

# PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA



## PROGETTO DEFINITIVO

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

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

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

<i>Unità Funzionale</i>	COLLEGAMENTI CALABRIA	CS0482_F0
<i>Tipo di sistema</i>	INFRASTRUTTURE STRADALI OPERE CIVILI	
<i>Raggruppamento di opere/attività</i>	ELEMENTI DI CARATTERE GENERALE	
<i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i>	SOTTOPASSO (PROLUNGAMENTO VIA ENRICO COSENZ)	
<i>Titolo del documento</i>	RELAZIONE DI CALCOLO	

CODICE	C	G	0	7	0	0	P	C	L	D	C	S	C	0	0	S	P	S	1	0	0	0	0	0	1	F0
--------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

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



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## INDICE

INDICE .....	3
PREMESSA.....	5
1 RIFERIMENTI NORMATIVI .....	5
2 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....	7
3 CARATTERISTICHE MATERIALI.....	10
3.1 Conglomerato cementizio .....	10
3.1.1 Conglomerato cementizio per sottofondazioni .....	10
3.1.2 Conglomerato cementizio per fondazioni .....	10
3.1.3 Conglomerato cementizio per elevazioni .....	10
3.2 Acciaio per cemento armato .....	11
4 DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA.....	12
4.1 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E UBICAZIONE DELLA STRUTTURA.....	12
4.2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL LUOGO.....	14
4.3 CARATTERIZZAZIONE DELLA SISMICITA' DEL LUOGO .....	25
4.4 CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE .....	29
4.4.1 Durabilità delle opere.....	29
5 FASI COSTRUTTIVE.....	30
6 ELABORATI DI RIFERIMENTO.....	30
7 ANALISI DELLA STRUTTURA .....	31
7.1 ANALISI DEI CARICHI .....	31
7.1.1 Carichi permanenti strutturali ( $g_1$ ).....	31
7.1.2 Spinta del terreno e falda.....	32
7.1.3 Sovraccarico interno allo scatolare .....	33
7.1.4 Carichi mobili verticali sulla soletta superiore.....	33
7.1.5 Spinta del sovraccarico sul rilevato.....	35
7.1.6 Frenatura .....	38
7.1.7 Azioni termiche .....	38
7.1.8 Azione sismica.....	38
7.1.8.1 Stato limite di salvaguardia della vita (SLV) .....	38
7.2 MODELLO DI CALCOLO .....	40
7.2.1 PROGRAMMA DI CALCOLO UTILIZZATO .....	40

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<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.....	44
7.3	CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI .....	44
7.3.1	Combinazioni per gli S.L.U. e S.L.S.....	74
7.4	VERIFICA DELLE SEZIONI .....	80
7.4.1	Verifica a pressoflessione .....	82
7.4.1.1	Soletta superiore.....	84
7.4.1.2	Soletta inferiore.....	97
7.4.1.3	Piedritto.....	110
7.4.2	Verifica al taglio .....	125
8	ANALISI DELLE FONDAZIONI .....	127
8.1	ANALISI DEL SISTEMA FONDAZIONALE.....	127
8.1.1	ANALISI DEI CARICHI .....	129
8.1.2	MODELLO DI CALCOLO.....	129
8.1.2.1	PROGRAMMA DI CALCOLO UTILIZZATO .....	129
8.1.2.2	DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO .....	129
8.1.3	CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI A INTRADOSSO FONDAZIONE.....	130
8.1.4	Combinazioni per gli S.L.U. ....	130
8.1.5	VERIFICHE GEOTECNICHE .....	133
8.1.5.1	Verifica di capacità portante.....	133
8.1.5.2	Calcolo dei cedimenti indotti.....	137

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## PREMESSA

La presente relazione riguarda il dimensionamento statico dello scatolare di prolungamento dell'attuale sottopasso di via Enrico Cosenz denominato "Prolungamento-Via Enrico Cosenz" (dimensioni interne 8.0x8.0 m), nell'ambito del progetto Definitivo per la realizzazione del "Ponte sullo Stretto di Messina".

### 1 RIFERIMENTI NORMATIVI

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

*calcestruzzo – Parte 2: Regole generali e regole per i ponti”*

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 2 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

### **RIFERIMENTI PER CALCOLO STRUTTURALE**

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

### **RIFERIMENTI PER CALCOLO SISMICO**

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI CALCOLO		Codice documento CS0482_F0	Rev F0	Data 20/06/2011

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

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

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

*Geotechnique*, 2, 301-332.

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

### 3 CARATTERISTICHE MATERIALI

#### 3.1 Conglomerato cementizio

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

##### 3.1.1 Conglomerato cementizio per sottofondazioni

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

##### 3.1.2 Conglomerato cementizio per 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	$f_{cd} = \alpha_{cc} * f_{ck}/\gamma_c = 0,85 * f_{ck}/1,5 = 18,133 \text{ N/mm}^2$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

Resistenza a trazione media	$f_{ctm} = 0,30 * f_{ck}^{2/3}$	= 3,024 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a trazione (frattile 5%)	$f_{ctk\ 0,05} = 0,7 * f_{ctm}$	= 2,117 N/mm <sup>2</sup>
Resistenza a trazione di calcolo	$f_{ctd} = f_{ctk\ 0,05} / \gamma_c$	= 1,411 N/mm <sup>2</sup>
Classe di esposizione	XC4 – XS1– XF2	
Classe di consistenza	S4	

### 3.2 Acciaio per cemento armato

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

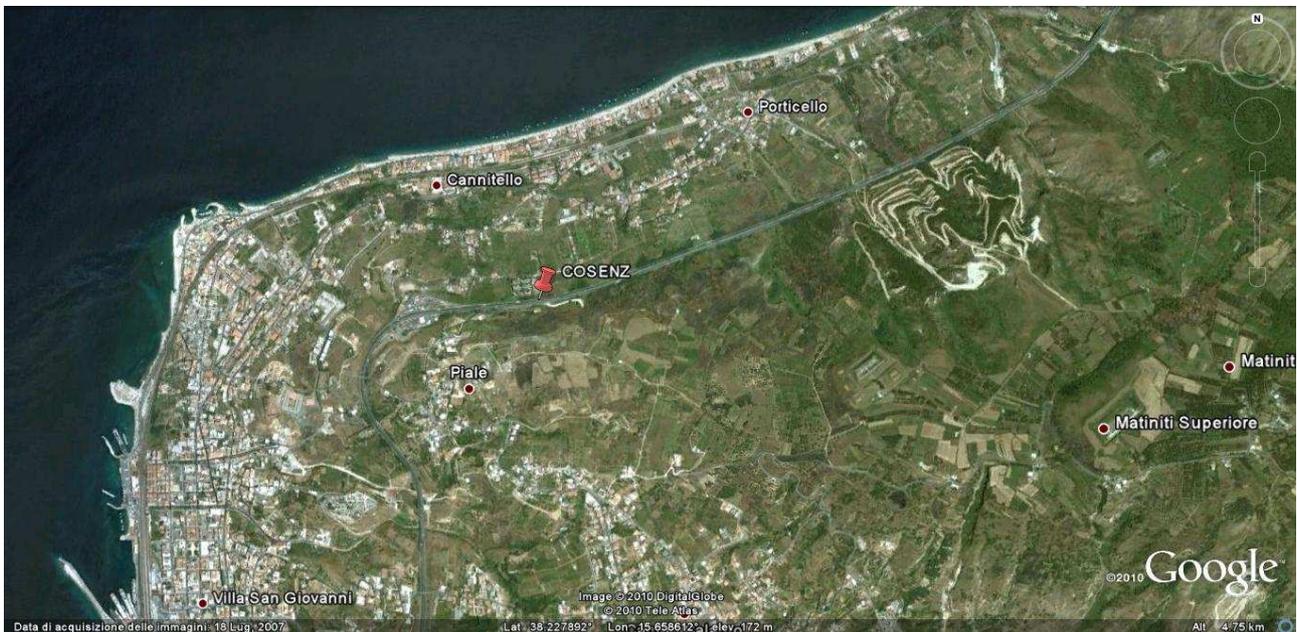
Tensione di snervamento caratteristica	$f_{yk} \geq 450 \text{ N/mm}^2$
Tensione caratteristica a rottura	$f_{tk} \geq 540 \text{ N/mm}^2$
Resistenza di calcolo	$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 450/1,15 = 391,30 \text{ N/mm}^2$
Deformazione caratteristica al carico massimo	$\epsilon_{uk} = 7,5 \%$
Deformazione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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 4 DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA

### 4.1 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E UBICAZIONE DELLA STRUTTURA

La zona in cui è individuata l'opera esaminata nel presente documento, ricade all'incirca alla Latitudine di 38,228688 e Longitudine di 15,653269.



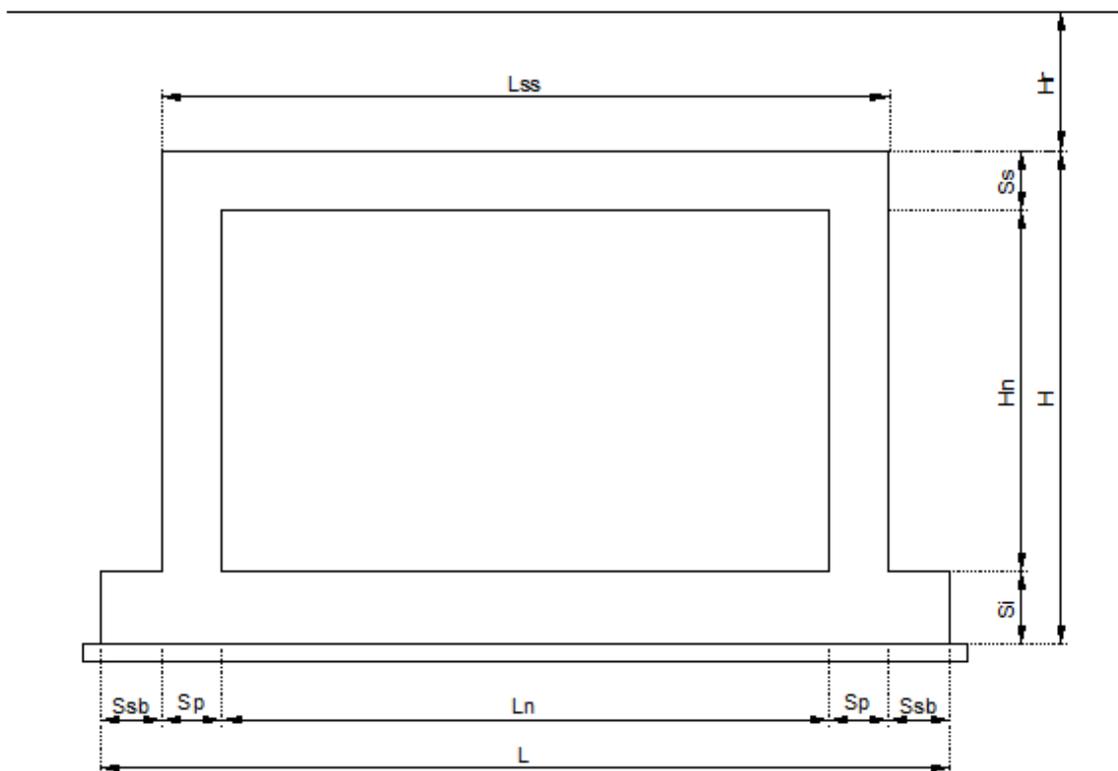
F1. Individuazione della zona in cui ricade l'opera

L'opera in oggetto è costituita da una struttura scatolare in c.a. gettato in opera. L'andamento è rettilineo, con ingresso ed uscita inclinati di  $40^\circ$  rispetto all'asse longitudinale ed ha uno sviluppo totale di 24m.

La sezione dello scatolare è rettangolare, di luce interna netta strutturale pari a 8.0x8.0 m ed è realizzato da una soletta di fondazione su cui si innestano i piedritti, costituiti da setti continui in cemento armato a spessore costante e sui quali si realizzerà la soletta di copertura, costituita da una piastra in calcestruzzo armato, anch'essa a spessore costante.

La geometria è quella riportata nella Fig. 2

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<table border="0" style="width: 100%;"> <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						



F2. Sezione trasversale scatolare

$L_n =$	8m	$S_{si} =$	1,2m	$H_r =$	0,6m
$L =$	10,6m	$S_i =$	1,2m	$H_n =$	8m
$L_{ss} =$	10,2m	$S_p =$	1,1m	$H =$	10,4m
		$S_{sb} =$	0,2m		

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 4.2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL LUOGO

Facendo riferimento ai profili geomorfologici e geotecnici di progetto (a cui si rimanda per maggior dettaglio), la zona in cui ricade l'opera in oggetto presenta una stratigrafia dove i primi 8-10 m da intradosso fondazione sono caratterizzati da "depositi di versante".

Più in dettaglio tale le litologie presentano le seguenti caratteristiche:

$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	21÷23
$c'_{\text{picco}}$ (kPa)	0
$\phi'_{\text{picco}}$ (°)	38° ÷ 40° (p'ff=0-272KPa) / 36° ÷ 38° (p'ff=272-350KPa)
$C_{\text{residuo}}$ (kPa)	0
$\phi_{\text{residuo}}$ (°)	33° ÷ 35°
$k_o$ (-)	0.4-0.5
$V_s$ (m/sec)	200+10 z
$G'_o$ (MPa)	$G'_o = 1730 \cdot p_a \cdot \left( \frac{p'_o}{p_a} \right)^{0.6}$
$E' *$ (MPa)	$E = (19 \div 30) \cdot (z)^{0.7}$
$v'$ (-)	0.2
$K$ (m/s)	$10^{-5} - 10^{-6}$

Simbologia:

$\gamma_t$  = peso di volume naturale;

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

$\phi'$  = angolo di attrito operativo;

$c'$  = intercetta di coesione operativa;

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

$c'_r$  = intercetta di coesione residua;

OCR = grado di sovraconsolidazione;

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

La posizione della falda è individuata a -15 m da p.c., pertanto nel proseguo della relazione si considererà assente la falda in quanto ininfluente nei dimensionamenti.

Per un maggior dettaglio della caratterizzazione geotecnica dei suoli si rimanda alla relazione generale CG0800PRBDCSBC8G00000001B.

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

Profilo geologico-geotecnico                      1:2000 CG0800 P F6 D C SB C6 ST 00 00 00 03 B

Profilo idrogeologico stradale                      1:2000 CG0800 P F6 D C SB C6 ST 00 00 00 04 B

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

### Descrizione delle litologie prevalenti

Le litologie prevalenti sono costituite dalle formazioni dei Depositi di versante

Depositi di versante: sono depositi detritici olocenici alimentati da processi di degradazione e trasporto dovuto sia alle acque di dilavamento che alla gravità ed accumulati, in genere, alla base

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

dei versanti. Affiora come un deposito di sabbie di colore rossastro da medie a grossolane, solo subordinatamente fini, con rare intercalazioni di livelli di ghiaiosi o limosi.

Localmente non ci sono indagini che indagano nei primi 30m di profondità per la caratterizzazione sismica del suolo.

Per definire la categoria sismica locale ci si è riferiti al sondaggio SG11, simile dal punto di vista lito-stratigrafico fornisce una categoria B ( $V_{s30}=411$  m/s).

### Indagini previste

Data l'esiguità dei sondaggi e delle prove localmente presenti (C424, S6(ANAS\_2005)), si è scelto di tenere conto anche di altri sondaggi e prove disponibili.

Le prove localmente utilizzate nella caratterizzazione sono:

#### Depositi di versante

Si considerano i sondaggi della caratterizzazione generale.

- prove SPT (C406,C407,C423BIS,C424,C421,C425,C433,C424)
- 2 prove sismiche (SG11,C423BIS)
- Prove di laboratorio per la determinazione dei parametri fisici

### Caratterizzazione geotecnica

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

#### **Depositi di versante**

Per le caratteristiche fisiche l'andamento del fuso conferma che le caratteristiche granulometriche dei materiali in esame sono tipiche di materiali sia di materiali a grana grossa (ghiaie 12%), sia di materiali intermedi (sabbie 60%). Il contenuto di fino è mediamente del 22%.

Con riferimento al fuso medio si ha:

- Il valore di  $D_{50}$  è pari a 0.25mm
- Il valore di  $D_{60}$  è pari a 0.4 mm
- Il valore di  $D_{10}$  è pari a 0.005 mm

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Per lo stato iniziale dalle elaborazioni risulta che:

- **Dr:** la densità relativa media della sola componente sabbiosa è del 40-70%. I valori di  $N_{spt}$  sono stati corretti con un fattore  $C_{sg}=0.95$ .
- $\gamma_d$  : si può stimare un valore medio di  $\gamma_d$  pari a circa 19 -21 KN/m<sup>3</sup>

Per i parametri di resistenza al taglio in termini di sforzi efficaci sulla base delle prove SPT si è ottenuto un valore medio di angolo di attrito di 38°, ai parametri di resistenza operativi al taglio in termini di sforzi efficaci si sono assegnati i seguenti valori operativi:

$c_p' = 0$  kPa = coesione apparente

$\varphi_p' = 36\div 38^\circ$  =angolo di resistenza al taglio

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

$c_r' = 0$  kPa = coesione apparente

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

Per le caratteristiche di deformabilità dalle prove sismiche in foro si ottengono valori di  $V_s$  che mostrano una tendenza all'aumento con la profondità con valori che arrivano a 200 m/s fino a 10m di profondità.

Ai valori delle velocità di taglio  $V_s$  corrispondono moduli di taglio iniziali  $G_0$  che mostrano un andamento crescente con la profondità, da 80MPa a 160MPa a 10m di profondità.

Da prove SPT invece valori di  $G_0$  variano da 30 a 130MPa nei primi 10m.

Per  $G$  ed  $E_0$  una stima è data quindi da:

$$G_0 = 20 \cdot (z)^{0.85}$$

$$E_0 = 48 \cdot (z)^{0.85}$$

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

$$E = (6 \div 16) \cdot (z)^{0.85}$$

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

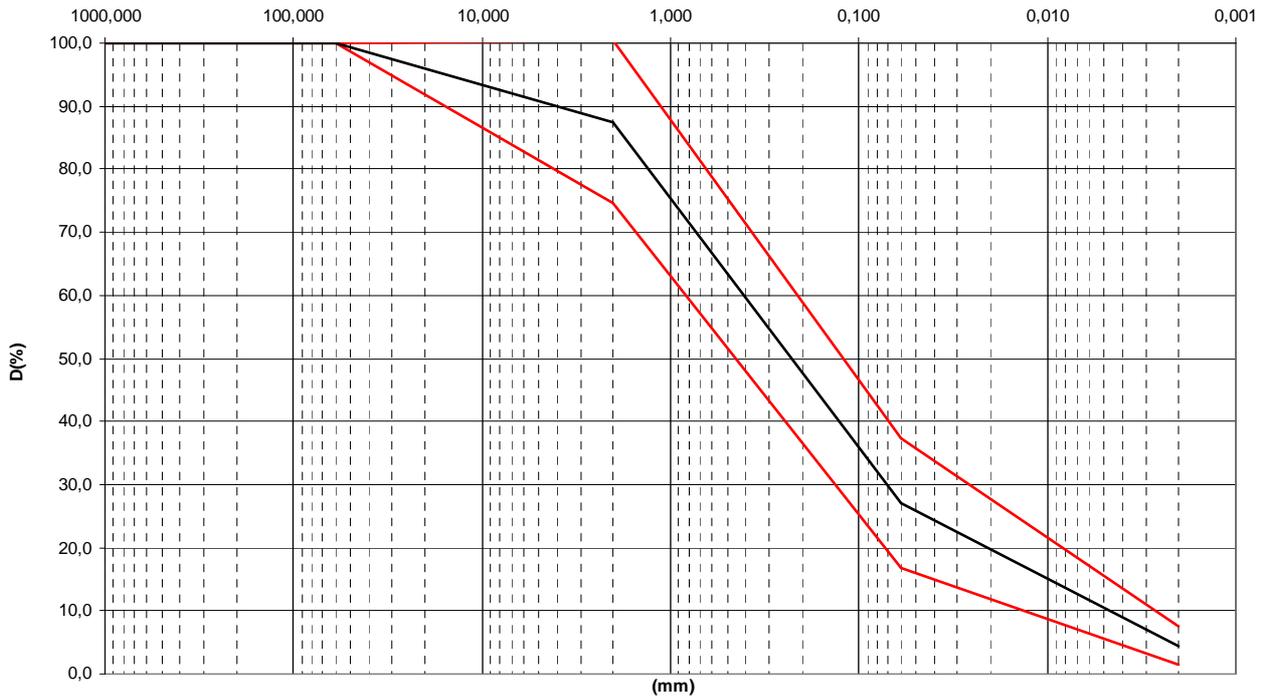
RELAZIONE DI CALCOLO

Codice documento  
CS0482\_F0

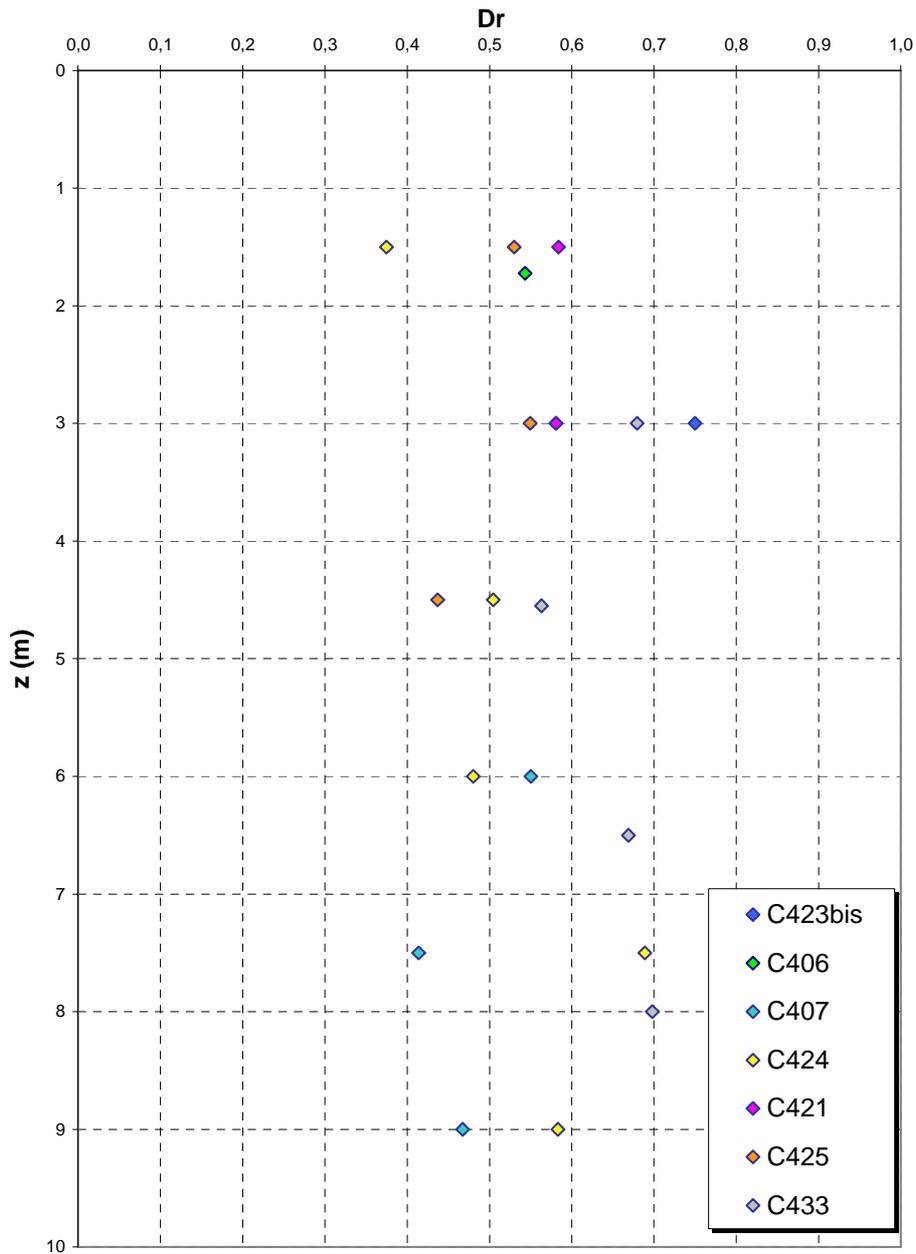
Rev  
F0

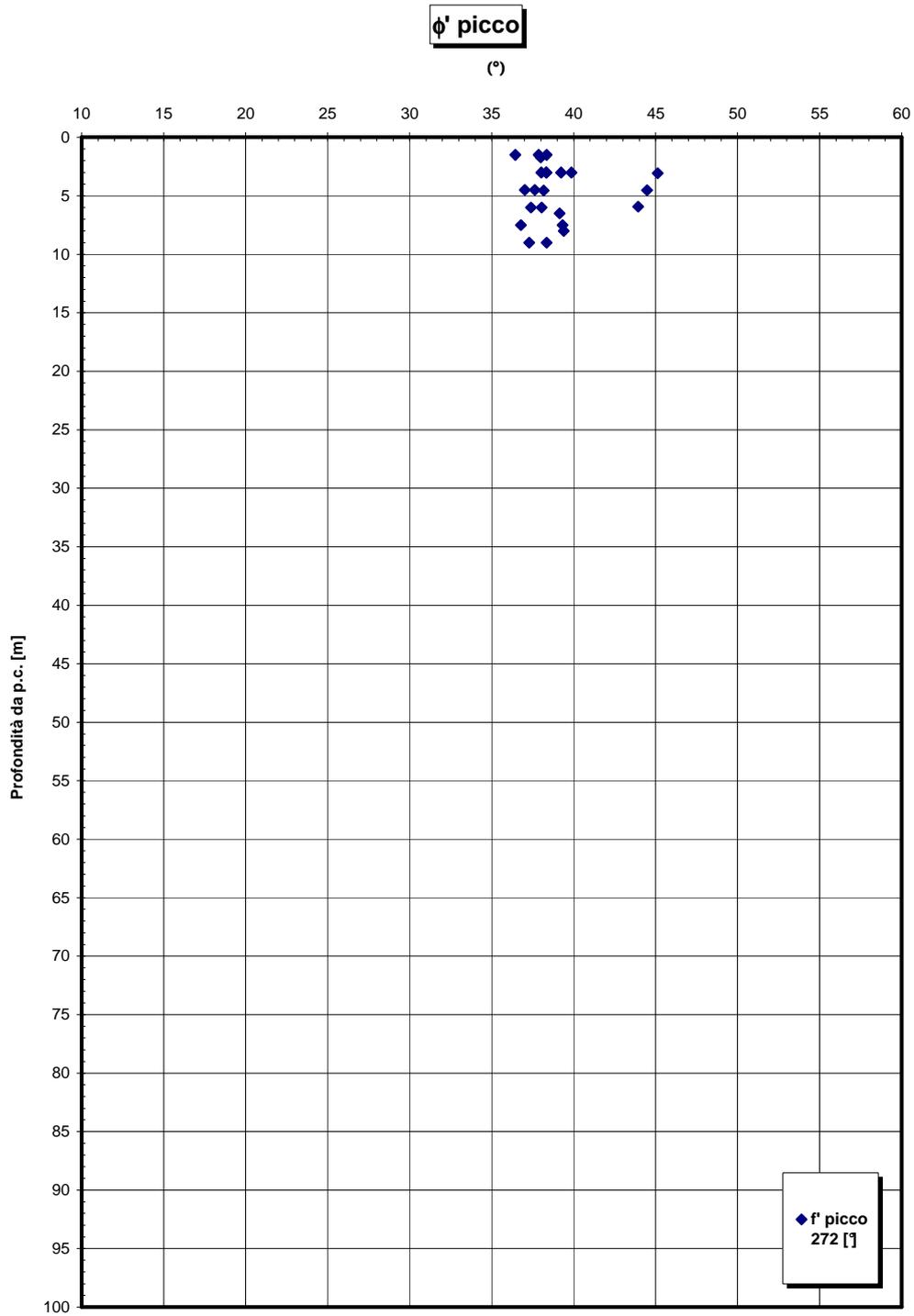
Data  
20/06/2011

**Depositi di versante**



**Dr Skempton (1986)**  
**Componente sabbiosa prevalente**  
**DEPOSITI DI VERSANTE**



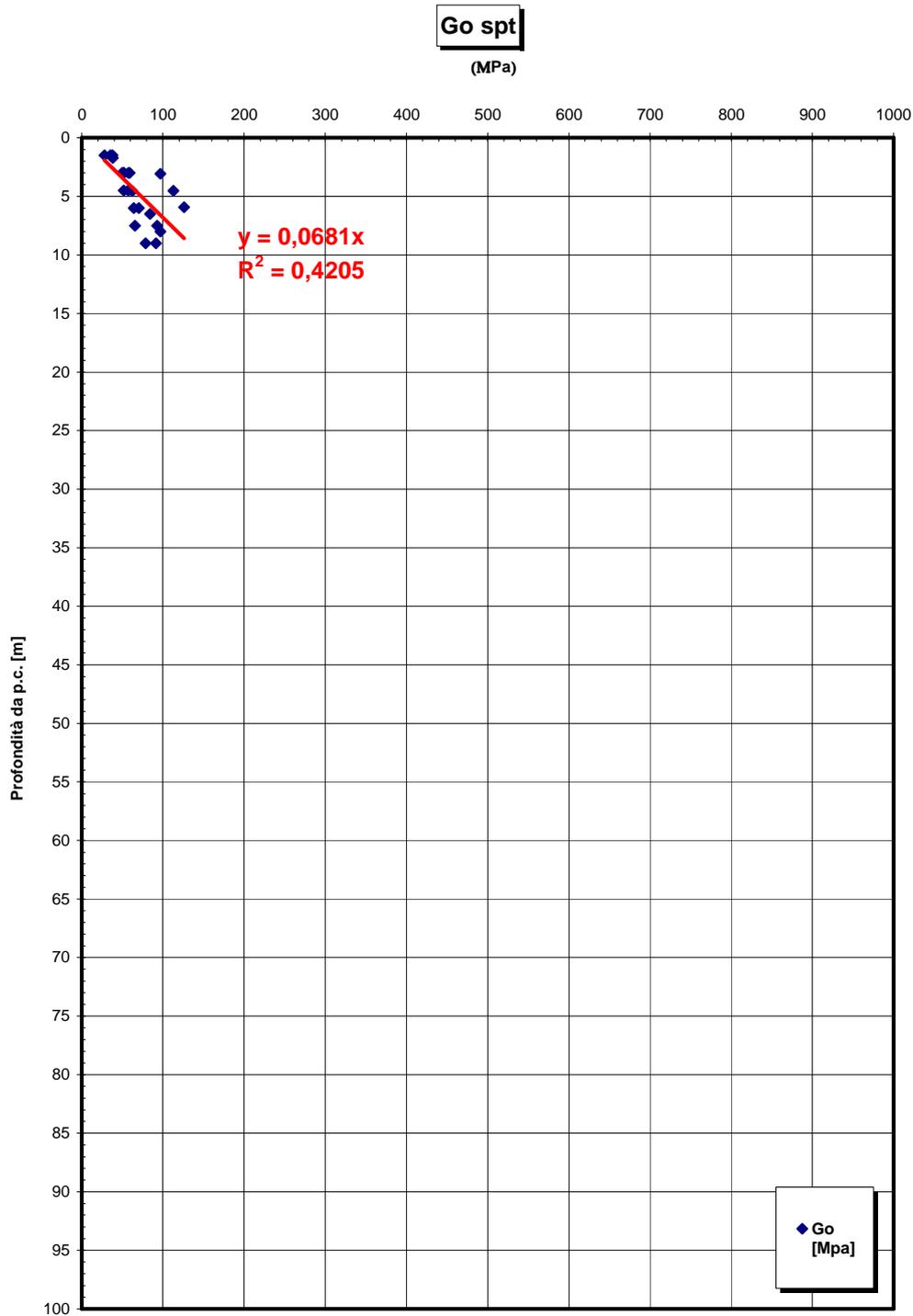


RELAZIONE DI CALCOLO

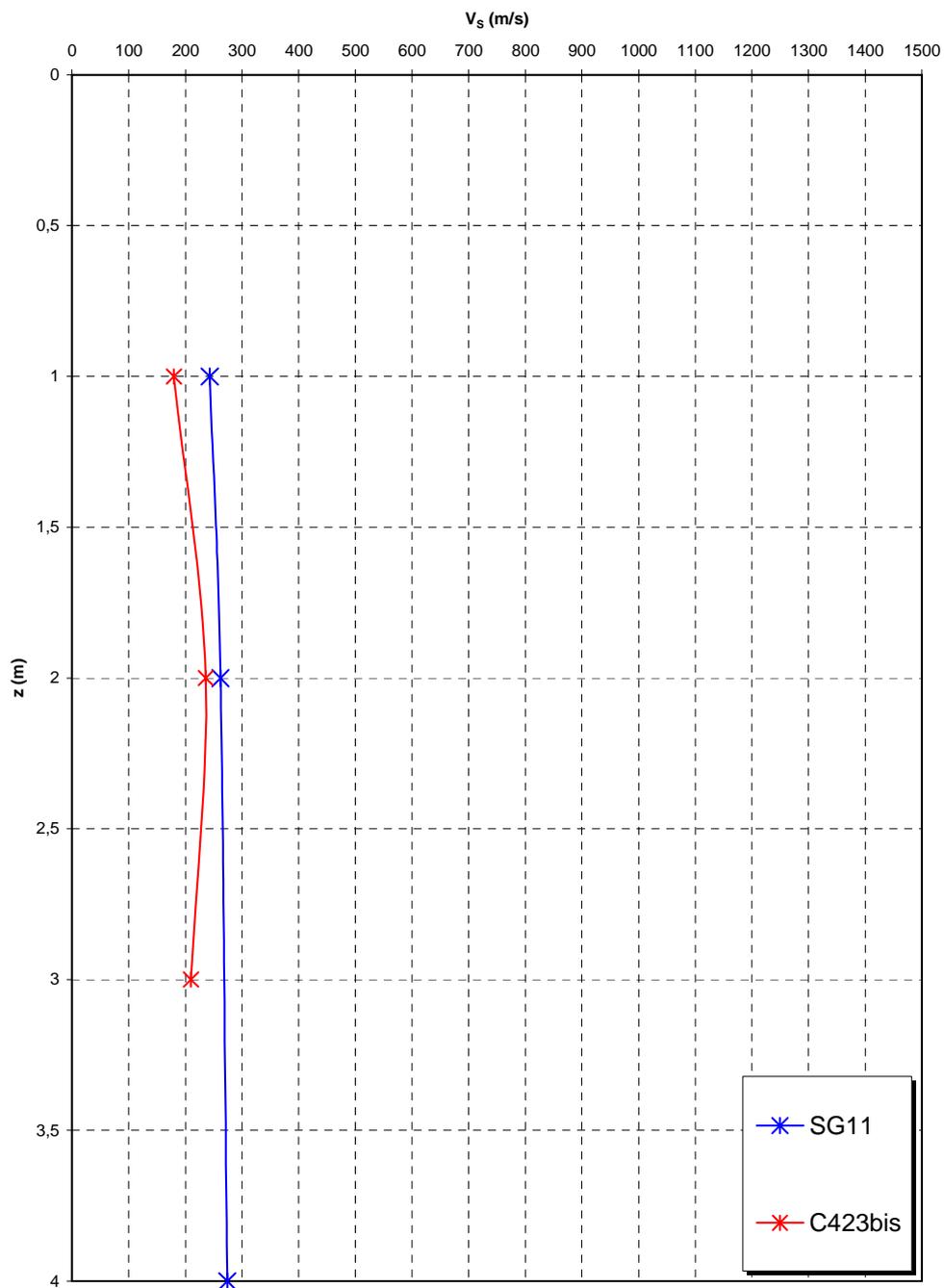
Codice documento  
CS0482\_F0

Rev  
F0

Data  
20/06/2011



**Prove sismiche  
DEPOSITI DI VERSANTE**

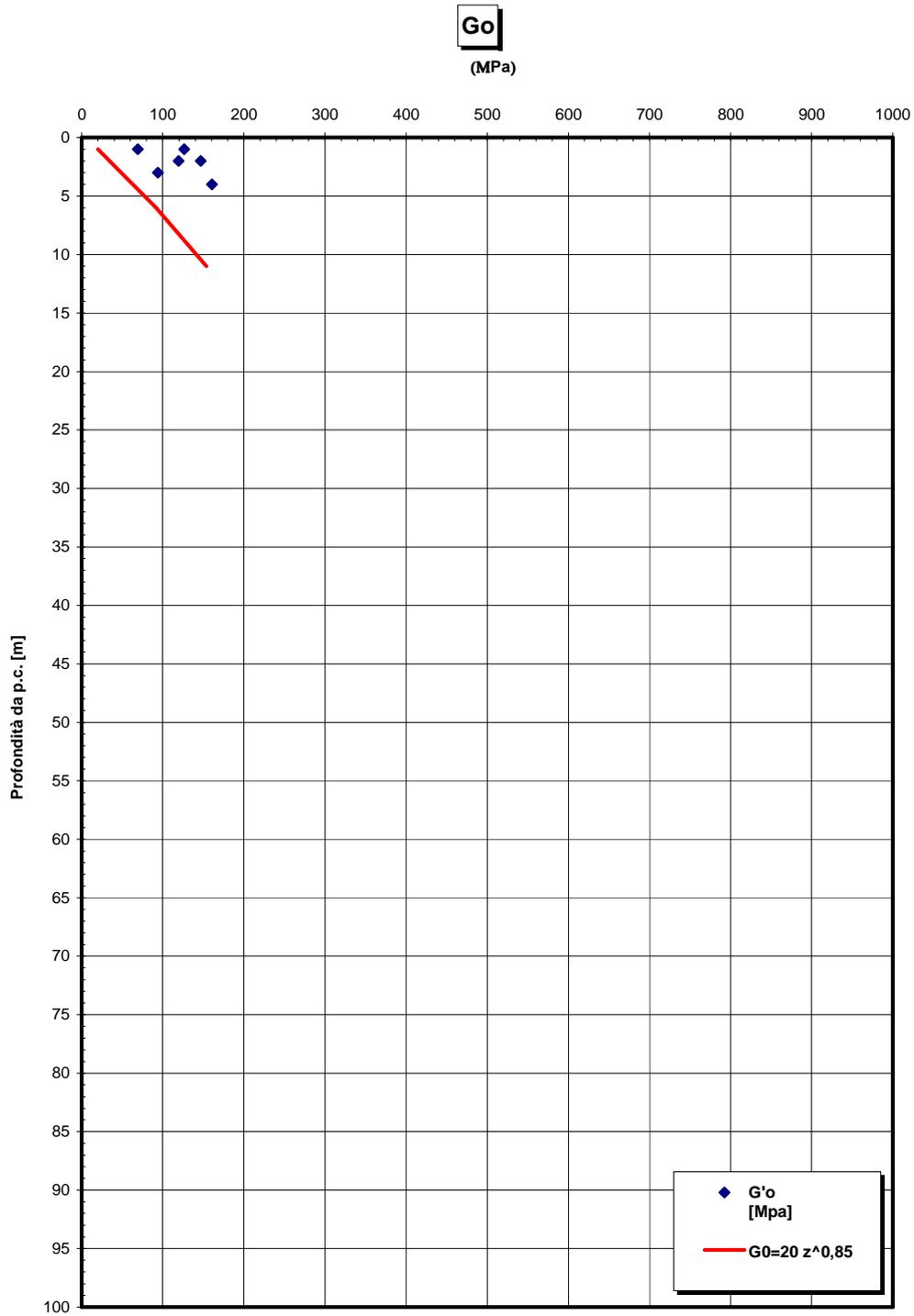


RELAZIONE DI CALCOLO

Codice documento  
CS0482\_F0

Rev  
F0

Data  
20/06/2011



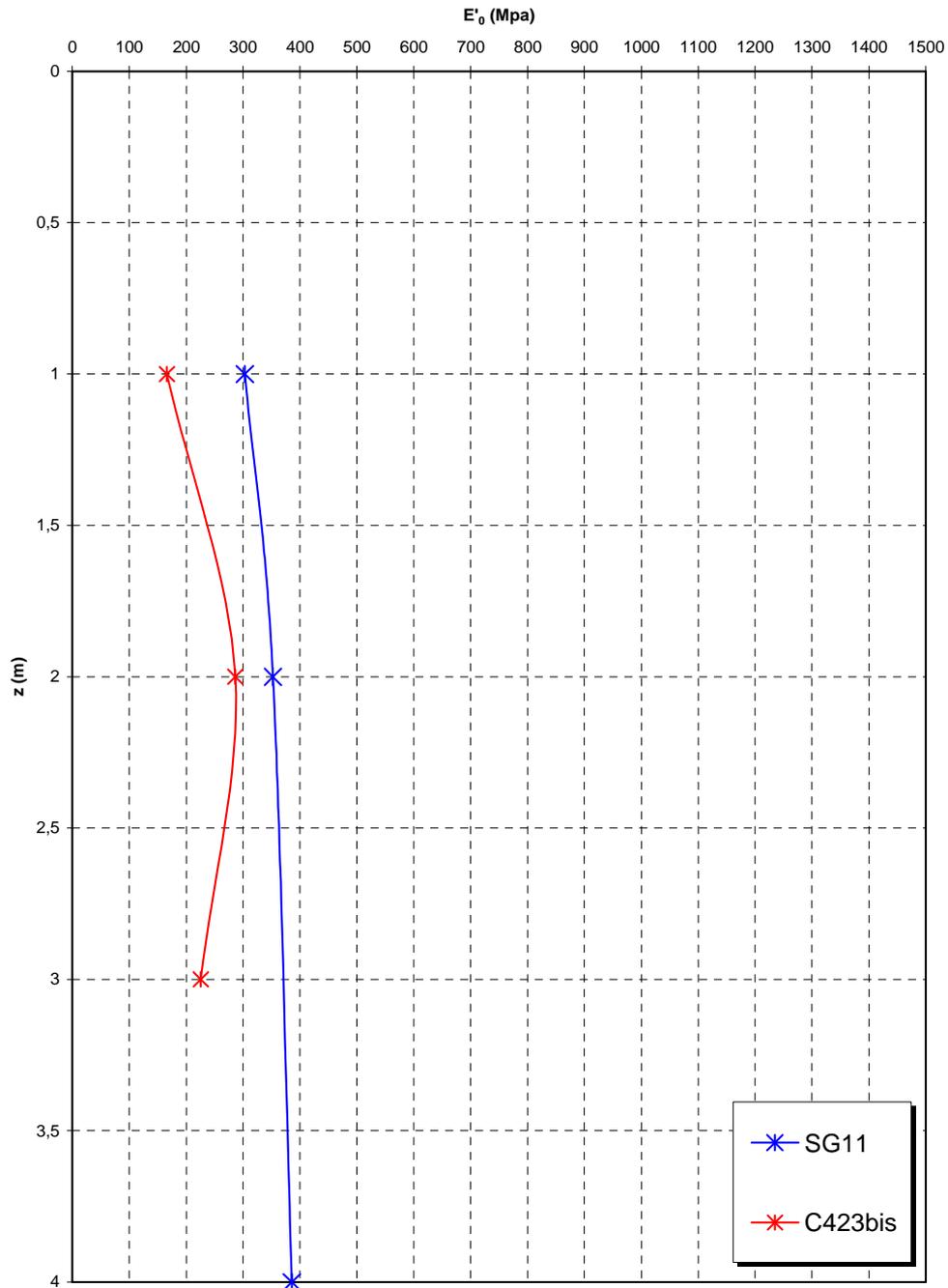
RELAZIONE DI CALCOLO

Codice documento  
CS0482\_F0

Rev  
F0

Data  
20/06/2011

**Prove sismiche  
DEPOSITI DI VERSANTE**



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 4.3 CARATTERIZZAZIONE DELLA SISMICITA' DEL LUOGO

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

Il rispetto degli stati limite si considera conseguito quando:

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

Per Stato Limite di Danno (SLD) s'intende che l'opera, nel suo complesso, a seguito del terremoto, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non provocare rischi agli utenti e non compromette significativamente la capacità di resistenza e di 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.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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:

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

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 → ( $a_g=0,121g$  ;  $F_0=2,317$  ;  $T^*_c=0,319s$ )

Per SLV → ( $a_g=0,337g$  ;  $F_0=2,455$  ;  $T^*_c=0,388s$ )

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

Il valore del coefficiente di amplificazione stratigrafico risulta:

$S_s(\text{SLD}) = 1,4 - 0,4 \cdot F_0 \cdot a_g/g = 1,287$  essendo il valore  $> 1,2$  si assume  $S_s(\text{SLD}) = 1,2$

$S_s(\text{SLV}) = 1,4 - 0,4 \cdot F_0 \cdot a_g/g = 1,069$  essendo il valore  $> 1$  si assume  $S_s(\text{SLV}) = 1,07$

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

L'accelerazione massima è valutata con la relazione:

$$a_{\max}(\text{SLD}) = S \cdot a_g = S_s \cdot S_T \cdot a_g = 1,2 \cdot 1,0 \cdot 0,121g = 0,145g$$

$$a_{\max}(\text{SLV}) = S \cdot a_g = S_s \cdot S_T \cdot a_g = 1,07 \cdot 1,0 \cdot 0,337g = 0,360g$$

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

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

L'azione sismica è rappresentata da un insieme di forze statiche orizzontali e verticali, date dal prodotto delle forze di gravità per i coefficienti sismici in precedenza definiti.

In merito alle opere scatolari di cui trattasi, nel rispetto del punto § 7.9.2., assimilando l'opera scatolare alla categoria delle spalle da ponte, rientrando tra le opere che si muovono con il terreno (§ 7.9.2.1), si può ritenere che la struttura debba mantenere sotto l'azione sismica un comportamento elastico; queste categorie di opere che si muovono con il terreno non subiscono le amplificazioni dell'accelerazione del suolo.

