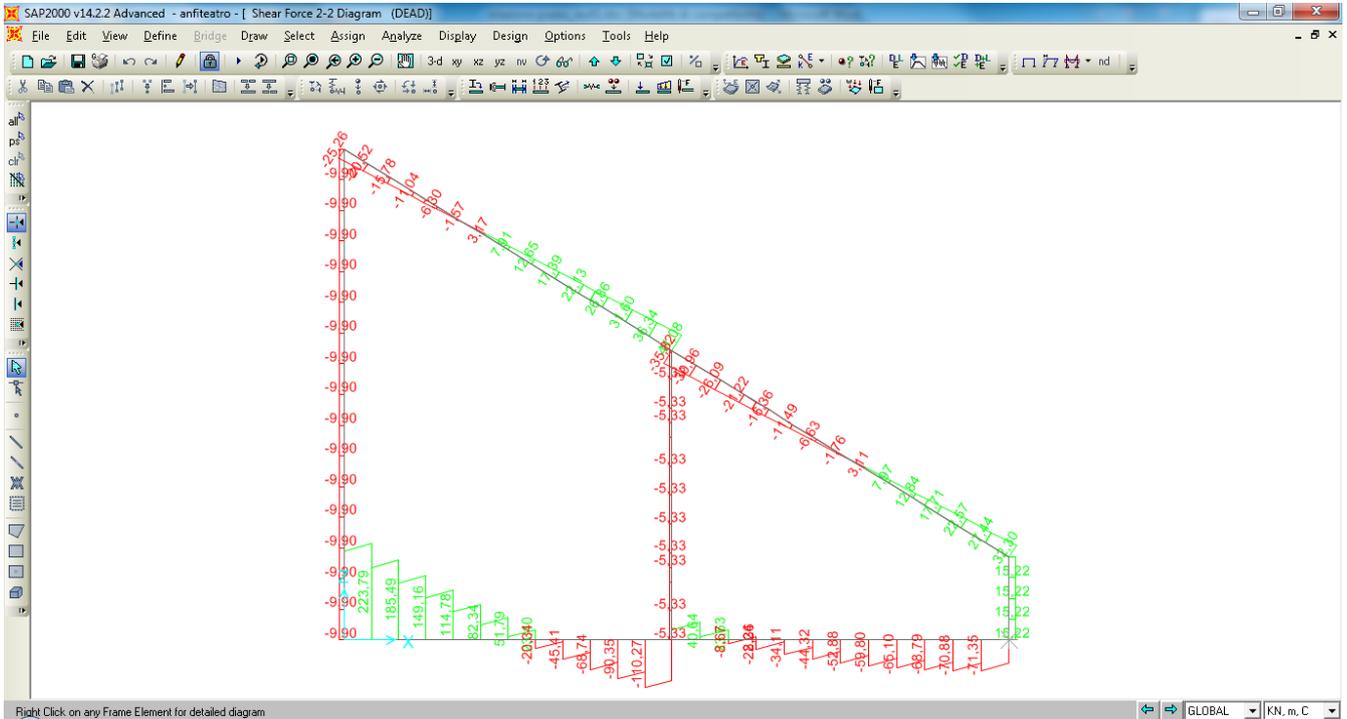


9.4 CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI

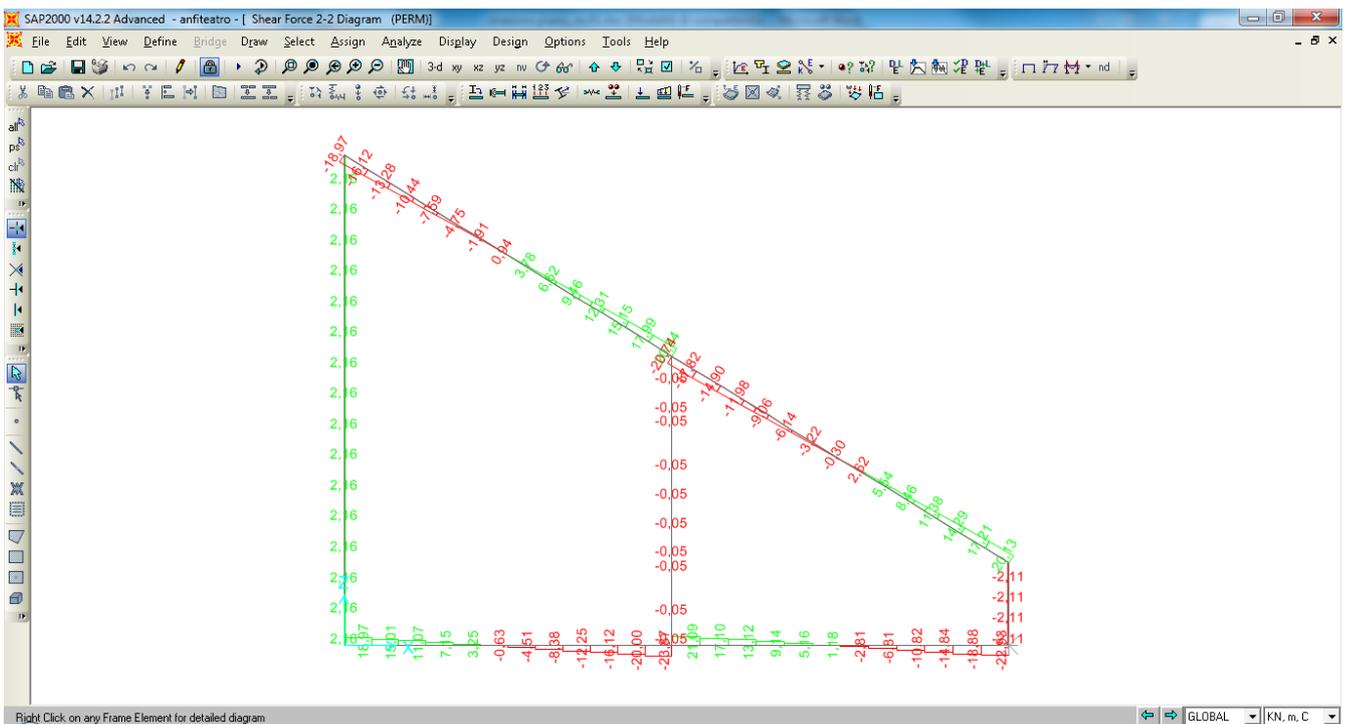
Si riportano nel seguito i diagrammi qualitativi di sollecitazione N, M e T per ogni condizione di carico elementare precedentemente individuata (vedi § 8.1)

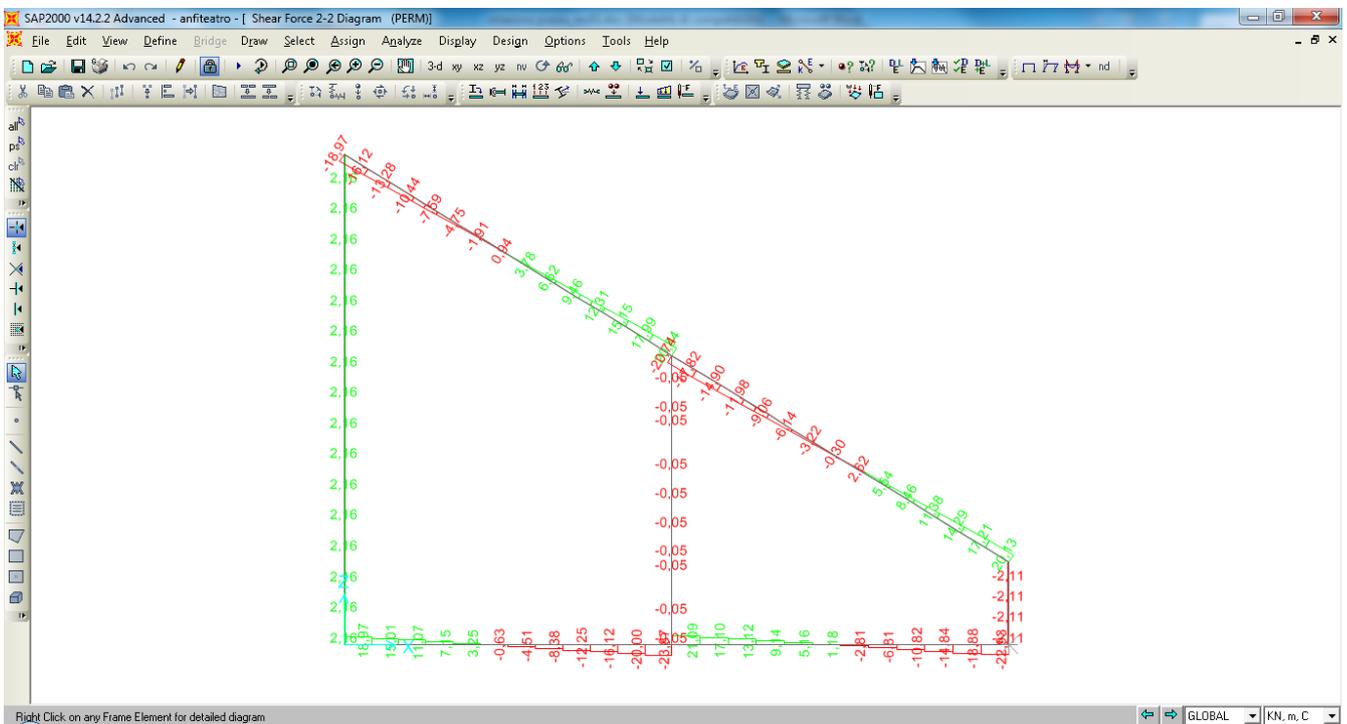
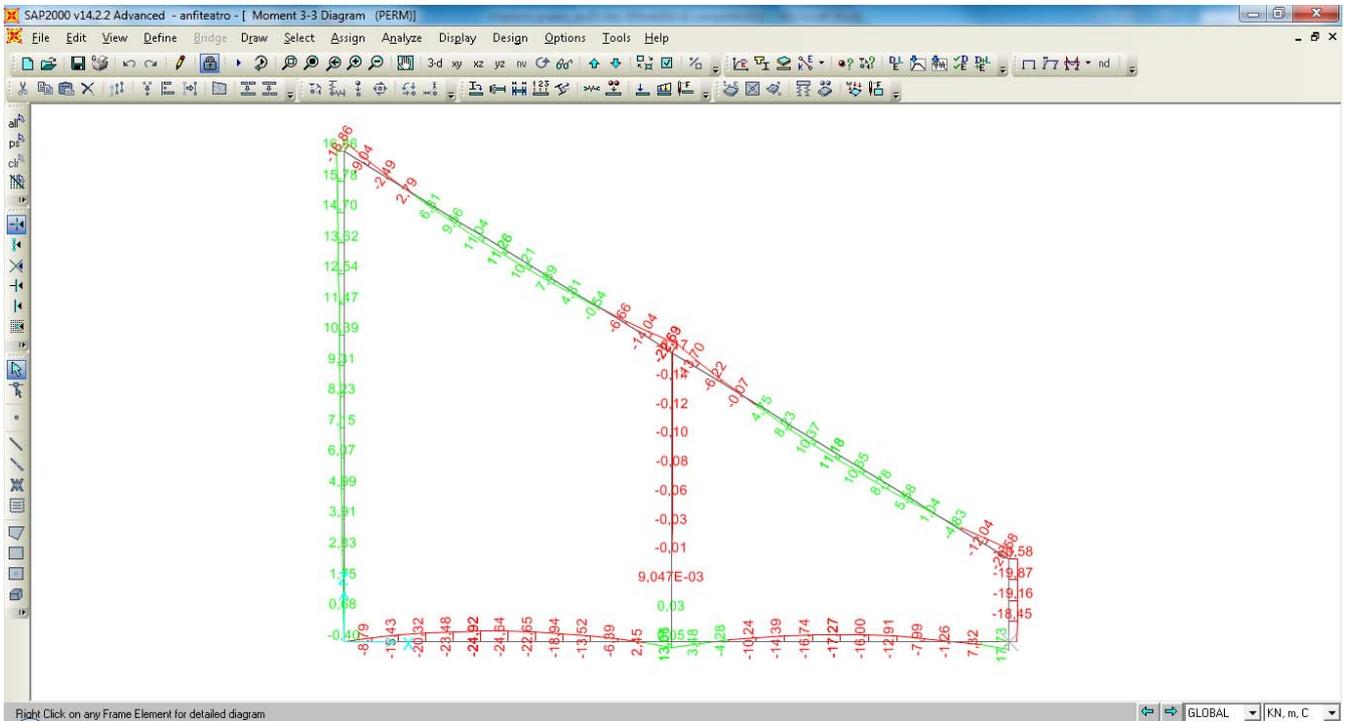
Diagrammi di sollecitazione N, M e T – condizione di carico “q₁” (vedi § 9.1.1)



