

# 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>
--	--	---	--

<p><i>Unità Funzionale</i></p> <p><i>Tipo di sistema</i></p> <p><i>Raggruppamento di opere/attività</i></p> <p><i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i></p> <p><i>Titolo del documento</i></p>	<p>COLLEGAMENTI SICILIA</p> <p>INFRASTRUTTURE STRADALI – OPERE CIVILI</p> <p>SVINCOLO CURCURACI</p> <p>PONTE RAMPA 5</p> <p>RELAZIONE DI CALCOLO</p>	<p>SS0726_F0</p>
---	--	------------------

CODICE	C G 0 7 0 0 P C L D S S C C 5 V I R 5 0 0 0 0 0 1 F0
--------	--

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



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## INDICE

INDICE .....	3
1 RIFERIMENTI NORMATIVI .....	7
2 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....	7
3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI .....	9
3.1 Calcestruzzi (Secondo UNI 11104 - 2004).....	9
3.2 Acciaio per armature di conglomerato cementizio armato (Secondo NTC 2008 – D.M. 14/01/2008) .....	12
3.3 Acciaio per cemento armato precompresso (Secondo NTC 2008 – D.M. 14/01/2008) ..	13
4 DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA.....	14
4.1 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E UBICAZIONE DELLA STRUTTURA.....	14
4.2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL LUOGO.....	16
4.2.1 Descrizione delle litologie .....	16
4.2.2 Indagini previste .....	16
4.2.3 Caratterizzazione geotecnica.....	17
4.3 CARATTERIZZAZIONE DELLA SISMICITA' DEL LUOGO .....	21
4.3.1 Vita nominale.....	21
4.3.2 Classe d'uso .....	21
4.3.3 Periodo di riferimento per l'azione sismica .....	21
4.3.4 Parametri di progetto .....	22
4.3.5 Classificazione sismica del terreno .....	23
4.3.6 Spettro di risposta elastico in accelerazione .....	23
4.3.7 Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali.....	24
4.3.8 Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali.....	26
4.3.9 Spettro di progetto .....	27
4.4 CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE .....	28
4.4.1 Verifiche di resistenza.....	28
4.4.1.1 Verifiche di resistenza agli stati limite ultimi.....	28
4.4.2 Verifiche agli stati limite di esercizio.....	28
4.4.2.1 Definizione degli stati limite di fessurazione .....	28
4.4.2.2 Condizioni ambientali .....	29
4.4.2.3 Sensibilità delle armature alla corrosione .....	29

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

4.4.2.4	Scelta degli stati limite di fessurazione .....	29
4.4.2.5	Verifiche allo stato limite di fessurazione .....	30
4.4.2.6	Verifiche delle tensioni in esercizio .....	30
4.4.3	Combinazioni di carico .....	31
4.4.4	Azioni sismiche .....	34
5	FASI COSTRUTTIVE .....	36
6	ELABORATI DI RIFERIMENTO .....	37
7	ANALISI IMPALCATO .....	38
7.1	ANALISI DEI CARICHI .....	38
7.1.1	Carichi permanenti .....	38
7.1.1.1	Impalcato in c.a.p. ....	38
7.1.1.2	Soletta in calcestruzzo armato .....	39
7.1.1.3	Finiture .....	39
7.1.2	Carichi accidentali .....	39
	Accidentale folla .....	40
7.1.3	Deformazione termica .....	40
7.1.4	Azione di frenamento .....	40
7.1.5	Azione sismica .....	40
7.1.5.1	Vita nominale .....	41
7.1.5.2	Classe d'uso .....	41
7.1.5.3	Periodo di riferimento per l'azione sismica .....	41
7.1.5.4	Parametri di progetto .....	42
7.1.5.5	Classificazione sismica del terreno .....	43
7.1.5.6	Spettro di risposta elastico in accelerazione .....	43
7.1.5.7	Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali .....	44
7.1.5.8	Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali .....	46
7.1.5.9	Spettro di progetto .....	47
7.1.5.10	Determinazione della massa partecipante .....	47
7.1.6	Combinazione di carico .....	48
7.1.7	Azione indotta dagli appoggi per effetto della deformazione termica .....	48
7.2	CARATTERISTICHE GEOMETRICHE .....	49
7.3	ESCURSIONE DEI GIUNTI TRASVERSALI .....	50
7.4	VERIFICHE .....	51

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

8	ANALISI SISTEMA DI VINCOLAMENTO.....	129
8.1	ANALISI DEI CARICHI .....	129
9	ANALISI SOTTOSTRUTTURE .....	135
9.1	ANALISI DELLE SPALLE .....	135
9.1.1	ANALISI DEI CARICHI .....	136
9.1.1.1	Peso proprio strutture.....	136
9.1.1.2	Azioni trasmesse dall'impalcato .....	138
9.1.1.3	Azione sismica agente sulla spalla.....	142
9.1.2	Combinazioni di carico.....	151
9.1.2.1	Combinazioni di carico statiche.....	151
9.1.2.2	Combinazioni di carico Sismiche.....	152
9.1.3	MODELLO DI CALCOLO.....	153
9.1.3.1	DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO.....	153
9.1.4	AZIONI SISMICHE: CONFRONTO ANALISI DINAMICA – ANALISI STATICA EQUIVALENTE.....	153
9.1.4.1	ANALISI LINEARE DINAMICA.....	154
9.1.4.2	ANALISI STATICA EQUIVALENTE .....	158
9.1.5	CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI .....	161
9.1.5.1	Sollecitazioni muro frontale .....	162
9.1.5.2	Sollecitazioni fondazione.....	163
9.1.6	VERIFICA DELLE SEZIONI.....	166
9.1.7	Paraghiaia .....	166
9.1.7.1	Verifiche statiche.....	166
9.1.8	Muro frontale .....	170
9.1.8.1	Verifiche statiche.....	170
9.1.9	Verifiche fondazione .....	174
9.1.10	VERIFICA DEI MURI ANDATORI PREFABBRICATI .....	176
10	ANALISI DELLE FONDAZIONI .....	192
10.1	ANALISI DEL SISTEMA FONDAZIONALE DELLE SPALLE .....	192
10.1.1	ANALISI DEI CARICHI .....	192
10.1.2	MODELLO DI CALCOLO.....	194
10.1.2.1	DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO .....	194

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## PREMESSA

La presente relazione di calcolo tratta l'impalcato costituente il ponte rampa 5 facente parte dello svincolo denominato Curcuraci definito nel comprensorio dei collegamenti lato Sicilia del ponte sullo stretto di Messina ed inteso intrinsecamente come opera di scavalco dell'omonima fiumara.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 1 RIFERIMENTI NORMATIVI

I calcoli delle strutture sono stati eseguiti in base alle seguenti disposizioni:

- Legge 5/11/1971 n° 1086: "Norme per le discipline delle opere di conglomerato cementizio armato normale e precompresso ed a struttura metallica".
- Legge 2 febbraio 1974, n. 64 "Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche".
- D.M. del 14/01/2008 - "Norme Tecniche per le Costruzioni 2008"
- Istruzioni per l'applicazione delle norme tecniche per le costruzioni di cui al DM 14/01/2008 – Circolare 2 febbraio 2009 n. 617
- Norma UNI EN 206-1 : 2006 "Calcestruzzo. Parte 1 : specificazione, prestazione, produzione e conformità"
- Norma UNI EN 206-1 : 2006 "Calcestruzzo. Parte 1 : specificazione, prestazione, produzione e conformità"

## 2 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

[1] SEAOC Blue Book "Conceptual Framework for Performance-Based Seismic Design", Appendix B (2000).

[2] Gruppo di Lavoro (2004). Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici).

[3] Priestley M.J.N., Seible F. e Calvi G.M. "Seismic Design and Retrofit of Bridges", J. Wiley & Sons, Inc. (1996).

[4] Migliacci A. e Mola F., "Progetto agli stati limite delle strutture in c.a.". Parte prima e seconda, Ed. Masson. 1996.

[5] FEMA 440 – "Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures", prepared by ATC, ATC-55 Project, Redwood City CA, June 2005.

[6] FEMA 440 – "Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures", prepared by ATC, ATC-55 Project, Redwood City CA, June 2005.

[7] M. W. O'Neill and L. C. Reese "Drilled shafts: construction procedures and design methods", prepared for U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration; printed by ADSC: The International

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Association of Foundation Drilling, pub. n. ADSC-TL 4, August 1999.

[8] CALTRANS "Seismic Design Criteria" Version 1.1; California department of transportation, USA, July 1999.

[9] ATC-32 "Improved Seismic Design Criteria for California Bridges: Provisional Recommendations" Version 1.1; California, USA, June 1996.

[10] ATC-49 "Recommended LRFD guidelines for the seismic design of highway bridges. Part I: Specifications. Part II: Commentary and Appendices", ATC/MCEER Joint Venture, USA, June 2003.

[11] Roesset J.M. [1969] "Fundamentals of soil amplification", Conference on Seismic Design for Nuclear Power Plants, MIT, Ed. by Robert J. Hansen, Vol 1, pp. 183-244.

[12] Mylonakis G. [2001] "Simplified model for seismic pile bending at soil layer interfaces", The Japanese Geotechnical Society, Vol. 41, No. 4(20010815), pp. 47-58.

[13] Joseph E. Bowles. [1988] "Fondazioni – progetto e analisi", McGraw-Hill.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>	<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 3 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

#### 3.1 Calcestruzzi (Secondo UNI 11104 - 2004)

##### Per sottofondazioni

classe di resistenza

C12/15

classe di esposizione

XC0

##### Fondazioni pila e spalle

classe di resistenza

C25/30

modulo elastico

$E_c = 31.476 \text{ N/mm}^2$

resistenza caratteristica a compressione cilindrica

$f_{ck} = 25,00 \text{ N/mm}^2$

resistenza media a compressione cilindrica

$f_{cm} = 33,00 \text{ N/mm}^2$

resistenza di calcolo a compressione

$f_{cd} = 14,17 \text{ N/mm}^2$

resistenza a trazione ( valore medio )

$f_{ctm} = 2,56 \text{ N/mm}^2$

resistenza caratteristica a trazione

$f_{ctk} = 1,79 \text{ N/mm}^2$

resistenza caratteristica a trazione per flessione

$f_{ctk} = 2,15 \text{ N/mm}^2$

tensione a SLE – combinazione rara

$\sigma_C = 14,94 \text{ N/mm}^2$

tensione a SLE – combinazione quasi permanente

$\sigma_C = 11,20 \text{ N/mm}^2$

copriferro

$C = 40 \text{ mm}$

classe di esposizione

XC2

classe di consistenza slump

S4

max dimensione aggregati

$D_{max} = 32 \text{ mm}$

rapporto A/C massimo

0,50

##### Baggioli e ritegni sismici

classe di resistenza

C32/40

modulo elastico

$E_c = 33.346 \text{ N/mm}^2$

resistenza caratteristica a compressione cilindrica

$f_{ck} = 32,00 \text{ N/mm}^2$

resistenza media a compressione cilindrica

$f_{cm} = 40,00 \text{ N/mm}^2$

resistenza di calcolo a compressione

$f_{cd} = 18,13 \text{ N/mm}^2$

resistenza a trazione ( valore medio )

$f_{ctm} = 3,02 \text{ N/mm}^2$

resistenza caratteristica a trazione

$f_{ctk} = 2,11 \text{ N/mm}^2$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>	<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

resistenza caratteristica a trazione per flessione	$f_{cfk} =$	2,65	N/mm <sup>2</sup>
tensione a SLE – combinazione rara	$\sigma_C =$	19,92	N/mm <sup>2</sup>
tensione a SLE – combinazione quasi permanente	$\sigma_C =$	14,94	N/mm <sup>2</sup>
copriferro	$C =$	35	mm
classe di esposizione		XS1	XF2
classe di consistenza slump		S4	
max dimensione aggregati	$D_{max} =$	20	mm
rapporto A/C massimo		0,50	

### **Elevazioni spalle, muri, paraghiaia**

classe di resistenza		C32/40	
modulo elastico	$E_{c\Box} =$	33.346	N/mm <sup>2</sup>
resistenza caratteristica a compressione cilindrica	$f_{ck} =$	32,00	N/mm <sup>2</sup>
resistenza media a compressione cilindrica	$f_{cm} =$	40,00	N/mm <sup>2</sup>
resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} =$	18,13	N/mm <sup>2</sup>
resistenza a trazione ( valore medio )	$f_{ctm} =$	3,02	N/mm <sup>2</sup>
resistenza caratteristica a trazione	$f_{ctk} =$	2,11	N/mm <sup>2</sup>
resistenza caratteristica a trazione per flessione	$f_{cfk} =$	2,65	N/mm <sup>2</sup>
tensione a SLE – combinazione rara	$\sigma_C =$	19,92	N/mm <sup>2</sup>
tensione a SLE – combinazione quasi permanente	$\sigma_C =$	14,94	N/mm <sup>2</sup>
copriferro	$C =$	40	mm
classe di esposizione		XC4	XS1    XF2
classe di consistenza slump		S4	
max dimensione aggregati	$D_{max} =$	32	mm
rapporto A/C massimo		0,50	

### **Soletta di impalcato**

classe di resistenza		C32/40	
modulo elastico	$E_{c\Box} =$	33.346	N/mm <sup>2</sup>
resistenza caratteristica a compressione cilindrica	$f_{ck} =$	32,00	N/mm <sup>2</sup>
resistenza media a compressione cilindrica	$f_{cm} =$	40,00	N/mm <sup>2</sup>
resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} =$	18,13	N/mm <sup>2</sup>

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>	<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

resistenza a trazione ( valore medio )	$f_{ctm} =$	3,02	N/mm <sup>2</sup>
resistenza caratteristica a trazione	$f_{ctk} =$	2,11	N/mm <sup>2</sup>
resistenza caratteristica a trazione per flessione	$f_{cfk} =$	2,65	N/mm <sup>2</sup>
tensione a SLE – combinazione rara	$\sigma_C =$	19,92	N/mm <sup>2</sup>
tensione a SLE – combinazione quasi permanente	$\sigma_C =$	14,94	N/mm <sup>2</sup>
copriferro estradosso	$C =$	35	mm
classe di esposizione		XF4	XS1
classe di consistenza slump		S4	
max dimensione aggregati	$D_{max} =$	20	mm
rapporto A/C massimo		0,45	

### **Cordoli di impalcato**

classe di resistenza		C32/40	
modulo elastico	$E_{c\Box} =$	33.346	N/mm <sup>2</sup>
resistenza caratteristica a compressione cilindrica	$f_{ck} =$	32,00	N/mm <sup>2</sup>
resistenza media a compressione cilindrica	$f_{cm} =$	40,00	N/mm <sup>2</sup>
resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} =$	18,13	N/mm <sup>2</sup>
resistenza a trazione ( valore medio )	$f_{ctm} =$	3,02	N/mm <sup>2</sup>
resistenza caratteristica a trazione	$f_{ctk} =$	2,11	N/mm <sup>2</sup>
resistenza caratteristica a trazione per flessione	$f_{cfk} =$	2,65	N/mm <sup>2</sup>
tensione a SLE – combinazione rara	$\sigma_C =$	19,92	N/mm <sup>2</sup>
tensione a SLE – combinazione quasi permanente	$\sigma_C =$	14,94	N/mm <sup>2</sup>
copriferro	$C =$	35	mm
classe di esposizione		XS1	XF4
classe di consistenza slump		S4	
max dimensione aggregati	$D_{max} =$	20	mm
rapporto A/C massimo		0,45	

### **Ttravi di impalcato**

classe di resistenza		C45/55	
modulo elastico	$E_{c\Box} =$	34.077	N/mm <sup>2</sup>
resistenza caratteristica a compressione cilindrica	$f_{ck} =$	35,00	N/mm <sup>2</sup>
resistenza media a compressione cilindrica	$f_{cm} =$	43,00	N/mm <sup>2</sup>

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: left;">F0</td> <td style="text-align: left;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} =$	19,83	N/mm <sup>2</sup>
resistenza a trazione ( valore medio )	$f_{ctm} =$	3,21	N/mm <sup>2</sup>
resistenza caratteristica a trazione	$f_{ctk} =$	2,24	N/mm <sup>2</sup>
resistenza caratteristica a trazione per flessione	$f_{ctfk} =$	2,41	N/mm <sup>2</sup>
tensione a SLE – combinazione rara	$\sigma_c =$	21,00	N/mm <sup>2</sup>
tensione a SLE – combinazione quasi permanente	$\sigma_c =$	15,75	N/mm <sup>2</sup>
copriferro estradosso	$C =$	35	mm
classe di esposizione		XC4	
classe di consistenza slump		S4	
max dimensione aggregati	$D_{max} =$	20	mm
rapporto A/C massimo		0,50	

Per il calcestruzzo ordinario armato si assume il seguente peso per unità di volume:

$$\rho'_{cls} = \boxed{25} \text{ kN/m}^3$$

### 3.2 Acciaio per armature di conglomerato cementizio armato (Secondo NTC 2008 – D.M. 14/01/2008)

		<b>B450C</b>	
tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} =$	450	N/mm <sup>2</sup>
tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} =$	540	N/mm <sup>2</sup>
resistenza di calcolo a trazione	$f_{yd} =$	391,30	N/mm <sup>2</sup>
modulo elastico	$E_s =$	206.000	N/mm <sup>2</sup>
deformazione caratteristica al carico massimo	$\epsilon_{uk}$	7,50	%
deformazione di progetto	$\epsilon_{ud}$	6,75	%
coeff. resistenza a instabilità delle membrature	$\gamma_m =$	1,10	

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 3.3 Acciaio per cemento armato precompresso (Secondo NTC 2008 – D.M. 14/01/2008)

Si adottano trefoli da 0,6" in acciaio controllato in stabilimento che presentano le seguenti caratteristiche:

tensione caratteristica allo 0,1% di deformazione residua	$f_{p(0,1)_k} =$	1.600	N/mm <sup>2</sup>
tensione caratteristica allo 1% di deformazione totale	$f_{p(1)_k} =$	1.670	N/mm <sup>2</sup>
tensione caratteristica a rottura	$f_{tk} =$	1.860	N/mm <sup>2</sup>
Resistenza di calcolo	$f_{yd} =$	1.391	N/mm <sup>2</sup>
Deformazione caratteristica al carico massimo	$\epsilon_{uk}$	3,50	%
Area nominale	$A_{nom}$	139	mm <sup>2</sup>

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 4 DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA

### 4.1 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E UBICAZIONE DELLA STRUTTURA

La presente relazione di calcolo tratta le sottostrutture costituenti il ponte rampa 5 facente parte dello svincolo Curcuraci ed inteso intrinsecamente come opera di scavalco dell'omonima fiumara. Da un inquadramento infrastrutturale dell'opera è possibile desumerne la strutturazione fondamentale utilizzata nel corso delle analisi.

L'impalcato è caratterizzato da un asse non rettilineo, con sviluppo longitudinale tra gli appoggi pari a 24,65 m, e da una larghezza trasversale totale variabile da circa 14,25 a 14,90 m. Nel particolare l'estensione trasversale del suddetto impalcato, può essere ripartita in circa 10,50 m di superficie bitumata, 0,80 m di cordolo sinistro ed un cordolo destro variabile tra gli 0,80 e i 3,59 m. Trasversalmente la carreggiata presenta una pendenza variabile con un massimo di circa il 7%.

Da un punto di vista prettamente strutturale, l'impalcato del ponte oggetto di studio, è realizzato attraverso travi accostate in c.a.p.

Nell'ambito dell'esecuzione delle analisi strutturali, atte a fornire le sollecitazioni di progetto agenti sulle sottostrutture, viene utilizzato uno schema statico di trave semplicemente appoggiata, dotata di un'opportuna obliquità tra l'asse stradale e quello della spalle.

Le spalle afferenti a tale opera ed oggetto di studio del seguente elaborato, sono caratterizzate dalla presenza su entrambe di appoggi realizzati attraverso opportuni isolatori elastomerici. Esse nel particolare risultano realizzate in calcestruzzo armato gettato in opera. Geometricamente presentano ambedue un muro frontale di spessore pari a 3,00 m. In sommità al muro frontale è situato il muro paraghiaia di spessore costante pari a 0,50 m largo quanto il muro stesso e di altezza pari a circa 1,20 m, collegato ai due muretti laterali di larghezza pari a 0,80 m. Entrambe le spalle presentano una platea di fondazione con base a parallelogramma, di dimensioni pari a 12,35 x 21,28 m e spessore 2,50 m, corrispondenti a fondazioni di tipo diretto.

Ai lati delle spalle classiche sono presenti muri andatori posti in prosecuzione del muro frontale aventi lo scopo di sostenere il terreno del rilevato in protezione della fiumara esistente.

Nel seguito si riporta la pianta dell'opera.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>	<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

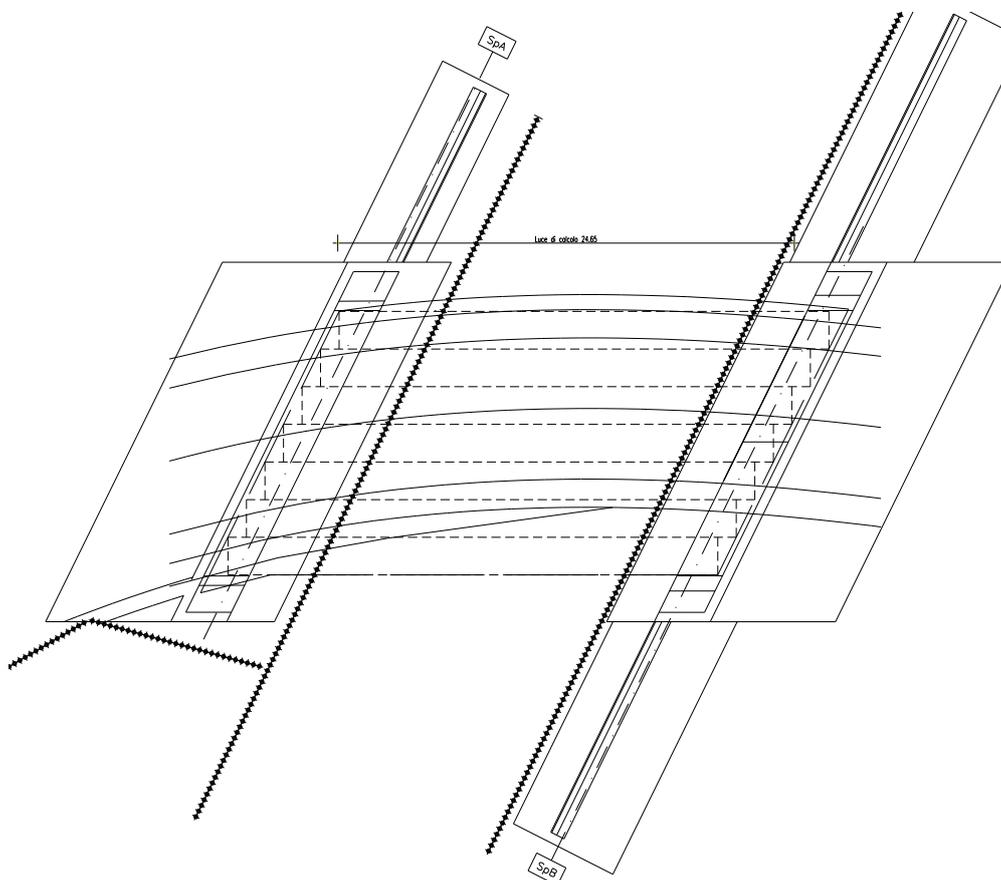


Figura 4.1 – Planimetria ponte rampa 5.

L'impalcato ha le seguenti caratteristiche geometriche:

- |                                    |         |
|------------------------------------|---------|
| • Luce di calcolo                  | 24,65 m |
| • Numero travi                     | 7       |
| • Lunghezza totale                 | 25,65 m |
| • Larghezza impalcato (media)      | 14,50 m |
| • Larghezza carreggiata (media)    | 10,50 m |
| • Larghezza cordolo sinistro       | 0,80 m  |
| • Larghezza cordolo destro (medio) | 2,50 m  |

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 4.2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL LUOGO

### 4.2.1 Descrizione delle litologie

Le litologie presenti sono Sabbie e Ghiaie di Messina e Depositi alluvionali.

La litologia prevalente è costituita dalla formazione delle Sabbie e Ghiaie di Messina.

I materiali in oggetto sono granulometricamente descritti come ghiaie e ciottoli da sub arrotondati ad appiattiti con matrice di sabbie grossolane.

Si rilevano strati di ghiaie cementate, come si evidenzia nei rilievi effettuati nelle aree di imbocco della galleria stradale Faro Superiore e Balena; in questi rilievi la ghiaia si presenta più o meno debolmente cementata e molto addensata. Lo scheletro si presenta costituito da ghiaie e ciottoli eterometrici arrotondati ed appiattiti.

I Depositi Alluvionali sono costituiti da ghiaie poligeniche ed eterometriche, giallastre o brune a clasti prevalentemente arrotondati di diametro da 2 a 30 cm, clasti sostenuti o a supporto di matrice argilloso-sabbiosa, alternate a rari sottili livelli di sabbie argillose rossastre; sabbie ciottolose a supporto di matrice argilloso-terrosa. L'età dei depositi alluvionali terrazzati è Pleistocene medio-superiore.

I depositi alluvionali recenti sono costituiti da limi e sabbie con livelli di ghiaie a supporto di matrice terroso-argillosa, talora terrazzati, localizzati in aree più elevate rispetto agli alvei fluviali attuali. La componente ruditica è rappresentata da ciottoli poligenici, prevalentemente cristallini, da spigolosi a subarrotondati di diametro tra 1 e 10 cm, mediamente di 4-5 cm. L'età dei depositi alluvionali recenti è l'Olocene.

La falda non risulta interferente con le opere.

### 4.2.2 Indagini previste

Data l'esiguità delle prove localmente presenti (S417, S418, SPPS03), si è scelto di tenere conto anche dei sondaggi della tratta che va dal Km 5+400 al Km 5+900 circa.

I sondaggi di riferimento per la presente tratta sono SPPS02 e SPPS03 (campagna del 2002), S415, S416, S417 e S418 (campagna del 2010).

La categoria di suolo sismico, secondo N.T.C: 2008, risulta pari a **B** (sondaggio S417, S418).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Le prove localmente utilizzate nella caratterizzazione sono:

- Prove di laboratorio per la determinazione delle caratteristiche fisiche (sondaggio S417)
- Prove granulometriche (sondaggi S417, SPPS02 e SPPS03)
- Prove SPT (sondaggi S417, S418, SPPS02, SPPS03)
- 1 prova Cross Hole (sondaggio S418)
- 1 prova Down hole (sondaggio SPPS02)
- 5 prove pressiometriche (sondaggi S417, S418)
- 4 prove Le Franc (sondaggi S417 e S418)

#### 4.2.3 Caratterizzazione geotecnica

Per i criteri e per gli aspetti generali di caratterizzazione si rimanda a quanto riportato nella relazione Elab. CG0800PRBDSSBC8G00000001B. Per la definizione delle categorie di suolo si rimanda al medesimo elaborato ed alla relazione sismica di riferimento.

Stratigrafia media	prof. (m)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi'$ (°)	$c'$ (Kpa)	$E'^*$ (MPa)	K (m/s)
Depositi alluvionali recenti	0 – 6	17-20	38-40	0	30 ÷ 70 / 40 ÷ 100 (0-10m)	10 <sup>-4</sup>
Sabbie e Ghiaie di Messina	>6	18-19	38-40	0	$E' = (15-36) z^{0.62}$	10 <sup>-4</sup> -10 <sup>-6</sup>
<b>Falda</b>	ASSENTE					

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

#### Sabbie e Ghiaie di Messina

Con riferimento al fuso medio (19 prove granulometriche) si ha che:  $d_{50}=0.8\text{mm}$ ,  $d_{60}=2\text{mm}$  e  $d_{10}=0.015\text{mm}$ . le percentuali medie di ghiaia, sabbia e limo sono rispettivamente di 38%, 47%, 12%.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- **Dr:** I valori di  $N_{spt}$  sono stati corretti con il fattore correttivo  $C_{sg}=0.75$  corrispondente al  $d50=0.8mm$ ;
- **$e_o$ :** a partire dal  $d50$  stimato si ottiene di  $e_{max}-e_{min}$  pari a 0.305, non dissimile dai valori reperibili in letteratura ( $0.17 < e_{max}-e_{min} < 0.29$ ). Stimando per  $e_{max}$  un valore pari a 0.8 a partire dai valori di  $Dr$  è stato possibile determinare i valori di  $e_o$  in sito;
- $\gamma_d$  : in base a tali valori di  $e_o$  e da  $\gamma_s$  si può stimare  $\gamma_d = 18-19KN/m^3$ ;
- **$K_0$ :** si considera la relazione di Mesri (1989) per tenere conto degli effetti di “aging”.

I primi 15 m sembrerebbero maggiormente addensati soprattutto nella porzione sabbio-ghiaiosa.

**Per i parametri di resistenza si ha:**

z(m)	Dr(%) Sabbie e ghiaie	$\phi'_p$ (pff=0-272KPa) (°)	$\phi'_{cv}$ (°)	$K_0$
<b>5-15</b>	<b>60-80</b>	<b>41-42</b>	<b>33-35</b>	<b>0.4-0.45</b>
<b>&gt;15</b>	<b>50-60</b>	<b>39-40</b>	<b>33-35</b>	<b>0.45</b>

Come parametri operativi per l'angolo d'attrito si utilizzerà  $\phi' = 38-40$ .

Per i parametri di deformabilità si ha localmente a disposizione la prova sismica S418 in cui si evidenzia una buona correlazione fra le velocità misurate e quelle calcolate con le correlazioni da prove SPT.

L' espressione ottenuta in base alle correlazioni dalle prove SPT della tratta per il modulo  $G_0$  :

$$G_0 = 45 z^{0.62}$$

$$E_0 = 108 z^{0.62}$$

$$E' = (15-36) z^{0.62}$$

Le prove pressiometriche (nei sondaggi S417 e S418), che forniscono valori del ramo di carico, mostrano i valori più elevati (300-600MPa) tra 10m e 25m.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## Depositi alluvionali

Per i parametri fisici l'andamento del fuso evidenzia che le caratteristiche granulometriche dei materiali in esame sono tipiche di materiali sia di materiali a grana grossa (ghiaie 39%), sia di materiali intermedi (sabbie 45%). Il contenuto di fino è mediamente del 14%

Con riferimento al fuso medio:

- Il valore di  $D_{50}$  è pari a 0.8mm
- Il valore di  $D_{60}$  è pari a 2 mm
- Il valore di  $D_{10}$  è pari a 0.01 mm

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

Non si hanno a disposizione i valori di  $\gamma_{dmax}$  e  $\gamma_{dmin}$ .

Per quanto concerne stato iniziale e parametri di resistenza si ha:

- **Dr:** I valori di  $N_{spt}$  sono stati corretti con il fattore correttivo  $C_{sg}=0.75$  corrispondente al  $d_{50}=0.8mm$ ,
- **$e_o$ :** a partire dal  $d_{50}$  stimato si ottiene di  $e_{max}-e_{min}$  pari a 0.305 stimando per  $e_{max}$  un valore pari a 0.7 a partire dai valori di  $Dr$  è stato possibile determinare i valori di  $e_o$  in sito.
- **$\gamma_d$ :** si ottiene un pari a 17-20 KN/m<sup>3</sup>.
- **$K_0$ :** si considera la relazione di Jaky.

z(m)	Dr(%) Sabbie e ghiaie	$\phi'_p$ (pff=0-272KPa) (°)	$\phi'_{cv}$ (°)	$K_0$
<b>0-10</b>	<b>50-80</b>	<b>40-42</b>	<b>33-35</b>	<b>0.4-0.35</b>

Come parametri operativi per l'angolo d'attrito si utilizzerà  $\phi' = 38-40$ .

Per i parametri di deformabilità si ha localmente a disposizione la prova sismica S418.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

L' espressione ottenuta in base alle correlazioni dalle prove SPT ed alla sismica della tratta per il modulo  $G_0$ :

$$G_0 = 80 \div 150 \text{ MPa (0-10m)}$$

$$E_0 = 200 \div 300 \text{ MPa}$$

$$E = 30 \div 70 / 40 \div 100 \text{ MPa (0-10m)}$$

quest' ultimo range è relativo rispettivamente ad  $1/10 \div 1/5 E_0$  ed ad  $1/3 E_0$  corrispondenti rispettivamente a medie- grandi deformazioni ed a piccole deformazioni.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 4.3 CARATTERIZZAZIONE DELLA SISMICITA' DEL LUOGO

### 4.3.1 Vita nominale

La vita nominale di un'opera strutturale è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata. Nel caso in oggetto, l'opera ricade all'interno del tipo di costruzione: "Grandi opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica" (paragrafo 2.4 delle 'Nuove Norme tecniche per le costruzioni – D.M. 14 gennaio 2008").

La vita nominale si assume pertanto pari a  $V_N = 100$  anni.

### 4.3.2 Classe d'uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un'eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso. Nel caso in oggetto si fa riferimento alla Classe IV: costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità..... Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico."

Il coefficiente d'uso si assume pertanto pari a  $c_U = 2,0$  anni.

### 4.3.3 Periodo di riferimento per l'azione sismica

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$ . Tale coefficiente è funzione della classe d'uso.

$$V_R = V_N \times C_U = 100 \text{ anni} \times 2 = 200 \text{ anni}$$

Le probabilità di superamento  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$ , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente, sono pari al 10% nel caso dello stato limite SLV.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

#### 4.3.4 Parametri di progetto

Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle NTC, dalle accelerazioni  $a_g$  e dalle relative forme spettrali.

Le forme spettrali previste dalle NTC sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima del terreno;
- $F_0$  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.

Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno  $T_R$  considerati dalla pericolosità sismica, i tre parametri si ricavano riferendosi ai valori corrispondenti al 50esimo percentile ed attribuendo ad:

$a_g$  il valore previsto dalla pericolosità sismica;

$F_0$  e  $T_C^*$  i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica.

Le forme spettrali previste dalle NTC sono caratterizzate da prescelte probabilità di superamento e vite di riferimento. A tal fine occorre fissare:

- la vita di riferimento  $V_R$  della costruzione;
- le probabilità di superamento nella vita di riferimento  $PVR$  associate agli stati limite considerati, per individuare infine, a partire dai dati di pericolosità sismica disponibili, le corrispondenti azioni sismiche.

A tal fine è conveniente utilizzare, come parametro caratterizzante la pericolosità sismica, il periodo di ritorno dell'azione sismica  $T_R$ , espresso in anni. Fissata la vita di riferimento  $V_R$ , i due parametri  $T_R$  e  $PVR$  sono immediatamente esprimibili, l'uno in funzione dell'altro, mediante l'espressione:

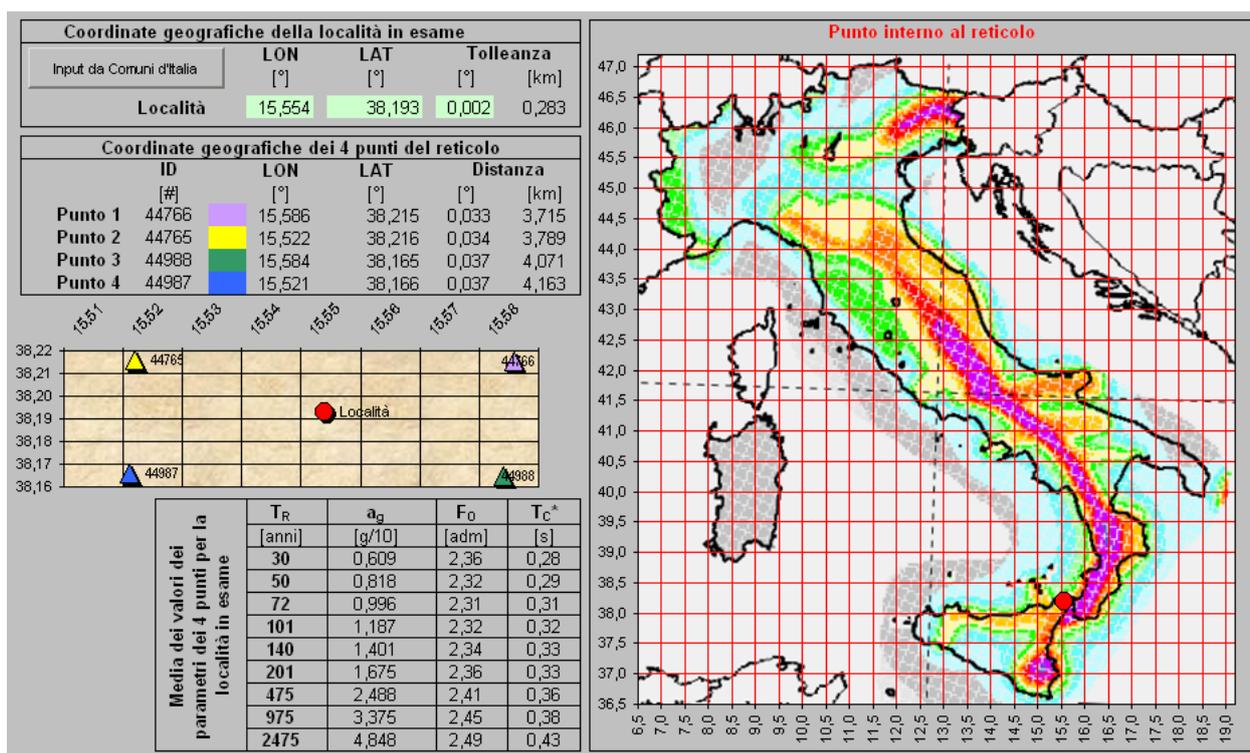
		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>	<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} = -\frac{200}{\ln(1 - 0.1)} = 1.898 \text{ anni}$$

I valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_C^*$  relativi alla pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento sono forniti nelle tabelle riportate nell'ALLEGATO B delle NTC.

I punti del reticolo di riferimento sono definiti in termini di Latitudine e Longitudine ed ordinati a Latitudine e Longitudine crescenti, facendo variare prima la Longitudine e poi la Latitudine. L'accelerazione al sito  $a_g$  è espressa in g/10;  $F_0$  è adimensionale,  $T_C^*$  è espresso in secondi.

Nel seguito si riporta una tabella riassuntiva dei parametri che caratterizzano il Comune di Messina:



#### 4.3.5 Classificazione sismica del terreno

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, in accordo con le NTC, si fa riferimento all'approccio semplificato che si basa sulla individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento.

Gli studi eseguiti, con particolare riferimento alle prove Cross Hole dei sondaggi denominati S417 e S418 già indicati al paragrafo 4.2.1 della presente relazione, denotano che il terreno è

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

classificabile come **Classe B** che include rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa addensati o terreni a grana fina molto consistenti.

#### 4.3.6 Spettro di risposta elastico in accelerazione

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione è espresso da una forma spettrale (spettro normalizzato) riferita ad uno smorzamento convenzionale del 5%, moltiplicata per il valore della accelerazione orizzontale massima  $a_g$  su sito di riferimento rigido orizzontale. Sia la forma spettrale che il valore di  $a_g$  variano al variare della probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ .

#### 4.3.7 Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

Lo spettro di risposta elastico della componente orizzontale è definito dalle espressioni seguenti:

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

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

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

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

nelle quali  $T$  ed  $S_e$  sono, rispettivamente, periodo di vibrazione ed accelerazione spettrale orizzontale.

Inoltre:

- $S$ : è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione seguente:  $S = S_S \cdot S_T$
- essendo  $S_S$  il coefficiente di amplificazione stratigrafica e  $S_T$  il coefficiente di amplificazione topografica riportati nelle tabelle seguenti;

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

CATEGORIA SOTTOSUOLO	$S_s$	$C_c$
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T^*_c)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T^*_c)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T^*_c)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T^*_c)^{-0,40}$

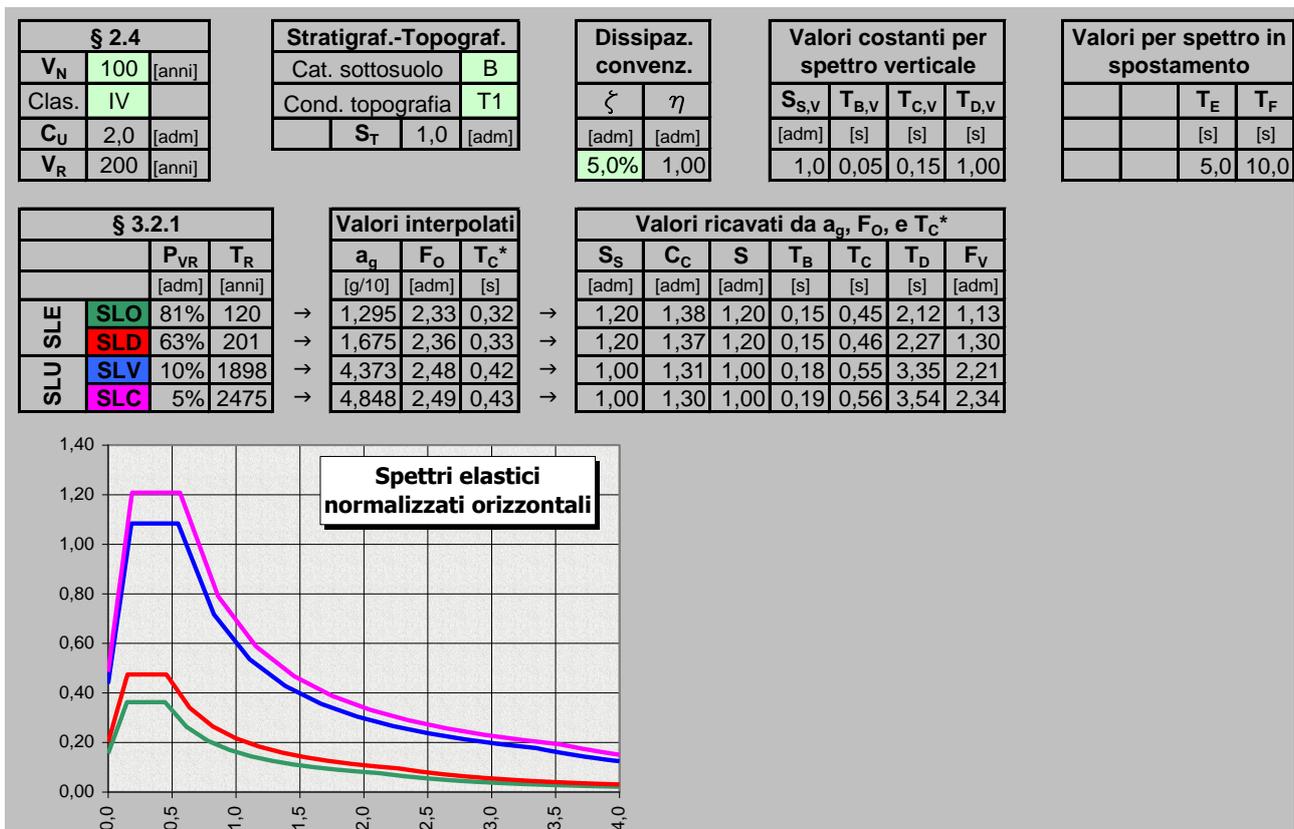
CATEGORIA TOPOGRAFICA	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	-	1,00
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2

- $\eta$ : è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali  $\xi$  diversi dal 5%, mediante la relazione:  $\eta = \sqrt{\frac{10}{(5 + \xi)}} \geq 0,55$
- dove  $\xi$  (espresso in percentuale) è valutato sulla base di materiali, tipologia strutturale e terreno di fondazione;
- $F_0$ : è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2,2;
- $T_C$ : è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da:  $T_C = C_c \cdot T^*_c$ ; dove  $C_c$  è un coefficiente funzione della categoria di sottosuolo;
- $T_B$ : è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante;  $T_B = T_C / 3$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc

- TD: è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, espresso in secondi mediante la relazione:  $T_D = 4,0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1,6$

Nel seguito si riportano gli spettri elastici orizzontali relativi al sito ed al terreno.



#### 4.3.8 Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione della componente verticale è definito dalle espressioni seguenti:

$$0 \leq T \leq T_B \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_V \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_O} \cdot \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

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

$$T_C \leq T \leq T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_V \cdot \frac{T_C}{T}$$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

nelle quali  $T$  e  $S_{ve}$  sono, rispettivamente, periodo di vibrazione ed accelerazione spettrale verticale e  $F_V$  è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, in termini di accelerazione orizzontale massima del terreno  $a_g$  su sito di riferimento rigido orizzontale, mediante la relazione:

$$F_V = 1,35 \cdot F_0 \cdot \left( \frac{a_g}{g} \right)^{0,5}$$

I valori di  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $S_T$ ,  $S$ ,  $\eta$  sono quelli già definiti per le componenti orizzontali; i valori di  $S_S$ ,  $T_B$ ,  $T_C$  e  $T_D$ , sono invece quelli riportati nella tabella seguente.

CATEGORIA SOTTOSUOLO	$S_S$	$T_B$	$T_C$	$T_D$
A, B, C, D, E	1,00	0,05 s	0,15 s	1,0 s

#### 4.3.9 Spettro di progetto

Per gli stati limite di esercizio lo spettro di progetto  $S_d(T)$  da utilizzare, sia per le componenti orizzontali che per la componente verticale, è lo spettro elastico corrispondente, riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR considerata.

Per le verifiche agli stati limite ultimi lo spettro di progetto  $S_d(T)$  da utilizzare, sia per le componenti orizzontali, sia per la componente verticale, è lo spettro elastico corrispondente riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$  considerata con le ordinate ridotte sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura, nelle formule precedentemente riportate e comunque:  $S_d(T) \geq 0,2 \cdot a_g$ .

Il valore del fattore di struttura  $q$  da utilizzare per ciascuna direzione della azione sismica, dipende dalla tipologia strutturale, dal suo grado di iperstaticità e dai criteri di progettazione adottati e prende in conto le non linearità di materiale. Esso può essere calcolato tramite la seguente espressione:

$$q = q_0 \times K_R = 1,0$$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 4.4 CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE

### 4.4.1 Verifiche di resistenza

Le verifiche delle sezioni più sollecitate sono state condotte seguendo le prescrizioni del D.M.14/01/08 e seguendo le indicazioni della norma UNI EN 1992-2005.

Più specificatamente la verifica di resistenza delle sezioni nei vari elementi strutturali, viene condotta tenendo conto della verifica agli stati limite ultimi, e delle verifiche nei riguardi della fessurazione e delle tensioni di esercizio.

#### 4.4.1.1 Verifiche di resistenza agli stati limite ultimi

Si è verificato che il valore di progetto degli effetti delle azioni, ovvero delle sollecitazioni flettenti  $M_d$  sia minore dei corrispondenti momenti resistenti  $M_r$  delle sezioni di progetto.

La verifica di resistenza delle sezioni nei vari elementi strutturali, viene condotta tenendo conto delle condizioni più gravose che si individuano dall'involuppo delle sollecitazioni agenti nelle diverse combinazioni di carico.

Le combinazioni e i coefficienti moltiplicativi delle singole azioni vengono definiti in base a quanto indicato nel D.M. 14 gennaio 2008.

Per quanto riguarda le verifiche a taglio ultimo, si è fatto riferimento al paragrafo 4.1.2.1.3 "Resistenza nei confronti di sollecitazioni taglienti" del D.M. 14 gennaio 2008.

### 4.4.2 Verifiche agli stati limite di esercizio

#### 4.4.2.1 Definizione degli stati limite di fessurazione

In ordine di severità crescente si distinguono i seguenti stati limite:

- a) stato limite di decompressione nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, la tensione normale è ovunque di compressione ed al più uguale a 0 ;
- b) stato limite di formazione delle fessure, nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, la tensione normale di trazione nella fibra più sollecitata è:

$$\sigma_t = \frac{f_{ctm}}{1,2}$$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<table border="1" 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						

c) stato limite di apertura delle fessure nel quale, per la combinazione di azioni prescelta, il valore limite di apertura della fessura calcolato al livello considerato è pari ad uno dei seguenti valori nominali:

$$w_1 = 0,2 \text{ mm}$$

$$w_2 = 0,3 \text{ mm}$$

$$w_3 = 0,4 \text{ mm}$$

Lo stato limite di fessurazione deve essere fissato in funzione delle condizioni ambientali e della sensibilità delle armature alla corrosione.

#### 4.4.2.2 Condizioni ambientali

Le condizioni ambientali, ai fini della protezione contro la corrosione delle armature metalliche, possono essere suddivise in ordinarie, aggressive e molto aggressive in relazione a quanto indicato nella tabella seguente:

CONDIZIONI AMBIENTALI	CLASSE DI ESPOSIZIONE
Ordinarie	X0, XC1, XC2, XC3, XF1
Aggressive	XC4, XD1, XS1, XA1, XA2, XF2, XF3
Molto aggressive	XD2, XD3, XS2, XS3, XA3, XF4

Nel caso in esame si considera l'opera sottoposta a condizioni ordinarie.

#### 4.4.2.3 Sensibilità delle armature alla corrosione

Le armature si distinguono in due gruppi:

- armature sensibili;
- armature poco sensibili.

Appartengono al primo gruppo gli acciai da precompresso. Appartengono al secondo gruppo gli acciai ordinari. Per gli acciai zincati e per quelli inossidabili si può tener conto della loro minor sensibilità alla corrosione.