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

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

dove

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

$g$  = accelerazione di gravità;

$\beta$  = parametro riduttivo dell'azione sismica in accordo con il §7.11.6.2.1

Essendo lo scatolare una struttura che non ammette spostamenti relativi rispetto al terreno, il coefficiente  $\beta_m$ , 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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

calcolato come:

$$\Delta P_d = S \cdot a_g / g \cdot \gamma \cdot h_{tot}^2$$

Il punto di applicazione della spinta che interessa lo scatolare è posto  $h_{scat}/2$ , con “ $h_{tot}$ ” altezza dal piano stradale alla fondazione dello scatolare e  $h_{scat}$  l'altezza dello scatolare.

Essendo “ $\Delta P_d$ ” la risultante globale, ed il diagramma di spinta di tipo rettangolare, è immediato ricavare la quota parte della spinta che agisce sul piedritto dello scatolare.

L'azione sismica è rappresentata da un insieme di forze statiche orizzontali e verticali, date dal prodotto delle forze di gravità per i coefficienti sismici in precedenza definiti, di cui la componente verticale è considerata agente verso l'alto o verso il basso, in modo da produrre gli effetti più sfavorevoli.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<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
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Agressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	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	Ordinarie	frequente	ap. fessure	$\leq w_2$	ap. fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
b	Agressive	frequente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$
c	Molto aggressive	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**.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 5 FASI COSTRUTTIVE

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

### *ESECUZIONI DI PRIMA FASE:*

- sbancamento e preparazione del piano di posa del cls magro di sottofondazione
- cassetta delle fondazioni e getto delle parti in c.a.;

### *ESECUZIONI DI SECONDA FASE*

- cassetta delle elevazioni e getto delle parti in c.a.;

### *ESECUZIONI DI TERZA FASE*

- sistemazione dei rilevati come da elaborato: CG0700PP8DCSC00SPS1000001A

## 6 ELABORATI DI RIFERIMENTO

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

Relazione tecnico descrittiva dell'opera	CG0700 P RG D C SC 00 SP S1 00 00 01 A
Scheda riassuntiva di rintracciabilità dell'opera	CG0700 P SH D C SC 00 SP S1 00 00 01 A
Relazione di calcolo	CG0700 P CL D C SC 00 SP S1 00 00 01 A
relazione geotecnica	CG0700 P RB D C SC 00 SP S1 00 00 01 A
Planimetria di progetto	CG0700 P P8 D C SC 00 SP S1 00 00 01 A
Pianta dell'opera, prospetti e sezioni trasversali	CG0700 P PZ D C SC 00 SP S1 00 00 01 A

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 7 ANALISI DELLA STRUTTURA

### 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.

Vengono prese in considerazione n°19 Condizioni Elementari di carico, determinate e descritte nei paragrafi che seguono, ed identificate con la sigla CDC seguita dal numero progressivo.

Tali Combinazioni Elementari saranno opportunamente combinate secondo quanto previsto dalla normativa vigente. I parametri geometrici di calcolo ed i pesi dei materiali risultano essere i seguenti:

spessore totale medio del ricoprimento (piano stradale-estradosso soletta):	Hr=	1,2m
larghezza utile dello scatolare	Ln=	8m
altezza libera del sottopasso	Hn=	8m
spessore della soletta superiore	Ss=	1,2m
spessore dei piedritti	Sp=	1,1m
spessore della fondazione	Si=	1,2m

#### Materiali - pesi specifici

calcestruzzo armato	25	kN/mc
rilevato	20	kN/mc
sovrastuttura stradale	20	kN/mc

#### 7.1.1 Carichi permanenti strutturali ( $g_1$ )

Di seguito si riportano i pesi propri della struttura (CDC1) e dei carichi permanenti portati (CDC2).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Soletta superiore

Peso proprio	1,2	x	25	=					30	kPa
Peso Sovrastruttura stradale	1,2	x	20	=					24	kPa
								Totale	<u>54</u>	<u>kPa</u>

Soletta inferiore

Peso proprio	1,2	x	25	=					30	kPa
--------------	-----	---	----	---	--	--	--	--	----	-----

Sbalzi

Peso proprio	1,2	x	25	x	0,2	/	0,75	=	8,00	kPa
Peso Sovrastruttura stradale	1,2	x	20	x	0,2	/	0,75	=	6,40	kPa
								Totale	<u>14,4</u>	<u>kPa</u>

Piedritti

Peso proprio	1,1	x	25	=					27,5	kPa
--------------	-----	---	----	---	--	--	--	--	------	-----

### 7.1.2 Spinta del terreno e falda

Il rinterro a ridosso dello scatolare 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  $\lambda_a$  ed un coefficiente di spinta a riposo  $\lambda_0$  come riportato di seguito

$$\lambda_a = 0,271$$

$$\lambda_0 = 0,426$$

La falda per questo manufatto è a quota inferiore rispetto all'estradosso della soletta di fondazione, pertanto si omette la spinta della falda.

Vengono presi in considerazione i due coefficienti di spinta: il primo massimizza nelle varie combinazioni di carico il momento in mezzzeria, mentre il secondo all'incastro.

Si applicano, di conseguenza, i valori delle spinte secondo la profondità con

$$p_h = \lambda_a \gamma_t Z$$

e con il consueto diagramma trapezoidale delle pressioni orizzontali.

Le pressioni del terreno relative alla spinta a riposo, in corrispondenza dei nodi caratteristici dei piedritti, risultano essere le seguenti:

Spinta a Riposo

$$P_{min} = 20x \cdot 1,8x \cdot 0,426424 = 15,351 \text{ kPa}$$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Pmax=                                      20x                                      11x                                      0,426424=                                      93,813kPa

Tali spinte vengono considerate nella Condizione Elementare (CDC 2) su entrambi i piedritti.

Le pressioni del terreno relative alla spinta attiva, in corrispondenza dei nodi caratteristici dei piedritti, risultano essere le seguenti:

Spinta Attiva

Pmin=                                      20x                                      1,8x                                      0,27099=                                      9,7556kPa

Pmax=                                      20x                                      11x                                      0,27099=                                      59,618kPa

Tali spinte vengono considerate nelle seguenti Condizioni Elementari:

- a) agenti su entrambi i piedritti                      (spinta attiva)                                      (CDC 3)
- b) agenti sul piedritto sinistro (spinta a riposo) e sul piedritto destro (spinta attiva)                      (CDC 4)

La condizione di carico CDC4, serve a mettere in conto possibili situazioni (anche temporanee) di disomogeneità nei costipamenti o altre condizioni che possano generare situazioni di spinte asimmetriche sull'opera.

Naturalmente queste spinte saranno opportunamente combinate, utilizzando i valori dei coefficienti parziali delle azioni da assumere nell'analisi per la determinazione degli effetti delle azioni nelle verifiche agli stati limite ultimi.

### 7.1.3 Sovraccarico interno allo scatolare

Sulla soletta di fondazione insiste il peso del materiale di riempimento, pari a 34.6 kPa.

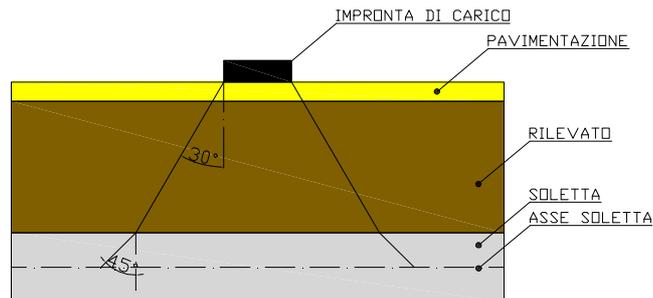
Tali carichi vengono considerati nella Condizione Elementare CDC 5.

### 7.1.4 Carichi mobili verticali sulla soletta superiore

Con riferimento alle norme vigenti (vedi paragrafo 5.1.3 del D.M. 14-01-2008, paragrafo 4.3 e 4.4 di EN 1991-2\_2005) come azioni variabili da traffico gravante sulla soletta superiore si assume lo schema di carico 1. Il carico di normativa applicato è il  $Q_{1,k}$ , ossia il mezzo convenzionale da 600kN a due assi da 300 kN ognuno (carico tandem), con interasse di 1,20m lungo il senso di marcia e di larghezza 2,40m (comprese le dimensioni delle impronte) e ove possibile, il carico ripartito  $q_{1,k}$  da 9kN/m<sup>2</sup>.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

Tale carico viene posizionato ortogonalmente all'asse del sottopasso e considerato ripartito, sia in direzione longitudinale che trasversale, con un angolo di diffusione di 30° attraverso il rilevato stradale, e 45° sino al piano medio della soletta superiore.



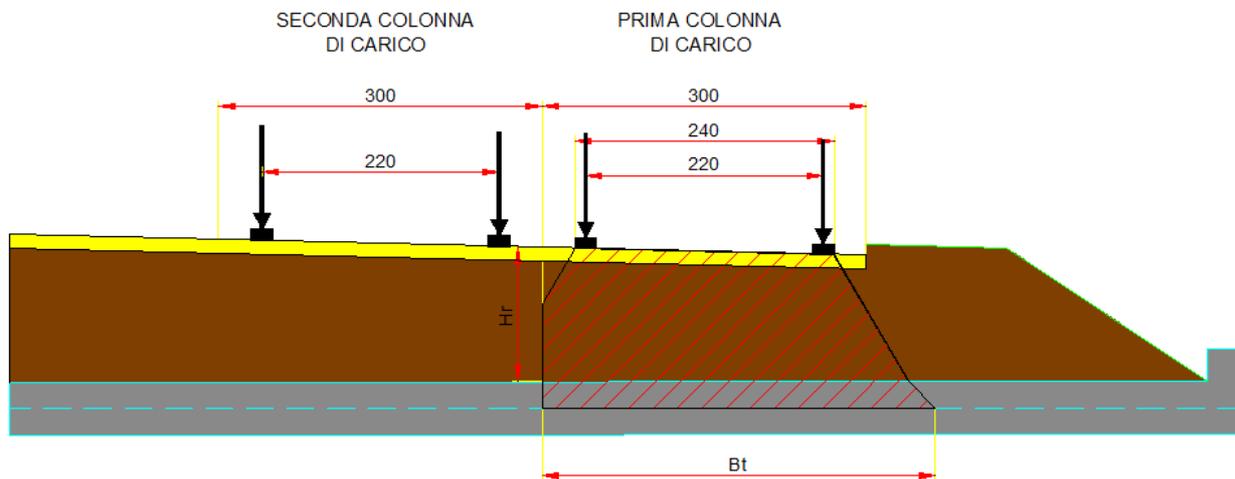
F3. Figura 1 – Diffusione impronta di carico

In direzione trasversale, quale base collaborante viene considerato un valore pari alla larghezza di ingombro dello schema di carico uguale a 2,40m aumentata dello spessore di diffusione del carico.

Limitando la diffusione del carico lato seconda colonna di carico a 0,30m (come in Fig.5) la larghezza di diffusione trasversale diventa:

Bt	3,99m
Lt	4,19m
Carico tandem Q1k.dis	600kN
Diffusione tandem	35,90kPa
Carico ripartito q1k,dis	9kPa

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						



F4. Figura 2 – Diffusione trasversale del carico mobile

Tali carichi vengono considerati nella Condizione Elementare CDC 6-7.

La CDC 6 prevede un carico  $Q_{1k,dis}$  centrato sulla soletta superiore.

La CDC 7 prevede un carico  $Q_{1k,dis}$  eccentrico (a filo piedritto) sulla soletta superiore.

Come carico accidentale gravante sulla soletta superiore, si ipotizza anche il caso in cui l'intera soletta sia gravata da un carico distribuito di intensità pari a  $20 \text{ kN/m}^2$  (Condizione Elementare CDC 8).

### 7.1.5 Spinta del sovraccarico sul rilevato

In accordo con quanto riportato nella circolare n° 17 al §5.1.3.3.7.1, il sovraccarico da considerare sul terrapieno adiacente la parete dello scatolare, è quello generato dallo schema di carico 1, dove il carico tandem è sostituito da un carico uniformemente distribuito.

Il carico tandem trasformato in carico uniformemente distribuito assume il valore  $600/(3 \cdot 2,2) = 90,91 \text{ kN/m}^2$ .

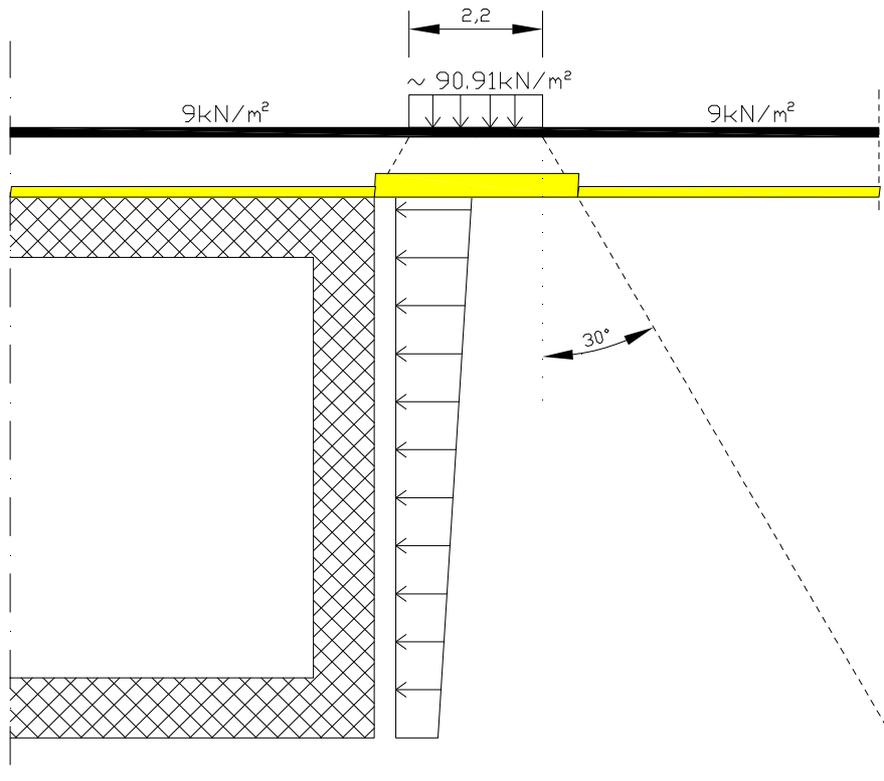
Il carico uniformemente distribuito  $q_{ik} = 9 \text{ kN/m}^2$  viene sommato al carico tandem distribuito.

Mettendo in conto il ricoprimento con rilevato della struttura, il quale contribuisce a diffondere il carico fino al piano di estradosso soletta, il carico distribuito da utilizzare per il calcolo delle spinte agenti sulle pareti dello scatolare risulta

Carico Tandem su impronta     $38,155 \text{ kPa}$

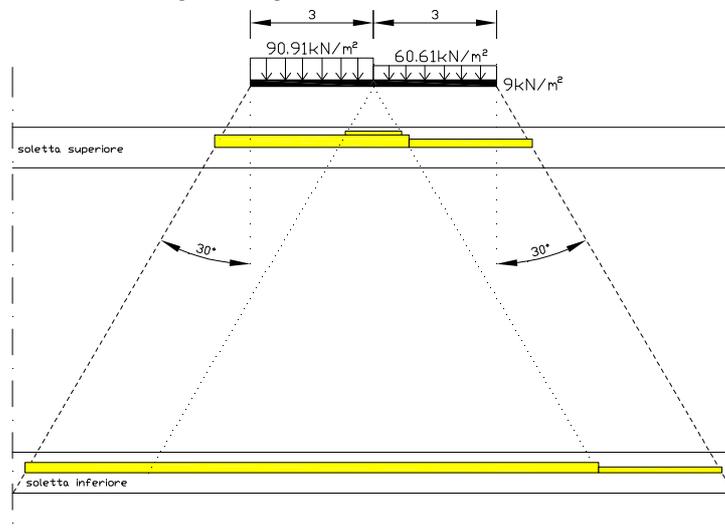
		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Schema di carico utilizzato a ridosso del rilevato (direzione asse corsia)



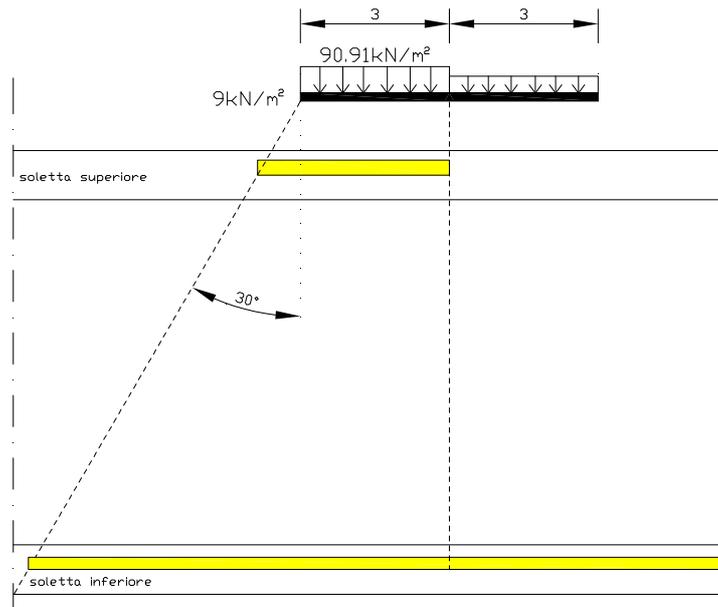
F5. Figura 3 – Spinta del sovraccarico sul rilevato

Utilizzando due colonne di carico, e la ripartizione trasversale del carico di superficie distribuito, si ottiene quanto riportato nell'immagine seguente:



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

Per il calcolo delle azioni agenti sulle pareti dello scatolare, si considera il carico distribuito dovuto alla colonna di carico 1, limitando la diffusione del carico sul lato della seconda colonna di carico come schema seguente:



Tale distribuzione di carico fornisce alle pareti una spinta variabile lungo l'altezza, con intensità nei nodi superiore e inferiore pari a (asse solette):

$\sigma_{1v,sup}$	37,78kPa
$\sigma_{2v,sup}$	6,68kPa
$q'_{acc,sup}$	18,96kPa
$\sigma_{1v,inf}$	6,94kPa
$\sigma_{2v,inf}$	2,89kPa
$q'_{acc,inf}$	4,19kPa

Tali spinte vengono considerate nelle seguenti Condizioni Elementari:

- |                                  |          |
|----------------------------------|----------|
| a) agenti sul piedritto sinistro | (CDC 9)  |
| b) agenti sul piedritto destro   | (CDC 10) |
| c) agenti su ambo i piedritti    | (CDC 11) |

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 7.1.6 Frenatura

In accordo con il § 5.1.3.5 del D.M. 14-01-2008 e § 4.4.1 di UNI EN 1991-2:2005 il carico frenante di normativa ( $q_3$ ) è funzione del carico verticale totale agente sulla corsia convenzionale n.1, il quale viene ripartito sulla larghezza collaborante (L) e sulla larghezza dello scatolare (CDC 13-14):

$$q_3 = 387,54 \text{ kN}$$

L'azione di cui sopra, viene distribuita sulla soletta superiore dello scatolare; il valore della frenatura equivalente da applicare alla soletta, si ottiene distribuendo il valore del carico frenante, alla lunghezza della soletta e alla larghezza di diffusione del carico ( $L_{dt}$ ), con la seguente relazione:

$$q_{3,dis} = 6,21 \text{ kPa}$$

Tale carico viene considerato nelle seguenti Condizioni Elementari:

- a) agente verso sinistra (CDC 12)
- b) agente verso destra (CDC 13)

### 7.1.7 Azioni termiche

In accordo con il § 3.5 del D.M. 14-01-2008 sono stati considerati gli effetti dovuti alle variazioni termiche. In particolare, è stata considerata una variazione termica uniforme di  $\pm 10^\circ\text{C}$  sulla soletta superiore (CDC 14) ed un salto termico di  $5^\circ\text{C}$ , analizzando i due casi di intradosso più caldo dell'estradosso e viceversa, con andamento lineare nello spessore della soletta superiore (CDC 15-16).

Per il coefficiente di dilatazione termica si assume:

$$\alpha = 10 \cdot 10^{-6} = 0.00001 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

### 7.1.8 Azione sismica

#### 7.1.8.1 Stato limite di salvaguardia della vita (SLV)

La risultante delle forze inerziali orizzontali indotte dal sisma viene valutata con la seguente espressione:

$$F_h = P \cdot k_h$$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <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						

$$k_h = \beta_m \cdot \frac{a_{max}}{g}$$

$$(SLV) \quad k_h = \beta_m \cdot \frac{a_{max}}{g} = 0,360$$

$$k_v = \pm 0,5 * k_h = 0,180$$

P = peso proprio;

k = coefficienti sismici;

Si può ritenere che la struttura debba mantenere sotto l'azione sismica un comportamento elastico, assimilando l'opera scatolare alla categoria delle spalle da ponte e rientrando così tra le opere che si muovono con il terreno; queste categorie di opere non subiscono le amplificazioni dell'accelerazione del suolo.

Per tener conto dell'incremento di spinta del terreno dovuta al sisma si fa riferimento all'EC8, in cui l'incremento di spinta sismica  $\Delta P$  per la condizione a riposo viene valutato:

$$\Delta P_d = S \cdot a_g / g \cdot \gamma \cdot h_{tot}^2$$

#### Soletta superiore

Svert.	5,4	kPa	Sorizz.	10,8	kPa
Svert.	4,32	kPa	Sorizz.	8,64	kPa
	<b>9,72kPa</b>		<b>19,44kPa</b>		

#### Piedritti

Svert.	4,95	kPa	Sorizz.	9,9	kPa
--------	------	-----	---------	-----	-----

Tali carichi vengono considerate nelle seguenti Condizioni Elementari:

- a) azioni sismiche orizzontali (CDC 17)
- b) azioni sismiche verticali (CDC 18)

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 7.2 MODELLO DI CALCOLO

### 7.2.1 PROGRAMMA DI CALCOLO UTILIZZATO

Il calcolo della struttura in esame viene condotto con il programma ProSap della 2S.I Software e Soluzioni per l'Ingegneria s.r.l. (Piazzetta Schiatti, 8b – Ferrara).

Le verifiche vengono eseguite tramite il programma "PRO\_VLIM" della 2S.I Software e Soluzioni per l'Ingegneria s.r.l..

Di seguito si indicano l'origine e le caratteristiche dei codici di calcolo utilizzati riportando titolo, produttore e distributore e versione.

Origine e Caratteristiche dei Codici di Calcolo	
Titolo:	PRO_SAP PROfessional Structural Analysis Program
Versione:	PROFESSIONAL (build 2010-07-152)
Produttore-Distributore:	2S.I. Software e Servizi per l'Ingegneria s.r.l., Ferrara

Un esame della documentazione a corredo del software **ha consentito di valutarne l'affidabilità e soprattutto l'idoneità al caso specifico**. La documentazione, fornita dal produttore e distributore del software, contiene una esauriente descrizione delle basi teoriche e degli algoritmi impiegati, l'individuazione dei campi d'impiego, nonché casi prova interamente risolti e commentati, corredati dei file di input necessari a riprodurre l'elaborazione:

Affidabilità dei codici utilizzati
<p>2S.I. ha verificato l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.</p> <p>E' possibile reperire la documentazione contenente alcuni dei più significativi casi trattati al seguente link: <a href="http://www.2si.it/Software/Affidabilità.htm">http://www.2si.it/Software/Affidabilità.htm</a></p>

Il tipo di analisi strutturale condotta è "statica lineare" e il metodo adottato per la risoluzione del

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

problema strutturale nonché le metodologie seguite per la verifica o per il progetto-verifica delle sezioni sono in ottemperanza a quanto previsto nel D.M. 14-01-2008.

La verifica della sicurezza degli elementi strutturali avviene con i metodi della scienza delle costruzioni. L'analisi strutturale è condotta con il metodo degli spostamenti per la valutazione dello stato tensodeformativo indotto da carichi statici. L'analisi strutturale è condotta con il metodo dell'analisi modale e dello spettro di risposta in termini di accelerazione per la valutazione dello stato tensodeformativo indotto da carichi dinamici (tra cui quelli di tipo sismico).

L'analisi strutturale viene effettuata con il metodo degli elementi finiti. Il metodo sopraindicato si basa sulla schematizzazione della struttura in elementi connessi solo in corrispondenza di un numero prefissato di punti denominati nodi. I nodi sono definiti dalle tre coordinate cartesiane in un sistema di riferimento globale. Le incognite del problema (nell'ambito del metodo degli spostamenti) sono le componenti di spostamento dei nodi riferite al sistema di riferimento globale (traslazioni secondo X, Y, Z, rotazioni attorno X, Y, Z). La soluzione del problema si ottiene con un sistema di equazioni algebriche lineari i cui termini noti sono costituiti dai carichi agenti sulla struttura opportunamente concentrati ai nodi:

$$\mathbf{K} * \mathbf{u} = \mathbf{F} \quad \text{dove} \quad \mathbf{K} = \text{matrice di rigidezza}$$

$\mathbf{u}$  = vettore spostamenti nodali

$\mathbf{F}$  = vettore forze nodali

Dagli spostamenti ottenuti con la risoluzione del sistema vengono quindi dedotte le sollecitazioni e/o le tensioni di ogni elemento, riferite generalmente ad una terna locale all'elemento stesso.

Il sistema di riferimento utilizzato è costituito da una terna cartesiana destrorsa XYZ. Si assume l'asse Z verticale ed orientato verso l'alto.

Gli elementi utilizzati per la modellazione dello schema statico della struttura sono i seguenti:

- Elemento tipo **BEAM** (trave-D2)

Modello strutturale realizzato con:	
nodi	6
elementi D2 (per aste, travi, pilastri...)	6
Fondazioni di tipo trave	SI

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 7.2.2 DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO

Il calcolo è stato condotto su una sezione piana, impiegando FEM di tipo “beam” posti lungo l’asse medio di ciascuna membratura. Lo schema statico è a telaio chiuso poggiante su un suolo elastico. Agli effetti delle caratteristiche geometriche delle varie aste si è quindi assunto:

- una sezione rettangolare  $b \times h = 100 \times S_s$  cm per la soletta superiore
- una sezione rettangolare  $b \times h = 100 \times S_i$  cm per la soletta di fondazione
- una sezione rettangolare  $b \times h = 100 \times S_p$  cm per i piedritti

Per le aste del reticolo si è assunto:

$E_c = 33924 \text{ N/mm}^2$  ; modulo elastico del calcestruzzo (C28/35) per la fondazione

$E_c = 35013 \text{ N/mm}^2$  ; modulo elastico del calcestruzzo (C32/40) per l’elevazione

Lo schema statico della struttura e la relativa numerazione dei nodi e delle aste sono riportati nelle Figg.6 e 7.

Il suolo viene modellato facendo ricorso all’usuale artificio delle molle elastiche alla Winkler.

La costante di sottofondo del terreno di fondazione, costante di Winkler verticale, è stata valutata tramite la metodologia di Joseph E. BOWLES, ricorrendo alla formulazione di Vesić (vedi riferimento bibliografico [B32]), il quale definisce in primo luogo il modulo di reazione del terreno come:

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

indicando con:

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

$B$  = dimensione trasversale della fondazione [m]

$I_F$  = momento d’inerzia della fondazione (riferito alla sezione retta) [m<sup>4</sup>]

$\mu$  = coefficiente di Poisson

Secondo la caratterizzazione geologico\geotecnica desunta dalla campagna indagini eseguita, la zona in cui ricade l’opera presenta un modulo di deformazione medio pari a  $E_s = 18000 \text{ kN/m}^2$  (vedi § 4.2). Il terreno al di sotto della fondazione rimane così definito:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$\mu = 0,2$   
 $E_S = 19000 \text{ kN/mq}$   
 $E_F = 33924000 \text{ kN/mq}$   
 $B = 10,6 \text{ m}$   
 $I_F = 1,5264 \text{ m}^4$   
 $k_s = 1379,0288 \text{ kN/mc}$

Il valore implementato nel modello di calcolo è quindi pari a

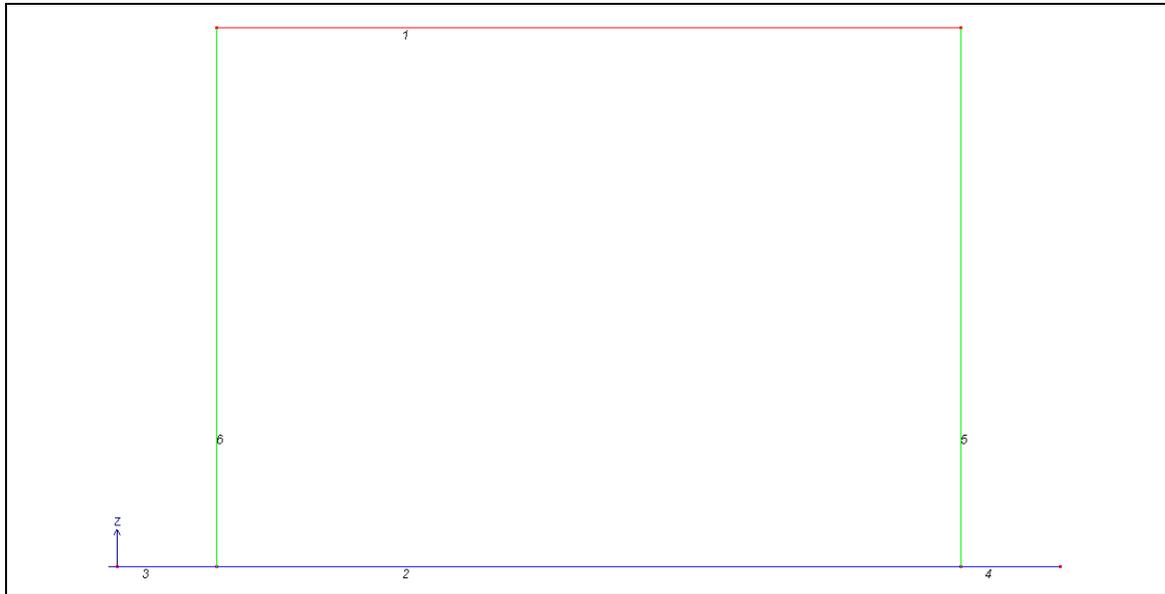
$$K_s = 1400 \text{ kN/m}^3$$

Date le dimensioni ridotte dell'opera e quindi la probabile presenza di trazioni in fondazione, per evitare tensioni parassite si sono adottate molle alla Winkler resistenti solo a compressione.



F6. Numerazione dei nodi

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						



F7. Numerazione delle aste

### 7.2.3 SISTEMA DI RIFERIMENTO E CONVENZIONE DEI SEGNI

Ogni nodo è un punto nello spazio individuato dalle coordinate cartesiane X,Y,Z, in un sistema di riferimento globale destrogiro con asse Z verticale.

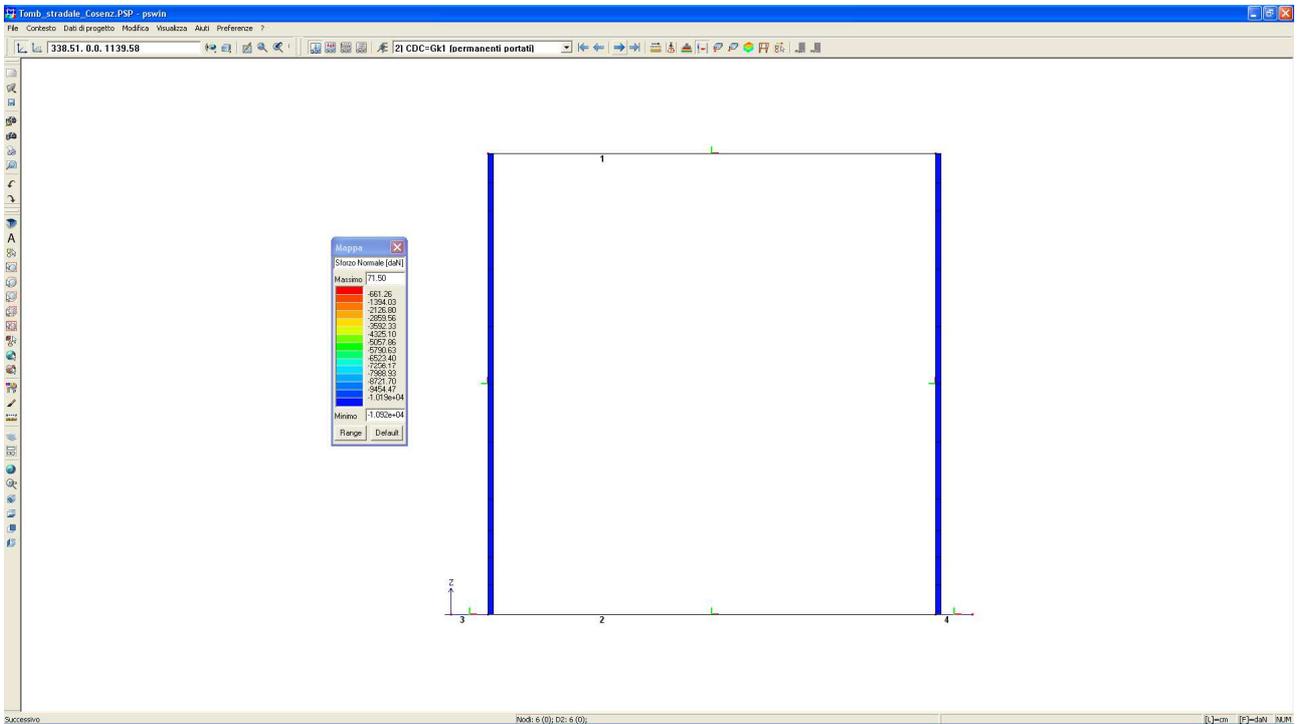
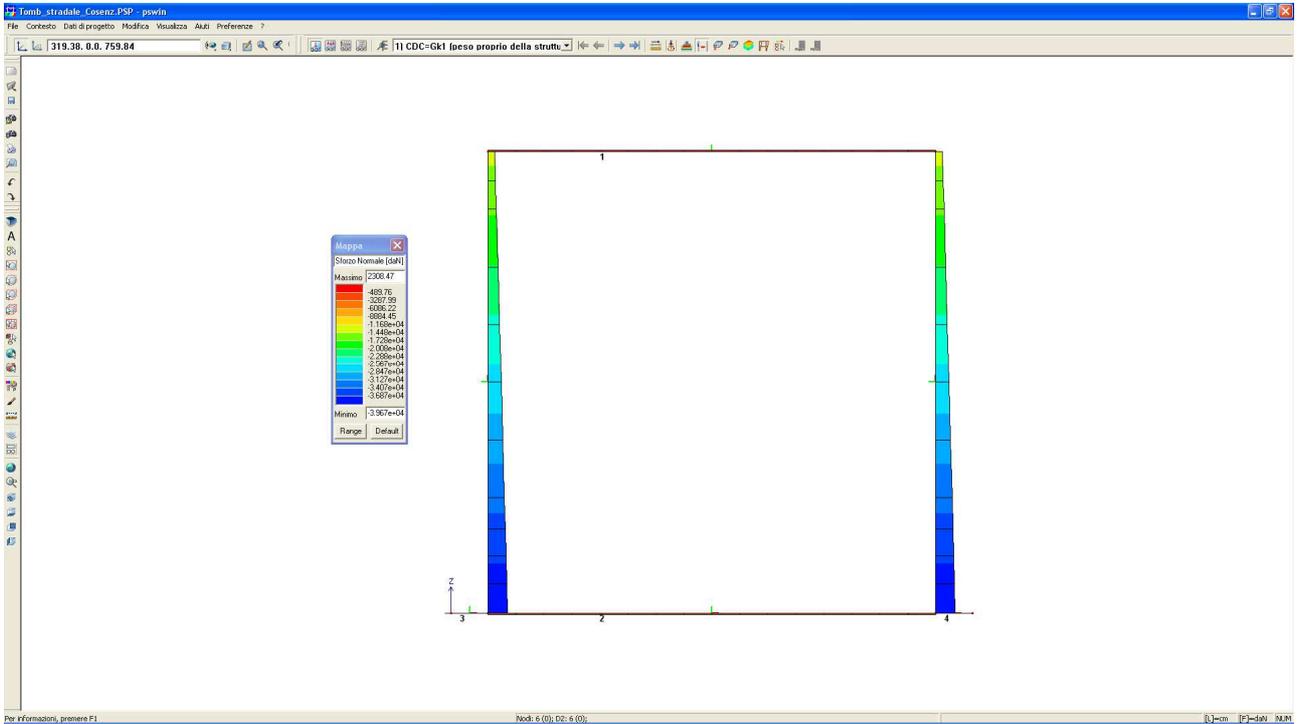
Trattandosi di un problema piano il sistema di riferimento è sul piano X,Z con Z asse verticale direzionato secondo la forza di gravità e con verso opposto.

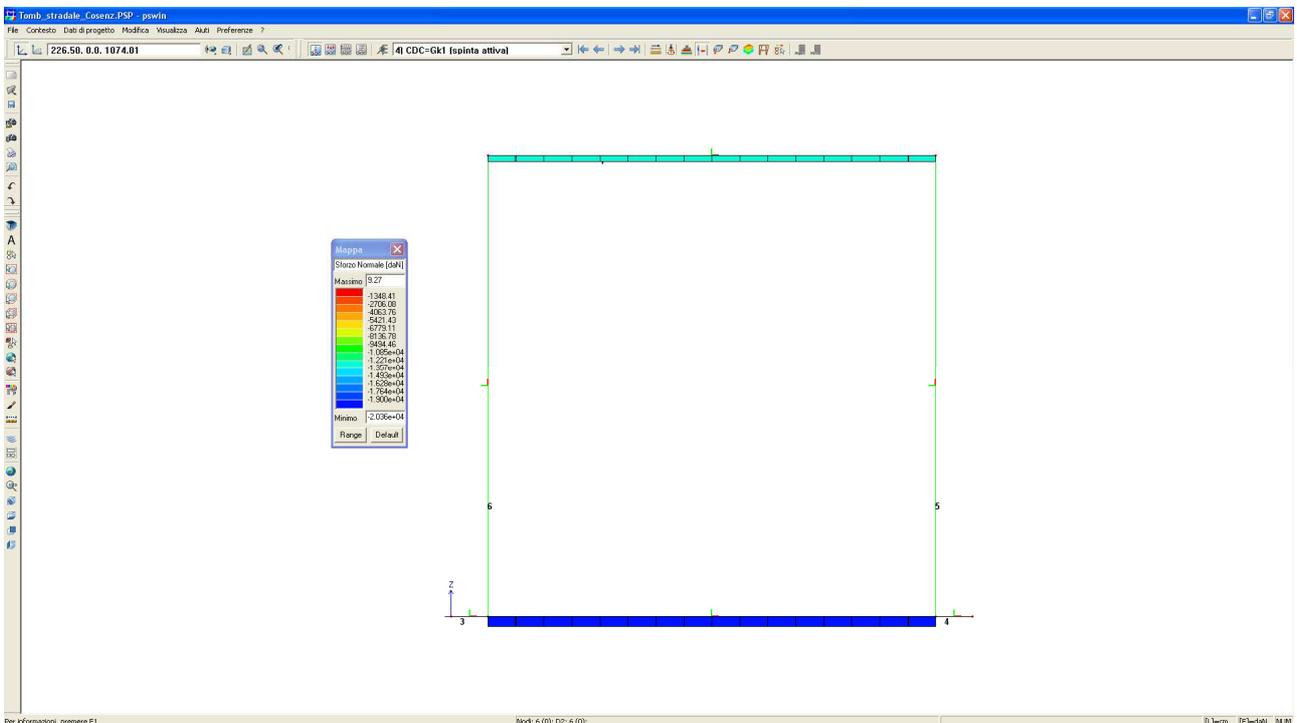
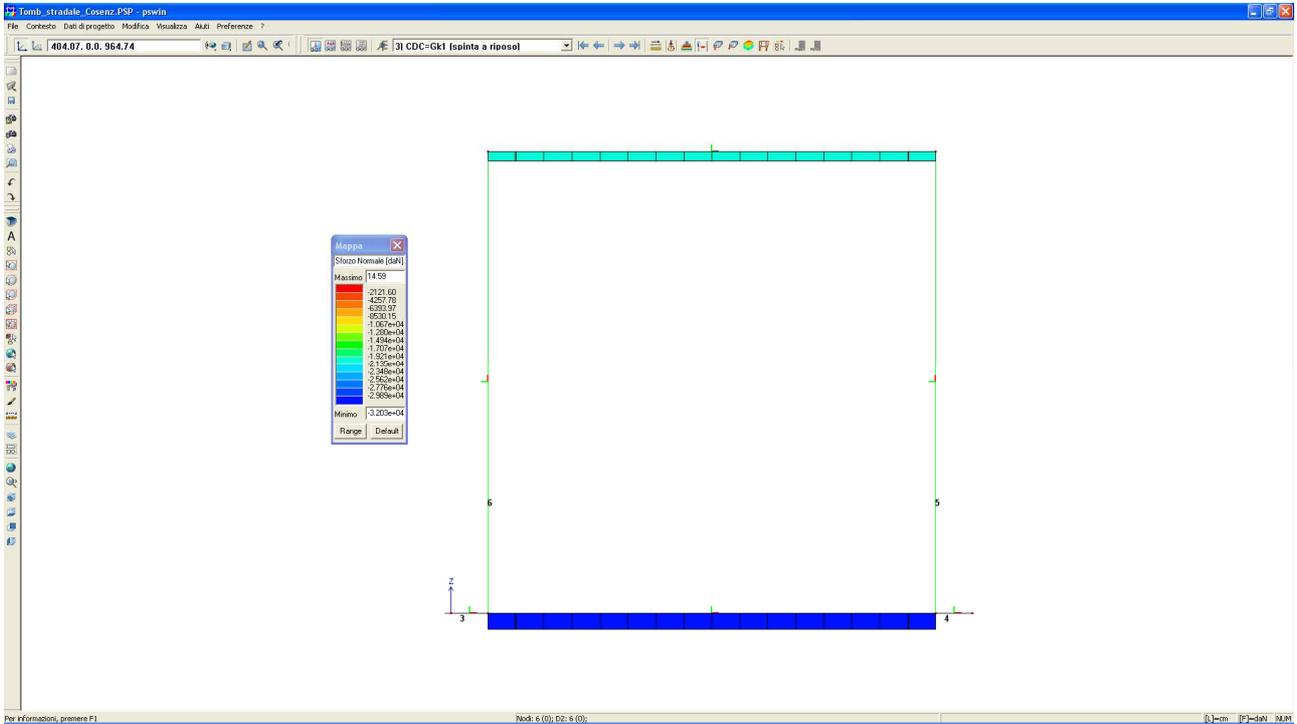
In nodo 5 (ved. figura 6) ha coordinate (0,0,0).

