



PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA



PROGETTO DEFINITIVO

EUROLINK S.C.p.A.

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

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

<p><i>Unità Funzionale</i> COLLEGAMENTI LATO SICILIA</p> <p><i>Tipo di sistema</i> INFRASTRUTTURE STRADALI – OPERE CIVILI</p> <p><i>Raggruppamento di opere/attività</i> SVINCOLO CURCURACI</p> <p><i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i> VIADOTTO SU RAMPE 3 E 4</p> <p><i>Titolo del documento</i> RELAZIONE DI CALCOLO</p>		SS0706_F0
--	--	-----------

CODICE	<table border="1"> <tr> <td>C</td><td>G</td><td>0</td><td>7</td><td>0</td><td>0</td> <td>P</td> <td>C</td><td>L</td> <td>D</td> <td>S</td> <td>S</td><td>C</td> <td>C</td><td>5</td> <td>V</td><td>I</td> <td>R</td><td>0</td> <td>0</td><td>0</td> <td>0</td><td>0</td> <td>0</td><td>1</td> <td>F0</td> </tr> </table>	C	G	0	7	0	0	P	C	L	D	S	S	C	C	5	V	I	R	0	0	0	0	0	0	1	F0
C	G	0	7	0	0	P	C	L	D	S	S	C	C	5	V	I	R	0	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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

INDICE

INDICE	1
PREMESSA.....	10
1 RIFERIMENTI NORMATIVI	10
2 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI	11
3 CARATTERISTICHE MATERIALI.....	13
3.1 Calcestruzzi (Secondo UNI 11104 - 2004).....	13
3.2 Acciaio per armature (Secondo NTC 2008 – D.M. 14/01/2008).....	18
3.3 Acciaio per la carpenteria metallica di impalcato.....	18
4 DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA.....	19
4.1 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E UBICAZIONE DELLA STRUTTURA.....	19
4.2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL LUOGO.....	21
4.2.1 Descrizione delle litologie	21
4.2.2 Indagini previste	21
4.2.3 Caratterizzazione geotecnica.....	22
4.3 CARATTERIZZAZIONE DELLA SISMICITA' DEL LUOGO	26
4.4 CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE	27
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
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 Azioni sismiche.....	31
4.4.3.1 Vita nominale	32
4.4.3.2 Classe d'uso	32
4.4.3.3 Periodo di riferimento per l'azione sismica	32
4.4.3.4 Parametri di progetto.....	32
4.4.3.5 Classificazione sismica del terreno	34

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

4.4.3.6	Spettro di risposta elastico in accelerazione.....	35
4.4.3.7	Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali	35
4.4.3.8	Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali	37
4.4.3.9	Spettro di progetto	38
4.4.4	COMBINAZIONI DI CARICO	39
5	FASI COSTRUTTIVE.....	43
6	ELABORATI DI RIFERIMENTO.....	44
7	ANALISI IMPALCATO	45
7.1	ANALISI DEI CARICHI	45
7.1.1	Impalcato metallico	45
7.1.2	Soletta in c.a.....	45
7.1.3	Permanenti	48
7.1.4	Carico accidentale folla.....	50
7.1.5	Carico accidentale mezzi esercizio	50
7.1.6	Condizioni di carico trasversali.....	51
7.1.7	Carico accidentale mezzi per fatica	52
7.1.8	Deformazione termica.....	53
7.1.9	Effetti dovuti al ritiro	53
7.1.9.1	Effetti primari del ritiro	55
7.1.9.2	Effetti secondari del ritiro.....	55
7.1.10	Azione di frenamento	55
7.1.11	Azione centrifuga	56
7.1.12	Azione indotta dal vento.....	56
7.1.12.1	Definizione	56
7.1.12.2	CNR-DT 207/2008 V. 1.02 Tipo di opera.....	58
7.1.12.3	Azione del vento a ponte scarico.....	60
7.1.12.4	Azione del vento a ponte carico	61
7.1.13	Combinazione di carico.....	62
7.1.14	Azione indotta dagli appoggi per effetto della deformazione termica.....	63
7.2	ESCURSIONE DEI GIUNTI TRASVERSALI.....	63
7.3	MODELLO DI CALCOLO	65
7.3.1	Modellazione a graticcio	69
7.3.1.1	Rigidezze flessionali	69

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

7.3.1.2	Rigidezze torsionali	69
7.3.2	Caratteristiche delle sezioni	70
7.3.2.1	Calcolo larghezza soletta collaborante	71
7.3.2.2	Caratteristiche geometriche	74
7.4	CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI	78
7.5	VERIFICA DELLE SEZIONI	79
7.5.1	VERIFICHE FONDAMENTALI	79
7.5.1.1	TRAVI PRINCIPALI	79
7.5.1.2	TRAVERSI	79
7.5.2	VERIFICHE SISMICHE	90
7.5.2.1	TRAVI PRINCIPALI	92
7.5.2.2	TRAVERSI DI CAMPATA	92
7.5.2.3	Traverso di appoggio	96
7.5.3	DEFORMAZIONI	102
7.5.3.1	PRIMA CAMPATA	102
7.5.3.2	SECONDA CAMPATA	102
7.5.3.3	TERZA CAMPATA	103
7.5.3.4	QUARTA CAMPATA	103
7.5.3.5	QUINTA CAMPATA	104
7.5.4	SOLETTA DI IMPALCATO	105
7.5.4.1	ANALISI DEI CARICHI	105
7.5.4.2	VERIFICA DELLE ARMATURE TRASVERSALI AGLI SLU	108
7.5.4.3	VERIFICA DELLE ARMATURE TRASVERSALI AGLI SLE	110
7.5.4.4	VERIFICA A FESSURAZIONE	111
8	ANALISI SISTEMA DI VINCOLAMENTO	113
8.1	AZIONI VERTICALI	113
8.2	AZIONI ORIZZONTALI	115
8.2.1	Azione longitudinale di frenamento	115
8.2.2	Azione trasversale del vento	115
8.2.3	Azione di attrito	117
8.2.4	Urto dei veicoli in svio	118
8.2.5	Azioni sismiche	119
9	ANALISI SOTTOSTRUTTURE	121

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

9.1	ANALISI DELLA SPALLA A.....	121
9.1.1	ANALISI DEI CARICHI	123
9.1.1.1	Considerazioni sul parametro β_m	124
9.1.1.2	Combinazioni di carico statiche.....	128
9.1.1.3	Combinazioni di carico Sismiche.....	129
9.1.2	MODELLO DI CALCOLO.....	129
9.1.2.1	Descrizione del modello di calcolo	129
9.1.3	AZIONI SISMICHE: CONFRONTO ANALISI DINAMICA – ANALISI STATICA EQUIVALENTE.....	130
9.1.3.1	ANALISI LINEARE DINAMICA.....	130
9.1.4	AZIONI SISMICHE	133
9.1.5	ESCURSIONE DEI GIUNTI TRASVERSALI.....	133
9.1.6	CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI	136
9.1.6.1	Sollecitazioni muro frontale	136
9.1.6.2	Sollecitazioni fondazione.....	137
9.1.6.3	Sollecitazioni paraghiaia	140
9.1.7	VERIFICA DELLE SEZIONI.....	141
9.1.7.1	Muro frontale.....	141
9.1.7.2	Verifiche fondazione	144
9.1.7.3	Paraghiaia.....	146
9.1.8	VERIFICA DEI MURI ANDATORI PREFABBRICATI.....	148
9.2	ANALISI DELLA SPALLA B-3.....	160
9.2.1	ANALISI DEI CARICHI	162
9.2.1.1	Considerazioni sul parametro β_m	163
9.2.1.2	Combinazioni di carico statiche.....	167
9.2.1.3	Combinazioni di carico Sismiche.....	168
9.2.2	MODELLO DI CALCOLO.....	168
9.2.2.1	Descrizione del modello di calcolo	168
9.2.3	AZIONI SISMICHE: CONFRONTO ANALISI DINAMICA – ANALISI STATICA EQUIVALENTE.....	169
9.2.3.1	ANALISI LINEARE DINAMICA.....	169
9.2.4	AZIONI SISMICHE	172
9.2.5	ESCURSIONE DEI GIUNTI TRASVERSALI.....	172

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

9.2.6	CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI	175
9.2.6.1	Sollecitazioni muro frontale	175
9.2.6.2	Sollecitazioni fondazione.....	176
9.2.6.3	Sollecitazioni paraghiaia	179
9.2.7	VERIFICA DELLE SEZIONI.....	180
9.2.7.1	Muro frontale.....	180
9.2.7.2	Verifiche fondazione	183
9.2.7.3	Paraghiaia.....	185
9.3	ANALISI DELLA SPALLA B-4.....	187
9.3.1	ANALISI DEI CARICHI	189
9.3.1.1	Considerazioni sul parametro β_m	191
9.3.1.2	Combinazioni di carico statiche	195
9.3.1.3	Combinazioni di carico Sismiche.....	196
9.3.2	MODELLO DI CALCOLO.....	196
9.3.2.1	Descrizione del modello di calcolo	196
9.3.3	AZIONI SISMICHE: CONFRONTO ANALISI DINAMICA – ANALISI STATICA EQUIVALENTE.....	197
9.3.3.1	ANALISI LINEARE DINAMICA.....	197
9.3.4	AZIONI SISMICHE	200
9.3.5	ESCURSIONE DEI GIUNTI TRASVERSALI.....	200
9.3.6	CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI	203
9.3.6.1	Sollecitazioni muro frontale	203
9.3.6.2	Sollecitazioni fondazione.....	204
9.3.6.3	Sollecitazioni paraghiaia	208
9.3.7	VERIFICA DELLE SEZIONI.....	209
9.3.7.1	Muro frontale.....	209
9.3.7.2	Verifiche fondazione	212
9.3.7.3	Paraghiaia.....	214
9.4	ANALISI DELLA PILA 1.....	216
9.4.1	ANALISI DEI CARICHI	218
9.4.1.1	Combinazioni di carico Sismiche.....	220
9.4.2	MODELLO DI CALCOLO.....	220
9.4.2.1	Descrizione del modello di calcolo	220

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

9.4.3	CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI	221
9.4.3.1	Sollecitazioni sul fusto.....	221
9.4.3.2	Sollecitazioni sulle fondazioni.....	222
9.4.4	VERIFICA DELLE SEZIONI.....	224
9.4.4.1	Plinto di fondazione.....	224
9.4.4.2	Verifica fusto Pila	225
9.5	ANALISI DELLA PILA 2.....	230
9.5.1	ANALISI DEI CARICHI	231
9.5.1.1	Combinazioni di carico Sismiche.....	234
9.5.2	MODELLO DI CALCOLO.....	234
9.5.2.1	Descrizione del modello di calcolo	234
9.5.3	CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI	235
9.5.3.1	Sollecitazioni sul fusto.....	235
9.5.3.2	Sollecitazioni sulle fondazioni.....	236
9.5.4	VERIFICA DELLE SEZIONI.....	238
9.5.4.1	Plinto di fondazione.....	238
9.5.4.2	Verifica fusto Pila	239
9.6	ANALISI DELLA PILA 3.....	244
9.6.1	ANALISI DEI CARICHI	245
9.6.1.1	Combinazioni di carico Sismiche.....	248
9.6.2	MODELLO DI CALCOLO.....	248
9.6.2.1	Descrizione del modello di calcolo	248
9.6.3	CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI	249
9.6.3.1	Sollecitazioni sul fusto.....	249
9.6.3.2	Sollecitazioni sulle fondazioni.....	250
9.6.4	VERIFICA DELLE SEZIONI.....	252
9.6.4.1	Plinto di fondazione.....	252
9.6.4.2	Verifica fusto Pila	253
9.7	ANALISI DELLA PILA 4.....	256
9.7.1	ANALISI DEI CARICHI	259
9.7.1.1	Combinazioni di carico Sismiche.....	261
9.7.2	MODELLO DI CALCOLO.....	261
9.7.2.1	Descrizione del modello di calcolo	261

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

9.7.3	CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI	262
9.7.3.1	Sollecitazioni sul fusto.....	262
9.7.3.2	Sollecitazioni sulle fondazioni.....	263
9.7.3.3	Plinto di fondazione.....	265
9.7.3.4	Verifica fusto Pila	266
10	ANALISI DELLE FONDAZIONI	270
10.1	ANALISI DEL SISTEMA FONDAZIONALE DELLA SPALLA A.....	270
10.1.1	ANALISI DEI CARICHI	270
10.1.2	MODELLO DI CALCOLO.....	272
10.2	ANALISI DEL SISTEMA FONDAZIONALE DELLA SPALLA B-3.....	283
10.2.1	ANALISI DEI CARICHI	283
10.2.2	MODELLO DI CALCOLO.....	285
10.2.2.1	DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO	285
10.3	ANALISI DEL SISTEMA FONDAZIONALE DELLA SPALLA B-4.....	296
10.3.1	ANALISI DEI CARICHI	297
10.3.2	MODELLO DI CALCOLO.....	299
10.3.2.1	DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO	299
10.4	ANALISI DEL SISTEMA FONDAZIONALE DELLE PILE BASE 12,00x7,50 M	310
10.4.1	ANALISI DEI CARICHI	310
10.4.2	MODELLO DI CALCOLO.....	311
10.4.2.1	DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO	311
10.5	ANALISI DEL SISTEMA FONDAZIONALE DELLE PILE BASE 16,50x7,50 M	322
10.5.1	ANALISI DEI CARICHI	322
10.5.2	MODELLO DI CALCOLO.....	322
10.5.2.1	DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO	323
11	TABULATI DI CALCOLO.....	335

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

PREMESSA

La presente relazione di calcolo tratta del viadotto rampe 3-4 da realizzarsi all'interno dello Svincolo denominato Curcuraci facente parte dei collegamenti lato Sicilia del ponte sullo stretto di Messina.

Lo svincolo è situato all'interno di tale ambito approssimativamente tra le progressive 5+700 e 6+100 km degli assi principali, rappresentati dalle carreggiate in direzione Messina e Reggio Calabria.

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 10025 – 2005 – "Prodotti laminati a caldo di acciai per impieghi strutturali.
- C.N.R. - U.N.I. 10016 - 00: "Travi composte di acciaio e calcestruzzo. Istruzioni per l'impiego nelle costruzioni".
- C.N.R. – DT 207/2008: "Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni".
- C.N.R. 10018/99 – "Apparecchi d'appoggio per le costruzioni. Istruzioni per l'impiego"
- C.N.R. - U.N.I. 10011 - 97: "Costruzioni in acciaio. Istruzioni per il calcolo, l'esecuzione, il collaudo e la manutenzione".
- C.N.R. - U.N.I. 10016 - 00: "Travi composte di acciaio e calcestruzzo. Istruzioni per l'impiego nelle costruzioni".

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

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 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

		<p align="center">Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO</p>					
<p align="center">RELAZIONE DI CALCOLO</p>		<p><i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th><i>Rev</i></th> <th><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>F0</td> <td>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						

Japanese Geotechnical Society, Vol. 41, No. 4(20010815), pp. 47-58.

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

3 CARATTERISTICHE 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	$E_c = 31.476 \text{ N/mm}^2$
massa volumica di riferimento	$\gamma_c = 25,00 \text{ kN/m}^3$
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
contenuto massimo di cloruri nel calcestruzzo	cl 0,20
classe di consistenza slump	S4
max dimensione aggregati	Dmax = 32 mm
rapporto A/C massimo	0,50

Baggioli e ritegni sismici

classe di resistenza	C32/40
modulo elastico	$E_c = 33.346 \text{ N/mm}^2$
massa volumica di riferimento	$\gamma_c = 25,00 \text{ kN/m}^3$
resistenza caratteristica a compressione cilindrica	$f_{ck} = 32,00 \text{ N/mm}^2$
resistenza media a compressione cilindrica	$f_{cm} = 40,00 \text{ N/mm}^2$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} =$	18,13	N/mm ²
resistenza a trazione (valore medio)	$f_{ctm} =$	3,02	N/mm ²
resistenza caratteristica a trazione	$f_{ctk} =$	2,11	N/mm ²
resistenza caratteristica a trazione per flessione	$f_{cfk} =$	2,65	N/mm ²
tensione a SLE – combinazione rara	$\sigma_C =$	19,92	N/mm ²
tensione a SLE – combinazione quasi permanente	$\sigma_C =$	14,94	N/mm ²
copriferro	$C =$	35	mm
classe di esposizione		XS1	XF2
contenuto massimo di cloruri nel calcestruzzo	cl	0,20	
classe di consistenza slump		S4	
max dimensione aggregati	$D_{max} =$	20	mm
rapporto A/C massimo		0,50	

Soletta di impalcato

classe di resistenza		C32/40	
modulo elastico	$E_c =$	33.346	N/mm ²
massa volumica di riferimento	$\gamma_c =$	25,00	kN/m ³
resistenza caratteristica a compressione cilindrica	$f_{ck} =$	32,00	N/mm ²
resistenza media a compressione cilindrica	$f_{cm} =$	40,00	N/mm ²
resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} =$	18,13	N/mm ²
resistenza a trazione (valore medio)	$f_{ctm} =$	3,02	N/mm ²
resistenza caratteristica a trazione	$f_{ctk} =$	2,11	N/mm ²
resistenza caratteristica a trazione per flessione	$f_{cfk} =$	2,65	N/mm ²
tensione a SLE – combinazione rara	$\sigma_C =$	19,92	N/mm ²
tensione a SLE – combinazione quasi permanente	$\sigma_C =$	14,94	N/mm ²
copriferro estradosso	$C =$	35	mm
classe di esposizione		XF4	XS1
contenuto massimo di cloruri nel calcestruzzo	cl	0,20	
classe di consistenza slump		S4	
max dimensione aggregati	$D_{max} =$	20	mm
rapporto A/C massimo		0,45	

Cordoli di impalcato

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

classe di resistenza	C32/40	
modulo elastico	$E_c =$	33.346 N/mm ²
massa volumica di riferimento	$\gamma_c =$	25,00 kN/m ³
resistenza caratteristica a compressione cilindrica	$f_{ck} =$	32,00 N/mm ²
resistenza media a compressione cilindrica	$f_{cm} =$	40,00 N/mm ²
resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} =$	18,13 N/mm ²
resistenza a trazione (valore medio)	$f_{ctm} =$	3,02 N/mm ²
resistenza caratteristica a trazione	$f_{ctk} =$	2,11 N/mm ²
resistenza caratteristica a trazione per flessione	$f_{ctk} =$	2,65 N/mm ²
tensione a SLE – combinazione rara	$\sigma_C =$	19,92 N/mm ²
tensione a SLE – combinazione quasi permanente	$\sigma_C =$	14,94 N/mm ²
copriferro	$C =$	35 mm
classe di esposizione		XS1 XF4
contenuto massimo di cloruri nel calcestruzzo	cl	0,20
classe di consistenza slump		S4
max dimensione aggregati	$D_{max} =$	20 mm
rapporto A/C massimo		0,45

Elevazioni pila, spalle, muri, paraghiaia

classe di resistenza	C32/40	
modulo elastico	$E_c =$	33.346 N/mm ²
massa volumica di riferimento	$\gamma_c =$	25,00 kN/m ³
resistenza caratteristica a compressione cilindrica	$f_{ck} =$	32,00 N/mm ²
resistenza media a compressione cilindrica	$f_{cm} =$	40,00 N/mm ²
resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} =$	18,13 N/mm ²
resistenza a trazione (valore medio)	$f_{ctm} =$	3,02 N/mm ²
resistenza caratteristica a trazione	$f_{ctk} =$	2,11 N/mm ²
resistenza caratteristica a trazione per flessione	$f_{ctk} =$	2,65 N/mm ²
tensione a SLE – combinazione rara	$\sigma_C =$	19,92 N/mm ²
tensione a SLE – combinazione quasi permanente	$\sigma_C =$	14,94 N/mm ²
copriferro	$C =$	40 mm
classe di esposizione	XC4 XS1	XF2

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

contenuto massimo di cloruri nel calcestruzzo	cl	0,20	
classe di consistenza slump		S4	
max dimensione aggregati	Dmax =	32	mm
rapporto A/C massimo		0,50	

Cordoli testa opere provvisionali

classe di resistenza		C32/40	
modulo elastico	$E_c =$	33.346	N/mm ²
massa volumica di riferimento	$\gamma_c =$	25,00	kN/m ³
resistenza caratteristica a compressione cilindrica	$f_{ck} =$	32,00	N/mm ²
resistenza media a compressione cilindrica	$f_{cm} =$	40,00	N/mm ²
resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} =$	18,13	N/mm ²
resistenza a trazione (valore medio)	$f_{ctm} =$	3,02	N/mm ²
resistenza caratteristica a trazione	$f_{ctk} =$	2,11	N/mm ²
resistenza caratteristica a trazione per flessione	$f_{ctfk} =$	2,65	N/mm ²
tensione a SLE – combinazione rara	$\sigma_C =$	19,92	N/mm ²
tensione a SLE – combinazione quasi permanente	$\sigma_C =$	14,94	N/mm ²
copriferro	C =	40	mm
classe di esposizione		XC2	
contenuto massimo di cloruri nel calcestruzzo	cl	0,20	
classe di consistenza slump		S4	
max dimensione aggregati	Dmax =	32	mm
rapporto A/C massimo		0,50	

Lastre tralicciate impalcato

classe di resistenza		C35/45	
modulo elastico	$E_c =$	34.077	N/mm ²
massa volumica di riferimento	$\gamma_c =$	25,00	kN/m ³
resistenza caratteristica a compressione cilindrica	$f_{ck} =$	35,00	N/mm ²
resistenza media a compressione cilindrica	$f_{cm} =$	43,00	N/mm ²
resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} =$	19,83	N/mm ²
resistenza a trazione (valore medio)	$f_{ctm} =$	3,21	N/mm ²
resistenza caratteristica a trazione	$f_{ctk} =$	2,24	N/mm ²

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

resistenza caratteristica a trazione per flessione	$f_{cfk} =$	2,41	N/mm ²
tensione a SLE – combinazione rara	$\sigma_C =$	21,00	N/mm ²
tensione a SLE – combinazione quasi permanente	$\sigma_C =$	15,75	N/mm ²
copriferro	$C =$	20	mm
classe di esposizione		XS1	XF2
contenuto massimo di cloruri nel calcestruzzo	cl	0,20	
classe di consistenza slump		S4	
max dimensione aggregati	$D_{max} =$	20	mm
rapporto A/C massimo		0,50	

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%; text-align: center;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

3.2 Acciaio per armature (Secondo NTC 2008 – D.M. 14/01/2008)

		B450C	
tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} =$	450	N/mm ²
tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} =$	540	N/mm ²
resistenza di calcolo a trazione	$f_{yd} =$	391,30	N/mm ²
modulo elastico	$E_s =$	206.000	N/mm ²
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	

3.3 Acciaio per la carpenteria metallica di impalcato

		S355J2G3	(ex 510 D)
		S355K2G3	(ex 510 DD)
spessori fino a 40 mm			
spessori maggiori di 40 mm			
tensione caratteristica di snervamento < 40 mm	$f_{yk} =$	355	N/mm ²
tensione caratteristica di rottura < 40 mm	$f_{tk} =$	510	N/mm ²
tensione caratteristica di snervamento > 40 mm	$f_{yk} =$	335	N/mm ²
tensione caratteristica di rottura > 40 mm	$f_{tk} =$	470	N/mm ²
resistenza di calcolo a trazione < 40 mm	$f_{yd} =$	338	N/mm ²
resistenza di calcolo a trazione > 40 mm	$f_{yd} =$	319	N/mm ²
modulo elastico	$E_s =$	206.000	N/mm ²
coeff. resistenza a instabilità delle membrature	$\gamma_m =$	1,10	

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

4 DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA

4.1 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E UBICAZIONE DELLA STRUTTURA

Il viadotto in oggetto è posto all'interno dello Svincolo denominato Curcuraci facente parte dei collegamenti lato Sicilia del ponte sullo stretto di Messina; tale opera d'arte è necessaria per lo scavalco della Fiumara Curcuraci da parte delle rampe n°3 e 4 dello svincolo stesso e per evitare la realizzazione di rilevati stradali di altezza troppo elevata nel tratto tra l'Autostrada e la rotonda di svincolo.

Il viadotto è costituito da un impalcato a via superiore in struttura mista acciaio-calcestruzzo di 5 campate continue, di cui 4 formate da 4 travi e l'ultima che si sdoppia in 2 impalcati formati da 2 travi cadauno; l'impalcato poggia su spalle classiche e su pile in calcestruzzo armato basate su fondazioni di tipo diretto.

Le campate sono organizzate in luci con sviluppo in asse di circa 27,00 + 30,00 + 30,00 + 21,00 + 26,00 mt in asse appoggi per una lunghezza totale di circa 135,00 mt in asse rampa 4 e 133,00 mt in asse rampa 3; il tracciato in corrispondenza dell'opera presenta una curva planimetrica di raccordo a raggio variabile e una pendenza trasversale variabile fino ad un massimo del 7,00%. La larghezza trasversale totale dell'impalcato è variabile: nel tratto in cui le due rampe sono unite passa da un minimo di 11,76 mt ad un massimo di 18,70 mt comprendenti due cordoli da 80 cm cadauno che ospitano le barriere di sicurezza, mentre nel tratto in cui le due rampe sono divise la larghezza totale è di 9,10 mt e 8,10 mt rispettivamente per le rampe 3 e 4 con i medesimi cordoli.

IMPALCATO IN ACCIAIO

Dal punto di vista statico e costruttivo l'impalcato è costituito da 4 travate continue su 6 appoggi, con luci pari a circa 27,00 + 30,00 + 30,00 + 21,00 + 26,00 mt in asse appoggi; la struttura metallica è segmentata in 16 diverse tipologie di conci e la sezione trasversale è irrigidita trasversalmente, nel piano verticale da diaframmi composti da profili ad L commerciali posti ad interasse inferiore ai 5,00 mt e nel piano orizzontale dalla soletta in calcestruzzo.

La scelta delle luci risponde a esigenze di carattere statico e di adattabilità della struttura:

- La distribuzione delle campate permette lo scavalco della fiumara ed una suddivisione ottimale delle distanze rimanenti tra essa ed inizio e fine viadotto;
- Il rapporto tra le campate è tale da garantire un certo equilibrio tra i momenti in mezzera della campata e sugli appoggi e quindi un buon sfruttamento dei materiali per l'assorbimento

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

degli sforzi;

- Lo schema statico di trave continua permette un'altezza dell'impalcato contenuta e quindi un miglior inserimento dell'opera nel contesto plano-altimetrico.

L'impalcato è realizzato con una sezione mista acciaio-calcestruzzo, ed è costituito da travi metalliche di altezza costante di 1,60 mt

All'estradosso delle travi è solidarizzata la soletta in calcestruzzo per mezzo dei connettori a taglio opportunamente saldati sull'ala superiore della trave. La soletta, dello spessore complessivo di 30 cm, è costituita da predalle tralicciate di 6 cm e da un getto integrativo di 24 cm. Il collegamento tra l'impalcato metallico e la soletta in calcestruzzo è assicurato attraverso i connettori a piolo di tipo Nelson.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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, 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).

Non ci sono localmente indagini per caratterizzare la categoria sismica di suolo; considerando la

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

sismica a rifrazione SRD3, essa risulta pari a **C**.

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 S415, S416, S417, S418, SPPS02, SPPS03)
- 1 prova Cross Hole (sondaggio S418)
- 1 prova sismica a rifrazione locale (SRD3)
- 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. CG0800PRBDSSBC8G000000001A. Per la definizione delle categorie di suolo si rimanda al medesimo elaborato ed alla relazione sismica di riferimento.

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

d₁₀=0.015mm. Le percentuali medie di ghiaia, sabbia e limo sono rispettivamente di 38%, 47%, 12%.

- **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;
- **γ_d:** in base a tali valori di e_o e da γ_s si può stimare γ_d, =18-19KN/m³;
- **K₀:** 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	ϕ' _p (pff=0-272KPa) (°)	ϕ' _{cv} (°)	K ₀
5-15	40-80	39-42	33-35	0.4-0.45
>15	50-60	39-40	33-35	0.45

Come parametri operativi per l'angolo d'attrito si utilizzerà ϕ' =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 G₀ :

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

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

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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.

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 γ_s è risultato pari a circa 26.5 kN/m³.

Non si hanno a disposizione i valori di γ_{dmax} e γ_{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.
- **γ_d :** si ottiene un pari a 17-20 KN/m³.
- **K_0 :** si considera la relazione di Jaky.

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

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

4.3 CARATTERIZZAZIONE DELLA SISMICITA' DEL LUOGO

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 $P_V R$ 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 $P_V R$ sono immediatamente esprimibili, l'uno in funzione dell'altro, mediante

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

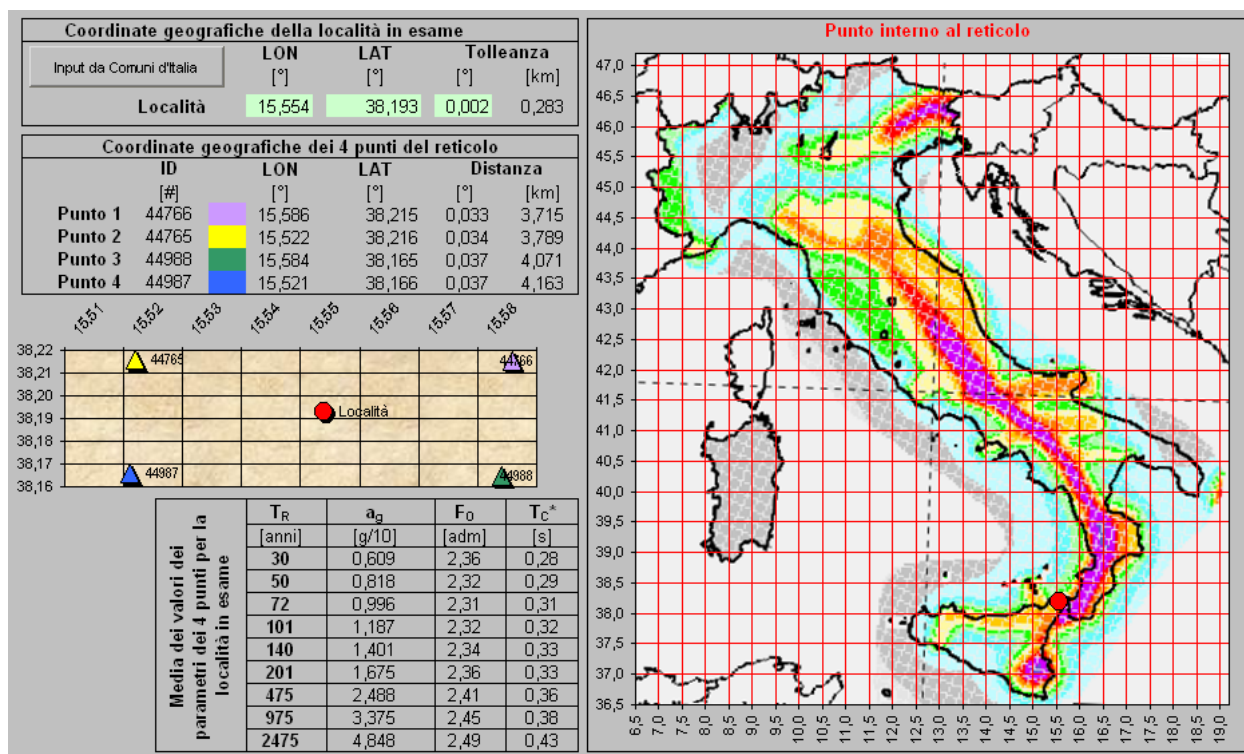
l'espressione:

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

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 espresso in secondi.

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



4.4 CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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 taglianti" 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:

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

- 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:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

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

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

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 aggressive.

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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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 _d	Stato limite	w _d
a	Ordinarie	frequente	ap. fessure	≤ w ₂	ap. fessure	≤ w ₃
		quasi permanente	ap. fessure	≤ w ₁	ap. fessure	≤ w ₂
b	Aggressive	frequente	ap. fessure	≤ w ₁	ap. fessure	≤ w ₂
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	≤ w ₁
c	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	≤ w ₁
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	≤ w ₁

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 ε_{sm} per la distanza media tra le fessure Δ_{sm} :

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

Per il calcolo di ε_{sm} e Δ_{sm} vanno utilizzati criteri consolidati riportati nella letteratura tecnica. ε_{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 σ_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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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 σ_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, σ_s , per effetto delle azioni dovute alla combinazione caratteristica deve rispettare la limitazione seguente:

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

4.4.3 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 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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

4.4.3.1 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.

4.4.3.2 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 importante, 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.

4.4.3.3 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.

4.4.3.4 Parametri di progetto

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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:

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

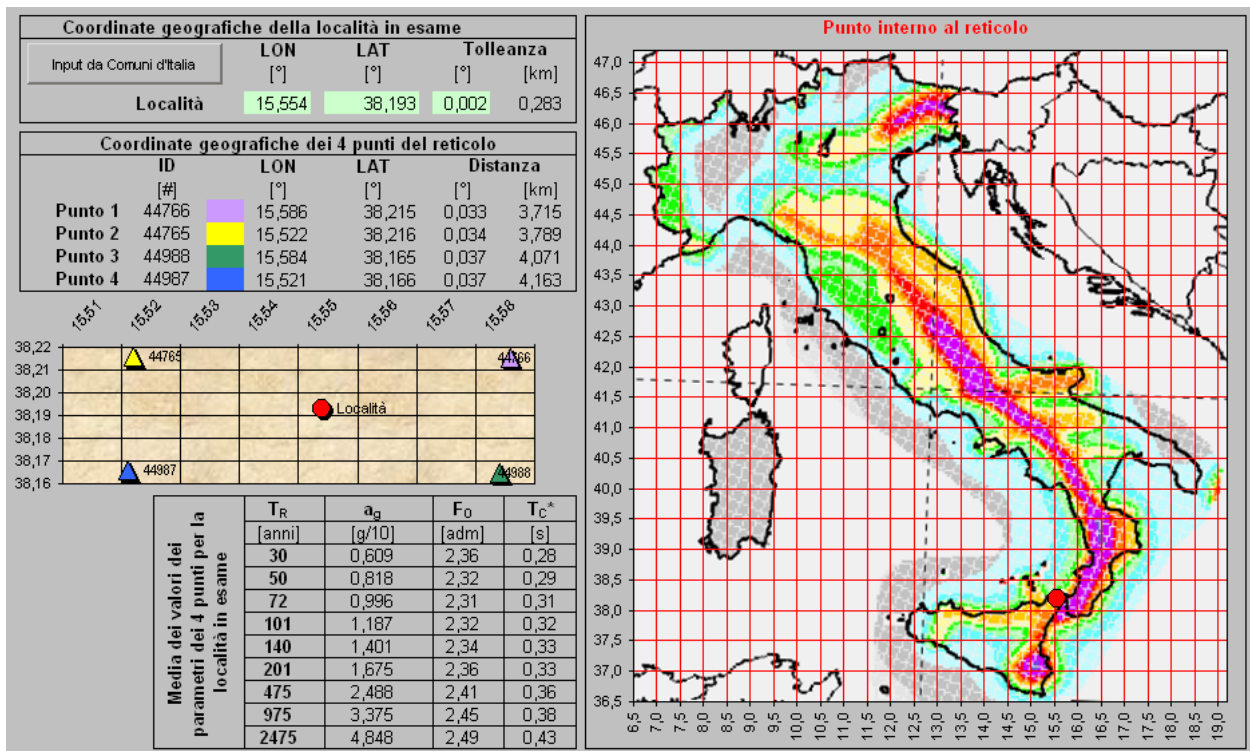
I valori dei parametri a_g , F_0 e T_C^* relativi alla pericolosità sismica su reticolo di riferimento

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

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:



4.4.3.5 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. 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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

4.4.3.6 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} .

4.4.3.7 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;

CATEGORIA SOTTOSUOLO	S_S	C_C
A	1,00	1,00



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%; text-align: center;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%; text-align: center;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

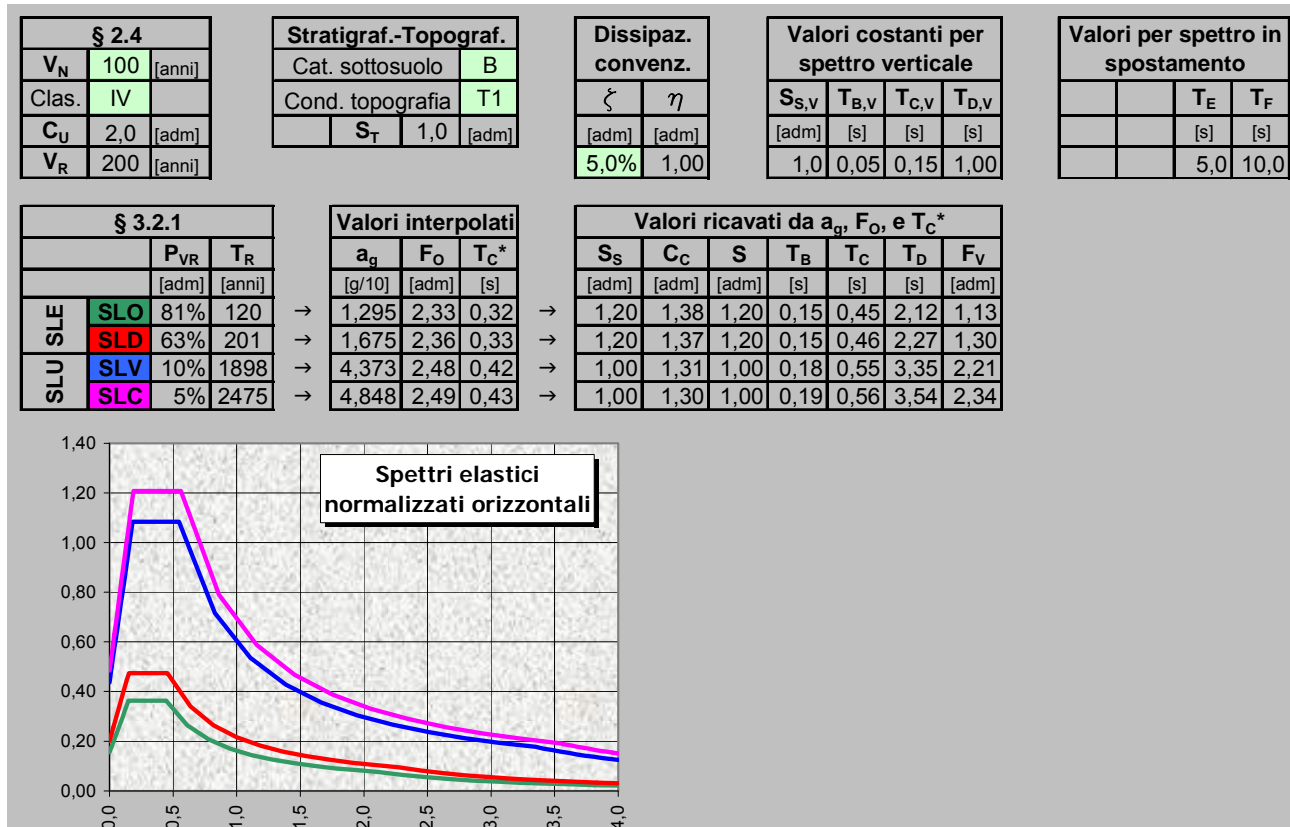
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T^*_C)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T^*_C)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T^*_C)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00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

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

- η : è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi convenzionali ξ diversi dal 5%, mediante la relazione: $\eta = \sqrt{\frac{10}{(5 + \xi)}} \geq 0,55$
- dove ξ (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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO	Codice documento SS0706_F0.doc	Rev F0



4.4.3.8 Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali

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



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

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

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

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

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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:

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

I valori di a_g , F_O , S_T , S , η 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

4.4.3.9 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 η 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.

In accordo con quanto riportato nelle NTC al paragrafo 7.10.2 per strutture dotate di isolatori si assume un valore del fattore di struttura q per le analisi sismiche dell'impalcato in acciaio-cemento unitario

Impalcato: $q = q_0 = 1,00$

Per quanto riguarda invece le sottostrutture, in particolare le pile, tale fattore, ancora in accordo con il paragrafo 7.9.2.1 delle NTC alla tabella 7.9.1 per classe CD"B" e con il paragrafo 7.10.6.2.1 per strutture isolate:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Pile: $q = q_0 = 1,00$

Discorso differente viene effettuato per le spalle: si procede considerando l'elemento come un'opera di sostegno; le Norme Tecniche trattano l'argomento al paragrafo 7.11.6.2.1, 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:

$$\frac{a_{max}}{g} = 0,4373 \quad \text{accelerazione orizzontale massima attesa al sito}$$

$$\beta_m = 0,31 \quad \text{in accordo con la tabella 7.11.II}$$

$$S = S_S \cdot S_T = 1,00 \cdot 1,00 = 1,00 \quad \text{amplificazione per sottosuolo tipo B}$$

Si ottengono quindi i seguenti valori:

$$k_h = 0,136 \quad k_v = 0,068$$

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.

4.4.4 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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

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

(*) Ponti di 3^a 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:

γ_{G1} coefficiente parziale del peso proprio della struttura, del terreno e dell'acqua, quando pertinente;

γ_{G2} coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali;

γ_Q coefficiente parziale delle azioni variabili da traffico;

γ_{Qi} coefficiente parziale delle azioni variabili.

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

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


		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

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

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

Tabella 5.1.VI - Coefficienti ψ per le azioni variabili per ponti stradali e pedonali

Azioni	Gruppo di azioni (Tabella 5.1.IV)	Coefficiente Ψ_0 di combinazione	Coefficiente Ψ_1 (valori frequenti)	Coefficiente Ψ_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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

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			
	γ	Ψ	$\gamma \cdot \Psi$
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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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 provvisionali;
- Scavo di fondazione;
- Costruzione di pile e spalle;
- Messa in opera del sistema di appoggi;
- Varo dell'impalcato metallico;
- Posa in opera predalle 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.).

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

6 ELABORATI DI RIFERIMENTO

Nell'eseguire le verifiche relative all'opera di cui alla presente relazione si fa riferimento ai seguenti elaborati:

CG0700	P	RG	D	S	SC	C5	VI	R0	00	00	01	B
CG0700	P	SH	D	S	SC	C5	VI	R0	00	00	01	B
CG0700	P	CL	D	S	SC	C5	VI	R0	00	00	01	B
CG0700	P	RB	D	S	SC	C5	VI	R0	00	00	01	B
CG0700	P	P7	D	S	SC	C5	VI	R0	00	00	01	B
CG0700	P	FZ	D	S	SC	C5	VI	R0	00	00	01	B
CG0700	P	P8	D	S	SC	C5	VI	R0	00	00	01	B
CG0700	P	Z9	D	S	SC	C5	VI	R0	00	00	01	B
CG0700	P	PA	D	S	SC	C5	VI	R0	00	00	01	B
CG0700	P	BA	D	S	SC	C5	VI	R0	00	00	01	B
CG0700	P	BA	D	S	SC	C5	VI	R0	00	00	05	B
CG0700	P	BA	D	S	SC	C5	VI	R0	00	00	02	B
CG0700	P	BA	D	S	SC	C5	VI	R0	00	00	03	B
CG0700	P	BZ	D	S	SC	C5	VI	R0	00	00	01	B
CG0700	P	BZ	D	S	SC	C5	VI	R0	00	00	02	B
CG0700	P	SA	D	S	SC	C5	VI	R0	00	00	01	B
CG0700	P	SA	D	S	SC	C5	VI	R0	00	00	02	B
CG0700	P	SA	D	S	SC	C5	VI	R0	00	00	03	B
CG0700	P	SA	D	S	SC	C5	VI	R0	00	00	04	B
CG0700	P	BA	D	S	SC	C5	VI	R0	00	00	04	B

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

7 ANALISI IMPALCATO

7.1 ANALISI DEI CARICHI

Si procede ora all'analisi dei carichi agenti sull'impalcato ed alla relativa ripartizione alle travi longitudinali in acciaio.

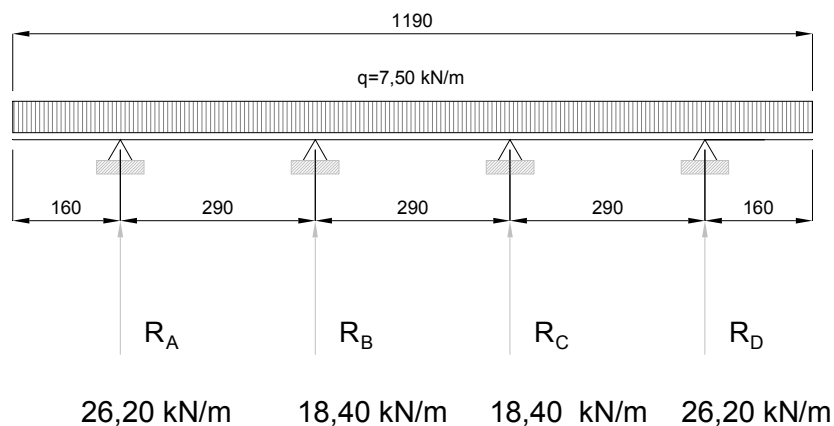
7.1.1 Impalcato metallico

Essendo le travi a sezione variabile, il peso dell'impalcato metallico è stato assegnato ad ogni elemento nella modellazione ad elementi finiti imponendo il peso per unità di volume $\gamma_s=7.850$ daN/m³; tali pesi sono poi stati incrementati del 40% per considerare il peso di coprigiunti, saldature, irrigidimenti, piastre, pioli, etc.