#### 4.4.2.4 Scelta degli stati limite di fessurazione

Nella tabella sottostante sono indicati i criteri di scelta dello stato limite di fessurazione con riferimento alle esigenze sopra riportate.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Gruppi di esigenze	Condizioni ambientali	Combinazione di azioni	Armatura			
			Sensibile		Poco sensibile	
			Stato limite	w <sub>d</sub>	Stato limite	w <sub>d</sub>
a	Ordinarie	frequente	ap. fessure	≤ w <sub>2</sub>	ap. fessure	≤ w <sub>3</sub>
		quasi permanente	ap. fessure	≤ w <sub>1</sub>	ap. fessure	≤ w <sub>2</sub>
b	Aggressive	frequente	ap. fessure	≤ w <sub>1</sub>	ap. fessure	≤ w <sub>2</sub>
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	≤ w <sub>1</sub>
c	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	≤ w <sub>1</sub>
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	≤ w <sub>1</sub>

#### 4.4.2.5 Verifiche allo stato limite di fessurazione

##### Stato limite di decompressione e di formazione delle fessure

Le tensioni sono calcolate in base alle caratteristiche geometriche e meccaniche della sezione omogeneizzata non fessurata.

##### Stato limite di apertura delle fessure

Il valore caratteristico di calcolo di apertura delle fessure ( $w_d$ ) non deve superare i valori nominali  $w_1$ ,  $w_2$ ,  $w_3$  secondo quanto riportato nella Tabella sopra riportata.

Il valore caratteristico di calcolo è dato da:

$$w_d = 1,7 \cdot w_m$$

dove  $w_m$  rappresenta l'ampiezza media delle fessure.

L'ampiezza media delle fessure  $w_m$  è calcolata come prodotto della deformazione media delle barre d'armatura  $\varepsilon_{sm}$  per la distanza media tra le fessure  $\Delta_{sm}$ :

$$w_m = \varepsilon_{sm} \cdot \Delta_{sm}$$

Per il calcolo di  $\varepsilon_{sm}$  e  $\Delta_{sm}$  vanno utilizzati criteri consolidati riportati nella letteratura tecnica.  $\varepsilon_{sm}$  può essere calcolato tenendo conto dell'effetto del "tension stiffening" nel rispetto della limitazione:

$$\varepsilon_{sm} \geq 0,6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

con  $\sigma_s$  tensione nell'acciaio dell'armatura tesa (per sezione fessurata) nelle condizioni di carico considerate ed  $E_s$  è il modulo elastico dell'acciaio.

#### 4.4.2.6 Verifiche delle tensioni in esercizio

Valutate le azioni interne nelle varie parti della struttura, dovute alle combinazioni caratteristica e quasi permanente delle azioni, si calcolano le massime tensioni sia nel calcestruzzo sia nelle

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

armature; si deve verificare che tali tensioni siano inferiori ai massimi valori consentiti di seguito riportati.

#### **Tensione massima di compressione del calcestruzzo nelle condizioni di esercizio**

La massima tensione di compressione del calcestruzzo  $\sigma_c$ , deve rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_c < 0.6 \cdot f_{ck} \text{ per la combinazione caratteristica (rara);}$$

$$\sigma_c < 0.45 \cdot f_{ck} \text{ per la combinazione caratteristica quasi permanente.}$$

Nel caso di elementi piani (solette, pareti, ...) gettati in opera con calcestruzzi ordinari e con spessori di calcestruzzo minori di 50 mm i valori limite sopra scritti vanno ridotti del 20%.

#### **Tensione massima dell'acciaio in condizioni di esercizio**

Per l'acciaio la tensione massima,  $\sigma_s$ , per effetto delle azioni dovute alla combinazione caratteristica deve rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_s < 0.8 \cdot f_{yk}$$

#### **4.4.3 Combinazioni di carico**

Ai fini della determinazione dei valori caratteristici delle azioni dovute al traffico, si dovranno considerare, generalmente, le combinazioni riportate in Tab. 5.1.IV. A causa della natura dell'opera, i gruppi di azioni da prendere in esame risultano esclusivamente i gruppi 1, 2a e 2b.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>	<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0

Tabella 5.1.IV – Valori caratteristici delle azioni dovute al traffico

<i>Carichi sulla carreggiata</i>						<i>Carichi su marciapiedi e piste ciclabili</i>
<b>Carichi verticali</b>				<b>Carichi orizzontali</b>		<b>Carichi verticali</b>
Gruppo di azioni	Modello principale (Schemi di carico 1, 2, 3, 4, 6)	Veicoli speciali	Folla (Schema di carico 5)	Frenatura q <sub>3</sub>	Forza centrifuga q <sub>4</sub>	Carico uniformemente distribuito
1	Valore caratteristico					Schema di carico 5 con valore di combinazione 2,5 kN/m <sup>2</sup>
2 a	Valore frequente			Valore caratteristico		
2 b	Valore frequente				Valore caratteristico	
3 (*)						Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0 kN/m <sup>2</sup>
4 (**)			Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0 kN/m <sup>2</sup>			Schema di carico 5 con valore caratteristico 5,0 kN/m <sup>2</sup>
5 (***)	Da definirsi per il singolo progetto	Valore caratteristico o nominale				

(\*) Ponti di 3<sup>a</sup> categoria  
(\*\*) Da considerare solo se richiesto dal particolare progetto (ad es. ponti in zona urbana)  
(\*\*\*) Da considerare solo se si considerano veicoli speciali

La Tab. 5.1.V 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, quando pertinente;

$\gamma_{G2}$  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  $\gamma_p=1$ .

I valori dei coefficienti  $\psi_{0j}$ ,  $\psi_{1j}$  e  $\psi_{2j}$  per le diverse categorie di azioni sono riportati nella Tab. 5.1.VI.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>	<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0

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

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

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

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

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

Sono state analizzate le combinazioni di carico agli stati limite ultimi distinguendo lo stato limite di resistenza della struttura (STR), facente riferimento ai coefficienti parziali A1 e lo stato limite di resistenza del terreno (GEO), facente riferimento ai coefficienti parziali A2.

Agli stati limite di esercizio si sono considerate le verifiche per le combinazioni rara e frequente.

**SLU:**  $\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{k1} + \gamma_{Q2} \cdot \Psi_{02} \cdot Q_{k2} + \gamma_{Q3} \cdot \Psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$

**SLE RARA:**  $G_1 + G_2 + P + Q_{k1} + \Psi_{02} \cdot Q_{k2} + \Psi_{03} \cdot Q_{k3} + \dots$

**SLE FREQUENTE:**  $G_1 + G_2 + P + \Psi_{11} \cdot Q_{k1} + \Psi_{22} \cdot Q_{k2} + \Psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$

**SLE QUASI PERMANENTE:**  $G_1 + G_2 + P + \Psi_{21} \cdot Q_{k1} + \Psi_{22} \cdot Q_{k2} + \Psi_{23} \cdot Q_{k3} + \dots$

**SISMICA:**  $E + G_1 + G_2 + P + \Psi_{21} \cdot Q_{k1} + \Psi_{22} \cdot Q_{k2} + \dots$

Combinazione utilizzata nell'analisi dell'impalcato:

COEFFICIENTI DI COMBINAZIONE PER LE VERIFICHE ALLO SLU STR			
	$\gamma$	$\Psi$	$\gamma \cdot \Psi$
Peso proprio acciaio	1,35	1,00	1,35
Peso proprio soletta	1,35	1,00	1,35
Permanenti	1,50	1,00	1,50
Effetti primari del ritiro	1,20	1,00	1,20
Effetti secondari del ritiro	1,20	1,00	1,20
Accidentali mezzi	1,35	1,00	1,35
Vento	1,5	0,60	0,90
Deformazioni termiche	1,20	0,60	0,72

Azione base accidentali

#### 4.4.4 Azioni sismiche

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione, che costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale di categoria A, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$ .

Nel presente progetto è stata verificata la combinazione di carico sismica con riferimento allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV): a seguito del terremoto la struttura subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

cui si associa una perdita significativa di rigidezza nei confronti delle azioni orizzontali; mentre conserva invece una parte della esistenza e rigidezza per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.

Tutti i parametri sismici utilizzati per i calcoli sono già specificati al capitolo 4.3 caratterizzazione della sismicità del luogo” presente all’interno di questa relazione.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 5 FASI COSTRUTTIVE

Le fasi costruttive per l'esecuzione dell'opera in oggetto sono le seguenti:

- Scavo di sbancamento;
- Realizzazione opere provvisoriale;
- Scavo di fondazione;
- Costruzione delle spalle;
- Messa in opera del sistema di appoggi;
- Varo delle travi in c.a.p.;
- Posa in opera coppelle e armatura;
- Getto della soletta di impalcato;
- Getto dei cordoli in c.a.;
- Realizzazione opere di finitura (pavimentazione, barriere di sicurezza, reti di protezione ecc.).

Nel particolare per quanto concerne l'impalcato le fasi possono essere così schematizzate:

La realizzazione dell'impalcato prevede le seguenti fasi:

- Fase Ia: varo travi in c.a.p.
- Fase Ib: getto della soletta superiore.
- Fase II: Applicazione degli elementi non strutturali (carichi permanenti portati).
- Al fine dell'analisi strutturale si definiscono, inoltre, le seguenti fasi:
- Fase III: Applicazione carichi accidentali di breve durata.
- Fase IV: Perdite di precompressione per ritiro del calcestruzzo.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 6 ELABORATI DI RIFERIMENTO

CG0700	P	RG	D	S	SC	C5	VI	R5	00	00	01	B
CG0700	P	SH	D	S	SC	C5	VI	R5	00	00	01	B
CG0700	P	CL	D	S	SC	C5	VI	R5	00	00	01	B
CG0700	P	RB	D	S	SC	C5	VI	R5	00	00	01	B
CG0700	P	P7	D	S	SC	C5	VI	R5	00	00	01	B
CG0700	P	FZ	D	S	SC	C5	VI	R5	00	00	01	B
CG0700	P	P8	D	S	SC	C5	VI	R5	00	00	01	B
CG0700	P	Z9	D	S	SC	C5	VI	R5	00	00	01	B
CG0700	P	PA	D	S	SC	C5	VI	R5	00	00	01	B
CG0700	P	BA	D	S	SC	C5	VI	R5	00	00	01	B
CG0700	P	BA	D	S	SC	C5	VI	R5	00	00	02	B
CG0700	P	BZ	D	S	SC	C5	VI	R5	00	00	02	B
CG0700	P	BZ	D	S	SC	C5	VI	R5	00	00	01	B
CG0700	P	SA	D	S	SC	C5	VI	R5	00	00	01	B
CG0700	P	SA	D	S	SC	C5	VI	R5	00	00	02	B
CG0700	P	BA	D	S	SC	C5	VI	R5	00	00	04	B

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 7 ANALISI IMPALCATO

Si svolge la verifica di un impalcato da ponte in semplice appoggio, realizzato con l'uso di travi prefabbricate precomprese a trefoli aderenti, solidarizzate tra loro con soletta collaborante gettata in opera.

Il peso della soletta, come pure i sovraccarichi permanenti, si suddividono tra le varie travi proporzionalmente alle rispettive larghezze di soletta collaborante.

I carichi accidentali sono quelli previsti dal vigente regolamento per ponti stradali; essi si ripartiscono tra le travi mediante il metodo di Massonnet-Guyon, i cui parametri flessionale e torsionale sono calcolati facendo riferimento alle caratteristiche statico-geometriche della sezione di solo calcestruzzo di una trave interna, con la rispettiva soletta collaborante.

Si tiene conto della diversa classe di calcestruzzo fra trave e soletta, tramite un coefficiente d'omogeneizzazione pari al rapporto tra i rispettivi moduli elastici convenzionali di regolamento; si trascura l'eventuale contributo statico offerto dal calcestruzzo di soletta presente sotto la quota d'estradosso della trave.

Le cadute di tensione nell'armatura di precompressione si scontano in parte sulla trave isolata e in parte sulla sezione composta, nelle proporzioni indicate in seguito.

Si tiene conto del ritiro differenziale fra trave e soletta, valutandone gli effetti sullo stato tensionale della sezione composta e sulle tensioni tangenziali di scorrimento all'estradosso trave.

### 7.1 ANALISI DEI CARICHI

#### 7.1.1 Carichi permanenti

I carichi permanenti che gravano sull'impalcato sono costituiti dal peso proprio dell'impalcato stesso, realizzato con travi in c.a.p. affiancate, da una soletta di completamento in c.a. e dai carichi permanenti portati (pavimentazione, barriere metalliche, velette).

##### 7.1.1.1 Impalcato in c.a.p.

Il peso dell'impalcato, costituito da travi prefabbricate in calcestruzzo armato precompresso, viene considerato in base alla sezione reale delle travi stesse con peso di volume pari a  $2.500 \text{ daN/m}^3$ .

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

### 7.1.1.2 Soletta in calcestruzzo armato

$$q_{\text{soletta}} = 0,25 \cdot 2.500 = 625 \text{ daN/m}^2 \quad \text{peso proprio soletta c.a.}$$

### 7.1.1.3 Finiture

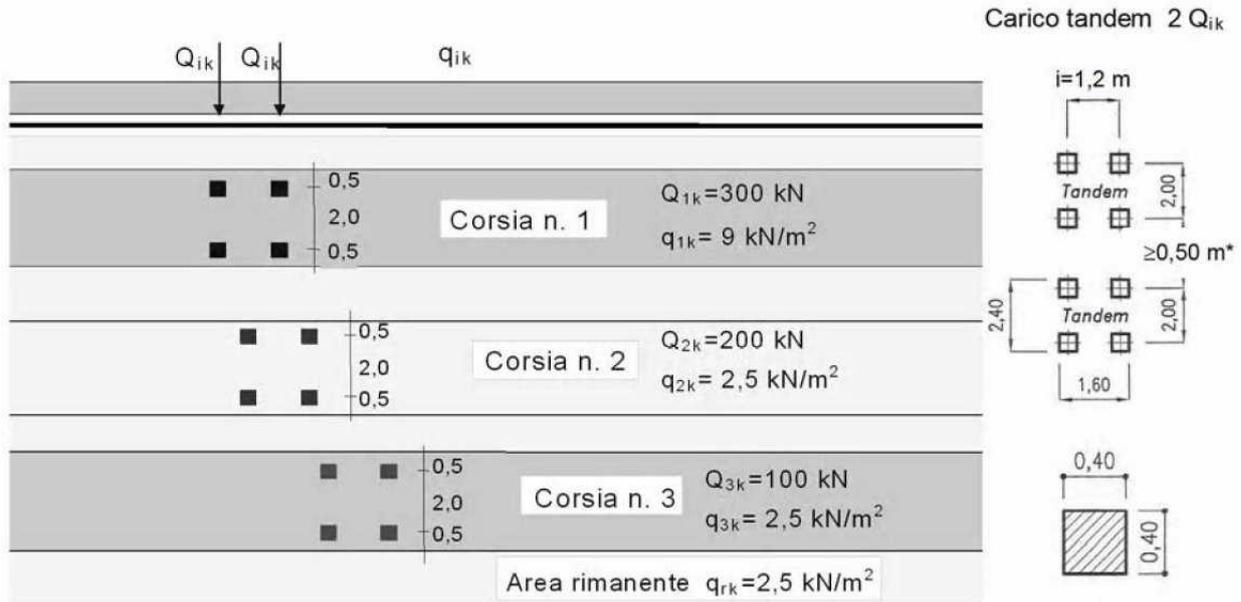
$$q_1 = 0,15 \cdot 2.500 = 375 \text{ daN/m} \quad \text{cordolo}$$

$$q_2 = 150 \text{ daN/m} \quad \text{barriera Bordo Ponte}$$

$$q_3 = 300 \text{ daN/m} \quad \text{pavimentazione}$$

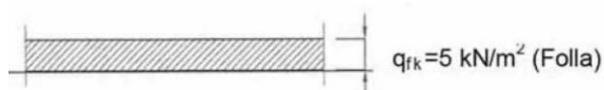
### 7.1.2 Carichi accidentali

Le azioni variabili del traffico definite nello Schema di Carico 1 sono costituite da carichi concentrati e da carichi uniformemente distribuiti. Tale schema è da assumere a riferimento sia per le verifiche globali, sia per le verifiche locali.



Schema di carico 1 (dimensioni in [m])

\*per  $w_l \leq 2,90 \text{ m}$



Schema di carico 5

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

Il numero delle colonne di carichi mobili e la loro disposizione sono quelli massimi compatibili con la larghezza della carreggiata considerata, per i ponti di 1<sup>a</sup> Categoria.

Posizione	Carico asse $Q_{ik}$ [kN]	$q_{ik}$ [kN/m <sup>2</sup> ]
Corsia Numero 1	300	9
Corsia Numero 2	200	2,5
Corsia Numero 3	100	2,5
Altre corsie	0,00	2,50

Si precisa che secondo il Nuovo Testo Unico del 14 gennaio 2008, i carichi mobili includono gli effetti dinamici.

#### Accidentale folla

Il D.M. 14 gennaio 2008 per i ponti di 1<sup>a</sup> categoria prevede quale carico della folla uniformemente ripartito, il valore di 250 daN/mq, secondo lo schema 5 delle norme; essendo il cordolo completamente occupato dalla barriera bordo ponte, il carico accidentale dovuto alla folla è nullo.

#### **7.1.3 Deformazione termica**

Trattandosi di un ponte semplicemente appoggiato la deformazione termica non viene considerata.

#### **7.1.4 Azione di frenamento**

La forza di frenamento o di accelerazione  $q_3$  è funzione del carico verticale totale agente sulla corsia convenzionale n. 1, e per i ponti di 1a categoria è uguale a:

$$180 \text{ kN} < [ q_3 = 0,6 \times ( 2Q_{1k} ) + 0,10q_{1k} \times w_1 \times L ] < 900 \text{ kN}$$

#### **7.1.5 Azione sismica**

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione, che costituisce l’elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $ag$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale di categoria A, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $Se(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$  nel periodo di

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

riferimento VR.

Nel presente progetto è stata verificata la combinazione di carico sismica con riferimento allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV): a seguito del terremoto la struttura subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; mentre conserva invece una parte della esistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.

#### 7.1.5.1 Vita nominale

La vita nominale di un'opera strutturale è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata. Nel caso in oggetto, l'opera ricade all'interno del tipo di costruzione: "Grandi opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica" (paragrafo 2.4 delle 'Nuove Norme tecniche per le costruzioni – D.M. 14 gennaio 2008"). La vita nominale si assume pertanto pari a  $V_N = 100$  anni.

#### 7.1.5.2 Classe d'uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un'eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso. Nel caso in oggetto si fa riferimento alla Classe IV: costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità..... Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico." Il coefficiente d'uso si assume pertanto pari a  $c_U = 2,0$  anni.

#### 7.1.5.3 Periodo di riferimento per l'azione sismica

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d'uso  $C_U$ . Tale coefficiente è funzione della classe d'uso.

$$V_R = V_N \times C_U = 100 \text{ anni} \times 2 = 200 \text{ anni}$$

Le probabilità di superamento  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$ , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente, sono pari al 10% nel caso dello stato limite SLV.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

#### 7.1.5.4 Parametri di progetto

Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle NTC, dalle accelerazioni  $a_g$  e dalle relative forme spettrali. Le forme spettrali previste dalle NTC sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima del terreno;
- $F_0$  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.

Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno  $T_R$  considerati dalla pericolosità sismica, i tre parametri si ricavano riferendosi ai valori corrispondenti al 50esimo percentile ed attribuendo ad:

- $a_g$  il valore previsto dalla pericolosità sismica;
- $F_0$  e  $T_C^*$  i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica.

Le forme spettrali previste dalle NTC sono caratterizzate da prescelte probabilità di superamento e vite di riferimento. A tal fine occorre fissare:

- □ la vita di riferimento  $V_R$  della costruzione;
- le probabilità di superamento nella vita di riferimento  $P_{VR}$  associate agli stati limite considerati, per individuare infine, a partire dai dati di pericolosità sismica disponibili, le corrispondenti azioni sismiche.

A tal fine è conveniente utilizzare, come parametro caratterizzante la pericolosità sismica, il periodo di ritorno dell'azione sismica  $T_R$ , espresso in anni. Fissata la vita di riferimento  $V_R$ , i due parametri  $T_R$  e  $P_{VR}$  sono immediatamente esprimibili, l'uno in funzione dell'altro, mediante l'espressione:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} = -\frac{200}{\ln(1 - 0.1)} = 1.898 \text{ anni}$$

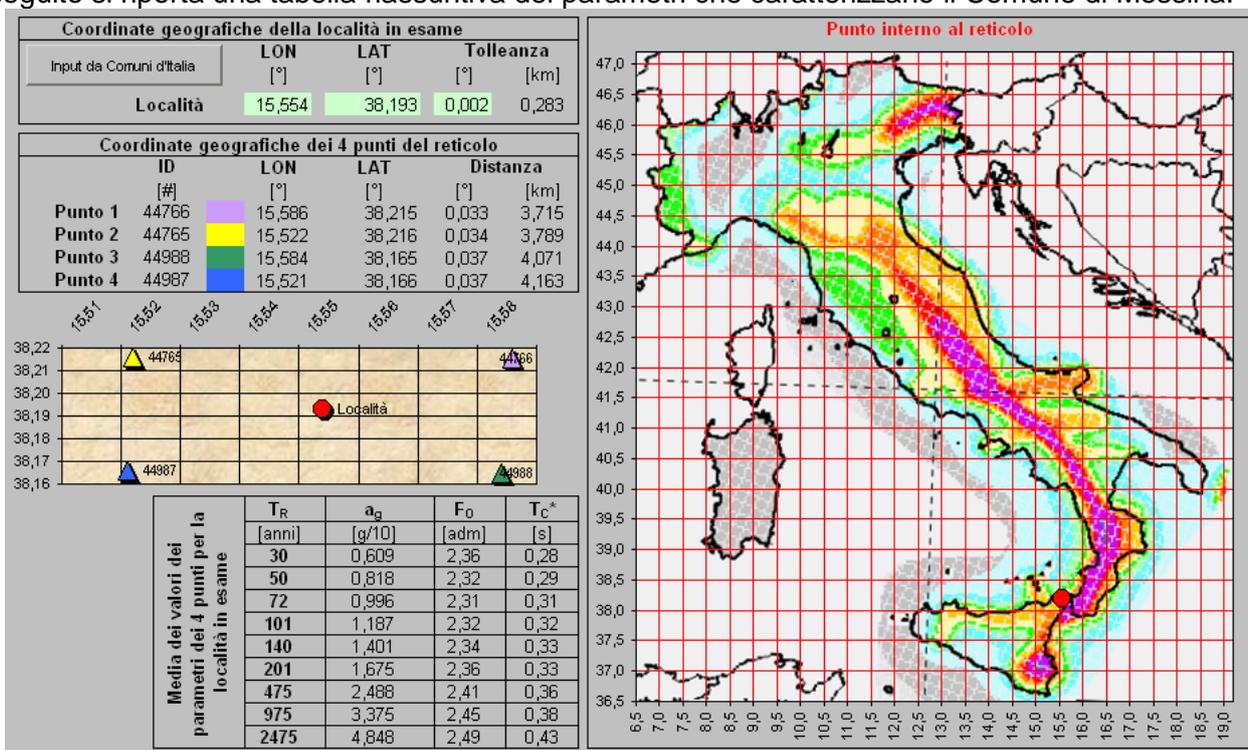
Si assume, a favore di sicurezza, come periodo di ritorno  $T_R = 1.900$  anni.

I valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_C^*$  relativi alla pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento sono forniti nelle tabelle riportate nell'ALLEGATO B delle NTC.

I punti del reticolo di riferimento sono definiti in termini di Latitudine e Longitudine ed ordinati a Latitudine e Longitudine crescenti, facendo variare prima la Longitudine e poi la Latitudine.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

L'accelerazione al sito  $a_g$  è espressa in  $g/10$ ;  $F_0$  è adimensionale,  $T_c^*$  è espresso in secondi. Nel seguito si riporta una tabella riassuntiva dei parametri che caratterizzano il Comune di Messina:



#### 7.1.5.5 Classificazione sismica del terreno

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, in accordo con le NTC, si fa riferimento all'approccio semplificato che si basa sulla individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento. Lo studio geotecnico del sito asserisce che il terreno è classificabile come **Classe B** che include depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati e terreni a grana fine mediamente consistenti.

#### 7.1.5.6 Spettro di risposta elastico in accelerazione

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione è espresso da una forma spettrale (spettro normalizzato) riferita ad uno smorzamento convenzionale del 5%, moltiplicata per il valore della accelerazione orizzontale massima  $a_g$  su sito di riferimento rigido orizzontale. Sia la forma spettrale che il valore di  $a_g$  variano al variare della probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ .

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 7.1.5.7 Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

Lo spettro di risposta elastico della componente orizzontale è definito dalle espressioni seguenti:

$$\begin{aligned}
0 \leq T \leq T_B & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \cdot \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
T_B \leq T \leq T_C & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \\
T_C \leq T \leq T_D & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \frac{T_C}{T} \\
T_D \leq T & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)
\end{aligned}$$

nelle quali T ed  $S_e$  sono, rispettivamente, periodo di vibrazione ed accelerazione spettrale orizzontale.

Inoltre:

- S: è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione seguente:  $S = S_s \cdot S_T$
- essendo  $S_s$  il coefficiente di amplificazione stratigrafica e  $S_T$  il coefficiente di amplificazione topografica riportati nelle tabelle seguenti;

CATEGORIA SOTTOSUOLO	$S_s$	$C_c$
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T^* \cdot C_c)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T^* \cdot C_c)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T^* \cdot C_c)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T^* \cdot C_c)^{-0,40}$

CATEGORIA TOPOGRAFICA	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	-	1,00
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2

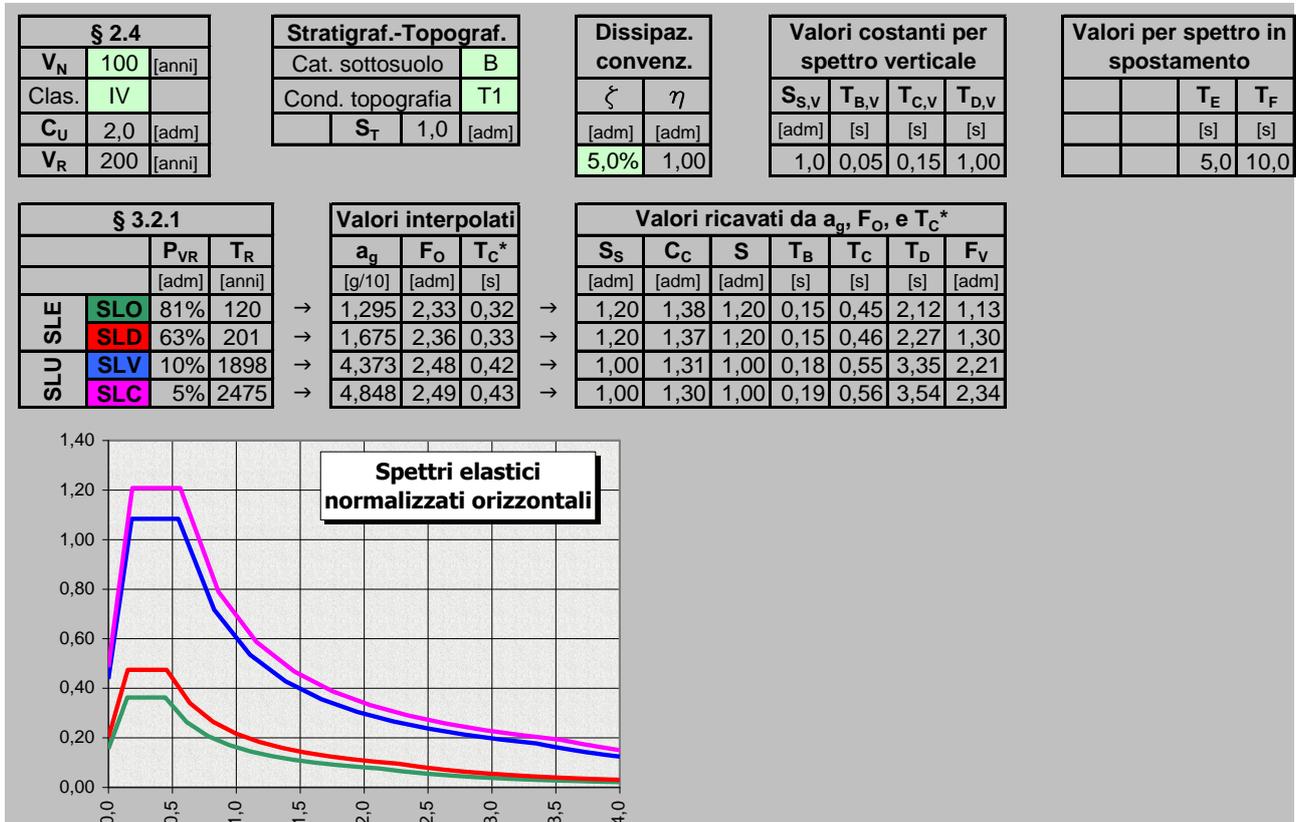
		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
----	--	-----

- $\eta$ : è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali  $\times$  diversi dal 5%, mediante la relazione:  $\eta = \sqrt{\frac{10}{(5 + \xi)}} \geq 0,55$
- dove  $\xi$  (espresso in percentuale) è valutato sulla base di materiali, tipologia strutturale e terreno di fondazione;
- $F_0$ : è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2,2;
- $T_C$ : è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da:  $T_C = C_C \cdot T^*_C$ ; dove  $C_C$  è un coefficiente funzione della categoria di sottosuolo;
- $T_B$ : è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante;  $T_B = T_C / 3$
- $T_D$ : è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, espresso in secondi mediante la relazione:  $T_D = 4,0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1,6$

Nel seguito si riportano gli spettri elastici orizzontali relativi al sito ed al terreno.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
		<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>	<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc



### 7.1.5.8 Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione della componente verticale è definito dalle espressioni seguenti:

$$\begin{aligned}
 0 \leq T \leq T_B & \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_V \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_O} \cdot \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
 T_B \leq T \leq T_C & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_V \\
 T_C \leq T \leq T_D & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_V \cdot \frac{T_C}{T} \\
 T_D \leq T & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_V \cdot \left( \frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)
 \end{aligned}$$

nelle quali T e S<sub>ve</sub> sono, rispettivamente, periodo di vibrazione ed accelerazione spettrale verticale e F<sub>V</sub> è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, in termini di accelerazione orizzontale massima del terreno a<sub>g</sub> su sito di riferimento rigido orizzontale, mediante la relazione:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$$F_V = 1,35 \cdot F_0 \cdot \left( \frac{a_g}{g} \right)^{0,5}$$

I valori di  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $S_T$ ,  $S$ ,  $\eta$  sono quelli già definiti per le componenti orizzontali; i valori di  $S_S$ ,  $T_B$ ,  $T_C$  e  $T_D$ , sono invece quelli riportati nella tabella seguente.

CATEGORIA SOTTOSUOLO	$S_S$	$T_B$	$T_C$	$T_D$
A, B, C, D, E	1,00	0,05 s	0,15 s	1,0 s

### 7.1.5.9 Spettro di progetto

Per gli stati limite di esercizio lo spettro di progetto  $S_d(T)$  da utilizzare, sia per le componenti orizzontali che per la componente verticale, è lo spettro elastico corrispondente, riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$  considerata.

Per le verifiche agli stati limite ultimi lo spettro di progetto  $S_d(T)$  da utilizzare, sia per le componenti orizzontali, sia per la componente verticale, è lo spettro elastico corrispondente riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$  considerata con le ordinate ridotte sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura, nelle formule precedentemente riportate e comunque:  $S_d(T) \geq 0,2 \cdot a_g$ .

Il valore del fattore di struttura  $q$  da utilizzare per ciascuna direzione della azione sismica, dipende dalla tipologia strutturale, dal suo grado di iperstaticità e dai criteri di progettazione adottati e prende in conto le non linearità di materiale. Esso può essere calcolato tramite la seguente espressione:

$$q = q_0 \times K_R = 1,0$$

### 7.1.5.10 Determinazione della massa partecipante

La determinazione dell'azione sismica viene calcolata considerando le masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_j \psi_{2j} \cdot Q_{kj}$$

dove  $G_1$  e  $G_2$  riguardano le masse associate al peso proprio delle strutture ed ai carichi permanenti, mentre  $Q_{kj}$  riguarda le masse associate ai carichi accidentali.

Trattandosi della verifica di un ponte, il coefficiente  $\psi_{2j}$  viene assunto pari a 0,20.

La determinazione della massa partecipante viene effettuata partendo dalle azioni applicate all'impalcato.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

### 7.1.6 Combinazione di carico

Combinazione utilizzata nell'analisi dell'impalcato:

COEFFICIENTI DI COMBINAZIONE PER LE VERIFICHE ALLO SLU STR			
	$\gamma$	$\psi$	$\gamma*\psi$
Peso proprio acciaio	1,35	1,00	1,35
Peso proprio soletta	1,35	1,00	1,35
Permanenti	1,50	1,00	1,50
Effetti primari del ritiro	1,20	1,00	1,20
Effetti secondari del ritiro	1,20	1,00	1,20
Accidentali mezzi	1,35	1,00	1,35
Vento	1,5	0,60	0,90
Deformazioni termiche	1,20	0,60	0,72

Azione base accidentali

### 7.1.7 Azione indotta dagli appoggi per effetto della deformazione termica

L'azione d'attrito è stata valutata in base alla deformazione longitudinale dell'impalcato causata da una variazione termica  $\Delta T$  di 30 °C. La forza d'attrito agente su ciascuna sottostruttura è infatti ottenuta come la suddetta deformazione moltiplicata per la rigidità dell'appoggio.

Nella tabella seguente si riporta l'azione d'attrito relativa a ciascuna sottostruttura e la costante elastica di calcolo degli isolatori d'appoggio; la forza  $H_{att}$  indicata corrisponde alla forza totale sulla sottostruttura, pari alla forza derivante da ogni singolo isolatore per il numero di appoggi presenti.

	$\Delta l_{long}$	$k_h$	$H_{att}$
	mm	kN/mm	kN
<b>SpA</b>	4	1,50	33
<b>SpB</b>	4	1,50	33

Prudenzialmente si assume come forza d'attrito il massimo tra le  $H_{att}$  descritte nella tabella soprastante ed il 3% dei carichi permanenti.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 7.2 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE

Si riportano nelle tabelle le caratteristiche geometriche delle travi nelle due fasi e degli elementi necessari alla modellazione dell'impalcato.

Trave singola:

Area	=	8.483	cm <sup>2</sup>
Momento statico rispetto alla base	=	433.141	cm <sup>3</sup>
Distanza baricentro dalla base	=	51,06	cm
Momento di inerzia baricentrico x-x	=	16.235.266	cm <sup>4</sup>
Momento di inerzia baricentrico y-y	=	24.437.848	cm <sup>4</sup>

Trave + soletta collaborante:

Area normale	=	13.483	cm <sup>2</sup>
Momento statico rispetto alla base	=	1.092.123	cm <sup>3</sup>
Distanza baricentro dalla base	=	81	cm
Momento di inerzia flessionale x-x	=	37.360.617	cm <sup>4</sup>
Momento di inerzia flessionale y-y	=	41.104.515	cm <sup>4</sup>

Nota:

I valori delle caratteristiche inerziali dei trasversi e della soletta sono calcolati in automatico e riportati negli allegati.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 7.3 ESCURSIONE DEI GIUNTI TRASVERSALI

I giunti devono essere in grado di assorbire una deformazione longitudinale dell'impalcato causata da una variazione termica  $\Delta T$  di  $\pm 30$  °C. Tale deformazione risulta nulla in corrispondenza del baricentro dell'impalcato metallico e cresce all'aumentare della distanza dal giunto in questione al baricentro stesso. I giunti devono inoltre garantire lo spostamento dovuto alle azioni sismiche derivanti dalla modellazione. Si espongono nel seguito i valori delle escursioni termiche e degli spostamenti sismici per i giunti presenti nell'opera in oggetto:

	$\Delta_{term}$	$\Delta_{sism}$	$\Delta_{ammesso}$
	mm	mm	mm
<b>SpA</b>	$\pm 4$	$\pm 185$	$\pm 200$
<b>SpB</b>	$\pm 4$	$\pm 185$	$\pm 200$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 7.4 VERIFICHE

### 1 UNITA' DI MISURA E CONVENZIONI DI SEGNO

Ove non sia diversamente specificato, le grandezze contenute nella presente relazione sono espresse nelle seguenti unità di misura:

lunghezza : cm  
forza : N

I diametri delle barre di armatura lenta sono sempre espressi in millimetri, i diametri dei trefoli di precompressione sono invece espressi in pollici ( =25.4 mm).

I carichi agenti sull'impalcato sono, come è naturale assumere, positivi se diretti verso il basso.

Le tensioni sono positive se di trazione, sia per quanto riguarda il calcestruzzo che l'acciaio.

### 2 MODALITA' DI COSTRUZIONE DELL'IMPALCATO

L'impalcato viene realizzato con travi prefabbricate in c.a.p. e getto in opera di traversi e soletta collaboranti.

Le travi sono autoportanti, non necessitano quindi di alcun rompitratta o puntellamento provvisorio durante l'esecuzione dell'impalcato.

Si distinguono due fasi successive di lavoro:

#### *PRIMA FASE*

Le travi semplicemente appoggiate agli estremi resistono da sole al peso proprio ed a quello della soletta gettata in opera.

#### *SECONDA FASE*

Il sistema misto travi precomprese e soletta gettata in opera, divenuto solidale dopo la maturazione del calcestruzzo, resiste al peso delle sovrastrutture e dei carichi accidentali.

### 3 MODALITA' DI COSTRUZIONE DELLE TRAVI

Le travi vengono costruite in uno stabilimento di prefabbricazione e successivamente trasportate a piè d'opera e varate.

Il sistema di precompressione è del tipo a fili aderenti.

I trefoli che costituiscono l'armatura di precompressione vengono tesati sino alla tensione  $\sigma_{spi}$  prevista nella presente relazione.

Disposta l'armatura lenta per gli sforzi di taglio (staffe), ultimata la tesatura e

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

fissata la cassetta, si procede al getto del calcestruzzo.

La maturazione del calcestruzzo avviene con ciclo termico a vapore opportunamente tarato in funzione del mix-design e della resistenza Rckj che è richiesta al momento del taglio dei trefoli.

Una volta raggiunta la resistenza Rckj si procede all'allentamento delle armature di precompressione ed allo stoccaggio del manufatto.

#### 4 SOVRACCARICHI ADOTTATI E NORME DI CALCOLO

Nella stesura del calcolo sono rispettate le seguenti norme:

Normative sui ponti stradali:

- DM 14/01/2008 - Norme tecniche per le costruzioni
- Circolare 2 febbraio 2009 n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove Norme Tecniche per le costruzioni".

Per la stesura della presente relazione si sono inoltre seguite le indicazioni contenute nei documenti :

- CNR 10024/84 - Analisi di strutture mediante elaboratore: impostazione e redazione delle relazioni di calcolo.
- NTC 2008 - 10.2 Analisi e verifiche svolte con l'ausilio di codici di calcolo

#### 5 METODO ED IPOTESI DI CALCOLO

L'impalcato viene realizzato con travi in semplice appoggio collaboranti tra loro grazie all'azione della soletta.

Esso si presenta quindi come una lastra appoggiata sui lati opposti e che presenta una forte ortotropia.

Per la ricerca delle sollecitazioni nei vari elementi componenti l'impalcato si ricorre al metodo di Massonnet che permette, mediante l'ausilio di opportuni coefficienti, di risolvere la ripartizione dei carichi e conoscere le sollecitazioni.

Questo metodo fu proposto da Guyon nel 1946 per un grigliato di travi prive di rigidità torsionale, ripreso da Massonnet nel 1950 per tener conto della torsione, infine esteso da Bares; questi ultimi Autori hanno sistemato in modo definitivo la materia in un libro ("Les calculs des grillages de pontes ed dalles orthotropes selon la Méthod Guyon - Massonnet - Bares", Dunod, Parigi, 1966) che fornisce un gran numero di tabelle direttamente utilizzabili dal progettista e che ne ha agevolato una larga diffusione.

Nel grigliato ortotropo il procedimento di Massonnet trae origine dallo studio di un graticcio appoggiato in corrispondenza degli estremi delle travi principali longitudinali e libero sugli altri estremi; graticcio che si suppone equivalente ad una piastra ortotropica.

Se si osserva un graticcio di travi si constata che si tratta di una struttura a travi

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

bidirezionali a direzioni per lo più ortogonali.

Il comportamento dell'impalcato dipende essenzialmente dalle rigidizzeflessionali e torsionali dei due ordini di travi e dalla loro reciproca influenza.

Si può, pertanto, pensare di assimilare l'impalcato ad una piastra ortotropa nella quale la caratterizzazione di comportamento nelle due direzioni sia data dalle rigidizzeflessionali e torsionali anziché dai legami costitutivi dei materiali.

Il metodo di Massonnet considera l'impalcato reale come una lastra rettangolare di larghezza teorica

$$2 \times B = n \times i$$

$n = n.\text{travi}$  ,  $i = \text{interasse travi}$

e lunghezza pari alla luce di calcolo; tiene conto della differente deformabilità della lastra in senso longitudinale e in senso trasversale.

Si considera una condizione di carico

$$p(x;e) = P_m \text{ sen } (\pi x/l)$$

variabile con legge sinusoidale ed agente parallelamente all'asse  $x$  con eccentricità  $e$ ; per tale carico la deformata ha una legge  $w(x,y;e)$  che si ottiene integrando l'equazione di Huber. Esprimendo in serie di Levy, la deformata assume la forma

$$w(x,y;e) = w(1/2,y;e) \text{ sen } (\pi x/l)$$

considerando una condizione di carico avente la stessa legge di variazione e lo stesso  $P_m$  ma distribuito su tutta la larghezza dell'impalcato

$$p(x;e) = (P_m/2b) \text{ sen } (\pi x/l)$$

si avrà una deformata cilindrica che può assumere la forma

$$w(x) = w(1/2) \text{ sen } (\pi x/l)$$

Si può, quindi, definire per una trave di ordinata  $y$  e carico di eccentricità  $e$ , il coefficiente di ripartizione trasversale (adimensionale)

$$K(y;e) = w(x,y;e) / w(x) = w(1/2,y;e) / w(1/2)$$

Si ha, pertanto, per il carico unitario di eccentricità  $e$ , il rapporto fra il carico su una trave di ordinata  $y$  e il carico medio  $1/n$  dove  $n$  è il numero delle travi.

Il valore di  $K(y;e)$  è stato calcolato dal Massonnet e tabellato in base ai parametri dai quali dipende e precisamente

- a) dal rapporto  $y/b$  rappresentante la posizione della trave longitudinale presa in considerazione (e lungo la quale  $y$  ha sempre lo stesso valore);

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- b) dal rapporto e/b che rappresenta la posizione del carico
- c) dal rapporto di rigidezza torsionale (compreso tra 0 e 1)
- d) dal rapporto adimensionale di rigidezza flessionale

Non viene considerato nel calcolo l'effetto dei traversi di testata.

## 6 SISTEMA DI RIFERIMENTO

Si considera l'impalcato come un piano in cui un sistema di assi ortogonali x,y individua ogni punto di esso.

L'asse x è assunto longitudinalmente all'asse delle travi, l'asse y ortogonalmente.

L'origine di questo sistema di riferimento è posizionata sulla intersezione tra l'asse di simmetria delle travi prefabbricate e un asse degli appoggi (è indifferente quale dei due assi appoggi viene assunto come origine x).

Le grandezze y rappresentano perciò le eccentricità dei carichi ed hanno segno negativo verso destra e positivo verso sinistra guardando le sezioni nelle figure allegate.

Le grandezze x sono sempre positive.

L'asse delle z, ortogonale al piano x,y, ha lo zero sul fondo delle travi prefabbricate ed ha valori positivi verso l'alto.