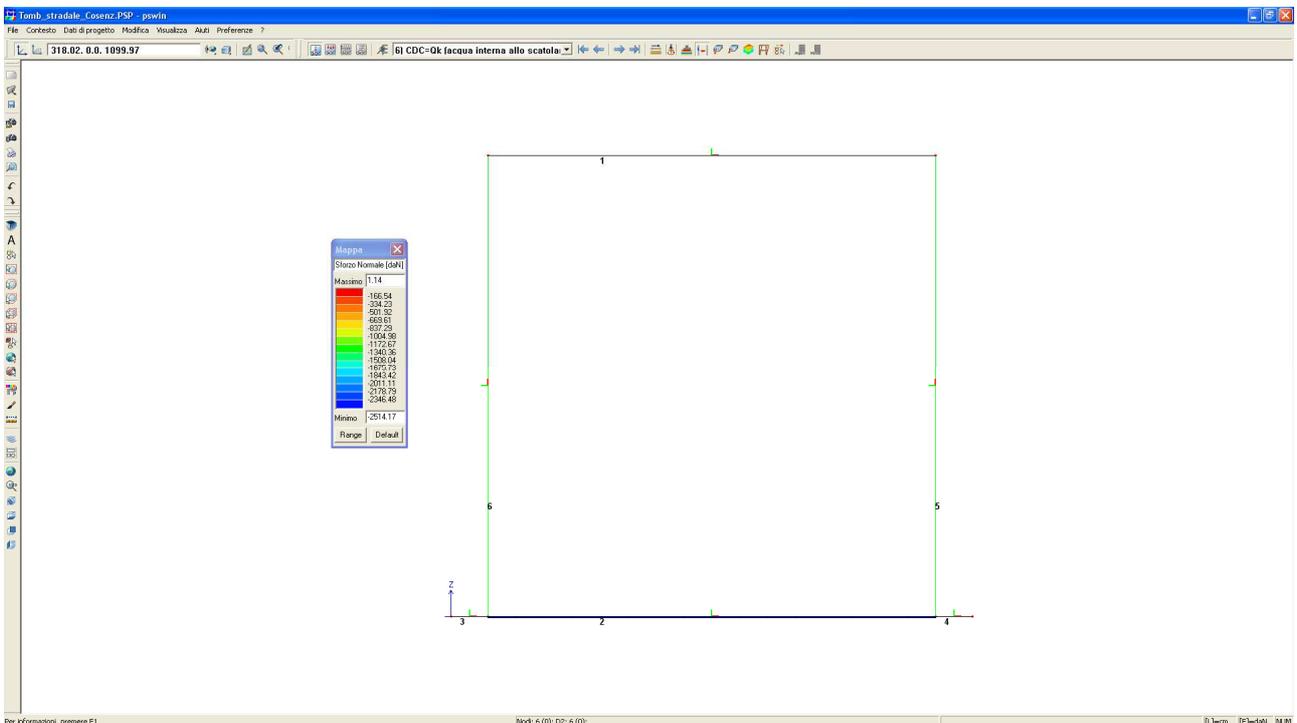
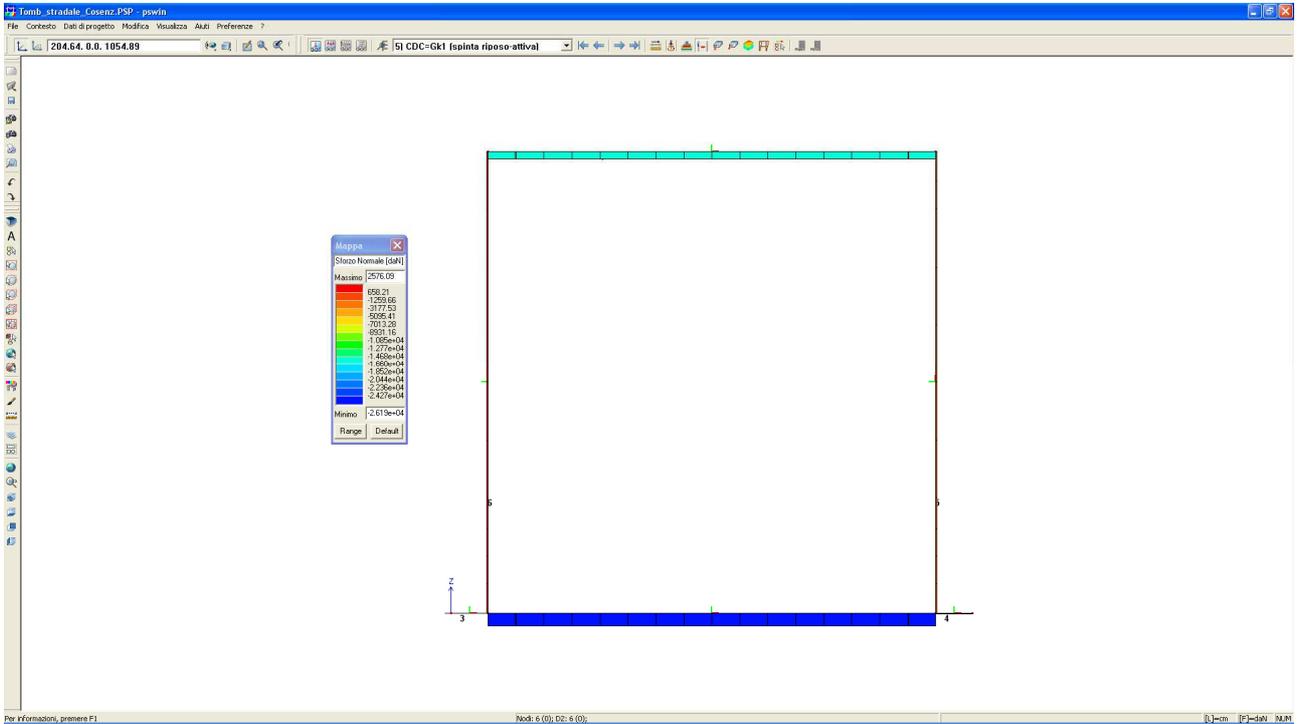
### 7.3 CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI

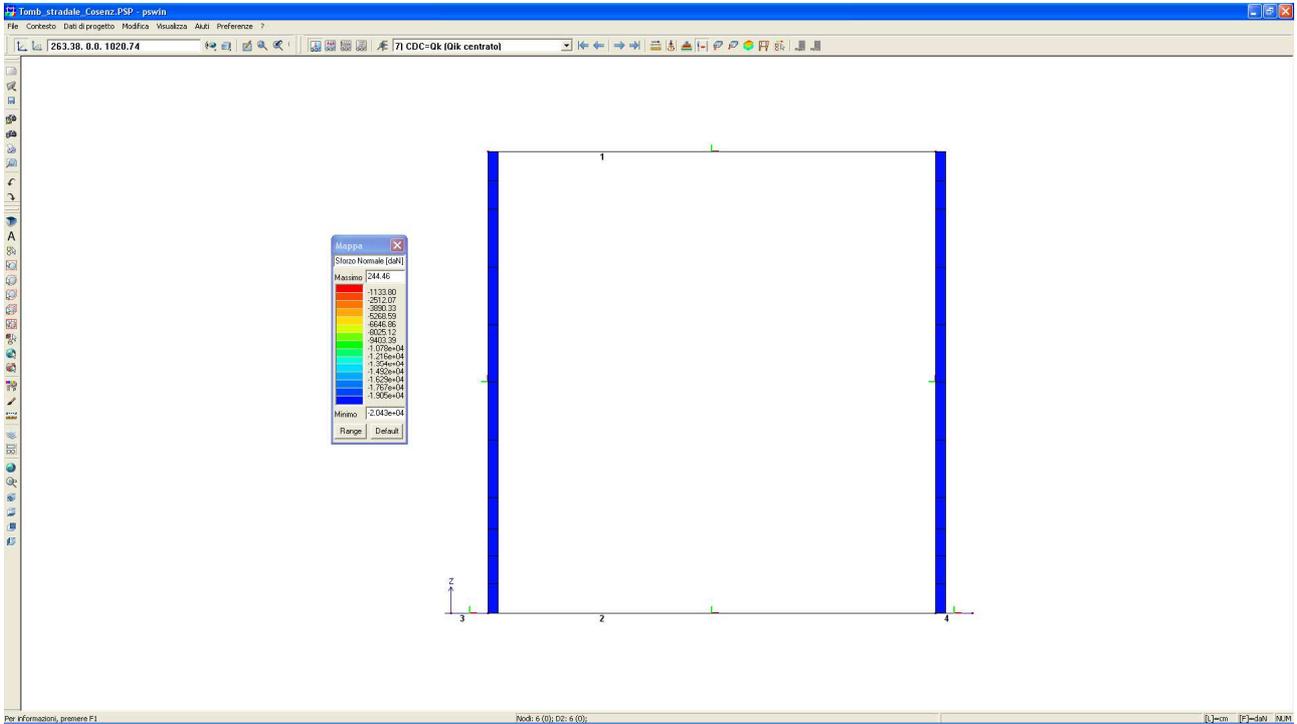
Si riportano nel seguito i diagrammi di sollecitazione N, M e T per ogni condizione di carico elementare precedentemente individuata (vedi § 7.1).

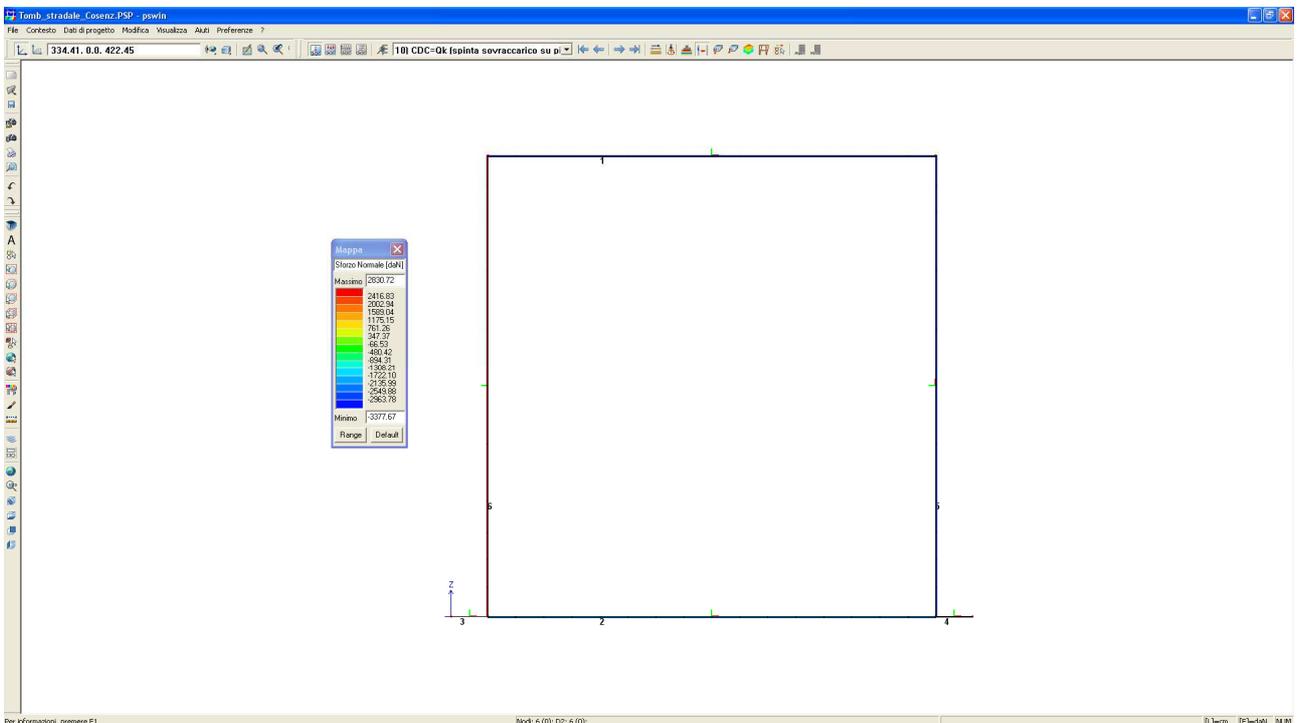
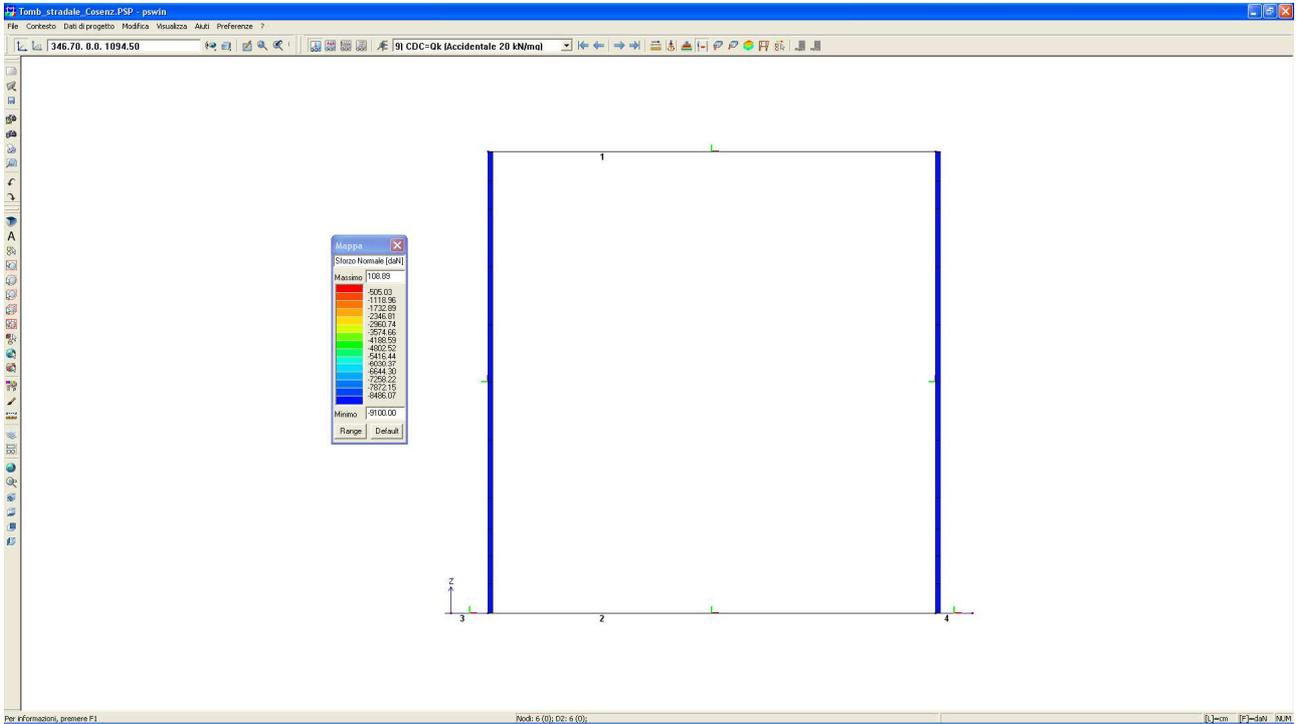
Diagrammi dello Sforzo Normale:

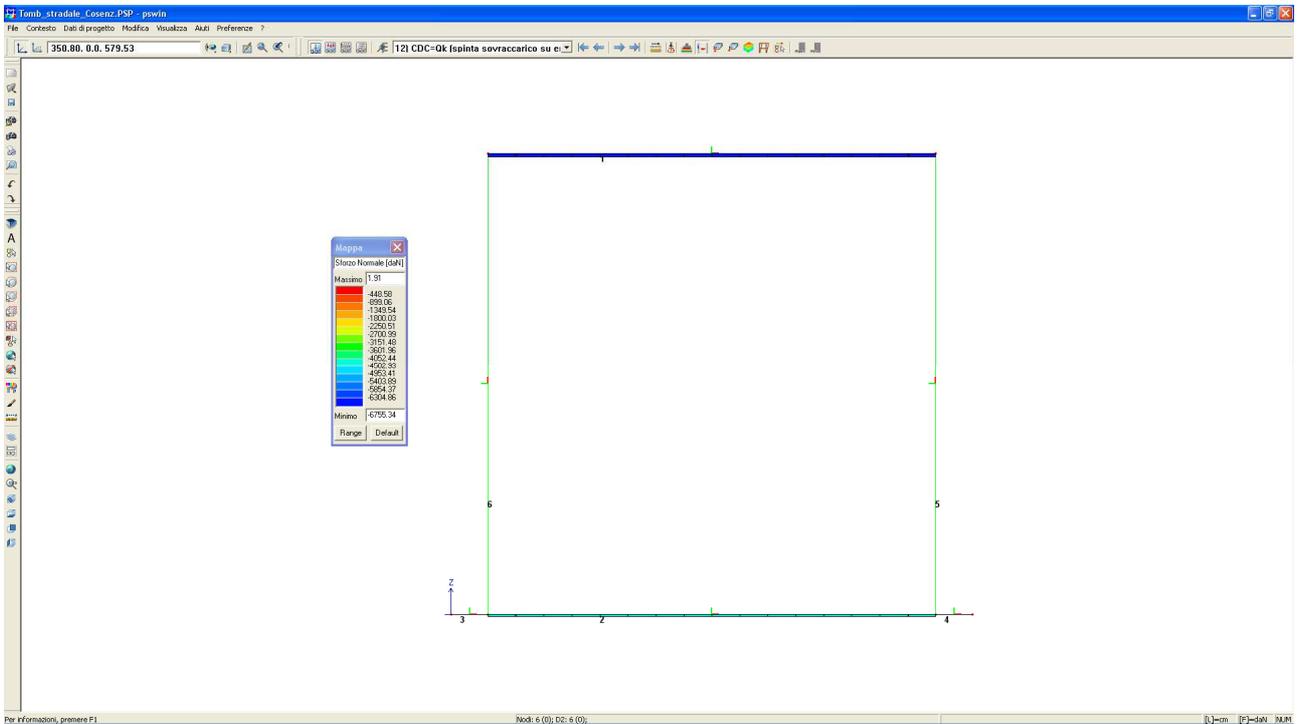
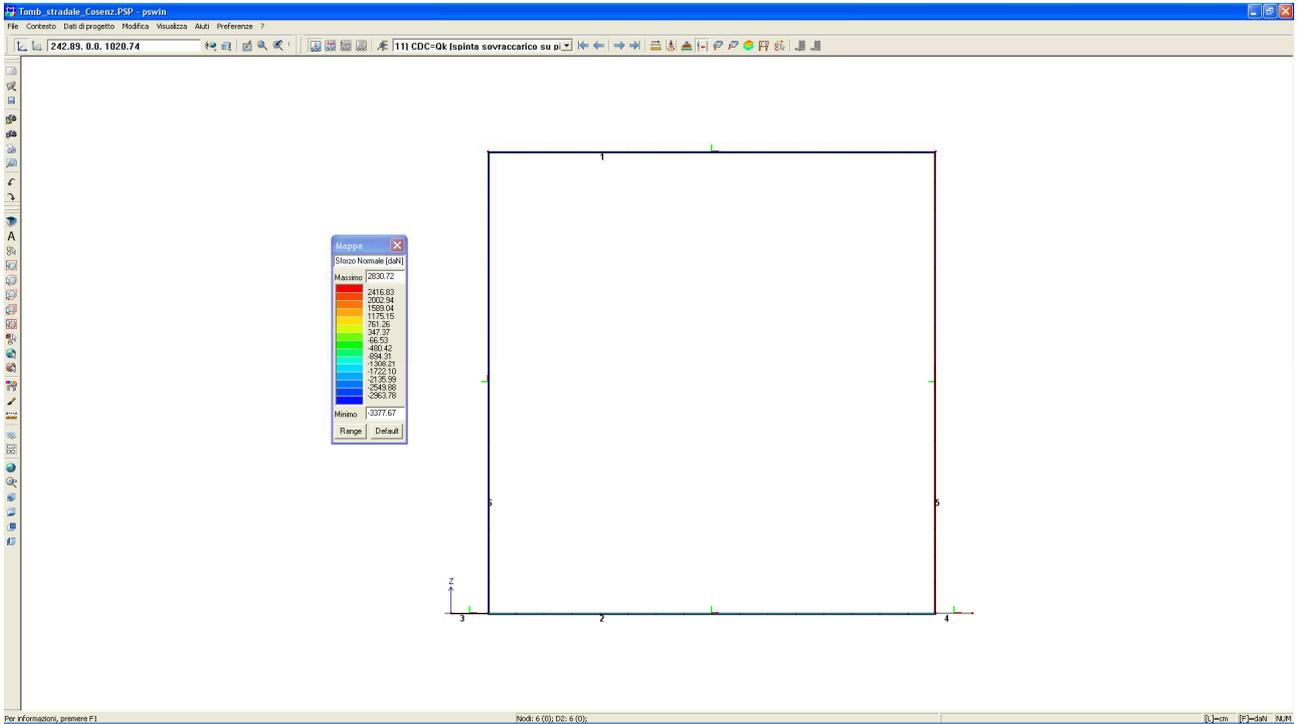


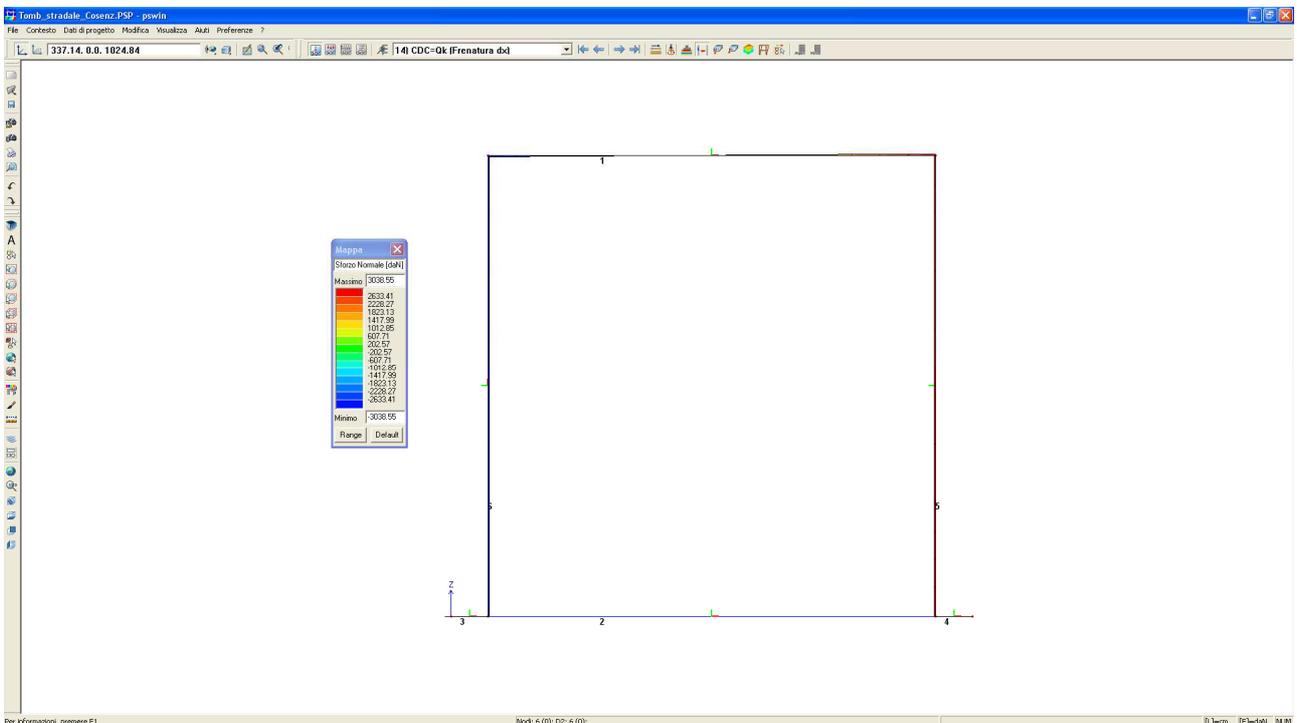
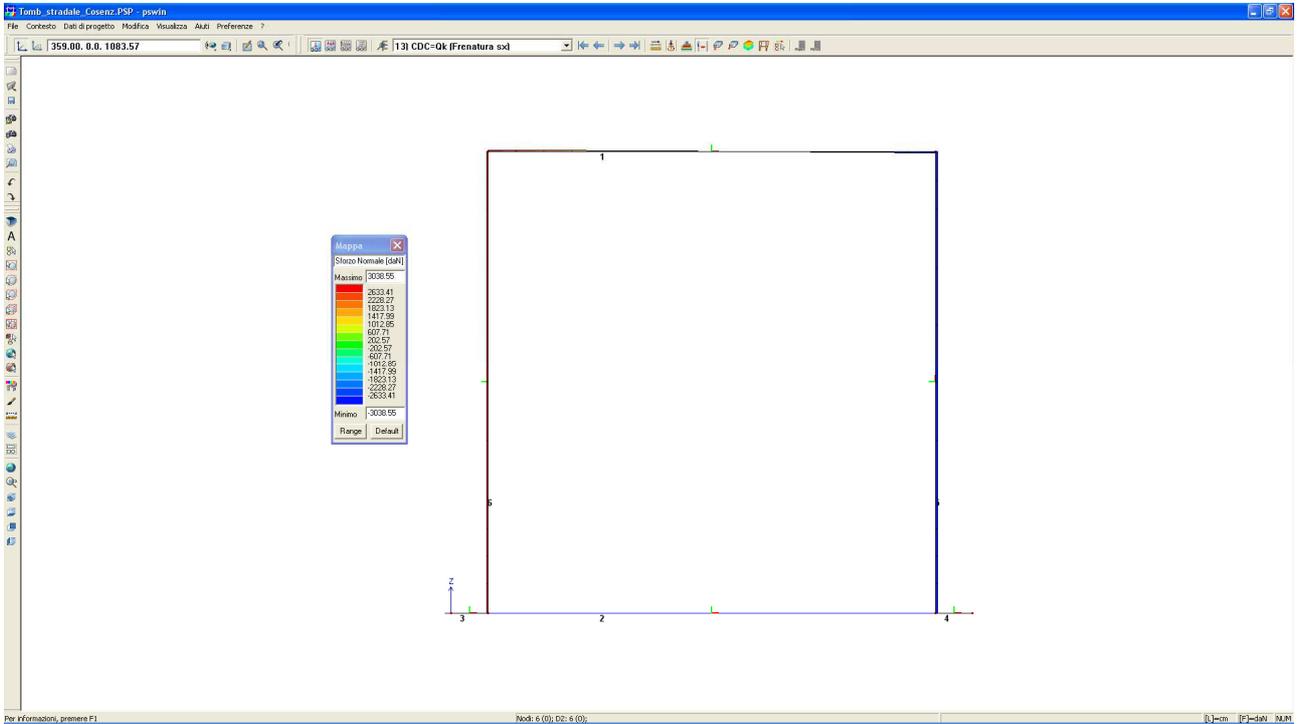


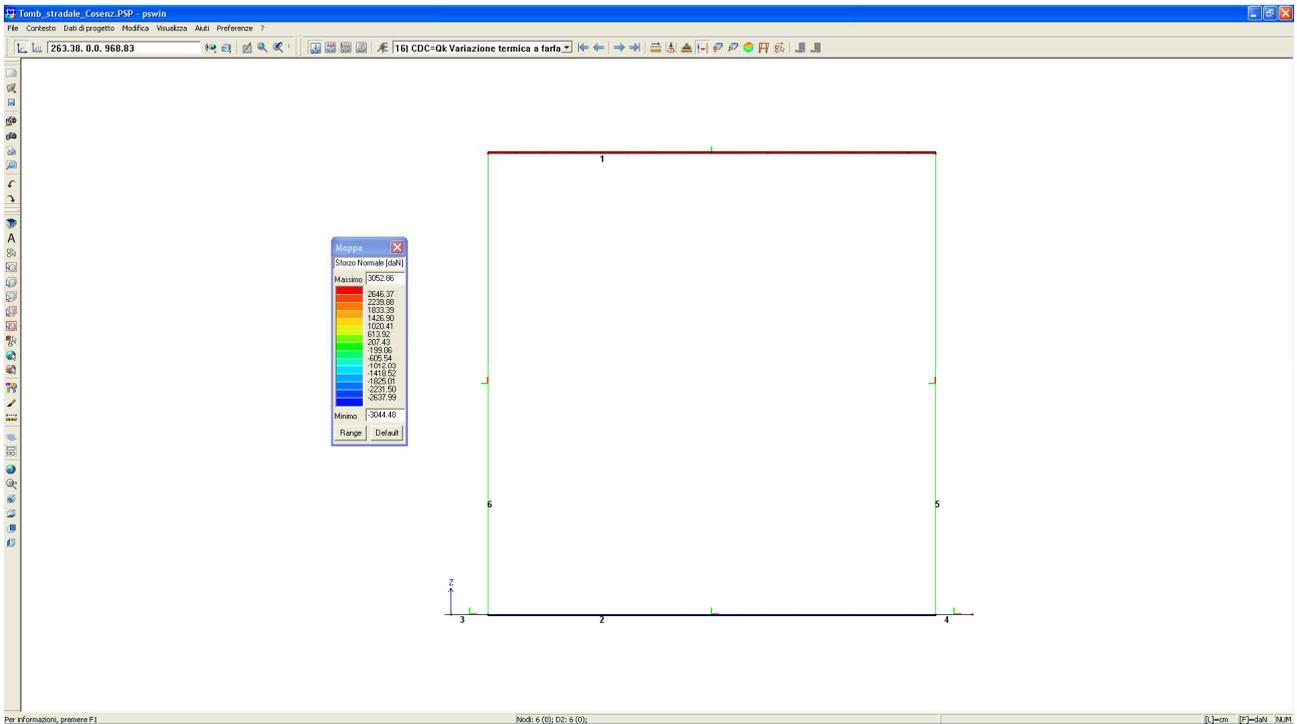
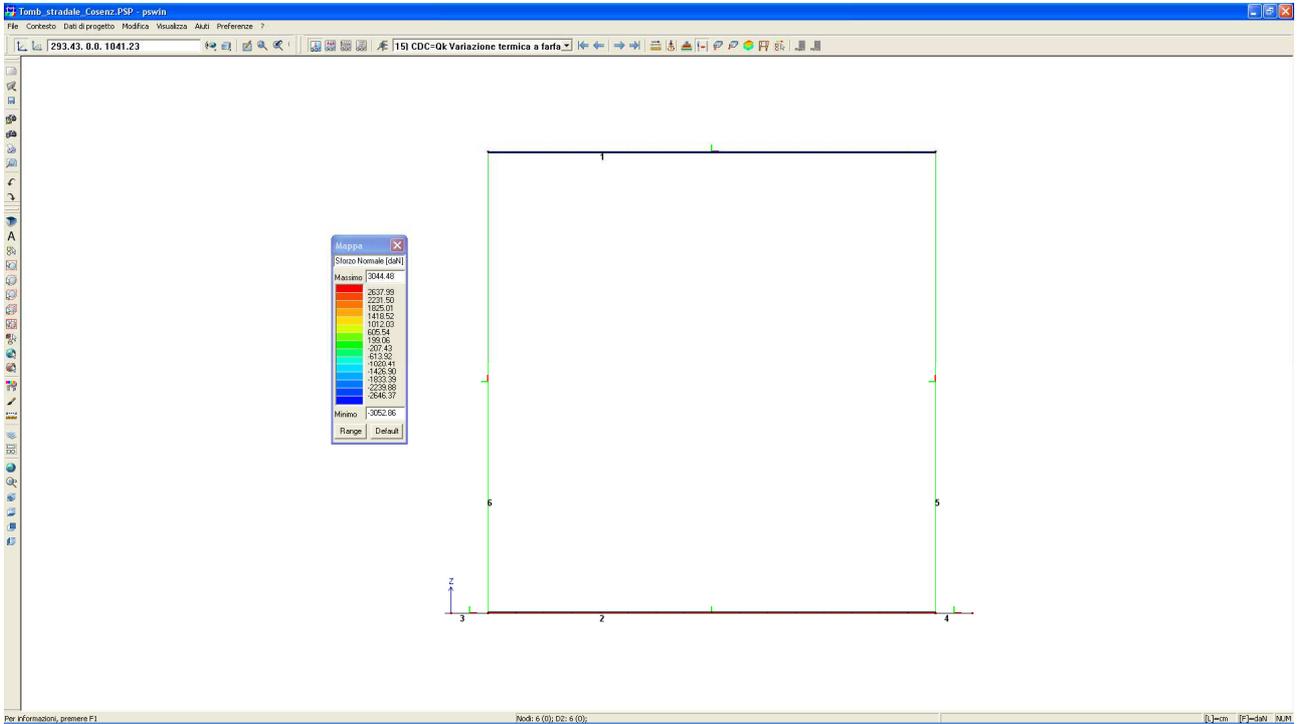


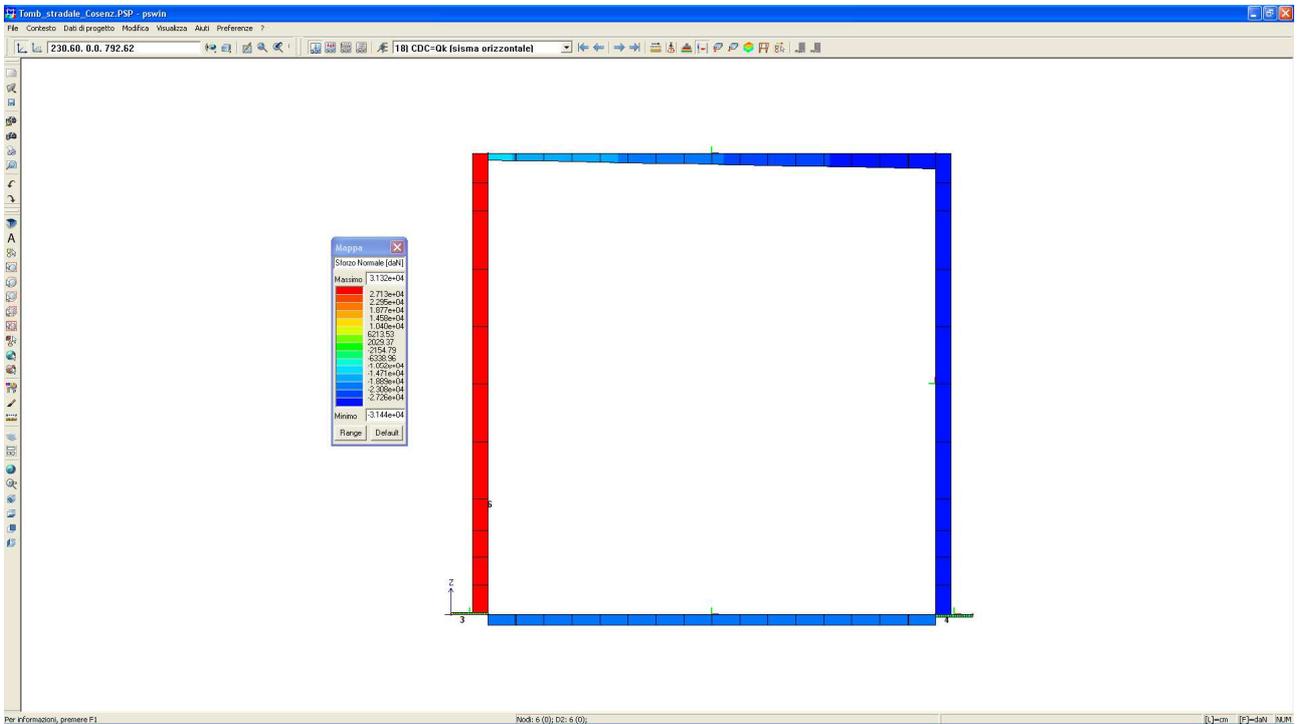
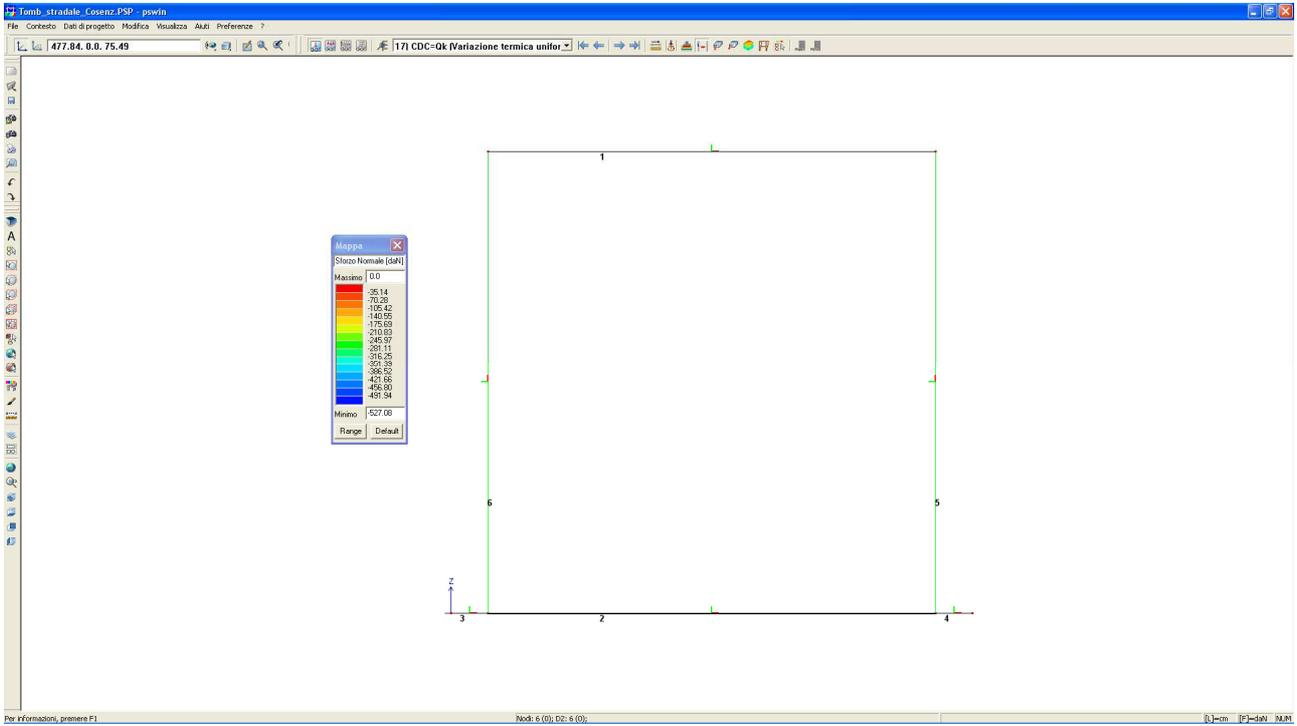




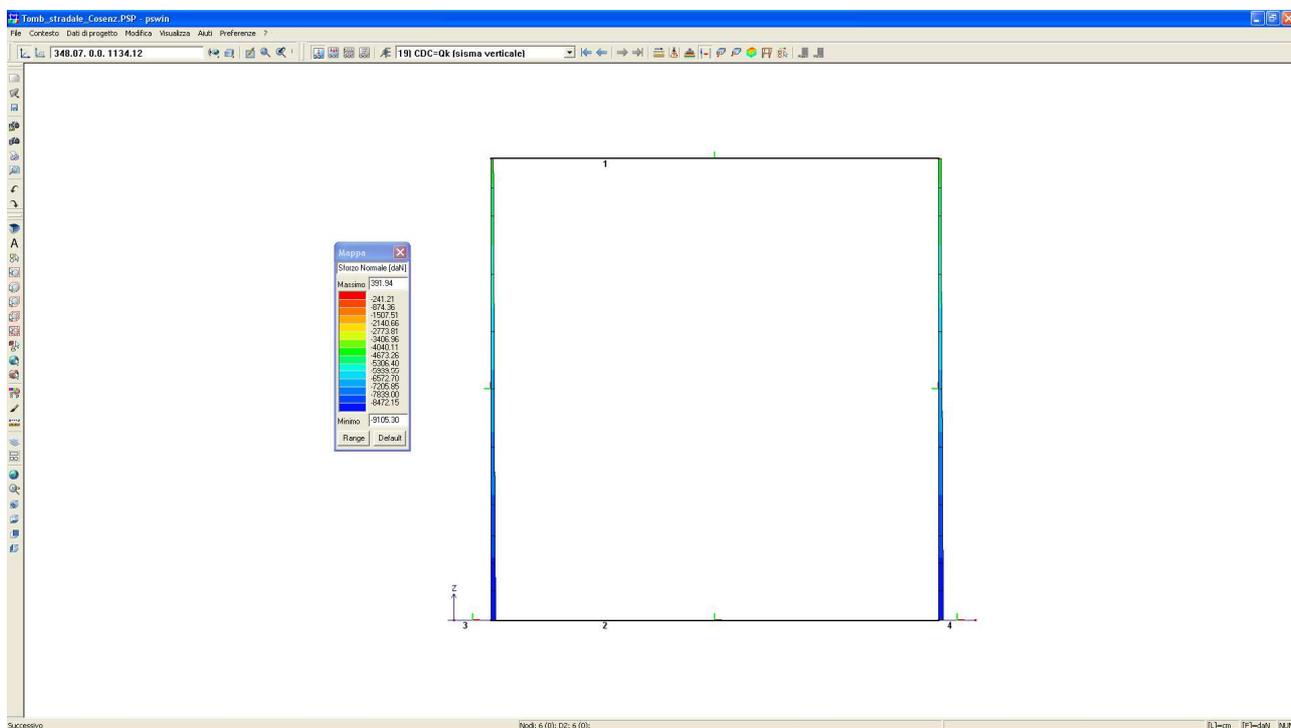




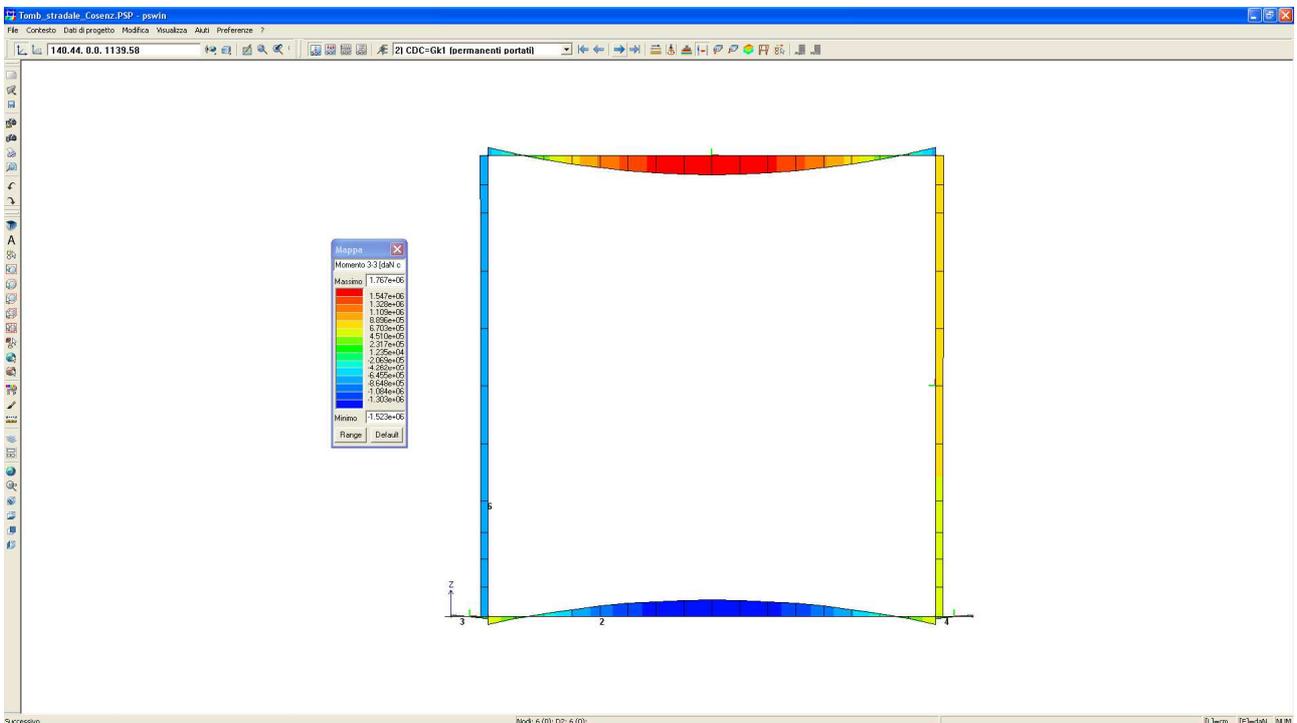
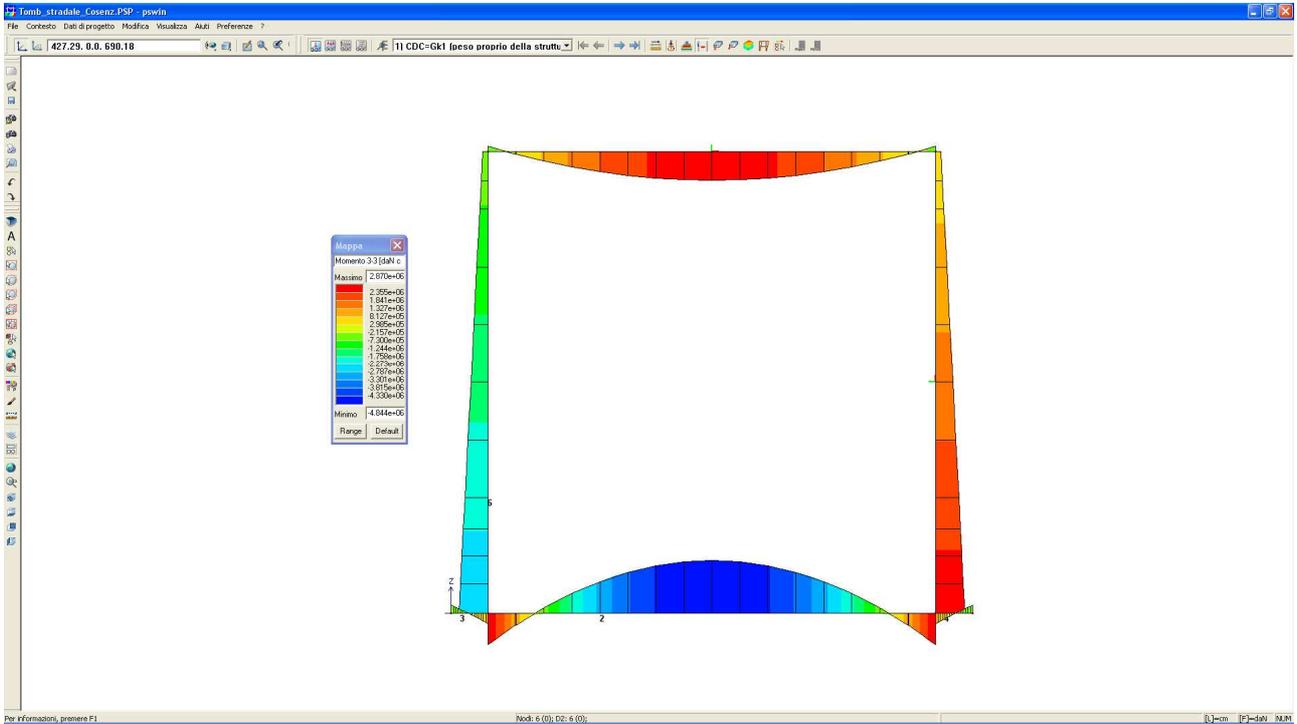