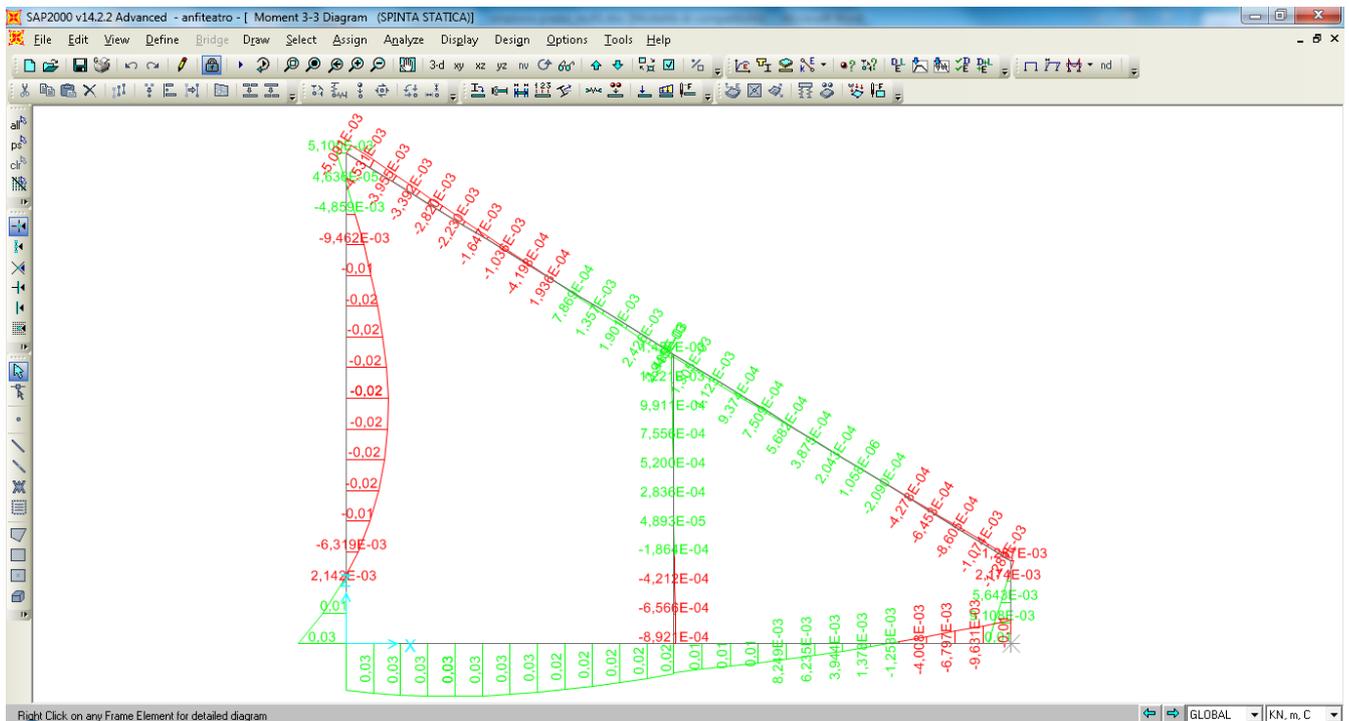
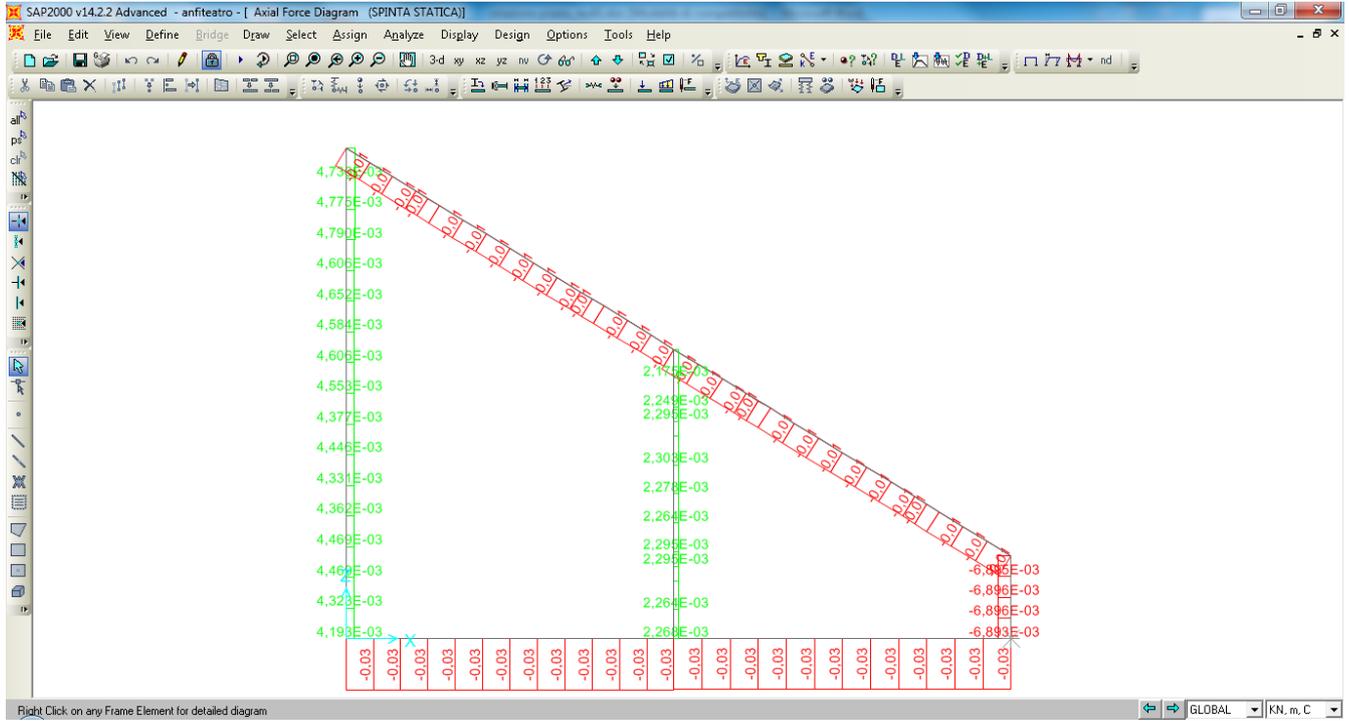


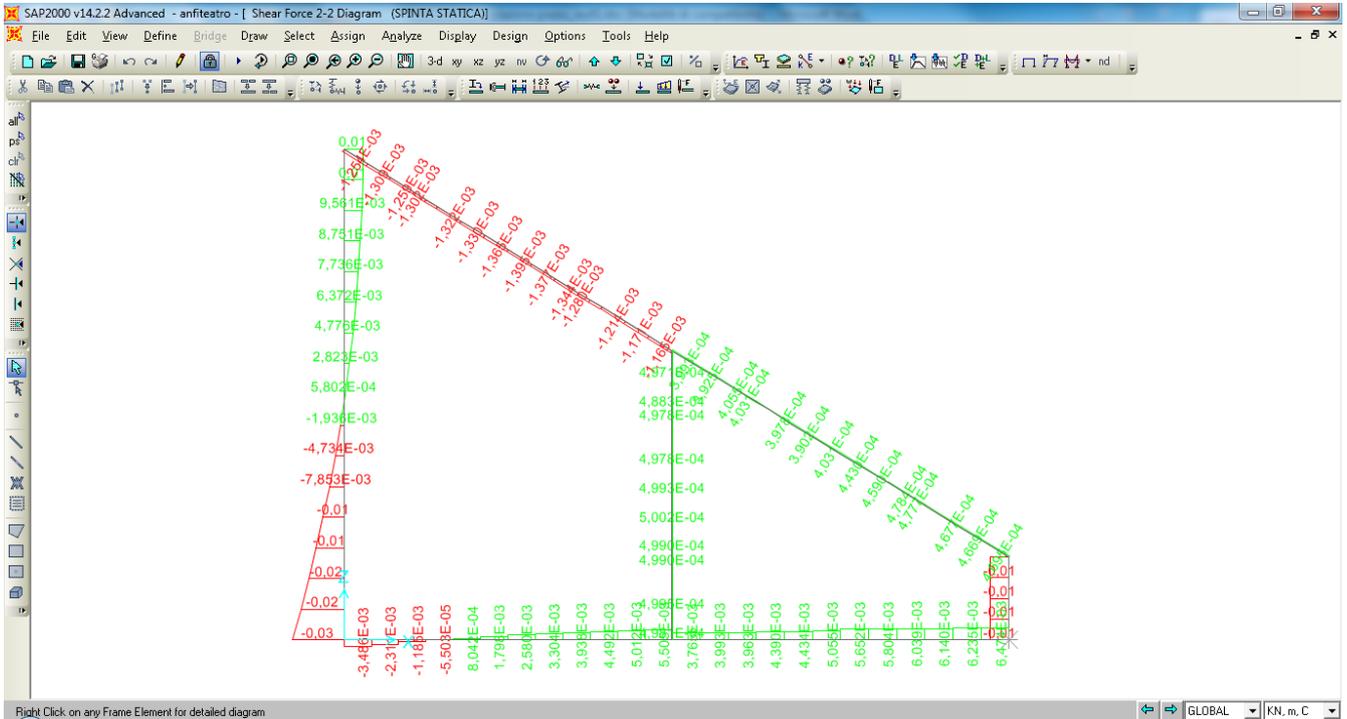
Diagrammi di sollecitazione N, M e T – condizione di carico “ q_3 ” (vedi § 9.1.2)



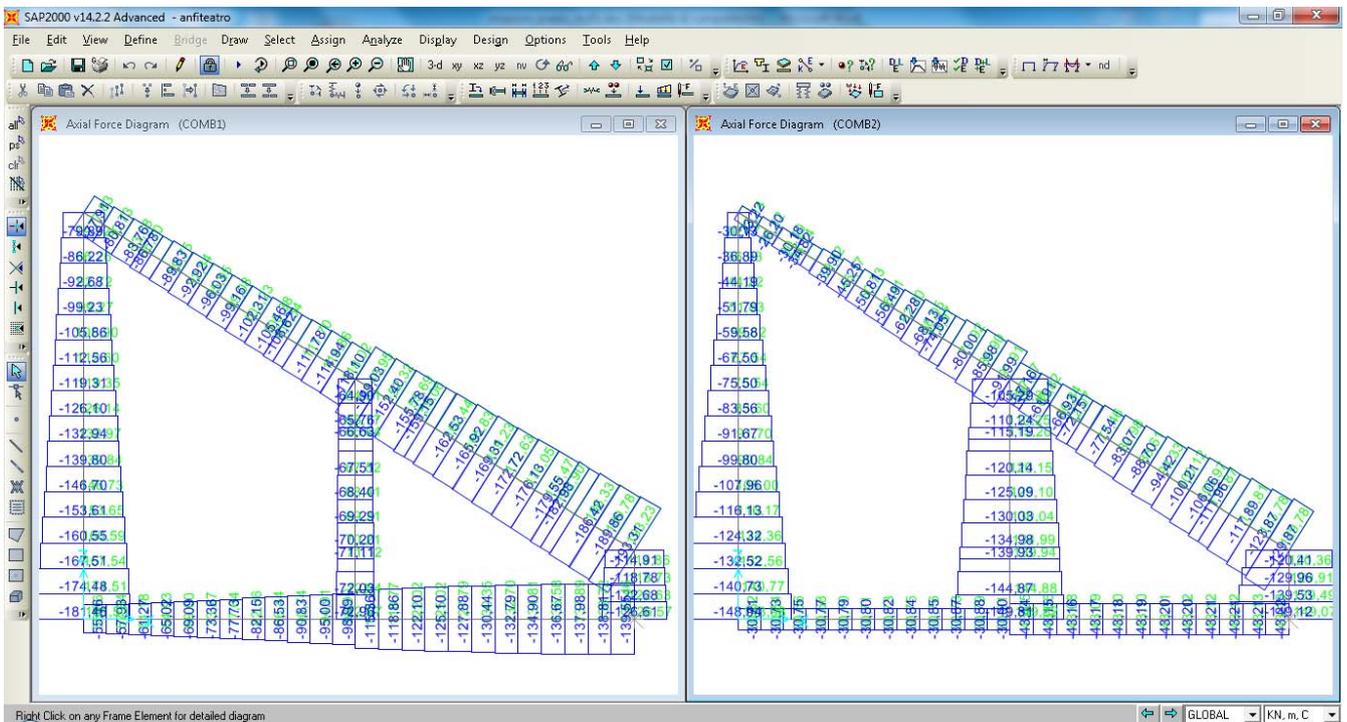


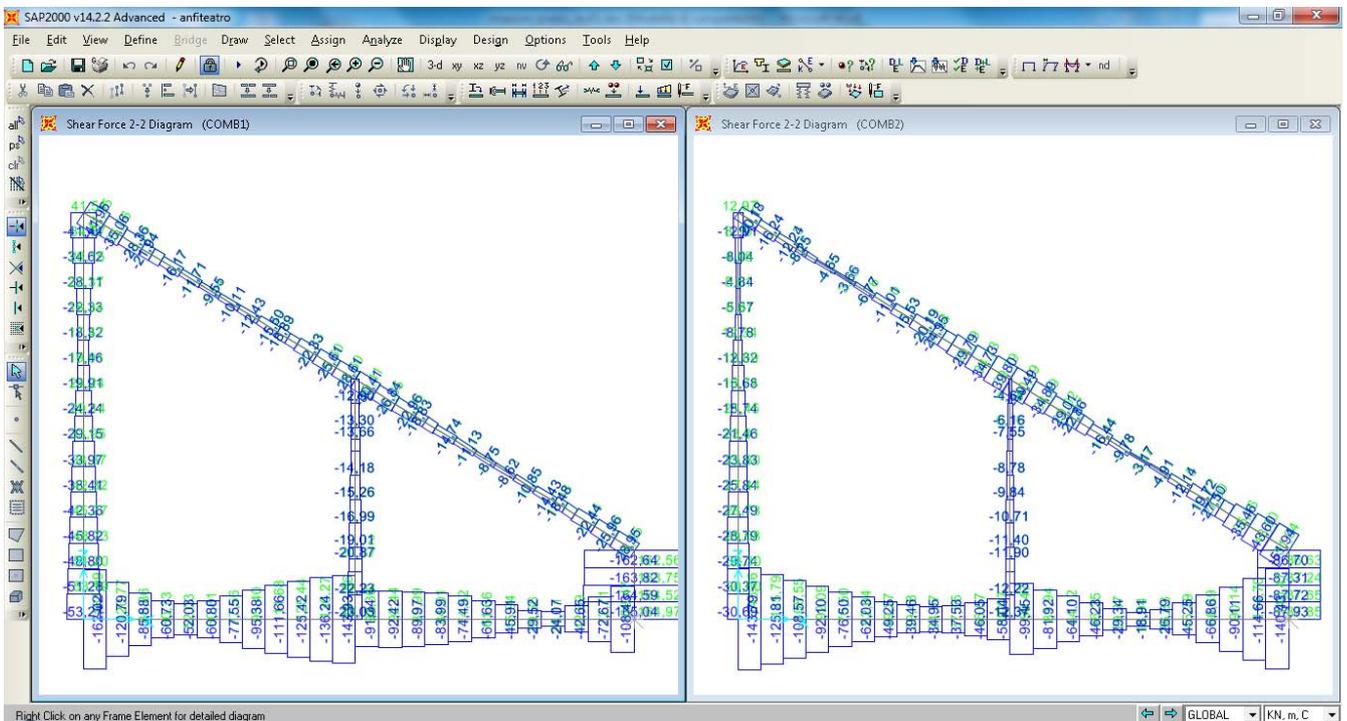
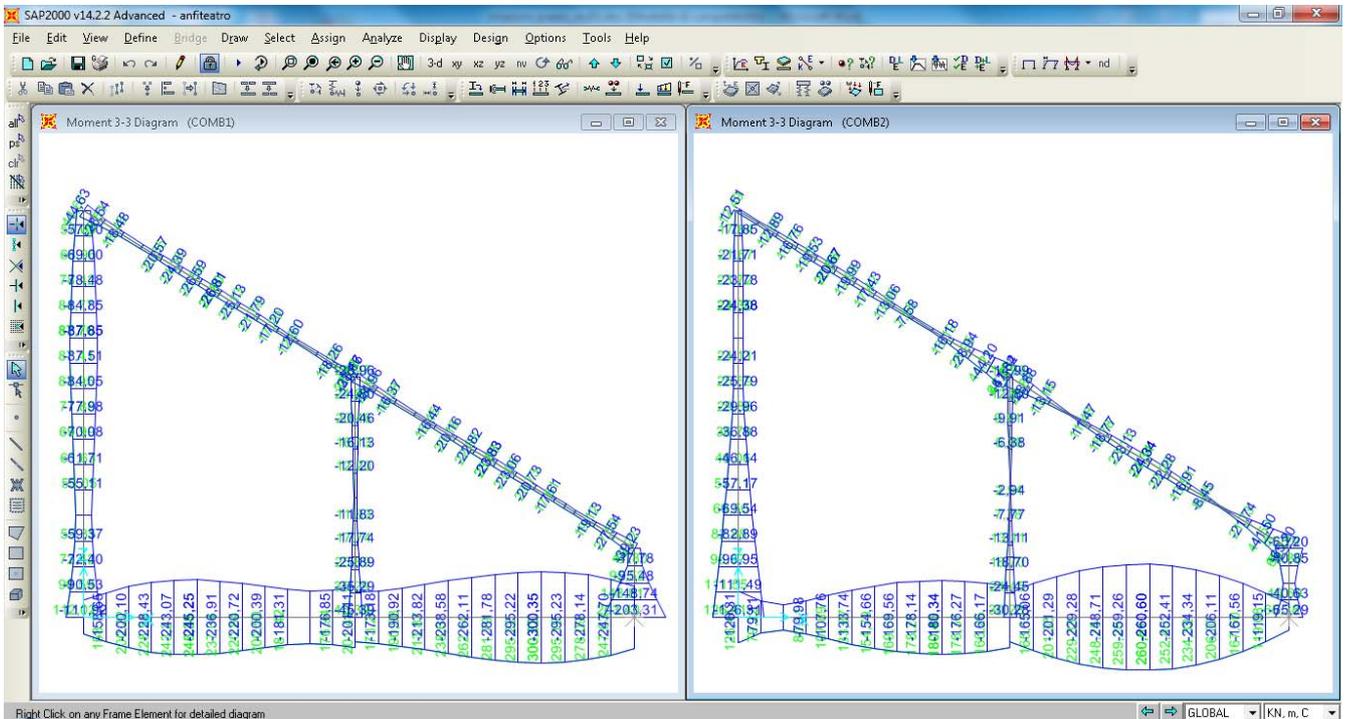
Diagrammi di sollecitazione N, M e T – condizione di carico “q₃” (vedi § 9.1.3)