7.1.2 Soletta in c.a.

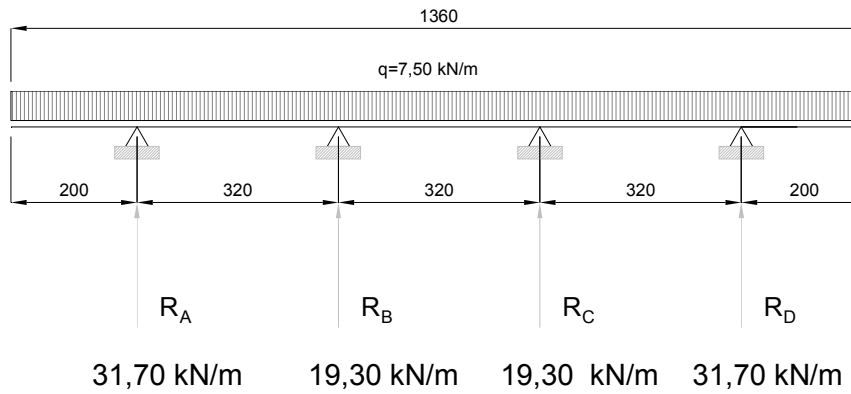
$$q_{\text{soletta}} = 0,30 \cdot 2,500 = 7,50 \text{ kN/m} \quad \text{peso proprio soletta c.a.}$$

CAMPATA 1

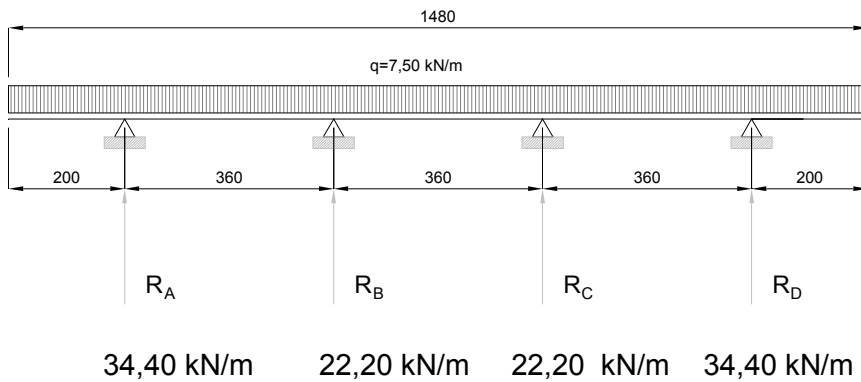


CAMPATA 2

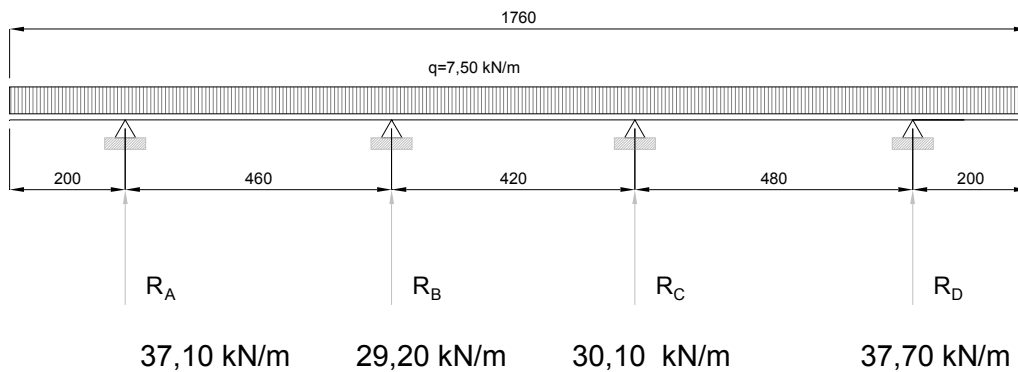
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011



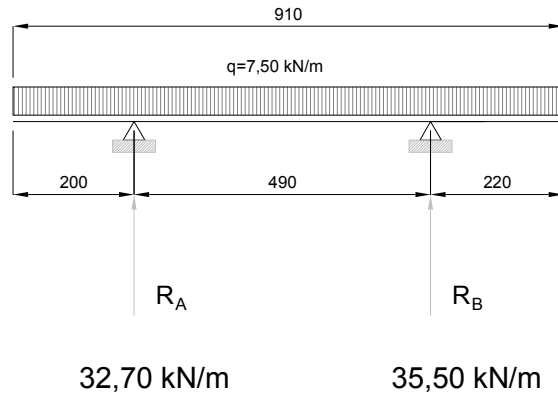
CAMPATA 3



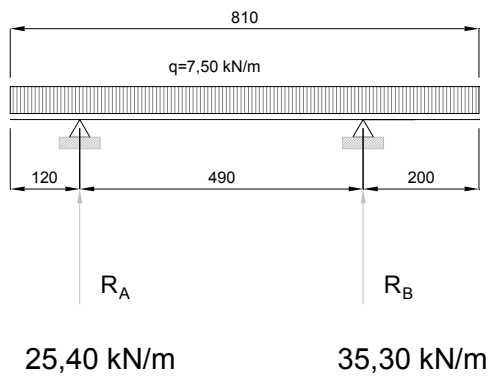
CAMPATA 4



CAMPATA 5 sx



CAMPATA 5 dx



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

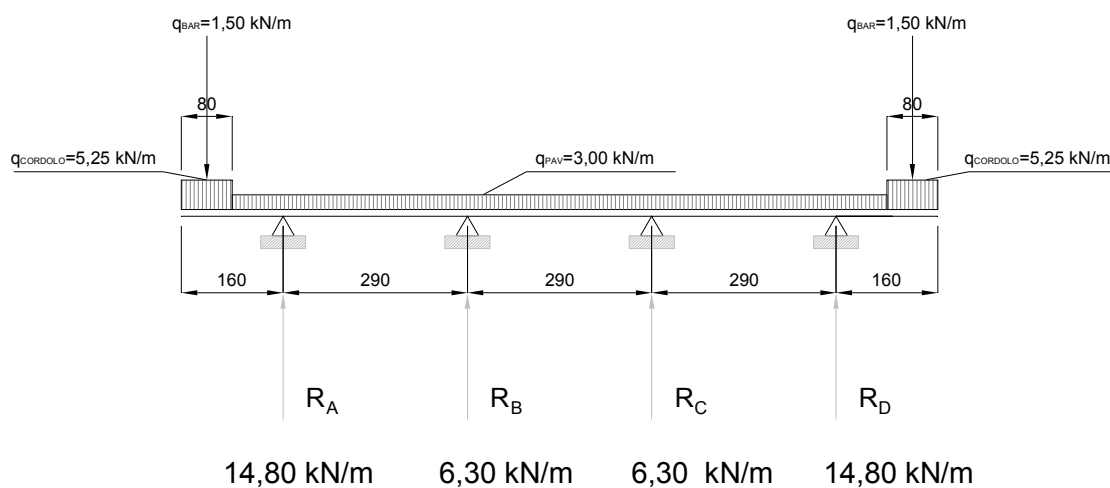
7.1.3 Permanenti

$q_{\text{cordolo}} = 0,21 \cdot 25,00 = 5,25 \text{ kN/m}$ peso proprio cordolo

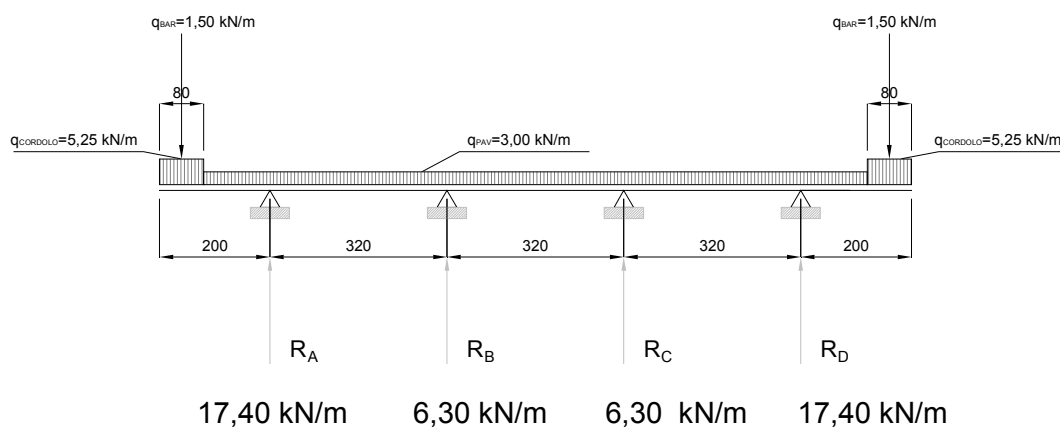
$q_{\text{pav}} = 3,00 \text{ kN/m}$ peso pavimentazione

$q_{\text{barriera}} = 1,50 \text{ kN/m}$ peso barriera

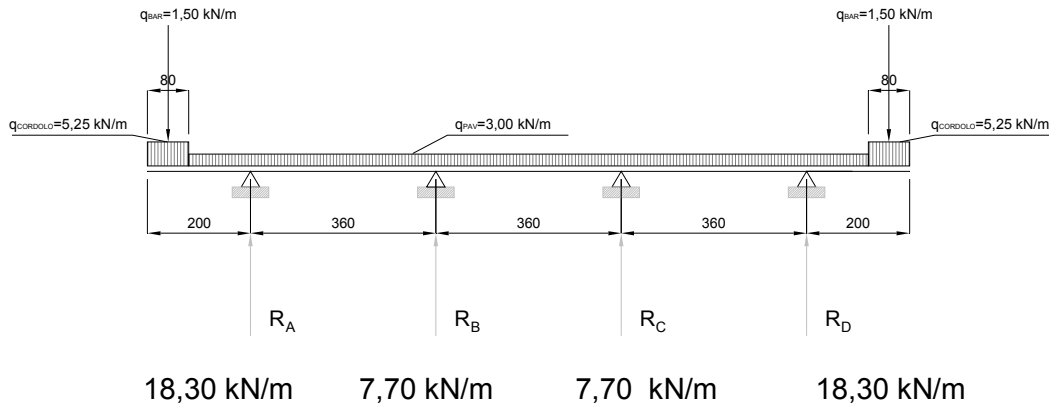
CAMPATA 1



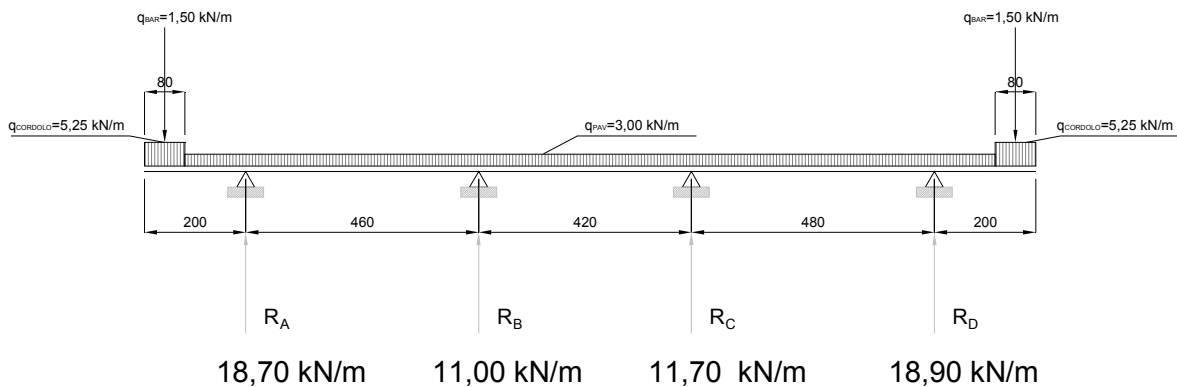
CAMPATA 2



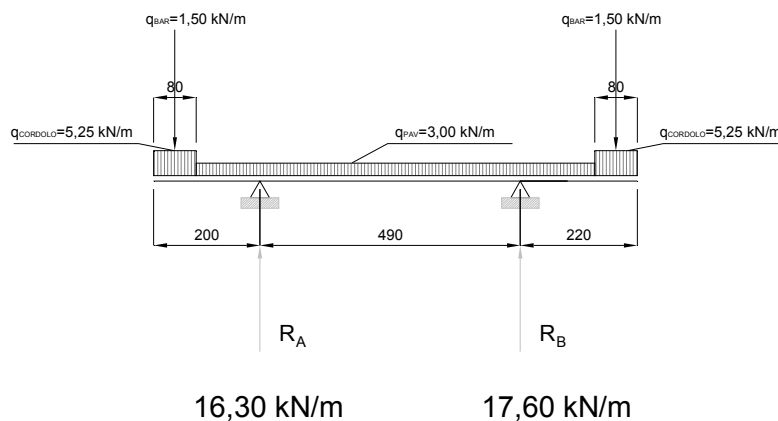
CAMPATA 3



CAMPATA 4

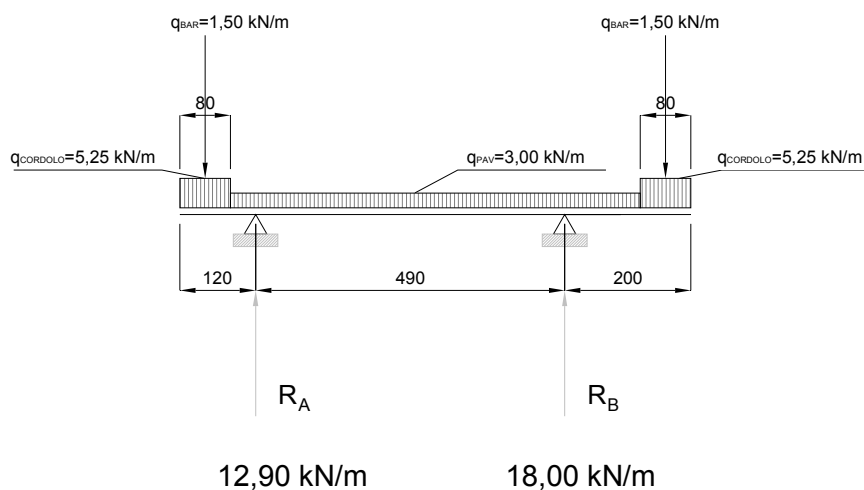


CAMPATA 5 sx



CAMPATA 5 dx

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						



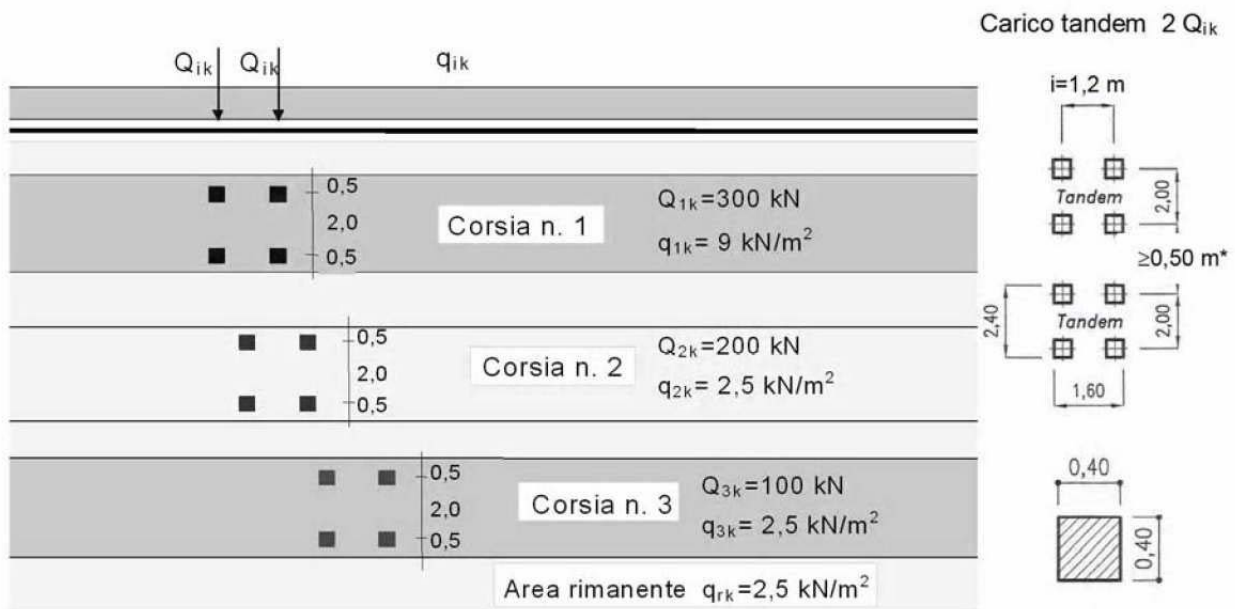
7.1.4 Carico accidentale folla

Il D.M. 14 gennaio 2008 per i ponti di 1a categoria prevede quale carico della folla uniformemente ripartito, il valore di 5 kN/mq, secondo lo schema 5 delle norme. In questo caso i cordoli non consentono il posizionamento della folla.

7.1.5 Carico accidentale mezzi esercizio

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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011



Schema di carico 1 (dimensioni in [m])

*per $w_l \leq 2,90$ m



Schema di carico 5

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^a Categoria.

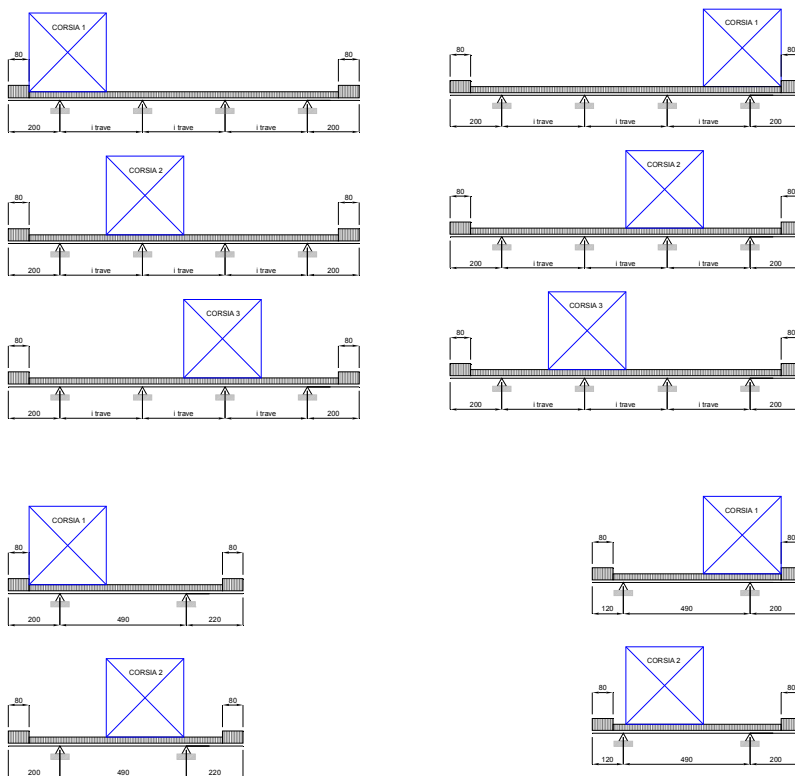
Posizione	Carico asse Q_{ik} [kN]	q_{ik} [kN/m ²]
Corsia Numero 1	300	9
Corsia Numero 2	200	2,5
Corsia Numero 3	100	2,5
Altre corsie	0,00	2,50

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

7.1.6 Condizioni di carico trasversali

Il carico dovuto ai mezzi viaggianti è stato assegnato utilizzando delle linee fittizie che simulano l'andamento delle corsie convenzionali. Tali linee sono state inserite nel codice di calcolo SAP2000 assumendo lo schema di seguito riportato:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011



7.1.7 Carico accidentale mezzi per fatica

I carichi previsti dal D.M. 14 gennaio 2008 per i ponti di 1a categoria e relativamente alla statica longitudinale sono i seguenti:

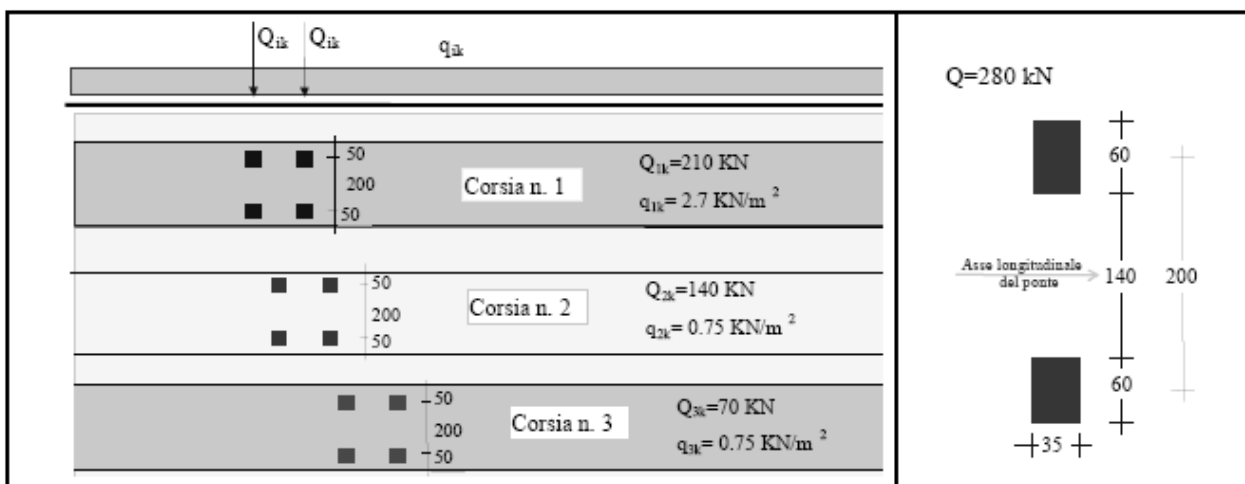


Figura 5.1.4 – Modello di carico di fatica n. 1

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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 numero delle colonne di carichi mobili e la loro disposizione sono quelli massimi compatibili con la larghezza della carreggiata considerata, per i ponti di 1a Categoria.

Posizione	Carico Asse Q_{ik} [KN]	q_{ik} [KN/mq]
Corsia numero 1	210	2,7
Corsia numero 2	140	0,75
Corsia numero 3	70	0,75
Altre corsie		0,75

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

7.1.8 Deformazione termica

Si è considerata una variazione termica differenziale pari a 20°C/m positiva verso l'alto; tale variazione viene considerata come un carico accidentale, e quindi applicata alla struttura mista acciaio-calcestruzzo.

7.1.9 Effetti dovuti al ritiro

I parametri relativi alla deformazione assiale per ritiro del calcestruzzo, come indicato dalle NTC 2008 al paragrafo 11.2.10.6, possono essere valutati sulla base delle seguenti indicazioni:

CALCOLO DI ϵ_{cs}

$$A_c = 1.450 \cdot 30 = 43.500 \text{ cm}^2$$

Area sezione di conglomerato

$$u = 2 \cdot (30 + 1.450) = 2.960 \text{ cm}$$

Perimetro a contatto con l'atmosfera

$$h_0 = \frac{2 \cdot A_c}{u} = \frac{2 \cdot 43.500}{2.960} = 29,40 \text{ cm} \approx 295 \text{ mm}$$

$$E_c = 22.000 \cdot (f_{cm} / 10)^{0,3} = 33.643 \text{ N/mm}^2 = 336.430 \text{ daN/cm}^2 \quad \text{Modulo elastico cls}$$

$$E_s = 2.100.000 \text{ daN/cm}^2 \quad \text{Modulo elastico acciaio}$$

Considerando una umidità relativa del 75% ed un valore di f_{ck} pari a 32 N/mm², interpolando linearmente i valori della tabella 11.2.Va fornita dalle NTC 2008 e inserita in seguito, si ottiene:

$$\epsilon_{c0} = \frac{-0,03475 - (-0,02750)}{40 - 20} \cdot (32 - 20) + (-0,03475) = -0,02931 \%$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Tabella 11.2.Va – Valori di ϵ_{c0}

f_{ck}	Deformazione da ritiro per essiccamento (in ‰)					
	Umidità Relativa (in ‰)					
	20	40	60	80	90	100
20	-0,62	-0,58	-0,49	-0,30	-0,17	+0,00
40	-0,48	-0,46	-0,38	-0,24	-0,13	+0,00
60	-0,38	-0,36	-0,30	-0,19	-0,10	+0,00
80	-0,30	-0,28	-0,24	-0,15	-0,07	+0,00

Dalla tabella 11.2.Vb si interpola il valore del coefficiente k_h avendo come dato di input $h_0 = 295$ mm:

$$k_h = \frac{-(0,85 - 0,75)}{300 - 200} \cdot (295 - 200) + 0,85 = 0,755$$

La deformazione a tempo infinito per ritiro da essiccamento vale quindi:

$$\epsilon_{cd,\infty} = k_h \cdot \epsilon_{c0} = 0,769 \cdot (-0,02931) = -0,02213 \%$$

Lo sviluppo nel tempo può essere valutato moltiplicando il valore della deformazione per il coefficiente seguente:

$$\beta_{ds}(t - t_s) = \frac{(t - t_s)}{[(t - t_s) + 0,04 \cdot h_0^{3/2}]}$$

Prudenzialmente si assume un'età del calcestruzzo t tendente ad infinito, che implica un coefficiente di sviluppo della deformazione unitario. La deformazione per ritiro da essiccamento risulta quindi:

$$\epsilon_{cd} = \beta_{ds} \cdot \epsilon_{cd,\infty} = 1,00 \cdot (-0,02213) = -0,02213 \%$$

Il valore medio a tempo infinito della deformazione per ritiro autogeno è valutato tramite l'espressione:

$$\epsilon_{ca,\infty} = -2,50 \cdot (f_{ck} - 10) \cdot 10^{-6} = -2,50 \cdot (32 - 10) \cdot 10^{-6} = -5,50 \cdot 10^{-5} \%$$

La deformazione totale da ritiro vale: $\epsilon_{cs} = \epsilon_{cd} + \epsilon_{ca} = -0,00022$

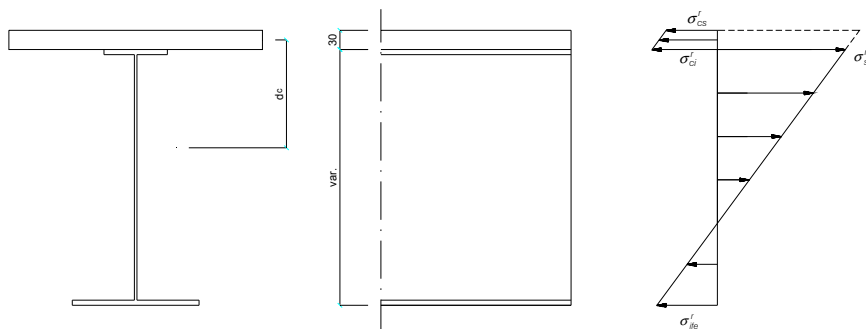
Il coefficiente di omogeneizzazione vale: $\varphi_{\infty} = \frac{2,2 - 1,9}{60 - 20} \cdot (60 - 29,5) + 1,9 = 2,13$

$$n^* = \frac{E_s}{E_c} (1 + \varphi_{\infty}) = \frac{2.100.000}{336.430} \cdot (1 + 2,13) = 19,53$$

$$N_{r \text{ tot}} = \epsilon_{r\infty} \cdot \frac{E_s}{n^*} \cdot A_c = 0,00022 \cdot \frac{2.100.000}{19,53} \cdot 43.740 = 1.034.710 \text{ daN}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

7.1.9.1 Effetti primari del ritiro



Il fenomeno del ritiro induce tensioni supplementari nella soletta in c.a. e nelle piattabande in acciaio, valutate secondo le seguenti formule:

$$\sigma_{cs}^r = \frac{N_r}{A_c} - \frac{N_r}{n^* \cdot A_{tot}} - \frac{N_r \cdot d_c}{W_{cs}} \quad \text{tensione nel calcestruzzo al lembo superiore}$$

$$\sigma_{sfe}^r = -\frac{N_r}{A_{tot}} - \frac{N_r \cdot d_c}{W_{sfe}} \quad \text{tensione nell'acciaio al lembo superiore}$$

$$\sigma_{ife}^r = -\frac{N_r}{A_{tot}} - \frac{N_r \cdot d_c}{W_{ife}} \quad \text{tensione nell'acciaio al lembo inferiore}$$

7.1.9.2 Effetti secondari del ritiro

Gli effetti secondari del ritiro vengono assimilati ad una deformazione termica equivalente, calcolata secondo le formule seguenti; i risultati sono stati riportati in precedenza nelle caratteristiche geometriche delle sezioni resistenti:



$\alpha=0,00001$ coefficiente di dilatazione lineare dell'acciaio;

$$\chi = \frac{N_r \cdot (H - y)}{E \cdot J} \quad \text{distorsione angolare;}$$

$$\frac{\Delta t}{h} = \frac{\chi}{\alpha} \quad \text{deformazione termica per unità di lunghezza.}$$

7.1.10 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:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

7.1.11 Azione centrifuga

Nei ponti con asse curvo di raggio R (in metri) l'azione centrifuga corrisponde ad ogni colonna di carico si valuta convenzionalmente come indicato in Tab. 5.1.III, essendo $Q_v = \sum_i 2 \times Q_{ik}$ il carico totale dovuto agli assi tandem dello schema di carico 1 agenti sul ponte.

In particolare considerando un raggio di curvatura $R < 200$ mt si distinguono due casistiche di carico.

- Tre stese di Carico $Q_v=1.200$ kN
- Due stese di carico $Q_v=1.000$ kN

Si ottiene

- Per le campate a tre stese $Q_4=1.200 \times 0,20 =240$ kN
- Per le campate a due stese $Q_4=1.000 \times 0,20 =200$ kN

7.1.12 Azione indotta dal vento



7.1.12.1 Definizione

Per il calcolo delle azioni del vento, le Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 2008) prendono in esame situazioni progettuali in cui possono nascere particolari fenomeni di interazione vento-struttura. Tra questi vengono segnalati gli effetti torsionali sugli impalcati da ponte, per i quali si rimanda ad analisi specifiche e metodologie di comprovata validità. Si è quindi deciso di considerare l'azione del vento così come viene valutata con le nuove "Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni" (CNR-DT 207/2008).

Il calcolo prevede l'individuazione di una pressione cinetica di picco del vento q_p funzione della Zona di riferimento, categoria di esposizione, classe di rugosità e tempo di ritorno dell'evento.

Questa pressione permette, quindi, la determinazione delle azioni aerodinamiche di picco esercitate dal vento, che possono essere espresse mediante una coppia di forze ortogonali f_x e f_y e un momento torcente m_z , per unità di lunghezza, applicati lungo l'asse Z di riferimento dell'impalcato. Essi sono forniti dalle relazioni:

$$f_x(z) = q_p(z) \cdot l \cdot c_{fx}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

$$f_y(z) = q_p(z) \cdot l \cdot c_{fy}$$

$$m_z(z) = q_p(z) \cdot l^2 \cdot c_{mz}$$

dove

c_{fx} , c_{fy} , c_{mz} coefficienti aerodinamici di forza e momento

l è la dimensione di riferimento associata ai coefficienti

I coefficienti aerodinamici per un impalcato isolato sono riportati in Tabella 4.1 in funzione del rapporto geometrico d/h_{tot} (vedi figura 4.1)

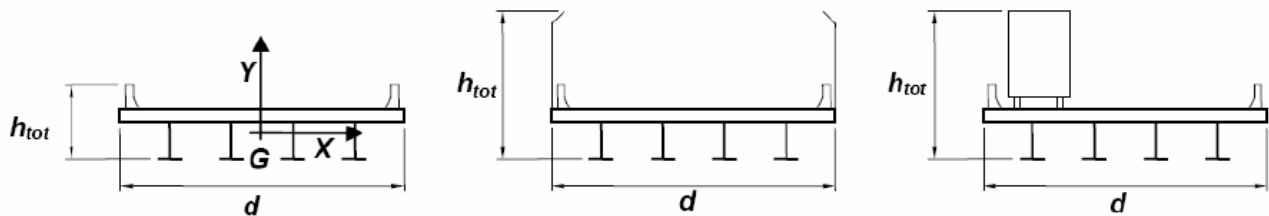


Figura 4.1 - Schema azioni vento ponte

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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 aerodinamico	Indicazioni	Dimensione di riferimento
$c_{fX} = \begin{cases} 2,0 & 0,1 \leq d/h_{tot} < 0,2 \\ 1,65 \cdot \log_{10}(d/h_{tot}) + 3,15 & 0,2 \leq d/h_{tot} < 0,7 \\ -1,64 \cdot \log_{10}(d/h_{tot}) + 2,15 & 0,7 \leq d/h_{tot} < 2 \\ \frac{1,85}{d/h_{tot}} - 0,10 & 2 \leq d/h_{tot} \leq 5 \\ \frac{1,35}{d/h_{tot}} & d/h_{tot} > 5 \end{cases}$	Struttura snella (CNR-DT207 - § G.10.3)	$l = h_{tot}$
$c_{fY} = \begin{cases} \pm \left(0,7 + 0,1 \cdot \frac{d}{h_{tot}} \right) & 0 \leq d/h_{tot} \leq 5 \\ \pm 1,2 & d/h_{tot} > 5 \end{cases}$	(CNR-DT207 - § G.11.1)	$l = d$
$c_{mZ} = \pm 0,2$	(CNR-DT207 - § G.11.1)	$l = d$

Tabella 4.1 – Coefficienti aerodinamici CNR-DT 207

7.1.12.2 CNR-DT 207/2008 V. 1.02 Tipo di opera

Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni.

DATI SITO

Parametro Zona	$v_{b,0} =$	28,0 m/s
Parametro Zona	$a_0 =$	500 m
Parametro Zona	$k_a =$	0,36
Altezza sito s.l.m.	$a_s =$	84 m
Coefficiente di altitudine	$c_a =$	1,00
Velocità base riferimento	$v_b =$	28,0 m/s

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

Tempo di ritorno	TR =	100 anni
Coefficiente di ritorno	$c_r =$	1,06
Velocità riferim. Progetto	$v_r =$	29,75 m/s
Coefficiente di topografia	$c_t =$	1,00
Esposizione sito	$k_r =$	0,17
Esposizione sito	$z_0 =$	0,01 m
Esposizione sito	$z_{min} =$	2 m
Densità media aria	$\rho =$	1,25 daN/m ³

Dati geometrici impalcato 4 travi

altezza trave	1,60 m
spessore soletta	0,30 m
spessore marciapiede	0,18 m
delta per pendenza trasversale	6,15 %
altezza barriera	1,50 m
spessore pavimentazione	0,1 m
Altezza carico stradale	3,00 m
altezza centro impalcato dal suolo	10,60 m
larghezza fuori tutto	14,50 m

Dati geometrici impalcato 2 travi

altezza trave	1,60 m
spessore soletta	0,30 m
spessore marciapiede	0,18 m
delta per pendenza trasversale	6,15 %
altezza barriera	1,50 m
spessore pavimentazione	0,1 m
Altezza carico stradale	3,00 m
altezza centro impalcato dal suolo	10,60 m
larghezza fuori tutto	9,10 m

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

7.1.12.3 Azione del vento a ponte scarico

Ponte scarico 4 travi

altezza investita	4,47 m
quota riferimento	12,84 m
rapporto d/h_{tot}	3,24
coefficiente di esposizione	2,93
pressione picco vento	1,62 kN/m ²
coefficiente di forza X trasversale	0,47
coefficiente di forza Y verticale	1,02
coefficiente di momento	0,20
Risultante pressione X	11,06 kN/m
Risultante pressione Y	24,06 kN/m
Momento torcente	68,13 kNm/m

valori validi per rapporto $d/h_{tot} > 2$
--

Ponte scarico 2 travi

altezza investita	4,14 m
quota riferimento	12,67 m
rapporto d/h_{tot}	2,20
coefficiente di esposizione	2,92
pressione picco vento	1,62 kN/m ²
coefficiente di forza X trasversale	0,74
coefficiente di forza Y verticale	0,92
coefficiente di momento	0,20
Risultante pressione X	10,90 kN/m
Risultante pressione Y	13,53 kN/m
Momento torcente	26,76 kNm/m

valori validi per rapporto $d/h_{tot} > 2$
--

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

7.1.12.4 Azione del vento a ponte carico

Ponte carico 4 travi

altezza investita	5,89 m
quota riferimento	13,55 m
rapporto d/h_{tot}	2,46
coefficiente di esposizione	2,96
pressione picco vento	1,64 kN/m ²
coefficiente di forza X trasversale	0,65
coefficiente di forza Y verticale	0,95
coefficiente di momento	0,20
Risultante pressione X	15,49 kN/m
Risultante pressione Y	22,48 kN/m
Momento torcente	68,91 kNm/m

 valori validi per rapporto $d/h_{tot} > 2$

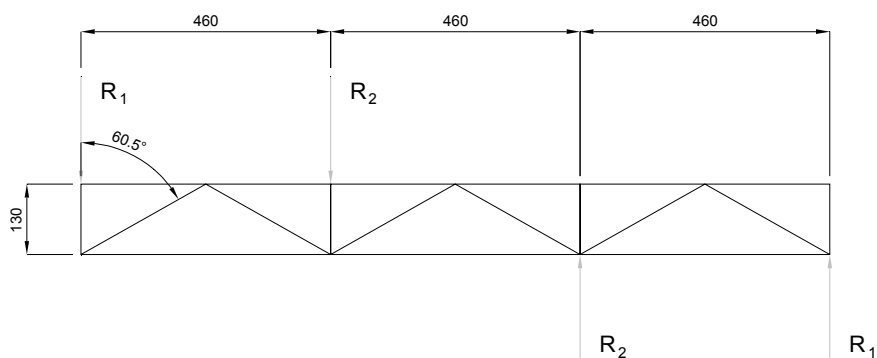
Ponte carico 2 travi

altezza investita	5,56 m
quota riferimento	13,38 m
rapporto d/h_{tot}	1,64
coefficiente di esposizione	2,95
pressione picco vento	1,63 kN/m ²
coefficiente di forza X trasversale	0,82
coefficiente di forza Y verticale	0,86
coefficiente di momento	0,20
Risultante pressione X	12,27 kN/m
Risultante pressione Y	12,85 kN/m
Momento torcente	27,07 kNm/m

 valori validi per rapporto $d/h_{tot} > 2$

Le azioni sopra calcolate vengono applicate, nel modello di calcolo a graticcio, alle travi principali come carico uniformemente distribuito, al fine di determinare le azioni globali (momento flettente, taglio, momento torcente) agenti sulle travi stesse.

Ponte 4 travi



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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 valore della reazione R1 si ottiene dall'equazione:

$$M_v = 15,47 \cdot \frac{5,89}{2} + 68,91 = 114,47 \text{ kNm}$$

$$114,47 = 2 \cdot (R1_{\text{vento}} \cdot 6,90 + R2_{\text{vento}} \cdot 2,30);$$

il rapporto tra le due incognite è:

$$R2_{\text{vento}} = R1_{\text{vento}} \cdot 0,333, \text{ da cui:}$$

$$R1_{\text{vento}} = 7,47 \text{ kN} \quad R2_{\text{vento}} = 2,49 \text{ kN}$$

Azione sulla trave esterna sx: $q_{\text{vento}} = \frac{22,48}{4} + 7,47 = 13,09 \text{ kN/m}$

Azione sulla trave interna sx: $q_{\text{vento}} = \frac{22,48}{4} + 2,49 = 8,11 \text{ kN/m}$

Azione sulla trave interna dx: $q_{\text{vento}} = \frac{22,48}{4} - 2,49 = 3,13 \text{ kN/m}$

Azione sulla trave esterna dx: $q_{\text{vento}} = \frac{22,48}{4} - 7,47 = -1,85 \text{ kN/m}$

Per la determinazione dell'azione del vento agente sui traversi si ricorre a favore di sicurezza ad un modello di calcolo "locale" descritto in seguito nella fase di verifica dei traversi stessi.

Ponte 2 travi

Azione sulla trave esterna sx: $q_{\text{vento}} = \frac{12,27 \cdot 5,56 / 2}{4,90} + \frac{12,85}{2} + \frac{27,07}{4,90} = 18,91 \text{ kN/m}$

Azione sulla trave esterna dx: $q_{\text{vento}} = -\frac{12,27 \cdot 5,56 / 2}{4,90} + \frac{12,85}{2} - \frac{27,07}{4,90} = -6,05 \text{ kN/m}$

Per la determinazione dell'azione del vento agente sui traversi si ricorre a favore di sicurezza ad un modello di calcolo "locale" descritto in seguito nella fase di verifica dei traversi stessi.

7.1.13 Combinazione di carico

Combinazione utilizzata nell'analisi dell'impalcato:

COEFFICIENTI DI COMBINAZIONE PER LE VERIFICHE ALLO SLU STR			
	γ	ψ	$\gamma \cdot \psi$
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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Accidentali mezzi	1,35	1,00	1,35	Azione base accidentali
Vento	1,5	0,60	0,90	
Deformazioni termiche	1,20	0,60	0,72	

7.1.14 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 ΔT 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.

	Δl_{long}	k_h	H_{att}
	mm	kN/mm	kN
SpA	20	2,50	203
P1	12	2,50	122
P2	3	2,50	30
P3	6	2,50	62
P4	13	2,50	125
SpB-3	19	2,50	100
SpB-4	20	2,50	101

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

7.2 ESCURSIONE DEI GIUNTI TRASVERSALI

I giunti devono essere in grado di assorbire una deformazione longitudinale dell'impalcato causata da una variazione termica ΔT di ± 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:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

	Δ_{term}	Δ_{sism}	$\Delta_{ammesso}$
	mm	mm	mm
SpA	±41	±179	±200
SpB-3	±39	±153	±200
SpB-4	±41	±152	±200

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

7.3 MODELLO DI CALCOLO

Il calcolo delle sollecitazioni è stato effettuato attraverso il codice ad elementi finiti "SAP2000NL"; l'intera struttura è stata discretizzata in elementi "beam" costituenti il graticcio di travi.

L'analisi delle sollecitazioni è stata svolta in più fasi distinte.

1) Analisi delle sollecitazioni per peso proprio acciaio e peso proprio soletta; nel graticcio di travi si è considerata l'inerzia delle sole travi longitudinali e trasversi.

2) Analisi delle sollecitazioni per carico permanente; nel graticcio di travi si è considerato il contributo dell'inerzia della soletta in c.a. alle travi longitudinali, con coefficiente di omogeneizzazione $n=18,73$.

3) Analisi delle sollecitazioni per carichi accidentali; nel graticcio di travi si è considerato il contributo dell'inerzia della soletta in c.a. alle travi longitudinali, con coefficiente di omogeneizzazione $n=6,24$.

3) Analisi delle sollecitazioni dovute agli effetti secondari del ritiro; nel graticcio di travi si è considerato il contributo dell'inerzia della soletta in c.a. alle travi longitudinali, con coefficiente di omogeneizzazione $n=19,53$.

I risultati dell'analisi sono contenuti nei tabulati di calcolo riportati al termine del presente capitolo, suddivisi nei seguenti files:

file R_1: analisi per peso proprio acciaio e peso proprio soletta;

file R_2: analisi per carichi permanenti;

file R_3: analisi per effetti secondari del ritiro;

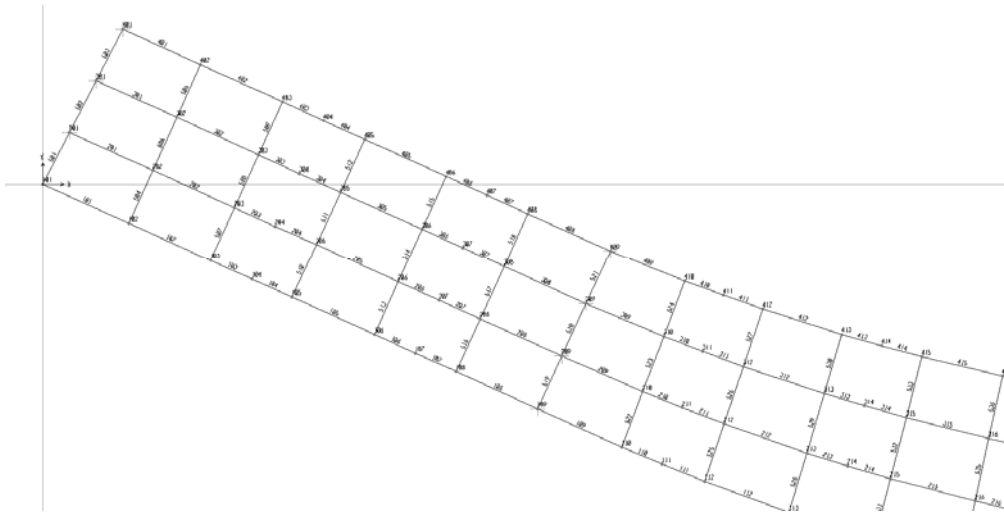
file R_4: analisi per carichi accidentali mezzi disposizione sx;

file R_5: analisi per carichi accidentali mezzi disposizione dx;

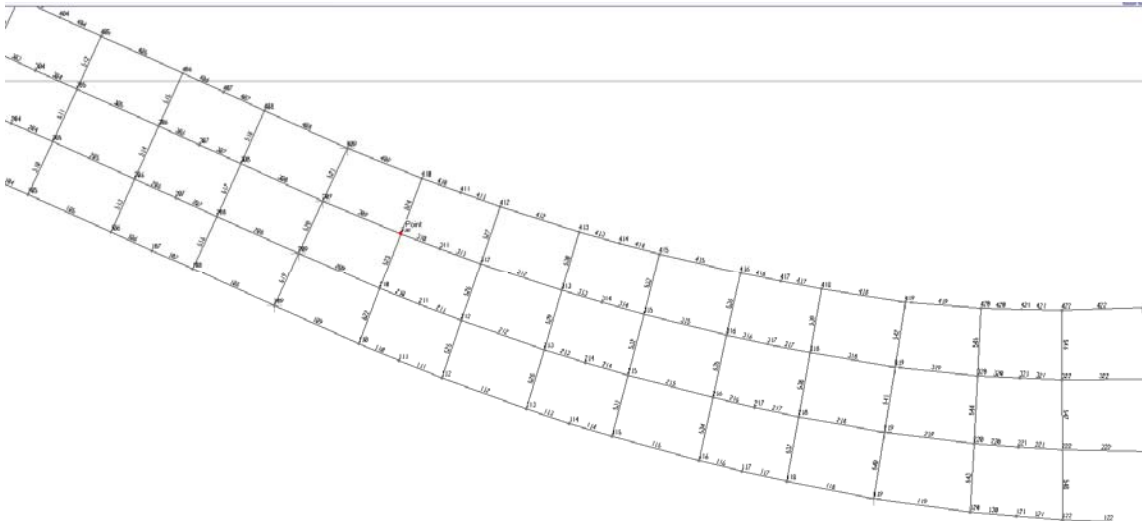
file R_6: analisi per carichi temperatura e vento;

file Rsisma: analisi sismica;

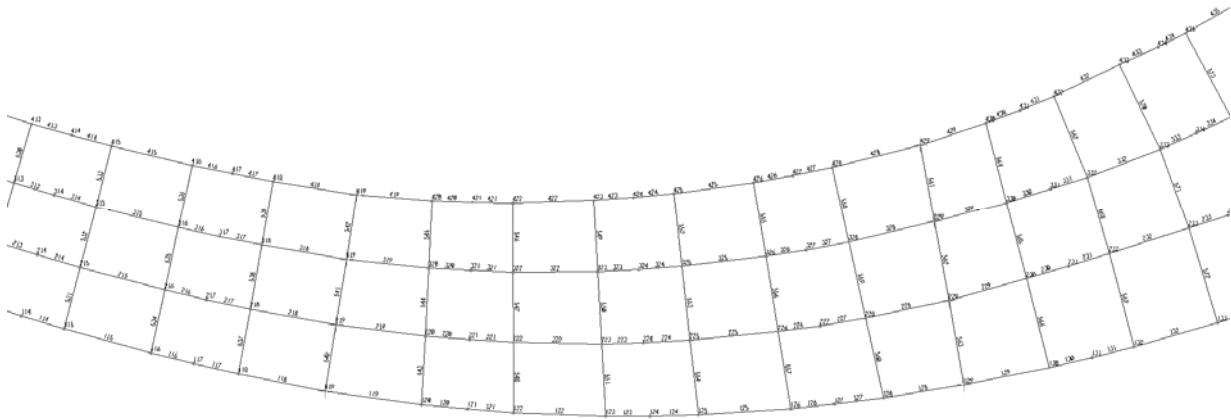
Nella pagine seguenti si evidenzia la modellazione utilizzata:



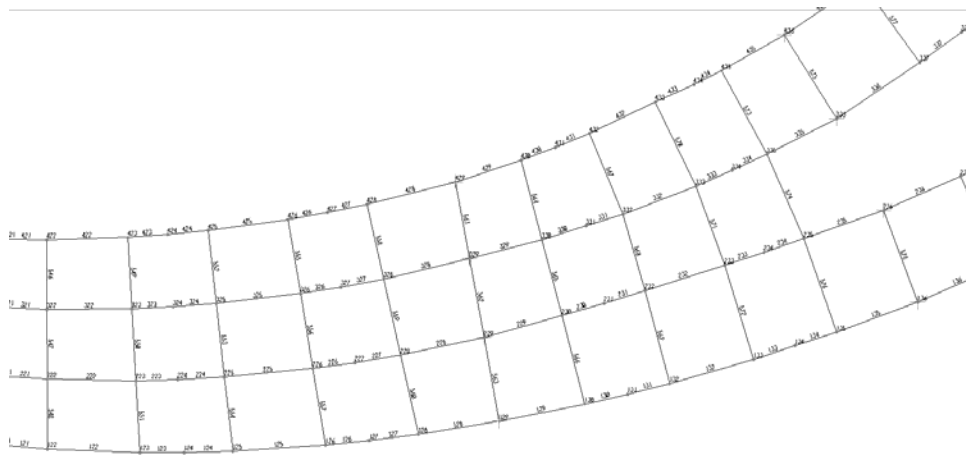
Frame e joint – prima campata



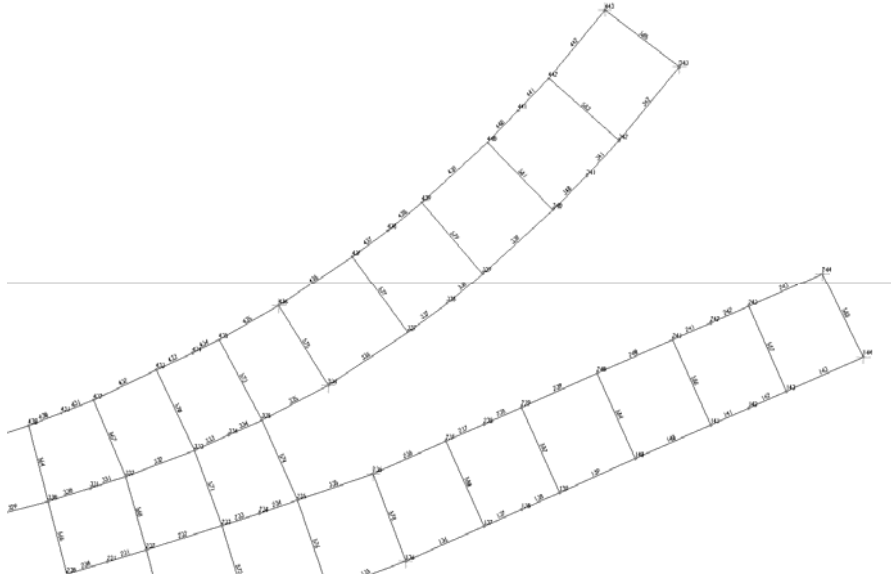
Frame e joint – seconda campata



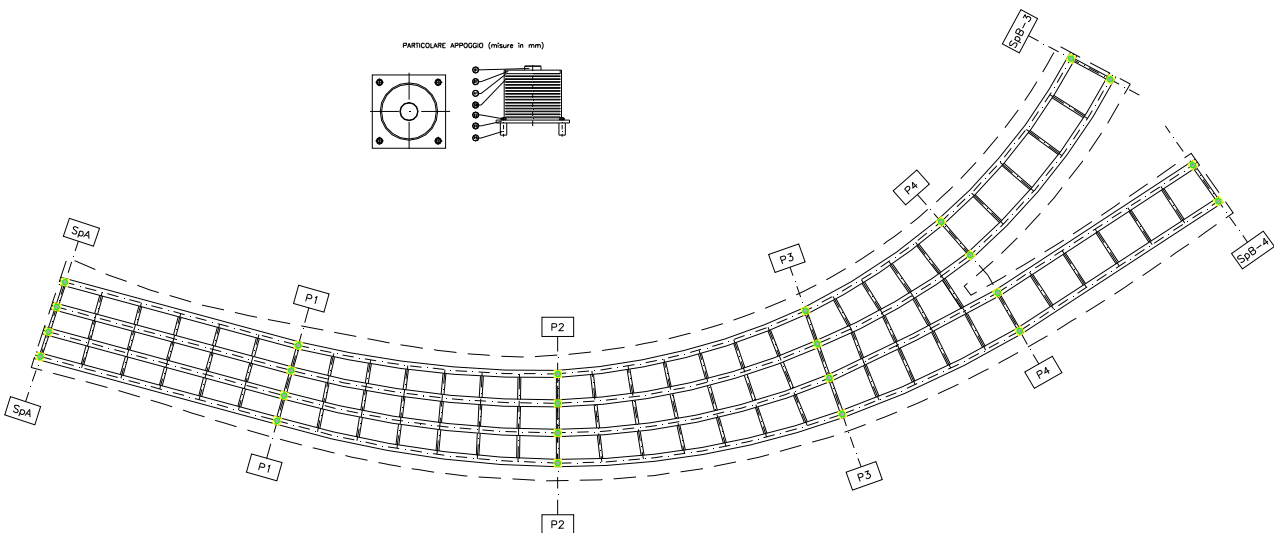
Frame e joint – terza campata



Frame e joint – quarta campata



Frame e joint – quinto campata



Schema di vincolamento del ponte.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

7.3.1 Modellazione a graticcio

Il ponte in oggetto viene schematizzato come graticcio di travi in cui si individuano due entità strutturali, quali le travi principali ed i traversi.

Vengono individuate due fasi fondamentali:

1ª Fase: il graticcio è costituito dalle sole travi in acciaio, ed è caricato dal peso proprio di queste e dalla soletta in c.a.;

2ª Fase: la soletta di impalcato di spessore pari a 30 cm, viene considerata collaborante con le travi principali per una lunghezza finita; il graticcio è caricato dai carichi permanenti ed accidentali.

7.3.1.1 Rigidezze flessionali

La schematizzazione a graticcio non permette di valutare la rigidezza ed il collegamento trasversale esercitato fra le travi longitudinali dalla soletta in c.a.; tale rigidezza viene considerata tramite l'analisi della distribuzione dei carichi, sia permanenti che accidentali, fra le varie nervature.

Lo schema assunto per tale ridistribuzione è quello di trave continua, ove la trave è rappresentata dalla soletta per la profondità di 1 mt e gli appoggi, supposti rigidi, sono rappresentati dalle travi longitudinali; le reazioni agli appoggi vengono assunte come carichi da applicare alle travi longitudinali nella modellazione a graticcio.

7.3.1.2 Rigidezze torsionali

Essendo l'impalcato torsiorigido per la presenza della soletta e dei controventi inferiori, la rigidezza torsionale viene valutata considerando una sezione a cassone equivalente.

In 2a fase, per carichi permanenti ed accidentali, la sezione a cassone equivalente è definita lateralmente dalle anime delle travi principali, inferiormente da una piastra di spessore equivalente ai controventi posta nel piano delle ali dei traversi e superiormente dalla soletta in c.a. che in questa fase costituisce un elemento strutturale. Lo spessore della soletta viene ridotto con coefficiente di omogeneizzazione pari a 16,83 per i carichi permanenti, e pari a 5,61 per i carichi accidentali.

L'inerzia così determinata, viene assegnata in parti uguali alle travi longitudinali nella modellazione a graticcio.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

7.3.2 Caratteristiche delle sezioni

La larghezza efficace, b_{eff} , di una soletta in calcestruzzo può essere determinata mediante l'espressione

$$b_{eff} = b_0 + b_{e1} + b_{e2}, \quad (4.3.2 \text{ D.M. 2008})$$

dove b_0 è la distanza tra gli assi dei connettori e $b_{ei} = \min(L_e/8, b_i)$ è il valore della larghezza collaborante da ciascun lato della sezione composta (vedi fig. 4.1).