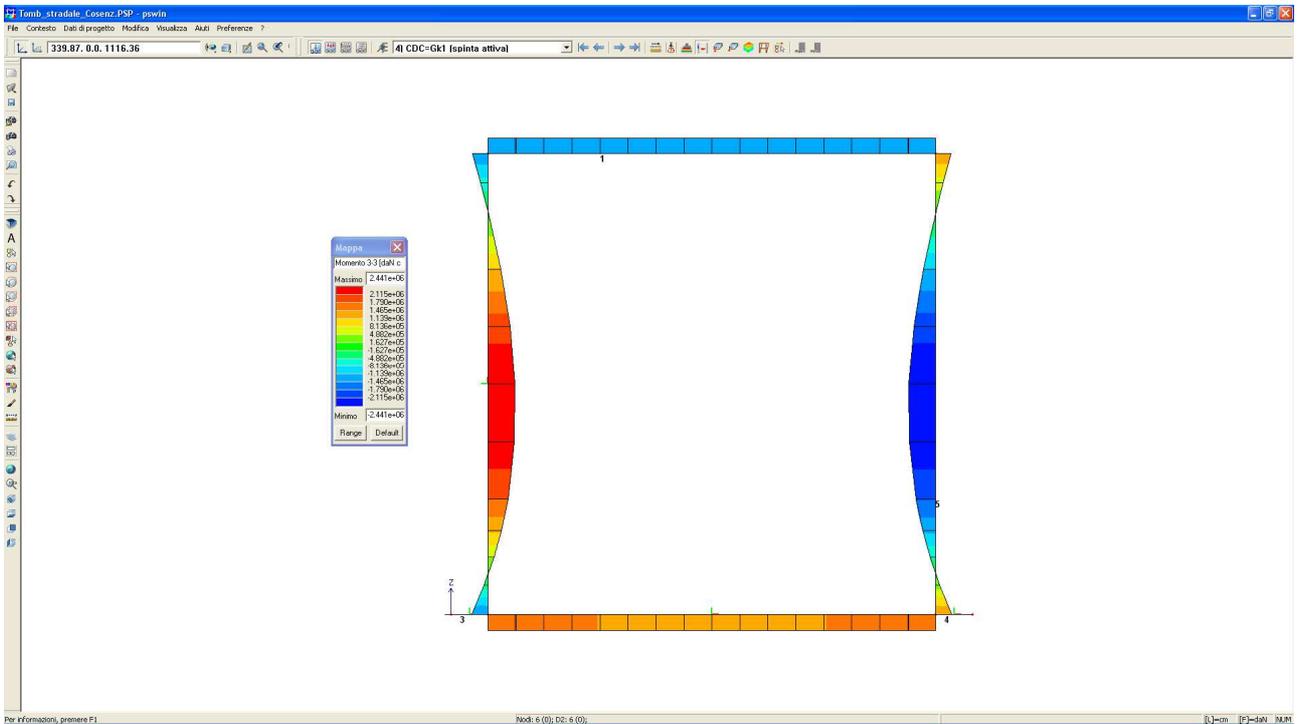
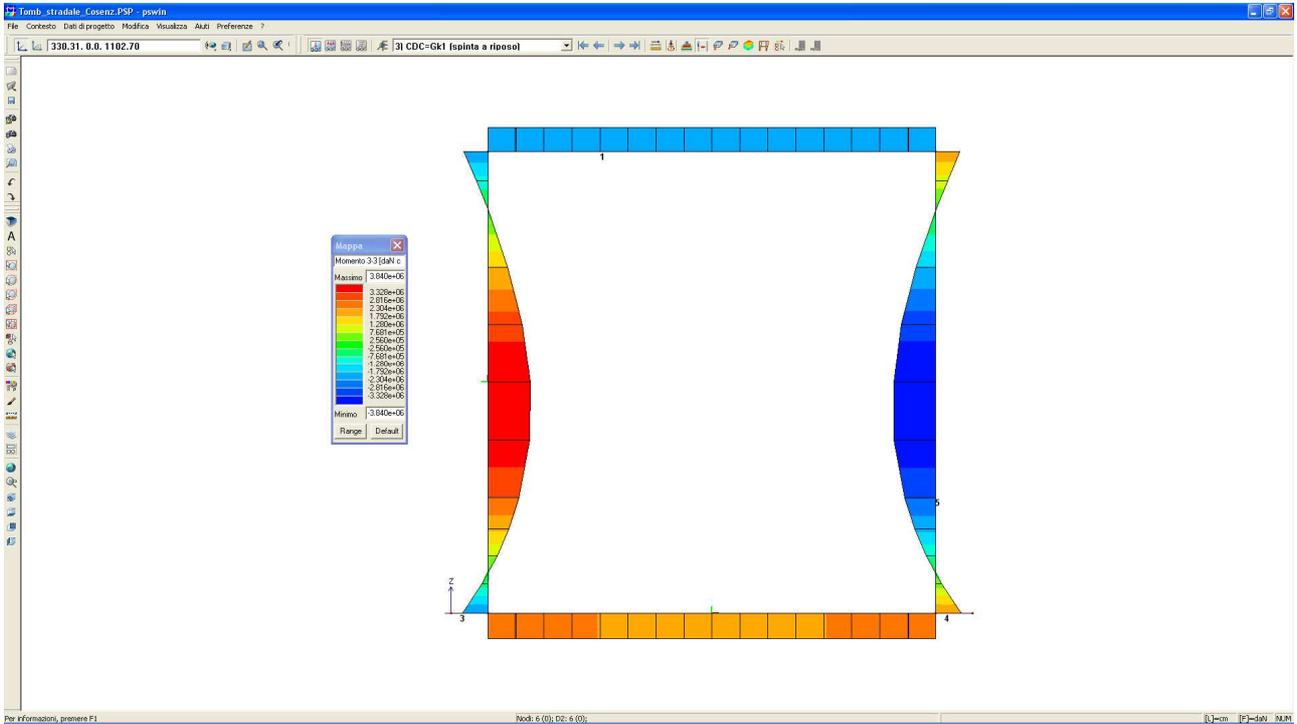


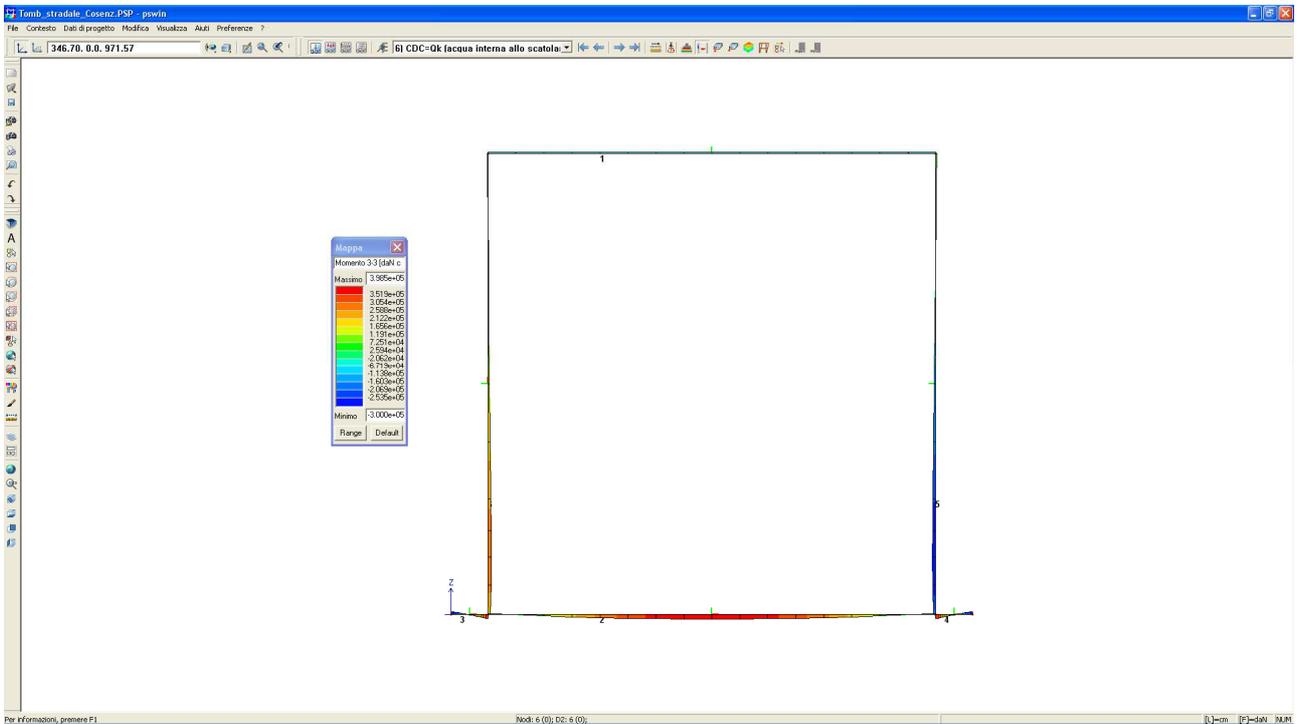
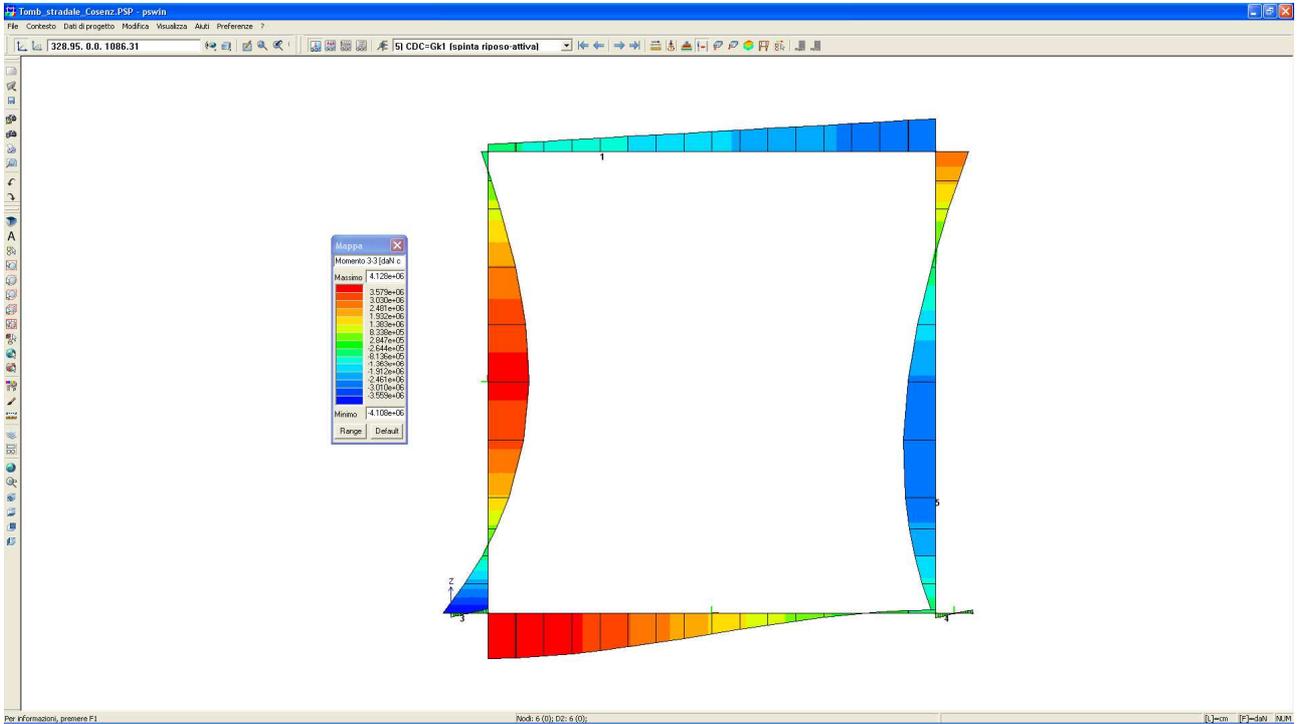
		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

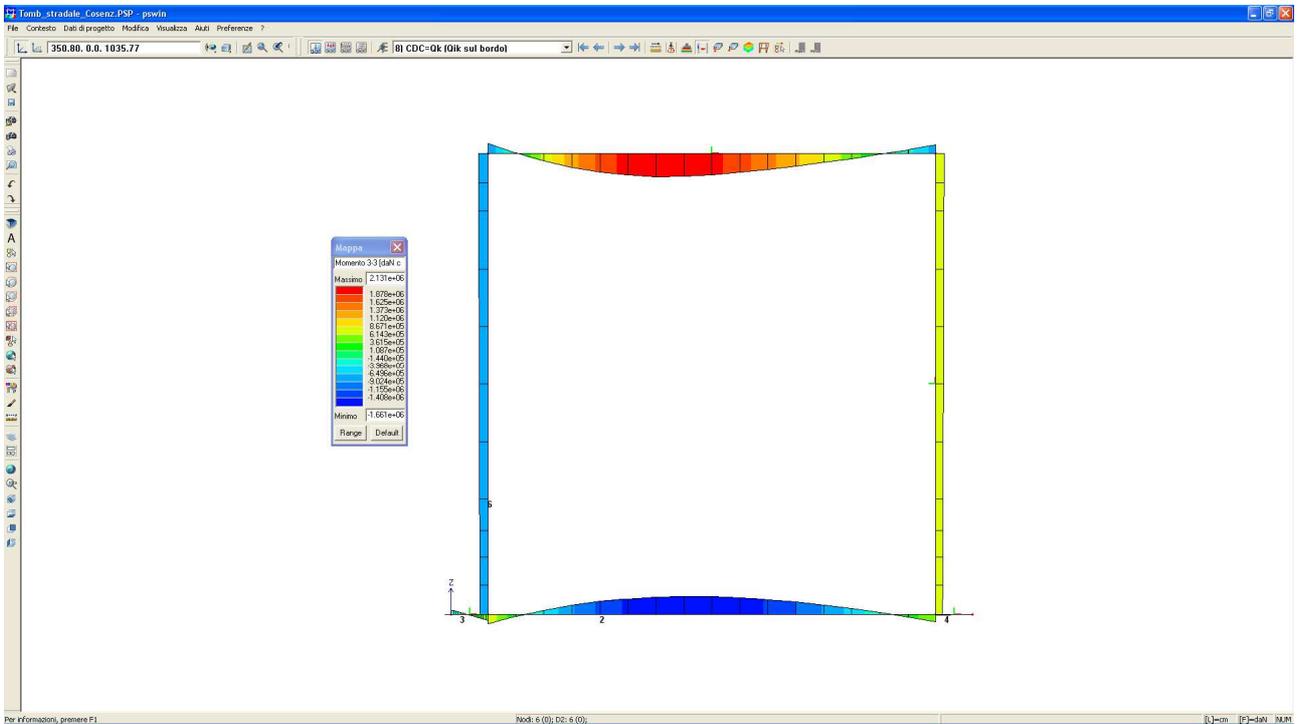
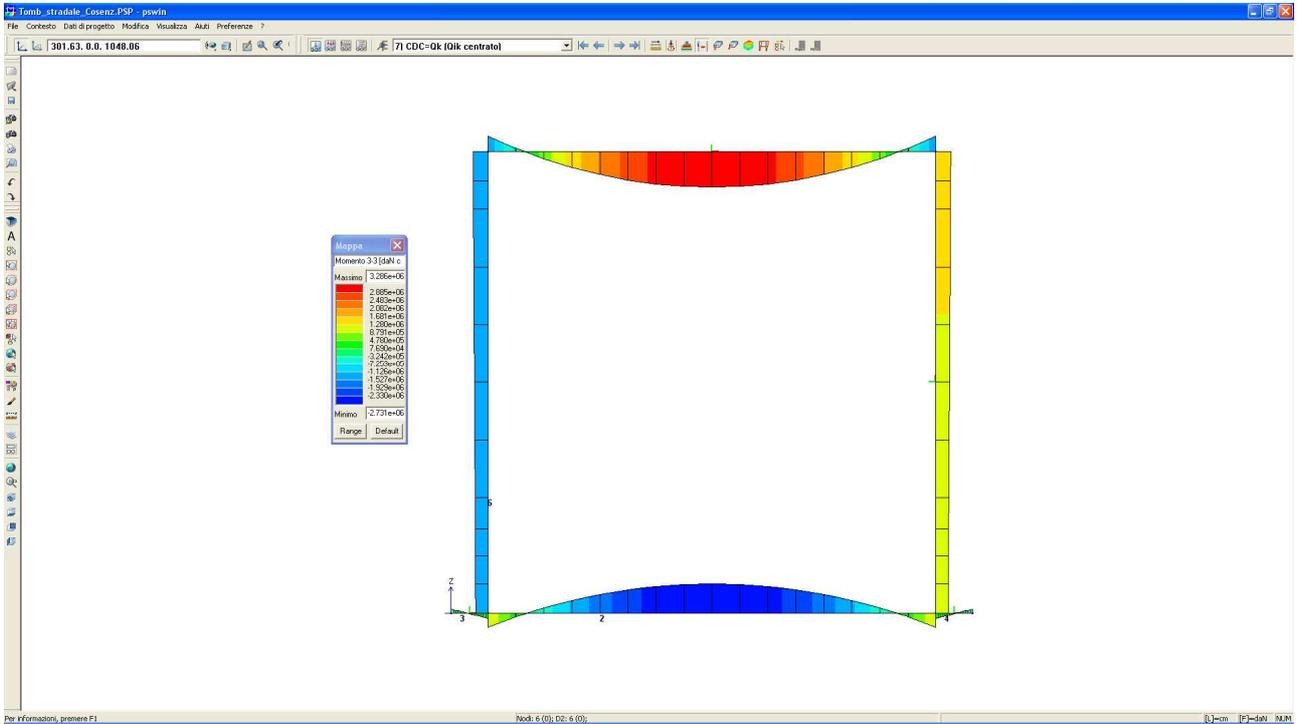


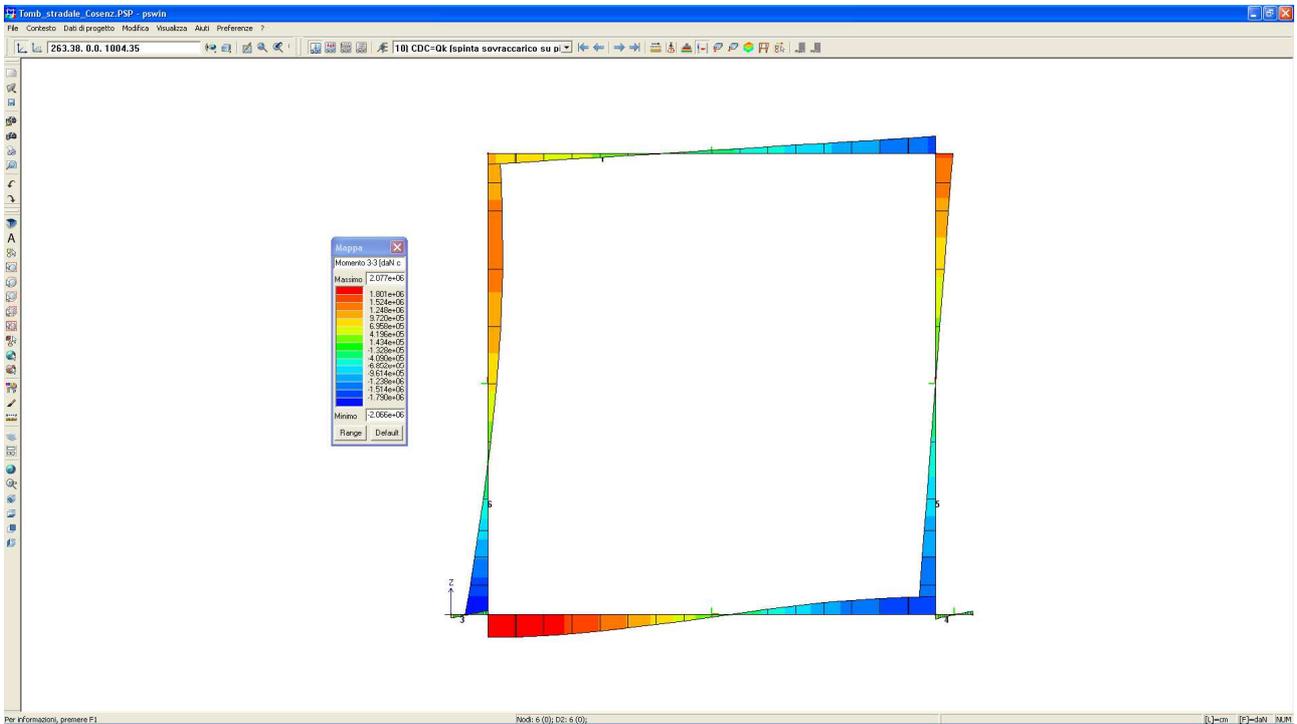
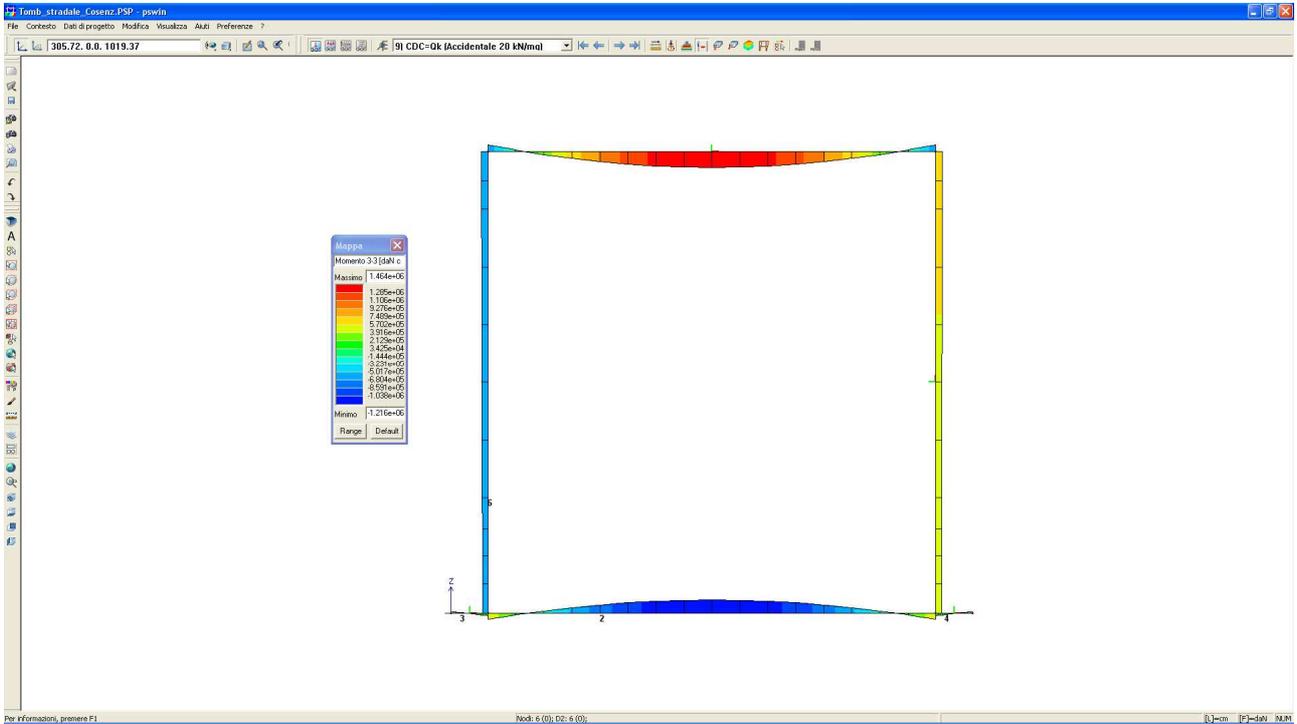
Diagrammi del Momento Flettente:

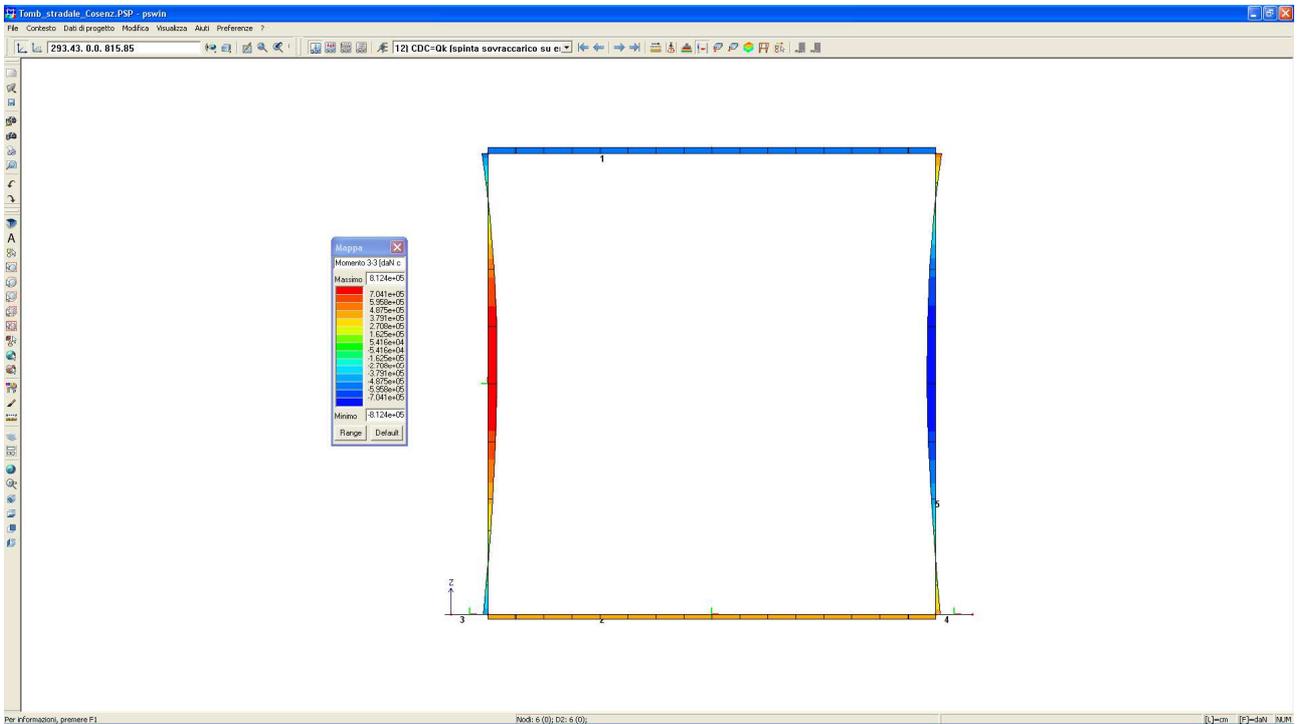
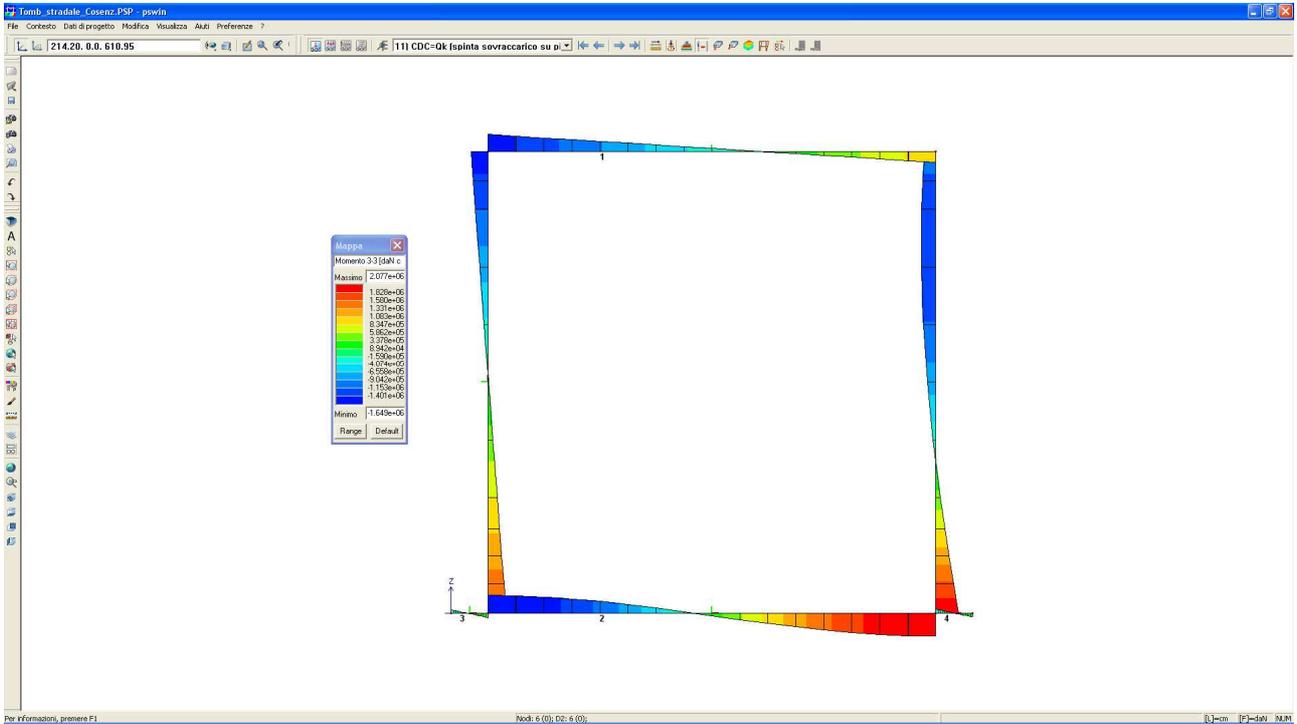


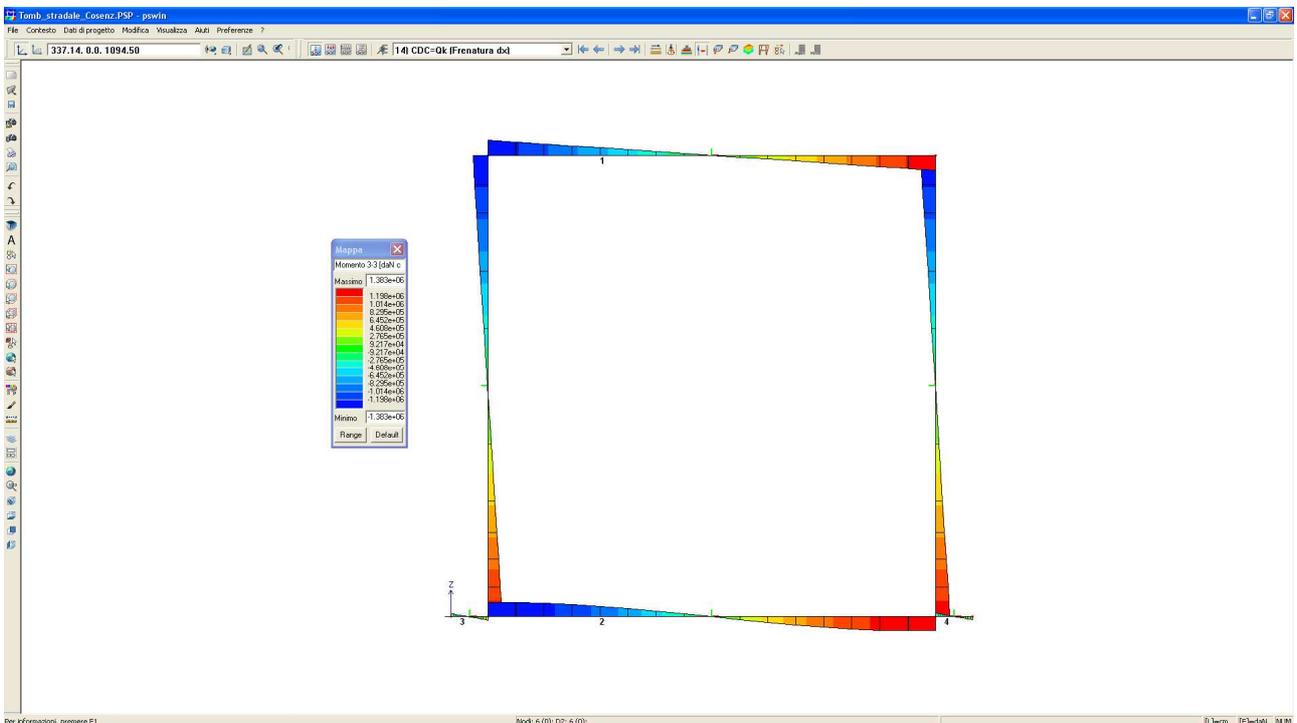
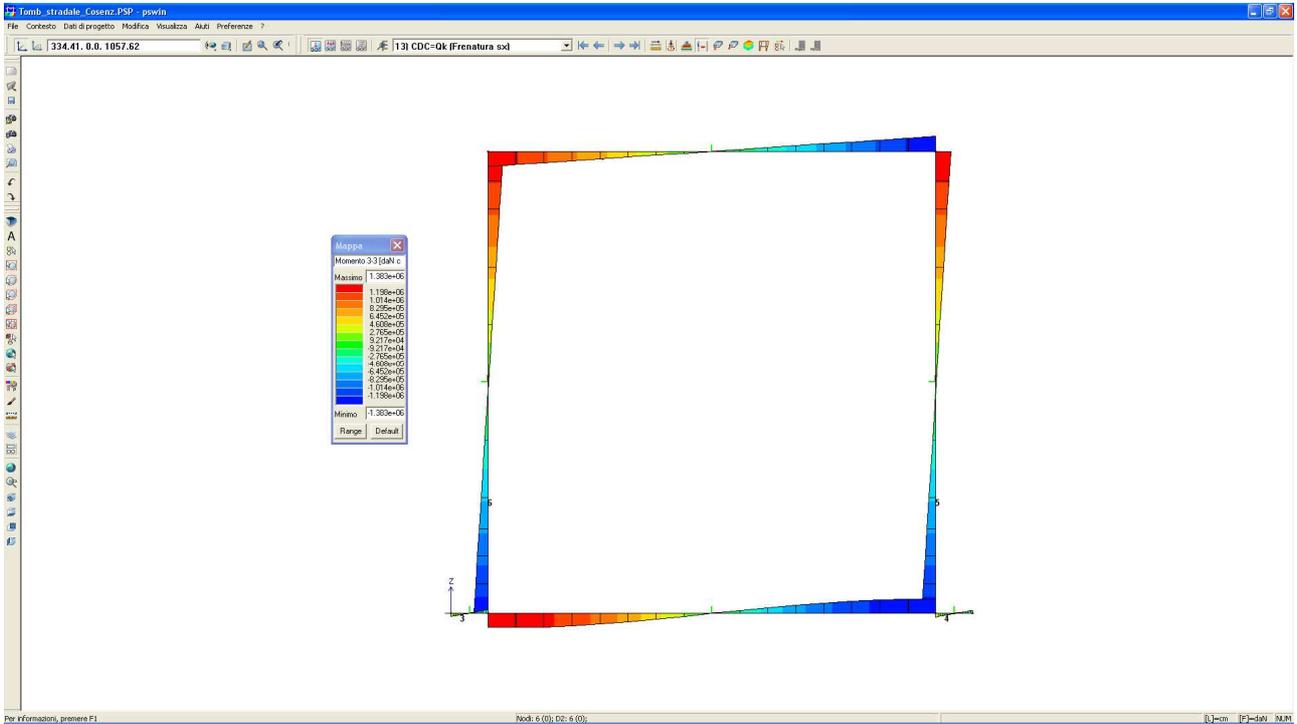


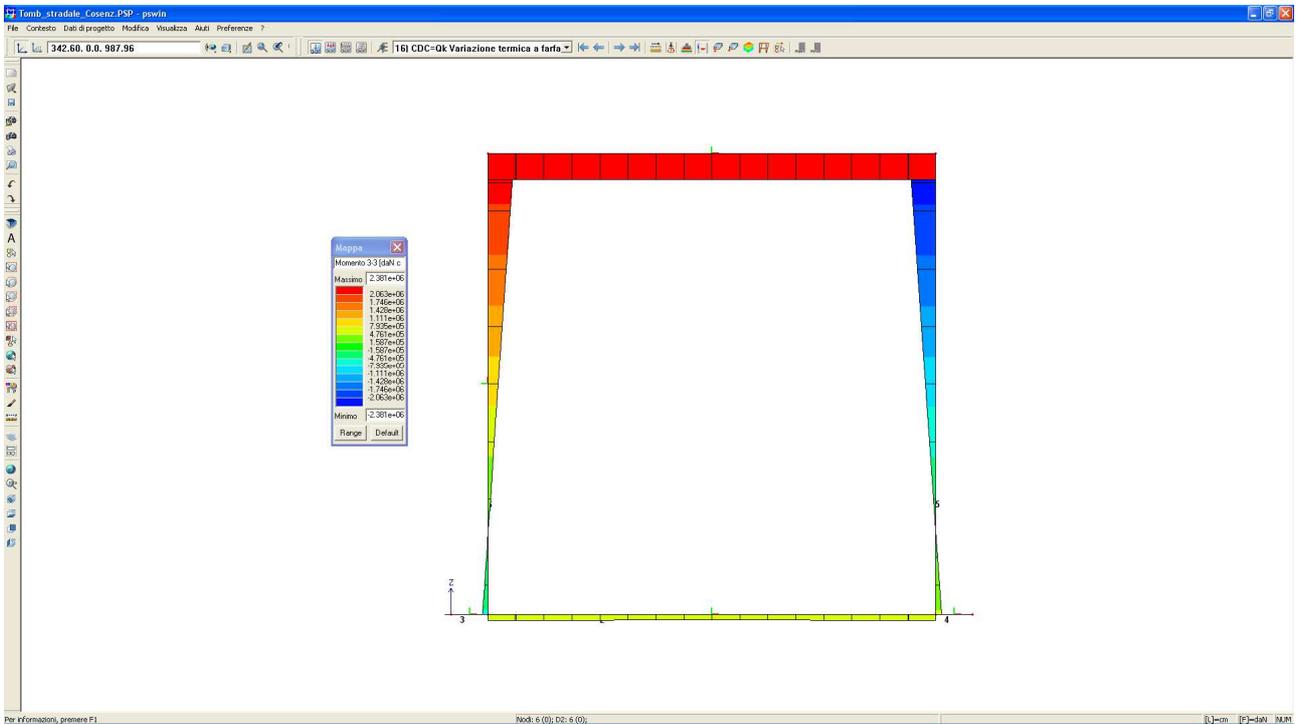
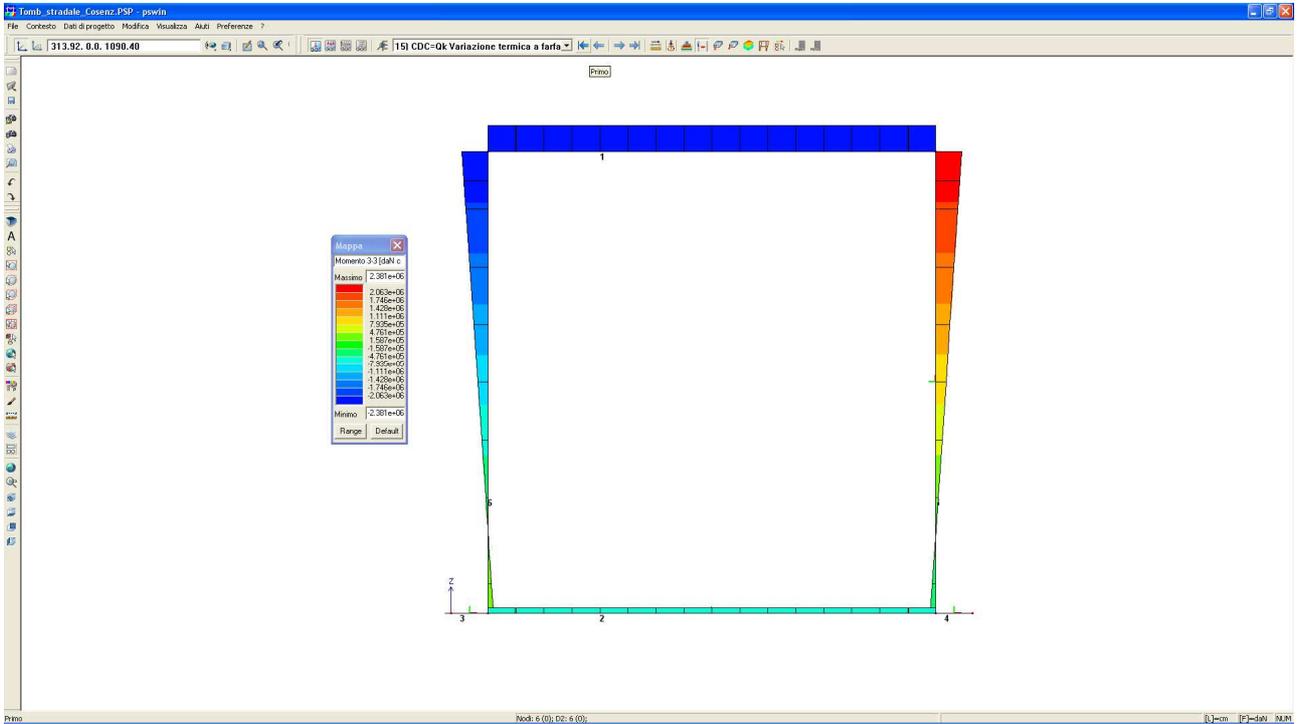


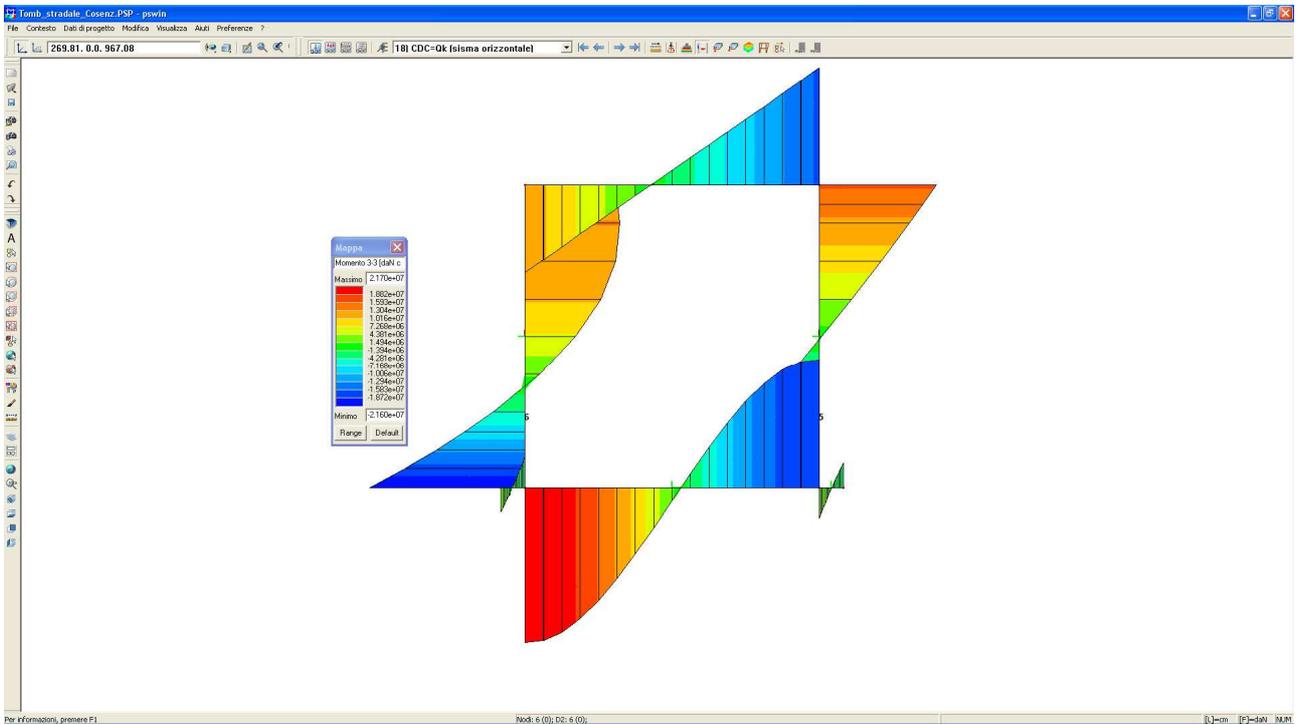
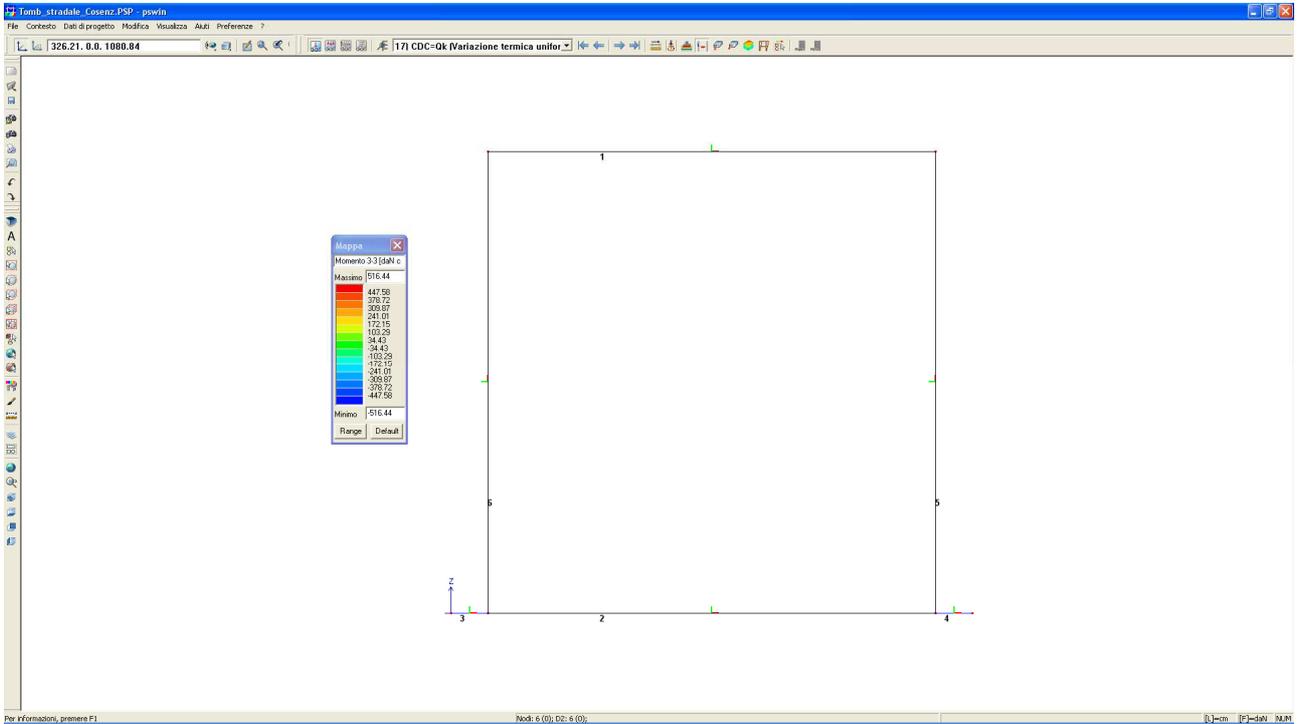