## 7 DATI GEOMETRICI IMPALCATO

Luce di calcolo	2465,00
Larghezza cordolo sinistro	270,00
Larghezza carreggiata	1050,00
Larghezza cordolo destro	80,00
Larghezza fuori tutto impalcato	1400,00
Numero travi	7
Tipo trave interna	UH120
Tipo trave esterna	UH120E
Interasse travi	200,00
Larghezza travi interne	199,00
Larghezza travi esterne	200,00
Lunghezza retrotrave	90,00
Lunghezza ringrosso	0,00
Lunghezza svasatura	0,00
Eccentricità travi-soletta	0,00
Spessore medio soletta	30,00
Spessore minimo soletta	25,00
Luce di calcolo soletta	100,00

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<table border="1" 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						

Larghezza marciapiede sinistro	200,00
Dist. marciapiede sinistro	50,00
Larghezza marciapiede destro	0,00
Dist. marciapiede destro	0,00
Spessore medio cordoli	18,00

### Traversi in campata

Numero traversi	1
Altezza sezione traversi	100,00
Spessore sezione traversi	30,00

**n.      Pos.**

1      1232,50

### Traversi in testata

Altezza sezione traversi	10,00
Spessore sezione traversi	40,00

**n.      Pos.**

1      0,00

2      2465,00

## 8 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA TRAVE PREFABBRICATA

### Trave interna tipo UH120

#### **Sezione in campata**

Vertice n.	y	z
1	-99,500	10,340
2	-58,600	16,500
3	-51,900	24,700
4	-62,400	95,000
5	-89,500	110,500
6	-99,500	112,701
7	-99,500	120,000
8	-52,000	120,000
9	-38,200	28,100
10	-31,300	21,600

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<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						

11	0,000	19,000
12	31,300	21,600
13	38,200	28,100
14	52,000	120,000
15	99,500	120,000
16	99,500	112,701
17	89,500	110,500
18	62,400	95,000
19	51,900	24,700
20	58,600	16,500
21	99,500	10,340
22	99,500	0,000
23	-99,500	0,000
24	-99,500	10,340
25	0,000	0,000

Altezza della sezione	120,00
Spessore complessivo anime	28,00
Area sezione di calcestruzzo	7373,39
Ordinata y baricentro	46,63
Ascissa x baricentro	0,00
J baricentro	13223042,64
Peso specifico	0,0245
Modulo elastico	3500000,00
Coefficiente torsionale	11780682,00

### **Sezione in testata**

<b>Vertice n.</b>	<b>y</b>	<b>z</b>
1	-99,500	10,340
2	-58,600	16,500
3	-51,900	24,700
4	-62,400	95,000
5	-89,500	110,500
6	-99,500	112,701

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<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						

7	-99,500	120,000
8	-37,910	120,000
9	-24,250	27,000
10	-17,000	20,410
11	0,000	19,000
12	17,000	20,410
13	24,250	27,000
14	37,910	120,000
15	99,500	120,000
16	99,500	112,615
17	89,500	110,500
18	62,400	95,000
19	51,900	24,700
20	58,600	16,500
21	99,500	10,340
22	99,500	0,000
23	-99,500	0,000
24	-99,500	10,340
25	0,000	0,000

Altezza della sezione	120,00
Spessore complessivo anime	55,80
Area sezione di calcestruzzo	10119,64
Ordinata y baricentro	53,22
Ascissa x baricentro	0,00
J baricentro	16629042,55
Coefficiente torsionale	11780682,00

**Trave di bordo tipo UH120**  
**Sezione in campata**

Vertice n.	y	z
1	-48,200	0,000
2	-62,400	95,000
3	-89,500	110,500

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<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						

4	-100,000	112,811
5	-100,000	120,000
6	-52,000	120,000
7	-38,200	28,100
8	-31,300	21,600
9	0,000	19,000
10	31,300	21,600
11	38,200	28,100
12	52,000	120,000
13	100,000	120,000
14	100,000	112,811
15	89,500	110,500
16	62,400	95,000
17	51,900	24,700
18	58,600	16,500
19	100,000	10,265
20	100,000	0,000
21	-48,200	0,000
22	99,500	0,000
23	-99,500	0,000
24	-99,500	10,340
25	0,000	0,000

Altezza della sezione	120,00
Spessore complessivo anime	28,00
Area sezione di calcestruzzo	6652,80
Ordinata y baricentro	50,97
Ascissa x baricentro	7,96
J baricentro	12007945,55
Peso specifico	0,0245
Modulo elastico	3500000,00
Coefficiente torsionale	11780682,00

**Sezione in testata**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<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						

Vertice n.	y	z
1	-48,200	0,000
2	-62,400	95,000
3	-89,500	110,500
4	-100,000	112,811
5	-100,000	120,000
6	-37,910	120,000
7	-24,250	27,000
8	-17,000	20,410
9	0,000	19,000
10	17,000	20,410
11	24,250	27,000
12	37,910	120,000
13	100,000	120,000
14	100,000	112,811
15	89,500	110,500
16	62,400	95,000
17	51,900	24,700
18	58,600	16,500
19	100,000	10,265
20	100,000	0,000
21	-48,200	0,000
22	0,000	0,000
23	0,000	0,000
24	0,000	0,000
25	0,000	0,000

Altezza della sezione	120,00
Spessore complessivo anime	55,80
Area sezione di calcestruzzo	9398,62
Ordinata y baricentro	56,79
Ascissa x baricentro	5,64
J baricentro	15005923,24
Coefficiente torsionale	11780682,00

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Lunghezza trave in asse 2645,00

## 9 RIPARTIZIONE TRASVERSALE DEI CARICHI

Parametri di Massonnet

Trave verificata: 1 eccentricità= -600  
Trave di riferimento per il calcolo dei parametri di Massonnet: trave di bordo  
Luce di calcolo travi principali L = 2465,00  
Interasse trasversi L1 = 1232,50  
Semilarghezza teorica impalcato B = 700,00  
Interasse travi B1 = 200,00

Trave:

Ap = 11452,80 (area sezione cls trave+soletta)  
Dp = 86,19 (quota baricentro)  
Jp = 32054706,00 (momento d'inerzia flessionale)  
Cp = 11780682,00 (coefficiente di torsione)

Traverso:

Ae = 11400,00 (area sezione traverso/soletta)  
De = 97,89 (quota baricentro da base sezione)  
Je = 12469473,68 (momento d'inerzia flessionale)  
Ce = 364527,91 (coefficiente di torsione)

Larghezza soletta collaborante con il traverso = 280,00

Coeff. omogen. E cls soletta / E cls trave = 0,80

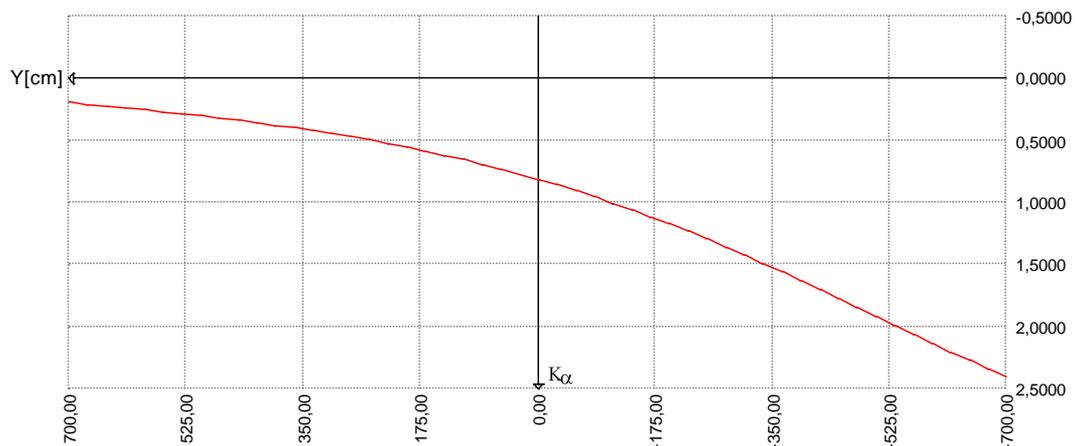
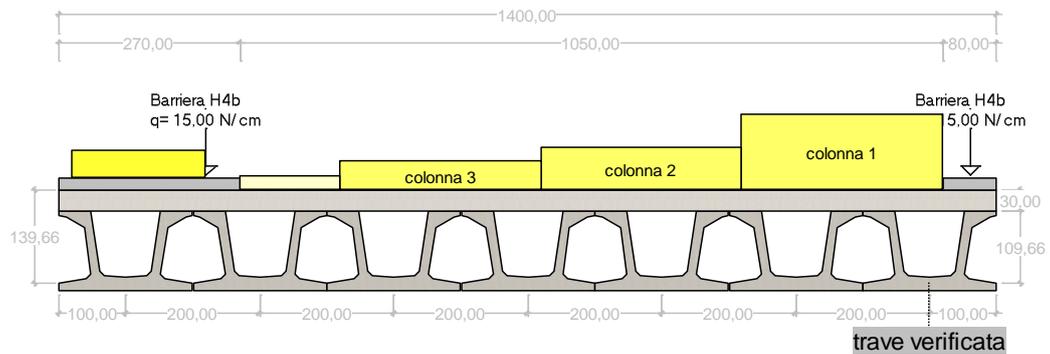
Teta = 0,599 Radice alfa = 0,906

Si calcolano i coefficienti d'influenza della 1a trave che ha una eccentricita' y = 600 cm e che risulta essere la piu' sollecitata:

Y	700,000	525,000	350,000	175,000	0,000	-175,000	-350,000	-525,000	-700,000
K <sub>0</sub>	-0,884	-0,611	-0,317	0,047	0,544	1,234	2,148	3,256	4,432
K <sub>1</sub>	0,304	0,382	0,485	0,633	0,841	1,119	1,463	1,847	2,196
K <sub>α</sub>	0,192	0,288	0,410	0,578	0,814	1,130	1,528	1,979	2,406
μα	-0,064	-0,043	-0,015	0,035	0,127	0,035	-0,015	-0,043	-0,064

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

**Diagramma di ripartizione trasversale - coeff.  $K_{\alpha}$  di Massonnet**



## 10 ANALISI DEI CARICHI

### 10.1 VALORI CARATTERISTICI DELLE AZIONI PERMANENTI

#### **Fase 1**

Lunghezza trave in asse	2645,00 [cm]
Peso trave (sezione filante)	163,16 [N/cm]
Peso totale trave prefabbricata	431558,10 [N]
Larghezza soletta collaborante con la trave	200,00 [cm]
Peso soletta gravante sulla trave	147,15 [N/cm]
Peso trasverso in testata	1212,52 [N]
Peso trasverso in campata	10847,06 [N]

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## Fase 2

Peso pavimentazione (0,30 [N/cm<sup>2</sup>]) gravante sulla trave: 48,97 [N/cm]

La larghezza della carreggiata viene suddivisa in 20 intervalli uguali e per ciascuno di essi si determina il valore del coefficiente  $K_{\alpha}$  di Massonnet in corrispondenza del proprio baricentro. Si procede poi alla somma di tali effetti in modo da ottenere la porzione del carico pavimentazione agente sulla trave considerata

## Cordoli

Descrizione	Peso [N/cm]	Ecc. Y	K Massonnet	$\mu$ Massonnet
cordolo sinistro	119,192	565,00	0,265	-0,048
cordolo destro	35,316	-660,00	2,313	-0,059

## Lineari per trave

Vengono considerati concentrati in direzione y e uniformemente distribuiti in direzione x.

n.	Descrizione	[N/cm]	Ecc. Y	K Massonnet	$\mu$ Massonnet
1	Barriera H4b	15,000	-660,00	2,313	-0,059
2	Barriera H4b	15,000	480,00	0,316	-0,037

## 10.2 VALORI CARATTERISTICI DELLE AZIONI VARIABILI

Il numero delle colonne di carichi mobili da considerare nel calcolo dei ponti è quello massimo compatibile con la larghezza della carreggiata, comprese le eventuali banchine di rispetto e per sosta di emergenza, nonché gli eventuali marciapiedi non protetti e di altezza inferiore a 20 cm, tenuto conto che la larghezza di ingombro convenzionale è stabilita per ciascuna colonna in 3.00 m. In ogni caso il numero delle colonne non deve essere inferiore a 2, a meno che la larghezza della sede stradale sia inferiore a 5,40 m. La disposizione dei carichi ed il numero delle colonne sulla carreggiata saranno volta per volta quelli che determinano le condizioni più sfavorevoli di sollecitazione per la struttura, membratura o sezione considerata.

Categoria ponte : *Stradale 2a Categoria*

## Carichi mobili

colonna	Nome	Q	q	alfaQ	alfa q
1	Colonna 1	240000,00	0,72	1,00	1,00
2	Colonna 2	200000,00	0,25	1,00	1,00
3	Colonna 3	100000,00	0,25	1,00	1,00

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

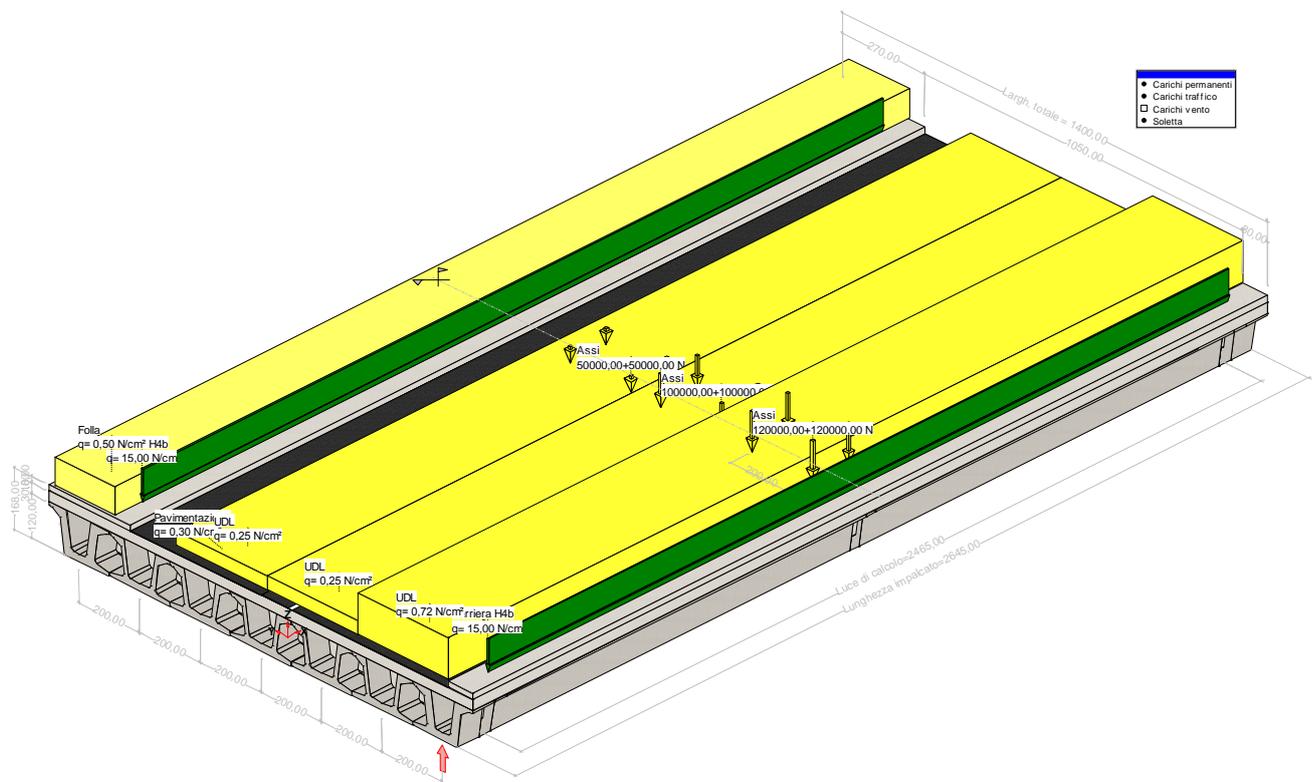
Carico folla sui marciapiedi= 0,50 [N/cm<sup>2</sup>]

Descrizione	Q*α [N]	q*α [N/cm]	Ecc. Y	Larghezza	Ka
Colonna 1	240000,000	216,00	-470,00	300,00	1,835
Colonna 2	200000,000	75,00	-170,00	300,00	1,119
Colonna 3	100000,000	75,00	130,00	300,00	0,632
Zona Rimane	0,000	37,50	355,00	150,00	0,406

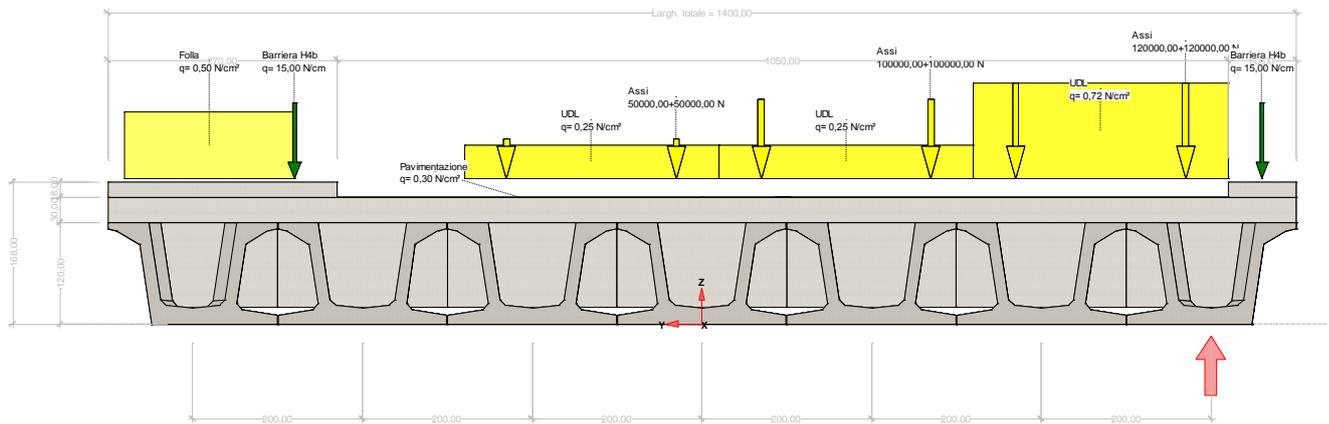
Descrizione	q [N/cm]	Ecc. Y	Larghezza	Ka
Folla marc. sx	100,000	580,00	200,00	0,26

Coefficiente di incremento dinamico = 1.0

Le colonne di carico vengono posizionate in direzione x in modo da generare la massima sollecitazione nella specifica sezione di verifica.



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
		<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>	<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc



## 11 PARAMETRI DI SOLLECITAZIONE SULLA TRAVE PREFABBRICATA

### 11.1 SOLLECITAZIONI SULLA TRAVE 1

#### **Coefficienti di combinazione Stati Limite Ultimi**

Coeff. sicurezza carichi permanenti	1,35	1,00
Coeff. sicurezza carichi traffico	1,35	0,00
Coeff. sicurezza carichi vento	1,50	0,00

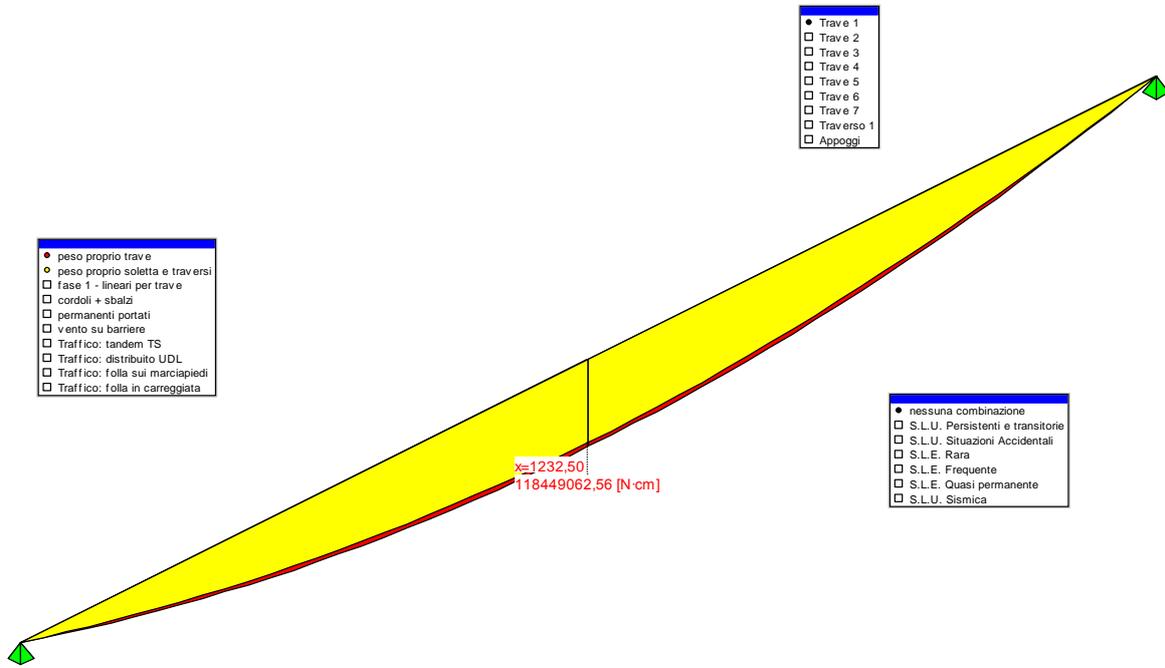
#### **Coefficienti di combinazione Stati Limite di Esercizio**

Carico	$\Psi_0$	$\Psi_1$	$\Psi_2$
LM1/UDL	0,40	0,40	0,00
LM1/TS	0,75	0,75	0,00
forze orizzontali	0,00	0,00	0,00
carico pedonale	0,00	0,00	0,00
LM4 folla	0,00	0,75	0,00
LM3	0,00	0,00	0,00
asse singolo LM2	0,00	0,00	0,00
vento	0,60	0,20	0,00
termico	0,60	0,60	0,50

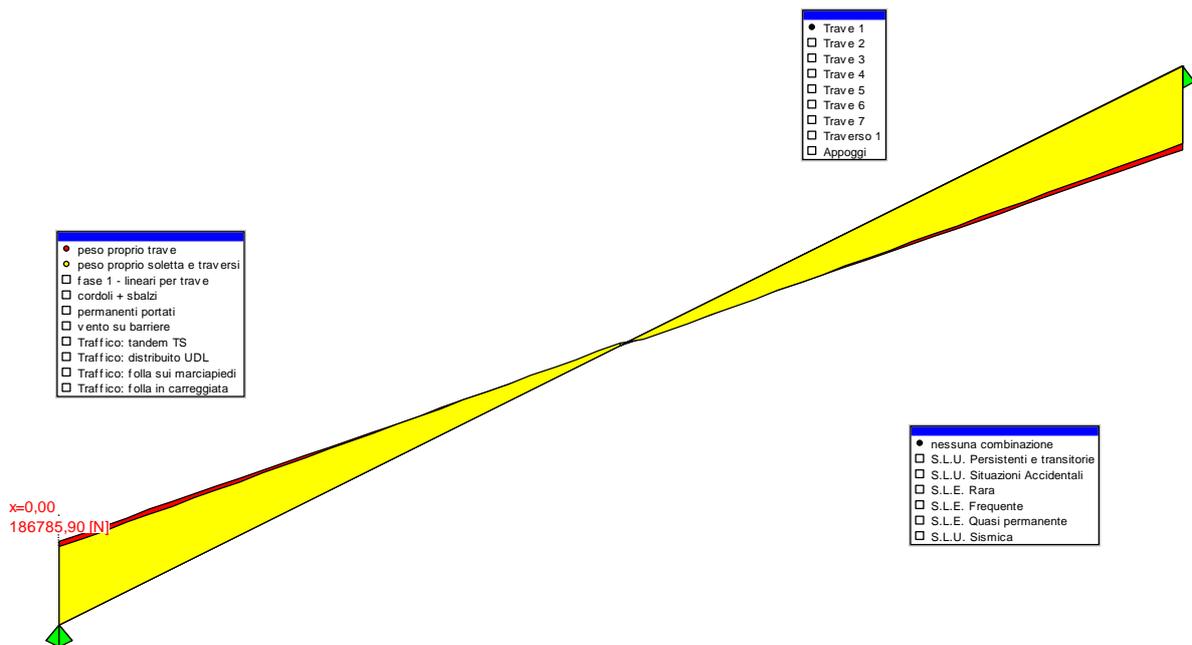
		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### Valori caratteristici sollecitazioni in prima fase

Sez.	Descrizione	PP. Trave		PP. traverso/soletta	
		M	V	M	V
0,00	appoggio	0,00	201094,65	0,00	186785,90
200,00		36945109,59	168462,66	34404601,25	157355,90
400,00		67365099,88	135830,67	62924356,15	127925,90
600,00		91259970,89	103198,68	85559264,72	98495,90
800,00		108629722,61	70566,68	102309326,93	69065,90
1000,00		119474355,04	37934,69	113174542,81	39635,90
1200,00		123793868,18	5302,70	118154912,34	10205,90
1232,50	mezzeria	123924579,70	0,00	118449062,56	5423,53
1400,00		121588262,03	-27329,29	115433553,45	-30071,15
1600,00		112857536,59	-59961,29	106474818,86	-59501,15
1800,00		97601691,86	-92593,28	91631237,93	-88931,15
2000,00		75820727,84	-125225,27	70902810,66	-118361,15
2200,00		47514644,53	-157857,26	44289537,04	-147791,15
2400,00		12683441,93	-190489,26	11791417,07	-177221,15
2465,00	appoggio	0,00	-201094,65	0,00	-186785,90

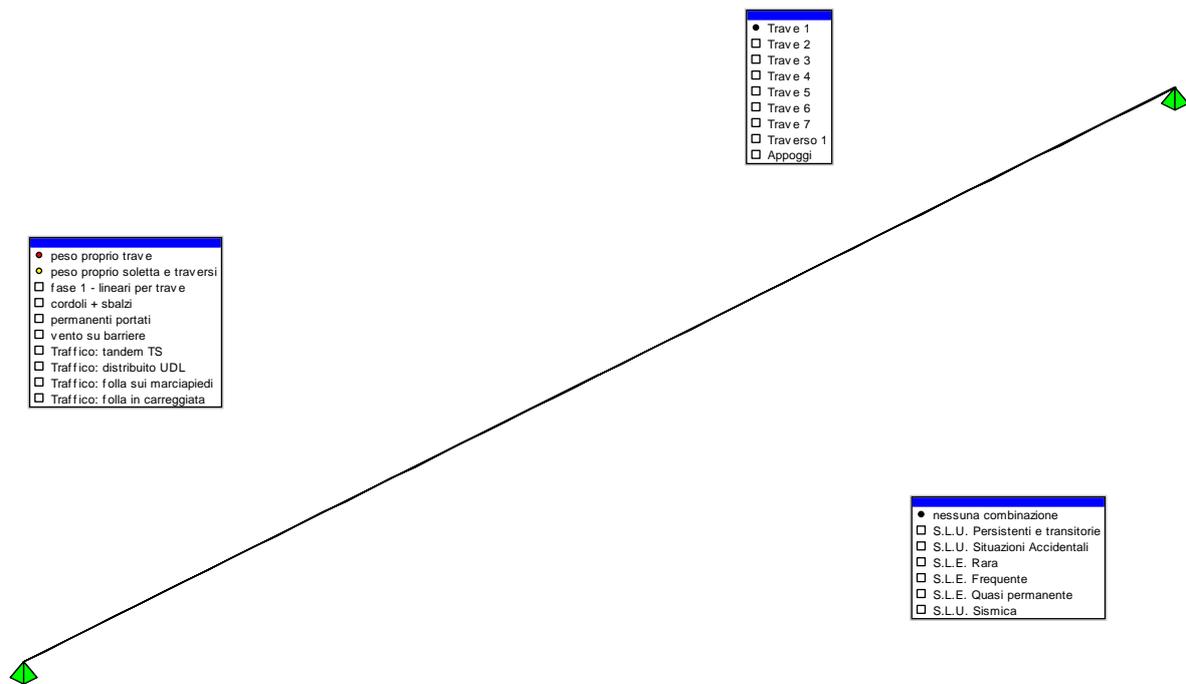


TRAVE 1 - MOMENTO FLETTENTE



TRAVE 1 - TAGLIO

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011



TRAVE 1 - MOMENTO TORCENTE

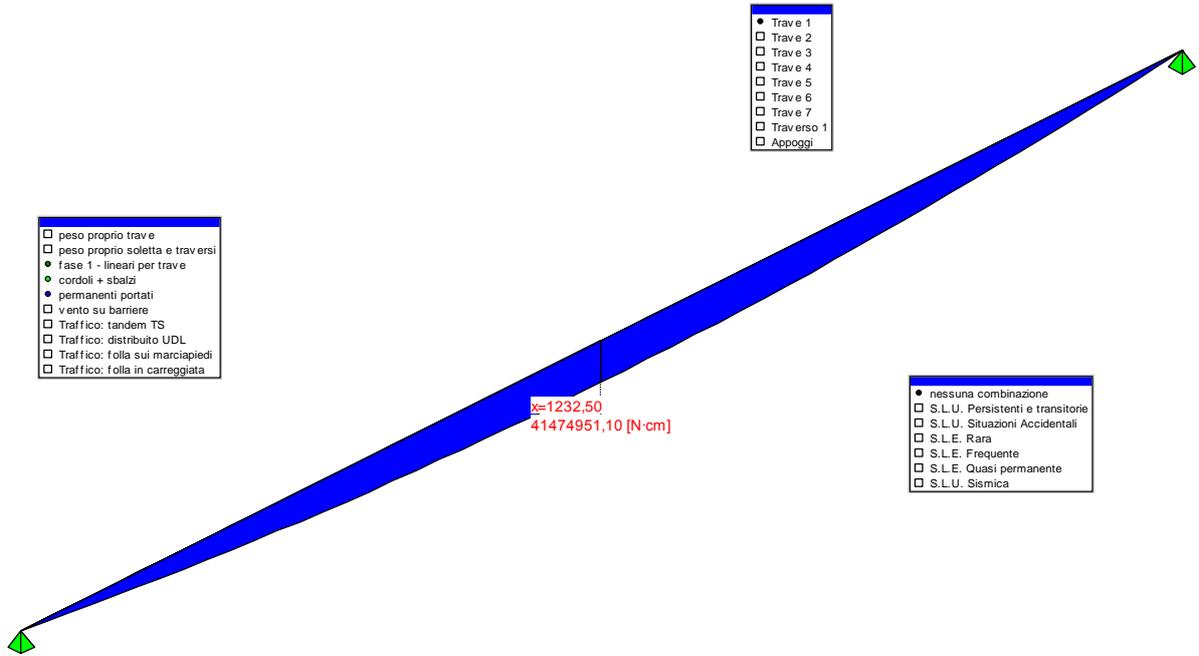
### Valori caratteristici sollecitazioni in fase 2: carichi permanenti

Sez.	Descrizione	Cordoli + Sbalzi		
		M	V	T
0,00	appoggio	0,00	19945,23	-1555872,25
200,00		3664337,63	16708,68	-1505427,73
400,00		6681492,44	13472,13	-1357718,44
600,00		9051464,43	10235,58	-1122321,01
800,00		10774253,60	6999,04	-814471,81
1000,00		11849859,96	3762,49	-454071,09
1200,00		12278283,49	525,94	-64392,61
1232,50	mezzeria	12291247,89	0,00	0,00
1400,00		12059524,21	-2710,61	329414,89
1600,00		11193582,11	-5947,16	701939,85
1800,00		9680457,20	-9183,71	1029135,73

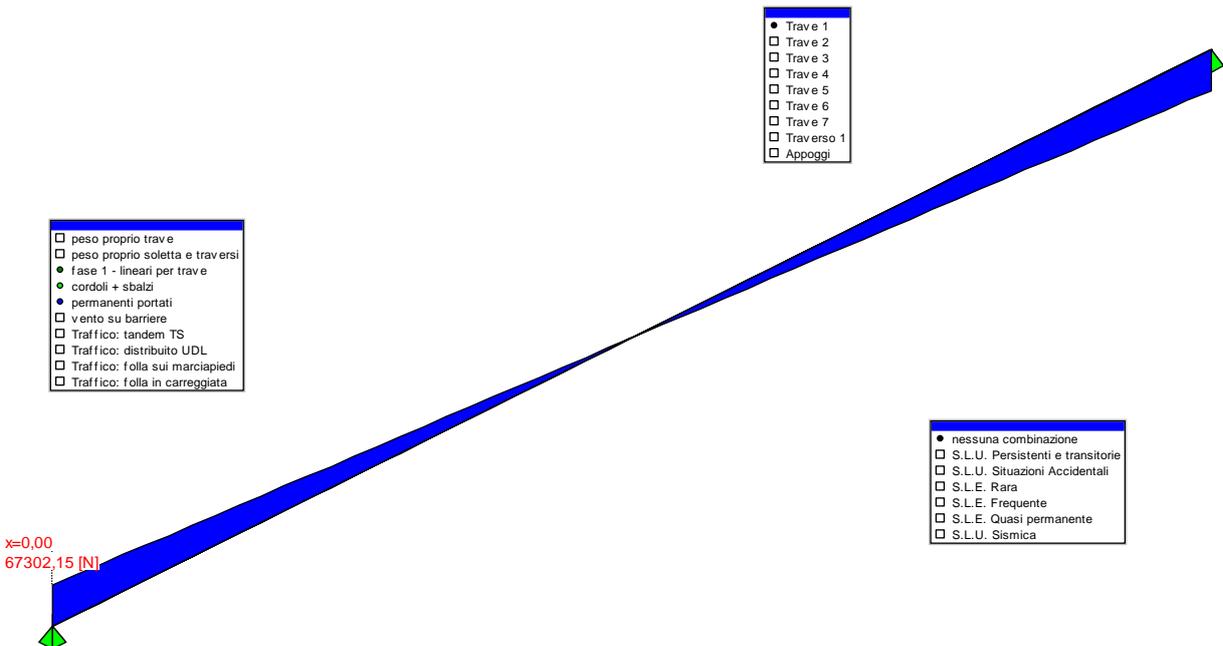
		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

2000,00	7520149,46	-12420,25	1289866,33
2200,00	4712658,91	-15656,80	1467272,57
2400,00	1257985,54	-18893,35	1549870,91
2465,00 appoggio	0,00	-19945,23	1555872,25

Sez.	Descrizione	Perm. portati		
		M	V	T
0,00	appoggio	0,00	67302,15	-153273,65
200,00		12364751,34	56380,91	-148317,22
400,00		22545682,46	45459,67	-133796,77
600,00		30542793,36	34538,43	-110636,09
800,00		36356084,03	23617,19	-80316,08
1000,00		39985554,48	12695,94	-44788,11
1200,00		41431204,70	1774,70	-6352,21
1232,50	mezzeria	41474951,10	0,00	0,00
1400,00		40693034,70	-9146,54	32494,20
1600,00		37771044,47	-20067,78	69225,80
1800,00		32665234,02	-30989,02	101461,52
2000,00		25375603,35	-41910,26	127123,14
2200,00		15902152,45	-52831,51	144567,37
2400,00		4244881,32	-63752,75	152684,05
2465,00	appoggio	0,00	-67302,15	153273,65

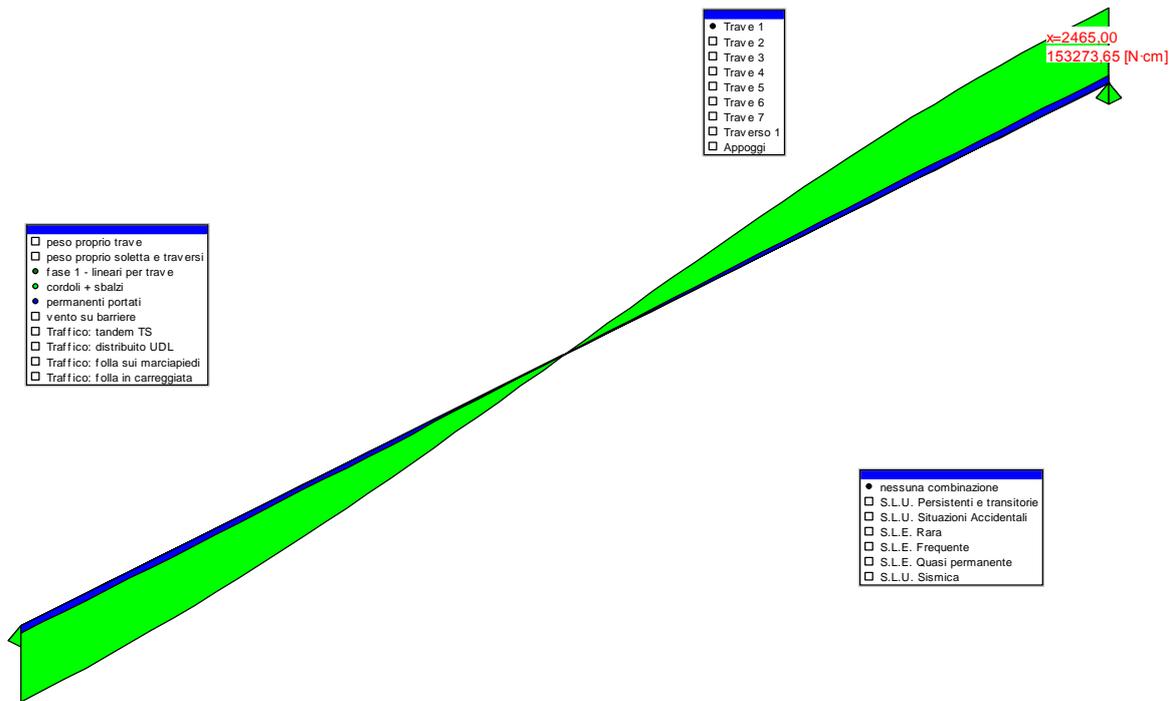


TRAVE 1 - MOMENTO FLETTENTE



TRAVE 1 - TAGLIO

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011



TRAVE 1 - MOMENTO TORCENTE

### Valori caratteristici sollecitazioni in fase 2: carichi da traffico

Sez.	Descrizione	Tandem-TS		
		M	V	T
0,00	appoggio	0,00	202807,44	-64454,12
200,00		37177413,08	185941,95	-283971,06
400,00		67609954,76	169076,47	-504249,63
600,00		91297625,04	152210,99	-661318,13
800,00		108240423,92	135345,50	-653237,73
1000,00		118438351,40	118480,02	-425217,34
1200,00		121891407,49	34227,86	-37498,82
1232,50	mezzeria	121862082,63	-98873,89	30716,97
1400,00		120294573,33	-112998,74	310216,06
1600,00		112281744,72	-129864,22	602493,11

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

1800,00		97524044,71	-146729,70	680746,09
2000,00		76021473,30	-163595,19	566710,14
2200,00		47774030,49	-180460,67	357144,94
2400,00		12781716,28	-197326,16	134725,02
2465,00	appoggio	0,00	-202807,44	64454,12

Sez.	Descrizione	Distribuito-UDL		
		M	V	T
0,00	appoggio	0,00	95603,27	-1115449,95
200,00		17564233,03	80720,96	-1065499,16
400,00		32026331,12	67097,13	-919753,69
600,00		43386294,24	54731,77	-694010,90
800,00		51644122,42	43624,88	-423440,86
1000,00		56799815,65	33776,46	-160579,28
1200,00		58853373,92	23978,15	41026,65
1232,50	mezzeria	58915516,04	20354,82	65822,63
1400,00		57804797,23	-30847,78	86193,47
1600,00		53654085,60	-40288,50	334411,51
1800,00		46401239,01	-50987,69	608598,98
2000,00		36046257,47	-62945,35	853599,95
2200,00		22589140,98	-76161,48	1027730,79
2400,00		6029889,54	-90636,09	1109509,43
2465,00	appoggio	0,00	-95603,27	1115449,95

Sez.	Descrizione	Folla marciapiedi		
		M	V	T
0,00	appoggio	0,00	4517,79	1599375,64
200,00		830008,12	3784,68	1547543,07
400,00		1513423,04	3051,57	1395756,87
600,00		2050244,75	2318,46	1153827,57
800,00		2440473,26	1585,35	837383,00
1000,00		2684108,56	852,24	466864,15
1200,00		2781150,66	119,13	66208,07
1232,50	mezzeria	2784087,22	0,00	0,00

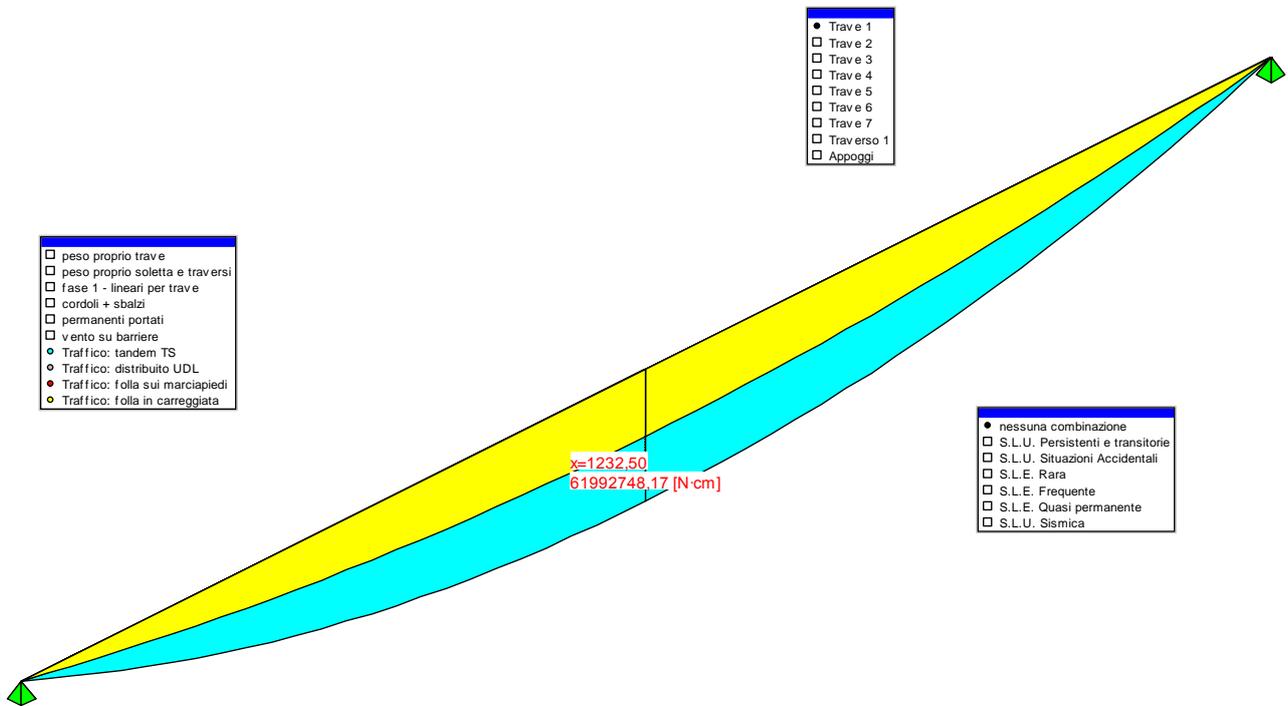
RELAZIONE DI CALCOLO

Codice documento  
SS0726\_F0.doc

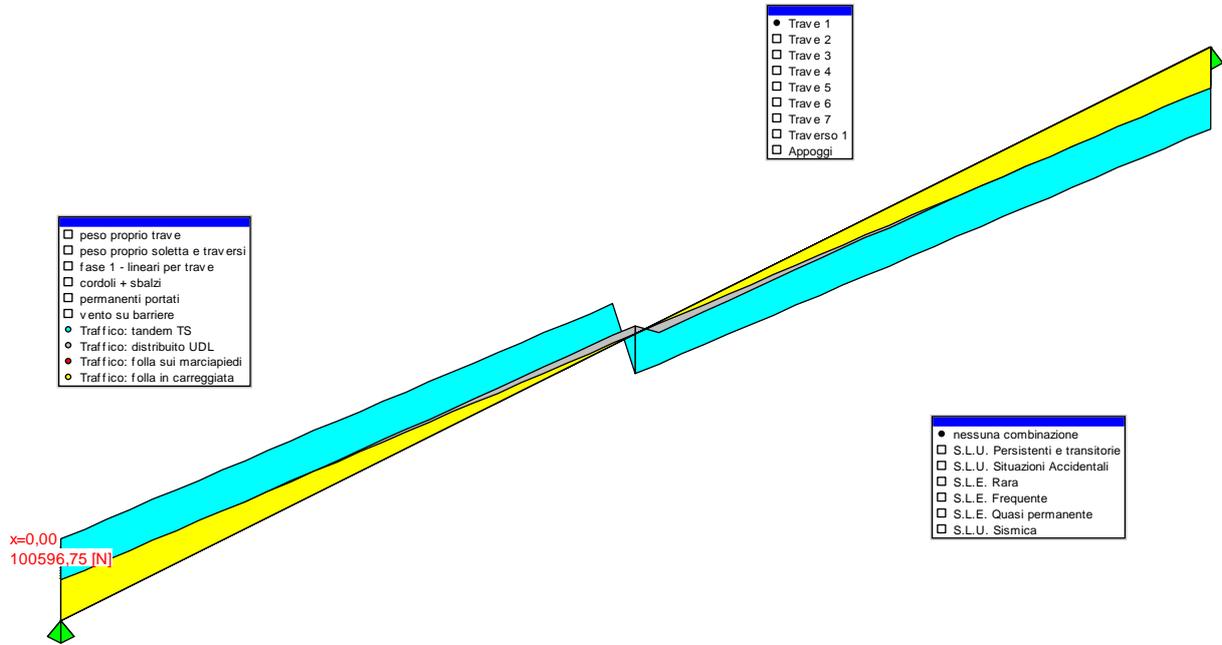
Rev  
F0

Data  
20/06/2011

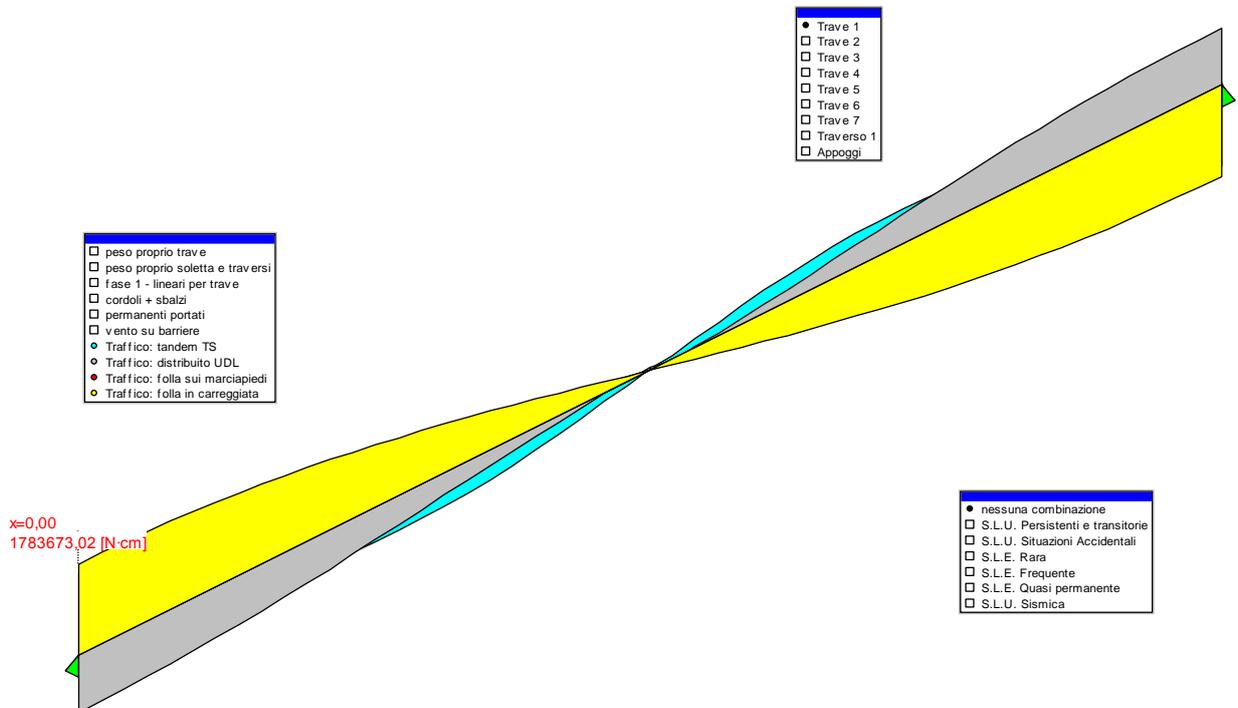
1400,00	2731599,55	-613,98	-338698,93
1600,00	2535455,24	-1347,09	-721696,93
1800,00	2192717,73	-2080,20	-1058046,06
2000,00	1703387,01	-2813,31	-1326025,98
2200,00	1067463,09	-3546,42	-1508336,47
2400,00	284945,96	-4279,53	-1593209,28
2465,00 appoggio	0,00	-4517,79	-1599375,64



TRAVE 1 - MOMENTO FLETTENTE



TRAVE 1 - TAGLIO



TRAVE 1 - MOMENTO TORCENTE

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

### Valori caratteristici sollecitazioni in fase di sollevamento

Coefficiente di incremento dinamico 0,15

Sez.	Descrizione	M max	M min
-90,00		0,00	0,00
60,00	aggancio	-1560217,13	-2110882,00
110,00		8614081,65	6366929,91
310,00		46978999,92	34723608,64
510,00		77840031,01	57533935,96
710,00		101197174,92	74797911,89
910,00		117050431,64	86515536,43
1110,00		125399801,18	92686809,57
1310,00		126245283,54	93311731,31
1510,00		119586878,71	88390301,66
1710,00		105424586,70	77922520,61
1910,00		83758407,51	61908388,16
2110,00		54588341,14	40347904,32
2310,00		17914387,58	13241069,08
2405,00	aggancio	-1560217,13	-2110882,00
2555,00		0,00	0,00

### Valori caratteristici sollecitazioni in fase di trasporto

Coefficiente di incremento dinamico 0,30

Sez.	Descrizione	M max	M min
-90,00		0,00	0,00
60,00	appoggio	-1284884,70	-2386214,44
110,00		8429905,70	4539179,99
310,00		46567936,50	25075042,73
510,00		76223312,21	41043321,96
710,00		97396032,85	52444017,69
910,00		110086098,42	59277129,92
1110,00		114293508,91	61542658,64
1310,00		110018264,32	59240603,86
1510,00		97260364,65	52370965,58
1710,00		76019809,91	40933743,80

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

1910,00		46296600,10	24928938,51
2005,00	appoggio	29252232,60	15751202,17
2110,00		24190794,71	13025812,54
2310,00		8169054,77	4398721,80
2405,00	appoggio	-1284884,70	-2386214,44
2555,00		0,00	0,00

### Frecce massime condizioni carichi 1 fase

Trave	PP trave	PP soletta/traversi	carichi aggiuntivi
1	1,87	1,76	0,00
2	1,88	1,60	0,00
3	1,88	1,60	0,00
4	1,88	1,60	0,00
5	1,88	1,60	0,00
6	1,88	1,60	0,00
7	1,87	1,76	0,00

### Frecce massime carichi permanenti 2a fase

Trave	Cordoli+Sbalzi	Perm. Portati
1	0,07	0,23
2	0,06	0,23
3	0,07	0,22
4	0,08	0,21
5	0,10	0,20
6	0,12	0,18
7	0,15	0,17

### Frecce massime carichi da traffico

Trave	Tandem-TS	Distribuito-UDL	Folla marciapiedi
1	0,56	0,32	0,02
2	0,54	0,31	0,02
3	0,50	0,28	0,03
4	0,43	0,24	0,05

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

5	0,36	0,21	0,07
6	0,29	0,18	0,10
7	0,23	0,15	0,13

### Combinazioni SLU: prima fase al taglio dei trefoli

Sez.	Descrizione	M	V
0,00	appoggio	0,00	271477,78
200,00		49875897,94	227424,59
400,00		90942884,84	183371,40
600,00		123200960,70	139318,21
800,00		146650125,52	95265,02
1000,00		161290379,30	51211,83
1200,00		167121722,04	7158,64
1232,50	mezzeria	167298182,60	0,00
1400,00		164144153,74	-36894,55
1600,00		152357674,39	-80947,74
1800,00		131762284,01	-125000,93
2000,00		102357982,58	-169054,12
2200,00		64144770,12	-213107,30
2400,00		17122646,61	-257160,49
2465,00	appoggio	0,00	-271477,78

### Combinazioni SLU: Sollevamento

Sez.	Descrizione	Mmax	Mmin
0,00	appoggio	-561678,17	-1025888,65
200,00		36231575,55	19836933,47
400,00		83458610,48	45693925,22
600,00		120555397,72	66004565,58
800,00		147521937,26	80768854,54
1000,00		164358229,11	89986792,10
1200,00		171064273,26	93658378,27
1232,50	mezzeria	171267202,90	93769483,07
1400,00		167640069,71	91783613,05

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

1600,00	154085618,46	84362496,42
1800,00	130400919,52	71395028,40
2000,00	96643777,28	52912857,12
2200,00	52640778,55	28821038,17
2400,00	-549649,39	-1673850,24
2465,00 appoggio	-561678,17	-1025888,65

### Combinazioni SLU: Trasporto

Sez.	Descrizione	Mmax	Mmin
0,00	appoggio	-462558,49	-1159700,22
200,00		36014131,37	14364610,80
400,00		82339354,55	32841907,80
600,00		117212993,38	46751621,29
800,00		140635047,85	56093751,28
1000,00		152605517,97	60868297,77
1200,00		153124403,74	61075260,75
1232,50	mezzeria	152206250,25	60709045,68
1400,00		142191705,15	56714640,23
1600,00		119807422,21	47786436,21
1800,00		85971554,92	34290648,69
2000,00		40749447,37	16253340,83
2200,00		24310216,48	9696382,64
2400,00		-840423,87	-2602008,28
2465,00	appoggio	-462558,49	-1159700,22

### Combinazioni SLU: prima fase al getto della soletta

Sez.	Descrizione	M	V
0,00	appoggio	0,00	523638,75
200,00		96322109,63	439855,06
400,00		175890765,65	356071,37
600,00		238705968,07	272287,68
800,00		284767716,88	188503,99
1000,00		314076012,09	104720,30

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

1200,00		326630853,69	20936,61
1232,50	mezzeria	327204417,05	7321,76
1400,00		319979450,89	-77490,60
1600,00		296098679,86	-161274,29
1800,00		255464455,21	-245057,98
2000,00		198076776,97	-328841,67
2200,00		123935645,11	-412625,36
2400,00		33041059,66	-496409,05
2465,00	appoggio	0,00	-523638,75