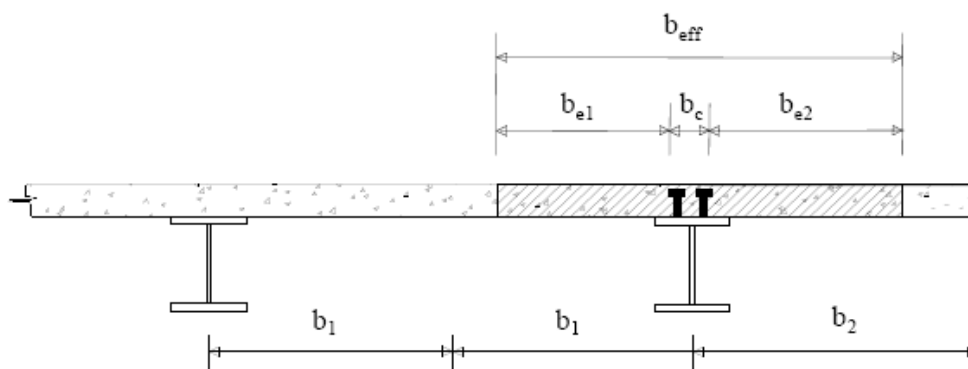


Figura 4.1 – Definizione della larghezza efficace b_{eff} e delle aliquote b_{ei} .

Le nelle travi semplicemente appoggiate è la luce della trave, nelle travi continue è la distanza indicata in fig. 4.2

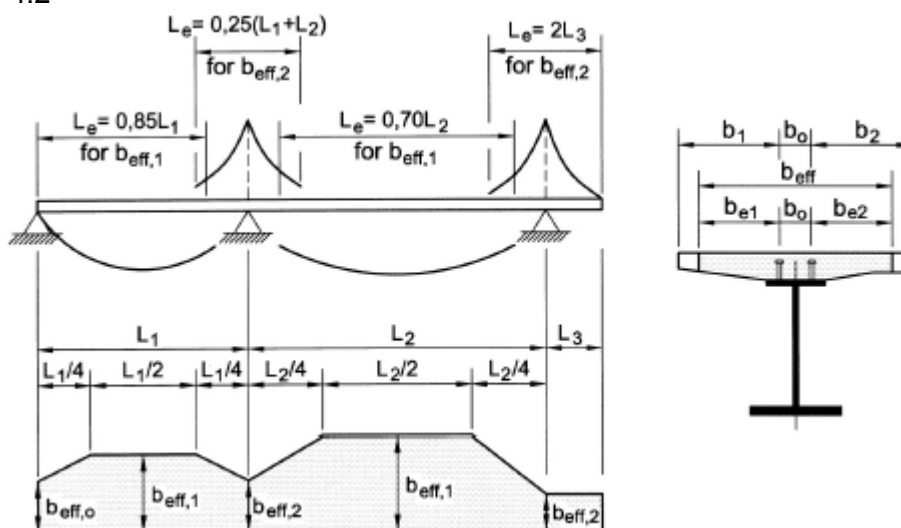



Figura 4.2 – Larghezza efficace b_{eff} e luci equivalenti L_e per le travi continue.

Per gli appoggi di estremità la formula diviene:

$$b_{eff} = b_0 + \beta_1 b_{e1} + \beta_2 b_{e2}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

dove $\beta_i = \left(0,55 + 0,025 \cdot \frac{L_e}{b_{ei}} \right) \leq 1,0$

7.3.2.1 Calcolo larghezza soletta collaborante

CAMPATA DI ESTREMITÀ L = 26,00 MT

Per il calcolo delle larghezze collaboranti del tratto di impalcato a 4 travi si considera prudenzialmente il punto di larghezza globale minore, pari a 11,70 m.

TRAVE ESTERNA

$$b_{ef1} : b_1 = 150 - 25 = 125 \text{ cm} \qquad \beta_1 = \left(0,55 + 0,025 \cdot \frac{2.600 \cdot 0,85}{125} \right) = 0,99$$

$$b_{ef1} = 125 \cdot 0,99 = 124 \text{ cm}$$

$$b_{ef2} : b_2 = \frac{290}{2} - 25 = 120 \text{ cm} \qquad \beta_2 = \left(0,55 + 0,025 \cdot \frac{2.600 \cdot 0,85}{120} \right) = 1,00$$

$$b_{ef2} = 120 \cdot 1,00 = 120 \text{ cm}$$

$$B = 50 + 124 + 120 = 294 \text{ cm}$$

A favore di sicurezza si assume nei calcoli una larghezza di soletta collaborante pari a 200 cm.

TRAVE INTERNA

$$b_{ef1} : b_1 = \frac{290}{2} - 25 = 120 \text{ cm} \qquad \beta_1 = \left(0,55 + 0,025 \cdot \frac{2.600 \cdot 0,85}{120} \right) = 1,00$$

$$b_{ef1} = 120 \cdot 1,00 = 120 \text{ cm}$$

$$b_{ef2} : b_2 = \frac{290}{2} - 25 = 120 \text{ cm} \qquad \beta_2 = \left(0,55 + 0,025 \cdot \frac{2.600 \cdot 0,85}{120} \right) = 1,00$$

$$b_{ef2} = 120 \cdot 1,00 = 120 \text{ cm}$$

$$B = 50 + 120 + 120 = 290 \text{ cm}$$

A favore di sicurezza si assume nei calcoli una larghezza di soletta collaborante pari a 200 cm.

APPOGGI SU PILE L = 21,00 + 26,00 MT

In favore di sicurezza si considera la larghezza collaborante sull'appoggio della pila P1 per tutti gli appoggi di pila, in quanto nel punto in questione la carreggiata è più stretta.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

TRAVE ESTERNA

$$b_{ef1} : b_1 = 150 - 25 = 125 \text{ cm} \qquad b_1 = \frac{L_e}{8} = \frac{(2.100 + 2.600) \cdot 0,25}{8} = 147 \text{ cm}$$

$$b_{ef2} : b_2 = \frac{290}{2} - 25 = 120 \text{ cm} \qquad b_2 = \frac{L_e}{8} = \frac{(2.100 + 2.600) \cdot 0,25}{8} = 147 \text{ cm}$$

$$B = 50 + 125 + 120 = 295 \text{ cm}$$

A favore di sicurezza si assume nei calcoli una larghezza di soletta collaborante pari a 200 cm.

TRAVE INTERNA

$$b_{ef1} : b_1 = \frac{290}{2} - 25 = 120 \text{ cm} \qquad b_1 = \frac{L_e}{8} = \frac{(2.100 + 2.600) \cdot 0,25}{8} = 147 \text{ cm}$$

$$b_{ef2} : b_2 = \frac{290}{2} - 25 = 120 \text{ cm} \qquad b_2 = \frac{L_e}{8} = \frac{(2.100 + 2.600) \cdot 0,25}{8} = 147 \text{ cm}$$

$$B = 50 + 120 + 120 = 290 \text{ cm}$$

A favore di sicurezza si assume nei calcoli una larghezza di soletta collaborante pari a 200 cm.

CAMPATE CENTRALI A 4 TRAVI L = 21,00 MT

In favore di sicurezza si considera la larghezza collaborante sulla campata tra le pile P1 e P2 per tutte le campate composte da 4 travi, in quanto nel punto in questione la carreggiata è più stretta e la luce di calcolo è minima.

TRAVE ESTERNA

$$b_{ef1} : b_1 = 150 - 25 = 125 \text{ cm} \qquad b_1 = \frac{L_e}{8} = \frac{2.100 \cdot 0,70}{8} = 184 \text{ cm}$$

$$b_{ef2} : b_2 = \frac{290}{2} - 25 = 120 \text{ cm} \qquad b_2 = \frac{L_e}{8} = \frac{2.100 \cdot 0,70}{8} = 184 \text{ cm}$$

$$B = 50 + 125 + 120 = 295 \text{ cm}$$

A favore di sicurezza si assume nei calcoli una larghezza di soletta collaborante pari a 200 cm.

TRAVE INTERNA

$$b_{ef1} : b_1 = \frac{290}{2} - 25 = 120 \text{ cm} \qquad b_1 = \frac{L_e}{8} = \frac{2.100 \cdot 0,70}{8} = 184 \text{ cm}$$

$$b_{ef2} : b_2 = \frac{290}{2} - 25 = 120 \text{ cm} \qquad b_2 = \frac{L_e}{8} = \frac{2.100 \cdot 0,70}{8} = 184 \text{ cm}$$

$$B = 50 + 120 + 120 = 290 \text{ cm}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

A favore di sicurezza si assume nei calcoli una larghezza di soletta collaborante pari a 200 cm.

CAMPATA DI ESTREMITÀ A 2 TRAVI P4-SPB-3 L = 25,25 MT

$$b_{ef1} : b_1 = 200 - 25 = 175 \text{ cm} \qquad \beta_1 = (0,55 + 0,025 \cdot \frac{2.525 \cdot 0,85}{175}) = 0,86$$

$$b_{ef1} = 175 \cdot 0,86 = 150 \text{ cm}$$

$$b_{ef2} : b_2 = \frac{490}{2} - 25 = 220 \text{ cm} \qquad \beta_2 = (0,55 + 0,025 \cdot \frac{2.525 \cdot 0,85}{220}) = 0,79$$

$$b_{ef2} = 220 \cdot 0,79 = 173 \text{ cm}$$

$$B = 50 + 150 + 173 = 373 \text{ cm}$$

A favore di sicurezza si assume nei calcoli una larghezza di soletta collaborante pari a 200 cm.

CAMPATA DI ESTREMITÀ A 2 TRAVI P4-SPB-4 L = 25,97 MT

$$b_{ef1} : b_1 = 120 - 25 = 95 \text{ cm} \qquad \beta_1 = (0,55 + 0,025 \cdot \frac{2.597 \cdot 0,85}{95}) = 1,00$$

$$b_{ef1} = 95 \cdot 1,0095 \text{ cm}$$

$$b_{ef2} : b_2 = \frac{490}{2} - 25 = 220 \text{ cm} \qquad \beta_2 = (0,55 + 0,025 \cdot \frac{2.597 \cdot 0,85}{220}) = 0,80$$

$$b_{ef2} = 220 \cdot 0,80 = 176 \text{ cm}$$

$$B = 50 + 95 + 176 = 321 \text{ cm}$$

A favore di sicurezza si assume nei calcoli una larghezza di soletta collaborante pari a 200 cm.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0

7.3.2.2 Caratteristiche geometriche

TRAVI PRINCIPALI

		A	B	C	D	E	F	G	H
	H(cm)	160	160	160	160	160	160	160	160
ALA SUPERIORE	spess	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	4,0
	largh	60	60	80	60	80	60	80	80
RADDOPPIO SUPERIORE	spess	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	largh	0	0	0	0	0	0	0	0
ALA INFERIORE	spess	3,0	3,0	4,0	3,0	4,0	3,0	4,0	4,0
	largh	80	80	80	80	80	80	80	80
RADDOPPIO INFERIORE	spess	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	largh	0	0	0	0	0	0	0	0
ANIMA	spess	1,6	1,6	1,8	1,6	1,8	1,6	1,8	1,8
PREDALLE	spess	6	6	6	6	6	6	6	6
SOLETTA	spess	30	30	30	30	30	30	30	30
SOLETTA	spess	24	24	24	24	24	24	24	24
COLLAB.	largh	200	200	200	200	200	200	200	200
SEZIONE METALLICA	A (cm ²)	666	666	835	666	835	666	835	914
	y _i (cm)	73	73	73	73	73	73	73	80
	J _x (cm ⁴)	3.042.139	3.042.139	3.920.893	3.042.139	3.920.893	3.042.139	3.920.893	4.421.385
	J _y (cm ⁴)	182.053	182.053	298.741	182.053	298.741	182.053	298.741	341.407
	J _{torc} (cm ⁴)	740.810	1.010.937	872.323					
SOLETTA COLLAB. 18,72	A (cm ²)	923	923	1.092	923	1.092	923	1.092	1.170
	y _i (cm)	102	102	98	102	98	102	98	101
	J _x (cm ⁴)	5.098.525	5.098.525	6.102.863	5.098.525	6.102.863	5.098.525	6.102.863	6.356.580
	J _y (cm ⁴)	1.036.753	1.036.753	1.153.442	1.036.753	1.153.442	1.036.753	1.153.442	1.196.108
	J _{torc} (cm ⁴)	1.985.012	1.985.012	3.876.568					
SOLETTA COLLAB. 6,24	A (cm ²)	1.436	1.436	1.605	1.436	1.605	1.436	1.605	1.683
	y _i (cm)	129	129	123	129	123	129	123	125
	J _x (cm ⁴)	7.020.806	7.020.806	8.386.609	7.020.806	8.386.609	7.020.806	8.386.609	8.469.047
	J _y (cm ⁴)	2.746.155	2.746.155	2.862.844	2.746.155	2.862.844	2.746.155	2.862.844	2.905.510
	J _{torc} (cm ⁴)	2.200.015	2.200.015	4.485.854					
SOLETTA COLLAB. 19,54	A (cm ²)	912	912	1.081	912	1.081	912	1.081	1.159
	y _i (cm)	101	101	97	101	97	101	97	101
	J _x (cm ⁴)	5.035.332	5.035.332	6.031.985	5.035.332	6.031.985	5.035.332	6.031.985	6.292.469
	J _y (cm ⁴)	1.000.886	1.000.886	1.117.574	1.000.886	1.117.574	1.000.886	1.117.574	1.160.240
	J _{torc} (cm ⁴)	1.973.727	1.973.727	3.844.958					
2,20E-04	Nr.tot (kg)	1,0921E+05	1,0921E+05	1,0921E+05	1,0921E+05	1,0921E+05	1,0921E+05	1,0921E+05	1,0921E+05
	8	8,2394E-07	8,2394E-07	7,2809E-07	8,2394E-07	7,2809E-07	8,2394E-07	7,2809E-07	6,6332E-07
	8t/h	8,2	8,2	7,3	8,2	7,3	8,2	7,3	6,6

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0

		I	L	M	N	O	P	Q	R
	H(cm)	160	160	160	160	160	160	160	160
ALA SUPERIORE	spess	3,0	3,0	4,0	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0
	largh	60	60	80	80	60	60	60	60
RADDOPPIO SUPERIORE	spess	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	largh	0	0	0	0	0	0	0	0
ALA INFERIORE	spess	3,0	3,0	4,0	4,0	3,0	3,0	3,0	3,0
	largh	80	80	80	80	80	80	80	80
RADDOPPIO INFERIORE	spess	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	largh	0	0	0	0	0	0	0	0
ANIMA	spess	1,6	1,6	1,8	1,8	1,6	1,6	1,6	1,6
PREDALLE	spess	6	6	6	6	6	6	6	6
SOLETTA	spess	30	30	30	30	30	30	30	30
SOLETTA COLLAB.	spess	24	24	24	24	24	24	24	24
	largh	200	200	200	200	200	200	200	200
SEZIONE METALLICA	A (cm ²)	666	666	914	914	666	666	666	666
	y _i (cm)	73	73	80	80	73	73	73	73
	J _x (cm ⁴)	3.042.139	3.042.139	4.421.385	4.421.385	3.042.139	3.042.139	3.042.139	3.042.139
	J _y (cm ⁴)	182.053	182.053	341.407	341.407	182.053	182.053	182.053	182.053
	J _{torc} (cm ⁴)								
SOLETTA COLLAB. 18,72	A (cm ²)	923	923	1.170	1.170	923	923	923	923
	y _i (cm)	102	102	101	101	102	102	102	102
	J _x (cm ⁴)	5.098.525	5.098.525	6.356.580	6.356.580	5.098.525	5.098.525	5.098.525	5.098.525
	J _y (cm ⁴)	1.036.753	1.036.753	1.196.108	1.196.108	1.036.753	1.036.753	1.036.753	1.036.753
	J _{torc} (cm ⁴)								
SOLETTA COLLAB. 6,24	A (cm ²)	1.436	1.436	1.683	1.683	1.436	1.436	1.436	1.436
	y _i (cm)	129	129	125	125	129	129	129	129
	J _x (cm ⁴)	7.020.806	7.020.806	8.469.047	8.469.047	7.020.806	7.020.806	7.020.806	7.020.806
	J _y (cm ⁴)	2.746.155	2.746.155	2.905.510	2.905.510	2.746.155	2.746.155	2.746.155	2.746.155
	J _{torc} (cm ⁴)								
SOLETTA COLLAB. 19,54	A (cm ²)	912	912	1.159	1.159	912	912	912	912
	y _i (cm)	101	101	101	101	101	101	101	101
	J _x (cm ⁴)	5.035.332	5.035.332	6.292.469	6.292.469	5.035.332	5.035.332	5.035.332	5.035.332
	J _y (cm ⁴)	1.000.886	1.000.886	1.160.240	1.160.240	1.000.886	1.000.886	1.000.886	1.000.886
	J _{torc} (cm ⁴)								
2,20E-04	Nr,tot (kg)	1,0921E+05	1,0921E+05	1,0921E+05	1,0921E+05	1,0921E+05	1,0921E+05	1,0921E+05	1,0921E+05
	8	8,2394E-07	8,2394E-07	6,6332E-07	6,6332E-07	8,2394E-07	8,2394E-07	8,2394E-07	8,2394E-07
	8t/h	8,2	8,2	6,6	6,6	8,2	8,2	8,2	8,2

INERZIE DI CONTINUITÀ

Secondo quanto previsto dalla C.N.R. - U.N.I. 10016 - 97: "Travi composte di acciaio e calcestruzzo. Istruzioni per l'impiego nelle costruzioni" e ripreso dal D.M. 14/01/2008 " Norme tecniche per le costruzioni", nelle zone a momento negativo, per tener conto della fessurazione della soletta in c.a., si deve trascurare il contributo del calcestruzzo alla rigidità dell'elemento e visto che le campate differiscono tra loro più o meno del 60% si considera una zona fessurata all'estremità delle campate in adiacente le pile pari al 15% della luce delle campate; l'unico contributo di cui tener conto in tali zone è quello dato dalle armature longitudinali della soletta

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

stessa.

Si riportano di seguito le inerzie assunte alla base dei calcoli nelle zone interessate.

		C	E	G	H	M	N
	H(cm)	160	160	160	160	160	160
ALA SUPERIORE	spess	3,0	3,0	3,0	4,0	4,0	4,0
	largh	80	80	80	80	80	80
RADDOPPIO SUPERIORE	spess	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	largh	0	0	0	0	0	0
ALA INFERIORE	spess	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
	largh	80	80	80	80	80	80
RADDOPPIO INFERIORE	spess	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	largh	0	0	0	0	0	0
ANIMA	spess	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
PREDALLE	spess	6	6	6	6	6	6
SOLETTA	spess	30	30	30	30	30	30
SOLETTA COLLAB.	spess	24	24	24	24	24	24
	largh	200	200	200	200	200	200
SEZIONE METALLICA	A (cm ²)	835	835	835	914	914	914
	y _i (cm)	73	73	73	80	80	80
	J _x (cm ⁴)	3.920.893	3.920.893	3.920.893	4.421.385	4.421.385	4.421.385
	J _y (cm ⁴)	298.741	298.741	298.741	341.407	341.407	341.407
	J _{torc} (cm ⁴)	872.323					
SEZIONE METALLICA + FERRI	predalle (cm)	6	6	6	6	6	6
	8 sup (mm)	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	n° sup	20	20	20	20	20	20
	8 inf (mm)	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
	n° inf	20	20	20	20	20	20
	A (cm ²)	949	949	949	1.027	1.027	1.027
	y _i (cm)	85	85	85	91	91	91
J _x (cm ⁴)	5.038.835	5.038.835	5.038.835	5.403.711	5.403.711	5.403.711	

DIAFRAMMI DI CAMPATA

Il traverso di campata è composto da n° 2 elementi angolari accoppiati 150 x 14 posti superiormente e da n° 2 elementi angolari accoppiati 150 x 14 posti inferiormente, collegati da n° 2+2 elementi angolari 120 x 10 diagonali.

Caratteristiche geometriche del profilato singolo (angolare 150 x 14):

Area: 40,30 cm²

J_{x-x} = J_{y-y}: 845,4 cm⁴

ρ_{x-x} = ρ_{y-y}: 4,58 cm

J_{torc}: ≅ 0 cm⁴

Caratteristiche geometriche del profilato singolo (angolare 120 x 10):

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Area: 23,20 cm²

$J_{x-x} = J_{y-y}$: 313 cm⁴

$\rho_{x-x} = \rho_{y-y}$: 3,67 cm

J_{torc} : \cong 0 cm⁴

DIAFRAMMI DI APPOGGIO

Il traverso di appoggio è composto da n° 2 elementi angolari accoppiati 200 x 18 posti superiormente e da n° 2 elementi angolari accoppiati 200 x 18 posti inferiormente, collegati da n° 2+2 elementi angolari 130 x 12 diagonali.

Caratteristiche geometriche del profilato singolo (angolare 200 x 18):

Area: 69,10 cm²

$J_{x-x} = J_{y-y}$: 2.600 cm⁴

$\rho_{x-x} = \rho_{y-y}$: 6,13 cm

J_{torc} : \cong 0 cm⁴

Caratteristiche geometriche del profilato singolo (angolare 130 x 12):

Area: 30,00 cm²

$J_{x-x} = J_{y-y}$: 472,2 cm⁴

$\rho_{x-x} = \rho_{y-y}$: 3,97 cm

J_{torc} : \cong 0 cm⁴

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

7.4 CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI

Il calcolo delle sollecitazioni è stato effettuato attraverso il codice ad elementi finiti "SAP2000NL"; l'intera struttura è stata discretizzata in elementi "beam" costituenti il graticcio di travi.

L'analisi delle sollecitazioni è stata svolta in più fasi distinte.

1) Analisi delle sollecitazioni per peso proprio acciaio e peso proprio soletta; nel graticcio di travi si è considerata l'inerzia delle sole travi longitudinali e trasversi.

2) Analisi delle sollecitazioni per carico permanente; nel graticcio di travi si è considerato il contributo dell'inerzia della soletta in c.a. alle travi longitudinali, con coefficiente di omogeneizzazione $n=18,73$.

3) Analisi delle sollecitazioni per carichi accidentali; nel graticcio di travi si è considerato il contributo dell'inerzia della soletta in c.a. alle travi longitudinali, con coefficiente di omogeneizzazione $n=6,24$.

3) Analisi delle sollecitazioni dovute agli effetti secondari del ritiro; nel graticcio di travi si è considerato il contributo dell'inerzia della soletta in c.a. alle travi longitudinali, con coefficiente di omogeneizzazione $n=19,53$.

I risultati dell'analisi sono contenuti nei tabulati di calcolo riportati al termine del presente capitolo, suddivisi nei seguenti files:

file R_1: analisi per peso proprio acciaio e peso proprio soletta;

file R_2: analisi per carichi permanenti;

file R_3: analisi per effetti secondari del ritiro;

file R_4: analisi per carichi accidentali mezzi disposizione sx;

file R_5: analisi per carichi accidentali mezzi disposizione dx;

file R_6: analisi per carichi temperatura e vento;

file Rsisma: analisi sismica;

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

7.5 VERIFICA DELLE SEZIONI

7.5.1 VERIFICHE FONDAMENTALI

7.5.1.1 TRAVI PRINCIPALI

In allegato A e B si riportano le verifiche statiche e sismiche a flessione, taglio e torsione delle travi principali.

7.5.1.2 TRAVERSI

TRAVERSO DI CAMPATA

Dall'analisi strutturale, si ricavano i seguenti valori di sollecitazione per i traversi maggiormente sollecitati:

frame	
	M (kNm)
Acciaio	19,30
Soletta	113,80
Permanenti	61,30
Accidentali mezzi	366,0
Totale	560,4

frame	
	T (kN)
Acciaio	7,0
Soletta	34,2
Permanenti	24,2
Accidentali mezzi	390
Totale	455,4

Si riportano i valori delle sollecitazioni allo stato Limite Ultimo, che corrisponde alla combinazione di carico in cui l'azione accidentale principale è rappresentata dai mezzi:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

$$M_{SD} = 1,35 \cdot (19,3 + 113,80) + 1,50 \cdot 61,30 + 1,35 \cdot 366 = 766 \text{ kNm}$$

$$T_{SD} = 1,35 \cdot (7,0 + 34,20) + 1,50 \cdot 24,2 + 1,35 \cdot 390 = 618,42 \text{ kN}$$

L'azione flettente viene assorbita dagli elementi orizzontali (2L 150x14 superiori e inferiori), mentre l'azione di taglio viene assorbita dagli elementi diagonali (2L 130x12). Prudenzialmente si effettua il calcolo sul traverso più sollecitato che ha luce pari 460 cm.

A tali sollecitazioni si aggiungono gli effetti prodotti dall'azione orizzontale del vento considerata su un'area di influenza pari al passo dei diaframmi; in accordo con le NTC 2008 si considera inoltre un momento torcente distribuito avente la medesima area di influenza.

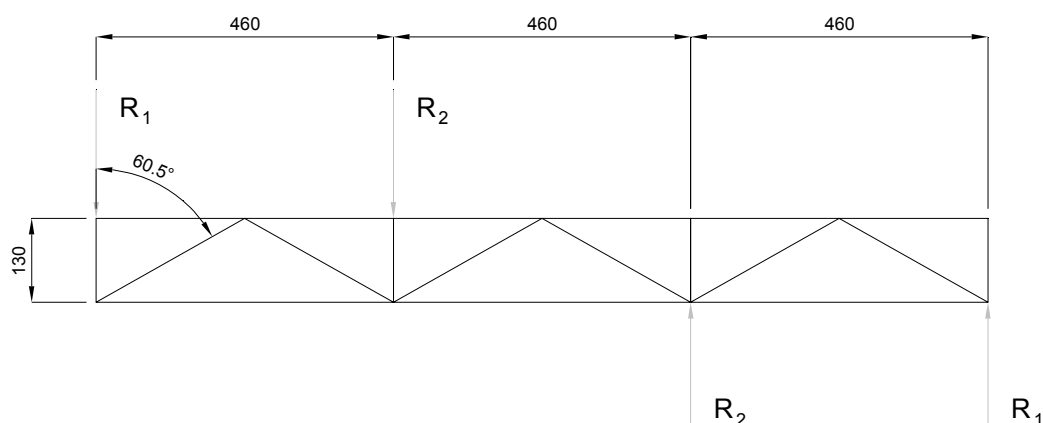
Tali azioni sono nel seguito riportate:

Ponte carico 4 travi

altezza investita	5,89 m
quota riferimento	13,55 m
rapporto d/h_{tot}	2,46
coefficiente di esposizione	2,96
pressione picco vento	1,64 kN/m ²
coefficiente di forza X trasversale	0,65
coefficiente di forza Y verticale	0,95
coefficiente di momento	0,20



valori validi per rapporto $d/h_{tot} > 2$

Risultante pressione X	15,49 kN/m
Risultante pressione Y	22,48 kN/m
Momento torcente	68,91 kNm/m



L'interasse tra i traversi in corrispondenza del traverso di campata maggiormente sollecitato è pari a 4,50 mt; il valore della reazione R1 si ottiene dall'equazione:

$$(45,62 + 68,91) \cdot 4,50 = 2 \cdot (R1_{vento} \cdot 6,90 + R2_{vento} \cdot 2,30);$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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 rapporto tra le due incognite è:

$$R2_{\text{vento}} = R1_{\text{vento}} \cdot 0,333, \text{ da cui:}$$

$$R1_{\text{vento}} = 33,61 \text{ kN} \quad R2_{\text{vento}} = 11,20 \text{ kN}$$

Sollecitazioni sui correnti: $N_{\text{correnti}} = (45,62 + 68,91) \cdot 4,50 / 1,30 = 396,45 \text{ kN}$

Sollecitazioni sui diagonali: $N_{\text{diagonali}} = 33,61 / \cos 60^{\circ},5 = 68,26 \text{ kN}$

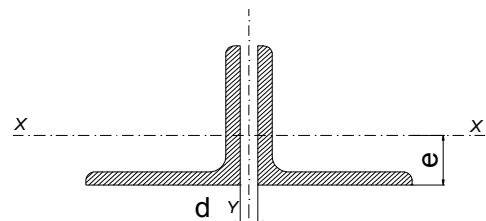
CORRENTI

$$N_{\text{sup}} = N_{\text{inf}} = \frac{766}{1,30} + 0,9 \cdot 396,45 = 946 \text{ kN}$$

DATI GEOMETRICI

Area di 1 profilo (cm ²)	40,30
Distanza e (cm)	4,21
Inerzia di un singolo profilo (cm ⁴)	845,00
Distanza profilo d (cm)	2,00
Interasse calastrelli (cm)	70,00
Raggio d'inerzia x-x (cm)	4,58
Snellezza dir X-X	100
Raggio d'inerzia y-y (cm)	6,94
Raggio d'inerzia min (cm)	2,94
Snellezza dir Y-Y	70

150x14



Lunghezza elemento (cm)	460
-------------------------	-----

$\omega =$ \ Coeff. ω relativo alla snellezza maggiore

Si riporta di seguito la verifica del corrente calastrellato in accordo con quanto riportato dalle NTC2008 al paragrafo 4.2.4.1.3.1:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

VERIFICA DIAFRAMMI CALASTRELLATI

CORRENTE DI CAMPATA

CALCOLO CLASSE DEL PROFILO

	PROFILO L 150x14	Valore	u.d.m.
h	lunghezza ala	150	mm
t	spessore ala	14	mm
	rapporto h/t	10,71	
	tipo di acciaio	S	
f _{yk}	tensione caratteristica	355	N/mm ²
	coefficiente	0,81	
	classe del profilo	3	

VERIFICA A STABILITA' PER COMPRESSIONE - par. 4.2.4.1.3.1 NTC2008

	Descrizione	Valore	u.d.m.
x	snellezza direzione x-x	100	
y	snellezza direzione y-y	70	
A	area lorda di un profilo	4.030	mm ²
A _{eff}	area efficace di un profilo		mm ²
cr	sforzo critico euleriano	203	N/mm ²

Carico critico elastico =	N _{cr} =	1.636.180	N
Snellezza adimensionale	' =	1,322	
Fattore di imperfezione	=	0,34	
Fattore adimensionale	=	1,565	
Coefficiente per instabilità	=	0,416	

N _{Ed}	Azione normale di progetto	946	kN
M ₁	Coefficiente di sicurezza instabilità	1,10	
N _{b,Rd}	Resistenza dell'asta compressa	1.083	kN



Verifica: $N_{ed} / N_{b,Rd} \leq 1,00 = 0,874$

VERIFICA SODDISFATTA

Verifica dei bulloni

Si dispongono 4 bulloni M27 classe 10.9 a taglio $N_{Sb} = \frac{94.600}{4} = 23.650$ daN che risulta minore della resistenza a taglio del bullone:

$$F_{v,Rd} = 0,50 \cdot \frac{A_{res} \cdot f_{tb}}{\gamma_{M2}} = 0,50 \cdot \frac{2 \cdot 459 \cdot 1.000}{1,25} \cdot 10^{-1} = 36.720 \text{ daN}$$

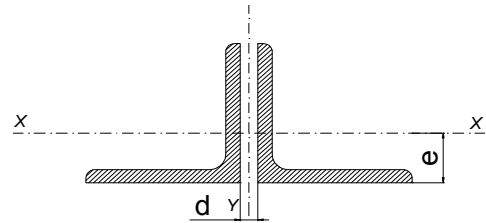
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

DIAGONALI

$$N_{DIAG} = \frac{618}{\cos 60,5^\circ} + 0,9 \cdot 68,26 = 1.316 \text{ kN}$$

DATI GEOMETRICI

Area di 1 profilo (cm ²)	30,00	130x12
Distanza e (cm)	3,64	
Inerzia di un singolo contr. (cm ⁴)	472,00	
Distanza profili d (cm)	2,00	
Interasse calastrelli (cm)	55,00	
Raggio d'inerzia x-x (cm)	3,97	
Snellezza dir X-X	66	
Raggio d'inerzia y-y (cm)	6,10	
Raggio d'inerzia min (cm)	2,55	
Snellezza dir Y-Y	48	



Lunghezza elemento (cm)	264
-------------------------	-----

$\omega =$ \ Coeff. ω relativo alla snellezza maggiore

Si riporta di seguito la verifica del corrente calastrellato in accordo con quanto riportato dalle NTC2008 al paragrafo 4.2.4.1.3.1:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

VERIFICA DIAFRAMMI CALASTRELLATI

DIAGONALI DI CAMPATA

CALCOLO CLASSE DEL PROFILO

	PROFILO L 130x12	Valore	u.d.m.
h	lunghezza ala	130	mm
t	spessore ala	12	mm
	rapporto h/t	10,83	
	tipo di acciaio	S	355
f _{yk}	tensione caratteristica	355	N/mm ²
λ	coefficiente	0,81	
	classe del profilo	3	

VERIFICA A STABILITA' PER COMPRESSIONE - par. 4.2.4.1.3.1 NTC2008

	Descrizione	Valore	u.d.m.
λ _x	snellezza direzione x-x	66	
λ _y	snellezza direzione y-y	48	
A	area lorda di un profilo	3.000	mm ²
A _{eff}	area efficace di un profilo		mm ²
λ _{cr}	sforzo critico euleriano	470	N/mm ²

Carico critico elastico =	N _{cr} =	2.820.000	N
Snellezza adimensionale	λ' =	0,869	
Fattore di imperfezione	λ =	0,34	
Fattore adimensionale	λ =	0,991	
Coefficiente per instabilità	λ =	0,681	

N _{Ed}	Azione normale di progetto	1.316	kN
λ _{M1}	Coefficiente di sicurezza instabilità	1,10	
N _{b,Rd}	Resistenza dell'asta compressa	1.319	kN

Verifica: $N_{ed} / N_{b,Rd} \leq 1,00 = 0,998$

VERIFICA SODDISFATTA

Verifica dei bulloni

Si dispongono 4 bulloni M27 classe 10.9 a taglio $N_{sb} = \frac{131.600}{4} = 32.900$ daN che risulta minore

della resistenza a taglio del bullone:

$$F_{v,Rd} = 0,50 \cdot \frac{A_{res} \cdot f_{tb}}{\gamma_{M2}} = 0,50 \cdot \frac{2 \cdot 459 \cdot 1.000}{1,25} \cdot 10^{-1} = 36.720 \text{ daN}$$

TRAVERSO DI APPOGGIO

Dall'analisi strutturale, si ricavano i seguenti valori di sollecitazione per i traversi maggiormente

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

sollecitati:

frame	M (kNm)
Acciaio	35,20
Soletta	146,8
Permanenti	65,70
Accidentali mezzi	350
Totale	597,7

frame	T (kN)
Acciaio	19,4
Soletta	71,8
Permanenti	31,7
Accidentali mezzi	410
Totale	532,9

Si riportano i valori delle sollecitazioni allo stato Limite Ultimo, che corrisponde alla combinazione di carico in cui l'azione accidentale principale è rappresentata dal vento:



$$M_{SD} = 1,35 \cdot (35,2 + 146,80) + 1,50 \cdot 65,70 + 1,01 \cdot 350 = 698 \text{ kNm}$$

$$T_{SD} = 1,35 \cdot (19,4 + 71,80) + 1,50 \cdot 31,7 + 1,01 \cdot 410 = 585 \text{ kN}$$

L'azione flettente viene assorbita dagli elementi orizzontali (2L 250x22 superiori e inferiori), mentre l'azione di taglio viene assorbita dagli elementi diagonali (2L 150x14).

A tali sollecitazioni si aggiungono gli effetti prodotti dall'azione orizzontale del vento considerata su un'area di influenza pari alla campata peggiore; in accordo con le NTC 2008 si considera inoltre un momento torcente distribuito avente la medesima area di influenza.

Tali azioni sono nel seguito riportate:

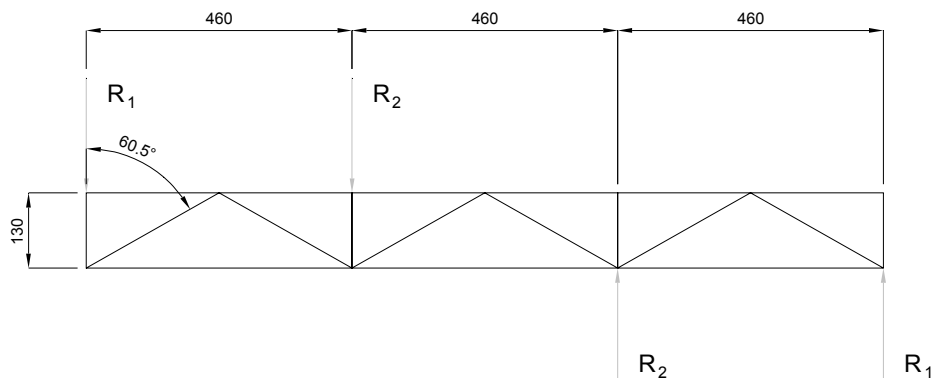
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <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						

Ponte carico 4 travi

altezza investita	5,89 m
quota riferimento	13,55 m
rapporto d/h_{tot}	2,46
coefficiente di esposizione	2,96
pressione picco vento	1,64 kN/m ²
coefficiente di forza X trasversale	0,65
coefficiente di forza Y verticale	0,95
coefficiente di momento	0,20

valori validi per rapporto $d/h_{tot} > 2$

Risultante pressione X	15,49 kN/m
Risultante pressione Y	22,48 kN/m
Momento torcente	68,91 kNm/m



Si considera come larghezza di influenza dell'azione orizzontale del vento pari a:

$$L_{inf} = \frac{(30,00 + 30,00)}{2} = 30,00 \text{ m}$$

$$(45,62 + 68,91) \cdot 30,00 = 2 \cdot (R1_{vento} \cdot 6,90 + R2_{vento} \cdot 2,30);$$

il rapporto tra le due incognite è:



$$R2_{vento} = R1_{vento} \cdot 0,333, \text{ da cui:}$$

$$R1_{vento} = 224,08 \text{ kN} \quad R2_{vento} = 74,69 \text{ kN}$$

Il vento risulta essere l'azione accidentale principale:

$$\text{Sollecitazioni sui correnti: } N_{correnti} = 1,50 \cdot (45,62 + 68,91) \cdot 30 / 1,30 = 3.964 \text{ kN}$$

$$\text{Sollecitazioni sui diagonali: } N_{diagonali} = 1,50 \cdot 224,08 / \cos 60^{\circ},5 = 682 \text{ kN}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO	Codice documento SS0706_F0.doc	Rev F0

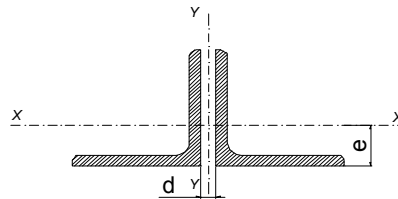
CORRENTI

$$N_{sup} = N_{inf} = \frac{698}{1,30} + 3.964 = 4.500 \text{ kN}$$

VERIFICA CORRENTE APPOGGI

DATI GEOMETRICI

Area di 1 profilo (cm ²)	106,00	250x22
Distanza e (cm)	7,01	
Inerzia di un singolo profilo (cm ⁴)	6.249,00	
Distanza profilo d (cm)	3,00	
Interasse calastrelli (cm)	70,00	
Raggio d'inerzia x-x (cm)	7,70	
Snellezza dir X-X	60	
Raggio d'inerzia y-y (cm)	11,46	
Raggio d'inerzia min (cm)	4,92	
Snellezza dir Y-Y	43	



Lunghezza elemento (cm) 460

\ Coeff. J relativo alla snellezza maggiore

Si riporta di seguito la verifica del corrente calastrellato in accordo con quanto riportato dalle NTC2008 al paragrafo 4.2.4.1.3.1:

VERIFICA DIAFRAMMI CALASTRELLATI

CORRENTE DI APPOGGIO

CALCOLO CLASSE DEL PROFILO

	PROFILO L 250x22	Valore	u.d.m.
h	lunghezza ala	250	mm
t	spessore ala	22	mm
	rapporto h/t	11,36	
	tipo di acciaio	S	
f _{yk}	tensione caratteristica	355	N/mm ²
	coefficiente	0,81	
	classe del profilo	3	

VERIFICA A STABILITA' PER COMPRESSIONE - par. 4.2.4.1.3.1 NTC2008

	Descrizione	Valore	u.d.m.
$\bar{\lambda}_x$	snellezza direzione x-x	60	
$\bar{\lambda}_y$	snellezza direzione y-y	43	
A	area lorda di un profilo	10.600	mm ²
A _{eff}	area efficace di un profilo		mm ²
N_{cr}	sforzo critico euleriano	576	N/mm ²

Carico critico elastico = $N_{cr} = 12.211.200$ N

Snellezza adimensionale $\bar{\lambda} = 0,785$

Fattore di imperfezione $\alpha = 0,34$

Fattore adimensionale $\beta = 0,908$



Coefficiente per instabilità $\gamma = 0,734$

	Azione normale di progetto	4.500	kN
M1	Coefficiente di sicurezza instabilità	1,10	
N _{b,Rd}	Resistenza dell'asta compressa	5.019	kN

Verifica: $N_{ed} / N_{b,Rd} \leq 1,00 = 0,897$

VERIFICA SODDISFATTA

Verifica dei bulloni

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

Si dispongono 10 bulloni M27 classe 10.9 a taglio $N_{sb} = \frac{300.900}{10} = 30.090$ daN che risulta minore della resistenza a taglio del bullone:

$$F_{v,Rd} = 0,50 \cdot \frac{A_{res} \cdot f_{tb}}{\gamma_{M2}} = 0,50 \cdot \frac{2 \cdot 459 \cdot 1.000}{1,25} \cdot 10^{-1} = 36.720 \text{ daN}$$

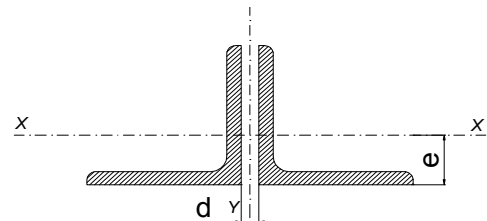
DIAGONALI

$$N_{DIAG} = \frac{585}{\cos 60,5^\circ} + 682 = 1.880 \text{ kN}$$

DATI GEOMETRICI

Area di 1 profilo (cm ²)	40,30
Distanza e (cm)	4,21
Inerzia di un singolo contr. (cm ⁴)	845,00
Distanza profili d (cm)	2,00
Interasse calastrelli (cm)	70,00
Raggio d'inerzia x-x (cm)	4,58
Snellezza dir X-X	58
Raggio d'inerzia y-y (cm)	6,94
Raggio d'inerzia min (cm)	2,93
Snellezza dir Y-Y	45

150x14



Lunghezza elemento (cm)	264
-------------------------	-----

$\omega =$ \ Coeff. ω relativo alla snellezza maggiore

Si riporta di seguito la verifica del corrente calastrellato in accordo con quanto riportato dalle NTC2008 al paragrafo 4.2.4.1.3.1:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

VERIFICA DIAFRAMMI CALASTRELLATI

DIAGONALI DI APPOGGIO

CALCOLO CLASSE DEL PROFILO

	PROFILO L 150x14	Valore	u.d.m.
h	lunghezza ala	150	mm
t	spessore ala	14	mm
	rapporto h/t	10,71	
	tipo di acciaio	S 355	
f _{yk}	tensione caratteristica	355	N/mm ²
	coefficiente	0,81	
	classe del profilo	3	

VERIFICA A STABILITA' PER COMPRESSIONE - par. 4.2.4.1.3.1 NTC2008

	Descrizione	Valore	u.d.m.
\bar{x}	snellezza direzione x-x	58	
\bar{y}	snellezza direzione y-y	45	
A	area lorda di un profilo	4.030	mm ²
A _{eff}	area efficace di un profilo		mm ²
\bar{c}_{cr}	sforzo critico euleriano	604	N/mm ²

Carico critico elastico = $N_{cr} = 4.868.240$ N

Snellezza adimensionale $\bar{\lambda} = 0,767$

Fattore di imperfezione $\bar{\alpha} = 0,34$

Fattore adimensionale $\bar{\lambda}_1 = 0,890$

Coefficiente per instabilità $\bar{\lambda}_2 = 0,745$

N _{Ed}	Azione normale di progetto	1.880	kN
M1	Coefficiente di sicurezza instabilità	1,10	
N _{b,Rd}	Resistenza dell'asta compressa	1.937	kN

Verifica: $N_{ed} / N_{b,Rd} \leq 1,00 = 0,970$

VERIFICA SODDISFATTA

Verifica dei bulloni

Si dispongono 6 bulloni M27 classe 10.9 a taglio $N_{sb} = \frac{188.000}{6} = 31.333$ daN che risulta minore della resistenza a taglio del bullone:

$$F_{v,Rd} = 0,50 \cdot \frac{A_{res} \cdot f_{tb}}{\gamma_{M2}} = 0,50 \cdot \frac{2 \cdot 459 \cdot 1.000}{1,25} \cdot 10^{-1} = 36.720 \text{ daN}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

7.5.2 VERIFICHE SISMICHE

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).

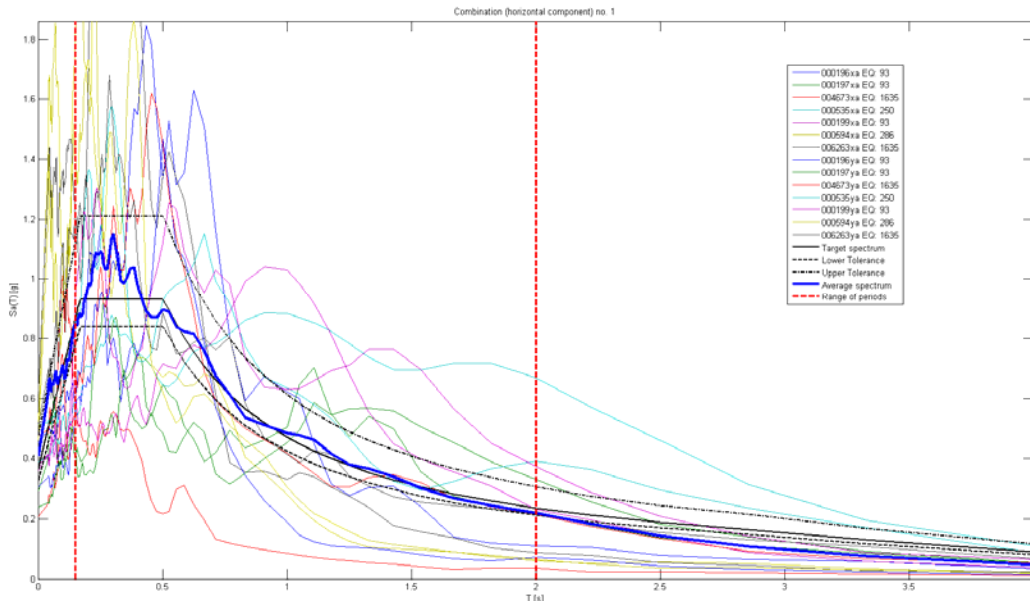
REXEL: computer aided record selection for code-based seismic structural analysis.

Bulletin of Earthquake Engineering. DOI 10.1007/s10518-009-9146-1

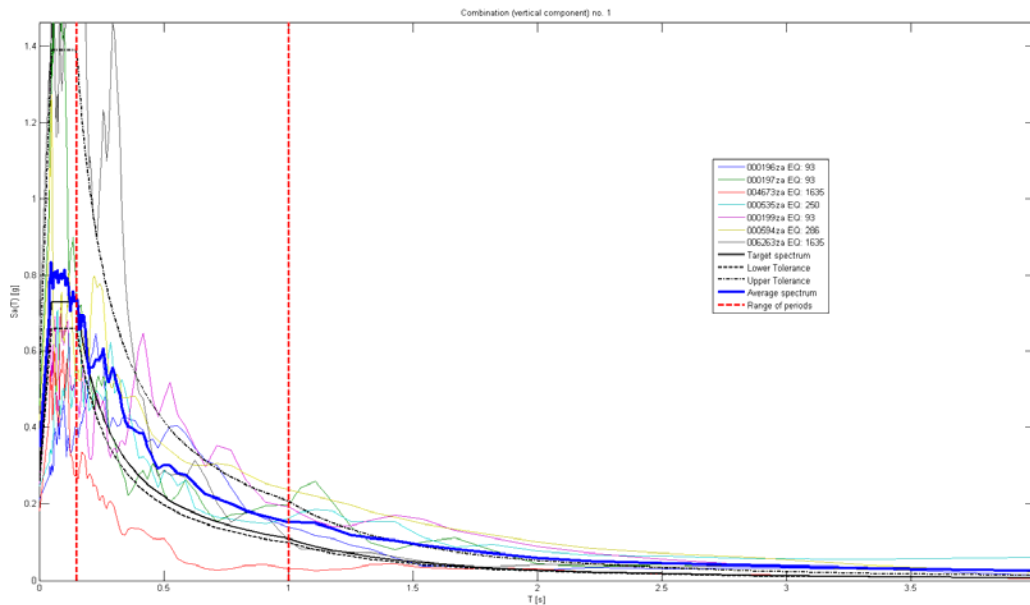
Il programma citato crea degli accelerogrammi spettro-compatibili con gli spettri elastici derivanti, in accordo con le Norme Tecniche 2008, dai parametri di coordinate del sito, categoria di sottosuolo, categoria topografica, vita nominale, classe d'uso e stato limite.

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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 elastoro.

7.5.2.1 TRAVI PRINCIPALI

In allegato B si riportano le verifiche sismiche a flessione, taglio e torsione delle travi principali.

7.5.2.2 TRAVERSI DI CAMPATA

Dall'analisi strutturale, si ricavano i seguenti valori di sollecitazione per i traversi maggiormente sollecitati:

frame		
	M (kNm)	
Acciaio	19,30	
Soletta	113,80	
Permanenti	61,30	
Accidentali mezzi	366,0	x 0,20
Sisma	558,4	
Totale		826

frame		
	T (kN)	
Acciaio	7,0	
Soletta	34,2	
Permanenti	24,2	
Accidentali mezzi	390	x 0,20
Sisma	201,6	
Totale		344,8

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

frame		
	N (kN)	
Sisma	667,9	
Totale		667,9

L'azione flettente e l'azione assiale vengono assorbite dagli elementi orizzontali (2L 150x14 superiori e inferiori), mentre l'azione di taglio viene assorbita dagli elementi diagonali (2L 130x12).