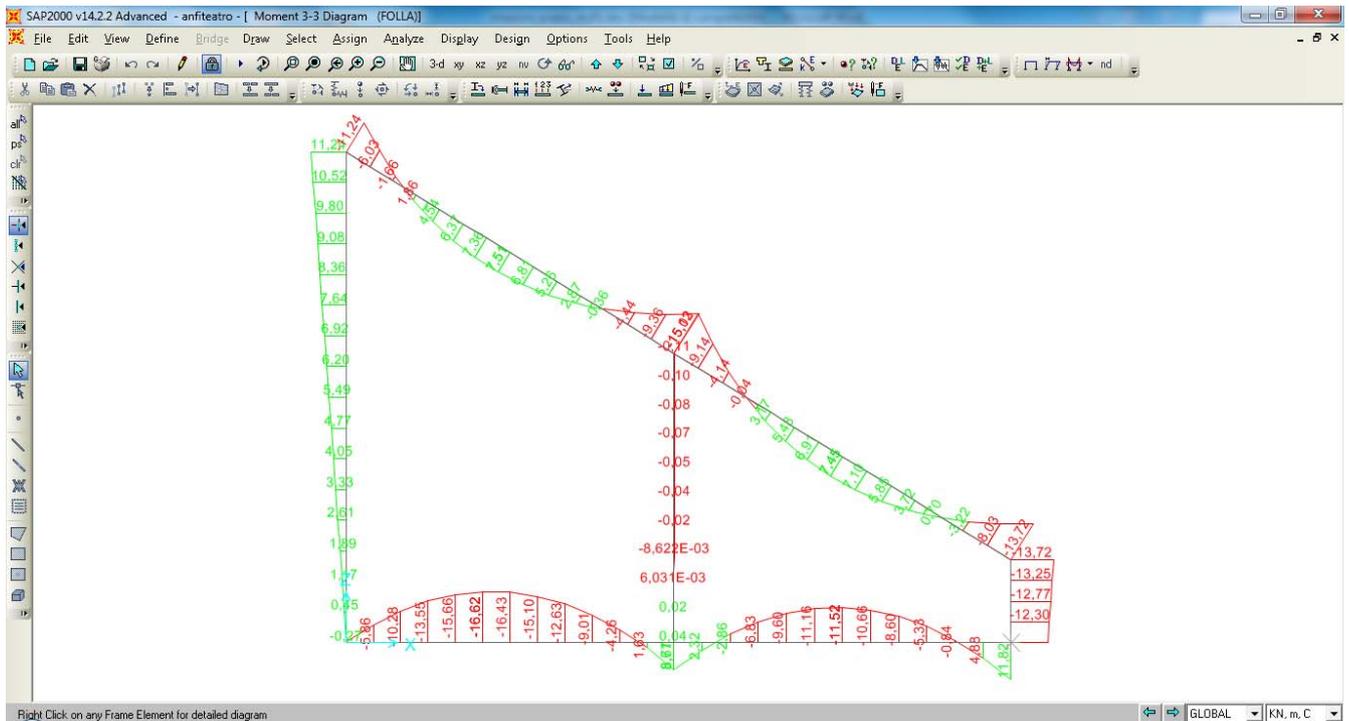
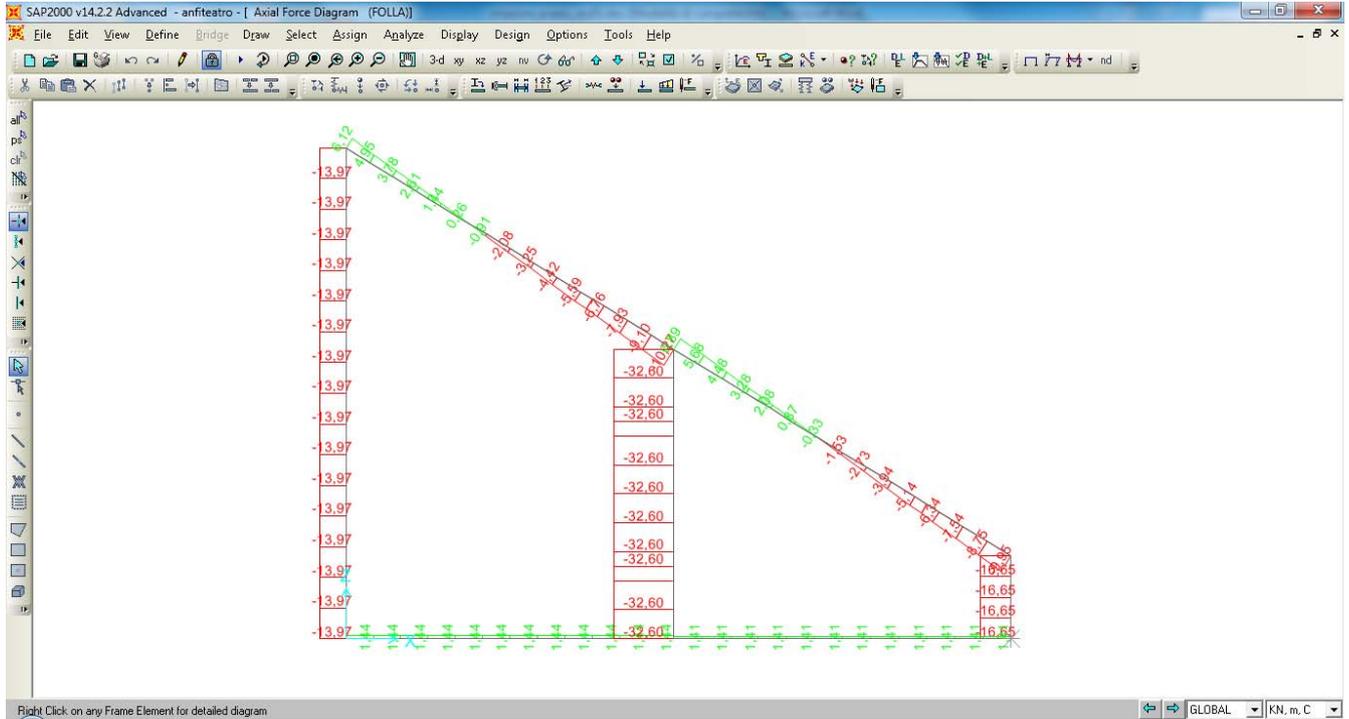


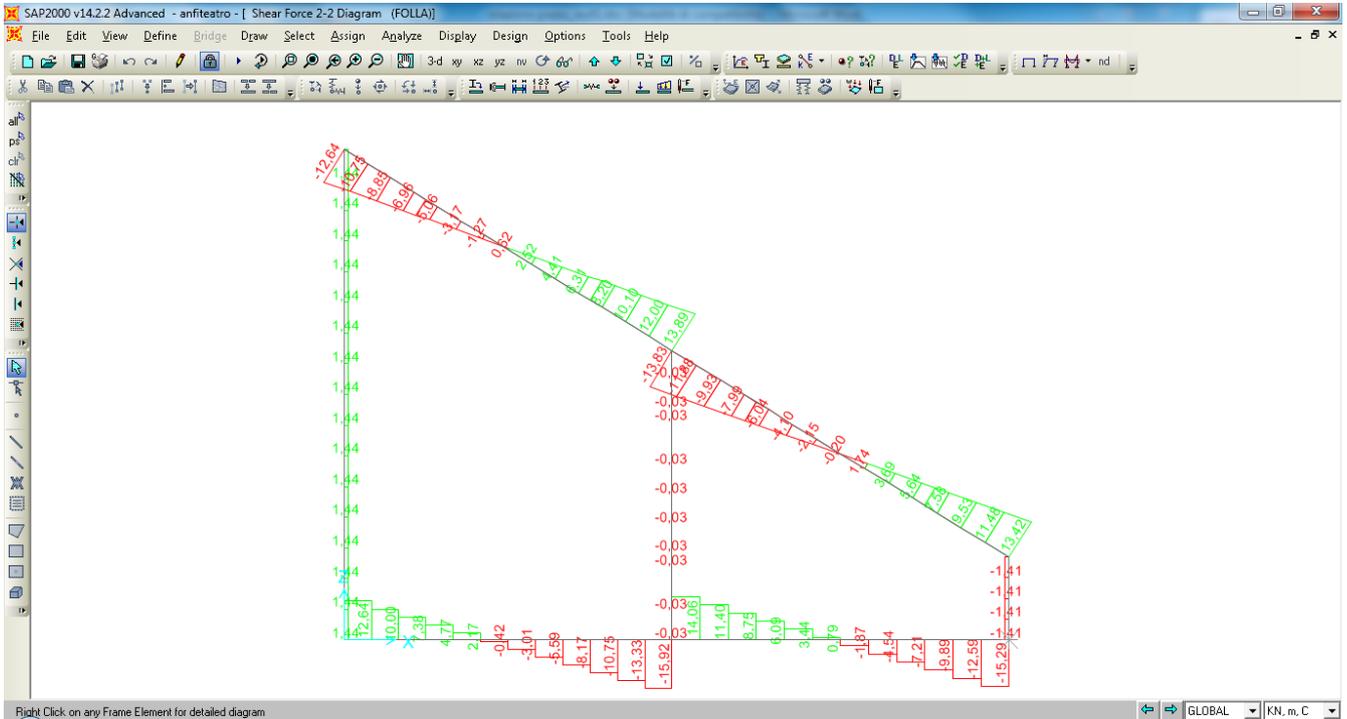
Diagrammi di sollecitazione N, M e T – condizione di carico “q₆” (vedi § 9.1.6)





Diagrammi di sollecitazione N, M e T – condizione di carico “q₀” (vedi § 9.1.7)





		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<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						

9.4.1 Combinazioni per gli S.L.U.

Si applicano le combinazioni di carico in accordo al DM 14. 01 .2008 già descritte al § 7.4.1.

Le combinazioni di carico adottate per le verifiche di resistenza agli SLU sono le seguenti:

- $SLU1 = 1,3 \cdot G_k + 1,3 \cdot G_3 + 1,5 \cdot Q_{9\text{-folla}}$
- $SIS1 = G_k + G_3 + E_x + 0,3 \cdot E_z$
- $SIS2 = G_k + G_3 + 0,3 \cdot E_x + E_z$

essendo:

- | | |
|----------------------|--|
| G_k | pesi propri e carichi permanenti ($g_1 + g_2$) |
| G_3 | spinta delle terre |
| $G_{9\text{-folla}}$ | accidentale da folla |
| E_i | azione sismica in direzione i-esima |

9.4.2 Combinazioni per lo stato limite di fatica

Non essendo una struttura soggetta a carichi ciclici, la verifica a fatica risulta trascurabile.

9.4.3 Combinazioni per gli S.L.S.

Essendo la struttura in c.a. sollecitata prevalentemente da carichi permanenti, le verifiche associate a tale stato limite sono eseguite in funzione delle combinazioni di carico **quasi permanente** espresse dalla relazione seguente:

$$\sum_{j>1} G_{k,j} + P + \sum_{i>1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

dove

+ implica "da combinarsi con"

\sum implica "l'effetto combinato di"

G_k è il valore caratteristico delle azioni permanenti

P è il valore caratteristico delle azioni di precompressione

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Q_k è il valore caratteristico delle azioni variabili

ψ_2 sono i coefficienti di combinazione delle azioni variabili

Le combinazioni di carico adottate per le verifiche di resistenza agli SLS sono le seguenti:

- $SLS1 = G_k + G_3 + 0,6 \cdot Q_{9-folla}$

essendo:

G_k pesi propri e carichi permanenti ($g_1 + g_2$)

G_3 spinta delle terre

$G_{9-folla}$ accidentale da folla

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

9.5 VERIFICA DELLA STRUTTURA DELL'ANFITEATRO

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).