#### Combinazioni SLU: Seconda fase P/T

Sez.	Descrizione	M	V	T
0,00	appoggio	0,00	1047326,68	-2820638,90
200,00		192422857,47	901075,61	-3009748,89
400,00		350877998,24	756523,47	-2993814,12
600,00		475365422,32	613670,27	-2715352,65
800,00		565885129,69	472516,01	-2096246,23
1000,00		622437120,37	333060,69	-1149152,06
1200,00		645021394,34	102701,00	-95505,50
1232,50	mezzeria	645717802,77	-100577,22	130328,46
1400,00		633473385,39	-288104,99	795108,37
1600,00		587925728,97	-427009,92	1818749,44
1800,00		508410355,85	-567613,78	2552741,03
2000,00		394927266,03	-709916,58	2935286,88
2200,00		247476459,51	-853918,32	3027439,05
2400,00		66057936,30	-999619,00	2902749,45
2465,00	appoggio	0,00	-1047326,68	2820638,90

#### Combinazioni SLE: prima fase al taglio dei trefoli

Sez.	Descrizione	M	V
0,00	appoggio	0,00	201094,65
200,00		36945109,59	168462,66
400,00		67365099,88	135830,67

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

600,00		91259970,89	103198,68
800,00		108629722,61	70566,68
1000,00		119474355,04	37934,69
1200,00		123793868,18	5302,70
1232,50	mezzeria	123924579,70	0,00
1400,00		121588262,03	-27329,29
1600,00		112857536,59	-59961,29
1800,00		97601691,86	-92593,28
2000,00		75820727,84	-125225,27
2200,00		47514644,53	-157857,26
2400,00		12683441,93	-190489,26
2465,00	appoggio	0,00	-201094,65

### Combinazioni SLE: Sollevamento

Sez.	Descrizione	Mmax	Mmin
0,00	appoggio	-561678,17	-759917,52
200,00		26838204,11	19836933,47
400,00		61821192,95	45693925,22
600,00		89300294,61	66004565,58
800,00		109275509,08	80768854,54
1000,00		121746836,38	89986792,10
1200,00		126714276,49	93658378,27
1232,50	mezzeria	126864594,74	93769483,07
1400,00		124177829,41	91783613,05
1600,00		114137495,16	84362496,42
1800,00		96593273,72	71395028,40
2000,00		71587983,17	52912857,12
2200,00		38993169,29	28821038,17
2400,00		-549649,39	-1239889,07
2465,00	appoggio	-561678,17	-759917,52

### Combinazioni SLE: Trasporto

Sez.	Descrizione	Mmax	Mmin
------	-------------	------	------

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<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						

0,00	appoggio	-462558,49	-859037,20
200,00		26677134,35	14364610,80
400,00		60992114,48	32841907,80
600,00		86824439,54	46751621,29
800,00		104174109,52	56093751,28
1000,00		113041124,42	60868297,77
1200,00		113425484,25	61075260,75
1232,50	mezzeria	112745370,55	60709045,68
1400,00		105327189,00	56714640,23
1600,00		88746238,68	47786436,21
1800,00		63682633,27	34290648,69
2000,00		30184775,83	16253340,83
2200,00		18007567,76	9696382,64
2400,00		-840423,87	-1927413,54
2465,00	appoggio	-462558,49	-859037,20

### Combinazioni SLE: Prima fase al getto della soletta

Sez.	Descrizione	M	V
0,00	appoggio	0,00	387880,56
200,00		71349710,84	325818,56
400,00		130289456,04	263756,57
600,00		176819235,61	201694,58
800,00		210939049,54	139632,59
1000,00		232648897,84	77570,59
1200,00		241948780,51	15508,60
1232,50	mezzeria	242373642,26	5423,53
1400,00		237021815,48	-57400,45
1600,00		219332355,45	-119462,44
1800,00		189232929,79	-181524,43
2000,00		146723538,49	-243586,42
2200,00		91804181,57	-305648,42
2400,00		24474859,01	-367710,41
2465,00	appoggio	0,00	-387880,56

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### Combinazioni 2a fase:S.L.E. Rara

Sez.	Descrizione	M	V	T
0,00	appoggio	0,00	387916,99	-1709145,90
200,00		71185739,14	341644,85	-1653744,94
400,00		129620172,29	296631,19	-1491515,20
600,00		175303299,44	252875,99	-1232957,09
800,00		208235120,60	210379,28	-894787,90
1000,00		228415635,76	169141,03	-498859,20
1200,00		235844844,93	60566,22	-34112,95
1232,50	mezzeria	235935841,27	-78519,07	96539,60
1400,00		232217729,25	-156010,66	588969,16
1600,00		216168184,53	-196841,20	1347221,81
1800,00		187367333,80	-238930,22	1890919,28
2000,00		145815177,08	-282277,71	2174286,58
2200,00		91511714,37	-326883,67	2242547,44
2400,00		24456945,66	-372748,11	2150184,78
2465,00	appoggio	0,00	-387916,99	2089362,14

### Combinazioni 2a fase:S.L.E. Frequente

Sez.	Descrizione	M	V	T
0,00	appoggio	0,00	277594,27	-1709145,90
200,00		50937841,99	244834,44	-1653744,94
400,00		92745173,41	212578,01	-1491515,20
600,00		125421994,26	180824,96	-1232957,09
800,00		148968304,54	149575,30	-894787,90
1000,00		163384104,24	118829,03	-498859,20
1200,00		168669393,38	37562,80	-70744,82
1232,50	mezzeria	168728967,38	-66013,49	49366,78
1400,00		166095407,80	-108945,31	629048,53
1600,00		154637569,36	-139528,50	1356800,09
1800,00		134049220,35	-170615,08	1884596,40
2000,00		104330360,77	-202205,05	2183462,06

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

2200,00	65480990,61	-234298,41	2290790,97
2400,00	17501109,89	-266895,15	2247402,50
2465,00 appoggio	0,00	-277594,27	2203666,47

### Combinazioni 2a fase:S.L.E. Quasi permanente

Sez.	Descrizione	M	V	T
0,00	appoggio	0,00	87247,38	-1709145,90
200,00		16029088,97	73089,59	-1653744,94
400,00		29227174,90	58931,80	-1491515,20
600,00		39594257,79	44774,01	-1232957,09
800,00		47130337,63	30616,22	-894787,90
1000,00		51835414,43	16458,43	-498859,20
1200,00		53709488,19	2300,64	-70744,82
1232,50	mezzeria	53766198,99	0,00	0,00
1400,00		52752558,91	-11857,15	361909,10
1600,00		48964626,58	-26014,94	771165,65
1800,00		42345691,22	-40172,73	1130597,24
2000,00		32895752,81	-54330,52	1416989,47
2200,00		20614811,36	-68488,31	1611839,94
2400,00		5502866,86	-82646,10	1702554,96
2465,00	appoggio	0,00	-87247,38	1709145,90

## 12 PARAMETRI DI SOLLECITAZIONE SUL TRAVERSO

### Valori caratteristici M per carichi permanenti

Sez.	Descrizione	Cordoli + Sbalzi	Perm Portati
-700,00	estremità dx	0,00	0,00
-600,00		-1422392,35	823826,26
-400,00		-5725305,20	2480871,61
-200,00		-7847955,56	3554720,01
0,00	mezzeria	-8579558,19	4182690,32
200,00		-7347241,47	3932927,84
400,00		-1903382,59	1477782,62

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

600,00	6151951,20	-1807680,29
700,00 estremità sx	0,00	0,00

### Valori caratteristici M per carichi traffico

Sez.	Descrizione	Tandem-TS	
		Mmax	Mmin
-700,00	estremità dx	0,00	0,00
-600,00		10519311,47	-6014029,18
-400,00		18179348,52	-8240698,93
-200,00		30364706,48	-9511293,85
0,00	mezzeria	34480163,96	-11264056,43
200,00		23403887,13	-13009714,49
400,00		19792559,75	-13650684,24
600,00		1414496,94	-7182274,43
700,00	estremità sx	0,00	0,00

Sez.	Descrizione	Distribuito-UDL	
		Mmax	Mmin
-700,00	estremità dx	0,00	-1143928,16
-600,00		6439132,93	-3645223,76
-400,00		25985489,51	-5895726,03
-200,00		16859213,26	-6349680,83
0,00	mezzeria	18008784,89	-9066257,17
200,00		29822334,26	-9070571,34
400,00		12191929,38	-7513170,07
600,00		517934,64	-3460918,07
700,00	estremità sx	0,00	0,00

Sez.	Descrizione	Folla Marciapiedi	
		Mmax	Mmin
-700,00	estremità dx	0,00	-322636,56
-600,00		0,00	-1205377,26
-400,00		0,00	-2958694,82
-200,00		0,00	-4447229,27

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

0,00	mezzeria	0,00	-5546498,00
200,00		0,00	-5012379,31
400,00		0,00	-1014538,55
600,00		5965545,87	0,00
700,00	estremità sx	0,00	0,00

### Combinazioni SLU P/T

Sez.	Descrizione	Mmax	Mmin
-700,00	estremità dx	5583210,98	-3914105,87
-600,00		25953766,18	-15628995,23
-400,00		56727994,30	-25212246,68
-200,00		59104046,58	-30422944,25
0,00	mezzeria	66134493,47	-37476653,29
200,00		66788524,70	-38456008,99
400,00		36608896,00	-28759295,12
600,00		9071012,90	-9917759,13
700,00	estremità sx	0,00	0,00

### Combinazioni SLE rare

Sez.	Descrizione	Mmax	Mmin
-700,00	estremità dx	4135711,84	-2746586,20
-600,00		19013288,54	-11577033,51
-400,00		41176760,18	-18675738,29
-200,00		42665950,30	-22535514,26
0,00	mezzeria	47875824,30	-27760483,92
200,00		48620427,15	-28485932,58
400,00		27107977,62	-21303181,57
600,00		6719268,81	-6509953,30
700,00	estremità sx	0,00	0,00

### Combinazioni SLE frequenti

Sez.	Descrizione	Mmax	Mmin
-700,00	estremità dx	2790447,15	-1391280,01

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

-600,00		11412011,98	-7159092,23
-400,00		21001570,18	-11647623,37
-200,00		24898099,81	-14086546,20
0,00	mezzeria	28615777,42	-16640186,66
200,00		25665057,92	-17132212,97
400,00		16722383,07	-12976700,57
600,00		3965677,90	-2864484,96
700,00	estremità sx	0,00	0,00

### Combinazioni SLE quasi permanenti

Sez.	Descrizione	Mmax	Mmin
-700,00	estremità dx	589184,30	589184,30
-600,00		-816647,58	-816647,58
-400,00		-3255337,31	-3255337,31
-200,00		-4300039,07	-4300039,07
0,00	mezzeria	-4291801,90	-4291801,90
200,00		-3288422,99	-3288422,99
400,00		-37503,47	-37503,47
600,00		3226634,77	3226634,77
700,00	estremità sx	0,00	0,00

## 13 EFFETTI LOCALI SULLA SOLETTA

Il momento massimo trasversale dato dall'effetto locale dei carichi sulla soletta viene determinato usando uno schema semplificato di trave semi incastrata.

I carichi permanenti considerati sono il peso proprio della soletta e la pavimentazione.

La ricerca del massimo momento flettente generato dai carichi mobili viene condotta considerando il carico LM2 illustrato nella Normativa al punto 5.1.3.3.5.

Tale schema, considerato autonomamente e assunto a riferimento solo per verifiche locali, è costituito da un singolo asse applicato su specifiche impronte di pneumatico (di dimensioni 35,00x60,00 [cm]) poste ad un interasse di 200,00 [cm]: il carico totale asse è pari a 400000,00 [N]

I carichi concentrati da considerarsi ai fini delle verifiche locali si assumono uniformemente distribuiti sulla superficie della rispettiva impronta. La diffusione attraverso la pavimentazione e lo spessore della soletta si considera avvenire attraverso una diffusione a 45°, fino al piano medio della struttura della soletta sottostante

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<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						

Il momento minimo dato dall'effetto locale, invece, viene valutato come uno schema statico di trave perfettamente incastrata.

Luce Soletta	100,00
Carico per ruota	200000,00
Interasse ruote	200,00
Larghezza Impronta	60,00
Lunghezza influenza	200,00

Momento flettente trasversale (positivo tende le fibre inferiori):

	<b>M max</b>	<b>M min</b>
effetto locale perm.	1294,69	-863,13
effetto locale acc.	9630,21	-9489,58
M tot. effetto locale	10924,90	-10352,71

## 14 REAZIONI MASSIME AGLI APPOGGI

### Forze Orizzontali

Azione del vento :

Altezza barriera	0,00
Pressione cinetica	0,00
Forza totale sull'impalcato Fyw	0,00

Azione longitudinale di frenamento q3 :

Forza totale sull'impalcato Fxq	341244,00
---------------------------------	-----------

Azione centrifuga Q4 :

Raggio di curvatura	0,00
Forza totale sull'impalcato Fyq	0,00

### Reazioni Rz condizioni singole carichi 1a fase

<b>Trave</b>	<b>PP trave</b>	<b>PP soletta/traverso</b>
1	215779,05	198530,16

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

2	239150,74	198530,16
3	239150,74	198530,16
4	239150,74	198530,16
5	239150,74	198530,16
6	239150,74	198530,16
7	215779,05	198530,16

### Reazioni Rz condizioni singole carichi 2 fase

<b>Trave</b>	<b>Cordoli+Sbalzi</b>	<b>Perm. Portati</b>
1	21401,68	64765,54
2	20065,06	65684,94
3	20683,39	65270,18
4	24027,11	63005,54
5	30337,52	58738,74
6	39116,06	52830,24
7	48314,34	46583,63

Lineari di 2a fase

<b>Trave</b>	<b>x=0</b>	<b>x=Luce</b>
1	6944,10	6944,10
2	5628,17	5628,17
3	4747,71	4747,71
4	4419,41	4419,41
5	4598,27	4598,27
6	5086,45	5086,45
7	5479,98	5479,98

Carichi da Traffico

<b>Trave</b>	<b>Tandem-TS</b>	<b>Distribuito-UDL</b>	<b>Folla Marciapiedi</b>
1	202807,45	95603,27	4847,69
2	195976,86	90467,44	7253,70
3	180611,63	81632,88	10671,10
4	157138,51	71689,42	15632,38
5	130257,35	61866,36	22484,69

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

6	104392,97	52333,21	31078,74
7	83141,97	43888,57	40057,43

### Reazioni appoggi: combinazioni SLU P/T

Trave	Rz max	Rz min
1	1091144,36	507420,52
2	1105825,79	529059,07
3	1074549,03	528382,18
4	1033799,08	529132,96
5	991874,00	531355,43
6	954421,92	534713,65
7	893357,65	514687,15

Reazione laterale totale  $R_y = 0,00$   
Reazione longitudinale totale  $R_x = 460679,40$

### Reazioni appoggi: combinazioni SLE rare

Trave	Rz max	Rz min
1	808255,08	0,00
2	819130,22	0,00
3	795962,25	0,00
4	765777,09	0,00
5	734721,48	0,00
6	706979,20	0,00
7	661746,41	0,00

Reazione laterale totale  $R_y = 0,00$   
Reazione longitudinale totale  $R_x = 341244,00$

### Reazioni appoggi: combinazioni SLE frequenti

Trave	Rz max	Rz min
1	697767,41	0,00
2	712228,69	0,00
3	696494,06	0,00
4	675662,62	0,00

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

5	653794,99	0,00
6	633941,66	0,00
7	594599,06	0,00

Reazione laterale totale  $R_y = 0,00$   
Reazione longitudinale totale  $R_x = 0,00$

### Reazioni appoggi: combinazioni SLE quasi permanenti

Trave	Rz max	Rz min
1	507420,52	0,00
2	529059,07	0,00
3	528382,18	0,00
4	529132,96	0,00
5	531355,43	0,00
6	534713,65	0,00
7	514687,15	0,00

Reazione laterale totale  $R_y = 0,00$   
Reazione longitudinale totale  $R_x = 0,00$

## 15 AZIONE SISMICA

Parametri per la determinazione dell'azione sismica

Categoria di sottosuolo            B  
Categoria topografica            T1  
Coeff. di combinazione sismica    0,2

q            Coefficiente di struttura  
 $\eta$             1/q  
 $a_g$           Accelerazione orizzontale massima al sito  
 $T_c^*$         Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale  
 $F_0$         Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

*Forze orizzontali*

Dati per SLE

$\eta$             0,70  
 $a_g$           0,44/g  
 $T_c^*$         0,42  
 $F_0$         2,48

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: left;">F0</td> <td style="text-align: left;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

Dati per SLU

q 1,5  
 $\eta$  0,70  
 $a_g$  0,44/g  
 $T_c^*$  0,42  
 $F_0$  2,48

*Forze verticali*

Dati per SLE

$\eta$  0,70

Dati per SLU

q 1,5  
 $\eta$  0,70

Dati Spalla

Altezza 1000,00  
B Trasversale 1500,00  
B Longitudinale 1200,00  
Rck 3434

Peso Impalcato 7313575,30  
Peso Carichi Mobili 1871757,50  
Aliquota Carichi Mobili 0,20  
Peso Totale Struttura 7687926,80  
Massa Struttura [DaN massa] 783682,65  
Rigidezza 575268,10  
Periodo fondamentale [s] 0,2772

Peso spalla 44145000,00  
Massa spalla [DaN massa] 4500000,00  
Modulo elastico spalla 3244170  
Momento d'inerzia trasversale 337500000000,00  
Momento d'inerzia longitudinale 216000000000,00  
Rigidezza trasversale 3284721939,41  
Rigidezza longitudinale 2102222041,22  
Periodo fondamentale (componente trasversale) [s] 0,0191  
Periodo fondamentale (componente longitudinale) [s] 0,0239  
Valore massimo del coeff. di amplificazione topografica  $S_t$  1,00

### **Forze orizzontali**

#### **Valori per SLE**

$S_s$  1,00  
 $C_c$  1,31  
TB 0,18

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

TC 0,55

TD 3,36

Spettro di risposta elastico in accelerazione (componente trasversale)  $S_e$  0,4738

Forza 3642215,96

Spettro di risposta elastico in accelerazione (componente longitudinale)  $S_e$  0,4822

Forza 3707098,00

### Valori per SLU

$S_s$  1,00

$C_c$  1,31

TB 0,18

TC 0,55

TD 3,36

Spettro di risposta elastico in accelerazione (componente trasversale)  $S_e$  0,4738

Forza 3642215,96

Spettro di risposta elastico in accelerazione (componente longitudinale)  $S_e$  0,4822

Forza 3707098,00

### Forze verticali

TB 0,05

TC 0,15

TD 1,00

### Valori per SLE

$S_s$  1,00

Fattore di amplificazione spettrale massima  $F_v$  2,22

Spettro di risposta elastico in accelerazione  $S_{ve}$  0,3702

### Azione sismica caratteristica sulla trave

Sez.	Descrizione	Mmax	Vmax	Tmax
0,00	appoggio	0,00	198131,83	-660803,27
200,00		36427364,33	167540,93	-654768,03
400,00		66478734,46	137043,20	-605853,59
600,00		90154110,39	106638,64	-514017,21
800,00		107453492,13	76327,25	-379925,44
1000,00		118376879,68	46109,02	-210743,23
1200,00		122924273,03	10905,75	-23474,89
1232,50	mezzeria	123105069,50	-3805,34	7146,99
1400,00		120548619,90	-36308,24	150773,45
1600,00		111690828,11	-66496,28	328100,10
1800,00		96457042,12	-96777,49	474788,35

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

2000,00	74847261,94	-127151,87	580574,98
2200,00	46861487,56	-157619,42	643328,93
2400,00	12499718,99	-188180,13	663354,32
2465,00 appoggio	0,00	-198131,83	660803,27

Sez.	Descrizione	Mmin	Vmin	Tmin
0,00	appoggio	0,00	175872,73	-632655,20
200,00		32344021,70	147659,32	-612148,05
400,00		59046466,46	119445,90	-552097,31
600,00		80107334,29	91232,49	-456389,78
800,00		95526625,18	63019,08	-331213,51
1000,00		105304339,14	34805,66	-184657,07
1200,00		109440476,17	6592,25	-26186,81
1232,50	mezzeria	109618734,43	2007,57	0,00
1400,00		107262501,58	-25636,30	133963,80
1600,00		99312458,26	-53849,72	285453,66
1800,00		85720838,00	-82063,13	418500,39
2000,00		66487640,80	-110276,54	524510,96
2200,00		41612866,67	-138489,96	596636,55
2400,00		11096515,61	-166703,37	630215,51
2465,00	appoggio	0,00	-175872,73	632655,20

### Combinazione

Sez.	Descrizione	Mmax	Vmax	Tmax
0,00	appoggio	0,00	733393,68	-2445992,41
200,00		134837494,17	620160,14	-2423652,71
400,00		246073964,87	507271,45	-2242593,77
600,00		333709412,12	394727,63	-1902657,35
800,00		397743835,90	282528,67	-1406310,75
1000,00		438177236,22	170674,56	-780075,34
1200,00		455009613,08	40368,11	-96931,63
1232,50	mezzeria	455678839,21	-14085,62	26454,91
1400,00		446216028,36	-134396,53	558094,56
1600,00		413428521,73	-246138,91	1214476,99

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

1800,00	357039991,64	-358226,15	1757450,00
2000,00	277050438,09	-470658,25	2149023,87
2200,00	173459861,08	-583435,22	2381310,37
2400,00	46268260,61	-696557,04	2455435,25
2465,00 appoggio	0,00	-733393,68	2445992,41

Sez.	Descrizione	Mmin	Vmin	Tmin
0,00	appoggio	0,00	651000,67	-2341801,09
200,00		119722821,50	546567,47	-2265893,00
400,00		218563097,40	442134,28	-2043612,51
600,00		296520827,68	337701,08	-1689346,87
800,00		353596012,36	233267,88	-1226001,41
1000,00		389788651,42	128834,69	-683516,27
1200,00		405098744,88	24401,49	-86893,33
1232,50	mezzeria	405758575,68	7431,09	0,00
1400,00		397036875,97	-94893,90	495872,89
1600,00		367609440,29	-199327,09	1056619,32
1800,00		317299459,00	-303760,29	1549097,63
2000,00		246106932,10	-408193,49	1941500,43
2200,00		154031859,59	-512626,69	2208476,50
2400,00		41074241,47	-617059,88	2332770,47
2465,00 appoggio		0,00	-651000,67	2341801,09

#### Azione sismica caratteristica sul traverso

Sez.	Descrizione	Mmax	Mmin
-700,00	estremità dx	0,00	0,00
-600,00		1033898,66	-734078,19
-400,00		2068644,41	-1154518,68
-200,00		1906890,38	-1336721,63
0,00	mezzeria	2258309,23	-1704014,09
200,00		2676591,78	-1824694,68
400,00		2210327,77	-1644720,70
600,00		1971950,74	-824433,49
700,00	estremità sx	0,00	0,00

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

### Combinazione

Sez.	Descrizione	Mmax	Mmin
-700,00	estremità dx	0,00	0,00
-600,00		3827021,45	-3315788,86
-400,00		7657178,42	-7517935,37
-200,00		7058438,78	-9241169,57
0,00	mezzeria	8359231,14	-10704351,11
200,00		9907522,43	-10168501,40
400,00		8181625,62	-6513606,13
600,00		7299262,56	1292594,03
700,00	estremità sx	0,00	0,00

### Valori per SLU

$S_s = 1,00$   
Fattore di amplificazione spettrale massima  $F_v = 2,22$   
Spettro di risposta elastico  $S_{ve} = 0,3702$

### Azione sismica caratteristica sulla trave

Sez.	Descrizione	Mmax	Vmax	Tmax
0,00	appoggio	0,00	198131,83	-660803,27
200,00		36427364,33	167540,93	-654768,03
400,00		66478734,46	137043,20	-605853,59
600,00		90154110,39	106638,64	-514017,21
800,00		107453492,13	76327,25	-379925,44
1000,00		118376879,68	46109,02	-210743,23
1200,00		122924273,03	10905,75	-23474,89
1232,50	mezzeria	123105069,50	-3805,34	7146,99
1400,00		120548619,90	-36308,24	150773,45
1600,00		111690828,11	-66496,28	328100,10
1800,00		96457042,12	-96777,49	474788,35
2000,00		74847261,94	-127151,87	580574,98
2200,00		46861487,56	-157619,42	643328,93
2400,00		12499718,99	-188180,13	663354,32
2465,00	appoggio	0,00	-198131,83	660803,27

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Sez.	Descrizione	Mmin	Vmin	Tmin
0,00	appoggio	0,00	175872,73	-632655,20
200,00		32344021,70	147659,32	-612148,05
400,00		59046466,46	119445,90	-552097,31
600,00		80107334,29	91232,49	-456389,78
800,00		95526625,18	63019,08	-331213,51
1000,00		105304339,14	34805,66	-184657,07
1200,00		109440476,17	6592,25	-26186,81
1232,50	mezzeria	109618734,43	2007,57	0,00
1400,00		107262501,58	-25636,30	133963,80
1600,00		99312458,26	-53849,72	285453,66
1800,00		85720838,00	-82063,13	418500,39
2000,00		66487640,80	-110276,54	524510,96
2200,00		41612866,67	-138489,96	596636,55
2400,00		11096515,61	-166703,37	630215,51
2465,00	appoggio	0,00	-175872,73	632655,20

### Combinazione

Sez.	Descrizione	Mmax	Vmax	Tmax
0,00	appoggio	0,00	733393,68	-2445992,41
200,00		134837494,17	620160,14	-2423652,71
400,00		246073964,87	507271,45	-2242593,77
600,00		333709412,12	394727,63	-1902657,35
800,00		397743835,90	282528,67	-1406310,75
1000,00		438177236,22	170674,56	-780075,34
1200,00		455009613,08	40368,11	-96931,63
1232,50	mezzeria	455678839,21	-14085,62	26454,91
1400,00		446216028,36	-134396,53	558094,56
1600,00		413428521,73	-246138,91	1214476,99
1800,00		357039991,64	-358226,15	1757450,00
2000,00		277050438,09	-470658,25	2149023,87
2200,00		173459861,08	-583435,22	2381310,37
2400,00		46268260,61	-696557,04	2455435,25

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

2465,00 appoggio 0,00 -733393,68 2445992,41

Sez.	Descrizione	Mmin	Vmin	Tmin
0,00	appoggio	0,00	651000,67	-2341801,09
200,00		119722821,50	546567,47	-2265893,00
400,00		218563097,40	442134,28	-2043612,51
600,00		296520827,68	337701,08	-1689346,87
800,00		353596012,36	233267,88	-1226001,41
1000,00		389788651,42	128834,69	-683516,27
1200,00		405098744,88	24401,49	-86893,33
1232,50	mezzeria	405758575,68	7431,09	0,00
1400,00		397036875,97	-94893,90	495872,89
1600,00		367609440,29	-199327,09	1056619,32
1800,00		317299459,00	-303760,29	1549097,63
2000,00		246106932,10	-408193,49	1941500,43
2200,00		154031859,59	-512626,69	2208476,50
2400,00		41074241,47	-617059,88	2332770,47
2465,00	appoggio	0,00	-651000,67	2341801,09

### Azione sismica caratteristica sul traverso

Sez.	Descrizione	Mmax	Mmin
-700,00	estremità dx	0,00	0,00
-600,00		1033898,66	-734078,19
-400,00		2068644,41	-1154518,68
-200,00		1906890,38	-1336721,63
0,00	mezzeria	2258309,23	-1704014,09
200,00		2676591,78	-1824694,68
400,00		2210327,77	-1644720,70
600,00		1971950,74	-824433,49
700,00	estremità sx	0,00	0,00

### Combinazione

Sez.	Descrizione	Mmax	Mmin
-700,00	estremità dx	0,00	0,00

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

-600,00	3827021,45	-3315788,86
-400,00	7657178,42	-7517935,37
-200,00	7058438,78	-9241169,57
0,00 mezzeria	8359231,14	-10704351,11
200,00	9907522,43	-10168501,40
400,00	8181625,62	-6513606,13
600,00	7299262,56	1292594,03
700,00estremità sx	0,00	0,00

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 16 VERIFICHE

### Oggetto della relazione

La presente relazione espone la verifica di una struttura lineare continua soggetta a forze esterne contenute nel piano verticale longitudinale alla struttura stessa e vincolata nel medesimo piano.

La struttura è in calcestruzzo armato precompresso, realizzata per fasi utilizzando travi prefabbricate in c.a.p. e getto successivo eseguito in opera per realizzare traversi di collegamento e soletta collaborante.

### Convenzioni

#### Sistema di riferimento

Il sistema di riferimento delle grandezze geometriche e delle forze è una terna sinistrogira con l'asse X parallelo all'asse longitudinale della struttura, l'asse Z contenuto nel piano verticale e l'asse Y ortogonale a tale piano e orientato verso l'osservatore che veda le X positive a destra e le Z positive in alto.

I carichi agenti sulla struttura e le reazioni dei vincoli sono positivi se sono diretti verso l'alto e verso destra. I momenti flettenti sulla trave sono positivi quando tendono la fibra inferiore della sezione.

Tensioni e deformazioni sono positive se di trazione, sia per il calcestruzzo che per l'acciaio.

#### Normativa

Sono state rispettate le seguenti normative:

Legge 05/11/1971 n. 1086: Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica

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

#### Unità di misura

Ove non sia diversamente specificato, le grandezze contenute nella presente relazione sono espresse nelle seguenti unità di misura:

lunghezza	[cm]
forza	[N]
angolo	[rad]

I diametri delle barre di armatura lenta sono sempre espressi in [mm], i diametri dei trefoli di precompressione sono invece espressi in [inch] ( = 25.4 [mm] ).

#### Codice di calcolo

La verifica è stata condotta con il codice di calcolo automatico TCAP ed. 8.2 - 12/2010 sviluppato da SIGMAC SOFT - Padova.

Procedura di calcolo tensionale per flessione: PREFLErett vers. TCAP/2.0 09/10 - SIGMACSOFT

Procedura di calcolo a rottura per flessione: FindLim ed. TCAP/1.0 05/10 - SIGMACSOFT

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Procedura di calcolo a rottura per taglio: VrdCalc ed. TCAP/1.0 06/10 - SIGMACSOFT  
Modello iperstatico: TRSP ed. TCAP/1.0 04/10 - SIGMACSOFT

## Modello di calcolo

Il codice di calcolo TCAP riceve le combinazioni di carico della struttura dal programma di calcolo delle sollecitazioni ed esegue le verifiche nelle situazioni agli Stati Limite Ultimi e agli Stati Limite di Esercizio inserendo nelle combinazioni l'effetto della precompressione.

Per valutare l'effetto della precompressione nelle varie sezioni viene assunto un modello di calcolo appropriato che riproduce le condizioni iperstatiche della struttura reale. La struttura è considerata lineare e rettilinea, soggetta a deformazione longitudinale assiale generata dalla precompressione e deformazione trasversale per inflessione nel piano verticale. Essa viene schematizzata come una struttura a telaio piano che discretizza i tratti a sezione (e quindi baricentro) costante con aste orizzontali e i tratti a geometria variabile con aste inclinate.

Le forze di precompressione sono rappresentate da forze longitudinali e da coppie di trasporto delle forze stesse alla quota del baricentro locale.

Per il calcolo dei momenti flettenti resistenti a rottura viene utilizzata la procedura FindLim ed. TCAP/1.0 05/10 - SIGMACSOFT che tiene conto, oltre al contributo del calcestruzzo, del contributo delle armature lente (stesso stato deformativo del calcestruzzo) e del contributo delle armature di precompressione nello stato deformativo effettivo (pretensione).

## Dati di calcolo

### Materiali - resistenze di calcolo

In questo capitolo non valgono le convezioni di segno precedentemente riportate: per il calcestruzzo tutte le grandezze sono indicate con segno positivo e contestualmente viene specificato se si tratta di valori di compressione o di trazione.

### Calcestruzzo delle travi prefabbricate

Ai fini del calcolo le caratteristiche rilevanti del calcestruzzo sono date dalla resistenza a rottura, dal modulo elastico e dall'entità dei fenomeni differiti nel tempo. Le travi prefabbricate in c.a.p. sono precomprese a trefoli aderenti e devono perciò rispettare delle limitazioni tensionali già in fase iniziale, al rilascio dei trefoli. Data l'entità delle sollecitazioni iniziali si raccomanda di eseguire il trasferimento della precompressione con opportuna gradualità. Nel seguito della relazione si indicherà sinteticamente tale operazione come "taglio dei trefoli".

Calcestruzzo	C45/55
resistenza caratteristica $R_{ck28, cub}$	5500,00
resistenza al taglio dei trefoli $R_{ckj, cub}$	3850,00
coefficiente sicurezza verifiche a rottura	1,500
modulo elastico	3641611,39
peso specifico	0,0245

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

ritiro totale	-0,00030
% ritiro prima del taglio trefoli	25,5%
% ritiro taglio trefoli-getto soletta	25,5%
% ritiro da getto soletta a t=inf.	49%
coeff. di viscosità	2,300
% viscosità taglio trefoli-getto soletta	33%
% viscosità da getto soletta a t=inf.	67%

**Resistenza caratteristica cilindrica a compressione :**

a tempo infinito       $f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 0.83 \cdot 5500,00 = 4565,00 \text{ N/cm}^2$   
al taglio dei trefoli  $f_{ckj} = 0.83 \cdot R_{ckj} = 0.83 \cdot 3850,00 = 3195,50 \text{ N/cm}^2$

**Resistenza di calcolo a compressione :**

a tempo infinito       $f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 0.85 \cdot 4565,00 / 1,5 = 3880,25 \text{ N/cm}^2$   
al taglio dei trefoli  $f_{cdj} = \alpha_{cc} \cdot f_{ckj} / \gamma_c = 0.85 \cdot 3195,50 / 1,5 = 2716,18 \text{ N/cm}^2$

Nel calcolo a rottura delle sezioni si utilizza il diagramma parabola-rettangolo con tensione massima pari a :

$$f_{cd} = 3880,25$$

**Resistenza di calcolo a trazione per flessione :**

a tempo infinito       $f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 268,23 / 1,5 = 321,88$   
al taglio dei trefoli  $f_{ctdj} = f_{ctkj} / \gamma_c = 211,47 / 1,5 = 253,76$

Nelle condizioni di esercizio la massima tensione di compressione nel calcestruzzo deve rispettare le seguenti limitazioni:

**al taglio dei trefoli :**

$$\sigma_{cj} < 0.7 \cdot f_{ckj} = 3195,50 \text{ N/cm}^2$$

**a cadute avvenute :**

$$\sigma_c < 0.6 \cdot f_{ck} = 2739,00 \text{ N/cm}^2 \quad (\text{per comb. caratteristica rara})$$

$$\sigma_c < 0.45 \cdot f_{ck} = 2054,25 \text{ N/cm}^2 \quad (\text{per comb. quasi permanente})$$

**Calcestruzzo gettato in opera**

Calcestruzzo	C32/40
resistenza caratteristica $R_{ck, cub}$	4000,00
coefficiente sicurezza verifiche a rottura	1,5
modulo elastico	3364277,77
peso specifico	0,0245
coeff. di omogeneizzazione con cls travi	0,924

**Resistenza caratteristica cilindrica a compressione :**

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

a tempo infinito  $f_{ck} = 0.83 \cdot R_{ck} = 0.83 \cdot 4000,00 = 3320,00 \text{ N/cm}^2$

**Resistenza di calcolo a compressione :**

a tempo infinito  $f_{cd} = \alpha_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 0.85 \cdot 3320,00 / 1,5 = 2822,00 \text{ N/cm}^2$

Nel diagramma parabola-rettangolo la tensione massima è pari a :

$$f_{cd} = 2822,00$$

**Resistenza di calcolo a trazione per flessione :**

a tempo infinito  $f_{ctd} = f_{ctk} / \gamma_c = 216,93 / 1,5 = 260,31$

Nelle condizioni di esercizio la massima tensione di compressione del calcestruzzo deve rispettare le seguenti limitazioni:

$$\sigma_c < 0.6 \cdot f_{ck} = 1992,00 \text{ N/cm}^2 \quad (\text{per comb. caratteristica rara})$$

$$\sigma_c < 0.45 \cdot f_{ck} = 1494,00 \text{ N/cm}^2 \quad (\text{per comb. quasi permanente})$$

### **Acciaio per c.a.p.**

tipo acciaio	prec.fpk=1860
tensione all'1% deform. residua $f_{p(1)k}$	167400,00
Modulo elastico	20600000,00
coeff. di omogeneizzazione a cls travi	6
coefficiente di sicurezza	1,15
% rilassam. prima del taglio trefoli	41,4%
% rilassam. taglio trefoli-getto soletta	25,9%
% rilassam. da getto soletta a t=inf.	32,7%

In base al punto 4.1.8.1.5 del D.M. 14/01/2008 le tensioni iniziali all'atto della tesatura dei cavi pre-tesi deve rispettare la più restrittiva delle seguenti limitazioni:

$$\sigma_{spi} \leq 0.80 \cdot f_{ptk} = 0.80 \cdot 184140,00 = 147312,00 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_{spi} \leq 0.90 \cdot f_{p(1)k} = 0.90 \cdot 167400,00 = 150660,00 \text{ N/cm}^2$$

E' ammessa una sovratensione iniziale pari a  $0.05 f_{p(1)k}$ .

La tensione massima in esercizio nella combinazione caratteristica (rara) deve rispettare la seguente limitazione (4.1.8.1.2 e 4.1.2.2.5.2 D.M.14/01/2008):

$$\sigma_{sp} \leq 0.80 \cdot f_{p(1)k} = 133920,00 \text{ N/cm}^2$$

Nel calcolo a rottura si utilizza il diagramma triangolo-rettangolo con tensione massima pari a:

$$f_{ptd} = f_{p(1)k} / \gamma_s = 167400,00 / 1,15 = 145565,22 \text{ N/cm}^2$$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### **Acciaio per armatura lenta**

Questo tipo di acciaio costituisce l'armatura destinata ad assorbire gli sforzi di taglio (staffe) ed altri sforzi locali di trazione nel calcestruzzo.

tipo acciaio	B450C
tensione di snervamento $f_{yk}$	45000,00
coefficiente sicurezza verifiche a rottura	1,15
modulo elastico	21000000,00
coeff. di omogeneizzazione a cls travi	-6

La tensione massima consentita (4.1.2.2.5.2 D.M. 14/01/2008) nella combinazione rara deve rispettare la seguente limitazione:

$$\sigma_s \leq 0.80 \cdot f_{yk} = 0.80 \cdot 45000,00 = 36000,00 \text{ N/cm}^2$$

Nel calcolo a rottura si utilizza il diagramma triangolo-rettangolo con tensione massima pari a:

$$f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 45000,00 / 1,15 = 39130,43 \text{ N/cm}^2$$

### **Dati geometrici**

#### **Schemi statici**

L'impalcato viene realizzato con travi prefabbricate in c.a.p. e getto eseguito in opera di traversi e soletta collaborante. Si distinguono due fasi successive di lavoro:

PRIMA FASE Le travi semplicemente appoggiate agli estremi resistono al peso proprio ed a quello del getto eseguito in opera.

SECONDA FASE Il sistema misto, travi prefabbricate e soletta gettata in opera, divenuto solidale dopo la maturazione del calcestruzzo, resiste al peso delle sovrastrutture e dei carichi accidentali.

#### **Prima fase**

Nella prima fase i prefabbricati sono soggetti alle seguenti condizioni di vincolo prima di essere posti in opera:

Sbalzo sinistro = 90,00  
Sbalzo destro = 90,00

In fase di sollevamento:

Sbalzo sinistro = 150,00  
Sbalzo sinistro = 150,00

In fase di trasporto:

Sbalzo anteriore = 150,00  
centro ralla - appoggio anteriore = 200,00  
centro ralla - appoggio posteriore = 200,00

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Sbalzo posteriore = 150,00

### Seconda fase

In seconda fase la struttura è vincolata sugli appoggi definitivi:

appoggio	descrizione	X	luce campata
1	SPA	0,00	
2	SPB	2465,00	2465,00

## Cadute di tensione nell'acciaio da precompressione

### Rilassamento dell'acciaio da precompressione

La valutazione del rilassamento dell'acciaio da precompressione avviene con la formulazione indicata dalla normativa e con i dati forniti dal produttore.

Ad una temperatura costante di 20 [°C] la caduta di tensione  $\Delta\sigma_{pr}$  per rilassamento al tempo t è:

classetipo	caduta
2treccie e trefoli stabilizzati	$\Delta\sigma_{pr} = \sigma_{pi} \cdot [0.66 \cdot \rho_{1000} \cdot e^{9.1\mu} \cdot (t/1000)^{0.75(1-\mu)} \cdot 10^{-5}]$

dove:

$\sigma_{pi}$  è la tensione iniziale nel cavo;

$\rho_{1000}$  è la perdita per rilassamento (in percentuale) a 1000 ore dopo la messa in tensione, a 20 [°C] e a partire da una tensione iniziale pari a 0.7 della resistenza  $f_p$  del campione provato:

Acciaio	classe	$\rho_{1000}$
1	2	2.5

$$\mu = \sigma_{pi} / f_{pk};$$

$f_{pk}$  è la resistenza caratteristica a trazione dell'acciaio;

t è il tempo misurato in ore dalla messa in tensione.

La caduta finale per rilassamento può essere valutata con le formule sopra scritte ed inserendo un tempo di 500000 ore.

Si ottiene così:

Armatura	classe	$\mu$	$\Delta\sigma_{pr}/\sigma_{pi}$	
Trave 1 - gruppo 1	2	0,682	0,036	3,60%

### Ritiro del calcestruzzo



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$$S = G_1 + G_2 + P + Q$$

dove:

- $G_1$  = permanenti strutturali
- $G_2$  = permanenti non strutturali
- P = precompressione
- Q = azioni variabili

### Verifica al sollevamento

La verifica al sollevamento della trave viene eseguita in fase a).  
Incremento dinamico = 0,15

### Verifica in fase di trasporto

La verifica in fase di trasporto della trave viene eseguita in fase b).  
Incremento dinamico = 0,30

### Stato Limite di deformazione

Viene valutata l'entità delle deformazioni significative degli elementi inflessi nelle varie fasi.

La valutazione di tali deformazioni viene fatta assumendo per il modulo elastico del calcestruzzo il valore:

$$E_{\text{travi}} = 3641611,39$$

$$E_{\text{soletta}} = 3364277,77$$

e, per determinare gli effetti sotto l'azione dei carichi permanenti, viene assunto un coefficiente di viscosità pari a:

$$\varphi_{\text{inf}} = 2,3$$

L'effetto della viscosità viene poi ridotto moltiplicando tutte le deformazioni conseguenti per il valore 0,5

Le frecce calcolate sono positive se rappresentano uno spostamento verso l'alto, negative se verso il basso.

### Prima fase

UH120E:

	freccia in mezzeria [cm]
al taglio dei trefoli	1,7970
al getto della soletta	0,6598
dopo maturazione soletta (28gg)	0,6604

### Seconda fase

Freccie in mezzeria [cm]:

campata	dopo maturazione soletta	postesi e cambio vincoli	t=inf. comb. rara max	t=inf. comb. rara min
1	0,6604	0,6604	0,6214	-0,2695

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## Stati Limite Ultimi

### Stato Limite Ultimo per sollecitazioni flettenti

Il calcolo dei momenti ultimi delle sezioni viene eseguito tenendo conto del diagramma

$\sigma$ - $\epsilon$  parabola-rettangolo per il calcestruzzo, con deformazione limite pari a  $-0.0035$  in compressione, corrispondente ad una tensione di calcolo pari a  $f_{cd}=3880,25$ , e deformazione indefinita a trazione con tensione nulla (sezione fessurata).

Per gli acciai si utilizza un diagramma tensioni-deformazioni linearmente elastico fino alla tensione di rottura e lineare orizzontale fino alla deformazione  $0.01$ , sia in trazione che in compressione.

Si rimanda al capitolo dei materiali per i valori dei moduli elastici e delle tensioni di calcolo.

Nel calcolo del momento ultimo si tiene conto del diverso stato deformativo dell'acciaio da precompressione rispetto agli altri materiali.

### Stato Limite Ultimo per sollecitazioni taglianti e torcenti

Per valutare i tagli e momenti torcenti resistenti viene utilizzata la formulazione indicata dalle norme:

$$V_{Rd} = (0.18 \cdot k \cdot ((100 \cdot \rho_1 \cdot f_{ck})^{1/3} / \gamma_c) + 0.15 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \quad (\text{taglio ultimo in assenza di armatura trasversale})$$

$$V_{Rcd} = 0.9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot 0.5 \cdot f_{cd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) / (1 + \text{ctg}^2\theta) \quad (\text{taglio ultimo per rottura delle bielle compresse})$$

$$V_{Rsd} = 0.9 \cdot d \cdot (A_{sw}/s) \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg}\alpha + \text{ctg}\theta) \cdot \sin\alpha \quad (\text{taglio ultimo per rottura delle staffe})$$

$$T_{Rcd} = 2 \cdot A_k \cdot 0.5 \cdot f_{cd} \cdot \text{ctg}\theta / (1 + \text{ctg}^2\theta) \quad (\text{momento torcente ultimo per rottura delle bielle compresse})$$

$$T_{Rsd} = 2 \cdot A_k \cdot (A_{sw}/s) \cdot f_{yd} \cdot \text{ctg}\theta \quad (\text{momento torcente ultimo per rottura delle staffe})$$

Dove:

$d$ : altezza utile della sezione

$b_w$ : larghezza minima della sezione

$A_{sw}$ : area armatura trasversale

$s$ : passo staffe

$\alpha$ : inclinazione risp. all'orizzontale delle armature trasversali (90 [deg])

$\theta$ : inclinazione bielle compresse in cls

$\alpha_c$ : coeff. maggiorativo dovuto alla presenza dello sforzo assiale

$A_{s1}$ : area acciaio in zona tesa

$k = 1 + (200/d)^{1/2}$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<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						

$$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_{c1s}$$

$$\rho_1 = A_{s1}/(b_w*d)$$

$A_k$ : area racchiusa dalla fibra media del profilo periferico della sezione

Nel modello a traliccio a rottura si considerano inclinate a 45 [deg] le bielle compresse di calcestruzzo in sezioni non precomprese, mentre si tiene conto dell'effetto benefico della precompressione valutando una minore inclinazione delle bielle in base alla tensione principale di trazione presente nella sezione a quota baricentrica. L'inclinazione così determinata viene comunque limitata come indicato nelle norme citate.