Sollecitazioni sui correnti: $N_{\text{correnti}} = 826 / 1,30 + 667,9 / 2 = 969 \text{ kN}$

Sollecitazioni sui diagonali: $N_{\text{diagonali}} = 344,8 / \cos 60^{\circ},5 = 700 \text{ kN}$

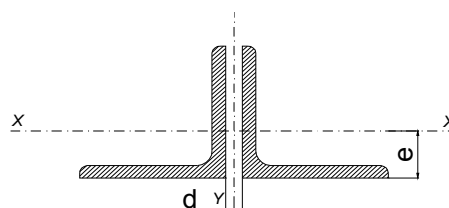
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO	Codice documento SS0706_F0.doc	Rev F0

CORRENTI

DATI GEOMETRICI

Area di 1 profilo (cm ²)	40,30
Distanza e (cm)	4,21
Inerzia di un singolo profilo (cm ⁴)	845,00
Distanza profilo d (cm)	2,00
Interasse calastrelli (cm)	70,00
Raggio d'inerzia x-x (cm)	4,58
Snellezza dir X-X	100
Raggio d'inerzia y-y (cm)	6,94
Raggio d'inerzia min (cm)	2,94
Snellezza dir Y-Y	70

150x14



Lunghezza elemento (cm)	460
-------------------------	-----

$\omega =$ \ Coeff. ω relativo alla snellezza maggiore

Si riporta di seguito la verifica del corrente calastrellato in accordo con quanto riportato dalle NTC2008 al paragrafo 4.2.4.1.3.1:

VERIFICA DIAFRAMMI CALASTRELLATI

CORRENTE DI CAMPATA

CALCOLO CLASSE DEL PROFILO

	PROFILO L 150x14	Valore	u.d.m.
h	lunghezza ala	150	mm
t	spessore ala	14	mm
	rapporto h/t	10,71	
	tipo di acciaio	S	
f_{yk}	tensione caratteristica	355	N/mm ²
	coefficiente	0,81	
	classe del profilo	3	

VERIFICA A STABILITA' PER COMPRESSIONE - par. 4.2.4.1.3.1 NTC2008

	Descrizione	Valore	u.d.m.
$\bar{\lambda}_x$	snellezza direzione x-x	100	
$\bar{\lambda}_y$	snellezza direzione y-y	70	
A	area lorda di un profilo	4.030	mm ²
A_{eff}	area efficace di un profilo		mm ²
N_{cr}	sforzo critico euleriano	203	N/mm ²

Carico critico elastico = $N_{cr} = 1.636.180$ N

Snellezza adimensionale $\bar{\lambda} = 1,322$

Fattore di imperfezione $\alpha = 0,34$

Fattore adimensionale $\beta = 1,565$



Coefficiente per instabilità $\gamma = 0,416$

	Azione normale di progetto	Valore	u.d.m.
N_{Ed}	Azione normale di progetto	969	kN
γ_{M1}	Coefficiente di sicurezza instabilità	1,10	
$N_{b,Rd}$	Resistenza dell'asta compressa	1.083	kN

Verifica: $N_{Ed} / N_{b,Rd} \leq 1,00 = 0,895$

VERIFICA SODDISFATTA

Verifica dei bulloni

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

Si dispongono 4 bulloni M27 classe 10.9 a taglio $N_{sb} = \frac{96.900}{4} = 24.225$ daN che risulta minore della resistenza a taglio del bullone:

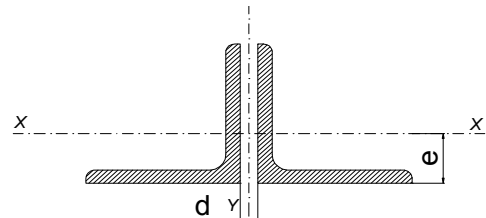
$$F_{v,Rd} = 0,50 \cdot \frac{A_{res} \cdot f_{tb}}{\gamma_{M2}} = 0,50 \cdot \frac{2 \cdot 459 \cdot 1.000}{1,25} \cdot 10^{-1} = 36.720 \text{ daN}$$

DIAGONALI

DATI GEOMETRICI

Area di 1 profilo (cm ²)	30,00
Distanza e (cm)	3,64
Inerzia di un singolo contr. (cm ⁴)	472,00
Distanza profili d (cm)	2,00
Interasse calastrelli (cm)	55,00
Raggio d'inerzia x-x (cm)	3,97
Snellezza dir X-X	66
Raggio d'inerzia y-y (cm)	6,10
Raggio d'inerzia min (cm)	2,55
Snellezza dir Y-Y	48

130x12



Lunghezza elemento (cm)	264
-------------------------	-----

$\omega =$ \ Coeff. ω relativo alla snellezza maggiore

Si riporta di seguito la verifica del corrente calastrellato in accordo con quanto riportato dalle NTC2008 al paragrafo 4.2.4.1.3.1:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

VERIFICA DIAFRAMMI CALASTRELLATI

DIAGONALI DI CAMPATA

CALCOLO CLASSE DEL PROFILO

	PROFILO L 130x12	Valore	u.d.m.
h	lunghezza ala	130	mm
t	spessore ala	12	mm
	rapporto h/t	10,83	
	tipo di acciaio	S	
f _{yk}	tensione caratteristica	355	N/mmq
	coefficiente	0,81	
	classe del profilo	3	

VERIFICA A STABILITA' PER COMPRESSIONE - par. 4.2.4.1.3.1 NTC2008

	Descrizione	Valore	u.d.m.
\bar{x}	snellezza direzione x-x	66	
\bar{y}	snellezza direzione y-y	48	
A	area lorda di un profilo	3.000	mmq
A _{eff}	area efficace di un profilo		mmq
\bar{c}_r	sforzo critico euleriano	470	N/mmq

Carico critico elastico =	N _{cr} =	2.820.000	N
Snellezza adimensionale	$\bar{\lambda}$ =	0,869	
Fattore di imperfezione	$\bar{\alpha}$ =	0,34	
Fattore adimensionale	$\bar{\lambda}_1$ =	0,991	
Coefficiente per instabilità	$\bar{\lambda}_2$ =	0,681	

N _{Ed}	Azione normale di progetto	700	kN
M ₁	Coefficiente di sicurezza instabilità	1,10	
N _{b,Rd}	Resistenza dell'asta compressa	1.319	kN

Verifica: $N_{ed} / N_{b,Rd} ? 1,00 = 0,531$

VERIFICA SODDISFATTA

Verifica dei bulloni

Si dispongono 4 bulloni M27 classe 10.9 a taglio $N_{sb} = \frac{70.000}{4} = 17.500$ daN che risulta minore della resistenza a taglio del bullone:

$$F_{v,Rd} = 0,50 \cdot \frac{A_{res} \cdot f_{tb}}{\gamma_{M2}} = 0,50 \cdot \frac{2 \cdot 459 \cdot 1.000}{1,25} \cdot 10^{-1} = 36.720 \text{ daN}$$

7.5.2.3 Traverso di appoggio

Dall'analisi strutturale, si ricavano i seguenti valori di sollecitazione per i traversi maggiormente sollecitati:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

frame		
	M (kNm)	
Acciaio	35,20	
Soletta	146,8	
Permanenti	65,70	
Accidentali mezzi	350,0	x 0,20
Sisma	836,5	
Totale		1.154,2

frame		
	T (kN)	
Acciaio	19,4	
Soletta	71,8	
Permanenti	31,7	
Accidentali mezzi	350,0	x 0,20
Sisma	497,0	
Totale		689,9



frame		
	N (kN)	
Sisma	668,0	
Totale		668,0

L'azione flettente e l'azione assiale vengono assorbite dagli elementi orizzontali (2L 250x22 superiori e inferiori), mentre l'azione di taglio viene assorbita dagli elementi diagonali (2L 150x14). Tali azioni sono nel seguito

Sollecitazioni sui correnti: $N_{\text{correnti}} = 1.154,2 / 1,30 + 668 / 2 = 1.222 \text{ kN}$

Sollecitazioni sui diagonali: $N_{\text{diagonali}} = 689,9 / \cos 60^\circ,5 = 1.401 \text{ kN}$

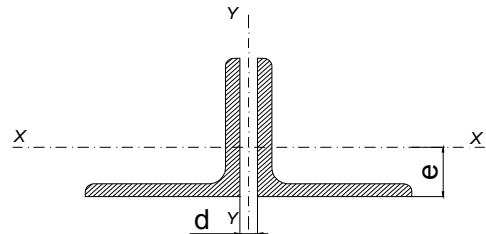
CORRENTI

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

DATI GEOMETRICI

Area di 1 profilo (cm ²)	106,00
Distanza e (cm)	7,01
Inerzia di un singolo profilo (cm ⁴)	6.249,00
Distanza profilo d (cm)	3,00
Interasse calastrelli (cm)	70,00
Raggio d'inerzia x-x (cm)	7,70
Snellezza dir X-X	60
Raggio d'inerzia y-y (cm)	11,46
Raggio d'inerzia min (cm)	4,92
Snellezza dir Y-Y	43

250x22



Lunghezza elemento (cm)	460
-------------------------	-----

 $\omega =$ \ Coeff. ω relativo alla snellezza maggiore

Si riporta di seguito la verifica del corrente calastrellato in accordo con quanto riportato dalle NTC2008 al paragrafo 4.2.4.1.3.1:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

VERIFICA DIAFRAMMI CALASTRELLATI

CORRENTE DI CAPPOGGIO

CALCOLO CLASSE DEL PROFILO

	PROFILO L 250x22	Valore	u.d.m.
h	lunghezza ala	250	mm
t	spessore ala	22	mm
	rapporto h/t	11,36	
	tipo di acciaio	S	
f _{yk}	tensione caratteristica	355	N/mm ²
	coefficiente	0,81	
	classe del profilo	3	

VERIFICA A STABILITA' PER COMPRESSIONE - par. 4.2.4.1.3.1 NTC2008

	Descrizione	Valore	u.d.m.
\bar{x}	snellezza direzione x-x	60	
\bar{y}	snellezza direzione y-y	43	
A	area lorda di un profilo	10.600	mm ²
A _{eff}	area efficace di un profilo		mm ²
\bar{c}_r	sforzo critico euleriano	576	N/mm ²

Carico critico elastico =	N _{cr} =	12.211.200	N
Snellezza adimensionale	\bar{r} =	0,785	
Fattore di imperfezione	$\bar{\alpha}$ =	0,34	
Fattore adimensionale	$\bar{\beta}$ =	0,908	
Coefficiente per instabilità	$\bar{\gamma}$ =	0,734	

N _{Ed}	Azione normale di progetto	1.222	kN
M1	Coefficiente di sicurezza instabilità	1,10	
N _{b,Rd}	Resistenza dell'asta compressa	5.019	kN

Verifica: $N_{Ed} / N_{b,Rd} \cdot 1,00 = 0,243$

VERIFICA SODDISFATTA

Verifica dei bulloni

Si dispongono 10 bulloni M27 classe 10.9 a taglio $N_{Sb} = \frac{122.200}{10} = 12.220$ daN che risulta minore della resistenza a taglio del bullone:

$$F_{v,Rd} = 0,50 \cdot \frac{A_{res} \cdot f_{tb}}{\gamma_{M2}} = 0,50 \cdot \frac{2 \cdot 459 \cdot 1.000}{1,25} \cdot 10^{-1} = 36.720 \text{ daN}$$

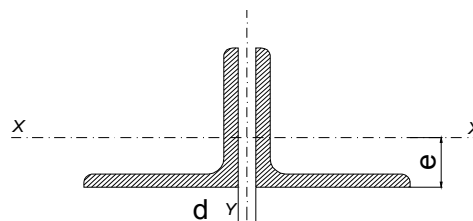
DIAGONALI

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
RELAZIONE DI CALCOLO		Codice documento SS0706_F0.doc	Rev F0 Data 20/06/2011

DATI GEOMETRICI

Area di 1 profilo (cm ²)	40,30
Distanza e (cm)	4,21
Inerzia di un singolo contr. (cm ⁴)	845,00
Distanza profili d (cm)	2,00
Interasse calastrelli (cm)	70,00
Raggio d'inerzia x-x (cm)	4,58
Snellezza dir X-X	58
Raggio d'inerzia y-y (cm)	6,94
Raggio d'inerzia min (cm)	2,93
Snellezza dir Y-Y	45

150x14



Lunghezza elemento (cm)	264
-------------------------	-----

$\omega =$ Coeff. ω relativo alla snellezza maggiore

Si riporta di seguito la verifica del corrente calastrellato in accordo con quanto riportato dalle NTC2008 al paragrafo 4.2.4.1.3.1:

VERIFICA DIAFRAMMI CALASTRELLATI

DIAGONALI DI APPOGGIO

CALCOLO CLASSE DEL PROFILO

	PROFILO L 150x14	Valore	u.d.m.
h	lunghezza ala	150	mm
t	spessore ala	14	mm
	rapporto h/t	10,71	
	tipo di acciaio	S	
f_{yk}	tensione caratteristica	355	N/mm ²
γ	coefficiente	0,81	
	classe del profilo	3	

VERIFICA A STABILITA' PER COMPRESSIONE - par. 4.2.4.1.3.1 NTC2008

	Descrizione	Valore	u.d.m.
λ_x	snellezza direzione x-x	58	
λ_y	snellezza direzione y-y	45	
A	area lorda di un profilo	4.030	mm ²
A_{eff}	area efficace di un profilo		mm ²
N_{cr}	sforzo critico euleriano	604	N/mm ²

Carico critico elastico = $N_{cr} = 4.868.240$ N

Snellezza adimensionale $\bar{\lambda} = 0,767$

Fattore di imperfezione $\alpha = 0,34$

Fattore adimensionale $\eta = 0,890$

Coefficiente per instabilità $\chi = 0,745$



N_{Ed}	Azione normale di progetto	1.401	kN
M_1	Coefficiente di sicurezza instabilità	1,10	
$N_{b,Rd}$	Resistenza dell'asta compressa	1.937	kN

Verifica: $N_{Ed} / N_{b,Rd} \leq 1,00 = 0,723$

VERIFICA SODDISFATTA

Verifica dei bulloni

Si dispongono 6 bulloni M27 classe 10.9 a taglio $N_{sb} = \frac{140 \cdot 100}{6} = 23.350$ daN che risulta minore

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

della resistenza a taglio del bullone:

$$F_{v,Rd} = 0,50 \cdot \frac{A_{res} \cdot f_{tb}}{\gamma_{M2}} = 0,50 \cdot \frac{2 \cdot 459 \cdot 1.000}{1,25} \cdot 10^{-1} = 36.720 \text{ daN}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

7.5.3 DEFORMAZIONI

Dai tabulati dell'analisi a graticcio, e con riferimento alla modellazione riportata nei capitoli precedenti, si ottengono i valori delle deformazioni, suddivise per le varie condizioni di carico. I valori sono espressi in mm con deformazioni positive verso il basso.

7.5.3.1 PRIMA CAMPATA

CAMPATA L=27,00 mt				
DEFORMAZIONI (mm)				
<i>joint</i>	104	204	304	404
Peso proprio acciaio	3,90	3,90	3,90	3,80
Peso proprio soletta	10,64	10,18	10,14	10,14
Permanenti	3,28	2,91	2,90	3,25
Vento	±3,31	±1,14	±1,24	±3,38
Accidentali mezzi	18,47	15,82	15,61	20,49

La combinazione che dà gli effetti più sfavorevoli è la seguente:

Deformazione max per carichi permanenti = 18 mm = $L/1500 < L/150$

Deformazione max per carichi accidentali (mezzi-vento)= 24,0 mm = $L/1125 < L/700$

7.5.3.2 SECONDA CAMPATA

CAMPATA L=30,00 mt				
DEFORMAZIONI (mm)				
<i>joint</i>	114	214	314	414
<i>Peso proprio acciaio</i>	<i>1,73</i>	<i>1,54</i>	<i>1,35</i>	<i>1,13</i>
<i>Peso proprio soletta</i>	<i>6,07</i>	<i>4,56</i>	<i>3,92</i>	<i>4,03</i>
<i>Permanenti</i>	<i>2,69</i>	<i>1,84</i>	<i>1,54</i>	<i>1,78</i>
<i>Vento</i>	<i>±3,20</i>	<i>±1,27</i>	<i>±1,27</i>	<i>±2,17</i>

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

<i>Accidentali mezzi</i>	<i>25,16</i>	<i>18,77</i>	<i>14,87</i>	<i>18,27</i>
--------------------------	--------------	--------------	--------------	--------------

La combinazione che dà gli effetti più sfavorevoli è la seguente:

Deformazione max per carichi permanenti = 10,50 mm = **L/2859** < **L/150**

Deformazione max per carichi accidentali (mezzi-vento)= 28,4 mm = **L/1058** < **L/700**

7.5.3.3 TERZA CAMPATA

<i>CAMPATA L=30,00 mt</i>				
DEFORMAZIONI (mm)				
<i>joint</i>	124	224	324	424
<i>Peso proprio acciaio</i>	<i>5,21</i>	<i>4,39</i>	<i>3,61</i>	<i>2,83</i>
<i>Peso proprio soletta</i>	<i>19,01</i>	<i>14,68</i>	<i>11,83</i>	<i>10,15</i>
<i>Permanenti</i>	<i>5,33</i>	<i>3,94</i>	<i>3,15</i>	<i>3,08</i>
<i>Vento</i>	<i>±4,41</i>	<i>±1,82</i>	<i>±1,80</i>	<i>±2,40</i>
<i>Accidentali mezzi</i>	<i>27,44</i>	<i>18,95</i>	<i>13,30</i>	<i>16,56</i>

La combinazione che dà gli effetti più sfavorevoli è la seguente:

Deformazione max per carichi permanenti = 29,55 mm = **L/1015** < **L/150**

Deformazione max per carichi accidentali (mezzi-vento)= 31,85 mm = **L/941** < **L/700**

7.5.3.4 QUARTA CAMPATA

<i>CAMPATA L=20,00 mt</i>				
DEFORMAZIONI (mm)				
<i>joint</i>	132	232	332	432
<i>Peso proprio acciaio</i>	<i>-1,14</i>	<i>-0,96</i>	<i>-0,84</i>	<i>-0,63</i>
<i>Peso proprio soletta</i>	<i>-3,52</i>	<i>-3,40</i>	<i>-3,15</i>	<i>-2,16</i>
<i>Permanenti</i>	<i>-0,87</i>	<i>-0,99</i>	<i>0,96</i>	<i>0,62</i>
<i>Vento</i>	<i>±0,01</i>	<i>±0,29</i>	<i>±0,29</i>	<i>±0,17</i>
<i>Accidentali mezzi</i>	<i>10,17</i>	<i>6,28</i>	<i>4,45</i>	<i>5,46</i>

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

La combinazione che dà gli effetti più sfavorevoli è la seguente:

Deformazione max per carichi permanenti = 0 mm **si alza**

Deformazione max per carichi accidentali (mezzi-vento)= 11,0 mm =**L/1818** <**L/700**

7.5.3.5 QUINTA CAMPATA

<i>CAMPATA L=26,00 mt</i>				
DEFORMAZIONI (mm)				
<i>joint</i>	140	240	340	440
<i>Peso proprio acciaio</i>	4,44	4,44	4,18	2,67
<i>Peso proprio soletta</i>	17,86	14,18	17,86	10,75
<i>Permanenti</i>	5,73	4,68	5,54	3,54
<i>Vento</i>	±3,44	±3,65	±4,01	±3,38
<i>Accidentali mezzi</i>	25,02	25,02	11,76	15,05

La combinazione che dà gli effetti più sfavorevoli è la seguente:

Deformazione max per carichi permanenti = 28 mm =**L/927** < **L/150**

Deformazione max per carichi accidentali (mezzi-vento)= 28,0 mm =**L/913** <**L/700**

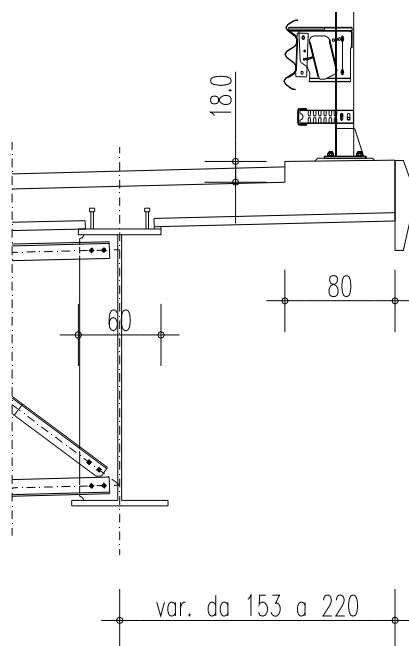
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

7.5.4 SOLETTA DI IMPALCATO

La soletta in calcestruzzo armato ha larghezza totale variabile da 11,76 a 18,70 m, con gli sbalzi laterali variabili con un massimo pari a 2,20 m dall'asse delle travi esterne.

Si verifica nel seguito la soletta in corrispondenza dello sbalzo che si ritiene la sezione più significativa; per tale verifica si considera un modello a mensola con incastro posizionato in corrispondenza dell'asse dell'ala superiore della trave esterna.

In particolare si procede con la verifica dello sbalzo massimo di 2,20 m munito di cordolo di larghezza 80 cm, di cui si riporta il particolare.





7.5.4.1 ANALISI DEI CARICHI

PERMANENTI

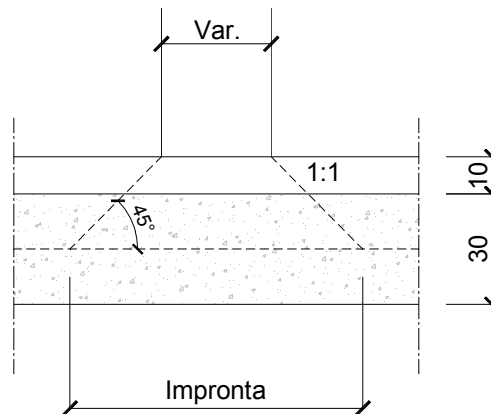
Cordolo	$0,18 \cdot 25,00 = 4,50 \text{ kN/m}^2$
Massicciata	$3,00 \text{ kN/m}^2$
Barriera di sicurezza	$2,00 \text{ kN/m}$

ACCIDENTALI

Si considera il carico Q_{1k} previsto dal D.M. 14/01/2008 "Norme tecniche per le costruzioni".

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

L'impronta di carico di dimensioni variabili a seconda dello schema considerato viene diffusa a livello dell'asse della soletta superiore; considerato che la soletta è alta 30 cm e che lo spessore medio della pavimentazione è di 10 cm.



Schema 1

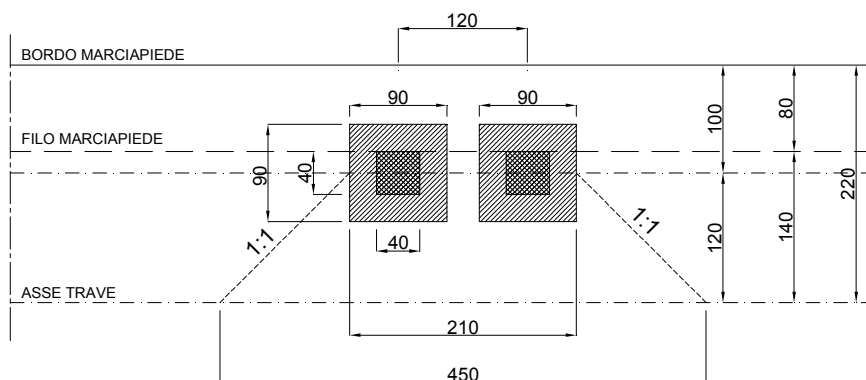
Si considerano le impronte del carico tandem da 150 kN con un'impronta di 40 x 40 cm diffusa fino a metà soletta:

$$F_{1k} = \frac{2 \cdot Q_{1k}}{l_i + i_t + l_d} = \frac{2 \cdot 150}{0,90 + 1,20 + 2 \cdot 1,20} = 66,67 \text{ kN dove:}$$

0,90 m = larghezza impronta

1,20 m = interasse tandem

1,20 m = ripartizione fino ad asse trave



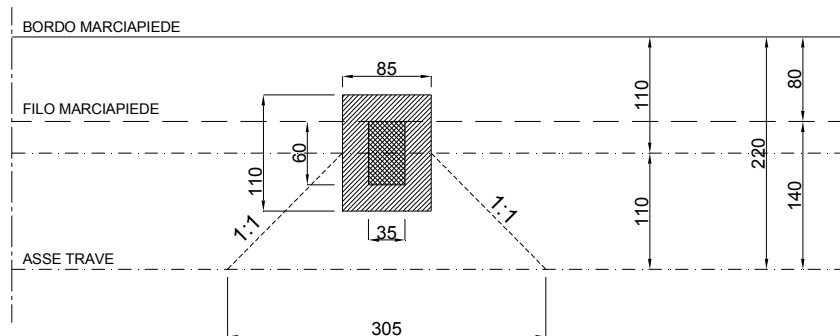
$$M_{1k} = F_{1k} \cdot b = 66,67 \cdot 1,20 = 80,00 \text{ kNm}$$

$$V_{1k} = F_{1k} = 66,67 \text{ kN}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Schema 2

Si considerano le impronte del carico tandem da 200 kN con un'impronta di 35 x 60 cm diffusa fino a metà soletta:



$$F_{ak} = \frac{Q_{ak}}{l_i + l_d} = \frac{200}{0,85 + 2 \cdot 1,10} = 65,57 \text{ kN} \text{ dove:}$$

0,85 m = larghezza impronta

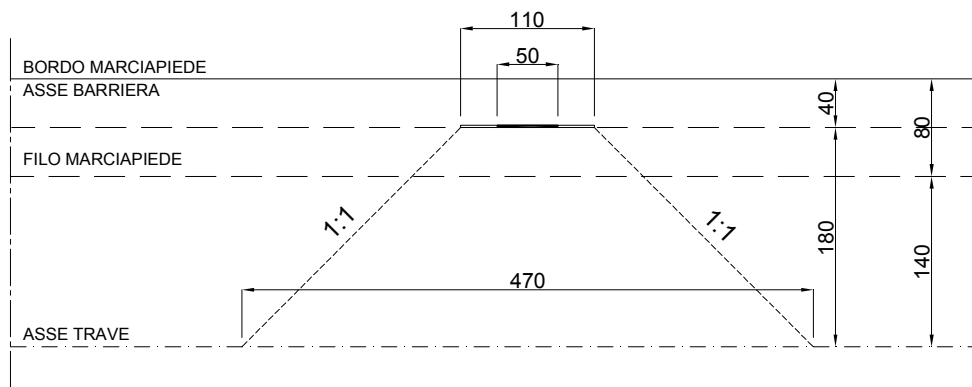
1,10 m = ripartizione fino ad asse trave

$$M_{ak} = F_{ak} \cdot b = 65,57 \cdot 1,10 = 72,13 \text{ kNm}$$



$$V_{ak} = F_{ak} = 65,57 \text{ kN}$$

Urto di veicoli in svio

Si considera un'azione locale dovuta all'urto di veicoli in svio, pari a 100 kN come previsto dal D.M. 14/01/2008 "Norme tecniche per le costruzioni"; tale forza orizzontale trasversale è applicata a 100 cm dalla quota del piano viario su una linea lunga 50 cm e si diffonde fino a metà soletta:



$$N = 100 / 4,70 = 21,28 \text{ kN/m}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$$M = 21,28 \cdot (1,00 + 0,10 + 0,18) = 27,24 \text{ daNm / m}$$

Folla

Non vi è possibilità di passaggio della folla sul cordolo laterale.

Sollecitazioni flettenti

Nella seguente tabella sono indicate le sollecitazioni flettenti caratteristiche distinte per condizione di carico, riferite uno sviluppo unitario di impalcato.

	Peso proprio (kNm/m)	Permanenti (kNm/m)	Accidentali (kNm/m)	Svio (kNm/m)
Sbalzo	-18,15	-13,02	-80,00	-27,24

Sollecitazioni taglianti

Nella seguente tabella sono indicate le sollecitazioni taglianti caratteristiche distinte per condizione di carico, riferite uno sviluppo unitario di impalcato.

	Peso proprio (kN/m)	Permanenti (kN/m)	Accidentali (kN/m)	Svio (kN/m)
Sbalzo	16,50	9,80	66,67	-

7.5.4.2 VERIFICA DELLE ARMATURE TRASVERSALI AGLI SLU

Combinazione eccezionale:

Si considera la combinazione eccezionale per lo svio con schema dei carichi accidentali locale, coincidente con lo schema 2 descritto in precedenza:

$$M_{sd} = 1,00 \cdot M_{pp} + 1,00 \cdot M_{per} + 1,00 \cdot (M_{acc} \text{ sch.2}) + 1,00 \cdot M_{svio} = -130,54 \text{ kNm / m} = -52,22 \text{ kNm / 40''}$$

$$V_{sd} = 1,00 \cdot V_{pp} + 1,00 \cdot V_{per} + 1,00 \cdot (V_{acc} \text{ sch.2}) = 91,97 \text{ kN / m} = 36,79 \text{ kN / 40''}$$

Combinazione SLU – Principali accidentali:

$$M_{sd} = 1,35 \cdot M_{pp} + 1,5 \cdot M_{per} + 1,35 \cdot (M_{acc}) = -152,03 \text{ kNm / m} = -60,81 \text{ kNm / 40''}$$

$$V_{sd} = 1,35 \cdot V_{pp} + 1,5 \cdot V_{per} + 1,35 \cdot (V_{acc}) = 126,98 \text{ kN / m} = 50,79 \text{ kN / 40''}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Verifica a Pressoflessione

SEZIONE	base (cm)	40	
	altezza (cm)	24+6	
ARMATURA	compressa	2 ϕ 16	I strato – predalles
		2 ϕ 16	II strato – in opera
	tesa	1 ϕ 20	I strato - predalles
	tesa	2 ϕ 20+2 ϕ 20	II strato – in opera
SOLLECITAZIONI	Msd =	-60,81 kNm	
	Nsd =	0 kN	
INDICI DI RESISTENZA	Mrd =	-140,70 kNm	
	IR =	2,31	

Verifica a taglio

Vsd = 50,79 kN

VERIFICA S.L.U	
Unita' di misura delle forze:	kN
Unita' di misura delle lunghezze:	cm
Tensioni espresse in:	N/mm ²
Normativa:	NTC-2008
Versione:	14 Gennaio 2008
Tipologia:	Pilastro
Rck:	30.0
fyk:	450.0
Tensione di calcolo a compressione calcestruzzo per taglio e torsione:	-14.1
Tensione di calcolo a trazione calcestruzzo:	1.2
Tensione di calcolo per l'armatura trasversale per taglio e torsione:	391.3
RISULTATI VERIFICA A TAGLIO	
Verifica senza armatura trasversale	
Taglio res. ultimo (VRd):	44.358
Indice di resistenza:	1.15
Verifica delle bielle compresse	
Taglio resistente ultimo (VRcd):	210.190
ctg(Theta):	2.50
Indice di resistenza:	0.24
Verifica con armatura trasversale	
Taglio attribuito all'armatura (VRsd):	50.790
Armatura trasversale per unita' di lunghezza (Asw, cm ² /m):	2.40
Staffe a 2 braccia (in accordo con i minimi di norma per pilastri):	ϕ 12/19.2cm

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

7.5.4.3 VERIFICA DELLE ARMATURE TRASVERSALI AGLI SLE

1° fase – getto del calcestruzzo

In questa fase si considera la struttura costituita dalle sole predalle non ancora solidarizzate al getto in opera. Si ipotizza il getto dello sbalzo in una sola fase di getto.

$$\text{peso proprio soletta:} \quad = 0,30 \cdot 25,00 = 7,50 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{peso operatori durante il getto} \quad = 1,00 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{peso proprio predalle:} \quad = 0,06 \times 25,00 = 1,50 \text{ kN/m}^2$$

$$M = -(7,50 - 1,50) \cdot \frac{2,20^2}{2} - 1,00 \cdot \frac{2,20^2}{2} - 1,50 \cdot \frac{2,20^2}{2} = -20,57 \text{ kNm/m} = -8,23 \text{ kNm/40"}$$

$$\text{ferri superiori (1}\phi 20) \quad \sigma'_{\text{sup.fe}} = \frac{82.300}{18,7} \cdot \frac{1}{1 \cdot 3,14} = 1.402 \text{ daN/cm}^2$$

$$\text{ferri inferiori (2}\phi 16) \quad \sigma'_{\text{inf.fe}} = \frac{82.300}{18,7} \cdot \frac{1}{2 \cdot 2,01} = 1.095 \text{ daN/cm}^2$$

Verifica di stabilità dei ferri inferiori compressi

$$i_{\phi 16} = 0,40 \text{ cm} \quad l_0 = 18,5 \text{ cm} \quad \lambda = \frac{18,5}{0,40} = 46$$

$$\sigma_{\text{crE}} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\lambda^2} = \frac{\pi^2 \cdot 2.100.000}{46^2} = 9.795 \text{ daN/cm}^2 > 1,5 \sigma'_{\text{inf fe}}$$

2° fase – in esercizio

Nella seconda fase si considera reagente l'armatura aggiuntiva e il contributo del traliccio.

Combinazione rara – Principali accidentali:

$$M = M_{\text{pp}} + M_{\text{per}} + M_{\text{acc}} = -1.815 - 1.302 - 8.000 = -11.117 \text{ daNm/m} = -4.447 \text{ daNm/40"}$$

Verifica a Pressoflessione

SEZIONE	base (cm)	40	
	altezza (cm)	24+6	
ARMATURA	compressa	2φ16	I strato – predalles
		2φ16	II strato – in opera
	tesa	1φ20	I strato - predalles

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

	tesa	2φ20+2φ20	Il strato – in opera	
SOLLECITAZIONI	Ms =	-44,47 kNm		
TENSIONI	cls	σ_c (daN/cm ²) =	68	
	ferro teso	σ_f (daN/cm ²) =	1.070	I strato
		σ_f (daN/cm ²) =	1.324	II strato
	ferro compresso	σ_f (daN/cm ²) =	748	I strato
		σ_f (daN/cm ²) =	621	II strato

3° fase – tensioni totali

Le tensioni totali agenti sulle armature del traliccio risultano:

$$\sigma_{s,sup} = 1.402 + 1.070 = 2.472 \text{ daN/cm}^2$$

$$\sigma_{s,inf} = 1.095 + 748 = 1.843 \text{ daN/cm}^2$$

7.5.4.4 VERIFICA A FESSURAZIONE

Si considerano condizioni ambientali aggressive e la presenza di armature poco sensibili:

COMBINAZIONE FREQUENTE

- combinazione (frequente):

$$F_d = g_1 + g_2 + \psi_1(q_1 + q_2)$$

$$W_D \leq \cdot W_2 = 0,3 \text{ mm}$$

$$M = 1,00 \cdot 18,15 + 1,00 \cdot 13,02 + 0,75 \cdot 80,00 = 91,17 \text{ kNm} = 36,47 \text{ kNm} / 40''$$

VERIFICA A FESSURAZIONE:

SEZIONE RETTANGOLARE	base (cm)	40	
	altezza (cm)	30	
ARMATURA	compressa	2φ16	I strato – predalles
		2φ16	II strato – in opera
	tesa	1φ20	I strato - predalles
		2φ20+2φ20	II strato – in opera
SOLLECITAZIONI	Msd =	-36,47 kNm	
TENSIONI	cls	σ_c (daN/cm ²) =	56
	ferro teso	σ_f (daN/cm ²) =	1.060
	ferro compresso	σ_f (daN/cm ²) =	473

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

ampiezza fess. w_D =(mm) 0,05

VERIFICA SODDISFATTA

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE

- combinazione (quasi permanente):

$$F_d = g_1 + g_2 + \psi_2(q_1 + q_2)$$

$$W_D \leq \cdot W_1 = 0,2 \text{ mm}$$

$$M = 1,00 \cdot 18,15 + 1,00 \cdot 13,02 + 0,00 \cdot 80,00 = 31,17 \text{ kNm} = 12,47 \text{ kNm} / 40''$$

VERIFICA A FESSURAZIONE:

SEZIONE RETTANGOLARE	base (cm)	40	
	altezza (cm)	30	
ARMATURA	compressa	2 ϕ 16	I strato – predalles
		2 ϕ 16	II strato – in opera
	tesa	1 ϕ 20	I strato - predalles
		2 ϕ 20+2 ϕ 20	II strato – in opera
SOLLECITAZIONI	Msd =	12,47 kNm	
TENSIONI	cls	σ_c (daN/cm ²) =	17
	ferro teso	σ_f (daN/cm ²) =	77
	ferro compresso	σ_f (daN/cm ²) =	66
		ampiezza fess. w_D =(mm)	0,00

VERIFICA SODDISFATTA

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

8 ANALISI SISTEMA DI VINCOLAMENTO

8.1 AZIONI VERTICALI

Dai tabulati dell'analisi a graticcio, e con riferimento alla modellazione riportata al § 3.6 si ottengono i valori delle azioni verticali massime trasmesse agli appoggi, suddivisi per le varie condizioni di carico. I valori sono espressi in kN.

	Spalla A			
	101	201	301	401
Peso Proprio	79	83	83	80
Soletta	242	206	204	245
Permanenti	132	81	78	134
Schema 1	630	707	486	128
Schema 2	627	664	296	-89
Schema 3	-100	430	550	941
Schema 4	-88	196	484	940
Vento	±192	±27	±21	±199
Temp	40	40	40	40

	Pila 1			
	109	209	309	409
Peso Proprio	281	284	271	289
Soletta	833	663	620	847
Permanenti	454	253	238	444
Schema 1	1308	970	675	217
Schema 2	1296	887	363	-145
Schema 3	-153	590	815	1552
Schema 4	-130	257	704	1539
Vento	±558	±143	±111	±569
Temp	2	-48	-29	-120

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

	Pila 2			
	119	219	319	419
Peso Proprio	270	302	263	274
Soletta	928	813	655	938
Permanenti	503	300	247	474
Schema 1	1379	1036	616	-174
Schema 2	1367	921	289	-150
Schema 3	-100	647	811	1535
Schema 4	-85	217	677	1521
Vento	±523	±192	±103	±537
Temp	134	9	44	-139

	Pila 3			
	129	229	329	429
Peso Proprio	231	244	220	205
Soletta	862	678	575	743
Permanenti	452	256	214	381
Schema 1	1405	1080	436	-113
Schema 2	1383	870	206	-82
Schema 3	-83	412	874	1447
Schema 4	-55	167	680	1426
Vento	±454	±176	±136	±436
Temp	41	-39	17	-100

	Pila 4			
	136	236	336	436
Peso Proprio	220	250	236	219
Soletta	890	710	884	807
Permanenti	447	331	390	393
Schema 1	1461	828	214	-74

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Schema 2	1450	685	-172	-20
Schema 3	-57	207	698	1467
Schema 4	39	-163	565	1457
Vento	±472	±329	±338	±406
Temp	22	61	14	-121

	SPALLA B-4		SPALLA B-3	
	144	244	344	444
Peso Proprio	84	82	94	60
Soletta	370	260	408	237
Permanenti	192	135	209	121
Schema 1	1036	323	19	4
Schema 2	1034	321	16	3
Schema 3	7	-12	389	948
Schema 4	4	9	386	948
Vento	±206	±208	±196	±186
Temp	10	8	51	22

8.2 AZIONI ORIZZONTALI

8.2.1 Azione longitudinale 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:

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

$$q_3 = 0,6 \cdot (2 \cdot 300) + 0,10 \cdot 9,00 \cdot 3,00 \cdot 134,0 = 722 \text{ kN}$$

8.2.2 Azione trasversale del vento

Come riportato nel capitolo 4 delle azioni paragrafo §4.3.10 si ricavano le azioni agli appoggi:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Ponte scarico 4 travi

altezza investita	4,47 m
quota riferimento	12,84 m
rapporto d/h_{tot}	3,24
coefficiente di esposizione	2,93
pressione picco vento	1,62 kN/m ²
coefficiente di forza X trasversale	0,47
coefficiente di forza Y verticale	1,02
coefficiente di momento	0,20
Risultante pressione X	11,06 kN/m
Risultante pressione Y	24,06 kN/m
Momento torcente	68,13 kNm/m

valori validi per rapporto $d/h_{tot} > 2$
--

Ponte scarico 2 travi

altezza investita	4,14 m
quota riferimento	12,67 m
rapporto d/h_{tot}	2,20
coefficiente di esposizione	2,92
pressione picco vento	1,62 kN/m ²
coefficiente di forza X trasversale	0,74
coefficiente di forza Y verticale	0,92
coefficiente di momento	0,20
Risultante pressione X	10,90 kN/m
Risultante pressione Y	13,53 kN/m
Momento torcente	26,76 kNm/m

valori validi per rapporto $d/h_{tot} > 2$
--

Ponte carico 4 travi

altezza investita	5,89 m
quota riferimento	13,55 m
rapporto d/h_{tot}	2,46
coefficiente di esposizione	2,96
pressione picco vento	1,64 kN/m ²
coefficiente di forza X trasversale	0,65
coefficiente di forza Y verticale	0,95
coefficiente di momento	0,20
Risultante pressione X	15,49 kN/m
Risultante pressione Y	22,48 kN/m
Momento torcente	68,91 kNm/m

valori validi per rapporto $d/h_{tot} > 2$
--

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

Ponte carico 2 travi

altezza investita	5,56 m
quota riferimento	13,38 m
rapporto d/h_{tot}	1,64
coefficiente di esposizione	2,95
pressione picco vento	1,63 kN/m ²
coefficiente di forza X trasversale	0,82
coefficiente di forza Y verticale	0,86
coefficiente di momento	0,20

valori validi per rapporto $d/h_{tot} > 2$

Risultante pressione X	12,27 kN/m
Risultante pressione Y	12,85 kN/m
Momento torcente	27,07 kNm/m

Vento Spalla A $15,49 \cdot 27,00 / 2 = 209 \text{ kN}$

Vento Pila 1 $15,49 \cdot \frac{27,00 + 30,00}{2} = 442 \text{ kN}$

Vento Pila 2 $15,49 \cdot \frac{30,00 + 30,00}{2} = 465 \text{ kN}$

Vento Pila 3 $15,49 \cdot \frac{30,00 + 20,00}{2} = 388 \text{ kN}$

Vento Pila 4 $15,49 \cdot \frac{20,00}{2} + 12,27 \cdot \frac{26,00}{2} = 314 \text{ kN}$

Vento Spalla B $12,27 \cdot \frac{26,00}{2} = 159 \text{ kN}$

8.2.3 Azione di attrito

L'azione d'attrito è stata valutata come percentuale del carico derivante dai permanenti, ovvero il 3%:

attrito spalla A	$(453 + 370 + 365 + 459) \cdot 0,03 = 49 \text{ kN}$
attrito Pila 1	$(1.568 + 1.200 + 1.129 + 1.580) \cdot 0,03 = 164 \text{ kN}$
attrito Pila 2	$(1.701 + 1.415 + 1.165 + 1.686) \cdot 0,03 = 179 \text{ kN}$
attrito Pila 3	$(1.545 + 1.178 + 1.009 + 1.329) \cdot 0,03 = 152 \text{ kN}$
attrito Pila 4 sx	$(1.557 + 1.291) \cdot 0,03 = 85 \text{ kN}$
attrito Pila 4 dx	$(1.510 + 1.419) \cdot 0,03 = 88 \text{ kN}$
Spalla B sx	$(646 + 477) \cdot 0,03 = 34 \text{ kN}$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Spalla B dx $(711+418) \cdot 0,03 = 34 \text{ kN}$

8.2.4 Urto dei veicoli in svio

Le azioni dovute all'urto dei veicoli debbono essere assorbite da una barriera di classe H4, che ammette un livello di Contenimento $L_c \geq 572 \text{ kJ}$ che può essere ricondotto ad una forza statica equivalente con riferimento al documento CEN/TC 226 N 185 E e CEN/TC 226 N 187 E 30/04/1995.

Per valutare la forza media che si sviluppa durante la collisione, bisogna calcolare l'energia cinetica posseduta dal veicolo prima dell'impatto e bilanciarla col lavoro della forza laterale che agisce sul baricentro del veicolo:

$$T = \frac{M \cdot v_n^2}{2}$$

$$W_n = F_{AV} \cdot s_n$$

dove:

T è l'energia cinetica laterale del veicolo;

M è la massa del veicolo;

v velocità del baricentro del veicolo;

α angolo di impatto del veicolo;

$v = v_n \cdot \sin \alpha$ componente della velocità di baricentro del veicolo ortogonale alla barriera

F_{AV} è la forza media agente sul baricentro del veicolo;

s_n è lo spostamento totale del baricentro del veicolo in direzione perpendicolare alla barriera.

Uguagliando le due espressioni e considerando, come prescritto dalla normativa D.M. 03/06/1998, l'urto di un autocarro della massa di 31,5 ton che impatta a 65 km/h e con un angolo di 20° , ipotizzando uno spostamento di 0,4 m, la forza media risulta:

$$F_{AV} = 242 \text{ kN.}$$

La forza massima agente sugli ancoraggi della barriera può essere valutata con un coefficiente moltiplicativo di 2,5:

$$F_{Max} = F_{AV} \cdot 2,5 = 605 \text{ kN}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0

Si può ipotizzare che l'azione si ripartisca su due pile, e che l'urto coinvolga una estesa di barriera all'interno della campata, ottenendo una forza orizzontale in esercizio di:

$$H_s = \frac{605}{2 \cdot 1,5} = 200 \text{ kN} \text{ applicata a } 1,0 \text{ m dal piano stradale.}$$

8.2.5 Azioni sismiche

Dall'analisi condotta si riportano i valori di sisma per gli appoggi distinti per le tre componenti.

SPALLA A												
	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

PILA 1												
	109			209			309			409		
	V	HI	Ht	V	HI	Ht	V	HI	Ht	V	HI	Ht
Sisma X	0	300	0	0	300	0	0	300	0	0	300	0
Sisma Y	0	0	240	0	0	250	0	0	250	0	0	250
Sisma Z	930	0	0	540	0	0	440	0	0	720	0	0



PILA 2												
	119			219			319			419		
	V	HI	Ht	V	HI	Ht	V	HI	Ht	V	HI	Ht
Sisma X	0	300	0	0	300	0	0	300	0	0	300	0
Sisma Y	0	0	240	0	0	250	0	0	250	0	0	250
Sisma Z	710	0	0	340	0	0	330	0	0	560	0	0

PILA 3												
	129			229			329			429		
	V	HI	Ht	V	HI	Ht	V	HI	Ht	V	HI	Ht
Sisma X	0	300	0	0	300	0	0	300	0	0	300	0
Sisma Y	0	0	240	0	0	250	0	0	250	0	0	250
Sisma Z	700	0	0	410	0	0	400	0	0	510	0	0

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

	PILA 4 SX						PILA 4 SX					
	136			236			336			436		
	V	HI	Ht	V	HI	Ht	V	HI	Ht	V	HI	Ht
Sisma X	0	290	0	0	290	0	0	290	0	0	290	0
Sisma Y	0	0	250	0	0	250	0	0	250	0	0	250
Sisma Z	820	0	0	510	0	0	460	0	0	540	0	0

	SPALLA B-4						SPALLA B-3					
	144			244			343			443		
	V	HI	Ht	V	HI	Ht	V	HI	Ht	V	HI	Ht
Sisma X	0	230	0	0	230	0	0	230	0	0	230	0
Sisma Y	0	0	130	0	0	130	0	0	130	0	0	130
Sisma Z	290	0	0	170	0	0	270	0	0	150	0	0

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

9 ANALISI SOTTOSTRUTTURE

9.1 ANALISI DELLA SPALLA A

La spalla A è costituita da una ciabatta di fondazione a base a parallelogramma di dimensioni 21,00 x 21,00 m, di spessore 3,00 m e da un muro frontale di spessore pari a 3,00 m. Sul muro frontale corre un muro paraghiaia caratterizzato da spessore 1,00 m ed altezza variabile fino ad un massimo di 2,56 m.

Ai lati della spalla sono presenti due muri andatori paralleli all'asse stradale di lunghezza pari a circa 15,35 m, con spessore variabile da 2,20 m alla base a 0,80 m in sommità e altezza media pari a circa 14,50 m, che poggiano sulla medesima fondazione del muro frontale.

La spalla A è rappresentata nella figura seguente:

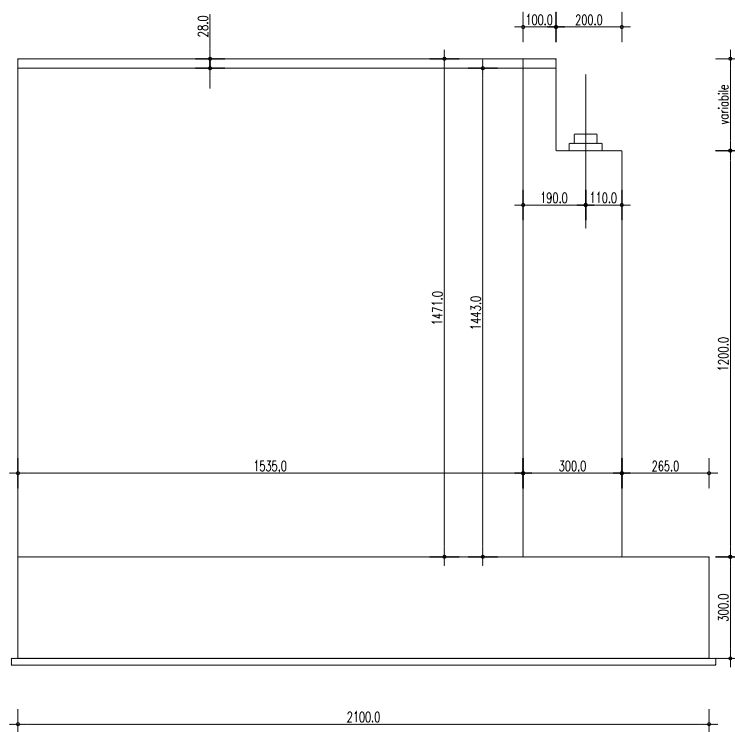


Figura 9.1 – Vista laterale Spalla A.