Le verifiche a fessurazione sono state condotte considerando:

Verifica di formazione delle fessure: la verifica si esegue per la sezione interamente reagente e per le sollecitazioni di esercizio si determina la massima trazione nel calcestruzzo σ_{ct} , confrontandola con la resistenza caratteristica a trazione per flessione f_{ctk} : se risulta $\sigma_{ct} < f_{ctk}$ la verifica è soddisfatta, altrimenti si procede alla verifica di apertura delle fessure.

Verifica di apertura delle fessure: l'apertura convenzionale delle fessure è calcolata con le modalità indicate dal D. M. Min. Il. TT. del 14 gennaio 2008, e valutata con le sollecitazioni relative alle Combinazioni FR o QP della normativa vigente sui ponti stradali. La massima apertura ammissibile risulta rispettivamente (le strutture in ambiente aggressivo ed armature poco sensibili):

b.1) combinazione di carico Frequente:

$$w_k \leq w_2 = 0,30 \text{ mm}$$

b.2) combinazione di carico quasi permanente:

$$w_k \leq w_1 = 0,20 \text{ mm}$$

La massima apertura ammissibile risulta rispettivamente (le strutture in ambiente ordinario ed armature poco sensibili):

b.1) combinazione di carico Frequente:

$$w_k \leq w_3 = 0,40 \text{ mm}$$

b.2) combinazione di carico quasi permanente:

$$w_k \leq w_2 = 0,30 \text{ mm}$$

Verifica delle tensioni di esercizio: le verifiche si eseguono per la condizione di carico Quasi Permanente e Rara, verificando rispettivamente che le tensioni di lavoro siano inferiori ai seguenti limiti:

- per la condizione QP si verifica che le massime tensioni presenti nel calcestruzzo siano inferiori a $\sigma_c < 0.45 f_{ck}$;
- per la condizione rara si verifica che le massime tensioni presenti nel calcestruzzo siano inferiori a $\sigma_c < 0.60 f_{ck}$, mentre quelle dell'acciaio $\sigma_s < 0.80 f_{yk}$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO	Codice documento PG0095_F0.doc		Rev F0	Data 20/06/2011

Nelle verifiche successive si trascura la verifica in esercizio per combinazione rara e frequente, perché non dimensionante.

9.5.1 Verifica soletta H=50 cm

Le sollecitazioni massime, dedotte dai modelli di analisi, per la sezione considerata sono:

COMB	N (kNm)	M (kNm)	T (kN)
STR	-53,00	125,00	102,00
SIS	+90,00	150,00	111,00
QP	-35,00	89,00	-

Si prevede un'armatura a flessione pari a:

$\phi 20$ passo 20 cm a 6,5 cm da esterno sezione (compressa)

$\phi 20$ passo 20 cm a 6,5 cm da esterno sezione (tesa)

Si prevede un'armatura a taglio pari a:

non è necessaria armatura a taglio

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 ≥ 1.000							

N.Comb.	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.
1	S	5300	12500	0	5324	28368	0	2,269
2	S	-9000	15000	0	-8997	25445	0	1,696

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,O sez.)								
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O 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,O sez.)								
Yf min	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,O 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,O sez.)								
Yf max	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,O sez.)								

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		Codice documento PG0095_F0.doc	Rev F0	Data 20/06/2011

1	0,00173	-0,00405	50,0	50,0	-0,00002	43,5	43,5	-0,01000	-43,5	6,5
2	0,00157	-0,00413	-50,0	50,0	-0,00016	-43,5	43,5	-0,01000	-43,5	6,5

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	0,000000000	0,000269752	-0,011753390		
2	0,000000000	0,000265954	-0,011728703		

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver	S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max	Massima tensione positiva di compressione nel conglomerato [daN/cm ²]
Xc max	Ascissa in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,0)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,0)
Sf min	Minima tensione negativa di trazione nell'acciaio [daN/cm ²]
Xf min	Ascissa in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,0)
Yf min	Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,0)
Ac eff.	Area di conglomerato [cm ²] in zona tesa considerata aderente alle barre
D fess.	Distanza calcolata tra le fessure espressa in mm
K3	Coeff. (§ B.6.6.2 Istruz.DM96) dipendente dalla forma del diagramma tensioni
Ap.fess.	Apertura fessure in mm. Calcolo secondo §4.1.2.2.4.6 NTC.

N. Comb.	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xf min	Yf min	Ac eff.	D fess.	K3	Ap.Fess.
1	S	19,1	-50,0	50,0	-196	-43,5	6,5	1874	0	0,125	0,000

Elementi che non richiedono armatura a taglio

f_{ck} =	32	Mpa	
d =	450	mm	altezza utile
A_{sl} =	1570	mm ²	armatura longitudinale tesa
b_w =	1000	mm	larghezza minima della sezione in zona tesa
A_c =	450000	mm ²	area sezione calcestruzzo
N_{ed} =	0	kN	forza assiale nella sezione (positive le compressioni)
$C_{rd,c}$ =	0,12		
k_1 =	0,15		
k =	1,6667	≤	2
ρ_1 =	0,003488889	≤	0,02
σ_{cp} =	0,0000	<	3,6267
v_{min} =	0,4260		
$V_{Rd,c}$ =	201,15	kN	formula estesa
$V_{Rd,c}$ =	191,70	kN	valore minimo di resistenza

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		Codice documento PG0095_F0.doc	Rev F0	Data 20/06/2011

9.5.2 Verifica piedritti H=100 cm

Le sollecitazioni massime, dedotte dai modelli di analisi, per la sezione considerata sono:

COMB	N (kN)	M (kNm)	T (kN)
STR	-354,00	111,00	8,00
SIS	-53,00	247,00	55,00
QP	-265,00	86,00	-

Si prevede un'armatura a flessione pari a:

$\phi 20$ passo 20 cm a 6,5 cm da esterno sezione (compressa)

$\phi 20$ passo 20 cm a 6,5 cm da esterno sezione (tesa)

Si prevede un'armatura a taglio pari a:

non occorre armatura a taglio

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 ≥ 1.000

N.Comb.	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.
1	S	35400	11100	0	35400	74876	0	6,746
2	S	5300	24700	0	5304	61632	0	2,495

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,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O 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,O sez.)
Yf min	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,O 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,O sez.)
Yf max	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,O 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	0,00136	-0,00385	50,0	100,0	0,00057	43,5	93,5	-0,01000	-43,5	6,5
2	0,00112	-0,00398	50,0	100,0	0,00034	43,5	93,5	-0,01000	-43,5	6,5

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		Codice documento PG0095_F0.doc	Rev F0	Data 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	0,000000000	0,000121503	-0,010789771		
2	0,000000000	0,000118895	-0,010772815		

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max Massima tensione positiva di compressione nel conglomerato [daN/cm²]
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,0)
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,0)
Sf min Minima tensione negativa di trazione nell'acciaio [daN/cm²]
Xf min Ascissa in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,0)
Yf min Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,0)
Ac eff. Area di conglomerato [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
D fess. Distanza calcolata tra le fessure espressa in mm
K3 Coeff. (§ B.6.6.2 Istruz.DM96) dipendente dalla forma del diagramma tensioni
Ap.fess. Apertura fessure in mm. Calcolo secondo §4.1.2.2.4.6 NTC.

N. Comb.	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xf min	Yf min	Ac eff.	D fess.	K3	Ap.Fess.
1	S	7,2	-50,0	100,0	-23	-43,5	6,5	1874	0	0,125	0,000

Elementi che non richiedono armatura a taglio

$f_{ck} =$	25	Mpa	
$d =$	900	mm	altezza utile
$A_{sl} =$	1570	mm ²	armatura longitudinale tesa
$b_w =$	1000	mm	larghezza minima della sezione in zona tesa
$A_c =$	900000	mm ²	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
$\rho_1 =$	0,001744444	≤	0,02
$\sigma_{cp} =$	0,0000	<	2,8333
$V_{min} =$	0,3123		
$V_{Rd,c} =$	259,63	kN	formula estesa
$V_{Rd,c} =$	281,11	kN	valore minimo di resistenza

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		Codice documento PG0095_F0.doc	Rev F0	Data 20/06/2011

9.5.3 Verifica piedritti H=50 cm

Le sollecitazioni massime, dedotte dai modelli di analisi, per la sezione considerata sono:

COMB	N (kN)	M (kNm)	T (kN)
STR	-310,00	16,00	7,00
SIS	-83,00	66,00	32,00
QP	-221,00	12,00	-

Si prevede un'armatura a flessione pari a:

ϕ 16 passo 20 cm a 6,5 cm da esterno sezione (compressa)

ϕ 16 passo 20 cm a 6,5 cm da esterno sezione (tesa)

Si prevede un'armatura a taglio pari a:

non è necessaria armatura a taglio

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'inertia							
My	Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inertia							
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'inertia							
My ult	Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inertia							
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult, Mx ult, My ult) e (N, Mx, My) Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000							

N.Comb.	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.
1	S	31000	1600	0	31017	24366	0	15,229
2	S	8300	6600	0	8292	19656	0	2,978

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,O sez.)									
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O 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,O sez.)									
Yf min	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,O 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,O sez.)									
Yf max	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,O 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	0,00176	-0,00403	50,0	50,0	0,00000	43,5	43,5	-0,01000	-43,5	6,5
2	0,00146	-0,00418	50,0	50,0	-0,00025	43,5	43,5	-0,01000	-43,5	6,5

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		Codice documento PG0095_F0.doc	Rev F0	Data 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	0,000000000	0,000270264	-0,011756714		
2	0,000000000	0,000263464	-0,011712513		

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max Massima tensione positiva di compressione nel conglomerato [daN/cm²]
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,0)
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,0)
Sf min Minima tensione negativa di trazione nell'acciaio [daN/cm²]
Xf min Ascissa in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,0)
Yf min Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,0)
Ac eff. Area di conglomerato [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
D fess. Distanza calcolata tra le fessure espressa in mm
K3 Coeff. (§ B.6.6.2 Istruz.DM96) dipendente dalla forma del diagramma tensioni
Ap.fess. Apertura fessure in mm. Calcolo secondo §4.1.2.2.4.6 NTC.

N. Comb.	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xf min	Yf min	Ac eff.	D fess.	K3	Ap.Fess.
1	S	6,8	50,0	50,0	33	-43,5	6,5	1874	0	0,125	0,000

Elementi che non richiedono armatura a taglio

$f_{ck} =$	32	Mpa	
$d =$	450	mm	altezza utile
$A_{st} =$	1570	mm ²	armatura longitudinale tesa
$b_w =$	1000	mm	larghezza minima della sezione in zona tesa
$A_c =$	450000	mm ²	area sezione calcestruzzo
$N_{ed} =$	0	kN	forza assiale nella sezione (positive le compressioni)
$C_{rd,c} =$	0,12		
$k_1 =$	0,15		
$k =$	1,6667	≤	2
$\rho_1 =$	0,003488889	≤	0,02
$\sigma_{cp} =$	0,0000	<	3,6267
$v_{min} =$	0,4260		
$V_{Rd,c} =$	201,15	kN	formula estesa
$V_{Rd,c} =$	191,70	kN	valore minimo di resistenza

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

9.5.4 Verifica della fondazione H=150 cm

Le sollecitazioni massime, dedotte dai modelli di analisi, per la sezione considerata sono:

COMB	N (kN)	M (kNm)	T (kN)
STR	0,00	384,00	200,00
SIS	-100,00	557,00	296,00
QP	0,00	287,00	-

Si prevede un'armatura a flessione pari a:

$\phi 26$ passo 20 cm a 6,5 cm da esterno sezione (compressa)

$\phi 26$ passo 20 cm a 6,5 cm da esterno sezione (tesa)

Si prevede un'armatura a taglio pari a:

non occorre armatura a taglio

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'inertia
My	Momento flettente assegnato [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inertia
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'inertia
My ult	Momento flettente ultimo [in daNm] riferito all'asse y princ. d'inertia
Mis.Sic.	Misura sicurezza = rapporto vettoriale tra (N ult, Mx ult, My ult) e (N, Mx, My) Verifica positiva se tale rapporto risulta ≥ 1.000

N.Comb.	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.
1	S	0	38400	0	0	154176	0	4,015
2	S	10000	55700	0	10007	160961	0	2,890

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,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O 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,O sez.)
Yf min	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,O 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,O sez.)
Yf max	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,O 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	0,00104	-0,00390	-50,0	150,0	0,00054	-43,5	143,5	-0,01000	-43,5	6,5
2	0,00110	-0,00387	-50,0	150,0	0,00059	-43,5	143,5	-0,01000	-43,5	6,5

POSIZIONE ASSE NEUTRO PER OGNI COMB. DI RESISTENZA

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		Codice documento PG0095_F0.doc	Rev F0	Data 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	0,000000000	0,000076951	-0,010500183	0,094	0,700
2	0,000000000	0,000077326	-0,010502618		

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max Massima tensione positiva di compressione nel conglomerato [daN/cm²]
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,0)
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,0)
Sf min Minima tensione negativa di trazione nell'acciaio [daN/cm²]
Xf min Ascissa in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,0)
Yf min Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,0)
Ac eff. Area di conglomerato [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
D fess. Distanza calcolata tra le fessure espressa in mm
K3 Coeff. (§ B.6.6.2 Istruz.DM96) dipendente dalla forma del diagramma tensioni
Ap.fess. Apertura fessure in mm. Calcolo secondo §4.1.2.2.4.6 NTC.