## Verifiche

### Verifica sezione X=75,00 trentaduesimi

#### Prima fase: sola trave

Sezione di calcolo :

n.	y	z
1	-48,20	0,00
2	-62,40	95,00
3	-89,50	110,50
4	-100,00	112,81
5	-100,00	120,00
6	-52,00	120,00
7	-38,20	28,10
8	-31,30	21,60
9	0,00	19,00
10	31,30	21,60
11	38,20	28,10
12	52,00	120,00
13	100,00	120,00
14	100,00	112,81
15	89,50	110,50
16	62,40	95,00
17	51,90	24,70
18	58,60	16,50
19	100,00	10,27
20	100,00	0,00
21	-48,20	0,00

$$A = 6652,802$$

$$J_F = 12007945,5482$$

$$Y_g = 50,97$$

Armature di precompressione :

n.	z	area
1	99,00	5,560
2	15,50	13,900
3	10,50	8,340
4	5,50	13,900

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

*Armature lente longitudinali :*

n.	Z	area	
1	110,00	4,524	4Ø12
2	5,00	6,786	6Ø12
3	110,00	4,524	4Ø12

n = 6,000

A<sub>id</sub> = 12553,029

J<sub>f, id</sub> = 35573124,6938

Y<sub>g, id</sub> = 87,45

*Cadute di tensione prima del taglio trefoli*

	%	$\Delta\sigma_{sp}$	$\Delta\sigma_{sp}/\sigma_{spi}$
ritiro cls	25,5%	1575,90	1,3%
rilassamento acciaio	30,6%	1870,57	1,5%

*Sollecitazioni*

istante	N <sub>precomp.</sub>	M <sub>precomp.</sub>	M <sub>esterno</sub>
t=0 dopo taglio trefoli	-5091717,33	-145993596,53	14573731,67
prima del getto	-4816182,23	-138093244,29	14573731,67
dopo getto soletta	-4814813,19	-138053990,25	28124190,35

*Tensioni sul calcestruzzo*

istante	$\sigma_{e,max}$	$\sigma_{i,max}$
t=0 dopo taglio trefoli	-25,97	-1243,82
prima del getto	-28,93	-1173,36
dopo getto soletta	-103,93	-1119,29

*Tensioni sugli acciai*

	$\sigma_{sp}$	$\sigma_{long,inf}$	$\sigma_{long,sup}$
t=0 dopo taglio trefoli	117016,02	-5965,38	-637,28
prima del getto	110692,53	-5628,40	-621,49
dopo getto soletta	110842,96	-5384,92	-942,72

*Cadute di tensione dal taglio trefoli al getto soletta*

	%	$\Delta\sigma_{sp}$	$\Delta\sigma_{sp}/\sigma_{spi}$
ritiro cls	25,5%	1575,90	1,3%
rilassamento acciaio	19,1%	1170,23	0,9%
viscosità cls	37,2%	3861,42	3,1%

*Cadute di tensione durante maturazione soletta*

	%	$\Delta\sigma_{sp}$	$\Delta\sigma_{sp}/\sigma_{spi}$
ritiro cls	0,1%	8,51	0,0%
rilassamento acciaio	0,1%	4,15	0,0%
viscosità cls	0,2%	20,16	0,0%

*Momenti di rottura in flessione retta*

$\Delta\epsilon$  armature pretese:  $\epsilon_{sp, z=22,30}=0,00561$

fless. Z asse neutro	Mr	$\epsilon_{sup}$	Z $\epsilon_{sup}$	$\epsilon_{inf}$	Z $\epsilon_{inf}$
----------------------	----	------------------	--------------------	------------------	--------------------

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

(+)	70,37	5,285416E8	-0,00350	120,00	0,00461	5,00
(-)	17,94	-1,271527E8	0,01000	110,00	-0,00195	0,00

$$M_{d,max} = 37967656,97 < M_r$$

#### Verifica rottura a taglio

Calcestruzzo:  $\theta$  [rad]  $b_w$  Staffe:  $A_{sw}$

0,381 28,00 0,314

$d$   $K$   $A_{s1}$   $\rho_1$   $\sigma_{sp}$   $\alpha_c$

115,00 1,417 36,848 0,0114 723,93 1,250

$V_{Rd}$   $V_{Rsd}$   $V_{Rcd}$

554342,40 3180857,00 1615658,00

$$V_{d,max} = 492219,87 < 1615657,93$$

#### Seconda fase: trave+soletta

##### Sezione di calcolo :

n.	Y	Z
1	-48,20	0,00
2	-62,40	95,00
3	-89,50	110,50
4	-100,00	112,81
5	-100,00	120,00
6	-52,00	120,00
7	-38,20	28,10
8	-31,30	21,60
9	0,00	19,00
10	31,30	21,60
11	38,20	28,10
12	52,00	120,00
13	100,00	120,00
14	100,00	112,81
15	89,50	110,50
16	62,40	95,00
17	51,90	24,70
18	58,60	16,50
19	100,00	10,27
20	100,00	0,00
21	-48,20	0,00
22	-100,00	150,00
23	100,00	150,00
24	100,00	120,00
25	-100,00	120,00
26	-100,00	150,00

fine prefabb.  
getto in opera  
(m=0,924)

$$A = 12195,861$$

$$J_f = 33772884,7414$$

$$Y_g = 89,16$$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

*Armature di precompressione :*

n.	Z	area
1	99,00	5,560
2	15,50	13,900
3	10,50	8,340
4	5,50	13,900

*Armature lente longitudinali :*

n.	Z	area	
1	110,00	4,524	4Ø12
2	5,00	6,786	6Ø12
3	110,00	4,524	4Ø12

n = 6,000

A<sub>id</sub> = 12553,029

J<sub>f, id</sub> = 35573124,6938

Y<sub>g, id</sub> = 87,45

*Cadute di tensione da maturazione soletta a t=inf.*

	%	$\Delta\sigma_{sp}$	$\Delta\sigma_{sp}/\sigma_{spi}$
ritiro cls	48,9%	3019,69	2,4%
rilassamento acciaio	24,1%	1473,32	1,2%
viscosità cls	62,6%	6496,33	5,2%

	UH120E	$\sigma_{e,max}$	$\sigma_{e,min}$	$\sigma_{i,max}$	$\sigma_{i,min}$
dopo maturaz. getto		-103,95	-103,95	-1118,94	-1118,94
t=inf.-SLE Rare		-99,81	-118,15	-937,56	-991,51
t=inf.-SLE Frequenti		-99,81	-111,42	-957,36	-991,51
t=inf.-SLE Quasi Permanenti		-99,81	-99,81	-991,51	-991,51

	Getto in opera	$\sigma_{e,max}$	$\sigma_{e,min}$	$\sigma_{i,max}$	$\sigma_{i,min}$
dopo maturaz. getto		0,00	0,00	0,00	0,00
t=inf.-SLE Rare		-26,69	-63,11	4,13	-14,21
t=inf.-SLE Frequenti		-26,69	-49,74	4,13	-7,48
t=inf.-SLE Quasi Permanenti		-26,69	-26,69	4,13	4,13

*Momenti di rottura per flessione retta*

Allungamento armature pretese:  $\epsilon_{sp, z=22,30}=0,00540$

fless.	Z asse neutro	Mr	$\epsilon_{sup}$	$Z\epsilon_{sup}$	$\epsilon_{inf}$	$Z\epsilon_{inf}$
(+)	128,96	7,742413E8	-0,00170	150,00	0,01000	5,00
(-)	17,63	-1,271605E8	0,01000	110,00	-0,00191	0,00

M<sub>d,max</sub> = 75903101,96 < Mr

*Verifica rottura per taglio*

Calcestruzzo:	$\theta$ [rad]	b <sub>w</sub>	Staffe:	A <sub>sw</sub>
	0,381	28,00		0,314



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$$J_f = 12007945,5482$$

$$Y_g = 50,97$$

*Armature di precompressione :*

n.	Z	area
1	99,00	5,560
2	15,50	13,900
3	10,50	8,340
4	5,50	13,900

*Armature lente longitudinali :*

n.	Z	area	
1	110,00	4,524	4Ø12
2	5,00	6,786	6Ø12
3	110,00	4,524	4Ø12

$$n = 6,000$$

$$A_{id} = 12553,029$$

$$J_{f,id} = 35573124,6938$$

$$Y_{g,id} = 87,45$$

*Cadute di tensione prima del taglio trefoli*

	%	$\Delta\sigma_{sp}$	$\Delta\sigma_{sp}/\sigma_{spi}$
ritiro cls	25,5%	1575,90	1,3%
rilassamento acciaio	30,6%	1870,57	1,5%

*Sollecitazioni*

	istante	$N_{precomp.}$	$M_{precomp.}$	$M_{esterno}$
t=0 dopo taglio trefoli		-5091717,33	-145993596,53	28320562,12
prima del getto		-4821012,61	-138231744,78	28320562,12
dopo getto soletta		-4819695,94	-138193992,10	54675717,40

*Tensioni sul calcestruzzo*

	istante	$\sigma_{e,max}$	$\sigma_{i,max}$
t=0 dopo taglio trefoli		-102,06	-1188,96
prima del getto		-104,97	-1119,74
dopo getto soletta		-250,85	-1014,57

*Tensioni sugli acciai*

	$\sigma_{sp}$	$\sigma_{long,inf}$	$\sigma_{long,sup}$
t=0 dopo taglio trefoli	117168,64	-5718,37	-963,17
prima del getto	110956,00	-5387,30	-947,65
dopo getto soletta	111248,60	-4913,73	-1572,44

*Cadute di tensione dal taglio trefoli al getto soletta*

	%	$\Delta\sigma_{sp}$	$\Delta\sigma_{sp}/\sigma_{spi}$
ritiro cls	25,5%	1575,90	1,3%
rilassamento acciaio	19,1%	1170,23	0,9%
viscosità cls	36,5%	3745,59	3,0%

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0 <i>Data</i> 20/06/2011

*Cadute di tensione durante maturazione soletta*

	%	$\Delta\sigma_{sp}$	$\Delta\sigma_{sp}/\sigma_{spi}$
ritiro cls	0,1%	8,51	0,0%
rilassamento acciaio	0,1%	4,15	0,0%
viscosità cls	0,2%	18,91	0,0%

*Momenti di rottura in flessione retta*

$\Delta\epsilon$  armature pretese:  $\epsilon_{sp, z=22,30}=0,00561$

fless. Z asse neutro		Mr	$\epsilon_{sup}$	$z\epsilon_{sup}$	$\epsilon_{inf}$	$z\epsilon_{inf}$
(+)	70,36	5,285318E8	-0,00350	120,00	0,00461	5,00
(-)	17,95	-1,271328E8	0,01000	110,00	-0,00195	0,00

$M_{d,max} = 73812218,50 < M_r$

*Verifica rottura a taglio*

<b>Calcestruzzo:</b>	$\theta$ [rad]	$b_w$	<b>Staffe:</b>	$A_{sw}$	
	0,381	28,00		0,314	
$d$	$K$	$A_{s1}$	$\rho_1$	$\sigma_{cp}$	$\alpha_c$
115,00	1,417	36,848	0,0114	724,66	1,250
$V_{Rd}$	$V_{Rsd}$	$V_{Rcd}$			
554693,00	3180857,00	1615658,00			

$V_{d,max} = 460800,98 < 1615657,93$

**Seconda fase: trave+soletta**

*Sezione di calcolo :*

n.	Y	Z
1	-48,20	0,00
2	-62,40	95,00
3	-89,50	110,50
4	-100,00	112,81
5	-100,00	120,00
6	-52,00	120,00
7	-38,20	28,10
8	-31,30	21,60
9	0,00	19,00
10	31,30	21,60
11	38,20	28,10
12	52,00	120,00
13	100,00	120,00
14	100,00	112,81
15	89,50	110,50
16	62,40	95,00
17	51,90	24,70
18	58,60	16,50
19	100,00	10,27
20	100,00	0,00 fine prefabb.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

21	-48,20	0,00	
22	-100,00	150,00	getto in opera
23	100,00	150,00	(m=0,924)
24	100,00	120,00	
25	-100,00	120,00	
26	-100,00	150,00	

$A = 12195,861$   
 $J_f = 33772884,7414$   
 $Y_g = 89,16$

**Armature di precompressione :**

n.	Z	area
1	99,00	5,560
2	15,50	13,900
3	10,50	8,340
4	5,50	13,900

**Armature lente longitudinali :**

n.	Z	area	
1	110,00	4,524	4Ø12
2	5,00	6,786	6Ø12
3	110,00	4,524	4Ø12

$n = 6,000$   
 $A_{id} = 12553,029$   
 $J_{f,id} = 35573124,6938$   
 $Y_{g,id} = 87,45$

**Cadute di tensione da maturazione soletta a t=inf.**

	%	$\Delta\sigma_{sp}$	$\Delta\sigma_{sp}/\sigma_{spi}$
ritiro cls	48,9%	3019,69	2,4%
rilassamento acciaio	24,1%	1473,32	1,2%
viscosità cls	63,3%	6496,33	5,2%

	UH120E	$\sigma_{e,max}$	$\sigma_{e,min}$	$\sigma_{i,max}$	$\sigma_{i,min}$
dopo maturaz. getto		-250,86	-250,86	-1014,23	-1014,23
t=inf.-SLE Rare		-251,75	-287,37	-767,24	-872,02
t=inf.-SLE Frequenti		-251,75	-274,30	-805,70	-872,02
t=inf.-SLE Quasi Permanenti		-251,75	-251,75	-872,02	-872,02

	Getto in opera	$\sigma_{e,max}$	$\sigma_{e,min}$	$\sigma_{i,max}$	$\sigma_{i,min}$
dopo maturaz. getto		0,00	0,00	0,00	0,00
t=inf.-SLE Rare		-36,67	-107,39	-0,89	-36,51
t=inf.-SLE Frequenti		-36,67	-81,43	-0,89	-23,44
t=inf.-SLE Quasi Permanenti		-36,67	-36,67	-0,89	-0,89

**Momenti di rottura per flessione retta**

Allungamento armature pretese:  $\epsilon_{sp, z=22,30}=0,00542$

fless. Z asse neutro	Mr	$\epsilon_{sup}$	$Z\epsilon_{sup}$	$\epsilon_{inf}$	$Z\epsilon_{inf}$
----------------------	----	------------------	-------------------	------------------	-------------------

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

(+)	128,96	7,742413E8	-0,00170	150,00	0,01000	5,00
(-)	17,66	-1,27165E8	0,01000	110,00	-0,00191	0,00

$$M_{d,max} = 147501616,54 < M_r$$

#### Verifica rottura per taglio

Calcestruzzo:  $\theta$  [rad]  $b_w$  Staffe:  $A_{sw}$

0,381 28,00 0,314

$d$   $K$   $A_{s1}$   $\rho_1$   $\sigma_{cp}$   $\alpha_c$

145,00 1,371 36,848 0,0091 357,62 1,138

$V_{Rd}$   $V_{Rsd}$   $V_{Rcd}$

448982,80 4010653,00 1855003,00

$$V_{d,max} = 937479,10 < 1855003,38$$

#### Verifica rottura per torsione

Calcestruzzo:  $\theta$  [rad]  $f'_{cd}$  Staffe:  $A_{sw}$   $f_{yd}$

0,381 1293,42 0,314 39130,43

$A_k$   $t_{min}$   $u_k$

12662,000 14,00 454,00

$T_{Rcd}$   $T_{Rsd}$

1,581251E8 7,782818E8

$$T_{d,max} = 2980988,14 < 158125093,56$$

Area armatura longitudinale necessaria=181,113

#### Verifica sezione X=308,00 ottavi

##### Prima fase: sola trave

Sezione di calcolo :

n.	y	z
1	-48,20	0,00
2	-62,40	95,00
3	-89,50	110,50
4	-100,00	112,81
5	-100,00	120,00
6	-52,00	120,00
7	-38,20	28,10
8	-31,30	21,60
9	0,00	19,00
10	31,30	21,60
11	38,20	28,10
12	52,00	120,00

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

13	100,00	120,00
14	100,00	112,81
15	89,50	110,50
16	62,40	95,00
17	51,90	24,70
18	58,60	16,50
19	100,00	10,27
20	100,00	0,00
21	-48,20	0,00

$A = 6652,802$   
 $J_f = 12007945,5482$   
 $Y_g = 50,97$

*Armature di precompressione :*

n.	Z	area
1	99,00	5,560
2	15,50	13,900
3	10,50	8,340
4	5,50	13,900

*Armature lente longitudinali :*

n.	Z	area	
1	110,00	4,524	4Ø12
2	5,00	6,786	6Ø12
3	110,00	4,524	4Ø12

$n = 6,000$   
 $A_{id} = 12553,029$   
 $J_{f,id} = 35573124,6938$   
 $Y_{g,id} = 87,45$

*Cadute di tensione prima del taglio trefoli*

	%	$\Delta\sigma_{sp}$	$\Delta\sigma_{sp}/\sigma_{spi}$
ritiro cls	25,5%	1575,90	1,3%
rilassamento acciaio	30,6%	1870,57	1,5%

*Sollecitazioni*

istante	$N_{precomp.}$	$M_{precomp.}$	$M_{esterno}$
t=0 dopo taglio trefoli	-5091717,33	-145993596,53	54161224,99
prima del getto	-4830092,55	-138492091,67	54161224,99
dopo getto soletta	-4828874,49	-138457166,48	104678362,97

*Tensioni sul calcestruzzo*

istante	$\sigma_{e,max}$	$\sigma_{i,max}$
t=0 dopo taglio trefoli	-245,09	-1085,84
prima del getto	-247,90	-1018,94
dopo getto soletta	-527,52	-817,35

*Tensioni sugli acciai*

$\sigma_{sp}$        $\sigma_{long,inf}$        $\sigma_{long,sup}$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>	<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0

t=0 dopo taglio trefoli	117455,52	-5254,06	-1575,76
prima del getto	111451,27	-4934,08	-1560,77
dopo getto soletta	112012,11	-4026,37	-2758,36

**Cadute di tensione dal taglio trefoli al getto soletta**

	%	$\Delta\sigma_{sp}$	$\Delta\sigma_{sp}/\sigma_{spi}$
ritiro cls	25,5%	1575,90	1,3%
rilassamento acciaio	19,1%	1170,23	0,9%
viscosità cls	35,1%	3527,84	2,8%

**Cadute di tensione durante maturazione soletta**

	%	$\Delta\sigma_{sp}$	$\Delta\sigma_{sp}/\sigma_{spi}$
ritiro cls	0,1%	8,51	0,0%
rilassamento acciaio	0,1%	4,15	0,0%
viscosità cls	0,2%	16,54	0,0%

**Momenti di rottura in flessione retta**

$\Delta\epsilon$  armature pretese:  $\epsilon_{sp, z=22,30}=0,00562$

fless. Z asse neutro		Mr	$\epsilon_{sup}$	$z\epsilon_{sup}$	$\epsilon_{inf}$	$z\epsilon_{inf}$
(+)	70,35	5,285084E8	-0,00350	120,00	0,00461	5,00
(-)	17,97	-1,271415E8	0,01000	110,00	-0,00195	0,00

$M_{d,max} = 141315790,01 < M_r$

**Verifica rottura a taglio**

<b>Calcestruzzo:</b>	$\theta$ [rad]	$b_w$	<b>Staffe:</b>	$A_{sw}$	
	0,381	28,00		0,157	
<b>d</b>	<b>K</b>	<b><math>A_{s1}</math></b>	<b><math>\rho_1</math></b>	<b><math>\sigma_{cp}</math></b>	<b><math>\alpha_c</math></b>
115,00	1,417	39,728	0,0123	726,02	1,250
<b><math>V_{Rd}</math></b>	<b><math>V_{Rsd}</math></b>	<b><math>V_{Rcd}</math></b>			
560205,10	1590428,00	1615658,00			

$V_{d,max} = 394611,87 < 1590428,41$

**Seconda fase: trave+soletta**

**Sezione di calcolo :**

n.	Y	Z
1	-48,20	0,00
2	-62,40	95,00
3	-89,50	110,50
4	-100,00	112,81
5	-100,00	120,00
6	-52,00	120,00
7	-38,20	28,10
8	-31,30	21,60
9	0,00	19,00

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

10	31,30	21,60	
11	38,20	28,10	
12	52,00	120,00	
13	100,00	120,00	
14	100,00	112,81	
15	89,50	110,50	
16	62,40	95,00	
17	51,90	24,70	
18	58,60	16,50	
19	100,00	10,27	
20	100,00	0,00	fine prefabb.
21	-48,20	0,00	
22	-100,00	150,00	getto in opera
23	100,00	150,00	(m=0,924)
24	100,00	120,00	
25	-100,00	120,00	
26	-100,00	150,00	

$A = 12195,861$   
 $J_f = 33772884,7414$   
 $Y_g = 89,16$

*Armature di precompressione :*

n.	Z	area
1	99,00	5,560
2	15,50	13,900
3	10,50	8,340
4	5,50	13,900

*Armature lente longitudinali :*

n.	Z	area	
1	110,00	4,524	4Ø12
2	5,00	6,786	6Ø12
3	110,00	4,524	4Ø12

$n = 6,000$   
 $A_{id} = 12553,029$   
 $J_{f,id} = 35573124,6938$   
 $Y_{g,id} = 87,45$

*Cadute di tensione da maturazione soletta a t=inf.*

	%	$\Delta\sigma_{sp}$	$\Delta\sigma_{sp}/\sigma_{spi}$
ritiro cls	48,9%	3019,69	2,4%
rilassamento acciaio	24,1%	1473,32	1,2%
viscosità cls	64,7%	6496,33	5,2%

	UH120E	$\sigma_{e,max}$	$\sigma_{e,min}$	$\sigma_{i,max}$	$\sigma_{i,min}$
dopo maturaz. getto		-527,53	-527,53	-817,04	-817,04
t=inf.-SLE Rare		-537,86	-605,90	-446,92	-647,06
t=inf.-SLE Frequenti		-537,86	-580,91	-520,41	-647,06
t=inf.-SLE Quasi Permanenti		-537,86	-537,86	-647,06	-647,06

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

<b>Getto in opera</b>	$\sigma_{e,max}$	$\sigma_{e,min}$	$\sigma_{i,max}$	$\sigma_{i,min}$
dopo maturaz. getto	0,00	0,00	0,00	0,00
t=inf.-SLE Rare	-55,41	-190,49	-10,33	-78,36
t=inf.-SLE Frequenti	-55,41	-140,89	-10,33	-53,38
t=inf.-SLE Quasi Permanenti	-55,41	-55,41	-10,33	-10,33

#### Momenti di rottura per flessione retta

Allungamento armature pretese:  $\epsilon_{sp, z=22,30}=0,00546$

<b>fless. Z asse neutro</b>	<b>Mr</b>	$\epsilon_{sup}$	$z\epsilon_{sup}$	$\epsilon_{inf}$	$z\epsilon_{inf}$
(+) 128,96	7,742413E8	-0,00170	150,00	0,01000	5,00
(-) 17,72	-1,271868E8	0,01000	110,00	-0,00192	0,00

$M_{d,max} = 282097588,25 < Mr$

#### Verifica rottura per taglio

<b>Calcestruzzo:</b>	$\theta$ [rad]	$b_w$	<b>Staffe:</b>	$A_{sw}$
	0,381	28,00		0,157

$d$	$K$	$A_{s1}$	$\rho_1$	$\sigma_{cp}$	$\alpha_c$
145,00	1,371	41,967	0,0103	358,37	1,139

$V_{Rd}$	$V_{Rsd}$	$V_{Rcd}$
458602,00	2005326,00	1855478,00

$V_{d,max} = 822811,94 < 1855477,51$

#### Verifica rottura per torsione

<b>Calcestruzzo:</b>	$\theta$ [rad]	$f'_{cd}$	<b>Staffe:</b>	$A_{sw}$	$f_{yd}$
	0,381	1293,42		0,157	39130,43

$A_k$	$t_{min}$	$u_k$
12662,000	14,00	454,00

$T_{Rcd}$	$T_{Rsd}$
1,581251E8	3,891409E8

$T_{d,max} = 3028042,14 < 158125093,56$

Area armatura longitudinale necessaria=181,113

#### Verifica sezione X=616,00 quarti

##### Prima fase: sola trave

Sezione di calcolo :

n.                    y                    z

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

1	-48,20	0,00
2	-62,40	95,00
3	-89,50	110,50
4	-100,00	112,81
5	-100,00	120,00
6	-52,00	120,00
7	-38,20	28,10
8	-31,30	21,60
9	0,00	19,00
10	31,30	21,60
11	38,20	28,10
12	52,00	120,00
13	100,00	120,00
14	100,00	112,81
15	89,50	110,50
16	62,40	95,00
17	51,90	24,70
18	58,60	16,50
19	100,00	10,27
20	100,00	0,00
21	-48,20	0,00

A = 6652,802

$J_F = 12007945,5482$

$Y_g = 50,97$

*Armature di precompressione :*

n.	Z	area
1	99,00	5,560
2	15,50	13,900
3	10,50	16,680
4	5,50	19,460

*Armature lente longitudinali :*

n.	Z	area	
1	110,00	4,524	4Ø12
2	5,00	6,786	6Ø12
3	110,00	4,524	4Ø12

n = 6,000

$A_{id} = 12553,029$

$J_{F,id} = 35573124,6938$

$Y_{g,id} = 87,45$

*Cadute di tensione prima del taglio trefoli*

	%	$\Delta\sigma_{sp}$	$\Delta\sigma_{sp}/\sigma_{spi}$
ritiro cls	25,5%	1575,90	1,3%
rilassamento acciaio	30,6%	1870,57	1,5%

*Sollecitazioni*

	istante	$N_{precomp.}$	$M_{precomp.}$	$M_{esterno}$
t=0 dopo taglio trefoli		-6788956,44	-218080028,43	92868728,11
prima del getto		-6371404,35	-204667102,36	92868728,11



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

Sezione di calcolo :

n.	Y	Z	
1	-48,20	0,00	
2	-62,40	95,00	
3	-89,50	110,50	
4	-100,00	112,81	
5	-100,00	120,00	
6	-52,00	120,00	
7	-38,20	28,10	
8	-31,30	21,60	
9	0,00	19,00	
10	31,30	21,60	
11	38,20	28,10	
12	52,00	120,00	
13	100,00	120,00	
14	100,00	112,81	
15	89,50	110,50	
16	62,40	95,00	
17	51,90	24,70	
18	58,60	16,50	
19	100,00	10,27	
20	100,00	0,00	fine prefabb.
21	-48,20	0,00	
22	-100,00	150,00	getto in opera
23	100,00	150,00	(m=0,924)
24	100,00	120,00	
25	-100,00	120,00	
26	-100,00	150,00	

$$A = 12195,861$$

$$J_f = 33772884,7414$$

$$Y_g = 89,16$$

Armature di precompressione :

n.	Z	area
1	99,00	5,560
2	15,50	13,900
3	10,50	16,680
4	5,50	19,460

Armature lente longitudinali :

n.	Z	area	
1	110,00	4,524	4Ø12
2	5,00	6,786	6Ø12
3	110,00	4,524	4Ø12

$$n = 6,000$$

$$A_{id} = 12553,029$$

$$J_{f,id} = 35573124,6938$$

$$Y_{g,id} = 87,45$$

Cadute di tensione da maturazione soletta a  $t=inf$ .

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>	<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

	%	$\Delta\sigma_{sp}$	$\Delta\sigma_{sp}/\sigma_{spi}$
ritiro cls	48,9%	3019,69	2,4%
rilassamento acciaio	24,1%	1473,32	1,2%
viscosità cls	57,6%	6496,33	5,2%

	<b>UH120E</b>	$\sigma_{e,max}$	$\sigma_{e,min}$	$\sigma_{i,max}$	$\sigma_{i,min}$
dopo maturaz. getto		-811,92	-811,92	-977,39	-977,39
t=inf.-SLE Rare		-835,16	-951,63	-391,59	-727,78
t=inf.-SLE Frequenti		-835,16	-908,82	-515,17	-727,78
t=inf.-SLE Quasi Permanenti		-835,16	-835,16	-727,78	-727,78

	<b>Getto in opera</b>	$\sigma_{e,max}$	$\sigma_{e,min}$	$\sigma_{i,max}$	$\sigma_{i,min}$
dopo maturaz. getto		0,00	0,00	0,00	0,00
t=inf.-SLE Rare		-91,46	-321,09	-23,24	-139,71
t=inf.-SLE Frequenti		-91,46	-236,68	-23,24	-96,90
t=inf.-SLE Quasi Permanenti		-91,46	-91,46	-23,24	-23,24

#### Momenti di rottura per flessione retta

Allungamento armature pretese:  $\epsilon_{sp, z=18,85}=0,00536$

fless. Z asse neutro	Mr	$\epsilon_{sup}$	$z\epsilon_{sup}$	$\epsilon_{inf}$	$z\epsilon_{inf}$
(+) 125,35	1,02983E9	-0,00205	150,00	0,01000	5,00
(-) 20,02	-1,240818E8	0,01000	110,00	-0,00222	0,00

$$M_{d,max} = 483747965,80 < M_r$$

#### Verifica rottura per taglio

Calcestruzzo:	$\theta$ [rad]	$b_w$	Staffe:	$A_{sw}$	
	0,381	28,00		0,157	
d	K	$A_{s1}$	$\rho_i$	$\sigma_{cp}$	$\alpha_c$
145,00	1,371	71,434	0,0176	472,17	1,183
$V_{Rd}$	$V_{Rsd}$	$V_{Rcd}$			
575828,30	2005326,00	1927173,00			

$$V_{d,max} = 602320,87 < 1927173,49$$

#### Verifica rottura per torsione

Calcestruzzo:	$\theta$ [rad]	$f'_{cd}$	Staffe:	$A_{sw}$	$f_{yd}$
	0,381	1293,42		0,157	39130,43
$A_k$	$t_{min}$	$u_k$			
12662,000	14,00	454,00			
$T_{Rcd}$	$T_{Rsd}$				
1,581251E8	3,891409E8				

$$T_{d,max} = 2677951,66 < 158125093,56$$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

Area armatura longitudinale necessaria=181,113

### **Verifica sezione X=1232,50 mezzeria**

#### **Prima fase: sola trave**

Sezione di calcolo :

n.	y	z
1	-48,20	0,00
2	-62,40	95,00
3	-89,50	110,50
4	-100,00	112,81
5	-100,00	120,00
6	-52,00	120,00
7	-38,20	28,10
8	-31,30	21,60
9	0,00	19,00
10	31,30	21,60
11	38,20	28,10
12	52,00	120,00
13	100,00	120,00
14	100,00	112,81
15	89,50	110,50
16	62,40	95,00
17	51,90	24,70
18	58,60	16,50
19	100,00	10,27
20	100,00	0,00
21	-48,20	0,00

A = 6652,802

$J_F = 12007945,5482$

$Y_g = 50,97$

*Armature di precompressione :*

n.	Z	area
1	99,00	5,560
2	15,50	13,900
3	10,50	16,680
4	5,50	19,460

*Armature lente longitudinali :*

n.	Z	area	
1	110,00	4,524	4Ø12
2	5,00	6,786	6Ø12
3	110,00	4,524	4Ø12

n = 6,000

$A_{id} = 12553,029$

$J_{F,id} = 35573124,6938$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$$Y_{g,id} = 87,45$$

#### Cadute di tensione prima del taglio trefoli

	%	$\Delta\sigma_{sp}$	$\Delta\sigma_{sp}/\sigma_{spi}$
ritiro cls	25,5%	1575,90	1,3%
rilassamento acciaio	30,6%	1870,57	1,5%

#### Sollecitazioni

	<b>istante</b>	<b>N<sub>precomp.</sub></b>	<b>M<sub>precomp.</sub></b>	<b>M<sub>esterno</sub></b>
t=0 dopo taglio trefoli		-6788956,44	-218080028,43	123924579,70
prima del getto		-6387380,67	-205180305,85	123924579,70
dopo getto soletta		-6385708,84	-205126601,87	242373642,26

#### Tensioni sul calcestruzzo

	<b>istante</b>	<b><math>\sigma_{e,max}</math></b>	<b><math>\sigma_{i,max}</math></b>
t=0 dopo taglio trefoli		-490,95	-1307,89
prima del getto		-502,34	-1201,79
dopo getto soletta		-1155,61	-737,45

#### Tensioni sugli acciai

	<b><math>\sigma_{sp}</math></b>	<b><math>\sigma_{long,inf}</math></b>	<b><math>\sigma_{long,sup}</math></b>
t=0 dopo taglio trefoli	116205,70	-6369,28	-2795,13
prima del getto	109421,34	-5863,25	-2803,12
dopo getto soletta	110865,28	-3774,35	-5603,83

#### Cadute di tensione dal taglio trefoli al getto soletta

	%	$\Delta\sigma_{sp}$	$\Delta\sigma_{sp}/\sigma_{spi}$
ritiro cls	25,5%	1575,90	1,3%
rilassamento acciaio	19,1%	1170,23	0,9%
viscosità cls	40,7%	4476,45	3,6%

#### Cadute di tensione durante maturazione soletta

	%	$\Delta\sigma_{sp}$	$\Delta\sigma_{sp}/\sigma_{spi}$
ritiro cls	0,1%	8,51	0,0%
rilassamento acciaio	0,1%	4,15	0,0%
viscosità cls	0,2%	17,40	0,0%

#### Momenti di rottura in flessione retta

$$\Delta\epsilon \text{ armature pretese: } \epsilon_{sp,z=18,85}=0,00558$$

<b>fless. Z asse neutro</b>		<b>Mr</b>	<b><math>\epsilon_{sup}</math></b>	<b><math>z\epsilon_{sup}</math></b>	<b><math>\epsilon_{inf}</math></b>	<b><math>z\epsilon_{inf}</math></b>
(+)	42,13	6,333171E8	-0,00350	120,00	0,00167	5,00
(-)	20,46	-1,235843E8	0,01000	110,00	-0,00229	0,00

$$M_{d,max} = 327204417,05 < M_r$$

#### Verifica rottura a taglio

<b>Calcestruzzo:</b>	<b><math>\theta</math> [rad]</b>	<b><math>b_w</math></b>	<b>Staffe:</b>	<b><math>A_{sw}</math></b>
	0,381	28,00		0,157

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

<b>d</b>	<b>K</b>	<b>A<sub>s1</sub></b>	<b>ρ<sub>1</sub></b>	<b>σ<sub>cp</sub></b>	<b>α<sub>c</sub></b>
115,00	1,417	56,826	0,0176	960,10	1,250
<b>V<sub>Rd</sub></b>	<b>V<sub>Rsd</sub></b>	<b>V<sub>Rcd</sub></b>			
700209,30	1590428,00	1615658,00			

$$V_{d,max} = 7321,76 < 1590428,41$$

### Seconda fase: trave+soletta

Sezione di calcolo :

n.	Y	Z	
1	-48,20	0,00	
2	-62,40	95,00	
3	-89,50	110,50	
4	-100,00	112,81	
5	-100,00	120,00	
6	-52,00	120,00	
7	-38,20	28,10	
8	-31,30	21,60	
9	0,00	19,00	
10	31,30	21,60	
11	38,20	28,10	
12	52,00	120,00	
13	100,00	120,00	
14	100,00	112,81	
15	89,50	110,50	
16	62,40	95,00	
17	51,90	24,70	
18	58,60	16,50	
19	100,00	10,27	
20	100,00	0,00	fine prefabb.
21	-48,20	0,00	
22	-100,00	150,00	getto in opera
23	100,00	150,00	(m=0,924)
24	100,00	120,00	
25	-100,00	120,00	
26	-100,00	150,00	

$$A = 12195,861$$

$$J_F = 33772884,7414$$

$$Y_g = 89,16$$

Armature di precompressione :

n.	Z	area
1	99,00	5,560
2	15,50	13,900
3	10,50	16,680
4	5,50	19,460

Armature lente longitudinali :

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>	<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0

n.	z	area	
1	110,00	4,524	4Ø12
2	5,00	6,786	6Ø12
3	110,00	4,524	4Ø12

n = 6,000

A<sub>id</sub> = 12553,029

J<sub>f, id</sub> = 35573124,6938

Y<sub>g, id</sub> = 87,45

*Cadute di tensione da maturazione soletta a t=inf.*

	%	$\Delta\sigma_{sp}$	$\Delta\sigma_{sp}/\sigma_{spi}$
ritiro cls	48,9%	3019,69	2,4%
rilassamento acciaio	24,1%	1473,32	1,2%
viscosità cls	59,1%	6496,33	5,2%

	UH120E	$\sigma_{e,max}$	$\sigma_{e,min}$	$\sigma_{i,max}$	$\sigma_{i,min}$
dopo maturaz. getto		-1155,66	-1155,66	-737,00	-737,00
t=inf.-SLE Rare		-1190,27	-1343,93	-11,04	-454,59
t=inf.-SLE Frequenti		-1190,27	-1287,24	-174,67	-454,59
t=inf.-SLE Quasi Permanenti		-1190,27	-1190,27	-454,59	-454,59

	Getto in opera	$\sigma_{e,max}$	$\sigma_{e,min}$	$\sigma_{i,max}$	$\sigma_{i,min}$
dopo maturaz. getto		0,00	0,00	0,00	0,00
t=inf.-SLE Rare		-113,86	-416,83	-34,61	-188,27
t=inf.-SLE Frequenti		-113,86	-305,06	-34,61	-131,58
t=inf.-SLE Quasi Permanenti		-113,86	-113,86	-34,61	-34,61

*Momenti di rottura per flessione retta*

Allungamento armature pretese:  $\epsilon_{sp, z=18,85}=0,00541$

fless.	Z asse neutro	Mr	$\epsilon_{sup}$	Z $\epsilon_{sup}$	$\epsilon_{inf}$	Z $\epsilon_{inf}$
(+)	125,35	1,02983E9	-0,00205	150,00	0,01000	5,00
(-)	20,12	-1,239078E8	0,01000	110,00	-0,00224	0,00

M<sub>d, max</sub> = 645717802,77 < Mr

*Verifica rottura per taglio*

Calcestruzzo:	$\theta$ [rad]	b <sub>w</sub>	Staffe:	A <sub>sw</sub>
	0,381	28,00		0,157

d	K	A <sub>s1</sub>	$\rho_i$	$\sigma_{cp}$	$\alpha_c$
145,00	1,371	71,434	0,0176	473,50	1,183

V <sub>Rd</sub>	V <sub>Rsd</sub>	V <sub>Rcd</sub>
576635,00	2005326,00	1928008,00

V<sub>d, max</sub> = 100577,22 < 1928008,03

*Verifica rottura per torsione*

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

Calcestruzzo:  $\theta$  [rad]  $f'_{cd}$   
0,381 1293,42

Staffe:  $A_{sw}$   $f_{yd}$   
0,157 39130,43

$A_k$   $t_{min}$   $u_k$   
12662,000 14,00 454,00

$T_{Rcd}$   $T_{Rsd}$   
1,581251E8 3,891409E8

$T_{d,max} = 130328,46 < 158125093,56$

Area armatura longitudinale necessaria=181,113

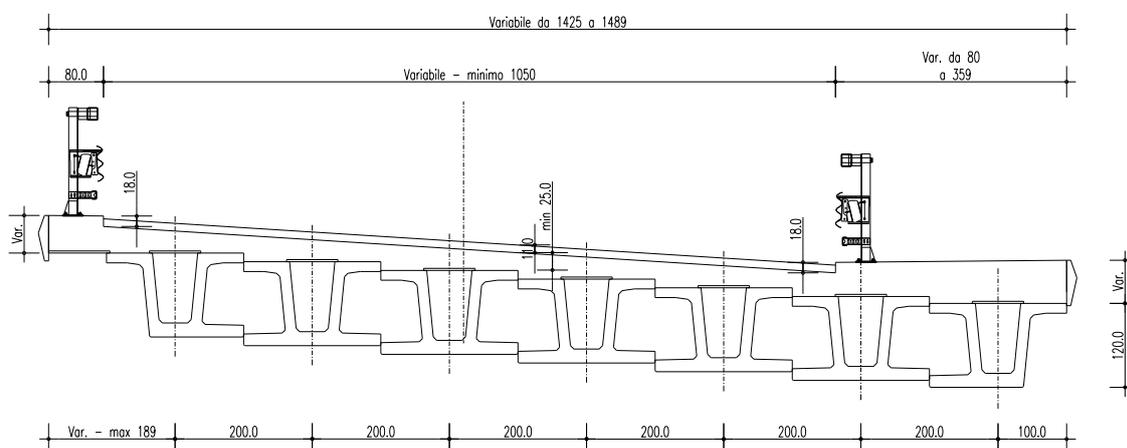
		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>	<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 8 ANALISI SISTEMA DI VINCOLAMENTO

### 8.1 ANALISI DEI CARICHI

#### PESI PROPRI

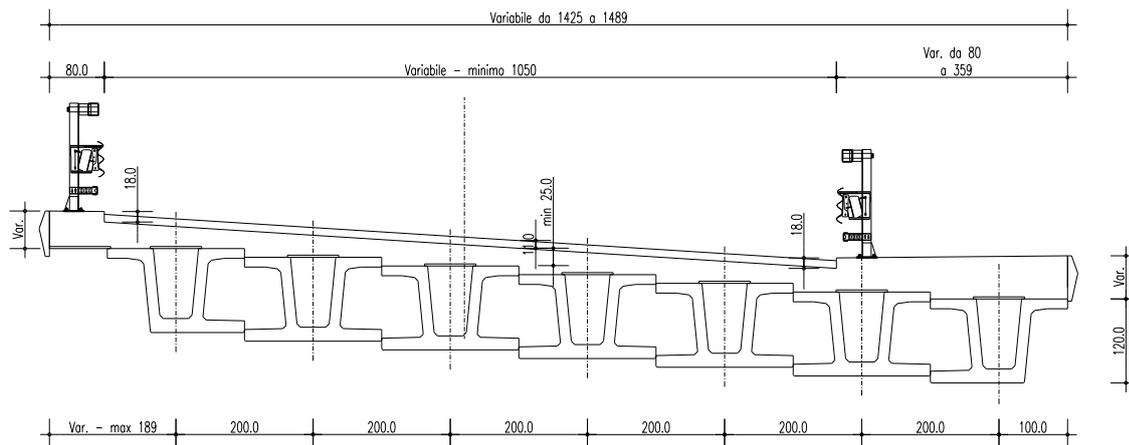
I pesi propri sono costituiti dal peso delle travi e della soletta in c.a.



APPOGGIO	R verticale [KN]	H longitudinale [KN]	Htrasversale [KN]
1	386	0	0
2	386	0	0
3	386	0	0
4	386	0	0
5	386	0	0
6	386	0	0
7	386	0	0

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> <i>Data</i> F0        20/06/2011

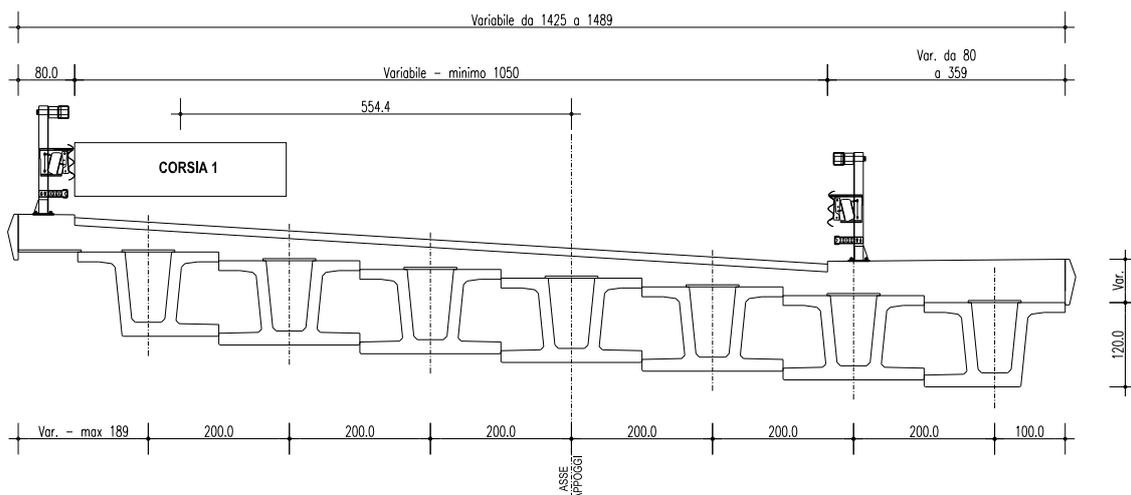
## CARICHI PERMANENTI



APPOGGIO	R verticale [KN]	H longitudinale [KN]	Htrasversale [KN]
1	104	0	0
2	99	0	0
3	94	0	0
4	89	0	0
5	84	0	0
6	79	0	0
7	74	0	0

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

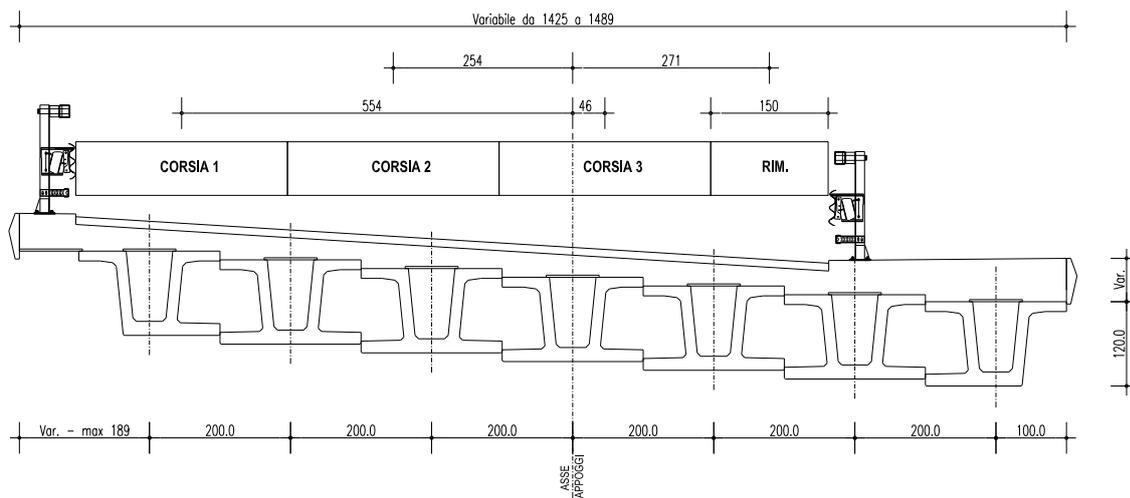
**ACCIDENTALI DA TRAFFICO. SCHEMA 1. MASSIMA AZIONE TORCENTE RISPETTO ALL'ASSE DELLA PALIFICATA**



APPOGGIO	R verticale [KN]	H longitudinale [KN]	Htrasversale [KN]
1	403	0	0
2	312	0	0
3	221	0	0
4	130	0	0
5	39	0	0
6	-52	0	0
7	-143	0	0

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> <i>Data</i> F0        20/06/2011

**ACCIDENTALI DA TRAFFICO. SCHEMA 2. MASSIMA AZIONE VERTICALE SULLE FONDAZIONI**



APPOGGIO	R verticale [KN]	H longitudinale [KN]	H trasversale [KN]
1	526	0	0
2	419	0	0
3	311	0	0
4	204	0	0
5	97	0	0
6	-11	0	0
7	-118	0	0

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### CARICO DA VENTO

#### IMPALCATO SCARICO

APPOGGIO	R verticale [KN]	H longitudinale [KN]	Htrasversale [KN]
1	56,1	0	9,3
2	48,2	0	9,3
3	40,3	0	9,3
4	32,4	0	9,3
5	24,5	0	9,3
6	16,6	0	9,3
7	8,7	0	9,3

#### IMPALCATO CARICO

APPOGGIO	R verticale [KN]	H longitudinale [KN]	Htrasversale [KN]
1	102,1	0	24,6
2	80,6	0	24,6
3	59,1	0	24,6
4	37,6	0	24,6
5	16,1	0	24,6
6	-5,4	0	24,6
7	-26,9	0	24,6

### CARICO DA SISMA

APPOGGIO	R verticale [KN]	H longitudinale [KN]	Htrasversale [KN]
1	464	125	108
2	464	125	108
3	464	125	108
4	464	125	108
5	464	125	108
6	464	125	108
7	464	125	108

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<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						

## CARICO DA FRENAMENTO

APPOGGIO	R verticale [KN]	H longitudinale [KN]	Htrasversale [KN]
1	0	31	0
2	0	31	0
3	0	31	0
4	0	31	0
5	0	31	0
6	0	31	0
7	0	31	0

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 9 ANALISI SOTTOSTRUTTURE

### 9.1 ANALISI DELLE SPALLE

La spalla A è costituita da una ciabatta di fondazione a base a parallelogramma di dimensioni 12,35 x 21,28 m, di spessore 2,50 m e da un muro frontale di spessore pari a 3,02 m. Sul muro frontale corre un muro paragliaia caratterizzato da spessore 0,50 m ed altezza pari a circa 2,10 m. La ciabatta di fondazione funge da fondazione di tipo diretto per la spalla stessa.

La spalla A è rappresentata nella figura seguente:

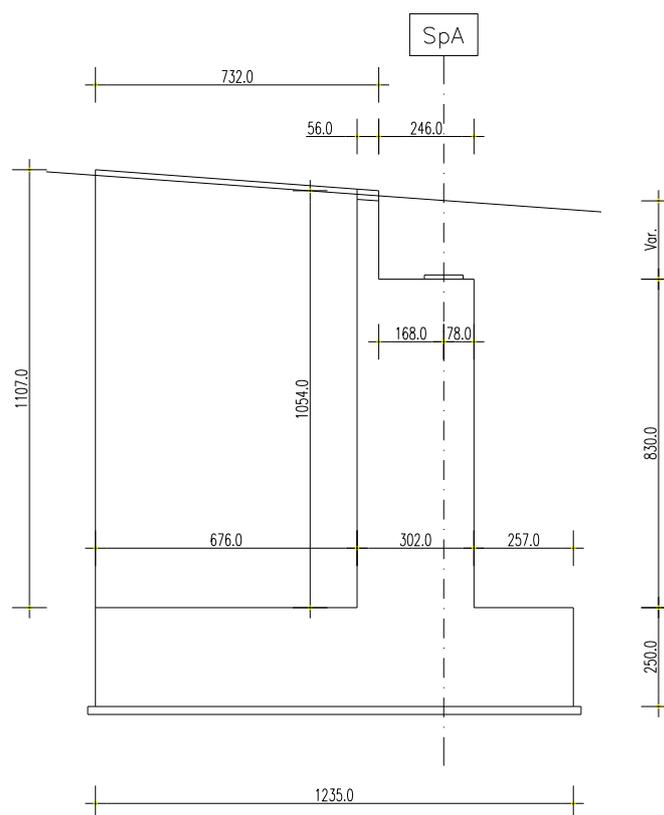


Figura 9.1 – Vista laterale Spalla A.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

#### CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SPALLA

Descrizione		X (m)	Y (m)	Z (m)	n	$\gamma$ (kN/mc)	Peso (kN)	dx (m)	bx (m)	M long (kNm)
fondazione	1	12,35	21,35	2,50	1	25	16.480	0,00	6,18	101.761
muro frontale	2	3,02	21,35	8,30	1	25	13.379	2,57	4,08	54.586
ringrosso	3	0,00	0,00	0,00	0	25	0	0,00	0,00	0
paraghiaia	4	0,50	19,80	2,05	1	25	507	4,65	4,90	2.486
muri laterali	5	6,75	1,40	11,00	1	25	2.599	5,59	8,97	23.298
terra	6	6,75	16,80	10,35	1	19,0	22.300	5,59	8,97	199.920
							55.265			382.052

altezza fronte vento ponte scarico (m)	2,25
altezza fronte vento ponte carico (m)	5,17
distanza tra asse appoggi e bordo anteriore fondazione (m)	3,35
distanza tra bordo anteriore fondazione e baricentro dei pali (m)	6,20

## 9.1.1 ANALISI DEI CARICHI

### 9.1.1.1 Peso proprio strutture

Il peso proprio degli elementi in calcestruzzo armato costituenti la spalla viene valutato come segue in ragione di 25 kN/m<sup>3</sup>:

$$P_{\text{par}} = l_{\text{par}} \cdot s_{\text{par}} \cdot h_{\text{par}} \cdot \gamma_c$$

$$P_{\text{Fr}} = l_{\text{Fr}} \cdot b_{\text{Fr}} \cdot h_{\text{Fr}} \cdot \gamma_c$$

$$P_{\text{pl}} = b_{\text{pl}} \cdot l_{\text{pl}} \cdot s_{\text{pl}} \cdot \gamma_c$$

$$P_{\text{A}} = l_{\text{A}} \cdot b_{\text{A}} \cdot h_{\text{A}} \cdot \gamma_c$$

Essendo:

$l_{\text{par}}$  e  $s_{\text{par}}$  lunghezza e spessore del paraghiaia;

$h_{\text{par}}$  l'altezza del paraghiaia;

$\gamma_c$  il peso per unità di volume del calcestruzzo;

$l_{\text{Fr}}$  e  $h_{\text{Fr}}$  lunghezza ed altezza del muro frontale;

$b_{\text{Fr}}$  lo spessore medio in elevazione del muro frontale;

$p_{\text{pl}}$ ,  $l_{\text{pl}}$  e  $s_{\text{pl}}$  le dimensioni del plinto di fondazione su pali;

$l_{\text{A}}$  e  $h_{\text{A}}$  lunghezza ed altezza dei muri andatori;

$b_{\text{A}}$  lo spessore medio in elevazione dei muri frontali.