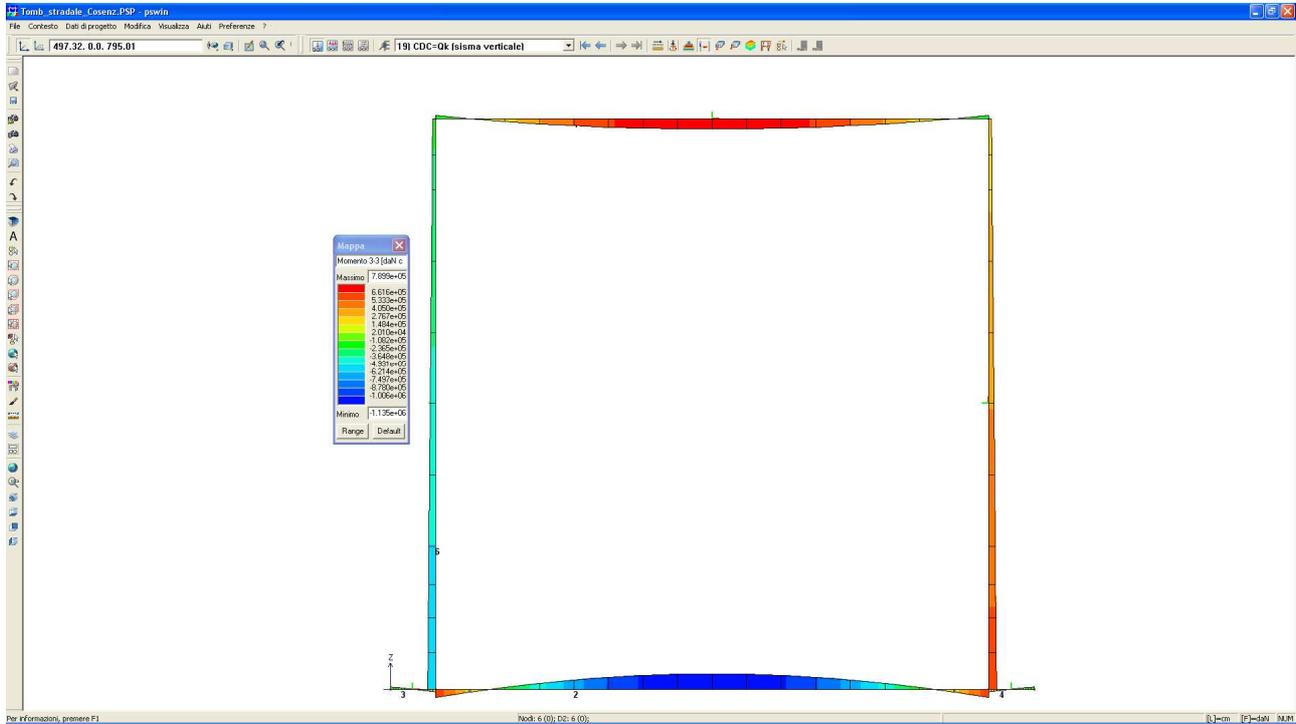




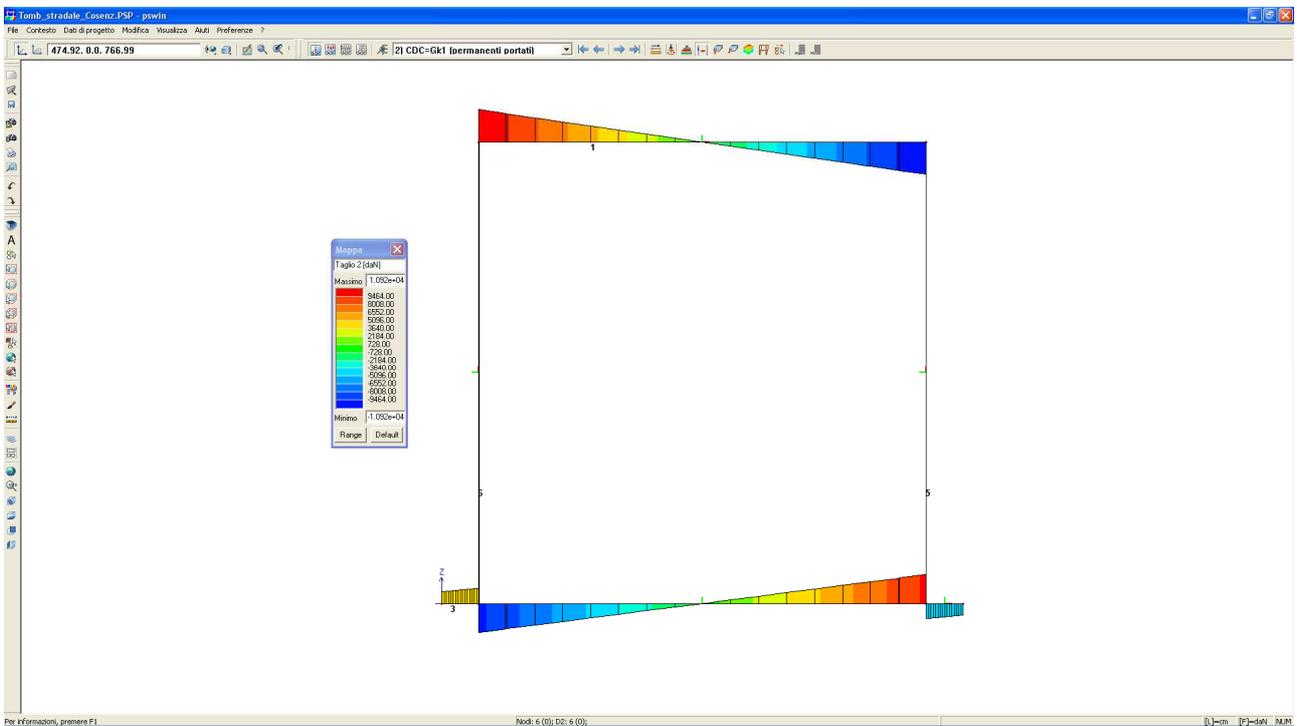
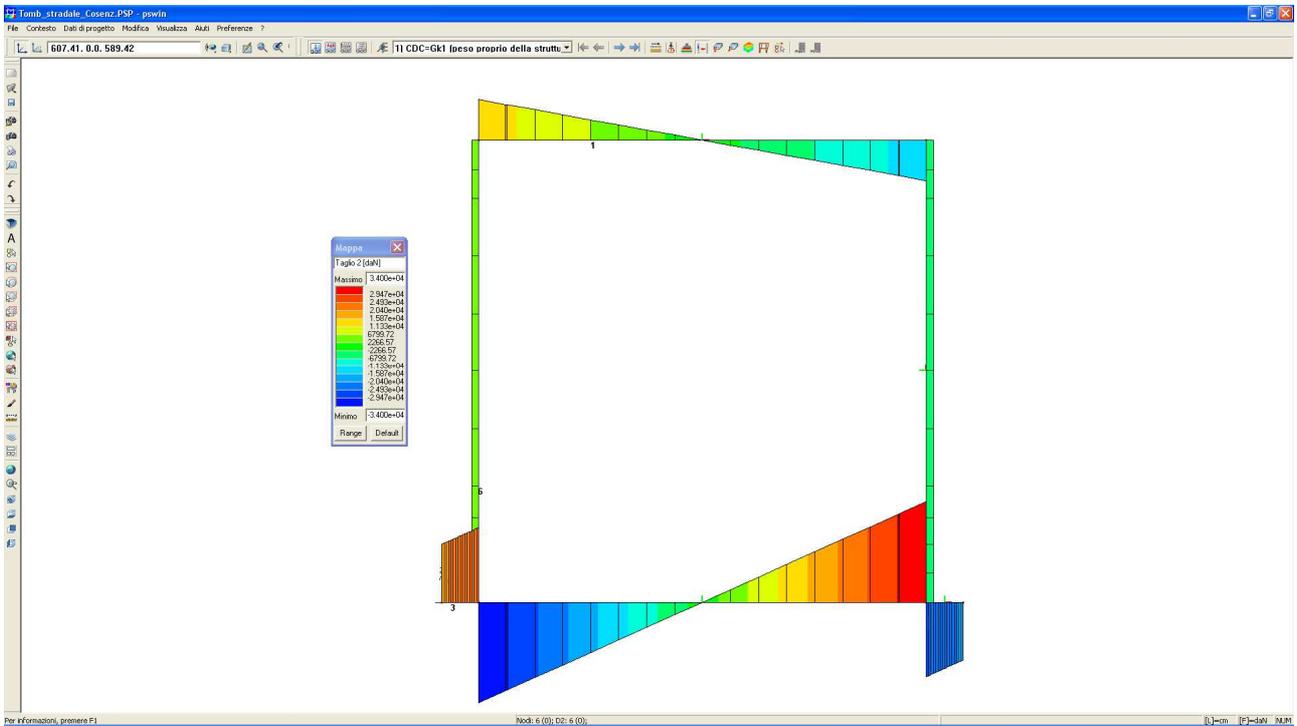


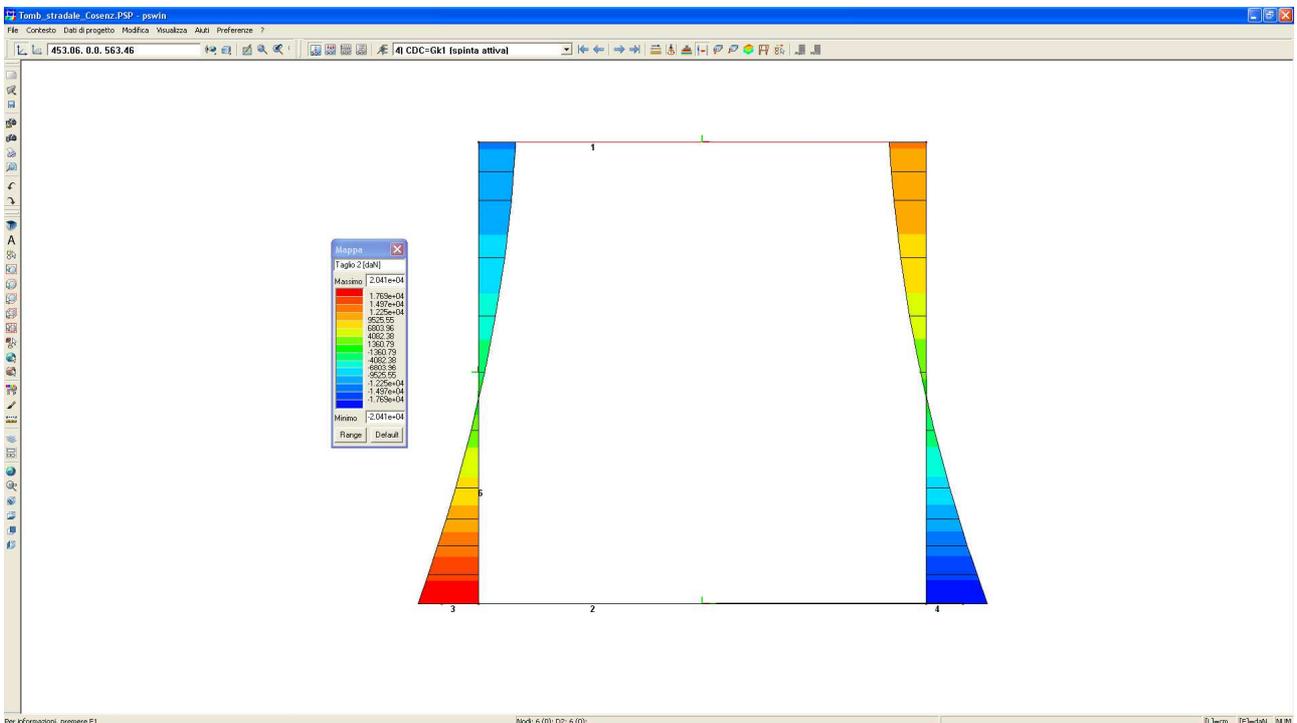
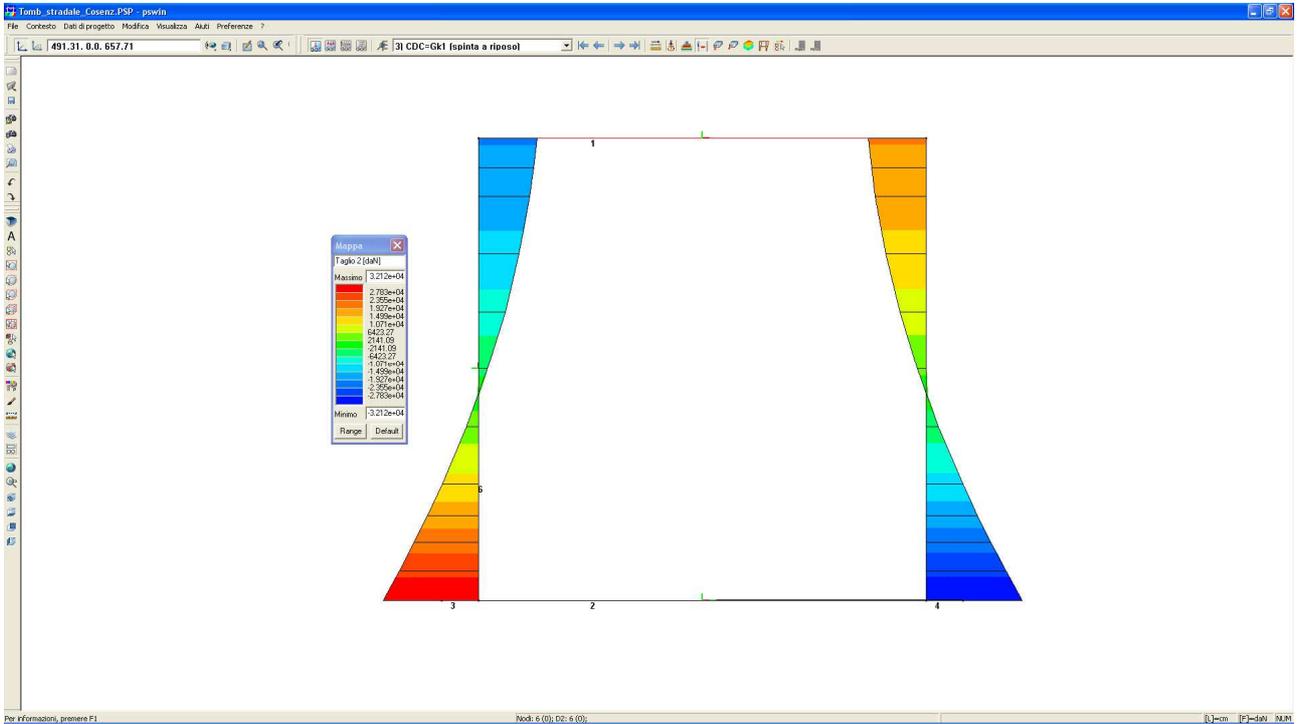


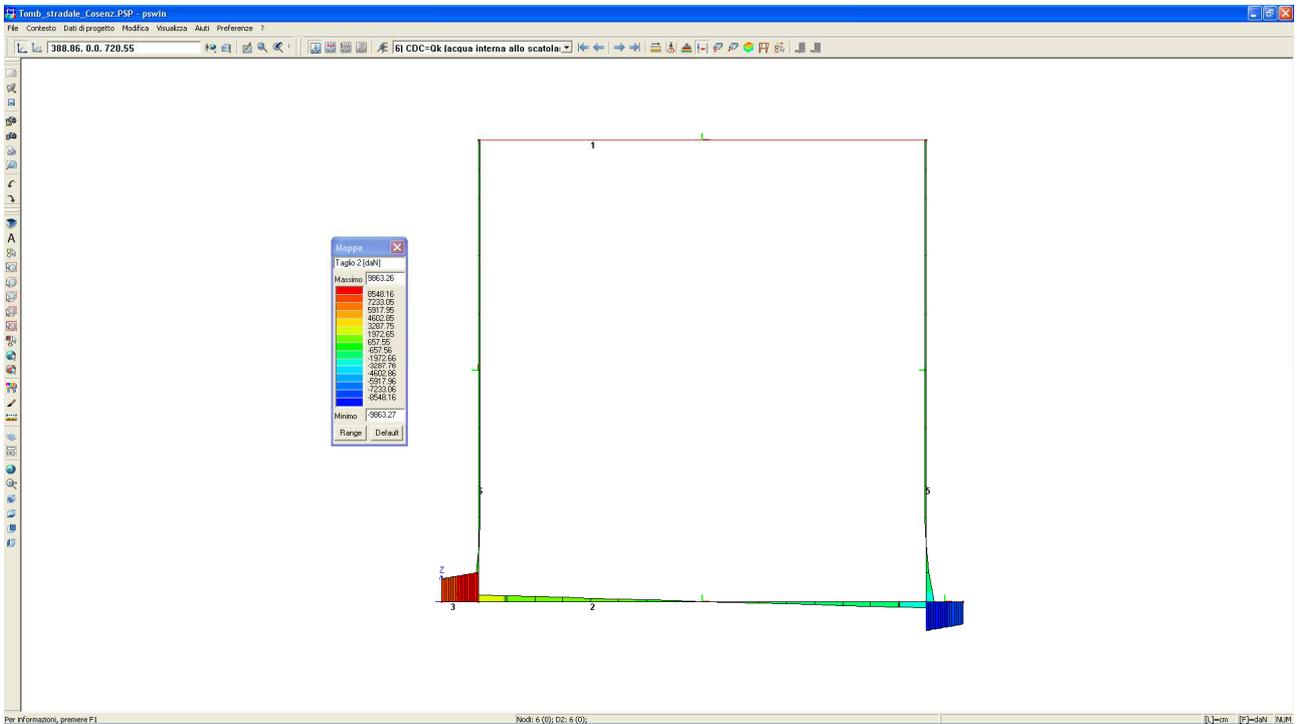
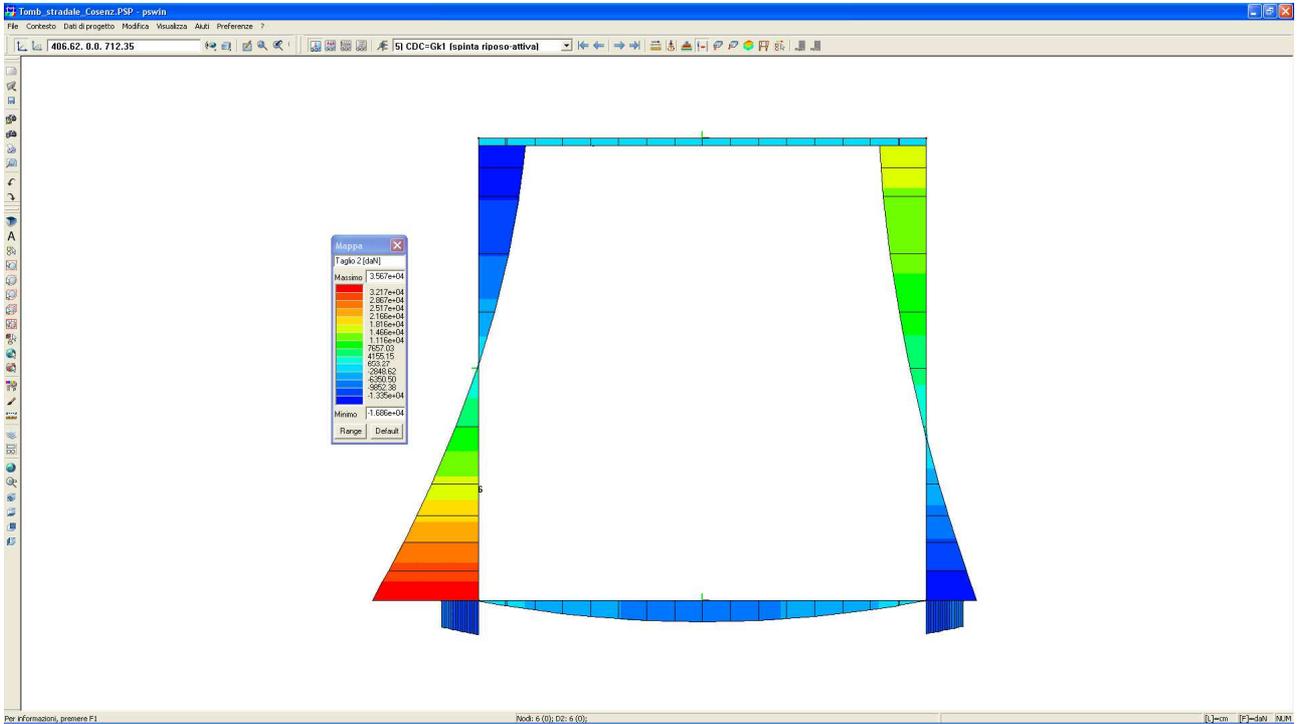
		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

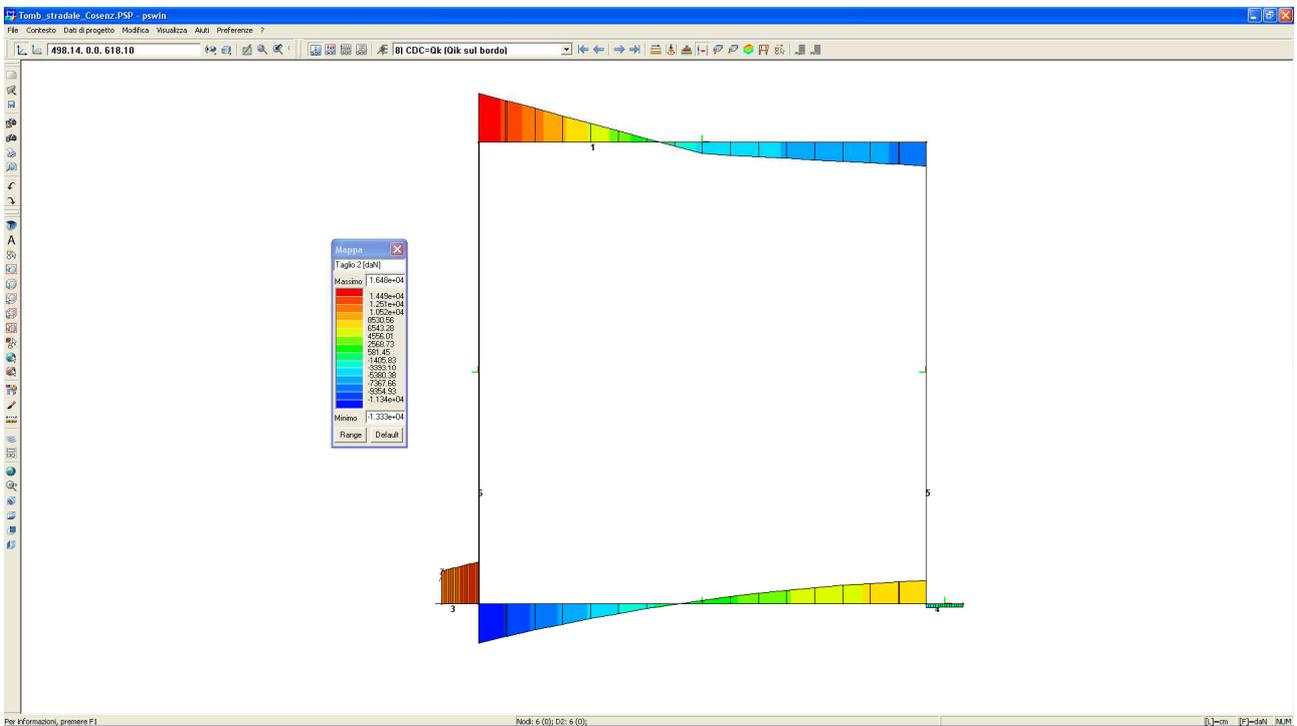
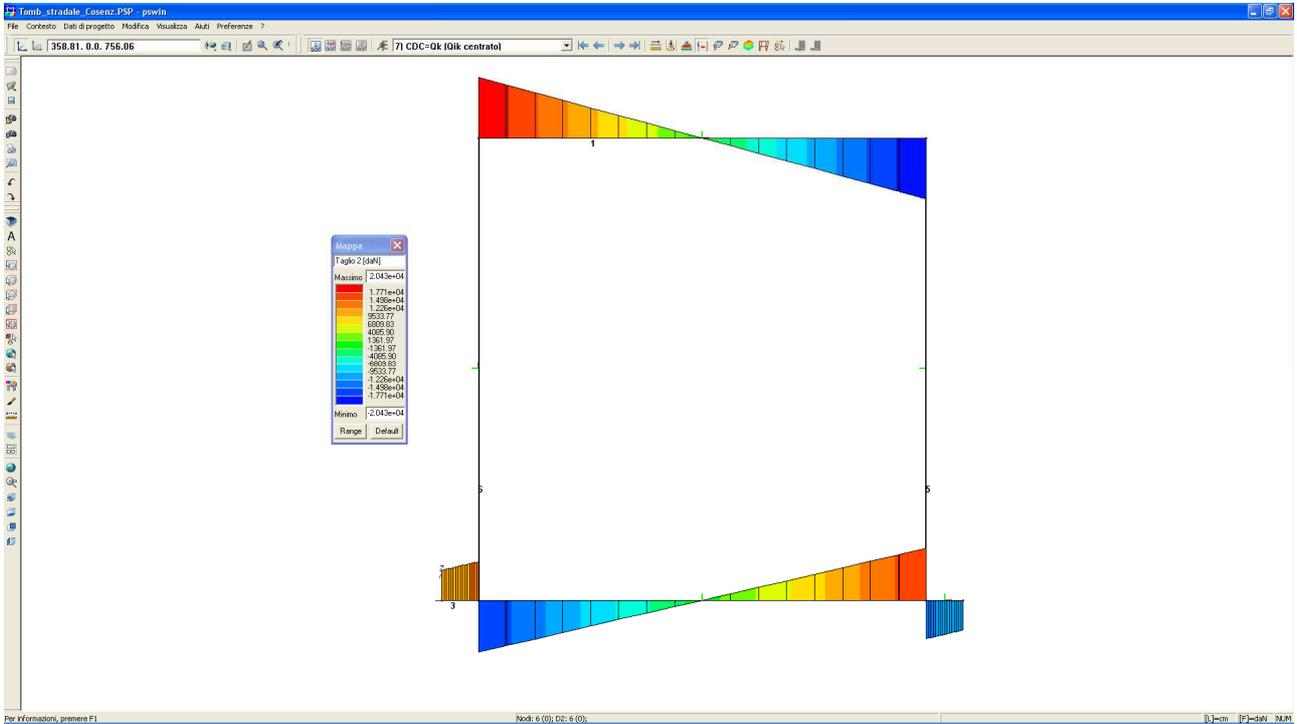


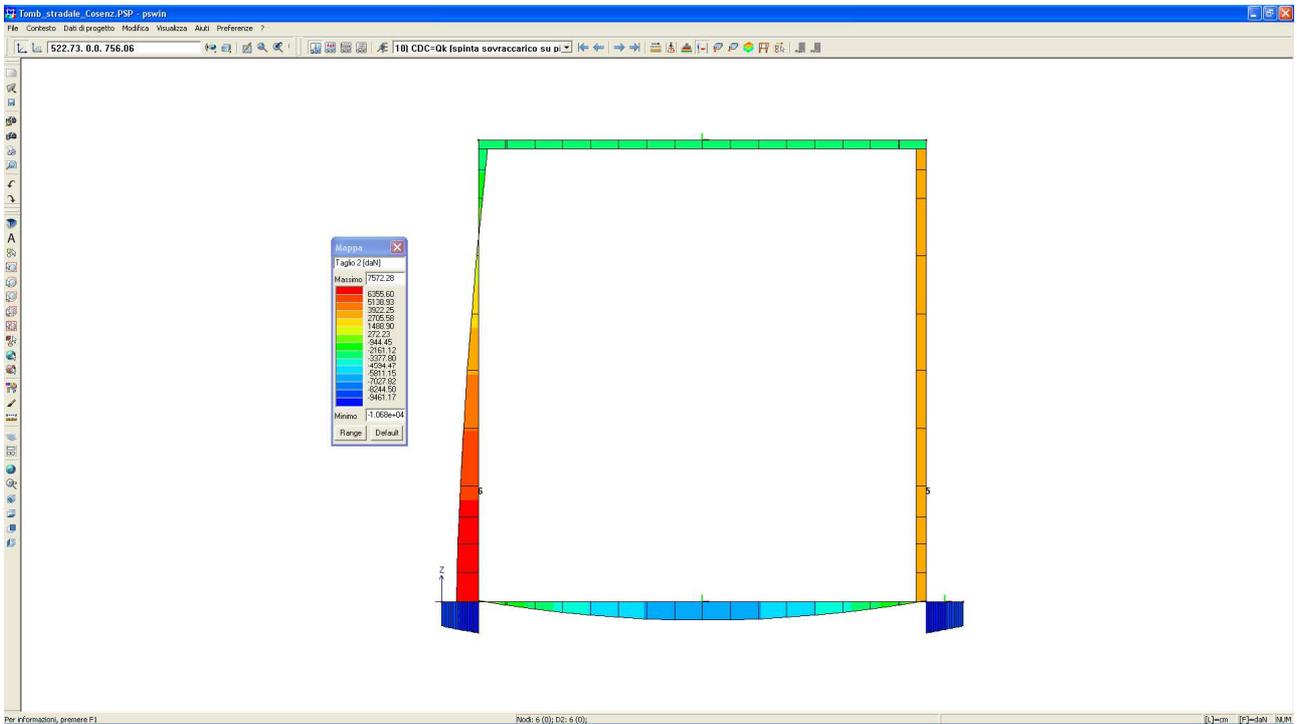
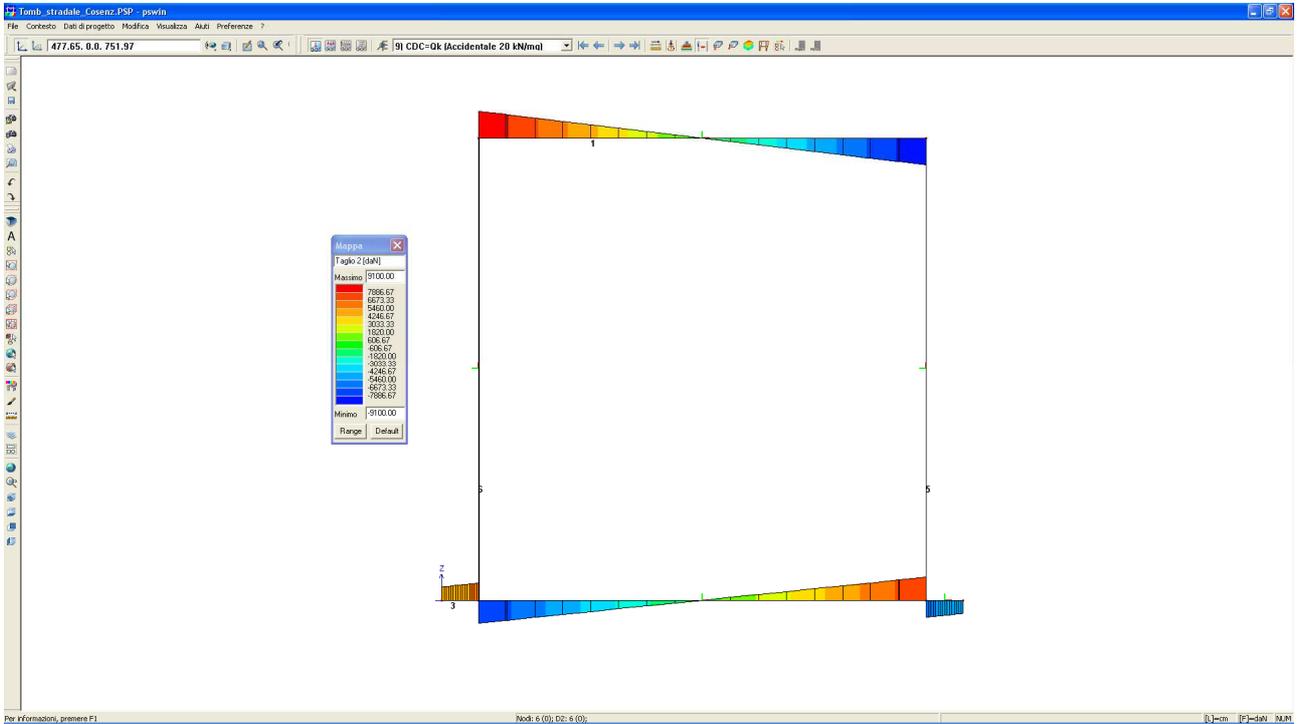
Diagrammi del Taglio:

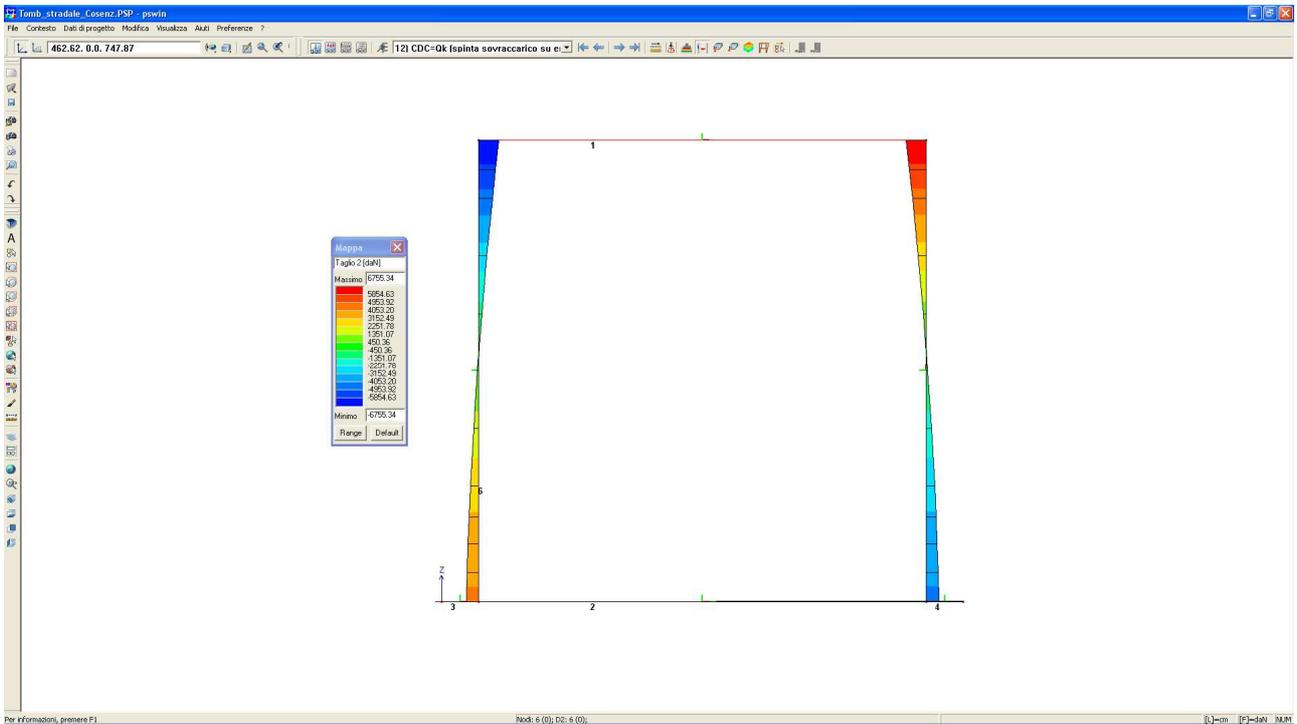
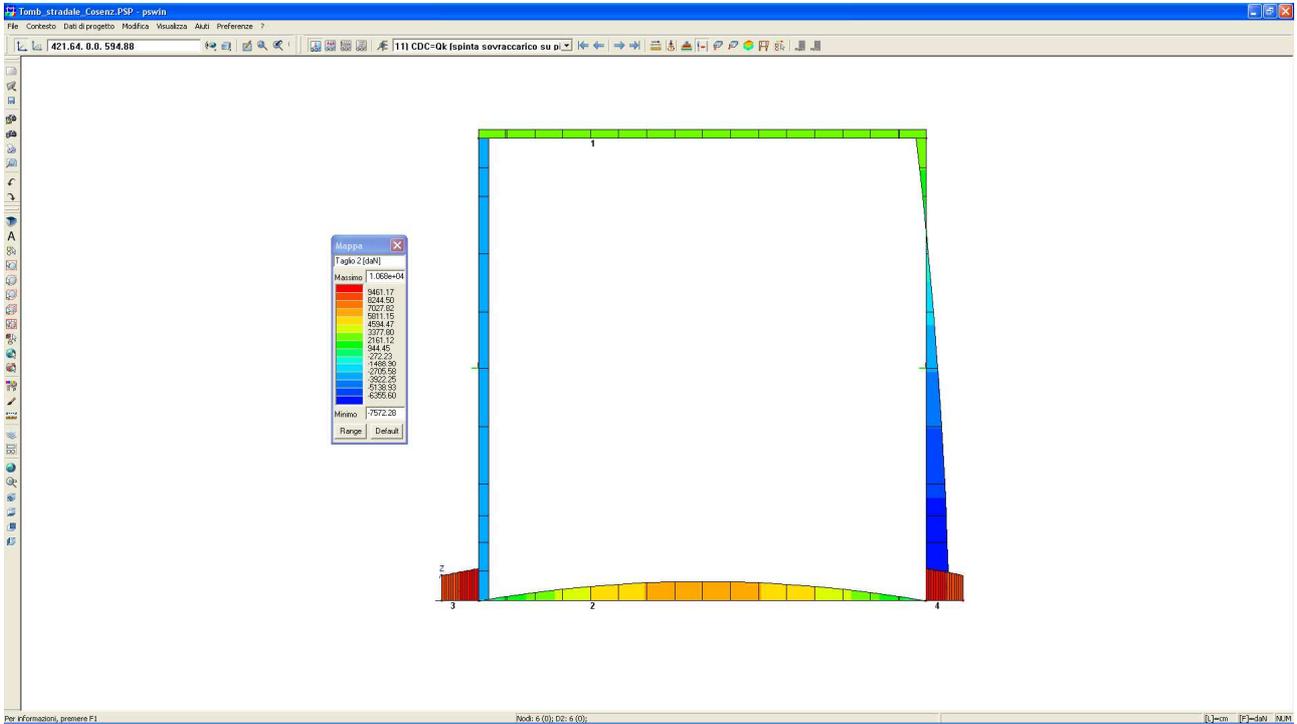


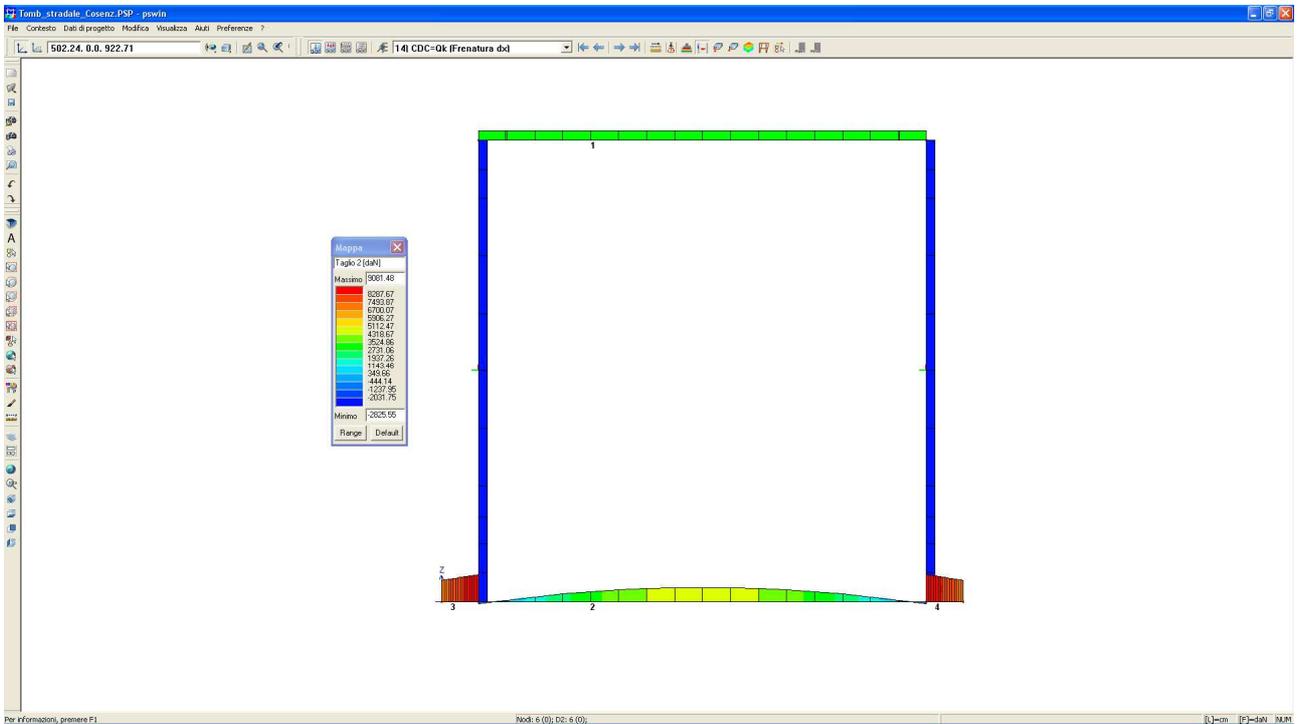
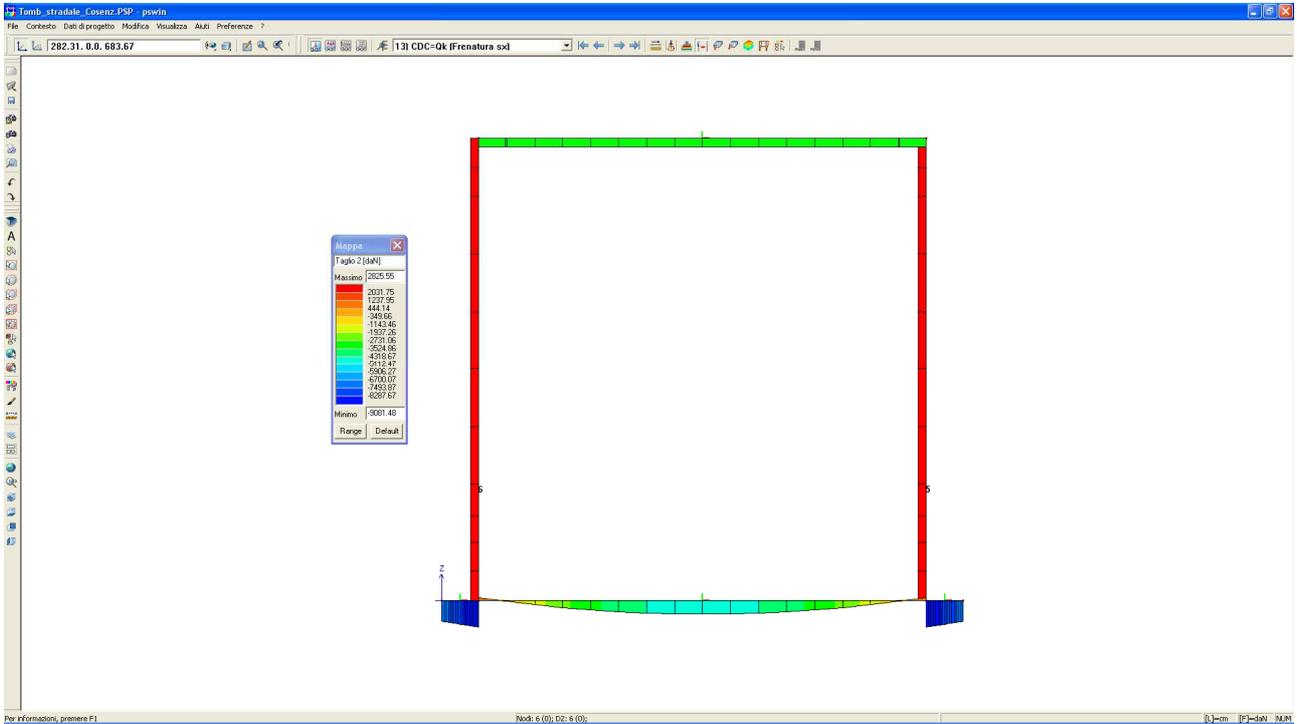