N. Comb.	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xf min	Yf min	Ac eff.	D fess.	K3	Ap.Fess.
1	S	6,8	-50,0	150,0	-93	-21,8	6,5	1874	0	0,125	0,000

Elementi che non richiedono armatura a taglio

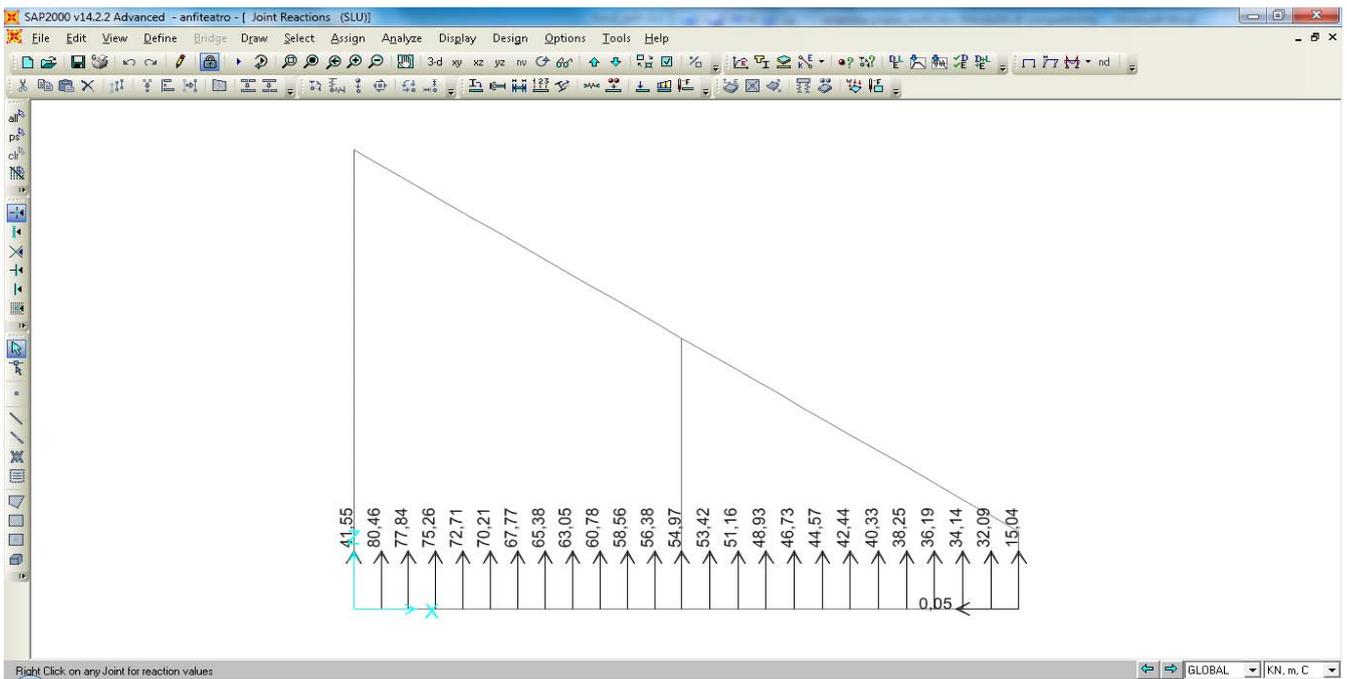
$f_{ck} =$	25	Mpa	
$d =$	1350	mm	altezza utile
$A_{sl} =$	2653,3	mm ²	armatura longitudinale tesa
$b_w =$	1000	mm	larghezza minima della sezione in zona tesa
$A_c =$	1350000	mm ²	area sezione calcestruzzo
$N_{ed} =$	0	kN	forza assiale nella sezione (positive le compressioni)
$C_{rd,c} =$	0,12		
$k_1 =$	0,15		
$k =$	1,3849	≤	2
$\rho_1 =$	0,001965407	≤	0,02
$\sigma_{cp} =$	0,0000	<	2,8333
$V_{min} =$	0,2852		
$V_{Rd,c} =$	381,41	kN	formula estesa
$V_{Rd,c} =$	385,03	kN	valore minimo di resistenza

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<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						

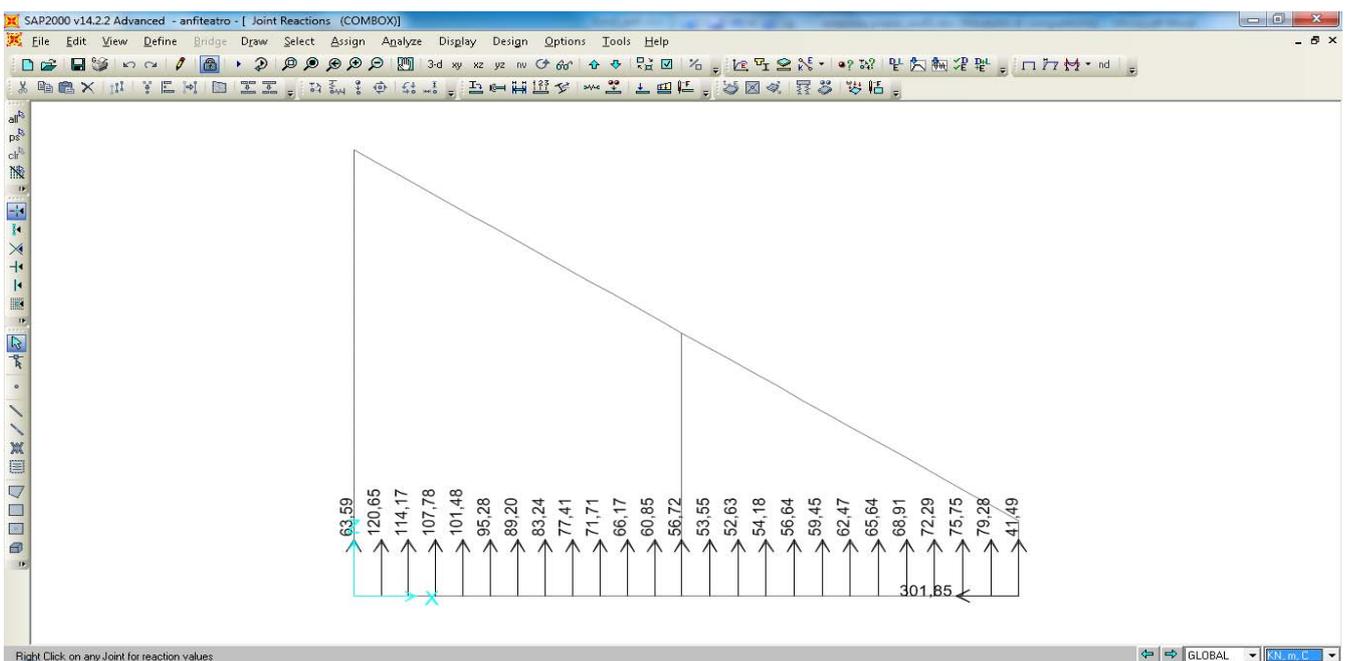
9.6 SCARICHI IN FONDAZIONE

Si riportano le pressioni scaricate a intradosso fondazione.

COMBINAZIONE SLU1

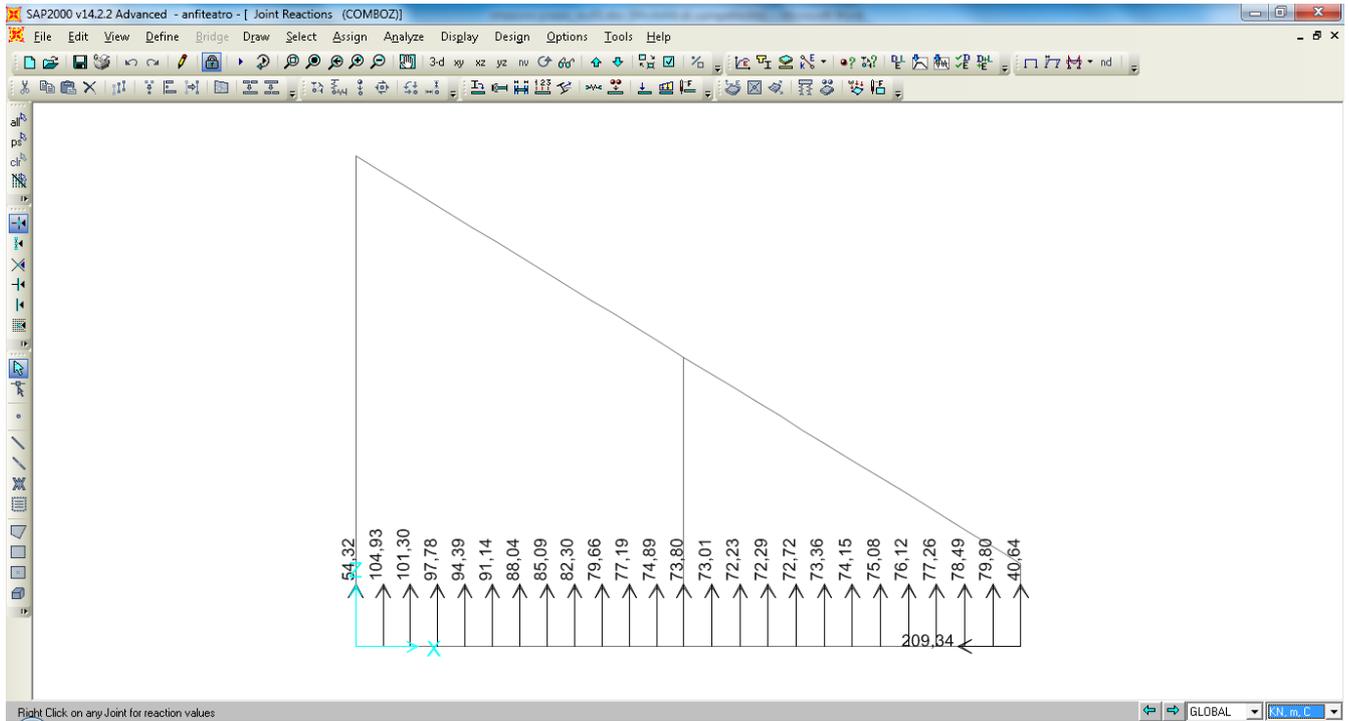


COMBINAZIONE SIS1

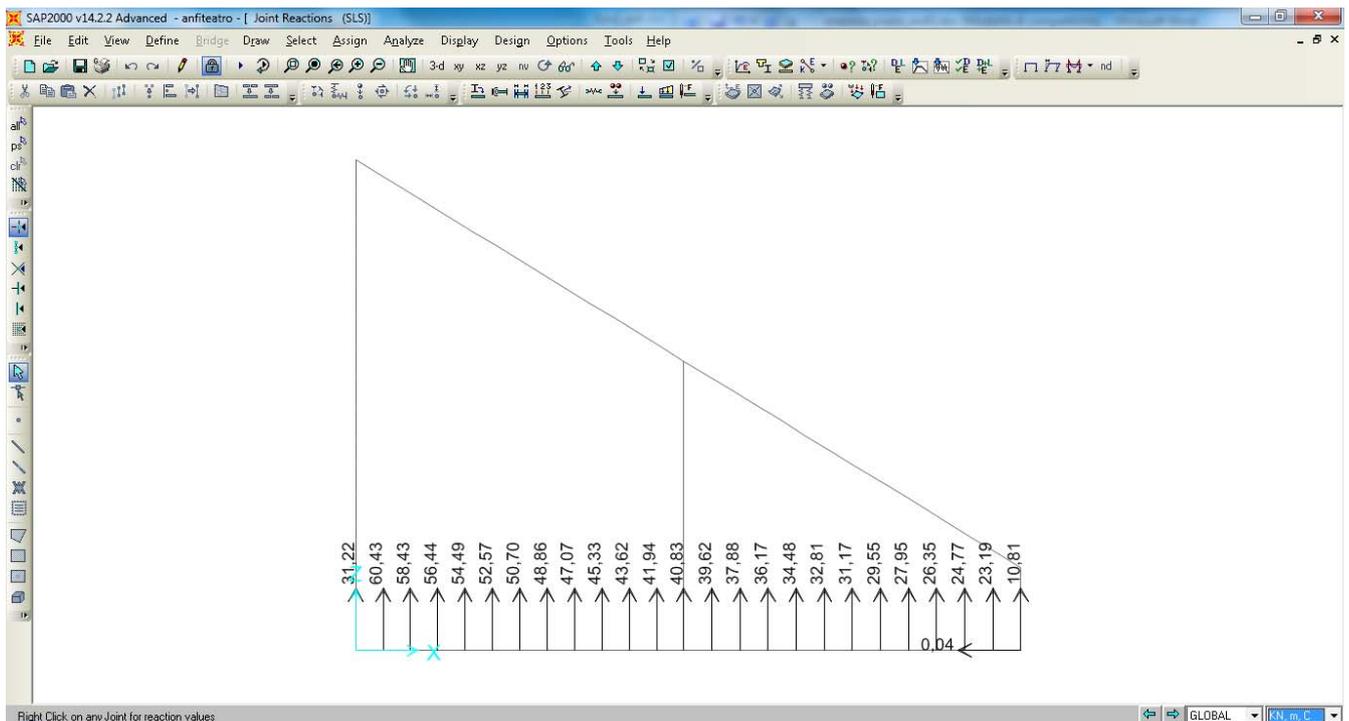


		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

COMBINAZIONE SIS2



COMBINAZIONE SLS1



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Dalle immagini riportate si evince quindi che le massime pressioni agenti sono le seguenti:

OutputCase	CaseType	pressione	pressione
Text	Text	kPa	MPa
SLU1	Combination	81,00	0,081
SIS1	Combination	121,00	0,121
SIS2	Combination	105,00	0,105
SLS1	Combination	61,00	0,061

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<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						

10 ANALISI STRUTTURALE DEI MURI DELLE AIUOLE

10.1 ANALISI DEI CARICHI

Nel seguente paragrafo si descrivono i carichi elementari da assumere per le verifiche dagli SLS, SLU ed in presenza dell'evento sismico.

Per i materiali si assumono i seguenti pesi specifici:

- calcestruzzo: 25 kN/m³
- terreno di riempimento: 20 kN/m³

10.1.1 Carichi permanenti strutturali (g₁)

$$\text{Muretto sp. 45 cm} = 0,45 \times 25 = 11,25 \text{ kN/m}^2$$

10.1.2 Carichi dovuti alla spinte delle terre (g₃)

Il rinterro a ridosso del muro verrà realizzato tramite materiale arido di buone caratteristiche meccaniche. Per tale materiale si assumono i seguenti parametri:

- peso specifico $\gamma_t = 20 \text{ kN/m}^3$
- angolo di attrito $\phi = 35^\circ$

da cui risulta un coefficiente di spinta attiva $\lambda_a = 0,271$ ed un coefficiente di spinta a riposo $\lambda_o = 0,426$.

Per le verifiche in condizione GEO e SIS, si riducono i parametri geotecnici secondo i coefficienti γ_m , ottenendo quindi:

- peso specifico $\gamma_t = 20 \text{ kN/m}^3$
- angolo di attrito $\phi = 29,26^\circ$

da cui risulta un coefficiente di spinta attiva $\lambda_a = 0,343$ ed un coefficiente di spinta a riposo $\lambda_o = 0,511$.

Essendo la struttura rigida, capace quindi di subire spostamenti di tipo roto-traslazionale limitati, a favore di sicurezza viene considerata la spinta della terra in condizione di spinta a riposo sia in fase statica che in fase sismica.

Si applicano, di conseguenza, i valori delle spinte secondo la profondità con $p_h = \lambda_o \gamma_t z$ e con il consueto diagramma triangolari delle pressioni orizzontali.