#### Paraghiaia:

$$P_{\text{par}} = 19,80 \cdot 0,50 \cdot 2,10 \cdot 25 = 507 \text{ kN}$$

#### Muro frontale:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$$p_{Fr} = 3,02 \cdot 21,35 \cdot 8,30 \cdot 25 = 13.379 \text{ kN}$$

Muro andatore:

$$p_A = 1,40 \cdot 6,75 \cdot 11,00 \cdot 25 = 2.599 \text{ kN}$$

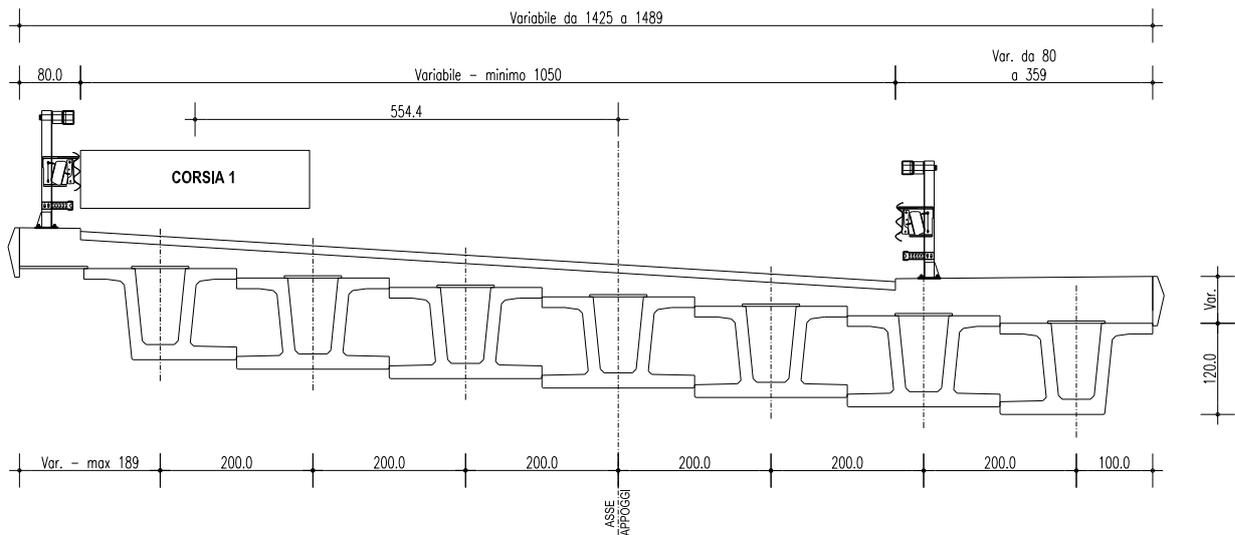
Plinto di fondazione:

$$p_{pl} = 21,28 \cdot 12,35 \cdot 2,50 \cdot 25 = 16.480 \text{ kN}$$



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

**ACCIDENTALI DA TRAFFICO. SCHEMA 1. MASSIMA AZIONE TORCENTE RISPETTO ALL'ASSE DELLA PALIFICATA**



**COLONNA 1**

Massima risultante verticale:

$$R_{Max} = [9 \cdot 3,00 \cdot \frac{24,65^2}{2} + 300 \cdot 24,65 + 300 \cdot (24,65 - 1,2)] \cdot \frac{1}{24,65} = 913 \text{ KN}$$

**TOTALE**

Massima risultante verticale

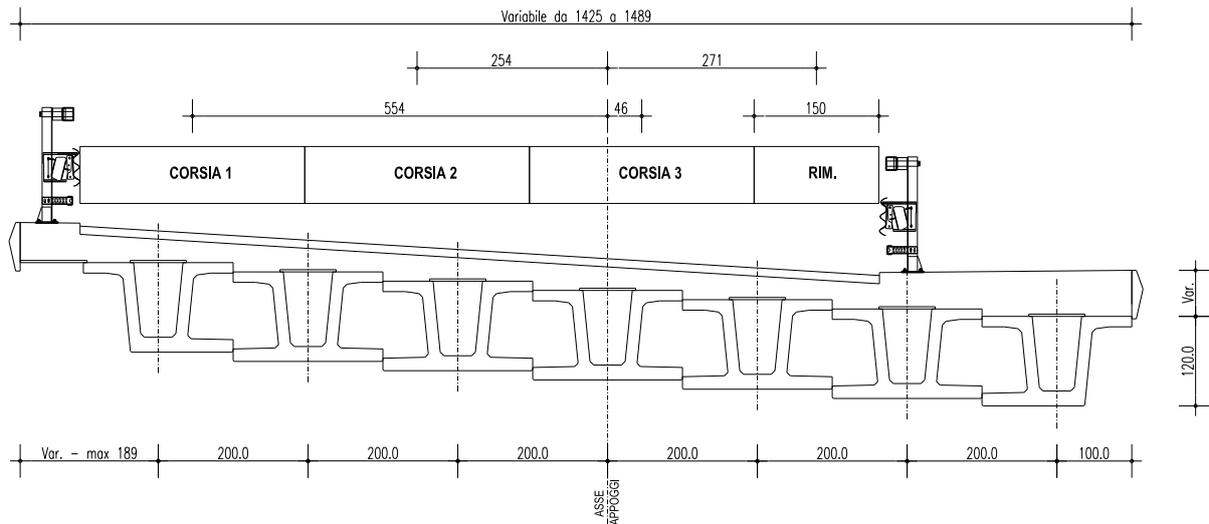
$$R_{Max} = 913 \text{ KN}$$

Massimo momento torcente

$$M_t = 5.058 \text{ KNm}$$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>	<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## ACCIDENTALI DA TRAFFICO. SCHEMA 2. MASSIMA AZIONE VERTICALE SULLE FONDAZIONI



### COLONNA 1

Massima risultante verticale:

$$R_{Max} = [9 \cdot 3,00 \cdot \frac{24,65^2}{2} + 300 \cdot 24,65 + 300 \cdot (24,65 - 1,2)] \cdot \frac{1}{24,65} = 918 \text{ KN}$$

### COLONNA 2

Massima risultante verticale:

$$R_{Max} = [2,5 \cdot 3,00 \cdot \frac{24,65^2}{2} + 200 \cdot 24,65 + 200 \cdot (24,65 - 1,2)] \cdot \frac{1}{24,65} = 479 \text{ KN}$$

### COLONNA 3

Massima risultante verticale

$$R_{Max} = [2,5 \cdot 3,00 \cdot \frac{24,65^2}{2} + 100 \cdot 24,65 + 100 \cdot (24,65 - 1,2)] \cdot \frac{1}{24,65} = 288 \text{ KN}$$

### RIMANENTE

Massima risultante verticale

$$R_{Max} = 2,5 \cdot 1,50 \cdot \frac{24,65}{2} = 46 \text{ KN}$$

### TOTALE

Massima risultante verticale

$$R_{Max} = 1.726 \text{ KN}$$

Massimo momento torcente

$$M_t = 6.017 \text{ KNm}$$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

## CARICO DA VENTO

### IMPALCATO SCARICO

Risultante pressione X 5,27 kN/m

Massima risultante orizzontale  $H_{Max} = 5,27 \cdot \frac{24,65}{2} = 65 \text{ KN}$

Risultante pressione Y 26,09 kN/m

Massima risultante verticale  $R_{Max} = 26,09 \cdot \frac{24,65}{2} = 227 \text{ KN}$

Risultante momento torcente 60,00 kNm/m

Massimo momento torcente  $M_t = 60,00 \cdot \frac{24,65}{2} = 370 \text{ KNm}$

### IMPALCATO CARICO

Risultante pressione X 13,92 kN/m

Massima risultante orizzontale  $H_{Max} = 13,92 \cdot \frac{24,65}{2} = 172 \text{ KN}$

Risultante pressione Y 21,32 kN/m

Massima risultante verticale  $R_{Max} = 21,32 \cdot \frac{24,65}{2} = 263 \text{ KN}$

Risultante momento torcente 61,58 kNm/m

Massimo momento torcente  $M_t = 61,58 \cdot \frac{24,65}{2} = 759 \text{ KNm}$

## CARICO DA SISMA

Massima risultante verticale  $R_{Max} = 3.248 \text{ KN}$

Massima risultante orizzontale  $H_{Max} = 755 \text{ KN}$

Massima risultante longitudinale  $H_{LongMax} = 877 \text{ KN}$

## CARICO DA FRENAMENTO ED ATTRITO

### FRENAMENTO

Massima risultante longitudinale  $H_{LongMax} = \frac{426}{2} = 213 \text{ KN}$

### ATTRITO

Si ricorda come la sollecitazione dovuta all'attrito sia presa pari al massimo valore di sollecitazione

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

calcolato o come il 3% dei carichi permanenti (strutturali e non), o come reazione degli isolatori elastomerici dovuta all'allungamento dell'impalcato per dilatazione termica.

### 9.1.1.3 Azione sismica agente sulla spalla

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione, che costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale di categoria A, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $p_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$ .

Nel presente progetto è stata verificata la combinazione di carico sismica con riferimento allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV): a seguito del terremoto la struttura subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; mentre conserva invece una parte della esistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali.

### VITA NOMINALE

La vita nominale di un'opera strutturale è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata. Nel caso in oggetto, l'opera ricade all'interno del tipo di costruzione: "Grandi opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica" (paragrafo 2.4 delle 'Nuove Norme tecniche per le costruzioni – D.M. 14 gennaio 2008'). La vita nominale si assume pertanto pari a  $V_N = 100$  anni.

### CLASSE D'USO

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un'eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso. Nel caso in oggetto si fa riferimento alla Classe IV: costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità..... Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

sismico.” Il coefficiente d’uso si assume pertanto pari a  $c_U = 2,0$  anni.

### PERIODO DI RIFERIMENTO PER L’AZIONE SISMICA

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento  $V_R$  che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale  $V_N$  per il coefficiente d’uso  $C_U$ . Tale coefficiente è funzione della classe d’uso.

$$V_R = V_N \times C_U = 100 \text{ anni} \times 2 = 200 \text{ anni}$$

Le probabilità di superamento  $P_{VR}$  nel periodo di riferimento  $V_R$ , cui riferirsi per individuare l’azione sismica agente, sono pari al 10% nel caso dello stato limite SLV.

### PARAMETRI DI PROGETTO

Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle NTC, dalle accelerazioni  $a_g$  e dalle relative forme spettrali.

Le forme spettrali previste dalle NTC sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri:

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima del terreno;
- $F_0$  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.

Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno  $T_R$  considerati dalla pericolosità sismica, i tre parametri si ricavano riferendosi ai valori corrispondenti al 50esimo percentile ed attribuendo ad:

$a_g$  il valore previsto dalla pericolosità sismica;

$F_0$  e  $T_C^*$  i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica.

Le forme spettrali previste dalle NTC sono caratterizzate da prescelte probabilità di superamento e vite di riferimento. A tal fine occorre fissare:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- la vita di riferimento VR della costruzione;
- le probabilità di superamento nella vita di riferimento PVR associate agli stati limite considerati, per individuare infine, a partire dai dati di pericolosità sismica disponibili, le corrispondenti azioni sismiche.

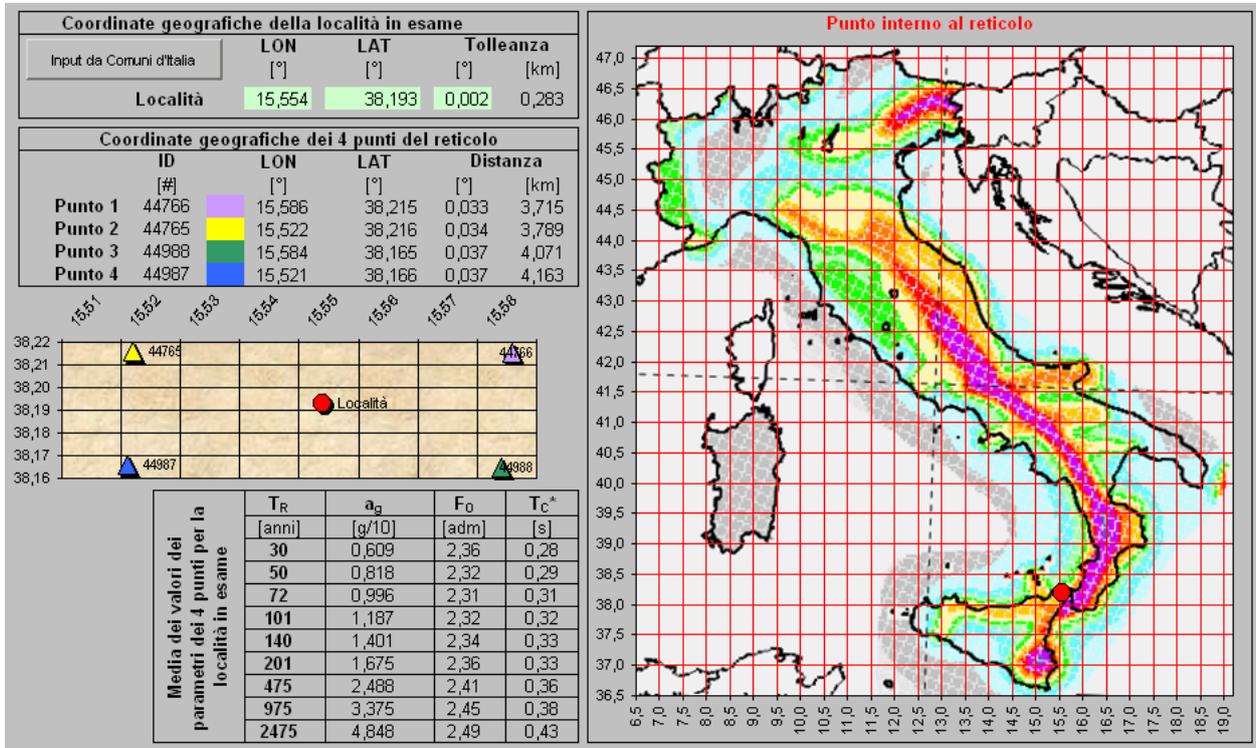
A tal fine è conveniente utilizzare, come parametro caratterizzante la pericolosità sismica, il periodo di ritorno dell'azione sismica TR, espresso in anni. Fissata la vita di riferimento VR, i due parametri TR e PVR sono immediatamente esprimibili, l'uno in funzione dell'altro, mediante l'espressione:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})} = -\frac{200}{\ln(1 - 0.1)} = 1.898 \text{ anni}$$

I valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_C^*$  relativi alla pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento sono forniti nelle tabelle riportate nell'ALLEGATO B delle NTC.

I punti del reticolo di riferimento sono definiti in termini di Latitudine e Longitudine ed ordinati a Latitudine e Longitudine crescenti, facendo variare prima la Longitudine e poi la Latitudine. L'accelerazione al sito  $a_g$  è espressa in g/10;  $F_0$  è adimensionale,  $T_C^*$  è

Nel seguito si riporta una tabella riassuntiva dei parametri che caratterizzano il Comune di Messina:



### CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL TERRENO

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, in accordo con le NTC, si fa riferimento all'approccio semplificato che si basa sulla individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento. Lo studio geotecnico del sito asserisce che il terreno è classificabile come **Classe B** che include depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati e terreni a grana fine mediamente consistenti.

### SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione è espresso da una forma spettrale (spettro normalizzato) riferita ad uno smorzamento convenzionale del 5%, moltiplicata per il valore della accelerazione orizzontale massima  $a_g$  su sito di riferimento rigido orizzontale. Sia la forma spettrale che il valore di  $a_g$  variano al variare della probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ .

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

### SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE DELLE COMPONENTI ORIZZONTALI

Lo spettro di risposta elastico della componente orizzontale è definito dalle espressioni seguenti:

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

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

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

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

nelle quali T ed  $S_e$  sono, rispettivamente, periodo di vibrazione ed accelerazione spettrale orizzontale.

Inoltre:

- S: è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione seguente:  $S = S_s \cdot S_T$
- essendo  $S_s$  il coefficiente di amplificazione stratigrafica e  $S_T$  il coefficiente di amplificazione topografica riportati nelle tabelle seguenti;

CATEGORIA SOTTOSUOLO	$S_s$	$C_c$
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T^* \cdot C)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T^* \cdot C)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T^* \cdot C)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T^* \cdot C)^{-0,40}$

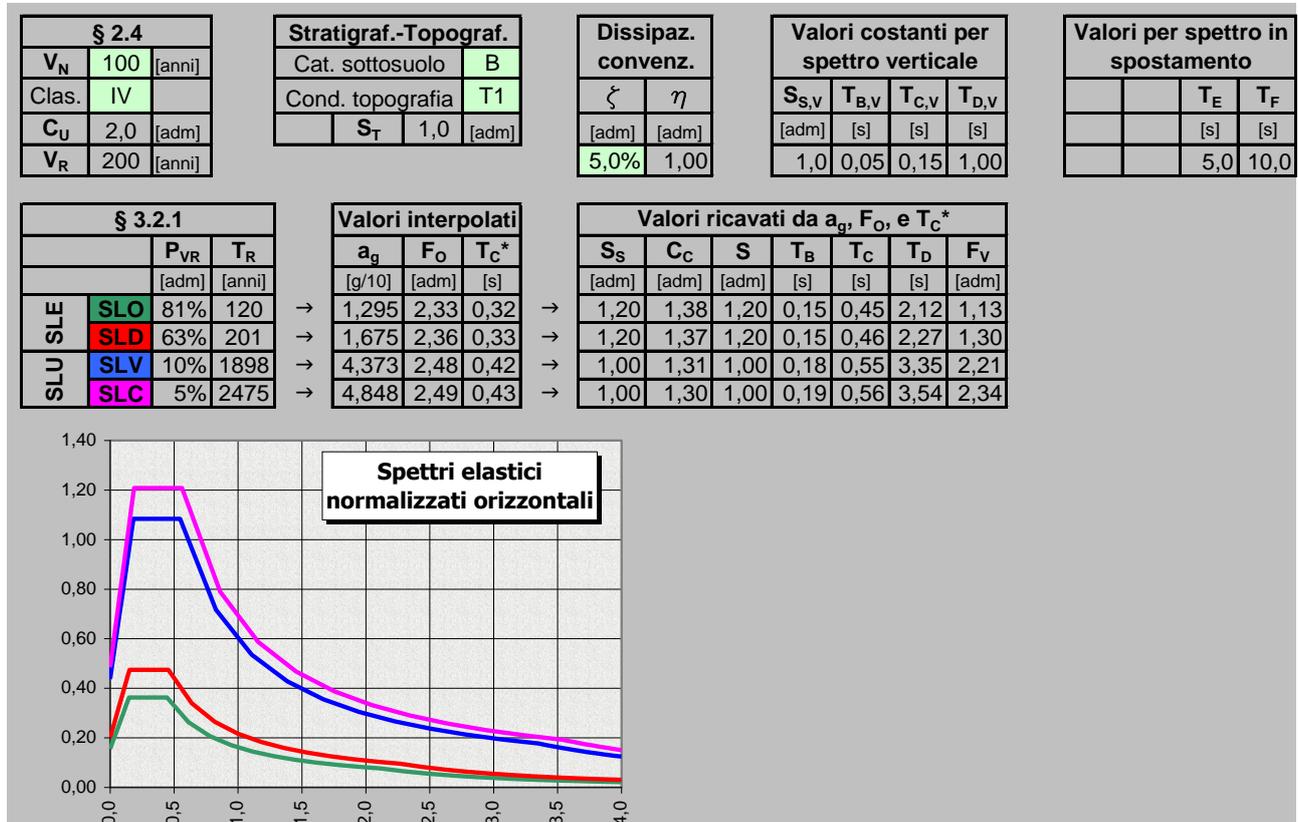
		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;"><i>Rev</i></td> <td style="text-align: center;"><i>Data</i></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						

CATEGORIA TOPOGRAFICA	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S <sub>T</sub>
T1	-	1,00
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2

- $\eta$ : è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali  $\times$  diversi dal 5%, mediante la relazione:  $\eta = \sqrt{\frac{10}{5 + \xi}} \geq 0,55$
- dove  $\xi$  (espresso in percentuale) è valutato sulla base di materiali, tipologia strutturale e terreno di fondazione;
- $F_0$ : è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2,2;
- $T_C$ : è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da:  $T_C = C_C \cdot T^*_C$ ; dove  $C_C$  è un coefficiente funzione della categoria di sottosuolo;
- $T_B$ : è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante;  $T_B = T_C / 3$
- $T_D$ : è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, espresso in secondi mediante la relazione:  $T_D = 4,0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1,6$

Nel seguito si riportano gli spettri elastici orizzontali relativi al sito ed al terreno.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
		<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>	<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc



### SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE DELLE COMPONENTI VERTICALI

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione della componente verticale è definito dalle espressioni seguenti:

$$0 \leq T \leq T_B \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_V \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_O} \cdot \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

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

$$T_C \leq T \leq T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_V \cdot \frac{T_C}{T}$$

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

nelle quali T e S<sub>ve</sub> sono, rispettivamente, periodo di vibrazione ed accelerazione spettrale verticale e F<sub>V</sub> è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, in termini di accelerazione

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

orizzontale massima del terreno ag su sito di riferimento rigido orizzontale, mediante la relazione:

$$F_V = 1,35 \cdot F_0 \cdot \left( \frac{a_g}{g} \right)^{0,5}$$

I valori di  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $S_T$ ,  $S$ ,  $\eta$  sono quelli già definiti per le componenti orizzontali; i valori di  $S_S$ ,  $T_B$ ,  $T_C$  e  $T_D$ , sono invece quelli riportati nella tabella seguente.

CATEGORIA SOTTOSUOLO	$S_S$	$T_B$	$T_C$	$T_D$
A, B, C, D, E	1,00	0,05 s	0,15 s	1,0 s

### SPETTRO DI PROGETTO

Per gli stati limite di esercizio lo spettro di progetto  $S_d(T)$  da utilizzare, sia per le componenti orizzontali che per la componente verticale, è lo spettro elastico corrispondente, riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR considerata.

Per le verifiche agli stati limite ultimi lo spettro di progetto  $S_d(T)$  da utilizzare, sia per le componenti orizzontali, sia per la componente verticale, è lo spettro elastico corrispondente riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$  considerata con le ordinate ridotte sostituendo  $\eta$  con  $1/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura, nelle formule precedentemente riportate e comunque:  $S_d(T) \geq 0,2 \cdot a_g$ .

Il valore del fattore di struttura  $q$  da utilizzare per ciascuna direzione della azione sismica, dipende dalla tipologia strutturale, dal suo grado di iperstaticità e dai criteri di progettazione adottati e prende in conto le non linearità di materiale. Esso può essere calcolato tramite la seguente espressione:

$$q = q_0 \times K_R = 1,0$$

### DETERMINAZIONE DELLA MASSA PARTECIPANTE

La determinazione dell'azione sismica viene calcolata considerando le masse associate ai seguenti carichi gravitazionali:

$$G_1 + G_2 + \sum_j \nu_{2j} \cdot Q_{kj}$$

dove  $G_1$  e  $G_2$  riguardano le masse associate al peso proprio delle strutture ed ai carichi permanenti, mentre  $Q_{kj}$  riguarda le masse associate ai carichi accidentali.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left; padding: 2px;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left; padding: 2px;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center; padding: 2px;">F0</td> <td style="text-align: center; padding: 2px;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

Trattandosi della verifica di un ponte, il coefficiente  $\psi_{2j}$  viene assunto pari a 0,20.

La determinazione della massa partecipante viene effettuata partendo dalle azioni trasmesse dall'impalcato alle sottostrutture per quanto riguarda i carichi permanenti, mentre per la valutazione dei carichi accidentali si va a determinare la risultante degli schemi di carico adottati nella statica globale.

### **DETERMINAZIONE DELLA FORZA SISMICA ORIZZONTALE SULLA SPALLA 1**

Si procede considerando l'elemento paraghiaia-fondazione come un'opera di sostegno; le Norme Tecniche trattano l'argomento al paragrafo 7.9.6.2.1, in cui si esplicita che l'analisi della sicurezza dei muri di sostegno in condizioni sismiche può essere eseguita mediante metodi pseudostatici, ossia mediante i metodi all'equilibrio limite. Il metodo di calcolo comprende, in accordo con la norma, l'opera di sostegno, il terreno a tergo dell'opera e gli eventuali sovraccarichi.

Nelle verifiche allo stato limite ultimo i valori dei coefficienti sismici orizzontale  $k_h$  e verticale  $k_v$  sono valutati mediante le espressioni:

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

$$k_v = \pm 0,50 \cdot k_h$$

dove:

$$\frac{a_{\max}}{g} = 0,4373 \quad \text{accelerazione orizzontale massima attesa al sito}$$

$$\beta_m = 1,00 \quad \text{in cui si considera prudenzialmente che la spalla non subisca spostamenti}$$

$$S = S_S \cdot S_T = 1,00 \cdot 1,00 = 1,00 \quad \text{amplificazione per sottosuolo tipo C}$$

Si ottengono quindi i seguenti valori:

$$k_h = 0,437 \quad k_v = 0,2191$$

La forza orizzontale sismica inerziale dovuta alla spalla è assunta prudenzialmente considerando la massa della spalla comprensiva del plinto di fondazione e del terreno giacente su di esso:

$$F = (16.426 + 8.903 + 433 + 2.464) \cdot 0,437 = 12423 \text{ kN}$$

### **DETERMINAZIONE DELLA FORZA SISMICA VERTICALE SULLA SPALLA 1**

In accordo con la normativa esplicitata al punto precedente si procede al calcolo della forza inerziale sismica verticale dovuta alla massa della spalla comprensiva di plinto di fondazione e del terreno a tergo di essa; l'accelerazione coincide con  $k_v$  precedentemente calcolata:

$$F = (16.426 + 8.903 + 433 + 2.464) \cdot 0,219 = 6.211 \text{ kN}$$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>			
		<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0

## 9.1.2 Combinazioni di carico

### 9.1.2.1 Combinazioni di carico statiche

Si considerano le combinazioni di carico statiche allo SLU previste dalla normativa vigente:

SL	PRINCIPALE	P.p.	Perm.	Attrito		Temperatura		Vento		Accident.		Folla		Frenamento		Centrifuga		Ced. e ritiro			
				$\Psi_1$		$\Psi_1$		$\Psi_1$		$\Psi_1$		$\Psi_1$		$\Psi_1$		$\Psi_1$		$\Psi_1$		$\Psi_1$	
SLU GEO	Vento	1,00	1,30	1,00	1,00	0,60	1,00	<b>1,00</b>	1,30										1,00	1,00	
	Gruppo 1 centr.	1,00	1,30	1,00	1,00	0,60	1,00	0,60	1,30	<b>1,00</b>	1,15	<b>0,50</b>	1,15	0,00	1,15	0,00	1,15	0,00	1,15	1,00	1,00
	Gruppo 1 ecc.	1,00	1,30	1,00	1,00	0,60	1,00	0,60	1,30	<b>1,00</b>	1,15	<b>0,50</b>	1,15	0,00	1,15	0,00	1,15	0,00	1,15	1,00	1,00
	Gruppo 2a centr.+	1,00	1,30	1,00	1,00	0,60	1,00	0,60	1,30	0,75	1,15	0,00	1,15	<b>1,00</b>	1,15	0,00	1,15	0,00	1,15	1,00	1,00
	Gruppo 2a ecc.+	1,00	1,30	1,00	1,00	0,60	1,00	0,60	1,30	0,75	1,15	0,00	1,15	<b>1,00</b>	1,15	0,00	1,15	0,00	1,15	1,00	1,00
	Gruppo 2a centr.-	1,00	1,30	-1,00	1,00	0,60	1,00	0,60	1,30	0,75	1,15	0,00	1,15	<b>-1,00</b>	1,15	0,00	1,15	0,00	1,15	1,00	1,00
	Gruppo 2a ecc.-	1,00	1,30	-1,00	1,00	0,60	1,00	0,60	1,30	0,75	1,15	0,00	1,15	<b>-1,00</b>	1,15	0,00	1,15	0,00	1,15	1,00	1,00
	Gruppo 2b centr.	1,00	1,30	1,00	1,00	0,60	1,00	0,60	1,30	0,75	1,15	0,00	1,15	0,00	1,15	0,00	1,15	1,00	1,15	1,00	1,00
	Gruppo 2b ecc.	1,00	1,30	1,00	1,00	0,60	1,00	0,60	1,30	0,75	1,15	0,00	1,15	0,00	1,15	0,00	1,15	1,00	1,15	1,00	1,00
Gruppo 1 rilevato	1,00	1,30	1,00	1,00	0,60	1,00	0,60	1,30	<b>1,00</b>	1,15	<b>0,00</b>	0,00	0,00	1,15	0,00	1,15	0,00	1,15	1,00	1,00	
		$\gamma_{G1}$	$\gamma_{G2}$	$\Psi_0$	$\gamma_{G2}$	$\Psi_0$	$\gamma_{E3}$	$\Psi_0$	$\gamma_{Q1}$	$\Psi_0$	$\gamma_Q$	$\Psi_0$	$\gamma_Q$	$\Psi_0$	$\gamma_Q$	$\Psi_0$	$\gamma_Q$	$\Psi_0$	$\gamma_Q$		
SLU STR	Vento	1,35	1,50	1,00	1,35	0,60	1,20	<b>1,00</b>	1,50										1,00	1,20	
	Gruppo 1 centr.	1,35	1,50	1,00	1,35	0,60	1,20	0,60	1,50	<b>1,00</b>	1,35	<b>0,50</b>	1,35	0,00	1,35	0,00	1,35	0,00	1,35	1,00	1,20
	Gruppo 1 ecc.	1,35	1,50	1,00	1,35	0,60	1,20	0,60	1,50	<b>1,00</b>	1,35	<b>0,50</b>	1,35	0,00	1,35	0,00	1,35	0,00	1,35	1,00	1,20
	Gruppo 2a centr.+	1,35	1,50	1,00	1,35	0,60	1,20	0,60	1,50	0,75	1,35	0,00	1,35	<b>1,00</b>	1,35	0,00	1,35	0,00	1,35	1,00	1,20
	Gruppo 2a ecc.+	1,35	1,50	1,00	1,35	0,60	1,20	0,60	1,50	0,75	1,35	0,00	1,35	<b>1,00</b>	1,35	0,00	1,35	0,00	1,35	1,00	1,20
	Gruppo 2a centr.-	1,35	1,50	-1,00	1,35	0,60	1,20	0,60	1,50	0,75	1,35	0,00	1,35	<b>-1,00</b>	1,35	0,00	1,35	0,00	1,35	1,00	1,20
	Gruppo 2a ecc.-	1,35	1,50	-1,00	1,35	0,60	1,20	0,60	1,50	0,75	1,35	0,00	1,35	<b>-1,00</b>	1,35	0,00	1,35	0,00	1,35	1,00	1,20
	Gruppo 2b centr.	1,35	1,50	1,00	1,35	0,60	1,20	0,60	1,50	0,75	1,35	0,00	1,35	0,00	1,35	0,00	1,35	1,00	1,35	1,00	1,20
	Gruppo 2b ecc.	1,35	1,50	1,00	1,35	0,60	1,20	0,60	1,50	0,75	1,35	0,00	1,35	0,00	1,35	0,00	1,35	1,00	1,35	1,00	1,20
Gruppo 1 rilevato	1,35	1,50	1,00	1,35	0,60	1,20	0,60	1,50	<b>1,00</b>	1,35	<b>0,00</b>	0,00	0,00	1,35	0,00	1,35	0,00	1,35	1,00	1,20	
SLU E	Vento	1,00	1,00	1,00	1,00	0,60	1,00	<b>1,00</b>	1,00										1,00	1,00	
	Gruppo 1 centr.	1,00	1,00	1,00	1,00	0,60	1,00	0,60	1,00	<b>1,00</b>	1,00	<b>0,50</b>	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00
	Gruppo 1 ecc.	1,00	1,00	1,00	1,00	0,60	1,00	0,60	1,00	<b>1,00</b>	1,00	<b>0,50</b>	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00
	Gruppo 2a centr.+	1,00	1,00	1,00	1,00	0,60	1,00	0,60	1,00	0,75	1,00	0,00	1,00	<b>1,00</b>	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00
	Gruppo 2a ecc.+	1,00	1,00	1,00	1,00	0,60	1,00	0,60	1,00	0,75	1,00	0,00	1,00	<b>1,00</b>	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00
	Gruppo 2a centr.-	1,00	1,00	-1,00	1,00	0,60	1,00	0,60	1,00	0,75	1,00	0,00	1,00	<b>-1,00</b>	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00
	Gruppo 2a ecc.-	1,00	1,00	-1,00	1,00	0,60	1,00	0,60	1,00	0,75	1,00	0,00	1,00	<b>-1,00</b>	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00
	Gruppo 2b centr.	1,00	1,00	1,00	1,00	0,60	1,00	0,60	1,00	0,75	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00
	Gruppo 2b ecc.	1,00	1,00	1,00	1,00	0,60	1,00	0,60	1,00	0,75	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00
Gruppo 1 rilevato	1,00	1,00	1,00	1,00	0,60	1,00	0,60	1,00	<b>1,00</b>	1,00	<b>0,00</b>	0,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00	

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 9.1.2.2 Combinazioni di carico Sismiche

Secondo le “Norme Tecniche 2008” le verifiche agli stati limite ultimi o di esercizio devono essere effettuate per la seguente combinazione dell’azione sismica con le altre azioni:

$$G1 + G2 + P + E + \sum_j 0,2 \cdot Q_{kj}$$

dove G1 sono i pesi propri, G2 sono i carichi permanenti, P è la precompressione, E è l’azione sismica e  $Q_{kj}$  sono i carichi accidentali.

In particolare si sono considerate le seguenti combinazioni sismiche:

Combinazione	P.p.	Perm.	Accid.	Sisma		
				X	Y	Z
SISMA X N+	1,00	1,00	0,20	1,00	0,30	0,30
SISMA Z N+	1,00	1,00	0,20	0,30	0,30	1,00
SISMA Y N+	1,00	1,00	0,20	0,30	1,00	0,30

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 9.1.3 MODELLO DI CALCOLO

#### 9.1.3.1 DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO

Per quanto concerne l'analisi strutturale condotta sulla spalla, è necessario chiarire preliminarmente quelle che sono le scelte di modellazione adottate.

Da un punto di vista dello schema statico i singoli elementi composti della spalla, quali il muro frontale e il paraghiaia sono stati schematizzati come mensole incastrate alla base.

La modellazione di tali elementi è stata poi ricondotta a porzioni di struttura di profondità unitaria, ottenendo in questo modo, grazie ad una lecita bi-dimensionalizzazione del problema, un consistente sgravio computazionale.

Nella valutazione delle spinte agenti sulla struttura ad opera del terreno a tergo in condizioni sismiche, ci si è ricondotti alle teorie di comprovata validità di Mononobe-Okabe. Tale scelta supportata dalle prescrizioni della normativa vigente è avvalorata da una riflessione condotta sulla possibile cinematica dell'elemento spalla. Ritenendo infatti erroneo supporre una completa staticità della struttura, si è preferito utilizzare la suddetta teoria rispetto ad altre presenti in letteratura (es. Woods).

Per una descrizione dettagliata delle trattazioni teoriche alla base di tali teorie si rimanda alla bibliografia citata.

#### 9.1.4 AZIONI SISMICHE: CONFRONTO ANALISI DINAMICA – ANALISI STATICA EQUIVALENTE

Al fine di poter emettere un giudizio motivato sull'accettabilità dei risultati ottenibili con l'utilizzo degli accelerogrammi spettro – compatibili dell'analisi dinamica utilizzata, si è proceduto all'analisi di una spalla tipo, individuata nella spalla SpA del Viadotto Curcuraci direzione Reggio Calabria, confrontando il risultato del calcolo operato con l'utilizzo di detti accelerogrammi con l'analogo calcolo effettuato con il metodo statico equivalente. Alla luce dei risultati, si può affermare, come più oltre analiticamente dimostrato, che gli scostamenti in termini di spostamenti ed azioni agli appoggi sono dell'ordine del 5% in media e del 10% di massimo e comunque sempre in favore di sicurezza. Pertanto l'analisi di cui al presente paragrafo viene estesa, per analogia, anche all'opera in oggetto, la quale presenta caratteristiche geometriche, statiche e di situazione geologico –

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

geotecnica assimilabili a quella effettivamente analizzata.

Si effettua quindi nel seguito un confronto tra i risultati ottenuti dall'analisi dinamica lineare con uso di accelerogrammi spettrocompatibili e dall'analisi lineare statica equivalente con uso di spettri da NTC 2008. Nel seguito si descrivono i due approcci e si confrontano i risultati ottenuti nei parametri di azioni sugli isolatori e spostamenti dei giunti trasversali di impalcato.

#### 9.1.4.1 ANALISI LINEARE DINAMICA

Lo studio sismico è stato effettuato tramite un'analisi lineare dinamica con l'impiego di accelerogrammi come indicato dalla normativa italiana DM2008 (§ 3.2.3.6).

Si utilizzano accelerogrammi artificiali compatibili con lo spettro elastico di risposta adottato nel capitolo 4 paragrafo 4.3.14.6; in particolare l'analisi è condotta con più di 7 serie temporali e si sono assunti i valori medi ottenuti dal modello come azioni di progetto, inoltre per descrivere il moto sismico si è tenuto in conto di non utilizzare lo stesso accelerogramma simultaneamente lungo le due direzioni orizzontali.

Per ricavare gli accelerogrammi spettro compatibili si è utilizzato il programma **REXEL 3.0 beta**, redatto:

Iervolino, I., Galasso, C., Cosenza, E. (2009).

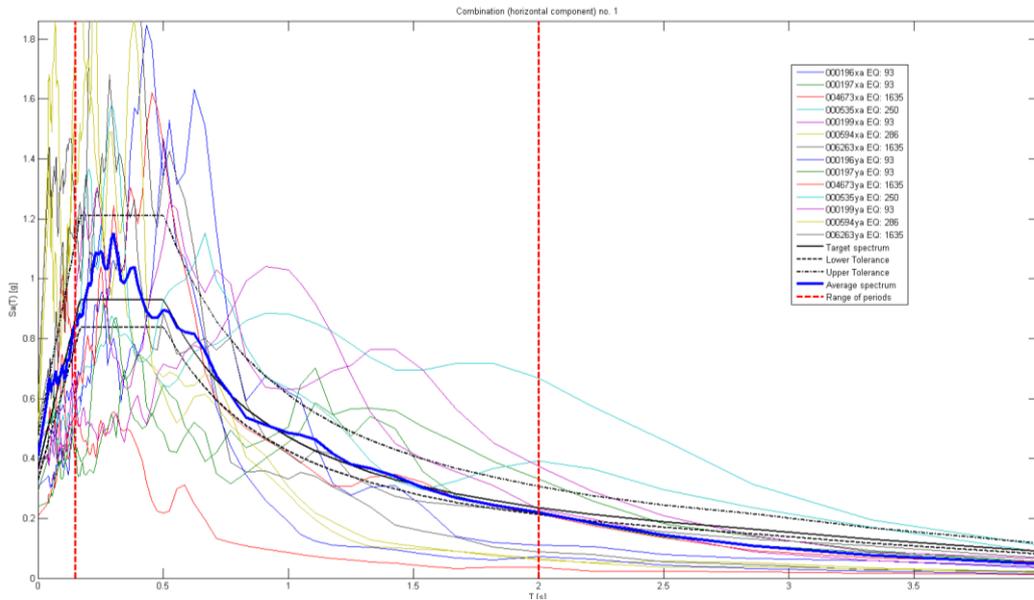
**REXEL: computer aided record selection for code-based seismic structural analysis.**

Bulletin of Earthquake Engineering. DOI 10.1007/s10518-009-9146-1

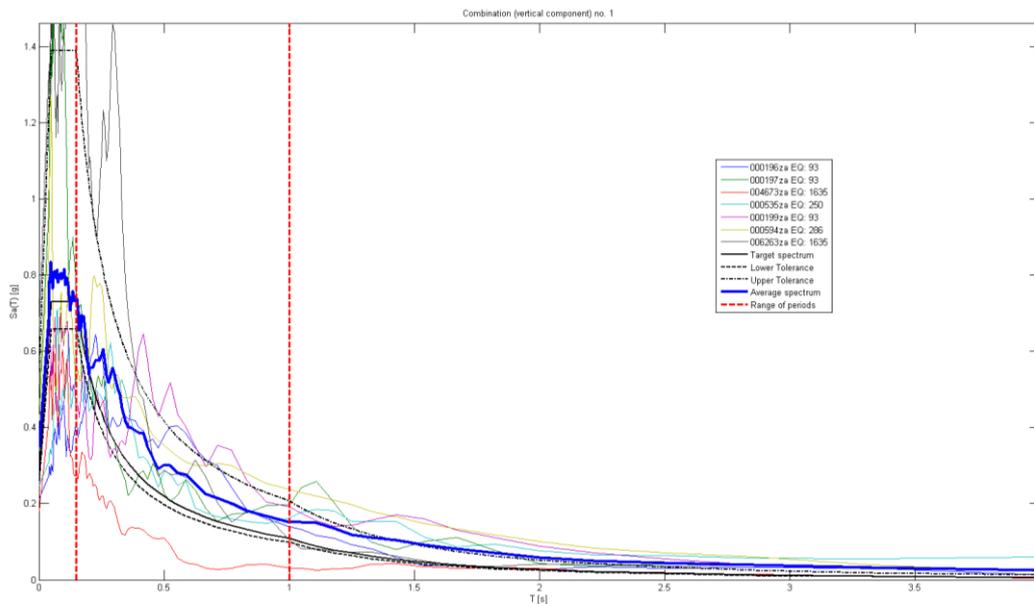
Il programma citato crea degli accelerogrammi spettro-compatibili con gli spettri elastici derivanti, in accordo con le Norme Tecniche 2008, dai parametri di coordinate del sito, categoria di sottosuolo, categoria topografica, vita nominale, classe d'uso e stato limite.

Tale modellazione risulta in accordo con quanto richiesto dalle NTC2008 per strutture isolate al paragrafo 7.10.2, ossia che la sovrastruttura e la sottostruttura devono mantenersi in campo elastico, coincidente con un valore del valore di struttura unitario.

Di seguito si riportano gli spettri estratti:



Spettri orizzontali



Spettri verticali

Le funzioni sono state implementate nel codice di calcolo SAP2000 definendo 7 combinazioni indipendenti.

Viene adottato un sistema di isolamento sismico che è posto tra l'impalcato e le pile/spalle, allo scopo di migliorarne la risposta nei confronti delle azioni sismiche orizzontali. La riduzione della risposta sismica orizzontale qualunque siano la tipologia ed i materiali strutturali del ponte, può

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

essere ottenuta mediante un incremento del periodo fondamentale della costruzione per portarlo nel campo delle minori accelerazioni di risposta.

Per l'opera in oggetto della seguente relazione si utilizzano isolatori sismici elastomerici, composti essenzialmente da due piastre, la superiore ancorata alla trave e l'inferiore al pulvino o al fusto, all'interno delle quali viene interposto uno strato di elastomero.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## AZIONI SISMICHE

Dall'analisi condotta si riportano i valori di sisma per gli appoggi distinti per le tre componenti.

	SPALLA SpA											
	101			201			301			401		
	V	HI	Ht	V	HI	Ht	V	HI	Ht	V	HI	Ht
Sisma X	0	300	0	0	290	0	0	290	0	0	300	0
Sisma Y	0	0	180	0	0	180	0	0	180	0	0	180
Sisma Z	420	0	0	360	0	0	340	0	0	380	0	0

## ESCURSIONE DEI GIUNTI TRASVERSALI

I giunti devono essere in grado di assorbire una deformazione longitudinale dell'impalcato causata da una variazione termica  $\Delta T$  di  $\pm 30$  °C. Tale deformazione risulta nulla in corrispondenza del baricentro dell'impalcato metallico e cresce all'aumentare della distanza dal giunto in questione al baricentro stesso. I giunti devono inoltre garantire lo spostamento dovuto alle azioni sismiche derivanti dalla modellazione. Si espongono nel seguito i valori delle escursioni termiche e degli spostamenti sismici per i giunti presenti nell'opera in oggetto:

	$\Delta l_{term}$	$\Delta l_{sism}$	$\Delta l_{ammesso}$
	mm	mm	mm
<b>SpA</b>	$\pm 4$	$\pm 191$	$\pm 200$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>	<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0

#### 9.1.4.2 ANALISI STATICA EQUIVALENTE

Lo studio si effettua con l'ausilio di forze statiche sismiche equivalenti; per i parametri utilizzati nell'analisi sismica del graticcio di impalcato si rimanda al capitolo "4.4.3 – Azioni sismiche" dell'elaborato "CG0700PCLDSSCC5VIV000001A-01 – Relazione di calcolo".

#### AZIONI SISMICHE

Dall'analisi condotta si riportano i valori di sisma per gli appoggi distinti per le tre componenti.

	SPALLA SpA											
	101			201			301			401		
	V	HI	Ht	V	HI	Ht	V	HI	Ht	V	HI	Ht
Sisma X	0	305	0	0	294	0	0	290	0	0	289	0
Sisma Y	0	0	228	0	0	228	0	0	228	0	0	228
Sisma Z	326	0	0	266	0	0	273	0	0	321	0	0

I tabulati seguenti riportano i valori di reazioni delle molle ottenute con la modellazione e le reazioni verticali agli appoggi stessi.

TABLE: Joint Reactions - Spring Forces					
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U1	U2
Text	Text	Text	Text	KN	KN
101	SPETTROX	LinRespSpec	Max	304,8853	6,2353
101	SPETTROY	LinRespSpec	Max	0,1440	228,1107
101	SPETTROZ	LinRespSpec	Max	0,0000	0,0001
201	SPETTROX	LinRespSpec	Max	294,1113	6,2340
201	SPETTROY	LinRespSpec	Max	0,0014	228,1160
201	SPETTROZ	LinRespSpec	Max	0,0001	0,0000
301	SPETTROX	LinRespSpec	Max	290,1947	6,2287
301	SPETTROY	LinRespSpec	Max	0,0014	228,1127
301	SPETTROZ	LinRespSpec	Max	0,0001	0,0000
401	SPETTROX	LinRespSpec	Max	288,6433	6,2247
401	SPETTROY	LinRespSpec	Max	0,1440	228,0993
401	SPETTROZ	LinRespSpec	Max	0,0000	0,0001

TABLE: Joint Reactions				
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U3
Text	Text	Text	Text	KN

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

101	SPETTROX	LinRespSpec	Max	0,0000
101	SPETTROY	LinRespSpec	Max	0,0001
101	SPETTROZ	LinRespSpec	Max	423,6865
201	SPETTROX	LinRespSpec	Max	0,0000
201	SPETTROY	LinRespSpec	Max	0,0000
201	SPETTROZ	LinRespSpec	Max	346,1493
301	SPETTROX	LinRespSpec	Max	0,0000
301	SPETTROY	LinRespSpec	Max	0,0001
301	SPETTROZ	LinRespSpec	Max	354,7475
401	SPETTROX	LinRespSpec	Max	0,0000
401	SPETTROY	LinRespSpec	Max	0,0001
401	SPETTROZ	LinRespSpec	Max	417,2913

## ESCURSIONE DEI GIUNTI TRASVERSALI

I giunti devono essere in grado di assorbire una deformazione longitudinale dell'impalcato causata da una variazione termica  $\Delta T$  di  $\pm 30$  °C. Tale deformazione risulta nulla in corrispondenza del baricentro dell'impalcato metallico e cresce all'aumentare della distanza dal giunto in questione al baricentro stesso. I giunti devono inoltre garantire lo spostamento dovuto alle azioni sismiche derivanti dalla modellazione. Si espongono nel seguito i valori delle escursioni termiche e degli spostamenti sismici per i giunti presenti nell'opera in oggetto:

	$\Delta l_{term}$	$\Delta l_{sism}$	$\Delta l_{ammesso}$
	mm	mm	mm
<b>SpA</b>	$\pm 4$	$\pm 193$	$\pm 200$

Di seguito si riporta l'output degli spostamenti massimi in corrispondenza dei nodi di spalla.