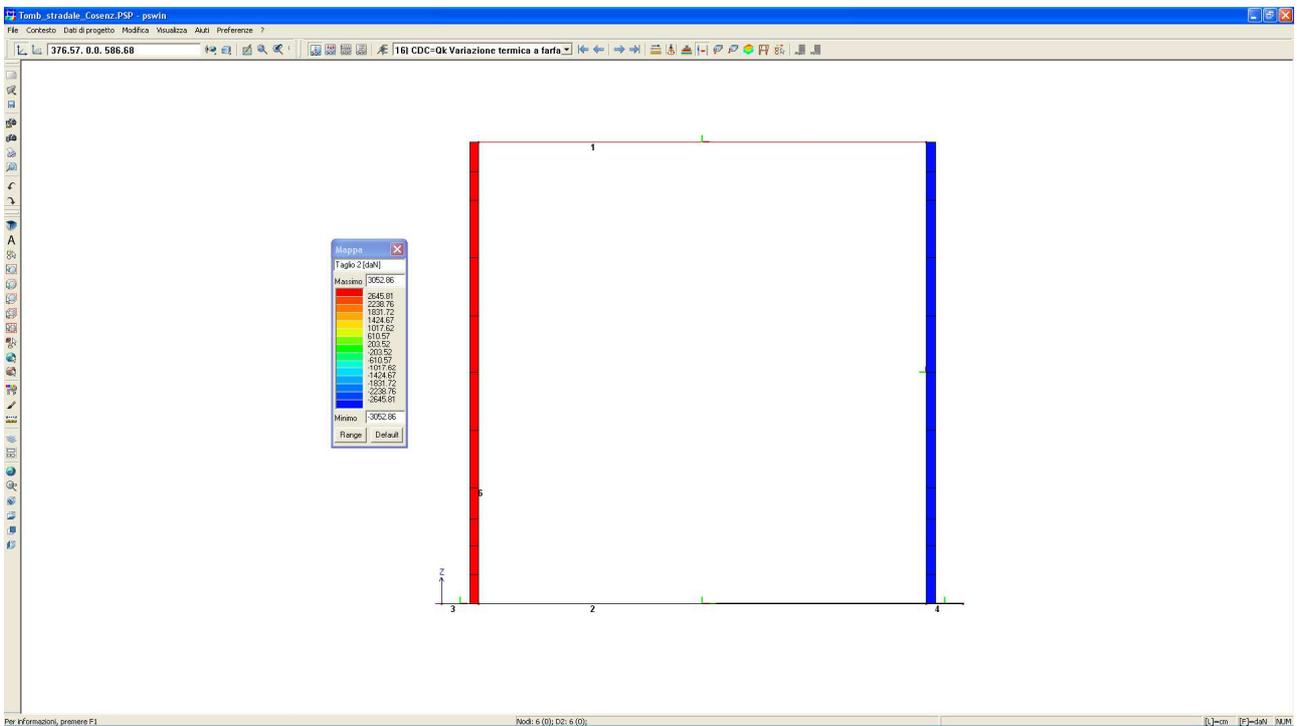
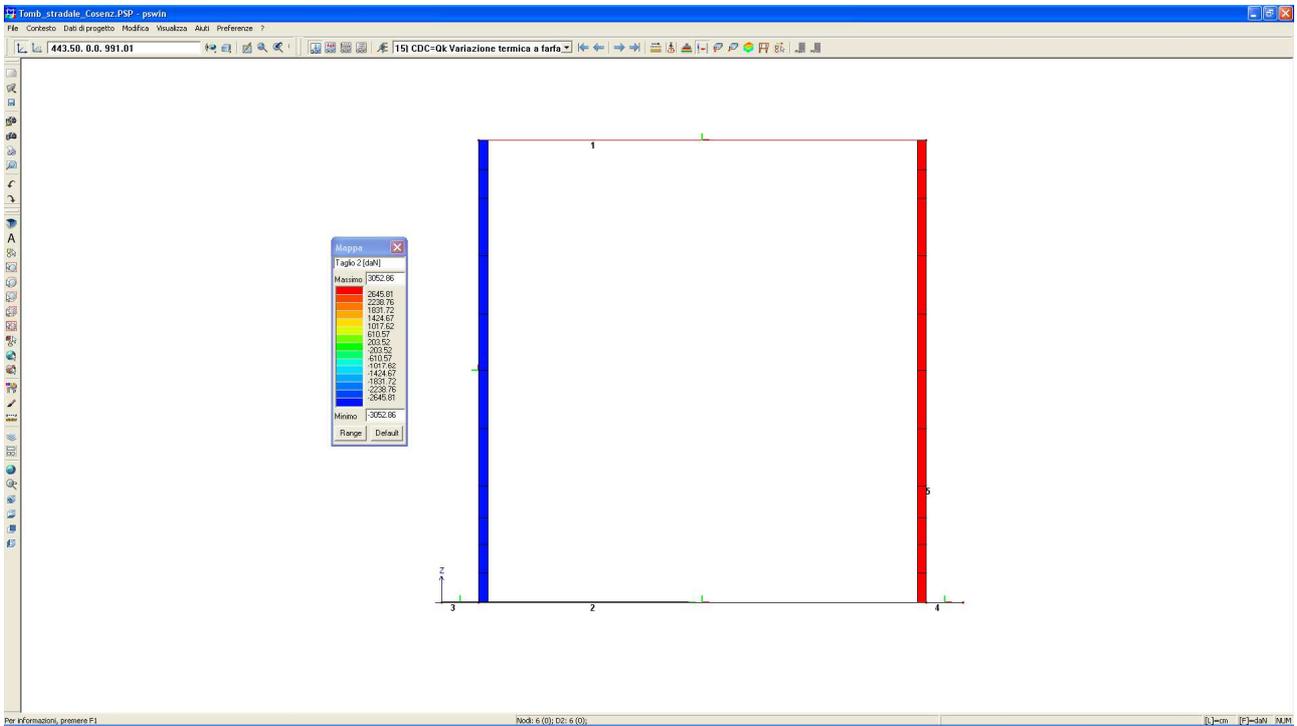


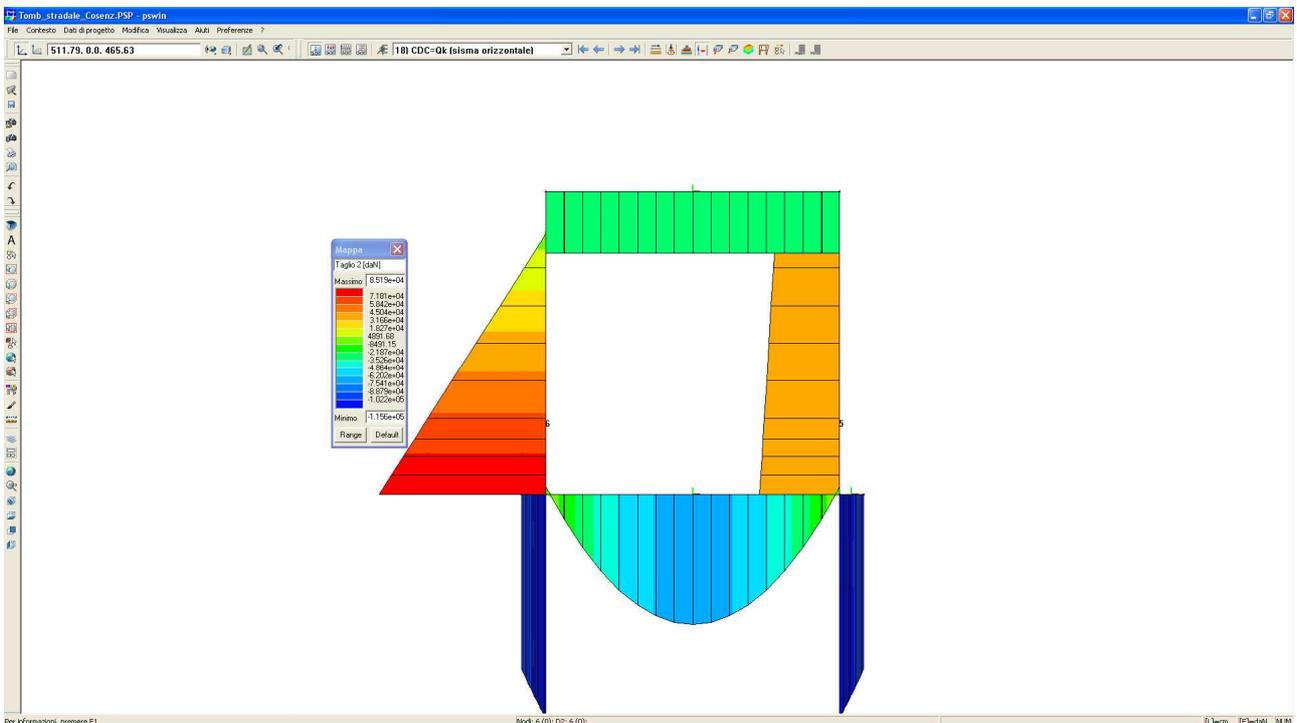
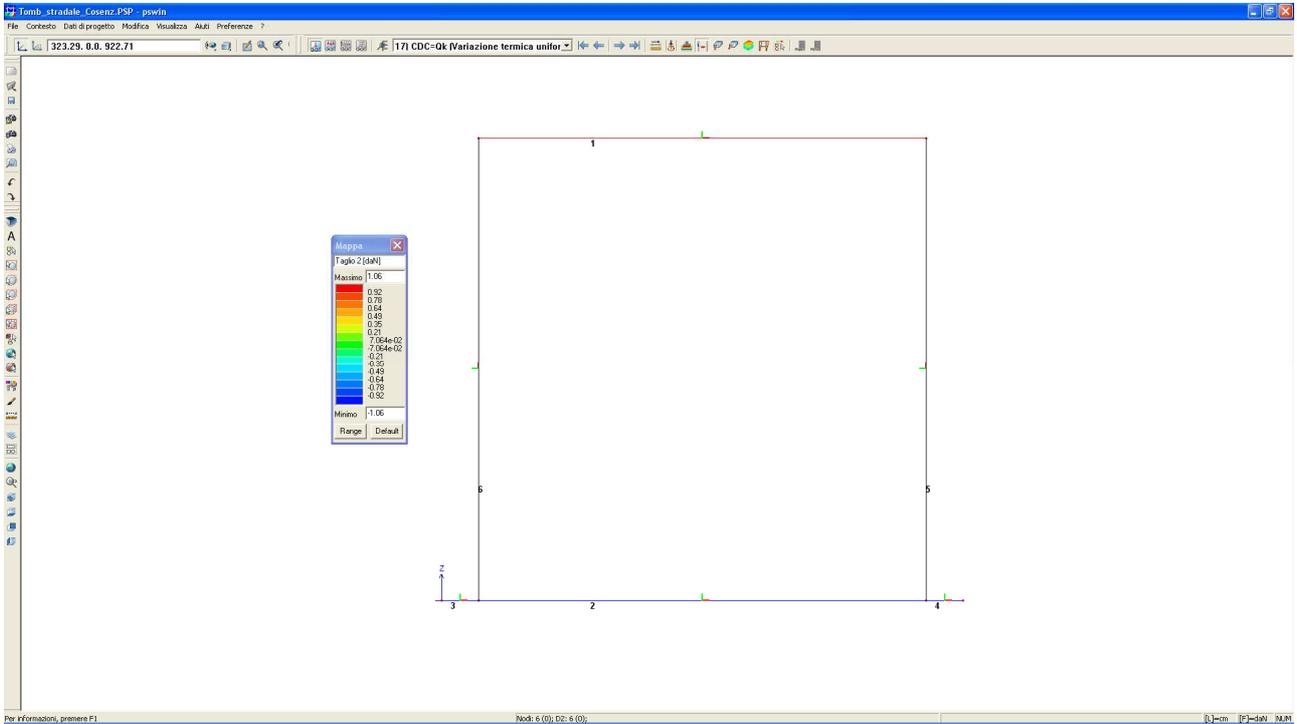




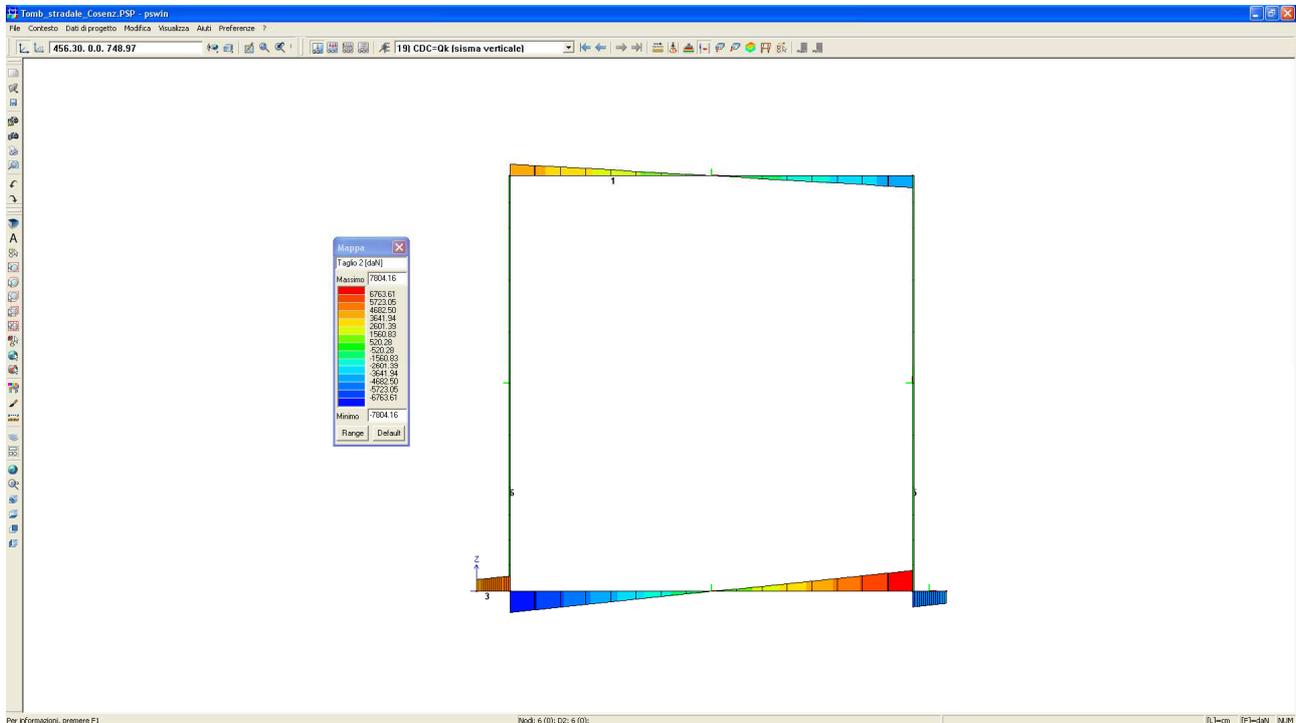








		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011



### 7.3.1 Combinazioni per gli S.L.U. e S.L.S.

Le condizioni elementari di carico considerate sono di seguito riassunte:

CDC	Tipo	Descrizione
1a	Gk	Peso proprio della struttura
1b	Gk	Carichi permanenti portati
2	Gk	Spinta delle terre in assenza di falda (spinta a riposo)
3	Gk	Spinta delle terre in assenza di falda (spinta attiva)
4	Gk	Spinta delle terre in assenza di falda (spinta a riposo-attiva)
5	Qk	Spinta acqua interna allo scatolare (o pacchetto stradale)
6	Qk	Qik centrato
7	Qk	Qik a filo piedritto
8	Qk	Accidentale 20kN/m <sup>2</sup>
9	Qk	Spinta sovraccarico accidentale sul piedritto sinistro
10	Qk	Spinta sovraccarico accidentale sul piedritto destro

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

CD	Tipo	Descrizione
11	Qk	Spinta sovraccarico accidentale su ambo i piedritti
12	Qk	Frenatura sinistra
13	Qk	Frenatura destra
14	Qk	Variazione termica a farfalla (estradosso più caldo)
15	Qk	Variazione termica a farfalla (intradosso più caldo)
16	Qk	Variazione termica uniforme
17	Qk	Sisma orizzontale
18	Qk	Sisma verticale

Al fine di determinare le combinazioni come da norma (§3.2), si definisce la classificazione delle azioni e le combinazioni allo SLU e SLE.

Classificazione delle azioni agenti sulla struttura.

<b>a</b>	PERMANENTI + PORTATI
<b>b</b>	SPINTE
<b>c</b>	ACCIDENTALI VERTICALI SU OPERA
<b>d</b>	ACCIDENTALI VERT. SU TERRAPIENO
<b>e</b>	FRENATURA
<b>f</b>	FORZA CENTRIFUGA
<b>g</b>	VENTO
<b>h</b>	ACCIDENTALI SU SOLETTA INFERIORE
<b>i</b>	ACCIDENTALI DIVERSI
<b>j</b>	AZIONI SISMICHE ORIZZONTALI
<b>k</b>	AZIONI SISMICHE VERTICALI
<b>l</b>	VARIAZIONI TERMICHE/ RITIRO: (num. variabile; viene considerata solo la peggiore col suo segno più gravoso)

Le precedenti combinazioni elementari di calcolo (CMB) sono combinate tra loro in modo da generare le massime sollecitazioni per lo SLU e SLE (combinazione 1 (A1+M1+R1)), come da seguente prospetto.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>	<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0

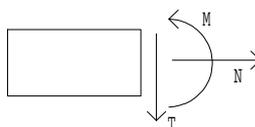
stradali		PERMANENTI PORTATI+BALLAST CON COEFF. 1.5:	SPINTE	ACCIDENTALI VERTICALI SU OPERA:	ACCIDENTALI VERT. SU TERRAPIENO:	FRENATURA:	FORZA CENTRIFUGA:	VENTO:	ACCIDENTALI SU SOLETTA INFERIORE:	ACCIDENTALI DIVERSI:	AZIONI SISMICHE ORIZZONTALI	AZIONI SISMICHE VERTICALI	VARIAZIONI TERMICHE/RITIRO	RITIRO
		a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	l
gruppo 1	SLU.1	1 - 1.35	1 - 1.35	0.000	0.000	0.000	0.000	0.900	0.000	0.000	0.000	0.000	1.200	0 - 1.20
	SLU.2	1 - 1.35	1 - 1.35	1.350	1.350	0.000	0.000	1.500	1.125	1.125	0.000	0.000	0.720	0 - 1.20
	SLU.3	1 - 1.35	1 - 1.35	1.013	1.013	0.000	0.000	0.900	1.013	1.500	0.000	0.000	0.720	0 - 1.20
gruppo 2a	SLU.4	1 - 1.35	1 - 1.35	1.013	1.013	1.350	0.000	0.900	1.125	1.125	0.000	0.000	0.720	0 - 1.20
gruppo 2b	SLU.5	1 - 1.35	1 - 1.35	1.013	1.013	0.000	1.350	0.900	1.125	1.125	0.000	0.000	0.720	0 - 1.20
sisma	SISMA	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	0.000	0 - 1.00
SLE	FR1	1.000	1.000	0.750	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.600	0 - 1.00
	FR2	1.000	1.000	0.750	0.750	0.750	0.750	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.600	0 - 1.00
	QP	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.500	0 - 1.00
	RAR	1.000	1.000	1.000	1.000	0.750	0.750	0.600	0.750	0.000	0.000	0.000	0.600	0 - 1.00

I valori numerici riportati nelle colonne della tabella precedente indicano il coefficiente moltiplicativo con il quale la Combinazione Elementare è considerata. Tali valori sono il risultato dei prodotti tra coefficienti parziali operanti sulle azioni, così come precedentemente esposto e riassunto nella seguente tabella:

stradali		PERMANENTI PORTATI+BALLAST CON COEFF. 1.5:	SPINTE	ACCIDENTALI VERTICALI SU OPERA:	ACCIDENTALI VERT. SU TERRAPIENO:	FRENATURA:	FORZA CENTRIFUGA:	VENTO:	ACCIDENTALI SU SOLETTA INFERIORE:	ACCIDENTALI DIVERSI:	AZIONI SISMICHE ORIZZONTALI	AZIONI SISMICHE VERTICALI	VARIAZIONI TERMICHE	RITIRO
		a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	l
gruppo 1	SLU.1	1 - 1.35	1 - 1.35	0.000	0.000	0.000	0.000	1.5*0.6	0.000	0.000	0.000	0.000	1.200	0 - 1.20
	SLU.2	1 - 1.35	1 - 1.35	1*1.35	1*1.35	0.000	0.000	1.500	1.5*0.75	1.5*0.75	0.000	0.000	1.2*0.6	0 - 1.20
	SLU.3	1 - 1.35	1 - 1.35	0.75*1.35	0.75*1.35	0.000	0.000	1.5*0.6	1.35*0.75	1.500	0.000	0.000	1.2*0.6	0 - 1.20
gruppo 2a	SLU.4	1 - 1.35	1 - 1.35	0.75*1.35	0.75*1.35	1.350	0.000	1.5*0.6	1.5*0.75	1.5*0.75	0.000	0.000	1.2*0.6	0 - 1.20
gruppo 2b	SLU.5	1 - 1.35	1 - 1.35	0.75*1.35	0.75*1.35	0.000	1.350	1.5*0.6	1.5*0.75	1.5*0.75	0.000	0.000	1.2*0.6	0 - 1.20
sisma	SISMA	1.000	1.000	0.2*0	0.2*0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.000	1.000	0.000	0 - 1.00
SLE	FR1	1.000	1.000	0.750	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.600	0 - 1.00
	FR2	1.000	1.000	0.750	0.750	0.750	0.750	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.600	0 - 1.00
	QP	1.000	1.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.500	0 - 1.00
	RAR	1.000	1.000	1.000	1.000	0.750	0.750	0.600	0.750	0.000	0.000	0.000	0.600	0 - 1.00

Per un esame più dettagliato dei risultati del calcolo elettronico si rimanda agli output allegati.

Le convenzioni adottate per le sollecitazioni di segno positivo sono le seguenti:



Nelle verifiche di seguito riportate le combinazioni di calcolo considerate sono le seguenti:

Cmb	Tipo	Sigla Id
-----	------	----------

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

Cmb	Tipo	Sigla Id
1	SLU	STR 1 (campata SS)
2	SLU	STR 2 (campata SS+attacco sup. piedritto)
3	SLU	STR 3 (campata SI + attacco inf. piedritto)
4	SLU	STR 4 (campata piedritto)
5	SLU	STR 5 (campata SI)
6	SLU	STR 6 (campata SS inferiore) Taglio
7	SLU	STR 7 (attacco SS_SI) Taglio
8	SLU	STR 8 (attacco SS) Taglio
9	SLU	STR 9 (attacco piedritto sup.) Taglio
10	SLU	STR 10 (attacco piedritto sup.) Taglio
11	SLU	STR 11 (attacco piedritto inf.) Taglio
12	SLU	STR 12 (campata piedritto) Taglio
13	SLE(f)	FR1 (campata SS)
14	SLE(f)	FR2 (attacco SS+attacco sup. piedritto)
15	SLE(f)	FR3 (attacco SI + attacco inf. piedritto)
16	SLE(f)	FR4 (campata piedritto)
17	SLE(f)	FR5 (campata SI)
18	SLE(r)	TA1 (campata SS)
19	SLE(r)	TA2 (attacco SS+attacco sup. piedritto)
20	SLE(r)	TA3 (attacco SI + attacco inf. piedritto)
21	SLE(r)	TA4 (campata piedritto)
22	SLE(r)	TA5 (campata SI)
23	SLE(p)	QP1 (campata SS)
24	SLE(p)	QP2 (attacco SS+attacco sup. piedritto)
25	SLE(p)	QP3 (attacco SI + attacco inf. piedritto)
26	SLE(p)	QP4 (campata piedritto)
27	SLE(p)	QP5 (campata SI)
28	SLU	SL SV (camp. sup. inf.)
29	SLU	SL SV SO (attacchi e tagli)
30	SLU	SL SO (camp. e piedritti)
31	SLU	GEO1
32	SLU	GEO2

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>	<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0

Cmb	Tipo	Sigla Id
33	SLU	GEO3

Cmb	CDC	CDC	CDC	CDC	CDC									
	1/15...	2/16...	3/17...	4/18...	5/19...	6/20...	7/21...	8/22...	9/23...	10/24...	11/25...	12/26...	13/27...	14/28...
1	1.35	1.35	0.0	1.00	0.0	1.13	1.35	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.72	0.0	0.0	0.0	0.0									
2	1.35	1.35	0.0	0.0	1.35	0.0	1.01	0.0	0.0	0.0	1.01	0.0	1.01	0.0
	0.0	0.72	0.0	0.0	0.0									
3	1.35	1.35	0.0	0.0	1.35	0.0	0.0	1.01	0.0	0.0	1.01	0.0	1.01	0.0
	0.72	0.0	0.0	0.0	0.0									
4	1.00	1.00	1.35	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.35	1.35	0.0	1.35	0.0
	0.72	0.0	0.0	0.0	0.0									
5	1.35	1.35	0.0	1.00	0.0	1.13	1.35	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.72	0.0	0.0	0.0									
6	1.00	1.00	0.0	0.0	1.35	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.01	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0									
7	1.35	1.35	0.0	0.0	1.35	0.0	1.35	0.0	0.0	0.0	1.35	0.0	1.35	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0									
8	1.35	1.35	0.0	0.0	1.35	0.0	1.01	0.0	0.0	0.0	1.01	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0									
9	1.00	1.00	1.35	0.0	0.0	0.0	1.01	0.0	0.0	1.01	1.01	0.0	1.35	0.0
	0.0	0.72	0.0	0.0	0.0									
10	1.00	1.00	1.35	0.0	0.0	0.0	1.35	0.0	0.0	1.35	1.35	0.0	1.35	0.0
	0.0	0.72	0.0	0.0	0.0									
11	1.35	1.35	0.0	0.0	1.35	0.0	0.0	0.80	0.0	0.0	1.01	0.0	0.0	0.0
	0.72	0.0	0.0	0.0	0.0									
12	1.00	1.00	0.0	0.0	1.35	0.0	0.0	0.0	0.80	0.0	1.01	0.0	0.75	0.0
	0.72	0.0	0.0	0.0	0.0									
13	1.00	1.00	0.0	1.00	0.0	0.0	0.75	0.0	0.0	0.80	0.0	0.0	0.75	0.0
	0.60	0.0	0.0	0.0	0.0									
14	1.00	1.00	0.0	0.0	1.00	0.0	0.75	0.0	0.0	0.0	0.75	0.0	0.0	0.0

RELAZIONE DI CALCOLO

*Codice documento*  
CS0482\_F0

*Rev*  
F0

*Data*  
20/06/2011

Cmb	CDC	CDC	CDC	CDC	CDC									
	1/15...	2/16...	3/17...	4/18...	5/19...	6/20...	7/21...	8/22...	9/23...	10/24...	11/25...	12/26...	13/27...	14/28...
	0.0	0.60	0.0	1.00	0.0									
15	1.00	1.00	0.0	0.0	1.00	0.0	0.0	0.75	0.0	0.0	0.75	0.0	0.0	0.0
	0.60	0.0	0.0	0.0	1.00									
16	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.75	0.75	0.0	0.0	0.0
	0.60	0.0	0.0	1.00	1.00									
17	1.00	1.00	0.0	1.00	0.0	0.0	0.75	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.75	0.0
	0.0	0.60	0.0	0.0	0.0									
18	1.00	1.00	0.0	1.00	0.0	0.75	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.75	0.0
	0.60	0.0	0.0	0.0	0.0									
19	1.00	1.00	0.0	0.0	1.00	0.0	1.00	0.0	0.0	0.0	1.00	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.60	0.0	0.0	0.0									
20	1.00	1.00	0.0	0.0	1.00	0.0	0.0	1.00	0.0	0.0	1.00	0.0	0.0	0.0
	0.60	0.0	0.0	0.0	0.0									
21	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.00	1.00	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0									
22	1.00	1.00	0.0	1.00	0.0	0.75	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.50	0.60	0.0	0.0	0.0									
23	1.00	1.00	0.0	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0									
24	1.00	1.00	0.0	0.0	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.50	0.50	0.0	0.0	0.0									
25	1.00	1.00	0.0	0.0	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.50	0.0	0.0	0.0	0.0									
26	1.00	1.00	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0									
27	1.00	1.00	0.0	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.50	0.0	0.0	0.0									
28	1.00	1.00	0.0	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	1.00									
29	1.00	1.00	0.0	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	1.00	1.00									

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>	<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0

Cmb	CDC	CDC	CDC	CDC	CDC	CDC	CDC	CDC	CDC	CDC	CDC	CDC	CDC	CDC
	1/15...	2/16...	3/17...	4/18...	5/19...	6/20...	7/21...	8/22...	9/23...	10/24...	11/25...	12/26...	13/27...	14/28...
30	1.00	1.00	0.0	1.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	1.00	0.0									
31	1.00	1.00	0.0	0.0	1.00	0.97	0.0	0.0	0.0	0.0	1.15	0.0	0.0	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0									
32	1.00	1.00	0.0	0.0	1.00	0.97	0.0	0.0	0.0	0.0	0.86	0.0	1.15	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0									
33	1.00	1.00	0.0	0.0	1.00	1.30	0.0	0.0	0.0	0.0	0.86	0.0	0.86	0.0
	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0									
	CDC da 1 a 14													
	CDC da 15 a 19													

La prima tabella delle combinazioni sopra riportata comprende le seguenti informazioni: Numero, Tipo, Sigla identificativa. Una seconda tabella riporta il peso nella combinazione, assunto per ogni caso di carico.

## 7.4 VERIFICA DELLE SEZIONI

Sono state condotte le verifiche a pressoflessione e al taglio in ottemperanza a quanto previsto dal D.M. 14-01-2008 capitolo 4.1.2.

Nelle tabelle che seguono sono indicate le sollecitazioni massime agenti tra tutte le combinazioni di carico analizzate. Per facilitare la lettura si riporta di seguito la corrispondenza tra "il tipo" di elemento finito e l'elemento strutturale, si riporta la legenda delle nomenclature ed il sistema di riferimento locale.

Gli elementi vengono suddivisi, in relazione alle proprietà in elementi:

- tipo **pilastro**                      **PIEDRITTI**
- tipo **trave in elevazione**      **SOLETTA SUPERIORE**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- tipo trave in fondazione **SOLETTA INFERIORE**

Per ogni elemento, e per ogni combinazione (o caso di carico) vengono riportati i risultati più significativi.

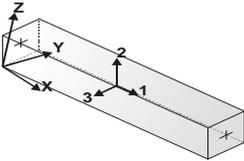
Per gli elementi tipo *pilastro* sono riportati in tabella i seguenti valori:

<b>Pilas.</b>	numero dell'elemento pilastro
<b>Cmb</b>	combinazione in cui si verificano i valori riportati
<b>M3 mx/mn</b>	momento flettente in campata M3 max (prima riga) / min (seconda riga)
<b>M2 mx/mn</b>	momento flettente in campata M2 max (prima riga) / min (seconda riga)
<b>D2/D3</b>	freccia massima in direzione 2 (prima riga) / direzione 3 (seconda riga)
<b>Q2/Q3</b>	carico totale in direzione 2 (prima riga) / direzione 3 (seconda riga)
<b>Pos.</b>	ascissa del punto iniziale e finale dell'elemento
<b>N, V2, ecc..</b>	sei componenti di sollecitazione al piede ed in sommità dell'elemento

Per gli elementi tipo *trave in elevazione* sono riportati, oltre al numero dell'elemento, i medesimi risultati visti per i pilastri.

Per gli elementi tipo *trave in fondazione* (trave f.) sono riportati, oltre al numero dell'elemento, i medesimi risultati visti per i pilastri e la massima pressione sul terreno.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

 <p>orientamento elementi 2D non verticali</p>	 <p>orientamento elementi 2D verticali</p>
---	---

Pilas.	M3 mx/mn	M2 mx/mn	D 2 / D 3	Q 2 / Q 3	N	V 2	V 3	T
	-2.894e+07	0.0	-49.05	-1.588e+05	-9.963e+04	-4.931e+04	0.0	0.0
	2.177e+07	0.0	2.19	8.449e+04	6748.51	1.222e+05	0.0	0.0
Trave	M3 mx/mn	M2 mx/mn	D 2 / D 3	Q 2 / Q 3	N	V 2	V 3	T
	-2.177e+07	0.0	-45.96	-1.215e+05	-5.523e+04	-7.166e+04	0.0	0.0
	1.059e+07	0.0	0.0	0.0	-6401.06	6.075e+04	0.0	0.0
Trave f.	M3 mx/mn	M2 mx/mn	D 2 / D 3	Pt	N	V 2	V 3	T
	-1.629e+07	0.0	-5.93	-5.31	-5.809e+04	-1.585e+05	0.0	0.0
	2.939e+07	0.0	45.94	2.38	4864.45	8.332e+04	0.0	0.0

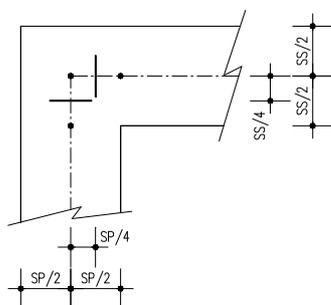
### 7.4.1 Verifica a pressoflessione

Le verifiche a flessione sono effettuate rispettivamente:

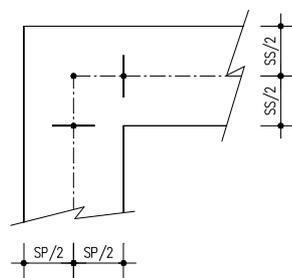
- nella sezione ubicata a metà fra asse piedritto e sezione d'attacco piedritto-soletta nel caso delle verifiche della soletta;
- nella sezione ubicata a metà fra asse soletta e sezione d'attacco del piedritto nel caso delle verifiche del piedritto.

Le verifiche a fessurazione ed a taglio sono eseguite nelle sezioni di attacco soletta-piedritto.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011



VERIFICHE A FLESSIONE



VERIFICHE A FESSURAZIONE E TAGLIO

F8.

*F9. Sezioni di riferimento per le verifiche*

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  $\sigma_{ct}$ , 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 nell'EC2, come richiesto dal D. M. Min. II. TT. del 14 gennaio 2008, e valutata con le sollecitazioni relative alle Combinazioni FR o QP della normativa vigente sui ponti stradali<sup>4</sup>. 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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Quasi Permanente e Rara, verificando rispettivamente che le tensioni di lavoro siano inferiori ai seguenti limiti:

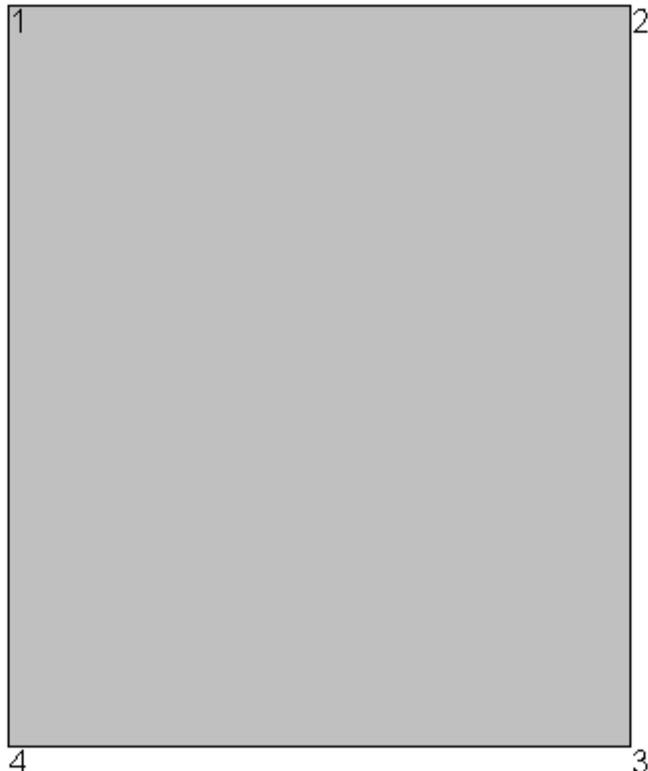
- per la condizione QP si verifica che le massime tensioni presenti nel calcestruzzo siano inferiori a  $\sigma_c < 0.45 f_{ck}$ ;
- per la condizione rara si verifica che le massime tensioni presenti nel calcestruzzo siano inferiori a  $\sigma_c < 0.60 f_{ck}$ , mentre quelle dell'acciaio  $\sigma_s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

A favore di sicurezza si trascura il contributo dello sforzo normale nelle verifiche delle sezioni di mezzeria delle solette orizzontali.

#### 7.4.1.1 Soletta superiore

Attacco piedritto:

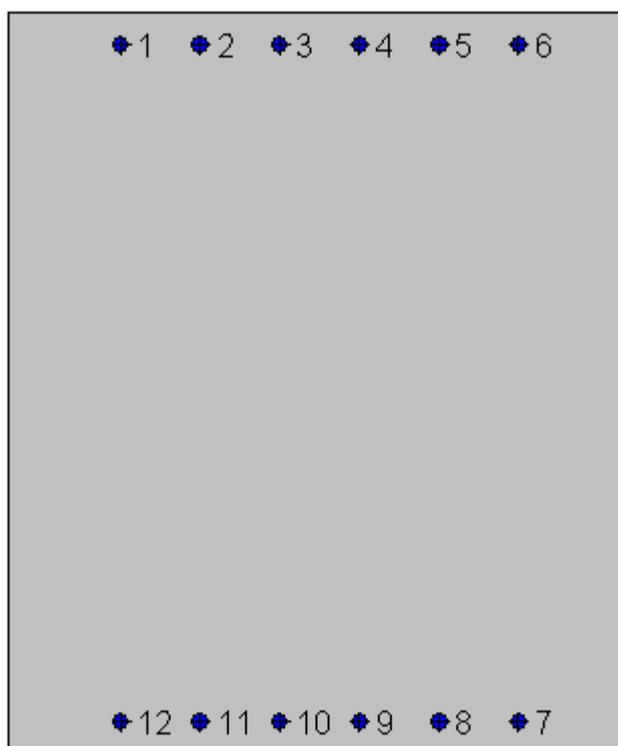
[2SI s.r.l - ProVLIM - Verifica sezioni](#)



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <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						

**Geometria della sezione:**

Vert.	X	Y
n.	cm	cm
1	0,0	120,0
2	100,0	120,0
3	100,0	0,0
4	0,0	0,0



**Armature:**

Pos.	X	Y	Area	Pretens.
n.	cm	cm	cmq	(s/n)
1	18,0	114,8	4,5	no
2	30,8	114,8	4,5	no
3	43,6	114,8	4,5	no

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

4	56,4	114,8	4,5	no
5	69,2	114,8	4,5	no
6	82,0	114,8	4,5	no
7	82,0	5,2	4,5	no
8	69,2	5,2	4,5	no
9	56,4	5,2	4,5	no
10	43,6	5,2	4,5	no
11	30,8	5,2	4,5	no
12	18,0	5,2	4,5	no

**Normativa di riferimento:**

D.M. 14/01/2008 - 'Norme tecniche per le costruzioni'

**Note:**

Verifiche SLE per ambiente ordinario

**Materiali:**

**Calcestruzzo classe: C32/40**

Rck (resistenza caratteristica cubica a compressione) = 400 daN/cm<sup>2</sup>

fck (resistenza caratteristica cilindrica a compressione) = 332 daN/cm<sup>2</sup>

fctm (resistenza a trazione media) = 31 daN/cm<sup>2</sup>

G (modulo di elasticità tangenziale) = 150192 daN/cm<sup>2</sup>

E (modulo elastico istantaneo iniziale) = 336430 daN/cm<sup>2</sup>

C. Poisson (coefficiente di contrazione trasversale) = 0.12

Coefficiente di dilatazione termica = 0.000050

Peso specifico del calcestruzzo armato = 2500 daN/mc

**Barre d'acciaio ad aderenza migliorata tipo: FeB 44k**

f<sub>yk</sub> (tensione caratteristica di snervamento) = 4300 daN/cm<sup>2</sup>

f<sub>kt</sub> (tensione caratteristica di rottura) = 5400 daN/cm<sup>2</sup>

ε<sub>uk</sub> (deformazione di rottura) = 0.120

G (modulo di elasticità tangenziale) = 793100 daN/cm<sup>2</sup>

E (modulo elastico) = 2060000 daN/cm<sup>2</sup>

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

C. Poisson (coefficiente di contrazione trasversale) = 0.30

Coefficiente di dilatazione termica = 0.000012

Peso specifico = 7850 daN/mc

**Verifiche stato limite ultimo:**

Per ogni combinazione di carico saranno svolte le verifiche:

Verifica per Mxu, Myu e Nu proporzionali (sigla verifica: P)

e in caso di verifica proporzionale positiva:

Verifica con rapporto Mxu, Myu assegnato (sigla verifica: M)

Verifica con Nu costante (sigla verifica: N)

Cmb.	N	Mx	My	Tipo	Nu	Mxu	Myu	Sd/Su	Verif.
	kN	kN m	kN m		kN	kN m	kN m		
1	124,47	-352,2300	0,0000	P	491,54	-1390,9890	0,0000	0,250	OK
				M	23855,76	-351,2443	0,0000	0,000	
				N	124,47	-1193,0570	0,0000	0,290	
2	174,79	27,3900	0,0000	P	18113,81	2838,4770	0,0000	0,010	OK
				M	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
				N	174,81	1220,3760	0,0000	0,020	
3	217,76	-288,5000	0,0000	P	1415,78	-1875,7040	0,0000	0,150	OK
				M	23993,54	-287,7351	0,0000	0,010	
				N	217,76	-1243,6460	0,0000	0,230	
4	320,75	-370,4400	0,0000	P	1788,18	-2065,2050	0,0000	0,180	OK
				M	23816,11	-369,4548	0,0000	0,010	
				N	320,75	-1299,2700	0,0000	0,280	
5	80,51	-9,4400	0,0000	P	19520,18	-2288,7900	0,0000	0,000	OK
				M	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
				N	80,51	-1169,1460	0,0000	0,010	
6	227,21	-238,5900	0,0000	P	2128,68	-2235,3000	0,0000	0,110	OK
				M	24101,11	-237,8678	0,0000	0,010	
				N	227,21	-1248,7600	0,0000	0,190	
7	200,65	-160,7300	0,0000	P	3669,68	-2939,5820	0,0000	0,050	OK

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>				
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>				<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

				M	24267,73	-159,9714	0,0000	0,010	
				N	200,65	-1234,3820	0,0000	0,130	
8	221,86	-266,7700	0,0000	P	1666,26	-2003,5480	0,0000	0,130	OK
				M	24040,45	-266,0213	0,0000	0,010	
				N	221,86	-1245,8650	0,0000	0,210	
9	256,29	-40,3100	0,0000	P	18093,40	-2845,7810	0,0000	0,010	OK
				M	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
				N	256,29	-1264,4840	0,0000	0,030	
10	280,09	-69,0000	0,0000	P	15135,78	-3728,6890	0,0000	0,020	OK
				M	24460,41	-68,3415	0,0000	0,010	
				N	280,09	-1277,3380	0,0000	0,050	
11	242,54	-410,4200	0,0000	P	972,56	-1645,7400	0,0000	0,250	OK
				M	23728,85	-409,4513	0,0000	0,010	
				N	242,54	-1257,0510	0,0000	0,330	
12	231,44	-329,7500	0,0000	P	1260,21	-1795,5220	0,0000	0,180	OK
				M	23904,60	-328,7690	0,0000	0,010	
				N	231,44	-1251,0480	0,0000	0,260	
28	97,76	-131,4100	0,0000	P	1382,78	-1858,7410	0,0000	0,070	OK
				M	24329,70	-130,7281	0,0000	0,000	
				N	97,76	-1178,5340	0,0000	0,110	
29	245,99	914,7300	0,0000	P	354,25	1317,3130	0,0000	0,690	OK
				M	22614,56	913,6460	0,0000	0,010	
				N	245,99	1258,9160	0,0000	0,730	
30	249,91	913,5000	0,0000	P	361,44	1321,1810	0,0000	0,690	OK
				M	22617,30	912,4154	0,0000	0,010	
				N	249,91	1261,0350	0,0000	0,720	
31	180,66	-239,2300	0,0000	P	1416,92	-1876,2900	0,0000	0,130	OK
				M	24099,73	-238,5071	0,0000	0,010	
				N	180,66	-1223,5590	0,0000	0,190	
32	142,30	-58,8300	0,0000	P	10653,92	-4404,5670	0,0000	0,010	OK
				M	24481,48	-58,1692	0,0000	0,010	
				N	142,31	-1202,7430	0,0000	0,050	
33	151,06	-96,8900	0,0000	P	5668,71	-3635,9140	0,0000	0,030	OK

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

M	24402,37	-96,1834	0,0000	0,010
N	151,07	-1207,5000	0,0000	0,080

Riepilogo combinazioni maggiormente gravose:

Cmb.	N	Mx	My	Tipo	Nu	Mxu	Myu	Sd/Su	Verif.
	kN	kN m	kN m		kN	kN m	kN m		
29	245,99	914,7300	0,0000	P	354,25	1317,3130	0,0000	0,690	OK
3	217,76	-288,5000	0,0000	M	23993,54	-287,7351	0,0000	0,010	OK
29	245,99	914,7300	0,0000	N	245,99	1258,9160	0,0000	0,730	OK

#### Verifiche stato limite di esercizio per c. c. rare:

Valori limite:

CLS:  $\sigma_{cL} = 19,92$  kN/m (verifica Ok per  $\sigma_c/\sigma_{cL} < 1$ )

Acciaio:  $\sigma_{aL} = 344,00$  kN/m (verifica Ok per  $\sigma_a/\sigma_{aL} < 1$ )

Cmb	Mx	My	N	$\sigma_c$	$\sigma_c/\sigma_{cL}$	$\sigma_a$	$\sigma_a/\sigma_{aL}$
n. e stato	kN m	kN m	kN	kN/mq		kN/mq	
18 OK	-221,3200	0,0000	107,36	-1,42	0,07	58,30	0,17
19 OK	-97,7700	0,0000	155,15	-0,62	0,03	11,00	0,03
20 OK	-356,7900	0,0000	190,80	-2,29	0,12	91,18	0,27
21 OK	-266,9300	0,0000	240,35	-1,73	0,09	53,43	0,16
22 OK	-145,8400	0,0000	104,62	-0,94	0,05	33,15	0,10

#### Verifiche stato limite di esercizio per c. c. frequenti:

Valori limite:

Fessure:  $W_{kL} = 0,40$  mm (verifica Ok per  $W_k/W_{kL} < 1$ )

Cmb	Mx	My	N	Wk	Wk/WkL
n. e stato	kN m	kN m	kN	mm	
13 OK	-138,1900	0,0000	130,23	0.00	0,00

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

14	OK	991,0400	0,0000	294,32	0.35	0,88
15	OK	-319,5400	0,0000	178,07	0.00	0,00
16	OK	651,0300	0,0000	386,09	0.00	0,00
17	OK	78,3800	0,0000	66,57	0.00	0,00

**Verifiche stato limite di esercizio per c. c. quasi permanenti:**

Valori limite:

CLS:  $\sigma_{cL} = 14,94$  kN/m (verifica Ok per  $\sigma_c/\sigma_{cL} < 1$ )