Si riportano le caratteristiche geometriche della spalla:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SPALLA

Descrizione		X (m)	Y (m)	Z (m)	n	γ (kN/mc)	Peso (kN)	dx (m)	bx (m)	M long (kNm)
fondazione	1	21,00	21,00	3,00	1	25	33.075	0,00	10,50	347.288
muro frontale	2	3,00	12,85	12,00	1	25	11.565	2,65	4,15	47.995
ringrosso	3	0,00	0,00	0,00	0	25	0	0,00	0,00	0
paraghiaia	4	1,00	12,85	2,60	1	25	835	4,65	5,15	4.302
muri laterali	5	15,35	1,50	14,50	2	25	16.693	5,65	13,33	222.436
terra	6	15,35	9,85	14,60	1	19,0	41.942	5,65	13,33	558.880
							104.111			1.180.899

altezza fronte vento ponte scarico (m)	4,14
altezza fronte vento ponte carico (m)	5,56
distanza tra asse appoggi e bordo anteriore fondazione (m)	3,75
distanza tra bordo anteriore fondazione e baricentro dei pali (m)	10,50

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0

9.1.1 ANALISI DEI CARICHI

La spalla è soggetta dalle sollecitazioni derivanti dall'impalcato riportati nel capitolo 8 e dalle spinte delle terre. Di seguito si riassumono i carichi globali gravanti:

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	1.198	0	0	4.493	0
permanenti	424	0	0	1.590	0
mezzi schema 1	1.952	0	0	7.320	2.506
mezzi schema 2	1.497	0	0	5.614	3.649
folla schema 1	0	0	0	0	0
folla schema 2	0	0	0	0	0
frenamento	0	120	0	-1.800	0
attrito / reazione gommoni ?T	0	203	0	-3.038	0
vento: impalcato scarico	183	0	147	0	-2.870
vento: impalcato carico	173	0	166	0	-3.316
temperatura	0	0	0	0	0
ritiro	0	0	0	0	0
azione centrifuga	0	0	48	0	768
sisma	1.125	1.080	552	16.200	8.390

Eccentricità dei carichi verticali (mt) **0,00**

Mt	H	Obliquità	°	rad
	120		0,00	0,00
	203			
	147			
	166			

PARAMETRI SISMICI

PARAMETRI TERRENO

accelerazione di picco	$\square/g/g=$	0,4373	Peso specifico del terreno:	19,0	kN/m ³	<input type="checkbox"/>
coefficiente orizzontale	$=S_s \times S_T =$	1,00	Angolo di attrito terreno rilevato	0,611	rad	<input type="checkbox"/> 35,00 °
coefficiente verticale	$=S_s \times S_T =$	1,00	Angolo di attrito terreno di base	0,663	rad	<input type="checkbox"/> 38,00 °
	$a_{max} =$	0,437	Angolo di inclinazione del muro	1,571	rad	<input type="checkbox"/> 90,00 °
	$\square m$	0,31				
	Kh =	0,136	Angolo di inclinazione del terreno	0,000	rad	<input type="checkbox"/> 0,00 °
Kv=0,5 Kh	Kv =	0,068	Angolo di resistenza terra-muro	0,407	rad	<input type="checkbox"/> 23,33 °
	$\square \square$	0,126	Coefficiente di spinta del terreno	K1 =	0,325	
	$\square \square$	0,144		K2 =	0,339	

Per le spinte inerziali $\square m = 1$

Kx = **0,437** Ky = **0,437** Kv = **0,219**

AZIONI TRASMESSE DAL TERRENO

AZIONI INERZIALI SIS. TRASMESSE DALLA SPALLA

	p (kN/mq)	H long (kN)	M long (kNm)
Ed= spinta terreno sismica+statica		13.697	-90.478
spinta a riposo	142,60	16.125	-94.599
spinta attiva	90,62	10.247	-60.117
spinta passiva plinto (50%)	185,56	2.923	2.923
spinta per sovraccarichi	3,84	868	-7.638

	p (kN/mq)	N vert (kN)	H long (kN)	M long (kNm)
Sovraccarico				
sommità	64,85	1.927	3.979	-35.019
piede muro	17,67			

	N (kN)	H long (kN)	H trasv (kN)	M long (kNm)	M trasv (kNm)
Sisma +	22.764	45.528	45.528	336.905	336.905
Sisma -	-13.593	-27.186	-27.186	-147.990	-147.990

Larghezza pavimentato	11,15	m	
numero stese	3		
angolo diffusione	30,00	°	0,52

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

9.1.1.1 Considerazioni sul parametro β_m



All'interno delle "Specifiche tecniche per il progetto definitivo e il progetto esecutivo dei collegamenti stradali e ferroviari" al punto 3.2.3.3.3, viene esplicitato che "...si può ragionevolmente prefigurare il mantenimento delle condizioni di spinta a riposo in presenza di spostamenti attesi inferiori a $5 \times 10^{-4} H$ m essendo H l'altezza fuori terra dell'opera". Tale assunzione può essere certamente estesa ai muri frontali delle spalle di tipo classico presenti nelle opere di nostra competenza.

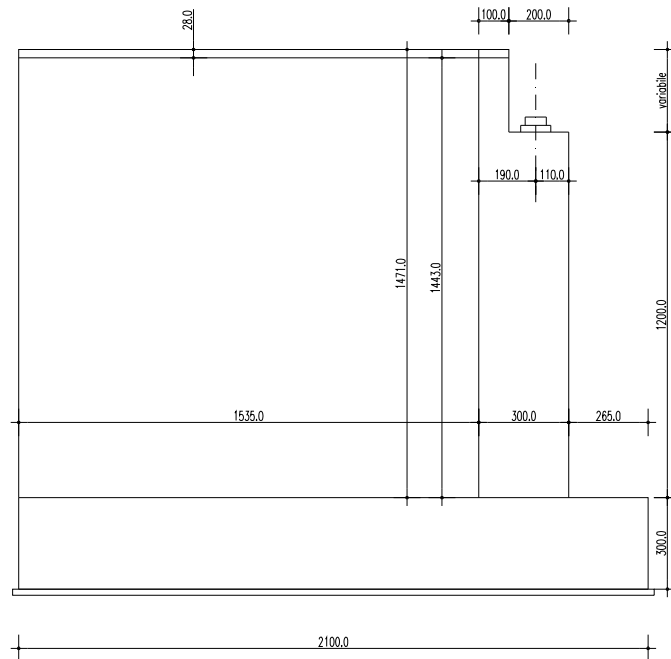
Per quanto riguarda la bibliografia, è possibile individuare il cedimento relativo tra un elemento di sostegno ed il terreno di spinta situato a tergo dello stesso; in particolare al capitolo 11.2 del libro "Fondazioni – progetto e analisi" del giugno 1991 di Joseph E. Bowles edito da McGraw – Hill, si definiscono, a seconda della tipologia del terreno, dei rapporti minimi tra cedimento ed altezza dell'elemento di sostegno per l'instaurarsi della spinta attiva, ovvero l'entità minima della traslazione affinché lo spostamento sia da considerarsi non trascurabile.

Per terreni incoerenti densi, come nei casi in esame rappresentati dal rilevato lavorato con rulli compattatori, il Bowles definisce tale spostamento pari a $0,001H \div 0,002H$, dove H rappresenta l'altezza dell'opera di sostegno; in definitiva si può quindi assumere prudenzialmente un valore della traslazione pari allo 0,5% come assunto dalle specifiche tecniche affinché si sviluppi un tipo di spinta attiva.

Rimandando alla bibliografia citata il significato della teoria alla base di tale assunzione, si effettua il calcolo dello spostamento di un muro frontale di una spalla tipo presente nei viadotti in oggetto di progettazione al fine di giustificare l'assunzione del coefficiente di riduzione sismica $\beta_m = 0,31$ indicato dalle NTC 2008 al punto 7.11.6.2.1.

Si effettua il calcolo dell'entità di tale spostamento per la Spalla A in oggetto:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						



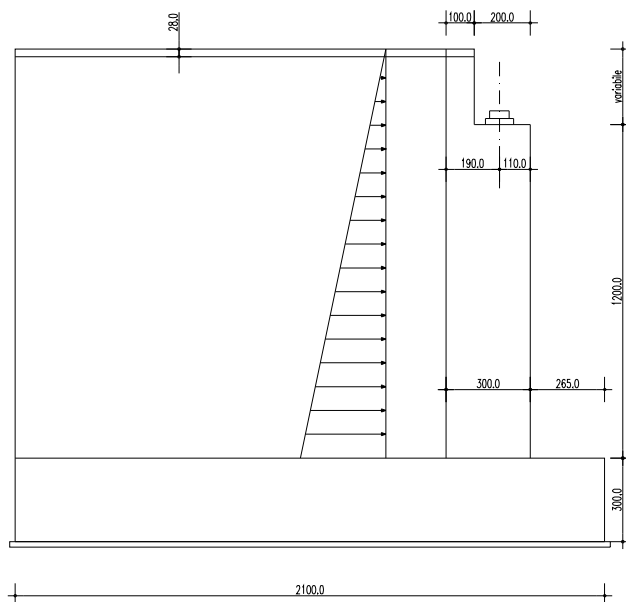
Si effettua il calcolo del cedimento in testa al muro frontale dovuto essenzialmente a 3 contributi:

- 1) Spinta attiva del terreno a tergo del muro con distribuzione triangolare;
- 2) Sovra spinta sismica per Mononobe-Okabe modellata come azione concentrata ad $H/2$, come stabilito dalla teoria; a tale forza si sommano le forze inerziali dovute a massa del terreno e del muro frontale ipotizzate con $\beta_m = 0,31$, con il medesimo punto di applicazione;
- 3) Forza sismica orizzontale in testa al muro derivante dall'impalcato.

I calcoli sono riferiti ad un metro di profondità del muro.

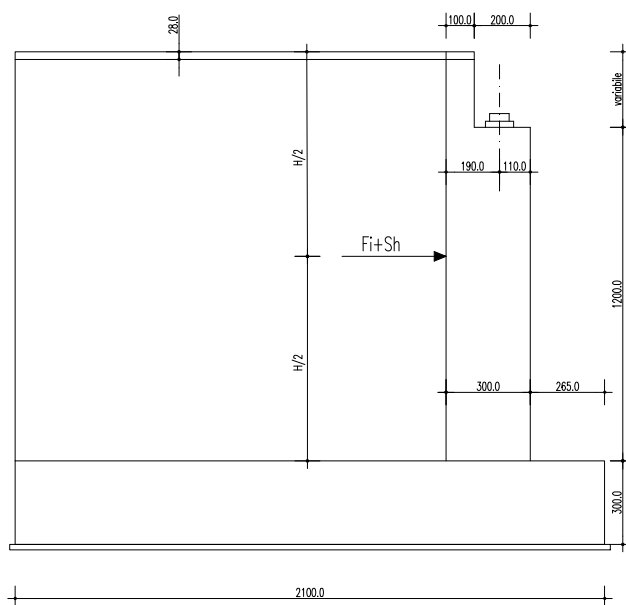
- 1) Il modello per la spinta attiva del terreno a tergo è così schematizzato:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						



$$f_1 = \frac{1}{30} \cdot \frac{p \cdot L^4}{EJ} = \frac{1}{30} \cdot \frac{84,32 \cdot 14,60^4}{3,334 \cdot 10^6 \cdot 2,250} = 0,0162 \text{ m} = 16,2 \text{ mm}$$

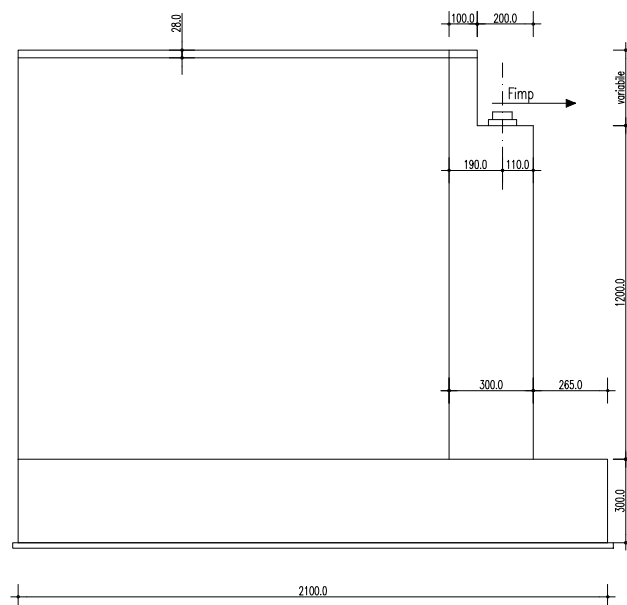
2) Il modello per le azioni sismiche da forze inerziali e sovra spinta sismica del terreno è così schematizzato:



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

$$f_2 = \frac{P \cdot \left(\frac{L}{2}\right)^3}{3 \cdot EJ} = \frac{(1.060 + 140) \cdot 7,30^3}{3 \cdot 3,334 \cdot 10^6 \cdot 2,250} = 0,0218 \text{ m} = 21,8 \text{ mm}$$

3) Il modello per le azioni sismiche derivanti dall'impalcato è così schematizzato:



$$f_2 = \frac{P \cdot L^3}{3 \cdot EJ} = \frac{94 \cdot 12,50^3}{3 \cdot 3,334 \cdot 10^6 \cdot 2,250} = 0,0089 \text{ m} = 8,9 \text{ mm}$$

Il cedimento totale del muro frontale schematizzato come mensola incastrata alla base vale quindi:

$$f_1 + f_2 + f_3 = 16,2 + 21,8 + 8,9 = 46,9 \text{ mm}$$

Tale valore di spostamento in testa al paramento verticale risulta pari a circa 0,32% dell'altezza della spalla e ciò consente di ritenere corretto l'utilizzo del fattore β_m ridotto in quanto il valore limite fissato nell'Eurocodice EC7 (Annesso C) e nella letteratura più conosciuta (Lancellotta – Geotecnica), perché si attivi la spinta attiva, è pari allo 0,05% - 0,10% dell'altezza della spalla

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO			
		RELAZIONE DI CALCOLO		Codice documento SS0706_F0.doc	Rev F0

9.1.1.2 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			
				Ψ_1		Ψ_1		Ψ_1		Ψ_1		Ψ_1		Ψ_1		Ψ_1		Ψ_1		Ψ_1	
SLU GEO	Vento	1,00	1,30	1,00	1,00	0,60	1,00	1,00	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	1,00	1,15	0,50	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	1,00	1,15	0,50	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	1,00	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	1,00	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	-1,00	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	-1,00	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	1,00	1,15	0,00	0,00	0,00	1,15	0,00	1,15	0,00	1,15	1,00	1,00
		γ_{G1}	γ_{G2}	Ψ_0	γ_{G2}	Ψ_0	γ_{G3}	Ψ_0	γ_{G1}	Ψ_0	γ_{G1}	Ψ_0	γ_{G1}	Ψ_0	γ_{G1}	Ψ_0	γ_{G1}	Ψ_0	γ_{G1}	Ψ_0	γ_{G1}
SLU STR	Vento	1,35	1,50	1,00	1,35	0,60	1,20	1,00	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	1,00	1,35	0,50	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	1,00	1,35	0,50	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	1,00	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	1,00	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	-1,00	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	-1,00	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	1,00	1,35	0,00	0,00	0,00	1,35	0,00	1,35	0,00	1,35	1,00	1,20
SLU ELE	Vento	1,00	1,00	1,00	1,00	0,60	1,00	1,00	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	1,00	1,00	0,50	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	1,00	1,00	0,50	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	1,00	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	1,00	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	-1,00	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	-1,00	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	1,00	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	1,00	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	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

9.1.1.3 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

9.1.2 MODELLO DI CALCOLO

9.1.2.1 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 compositi 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).

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Per una descrizione dettagliata delle trattazioni teoriche alla base di tali teorie si rimanda alla bibliografia citata.

9.1.3 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 – 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.

9.1.3.1 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

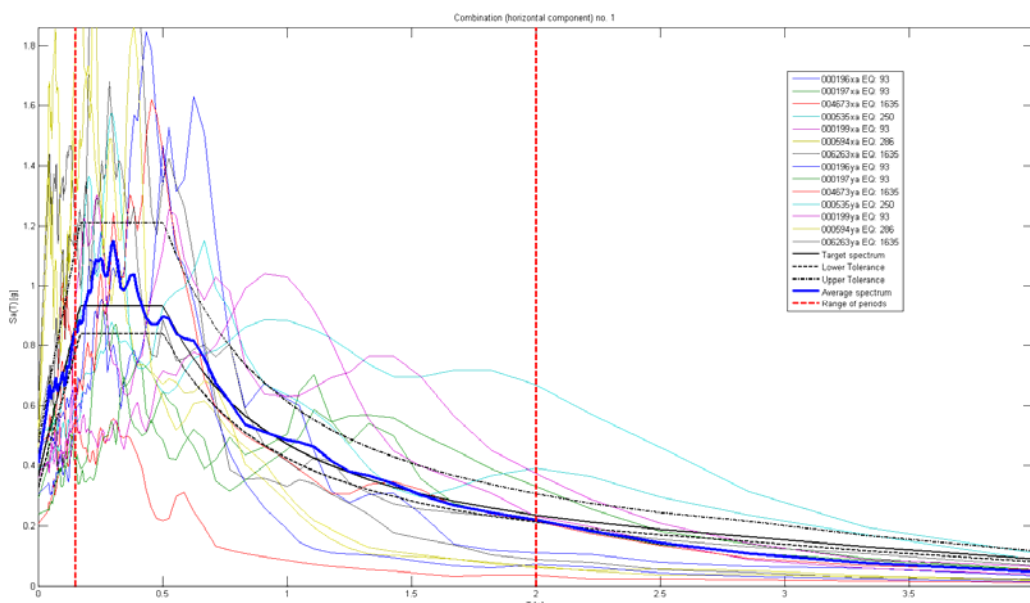
structural analysis.

Bulletin of Earthquake Engineering. DOI 10.1007/s10518-009-9146-1

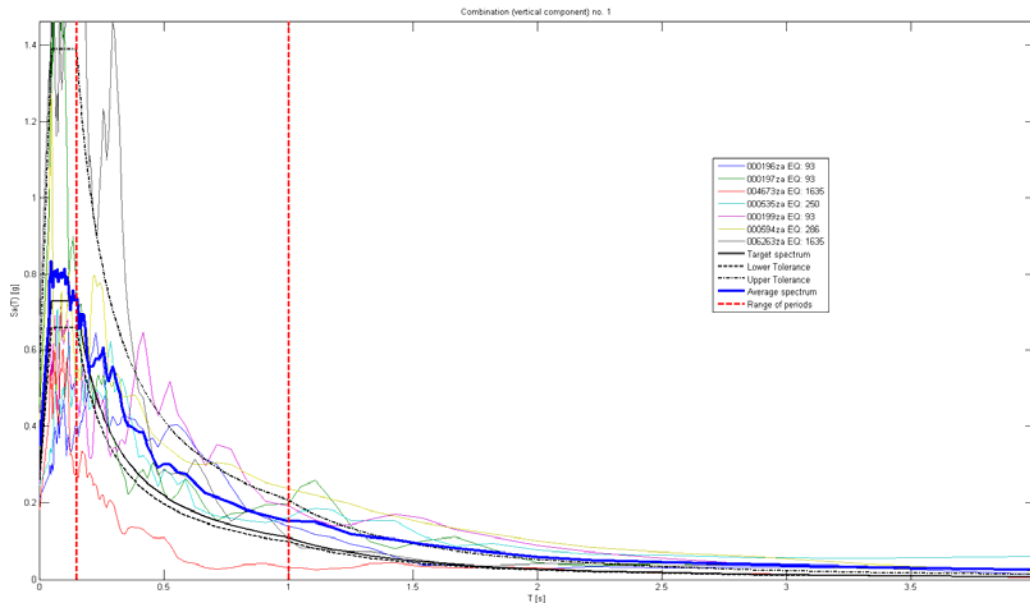
Il programma citato crea degli accelerogrammi spettro-compatibili con gli spettri elastici derivanti, in accordo con le Norme Tecniche 2008, dai parametri di coordinate del sito, categoria di sottosuolo, categoria topografica, vita nominale, classe d'uso e stato limite.

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 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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

9.1.4 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

9.1.5 ESCURSIONE DEI GIUNTI TRASVERSALI

I giunti devono essere in grado di assorbire una deformazione longitudinale dell'impalcato causata da una variazione termica ΔT di ± 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:

	Δ_{term}	Δ_{sism}	$\Delta_{ammesso}$
	mm	mm	mm
SpA	± 4	± 191	± 200

Occorre inoltre verificare che lo spostamento relativo tra le spalle sia compatibile con i giunti in oggetto, secondo le NTC2008, al paragrafo 3.2.5.2 "Spostamento assoluto e relativo del terreno", il valore dello spostamento relativo tra due punti a distanza x si può valutare con l'espressione:

$$d_{dj}(x) = d_{ij0} + (d_{ijmax} - d_{ij0}) \cdot \left[1 - e^{-1,25 \left(\frac{x}{v_s} \right)^{0,7}} \right] \text{ dove:}$$

v_s = velocità di propagazione delle onde di taglio in m/s ricavabile dalle indagini sul terreno;

$d_{ij0}(x) = 1,25 |d_{gi} - d_{gj}|$ spostamento relativo tra 2 punti a piccola distanza;

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$$d_{ij\max} = 1,25\sqrt{d_{gi}^2 + d_{gj}^2} ;$$

d_{gi} e d_{gj} = spostamenti massimi del suolo nei punti i e j.

Essendo il terreno omogeneo tra le spalle ed i parametri sismici medesimi, si può calcolare, in accordo con il paragrafo 3.2.3.3 delle NTC2008:

$$d_{gi} = d_{gj} = 0,025 \cdot a_g \cdot S \cdot T_C \cdot T_D = 0,025 \cdot 4,373 \cdot 1,00 \cdot 0,55 \cdot 3,35 = 0,201 \text{ m}$$

Per cui :

$$d_{ij\max} = 1,25\sqrt{0,201^2 + 0,201^2} = 0,252 \text{ m}$$

$$d_{ijo} = 1,25 \cdot (0,020 - 0,020) = 0 \text{ m}$$

$$d_{dj}(x) = 0 + (0,252 - 0) \cdot \left[1 - e^{-1,25 \left(\frac{135,26}{240} \right)^{0,7}} \right] = 0,143 \text{ m} = 143 \text{ mm}$$



Avendo considerato la distanza tra i punti pari a 135,26 m e una velocità media v_s per terreni di classe C come da NTC2008.

Ai giunti è richiesto di garantire lo spostamento massimo relativo fra impalcato e sottostrutture per effetto delle azioni sismiche e termiche.

Le singole componenti di spostamento considerate sono:

- Spostamento dell'impalcato dovuto alla dilatazione termica uniforme (positiva);
- Spostamento dell'impalcato dovuto alla deformazione a taglio massima degli isolatori elastomerici.
- Spostamento relativo fra le spalle mobilitato a livello spiccato fondazioni (scorrimento su piano di posa addizionato a spostamento sismico differenziale del terreno).

In assenza di determinazione specifica dello scorrimento sul piano di posa delle spalle, alla luce dei risultati ottenuti dalle analisi numeriche FEM condotte per il viadotto Curcuraci in direzione Reggio Calabria, si ritiene che considerare il solo spostamento sismico differenziale del terreno, determinato come sopra secondo il 3.2.3.3 delle NTC, per la valutazione dello spostamento relativo delle spalle, sia un approccio sufficientemente conservativo. Dalle analisi FEM svolte è emerso infatti che lo spostamento relativo totale fra le spalle dato dallo scorrimento su piano di posa e dallo spostamento sismico differenziale del suolo di fondazione (calcolati secondo un approccio a favore di sicurezza, come meglio descritto nella relazione specifica), è paragonabile allo spostamento differenziale del terreno determinato secondo il 3.2.3.3 delle NTC.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Le componenti sopra citate sono addizionate coerentemente con quanto espresso nelle combinazioni di calcolo SLU – sismiche, considerando il 50% dello spostamento indotto dalla variazione termica in concomitanza all'evento sismico.

Si ipotizza inoltre, conservativamente, che il moto delle spalle e dell'impalcato possa avvenire in opposizione di fase, in considerazione della capacità del sistema di isolamento sismico di disaccoppiare la risposta della sovrastruttura da quella delle spalle.

L'escursione minima del giunto sulla singola spalla dovrà risultare soddisfare la relazione seguente:

$$escursione \dots giunto \geq (s_{isolamento} + s_{fondazioni}) / 2 + 0.5 \cdot s_{termico}$$

$$S_{termico} = 20.0 \quad \text{mm}$$

$$S_{isolamento} = 191.0 \quad \text{mm}$$

$$S_{fondazione} = 143.0 \quad \text{mm}$$

$$S_{totale/2} = 177.0 \quad \text{mm}$$

L'escursione massima ammessa di 200 mm risulta essere superiore allo spostamento massimo così calcolato.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

9.1.6 CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI

9.1.6.1 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	18.994	121.893	20.339	1.478	9.486	1.583	SLU STR
Combinazione 12	21.629	131.500	21.310	1.683	10.233	1.658	
Combinazione 13	21.015	131.255	21.310	1.635	10.214	1.658	
Combinazione 14	20.970	131.042	21.229	1.632	10.198	1.652	
Combinazione 15	20.509	130.858	21.229	1.596	10.184	1.652	
Combinazione 20	18.994	154.425	24.795	1.478	12.018	1.930	
	<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	20.535	101.846	14.777	1.598	7.926	1.150	
perm + sisma X + 0,30 sisma (Y+Z) schema 2	20.444	101.810	14.780	1.591	7.923	1.150	
perm + 0,30 sisma (X+Z) + sisma Y schema 1	20.535	65.943		1.598	5.132		
perm + 0,30 sisma (X+Z) + sisma Y schema 2	20.444	65.907		1.591	5.129		

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0

9.1.6.2 Sollecitazioni fondazione



VERIFICHE DI STABILITA'

	<i>N</i> (kN)	<i>M_{rib}</i> (kNm)	<i>M_{stab}</i> (kNm)	\square	<i>u</i> (m)	<i>e</i> (m)	SL
Combinazione 1	118.442	-126.016	1.355.123	10,75	10,38	0,12	SLU GEO
Combinazione 2	120.687	-134.799	1.363.541	10,12	10,18	0,32	
Combinazione 3	120.164	-134.799	1.361.579	10,10	10,21	0,29	
Combinazione 4	120.126	-134.673	1.361.436	10,11	10,21	0,29	
Combinazione 5	119.734	-134.673	1.359.965	10,10	10,23	0,27	
Combinazione 6	120.126	-129.566	1.366.544	10,55	10,30	0,20	
Combinazione 7	119.734	-129.566	1.365.072	10,54	10,32	0,18	
Combinazione 8	120.126	-132.603	1.361.436	10,27	10,23	0,27	
Combinazione 9	119.734	-132.603	1.359.965	10,26	10,25	0,25	
Combinazione 10	120.794	-166.288	1.357.339	8,16	9,86	0,64	
Combinazione 11	149.094	-145.999	1.686.496	11,55	10,33	0,17	SLU STR
Combinazione 12	151.729	-156.310	1.696.378	10,85	10,15	0,35	
Combinazione 13	151.115	-156.310	1.694.074	10,84	10,18	0,32	
Combinazione 14	151.070	-156.162	1.693.907	10,85	10,18	0,32	
Combinazione 15	150.610	-156.162	1.692.180	10,84	10,20	0,30	
Combinazione 16	151.070	-149.631	1.700.438	11,36	10,27	0,23	
Combinazione 17	150.610	-149.631	1.698.710	11,35	10,29	0,21	
Combinazione 18	151.070	-153.732	1.693.907	11,02	10,20	0,30	
Combinazione 19	150.610	-153.732	1.692.180	11,01	10,21	0,29	
Combinazione 20	151.851	-193.274	1.689.098	8,74	9,85	0,65	
Comb SLE 1	105.733	-97.636	1.186.982	12,16	10,30	0,20	SLE
Comb SLE 2	107.685	-105.274	1.194.302	11,34	10,11	0,39	
Comb SLE 3	107.230	-105.274	1.192.596	11,33	10,14	0,36	
Comb SLE 4	107.197	-105.165	1.192.472	11,34	10,14	0,36	
Comb SLE 5	106.855	-105.165	1.191.192	11,33	10,16	0,34	
Comb SLE 6	107.197	-100.327	1.197.309	11,93	10,23	0,27	
Comb SLE 7	106.855	-100.327	1.196.030	11,92	10,25	0,25	
Comb SLE 8	107.197	-103.365	1.192.472	11,54	10,16	0,34	
Comb SLE 9	106.855	-103.365	1.191.192	11,52	10,18	0,32	
Comb SLE 10	107.764	-132.655	1.188.909	8,96	9,80	0,70	
perm + sisma X + 0,30 sisma (Y+Z) schema 1	113.680	-519.592	1.192.832	2,30	5,92	4,58	SLV
perm + sisma X + 0,30 sisma (Y+Z) schema 2	113.498	-519.592	1.192.150	2,29	5,93	4,57	

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

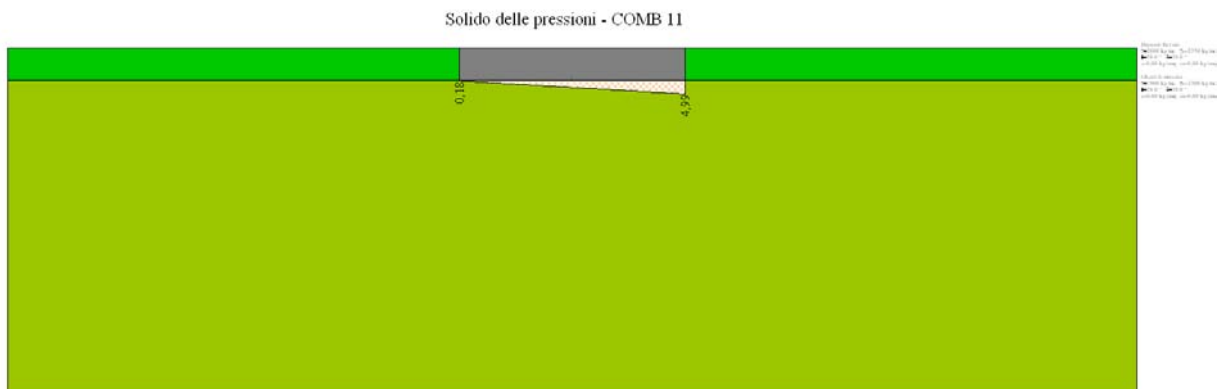
AZIONI GLOBALI NORME TECNICHE 2008

	<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	118.442	14.538	3.731	21.165	191	SLU GEO
Combinazione 2	120.687	38.475	5.469	22.163	129	
Combinazione 3	120.164	34.943	6.783	22.163	129	
Combinazione 4	120.126	34.560	4.748	22.051	129	
Combinazione 5	119.734	31.912	5.734	22.051	129	
Combinazione 6	120.126	24.345	5.734	21.370	129	
Combinazione 7	119.734	21.697	5.734	21.370	129	
Combinazione 8	120.126	32.490	5.631	21.913	185	
Combinazione 9	119.734	29.842	6.617	21.913	185	
Combinazione 10	120.794	77.282	2.587	25.741	129	
Combinazione 11	149.094	24.988	4.305	24.461	221	SLU STR
Combinazione 12	151.729	53.087	6.368	25.632	149	
Combinazione 13	151.115	48.941	7.911	25.632	149	
Combinazione 14	151.070	48.493	5.522	25.501	149	
Combinazione 15	150.610	45.383	6.679	25.501	149	
Combinazione 16	151.070	35.431	6.679	24.631	149	
Combinazione 17	150.610	32.322	6.679	24.631	149	
Combinazione 18	151.070	46.063	6.559	25.339	214	
Combinazione 19	150.610	42.953	7.716	25.339	214	
Combinazione 20	151.851	98.616	2.985	27.062	149	
Comb SLE 1	105.733	20.846	2.870	16.327	147	SLE
Comb SLE 2	107.685	41.660	4.496	17.195	100	
Comb SLE 3	107.230	38.589	5.639	17.195	100	
Comb SLE 4	107.197	38.257	3.869	17.098	100	
Comb SLE 5	106.855	35.953	4.727	17.098	100	
Comb SLE 6	107.197	28.582	4.727	16.453	100	
Comb SLE 7	106.855	26.278	4.727	16.453	100	
Comb SLE 8	107.197	36.457	4.637	16.978	148	
Comb SLE 9	106.855	34.153	5.495	16.978	148	
Comb SLE 10	107.764	75.264	1.990	18.254	100	
perm + sisma X + 0,30 sisma (Y+Z) schema 1	113.680	369.586	104.090	49.762	13.824	SLV
perm + sisma X + 0,30 sisma (Y+Z) schema 2	113.498	368.971	104.318	49.762	13.824	

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

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:



$$M_{SDA} = \left[(4,38 \cdot 10 - 2,500 \cdot 3,00) \cdot \frac{2,65^2}{2} + (4,99 - 4,38) \cdot 10 \cdot \frac{2,65^2}{3} \right] \cdot 10 = 1.527 \text{ kNm}$$



$$V_{SDA} = \left[(4,38 \cdot 10 - 2,500 \cdot 3,00) \cdot 2,65 + (4,99 - 4,38) \cdot 10 \cdot \frac{2,65}{2} \right] \cdot 10 = 1.076 \text{ kN}$$

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:

$$M_{SDB} = \left[(1,900 \cdot 14,70 + 2,500 \cdot 2,50) \cdot \frac{15,35^2}{2} - 0,18 \cdot 10 \cdot \frac{15,35^2}{2} - (3,70 - 0,18) \cdot 10 \cdot \frac{15,35^2}{6} \right] \cdot 10 = 2.432 \text{ kNm}$$

$$V_{SDB} = \left[(1,900 \cdot 14,70 + 2,500 \cdot 2,50) \cdot 15,35 - 0,18 \cdot 10 \cdot 15,35 - (3,70 - 0,18) \cdot 10 \cdot \frac{15,35}{2} \right] \cdot 10 = 2.268 \text{ kN}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

9.1.6.3 Sollecitazioni paraghiaia

La verifica viene effettuata 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 5.1.V.

Angolo di attrito del terreno $\phi = 35^\circ$

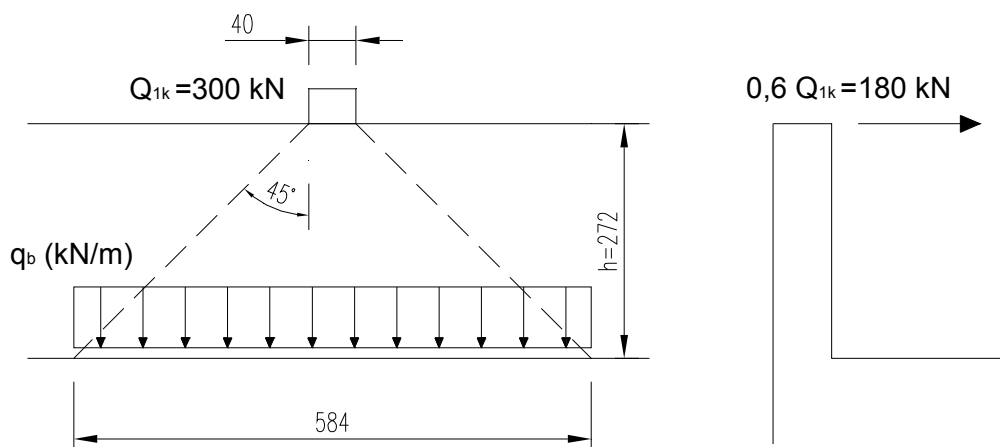
Peso specifico del terreno $\gamma_t = 19,00 \text{ kN/m}^3$

Sovraccarico $q = 90,91 \text{ kN/m}^2$

Spinta del terreno alla base $p_1 = k_0 \cdot \sigma_v = 0,43 \cdot 19,00 \cdot 2,72 = 22,14 \text{ kN/m}^2$

Spinta del sovraccarico $p_2 = k_0 \cdot q = 0,43 \cdot 90,91 = 39,09 \text{ kN/m}^2$

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° lungo l'altezza del paraghiaia per arrivare alla pressoflessione di base ogni metro lineare, come descritto nell'immagine seguente.



Larghezza di influenza $b = 0,40 + 2 \cdot 2,72 = 5,84 \text{ m}$

Pressione dovuta a Q_{1k} $q_b = 300 / 5,84 = 51,37 \text{ kN/m}$

Approccio 1:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

Combinazione 1 → Stato Limite Ultimo STR:

$$M_{sd} = 22,14 \cdot 1,35 \cdot \frac{2,72^2}{6} + 39,09 \cdot 1,35 \cdot \frac{2,72^2}{2} + 180 \cdot 1,50 \cdot \frac{2,72}{5,84} = 357 \text{ kNm}$$

$$T_{sd} = 22,14 \cdot 1,35 \cdot \frac{2,72}{2} + 39,09 \cdot 1,35 \cdot 2,72 + 150 \cdot \frac{180}{5,84} = 230 \text{ kN}$$

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:

$$\text{Coefficiente di spinta attiva:} \quad k_a = 0,271$$

$$\text{Coefficiente di spinta statica + sisma:} \quad k_{ah} = 0,339$$

$$\text{Spinta attiva del terreno alla base:} \quad p_3 = k_a \cdot \sigma_v = 0,271 \cdot 19,00 \cdot 2,72 = 14,00 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Spinta attiva + sisma alla base:} \quad p_4 = k_{ah} \cdot \sigma_v = 0,339 \cdot 19,00 \cdot 2,72 = 17,52 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Forze di inerzia:} \quad F_i = k_h \cdot P = 0,4373 \cdot (1,00 \cdot 2,72 \cdot 25) = 29,74 \text{ kN}$$

$$M_{sd} = 17,52 \cdot 1,00 \cdot \frac{2,72^2}{4} + 39,09 \cdot 0,20 \cdot \frac{2,72^2}{2} + 29,74 \cdot 1,00 \cdot \frac{2,72}{2} = 101,77 \text{ kNm/m}$$

9.1.7 VERIFICA DELLE SEZIONI

9.1.7.1 Muro frontale

FLESSIONE ALLA SEZIONE DI BASE

$$M_{sd} = 12.018 \text{ kNm}$$

$$N_{sd} = 1.478 \text{ kN}$$

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	300
ARMATURA	compressa	φ26/10
	tesa	φ26/10 I strato
		φ26/10 II strato

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

SOLLECITAZIONI Msd = 12.018 kNm
 Nsd = 1.478 kNm
INDICI DI RESISTENZA Mrd = 13.972 kNm
 Nrd = 1.730 kNm
 IR = 1,16

TAGLIO:

$V_{sd} = 1.915 \text{ kN}$

Verifica senza armatura trasversale	
Taglio res. ultimo (Vrdu1):	121483.594
Indice di resistenza:	1.58
Verifica delle bielle compresse	
Taglio res. ultimo (Vrdu2):	952758.813
Indice di resistenza:	0.20
Verifica con armatura trasversale	
Componente di taglio attribuita al calcestruzzo (Vrdu3):	0.000
Componente di taglio attribuita all'armatura (Vwd):	191500.005
Armatura trasversale per unita' di lunghezza (Asw, cm ² /m):	18.75
Staffe a 4 braccia	
:	ø20/67.0cm



VERIFICA TENSIONALE (SLE):

Si procede alla verifica tensionale della sezione di base che risulta essere maggiormente sollecitata.

Comb. Quasi Permanente

	N (kN)	M long (kNm)	M trasv (kNm)
Comb SLE 4	107.197	38.257	4.269

SEZIONE base (cm) 1285
 altezza (cm) 300
ARMATURA compressa ø26/10
 tesa ø26/10 I strato

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

φ26/10 Il strato

TENSIONI

cls $\sigma_c = (N/mm^2) 4,4 < 0,45 f_{ck} = 0,45 \times 33,20 = 14,94$

ferro $\sigma_f = (N/mm^2) 65 < 0,80 f_{yk} = 0,80 \times 450 = 360$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

9.1.7.2 Verifiche fondazione

Si verifica la sezione maggiormente sollecitata che risulta essere la posteriore.

FLESSIONE ALLA SEZIONE A-A

$$M_{sd} = 1.527 \text{ kNm}$$

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	300
ARMATURA	compressa	φ26/10
	tesa	φ26/10
SOLLECITAZIONI	Msd =	1.527 kNm
INDICI DI RESISTENZA	Mrd =	5.980 kNm
	IR =	3,92

TAGLIO ALLA SEZIONE A-A

$$V_{sd} = 1.076 \text{ kN}$$

RISULTATI VERIFICA A TAGLIO

Verifica senza armatura trasversale

Taglio res. ultimo (VRd): 729.023
Indice di resistenza: 1.48

Verifica delle bielle compresse

Taglio resistente ultimo (VRcd): 9365.512
ctg(Theta): 1.00
Indice di resistenza: 0.11

Verifica con armatura trasversale

Taglio attribuito all'armatura (VRsd): 1076.000
Armatura trasversale per unita' di
lunghezza (Asw, cm²/m): 10.36
Staffe a 4 braccia
: ø20/100 cm

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

FLESSIONE ALLA SEZIONE B-B

$$M_{sd} = 2.432 \text{ kNm}$$

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	300
ARMATURA	compressa	φ26/10
	tesa	φ26/10
SOLLECITAZIONI	Msd =	2.432 kNm
INDICI DI RESISTENZA	Mrd =	5.980 kNm
	IR =	2,46

TAGLIO ALLA SEZIONE B-B

$$V_{sd} = 2.268 \text{ kN}$$

RISULTATI VERIFICA A TAGLIO	
Verifica senza armatura trasversale	
Taglio res. ultimo (VRd):	729.023
Indice di resistenza:	3.11
Verifica delle bielle compresse	
Taglio resistente ultimo (VRcd):	9365.512
ctg(Theta):	1.00
Indice di resistenza:	0.24
Verifica con armatura trasversale	
Taglio attribuito all'armatura (VRsd):	2268.000
Armatura trasversale per unita' di lunghezza (Asw, cm ² /m):	21.83
Staffe a 4 braccia:	ø20/60 cm

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

9.1.7.3 Paraghiaia

PRESSOFLESSIONE ALLA SEZIONE DI BASE

$$M_{sd} = 357 \text{ kNm}$$

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	100
ARMATURA	compressa	φ24/20
	tesa	φ24/20
SOLLECITAZIONI	Msd =	357 kNm
	Nsd =	51 kN
INDICI DI RESISTENZA	Mrd =	810 kNm
	IR =	2,27

TAGLIO:

$$V_{sd} = 230 \text{ kN}$$

RISULTATI VERIFICA A TAGLIO

Verifica senza armatura trasversale

Taglio res. ultimo (Vrdul):	29516.471
Indice di resistenza:	0.78

FESSURAZIONE (SLE):

Si considerano condizioni ambientali aggressive e la presenza di armature poco sensibili:

COMBINAZIONE FREQUENTE

- combinazione (frequente):

$$F_d = g_1 + g_2 + \psi_1(q_1 + q_2)$$

$$W_D \leq \cdot W_2 = 0,3 \text{ mm}$$

$$M = 1,00 \times 22,14 \times 2,72^2 / 6 + 1,00 \times 0,75 \times 39,09 \times 2,72^2 / 2 = 135 \text{ kNm}$$

VERIFICA A FESSURAZIONE:

SEZIONE RETTANGOLARE	base (cm)	100
	altezza (cm)	100
ARMATURA	compressa	φ20/20

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

	tesa	φ20/20
SOLLECITAZIONI	Msd =	135 kNm
TENSIONI	cls	$\sigma_c = (N/mm^2)$ 0,7
	ferro teso	$\sigma_f = (N/mm^2)$ 4,3

ampiezza fess. $w_D = (mm)$ 0

VERIFICA SODDISFATTA

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE

- combinazione (quasi permanente):

$$F_d = g_1 + g_2 + \psi_2(q_1 + q_2)$$

$$W_D \leq \cdot W_1 = 0,2 \text{ mm}$$

$$M = 1,00 \times 22,14 \times 2,72^2 / 6 + 1,00 \times 0,00 \times 39,09 \times 2,72^2 / 2 = 27 \text{ kNm}$$

VERIFICA A FESSURAZIONE:

SEZIONE RETTANGOLARE	base (cm)	100
	altezza (cm)	100
ARMATURA	compressa	φ20/20
	tesa	φ20/20
SOLLECITAZIONI	Msd =	27 kNm
TENSIONI	cls	$\sigma_c = (N/mm^2)$ 0,1
	ferro teso	$\sigma_f = (N/mm^2)$ 0,8

ampiezza fess. $w_D = (mm)$ 0,00

VERIFICA SODDISFATTA

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

9.1.8 VERIFICA DEI MURI ANDATORI PREFABBRICATI

Per il sostegno del rilevato stradale nel primo tratto della Rampa 3-4 oltre i muri laterali della spalla SpA si utilizzano dei muri prefabbricati in c.a. su fondazioni dirette per uno sviluppo lineare totale di 12,50 m, caratterizzati da un'altezza netta dell'elevazione pari a 8,70 m. Si riporta di seguito la verifica dei muri in questione.

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 ²
resistenza caratteristica cubica	fck(c) = 450	kg/cm ²
valore medio resistenza caratteristica cilindrica	fc _m = 430	kg/cm ²
valore medio resistenza a trazione assiale	fc _{tm} = 32.1	kg/cm ²
modulo di elasticità secante	E _{cm} = 340771	kg/cm ²

CALCESTRUZZO IN OPERA PER SUOLA DI STABILIZZAZIONE – C20/25

resistenza caratteristica cilindrica	fck = 200	kg/cm ²
resistenza caratteristica cubica	fck(c) = 250	kg/cm ²
valore medio resistenza caratteristica cilindrica	fc _m = 280	kg/cm ²
valore medio resistenza a trazione assiale	fc _{tm} = 22.1	kg/cm ²
modulo di elasticità secante	E _{cm} = 299620	kg/cm ²

CALCESTRUZZO IN OPERA PER PIANO D'APPOGGIO – C16/20

resistenza caratteristica cilindrica	fck = 160	kg/cm ²
resistenza caratteristica cubica	fck(c) = 200	kg/cm ²
valore medio resistenza caratteristica cilindrica	fc _m = 240	kg/cm ²
valore medio resistenza a trazione assiale	fc _{tm} = 19,05	kg/cm ²
modulo di elasticità secante	E _{cm} = 286079	kg/cm ²

ACCIAIO B450C

Tensione caratteristica di snervamento	fyk = 4500	kg/cm ²
Tensione caratteristica di rottura	ftk = 5400	kg/cm ²

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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 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:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

COMBINAZIONI SLU

COMBINAZIONE	PERMANENTI		ACCIDENTALI		VENTO		SISMA		URTO	
	γ	ψ	γ	ψ	γ	ψ	γ	ψ	γ	ψ
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	
	γ	ψ	γ	ψ	γ	ψ	γ	ψ	γ	ψ
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 :

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO			
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i> F0</td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i> 20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011
<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 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

$$E_d = E \left[\gamma_F F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; s_d \right] \quad (6.2.2a)$$

ovvero

$$E_d = \gamma_E \cdot E \left[F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; s_d \right] \quad (6.2.2b)$$

con $\gamma_E = \gamma_F$, e dove R_d è il valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R \left[\gamma_R F_k; \frac{X_k}{\gamma_M}; s_d \right] \quad (6.2.3)$$

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 CAPACITA' PORTANTE

La valutazione della capacità portante delle fondazioni superficiali viene condotta in accordo all'equazione:

$$q_{lim} = 0.5 \gamma_c B^i N_\gamma s_i b_i g_i + c^i N_c s_c d_c i_c b_c g_c + q N_q s_q d_q i_q b_q g_q$$

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_γ 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_γ	1 per fondazioni nastriformi 1 per fondazioni nastriformi	Hansen Hansen

s_a	l per fondazioni nastriformi	Hansen
approfondimento		
d_c	$1+0,4k$	Hansen e Vesic
d_s	1	Hansen e Vesic
d_a	$1+2\tan\phi(1-\sin\phi)k$	Hansen e Vesic
Inclinazione carico		
i_c	$i_q - (1-i_q)/(Nq-1)$	Hansen e Vesic
i_s	$(1-(0,7*H)/(N+B*c*\cot\phi))^5$	Hansen
i_a	$(1-(0,5*H)/(N+B*c*\cot\phi))^5$	Hansen
Inclinazione fondazione*		
b_c	$1-\eta/147^\circ$	Hansen
b_s	$\exp(-2,7*\eta\tan\phi)$	Hansen
b_a	$\exp(-2*\eta\tan\phi)$	Hansen
Inclinazione piano campagna**		
e_c	$eg - [(1-eg)/(Nc*\tan\phi)]$	Hansen
e_s	$(1 - \tan\phi)^2$	Hansen
e_a	e_s	Hansen

* η = inclinazione base fondazione

** β = 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<kp)

COEFFICIENTI SULLE AZIONI γF

Tabella 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_S)	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_G	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali (1)	Favorevole	γ_G	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	γ_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 compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

COEFFICIENTI SUI MATERIALI γ_M

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

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1,0	1,25
Resistenza non drenata	s_u	γ_{su}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_s	1,0	1,0

COEFFICIENTI SULLE RESISTENZE γ_R

Tabella 6.5.I - Coefficienti parziali γ_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
- Arnature poco sensibili


quindi

combinazione frequente : $w_k = 1,7 \cdot w_m \leq w_2 = 0,3$ mm

combinazione quasi permanente : $w_k = 1,7 \cdot w_m \leq w_3 = 0,2$ mm

VERIFICA DELLE TENSIONI DI ESERCIZIO

Secondo quanto riportato dal D.M. 14/01/2008 :

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

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 σ_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

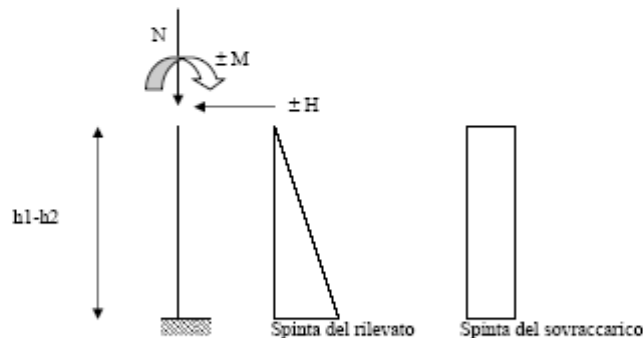
Per l'acciaio avente caratteristiche corrispondenti a quanto indicato al Cap. II, la tensione massima, σ_s , per effetto delle azioni dovute alla combinazione caratteristica deve rispettare la limitazione seguente:

$$\sigma_s < 0,8 f_{yk} \quad (4.1.42)$$

VERIFICHE PANNELLO PREFABBRICATO

VERIFICA A FLESSIONE NEL PIANO VERTICALE

Si adotta lo schema statico di mensola incastrata nella fondazione, secondo lo schema seguente:

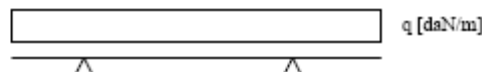


Viene condotta una verifica a presso flessione di un'equivalente sezione a T, con una sola nervatura data dalla somma delle due nervature, a partire dal bordo superiore del paramento prefabbricato, con passo di esplorazione "d"

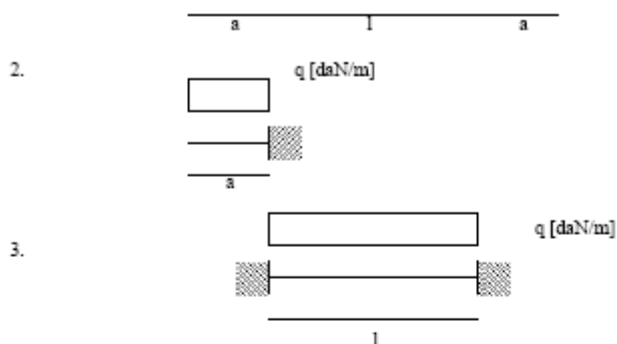
VERIFICA A FLESSIONE NEL PIANO ORIZZONTALE

Gli schemi statici adottabili per la verifica della soletta nel piano orizzontale sono i seguenti :

1.