TABLE: Joint Displacements					
Joint	OutputCase	CaseType	StepType	U1	U2
Text	Text	Text	Text	m	m
101	SPETTROX	LinRespSpec	Max	0,1932608	0,004872
101	SPETTROY	LinRespSpec	Max	0,0001344	0,1217896
101	SPETTROZ	LinRespSpec	Max	1,5256E-08	5,3304E-08
201	SPETTROX	LinRespSpec	Max	0,1822728	0,0048712
201	SPETTROY	LinRespSpec	Max	1,3008E-06	0,121792
201	SPETTROZ	LinRespSpec	Max	7,0584E-08	1,4056E-08
301	SPETTROX	LinRespSpec	Max	0,178492	0,0048664

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

301	SPETTROY	LinRespSpec	Max	1,3304E-06	0,1217888
301	SPETTROZ	LinRespSpec	Max	5,64E-08	3,108E-08
401	SPETTROX	LinRespSpec	Max	0,17716	0,0048632
401	SPETTROY	LinRespSpec	Max	0,0001344	0,1217776
401	SPETTROZ	LinRespSpec	Max	1,7848E-08	5,52E-08

I risultati ottenuti per mezzo della modellazione statica equivalente mostrano, rispetto alla modellazione dinamica, dei valori di spostamenti e di reazioni orizzontali agli appoggi confrontabili, con discostamenti medi dell'ordine del 5% e massimi dell'ordine del 10%.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>	<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0

## 9.1.5 CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI

### AZIONI TRASMESSE DALL'IMPALCATO

momenti longitudinali rispetto al bordo anteriore

	N (kN)	H long (kN)	H trasv (kN)	M long (kNm)	M trasv (kNm)
peso strutturale	2.702	0	0	9.052	0
permanenti	621	0	0	2.080	286
mezzi schema 1	913	0	0	3.059	5.058
mezzi schema 2	1.726	0	0	5.782	6.017
folla schema 1	0	0	0	0	0
folla schema 2	0	0	0	0	0
frenamento	0	213	0	-2.300	0
attrito / reazione gommoni ?T	0	100	0	-1.077	0
vento: impalcato scarico	227	0	65	0	-1.218
vento: impalcato carico	263	0	172	0	-3.506
temperatura	0	0	0	0	0
ritiro	0	0	0	0	0
azione centrifuga	0	0	240	0	2.832
sisma	3.248	877	755	9.472	8.305

Mt	H	Obliquità	°	rad
	213	0,00		0,00
	100			
	443	65		
	1.204	172		

Eccentricità dei carichi verticali (mt) **0,00**

### PARAMETRI SISMICI

### PARAMETRI TERRENO

accelerazione di picco	$\alpha g/g =$	<b>0,4373</b>	Peso specifico del terreno:	<b>19,0</b>	kN/m <sup>3</sup>	$\gamma$	
coefficiente orizzontale	$=S_s \times S_T =$	<b>1,00</b>	Angolo di attrito terreno rilevato	0,611	rad	$\phi$	<b>35,00 °</b>
coefficiente verticale	$=S_s \times S_T =$	<b>1,00</b>	Angolo di attrito terreno di base	0,663	rad	$\phi$	<b>38,00 °</b>
	$a_{max} =$	0,437	Angolo di inclinazione del muro	1,571	rad	$\psi$	<b>90,00 °</b>
	$\beta m =$	<b>0,31</b>					
	$K_h =$	0,136	Angolo di inclinazione del terreno	0,000	rad	$\beta$	<b>0,00 °</b>
$K_v = 0,5 K_h$	$K_v =$	0,068	Angolo di resistenza terra-muro	0,407	rad	$\delta$	<b>23,33 °</b>
	$\theta_1 =$	0,126	Coefficiente di spinta del terreno	$K_1 =$	0,325		
	$\theta_2 =$	0,144		$K_2 =$	0,339		

### AZIONI TRASMESSE DAL TERRENO

Per le spinte inerziali  $\beta m = 1$

$K_x =$    $K_y =$    $K_v =$

	p (kN/mq)	H long (kN)	M long (kNm)	
Ed= spinta terreno sismica+statica		12.131	-58.507	
spinta a riposo	104,11	14.281	-61.172	
spinta attiva	66,16	9.076	-38.874	
spinta passiva plinto (50%)	154,63	2.063	1.720	
spinta per sovraccarichi	3,84	1.053	-6.765	
	p (kN/mq)	N vert (kN)	H long (kN)	M long (kNm)
Sovraccarico				
sommità	64,96	1.509	5.077	-32.622
piede muro	21,84			

### AZIONI INERZIALI SIS. TRASMESSE DALLA SPALLA

	N (kN)	H long (kN)	H trasv (kN)	M long (kNm)	M trasv (kNm)
Sisma +	12.084	24.167	24.167	134.475	134.475
Sisma -	-7.208	-14.415	-14.415	-59.630	-59.630

Larghezza pavimentato	10,50	m	
numero stese	3		
angolo diffusione	30,00	°	0,52

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 9.1.5.1 Sollecitazioni muro frontale

#### MURO FRONTALE: AZIONI GLOBALI

	<i>N</i> (kN)	<i>M</i> (kNm)	<i>T</i> (kN)	<i>N</i> (kN/m)	<i>M</i> (kNm/m)	<i>T</i> (kN)	
Combinazione 11	23.326	78.366	17.389	1.093	3.671	814	SLU STF
Combinazione 12	24.558	86.621	18.534	1.150	4.057	868	
Combinazione 13	25.656	87.423	18.534	1.202	4.095	868	
Combinazione 14	24.250	86.944	18.536	1.136	4.072	868	
Combinazione 15	25.073	87.545	18.536	1.174	4.100	868	
Combinazione 20	23.326	106.936	22.910	1.093	5.009	1.073	
	<i>N</i> (kN)	<i>M</i> (kNm)	<i>T</i> (kN)	<i>N</i> (kN/m)	<i>M</i> (kNm/m)	<i>T</i> (kN)	
perm + sisma X + 0,30 sisma (Y+Z) schema 1	25.394	66.737	13.008	1.189	3.126	609	
perm + sisma X + 0,30 sisma (Y+Z) schema 2	25.556	66.856	13.015	1.197	3.131	610	
perm + 0,30 sisma (X+Z) + sisma Y schema 1	25.394	43.362		1.189	2.031		
perm + 0,30 sisma (X+Z) + sisma Y schema 2	25.556	43.481		1.197	2.037		

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>	<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0

### 9.1.5.2 Sollecitazioni fondazione

#### VERIFICHE DI STABILITA'

	<i>N</i> (kN)	<i>M<sub>rib</sub></i> (kNm)	<i>M<sub>stab</sub></i> (kNm)	$\eta$	<i>u</i> (m)	<i>e</i> (m)	SL
Combinazione 1	65.464	-80.600	453.784	5,63	5,70	0,50	SLU GEO
Combinazione 2	66.514	-88.379	457.301	5,17	5,55	0,65	
Combinazione 3	67.449	-88.379	460.433	5,21	5,52	0,68	
Combinazione 4	66.252	-89.080	456.422	5,12	5,54	0,66	
Combinazione 5	66.953	-89.080	458.771	5,15	5,52	0,68	
Combinazione 6	66.252	-85.358	460.144	5,39	5,66	0,54	
Combinazione 7	66.953	-85.358	462.493	5,42	5,63	0,57	
Combinazione 8	66.252	-86.435	456.422	5,28	5,58	0,62	
Combinazione 9	66.953	-86.435	458.771	5,31	5,56	0,64	
Combinazione 10	67.404	-118.115	455.519	3,86	5,01	1,19	
Combinazione 11	82.532	-93.211	561.098	6,02	5,67	0,53	SLU STR
Combinazione 12	83.764	-102.344	565.227	5,52	5,53	0,67	
Combinazione 13	84.862	-102.344	568.904	5,56	5,50	0,70	
Combinazione 14	83.456	-103.166	564.195	5,47	5,52	0,68	
Combinazione 15	84.279	-103.166	566.953	5,50	5,50	0,70	
Combinazione 16	83.456	-98.607	568.754	5,77	5,63	0,57	
Combinazione 17	84.279	-98.607	571.512	5,80	5,61	0,59	
Combinazione 18	83.456	-100.060	564.195	5,64	5,56	0,64	
Combinazione 19	84.279	-100.060	566.953	5,67	5,54	0,66	
Combinazione 20	84.805	-137.251	563.135	4,10	5,02	1,18	
Comb SLE 1	58.588	-62.248	393.184	6,32	5,65	0,55	SLE
Comb SLE 2	59.501	-69.013	396.242	5,74	5,50	0,70	
Comb SLE 3	60.314	-69.013	398.966	5,78	5,47	0,73	
Comb SLE 4	59.272	-69.622	395.478	5,68	5,50	0,70	
Comb SLE 5	59.882	-69.622	397.520	5,71	5,48	0,72	
Comb SLE 6	59.272	-66.245	398.855	6,02	5,61	0,59	
Comb SLE 7	59.882	-66.245	400.897	6,05	5,59	0,61	
Comb SLE 8	59.272	-67.322	395.478	5,87	5,54	0,66	
Comb SLE 9	59.882	-67.322	397.520	5,90	5,51	0,69	
Comb SLE 10	60.254	-94.871	394.693	4,16	4,98	1,22	
perm + sisma X + 0,30 sisma (Y+Z) schema 1	63.552	-229.270	396.127	1,73	2,63	3,57	SLV
perm + sisma X + 0,30 sisma (Y+Z) schema 2	63.878	-229.270	397.216	1,73	2,63	3,57	

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

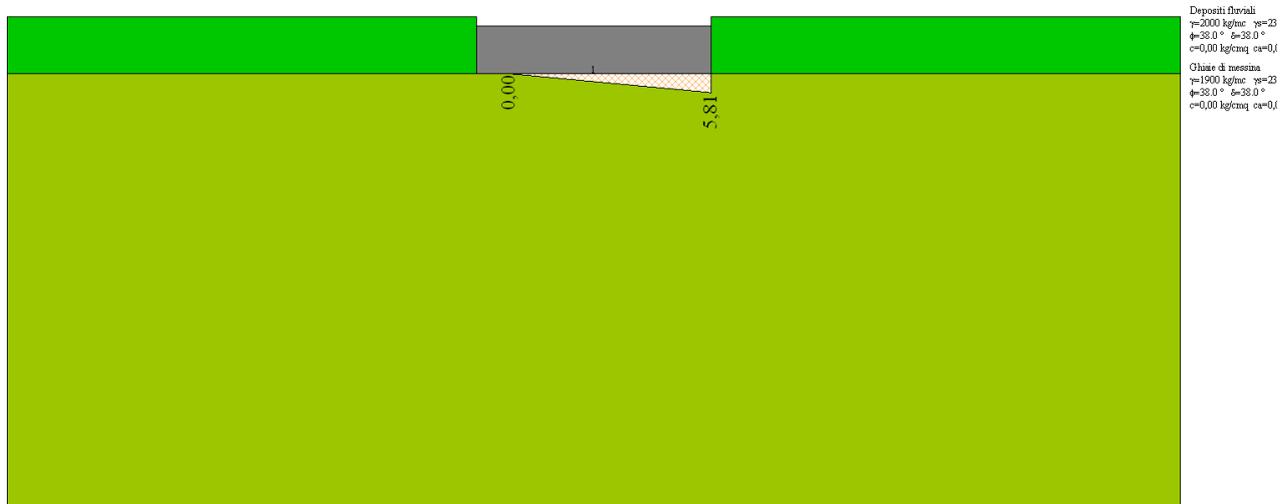
**AZIONI GLOBALI NORME TECNICHE 2008**

	<i>N</i> (kN)	<i>M long</i> (kNm)	<i>M trasv</i> (kNm)	<i>T long</i> (kN)	<i>T trasv</i> (kN)	
Combinazione 1	65.464	32.693	1.956	18.665	85	SLU GEO
Combinazione 2	66.514	43.465	8.923	19.876	134	
Combinazione 3	67.449	46.130	10.026	19.876	134	
Combinazione 4	66.252	43.418	7.469	19.819	134	
Combinazione 5	66.953	45.416	8.296	19.819	134	
Combinazione 6	66.252	35.973	8.296	19.129	134	
Combinazione 7	66.953	37.972	8.296	19.129	134	
Combinazione 8	66.252	40.772	10.726	19.574	410	
Combinazione 9	66.953	42.771	11.553	19.574	410	
Combinazione 10	67.404	80.503	3.106	24.504	134	
Combinazione 11	82.532	43.809	2.256	21.557	98	SLU STR
Combinazione 12	83.764	56.454	10.413	22.978	155	
Combinazione 13	84.862	59.582	11.707	22.978	155	
Combinazione 14	83.456	56.398	8.705	22.910	155	
Combinazione 15	84.279	58.744	9.676	22.910	155	
Combinazione 16	83.456	47.280	9.676	22.066	155	
Combinazione 17	84.279	49.626	9.676	22.066	155	
Combinazione 18	83.456	53.293	12.529	22.623	479	
Combinazione 19	84.279	55.639	13.500	22.623	479	
Combinazione 20	84.805	99.908	3.584	23.593	155	
Comb SLE 1	58.588	32.309	1.504	14.381	65	SLE
Comb SLE 2	59.501	41.675	7.448	15.434	103	
Comb SLE 3	60.314	43.993	8.407	15.434	103	
Comb SLE 4	59.272	41.634	6.183	15.384	103	
Comb SLE 5	59.882	43.372	6.902	15.384	103	
Comb SLE 6	59.272	34.880	6.902	14.758	103	
Comb SLE 7	59.882	36.618	6.902	14.758	103	
Comb SLE 8	59.272	39.334	9.015	15.171	343	
Comb SLE 9	59.882	41.072	9.734	15.171	343	
Comb SLE 10	60.254	73.755	2.390	15.890	103	
perm + sisma X + 0,30 sisma (Y+Z) schema 1	63.552	170.970	44.132	35.112	7.477	SLV
perm + sisma X + 0,30 sisma (Y+Z) schema 2	63.878	171.434	44.037	35.112	7.477	

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

### Sollecitazione sezione A-A

Il momento flettente e il taglio sono calcolati rispetto al filo anteriore del muro frontale; si considera la situazione più gravosa corrispondente tra le combinazioni GEO, alla combinazione 11 in condizioni sismiche. Si riporta di seguito la pressione sul terreno lungo l'asse longitudinale della spalla:



$$M_{SDA} = \left[ (4,43 \cdot 10 - 2,500 \cdot 2,50) \cdot \frac{2,57^2}{2} + (5,81 - 4,43) \cdot 10 \cdot \frac{2,57^2}{3} \right] \cdot 10 = 1.560 \text{ kNm}$$

$$V_{SDA} = \left[ (4,43 \cdot 10 - 2,500 \cdot 2,50) \cdot 2,57 + (5,81 - 4,43) \cdot 10 \cdot \frac{2,57}{2} \right] \cdot 10 = 1.155 \text{ kN}$$

### Sollecitazione sezione B-B

Il momento flettente e il taglio sono calcolati rispetto al filo posteriore del muro frontale; si considera la situazione più gravosa corrispondente tra le combinazioni GEO, corrispondente alla combinazione 11 in condizioni sismiche:

$$M_{SDB} = \left[ (1,900 \cdot 10,50 + 2,500 \cdot 2,50) \cdot \frac{6,76^2}{2} - (2,82) \cdot 10 \cdot \frac{5,26^2}{6} \right] \cdot 10 = 4.686 \text{ kNm}$$

$$V_{SDB} = \left[ (1,900 \cdot 10,50 + 2,500 \cdot 2,50) \cdot 6,76 - (2,82) \cdot 10 \cdot \frac{5,26}{2} \right] \cdot 10 = 1.029 \text{ kN}$$

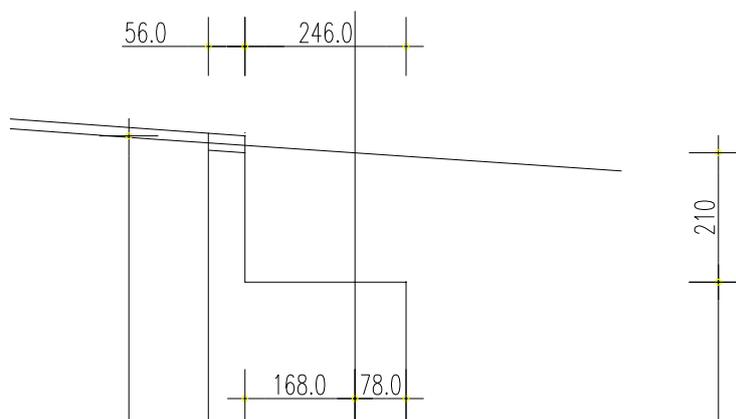
		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 9.1.6 VERIFICA DELLE SEZIONI

### 9.1.7 Paragliaia

#### 9.1.7.1 Verifiche statiche

La verifica viene effettuata con lo schema geometrico indicato nella figura sottostante, secondo l'approccio SLU di tipo STR indicato al paragrafo 6.5.3.1.1 delle "Norme Tecniche 2008".



La combinazione attinente alla verifica degli elementi strutturali risulta essere la combinazione 1 (A1+M1+R1) dell'approccio previsto dalla norma, in cui i coefficienti sono presi dalle tabelle 6.2.I e 6.2.II presenti in seguito.

**Tabella 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.**

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali <sup>(1)</sup>	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Q1}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

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

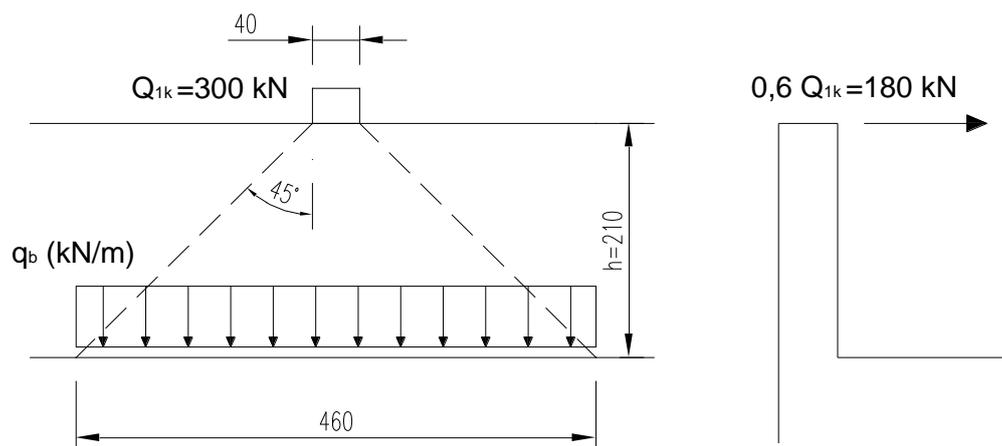
		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

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

Angolo di attrito del terreno  $\phi = 35^\circ$   
Peso specifico del terreno  $\gamma_t = 19,00 \text{ kN/m}^3$   
Sovraccarico  $q = 90,91 \text{ kN/m}^2$   
Spinta del terreno alla base  $p_1 = k_0 \cdot \sigma_v = 0,43 \cdot 19,00 \cdot 2,10 = 17 \text{ kN/m}^2$   
Spinta del sovraccarico  $p_2 = k_0 \cdot q = 0,43 \cdot 90,91 = 39 \text{ kN/m}^2$

Alla spinta della terra va aggiunto, in accordo con quanto specificato dalle NTC 2008 al punto 5.1.3.3.6 e ripreso dalla circolare n°617 del 2 febbraio 2009 al paragrafo C5.1.3.3.7.2 “Carichi orizzontali da traffico su rilevati e su terrapieni adiacenti al ponte”, il carico verticale  $Q_{1k}$  ed un'azione orizzontale di frenamento pari a  $0,6 Q_{1k}$ . Tali azioni si ripartiscono a  $45^\circ$  lungo l'altezza del paragrafiaia per arrivare alla pressoflessione di base ogni metro lineare, come descritto nell'immagine seguente.



Larghezza di influenza  $b = 0,40 + 2 \cdot 2,10 = 4,60 \text{ m}$   
Pressione dovuta a  $Q_{1k}$   $q_b = 300 / 4,60 = 65,21 \text{ kN/m}$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

Approccio 1:

Combinazione 1 → Stato Limite Ultimo STR:

$$M_{sd} = 17 \cdot 1,35 \cdot \frac{2,10^2}{6} + 39 \cdot 1,50 \cdot \frac{2,10^2}{2} + 180 \cdot 1,50 \cdot \frac{2,10}{4,60} = 269 \text{ kNm / m}$$

Flessione:

$$M_{sd} = 269 \text{ kNm}$$

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	50
ARMATURA	compressa	φ22/20
	tesa	φ22/20
SOLLECITAZIONI	Msd =	269 kNm
	Nsd =	65 kN
INDICI DI RESISTENZA	Mrd =	341 kNm
	IR =	1,27

Taglio:

$$V_{sd} = 17 \cdot 1,35 \cdot \frac{2,10}{2} + 39 \cdot 1,50 \cdot 2,10 + 1,50 \cdot \frac{180}{4,60} = 205 \text{ kN / m}$$

**RISULTATI VERIFICA A TAGLIO**

**Verifica senza armatura trasversale**

Taglio res. ultimo (VRd): 21534.930  
Indice di resistenza: 0.68

**Verifica delle bielle compresse**

Taglio resistente ultimo (VRcd): 215879.172  
ctg(Theta): 1.00  
Indice di resistenza: 0.07

**Verifica con armatura trasversale**

Taglio attribuito all'armatura (VRsd): 20500.000  
Armatura trasversale per unita' di  
lunghezza (Asw, cm<sup>2</sup>/m): 8.04

**Applicare solo i minimi di norma perchè la sezione non richiede armatura trasversale a taglio (V≤Vrdul)**

Staffe a 2 braccia  
: ø10/80.0cm

Combinazione sismica:

In accordo con quanto indicato nelle "Norme Tecniche 2008" al paragrafo 7.11.6.2.1, per le verifiche allo SLU si assume il coefficiente di spinta del terreno come segue, considerando la tabella 7.11.II.

$$k_h = \beta_m \cdot S \cdot \frac{a_{max}}{g} = 0,31 \cdot 1,00 \cdot 0,4373 = 0,136$$

Il coefficiente di spinta attiva in condizioni statiche e di sisma vale:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

Coefficiente di spinta attiva:  $k_a = 0,136$   
Coefficiente di spinta statica + sisma:  $k_{ah} = 0,339$   
Spinta attiva del terreno alla base:  $p_3 = k_a \cdot \sigma_v = 0,136 \cdot 19,00 \cdot 2,10 = 5,42 \text{ kN/m}^2$   
Spinta attiva + sisma alla base:  $p_4 = k_{ah} \cdot \sigma_v = 0,339 \cdot 19,00 \cdot 2,10 = 13,52 \text{ kN/m}^2$   
Forze di inerzia:  $F_i = k_h \cdot P = 0,4373 \cdot (0,56 \cdot 2,10 \cdot 25) = 12,85 \text{ kN}$   
 $M_{sd} = 13,52 \cdot 1,00 \cdot \frac{2,10^2}{4} + 39 \cdot 0,20 \cdot \frac{2,10^2}{2} + 12,85 \cdot 1,00 \cdot \frac{2,10}{2} = 46 \text{ kNm/m}$

**Flessione:**

$M_{sd} = 46 \text{ kNm}$

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	0,56
ARMATURA	compressa	φ22/20
	tesa	φ22/20
SOLLECITAZIONI	Msd =	46kNm
INDICI DI RESISTENZA	Mrd =	323 kNm
	IR =	7,02

**Taglio:**

$V_{sd} = 13,52 \cdot 1,00 \cdot 2,10 + 0,20 \cdot 39 \cdot 1,00 \cdot 2,10 + 12,85 = 57,62 \text{ kN/m}$

<b>RISULTATI VERIFICA A TAGLIO</b>	
<b>Verifica senza armatura trasversale</b>	
Taglio res. ultimo (VRd):	21534.930
Indice di resistenza:	0.27
<b>Verifica delle bielle compresse</b>	
Taglio resistente ultimo (VRcd):	215879.172
ctg(Theta):	1.00
Indice di resistenza:	0.03
<b>Verifica con armatura trasversale</b>	
Taglio attribuito all'armatura (VRsd):	5762.000
Armatura trasversale per unita' di lunghezza (Asw, cm <sup>2</sup> /m):	3.15
<b>Applicare solo i minimi di norma perchè la sezione non richiede armatura trasversale a taglio (V&lt;=Vrdul)</b>	
Staffe a 2 braccia:	ø10/80.0c

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

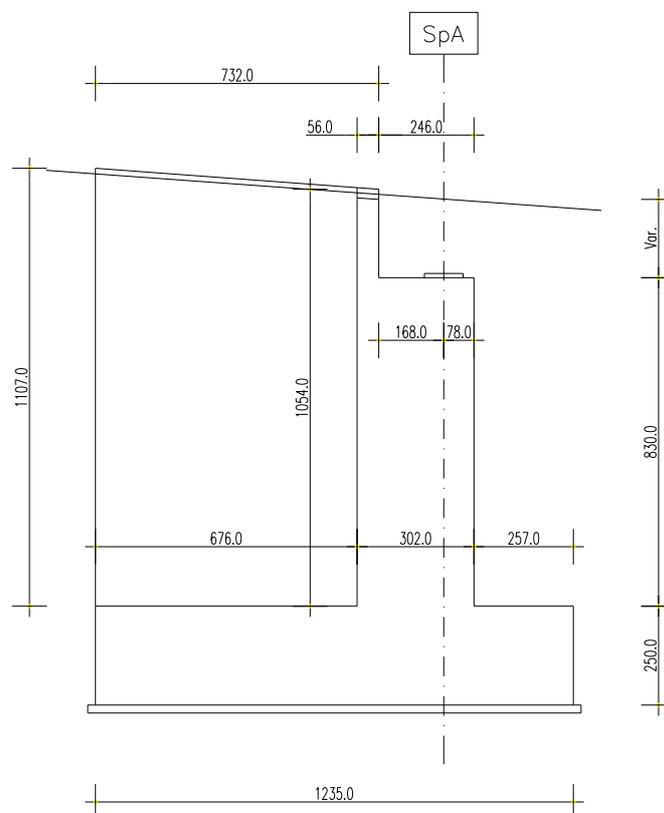
## 9.1.8 Muro frontale

### 9.1.8.1 Verifiche statiche

La verifica viene effettuata con lo schema geometrico indicato nella figura sottostante, secondo l'approccio SLU di tipo STR indicato al paragrafo 6.5.3.1.1 delle "Norme Tecniche 2008".

La combinazione attinente alla verifica degli elementi strutturali risulta essere la combinazione 1 (A1+M1+R1) dell'approccio previsto dalla norma, in cui i coefficienti sono presi dalle tabelle 6.2.I e 6.2.II.

Nella tabella posta di seguito sono indicati i valori di azione verticale N e del momento flettente M che conseguono alle combinazioni agli SLU STR indicate al paragrafo 3.2.1 ed alle combinazioni sismiche indicate al paragrafo 3.2.2.



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

I valori delle pressioni dovute al terreno in fase statica sono calcolati prudenzialmente con spinta del terreno a riposo, ipotizzando che il muro frontale non subisca spostamenti conseguenti alla spinta a tergo del terreno di rilevato.

In fase sismica, invece, il muro subisce spostamenti, quindi il valore della spinta del terreno è caratterizzato da un coefficiente di spinta attiva incrementato dalla componente dinamica, in accordo con la teoria di Mononobe-Okabe.

### FLESSIONE ALLA SEZIONE DI BASE

Dalla tabella esposta al capitolo 9.1.5 si evincono i valori di azione assiale e del momento flettente massimo alla base del muro frontale per le combinazioni SLU STR; nel caso specifico si esegue la verifica per la combinazione 20.

#### Approccio 1:

Combinazione 20 → Stato Limite Ultimo STR:

$$N_{sd} = 1.093 \text{ kN/m}$$

$$M_{sd} = 5.009 \text{ kNm / m}$$

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	302
ARMATURA	compressa	φ24/10
	tesa	φ26/10
SOLLECITAZIONI	Nsd =	1.093 kN
	Msd =	5.009 kNm
INDICI DI RESISTENZA	Mrd =	8.660 kNm
	Nrd =	1.869 kN
	IR =	1,72

#### Taglio:

$$V_{sd} = 1.073 \text{ kN/m,}$$

#### RISULTATI VERIFICA A TAGLIO

##### Verifica senza armatura trasversale

Taglio res. ultimo (VRd):	85478.352
Indice di resistenza:	1.40

##### Verifica delle bielle compresse

Taglio resistente ultimo (VRcd):	1257178.875
ctg(Theta):	1.00
Indice di resistenza:	0.10

##### Verifica con armatura trasversale

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

Taglio attribuito all'armatura (VRsd):	119900.001
Armatura trasversale per unita' di lunghezza (Asw, cm <sup>2</sup> /m):	11.26
Staffe a 2 braccia:	ø8/8.9cm

### Combinazione sismica:

In accordo con quanto indicato nelle "Norme Tecniche 2008" al paragrafo 7.11.6.2.1, per le verifiche allo SLU si assume il coefficiente di spinta del terreno pari ad 0,31, corrispondente alle strutture che subiscono spostamenti sotto la spinta del terreno posto a tergo:

$$k_h = \beta_m \cdot S \cdot \frac{a_{max}}{g} = 0,31 \cdot 1,00 \cdot 0,437 = 0,135$$

Il coefficiente di spinta attiva in condizioni statiche e di sisma vale:

Coefficiente di spinta attiva:  $k_a = 0,135$

Coefficiente di spinta statica + sisma:  $k_{ah} = 0,339$

Spinta attiva del terreno alla base:  $p_3 = k_a \cdot \sigma_v = 0,137 \cdot 19,00 \cdot 10,10 = 26,29 \text{ kN/m}^2$

Spinta attiva + sisma alla base:  $p_4 = k_{ah} \cdot \sigma_v = 0,339 \cdot 19,00 \cdot 10,10 = 65 \text{ kN/m}^2$

Forze di inerzia:  $F_i = k_h \cdot P = 0,137 \cdot (3,02 \cdot 10,10 \cdot 25) = 104 \text{ kN}$

$N_{sd} = 1.197 \text{ kN/m}$

$M_{sd} = 3.131 \text{ kNm/m}$

### Pressoflessione:

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	302
ARMATURA	compressa	ø24/10
	tesa	ø26/10
SOLLECITAZIONI	Nsd =	1.197 kN
	Msd =	3.131 kNm
	INDICI DI RESISTENZA	Mrd =
	Nrd =	5.432 kN
	IR =	4,11

### Taglio:

$V_{sd} = 610 \text{ kN/m}$

<b>RISULTATI VERIFICA A TAGLIO</b>	
<b>Verifica senza armatura trasversale</b>	
Taglio res. ultimo (VRd):	85478.352
Indice di resistenza:	0.71
<b>Verifica delle bielle compresse</b>	
Taglio resistente ultimo (VRcd):	1257178.875
ctg(Theta):	1.00
Indice di resistenza:	0.05

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

<b>Verifica con armatura trasversale</b>	
Taglio attribuito all'armatura (VRsd):	60699.999
Armatura trasversale per unita' di lunghezza (Asw, cm <sup>2</sup> /m):	5.70
<b>Applicare solo i minimi di norma perchè la  sezione non richiede armatura trasversale a taglio (V&lt;=Vrdul)</b>	
Staffe a 2 braccia	

:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<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						

### 9.1.9 Verifiche fondazione

#### FLESSIONE ALLA SEZIONE A-A:

$$M_{sd} = 1.560 \text{ kNm}$$

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	250
ARMATURA	compressa	φ26/10
	tesa	φ26/10
SOLLECITAZIONI	Msd =	1.560 kNm
INDICI DI RESISTENZA	Mrd =	5.250 kNm
	IR =	3,36

#### TAGLIO ALLA SEZIONE A-A:

$$V_{sd} = 1.155 \text{ kN}$$

RISULTATI VERIFICA A TAGLIO	
<b>Verifica senza armatura trasversale</b>	
Taglio res. ultimo (VRd):	623.807
Indice di resistenza:	1.85
<b>Verifica delle bielle compresse</b>	
Taglio resistente ultimo (VRcd):	7778.137
ctg(Theta):	1.00
Indice di resistenza:	0.15
<b>Verifica con armatura trasversale</b>	
Taglio attribuito all'armatura (VRsd):	1155.000
Armatura trasversale per unita' di lunghezza (Asw, cm <sup>2</sup> /m):	13.39
Staffe a 4 braccia :	ø20/80 cm

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

### FLESSIONE ALLA SEZIONE B-B:

$$M_{sd} = 4.686 \text{ kNm}$$

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	250
ARMATURA	compressa	φ26/10
	tesa	φ26/10
SOLLECITAZIONI	Msd =	4.686 kNm
INDICI DI RESISTENZA	Mrd =	5.250 kNm
	IR =	1,12

### TAGLIO ALLA SEZIONE B-B:

$$V_{sd} = 1.029 \text{ kN}$$

RISULTATI VERIFICA A TAGLIO	
<b>Verifica senza armatura trasversale</b>	
Taglio res. ultimo (VRd):	623.807
Indice di resistenza:	1.65
<b>Verifica delle bielle compresse</b>	
Taglio resistente ultimo (VRcd):	7778.137
ctg(Theta):	1.00
Indice di resistenza:	0.13
<b>Verifica con armatura trasversale</b>	
Taglio attribuito all'armatura (VRsd):	1029.000
Armatura trasversale per unita' di lunghezza (Asw, cm <sup>2</sup> /m):	11.93
Staffe a 4 braccia	
:	ø20/80 cm

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 9.1.10 VERIFICA DEI MURI ANDATORI PREFABBRICATI

Per il sostegno del rilevato stradale nel primo tratto della Rampa 5 oltre i muri laterali delle spalle si utilizzano dei muri prefabbricati in c.a. su fondazioni dirette per uno sviluppo lineare totale di 37,50 m, caratterizzati da un'altezza netta dell'elevazione variabile da 6.20m a 8,08 m. Si riporta di seguito la verifica dei muri in questione.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: left;">F0</td> <td style="text-align: left;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

La presente relazione illustra gli schemi statici e i dimensionamenti adottati per i pannelli prefabbricati.

### CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

#### CALCESTRUZZO

##### CALCESTRUZZO PREFABBRICATO PER PANNELLI – C35/45

resistenza caratteristica cilindrica	fck = 350	kg/cm <sup>2</sup>
resistenza caratteristica cubica	fck(c) = 450	kg/cm <sup>2</sup>
valore medio resistenza caratteristica cilindrica	fcm = 430	kg/cm <sup>2</sup>
valore medio resistenza a trazione assiale	fctm = 32.1	kg/cm <sup>2</sup>
modulo di elasticità secante	Ecm = 340771	kg/cm <sup>2</sup>

##### CALCESTRUZZO IN OPERA PER SUOLA DI STABILIZZAZIONE – C20/25

resistenza caratteristica cilindrica	fck = 200	kg/cm <sup>2</sup>
resistenza caratteristica cubica	fck(c) = 250	kg/cm <sup>2</sup>
valore medio resistenza caratteristica cilindrica	fcm = 280	kg/cm <sup>2</sup>
valore medio resistenza a trazione assiale	fctm = 22.1	kg/cm <sup>2</sup>
modulo di elasticità secante	Ecm = 299620	kg/cm <sup>2</sup>

##### CALCESTRUZZO IN OPERA PER PIANO D'APPOGGIO – C16/20

resistenza caratteristica cilindrica	fck = 160	kg/cm <sup>2</sup>
resistenza caratteristica cubica	fck(c) = 200	kg/cm <sup>2</sup>
valore medio resistenza caratteristica cilindrica	fcm = 240	kg/cm <sup>2</sup>
valore medio resistenza a trazione assiale	fctm = 19,05	kg/cm <sup>2</sup>
modulo di elasticità secante	Ecm = 286079	kg/cm <sup>2</sup>

#### ACCIAIO B450C

Tensione caratteristica di snervamento	fyk = 4500	kg/cm <sup>2</sup>
Tensione caratteristica di rottura	ftk = 5400	kg/cm <sup>2</sup>

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### **PARAMETRI GEOTECNICI**

#### **TERRENO DI RIEMPIMENTO**

$\Phi = 35^\circ$	angolo di attrito interno
$\gamma = 1800 \text{ daN/mc}$	peso specifico del terreno
$c' = 0 \text{ daN/cm}^2$	coesione

#### **3.2 TERRENO DI FONDAZIONE**

$\Phi = 38^\circ$	angolo di attrito interno
$\gamma = 1800 \text{ daN/mc}$	peso specifico del terreno
$c' = 0 \text{ daN/cm}^2$	coesione

Al falda si assume a profondità non significative per le verifiche dei muri.

### **CARATTERIZZAZIONE DELLA STRUTTURA**

Secondo quanto prescritto dal D.M. 14/01/2008, ai fini delle verifiche di sicurezza di una struttura devono essere definiti i seguenti parametri:

- VITA NOMINALE : vista l'importanza strategica dell'opera si considera  $V_N \geq 100$  anni;
- CLASSE D'USO : IV
- PERIODO DI RIFERIMENTO (per l'azione sismica) : 200 anni.

### **CLASSIFICAZIONE DELLE AZIONI**

#### **AZIONI PERMANENTI (G)**

- Pesì Propri : prefabbricato, fondazione e terreno sulla fondazione;
- Spinte del terreno : l'interazione terreno-struttura è tale da consentire che si sviluppi un regime di spinta attiva.

#### **AZIONI VARIABILI (Q)**

- Sovraccarico accidentale dovuto alla presenza di veicoli di  $2000 \text{ daN/m}^2$  (Q1).

#### **AZIONI SISMICHE (E)**

Parametri sismici adottati :

- TEMPO DI RITORNO :	1898 anni
- CATEGORIA SOTTOSUOLO :	B
- CATEGORIA TOPOGRAFICA :	T1
- FATTORE DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA :	1
- FATTORE DI AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA :	1.2
- ACC. ORIZZ. MASSIMA SU SITO RIGIDO:	0.4373

### **COMBINAZIONI DELLE AZIONI**

Con riferimento al D.M. 14/01/2008 – par. 2.5.3 e tabella 2.5.I, si riportano i coefficienti di combinazione adottati:

COMBINAZIONI SLU

COMBINAZIONE	PERMANENTI		ACCIDENTALI		VENTO		SISMA		URTO	
	$\gamma$	$\psi$	$\gamma$	$\psi$	$\gamma$	$\psi$	$\gamma$	$\psi$	$\gamma$	$\psi$
Comb A1+M1	1.3	1.0	1.5	1.0	1.5	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0
Comb A1+M1	1.3	1.0	1.5	0.7	1.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Comb A2+M2	1.0	1.0	1.5	1.0	1.5	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0
Comb A2+M2	1.0	1.0	1.5	0.7	1.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Comb EQ	1.1	1.0	1.5	1.0	1.5	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0
Comb EQ	1.1	1.0	1.5	0.7	1.5	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Sisma (ag/g=0.05)	1.0	1.0	1.0	0.3	1.0	0.3	1.0	0.0	0.0	0.0
URTO	1.0	1.0	1.0	0.3	1.0	0.3	0.0	0.0	1.0	0.0

COMBINAZIONI SLE

COMBINAZIONE	PERMANENTI		ACCIDENTALI		VENTO		SISMA		URTO	
	$\gamma$	$\psi$	$\gamma$	$\psi$	$\gamma$	$\psi$	$\gamma$	$\psi$	$\gamma$	$\psi$
RARA	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0
FREQUENTE	1.0	1.0	1.0	0.5	1.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
Q. PERMANENTE	1.0	1.0	1.0	0.3	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DEL MURO

MURO DI ALTEZZA FINO A 10.10 m

L'analisi viene condotta prendendo come riferimento un elemento modulare prefabbricato di larghezza 2.50 m, considerando il contributo delle due nervature di irrigidimento a tergo del paramento verticale. Le nervature di irrigidimento di spessore 15/18 cm presentano un primo tratto a sezione costante di altezza  $h=30$  cm ed un secondo ad altezza variabile secondo un'inclinazione del 20% sulla verticale. Il paramento può essere verticale o inclinato fino ad un massimo del 10%, anche se a favore di sicurezza nel dimensionamento si considera sempre verticale. Le due nervature sono collegate fra loro da una soletta di spessore costante  $s=10$  cm.

I bordi presentano un giunto "a sella" maschio-femmina in modo da trattenere i materiali e da permettere il montaggio degli elementi anche seguendo una curva, sia concava che convessa.

Alla base del muro le nervature presentano ciascuna un'apertura trasversale per il passaggio delle armature della trave di collegamento che si realizza fra i pannelli; l'altezza dell'apertura viene determinata in base all'altezza della suola di stabilizzazione, assicurando un adeguato ricoprimento dell'armatura superiore della trave.

I muri in oggetto sono tipo "T" dove il tipo di fondazione è sia a monte che a valle.

VERIFICHE DI STABILITA' E VERIFICHE STRUTTURALI -SLU

Secondo quanto riportato dal D.M. 14/01/2008 :

**RELAZIONE DI CALCOLO**

*Codice documento*  
SS0726\_F0.doc

*Rev*  
F0

*Data*  
20/06/2011

$$E_d \leq R_d \quad (6.2.1)$$

dove  $E_d$  è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto dell'azione

$$E_d = E \left[ \gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right] \quad (6.2.2a)$$

ovvero

$$E_d = \gamma_E \cdot E \left[ F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right] \quad (6.2.2b)$$

con  $\gamma_E = \gamma_F$ , e dove  $R_d$  è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left[ \gamma_s F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; a_d \right] \quad (6.2.3)$$

Per i muri di sostegno o per altre strutture miste ad essi assimilabili devono essere effettuate le verifiche con riferimento almeno ai seguenti stati limite:

- *SLU di tipo geotecnico (GEO) e di equilibrio di corpo rigido (EQU)*
  - stabilità globale del complesso opera di sostegno-terreno;
  - scorrimento sul piano di posa;
  - collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno;
  - ribaltamento;
- *SLU di tipo strutturale (STR)*
  - raggiungimento della resistenza negli elementi strutturali,

accertando che la condizione (6.2.1) sia soddisfatta per ogni stato limite considerato.

Le verifiche sono condotte secondo l'approccio 1:

- Combinazione 1 : (A1+M1+R1)
- Combinazione 2 : (A2+M2+R2).

Per la sola verifica a ribaltamento si considera la sola combinazione (EQ+M2+R2).

**VERIFICA A CAPACITÀ PORTANTE**

La valutazione della capacità portante delle fondazioni superficiali viene condotta in accordo all'equazione:

$$q_{lim} = 0.5 \gamma_c B^i N_\gamma s_\gamma i_\gamma b_\gamma g_\gamma + c^i N_c s_c d_c i_c b_c g_c + q N_q s_q d_q i_q b_q g_q$$

Le espressioni che forniscono i valori dei fattori di capacità portante (N) e dei fattori correttivi (s, i, b, g) sono riportate nella tabella seguente:

Fattori di capacità portante	$N_c$ $N_\gamma$ $N_q$	$(N_q - 1) \cot \phi$ $1.5 * (N_q - 1) \tan \phi$ $e^{i \tan \phi} \tan^2(45 + \phi/2)$	Hansen Hansen Hansen
Fattori correttivi	forma $s_c$ $s_\gamma$	1 per fondazioni nastriformi 1 per fondazioni nastriformi	Hansen Hansen

	l per fondazioni nastriformi	Hansen
$s_n$		
approfondimento		
$d_c$	$1+0,4k$	Hansen e Vesic
$d_i$	$1$	Hansen e Vesic
$d_n$	$1+2\tan\phi(1-\sin\phi)k$	Hansen e Vesic
Inclinazione carico		
$i_c$	$i_q - (1-i_q)/(Nq-1)$	Hansen e Vesic
$i_n$	$(1-(0,7*H)/(N+B*c*\cot\phi))^5$	Hansen
$i_s$	$(1-(0,5*H)/(N+B*c*\cot\phi))^5$	Hansen
Inclinazione fondazione*		
$b_c$	$1-\eta/147^\circ$	Hansen
$b_i$	$\exp(-2,7*\eta\tan\phi)$	Hansen
$b_n$	$\exp(-2*\eta\tan\phi)$	Hansen
Inclinazione piano campagna**		
$e_c$	$eg - [(1-eg)/(Nc*\tan\phi)]$	Hansen
$e_n$	$(1-\tan\beta)^2$	Hansen
$e_s$	$e_i$	Hansen

\* $\eta$  = inclinazione base fondazione

\*\* $\beta$  = inclinazione pendio (dipende dall'angolo d'inclinazione del rilevato e dall'altezza del rilevato)

**Tabella 1 – Coefficienti per il calcolo della capacità portante in condizioni drenate**

Le formule utilizzate si riferiscono alla fondazione efficace equivalente ovvero quella fondazione rispetto alla quale il carico verticale N risulta centrato; la fondazione equivalente è caratterizzata dalle dimensioni B' e L' valutate sulla base dei criteri proposti da Meyerhof.

Il coefficiente di sicurezza a capacità portante è dato da:

$$F_s = \frac{q_{lim-q}}{q_{amm} - q}$$

dove:

$q_{lim}$  = capacità portante limite del terreno

$q$  = pressione verticale efficace agente alla quota di imposta della fondazione

$q_{amm}$  = pressione verticale uniforme sulla fondazione di area ridotta (N/Br)

$F_s$  = coefficiente di sicurezza (R1,R2,R3<4p)

### COEFFICIENTI SULLE AZIONI $\gamma F$

**Tabella 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.**

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale $\gamma_r$ (o $\gamma_s$ )	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	$\gamma_G$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali (1)	Favorevole	$\gamma_G$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	$\gamma_Q$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### COEFFICIENTI SUI MATERIALI $\gamma_M$

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

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_d$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coazione efficace	$c'_d$	$\gamma_c$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$s_u$	$\gamma_{su}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_s$	1,0	1,0

### COEFFICIENTI SULLE RESISTENZE $\gamma_R$

Tabella 6.5.1 - Coefficienti parziali  $\gamma_R$  per le verifiche agli stati limite ultimi STR e GEO di muri di sostegno.

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante della fondazione	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,4$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$
Resistenza del terreno a valle	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,4$

### VERIFICHE S.L.E.

Due sono le verifiche condotte:

1. Verifiche a fessurazione;
2. Verifiche delle tensioni di esercizio

#### VERIFICA A FESSURAZIONE

Secondo le prescrizioni riportate nella norma UNI EN 206-1 il muro Paver può essere soggetto alle condizioni ambientali corrispondenti alle seguenti classi di esposizione : XD1 e XC3 (per le classi XF e XA è necessario fare riferimento ai parametri qualitativi del calcestruzzo).

Per la definizione del limite di apertura delle fessure si assumono i seguenti parametri:

- Condizioni ambientali aggressive
- Armadure poco sensibili

quindi

combinazione frequente :  $w_k = 1,7 \cdot w_m \leq w_2 = 0,3 \text{ mm}$

combinazione quasi permanente :  $w_k = 1,7 \cdot w_m \leq w_3 = 0,2 \text{ mm}$

#### VERIFICA DELLE TENSIONI DI ESERCIZIO

Secondo quanto riportato dal D.M. 14/01/2008 :

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

**4.1.2.2.5 Verifica delle tensioni di esercizio**

Valutate le azioni interne nelle varie parti della struttura, dovute alle combinazioni caratteristica e quasi permanente delle azioni, si calcolano le massime tensioni sia nel calcestruzzo sia nelle armature; si deve verificare che tali tensioni siano inferiori ai massimi valori consentiti di seguito riportati.

**4.1.2.2.5.1 Tensione massima di compressione del calcestruzzo nelle condizioni di esercizio**

La massima tensione di compressione del calcestruzzo  $\sigma_c$ , deve rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_c < 0,60 f_{ck} \text{ per combinazione caratteristica (rara)} \quad (4.1.40)$$

$$\sigma_c < 0,45 f_{ck} \text{ per combinazione quasi permanente.} \quad (4.1.41)$$

Nel caso di elementi piani (solette, pareti, ...) gettati in opera con calcestruzzi ordinari e con spessori di calcestruzzo minori di 50 mm i valori limite sopra scritti vanno ridotti del 20%.