Oltre alla spinta dovuta al rinterro, viene considerata inoltre la spinta del terreno dovuto alla

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

presenza di un possibile sovraccarico (assunto in via cautelativa pari a $q=20$ kN/mq, trascurando la diffusione delle tensioni) a tergo del muro. Si applicano, di conseguenza, i valori delle spinte secondo la profondità con $p_h = q \cdot z$ e con il consueto diagramma uniforme delle pressioni orizzontali.

Caratteristiche del sistema muro-terreno:

peso per unità di volume terreno	$\gamma_{\text{terreno}} =$	20	kN/m ³
angolo di attrito interno del terreno	$\phi' =$	35	°
inclinazione del paramento	$\psi =$	90	°
angolo di attrito terreno-paramento	$\delta =$	0	°
angolo di inclinazione del terrapieno	$\beta =$	0	°
coefficiente di spinta a riposo	$K_0 =$	0,426	
altezza del paramento + fondazione	$h_{\text{paramento}} =$	2,10	m

Calcolo delle spinte sul paramento e loro quota di applicazione:

$F_{x_{sp,terr}} = 1/2 * \gamma_{\text{terreno}} * h_{\text{paramento}}^2 * K_0 =$	18,786	kN/m
applicata a $z_F = h_{\text{paramento}} / 3 =$	0,70	m
$F_{x_{sp,sovracc}} = q_{\text{sovraccarico}} * h_{\text{paramento}} * K_0 =$	17,892	kN
applicata a $z_F = h_{\text{paramento}} / 2 =$	1,05	m

Per le verifiche in condizione GEO e SIS, le spinte sono le seguenti:

Caratteristiche del sistema muro-terreno:

peso per unità di volume terreno	$\gamma_{\text{terreno}} =$	20	kN/m ³
angolo di attrito interno del terreno	$\phi' =$	29,26	°
inclinazione del paramento	$\psi =$	90	°
angolo di attrito terreno-paramento	$\delta =$	0	°
angolo di inclinazione del terrapieno	$\beta =$	0	°
coefficiente di spinta a riposo	$K_0 =$	0,511	

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%; text-align: center;"><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						

altezza del paramento + fondazione $h_{\text{paramento}} = 2,10$ m

Calcolo delle spinte sul paramento e loro quota di applicazione: - -

$F_{X_{sp,terr}} = 1/2 * \gamma_{\text{terreno}} * h_{\text{paramento}}^2 * K_0 =$ 22,534 kN
 applicata a $z_F = h_{\text{paramento}} / 3 =$ 0,70 m

$F_{X_{sp,sovracc}} = q_{\text{sovraccarico}} * h_{\text{paramento}} * K_0 =$ 21,462 kN
 applicata a $z_F = h_{\text{paramento}} / 2 =$ 1,05 m

10.1.3 Azione sismica (q_6)

L'applicazione delle azioni sismiche e l'incremento di spinta del terreno, viene affrontato mediante il metodo pseudostatico ([NT_1] § 7.11.6).

L'analisi sismica è stata fatta considerando il valore di ancoraggio dello spettro.

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

$$k_h = \beta_m \cdot \frac{a_{\max}}{g} = 0,433 \qquad k_v = \pm 0,5 * k_h = 0,216$$

dove

a_{\max} = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g = accelerazione di gravità;

β = parametro riduttivo dell'azione sismica in accordo con il §7.11.6.2.1

A favore di sicurezza si assume che la struttura non ammetta spostamenti relativi rispetto al terreno, pertanto il coefficiente β_m , assume il valore 1.

Le spinte delle terre, considerando lo scatolare una struttura rigida e priva di spostamenti (NT § 7.11.6.2.1 e EC8-5 § .7.3.2.1), sono calcolate in regime di spinta a riposo che comporta il calcolo delle spinte sismiche in tali condizioni; l'incremento dinamico di spinta del terreno può essere calcolato come:

$$\Delta P_d = S \cdot a_g / g \cdot \gamma \cdot h_{\text{tot}}^2 = 0,433 \cdot 20 \cdot 2,1^2 = 38,19 \text{ kN/m}$$

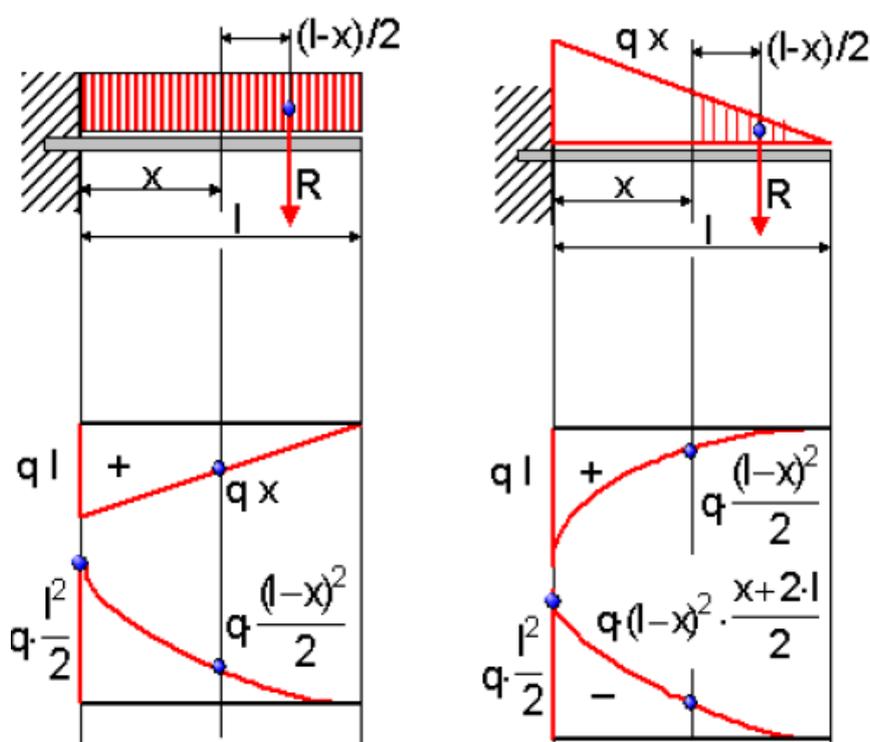
Il punto di applicazione della spinta è posto $h_{\text{tot}}/2$, con "h_{tot}" altezza del muro.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<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						

10.2 MODELLO DI CALCOLO

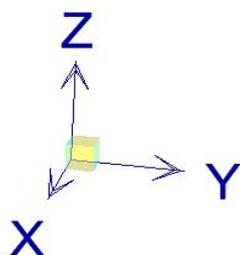
10.2.1 DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO

Si è analizzato un modello semplificato che schematizza gli elementi verticali come mensole di profondità unitaria, incastrate alla platea di fondazione e soggette ai carichi precedentemente analizzati:



10.2.2 SISTEMA DI RIFERIMENTO E CONVENZIONE DEI SEGNI

Il sistema di riferimento viene assunto con origine alla base del piede a quota estradosso platea. La disposizione degli assi segue la “regola della mano destra”:



- l'asse X è diretto verso l'esterno dell'aiuola, positivo verso l'esterno;
- l'asse Z è diretto verso l'alto, positivo verso l'alto.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<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						

10.3 CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI

10.3.1 Combinazioni per gli S.L.U.

Si applicano le combinazioni di carico in accordo al DM 14. 01 .2008 già descritte al § 7.4.1. Le combinazioni di carico adottate per le verifiche di resistenza agli SLU sono le seguenti:

- $SLU1 = 1,0 \cdot G_k + 1,3 \cdot G_3$
- $SIS1 = G_k + G_3 + E_x + 0,3 \cdot E_z$
- $SIS2 = G_k + G_3 + 0,3 \cdot E_x + E_z$

essendo:

G_k	pesi propri e carichi permanenti ($g_1 + g_2$)
G_3	spinta delle terre
E_i	azione sismica in direzione i-esima

10.3.2 Combinazioni per gli S.L.S.

Essendo la struttura in c.a. sollecitata prevalentemente da carichi permanenti, le verifiche associate a tale stato limite sono eseguite in funzione delle combinazioni di carico **quasi permanente** espresse dalla relazione seguente:

$$\sum_{j>1} G_{k,j} + P + \sum_{i>1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

dove

+ implica "da combinarsi con"

\sum implica "l'effetto combinato di"

G_k è il valore caratteristico delle azioni permanenti

P è il valore caratteristico delle azioni di precompressione

Q_k è il valore caratteristico delle azioni variabili

ψ_2 sono i coefficienti di combinazione delle azioni variabili

Le combinazioni di carico adottate per le verifiche di resistenza agli SLS sono le seguenti:

- $SLS1 = G_k + G_3$

essendo:

G_k	pesi propri e carichi permanenti ($g_1 + g_2$)
G_3	spinta delle terre

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

10.4 VERIFICA DEI MURI DI SOSTEGNO DELLE AIUOLE

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).

Le verifiche a fessurazione sono state condotte considerando:

Verifica di formazione delle fessure: la verifica si esegue per la sezione interamente reagente e per le sollecitazioni di esercizio si determina la massima trazione nel calcestruzzo σ_{ct} , confrontandola con la resistenza caratteristica a trazione per flessione f_{ctk} : se risulta $\sigma_{ct} < f_{ctk}$ la verifica è soddisfatta, altrimenti si procede alla verifica di apertura delle fessure.

Verifica di apertura delle fessure: l'apertura convenzionale delle fessure è calcolata con le modalità indicate dal D. M. Min. Il. TT. del 14 gennaio 2008, e valutata con le sollecitazioni relative alle Combinazioni FR o QP della normativa vigente sui ponti stradali. La massima apertura ammissibile risulta rispettivamente (le strutture in ambiente aggressivo ed armature poco sensibili):

b.1) combinazione di carico Frequente:

$$w_k \leq w_2 = 0,30 \text{ mm}$$

b.2) combinazione di carico quasi permanente:

$$w_k \leq w_1 = 0,20 \text{ mm}$$

La massima apertura ammissibile risulta rispettivamente (le strutture in ambiente ordinario ed armature poco sensibili):

b.1) combinazione di carico Frequente:

$$w_k \leq w_3 = 0,40 \text{ mm}$$

b.2) combinazione di carico quasi permanente:

$$w_k \leq w_2 = 0,30 \text{ mm}$$

Verifica delle tensioni di esercizio: le verifiche si eseguono per la condizione di carico Quasi Permanente e Rara, verificando rispettivamente che le tensioni di lavoro siano inferiori ai seguenti limiti:

- per la condizione QP si verifica che le massime tensioni presenti nel calcestruzzo siano inferiori a $\sigma_c < 0.45 f_{ck}$;
- per la condizione rara si verifica che le massime tensioni presenti nel calcestruzzo siano inferiori a $\sigma_c < 0.60 f_{ck}$, mentre quelle dell'acciaio $\sigma_s < 0.80 f_{yk}$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		Codice documento PG0095_F0.doc	Rev F0	Data 20/06/2011

Nelle verifiche successive si trascura la verifica in esercizio per combinazione rara e frequente, perché non dimensionante.

Le sollecitazioni massime, dedotte dai modelli di analisi, per la sezione considerata sono:

COMB	N (kNm)	M (kNm)	T (kN)
STR	-23,63	70,00	75,00
SIS	-18,52	109,00	111,00
QP	-23,63	54,00	-

Si prevede un'armatura a flessione pari a:

ϕ 12 passo 10 cm a 6,5 cm da esterno sezione (compressa)

ϕ 12 passo 10 cm a 6,5 cm da esterno sezione (tesa)

Si prevede un'armatura a taglio pari a:

non è necessaria armatura a taglio

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 ≥ 1.000

N.Comb.	Ver	N	Mx	My	N ult	Mx ult	My ult	Mis.Sic.
1	S	2363	7000	0	2354	18191	0	2,599
2	S	1852	10900	0	1867	18102	0	1,661

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,O sez.)
Yc max	Ordinata in cm della fibra corrisp. a ec max (sistema rif. X,Y,O 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,O sez.)
Yf min	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef min (sistema rif. X,Y,O 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,O sez.)
Yf max	Ordinata in cm della barra corrisp. a ef max (sistema rif. X,Y,O 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	0,00162	-0,00420	-50,0	45,0	-0,00034	43,5	38,5	-0,01000	-43,5	6,5
2	0,00161	-0,00420	-50,0	45,0	-0,00035	43,5	38,5	-0,01000	-43,5	6,5

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<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	0,000000000	0,000301832	-0,011961905		
2	0,000000000	0,000301660	-0,011960792		

COMBINAZIONI QUASI PERMANENTI IN ESERCIZIO - MASSIME TENSIONI NORMALI ED APERTURA FESSURE

Ver S = combinazione verificata / N = combin. non verificata
Sc max Massima tensione positiva di compressione nel conglomerato [daN/cm²]
Xc max Ascissa in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,0)
Yc max Ordinata in cm della fibra corrisp. a Sc max (sistema rif. X,Y,0)
Sf min Minima tensione negativa di trazione nell'acciaio [daN/cm²]
Xf min Ascissa in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,0)
Yf min Ordinata in cm della barra corrisp. a Sf min (sistema rif. X,Y,0)
Ac eff. Area di conglomerato [cm²] in zona tesa considerata aderente alle barre
D fess. Distanza calcolata tra le fessure espressa in mm
K3 Coeff. (§ B.6.6.2 Istruz.DM96) dipendente dalla forma del diagramma tensioni
Ap.fess. Apertura fessure in mm. Calcolo secondo §4.1.2.2.4.6 NTC.

N. Comb.	Ver	Sc max	Xc max	Yc max	Sf min	Xf min	Yf min	Ac eff.	D fess.	K3	Ap.Fess.
1	S	14,8	-50,0	45,0	-146	-33,8	6,5	0	0		0,000

Elementi che non richiedono armatura a taglio

f_{ck} =	32	Mpa	
d =	405	mm	altezza utile
A_{sl} =	1130,4	mm ²	armatura longitudinale tesa
b_w =	1000	mm	larghezza minima della sezione in zona tesa
A_c =	405000	mm ²	area sezione calcestruzzo
N_{ed} =	0	kN	forza assiale nella sezione (positive le compressioni)
$C_{rd,c}$ =	0,12		
k_1 =	0,15		
k =	1,7027	≤	2
ρ_1 =	0,002791111	≤	0,02
σ_{cp} =	0,0000	<	3,6267
V_{min} =	0,4399		
$V_{Rd,c}$ =	171,69	kN	formula estesa
$V_{Rd,c}$ =	178,16	kN	valore minimo di resistenza

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

11 ANALISI DELLE FONDAZIONI

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 delle fondazioni superficiali delle strutture della piazza.