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						



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 θ 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



$$V_{Rd} \geq V_{Ed} \quad (4.1.17)$$

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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 σ_{cp} hanno il significato già visto in § 4.1.2.1.3.1. e inoltre si è posto:

A_{tw} area dell'armatura trasversale;

s interasse tra due armature trasversali consecutive;

α angolo di inclinazione dell'armatura trasversale rispetto all'asse della trave;

f'_{cd} resistenza a compressione ridotta del calcestruzzo d'anima ($f'_{cd} = 0,5 \cdot f_{cd}$);

α_c	coefficiente maggiorativo pari a	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

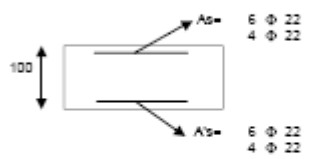
MURO TIPO		T	
1) DATI DI PROGETTO :			
1a) <u>Dati geotecnici</u>			
-	angolo di attrito interno in gradi	gradi (ϕ)	35
-	peso specifico	daN/mc (γ)	1800
-	angolo di attrito terra-muro valore prudenziale	gradi (δ)	23
-	angolo di inclinazione piano di campagna	gradi (ϵ)	0
-	coesione	daN/cm ² (c)	0
1b) <u>Carichi agenti</u>			
-	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
1b) <u>Dati sismici</u>			
-	Classe d'uso IV	SLV (Cu)	2
-	vita nominale	anni (Vn)	100
-	periodo di riferimento	anni (Vr)	200
-	tempo di ritorno	anni (Tr)	1898
-	accelerazione orizzontale massima su un sito rigido	[a] (ag(q))	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	Ss	1,2
-	fattore di amplificazione topografica	St	1
1d) <u>Morfologia del muro</u>			
-	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	gradi (β)	90
-	larghezza elemento prefabbricato	m (b1)	2,50
-	dimensione appoggio muro	m (appoggio)	2,02
-	altezza sezione in sommità (tratto a sez. costante)	m	0,30
-	pendenza nervatura	m (pendenza)	20%
-	larghezza nervatura/e	m (s)	0,36
-	spessore soletta	m (sol)	0,1
1e) <u>Morfologia della fondazione</u>			
-	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 (f1)	3,90
-	larghezza suola fuori nervatura	m (fo)	2,18
-	larghezza sottofondazione	m (ff)	0,00
-	altezza sottofondazione	m (hf)	0,00
-	sbalzo a valle sottofondazione	m (sof)	0,00
1f) <u>Dati geotecnici terreno di fondazione</u>			
-	angolo di attrito interno in gradi	gradi (ϕ)	35
-	peso specifico	daN/mc (γ)	1800
-	coesione	daN/cm ² (c)	0
-	ricoprimento fondazione a valle	m (hr)	0,4

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 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
			σ_{fmax} =	3,24 daN/cm ²
			σ_{fmin} =	0,30 daN/cm ²

3) VERIFICHE FONDAZIONE :

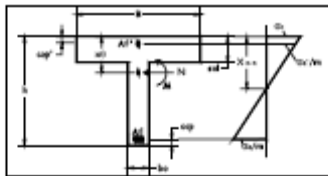


3a)	<u>Verifica fondazione di monte - SLU (sez. d'incastro)</u> <u>Verifica fondazione di monte - SISMICO (sez. d'incastro)</u>	M_u/M_d =	1,58
		M_u/M_d =	2,59
3b)	<u>Verifica fondazione di valle - SLU (sez. d'incastro)</u> <u>Verifica fondazione di valle - SISMICO (sez. d'incastro)</u>	M_u/M_d =	1,57
		M_u/M_d =	1,16

3c)	<u>Verifica fondazione di monte - SLE_BASA (sez. d'incastro)</u>	σ_u [daN/cm ²]=	8	$\langle \alpha_u \rangle_{lim}$ =	150
		σ_u [daN/cm ²]=	537	$\langle \alpha_u \rangle_{lim}$ =	3520
	<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>	σ_u [daN/cm ²]=	5	$\langle \alpha_u \rangle_{lim}$ =	112,5
		Mor[daNm]=	85569	>Me =	11055

4) VERIFICHE PREFABBRICATO :

4a) Verifica prefabbricato



A1= 4 Ø 12
A11= 4 Ø 12
A12= 4 Ø 24
A13= 4 Ø 24
A14= 4 Ø 24
A15= 0 Ø 0

L2= 8,60 m
L3= 5,70 m
L4= 2,81 m
L5= 0 m

SLU							K _{Ed}	M _{Ed}	M _{Ed} /M _{yk}	STAFFE		
d	h	A _s	A _s	M _{yk}	N _{yk}	M _{Ed}				M _{Ed} /M _{yk}	V _{Ed}	V _{Ed}
cm	cm	cm ²	cm ²	daN m	daN	daN m	>1,00	daN	daN	daN		
124	30	4,52	4,52	1714	1762	4639	2,71	19222	43031	3339		
1	331	66,2	18,10	4,52	17140	4700	41557	2,42	47050	106327	13361	
2	620	124,1	36,19	4,52	84642	8612	161365	1,91	91572	204994	36755	
3	910	182,0	54,29	4,52	234524	12924	360376	1,54	136094	304661	71072	
4												

SISMICO							K _{Ed}	M _{Ed}	M _{Ed} /M _{yk}	STAFFE		
d	h	A _s	A _s	M _{yk}	N _{yk}	M _{Ed}				M _{Ed} /M _{yk}	V _{Ed}	V _{Ed}
cm	cm	cm ²	cm ²	daN m	daN	daN m	>1,00	daN	daN	daN		
124	30	4,52	4,52	2949	1762	4639	1,57	19222	43031	4824		
1	331	66,2	18,10	4,52	26947	4700	41557	1,54	47050	106327	18250	
2	620	124,1	36,19	4,52	124154	8612	161365	1,30	91572	204994	48358	
3	910	182,0	54,29	4,52	330347	12924	360376	1,09	136094	304661	91662	
4												

SLE						FREQUENTE				RARA	
d	h	A _s	A _s	M _{cr}	sm	M _e	sm	wk	σ _s	σ _s	
cm	cm	cm ²	cm ²	daN m	mm	daN m	mm	mm	daN/cm ²	daN/cm ²	
124	30	4,52	4,52	2437	-	753	-	MicroMe	11	875	
1	331	66,2	18,10	4,52	-	5165	-	MicroMe	17	1105	
2	620	124,1	36,19	4,52	-	50989	-	MicroMe	27	1421	
3	910	182,0	54,29	4,52	104	150031	0,00045	0,08	40	1797	
4											



QUASI PERMANENTE			
M _e	sm-sm	wk	σ _s
daN m	mm	mm	daN/cm ²
581	-	MicroMe	5
7540	-	MicroMe	11
46670	-	MicroMe	21
140740	0,00038	0,07	33

4b) Verifica soletta nel piano orizzontale SLU 20 Ø 6 M_uM₂ = 2,02
 Verifica soletta nel piano orizzontale SISMICO M_uM₂ = 1,61

Verifica soletta nel piano orizzontale - SLE RARA σ_s[daN/cm²] = 57 < σ_slim = 210
σ_s[daN/cm²] = 140 < σ_slim = 3520

Verifica soletta nel piano orizzontale - SLE FREQUENTE M_{or} [daNm] = 198 > M_e = 197

Verifica soletta nel piano orizzontale - SLE QUASI PERMANENTE σ_s[daN/cm²] = 53 < σ_slim = 157,5
M_{or}[daNm] = 198 > M_e = 193

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

9.2 ANALISI DELLA SPALLA B-3

La spalla B-3 è costituita da una ciabatta di fondazione a base a parallelogramma di dimensioni 12,00 x 12,00 m, di spessore 2,50 m e da un muro frontale di spessore pari a 2,80 m. Sul muro frontale corre un muro paraghiaia caratterizzato da spessore 0,80 m ed altezza variabile da 2,22 m a 2,75 mt.

Ai lati della spalla sono presenti due muri andatori paralleli all'asse stradale di lunghezza pari a 6,55 m, spessore variabile da 1,80 m a 0,80 mt e altezza pari a 10,60 m, che poggiano sulla medesima fondazione del muro frontale.

La spalla B - 3 è rappresentata nella figura seguente:

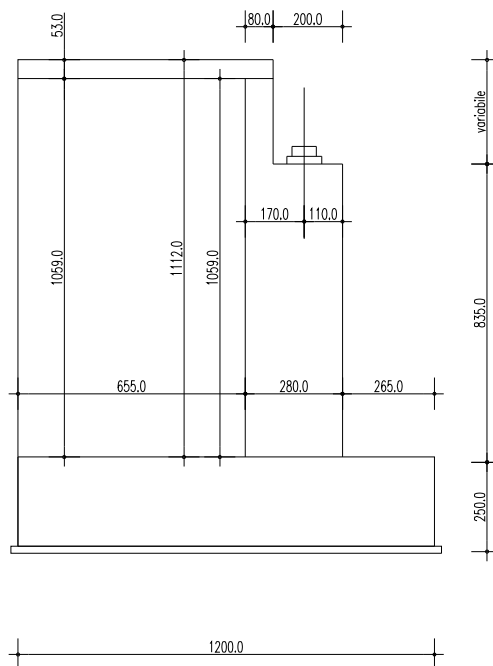


Figura 9.2 – Vista laterale Spalla B 3.



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Si riportano le caratteristiche geometriche della spalla:

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SPALLA

Descrizione		X (m)	Y (m)	Z (m)	n	γ (kN/mc)	Peso (kN)	dx (m)	bx (m)	M long (kNm)
fondazione	1	12,00	12,00	2,50	1	25	9.000	0,00	6,00	54.000
muro frontale	2	2,80	9,13	8,20	1	25	5.241	2,65	4,05	21.225
ringrosso	3	0,00	0,00	0,00	0	25	0	0,00	0,00	0
paraghiaia	4	0,80	9,13	2,50	1	25	457	4,65	5,05	2.305
muri laterali	5	6,55	1,30	10,70	2	25	4.556	5,45	8,73	39.747
terra	6	6,55	6,53	10,70	1	19,0	8.695	5,45	8,73	75.868
27.948								193.145		

altezza fronte vento ponte scarico (m)	4,14
altezza fronte vento ponte carico (m)	5,56
distanza tra asse appoggi e bordo anteriore fondazione (m)	3,75
distanza tra bordo anteriore fondazione e baricentro dei pali (m)	6,00

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0

9.2.1 ANALISI DEI CARICHI

La spalla è soggetta dalle sollecitazioni derivanti dall'impalcato riportati nel capitolo 8 e dalle spinte delle terre. Di seguito si riassumono i carichi globali gravanti:

AZIONI TRASMESSE DALL'IMPALCATO

momenti longitudinali rispetto al bordo anteriore

	N (kN)	H long (kN)	H trasv (kN)	M long (kNm)	M trasv (kNm)
<i>peso strutturale</i>	794	0	0	2.978	509
<i>permanenti</i>	320	0	0	1.200	220
<i>mezzi schema 1</i>	1.336	0	0	5.010	1.495
<i>mezzi schema 2</i>	1.332	0	0	4.995	1.377
<i>folia schema 1</i>	0	0	0	0	0
<i>folia schema 2</i>	0	0	0	0	0
<i>frenamento</i>	0	120	0	-1.284	0
<i>attrito / reazione gommoni ?T</i>	0	100	0	-1.067	0
<i>vento: impalcato scarico</i>	176	0	142	0	-2.161
<i>vento: impalcato carico</i>	167	0	160	0	-2.509
<i>temperatura</i>	0	0	0	0	0
<i>ritiro</i>	0	0	0	0	0
<i>azione centrifuga</i>	0	0	240	0	2.808
<i>sisma</i>	366	344	298	3.681	3.248

Eccentricità dei carichi verticali (mt) 0,00

Mt	H	Obliquità	°	rad
	120		0,00	0,00
	100			
348	142			
352	160			

PARAMETRI SISMICI

PARAMETRI TERRENO

accelerazione di picco	$\square g/g =$	0,4373	Peso specifico del terreno:	19,0	kN/m ³	<input type="checkbox"/>
coefficiente orizzontale	$=S_s \times S_T =$	1,00	Angolo di attrito terreno rilevato	0,611	rad	<input type="checkbox"/> 35,00 °
coefficiente verticale	$=S_s \times S_T =$	1,00	Angolo di attrito terreno di base	0,663	rad	<input type="checkbox"/> 38,00 °
	$a_{max} =$	0,437	Angolo di inclinazione del muro	1,571	rad	<input type="checkbox"/> 90,00 °
	$\square m =$	0,31				
	Kh =	0,136	Angolo di inclinazione del terreno	0,000	rad	<input type="checkbox"/> 0,00 °
Kv = 0,5 Kh	Kv =	0,068	Angolo di resistenza terra-muro	0,407	rad	<input type="checkbox"/> 23,33 °
	$\square \square =$	0,126	Coefficiente di spinta del terreno	K1 =	0,325	
	$\square \square =$	0,144		K2 =	0,339	

Per le spinte inerziali $\square m = 1$

Kx = 0,437 Ky = 0,437 Kv = 0,219

AZIONI TRASMESSE DAL TERRENO

AZIONI INERZIALI SIS. TRASMESSE DALLA SPALLA

	p (kN/mq)	H long (kN)	M long (kNm)
Ed = spinta terreno sismica + statica		5.474	-27.120
spinta a riposo	106,95	6.444	-28.355
spinta attiva	67,96	4.095	-18.020
spinta passiva plinto (50%)	154,63	1.160	966
spinta per sovraccarichi	3,84	463	-3.053

	p (kN/mq)	N vert (kN)	H long (kN)	M long (kNm)
Sovraccarico				
sommità	80,85	1.251	2.754	-18.175
piede muro	26,32			

	N (kN)	H long (kN)	H trasv (kN)	M long (kNm)	M trasv (kNm)
Sisma +	6.111	12.222	12.222	67.919	67.919
Sisma -	-4.210	-8.419	-8.419	-38.069	-38.069

Larghezza pavimentato	7,53	m	
numero stese	2		
angolo diffusione	30,00	°	0,52

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

9.2.1.1 Considerazioni sul parametro β_m



All'interno delle "Specifiche tecniche per il progetto definitivo e il progetto esecutivo dei collegamenti stradali e ferroviari" al punto 3.2.3.3.3, viene esplicitato che "...si può ragionevolmente prefigurare il mantenimento delle condizioni di spinta a riposo in presenza di spostamenti attesi inferiori a $5 \times 10^{-4} H$ m essendo H l'altezza fuori terra dell'opera". Tale assunzione può essere certamente estesa ai muri frontali delle spalle di tipo classico presenti nelle opere di nostra competenza.

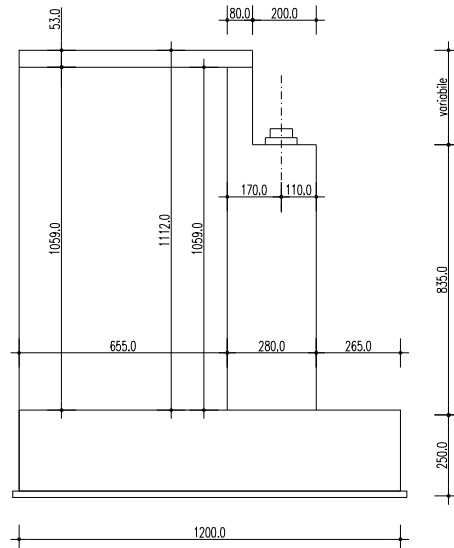
Per quanto riguarda la bibliografia, è possibile individuare il cedimento relativo tra un elemento di sostegno ed il terreno di spinta situato a tergo dello stesso; in particolare al capitolo 11.2 del libro "Fondazioni – progetto e analisi" del giugno 1991 di Joseph E. Bowles edito da McGraw – Hill, si definiscono, a seconda della tipologia del terreno, dei rapporti minimi tra cedimento ed altezza dell'elemento di sostegno per l'instaurarsi della spinta attiva, ovvero l'entità minima della traslazione affinché lo spostamento sia da considerarsi non trascurabile.

Per terreni incoerenti densi, come nei casi in esame rappresentati dal rilevato lavorato con rulli compattatori, il Bowles definisce tale spostamento pari a $0,001H \div 0,002H$, dove H rappresenta l'altezza dell'opera di sostegno; in definitiva si può quindi assumere prudenzialmente un valore della traslazione pari allo 0,5% come assunto dalle specifiche tecniche affinché si sviluppi un tipo di spinta attiva.

Rimandando alla bibliografia citata il significato della teoria alla base di tale assunzione, si effettua il calcolo dello spostamento di un muro frontale di una spalla tipo presente nei viadotti in oggetto di progettazione al fine di giustificare l'assunzione del coefficiente di riduzione sismica $\beta_m = 0,31$ indicato dalle NTC 2008 al punto 7.11.6.2.1.

Si effettua il calcolo dell'entità di tale spostamento per la Spalla B-3 in oggetto:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

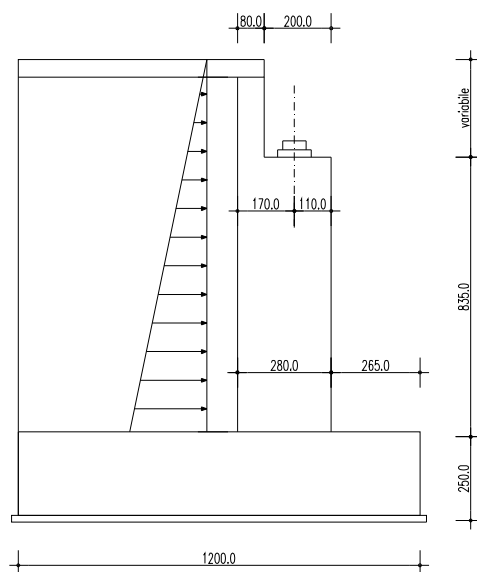




Si effettua il calcolo del cedimento in testa al muro frontale dovuto essenzialmente a 3 contributi:

- 4) Spinta attiva del terreno a tergo del muro con distribuzione triangolare;
- 5) Sovra spinta sismica per Mononobe-Okabe modellata come azione concentrata ad $H/2$, come stabilito dalla teoria; a tale forza si sommano le forze inerziali dovute a massa del terreno e del muro frontale ipotizzate con $\beta_m = 0,31$, con il medesimo punto di applicazione;
- 6) Forza sismica orizzontale in testa al muro derivante dall'impalcato.

I calcoli sono riferiti ad un metro di profondità del muro.

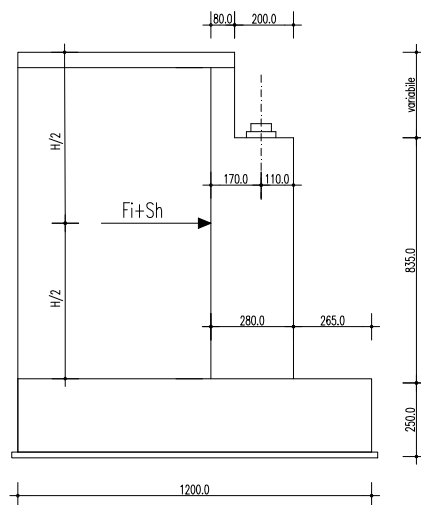
1) Il modello per la spinta attiva del terreno a tergo è così schematizzato:



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

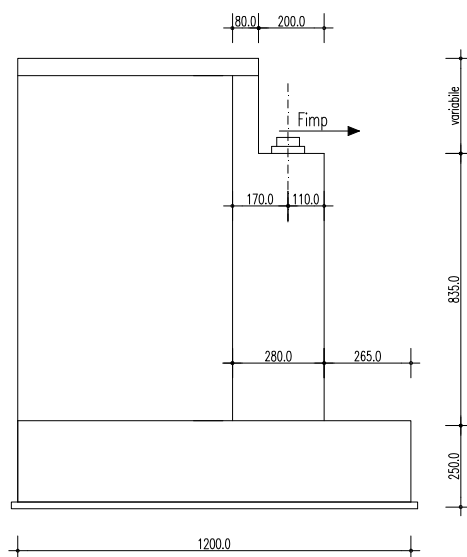
$$f_1 = \frac{1}{30} \cdot \frac{p \cdot L^4}{EJ} = \frac{1}{30} \cdot \frac{66,81 \cdot 10,70^4}{3,334 \cdot 10^6 \cdot 1,828} = 0,0053 \text{ m} = 5,3 \text{ mm}$$

2) Il modello per le azioni sismiche da forze inerziali e sovra spinta sismica del terreno è così schematizzato:



$$f_2 = \frac{P \cdot \left(\frac{L}{2}\right)^3}{3 \cdot EJ} = \frac{(475 + 85) \cdot 5,35^3}{3 \cdot 3,334 \cdot 10^6 \cdot 1,828} = 0,0063 \text{ m} = 6,3 \text{ mm}$$

3) Il modello per le azioni sismiche derivanti dall'impalcato è così schematizzato:



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$$f_2 = \frac{P \cdot L^3}{3 \cdot EJ} = \frac{59 \cdot 8,85^3}{3 \cdot 3,334 \cdot 10^6 \cdot 1,828} = 0,0027 \text{ m} = 2,7 \text{ mm}$$

Il cedimento totale del muro frontale schematizzato come mensola incastrata alla base vale quindi:

$$f_1 + f_2 + f_3 = 5,3 + 6,3 + 2,7 = 17,3 \text{ mm}$$

Tale valore di spostamento in testa al paramento verticale risulta pari a circa 0,18% dell'altezza della spalla e ciò consente di ritenere corretto l'utilizzo del fattore β_m ridotto in quanto il valore limite fissato nell'Eurocodice EC7 (Annesso C) e nella letteratura più conosciuta (Lancellotta – Geotecnica), perché si attivi la spinta attiva, è pari allo 0,05% - 0,10% dell'altezza della spalla

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO			
		RELAZIONE DI CALCOLO		Codice documento SS0706_F0.doc	Rev F0

9.2.1.2 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			
				Ψ_1		Ψ_1		Ψ_1		Ψ_1		Ψ_1		Ψ_1		Ψ_1		Ψ_1		Ψ_1	
SLU GEO	Vento	1,00	1,30	1,00	1,00	0,60	1,00	1,00	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	1,00	1,15	0,50	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	1,00	1,15	0,50	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	1,00	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	1,00	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	-1,00	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	-1,00	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	1,00	1,15	0,00	0,00	0,00	1,15	0,00	1,15	0,00	1,15	1,00	1,00
		γ_{G1}	γ_{G2}	Ψ_0	γ_{G2}	Ψ_0	γ_{G3}	Ψ_0	γ_{G1}	Ψ_0	γ_{G1}	Ψ_0	γ_{G1}	Ψ_0	γ_{G1}	Ψ_0	γ_{G1}	Ψ_0	γ_{G1}	Ψ_0	γ_{G1}
SLU STR	Vento	1,35	1,50	1,00	1,35	0,60	1,20	1,00	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	1,00	1,35	0,50	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	1,00	1,35	0,50	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	1,00	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	1,00	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	-1,00	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	-1,00	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	1,00	1,35	0,00	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	1,00	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	1,00	1,00	0,50	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	1,00	1,00	0,50	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	1,00	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	1,00	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	-1,00	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	-1,00	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	1,00	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	1,00	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	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

9.2.1.3 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 Y N+	1,00	1,00	0,20	0,30	1,00	0,30

9.2.2 MODELLO DI CALCOLO

9.2.2.1 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 compositi 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

bibliografia citata.

9.2.3 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 – 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.

9.2.3.1 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.

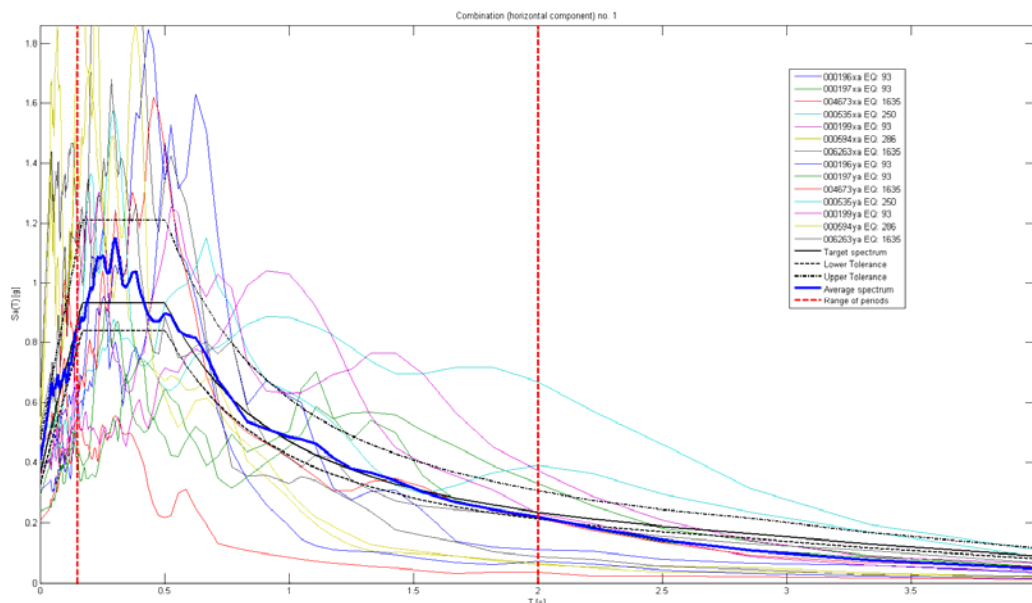
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <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						

Bulletin of Earthquake Engineering. DOI 10.1007/s10518-009-9146-1

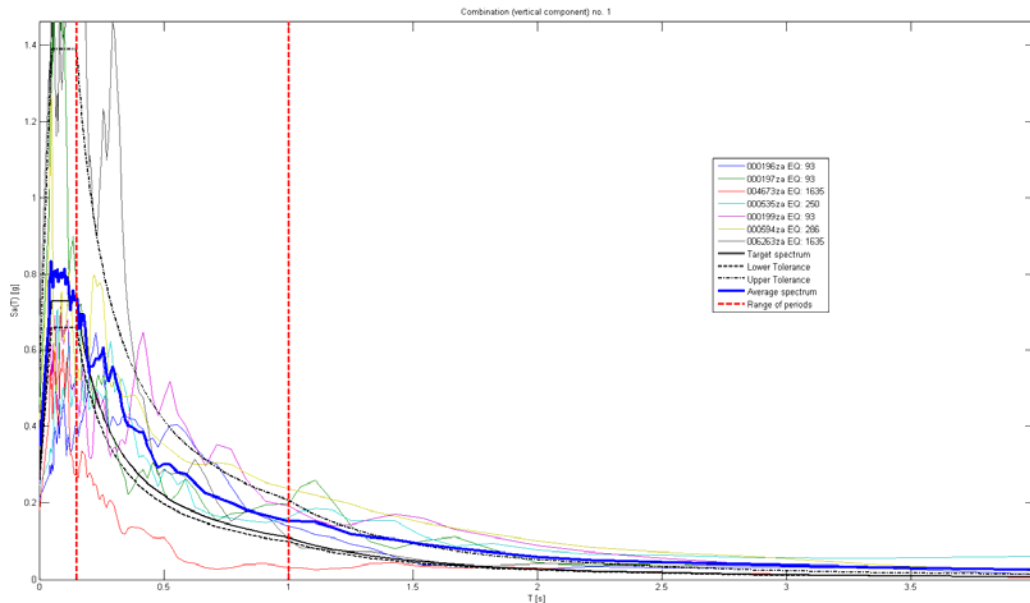
Il programma citato crea degli accelerogrammi spettro-compatibili con gli spettri elastici derivanti, in accordo con le Norme Tecniche 2008, dai parametri di coordinate del sito, categoria di sottosuolo, categoria topografica, vita nominale, classe d'uso e stato limite.

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 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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

9.2.4 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

9.2.5 ESCURSIONE DEI GIUNTI TRASVERSALI

I giunti devono essere in grado di assorbire una deformazione longitudinale dell'impalcato causata da una variazione termica ΔT di ± 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:



	Δ_{term}	Δ_{sism}	$\Delta_{ammesso}$
	mm	mm	mm
SpA	± 4	± 191	± 200

Occorre inoltre verificare che lo spostamento relativo tra le spalle sia compatibile con i giunti in oggetto, secondo le NTC2008, al paragrafo 3.2.5.2 "Spostamento assoluto e relativo del terreno", il valore dello spostamento relativo tra due punti a distanza x si può valutare con l'espressione:

$$d_{d_j}(x) = d_{ij0} + (d_{ijmax} - d_{ij0}) \cdot \left[1 - e^{-1,25 \left(\frac{x}{v_s} \right)^{0,7}} \right] \quad \text{dove:}$$

v_s = velocità di propagazione delle onde di taglio in m/s ricavabile dalle indagini sul terreno;

$d_{ij0}(x) = 1,25 |d_{gi} - d_{gj}|$ spostamento relativo tra 2 punti a piccola distanza;

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$$d_{ij\max} = 1,25\sqrt{d_{gi}^2 + d_{gj}^2} ;$$

d_{gi} e d_{gj} = spostamenti massimi del suolo nei punti i e j .

Essendo il terreno omogeneo tra le spalle ed i parametri sismici medesimi, si può calcolare, in accordo con il paragrafo 3.2.3.3 delle NTC2008:

$$d_{gi} = d_{gj} = 0,025 \cdot a_g \cdot S \cdot T_C \cdot T_D = 0,025 \cdot 4,373 \cdot 1,00 \cdot 0,55 \cdot 3,35 = 0,201 \text{ m}$$

Per cui :

$$d_{ij\max} = 1,25\sqrt{0,201^2 + 0,201^2} = 0,252 \text{ m}$$

$$d_{ijo} = 1,25 \cdot (0,020 - 0,020) = 0 \text{ m}$$

$$d_{dj}(x) = 0 + (0,252 - 0) \cdot \left[1 - e^{-1,25 \left(\frac{132,77}{240} \right)^{0,7}} \right] = 0,141 \text{ m} = 141 \text{ mm}$$

Avendo considerato la distanza tra i punti pari a 132,77 m e una velocità media v_s per terreni di classe C come da NTC2008.

Ai giunti è richiesto di garantire lo spostamento massimo relativo fra impalcato e sottostrutture per effetto delle azioni sismiche e termiche.

Le singole componenti di spostamento considerate sono:

- Spostamento dell'impalcato dovuto alla dilatazione termica uniforme (positiva);
- Spostamento dell'impalcato dovuto alla deformazione a taglio massima degli isolatori elastomerici.
- Spostamento relativo fra le spalle mobilitato a livello spiccato fondazioni (scorrimento su piano di posa addizionato a spostamento sismico differenziale del terreno).

In assenza di determinazione specifica dello scorrimento sul piano di posa delle spalle, alla luce dei risultati ottenuti dalle analisi numeriche FEM condotte per il viadotto Curcuraci in direzione Reggio Calabria, si ritiene che considerare il solo spostamento sismico differenziale del terreno, determinato come sopra secondo il 3.2.3.3 delle NTC, per la valutazione dello spostamento relativo delle spalle, sia un approccio sufficientemente conservativo. Dalle analisi FEM svolte è emerso infatti che lo spostamento relativo totale fra le spalle dato dallo scorrimento su piano di posa e dallo spostamento sismico differenziale del suolo di fondazione (calcolati secondo un approccio a favore di sicurezza, come meglio descritto nella relazione specifica), è paragonabile allo spostamento differenziale del terreno determinato secondo il 3.2.3.3 delle NTC.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Le componenti sopra citate sono addizionate coerentemente con quanto espresso nelle combinazioni di calcolo SLU – sismiche, considerando il 50% dello spostamento indotto dalla variazione termica in concomitanza all'evento sismico.

Si ipotizza inoltre, conservativamente, che il moto delle spalle e dell'impalcato possa avvenire in opposizione di fase, in considerazione della capacità del sistema di isolamento sismico di disaccoppiare la risposta della sovrastruttura da quella delle spalle.

L'escursione minima del giunto sulla singola spalla dovrà risultare soddisfare la relazione seguente:

$$escursione \dots giunto \geq (s_{isolamento} + s_{fondazioni}) / 2 + 0.5 \cdot s_{termico}$$

$$S_{termico} = 19.0 \quad \text{mm}$$

$$S_{isolamento} = 191.0 \quad \text{mm}$$

$$S_{fondazione} = 141.0 \quad \text{mm}$$

$$S_{totale/2} = 175.5 \quad \text{mm}$$

L'escursione massima ammessa di 200 mm risulta essere superiore allo spostamento massimo così calcolato.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

9.2.6 CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI

9.2.6.1 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	9.243	36.047	7.973	1.012	3.948	873	SLU STR
Combinazione 12	11.047	39.929	8.478	1.210	4.373	929	
Combinazione 13	11.041	39.927	8.478	1.209	4.373	929	
Combinazione 14	10.596	40.287	8.513	1.161	4.413	932	
Combinazione 15	10.592	40.286	8.513	1.160	4.412	932	
Combinazione 20	9.243	52.169	10.985	1.012	5.714	1.203	
	<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	9.994	30.201	5.818	1.095	3.308	637	
perm + sisma X + 0,30 sisma (Y+Z) schema 2	9.993	30.201	5.821	1.095	3.308	638	
perm + 0,30 sisma (X+Z) + sisma Y schema 1	9.994	19.533		1.095	2.139		
perm + 0,30 sisma (X+Z) + sisma Y schema 2	9.993	19.532		1.095	2.139		

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0

9.2.6.2 Sollecitazioni fondazione


VERIFICHE DI STABILITA'

	<i>N</i> (kN)	<i>M</i> _{rib} (kNm)	<i>M</i> _{stab} (kNm)	\square	<i>u</i> (m)	<i>e</i> (m)	SL
Combinazione 1	31.767	-37.929	220.442	5,81	5,75	0,25	SLU GEO
Combinazione 2	33.303	-41.440	226.204	5,46	5,55	0,45	
Combinazione 3	33.299	-41.440	226.187	5,46	5,55	0,45	
Combinazione 4	32.919	-42.039	224.764	5,35	5,55	0,45	
Combinazione 5	32.916	-42.039	224.751	5,35	5,55	0,45	
Combinazione 6	32.919	-39.495	227.307	5,76	5,71	0,29	
Combinazione 7	32.916	-39.495	227.294	5,76	5,71	0,29	
Combinazione 8	32.919	-40.562	224.764	5,54	5,60	0,40	
Combinazione 9	32.916	-40.562	224.751	5,54	5,60	0,40	
Combinazione 10	33.336	-58.830	221.881	3,77	4,89	1,11	
Combinazione 11	40.586	-43.974	277.945	6,32	5,76	0,24	SLU STR
Combinazione 12	42.390	-48.095	284.708	5,92	5,58	0,42	
Combinazione 13	42.384	-48.095	284.688	5,92	5,58	0,42	
Combinazione 14	41.939	-48.798	283.018	5,80	5,58	0,42	
Combinazione 15	41.935	-48.798	283.002	5,80	5,58	0,42	
Combinazione 16	41.939	-45.624	286.192	6,27	5,74	0,26	
Combinazione 17	41.935	-45.624	286.177	6,27	5,74	0,26	
Combinazione 18	41.939	-47.065	283.018	6,01	5,63	0,37	
Combinazione 19	41.935	-47.065	283.002	6,01	5,63	0,37	
Combinazione 20	42.425	-68.510	279.634	4,08	4,98	1,02	
Comb SLE 1	29.062	-29.423	197.322	6,71	5,78	0,22	SLE
Comb SLE 2	30.398	-32.475	202.332	6,23	5,59	0,41	
Comb SLE 3	30.394	-32.475	202.317	6,23	5,59	0,41	
Comb SLE 4	30.064	-32.996	201.080	6,09	5,59	0,41	
Comb SLE 5	30.061	-32.996	201.068	6,09	5,59	0,41	
Comb SLE 6	30.064	-30.645	203.431	6,64	5,75	0,25	
Comb SLE 7	30.061	-30.645	203.420	6,64	5,75	0,25	
Comb SLE 8	30.064	-31.712	201.080	6,34	5,63	0,37	
Comb SLE 9	30.061	-31.712	201.068	6,34	5,63	0,37	
Comb SLE 10	30.413	-47.597	198.573	4,17	4,96	1,04	
perm + sisma X + 0,30 sisma (Y+Z) schema 1	31.540	-111.198	200.293	1,80	2,82	3,18	SLV
perm + sisma X + 0,30 sisma (Y+Z) schema 2	31.538	-111.198	200.287	1,80	2,82	3,18	

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

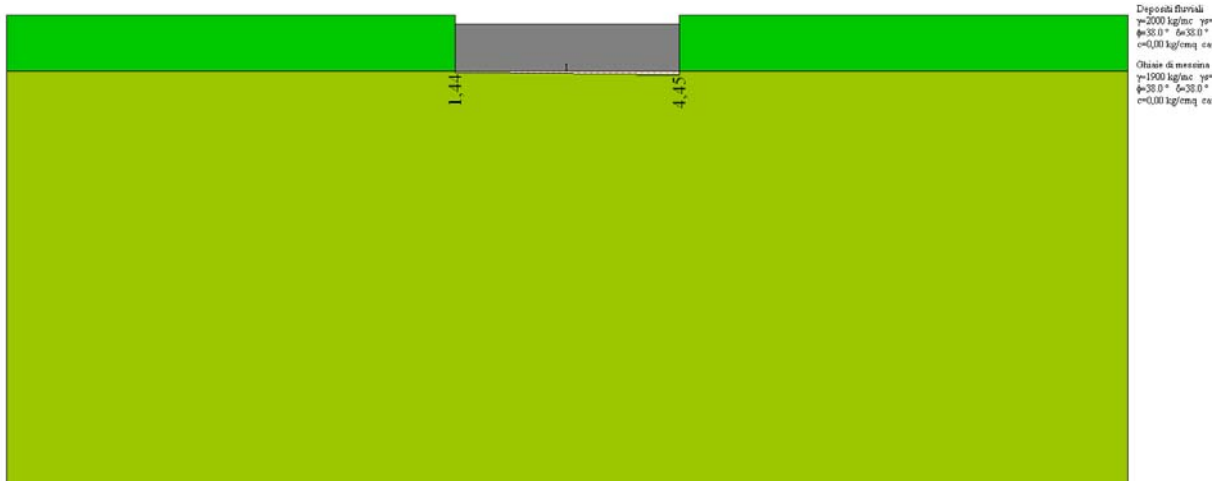
AZIONI GLOBALI NORME TECNICHE 2008

	<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	31.767	8.087	3.605	8.477	185	SLU GEO
Combinazione 2	33.303	15.055	4.471	9.009	125	
Combinazione 3	33.299	15.044	4.335	9.009	125	
Combinazione 4	32.919	14.789	4.041	9.014	125	
Combinazione 5	32.916	14.782	3.940	9.014	125	
Combinazione 6	32.919	9.702	3.940	8.539	125	
Combinazione 7	32.916	9.694	3.940	8.539	125	
Combinazione 8	32.919	13.313	7.271	8.876	401	
Combinazione 9	32.916	13.305	7.169	8.876	401	
Combinazione 10	33.336	36.963	2.752	11.644	125	
Combinazione 11	40.586	9.546	4.259	9.801	213	SLU STR
Combinazione 12	42.390	17.725	5.293	10.426	144	
Combinazione 13	42.384	17.713	5.134	10.426	144	
Combinazione 14	41.939	17.414	4.789	10.432	144	
Combinazione 15	41.935	17.405	4.669	10.432	144	
Combinazione 16	41.939	11.065	4.669	9.838	144	
Combinazione 17	41.935	11.056	4.669	9.838	144	
Combinazione 18	41.939	15.680	8.580	10.270	468	
Combinazione 19	41.935	15.671	8.460	10.270	468	
Combinazione 20	42.425	43.428	3.275	11.490	144	
Comb SLE 1	29.062	6.473	2.890	6.544	142	SLE
Comb SLE 2	30.398	12.532	3.729	7.007	96	
Comb SLE 3	30.394	12.523	3.611	7.007	96	
Comb SLE 4	30.064	12.301	3.356	7.011	96	
Comb SLE 5	30.061	12.294	3.267	7.011	96	
Comb SLE 6	30.064	7.599	3.267	6.572	96	
Comb SLE 7	30.061	7.592	3.267	6.572	96	
Comb SLE 8	30.064	11.017	6.164	6.891	336	
Comb SLE 9	30.061	11.010	6.075	6.891	336	
Comb SLE 10	30.413	31.504	2.234	7.795	96	
perm + sisma X + 0,30 sisma (Y+Z) schema 1	31.540	76.104	22.378	16.880	3.756	SLV
perm + sisma X + 0,30 sisma (Y+Z) schema 2	31.538	76.102	21.625	16.880	3.756	

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

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:



Sollecitazione sezione A-A

$$M_{SDA} = \left[(3,78 \cdot 10 - 2,500 \cdot 2,50) \cdot \frac{2,65^2}{2} + (4,45 - 3,78) \cdot 10 \cdot \frac{2,65^2}{3} \right] \cdot 10 = 1.265 \text{ kNm}$$



$$V_{SDA} = \left[(3,78 \cdot 10 - 2,500 \cdot 2,50) \cdot 2,65 + (4,45 - 3,78) \cdot 10 \cdot \frac{2,65}{2} \right] \cdot 10 = 925 \text{ kN}$$

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:

$$M_{SDB} = \left[(1,900 \cdot 10,80 + 2,500 \cdot 2,50) \cdot \frac{6,55^2}{2} - 1,44 \cdot 10 \cdot \frac{6,55^2}{2} - (3,08 - 1,44) \cdot 10 \cdot \frac{6,55^2}{6} \right] \cdot 10 = 2.520 \text{ kNm}$$

$$V_{SDB} = \left[(1,900 \cdot 10,80 + 2,500 \cdot 2,50) \cdot 6,55 - 1,44 \cdot 10 \cdot 6,55 - (3,08 - 1,44) \cdot 10 \cdot \frac{6,55}{2} \right] \cdot 10 = 773 \text{ kN}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

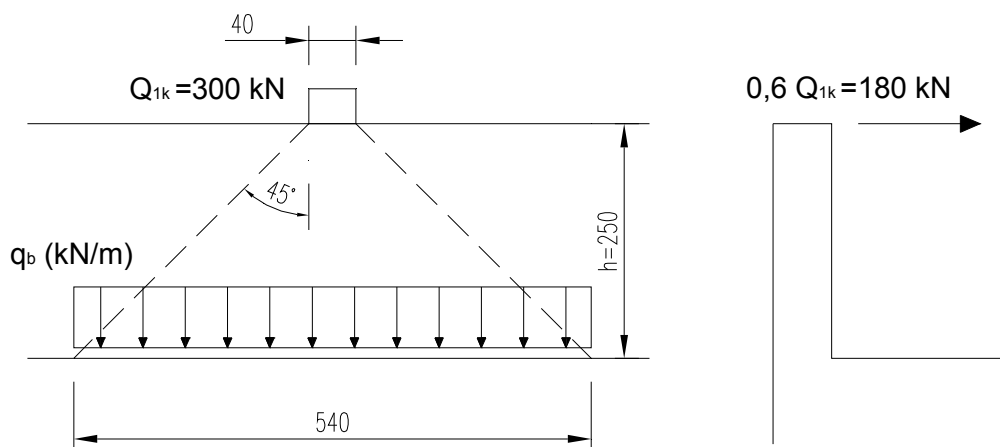
9.2.6.3 Sollecitazioni paraghiaia

La verifica viene effettuata 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 5.1.V.

- | | |
|-------------------------------|---|
| 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 | $p_1 = k_0 \cdot \sigma_v = 0,43 \cdot 19,00 \cdot 2,50 = 20,43 \text{ kN/m}^2$ |
| Spinta del sovraccarico | $p_2 = k_0 \cdot q = 0,43 \cdot 90,91 = 39,09 \text{ kN/m}^2$ |

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° lungo l'altezza del paraghiaia per arrivare alla pressoflessione di base ogni metro lineare, come descritto nell'immagine seguente.



- | | |
|-----------------------------|--|
| Larghezza di influenza | $b = 0,40 + 2 \cdot 2,50 = 5,40 \text{ m}$ |
| Pressione dovuta a Q_{1k} | $q_b = 300 / 5,40 = 55,55 \text{ kN/m}$ |

Approccio 1:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

Combinazione 1 → Stato Limite Ultimo STR:

$$M_{sd} = 20,43 \cdot 1,35 \cdot \frac{2,50^2}{6} + 39,09 \cdot 1,35 \cdot \frac{2,50^2}{2} + 180 \cdot 1,50 \cdot \frac{2,50}{5,40} = 319 \text{ kNm}$$

$$T_{sd} = 20,43 \cdot 1,35 \cdot \frac{2,50}{2} + 39,09 \cdot 1,35 \cdot 2,50 + 1,50 \cdot \frac{180}{5,40} = 216 \text{ kN}$$

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:

$$\text{Coefficiente di spinta attiva:} \quad k_a = 0,271$$

$$\text{Coefficiente di spinta statica + sisma:} \quad k_{ah} = 0,339$$

$$\text{Spinta attiva del terreno alla base:} \quad p_3 = k_a \cdot \sigma_v = 0,271 \cdot 19,00 \cdot 2,50 = 12,87 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Spinta attiva + sisma alla base:} \quad p_4 = k_{ah} \cdot \sigma_v = 0,339 \cdot 19,00 \cdot 2,50 = 16,10 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Forze di inerzia:} \quad F_i = k_h \cdot P = 0,4373 \cdot (0,80 \cdot 2,50 \cdot 25) = 21,87 \text{ kN}$$

$$M_{sd} = 16,10 \cdot 1,00 \cdot \frac{2,50^2}{4} + 39,09 \cdot 0,20 \cdot \frac{2,50^2}{2} + 21,87 \cdot 1,00 \cdot \frac{2,50}{2} = 76,93 \text{ kNm/m}$$

9.2.7 VERIFICA DELLE SEZIONI

9.2.7.1 Muro frontale

FLESSIONE ALLA SEZIONE DI BASE

$$M_{sd} = 5.701 \text{ kNm}$$

$$N_{sd} = 1.012 \text{ kN}$$

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	280
ARMATURA	compressa	φ26/10
	tesa	φ26/10 I strato

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

SOLLECITAZIONI Msd = 5.701 kNm
 Nsd = 1.012 kNm
INDICI DI RESISTENZA Mrd = 7.206 kNm
 Nrd = 1.279 kNm
 IR = 1,27

TAGLIO:

$V_{sd} = 1.201 \text{ kN}$

Verifica senza armatura trasversale	
Taglio res. ultimo (Vrdu1):	93702.086
Indice di resistenza:	1.28
Verifica delle bielle compresse	
Taglio res. ultimo (Vrdu2):	895357.750
Indice di resistenza:	0.13
Verifica con armatura trasversale	
Componente di taglio attribuita al calcestruzzo (Vrdu3):	0.000
Componente di taglio attribuita all'armatura (Vwd):	120100.000
Armatura trasversale per unita' di lunghezza (Asw, cm ² /m):	12.40
Staffe a 4 braccia:	ø20/101.3cm



VERIFICA TENSIONALE (SLE):

Si procede alla verifica tensionale della sezione di base che risulta essere maggiormente sollecitata.

Comb. Quasi Permanente

	N (kN)	M long (kNm)	M trasv (kNm)
Comb SLE 4	30.064	12.301	3.356

SEZIONE base (cm) 913
 altezza (cm) 280
ARMATURA compressa ø26/10
 tesa ø26/10 I strato

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

TENSIONI

cls $\sigma_c = (N/mm^2) 2,0 < 0,45 f_{ck} = 0,45 \times 33,20 = 14,94$

ferro $\sigma_f = (N/mm^2) 30 < 0,80 f_{yk} = 0,80 \times 450 = 360$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

9.2.7.2 Verifiche fondazione

Si verifica la sezione maggiormente sollecitata che risulta essere la posteriore.

FLESSIONE ALLA SEZIONE A-A

$$M_{sd} = 1.265 \text{ kNm}$$

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	250
ARMATURA	compressa	ϕ26/10
	tesa	ϕ26/10
SOLLECITAZIONI	Msd =	1.265 kNm
INDICI DI RESISTENZA	Mrd =	4.953 kNm
	IR =	3,92

TAGLIO ALLA SEZIONE A-A

$$V_{sd} = 925 \text{ kN}$$

RISULTATI VERIFICA A TAGLIO	
Verifica senza armatura trasversale	
Taglio res. ultimo (VRd):	623.807
Indice di resistenza:	1.48
Verifica delle bielle compresse	
Taglio resistente ultimo (VRcd):	7778.137
ctg(Theta):	1.00
Indice di resistenza:	0.12
Verifica con armatura trasversale	
Taglio attribuito all'armatura (VRsd):	925.000
Armatura trasversale per unita' di lunghezza (Asw, cm ² /m):	10.72
Staffe a 4 braccia:	ϕ20/100 cm

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

FLESSIONE ALLA SEZIONE B-B

$$M_{sd} = 2.521 \text{ kNm}$$

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	250
ARMATURA	compressa	φ26/10
	tesa	φ26/10
SOLLECITAZIONI	Msd =	2.521 kNm
INDICI DI RESISTENZA	Mrd =	4.953 kNm
	IR =	1,96

TAGLIO ALLA SEZIONE B-B

$$V_{sd} = 773 \text{ kN}$$

RISULTATI VERIFICA A TAGLIO	
Verifica senza armatura trasversale	
Taglio res. ultimo (VRd):	623.807
Indice di resistenza:	1.24
Verifica delle bielle compresse	
Taglio resistente ultimo (VRcd):	7778.137
ctg(Theta):	1.00
Indice di resistenza:	0.10
Verifica con armatura trasversale	
Taglio attribuito all'armatura (VRsd):	773.000
Armatura trasversale per unita' di lunghezza (Asw, cm ² /m):	8.96
Staffe a 4 braccia	
:	ø20/100 cm

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

9.2.7.3 Paraghiaia

PRESSOFLESSIONE ALLA SEZIONE DI BASE

$$M_{sd} = 319 \text{ kNm}$$

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	80
ARMATURA	compressa	$\phi 24/20$
	tesa	$\phi 24/20$
SOLLECITAZIONI	Msd =	319 kNm
	Nsd =	56 kN
INDICI DI RESISTENZA	Mrd =	640 kNm
	IR =	2,01

TAGLIO:

$$V_{sd} = 216 \text{ kN}$$

RISULTATI VERIFICA A TAGLIO

Verifica senza armatura trasversale

Taglio res. ultimo (Vrdul):	24695.289
Indice di resistenza:	0.87

FESSURAZIONE (SLE):

Si considerano condizioni ambientali aggressive e la presenza di armature poco sensibili:

COMBINAZIONE FREQUENTE

- combinazione (frequente):

$$F_d = g_1 + g_2 + \psi_1(q_1 + q_2)$$

$$W_D \leq \cdot W_2 = 0,3 \text{ mm}$$

$$M = 1,00 \times 20,43 \times 2,50^2 / 6 + 1,00 \times 0,75 \times 39,09 \times 2,50^2 / 2 = 113 \text{ kNm}$$

VERIFICA A FESSURAZIONE:

SEZIONE RETTANGOLARE	base (cm)	100
	altezza (cm)	80
ARMATURA	compressa	$\phi 20/20$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

	tesa	φ20/20
SOLLECITAZIONI	Msd =	113 kNm
TENSIONI	cls	$\sigma_c = (N/mm^2)$ 0,9
	ferro teso	$\sigma_f = (N/mm^2)$ 5,4
	ampiezza fess. $w_D = (mm)$	0
	VERIFICA SODDISFATTA	

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE

- combinazione (quasi permanente):



$$F_d = g_1 + g_2 + \psi_2(q_1 + q_2)$$

$$W_D \leq \cdot W_1 = 0,2 \text{ mm}$$

$$M = 1,00 \times 20,43 \times 2,50^2 / 6 + 1,00 \times 0,00 \times 39,09 \times 2,50^2 / 2 = 27 \text{ kNm}$$

VERIFICA A FESSURAZIONE:

SEZIONE RETTANGOLARE	base (cm)	100
	altezza (cm)	80
ARMATURA	compressa	φ20/20
	tesa	φ20/20
SOLLECITAZIONI	Msd =	21 kNm
TENSIONI	cls	$\sigma_c = (N/mm^2)$ 0,2
	ferro teso	$\sigma_f = (N/mm^2)$ 1,0
	ampiezza fess. $w_D = (mm)$	0,00
	VERIFICA SODDISFATTA	

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

9.3 ANALISI DELLA SPALLA B-4

La spalla B-4 è costituita da una ciabatta di fondazione a base a parallelogramma di dimensioni 16,50 x 16,50 m, di spessore 2,50 m e da un muro frontale di spessore pari a 2,80 m. Sul muro frontale corre un muro paraghiaia caratterizzato da spessore 0,80 m ed altezza variabile da 2,32 m a 2,45 mt.