**4.1.2.2.5.2 Tensione massima dell'acciaio in condizioni di esercizio**

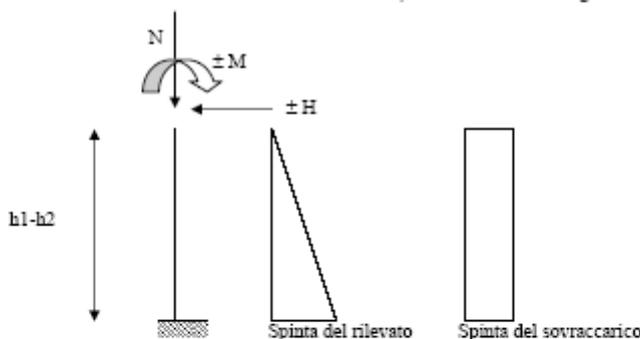
Per l'acciaio avente caratteristiche corrispondenti a quanto indicato al Cap. 11, la tensione massima,  $\sigma_s$ , per effetto delle azioni dovute alla combinazione caratteristica deve rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_s < 0,8 f_{yk} \quad (4.1.42)$$

**VERIFICHE PANNELLO PREFABBRICATO**

**VERIFICA A FLESSIONE NEL PIANO VERTICALE**

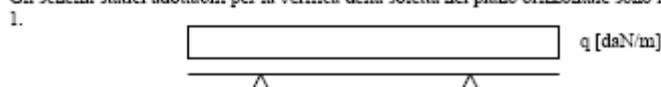
Si adotta lo schema statico di mensola incastrata nella fondazione, secondo lo schema seguente:



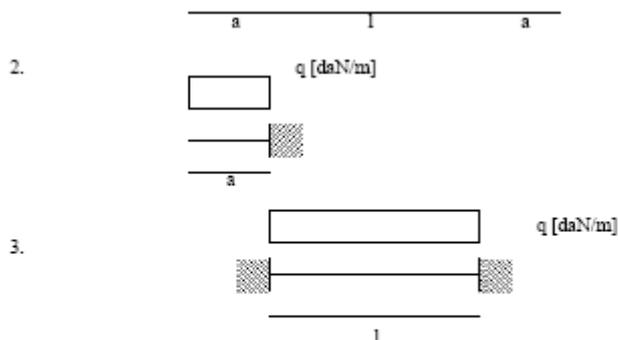
Viene condotta una verifica a presso flessione di un'equivalente sezione a T, con una sola nervatura data dalla somma delle due nervature, a partire dal bordo superiore del paramento prefabbricato, con passo di esplorazione "d"

**VERIFICA A FLESSIONE NEL PIANO ORIZZONTALE**

Gli schemi statici adottabili per la verifica della soletta nel piano orizzontale sono i seguenti :



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						



In quanto per le caratteristiche geometriche del pannello è sempre  $a > l/2$  lo schema di carico più gravoso si ha per la condizione 2, per cui nel calcolo si adotta lo schema di mensola incastrata nella nervatura. Viene valutato lo sforzo di flessione a cui sono sottoposti i due sbalzi laterali del pannello, alla sezione d'attacco con le nervature verticali.

#### VERIFICA A TAGLIO

Secondo quanto riportato dal D.M. 14/01/2008 :

##### *4.1.2.1.3.2 Elementi con armature trasversali resistenti al taglio*

La resistenza a taglio  $V_{Rd}$  di elementi strutturali dotati di specifica armatura a taglio deve essere valutata sulla base di una adeguata schematizzazione a traliccio. Gli elementi resistenti dell'ideale traliccio sono: le armature trasversali, le armature longitudinali, il corrente compresso di calcestruzzo e i puntoni d'anima inclinati. L'inclinazione  $\theta$  dei puntoni di calcestruzzo rispetto all'asse della trave deve rispettare i limiti seguenti:

$$1 \leq \text{ctg } \theta \leq 2,5 \quad (4.1.16)$$

La verifica di resistenza (SLU) si pone con

$$V_{Ed} \leq V_{Rd} \quad (4.1.17)$$

dove  $V_{Ed}$  è il valore di calcolo dello sforzo di taglio agente.

Con riferimento all'armatura trasversale, la resistenza di calcolo a "taglio trazione" si calcola con:

$$V_{Rd} = 0,9 \cdot d \cdot \frac{A_{sv}}{s} \cdot f_{yd} \cdot (\text{ctg } \alpha + \text{ctg } \theta) \cdot \sin \alpha \quad (4.1.18)$$

Con riferimento al calcestruzzo d'anima, la resistenza di calcolo a "taglio compressione" si calcola con

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$$V_{Rcd} = 0,9 \cdot d \cdot b_w \cdot \alpha_c \cdot f'_{cd} \cdot (\operatorname{ctg}\alpha + \operatorname{ctg}\theta) / (1 + \operatorname{ctg}^2\theta) \quad (4.1.19)$$

La resistenza al taglio della trave è la minore delle due sopra definite:

$$V_{Rd} = \min(V_{Rsd}, V_{Rcd}) \quad (4.1.20)$$

dove  $d$ ,  $b_w$  e  $\sigma_{cp}$  hanno il significato già visto in § 4.1.2.1.3.1. e inoltre si è posto:

$A_{sw}$	area dell'armatura trasversale;									
$s$	interasse tra due armature trasversali consecutive;									
$\alpha$	angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave;									
$f'_{cd}$	resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima ( $f'_{cd} = 0,5 \cdot f_{cd}$ );									
$\alpha_c$	coefficiente maggiorativo pari a	<table style="margin-left: 20px;"> <tr> <td>1</td> <td>per membrature non compresse</td> </tr> <tr> <td><math>1 + \sigma_{cp}/f_{cd}</math></td> <td>per <math>0 \leq \sigma_{cp} &lt; 0,25 f_{cd}</math></td> </tr> <tr> <td>1,25</td> <td>per <math>0,25 f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq 0,5 f_{cd}</math></td> </tr> <tr> <td><math>2,5(1 - \sigma_{cp}/f_{cd})</math></td> <td>per <math>0,5 f_{cd} &lt; \sigma_{cp} &lt; f_{cd}</math></td> </tr> </table>	1	per membrature non compresse	$1 + \sigma_{cp}/f_{cd}$	per $0 \leq \sigma_{cp} < 0,25 f_{cd}$	1,25	per $0,25 f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq 0,5 f_{cd}$	$2,5(1 - \sigma_{cp}/f_{cd})$	per $0,5 f_{cd} < \sigma_{cp} < f_{cd}$
1	per membrature non compresse									
$1 + \sigma_{cp}/f_{cd}$	per $0 \leq \sigma_{cp} < 0,25 f_{cd}$									
1,25	per $0,25 f_{cd} \leq \sigma_{cp} \leq 0,5 f_{cd}$									
$2,5(1 - \sigma_{cp}/f_{cd})$	per $0,5 f_{cd} < \sigma_{cp} < f_{cd}$									

### SOLETTA DI FONDAZIONE

#### VERIFICA A FLESSIONE

Si verifica la sezione resistente della soletta di fondazione, sollecitata a momento flettente per effetto del carico del terreno insistente su di essa, del sovraccarico e della reazione scambiata all'interfaccia con il terreno d'appoggio.

Si adotta lo schema statico di mensola incastrata nel cordolo armato passante nei fori delle nervature stesse.

**RELAZIONE TECNICA PER MURO DI SOSTEGNO PREFABBRICATO H = mt. 10,1**

**MURO TIPO T**

1) DATI DI PROGETTO:			
<b>1a) Dati geotecnici</b>			
-	angolo di attrito interno in gradi	gradi ( $\phi$ )	35
-	peso specifico	daN/mc ( $\gamma$ )	1800
-	angolo di attrito terra-muro valore prudenziale	gradi ( $\delta$ )	23
-	angolo di inclinazione piano di campagna	gradi ( $\epsilon$ )	0
-	coesione	daN/cm <sup>2</sup> ( $c$ )	0
<b>1b) Carichi agenti</b>			
-	sovraccarico variabile stradale/ferroviario	daN/mq (qa)	2000
-	sovraccarico permanente	daN/mq (qp)	0
-	Forza orizzontale in testa var. (positivo tende lato monte)	daN per pannello (Fv)	0
-	Forza orizzontale in testa ecc. (positivo tende lato monte)	daN per pannello (fe)	0
-	sovraccarico sulla fondazione a monte It	daN/mq (q1)	0
-	momento in testa var. (positivo tende lato monte)	daNm per pannello (momv)	0
-	momento in testa ecc. (positivo tende lato monte)	daNm per pannello (mome)	0
-	Forza verticale in testa (positivo di compressione)	daN per pannello (N)	0
-	braccio di N rispetto al paramento vert (+ verso nervature)	m braccio	0
<b>1b) Dati sismici</b>			
-	classe d'uso IV	SLV (Cu)	2
-	vita nominale	anni (Vn)	100
-	periodo di riferimento	anni (Vr)	200
-	tempo di ritorno	anni (Tr)	1888
-	accelerazione orizzontale massima su un sito rigido	[g] (ag(0))	0,4373
-	fattore di amplificazione spettrale	F0	2,62
-	periodo d'inizio	sec To*	0,33
-	categoria sottosuolo	B	
-	categoria topografica	T1	
-	fattore di amplificazione stratigrafica	Se	1,2
-	fattore di amplificazione topografica	St	1
<b>1d) Morfologia del muro</b>			
-	altezza del muro	mt (h1)	10,1
-	distanza tra il punto di ribaltamento e il baricentro G dell'elemento prefabbricato	mt (XG)	2,47
-	distanza tra il baricentro G del pannello e soletta	mt	0,47
-	peso elemento prefabbricato	daN ( P )	12925
-	angolo di inclinazione parete prefabbricato rispetto l'orizzontale in gradi	( $\beta$ )	90
-	larghezza elemento prefabbricato	m (b1)	2,50
-	dimensione appoggio muro	m (sopoggio)	2,02
-	altezza sezione in sommità (tratto a sez. costante)	m	0,30
-	pendenza nervatura	m (pendenza)	20%
-	larghezza nervatura	m (s)	0,36
-	spessore soletta	m (sol)	0,1
<b>1e) Morfologia della fondazione</b>			
-	spessore massimo soletta di fondazione	m (h2)	1,00
-	spessore minimo soletta di fondazione a monte	m (h3)	1,00
-	spessore minimo soletta di fondazione a valle	m (h4)	1,00
-	larghezza fondazione	m (l)	6,00
-	dimensione sbalzo anteriore	m (sbalzo)	2,00
-	larghezza suola fondazione a monte	m (l1)	3,90
-	larghezza suola fuori nervatura	m (l0)	2,18
-	larghezza sottofondazione	m (lf)	0,00
-	altezza sottofondazione	m (hf)	0,00
-	sbalzo a valle sottofondazione	m (slf)	0,00
<b>1f) Dati geotecnici terreno di fondazione</b>			
-	angolo di attrito interno in gradi	gradi ( $\phi$ )	35
-	peso specifico	daN/mc ( $\gamma$ )	1800
-	coesione	daN/cm <sup>2</sup> ( $c$ )	0
-	ricoprimento fondazione a valle	m (hr)	0,4

**RELAZIONE DI CALCOLO**

*Codice documento*  
SS0726\_F0.doc

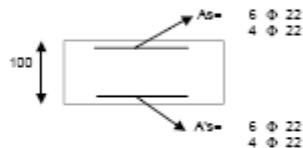
*Rev*  
F0

*Data*  
20/06/2011

**2) VERIFICHE DI STABILITA' LOCALE :**

2a)	<u>Verifica a trazione: combinazione dimensionante</u>	SISMICA	kt=	1,59
2b)	<u>Verifica a ribaltamento: combinazione dimensionante</u>	SISMICA	kr=	2,14
2c)	<u>Verifica a capacità portante: combinazione dimensionante</u>	SISMICAGEO	kp=	1,33
			$\sigma_{fmax}$ =	3,24 daN/cm <sup>2</sup>
			$\sigma_{fmin}$ =	0,30 daN/cm <sup>2</sup>

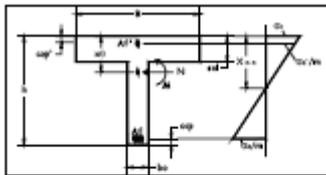
**3) VERIFICHE FONDAZIONE :**



3a)	<u>Verifica fondazione di monte - SLU (sez. d'incastro)</u> <u>Verifica fondazione di monte - SISMCO (sez. d'incastro)</u>	$M_u M_d$ =	1,59
		$M_u M_d$ =	2,59
3b)	<u>Verifica fondazione di valle - SLU (sez. d'incastro)</u> <u>Verifica fondazione di valle - SISMCO (sez. d'incastro)</u>	$M_u M_d$ =	1,57
		$M_u M_d$ =	1,16
3c)	<u>Verifica fondazione di monte - SLE_BASA (sez. d'incastro)</u>	$\sigma_c$ [daN/cm <sup>2</sup> ] =	8 <math>\langle \sigma_c \rangle_{lim} = 150</math>
		$\sigma_s$ [daN/cm <sup>2</sup> ] =	537 <math>\langle \sigma_s \rangle_{lim} = 3520</math>
	<u>Verifica fondazione di monte - SLE_FREQUENTE (sez. d'incastro)</u>	Mor [daNm] =	85569 >Me = 13223
	<u>Verifica fondazione di monte - SLE_QUASI PERMANENTE (sez. d'inc.)</u>	$\sigma_c$ [daN/cm <sup>2</sup> ] =	5 <math>\langle \sigma_c \rangle_{lim} = 112,5</math>
		Mor [daNm] =	85569 >Me = 11055

4) VERIFICHE PREFABBRICATO :

4a) Verifica prefabbricato



A1= 4 Ø 12  
A11= 4 Ø 12  
A2= 4 Ø 24 L2= 8,60 m  
A3= 4 Ø 24 L3= 5,70 m  
A4= 4 Ø 24 L4= 2,81 m  
A5= Ø Ø 0 L5= 0 m

SLU						Ks		STAFFE			
d	h	A <sub>s</sub>	A <sub>s</sub>	M <sub>u</sub>	N <sub>u</sub>	M <sub>u</sub>	M <sub>u</sub> /M <sub>yk</sub>	V <sub>ud</sub>	V <sub>ud</sub>	V <sub>ud</sub>	
cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	daNm	daN	daNm	>1,00	daN	daN	daN	
124	30	4,52	4,52	1714	1762	4639	2,71	1922	43031	3358	
1	331	66,2	18,10	4,52	17140	4700	41557	2,42	4700	106327	13561
2	620	124,1	36,19	4,52	84642	8812	161355	1,91	91573	204994	36755
3	910	182,0	54,29	4,52	234524	12924	360376	1,54	136094	304661	71072
4											

SISMICO						Ks		STAFFE			
d	h	A <sub>s</sub>	A <sub>s</sub>	M <sub>u</sub>	N <sub>u</sub>	M <sub>u</sub>	M <sub>u</sub> /M <sub>yk</sub>	V <sub>ud</sub>	V <sub>ud</sub>	V <sub>ud</sub>	
cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	daNm	daN	daNm	>1,00	daN	daN	daN	
124	30	4,52	4,52	2949	1762	4639	1,57	1922	43031	4824	
1	331	66,2	18,10	4,52	26947	4700	41557	1,54	4700	106327	18250
2	620	124,1	36,19	4,52	124154	8812	161355	1,30	91573	204994	48358
3	910	182,0	54,29	4,52	330347	12924	360376	1,09	136094	304661	91662
4											

SLE						Ks		FREQUENTE				RARA	
d	h	A <sub>s</sub>	A <sub>s</sub>	M <sub>or</sub>	mm	M <sub>e</sub>	mm	wk	wk	σ <sub>s</sub>	σ <sub>s</sub>		
cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	daNm	mm	daNm	mm	mm	mm	daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>		
124	30	4,52	4,52	2437	-	753	-	MCR/Me	11	873			
1	331	66,2	18,10	4,52	16145	-	9169	-	MCR/Me	17	1105		
2	620	124,1	36,19	4,52	57609	-	50989	-	MCR/Me	27	1421		
3	910	182,0	54,29	4,52	121549	104	150031	0,00045	0,08	40	1797		
4													

QUASI PERMANENTE			
M <sub>e</sub>	mm-cm	wk	σ <sub>s</sub>
daNm	mm	mm	daN/cm <sup>2</sup>
581	-	MCR/Me	5
7540	-	MCR/Me	11
46670	-	MCR/Me	21
140740	0,00038	0,07	33

4b) Verifica soletta nel piano orizzontale SLU 20 Ø 6 M<sub>u</sub>M<sub>y</sub> = 2,02  
 Verifica soletta nel piano orizzontale SISMICO M<sub>u</sub>M<sub>y</sub> = 1,51

Verifica soletta nel piano orizzontale - SLE RARA σ<sub>s</sub> [daN/cm<sup>2</sup>] = 57 < σ<sub>s</sub> lim = 210  
σ<sub>s</sub> [daN/cm<sup>2</sup>] = 1401 < σ<sub>s</sub> lim = 3520

Verifica soletta nel piano orizzontale - SLE FREQUENTE M<sub>or</sub> [daNm] = 198 > M<sub>e</sub> = 197

Verifica soletta nel piano orizzontale - SLE QUASI PERMANENTE σ<sub>s</sub> [daN/cm<sup>2</sup>] = 53 < σ<sub>s</sub> lim = 157,5  
M<sub>or</sub> [daNm] = 198 > M<sub>e</sub> = 193

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

**RELAZIONE TECNICA PER MURO DI SOSTEGNO PREFABBRICATO H = mt. 6,6**

MURO TIPO		T	
<b>1) DATI DI PROGETTO :</b>			
<b>1a)</b>	<b><u>Dati geotecnici</u></b>		
-	angolo di attrito interno in gradi	gradi ( $\phi$ )	35
-	peso specifico	daN/mc ( $\gamma$ )	1800
-	angolo di attrito terra-muro valore prudenziale	gradi ( $\delta$ )	23
-	angolo di inclinazione piano di campagna	gradi ( $\epsilon$ )	0
-	coesione	daN/cm <sup>2</sup> ( $c$ )	0
<b>1b)</b>	<b><u>Carichi agenti</u></b>		
-	sovraccarico variabile stradale/ferroviario	daN/mq (qa)	2000
-	sovraccarico permanente	daN/mq (qp)	0
-	Forza orizzontale in testa var. (positivo tende lato monte )	daN per pannello (fv)	0
-	Forza orizzontale in testa ecc. (positivo tende lato monte )	daN per pannello (fe)	0
-	sovraccarico sulla fondazione a monte H1	daN/mq (q1)	0
-	momento in testa var. (positivo tende lato monte )	daNm per pannello (momv)	0
-	momento in testa ecc. (positivo tende lato monte )	daNm per pannello (mome)	0
-	Forza verticale in testa (positivo di compressione )	daN per pannello N	0
-	braccio di N rispetto al paramento vert ( + verso nervature )	m braccio	0
<b>1b)</b>	<b><u>Dati sismici</u></b>		
-	classe d'uso III	SLV (Cu)	1,5
-	vita nominale	anni (Vn)	100
-	periodo di riferimento	anni (Vr)	150
-	tempo di ritorno	anni (Tr)	1424
-	accelerazione orizzontale massima su un sito rigido	[g] (ag(g))	0,4373
-	fattore di amplificazione spettrale	F0	2,62
-	periodo d'inizio	sec Te*	0,33
-	categoria sottosuolo		B
-	categoria topografica		T1
-	fattore di amplificazione stratigrafica	Ss	1,2
-	fattore di amplificazione topografica	St	1
<b>1d)</b>	<b><u>Morfologia del muro</u></b>		
-	altezza del muro	mt (h1)	6,6
-	distanza tra il punto di ribaltamento e il baricentro G dell'elemento prefabbricato	mt (XG)	1,32
-	distanza tra il baricentro G del pannello e soletta	mt	0,22
-	peso elemento prefabbricato	daN ( P )	6550
-	angolo di inclinazione parete prefabbricato rispetto l'orizzontale in gradi	gradi ( $\beta$ )	90
-	larghezza elemento prefabbricato	m (b1)	2,50
-	dimensione appoggio muro	m (appoggio)	1,32
-	altezza sezione in sommità (tratto a sez. costante)	m	0,30
-	pendenza nervatura	m (pendenza)	20%
-	larghezza nervatura/e	m (s)	0,38
-	spessore soletta	m (sol)	0,1
<b>1e)</b>	<b><u>Morfologia della fondazione</u></b>		
-	spessore massimo soletta di fondazione	m (h2)	0,60
-	spessore minimo soletta di fondazione a monte	m (h3)	0,60
-	spessore minimo soletta di fondazione a valle	m (h4)	0,60
-	larghezza fondazione	m (l)	4,00
-	dimensione sbalzo anteriore	m (sbalzo)	1,10
-	larghezza suola fondazione a monte	m (l1)	2,80
-	larghezza suola fuori nervatura	m (fo)	1,70
-	larghezza sottofondazione	m (lf)	0,00
-	altezza sottofondazione	m (hf)	0,00
-	sbalzo a valle sottofondazione	m (sbf)	0,00
<b>1f)</b>	<b><u>Dati geotecnici terreno di fondazione</u></b>		
-	angolo di attrito interno in gradi	gradi ( $\phi$ )	38
-	peso specifico	daN/mc ( $\gamma$ )	1800
-	coesione	daN/cm <sup>2</sup> ( $c$ )	0
-	ricoprimento fondazione a valle	m ( hr )	0,4

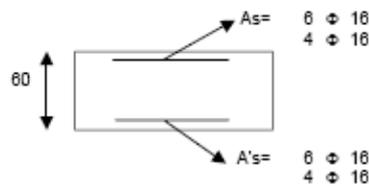
**RELAZIONE DI CALCOLO**

*Codice documento*  
SS0726\_F0.doc

*Rev*  
F0

*Data*  
20/06/2011

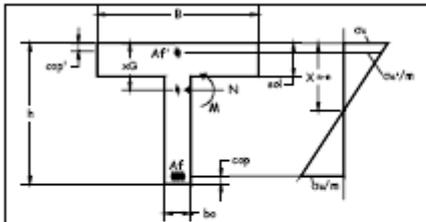
<b>2) VERIFICHE DI STABILITA' LOCALE :</b>			
2a)	<u>Verifica a traslazione: combinazione dimensionante</u>	A2+M2	kt= 1,57
2b)	<u>Verifica a ribaltamento: combinazione dimensionante</u>	SISMICA	kr= 2,12
2c)	<u>Verifica a capacità portante: combinazione dimensionante</u>	SISMICAGEO	kp= 1,39 σ <sub>tmax</sub> = 2,34 daN/cm <sup>2</sup> σ <sub>tmin</sub> = 0,15 daN/cm <sup>2</sup>
<b>3) VERIFICHE FONDAZIONE :</b>			



3a)	<u>Verifica fondazione di monte - SLU (sez. d'incastro)</u> <u>Verifica fondazione di monte - SISMICO (sez. d'incastro)</u>	$M_u/M_d = 1,12$ $M_u/M_d = 2,09$
3b)	<u>Verifica fondazione di valle - SLU (sez. d'incastro)</u> <u>Verifica fondazione di valle - SISMICO (sez. d'incastro)</u>	$M_u/M_d = 1,98$ $M_u/M_d = 1,59$
3c)	<u>Verifica fondazione di monte - SLE RARA (sez. d'incastro)</u> <u>Verifica fondazione di monte - SLE FREQUENTE (sez. d'incastro)</u> <u>Verifica fondazione di monte - SLE QUASI PERMANENTE (sez. d'inc.)</u>	$\sigma_c$ [daN/cm <sup>2</sup> ]= 11 < $\sigma_{c,lim}$ = 150 $\sigma_s$ [daN/cm <sup>2</sup> ]= 782 < $\sigma_{s,lim}$ = 3520 $M_{cr}$ [daNm]= 30167 > $M_e = 5506$ $\sigma_c$ [daN/cm <sup>2</sup> ]= 6 < $\sigma_{c,lim}$ = 112,5 $M_{cr}$ [daNm]= 30167 > $M_e = 4335$

4) VERIFICHE PREFABBRICATO :

4a) Verifica prefabbricato



Af=	4	∅	12		
Af1=	4	∅	12		
Af2=	4	∅	16	L2=	5,10 m
Af3=	4	∅	18	L3=	3,46 m
Af4=	4	∅	18	L4=	1,83 m
Af5=	0	∅	0	L5=	0 m

SLU								Ka		STAFFE		diam [mm]	passo [cm]
d	h	A <sub>s</sub>	A' <sub>s</sub>	M <sub>sd</sub>	N <sub>sd</sub>	M <sub>u</sub>	M <sub>u</sub> /M <sub>sd</sub>	V <sub>rsd</sub>	V <sub>rcd</sub>	V <sub>sd</sub>			
cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	daN m	daN	daNm	>1,00	daN	daN	daN			
136	30	4,52	4,52	2118	1488	4595	2,17	11072	44064	3778			
1	245	49,1	8,04	8304	2679	13634	1,64	19332	78936	8544			
2	409	81,8	18,22	29057	4465	52726	1,81	33485	133263	18801			
3	600	120,0	28,40	77540	6549	122689	1,58	49997	198977	34743			
4													

SISMICO								Ka		STAFFE		diam [mm]	passo [cm]
d	h	A <sub>s</sub>	A' <sub>s</sub>	M <sub>sd</sub>	N <sub>sd</sub>	M <sub>u</sub>	M <sub>u</sub> /M <sub>sd</sub>	V <sub>rsd</sub>	V <sub>rcd</sub>	V <sub>sd</sub>			
cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	daN m	daN	daNm	>1,00	daN	daN	daN			
136	30	4,52	4,52	2937	1488	4595	1,56	11072	44064	4552			
1	245	49,1	8,04	11260	2679	13634	1,21	19332	78936	10312			
2	409	81,8	18,22	38543	4465	52726	1,37	33485	133263	22490			
3	600	120,0	28,40	101143	6549	122689	1,21	49997	198977	42030			
4													

SLE						Ka		FREQUENTE		RARA	
d	h	A <sub>s</sub>	A' <sub>s</sub>	M <sub>cr</sub>	s <sub>rm</sub>	M <sub>e</sub>	s <sub>rm</sub>	wk<0,3	σ <sub>c</sub> <210	σ <sub>s</sub> <3520	
cm	cm	cm <sup>2</sup>	cm <sup>2</sup>	daN m	mm	daNm	mm	mm	daN/cm <sup>2</sup>	daN/cm <sup>2</sup>	
136	30	4,52	4,52	2453	-	948	-	M <sub>cr</sub> >M <sub>e</sub>	14	1146	
1	245	49,1	8,04	7110	-	4178	-	M <sub>cr</sub> >M <sub>e</sub>	18	1541	
2	409	81,8	18,22	22620	-	16214	-	M <sub>cr</sub> >M <sub>e</sub>	20	1490	
3	600	120,0	28,40	49183	-	46442	-	M <sub>cr</sub> >M <sub>e</sub>	27	1723	
4											

QUASI PERMANENTE			
M <sub>e</sub>	s <sub>rm</sub> -e <sub>cm</sub>	wk	σ <sub>c</sub> <15/5
daNm	mm	mm	daN/cm <sup>2</sup>
740	-	M <sub>cr</sub> >M <sub>e</sub>	7
3502	-	M <sub>cr</sub> >M <sub>e</sub>	11
14336	-	M <sub>cr</sub> >M <sub>e</sub>	14
42403	-	M <sub>cr</sub> >M <sub>e</sub>	20

4b) Verifica soletta nel piano orizzontale SLU  
Verifica soletta nel piano orizzontale SISMICO

10 ∅ 8 M<sub>u</sub>M<sub>d</sub> = 1,48  
M<sub>u</sub>M<sub>d</sub> = 1,22

Verifica soletta nel piano orizzontale - SLE RARA

σ<sub>c</sub>[daN/cm<sup>2</sup>]= 51 <σ<sub>c</sub>lim= 210  
σ<sub>s</sub>[daN/cm<sup>2</sup>]= 1887 <σ<sub>s</sub>lim= 3520

Verifica soletta nel piano orizzontale - SLE FREQUENTE

M<sub>cr</sub> [daNm]= 117 >M<sub>e</sub> = 88

Verifica soletta nel piano orizzontale - SLE QUASI PERMANENTE

σ<sub>c</sub>[daN/cm<sup>2</sup>]= 45 <σ<sub>c</sub>lim= 157,5  
M<sub>cr</sub>[daNm]= 117 >M<sub>e</sub> = 85

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 10 ANALISI DELLE FONDAZIONI

### 10.1 ANALISI DEL SISTEMA FONDAZIONALE DELLE SPALLE

#### 10.1.1 ANALISI DEI CARICHI

##### VERIFICHE DI STABILITA'

	<i>N</i> (kN)	<i>M<sub>rib</sub></i> (kNm)	<i>M<sub>stab</sub></i> (kNm)	$\eta$	<i>u</i> (m)	<i>e</i> (m)	SL
Combinazione 1	65.464	-80.600	453.784	5,63	5,70	0,50	SLU GEO
Combinazione 2	66.514	-88.379	457.301	5,17	5,55	0,65	
Combinazione 3	67.449	-88.379	460.433	5,21	5,52	0,68	
Combinazione 4	66.252	-89.080	456.422	5,12	5,54	0,66	
Combinazione 5	66.953	-89.080	458.771	5,15	5,52	0,68	
Combinazione 6	66.252	-85.358	460.144	5,39	5,66	0,54	
Combinazione 7	66.953	-85.358	462.493	5,42	5,63	0,57	
Combinazione 8	66.252	-86.435	456.422	5,28	5,58	0,62	
Combinazione 9	66.953	-86.435	458.771	5,31	5,56	0,64	
Combinazione 10	67.404	-118.115	455.519	3,86	5,01	1,19	
Combinazione 11	82.532	-93.211	561.098	6,02	5,67	0,53	SLU STR
Combinazione 12	83.764	-102.344	565.227	5,52	5,53	0,67	
Combinazione 13	84.862	-102.344	568.904	5,56	5,50	0,70	
Combinazione 14	83.456	-103.166	564.195	5,47	5,52	0,68	
Combinazione 15	84.279	-103.166	566.953	5,50	5,50	0,70	
Combinazione 16	83.456	-98.607	568.754	5,77	5,63	0,57	
Combinazione 17	84.279	-98.607	571.512	5,80	5,61	0,59	
Combinazione 18	83.456	-100.060	564.195	5,64	5,56	0,64	
Combinazione 19	84.279	-100.060	566.953	5,67	5,54	0,66	
Combinazione 20	84.805	-137.251	563.135	4,10	5,02	1,18	
Comb SLE 1	58.588	-62.248	393.184	6,32	5,65	0,55	SLE
Comb SLE 2	59.501	-69.013	396.242	5,74	5,50	0,70	
Comb SLE 3	60.314	-69.013	398.966	5,78	5,47	0,73	
Comb SLE 4	59.272	-69.622	395.478	5,68	5,50	0,70	
Comb SLE 5	59.882	-69.622	397.520	5,71	5,48	0,72	
Comb SLE 6	59.272	-66.245	398.855	6,02	5,61	0,59	
Comb SLE 7	59.882	-66.245	400.897	6,05	5,59	0,61	
Comb SLE 8	59.272	-67.322	395.478	5,87	5,54	0,66	
Comb SLE 9	59.882	-67.322	397.520	5,90	5,51	0,69	
Comb SLE 10	60.254	-94.871	394.693	4,16	4,98	1,22	
perm + sisma X + 0,30 sisma (Y+Z) schema 1	63.552	-229.270	396.127	1,73	2,63	3,57	SLV
perm + sisma X + 0,30 sisma (Y+Z) schema 2	63.878	-229.270	397.216	1,73	2,63	3,57	

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

**AZIONI GLOBALI NORME TECNICHE 2008**

	<i>N</i> (kN)	<i>M long</i> (kNm)	<i>M trasv</i> (kNm)	<i>T long</i> (kN)	<i>T trasv</i> (kN)	
Combinazione 1	65.464	32.693	1.956	18.665	85	SLU GEO
Combinazione 2	66.514	43.465	8.923	19.876	134	
Combinazione 3	67.449	46.130	10.026	19.876	134	
Combinazione 4	66.252	43.418	7.469	19.819	134	
Combinazione 5	66.953	45.416	8.296	19.819	134	
Combinazione 6	66.252	35.973	8.296	19.129	134	
Combinazione 7	66.953	37.972	8.296	19.129	134	
Combinazione 8	66.252	40.772	10.726	19.574	410	
Combinazione 9	66.953	42.771	11.553	19.574	410	
Combinazione 10	67.404	80.503	3.106	24.504	134	
Combinazione 11	82.532	43.809	2.256	21.557	98	SLU STR
Combinazione 12	83.764	56.454	10.413	22.978	155	
Combinazione 13	84.862	59.582	11.707	22.978	155	
Combinazione 14	83.456	56.398	8.705	22.910	155	
Combinazione 15	84.279	58.744	9.676	22.910	155	
Combinazione 16	83.456	47.280	9.676	22.066	155	
Combinazione 17	84.279	49.626	9.676	22.066	155	
Combinazione 18	83.456	53.293	12.529	22.623	479	
Combinazione 19	84.279	55.639	13.500	22.623	479	
Combinazione 20	84.805	99.908	3.584	23.593	155	
Comb SLE 1	58.588	32.309	1.504	14.381	65	SLE
Comb SLE 2	59.501	41.675	7.448	15.434	103	
Comb SLE 3	60.314	43.993	8.407	15.434	103	
Comb SLE 4	59.272	41.634	6.183	15.384	103	
Comb SLE 5	59.882	43.372	6.902	15.384	103	
Comb SLE 6	59.272	34.880	6.902	14.758	103	
Comb SLE 7	59.882	36.618	6.902	14.758	103	
Comb SLE 8	59.272	39.334	9.015	15.171	343	
Comb SLE 9	59.882	41.072	9.734	15.171	343	
Comb SLE 10	60.254	73.755	2.390	15.890	103	
perm + sisma X + 0,30 sisma (Y+Z) schema 1	63.552	170.970	44.132	35.112	7.477	SLV
perm + sisma X + 0,30 sisma (Y+Z) schema 2	63.878	171.434	44.037	35.112	7.477	

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 10.1.2 MODELLO DI CALCOLO

Per il calcolo della capacità portante delle fondazioni si utilizza il software di calcolo Aztec CARL 10.0 versione 10.05.b – carico limite e cedimenti.

### 10.1.2.1 DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO

Progetto: Ponte rampa 5 – spalla SpA

#### Normative di riferimento

- Legge nr. 1086 del 05/11/1971.

Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica.

- Legge nr. 64 del 02/02/1974.

Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.

- D.M. LL.PP. del 11/03/1988.

Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

- D.M. LL.PP. del 14/02/1992.

Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.

- D.M. 9 Gennaio 1996

Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche

- D.M. 16 Gennaio 1996

Norme Tecniche relative ai 'Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi'

- D.M. 16 Gennaio 1996

Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche

- Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>	<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996

- Norme Tecniche per le Costruzioni 2008 (D.M. 14 Gennaio 2008)

- Circolare 617 del 02/02/2009

Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

### Verifica al carico limite

Il rapporto fra il carico limite in fondazione e la componente normale della risultante dei carichi trasmessi sul terreno di fondazione deve essere superiore a  $\eta_q$ . Cioè, detto  $Q_u$ , il carico limite ed  $R$  la risultante verticale dei carichi in fondazione, deve essere:

$$Q_u / R \geq \eta_q$$

Le espressioni di Brinch-Hansen per il calcolo della capacità portante si differenziano a secondo se siamo in presenza di un terreno puramente coesivo ( $\phi=0$ ) o meno e si esprimono nel modo seguente:

Caso generale

$$q_u = cN_c s_c d_c i_c g_c b_c + qN_q s_q d_q i_q g_q b_q + 0.5B\gamma N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma$$

Caso di terreno puramente coesivo  $\phi=0$

$$q_u = c_u N_c s_c d_c i_c b_c g_c + q$$

in cui  $d_c, d_q, d_\gamma$ , sono i fattori di profondità;  $s_c, s_q, s_\gamma$ , sono i fattori di forma;  $i_c, i_q, i_\gamma$ , sono i fattori di inclinazione del carico;  $b_c, b_q, b_\gamma$ , sono i fattori di inclinazione del piano di posa;  $g_c, g_q, g_\gamma$ , sono i fattori che tengono conto del fatto che la fondazione poggia su un terreno in pendenza.

I fattori  $N_c, N_q, N_\gamma$  sono espressi come:

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} K_p$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi$$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

$$N_y = 2.0(N_q - 1) \operatorname{tg} \phi$$

Vediamo ora come si esprimono i vari fattori che compaiono nella espressione del carico ultimo.

Fattori di forma

per  $\phi=0$        $s_c = 1 + 0.2 \frac{B}{L}$

per  $\phi>0$        $s_c = 1 + 0.2 \frac{B (1+\operatorname{sen} \phi)}{L (1+\operatorname{sen} \phi)}$

$$s_q = 1 + 0.1 \frac{B (1+\operatorname{sen} \phi)}{L (1+\operatorname{sen} \phi)}$$

$$s_\gamma = 1 + 0.1 \frac{B (1+\operatorname{sen} \phi)}{L (1+\operatorname{sen} \phi)}$$

Fattori di profondità

Si definisce il parametro  $k$  come

$$k = \frac{D}{B} \quad \text{se} \quad \frac{D}{B} \leq 1$$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

$$k = \arctg \frac{D}{B} \quad \text{se} \quad \frac{D}{B} > 1$$

vari coefficienti si esprimono come

per  $\phi=0$        $d_c = 1 + 0.4k$

per  $\phi>0$        $d_c = d_q - \frac{1 - d_q}{N_c \operatorname{tg} \phi}$

$$d_q = 1 + 2 \operatorname{tg} \phi (1 - \sin \phi)^2 k$$

$$\gamma = 1$$

#### Fattori di inclinazione del carico

Indichiamo con  $V$  e  $H$  le componenti del carico rispettivamente perpendicolare e parallela alla base e con  $A_f$  l'area efficace della fondazione ottenuta come  $A_f = B'L'$  ( $B'$  e  $L'$  sono legate alle dimensioni effettive della fondazione  $B$ ,  $L$  e all'eccentricità del carico  $e_B$ ,  $e_L$  dalle relazioni  $B' = B - 2e_B$      $L' = L - 2e_L$ ) e con  $\eta$  l'angolo di inclinazione della fondazione espresso in gradi ( $\eta=0$  per fondazione orizzontale).

I fattori di inclinazione del carico si esprimono come:

per  $\phi = 0$        $i_c = 1 - \frac{m H}{A_f c_a N_c}$

per  $\phi > 0$        $i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

$$i_q = \left(1 - \frac{H}{V + A_f c_a \operatorname{ctg} \phi}\right)^m$$

per  $\eta = 0$

$$i_y = \left(1 - \frac{H}{V + A_f c_a \operatorname{ctg} \phi}\right)^{m+1}$$

dove

$$m = \frac{2 + B / L}{1 + B / L}$$

Fattori di inclinazione del piano di posa della fondazione

per  $\phi=0$

$$b_c = 1 - \frac{2 \eta}{\pi + 2}$$

per  $\phi>0$

$$b_c = b_q - \frac{1 - b_q}{N_c \operatorname{tg} \phi}$$

$$b_q = (1 - \eta \operatorname{tg} \phi)^2$$

$$b_y = b_q$$

Fattori di inclinazione del terreno

Indicando con  $\beta$  la pendenza del pendio i fattori  $g$  si ottengono dalle espressioni seguenti:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

$$\text{per } \phi=0 \quad g_c = \frac{1 - 2\beta}{\pi + 2}$$

$$\text{per } \phi>0 \quad g_c = g_q - \frac{1 - g_q}{N_c \operatorname{tg} \phi}$$

$$g_q = g_\gamma = (1 - \operatorname{tg} \beta)^2$$

poter applicare la formula di Brinch-Hansen devono risultare verificate le seguenti condizioni:

$$H < V \operatorname{tg} \delta + A_f c_a$$

$$\beta \leq \phi$$

$$i_q, i_\gamma > 0$$

$$\beta + \eta \leq 90^\circ$$

### **Verifica della portanza per carichi orizzontali (scorrimento)**

Per la verifica a scorrimento lungo il piano di fondazione deve risultare che la somma di tutte le forze parallele al piano di posa che tendono a fare scorrere la fondazione deve essere minore di tutte le forze, parallele al piano di scorrimento, che si oppongono allo scivolamento, secondo un certo coefficiente di sicurezza. La verifica a scorrimento risulta soddisfatta se il rapporto fra la risultante delle forze resistenti allo scivolamento  $F_r$  e la risultante delle forze che tendono a fare scorrere la fondazione  $F_s$  risulta maggiore di un determinato coefficiente di sicurezza  $\eta_s$ . Eseguendo il calcolo mediante gli Eurocodici si può impostare  $\eta_s \geq 1.0$

$$\frac{F_r}{F_s} \geq \eta_s$$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Le forze che intervengono nella  $F_s$  sono: la componente della spinta parallela al piano di fondazione e la componente delle forze d'inerzia parallela al piano di fondazione.

La forza resistente è data dalla resistenza d'attrito e dalla resistenza per adesione lungo la base della fondazione. Detta  $N$  la componente normale al piano di fondazione del carico totale gravante in fondazione e indicando con  $\delta_f$  l'angolo d'attrito terreno-fondazione, con  $c_a$  l'adesione terreno-fondazione e con  $B_r$  la larghezza della fondazione reagente, la forza resistente può esprimersi come

$$F_r = N \operatorname{tg} \delta_f + c_a B_r$$

La Normativa consente di computare, nelle forze resistenti, una aliquota dell'eventuale spinta dovuta al terreno posto a valle della fondazione. In tal caso, però, il coefficiente di sicurezza deve essere aumentato opportunamente. L'aliquota di spinta passiva che si può considerare ai fini della verifica a scorrimento non può comunque superare il 30 per cento.

Per quanto riguarda l'angolo d'attrito terra-fondazione,  $\delta_f$ , diversi autori suggeriscono di assumere un valore di  $\delta_f$  pari all'angolo d'attrito del terreno di fondazione.

## Cedimenti della fondazione

### Metodo Elastico

Il metodo dell'elasticità per il calcolo dei cedimenti, così come implementato, fornisce due valori:

- uno per deformazione laterale impedita ( $w_{imp}$ )
- uno in condizioni di deformazione laterale libera ( $w_{lib}$ )

L'espressione di  $w_{imp}$  è la seguente:

$$\Delta H = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta \sigma_i (1 - \nu - 2 \nu^2)}{E_i (1 - \nu)} \Delta z_i$$

dove

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$\Delta\sigma$  è la tensione indotta nel terreno, alla profondità  $z$ , dalla pressione di contatto della fondazione;  
**E** è il modulo elastico relativo allo strato **i-esimo**;  
 $\Delta z$  rappresenta lo spessore dello strato **i-esimo** in cui è stato suddiviso lo strato compressibile e per il quale si conosce il modulo elastico;  
 $\nu$  è il coefficiente di **Poisson**.  
L'espressione di  $w_{lib}$  è la seguente:

$$\Delta H = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta\sigma_i}{E_i} \Delta z_i$$

dove i termini sono stati già descritti sopra.  
Lo spessore dello strato compressibile considerato nell'analisi dei cedimenti è stato determinato in funzione della percentuale della tensione di contatto. I valori del cedimento ottenuti dalle due relazioni rappresentano un valore minimo  $w_{imp}$  e un valore massimo  $w_{lib}$  del cedimento in condizioni elastiche della fondazione analizzata.

### Calcolo delle tensioni indotte

#### Metodo di Boussinesq

Il metodo di Boussinesq considera il terreno come un mezzo omogeneo elastico ed isotropo. Dato un carico concentrato  $Q$ , applicato in superficie, la relazione di Boussinesq fornisce la seguente espressione della tensione verticale indotta in un punto  $P(x,y,z)$  posto alla profondità  $z$ :

$$q_v = \frac{3Qz^3}{2\pi R^5}$$

dove:  $R = (x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}$ ;

Per ottenere la pressione indotta da un carico distribuito occorre integrare tale espressione su tutta l'area di carico, considerando il carico  $Q$  come un carico infinitesimo agente su una areola  $dA$ .

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

L'integrazione analitica di questa espressione si presenta estremamente complessa specialmente nel caso di carichi distribuiti in modo non uniforme. Pertanto si ricorre a metodi di soluzione numerica. Dato il carico agente sulla fondazione, si calcola il diagramma delle pressioni indotto sul piano di posa della fondazione. Si divide l'area di carico in un elevato numero di areole rettangolari a ciascuna delle quali compete un carico  $dQ$ : la tensione indotta in un punto  $P(x,y,z)$ , posto alla profondità  $z$ , si otterrà sommando i contributi di tutte le areole di carico calcolati come nella formula di Boussinesq.

## Geometria della fondazione

### *Simbologia adottata*

*Descrizione* Destrizione della fondazione

*Forma* Forma della fondazione (N=Nastriforme, R=Rettangolare, C=Circolare)

*X* Ascissa del baricentro della fondazione espressa in [m]

*Y* Ordinata del baricentro della fondazione espressa in [m]

*B* Base/Diametro della fondazione espressa in [m]

*L* Lunghezza della fondazione espressa in [m]

*D* Profondità del piano di posa in [m]

*$\alpha$*  Inclinazione del piano di posa espressa in [°]

*$\omega$*  Inclinazione del piano campagna espressa in [°]

<b>Descrizione</b>	<b>Forma</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>B</b>	<b>L</b>	<b>D</b>	<b><math>\alpha</math></b>	<b><math>\omega</math></b>
Fondazione	(R)	6,17	10,68	12,35	21,35	3,00	0,00	0,00

## Descrizione terreni e falda

### Caratteristiche fisico-meccaniche

#### *Simbologia adottata*

*Descrizione* Descrizione terreno

*$\gamma$*  Peso di volume del terreno espresso in [daN/mc]

*$\gamma_{sat}$*  Peso di volume saturo del terreno espresso in [daN/mc]

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$\phi$  Angolo di attrito interno del terreno espresso in gradi

$\delta$  Angolo di attrito palo-terreno espresso in gradi

$c$  Coesione del terreno espressa in [daN/cm<sup>2</sup>]

$ca$  Adesione del terreno espressa in [daN/cm<sup>2</sup>]

Descrizione	$\gamma$	$\gamma_{sat}$	$\phi$	$\delta$	$c$	$ca$
Depositi fluviali	2000,0	2350,0	38,00	38,00	0,000	0,000
Ghiaie di messina	1900,0	2300,0	38,00	38,00	0,000	0,000

### Caratteristiche di deformabilità

*Simbologia adottata*

*Descr* Descrizione terreno

$E$  Modulo di Young espresso in [daN/cm<sup>2</sup>]

Descr	$E$
Depositi fluviali	250,00
Ghiaie di messina	400,00

### Descrizione stratigrafia

*Simbologia adottata*

$n^\circ$  Identificativo strato

Z1 Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°1 espressa in [m]

Z2 Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°2 espressa in [m]

Z3 Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°3 espressa in [m]

*Terreno* Terreno dello strato

Punto di sondaggio n° 1: X = -10,0 [m] Y = 3,0 [m]

Punto di sondaggio n° 2: X = 0,0 [m] Y = 0,0 [m]

Punto di sondaggio n° 3: X = 10,0 [m] Y = 3,0 [m]

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

<b>N</b>	<b>Z1</b>	<b>Z2</b>	<b>Z3</b>	<b>Terreno</b>
1	-3,0	-3,0	-3,0	Depositi fluviali
2	-30,0	-30,0	-30,0	Ghiaie di messina

### Normativa

N.T.C. 2008

### Calcolo secondo:           Approccio 1

#### *Simbologia adottata*

$\gamma_{Gsfav}$	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni permanenti
$\gamma_{Gfav}$	Coefficiente parziale favorevole sulle azioni permanenti
$\gamma_{Qsfav}$	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni variabili
$\gamma_{Qfav}$	Coefficiente parziale favorevole sulle azioni variabili
$\gamma_{tan\phi'}$	Coefficiente parziale di riduzione dell'angolo di attrito drenato
$\gamma_c$	Coefficiente parziale di riduzione della coesione drenata
$\gamma_{cu}$	Coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata
$\gamma_{qu}$	Coefficiente parziale di riduzione del carico ultimo
$\gamma_\gamma$	Coefficiente parziale di riduzione della resistenza a compressione uniassiale delle rocce

### Coefficienti parziali combinazioni statiche

#### Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

<i>Carichi</i>	<i>Effetto</i>		<i>A1</i>	<i>A2</i>
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{Gfav}$	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{Gsfav}$	1,30	1,00
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qfav}$	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Qsfav}$	1,50	1,30

#### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

<i>Parametri</i>	<i>M1</i>	<i>M2</i>
------------------	-----------	-----------

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{\tan\phi'}$	1,00	1,25
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata	$\gamma_{cu}$	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	$\gamma_{qu}$	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	$\gamma_{\gamma}$	1,00	1,00

### Coefficienti parziali combinazioni sismiche

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

<i>Carichi</i>	<i>Effetto</i>		<i>A1</i>	<i>A2</i>
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{Gfav}$	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{Gsfav}$	1,00	1,00
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qfav}$	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Qsfav}$	1,00	1,00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

<i>Parametri</i>		<i>M1</i>	<i>M2</i>
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{\tan\phi'}$	1,00	1,25
Coesione efficace	$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata	$\gamma_{cu}$	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	$\gamma_{qu}$	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	$\gamma_{\gamma}$	1,00	1,00

### Coefficienti parziali $\gamma_R$ per le verifiche geotecniche.

		<i>R1</i>	<i>R2</i>	<i>R3</i>
Capacità portante	$\gamma_r$	1,00	1,80	2,30
Scorrimento	$\gamma_r$	1,00	1,10	1,10
Coeff. di combinazione	$\Psi_0 = 0,70$	$\Psi_1 = 0,50$	$\Psi_2 = 0,20$	

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE DI CALCOLO</b>		<i>Codice documento</i> SS0726_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## Condizioni di carico

### *Simbologia e convenzioni di segno adottate*

Carichi verticali positivi verso il basso.

Carichi orizzontali positivi verso sinistra.

Momento positivo senso antiorario.

<i>Fondazione</i>	Nome identificativo della fondazione
<i>N</i>	Sforzo normale totale espressa in [daN]
<i>M<sub>x</sub></i>	Momento in direzione X espressa in [daNm]
<i>M<sub>y</sub></i>	Momento in direzione Y espresso in [daNm]
<i>e<sub>x</sub></i>	Eccentricità del carico lungo X espressa in [m]
<i>e<sub>y</sub></i>	Eccentricità del carico lungo Y espressa in [m]
<i>β</i>	Inclinazione del taglio nel piano espressa in [°]
<i>T</i>	Forza di taglio espressa in [daN]

Per le verifiche geotecniche specifiche si rimanda all'elaborato CG0700PRBDSSCC5VIR5000001B-01 "Relazione Geotecnica".