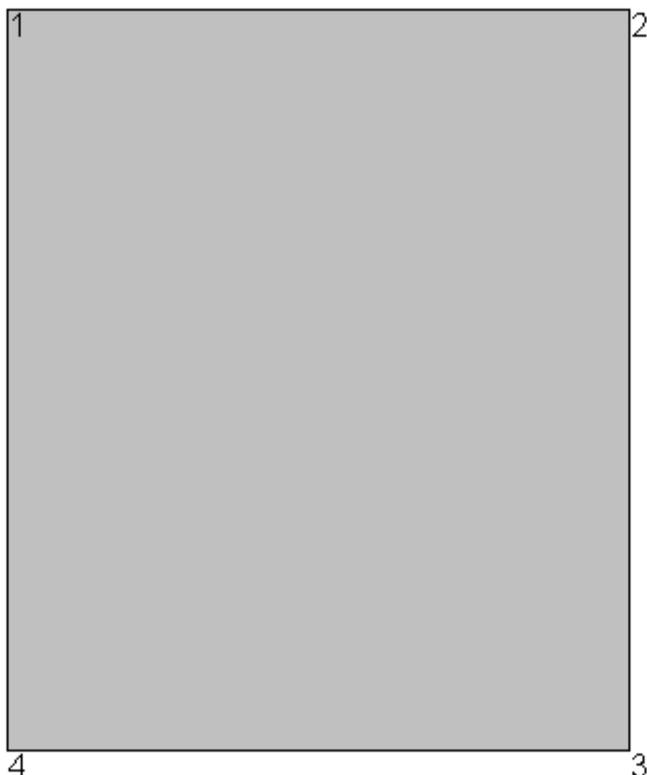
Fessure:  $W_{kL} = 0,30$  mm (verifica Ok per  $W_k/W_{kL} < 1$ )

	<b>Cmb</b>	<b>Mx</b>	<b>My</b>	<b>N</b>	<b><math>\sigma_c</math></b>	<b><math>\sigma_c/\sigma_{cL}</math></b>	<b>Wk</b>	<b>Wk/WkL</b>
n. e stato		kN m	kN m	kN	kN/mq		mm	
23	OK	-132,6400	0,0000	101,68	-0,86	0,06	0.00	0,00
24	OK	-69,8800	0,0000	137,24	-0,43	0,03	0.00	0,00
25	OK	-188,9000	0,0000	152,50	-1,22	0,08	0.00	0,00
26	OK	-213,2100	0,0000	172,80	-1,38	0,09	0.00	0,00
27	OK	-13,6100	0,0000	86,42	-0,12	0,01	0.00	0,00

Mezzeria:

**[2SI s.r.l - ProVLIM - Verifica sezioni](#)**

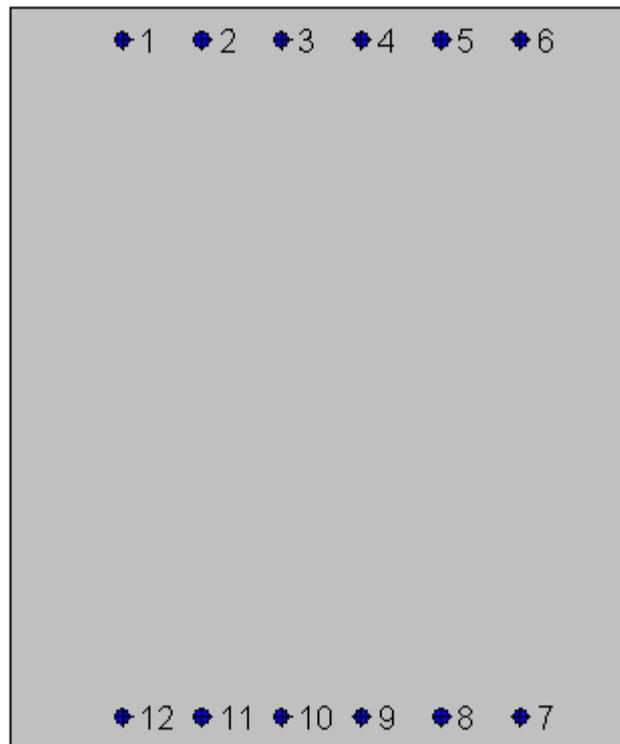
		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;"><i>Rev</i></td> <td style="text-align: center;"><i>Data</i></td> </tr> <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						



**Geometria della sezione:**

Vert.	X	Y
n.	cm	cm
1	0,0	120,0
2	100,0	120,0
3	100,0	0,0
4	0,0	0,0

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						



**Armature:**

Pos.	X	Y	Area	Pretens.
n.	cm	cm	cmq	(s/n)
1	18,0	114,8	4,5	no
2	30,8	114,8	4,5	no
3	43,6	114,8	4,5	no
4	56,4	114,8	4,5	no
5	69,2	114,8	4,5	no
6	82,0	114,8	4,5	no
7	82,0	5,2	4,5	no
8	69,2	5,2	4,5	no
9	56,4	5,2	4,5	no
10	43,6	5,2	4,5	no
11	30,8	5,2	4,5	no
12	18,0	5,2	4,5	no

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

**Normativa di riferimento:**

D.M. 14/01/2008 - 'Norme tecniche per le costruzioni'

**Note:**

Verifiche SLE per ambiente ordinario

**Materiali:**

**Calcestruzzo classe: C32/40**

Rck (resistenza caratteristica cubica a compressione) = 400 daN/cm<sup>2</sup>

fck (resistenza caratteristica cilindrica a compressione) = 332 daN/cm<sup>2</sup>

fctm (resistenza a trazione media) = 31 daN/cm<sup>2</sup>

G (modulo di elasticità tangenziale) = 150192 daN/cm<sup>2</sup>

E (modulo elastico istantaneo iniziale) = 336430 daN/cm<sup>2</sup>

C. Poisson (coefficiente di contrazione trasversale) = 0.12

Coefficiente di dilatazione termica = 0.000050

Peso specifico del calcestruzzo armato = 2500 daN/mc

**Barre d'acciaio ad aderenza migliorata tipo: FeB 44k**

fyk (tensione caratteristica di snervamento) = 4300 daN/cm<sup>2</sup>

fkt (tensione caratteristica di rottura) = 5400 daN/cm<sup>2</sup>

εuk (deformazione di rottura) = 0.120

G (modulo di elasticità tangenziale) = 793100 daN/cm<sup>2</sup>

E (modulo elastico) = 2060000 daN/cm<sup>2</sup>

C. Poisson (coefficiente di contrazione trasversale) = 0.30

Coefficiente di dilatazione termica = 0.000012

Peso specifico = 7850 daN/mc

**Verifiche stato limite ultimo:**

Per ogni combinazione di carico saranno svolte le verifiche:

Verifica per Mxu, Myu e Nu proporzionali (sigla verifica: P)

e in caso di verifica proporzionale positiva:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Verifica con rapporto Mxu, Myu assegnato (sigla verifica: M)

Verifica con Nu costante (sigla verifica: N)

Cmb.	N	Mx	My	Tipo	Nu	Mxu	Myu	Sd/Su	Verif.
	kN	kN m	kN m		kN	kN m	kN m		
1	124,47	715,8900	0,0000	P	216,07	1242,7310	0,0000	0,580	OK
				M	23056,19	714,9120	0,0000	0,000	
				N	124,47	1193,0570	0,0000	0,600	
2	199,88	825,8700	0,0000	P	313,51	1295,3670	0,0000	0,640	OK
				M	22812,33	824,7819	0,0000	0,010	
				N	199,88	1233,9650	0,0000	0,670	
3	242,85	350,4100	0,0000	P	1235,52	1782,7410	0,0000	0,200	OK
				M	23859,71	349,4245	0,0000	0,010	
				N	242,85	1257,2190	0,0000	0,280	
4	354,28	-102,5200	0,0000	P	13859,51	-4010,6060	0,0000	0,030	OK
				M	24390,32	-101,9311	0,0000	0,010	
				N	354,28	-1317,3280	0,0000	0,080	
5	80,51	1058,6800	0,0000	P	89,27	1173,9170	0,0000	0,900	OK
				M	22293,76	1057,4070	0,0000	0,000	
				N	80,51	1169,1460	0,0000	0,900	
6	227,21	168,6600	0,0000	P	4282,35	3178,8230	0,0000	0,050	OK
				M	24250,90	167,8829	0,0000	0,010	
				N	227,21	1248,7600	0,0000	0,130	
7	234,18	757,0600	0,0000	P	418,10	1351,6270	0,0000	0,560	OK
				M	22965,03	756,0247	0,0000	0,010	
				N	234,18	1252,5300	0,0000	0,600	
8	221,86	654,4800	0,0000	P	467,09	1377,8960	0,0000	0,470	OK
				M	23192,25	653,4461	0,0000	0,010	
				N	221,86	1245,8650	0,0000	0,520	
9	289,83	590,4000	0,0000	P	750,49	1528,7860	0,0000	0,390	OK
				M	23333,95	589,2810	0,0000	0,010	
				N	289,83	1282,5950	0,0000	0,460	
10	313,63	683,8400	0,0000	P	685,31	1494,2430	0,0000	0,460	OK

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>				
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>				<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

				M	23127,53	682,7029	0,0000	0,010	
				N	313,63	1295,4320	0,0000	0,530	
11	242,54	309,0000	0,0000	P	1510,28	1924,1190	0,0000	0,160	OK
				M	23949,18	308,2233	0,0000	0,010	
				N	242,54	1257,0510	0,0000	0,250	
12	250,07	114,3500	0,0000	P	9508,80	4348,1090	0,0000	0,030	OK
				M	24365,55	113,7206	0,0000	0,010	
				N	250,07	1261,1220	0,0000	0,090	
28	97,76	378,3500	0,0000	P	338,13	1308,6340	0,0000	0,290	OK
				M	23798,87	377,3665	0,0000	0,000	
				N	97,76	1178,5340	0,0000	0,320	
29	323,75	171,7500	0,0000	P	7779,62	4127,1050	0,0000	0,040	OK
				M	24244,34	170,9660	0,0000	0,010	
				N	323,75	1300,8870	0,0000	0,130	
30	327,67	92,7600	0,0000	P	14038,84	3974,2520	0,0000	0,020	OK
				M	24410,96	92,0760	0,0000	0,010	
				N	327,67	1302,9990	0,0000	0,070	
31	180,66	219,9400	0,0000	P	1631,04	1985,6690	0,0000	0,110	OK
				M	24141,50	219,0650	0,0000	0,010	
				N	180,66	1223,5590	0,0000	0,180	
32	170,86	227,7300	0,0000	P	1401,97	1868,6080	0,0000	0,120	OK
				M	24124,80	226,8429	0,0000	0,010	
				N	170,87	1218,2440	0,0000	0,190	
33	172,42	224,9200	0,0000	P	1452,21	1894,3950	0,0000	0,120	OK
				M	24130,83	224,0372	0,0000	0,010	
				N	172,43	1219,0910	0,0000	0,180	

Riepilogo combinazioni maggiormente gravose:

Cmb.	N	Mx	My	Tipo	Nu	Mxu	Myu	Sd/Su	Verif.
	kN	kN m	kN m		kN	kN m	kN m		
5	80,51	1058,6800	0,0000	P	89,27	1173,9170	0,0000	0,900	OK
2	199,88	825,8700	0,0000	M	22812,33	824,7819	0,0000	0,010	OK
5	80,51	1058,6800	0,0000	N	80,51	1169,1460	0,0000	0,900	OK

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

**Verifiche stato limite di esercizio per c. c. rare:**

Valori limite:

CLS:  $\sigma_{cL} = 19,92 \text{ kN/m}$  (verifica Ok per  $\sigma_c/\sigma_{cL} < 1$ )

Acciaio:  $\sigma_{aL} = 344,00 \text{ kN/m}$  (verifica Ok per  $\sigma_a/\sigma_{aL} < 1$ )

	<b>Cmb</b>	<b>Mx</b>	<b>My</b>	<b>N</b>	<b><math>\sigma_c</math></b>	<b><math>\sigma_c/\sigma_{cL}</math></b>	<b><math>\sigma_a</math></b>	<b><math>\sigma_a/\sigma_{aL}</math></b>
n. e stato		kN m	kN m	kN	kN/mq		kN/mq	
18 OK		478,7200	0,0000	125,99	-3,02	0,15	143,27	0,42
19 OK		703,6100	0,0000	155,15	-4,41	0,22	215,52	0,63
20 OK		286,6000	0,0000	190,80	-1,85	0,09	67,41	0,20
21 OK		165,0700	0,0000	240,35	-1,05	0,05	20,98	0,06
22 OK		645,3600	0,0000	104,62	-4,02	0,20	203,92	0,59

**Verifiche stato limite di esercizio per c. c. frequenti:**

Valori limite:

Fessure:  $W_{kL} = 0,40 \text{ mm}$  (verifica Ok per  $W_k/W_{kL} < 1$ )

	<b>Cmb</b>	<b>Mx</b>	<b>My</b>	<b>N</b>	<b>Wk</b>	<b>Wk/WkL</b>
n. e stato		kN m	kN m	kN	mm	
13 OK		381,4700	0,0000	148,86	0.00	0,00
14 OK		421,5800	0,0000	372,08	0.00	0,00
15 OK		323,0000	0,0000	178,07	0.00	0,00
16 OK		-91,9500	0,0000	463,85	0.00	0,00
17 OK		688,6200	0,0000	85,20	0.24	0,61

**Verifiche stato limite di esercizio per c. c. quasi permanenti:**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Valori limite:

CLS:  $\sigma_{cL} = 14,94 \text{ kN/m}$  (verifica Ok per  $\sigma_c/\sigma_{cL} < 1$ )

Fessure:  $W_{kL} = 0,30 \text{ mm}$  (verifica Ok per  $W_k/W_{kL} < 1$ )

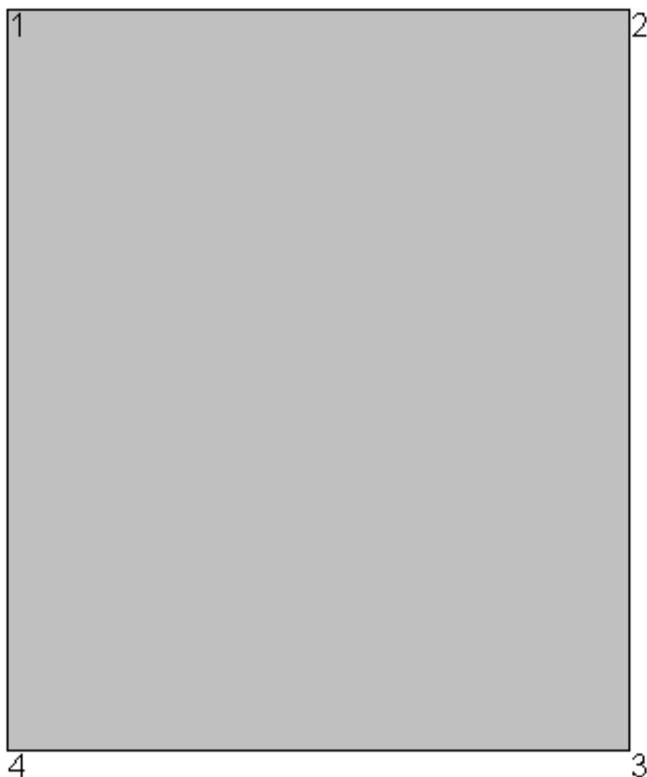
	<b>Cmb</b>	<b>Mx</b>	<b>My</b>	<b>N</b>	<b><math>\sigma_c</math></b>	<b><math>\sigma_c/\sigma_{cL}</math></b>	<b>Wk</b>	<b>Wk/WkL</b>
n. e stato		kN m	kN m	kN	kN/mq		mm	
23	OK	299,3600	0,0000	101,68	-1,90	0,13	0.00	0,00
24	OK	259,0800	0,0000	137,24	-1,66	0,11	0.00	0,00
25	OK	140,0500	0,0000	152,50	-0,91	0,06	0.00	0,00
26	OK	218,7900	0,0000	172,80	-1,42	0,09	0.00	0,00
27	OK	418,3900	0,0000	86,42	-2,62	0,18	0.00	0,00

#### 7.4.1.2 Soletta inferiore

Attacco piedritto:

[2SI s.r.l - ProVLIM - Verifica sezioni](#)

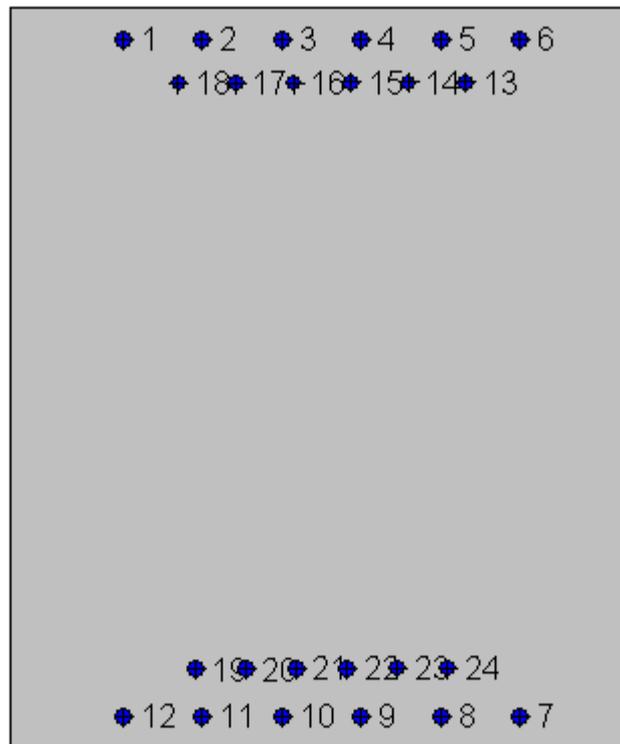
		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;"><i>Rev</i></td> <td style="text-align: center;"><i>Data</i></td> </tr> <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						



**Geometria della sezione:**

Vert.	X	Y
n.	cm	cm
1	0,0	120,0
2	100,0	120,0
3	100,0	0,0
4	0,0	0,0

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011



**Armature:**

Pos.	X	Y	Area	Pretens.
n.	cm	cm	cmq	(s/n)
1	18,1	114,7	5,3	no
2	30,8	114,7	5,3	no
3	43,6	114,7	5,3	no
4	56,4	114,7	5,3	no
5	69,2	114,7	5,3	no
6	81,9	114,7	5,3	no
7	81,9	5,3	5,3	no
8	69,2	5,3	5,3	no
9	56,4	5,3	5,3	no
10	43,6	5,3	5,3	no
11	30,8	5,3	5,3	no
12	18,1	5,3	5,3	no

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

13	73,2	107,9	4,5	no
14	63,9	107,9	4,5	no
15	54,7	107,9	4,5	no
16	45,5	107,8	4,5	no
17	36,3	107,8	4,5	no
18	27,0	107,8	4,5	no
19	29,8	13,0	4,5	no
20	37,9	13,0	4,5	no
21	46,0	13,0	4,5	no
22	54,1	13,0	4,5	no
23	62,2	13,0	4,5	no
24	70,3	13,1	4,5	no

**Normativa di riferimento:**

D.M. 14/01/2008 - 'Norme tecniche per le costruzioni'

**Note:**

Verifiche SLE per ambiente ordinario

**Materiali:**

**Calcestruzzo classe: C25/30**

Rck (resistenza caratteristica cubica a compressione) = 300 daN/cm<sup>2</sup>

fck (resistenza caratteristica cilindrica a compressione) = 249 daN/cm<sup>2</sup>

fctm (resistenza a trazione media) = 26 daN/cm<sup>2</sup>

G (modulo di elasticità tangenziale) = 140388 daN/cm<sup>2</sup>

E (modulo elastico istantaneo iniziale) = 314470 daN/cm<sup>2</sup>

C. Poisson (coefficiente di contrazione trasversale) = 0.12

Coefficiente di dilatazione termica = 0.000050

Peso specifico del calcestruzzo armato = 2500 daN/mc

**Barre d'acciaio ad aderenza migliorata tipo: FeB 44k**

fyk (tensione caratteristica di snervamento) = 4300 daN/cm<sup>2</sup>

fkt (tensione caratteristica di rottura) = 5400 daN/cm<sup>2</sup>

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$\epsilon_{uk}$  (deformazione di rottura) = 0.120

G (modulo di elasticità tangenziale) = 793100 daN/cm<sup>2</sup>

E (modulo elastico) = 2060000 daN/cm<sup>2</sup>

C. Poisson (coefficiente di contrazione trasversale) = 0.30

Coefficiente di dilatazione termica = 0.000012

Peso specifico = 7850 daN/mc

### **Verifiche stato limite ultimo:**

Per ogni combinazione di carico saranno svolte le verifiche:

Verifica per M<sub>xu</sub>, M<sub>yu</sub> e N<sub>u</sub> proporzionali (sigla verifica: P)

e in caso di verifica proporzionale positiva:

Verifica con rapporto M<sub>xu</sub>, M<sub>yu</sub> assegnato (sigla verifica: M)

Verifica con N<sub>u</sub> costante (sigla verifica: N)

<b>Cmb.</b>	<b>N</b>	<b>M<sub>x</sub></b>	<b>M<sub>y</sub></b>	<b>Tipo</b>	<b>N<sub>u</sub></b>	<b>M<sub>xu</sub></b>	<b>M<sub>yu</sub></b>	<b>Sd/Su</b>	<b>Verif.</b>
	kN	kN m	kN m		kN	kN m	kN m		
1	236,86	332,8400	0,0000	P	2505,90	3521,3320	0,0000	0,090	OK
				M	20669,11	332,4514	0,0000	0,010	
				N	236,86	2435,8910	0,0000	0,140	
2	424,28	762,9100	0,0000	P	1777,91	3196,9100	0,0000	0,240	OK
				M	19750,32	761,9689	0,0000	0,020	
				N	424,28	2530,6290	0,0000	0,300	
3	381,43	674,1900	0,0000	P	1820,16	3217,1990	0,0000	0,210	OK
				M	19941,58	673,3046	0,0000	0,020	
				N	381,43	2509,0190	0,0000	0,270	
4	489,24	639,3000	0,0000	P	2786,69	3641,4270	0,0000	0,180	OK
				M	20016,55	638,4618	0,0000	0,020	
				N	489,24	2563,3310	0,0000	0,250	
5	280,70	405,7900	0,0000	P	2405,82	3477,9390	0,0000	0,120	OK
				M	20514,87	405,3087	0,0000	0,010	
				N	280,70	2458,1020	0,0000	0,160	
6	397,02	515,7400	0,0000	P	2811,16	3651,7800	0,0000	0,140	OK

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>				
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>				<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

				M	20280,18	515,4858	0,0000	0,020		
				N	397,02	2516,8850	0,0000	0,200		
7	408,64	726,8600	0,0000	P	1804,47	3209,6680	0,0000	0,230	OK	
				M	19828,13	725,9313	0,0000	0,020		
				N	408,64	2522,7450	0,0000	0,290		
8	402,36	595,2100	0,0000	P	2328,17	3444,0540	0,0000	0,170	OK	
				M	20111,06	594,4594	0,0000	0,020		
				N	402,36	2519,5780	0,0000	0,240		
9	516,39	731,6300	0,0000	P	2476,37	3508,5620	0,0000	0,210	OK	
				M	19817,85	730,6990	0,0000	0,030		
				N	516,39	2576,9780	0,0000	0,280		
10	529,78	757,5600	0,0000	P	2443,73	3494,4130	0,0000	0,220	OK	
				M	19761,87	756,6199	0,0000	0,030		
				N	529,78	2583,7040	0,0000	0,290		
11	381,74	539,2000	0,0000	P	2487,33	3513,3060	0,0000	0,150	OK	
				M	20230,88	538,5426	0,0000	0,020		
				N	381,74	2509,1760	0,0000	0,210		
12	374,23	588,6700	0,0000	P	2135,47	3359,1360	0,0000	0,170	OK	
				M	20125,05	587,9359	0,0000	0,020		
				N	374,23	2505,3850	0,0000	0,230		
28	229,77	300,6400	0,0000	P	2781,28	3639,1360	0,0000	0,080	OK	
				M	20736,99	300,2546	0,0000	0,010		
				N	229,77	2432,2960	0,0000	0,120		
29	451,06	2445,3100	0,0000	P	471,15	2554,2330	0,0000	0,960	OK	
				M	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.		
				N	451,06	2544,1190	0,0000	0,960		
30	447,15	2422,0300	0,0000	P	471,60	2554,4580	0,0000	0,950	OK	
				M	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.		
				N	447,15	2542,1500	0,0000	0,950		
31	332,67	351,5000	0,0000	P	3806,41	4021,8650	0,0000	0,090	OK	
				M	20629,79	351,0644	0,0000	0,020		
				N	332,67	2484,3930	0,0000	0,140		
32	326,60	547,9600	0,0000	P	1953,76	3277,9560	0,0000	0,170	OK	

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

				M	20212,22	547,2563	0,0000	0,020	
				N	326,60	2481,3240	0,0000	0,220	
33	334,90	510,6000	0,0000	P	2230,93	3401,3500	0,0000	0,150	OK
				M	20291,92	509,9923	0,0000	0,020	
				N	334,90	2485,5200	0,0000	0,200	

Riepilogo combinazioni maggiormente gravose:

Cmb.	N	Mx	My	Tipo	Nu	Mxu	Myu	Sd/Su	Verif.
	kN	kN m	kN m		kN	kN m	kN m		
29	451,06	2445,3100	0,0000	P	471,15	2554,2330	0,0000	0,960	OK
9	516,39	731,6300	0,0000	M	19817,85	730,6990	0,0000	0,030	OK
29	451,06	2445,3100	0,0000	N	451,06	2544,1190	0,0000	0,960	OK

**Verifiche stato limite di esercizio per c. c. rare:**

Valori limite:

CLS:  $\sigma_{cL} = 14,94$  kN/m (verifica Ok per  $\sigma_c/\sigma_{cL} < 1$ )

Acciaio:  $\sigma_{aL} = 344,00$  kN/m (verifica Ok per  $\sigma_a/\sigma_{aL} < 1$ )

Cmb	Mx	My	N	$\sigma_c$	$\sigma_c/\sigma_{cL}$	$\sigma_a$	$\sigma_a/\sigma_{aL}$
n. e stato	kN m	kN m	kN	kN/mq		kN/mq	
18 OK	378,6800	0,0000	224,01	-1,81	0,12	48,81	0,14
19 OK	438,8800	0,0000	320,96	-2,12	0,14	52,15	0,15
20 OK	362,4800	0,0000	285,41	-1,76	0,12	41,64	0,12
21 OK	404,4100	0,0000	384,42	-1,99	0,13	41,92	0,12
22 OK	316,7000	0,0000	245,32	-1,54	0,10	36,66	0,11

**Verifiche stato limite di esercizio per c. c. quasi permanenti:**

Valori limite:

CLS:  $\sigma_{cL} = 11,20$  kN/m (verifica Ok per  $\sigma_c/\sigma_{cL} < 1$ )

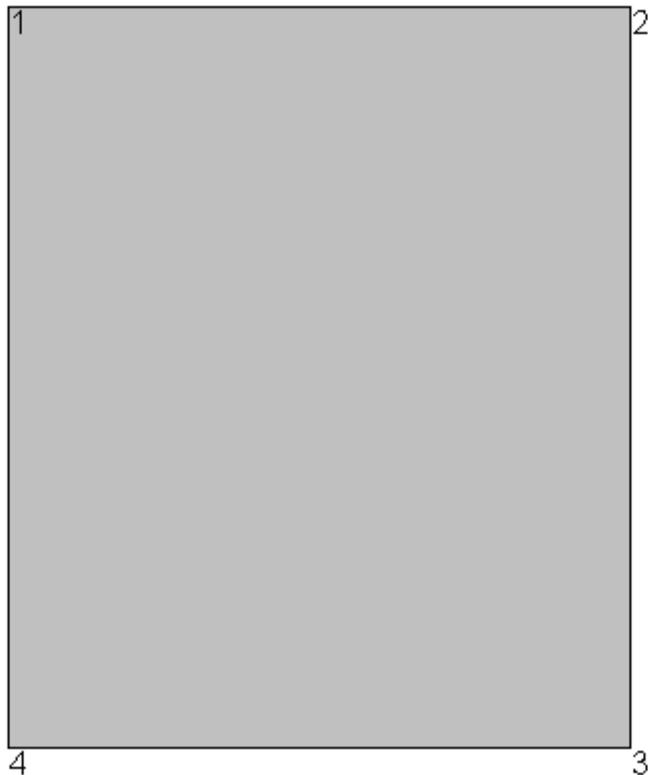
Fessure:  $W_{kL} = 0,30$  mm (verifica Ok per  $W_k/W_{kL} < 1$ )

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

	<b>Cmb</b>	<b>Mx</b>	<b>My</b>	<b>N</b>	<b><math>\sigma_c</math></b>	<b><math>\sigma_c/\sigma_{cL}</math></b>	<b>Wk</b>	<b>Wk/WkL</b>
n. e stato		kN m	kN m	kN	kN/mq		mm	
23	OK	277,3600	0,0000	225,86	-1,35	0,12	0.00	0,00
24	OK	537,1700	0,0000	284,23	-2,55	0,23	0.00	0,00
25	OK	511,8400	0,0000	269,00	-2,43	0,22	0.00	0,00
26	OK	361,7300	0,0000	342,59	-1,78	0,16	0.00	0,00
27	OK	302,6900	0,0000	241,09	-1,47	0,13	0.00	0,00

Mezzeria:

[2SI s.r.l - ProVLIM - Verifica sezioni](#)



**Geometria della sezione:**

Vert.      X      Y

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

n.	cm	cm
1	0,0	120,0
2	100,0	120,0
3	100,0	0,0
4	0,0	0,0



**Armature:**

Pos.	X	Y	Area	Pretens.
n.	cm	cm	cmq	(s/n)
1	15,2	114,7	5,3	no
2	25,2	114,7	5,3	no
3	35,1	114,7	5,3	no
4	45,0	114,7	5,3	no
5	55,0	114,7	5,3	no

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

6	64,9	114,7	5,3	no
7	74,8	114,7	5,3	no
8	84,8	114,7	5,3	no
9	84,8	5,3	5,3	no
10	74,8	5,3	5,3	no
11	64,9	5,3	5,3	no
12	55,0	5,3	5,3	no
13	45,0	5,3	5,3	no
14	35,1	5,3	5,3	no
15	25,2	5,3	5,3	no
16	15,2	5,3	5,3	no

**Normativa di riferimento:**

D.M. 14/01/2008 - 'Norme tecniche per le costruzioni'

**Note:**

Verifiche SLE per ambiente ordinario

**Materiali:**

**Calcestruzzo classe: C25/30**

Rck (resistenza caratteristica cubica a compressione) = 300 daN/cm<sup>2</sup>

fck (resistenza caratteristica cilindrica a compressione) = 249 daN/cm<sup>2</sup>

fctm (resistenza a trazione media) = 26 daN/cm<sup>2</sup>

G (modulo di elasticità tangenziale) = 140388 daN/cm<sup>2</sup>

E (modulo elastico istantaneo iniziale) = 314470 daN/cm<sup>2</sup>

C. Poisson (coefficiente di contrazione trasversale) = 0.12

Coefficiente di dilatazione termica = 0.000050

Peso specifico del calcestruzzo armato = 2500 daN/m<sup>3</sup>

**Barre d'acciaio ad aderenza migliorata tipo: FeB 44k**

fyk (tensione caratteristica di snervamento) = 4300 daN/cm<sup>2</sup>

fkt (tensione caratteristica di rottura) = 5400 daN/cm<sup>2</sup>

euk (deformazione di rottura) = 0.120

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

G (modulo di elasticità tangenziale) = 793100 daN/cm<sup>2</sup>

E (modulo elastico) = 2060000 daN/cm<sup>2</sup>

C. Poisson (coefficiente di contrazione trasversale) = 0.30

Coefficiente di dilatazione termica = 0.000012

Peso specifico = 7850 daN/mc

### **Verifiche stato limite ultimo:**

Per ogni combinazione di carico saranno svolte le verifiche:

Verifica per M<sub>xu</sub>, M<sub>yu</sub> e N<sub>u</sub> proporzionali (sigla verifica: P)

e in caso di verifica proporzionale positiva:

Verifica con rapporto M<sub>xu</sub>, M<sub>yu</sub> assegnato (sigla verifica: M)

Verifica con N<sub>u</sub> costante (sigla verifica: N)

<b>Cmb.</b>	<b>N</b>	<b>M<sub>x</sub></b>	<b>M<sub>y</sub></b>	<b>Tipo</b>	<b>N<sub>u</sub></b>	<b>M<sub>xu</sub></b>	<b>M<sub>yu</sub></b>	<b>Sd/Su</b>	<b>Verif.</b>
	kN	kN m	kN m		kN	kN m	kN m		
1	236,86	-1073,3500	0,0000	P	435,80	-1974,8500	0,0000	0,540	OK
				M	17852,21	-1072,2380	0,0000	0,010	
				N	236,86	-1869,7550	0,0000	0,570	
2	424,28	-824,2600	0,0000	P	1227,83	-2385,3300	0,0000	0,340	OK
				M	18389,71	-823,1906	0,0000	0,020	
				N	424,28	-1968,7870	0,0000	0,420	
3	381,43	-786,3400	0,0000	P	1133,73	-2337,2560	0,0000	0,340	OK
				M	18471,21	-785,2222	0,0000	0,020	
				N	381,43	-1946,2050	0,0000	0,400	
4	489,24	-305,7200	0,0000	P	6574,01	-4108,0190	0,0000	0,070	OK
				M	19487,06	-304,9211	0,0000	0,020	
				N	489,24	-2002,9500	0,0000	0,150	
5	280,70	-1001,0100	0,0000	P	574,15	-2047,4790	0,0000	0,490	OK
				M	18008,47	-1000,0540	0,0000	0,020	
				N	280,70	-1892,9810	0,0000	0,530	
6	397,02	-361,7900	0,0000	P	3848,82	-3507,2950	0,0000	0,100	OK
				M	19370,76	-360,8293	0,0000	0,020	

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>				
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>				<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

				N	397,02	-1954,4250	0,0000	0,180	
7	408,64	-946,0900	0,0000	P	974,10	-2255,2610	0,0000	0,420	OK
				M	18127,10	-945,1361	0,0000	0,020	
				N	408,64	-1960,5490	0,0000	0,480	
8	402,36	-860,4300	0,0000	P	1080,11	-2309,7740	0,0000	0,370	OK
				M	18311,78	-859,4371	0,0000	0,020	
				N	402,36	-1957,2400	0,0000	0,440	
9	516,39	-523,5800	0,0000	P	3259,86	-3305,2470	0,0000	0,160	OK
				M	19030,93	-522,5529	0,0000	0,030	
				N	516,39	-2017,2040	0,0000	0,260	
10	529,78	-602,0400	0,0000	P	2725,15	-3096,8480	0,0000	0,190	OK
				M	18864,53	-601,0477	0,0000	0,030	
				N	529,78	-2024,2290	0,0000	0,300	
11	381,74	-751,9200	0,0000	P	1205,12	-2373,7470	0,0000	0,320	OK
				M	18545,03	-750,7815	0,0000	0,020	
				N	381,74	-1946,3690	0,0000	0,390	
12	374,23	-495,2800	0,0000	P	2150,54	-2846,1570	0,0000	0,170	OK
				M	19090,03	-494,5774	0,0000	0,020	
				N	374,23	-1942,4080	0,0000	0,250	
28	229,77	-604,1900	0,0000	P	829,17	-2180,3490	0,0000	0,280	OK
				M	18859,97	-603,1926	0,0000	0,010	
				N	229,77	-1865,9960	0,0000	0,320	
29	451,06	-418,8200	0,0000	P	3738,99	-3471,7460	0,0000	0,120	OK
				M	19251,20	-417,9780	0,0002	0,020	
				N	451,06	-1982,8810	0,0000	0,210	
30	447,15	-305,3600	0,0000	P	5862,18	-4003,2980	0,0000	0,080	OK
				M	19487,81	-304,5610	0,0000	0,020	
				N	447,15	-1980,8240	0,0000	0,150	
31	332,67	-385,9000	0,0000	P	2639,15	-3061,4360	0,0000	0,130	OK
				M	19320,32	-384,9782	0,0000	0,020	
				N	332,67	-1920,4660	0,0000	0,200	
32	326,60	-392,0300	0,0000	P	2502,81	-3004,2190	0,0000	0,130	OK
				M	19307,47	-391,1201	0,0002	0,020	

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

				N	326,60	-1917,2590	0,0000	0,200	
33	334,90	-378,8800	0,0000	P	2744,26	-3104,6480	0,0000	0,120	OK
				M	19335,02	-377,9454	0,0000	0,020	
				N	334,90	-1921,6440	0,0000	0,200	

Riepilogo combinazioni maggiormente gravose:

Cmb.	N	Mx	My	Tipo	Nu	Mxu	Myu	Sd/Su	Verif.
	kN	kN m	kN m		kN	kN m	kN m		
1	236,86	-1073,3500	0,0000	P	435,80	-1974,8500	0,0000	0,540	OK
9	516,39	-523,5800	0,0000	M	19030,93	-522,5529	0,0000	0,030	OK
1	236,86	-1073,3500	0,0000	N	236,86	-1869,7550	0,0000	0,570	OK

#### Verifiche stato limite di esercizio per c. c. rare:

Valori limite:

CLS:  $\sigma_{cL} = 14,94$  kN/m (verifica Ok per  $\sigma_c/\sigma_{cL} < 1$ )

Acciaio:  $\sigma_{aL} = 344,00$  kN/m (verifica Ok per  $\sigma_a/\sigma_{aL} < 1$ )

Cmb	Mx	My	N	$\sigma_c$	$\sigma_c/\sigma_{cL}$	$\sigma_a$	$\sigma_a/\sigma_{aL}$
n. e stato	kN m	kN m	kN	kN/mq		kN/mq	
18 OK	-764,0600	0,0000	224,01	-3,88	0,26	145,74	0,42
19 OK	-670,6600	0,0000	320,96	-3,48	0,23	115,40	0,34
20 OK	-621,7800	0,0000	285,41	-3,22	0,22	108,20	0,31
21 OK	-364,7300	0,0000	384,42	-1,97	0,13	43,27	0,13
22 OK	-728,8900	0,0000	245,32	-3,72	0,25	135,81	0,39

#### Verifiche stato limite di esercizio per c. c. frequenti:

Valori limite:

Fessure:  $W_{kL} = 0,40$  mm (verifica Ok per  $W_k/W_{kL} < 1$ )

Cmb	Mx	My	N	Wk	Wk/WkL
-----	----	----	---	----	--------

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

n. e stato		kN m	kN m	kN	mm	
13	OK	-708,7500	0,0000	222,50	0.12	0,31
14	OK	-422,3200	0,0000	537,63	0.00	0,00
15	OK	-699,5500	0,0000	284,45	0.11	0,28
16	OK	-333,5500	0,0000	580,89	0.00	0,00
17	OK	-665,3900	0,0000	242,30	0.11	0,27

#### **Verifiche stato limite di esercizio per c. c. quasi permanenti:**

Valori limite:

CLS:  $\sigma_{cL} = 11,20$  kN/m (verifica Ok per  $\sigma_c/\sigma_{cL} < 1$ )

Fessure:  $W_{kL} = 0,30$  mm (verifica Ok per  $W_k/W_{kL} < 1$ )

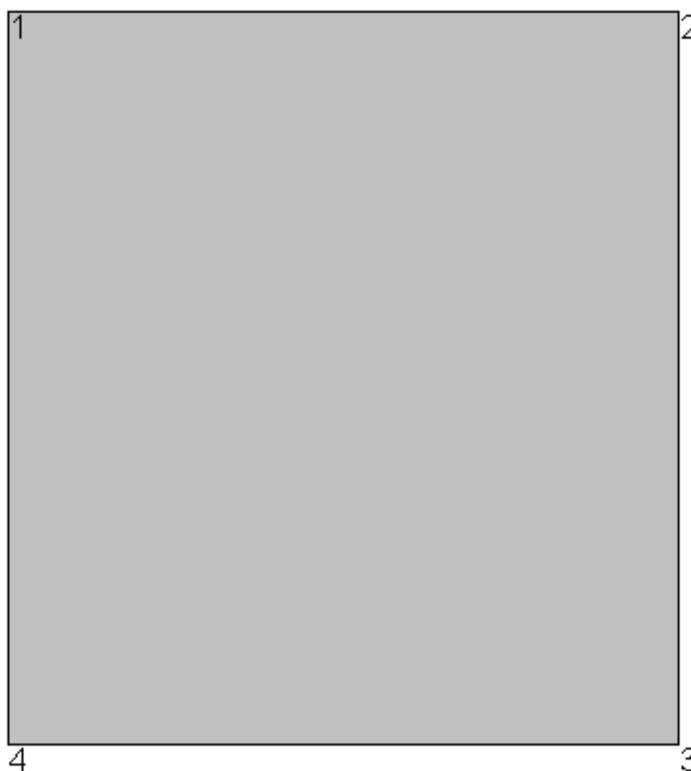
	<b>Cmb</b>	<b>Mx</b>	<b>My</b>	<b>N</b>	<b><math>\sigma_c</math></b>	<b><math>\sigma_c/\sigma_{cL}</math></b>	<b>Wk</b>	<b>Wk/WkL</b>
n. e stato		kN m	kN m	kN	kN/mq		mm	
23	OK	-490,7200	0,0000	225,86	-2,54	0,23	0.00	0,00
24	OK	-448,8900	0,0000	284,23	-2,36	0,21	0.00	0,00
25	OK	-474,0000	0,0000	269,00	-2,48	0,22	0.00	0,00
26	OK	-407,0500	0,0000	342,59	-2,17	0,19	0.00	0,00
27	OK	-465,6000	0,0000	241,09	-2,43	0,22	0.00	0,00

#### **7.4.1.3 Piedritto**

Attacco soletta inferiore:

**[2SI s.r.l - ProVLIM - Verifica sezioni](#)**

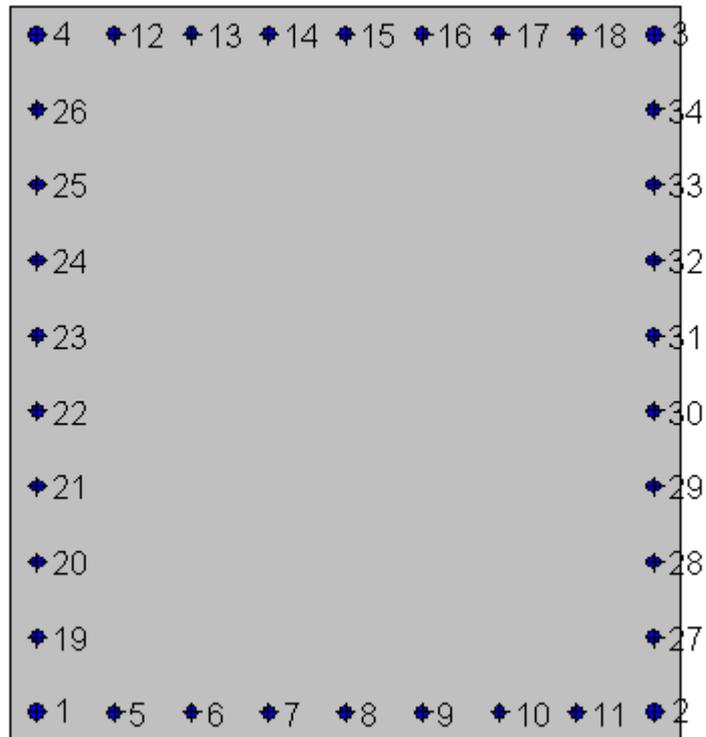
		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						



**Geometria della sezione:**

Vert.	X	Y
n.	cm	cm
1	0,0	110,0
2	100,0	110,0
3	100,0	0,0
4	0,0	0,0

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						



**Armatore:**

Pos.	X	Y	Area	Pretens.
n.	cm	cm	cmq	(s/n)
1	4,0	4,0	4,5	no
2	96,0	4,0	4,5	no
3	96,0	106,0	4,5	no
4	4,0	106,0	4,5	no
5	15,5	4,0	3,1	no
6	27,0	4,0	3,1	no
7	38,5	4,0	3,1	no
8	50,0	4,0	3,1	no
9	61,5	4,0	3,1	no
10	73,0	4,0	3,1	no
11	84,5	4,0	3,1	no
12	15,5	106,0	3,1	no

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

13	27,0	106,0	3,1	no
14	38,5	106,0	3,1	no
15	50,0	106,0	3,1	no
16	61,5	106,0	3,1	no
17	73,0	106,0	3,1	no
18	84,5	106,0	3,1	no
19	4,0	15,3	3,1	no
20	4,0	26,7	3,1	no
21	4,0	38,0	3,1	no
22	4,0	49,3	3,1	no
23	4,0	60,7	3,1	no
24	4,0	72,0	3,1	no
25	4,0	83,3	3,1	no
26	4,0	94,7	3,1	no
27	96,0	15,3	3,1	no
28	96,0	26,7	3,1	no
29	96,0	38,0	3,1	no
30	96,0	49,3	3,1	no
31	96,0	60,7	3,1	no
32	96,0	72,0	3,1	no
33	96,0	83,3	3,1	no
34	96,0	94,7	3,1	no

**Normativa di riferimento:**

D.M. 14/01/2008 - 'Norme tecniche per le costruzioni'

**Note:**

Verifiche SLE per ambiente ordinario

**Materiali:**

**Calcestruzzo classe: C32/40**

Rck (resistenza caratteristica cubica a compressione) = 400 daN/cm<sup>2</sup>

fck (resistenza caratteristica cilindrica a compressione) = 332 daN/cm<sup>2</sup>

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$f_{ctm}$  (resistenza a trazione media) = 31 daN/cm<sup>2</sup>  
 $G$  (modulo di elasticità tangenziale) = 150192 daN/cm<sup>2</sup>  
 $E$  (modulo elastico istantaneo iniziale) = 336430 daN/cm<sup>2</sup>  
 $\nu$  (coefficiente di contrazione trasversale) = 0.12  
Coefficiente di dilatazione termica = 0.000050  
Peso specifico del calcestruzzo armato = 2500 daN/mc