Ai lati della spalla sono presenti due muri andatori paralleli all'asse stradale di lunghezza pari a 11,05 m, spessore variabile da 2,20 m a 0,80 mt e altezza pari a 15,50 m, che poggiano sulla medesima fondazione del muro frontale.

La spalla B - 4 è rappresentata nella figura seguente:

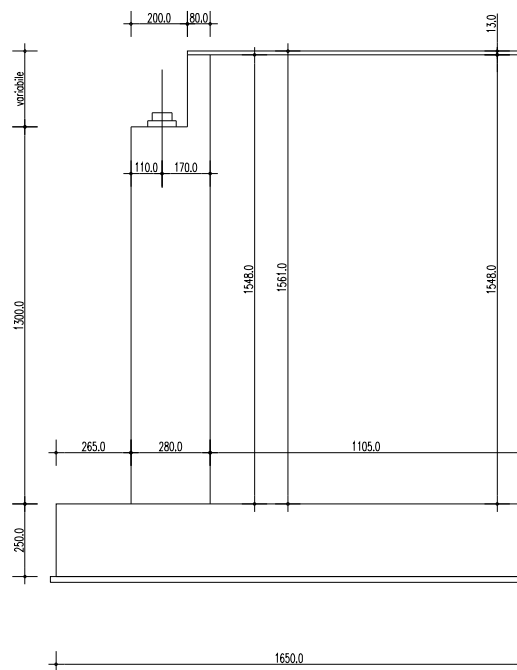


Figura 9.3 – Vista laterale Spalla B 4.



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Si riportano le caratteristiche geometriche della spalla:

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE DELLA SPALLA

Descrizione		X (m)	Y (m)	Z (m)	n	γ (kN/mc)	Peso (kN)	dx (m)	bx (m)	M long (kNm)
fondazione	1	16,50	16,50	2,50	1	25	17.016	0,00	8,25	140.379
muro frontale	2	2,80	8,10	13,00	1	25	7.371	2,65	4,05	29.853
ringrosso	3	0,00	0,00	0,00	0	25	0	0,00	0,00	0
paraghiaia	4	0,80	8,10	2,60	1	25	421	4,65	5,05	2.127
muri laterali	5	11,05	1,50	15,60	2	25	12.929	5,45	10,98	141.890
terra	6	11,05	5,10	15,60	1	19,0	16.704	5,45	10,98	183.322
							54.440			497.571

altezza fronte vento ponte scarico (m)	4,14
altezza fronte vento ponte carico (m)	5,56
distanza tra asse appoggi e bordo anteriore fondazione (m)	3,75
distanza tra bordo anteriore fondazione e baricentro dei pali (m)	8,25

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO	Codice documento SS0706_F0.doc	Rev F0

9.3.1 ANALISI DEI CARICHI

La spalla è soggetta dalle sollecitazioni derivanti dall'impalcato riportati nel capitolo 8 e dalle spinte delle terre. Di seguito si riassumono i carichi globali gravanti:

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	794	0	0	2.978	509
permanenti	320	0	0	1.200	220
mezzi schema 1	1.336	0	0	5.010	1.495
mezzi schema 2	1.332	0	0	4.995	1.377
folla schema 1	0	0	0	0	0
folla schema 2	0	0	0	0	0
frenamento	0	120	0	-1.860	0
attrito / reazione gommoni ?T	0	101	0	-1.569	0
vento: impalcato scarico	176	0	142	0	-2.843
vento: impalcato carico	167	0	160	0	-3.277
temperatura	0	0	0	0	0
ritiro	0	0	0	0	0
azione centrifuga	0	0	240	0	3.960
sisma	366	447	258	6.929	4.051

Eccentricità dei carichi verticali (mt) 0,00

Mt	H	Obliquità	°	rad
348	120	0,00	0,00	
352	101			
	160			

PARAMETRI SISMICI

PARAMETRI TERRENO

accelerazione di picco	$\square g/g =$	0,4373	Peso specifico del terreno:	19,0	kN/m ³	<input type="checkbox"/>
coefficiente orizzontale	$=S_s \times S_r =$	1,00	Angolo di attrito terreno rilevato	0,611	rad	<input type="checkbox"/> 35,00 °
coefficiente verticale	$=S_s \times S_r =$	1,00	Angolo di attrito terreno di base	0,663	rad	<input type="checkbox"/> 38,00 °
	$a_{max} =$	0,437	Angolo di inclinazione del muro	1,571	rad	<input type="checkbox"/> 90,00 °
	$\square m =$	0,31				
	Kh =	0,136	Angolo di inclinazione del terreno	0,000	rad	<input type="checkbox"/> 0,00 °
Kv = 0,5 Kh	Kv =	0,068	Angolo di resistenza terra-muro	0,407	rad	<input type="checkbox"/> 23,33 °
	$\square \square =$	0,126	Coefficiente di spinta del terreno	K1 =	0,325	
	$\square \square =$	0,144		K2 =	0,339	

AZIONI TRASMESSE DAL TERRENO

Per le spinte inerziali $\square m = 1$

Kx = 0,437 Ky = 0,437 Kv = 0,219

	p (kN/mq)	H long (kN)	M long (kNm)
Ed = spinta terreno sismica + statica		9.132	-62.033
spinta a riposo	146,65	10.750	-64.858
spinta attiva	93,19	6.832	-41.217
spinta passiva plinto (50%)	154,63	1.595	1.329
spinta per sovraccarichi	3,84	563	-5.092

	p (kN/mq)	N vert (kN)	H long (kN)	M long (kNm)
Sovraccarico				
sommità	81,26	1.395	3.211	-29.056
piede muro	21,45			

AZIONI INERZIALI SIS. TRASMESSE DALLA SPALLA

	N (kN)	H long (kN)	H trasv (kN)	M long (kNm)	M trasv (kNm)
Sisma +	11.903	23.807	23.807	174.874	174.874
Sisma -	-8.251	-16.502	-16.502	-99.638	-99.638

Larghezza pavimentato	6,50	m	
numero stese	2		
angolo diffusione	30,00	°	0,52

RELAZIONE DI CALCOLO

Codice documento
SS0706_F0.doc

Rev
F0

Data
20/06/2011

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	794	0	0	2.978	509
permanenti	320	0	0	1.200	220
mezzi schema 1	1.336	0	0	5.010	1.495
mezzi schema 2	1.332	0	0	4.995	1.377
folia schema 1	0	0	0	0	0
folia schema 2	0	0	0	0	0
frenamento	0	120	0	-1.860	0
attrito / reazione gommoni ?T	0	101	0	-1.569	0
vento: impalcato scarico	176	0	142	0	-2.843
vento: impalcato carico	167	0	160	0	-3.277
temperatura	0	0	0	0	0
ritiro	0	0	0	0	0
azione centrifuga	0	0	240	0	3.960
sisma	366	447	258	6.929	4.051

Mt H Obliquità ° rad
 120 142 0,00 0,00
 101 160

Eccentricità dei carichi verticali (mt) 0,00

PARAMETRI SISMICI

PARAMETRI TERRENO

accelerazione di picco	$\square/g=$	0,4373	Peso specifico del terreno:	19,0	kN/m ³	<input type="checkbox"/>
coefficiente orizzontale	$=S_s \times S_T =$	1,00	Angolo di attrito terreno rilevato	0,611	rad	<input type="checkbox"/> 35,00 °
coefficiente verticale	$=S_s \times S_T =$	1,00	Angolo di attrito terreno di base	0,663	rad	<input type="checkbox"/> 38,00 °
	$a_{max} =$	0,437	Angolo di inclinazione del muro	1,571	rad	<input type="checkbox"/> 90,00 °
	$\square m$	0,31	Angolo di inclinazione del terreno	0,000	rad	<input type="checkbox"/> 0,00 °
Kv=0,5 Kh	Kh=	0,136	Angolo di resistenza terra-muro	0,407	rad	<input type="checkbox"/> 23,33 °
	Kv=	0,068	Coefficiente di spinta del terreno	K1=	0,325	
	$\square \square$	0,126		K2=	0,339	
	$\square \square$	0,144				

AZIONI TRASMESSE DAL TERRENO

Per le spinte inerziali $\square m=1$

Kx= 0,437 Ky= 0,437 Kv= 0,219

	p (kN/mq)	H long (kN)	M long (kNm)
Ed= spinta terreno sismica+statica		9.132	-62.033
spinta a riposo	146,65	10.750	-64.858
spinta attiva	93,19	6.832	-41.217
spinta passiva plinto	279,55	6.115	7.134
spinta per sovraccarichi	3,84	563	-5.092

	p (kN/mq)	N vert (kN)	H long (kN)	M long (kNm)
Sovraccarico				
sommità	81,26	1.395	3.211	-29.056
piede muro	21,45			

AZIONI INERZIALI SIS. TRASMESSE DALLA SPALLA

	N (kN)	H long (kN)	H trasv (kN)	M long (kNm)	M trasv (kNm)
Sisma +	11.903	23.807	23.807	174.874	174.874
Sisma -	-8.251	-16.502	-16.502	-99.638	-99.638

Larghezza pavimentato	6,50	m	
numero stese	2		
angolo diffusione	30,00	°	0,52

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

9.3.1.1 Considerazioni sul parametro β_m



All'interno delle "Specifiche tecniche per il progetto definitivo e il progetto esecutivo dei collegamenti stradali e ferroviari" al punto 3.2.3.3.3, viene esplicitato che "...si può ragionevolmente prefigurare il mantenimento delle condizioni di spinta a riposo in presenza di spostamenti attesi inferiori a $5 \times 10^{-4} H$ m essendo H l'altezza fuori terra dell'opera". Tale assunzione può essere certamente estesa ai muri frontali delle spalle di tipo classico presenti nelle opere di nostra competenza.

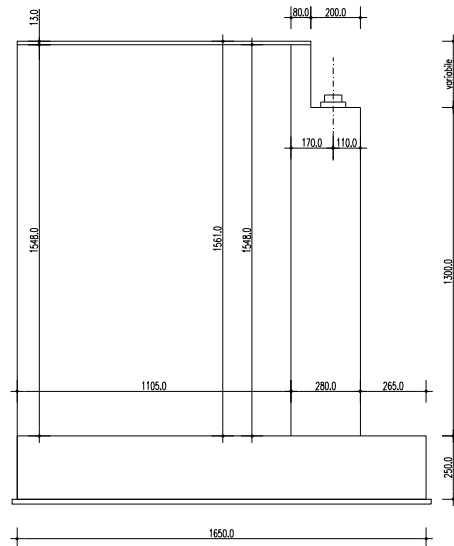
Per quanto riguarda la bibliografia, è possibile individuare il cedimento relativo tra un elemento di sostegno ed il terreno di spinta situato a tergo dello stesso; in particolare al capitolo 11.2 del libro "Fondazioni – progetto e analisi" del giugno 1991 di Joseph E. Bowles edito da McGraw – Hill, si definiscono, a seconda della tipologia del terreno, dei rapporti minimi tra cedimento ed altezza dell'elemento di sostegno per l'instaurarsi della spinta attiva, ovvero l'entità minima della traslazione affinché lo spostamento sia da considerarsi non trascurabile.

Per terreni incoerenti densi, come nei casi in esame rappresentati dal rilevato lavorato con rulli compattatori, il Bowles definisce tale spostamento pari a $0,001H \div 0,002H$, dove H rappresenta l'altezza dell'opera di sostegno; in definitiva si può quindi assumere prudenzialmente un valore della traslazione pari allo 0,5% come assunto dalle specifiche tecniche affinché si sviluppi un tipo di spinta attiva.

Rimandando alla bibliografia citata il significato della teoria alla base di tale assunzione, si effettua il calcolo dello spostamento di un muro frontale di una spalla tipo presente nei viadotti in oggetto di progettazione al fine di giustificare l'assunzione del coefficiente di riduzione sismica $\beta_m = 0,31$ indicato dalle NTC 2008 al punto 7.11.6.2.1.

Si effettua il calcolo dell'entità di tale spostamento per la Spalla B-4 in oggetto:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

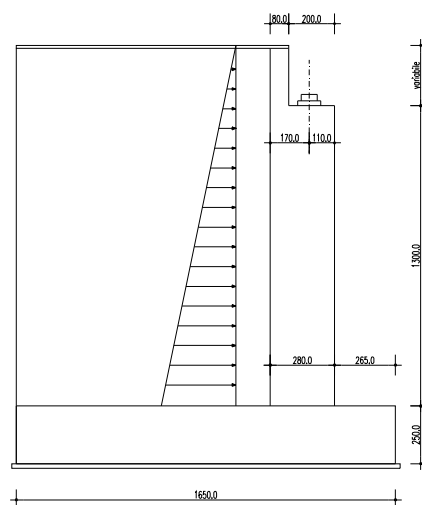


Si effettua il calcolo del cedimento in testa al muro frontale dovuto essenzialmente a 3 contributi:

- 7) Spinta attiva del terreno a tergo del muro con distribuzione triangolare;
- 8) Sovra spinta sismica per Mononobe-Okabe modellata come azione concentrata ad $H/2$, come stabilito dalla teoria; a tale forza si sommano le forze inerziali dovute a massa del terreno e del muro frontale ipotizzate con $\beta_m = 0,31$, con il medesimo punto di applicazione;
- 9) Forza sismica orizzontale in testa al muro derivante dall'impalcato.

I calcoli sono riferiti ad un metro di profondità del muro.

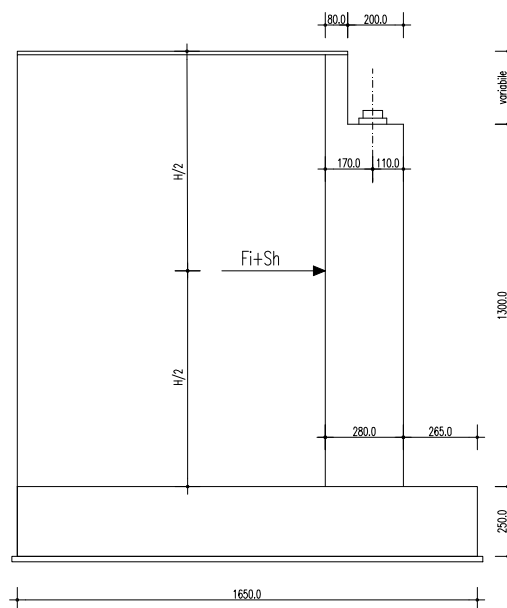
1) Il modello per la spinta attiva del terreno a tergo è così schematizzato:



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						



$$f_1 = \frac{1}{30} \cdot \frac{p \cdot L^4}{EJ} = \frac{1}{30} \cdot \frac{85,47 \cdot 15,60^4}{3,334 \cdot 10^6 \cdot 1,828} = 0,0262 \text{ m} = 26,2 \text{ mm}$$

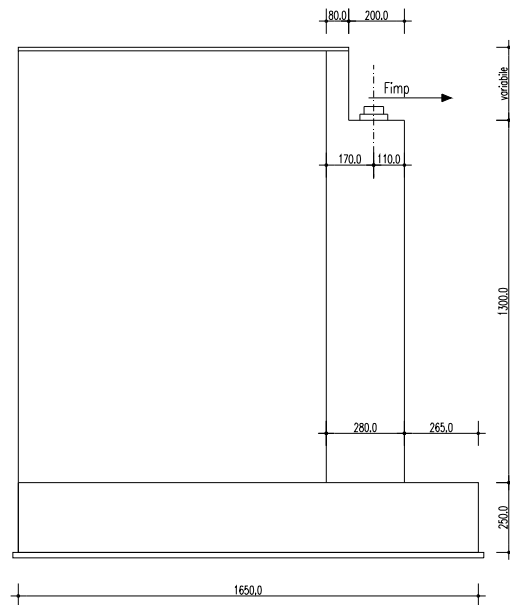
2) Il modello per le azioni sismiche da forze inerziali e sovra spinta sismica del terreno è così schematizzato:



$$f_2 = \frac{P \cdot \left(\frac{L}{2}\right)^3}{3 \cdot EJ} = \frac{(880 + 155) \cdot 7,80^3}{3 \cdot 3,334 \cdot 10^6 \cdot 1,828} = 0,0248 \text{ m} = 24,8 \text{ mm}$$

3) Il modello per le azioni sismiche derivanti dall'impalcato è così schematizzato:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						



$$f_2 = \frac{P \cdot L^3}{3 \cdot EJ} = \frac{55 \cdot 13,50^3}{3 \cdot 3,334 \cdot 10^6 \cdot 1,828} = 0,0068 \text{ m} = 6,8 \text{ mm}$$

Il cedimento totale del muro frontale schematizzato come mensola incastrata alla base vale quindi:

$$f_1 + f_2 + f_3 = 26,2 + 24,8 + 6,8 = 57,8 \text{ mm}$$

Tale valore di spostamento in testa al paramento verticale risulta pari a circa 0,37% dell'altezza della spalla e ciò consente di ritenere corretto l'utilizzo del fattore β_m ridotto in quanto il valore limite fissato nell'Eurocodice EC7 (Annesso C) e nella letteratura più conosciuta (Lancellotta – Geotecnica), perché si attivi la spinta attiva, è pari allo 0,05% - 0,10% dell'altezza della spalla

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO			
		RELAZIONE DI CALCOLO		Codice documento SS0706_F0.doc	Rev F0

9.3.1.2 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			
				Ψ_1		Ψ_1		Ψ_1		Ψ_1		Ψ_1		Ψ_1		Ψ_1		Ψ_1		Ψ_1	
SLU GEO	Vento	1,00	1,30	1,00	1,00	0,60	1,00	1,00	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	1,00	1,15	0,50	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	1,00	1,15	0,50	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	1,00	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	1,00	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	-1,00	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	-1,00	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	1,00	1,15	0,00	0,00	0,00	1,15	0,00	1,15	0,00	1,15	1,00	1,00
		γ_{G1}	γ_{G2}	Ψ_0	γ_{G2}	Ψ_0	γ_{G3}	Ψ_0	γ_{G1}	Ψ_0	γ_{G1}	Ψ_0	γ_{G1}	Ψ_0	γ_{G1}	Ψ_0	γ_{G1}	Ψ_0	γ_{G1}	Ψ_0	γ_{G1}
SLU STR	Vento	1,35	1,50	1,00	1,35	0,60	1,20	1,00	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	1,00	1,35	0,50	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	1,00	1,35	0,50	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	1,00	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	1,00	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	-1,00	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	-1,00	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	1,00	1,35	0,00	0,00	0,00	1,35	0,00	1,35	0,00	1,35	1,00	1,20
SLU SLE	Vento	1,00	1,00	1,00	1,00	0,60	1,00	1,00	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	1,00	1,00	0,50	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	1,00	1,00	0,50	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	1,00	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	1,00	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	-1,00	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	-1,00	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	1,00	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	1,00	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	1,00	1,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	1,00	1,00

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

9.3.1.3 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 Y N+	1,00	1,00	0,20	0,30	1,00	0,30

9.3.2 MODELLO DI CALCOLO

9.3.2.1 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 compositi 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

bibliografia citata.

9.3.3 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 – 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.

9.3.3.1 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.

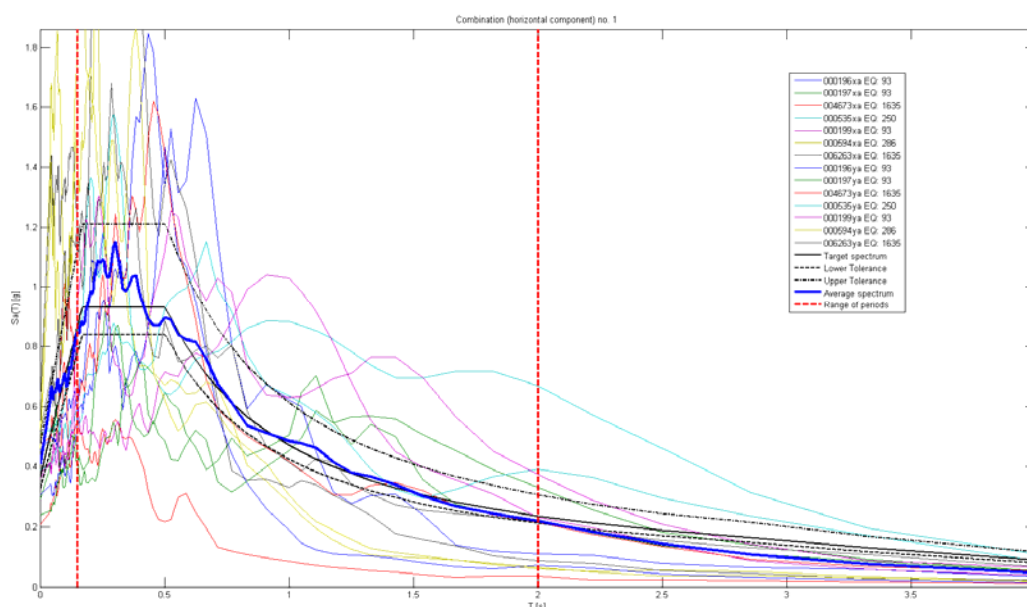
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <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						

Bulletin of Earthquake Engineering. DOI 10.1007/s10518-009-9146-1

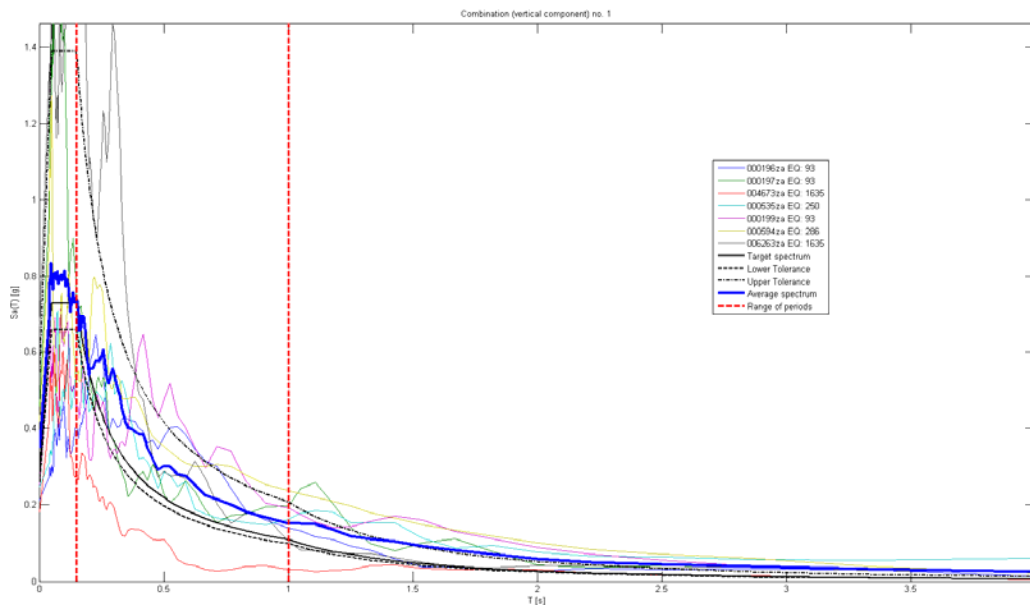
Il programma citato crea degli accelerogrammi spettro-compatibili con gli spettri elastici derivanti, in accordo con le Norme Tecniche 2008, dai parametri di coordinate del sito, categoria di sottosuolo, categoria topografica, vita nominale, classe d'uso e stato limite.

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 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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

9.3.4 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

9.3.5 ESCURSIONE DEI GIUNTI TRASVERSALI

I giunti devono essere in grado di assorbire una deformazione longitudinale dell'impalcato causata da una variazione termica ΔT di ± 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:

	Δl_{term}	Δl_{sism}	$\Delta l_{ammesso}$
	mm	mm	mm
SpA	± 4	± 191	± 200

Occorre inoltre verificare che lo spostamento relativo tra le spalle sia compatibile con i giunti in oggetto, secondo le NTC2008, al paragrafo 3.2.5.2 "Spostamento assoluto e relativo del terreno", il valore dello spostamento relativo tra due punti a distanza x si può valutare con l'espressione:

$$d_{d_j}(x) = d_{ij0} + (d_{ijmax} - d_{ij0}) \cdot \left[1 - e^{-1,25 \left(\frac{x}{v_s} \right)^{0,7}} \right] \text{ dove:}$$

v_s = velocità di propagazione delle onde di taglio in m/s ricavabile dalle indagini sul terreno;

$d_{ij0}(x) = 1,25 |d_{gi} - d_{gj}|$ spostamento relativo tra 2 punti a piccola distanza;

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$$d_{ij\max} = 1,25\sqrt{d_{gi}^2 + d_{gj}^2} ;$$

d_{gi} e d_{gj} = spostamenti massimi del suolo nei punti i e j .

Essendo il terreno omogeneo tra le spalle ed i parametri sismici medesimi, si può calcolare, in accordo con il paragrafo 3.2.3.3 delle NTC2008:

$$d_{gi} = d_{gj} = 0,025 \cdot a_g \cdot S \cdot T_C \cdot T_D = 0,025 \cdot 4,373 \cdot 1,00 \cdot 0,55 \cdot 3,35 = 0,201 \text{ m}$$

Per cui :

$$d_{ij\max} = 1,25\sqrt{0,201^2 + 0,201^2} = 0,252 \text{ m}$$

$$d_{ij0} = 1,25 \cdot (0,020 - 0,020) = 0 \text{ m}$$

$$d_{dj}(x) = 0 + (0,252 - 0) \cdot \left[1 - e^{-1,25 \left(\frac{135,26}{240} \right)^{0,7}} \right] = 0,143 \text{ m} = 143 \text{ mm}$$

Avendo considerato la distanza tra i punti pari a 135,26 m e una velocità media v_s per terreni di classe C come da NTC2008.

Ai giunti è richiesto di garantire lo spostamento massimo relativo fra impalcato e sottostrutture per effetto delle azioni sismiche e termiche.

Le singole componenti di spostamento considerate sono:

- Spostamento dell'impalcato dovuto alla dilatazione termica uniforme (positiva);
- Spostamento dell'impalcato dovuto alla deformazione a taglio massima degli isolatori elastomerici.
- Spostamento relativo fra le spalle mobilitato a livello spiccato fondazioni (scorrimento su piano di posa addizionato a spostamento sismico differenziale del terreno).

In assenza di determinazione specifica dello scorrimento sul piano di posa delle spalle, alla luce dei risultati ottenuti dalle analisi numeriche FEM condotte per il viadotto Curcuraci in direzione Reggio Calabria, si ritiene che considerare il solo spostamento sismico differenziale del terreno, determinato come sopra secondo il 3.2.3.3 delle NTC, per la valutazione dello spostamento relativo delle spalle, sia un approccio sufficientemente conservativo. Dalle analisi FEM svolte è emerso infatti che lo spostamento relativo totale fra le spalle dato dallo scorrimento su piano di posa e dallo spostamento sismico differenziale del suolo di fondazione (calcolati secondo un approccio a favore di sicurezza, come meglio descritto nella relazione specifica), è paragonabile allo spostamento differenziale del terreno determinato secondo il 3.2.3.3 delle NTC.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Le componenti sopra citate sono addizionate coerentemente con quanto espresso nelle combinazioni di calcolo SLU – sismiche, considerando il 50% dello spostamento indotto dalla variazione termica in concomitanza all'evento sismico.

Si ipotizza inoltre, conservativamente, che il moto delle spalle e dell'impalcato possa avvenire in opposizione di fase, in considerazione della capacità del sistema di isolamento sismico di disaccoppiare la risposta della sovrastruttura da quella delle spalle.

L'escursione minima del giunto sulla singola spalla dovrà risultare soddisfare la relazione seguente:

$$escursione \dots giunto \geq (s_{isolamento} + s_{fondazioni}) / 2 + 0.5 \cdot s_{termico}$$

$$S_{termico} = 20.0 \quad \text{mm}$$

$$S_{isolamento} = 191.0 \quad \text{mm}$$

$$S_{fondazione} = 143.0 \quad \text{mm}$$

$$S_{totale/2} = 177.0 \quad \text{mm}$$

L'escursione massima ammessa di 200 mm risulta essere superiore allo spostamento massimo così calcolato.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

9.3.6 CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI

9.3.6.1 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	12.071	86.092	14.036	1.490	10.629	1.733
Combinazione 12	13.875	92.558	14.690	1.713	11.427	1.814
Combinazione 13	13.870	92.557	14.690	1.712	11.427	1.814
Combinazione 14	13.424	93.048	14.688	1.657	11.487	1.813
Combinazione 15	13.420	93.046	14.688	1.657	11.487	1.813
Combinazione 20	12.071	116.050	17.876	1.490	14.327	2.207
	<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	12.607	65.189	9.579	1.556	8.048	1.183
perm + sisma X + 0,30 sisma (Y+Z) schema 2	12.606	65.188	9.580	1.556	8.048	1.183

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		Codice documento SS0706_F0.doc	Rev F0	Data 20/06/2011

9.3.6.2 Sollecitazioni fondazione

VERIFICHE DI STABILITA'

	<i>N</i> (kN)	<i>M_{rib}</i> (kNm)	<i>M_{stab}</i> (kNm)	\square	<i>u</i> (m)	<i>e</i> (m)	SL
Combinazione 1	60.661	-85.885	557.105	6,49	7,77	0,48	SLU GEO
Combinazione 2	62.197	-91.741	562.867	6,14	7,57	0,68	
Combinazione 3	62.193	-91.741	562.849	6,14	7,57	0,68	
Combinazione 4	61.813	-92.416	561.426	6,08	7,59	0,66	
Combinazione 5	61.810	-92.416	561.413	6,07	7,59	0,66	
Combinazione 6	61.813	-88.707	565.135	6,37	7,71	0,54	
Combinazione 7	61.810	-88.707	565.122	6,37	7,71	0,54	
Combinazione 8	61.813	-90.277	561.426	6,22	7,62	0,63	
Combinazione 9	61.810	-90.277	561.413	6,22	7,62	0,63	
Combinazione 10	62.396	-119.299	558.710	4,68	7,04	1,21	
Combinazione 11	77.551	-99.406	705.039	7,09	7,81	0,44	SLU STR
Combinazione 12	79.355	-106.280	711.802	6,70	7,63	0,62	
Combinazione 13	79.350	-106.280	711.782	6,70	7,63	0,62	
Combinazione 14	78.904	-107.073	710.112	6,63	7,64	0,61	
Combinazione 15	78.900	-107.073	710.096	6,63	7,64	0,61	
Combinazione 16	78.904	-102.443	714.741	6,98	7,76	0,49	
Combinazione 17	78.900	-102.443	714.726	6,98	7,76	0,49	
Combinazione 18	78.904	-104.562	710.112	6,79	7,67	0,58	
Combinazione 19	78.900	-104.562	710.096	6,79	7,67	0,58	
Combinazione 20	79.585	-138.631	706.922	5,10	7,14	1,11	
Comb SLE 1	55.554	-66.427	501.749	7,55	7,84	0,41	SLE
Comb SLE 2	56.890	-71.520	506.759	7,09	7,65	0,60	
Comb SLE 3	56.886	-71.520	506.744	7,09	7,65	0,60	
Comb SLE 4	56.556	-72.107	505.506	7,01	7,66	0,59	
Comb SLE 5	56.553	-72.107	505.495	7,01	7,66	0,59	
Comb SLE 6	56.556	-68.677	508.935	7,41	7,78	0,47	
Comb SLE 7	56.553	-68.677	508.924	7,41	7,78	0,47	
Comb SLE 8	56.556	-70.247	505.506	7,20	7,70	0,55	
Comb SLE 9	56.553	-70.247	505.495	7,20	7,70	0,55	
Comb SLE 10	57.049	-95.483	503.144	5,27	7,15	1,10	
perm + sisma X + 0,30 sisma (Y+Z) schema 1	59.769	-275.278	505.081	1,83	3,84	4,41	SLV
perm + sisma X + 0,30 sisma (Y+Z) schema 2	59.768	-275.278	505.075	1,83	3,84	4,41	

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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	60.661	29.233	4.491	14.076	185	SLU GEO
Combinazione 2	62.197	42.003	5.070	14.723	125	
Combinazione 3	62.193	41.982	4.934	14.723	125	
Combinazione 4	61.813	40.949	4.640	14.699	125	
Combinazione 5	61.810	40.934	4.539	14.699	125	
Combinazione 6	61.813	33.533	4.539	14.221	125	
Combinazione 7	61.810	33.517	4.539	14.221	125	
Combinazione 8	61.813	38.810	9.194	14.561	401	
Combinazione 9	61.810	38.795	9.093	14.561	401	
Combinazione 10	62.396	75.353	3.351	17.768	125	
Combinazione 11	77.551	34.166	5.282	16.262	213	SLU STR
Combinazione 12	79.355	49.156	5.985	17.021	144	
Combinazione 13	79.350	49.132	5.825	17.021	144	
Combinazione 14	78.904	47.920	5.480	16.993	144	
Combinazione 15	78.900	47.901	5.360	16.993	144	
Combinazione 16	78.904	38.660	5.360	16.396	144	
Combinazione 17	78.900	38.642	5.360	16.396	144	
Combinazione 18	78.904	45.409	10.826	16.831	468	
Combinazione 19	78.900	45.390	10.706	16.831	468	
Combinazione 20	79.585	88.285	3.966	18.145	144	
Comb SLE 1	55.554	22.999	3.572	10.851	142	SLE
Comb SLE 2	56.890	34.103	4.190	11.414	96	
Comb SLE 3	56.886	34.085	4.072	11.414	96	
Comb SLE 4	56.556	33.187	3.816	11.393	96	
Comb SLE 5	56.553	33.174	3.728	11.393	96	
Comb SLE 6	56.556	26.328	3.728	10.951	96	
Comb SLE 7	56.553	26.315	3.728	10.951	96	
Comb SLE 8	56.556	31.327	7.776	11.273	336	
Comb SLE 9	56.553	31.314	7.688	11.273	336	
Comb SLE 10	57.049	62.996	2.695	12.246	96	
perm + sisma X + 0,30 sisma (Y+Z) schema 1	59.769	200.379	54.705	31.791	7.219	SLV
perm + sisma X + 0,30 sisma (Y+Z) schema 2	59.768	200.376	53.953	31.791	7.219	

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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	60.661	29.233	4.491	14.076	185	SLU GEO
Combinazione 2	62.197	42.003	5.070	14.723	125	
Combinazione 3	62.193	41.982	4.934	14.723	125	
Combinazione 4	61.813	40.949	4.640	14.699	125	
Combinazione 5	61.810	40.934	4.539	14.699	125	
Combinazione 6	61.813	33.533	4.539	14.221	125	
Combinazione 7	61.810	33.517	4.539	14.221	125	
Combinazione 8	61.813	38.810	9.194	14.561	401	
Combinazione 9	61.810	38.795	9.093	14.561	401	
Combinazione 10	62.396	75.353	3.351	17.768	125	
Combinazione 11	77.551	34.166	5.282	16.262	213	SLU STR
Combinazione 12	79.355	49.156	5.985	17.021	144	
Combinazione 13	79.350	49.132	5.825	17.021	144	
Combinazione 14	78.904	47.920	5.480	16.993	144	
Combinazione 15	78.900	47.901	5.360	16.993	144	
Combinazione 16	78.904	38.660	5.360	16.396	144	
Combinazione 17	78.900	38.642	5.360	16.396	144	
Combinazione 18	78.904	45.409	10.826	16.831	468	
Combinazione 19	78.900	45.390	10.706	16.831	468	
Combinazione 20	79.585	88.285	3.966	18.145	144	
Comb SLE 1	55.554	22.999	3.572	10.851	142	SLE
Comb SLE 2	56.890	34.103	4.190	11.414	96	
Comb SLE 3	56.886	34.085	4.072	11.414	96	
Comb SLE 4	56.556	33.187	3.816	11.393	96	
Comb SLE 5	56.553	33.174	3.728	11.393	96	
Comb SLE 6	56.556	26.328	3.728	10.951	96	
Comb SLE 7	56.553	26.315	3.728	10.951	96	
Comb SLE 8	56.556	31.327	7.776	11.273	336	
Comb SLE 9	56.553	31.314	7.688	11.273	336	
Comb SLE 10	57.049	62.996	2.695	12.246	96	
perm + sisma X + 0,30 sisma (Y+Z) schema 1	59.769	200.379	54.705	27.270	7.219	SLV
perm + sisma X + 0,30 sisma (Y+Z) schema 2	59.768	200.376	53.953	27.270	7.219	

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

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:



Sollecitazione sezione A-A

$$M_{SDA} = \left[(4,04 \cdot 10 - 2,500 \cdot 2,50) \cdot \frac{2,65^2}{2} + (4,94 - 4,04) \cdot 10 \cdot \frac{2,65^2}{3} \right] \cdot 10 = 1.410 \text{ kNm}$$

$$V_{SDA} = \left[(4,04 \cdot 10 - 2,500 \cdot 2,50) \cdot 2,65 + (4,94 - 4,04) \cdot 10 \cdot \frac{2,65}{2} \right] \cdot 10 = 786 \text{ kN}$$

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:

$$M_{SDB} = \left[(1,900 \cdot 15,50 + 2,500 \cdot 2,50) \cdot \frac{11,05^2}{2} - (3,08) \cdot 10 \cdot \frac{9,05^2}{6} \right] \cdot 10 = 17.580 \text{ kNm}$$

$$V_{SDB} = \left[(1,900 \cdot 15,50 + 2,500 \cdot 2,50) \cdot 11,05 - (3,08) \cdot 10 \cdot \frac{9,05}{2} \right] \cdot 10 = 2.490 \text{ kN}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

9.3.6.3 Sollecitazioni paraghiaia

La verifica viene effettuata 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 5.1.V.

Angolo di attrito del terreno $\phi = 35^\circ$

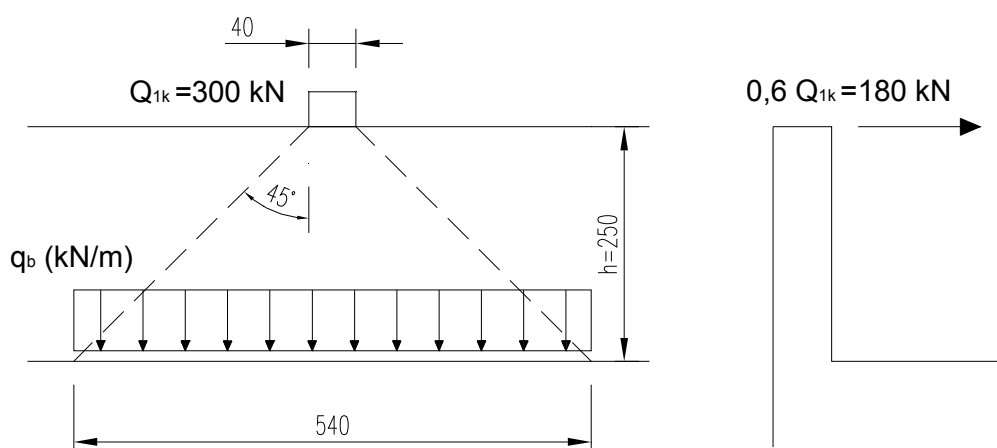
Peso specifico del terreno $\gamma_t = 19,00 \text{ kN/m}^3$

Sovraccarico $q = 90,91 \text{ kN/m}^2$

Spinta del terreno alla base $p_1 = k_0 \cdot \sigma_v = 0,43 \cdot 19,00 \cdot 2,50 = 20,43 \text{ kN/m}^2$

Spinta del sovraccarico $p_2 = k_0 \cdot q = 0,43 \cdot 90,91 = 39,09 \text{ kN/m}^2$

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° lungo l'altezza del paraghiaia per arrivare alla pressoflessione di base ogni metro lineare, come descritto nell'immagine seguente.



Larghezza di influenza $b = 0,40 + 2 \cdot 2,50 = 5,40 \text{ m}$

Pressione dovuta a Q_{1k} $q_b = 300 / 5,40 = 55,55 \text{ kN/m}$

Approccio 1:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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 1 → Stato Limite Ultimo STR:

$$M_{sd} = 20,43 \cdot 1,35 \cdot \frac{2,50^2}{6} + 39,09 \cdot 1,35 \cdot \frac{2,50^2}{2} + 180 \cdot 1,50 \cdot \frac{2,50}{5,40} = 319 \text{ kNm}$$

$$T_{sd} = 20,43 \cdot 1,35 \cdot \frac{2,50}{2} + 39,09 \cdot 1,35 \cdot 2,50 + 1,50 \cdot \frac{180}{5,40} = 216 \text{ kN}$$

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:

$$\text{Coefficiente di spinta attiva:} \quad k_a = 0,271$$

$$\text{Coefficiente di spinta statica + sisma:} \quad k_{ah} = 0,339$$

$$\text{Spinta attiva del terreno alla base:} \quad p_3 = k_a \cdot \sigma_v = 0,271 \cdot 19,00 \cdot 2,50 = 12,87 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Spinta attiva + sisma alla base:} \quad p_4 = k_{ah} \cdot \sigma_v = 0,339 \cdot 19,00 \cdot 2,50 = 16,10 \text{ kN/m}^2$$

$$\text{Forze di inerzia:} \quad F_i = k_h \cdot P = 0,4373 \cdot (0,80 \cdot 2,50 \cdot 25) = 21,87 \text{ kN}$$

$$M_{sd} = 16,10 \cdot 1,00 \cdot \frac{2,50^2}{4} + 39,09 \cdot 0,20 \cdot \frac{2,50^2}{2} + 21,87 \cdot 1,00 \cdot \frac{2,50}{2} = 76,93 \text{ kNm/m}$$

9.3.7 VERIFICA DELLE SEZIONI

9.3.7.1 Muro frontale

FLESSIONE ALLA SEZIONE DI BASE

$$M_{sd} = 14.327 \text{ kNm}$$

$$N_{sd} = 1.490 \text{ kN}$$

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	280
ARMATURA	compressa	φ26/10
	tesa	φ26/10 I strato
		φ26/10 II strato

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

		φ26/10	III strato
SOLLECITAZIONI	Msd =	14.327	kNm
	Nsd =	1.490	kNm
INDICI DI RESISTENZA	Mrd =	17.982	kNm
	Nrd =	1.871	kNm
	IR =	1,25	

TAGLIO:

$V_{sd} = 2.207 \text{ kN}$

Verifica senza armatura trasversale	
Taglio res. ultimo (Vrdu1):	128271.172
Indice di resistenza:	1.72
Verifica delle bielle compresse	
Taglio res. ultimo (Vrdu2):	872978.000
Indice di resistenza:	0.25
Verifica con armatura trasversale	
Componente di taglio attribuita al calcestruzzo (Vrdu3):	0.000
Componente di taglio attribuita all'armatura (Vwd):	220700.000
Armatura trasversale per unita' di lunghezza (Asw, cm ² /m):	23.65
Staffe a 4 braccia	
:	φ20/53.1cm



VERIFICA TENSIONALE (SLE):

Si procede alla verifica tensionale della sezione di base che risulta essere maggiormente sollecitata.

Comb. Quasi Permanente

	N (kN)	M long (kNm)	M trasv (kNm)
Comb SLE 4	56.556	33.187	3.816

SEZIONE base (cm) 810

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

	altezza (cm)	280	
ARMATURA	compressa	$\phi 26/10$	
	tesa	$\phi 26/10$	I strato
		$\phi 26/10$	II strato
		$\phi 26/10$	III strato
TENSIONI	cls	$\sigma_c = (N/mm^2) 5,1 < 0,45 f_{ck} = 0,45 \times 33,20 = 14,94$	
	ferro	$\sigma_f = (N/mm^2) 74 < 0,80 f_{yk} = 0,80 \times 450 = 360$	

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

9.3.7.2 Verifiche fondazione

Si verifica la sezione maggiormente sollecitata che risulta essere la posteriore.

FLESSIONE ALLA SEZIONE A-A:

$$M_{sd} = 1.410 \text{ kNm}$$

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	250
ARMATURA	compressa	ϕ30/10
	tesa	ϕ30/10
SOLLECITAZIONI	Msd =	1.410 kNm
INDICI DI RESISTENZA	Mrd =	6.586 kNm
	IR =	4,67

TAGLIO ALLA SEZIONE A-A:

$$V_{sd} = 786 \text{ kN}$$

RISULTATI VERIFICA A TAGLIO	
Verifica senza armatura trasversale	
Taglio res. ultimo (VRd):	623.807
Indice di resistenza:	1.26
Verifica delle bielle compresse	
Taglio resistente ultimo (VRcd):	7778.137
ctg(Theta):	1.00
Indice di resistenza:	0.10
Verifica con armatura trasversale	
Taglio attribuito all'armatura (VRsd):	786.000
Armatura trasversale per unita' di lunghezza (Asw, cm ² /m):	9.11
Staffe a 4 braccia	
:	ϕ20/100 cm

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

FLESSIONE ALLA SEZIONE B-B:

$$M_{sd} = 17.580 \text{ kNm}$$

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	250
ARMATURA	compressa	$\phi 30/10$
	tesa	$\phi 30/10$ I strato
		$\phi 30/10$ II strato
		$\phi 30/10$ III strato
SOLLECITAZIONI	Msd =	17.580 kNm
INDICI DI RESISTENZA	Mrd =	18.635 kNm
	IR =	1,06

TAGLIO ALLA SEZIONE B-B:

$$V_{sd} = 2.490 \text{ kN}$$

ISULTATI VERIFICA A TAGLIO	
Verifica senza armatura trasversale	
Taglio res. ultimo (VRd):	602.550
Indice di resistenza:	4.13
Verifica delle bielle compresse	
Taglio resistente ultimo (VRcd):	7460.662
ctg(Theta):	1.00
Indice di resistenza:	0.33
Verifica con armatura trasversale	
Taglio attribuito all'armatura (VRsd):	2490.000
Armatura trasversale per unita' di lunghezza (Asw, cm ² /m):	30.09
Staffe a 4 braccia	
:	$\phi 20/40$ cm

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

9.3.7.3 Paraghiaia

FLESSIONE ALLA SEZIONE DI BASE

PRESSOFLESSIONE ALLA SEZIONE DI BASE

$$M_{sd} = 319 \text{ kNm}$$

SEZIONE	base (cm)	100
	altezza (cm)	80
ARMATURA	compressa	φ24/20
	tesa	φ24/20
SOLLECITAZIONI	Msd =	319 kNm
	Nsd =	56 kN
INDICI DI RESISTENZA	Mrd =	640 kNm
	IR =	2,01

TAGLIO:

$$V_{sd} = 216 \text{ kN}$$

RISULTATI VERIFICA A TAGLIO

Verifica senza armatura trasversale

Taglio res. ultimo (Vrdul):

24695.289

Indice di resistenza:

0.87

FESSURAZIONE (SLE):

Si considerano condizioni ambientali aggressive e la presenza di armature poco sensibili:

COMBINAZIONE FREQUENTE

- combinazione (frequente):

$$F_d = g_1 + g_2 + \psi_1(q_1 + q_2)$$

$$W_D \leq \cdot W_2 = 0,3 \text{ mm}$$

$$M = 1,00 \times 20,43 \times 2,50^2 / 6 + 1,00 \times 0,75 \times 39,09 \times 2,50^2 / 2 = 113 \text{ kNm}$$

VERIFICA A FESSURAZIONE:

SEZIONE RETTANGOLARE base (cm) 100

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

	altezza (cm)	80
ARMATURA	compressa	$\phi 20/20$
	tesa	$\phi 20/20$
SOLLECITAZIONI	Msd =	113 kNm
TENSIONI	cls $\sigma_c = (N/mm^2)$	0,9
	ferro teso $\sigma_f = (N/mm^2)$	5,4
	ampiezza fess. $w_D = (mm)$	0
	VERIFICA SODDISFATTA	

COMBINAZIONE QUASI PERMANENTE

- combinazione (quasi permanente):



$$F_d = g_1 + g_2 + \psi_2(q_1 + q_2)$$

$$W_D \leq \cdot W_1 = 0,2 \text{ mm}$$

$$M = 1,00 \times 20,43 \times 2,50^2 / 6 + 1,00 \times 0,00 \times 39,09 \times 2,50^2 / 2 = 27 \text{ kNm}$$

VERIFICA A FESSURAZIONE:

SEZIONE RETTANGOLARE base (cm)		100
	altezza (cm)	80
ARMATURA	compressa	$\phi 20/20$
	tesa	$\phi 20/20$
SOLLECITAZIONI	Msd =	21 kNm
TENSIONI	cls $\sigma_c = (N/mm^2)$	0,2
	ferro teso $\sigma_f = (N/mm^2)$	1,0
	ampiezza fess. $w_D = (mm)$	0,00
	VERIFICA SODDISFATTA	

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

9.4 ANALISI DELLA PILA 1

La pila 1 è costituita da un plinto di fondazione a pianta rettangolare di dimensioni 12,00 x 7,50 m, di spessore 2,50 m. L'architettura della pila è definita da un fusto poligonale cavo alto 8,50 m. In sommità del fusto è individuabile un pulvino caratterizzato da uno sviluppo verticale di 4,20 m. Il collegamento tra impalcato ed opera di sostegno è affidato integralmente a quattro appoggi, collocati con un interasse reciproco di 2,90 m.