Gli stati limite ultimi per sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno interagente con un muro di sostegno riguardano lo scorrimento sul piano di posa, il raggiungimento del carico limite nei terreni di fondazione e la stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno.

Quest'ultimo tipo di collasso, per le tipologie di strutture pensate, è superfluo in quanto il ribaltamento (stabilità globale) è sempre contrastato dalla soletta solidarizzata con la testa del muro di sostegno.

Tutte le azioni agenti sul muro di sostegno possono essere ricondotte a una forza risultante applicata al piano di posa.

Nello stato limite ultimo di collasso per scorrimento, l'azione di progetto è data dalla componente della risultante delle forze in direzione parallela al piano di scorrimento della fondazione, mentre la resistenza di progetto è il valore della forza parallela allo stesso piano cui corrisponde lo scorrimento della fondazione. Per fondazioni massicce (pozzi, blocchi di ancoraggio, ecc.) a diretto contatto con le pareti di scavo, eventualmente sostenute da paratie o palancolate, nella verifica allo scorrimento si può tenere conto della resistenza al taglio mobilitata lungo le pareti parallele all'azione di progetto, oltre che della spinta attiva e della resistenza passiva parallele alla stessa azione. Per l'opera in oggetto, a favore di sicurezza, si trascura sia il contributo del terreno a valle della spalla, sia del terreno lungo le pareti laterali

Nello stato limite di collasso per raggiungimento del carico limite della fondazione, l'azione di progetto è la componente della risultante delle forze in direzione normale al piano di posa. La resistenza di progetto è il valore della forza normale al piano di posa a cui corrisponde il raggiungimento del carico limite nei terreni in fondazione.

Nell'impiego dell'espressione trinomia per la valutazione del carico limite, i valori di progetto dei parametri di resistenza (c_d' , ϕ_d') sono impiegati sia per la determinazione dei fattori di capacità portante, N_c , N_q , N_α , sia per la determinazione dei coefficienti correttivi, ove tali coefficienti intervengano.

Per ogni stato limite ultimo deve essere rispettata la condizione $E_d \leq R_d$, dove E_d è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$$E_d = E \left[\gamma_F \cdot F_k ; \frac{X_k}{\gamma_M} ; a_d \right]$$

e dove R_d è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left[\gamma_F \cdot F_k ; \frac{X_k}{\gamma_M} ; a_d \right]$$

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 del muro (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+M2+R2), nella quale i parametri di resistenza del terreno sono ridotti tramite i coefficienti parziali del gruppo M2, i coefficienti globali γ_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 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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Approccio 2

Nelle verifiche per il dimensionamento geotecnico della fondazione del muro (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 γ_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 α_R e si procede come nella Combinazione 1 dell'Approccio 1.

Per l'opera in oggetto, si esegue la verifica secondo l'**Approccio 1** come precedentemente descritto.

I coefficienti parziali γ_F relativi alle azioni vengono riportati di seguito (vedi tabella 5.1.V).

Il valore di progetto della resistenza R_d può essere determinato:

- a) in modo analitico, con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno, diviso per il valore del coefficiente parziale γ_M specificato nella successiva Tab. 6.2.II e tenendo conto, ove necessario, dei coefficienti parziali γ_R relativi a ciascun tipo di opera;
- b) in modo analitico, con riferimento a correlazioni con i risultati di prove in sito, tenendo conto dei coefficienti parziali γ_R relativi a ciascun tipo di opera;
- c) sulla base di misure dirette su prototipi, tenendo conto dei coefficienti parziali γ_R relativi a ciascun tipo di opera

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO	Codice documento PG0095_F0.doc	Rev F0

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

		Coefficiente	EQU ⁽¹⁾	A1 STR	A2 GEO
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,10	1,35	1,00
Carichi permanenti non strutturali ⁽²⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Carichi variabili da traffico	favorevoli	γ_Q	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,35	1,35	1,15
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,00	0,00	0,00
	sfavorevoli		1,50	1,50	1,30
Distorsioni e presollecitazioni di progetto	favorevoli	γ_{e1}	0,90	1,00	1,00
	sfavorevoli		1,00 ⁽³⁾	1,00 ⁽⁴⁾	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

⁽¹⁾ Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.
⁽²⁾ 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.
⁽³⁾ 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna
⁽⁴⁾ 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 γ_M	(M1)	(M2)
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}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1,0	1,0

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Infine si riportano nel seguito i valori dei coefficienti parziali γ_R per le opere di sostegno quali muri o spalle da ponte in funzione del tipo di verifica e del tipo di approccio considerato.

Tabella 6.4.I - *Coefficienti parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali.*

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,8$	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$	$\gamma_R = 1,1$

11.1.1 ANALISI DEI CARICHI

L'analisi dei carichi è stata svolta ai paragrafi precedenti di analisi delle sottostrutture; pertanto si rimanda ai § 8.1 e 9.1 per l'analisi di dettaglio.

11.1.2 MODELLO DI CALCOLO

11.1.2.1 PROGRAMMA DI CALCOLO UTILIZZATO

Vedi paragrafo 7.2.1.

11.1.2.2 DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO

Vedi paragrafi 8.2.2 e 9.2.2.

11.1.3 CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI A INTRADOSSO FONDAZIONE

Si riporta nel seguito il valore delle sollecitazioni ottenute ai paragrafi precedenti, per ogni componente strutturale (vedi § 8.6 e 9.6).

11.1.3.1 Combinazioni per gli S.L.U. e S.L.S.

Si applicano le combinazioni di carico in accordo al DM 14. 01 .2008, già descritte al § 8.4 e 9.4.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

11.1.3.2 Azioni a intradosso fondazione pilastri piazza

Gli scarichi globali a intradosso fondazione sono (fondazione di dimensioni 300x100):

OutputCase	F1	F2	F3	M1	M2
Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m
SLU1_sbalzo	-41,307	+37,887	-14913,79	+102,2063	-21,9436
COMBOX	-860,834	-3042,808	-22034,86	-1478,8691	-1115,7611
SLS1_sbalzo	-34,543	+22,541	-12150,822	+77,2454	-16,9244

11.1.3.3 Azioni a intradosso muro di sostegno della piazza

Gli scarichi globali a intradosso fondazione sono (fondazione di dimensioni 450x100):

OutputCase	F1	F2	F3	M1	M2
Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m
SLU1_piazza	17124,55	1693,58	-77639,636	-97,4481	29458,103
COMBOX	3026,511	-91804,933	-100745,335	-5128,0739	-58282,5792
SLS1_piazza	13094,77	1285,797	-61435,179	-73,9948	22525,246

11.1.3.4 Azioni a intradosso fondazione anfiteatro

Gli scarichi, in termini di pressione, a intradosso fondazione sono:

OutputCase	CaseType	pressione	pressione
Text	Text	kPa	MPa
SLU1	Combination	81,00	0,081
SIS1	Combination	121,00	0,121
SIS2	Combination	105,00	0,105
SLS1	Combination	61,00	0,061

La massima azione di scorrimento si ottiene in combinazione sismica, pari a 302 kN/m.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

11.1.4 VERIFICHE GEOTECNICHE

In accordo con quanto indicato al paragrafo 11, si conducono ora le verifiche geotecniche fondamentali:

- Verifica a scorrimento
- Verifica di capacità portante

Essendo la condizione sismica quella più gravosa, vengono riportate esclusivamente le verifiche geotecniche in tale situazione.

11.1.4.1 Verifica a scorrimento

La verifica a scorrimento è soddisfatta se:

$$E_d = V \leq \frac{R_d}{\gamma_R} = \frac{F_z \cdot \tan \phi}{\gamma_R}$$

dove:

V è l'azione massima di scorrimento pari a $\sqrt{F_x^2 + F_y^2}$;

Fz è l'azione verticale gravante a intradosso fondazione nella combinazione considerata;

tanφ è la tangente dell'angolo di attrito terreno/fondazione, che per l'opera in oggetto è assunto pari a φ'=38°.

PARTE STRUTTURALE	COMBO	V [kN]	Fz [kN]	φ °	Rd [kN]	Rd / V -	γ _R -
Fond. pilastri	SISMICA	861,00	22.035,00	32,0	13.769,00	15,99	1,10
Fond. muro	SISMICA	3.027,00	100.745,00	32,0	62.952,46	20,80	1,10
Fond. anfiteatro	SISMICA	15.402,00	67.881,00	32,0	42.416,76	2,75	1,10

Le verifiche risultano soddisfatte.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Per completezza si riporta anche la verifica a scorrimento del modello semplificato, riferito al muro di sostegno della piazza, dal quale si otteneva $Fz = 820 \text{ kN/m}$ e $V=463 \text{ kN/m}$:

COMBO	V [kN/m]	Fz [kN/m]	ϕ °	Rd [kN/m]	Rd / V -	γ_R -
SISMICA	463,00	820,00	32,0	512,39	1,11	1,10

La verifica risulta soddisfatta, anche se otteniamo coefficienti di sicurezza (in fase SISMICA) di poco superiori a 1,1. Il dimensionamento è corretto, in quanto le ipotesi con cui sono state svolte le analisi sono cautelative:

- si sono eseguite le calcolazioni adottando i valori minimi dei parametri geotecnici all'interno dei range proposti
- si è trascurato il contributo della spinta passiva a valle della fondazione
- si è trascurato il contributo dell'attrito sulle pareti laterali della struttura
- il modello di analisi è un modello semplificato

Per assicurare la corretta adesione tra fondazione e terreno, si prescrive che in fase di costruzione sia realizzato il getto di magro di fondazione dopo aver adeguatamente preparato il piano di posa del terreno naturale (lasciando opportune irregolarità); inoltre si prescrive che il rinterro a valle della fondazione sia adeguatamente compattato e costipato, in modo che possa essere mobilitata la spinta passiva.

11.1.4.2 Verifica di capacità portante

La verifica di capacità portante è soddisfatta se:

$$E_d = q_{\max} \leq \frac{R_d}{\gamma_R} = \frac{q_{adm}}{\gamma_R}$$

dove:

q_{\max} è la pressione sul terreno per effetto dei carichi agenti;

q_{adm} è la portanza ammissibile che il terreno può garantire, valutata come di seguito indicato.

La portanza del terreno viene valutata in accordo con la teoria di Brinch-Hansen (vedi riferimento bibliografico [B24]), mettendo in conto anche l'eccentricità dei carichi e la possibilità di parzializzazione della fondazione.

Essa deriva dallo studio teorico del meccanismo della rottura generale condotto inizialmente da Terzaghi, ma i singoli parametri sono stati ricavati dall'osservazione di casi reali e, quindi,

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<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						

essa può essere generalizzata anche a meccanismi diversi.

La formulazione analitica della teoria di Brinch-Hansen è la seguente:

$$q_{ult} = cN_c s_c d_c i_c g_c b_c + qN_q s_q d_q i_q g_q b_q + 0,5\gamma N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma$$

$$\text{se } \phi=0, q_{ult} = 5,14s_u (1 + s'_c + d'_c - i'_c - b'_c - g'_c) + q$$

dove

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi \quad N_q = e^{\pi \tan \phi} \tan^2 (45 + \phi / 2) \quad N_\gamma = 1,5 \cdot (N_q - 1) \tan \phi$$

$$s'_c = 0,2 \frac{B}{L} \quad s_c = 1 + \frac{N_q}{N_c} \frac{B}{L} \quad s_q = 1 + \frac{B}{L} \tan \phi \quad s_\gamma = 1 - 0,4 \frac{B}{L}$$

$$d'_c = 0,4k \quad d_c = 1 + 0,4k \quad d_q = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 k \quad d_\gamma = 1$$

$$k = \frac{D}{B} \quad \text{se } \frac{D}{B} \leq 1$$

$$k = \tan^{-1} \frac{D}{B} \quad \text{se } \frac{D}{B} > 1$$

$$i'_c = 0,5 - 0,5 \sqrt{1 - \frac{H}{A_f c}} \quad i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1} \quad i_q = \left(1 - \frac{0,5H}{V + A_f c \cot \phi} \right)^5$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{0,7H}{V + A_f c \cot \phi} \right)^5 \quad \text{se } \eta = 1$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{(0,7 - \eta / 450)H}{V + A_f c \cot \phi} \right)^5 \quad \text{se } \eta \geq 1$$

$$g'_c = \frac{\beta}{147} \quad g_c = 1 - \frac{\beta}{147} \quad g_q = g_\gamma = (1 - 0,5 \tan \beta)^5$$

$$b'_c = \frac{\eta}{147} \quad b_c = 1 - \frac{\eta}{147} \quad b_q = \exp(-2\eta \tan \phi) \quad b_\gamma = \exp(-2,7\eta \tan \phi)$$

- Af è l'area efficace di base
c è l'aderenza di base
D è la profondità della fondazione rispetto a piano campagna
B è la dimensione minore della fondazione
L è la dimensione maggiore della fondazione
H è il carico orizzontale trasmesso dalla fondazione
V è il carico verticale trasmesso dalla fondazione
η è l'inclinazione del piano della fondazione sull'orizzontale
β è l'inclinazione del pendio

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

La quota di imposta fondazione è stata assunta cautelativamente a -2 m da p.c., riferendosi alla condizione di progetto. Essendo prossimi al livello del mare, cautelativamente si assume il peso specifico del terreno pari a 15 kN/mc (valore intermedio tra il peso specifico del terreno secco e quello immerso).

Per le analisi A2+M2, vengono adottati i seguenti parametri caratterizzanti la formulazione di B.-H.:

- Peso specifico del terreno = 15 kN/mc
- angolo di attrito = 29,26°
- coesione efficace = 0 MPa
- Profondità del piano di posa (profondità media) = -2,0 m da p.c.

Si riportano nel seguito le sole verifiche di capacità portante per ogni parte strutturale analizzata.

Per ogni combinazione di verifica sono indicati i parametri geometrici della fondazione, i parametri geotecnici, le azioni agenti e i parametri resistenti.