**Barre d'acciaio ad aderenza migliorata tipo: FeB 44k**

$f_{yk}$  (tensione caratteristica di snervamento) = 4300 daN/cm<sup>2</sup>  
 $f_{kt}$  (tensione caratteristica di rottura) = 5400 daN/cm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_{uk}$  (deformazione di rottura) = 0.120  
 $G$  (modulo di elasticità tangenziale) = 793100 daN/cm<sup>2</sup>  
 $E$  (modulo elastico) = 2060000 daN/cm<sup>2</sup>  
 $\nu$  (coefficiente di contrazione trasversale) = 0.30  
Coefficiente di dilatazione termica = 0.000012  
Peso specifico = 7850 daN/mc

**Verifiche stato limite ultimo:**

Per ogni combinazione di carico saranno svolte le verifiche:

Verifica per  $M_{xu}$ ,  $M_{yu}$  e  $N_u$  proporzionali (sigla verifica: P)

e in caso di verifica proporzionale positiva:

Verifica con rapporto  $M_{xu}$ ,  $M_{yu}$  assegnato (sigla verifica: M)

Verifica con  $N_u$  costante (sigla verifica: N)

Cmb.	N	Mx	My	Tipo	Nu	Mxu	Myu	Sd/Su	Verif.
	kN	kN m	kN m		kN	kN m	kN m		
1	936,42	-562,8000	46,8200	P	6680,15	-4014,8540	334,0005	0,140	OK
				M	23556,34	-561,8788	46,7434	0,040	
				N	936,42	-2466,8820	205,2228	0,230	
2	830,08	-823,5100	41,5000	P	3367,18	-3340,5310	168,3429	0,250	OK
				M	22920,67	-822,3997	41,4441	0,040	
				N	830,08	-2429,7910	122,4470	0,340	

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>				
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>				<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

3	790,19	-736,7300	39,5100	P	3672,09	-3423,6580	183,6069	0,210	OK
				M	23134,15	-735,6544	39,4523	0,030	
				N	790,19	-2412,0490	129,3555	0,300	
4	448,33	-545,4400	22,4200	P	2536,80	-3086,2840	126,8599	0,180	OK
				M	23603,80	-544,4470	22,3792	0,020	
				N	448,33	-2262,1070	92,9826	0,240	
5	936,42	-609,5000	46,8200	P	6023,87	-3920,8330	301,1869	0,150	OK
				M	23442,70	-608,5978	46,7507	0,040	
				N	936,42	-2468,8140	189,6471	0,250	
6	483,16	-460,2800	24,1600	P	3562,90	-3394,1820	178,1599	0,140	OK
				M	23809,85	-459,4281	24,1153	0,020	
				N	483,16	-2276,7020	119,5036	0,200	
7	898,84	-828,3700	44,9400	P	3732,42	-3439,7980	186,6129	0,240	OK
				M	22908,21	-827,2687	44,8803	0,040	
				N	898,84	-2458,7200	133,3883	0,340	
8	860,77	-686,9500	43,0400	P	4565,91	-3643,8900	228,3034	0,190	OK
				M	23255,11	-685,8998	42,9742	0,040	
				N	860,77	-2440,9080	152,9320	0,280	
9	654,67	-701,5200	32,7300	P	3023,68	-3240,0660	151,1680	0,220	OK
				M	23221,47	-700,4665	32,6809	0,030	
				N	654,67	-2353,4310	109,8013	0,300	
10	724,13	-746,7000	36,2100	P	3190,60	-3290,0420	159,5452	0,230	OK
				M	23110,16	-745,6080	36,1571	0,030	
				N	724,13	-2383,9420	115,6054	0,310	
11	786,27	-607,8100	39,3100	P	4770,91	-3688,0540	238,5242	0,160	OK
				M	23448,46	-606,8984	39,2511	0,030	
				N	786,27	-2408,5040	155,7695	0,250	
12	533,17	-561,8000	26,6600	P	3095,43	-3261,6510	154,7804	0,170	OK
				M	23563,08	-560,8533	26,6151	0,020	
				N	533,17	-2299,4310	109,1186	0,240	
28	577,43	-409,1000	28,8700	P	5381,17	-3812,4760	269,0447	0,110	OK
				M	23933,00	-408,1511	28,8030	0,020	
				N	577,43	-2316,6400	163,4843	0,180	

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

29	264,25	-2077,2900	13,2100	P	278,31	-2187,7970	13,9127	0,950	OK
				M	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	
				N	264,25	-2181,4480	13,8724	0,950	
30	176,16	-2020,9400	8,8100	P	187,12	-2146,6220	9,3579	0,940	OK
				M	19958,91	-2019,7920	8,8050	0,010	
				N	176,16	-2141,6540	9,3362	0,940	
31	496,14	-337,8600	24,8100	P	5677,80	-3866,4510	283,9242	0,090	OK
				M	24104,58	-337,3853	24,7751	0,020	
				N	496,14	-2280,3850	167,4550	0,150	
32	452,99	-508,4100	22,6500	P	2835,92	-3182,8720	141,7990	0,160	OK
				M	23693,50	-507,5137	22,6101	0,020	
				N	452,99	-2263,9150	100,8589	0,220	
33	461,80	-466,5000	23,0900	P	3283,99	-3317,4170	164,1997	0,140	OK
				M	23794,95	-465,6657	23,0487	0,020	
				N	461,80	-2267,4340	112,2295	0,210	

Riepilogo combinazioni maggiormente gravose:

<b>Cmb.</b>	<b>N</b>	<b>Mx</b>	<b>My</b>	<b>Tipo</b>	<b>Nu</b>	<b>Mxu</b>	<b>Myu</b>	<b>Sd/Su</b>	<b>Verif.</b>
	kN	kN m	kN m		kN	kN m	kN m		
29	264,25	-2077,2900	13,2100	P	278,31	-2187,7970	13,9127	0,950	OK
1	936,42	-562,8000	46,8200	M	23556,34	-561,8788	46,7434	0,040	OK
29	264,25	-2077,2900	13,2100	N	264,25	-2181,4480	13,8724	0,950	OK

**Verifiche stato limite di esercizio per c. c. rare:**

Valori limite:

CLS:  $\sigma_{cL} = 19,92$  kN/m (verifica Ok per  $\sigma_c/\sigma_{cL} < 1$ )

Acciaio:  $\sigma_{aL} = 344,00$  kN/m (verifica Ok per  $\sigma_a/\sigma_{aL} < 1$ )

<b>Cmb</b>	<b>Mx</b>	<b>My</b>	<b>N</b>	<b><math>\sigma_c</math></b>	<b><math>\sigma_c/\sigma_{cL}</math></b>	<b><math>\sigma_a</math></b>	<b><math>\sigma_a/\sigma_{aL}</math></b>
n. e stato	kN m	kN m	kN	kN/mq		kN/mq	
18 OK	-510,4700	0,0000	670,86	-3,30	0,17	62,82	0,18
19 OK	-520,9800	0,0000	696,19	-3,37	0,17	63,25	0,18

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

20	OK	-442,3800	0,0000	656,69	-2,86	0,14	48,91	0,14
21	OK	-391,4900	0,0000	489,35	-2,53	0,13	50,09	0,15
22	OK	-449,1100	0,0000	693,64	-2,91	0,15	47,75	0,14

**Verifiche stato limite di esercizio per c. c. quasi permanenti:**

Valori limite:

CLS:  $\sigma_{cL} = 14,94$  kN/m (verifica Ok per  $\sigma_c/\sigma_{cL} < 1$ )

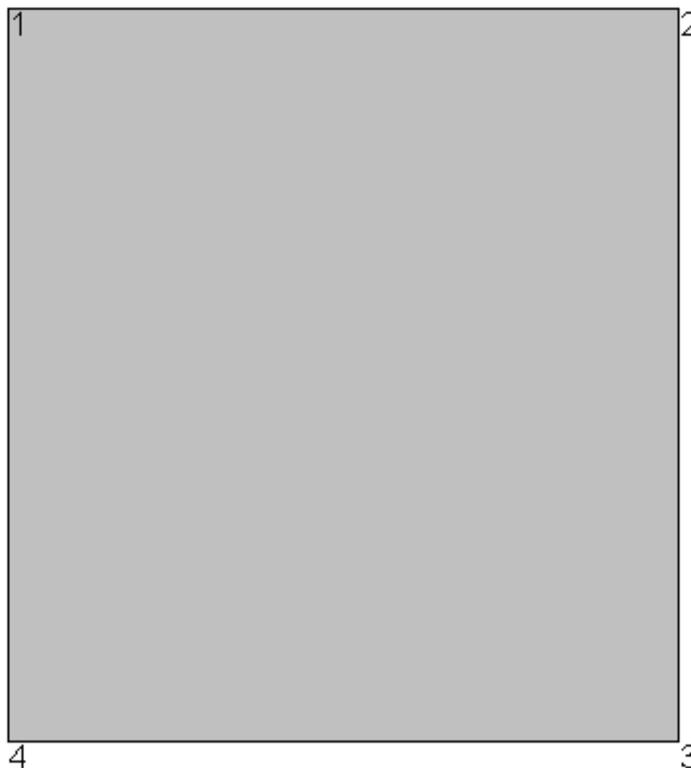
Fessure:  $W_{kL} = 0,30$  mm (verifica Ok per  $W_k/W_{kL} < 1$ )

	<b>Cmb</b>	<b>Mx</b>	<b>My</b>	<b>N</b>	<b><math>\sigma_c</math></b>	<b><math>\sigma_c/\sigma_{cL}</math></b>	<b>Wk</b>	<b>Wk/WkL</b>
n. e stato		kN m	kN m	kN	kN/mq		mm	
23	OK	-352,7500	0,0000	489,35	-2,28	0,15	0,00	0,00
24	OK	-530,6400	0,0000	463,59	-3,39	0,23	0,00	0,00
25	OK	-514,4200	0,0000	463,59	-3,29	0,22	0,00	0,00
26	OK	-373,0900	0,0000	489,35	-2,41	0,16	0,00	0,00
27	OK	-368,9600	0,0000	489,35	-2,38	0,16	0,00	0,00

Attacco soletta superiore:

**[2SI s.r.l - ProVLIM - Verifica sezioni](#)**

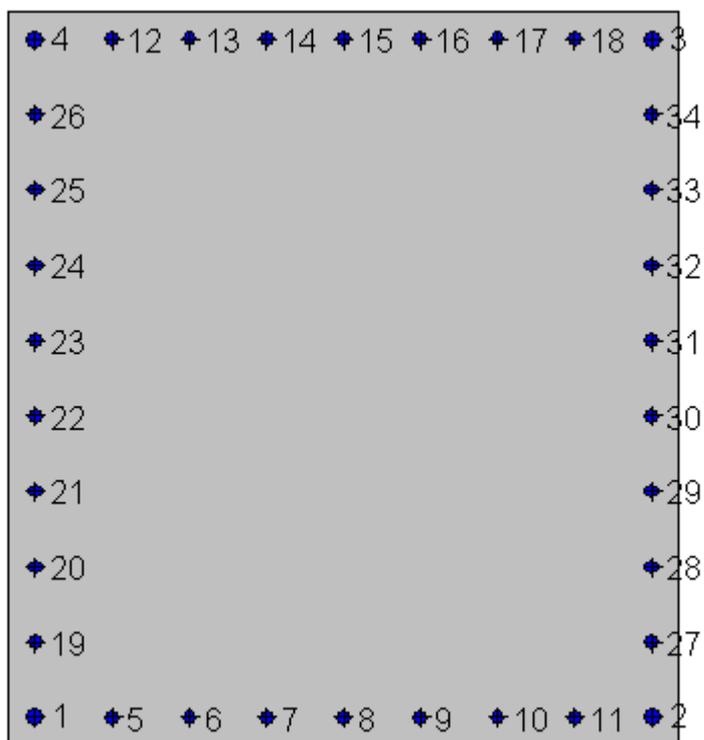
		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						



**Geometria della sezione:**

Vert.	X	Y
n.	cm	cm
1	0,0	110,0
2	100,0	110,0
3	100,0	0,0
4	0,0	0,0

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						



**Armature:**

Pos.	X	Y	Area	Pretens.
n.	cm	cm	cmq	(s/n)
1	4,0	4,0	4,5	no
2	96,0	4,0	4,5	no
3	96,0	106,0	4,5	no
4	4,0	106,0	4,5	no
5	15,5	4,0	3,1	no
6	27,0	4,0	3,1	no
7	38,5	4,0	3,1	no
8	50,0	4,0	3,1	no
9	61,5	4,0	3,1	no
10	73,0	4,0	3,1	no
11	84,5	4,0	3,1	no
12	15,5	106,0	3,1	no

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

13	27,0	106,0	3,1	no
14	38,5	106,0	3,1	no
15	50,0	106,0	3,1	no
16	61,5	106,0	3,1	no
17	73,0	106,0	3,1	no
18	84,5	106,0	3,1	no
19	4,0	15,3	3,1	no
20	4,0	26,7	3,1	no
21	4,0	38,0	3,1	no
22	4,0	49,3	3,1	no
23	4,0	60,7	3,1	no
24	4,0	72,0	3,1	no
25	4,0	83,3	3,1	no
26	4,0	94,7	3,1	no
27	96,0	15,3	3,1	no
28	96,0	26,7	3,1	no
29	96,0	38,0	3,1	no
30	96,0	49,3	3,1	no
31	96,0	60,7	3,1	no
32	96,0	72,0	3,1	no
33	96,0	83,3	3,1	no
34	96,0	94,7	3,1	no

**Normativa di riferimento:**

D.M. 14/01/2008 - 'Norme tecniche per le costruzioni'

**Note:**

Verifiche SLE per ambiente ordinario

**Materiali:**

**Calcestruzzo classe: C32/40**

Rck (resistenza caratteristica cubica a compressione) = 400 daN/cm<sup>2</sup>

fck (resistenza caratteristica cilindrica a compressione) = 332 daN/cm<sup>2</sup>

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$f_{ctm}$  (resistenza a trazione media) = 31 daN/cm<sup>2</sup>  
 $G$  (modulo di elasticità tangenziale) = 150192 daN/cm<sup>2</sup>  
 $E$  (modulo elastico istantaneo iniziale) = 336430 daN/cm<sup>2</sup>  
 $\nu$  (coefficiente di contrazione trasversale) = 0.12  
 Coefficiente di dilatazione termica = 0.000050  
 Peso specifico del calcestruzzo armato = 2500 daN/mc

**Barre d'acciaio ad aderenza migliorata tipo: FeB 44k**

$f_{yk}$  (tensione caratteristica di snervamento) = 4300 daN/cm<sup>2</sup>  
 $f_{kt}$  (tensione caratteristica di rottura) = 5400 daN/cm<sup>2</sup>  
 $\epsilon_{uk}$  (deformazione di rottura) = 0.120  
 $G$  (modulo di elasticità tangenziale) = 793100 daN/cm<sup>2</sup>  
 $E$  (modulo elastico) = 2060000 daN/cm<sup>2</sup>  
 $\nu$  (coefficiente di contrazione trasversale) = 0.30  
 Coefficiente di dilatazione termica = 0.000012  
 Peso specifico = 7850 daN/mc

**Verifiche stato limite ultimo:**

Per ogni combinazione di carico saranno svolte le verifiche:

Verifica per  $M_{xu}$ ,  $M_{yu}$  e  $N_u$  proporzionali (sigla verifica: P)

e in caso di verifica proporzionale positiva:

Verifica con rapporto  $M_{xu}$ ,  $M_{yu}$  assegnato (sigla verifica: M)

Verifica con  $N_u$  costante (sigla verifica: N)

Cmb.	N	Mx	My	Tipo	Nu	Mxu	Myu	Sd/Su	Verif.
	kN	kN m	kN m		kN	kN m	kN m		
1	629,77	-593,4200	31,4900	P	3617,89	-3409,0690	180,9032	0,170	OK
				M	23485,04	-592,5292	31,4427	0,030	
				N	629,77	-2341,8070	124,2686	0,250	
2	523,43	-131,6900	26,1700	P	14016,42	-3526,3980	700,7809	0,040	OK
				M	24590,44	-131,5932	26,1508	0,020	
				N	523,43	-2256,3090	448,3834	0,060	

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

3	483,54	-399,8500	24,1800	P	4346,61	-3594,3100	217,3576	0,110	OK
				M	23955,94	-399,0709	24,1329	0,020	
				N	483,54	-2276,1220	137,6432	0,180	
4	221,18	-293,8300	11,0600	P	2247,79	-2986,1050	112,3994	0,100	OK
				M	24211,77	-293,3413	11,0416	0,010	
				N	221,18	-2160,2480	81,3135	0,140	
5	629,77	-277,0100	31,4900	P	9480,85	-4170,2350	474,0648	0,070	OK
				M	24249,18	-276,5627	31,4392	0,030	
				N	629,77	-2329,1310	264,7714	0,120	
6	256,01	-229,9600	12,8000	P	3869,97	-3476,1830	193,4908	0,070	OK
				M	24363,83	-229,5603	12,7778	0,010	
				N	256,01	-2174,5980	121,0422	0,110	
7	592,19	-340,5000	29,6100	P	7061,15	-4060,0530	353,0636	0,080	OK
				M	24097,98	-339,7141	29,5417	0,020	
				N	592,19	-2320,5290	201,7940	0,150	
8	554,12	-412,4100	27,7100	P	5027,36	-3741,6670	251,4041	0,110	OK
				M	23925,24	-411,4620	27,6463	0,020	
				N	554,12	-2306,8280	154,9967	0,180	
9	427,52	-107,8600	21,3800	P	13995,12	-3530,8610	699,8870	0,030	OK
				M	24646,45	-107,7724	21,3626	0,020	
				N	427,52	-2216,7470	439,4034	0,050	
10	496,98	-159,3000	24,8500	P	12126,98	-3887,1340	606,3733	0,040	OK
				M	24526,71	-159,2009	24,8345	0,020	
				N	496,98	-2260,0160	352,5512	0,070	
11	479,62	-504,1100	23,9800	P	3106,30	-3264,9070	155,3083	0,150	OK
				M	23703,84	-503,1458	23,9341	0,020	
				N	479,62	-2275,5550	108,2458	0,220	
12	306,02	-345,2000	15,3000	P	2816,26	-3176,8300	140,8039	0,110	OK
				M	24088,20	-344,7098	15,2783	0,010	
				N	306,02	-2198,0250	97,4212	0,160	
28	309,40	-224,5200	15,4700	P	5206,19	-3777,9380	260,3095	0,060	OK
				M	24377,32	-223,7554	15,4173	0,010	
				N	309,40	-2197,4090	151,4071	0,100	

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

29	-3,79	1057,5600	0,0000	P	-7,38	2058,2350	0,0000	0,510	OK
				M	-2109,39	1057,4110	0,0000	0,000	
				N	-3,79	2059,8750	0,0000	0,510	
30	-50,99	1081,5400	0,0000	P	-95,14	2018,0370	0,0000	0,540	OK
				M	-2062,10	1081,1110	0,0000	0,020	
				N	-50,99	2038,2780	0,0000	0,530	
31	268,99	-264,6000	13,4500	P	3407,18	-3351,5770	170,3655	0,080	OK
				M	24281,20	-264,1870	13,4290	0,010	
				N	268,99	-2180,8430	110,8554	0,120	
32	225,84	-85,8400	11,2900	P	10747,75	-4085,1340	537,2922	0,020	OK
				M	24698,90	-85,7458	11,2776	0,010	
				N	225,84	-2150,7290	282,8719	0,040	
33	234,65	-122,8900	11,7300	P	7883,37	-4128,6460	394,0843	0,030	OK
				M	24614,34	-122,7705	11,7186	0,010	
				N	234,65	-2161,0120	206,2713	0,060	

Riepilogo combinazioni maggiormente gravose:

Cmb.	N	Mx	My	Tipo	Nu	Mxu	Myu	Sd/Su	Verif.
	kN	kN m	kN m		kN	kN m	kN m		
30	-50,99	1081,5400	0,0000	P	-95,14	2018,0370	0,0000	0,540	OK
1	629,77	-593,4200	31,4900	M	23485,04	-592,5292	31,4427	0,030	OK
30	-50,99	1081,5400	0,0000	N	-50,99	2038,2780	0,0000	0,530	OK

**Verifiche stato limite di esercizio per c. c. rare:**

Valori limite:

CLS:  $\sigma_L = 19,92$  kN/m (verifica Ok per  $\sigma/\sigma_L < 1$ )

Acciaio:  $\sigma_a = 344,00$  kN/m (verifica Ok per  $\sigma_a/\sigma_aL < 1$ )

Cmb	Mx	My	N	$\sigma_c$	$\sigma_c/\sigma_{cL}$	$\sigma_a$	$\sigma_a/\sigma_{aL}$
n. e stato	kN m	kN m	kN	kN/mq		kN/mq	
18 OK	-380,3900	0,0000	443,71	-2,45	0,12	51,12	0,15
19 OK	-241,6800	0,0000	469,04	-1,57	0,08	19,48	0,06

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

20	OK	-457,5900	0,0000	429,54	-2,93	0,15	69,86	0,20
21	OK	-256,1100	0,0000	262,20	-1,64	0,08	37,33	0,11
22	OK	-317,5500	0,0000	466,50	-2,06	0,10	35,46	0,10

**Verifiche stato limite di esercizio per c. c. frequenti:**

Valori limite:

Fessure:  $WkL = 0,40$  mm (verifica Ok per  $Wk/WkL < 1$ )

	<b>Cmb</b>	<b>Mx</b>	<b>My</b>	<b>N</b>	<b>Wk</b>	<b>Wk/WkL</b>
n. e stato		kN m	kN m	kN	mm	
13	OK	-247,3800	0,0000	369,99	0.00	0,00
14	OK	1107,9300	0,0000	97,71	0.26	0,66
15	OK	-425,9700	0,0000	428,46	0.00	0,00
16	OK	874,2900	0,0000	-3,79	0.19	0,47
17	OK	-78,7800	0,0000	392,63	0.00	0,00

**Verifiche stato limite di esercizio per c. c. quasi permanenti:**

Valori limite:

CLS:  $\sigma cL = 14,94$  kN/m (verifica Ok per  $\sigma c/\sigma cL < 1$ )

Fessure:  $WkL = 0,30$  mm (verifica Ok per  $Wk/WkL < 1$ )

	<b>Cmb</b>	<b>Mx</b>	<b>My</b>	<b>N</b>	<b><math>\sigma c</math></b>	<b><math>\sigma c/\sigma cL</math></b>	<b>Wk</b>	<b>Wk/WkL</b>
n. e stato		kN m	kN m	kN	kN/mq		mm	
23	OK	-200,5400	0,0000	262,20	-1,30	0,09	0.00	0,00
24	OK	-103,4000	0,0000	236,44	-0,67	0,05	0.00	0,00
25	OK	-213,2600	0,0000	236,44	-1,37	0,09	0.00	0,00
26	OK	-239,5600	0,0000	262,20	-1,54	0,10	0.00	0,00
27	OK	-90,6800	0,0000	262,20	-0,60	0,04	0.00	0,00

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

#### 7.4.2 Verifica al taglio

Le verifiche al taglio sono state condotte secondo quanto previsto dal §4.1.2.1.3 del D.M. 14-01-2008.

Le sollecitazioni taglianti assunte nella verifica sono quelle massime per ciascun elemento strutturale, riportate nelle tabelle del paragrafo 7.4 della relazione.

##### STRADALI - SOLETTA SUP.

DATI	
<b>b</b>	1000 mm
<b>h</b>	1200 mm
<b>d</b>	1160 mm
<b>R<sub>ck</sub></b>	40 MPa
<b>f<sub>cd</sub></b>	18,13 MPa
<b>f'<sub>cd</sub></b>	9,07 MPa
<b>φ</b>	14 mm
<b>n. bracci</b>	2
<b>A<sub>st</sub></b>	307,88 mm <sup>2</sup>
<b>s</b>	200 mm
<b>f<sub>yd</sub></b>	391,3 MPa
<b>V<sub>Ed</sub></b>	5,73E+02 kN
<b>N<sub>Ed</sub></b>	0 kN
<b>σ<sub>cp</sub></b>	0 MPa
<b>α<sub>c</sub></b>	1

##### ELEMENTI RICHIEDONO ARMATURA AL TAGLIO

ARMATURA MINIMA NTC 2008	
(A <sub>st</sub> /s) <sub>min</sub>	1500 mm <sup>2</sup> /m
S <sub>min</sub>	333,33 mm
ELABORAZIONI NTC 2008	
S <sub>min_TOT</sub>	200 mm

NOTA: I dati vanno inseriti nelle caselle blu

VERIFICHE DI SICUREZZA			
cot(θ)	V <sub>Rcd</sub> (kN)	V <sub>Rsd</sub> (kN)	V <sub>Rd</sub> (kN)
2,5	3264	1572,158	1572,16
<b>VERIFICA SODDISFATTA</b>			

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0

**STRADALI - SOLETTA INF.**

DATI	
<b>b</b>	1000 mm
<b>h</b>	1200 mm
<b>d</b>	1160 mm
<b>R<sub>ck</sub></b>	35 MPa
<b>f<sub>cd</sub></b>	15,87 MPa
<b>f'<sub>cd</sub></b>	7,93 MPa
<b>φ</b>	14 mm
<b>n. bracci</b>	2
<b>A<sub>st</sub></b>	307,88 mm <sup>2</sup>
<b>s</b>	200 mm
<b>f<sub>yd</sub></b>	391,3 MPa
<b>V<sub>Ed</sub></b>	7,50E+02 kN
<b>N<sub>Ed</sub></b>	0 kN
<b>σ<sub>cp</sub></b>	0 MPa
<b>α<sub>c</sub></b>	1

**ELEMENTI RICHIEDONO ARMATURA AL TAGLIO**

ARMATURA MINIMA NTC 2008	
(A <sub>st</sub> /s) <sub>min</sub>	1500 mm <sup>2</sup> /m
S <sub>min</sub>	333,33 mm
ELABORAZIONI NTC 2008	
S <sub>min_TOT</sub>	200 mm

NOTA: I dati vanno inseriti nelle caselle blu

VERIFICHE DI SICUREZZA			
cot(θ)	V <sub>Rcd</sub> (kN)	V <sub>Rsd</sub> (kN)	V <sub>Rd</sub> (kN)
2,5	2856	1572,158	1572,16
<b>VERIFICA SODDISFATTA</b>			

**STRADALI - PIEDRITTO**

DATI	
<b>b</b>	1000 mm
<b>h</b>	1100 mm
<b>d</b>	1060 mm
<b>R<sub>ck</sub></b>	40 MPa
<b>f<sub>cd</sub></b>	18,13 MPa
<b>f'<sub>cd</sub></b>	9,07 MPa
<b>φ</b>	14 mm
<b>n. bracci</b>	2
<b>A<sub>st</sub></b>	307,88 mm <sup>2</sup>
<b>s</b>	200 mm
<b>f<sub>yd</sub></b>	391,3 MPa
<b>V<sub>Ed</sub></b>	1,10E+03 kN
<b>N<sub>Ed</sub></b>	0 kN
<b>σ<sub>cp</sub></b>	0 MPa
<b>α<sub>c</sub></b>	1

**ELEMENTI RICHIEDONO ARMATURA AL TAGLIO**

ARMATURA MINIMA NTC 2008	
(A <sub>st</sub> /s) <sub>min</sub>	1500 mm <sup>2</sup> /m
S <sub>min</sub>	333,33 mm
ELABORAZIONI NTC 2008	
S <sub>min_TOT</sub>	200 mm

NOTA: I dati vanno inseriti nelle caselle blu

VERIFICHE DI SICUREZZA			
cot(θ)	V <sub>Rcd</sub> (kN)	V <sub>Rsd</sub> (kN)	V <sub>Rd</sub> (kN)
2,5	2982,62069	1436,628	1436,63
<b>VERIFICA SODDISFATTA</b>			

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 8 ANALISI DELLE FONDAZIONI

### 8.1 ANALISI DEL SISTEMA FONDAZIONALE

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

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 ( $c_d'$ ,  $\phi_d'$ ) sono impiegati sia per la determinazione dei fattori di capacità portante,  $N_c$ ,  $N_q$ ,  $N_\alpha$ , 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

$$E_d = E \left[ \gamma_F \cdot F_k ; \frac{X_k}{\gamma_M} ; a_d \right]$$

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.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

#### Approccio 1

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

#### Approccio 2

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

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

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Per l'opera in oggetto, in condizione statica, si esegue la verifica secondo l'**Approccio 1** come precedentemente descritto.

Per l'opera in oggetto, in condizione sismica, si esegue la verifica secondo l'**Approccio 1** come precedentemente descritto.

### 8.1.1 ANALISI DEI CARICHI

L'analisi dei carichi è stata svolta ai paragrafi precedenti per l'analisi della struttura; pertanto si rimanda al § 7.1 per l'analisi di dettaglio.

### 8.1.2 MODELLO DI CALCOLO

#### 8.1.2.1 PROGRAMMA DI CALCOLO UTILIZZATO

Vedi paragrafo 7.2.1.

#### 8.1.2.2 DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO

Vedi paragrafo 7.2.2

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 8.1.3 CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI A INTRADOSSO FONDAZIONE

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

<i>N-T-M in fondazione per carichi elementari</i>	<b>N (kN)</b>	<b>T (kN)</b>	<b>M (kNm)</b>
<b>Peso Proprio</b>	<b>572,4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Permanenti Portati soletta sup</b>	<b>254,4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Permanenti Portati sbalzi</b>	<b>67,84</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Spinta del terreno attiva (2)</b>	<b>0</b>	<b>367,6793</b>	<b>1911,932</b>
<b>Spinta del terreno a riposo (2)</b>	<b>0</b>	<b>578,5715</b>	<b>3008,572</b>
<b>Carichi da traffico veicolare Q1k.dis</b>	<b>380,5532</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Carichi da traffico veicolare q1k,dis</b>	<b>95,4</b>		<b>0</b>
<b>Carichi da traffico veicolare distribuito</b>	<b>212</b>		<b>0</b>
<b>Spinte del sovraccarico (1)</b>		<b>122,7</b>	<b>638,0398</b>
<b>Frenatura</b>		<b>65,8789</b>	<b>342,5703</b>
<b>Azione sismica inerziale</b>	<b>155,502</b>	<b>311,004</b>	<b>1617,221</b>
<b>Azione sismica - sovraspinta sui piedritti</b>		<b>1003,774</b>	<b>5219,624</b>

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

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

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

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

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI CALCOLO		Codice documento CS0482_F0	Rev F0	Data 20/06/2011

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

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

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

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0

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

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

Di seguito si riportano i valori delle sollecitazioni a intradosso fondazione per ogni combinazione di carico considerata.

Travf.	Cmb	M3 mx/mn	M2 mx/mn	D 2 / D 3	Pt	Pos.	N	V 2	V 3	T	M 2	M 3
		daN cm	daN cm	cm	daN/cm2	cm	daN	daN	daN	daN	daN	daN cm
										cm	cm	
2	31	5.692e+06	0.0	-0.30	-1.58	0.0	-3.327e+04	-4.216e+04	0.0	0.0	0.0	5.692e+06
		-3.859e+06	0.0	0.0		910.0	-3.327e+04	4.113e+04	0.0	0.0	0.0	5.511e+06
2	32	7.649e+06	0.0	-4.93	-1.90	0.0	-3.266e+04	-4.107e+04	0.0	0.0	0.0	7.649e+06
		-4.182e+06	0.0	0.0		910.0	-3.266e+04	4.223e+04	0.0	0.0	0.0	3.430e+06
2	33	7.242e+06	0.0	-3.91	-1.93	0.0	-3.349e+04	-4.059e+04	0.0	0.0	0.0	7.242e+06
		-3.977e+06	0.0	0.0		910.0	-3.349e+04	4.124e+04	0.0	0.0	0.0	3.768e+06
3	31	1.516e+06	0.0	-0.03	-1.58	0.0	235.66	3.130e+04	0.0	0.0	0.0	-1.174e+06
		-1.174e+06	0.0	0.0		75.0	235.66	4.041e+04	0.0	0.0	0.0	1.516e+06

				<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>			
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>				<i>Codice documento</i> CS0482_F0		<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

3	32	1.005e+06	0.0	-0.41	-1.21	0.0	578.15	2.075e+04	0.0	0.0	0.0	-7.780e+05
		-7.780e+05	0.0	0.0		75.0	578.15	2.688e+04	0.0	0.0	0.0	1.005e+06
3	33	1.227e+06	0.0	-0.32	-1.38	0.0	520.46	2.532e+04	0.0	0.0	0.0	-9.496e+05
		-9.496e+05	0.0	0.0		75.0	520.46	3.277e+04	0.0	0.0	0.0	1.227e+06
4	31	1.458e+06	0.0	-0.02	-1.53	0.0	-205.36	-3.888e+04	0.0	0.0	0.0	1.458e+06
		-1.129e+06	0.0	0.0		75.0	-205.36	-3.011e+04	0.0	0.0	0.0	-1.129e+06
4	32	1.968e+06	0.0	-0.42	-1.96	0.0	-548.40	-5.242e+04	0.0	0.0	0.0	1.968e+06
		-1.525e+06	0.0	0.0		75.0	-548.40	-4.067e+04	0.0	0.0	0.0	-1.525e+06
4	33	1.991e+06	0.0	-0.33	-1.97	0.0	-489.96	-5.304e+04	0.0	0.0	0.0	1.991e+06
		-1.543e+06	0.0	0.0		75.0	-489.96	-4.114e+04	0.0	0.0	0.0	-1.543e+06

## 8.1.5 VERIFICHE GEOTECNICHE

### 8.1.5.1 Verifica di capacità portante

La verifica di capacità portante è soddisfatta se:

$$E_d = \sigma_{\max} \leq \frac{R_d}{\gamma_R} = \frac{\sigma_{adm}}{\gamma_R}$$

dove:

$\sigma_{\max}$  è l'azione pressione sul terreno per effetto dei carichi agenti;

$\sigma_{adm}$  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 [B32]), mettendo in conto anche l'eccentricità dei carichi e la possibilità di parzializzazione della fondazione.

La portanza del terreno viene valutata in accordo con la teoria di Brinch-Hansen (vedi riferimento bibliografico [B32]), 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, essa può essere generalizzata anche a meccanismi diversi.

La formulazione analitica della teoria di Brinch-Hansen è la seguente:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

$$q_{ult} = cN_c s_c d_c i_c g_c b_c + qN_q s_q d_q i_q g_q b_q + 0,5\gamma N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma$$

$$\text{se } \phi=0, q_{ult} = 5,14s_u(1 + s'_c + d'_c - i'_c - b'_c - g'_c) + q$$

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> CS0482_F0

Per le analisi A2+M2, vengono adottati i seguenti parametri caratterizzanti la formulazione di B.-H.:

Peso specifico del terreno	19	kN/m <sup>3</sup>
Angolo di attrito	32	°
coesione efficace	0	kPa
Profondità del piano di posa (valore medio)	1,2	m

Con tali assunzioni i diversi coefficienti della formulazione di B.-H. assumono i seguenti valori:

D.M. 14-01-2008 - CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE DELLE FONDAZIONI SUPERFICIALI CON BRINCH-HANSEN												
Dati relativi al terreno			Fattori di capacità portante			Caratteristiche geometriche della fondazione e carichi			Fattori di forma			
$\gamma$	19	kN/m <sup>3</sup>	$N_c$	35,47		$B$	10,6	m	$s_c$	1	fattore di forma	
$\gamma_{sat}$	9	kN/m <sup>3</sup>	$N_q$	23,2		$D$	1,2	m	$d_c$	1	fattore di profondità	
$c$	0	kPa	$N$	20,813449		$L$	1	m	$i_c$	1	fattore di inclinazione del carico	
$\phi$	32	°				$q$	22,8	kN/m	$g_c$	1	fattore di inclinazione del terreno	
$c_a$	0	kPa				$H$	0	kN	$b_c$	1	fattore di inclinazione del piano di fondazione	
Falda	20	m				$V$	0	kN				
Cuneo di rottura	9,562744	m				$k$	0,113208		$s_q$	1	fattore di forma	
$\gamma_{cuneo}$	9,669155	kN/m <sup>3</sup>							$d_q$	0,9625	fattore di profondità	
						$\alpha$	0	°	$i_q$	1	fattore di inclinazione del carico	
			Gamma R	1,8		$\beta$	0	°	$g_q$	1	fattore di inclinazione del terreno	
									$b_q$	1	fattore di inclinazione del piano di fondazione	
									$s$	0,8472	fattore di forma	
									$d$	1	fattore di profondità	
<b>Capacità portante</b>			<b>Approccio</b>	<b>1</b>	<b>Comb.1</b>				$i$	0,998	fattore di inclinazione del carico	
$R$	2281,231	kPa							$g$	1	fattore di inclinazione del terreno	
$R_d$	1267,351	kPa							$b$	1	fattore di inclinazione del piano di fondazione	

Da cui si ottiene un carico limite del terreno per combinazione A2+M2 pari a **1,2 MPa**.

Si riportano le massime pressioni in fondazione per ogni combinazione di carico.

I valori sono rappresentati in una tabella nella quale vengono riportate le pressioni alle estremità dell'elemento e la massima (in valore assoluto) pressione lungo lo sviluppo dell'elemento.

Vengono inoltre riportati i valori massimo e minimo delle pressioni tra le combinazioni analizzate.

Elem.	Cmb	Pt ini	Pt fin	Pt max	Cmb	Pt ini	Pt fin	Pt max	Cmb	Pt ini	Pt fin	Pt max
		daN/cm2	daN/cm2	daN/cm2		daN/cm2	daN/cm2	daN/cm2		daN/cm2	daN/cm2	daN/cm2
2	1	-2.57	-2.57	-2.57	2	-1.73	-2.48	-2.48	3	-1.74	-2.15	-2.15
	4	-0.93	-1.60	-1.60	5	-2.57	-2.57	-2.57	6	-1.14	-1.39	-1.39
	7	-1.87	-2.60	-2.60	8	-1.98	-2.23	-2.23	9	-1.33	-1.99	-1.99
	10	-1.46	-2.12	-2.12	11	-1.91	-1.89	-1.90	12	-1.09	-1.72	-1.72

	13	-1.15	-1.98	-1.98	14	1.66	-4.77	-4.77	15	-1.65	-1.58	-1.64
	16	1.68	-4.56	-4.56	17	-1.38	-1.74	-1.74	18	-1.70	-2.06	-2.06
	19	-1.63	-1.68	-1.68	20	-1.65	-1.35	-1.63	21	-1.27	-1.27	-1.27
	22	-1.88	-1.88	-1.88	23	-1.27	-1.27	-1.27	24	-0.96	-1.58	-1.58
	25	-0.96	-1.58	-1.58	26	-1.27	-1.27	-1.27	27	-1.27	-1.27	-1.27
	28	-1.44	-1.44	-1.44	29	1.68	-4.56	-4.56	30	1.86	-4.39	-4.39
	31	-1.58	-1.53	-1.57	32	-1.21	-1.90	-1.90	33	-1.38	-1.93	-1.93
3	1	-2.58	-2.57	-2.58	2	-1.67	-1.73	-1.73	3	-1.71	-1.74	-1.74
	4	-0.88	-0.93	-0.93	5	-2.58	-2.57	-2.58	6	-1.12	-1.14	-1.14
	7	-1.82	-1.87	-1.87	8	-1.96	-1.98	-1.98	9	-1.27	-1.33	-1.33
	10	-1.40	-1.46	-1.46	11	-1.91	-1.91	-1.91	12	-1.04	-1.09	-1.09
	13	-1.08	-1.15	-1.15	14	2.20	1.66	2.17	15	-1.66	-1.65	-1.66
	16	2.21	1.68	2.17	17	-1.35	-1.38	-1.38	18	-1.67	-1.70	-1.70
	19	-1.63	-1.63	-1.63	20	-1.68	-1.65	-1.67	21	-1.27	-1.27	-1.27
	22	-1.88	-1.88	-1.88	23	-1.27	-1.27	-1.27	24	-0.91	-0.96	-0.96
	25	-0.91	-0.96	-0.96	26	-1.27	-1.27	-1.27	27	-1.27	-1.27	-1.27
	28	-1.44	-1.44	-1.44	29	2.21	1.68	2.17	30	2.38	1.86	2.35
	31	-1.58	-1.58	-1.58	32	-1.15	-1.21	-1.21	33	-1.33	-1.38	-1.38
4	1	-2.57	-2.58	-2.58	2	-2.48	-2.55	-2.55	3	-2.15	-2.19	-2.19
	4	-1.60	-1.65	-1.65	5	-2.57	-2.58	-2.58	6	-1.39	-1.42	-1.42
	7	-2.60	-2.66	-2.66	8	-2.23	-2.26	-2.26	9	-1.99	-2.04	-2.04
	10	-2.12	-2.18	-2.18	11	-1.89	-1.89	-1.89	12	-1.72	-1.77	-1.77
	13	-1.98	-2.05	-2.05	14	-4.77	-5.31	-5.31	15	-1.58	-1.58	-1.58
	16	-4.56	-5.08	-5.08	17	-1.74	-1.78	-1.78	18	-2.06	-2.10	-2.10
	19	-1.68	-1.68	-1.68	20	-1.35	-1.33	-1.35	21	-1.27	-1.27	-1.27
	22	-1.88	-1.88	-1.88	23	-1.27	-1.27	-1.27	24	-1.58	-1.63	-1.63
	25	-1.58	-1.63	-1.63	26	-1.27	-1.27	-1.27	27	-1.27	-1.27	-1.27
	28	-1.44	-1.44	-1.44	29	-4.56	-5.08	-5.08	30	-4.39	-4.91	-4.91
	31	-1.53	-1.53	-1.53	32	-1.90	-1.96	-1.96	33	-1.93	-1.97	-1.97
<b>Elem.</b>		<b>Pt ini</b>	<b>Pt fin</b>	<b>Pt max</b>		<b>Pt ini</b>	<b>Pt fin</b>	<b>Pt max</b>		<b>Pt ini</b>	<b>Pt fin</b>	<b>Pt max</b>
		-5.31										

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

		2.38										
--	--	------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Il valore massimo di pressione sul terreno in condizioni statiche risulta pari a

$$q_{\max} = 0.266 \text{ Mpa}$$

Il valore massimo di pressione sul terreno in condizioni sismiche risulta pari a

$$q_{\max} = 0.508 \text{ MPa}$$

Pertanto la verifica di capacità portante risulta soddisfatta.

#### 8.1.5.2 Calcolo dei cedimenti indotti

Il calcolo dei cedimenti viene condotto con il metodo di Burland-Burbidge. 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 di 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  $\sigma'_{v0}$ , 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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

parità di profondità). Se il terreno è sovraconsolidato, l'equazione sopra si mantiene valida, con l'unico accorgimento che al posto di  $\sigma'_{v0}$  si troverà  $\sigma'_p$ , tensione di preconsolidazione (si ricordi il diagramma semilogaritmico delle prove edometriche).

Dalla relazione geotecnica CG0800PRBDCSBC8G000000001B si sono valutati i valori di  $N_{spt}$  riferiti al sondaggio S\_6 (situato in corrispondenza dell'opera) che fornisce un valore di  $N_{spt}$  pari a 58 ( $z=5,5$  m) e pari a 100 ( $z=30$  m).

Si riporta nel seguito il calcolo condotto per la determinazione del cedimento indotto per l'opera in esame, assumendo come carico agente, il valore più critico trovato nelle analisi di capacità portante SLE pari a 0,21 MPa e assumendo cautelativamente il valore di  $N_{spt}$  pari a 50.

Da cui si ottiene:

#### Determinazione dei Cedimenti - Metodo di Burland & Burbidge

$z =$	1,20	m	profondità piano di posa
$\gamma_{\text{terreno}} =$	20,00	kN/m <sup>3</sup>	peso terreno
$\gamma_w =$	10,0000	kN/m <sup>3</sup>	peso acqua
$z_w =$	20,00	m	profondità falda
$\Delta z_w =$	0,00	m	
$u =$	0,00	kPa	
$\sigma'_{v0} =$	24,00	kPa	
$N =$	53424,00	kN	Risultante forze normali
$B =$	10,60	m	Dimensione Longitudinale
$L =$	24,00	m	Dimensione Trasversale
$A =$	254,40	m <sup>2</sup>	Area Reale
$B_{\text{min}} =$	10,60	m	Dimensione minore Fondazione
$B_{\text{max}} =$	24,00	m	Dimensione maggiore Fondazione
$L/B =$	2,26	m/m	
$H =$		m	Altezza zona compressibile
$Z =$	5,87		Profondità di influenza della fondazione
$H/Z =$	0,00	m	
$f_s =$	1,267		Coefficiente di Forma
$f_h =$	1,00		Coefficiente Correttivo ( Hcomp )
$T =$	50,00	anni	Tempo in anni dalla Fine della Costruzione
$f_{t \text{ statico}} =$	1,54		Coefficiente Correttivo ( Effetti Secondari )
$f_{t \text{ ciclico}} =$	2,68		Coefficiente Correttivo ( Effetti Secondari )
$N =$	50,00		Parametro Prova SPT
$N_{\text{limo}} =$	32,50		Correzione $N_{spt}$ - Sabbie Fini e/o Limose - Sotto Falda

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> CS0482_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$N_{ghiaia} =$	62,50		Correzione N <sub>spt</sub> - Ghiaia o Sabbia Ghiaiosa -
$N_{corretto} =$	62,50		Parametro Prova SPT Utilizzato
$I_c =$	0,0077		Indice di Compressibilità
$q =$	210,00	kPa	Pressione Media
$S_{statico} =$	15,16	mm	26,87

Dall'analisi si evince quindi che l'entità massima dei cedimenti con le assunzioni fatte è dell'ordine dei 1,5 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 della spalla, a favore di sicurezza per le analisi svolte in questa fase progettuale.