COMBINAZIONE SIS – fondazione pilastri

B =	3	m	dimensione della fondazione lungo l'asse x		
L =	48	m	dimensione della fondazione lungo l'asse y		
D =	2	m	profondità della fondazione		
ϕ' =	29,26	°	angolo di attrito del terreno,	0,511	rad
c' =	0	kPa	coesione efficace del terreno		
γ =	15	kN/mc	peso specifico del terreno		
β =	0	°	inclinazione del pendio, positiva verso il basso		
η =	0	°	inclinazione del piano fondazione, positiva verso l'alto		
Fz =	22.035,00	kN	azione verticale agente		
Fx =	861,00	kN	azione orizzontale agente lungo B		
Mxx =	1.116,00	kNm	momento di asse vettore x		
Myy =	1.479,00	kNm	momento di asse vettore y		
ex =	0,067	m	eccentricità del carico lungo x		
ey =	0,051	m	eccentricità del carico lungo y		
B' =	2,866	m	dimensione ridotta della fondazione lungo l'asse x		
L' =	47,899	m	dimensione ridotta della fondazione lungo l'asse y		
Af =	137,266	mq	area della fondazione efficace		

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$q_{max} = 160,528$ kPa massima pressione agente
 $q_{ult} = 828,67$ kPa capacità portante agente
 $\gamma = 5,162$ fattore di sicurezza relativo alla capacità portante

Come si evince la verifica risulta soddisfatta. Verifiche più dettagliate che tengano conto della curvatura in pianta della fondazione, si rimandano a una fase successiva di progettazione.

In questa fase:

- avendo assunto valori cautelativi di scarico in fondazione
- avendo considerato solo 48 m di fondazione reagente (inferiore all'intero sviluppo della fondazione dei pilastri)
- non avendo considerato la connessione rigida con il complesso strutturale della fondazione della piazza
- avendo assunto parametri del terreno cautelativi (minimi dei range)
- avendo trascurato la resistenza passiva di valle
- avendo ottenuto coefficienti di sicurezza elevati

si ritiene il dimensionamento corretto.

Riporto per completezza i singoli coefficienti della formulazione di Brinch-Hansen, considerati nella combinazione in esame:

COEFFICIENTI DI CAPACITA' PORTANTE

$N_q = 16,928$
 $N_c = 28,431$
 $N_\gamma = 13,386$

FATTORI DI FORMA

$s'_c = 0,0120$
 $s_c = 1,0356$
 $s_q = 1,0335$
 $s_\gamma = 0,9761$

FATTORI DI PROFONDITA'

$d'_c = 0,2792$
 $d_c = 1,2792$
 $d_q = 1,2044$
 $d_\gamma = 1,0000$
 $k = 0,6979$

FATTORI DI INCLINAZIONE DEL CARICO

$i_c = 0,9002$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: center;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

$i_q = 0,9061$

$i_\gamma = 0,8705$

FATTORI DI INCLINAZIONE DEL TERRENO

$g'c = 0,0000$

$gc = 1,0000$

$gq = g\gamma = 1,0000$

FATTORI DI INCLINAZIONE DEL PIANO FONDAZIONE

$b'c = 0,0000$

$bc = 1,0000$

$bq = 1,0000$

$b\gamma = 1,0000$

COMBINAZIONE SIS – fondazione muro

$B = 4,5$ m dimensione della fondazione lungo l'asse x

$L = 73$ m dimensione della fondazione lungo l'asse y

$D = 2$ m profondità della fondazione

$\phi' = 29,26$ ° angolo di attrito del terreno, $0,511$ rad

$c' = 0$ kPa coesione efficace del terreno

$\gamma = 15$ kN/mc peso specifico del terreno

$\beta = 0$ ° inclinazione del pendio, positiva verso il basso

$\eta = 0$ ° inclinazione del piano fondazione, positiva verso l'alto

$F_z = 100.746,00$ kN azione verticale agente

$F_x = 3.027,00$ kN azione orizzontale agente lungo B

$M_{xx} = 58.283,00$ kNm momento di asse vettore x

$M_{yy} = 5.128,00$ kNm momento di asse vettore y

$e_x = 0,051$ m eccentricità del carico lungo x

$e_y = 0,579$ m eccentricità del carico lungo y

$B' = 4,398$ m dimensione ridotta della fondazione lungo l'asse x

$L' = 71,843$ m dimensione ridotta della fondazione lungo l'asse y

$A_f = 315,980$ mq area della fondazione efficace

$q_{max} = 318,837$ kPa massima pressione agente

$q_{ult} = 948,11$ kPa capacità portante agente

$\gamma = 2,974$ fattore di sicurezza relativo alla capacità portante

Come si evince la verifica risulta soddisfatta.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: center;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

Riporto per completezza i singoli coefficienti della formulazione di Brinch-Hansen, considerati nella combinazione in esame:

COEFFICIENTI DI CAPACITA' PORTANTE

N _q =	16,928
N _c =	28,431
N _γ =	13,386

FATTORI DI FORMA

s' _c =	0,0122
s _c =	1,0365
s _q =	1,0343
s _γ =	0,9755

FATTORI DI PROFONDITA'

d' _c =	0,1819
d _c =	1,1819
d _q =	1,1332
d _γ =	1,0000
k =	0,4547

FATTORI DI INCLINAZIONE DEL CARICO

i _c =	0,9225
i _q =	0,9271
i _γ =	0,8992

FATTORI DI INCLINAZIONE DEL TERRENO

g' _c =	0,0000
g _c =	1,0000
g _q = g _γ =	1,0000

FATTORI DI INCLINAZIONE DEL PIANO FONDAZIONE

b' _c =	0,0000
b _c =	1,0000
b _q =	1,0000
b _γ =	1,0000

COMBINAZIONE SIS – fondazione anfiteatro

B =	11	m	dimensione della fondazione lungo l'asse x
L =	51	m	dimensione della fondazione lungo l'asse y
D =	2	m	profondità della fondazione

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: center;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

ϕ' =	29,26	°	angolo di attrito del terreno,	0,511	rad
c' =	0	kPa	coesione efficace del terreno		
γ =	15	kN/mc	peso specifico del terreno		
β =	0	°	inclinazione del pendio, positiva verso il basso		
η =	0	°	inclinazione del piano fondazione, positiva verso l'alto		
F_z =	67.881,00	kN	azione verticale agente		
F_x =	15.402,00	kN	azione orizzontale agente lungo B		
M_{xx} =	0,00	kNm	momento di asse vettore x		
M_{yy} =	0,00	kNm	momento di asse vettore y		
e_x =	0,000	m	eccentricità del carico lungo x		
e_y =	0,000	m	eccentricità del carico lungo y		
B' =	11,000	m	dimensione ridotta della fondazione lungo l'asse x		
L' =	51,000	m	dimensione ridotta della fondazione lungo l'asse y		
A_f =	561,000	mq	area della fondazione efficace		
q_{max} =	121,000	kPa	massima pressione agente		
q_{ult} =	753,30	kPa	capacità portante agente		
γ =	6,226		fattore di sicurezza relativo alla capacità portante		

Come si evince la verifica risulta soddisfatta.

Riporto per completezza i singoli coefficienti della formulazione di Brinch-Hansen, considerati nella combinazione in esame:

COEFFICIENTI DI CAPACITA' PORTANTE

N_q =	16,928
N_c =	28,431
N_γ =	13,386

FATTORI DI FORMA

$s'c$ =	0,0431
s_c =	1,1284
s_q =	1,1208
s_γ =	0,9137

FATTORI DI PROFONDITA'

$d'c$ =	0,0727
d_c =	1,0727
d_q =	1,0532

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: center;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

$d\gamma = 1,0000$
 $k = 0,1818$

FATTORI DI INCLINAZIONE DEL CARICO

$i_c = 0,5193$
 $i_q = 0,5477$
 $i_\gamma = 0,4211$

FATTORI DI INCLINAZIONE DEL TERRENO

$g'c = 0,0000$
 $gc = 1,0000$
 $gq = g\gamma = 1,0000$

FATTORI DI INCLINAZIONE DEL PIANO FONDAZIONE

$b'c = 0,0000$
 $bc = 1,0000$
 $bq = 1,0000$
 $b\gamma = 1,0000$

11.1.4.3 Calcolo dei cedimenti indotti

Il calcolo dei cedimenti viene condotto con il metodo di Burland-Burbidge (vedi riferimento bibliografico [B30]).

Il metodo per la stima del cedimento di fondazioni su sabbie normalmente consolidate (NC) e sovra consolidate (OC) dai risultati di prove SPT si basa su un'analisi statistica di un grande numero casi osservati.

Sia w il cedimento esprimibile con la relazione:

$$\frac{w}{Z_1} = q' \cdot I_c$$

dove

$Z_1 = B^{0,7}$ zona di influenza del carico che si estende fino ad una profondità dove il cedimento è pari a 25% del cedimento superficiale;

$I_c = 1,7 / N^{1,4}$ indice di compressibilità (anche definibile come variazione d'indice di vuoti su variazione di tensioni efficaci);

q' carico uniforme trasmesso da una fondazione quadrata

Esplicitando i termini, si ottiene il cedimento w (in mm) di una sabbia normalconsolidata:

$$w = q' \cdot B^{0,7} \cdot I_c$$

Se la fondazione si trova ad una profondità da p.c. ove è presente una tensione litostatica σ'_{v0} ,

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

l'equazione diventa, nella sua forma generalizzata:

$$w = \sigma'_{v0} \cdot B^{0,7} \cdot \frac{I_C}{3} + (q' - \sigma'_{v0}) \cdot B^{0,7} \cdot I_C$$

Dove il primo termine si riferisce al tratto di ricompressione caratteristico di un comportamento elastico del terreno (finché non raggiunge lo stato tensionale pari a quello litostatico in sito), mentre il secondo termine si riferisce alla curva di carico (per carichi applicati superiori a quelli litostatici a parità di profondità). Se il terreno è sovraconsolidato, l'equazione sopra si mantiene valida, con l'unico accorgimento che al posto di σ'_{v0} si troverà σ'_p , tensione di preconsolidazione (si ricordi il diagramma semilogaritmico delle prove edometriche).

Essendo la zona oggetto di risistemazione e rimodellamento, il materiale impiegato per la realizzazione dei rilevati e piani di posa deve seguire le specifiche tecniche di progettazione e realizzazione, che prevedono l'utilizzo di materiale di ottime caratteristiche, tali da garantire 15 Mpa di modulo di deformazione fino a 2 m dal piano di posa, per poi arrivare a valori di 20-30 Mpa del modulo di deformazione negli ultimi 2 m. Le stesse specifiche tecniche impongono che il rilevato sia eseguito garantendo il 92% della prova AASTHO MODIFICATA, pertanto le verifiche di cedimento su tale materiale risulta superflua. Inoltre, al di sotto della zona dell'anfiteatro, è stato prescritto la realizzazione di una strato di misto cementato per diffondere le tensioni e ridurre a zero i cedimenti (vedi tavole grafiche).

Viene invece fatta la verifica del cedimento massimo in corrispondenza dei muri della piazza (situazione più critica), i quali si intestano sul materiale naturale descritto al paragrafo 4.2.

Si riporta nel seguito il calcolo condotto per la determinazione del cedimento indotto in corrispondenza dei muri della piazza, assumendo come carico agente, la pressione massima in fondazione conseguente all'applicazione dei carichi nella combinazione allo Stato Limite di Servizio "RARA". Le valutazioni dei cedimenti nelle combinazioni FR e QP risultano superflue in quanto le azioni sono inferiori rispetto alla combinazione RARA.

L'azione verticale agente è pari a circa 61.436 kN, pertanto la pressione media agente in fondazione è pari a 0,23 Mpa. Dalla relazione geotecnica CG0800PRBDCSBC8G000000001B si sono valutati i valori di N_{spt} riferiti al conglomerato di Pezzo e riferendosi ai sondaggi OTCLPT1505, OTCLPT2503 e C210 si sono osservati valori di N_{spt} che oscillano tra 31 e 100 nei primi 10 m; si assume nel calcolo dei cedimenti il valor medio di lettura pari a 70 N_{spt} :

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0

$$N_{spt(DICALCOLO)} = \frac{60 + 100 + 32 + 100 + 100 + 53 + 79 + 31}{8} \approx 70$$

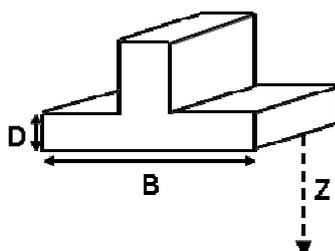
La quota di imposta fondazione è stata assunta cautelativamente a -2 m da p.c., riferendosi alla condizione di progetto. Essendo prossimi al livello del mare, cautelativamente si assume il peso specifico del terreno pari a 15 kN/mc (valore intermedio tra il peso specifico del terreno secco e quello immerso).

Da cui si ottiene:

$$S = F_s \cdot F_h \cdot F_t \cdot \left[\sigma'_{vo} \cdot B^{0.7} \cdot \frac{I_c}{3} + (q' - \sigma'_{vo}) \cdot B^{0.7} \cdot I_c \right]$$

Caratteristiche fondali:

B = 4,50 [m]
L = 73,00 [m]
D = 2,00 [m]



Litologia e carichi e prove:

Z = 2,87 [m]
 $\gamma = 1,50$ [t/m³]
 $q' = 23,00$ [t/m²]
N_{spt} = 70,00 media

Carichi Statici Carichi Dinamici

Periodo di previsione:

Tempo = 100 [anni]

$\sigma'_{vo} = 3,00$ [t/m²]

$I_c = 0,0045$

Z_i = 2,9110

F_h = 0,9998

F_s = 1,5154

anni	0	5	10	30	50	70	85	100
F _t	1,2046	1,3444	1,4046	1,5000	1,5444	1,5736	1,5905	1,6046

CEDIMENTI:

S [mm]	3,983	5,355	5,595	5,975	6,152	6,268	6,336	6,392
--------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

LEGENDA:

B = Larghezza fondale
L = Lunghezza fondale
D = Profondità del piano di posa
Z = Spessore strato compressibile
 γ = Peso di volume dello strato
 q' = Pressione efficace lorda

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
PIAZZA - RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> PG0095_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Nspt = N. medio di colpi (prove SPT)

σ'_{vo} = Tensione verticale efficace

Ic = Indice di compressibilità

Fs, Fh, Ft = Fattori correttivi

Zi = Profondità significativa

Dall'analisi si evince quindi che l'entità massima dei cedimenti con le assunzioni fatte è dell'ordine dei 0,7 cm, valore accettabile per le assunzioni fatte.

E' da precisare che tale valore di cedimento è un valore assoluto, che non tiene conto dello sviluppo nel tempo dei cedimenti; per questo tipo di terreni infatti, la parte maggiore dei cedimenti viene scontata in fase di costruzione dell'opera, a favore di sicurezza per le analisi svolte in questa fase progettuale.