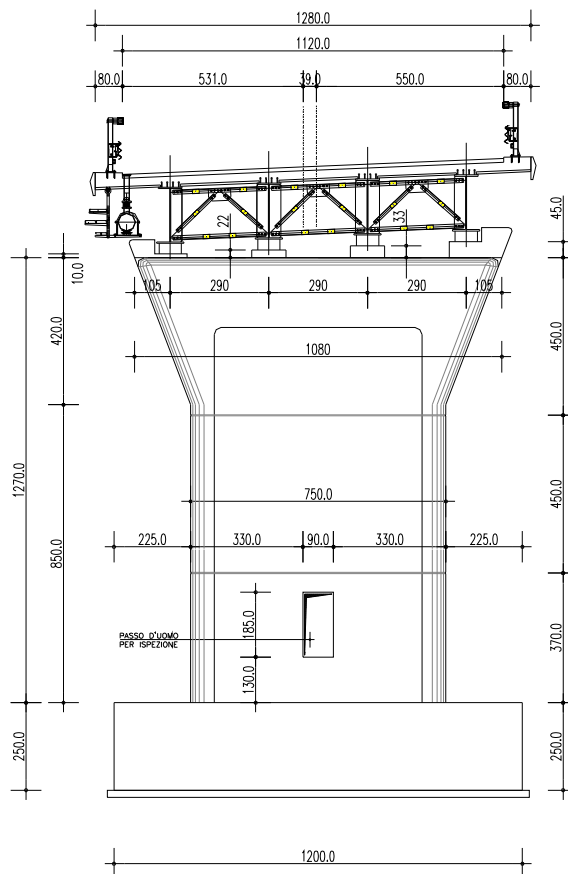


Figura 9.3 – Carpenteria Pila.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0

Si riporta di seguito un tabulato riassuntivo della geometria delle strutture.

FUSTO	Altezza impalcato		1,90	mt
	Larghezza pavimentato		11,20	mt
	Baricentro impalcato		0,00	mt
	Campata		28,60	mt
	Altezza baggiolo+ appoggio		0,50	mt
	Peso pulvino		2.175,00	kN
	Altezza pulvino		4,20	mt
	Altezza fusto		8,50	mt
	Altezza totale		12,70	mt
	Numero fusti		1,00	
	Interasse fusti			mt
	Base / Diametro sezione	D	3,40	mt
	Altezza sezione		-	mt
	Peso fusto + pulvino		4.103,97	kN
FONDAZIONE	Eccentricità Fusti-Fond-trasversale		0,00	mt
	Base plinto		12,00	mt
	Lunghezza plinto		7,50	mt
	Altezza plinto		2,50	mt
	Altezza terreno su plinto		0,85	mt
	Peso Terreno su plinto		1.099,23	kN
	Peso plinto		5.625,00	kN
	Totale plinto + Terreno		6.724,23	kN
	N° pali		6,00	
	Diametro		1,50	mt
	W _{long palo}		13,50	mt
W _{trasy palo}		18,00	mt	
Obliquità fondazione	0 °	0,00	rad	

Modulo elastico cls	360.000 daN/cm ²
Inerzia longitudinale	7,41 m ⁴
Inerzia trasversale	56,49 m ⁴

ASSE LONGITUDINALE PALI
ASSE TRASVERSALE PALI

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

9.4.1 ANALISI DEI CARICHI

La pila è soggetta dalle sollecitazioni derivanti dall'impalcato riportati precedentemente. Di seguito si riassumono i carichi globali gravanti:

AZIONI TRASMESSE DALL'IMPALCATO		N	H long	H trasv	M long	M trasv
		(kN)	(kN)	(kN)	(kN m)	(kN m)
	Peso strutturale impalcato	4.088	0	0	0	-9
	Permanenti	1.389	0	0	0	65
	Ritiro	118	0	0	0	-322
	Mezzi schema centrato	3.171	0	0	0	5.175
	Mezzi schema eccentrico	2.401	0	0	0	7.028
	Folla schema centrato	0	0	0	0	0
	Folla schema eccentrica	0	0	0	0	0
	Frenamento	0	120	0	0	0
	Resistenze passive vincolo	0	180	0	0	0
	Vento: impalcato scarico	688	0	316	0	2.659
	Vento: impalcato carico	644	0	443	0	3.277
	Cedimento	0	0	0	0	0
	Azione centrifuga	0	0	120	0	0
	Svlio	0	0	200	0	0
	Sisma	2.630	1.130	1.020	0	1.059

Eccentricità dei carichi verticali (mt) 0,01

Eccentricità accidentale 0,05

Azione inerziale sismica sul fusto Flong.= 778 Ftrasv.= 465 Fvert.= 680

REAZIONI IMPALCATO

	Appoggio 1	Appoggio 2	Appoggio 3	Appoggio 4
	1.115	947	890	1.136
	454	253	238	444
	-3	29	17	75
	1.308	971	675	217
	1.296	887	363	-145
	0	0	0	0
	0	0	0	0
	447	264	80	-103
	500	274	48	-178
	0	0	0	0
	930	540	440	720

PRINCIPALE	P.p. %G1	Perm. %G2	Attrito		Temperatura		Vento		Accident.		Folla		Frenamento		Ced. - Ritiro		Centrifuga	
			Ψ ₀	%G2	Ψ ₀	%G3	Ψ ₀	%Q	Ψ ₀	%Q	Ψ ₀	%Q	Ψ ₀	%Q	Ψ ₀	%Q	Ψ ₀	%Q
Vento	1,00	1,30	1,00	1,30	0,60	1,00	1,00	1,30							1,00	1,00		
Gruppo 1 centr.	1,00	1,30	1,00	1,30	0,60	1,00	0,60	1,30	1,00	1,15	0,50	1,15	0,00	1,15	1,00	1,00	0,00	1,15
Gruppo 1 ecc.	1,00	1,30	1,00	1,30	0,60	1,00	0,60	1,30	1,00	1,15	0,50	1,15	0,00	1,15	1,00	1,00	0,00	1,15
Gruppo 2a centr.	1,00	1,30	1,00	1,30	0,60	1,00	0,60	1,30	0,75	1,15	0,00	1,15	1,00	1,15	1,00	1,00	0,00	1,15
Gruppo 2a ecc.	1,00	1,30	1,00	1,30	0,60	1,00	0,60	1,30	0,75	1,15	0,00	1,15	1,00	1,15	1,00	1,00	0,00	1,15
Gruppo 2b centr.	1,00	1,30	1,00	1,30	0,60	1,00	0,60	1,30	0,75	1,15	0,00	1,15	0,00	1,15	1,00	1,00	0,00	1,15
Gruppo 2b ecc.	1,00	1,30	1,00	1,30	0,60	1,00	0,60	1,30	0,75	1,15	0,00	1,15	0,00	1,15	1,00	1,00	0,00	1,15
Vento	1,35	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	1,00	1,50							1,00	1,20		
Gruppo 1 centr.	1,35	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	0,60	1,50	1,00	1,35	0,50	1,35	0,00	1,35	1,00	1,20	0,00	1,35
Gruppo 1 ecc.	1,35	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	0,60	1,50	1,00	1,35	0,50	1,35	0,00	1,35	1,00	1,20	0,00	1,35
Gruppo 2a centr.	1,35	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	0,60	1,50	0,75	1,35	0,00	1,35	1,00	1,35	1,00	1,20	0,00	1,35
Gruppo 2a ecc.	1,35	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	0,60	1,50	0,75	1,35	0,00	1,35	1,00	1,35	1,00	1,20	0,00	1,35
Gruppo 2b centr.	1,35	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	0,60	1,50	0,75	1,35	0,00	1,35	0,00	1,35	1,00	1,20	0,00	1,35
Gruppo 2b ecc.	1,35	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	0,60	1,50	0,75	1,35	0,00	1,35	0,00	1,35	1,00	1,20	0,00	1,35
Vento	1,10	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	1,00	1,50							1,00	1,20		
Gruppo 1 centr.	1,10	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	0,60	1,50	1,00	1,35	0,50	1,35	0,00	1,35	1,00	1,20	0,00	1,35
Gruppo 1 ecc.	1,10	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	0,60	1,50	1,00	1,35	0,50	1,35	0,00	1,35	1,00	1,20	0,00	1,35
Gruppo 2a centr.	1,10	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	0,60	1,50	0,75	1,35	0,00	1,35	1,00	1,35	1,00	1,20	0,00	1,35
Gruppo 2a ecc.	1,10	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	0,60	1,50	0,75	1,35	0,00	1,35	1,00	1,35	1,00	1,20	0,00	1,35
Gruppo 2b centr.	1,10	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	0,60	1,50	0,75	1,35	0,00	1,35	0,00	1,35	1,00	1,20	0,00	1,35
Gruppo 2b ecc.	1,10	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	0,60	1,50	0,75	1,35	0,00	1,35	0,00	1,35	1,00	1,20	0,00	1,35

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

9.4.1.1 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

9.4.2 MODELLO DI CALCOLO

9.4.2.1 Descrizione del modello di calcolo

Alla luce di quanto scaturito da valutazioni preliminari di carattere statico, condotte sulla tipologia strutturale ivi considerata, è stato possibile individuare la modellazione più performante, che meglio simulasse il naturale comportamento in opera delle pile.

Si è quindi scelta una particolare schematizzazione a mensola incastrata alla base, la cui applicabilità è supportata dall’indiscutibile rilevanza che risiede nella valutazione dei momenti sollecitanti alla base del fusto.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

9.4.3 CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI

9.4.3.1 Sollecitazioni sul fusto

AZIONI ALLO SPICCATO DEL FUSTO NORME TECNICHE 2008

Combinazioni		N (kN)	Vlong (kN)	Vtrasv (kN)	Mlong (kNm)	Mtrasv (kNm)	V comb (kN)	Mcomb (kNm)	
AZIONI SLU GEO	AZIONI GLOBALI								
	15	Comb 1	10.617	180,00	410,80	2.431	8.550	449	9.420
	16	Comb 2	13.906	180,00	345,54	2.478	12.739	390	13.673
	17	Comb 3	12.986	180,00	345,54	2.467	14.870	390	15.722
	18	Comb 4	12.960	318,00	345,54	4.562	11.251	470	12.543
	19	Comb 5	12.296	318,00	345,54	4.550	12.849	470	14.246
	20	Comb 6	12.960	180,00	575,54	2.478	14.862	603	15.715
21	Comb 7	12.296	180,00	575,54	2.467	16.460	603	17.259	
AZIONI SLU STR	22	Comb 8	14.108	243,00	474,00	3.282	9.936	533	11.169
	23	Comb 9	17.976	243,00	398,70	3.346	14.889	467	16.159
	24	Comb 10	16.897	243,00	398,70	3.330	17.390	467	18.551
	25	Comb 11	16.866	405,00	398,70	5.792	13.142	568	15.205
	26	Comb 12	16.087	405,00	398,70	5.776	15.018	568	16.895
	27	Comb 13	16.866	243,00	668,70	3.346	17.381	711	18.543
	28	Comb 14	16.087	243,00	668,70	3.330	19.257	711	20.347
AZIONI SLU EQU	29	Comb 15	11.713	198,00	474,00	2.674	9.922	514	10.861
	30	Comb 16	15.581	198,00	398,70	2.738	14.874	445	15.903
	31	Comb 17	14.502	198,00	398,70	2.722	17.376	445	18.313
	32	Comb 18	14.471	360,00	398,70	5.184	13.128	537	14.838
	33	Comb 19	13.691	360,00	398,70	5.169	15.390	537	16.920
	34	Comb 20	14.471	198,00	668,70	2.738	17.367	697	18.305
	35	Comb 21	13.691	198,00	668,70	2.722	19.243	697	20.119
SISMA	36	SISMA long	15.818	2.088,00	1.485,00	22.232	18.567	2.562	29.756
	37	SISMA trasv	0	0,00	0,00	0	0	0	0

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0

9.4.3.2 Sollecitazioni sulle fondazioni



AZIONI ALLA BASE

Combinazioni		N (kN)	Vlong (kN)	Vtrasv (kN)	Mlong (kNm)	Mtrasv (kNm)	
AZIONI SLU GEO	15	Comb 1	17.758	180,00	410,80	2.885	9.596
	16	Comb 2	21.047	180,00	345,54	2.932	13.622
	17	Comb 3	20.127	180,00	345,54	2.921	15.753
	18	Comb 4	20.101	318,00	345,54	5.361	12.134
	19	Comb 5	19.437	318,00	345,54	5.350	13.733
	20	Comb 6	20.101	180,00	575,54	2.932	16.320
	21	Comb 7	19.437	180,00	575,54	2.921	17.919
AZIONI SLU STR	22	Comb 8	23.394	243,00	474,00	3.891	11.131
	23	Comb 9	27.262	243,00	398,70	3.955	15.895
	24	Comb 10	26.183	243,00	398,70	3.940	18.397
	25	Comb 11	26.152	405,00	398,70	6.807	14.148
	26	Comb 12	25.373	405,00	398,70	6.791	16.025
	27	Comb 13	26.152	243,00	668,70	3.955	19.062
	28	Comb 14	25.373	243,00	668,70	3.940	20.939
AZIONI SLU EQU	29	Comb 15	19.665	198,00	474,00	3.174	11.133
	30	Comb 16	23.533	198,00	398,70	3.239	15.897
	31	Comb 17	22.454	198,00	398,70	3.223	18.399
	32	Comb 18	22.423	360,00	398,70	6.090	14.151
	33	Comb 19	21.644	360,00	398,70	6.074	16.027
	34	Comb 20	22.423	198,00	668,70	3.239	19.065
	35	Comb 21	20.434	198,00	668,70	3.223	19.269
SISMA	36	SISMA long	18.050	2.088,00	445,50	27.452	7.448
	37	SISMA trasv	18.050	626,40	1.485,00	8.236	22.279
SLE	38	Comb SLE 1	17.111	180,00	316,00	2.881	7.355
	39	Comb SLE 2	20.007	180,00	265,80	2.912	11.049
	40	Comb SLE 3	19.211	180,00	265,80	2.905	12.902
	41	Comb SLE 4	19.723	300,00	88,60	5.024	6.956
	42	Comb SLE 5	18.953	300,00	88,60	5.017	8.809
	43	Comb SLE 6	19.723	180,00	408,60	2.912	12.828
	44	Comb SLE 7	18.953	180,00	408,60	2.905	13.660

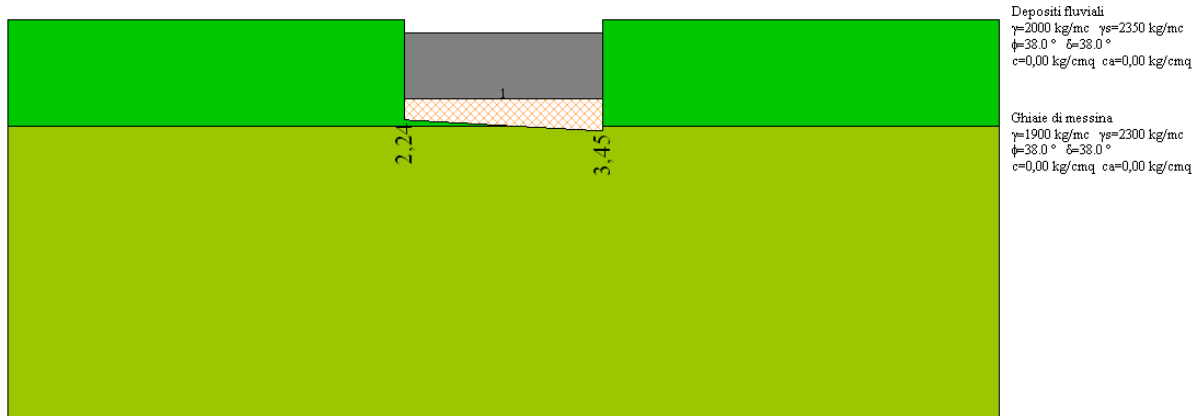
SPOSTAMENTI IN TESTA PILA

SLE	H (kN)	□ (mm)
Frenamento	120	0,307
Resistenze passive vincolo	180	0,461

SLU	H (kN)	□ (mm)
Sisma	1.130	2,892

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

Il momento flettente e il taglio sono calcolati rispetto al filo del fusto; si considera la situazione più gravosa corrispondente tra le combinazioni STR alla combinazione 4. Si riporta di seguito la pressione sul terreno lungo l'asse longitudinale della pila:



Le azioni sollecitanti sono calcolate rispetto al filo del fusto:

$$M_{Sd} = \left[(3,05 \cdot 10 - 2,500 \cdot 2,50) \cdot \frac{2,475^2}{2} + (3,45 - 3,05) \cdot 10 \cdot \frac{2,475^2}{3} \right] \cdot 10 = 661 \text{ kNm}$$

$$V_{Sd} = \left[(3,05 \cdot 10 - 2,500 \cdot 2,50) \cdot 2,475 + (3,45 - 3,05) \cdot 10 \cdot \frac{2,475}{2} \right] \cdot 10 = 551 \text{ kN}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

9.4.4 VERIFICA DELLE SEZIONI

9.4.4.1 Plinto di fondazione

$M_{Sd} = 661 \text{ kNm}$

VERIFICA A FLESSIONE

SEZIONE RETTANGOLARE	base (cm)	100
	altezza (cm)	250
ARMATURA	compressa	$\phi 26/10$
	tesa	$\phi 26/10$
SOLLECITAZIONI	$M_{sd} =$	661 kNm
INDICI DI RESISTENZA	$M_{rd} =$	5.041 kNm
	$IR =$	7,63

VERIFICA A TAGLIO

$T_{Sd} = 551 \text{ kN}$

RISULTATI VERIFICA A TAGLIO

Verifica senza armatura trasversale

Taglio res. ultimo (V_{Rd}): 623.807
 Indice di resistenza: 0.88

Verifica delle bielle compresse

Taglio resistente ultimo (V_{Rcd}): 7778.137
 $ctg(\Theta)$: 1.00
 Indice di resistenza: 0.07

Verifica con armatura trasversale

Taglio attribuito all'armatura (V_{Rsd}): 551.000
 Armatura trasversale per unita' di
 lunghezza ($A_{sw}, \text{cm}^2/\text{m}$): 6.39

**Applicare solo i minimi di norma perchè la
 sezione non richiede armatura trasversale a taglio ($V \leq V_{rd1}$)**

Staffe a 4 braccia
 : $\phi 20/100 \text{ cm}$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

9.4.4.2 Verifica fusto Pila

Con riferimento alle sollecitazioni al piede della pila si considerano le combinazioni allo SLU STR.

INSTESTAZIONE E DATI CARATTERISTICI DEL LAVORO																																																																																																																																							
=====																																																																																																																																							
Nome archivio di lavoro	:	Base Pila																																																																																																																																					
Intestazione del lavoro	:	Combinazione 28																																																																																																																																					
Unità misura Forza	:	kN																																																																																																																																					
Unità misura Lunghezza	:	m																																																																																																																																					
Tensioni	:	N/mm ²																																																																																																																																					
Diametro armature	:	mm																																																																																																																																					
Area	:	mm ²																																																																																																																																					
I vertici in input sono riportati in senso orario per il contorno esterno e antiorario per le cavità. Il primo vertice è quello più in basso, a sinistra.																																																																																																																																							
Parametri di calcolo Normativa: NTC-2008 Versione: 14 Gennaio 2008 Rck = 40 fyk = 450 fykp = 1500																																																																																																																																							
Sollecitazioni agenti Sforzo normale N = -16086.000 Momento flettente Mz = 3330.000 Momento flettente My = 19257.000																																																																																																																																							
Sollecitazioni resistenti di calcolo Sforzo normale N = -134968.785 Momento flettente Mz = 27924.325 Momento flettente My = 161592.469																																																																																																																																							
Indice di resistenza s.l.u.: 0.12 Campo di rottura della sezione: 4																																																																																																																																							
Valore dello sforzo normale di compressione centrata con incremento del 25% del coefficiente di sicurezza parziale relativo al calcestruzzo N,min = -165131 inferiore ad N resistente = -134969																																																																																																																																							
Asse neutro <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="text-align: center; font-size: x-small;">z</td> <td style="text-align: center; font-size: x-small;">y</td> <td style="text-align: center; font-size: x-small;">ang</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; font-size: x-small;">0.0000</td> <td style="text-align: center; font-size: x-small;">-3.0025</td> <td style="text-align: center; font-size: x-small;">139.9</td> </tr> </table>				z	y	ang	0.0000	-3.0025	139.9																																																																																																																														
z	y	ang																																																																																																																																					
0.0000	-3.0025	139.9																																																																																																																																					
Legame costitutivo 'parabola-rettangolo': -0.0020 / -0.0035 con tensione massima di compressione: -18.81																																																																																																																																							
Deformazioni e tensioni nel calcestruzzo <table style="width: 100%; border: none;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center; font-size: x-small;">z</th> <th style="text-align: center; font-size: x-small;">y</th> <th style="text-align: center; font-size: x-small;">Def (%)</th> <th style="text-align: center; font-size: x-small;">Tens</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-1.753</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-1.275</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-0.01</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-2.23</td></tr> <tr><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-3.355</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-1.219</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">0.05</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">allungamento</td></tr> <tr><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-3.451</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-1.210</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">0.05</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">allungamento</td></tr> <tr><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-3.543</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-1.181</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">0.06</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">allungamento</td></tr> <tr><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-3.627</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-1.132</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">0.06</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">allungamento</td></tr> <tr><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-3.698</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-1.067</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">0.06</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">allungamento</td></tr> <tr><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-3.753</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-0.988</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">0.06</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">allungamento</td></tr> <tr><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-3.753</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">0.988</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-0.04</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-6.83</td></tr> <tr><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-3.698</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">1.067</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-0.05</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-7.74</td></tr> <tr><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-3.626</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">1.132</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-0.05</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-8.60</td></tr> <tr><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-3.543</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">1.181</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-0.06</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-9.39</td></tr> <tr><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-3.451</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">1.210</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-0.06</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-10.07</td></tr> <tr><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-3.355</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">1.219</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-0.07</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-10.62</td></tr> <tr><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-1.753</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">1.275</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-0.14</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-16.91</td></tr> <tr><td style="text-align: center; font-size: x-small;">1.747</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">1.276</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-0.28</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-18.81</td></tr> <tr><td style="text-align: center; font-size: x-small;">3.349</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">1.219</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-0.34</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-18.81</td></tr> <tr><td style="text-align: center; font-size: x-small;">3.445</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">1.211</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-0.35</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-18.81</td></tr> <tr><td style="text-align: center; font-size: x-small;">3.537</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">1.181</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-0.35</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-18.81</td></tr> <tr><td style="text-align: center; font-size: x-small;">3.621</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">1.133</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-0.35</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-18.81</td></tr> <tr><td style="text-align: center; font-size: x-small;">3.692</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">1.067</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-0.35</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-18.81</td></tr> <tr><td style="text-align: center; font-size: x-small;">3.747</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">0.988</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-0.35</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-18.81</td></tr> <tr><td style="text-align: center; font-size: x-small;">3.747</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-0.988</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-0.25</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-18.81</td></tr> <tr><td style="text-align: center; font-size: x-small;">3.692</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-1.067</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-0.25</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-18.81</td></tr> <tr><td style="text-align: center; font-size: x-small;">3.620</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-1.132</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-0.24</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-18.81</td></tr> <tr><td style="text-align: center; font-size: x-small;">3.537</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-1.181</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-0.23</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-18.81</td></tr> <tr><td style="text-align: center; font-size: x-small;">3.445</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-1.210</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-0.23</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-18.81</td></tr> <tr><td style="text-align: center; font-size: x-small;">3.349</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-1.219</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-0.22</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-18.81</td></tr> <tr><td style="text-align: center; font-size: x-small;">1.747</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-1.275</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-0.16</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-17.89</td></tr> <tr><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-2.055</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-0.875</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-0.02</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-3.46</td></tr> <tr><td style="text-align: center; font-size: x-small;">2.047</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-0.875</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-0.19</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-18.74</td></tr> <tr><td style="text-align: center; font-size: x-small;">3.047</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-0.550</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-0.24</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-18.81</td></tr> <tr><td style="text-align: center; font-size: x-small;">3.047</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">0.551</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-0.30</td><td style="text-align: center; font-size: x-small;">-18.81</td></tr> </tbody> </table>				z	y	Def (%)	Tens	-1.753	-1.275	-0.01	-2.23	-3.355	-1.219	0.05	allungamento	-3.451	-1.210	0.05	allungamento	-3.543	-1.181	0.06	allungamento	-3.627	-1.132	0.06	allungamento	-3.698	-1.067	0.06	allungamento	-3.753	-0.988	0.06	allungamento	-3.753	0.988	-0.04	-6.83	-3.698	1.067	-0.05	-7.74	-3.626	1.132	-0.05	-8.60	-3.543	1.181	-0.06	-9.39	-3.451	1.210	-0.06	-10.07	-3.355	1.219	-0.07	-10.62	-1.753	1.275	-0.14	-16.91	1.747	1.276	-0.28	-18.81	3.349	1.219	-0.34	-18.81	3.445	1.211	-0.35	-18.81	3.537	1.181	-0.35	-18.81	3.621	1.133	-0.35	-18.81	3.692	1.067	-0.35	-18.81	3.747	0.988	-0.35	-18.81	3.747	-0.988	-0.25	-18.81	3.692	-1.067	-0.25	-18.81	3.620	-1.132	-0.24	-18.81	3.537	-1.181	-0.23	-18.81	3.445	-1.210	-0.23	-18.81	3.349	-1.219	-0.22	-18.81	1.747	-1.275	-0.16	-17.89	-2.055	-0.875	-0.02	-3.46	2.047	-0.875	-0.19	-18.74	3.047	-0.550	-0.24	-18.81	3.047	0.551	-0.30	-18.81
z	y	Def (%)	Tens																																																																																																																																				
-1.753	-1.275	-0.01	-2.23																																																																																																																																				
-3.355	-1.219	0.05	allungamento																																																																																																																																				
-3.451	-1.210	0.05	allungamento																																																																																																																																				
-3.543	-1.181	0.06	allungamento																																																																																																																																				
-3.627	-1.132	0.06	allungamento																																																																																																																																				
-3.698	-1.067	0.06	allungamento																																																																																																																																				
-3.753	-0.988	0.06	allungamento																																																																																																																																				
-3.753	0.988	-0.04	-6.83																																																																																																																																				
-3.698	1.067	-0.05	-7.74																																																																																																																																				
-3.626	1.132	-0.05	-8.60																																																																																																																																				
-3.543	1.181	-0.06	-9.39																																																																																																																																				
-3.451	1.210	-0.06	-10.07																																																																																																																																				
-3.355	1.219	-0.07	-10.62																																																																																																																																				
-1.753	1.275	-0.14	-16.91																																																																																																																																				
1.747	1.276	-0.28	-18.81																																																																																																																																				
3.349	1.219	-0.34	-18.81																																																																																																																																				
3.445	1.211	-0.35	-18.81																																																																																																																																				
3.537	1.181	-0.35	-18.81																																																																																																																																				
3.621	1.133	-0.35	-18.81																																																																																																																																				
3.692	1.067	-0.35	-18.81																																																																																																																																				
3.747	0.988	-0.35	-18.81																																																																																																																																				
3.747	-0.988	-0.25	-18.81																																																																																																																																				
3.692	-1.067	-0.25	-18.81																																																																																																																																				
3.620	-1.132	-0.24	-18.81																																																																																																																																				
3.537	-1.181	-0.23	-18.81																																																																																																																																				
3.445	-1.210	-0.23	-18.81																																																																																																																																				
3.349	-1.219	-0.22	-18.81																																																																																																																																				
1.747	-1.275	-0.16	-17.89																																																																																																																																				
-2.055	-0.875	-0.02	-3.46																																																																																																																																				
2.047	-0.875	-0.19	-18.74																																																																																																																																				
3.047	-0.550	-0.24	-18.81																																																																																																																																				
3.047	0.551	-0.30	-18.81																																																																																																																																				

RELAZIONE DI CALCOLO

Codice documento

SS0706_F0.doc

Rev

F0

Data

20/06/2011

```

2.047  0.875  -0.27  -18.81
-2.055  0.875  -0.10  -14.53
-3.055  0.555  -0.05  -7.94
-3.055  -0.555  0.01  allungamento
    
```

Deformazione massima nel calcestruzzo

z	y	Def(%)	Tens
3.621	1.133	-0.35	-18.81

Legame costitutivo dell'acciaio ordinario

Def(%)	Tens
0.00	0.00
0.19	391.30

Deformazioni e Tensioni nell'Acciaio Ordinario

z	y	d	Def(%)	Tens
-1.752	-1.225	24.0	-0.01	-30.26
-3.352	-1.169	24.0	0.05	99.28
-3.441	-1.161	24.0	0.05	106.00
-3.523	-1.135	24.0	0.05	110.29
-3.597	-1.092	24.0	0.05	112.23
-3.660	-1.034	24.0	0.05	111.75
-3.703	-0.972	24.0	0.05	109.20
-3.703	0.972	24.0	-0.04	-85.90
-3.660	1.034	24.0	-0.05	-95.75
-3.597	1.092	24.0	-0.05	-106.90
-3.523	1.135	24.0	-0.06	-117.48
-3.441	1.161	24.0	-0.06	-126.99
-3.352	1.169	24.0	-0.07	-135.37
-1.752	1.225	24.0	-0.13	-276.18
1.746	1.226	24.0	-0.28	-391.30
3.346	1.169	24.0	-0.34	-391.30
3.435	1.161	24.0	-0.34	-391.30
3.517	1.135	24.0	-0.35	-391.30
3.591	1.092	24.0	-0.35	-391.30
3.654	1.034	24.0	-0.35	-391.30
3.697	0.972	24.0	-0.35	-391.30
3.697	-0.972	24.0	-0.25	-391.30
3.654	-1.034	24.0	-0.25	-391.30
3.591	-1.092	24.0	-0.24	-391.30
3.517	-1.135	24.0	-0.24	-391.30
3.435	-1.161	24.0	-0.23	-391.30
3.346	-1.169	24.0	-0.23	-391.30
1.746	-1.225	24.0	-0.16	-325.95
-1.627	1.225	24.0	-0.14	-286.75
-1.502	1.225	24.0	-0.14	-297.31
-1.377	1.225	24.0	-0.15	-307.87
-1.252	1.225	24.0	-0.15	-318.43
-1.127	1.225	24.0	-0.16	-328.99
-1.003	1.225	24.0	-0.16	-339.55
-0.878	1.225	24.0	-0.17	-350.11
-0.753	1.225	24.0	-0.18	-360.67
-0.628	1.225	24.0	-0.18	-371.23
-0.503	1.225	24.0	-0.19	-381.79
-0.378	1.225	24.0	-0.19	-391.30
-0.253	1.225	24.0	-0.20	-391.30
-0.128	1.225	24.0	-0.20	-391.30
-0.003	1.225	24.0	-0.21	-391.30
0.122	1.225	24.0	-0.21	-391.30
0.247	1.225	24.0	-0.22	-391.30
0.372	1.225	24.0	-0.22	-391.30
0.497	1.225	24.0	-0.23	-391.30
0.622	1.225	24.0	-0.23	-391.30
0.747	1.225	24.0	-0.24	-391.30
0.872	1.225	24.0	-0.24	-391.30
0.996	1.225	24.0	-0.25	-391.30
1.121	1.225	24.0	-0.25	-391.30
1.246	1.225	24.0	-0.26	-391.30
1.371	1.226	24.0	-0.26	-391.30
1.496	1.226	24.0	-0.27	-391.30
1.621	1.226	24.0	-0.27	-391.30
-1.558	-1.225	24.0	-0.02	-46.69
-1.364	-1.225	24.0	-0.03	-63.11
-1.169	-1.225	24.0	-0.04	-79.54
-0.975	-1.225	24.0	-0.05	-95.97
-0.781	-1.225	24.0	-0.05	-112.40
-0.586	-1.225	24.0	-0.06	-128.82
-0.392	-1.225	24.0	-0.07	-145.25
-0.198	-1.225	24.0	-0.08	-161.68
-0.003	-1.225	24.0	-0.09	-178.11
0.191	-1.225	24.0	-0.09	-194.53
0.386	-1.225	24.0	-0.10	-210.96
0.580	-1.225	24.0	-0.11	-227.39
0.774	-1.225	24.0	-0.12	-243.82
0.969	-1.225	24.0	-0.13	-260.24
1.163	-1.225	24.0	-0.13	-276.67
1.357	-1.225	24.0	-0.14	-293.10
1.552	-1.225	24.0	-0.15	-309.53
1.946	-1.218	24.0	-0.17	-343.55

RELAZIONE DI CALCOLO

Codice documento
SS0706_F0.doc

Rev
F0

Data
20/06/2011

2.146	-1.211	24.0	-0.18	-361.16
2.346	-1.204	24.0	-0.18	-378.76
2.546	-1.197	24.0	-0.19	-391.30
2.746	-1.190	24.0	-0.20	-391.30
2.946	-1.183	24.0	-0.21	-391.30
3.146	-1.176	24.0	-0.22	-391.30
1.946	1.219	24.0	-0.29	-391.30
2.146	1.211	24.0	-0.29	-391.30
2.346	1.204	24.0	-0.30	-391.30
2.546	1.197	24.0	-0.31	-391.30
2.746	1.190	24.0	-0.32	-391.30
2.946	1.183	24.0	-0.32	-391.30
3.146	1.176	24.0	-0.33	-391.30
-3.152	1.176	24.0	-0.07	-152.97
-2.952	1.183	24.0	-0.08	-170.57
-2.752	1.190	24.0	-0.09	-188.18
-2.552	1.197	24.0	-0.10	-205.78
-2.352	1.204	24.0	-0.11	-223.38
-2.152	1.211	24.0	-0.12	-240.98
-1.952	1.218	24.0	-0.13	-258.58
-3.152	-1.176	24.0	0.04	83.08
-2.952	-1.183	24.0	0.03	66.89
-2.752	-1.190	24.0	0.02	50.70
-2.552	-1.197	24.0	0.02	34.51
-2.352	-1.204	24.0	0.01	18.32
-2.152	-1.211	24.0	0.00	2.12
-1.952	-1.218	24.0	-0.01	-14.07
-3.703	-0.777	24.0	0.04	89.69
-3.703	-0.583	24.0	0.03	70.18
-3.703	-0.389	24.0	0.02	50.67
-3.703	-0.194	24.0	0.02	31.16
-3.703	0.000	24.0	0.01	11.65
-3.703	0.195	24.0	-0.00	-7.86
-3.703	0.389	24.0	-0.01	-27.37
-3.703	0.583	24.0	-0.02	-46.88
-3.703	0.778	24.0	-0.03	-66.39
3.697	-0.778	24.0	-0.26	-391.30
3.697	-0.583	24.0	-0.27	-391.30
3.697	-0.389	24.0	-0.28	-391.30
3.697	-0.194	24.0	-0.29	-391.30
3.697	0.000	24.0	-0.30	-391.30
3.697	0.195	24.0	-0.31	-391.30
3.697	0.389	24.0	-0.32	-391.30
3.697	0.584	24.0	-0.33	-391.30
3.697	0.778	24.0	-0.34	-391.30
-2.063	-0.925	24.0	-0.02	-34.10
-3.105	-0.591	24.0	0.01	20.51
-3.105	0.592	24.0	-0.05	-98.24
-2.063	0.925	24.0	-0.11	-219.80
2.055	0.925	24.0	-0.28	-391.30
3.097	0.587	24.0	-0.30	-391.30
3.097	-0.586	24.0	-0.24	-391.30
2.055	-0.925	24.0	-0.19	-382.20
-1.867	0.925	24.0	-0.11	-236.38
-1.671	0.925	24.0	-0.12	-252.95
-1.475	0.925	24.0	-0.13	-269.53
-1.279	0.925	24.0	-0.14	-286.11
-1.082	0.925	24.0	-0.15	-302.68
-0.886	0.925	24.0	-0.15	-319.26
-0.690	0.925	24.0	-0.16	-335.83
-0.494	0.925	24.0	-0.17	-352.41
-0.298	0.925	24.0	-0.18	-368.99
-0.102	0.925	24.0	-0.19	-385.56
0.094	0.925	24.0	-0.20	-391.30
0.290	0.925	24.0	-0.20	-391.30
0.486	0.925	24.0	-0.21	-391.30
0.683	0.925	24.0	-0.22	-391.30
0.879	0.925	24.0	-0.23	-391.30
1.075	0.925	24.0	-0.24	-391.30
1.271	0.925	24.0	-0.24	-391.30
1.467	0.925	24.0	-0.25	-391.30
1.663	0.925	24.0	-0.26	-391.30
1.859	0.925	24.0	-0.27	-391.30
-1.867	-0.925	24.0	-0.02	-50.67
-1.671	-0.925	24.0	-0.03	-67.25
-1.475	-0.925	24.0	-0.04	-83.82
-1.279	-0.925	24.0	-0.05	-100.40
-1.083	-0.925	24.0	-0.06	-116.98
-0.886	-0.925	24.0	-0.06	-133.55
-0.690	-0.925	24.0	-0.07	-150.13
-0.494	-0.925	24.0	-0.08	-166.71
-0.298	-0.925	24.0	-0.09	-183.28
-0.102	-0.925	24.0	-0.10	-199.86
0.094	-0.925	24.0	-0.11	-216.44
0.290	-0.925	24.0	-0.11	-233.01
0.486	-0.925	24.0	-0.12	-249.59
0.682	-0.925	24.0	-0.13	-266.16
0.879	-0.925	24.0	-0.14	-282.74
1.075	-0.925	24.0	-0.15	-299.32

RELAZIONE DI CALCOLO

Codice documento
SS0706_F0.doc

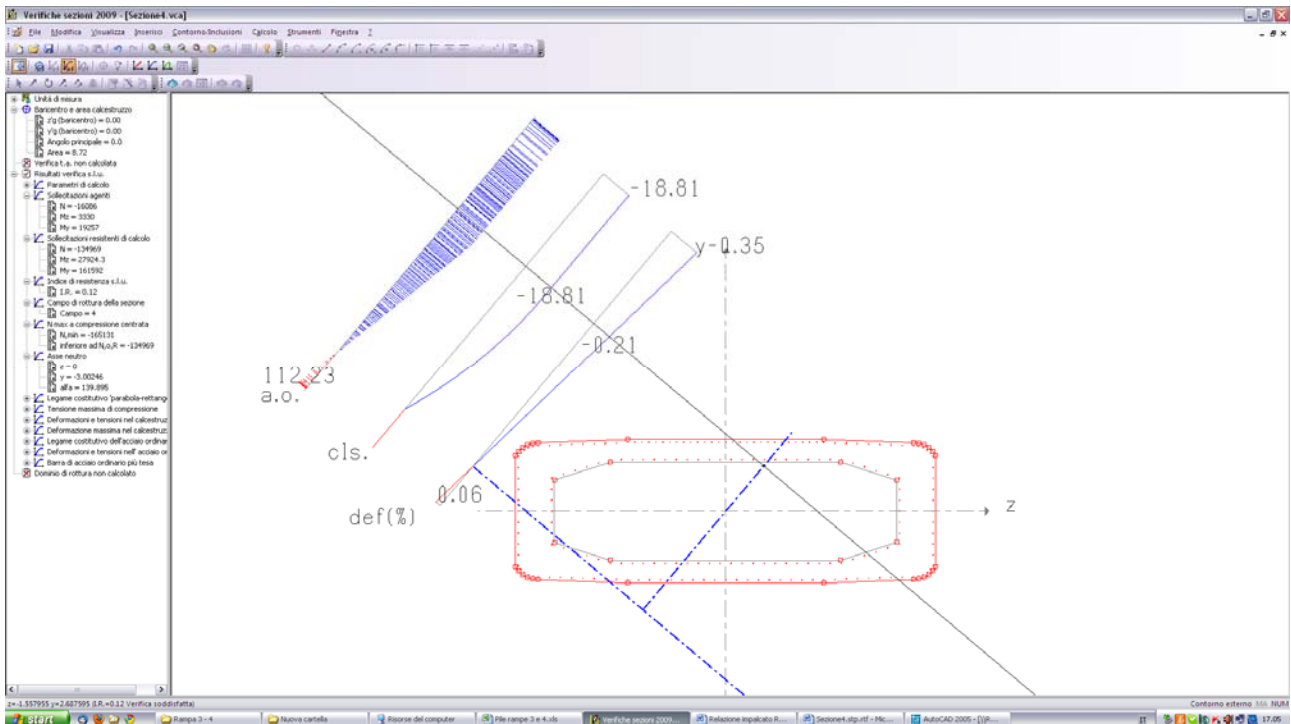
Rev
F0

Data
20/06/2011

1.271	-0.925	24.0	-0.15	-315.89
1.467	-0.925	24.0	-0.16	-332.47
1.663	-0.925	24.0	-0.17	-349.05
1.859	-0.925	24.0	-0.18	-365.62
2.264	-0.857	24.0	-0.20	-391.30
2.472	-0.790	24.0	-0.21	-391.30
2.680	-0.722	24.0	-0.22	-391.30
2.889	-0.654	24.0	-0.23	-391.30
2.264	0.858	24.0	-0.28	-391.30
2.472	0.790	24.0	-0.29	-391.30
2.680	0.722	24.0	-0.29	-391.30
2.889	0.655	24.0	-0.30	-391.30
-2.897	0.659	24.0	-0.06	-122.56
-2.688	0.725	24.0	-0.07	-146.87
-2.480	0.792	24.0	-0.08	-171.18
-2.272	0.859	24.0	-0.09	-195.49
-2.897	-0.658	24.0	0.00	9.59
-2.688	-0.725	24.0	-0.00	-1.33
-2.480	-0.792	24.0	-0.01	-12.25
-2.272	-0.858	24.0	-0.01	-23.17
-3.105	-0.394	24.0	0.00	0.72
-3.105	-0.197	24.0	-0.01	-19.07
-3.105	0.000	24.0	-0.02	-38.87
-3.105	0.197	24.0	-0.03	-58.66
-3.105	0.395	24.0	-0.04	-78.45
3.097	-0.391	24.0	-0.25	-391.30
3.097	-0.195	24.0	-0.26	-391.30
3.097	0.000	24.0	-0.27	-391.30
3.097	0.196	24.0	-0.28	-391.30
3.097	0.391	24.0	-0.29	-391.30

Barra di acciaio ordinario più tesa

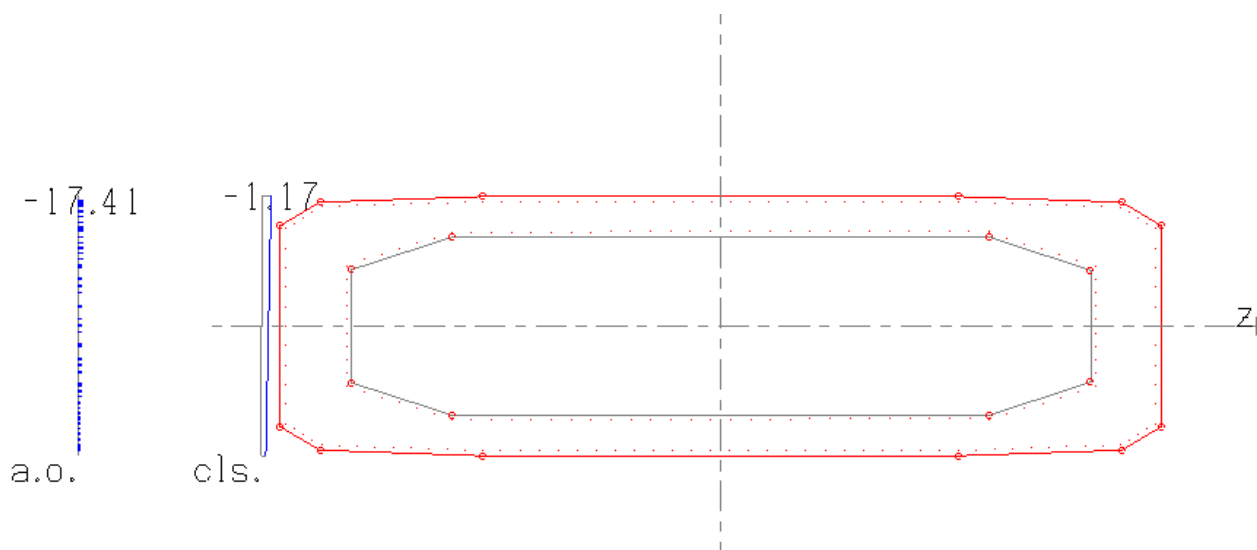
z	y	d	Def (%)	Tens
-3.597	-1.092	24.0	0.05	112.23



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Con riferimento ora alle sollecitazioni al piede della pila si considerano la combinazione allo SLE QUASI PERMANENTE.

ARMATURA	distribuita	$\phi 24/20$
SOLLECITAZIONI	Nsd =	9.581 KN
	Msd long =	2.431 kNm
	Msd trasv =	57 kNm



TENSIONI	cls	$\sigma_c = (N/mm^2) 1,17 < 0,45 f_{ck} = 0,45 \times 33,20 = 14,94$
	ferro	$\sigma_f = (N/mm^2) 17,41 < 0,80 f_{yk} = 0,80 \times 450 = 360$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

9.5 ANALISI DELLA PILA 2

La pila 2 è costituita da un plinto di fondazione a pianta rettangolare di dimensioni 16,50 x 7,50 m, di spessore 2,50 m. L'architettura della pila è definita da un fusto poligonali cavo alto 12,20 m. In sommità del fusto è individuabile un pulvino caratterizzato da uno sviluppo verticale di 4,20 m. Il collegamento tra impalcato ed opera di sostegno è affidato integralmente a quattro appoggi, collocati con un interasse reciproco di 3,28 m.

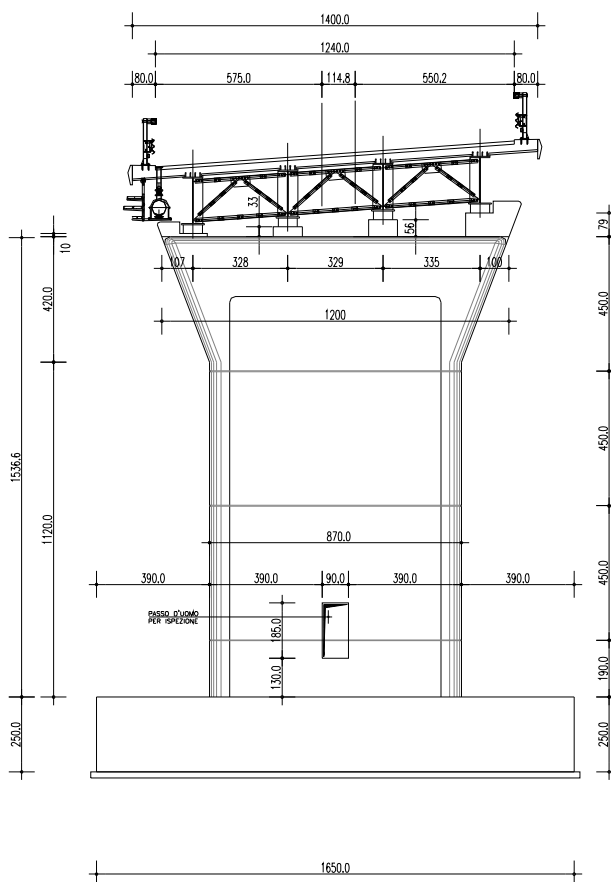


Figura 9.3 – Carpenteria Pila.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc

Si riporta di seguito un tabulato riassuntivo della geometria delle strutture.

FUSTO	Altezza impalcato		1,90	mt
	Larghezza pavimentato		12,40	mt
	Baricentro impalcato		0,00	mt
	Campata		30,20	mt
	Altezza baggiolo+ appoggio		0,50	mt
	Peso pulvino		2.520,00	kN
	Altezza pulvino		4,20	mt
	Altezza fusto		9,40	mt
	Altezza totale		13,60	mt
	Numero fusti		1,00	
	Interasse fusti			mt
	Base / Diametro sezione	D	3,57	mt
	Altezza sezione		-	mt
	Peso fusto + pulvino		4.871,86	kN
FONDAZIONE	Eccentricità Fusti-Fond-trasversale		0,00	mt
	Base plinto		16,50	mt
	Lunghezza plinto		7,50	mt
	Altezza plinto		2,50	mt
	Altezza terreno su plinto		0,85	mt
	Peso Terreno su plinto		1.587,13	kN
	Peso plinto		7.734,38	kN
	Totale plinto + Terreno		9.321,51	kN
	N° pali		8,00	
	Diametro		1,50	mt
	W _{long} palo		18,00	mt
W _{trasv} palo		30,00	mt	
Obliquità fondazione	0 °	0,00	rad	

Modulo elastico cls	360.000 daN/cm ²
Inerzia longitudinale	7,41 m ⁴
Inerzia trasversale	56,49 m ⁴

ASSE LONGITUDINALE PALI
ASSE TRASVERSALE PALI

9.5.1 ANALISI DEI CARICHI

La pila è soggetta dalle sollecitazioni derivanti dall'impalcato riportati precedentemente. Di seguito si riassumono i carichi globali gravanti:

RELAZIONE DI CALCOLO

Codice documento
SS0706_F0.doc

Rev
F0

Data
20/06/2011

AZIONI TRASMESSE DALL'IMPALCATO		N (kN)	H long (kN)	H trasv (kN)	M long (kN m)	M trasv (kN m)
	Peso strutturale impalcato	4.444	0	0	0	342
	Permanenti	1.543	0	0	0	241
	Ritiro	-19	0	0	0	-786
	Mezzi schema centrato	2.869	0	0	0	8.400
	Mezzi schema eccentrico	2.407	0	0	0	8.650
	Folla schema centrato	0	0	0	0	0
	Folla schema eccentrica	0	0	0	0	0
	Frenamento	0	120	0	0	0
	Resistenze passive vincolo	0	180	0	0	0
	Vento: impalcato scarico	728	0	329	0	3.213
	Vento: impalcato carico	680	0	371	0	3.960
	Cedimento	0	0	0	0	0
	Azione centrifuga	0	0	120	0	0
	Svio	0	0	200	0	0
	Sisma	1.940	1.160	1.040	0	806

Eccentricità dei carichi verticali (mt) 0,01

Eccentricità accidentale 0,05

Azione inerziale sismica sul fusto Flong.= 444 Ftrasv.= 920 Fvert.= 750

REAZIONI IMPALCATO

Appoggio 1	Appoggio 2	Appoggio 3	Appoggio 4
1.198	1.116	918	1.212
504	300	265	474
-79	-2	-25	87
1.380	1.036	617	-164
1.367	921	269	-150
0	0	0	0
0	0	0	0
472	279	85	-108
528	289	51	-188
0	0	0	0
710	340	330	560

PRINCIPALE	P.p. %G1	Perm. %G2	Attrito		Temperatura		Vento		Accident.		Folla		Frenamento		Ced. - Ritiro		Centrifuga	
			Ψ ₀	%G2	Ψ ₀	%G3	Ψ ₀	%Q	Ψ ₀	%Q	Ψ ₀	%Q	Ψ ₀	%Q	Ψ ₀	%Q	Ψ ₀	%Q
Vento	1,00	1,30	1,00	1,30	0,60	1,00	1,00	1,30							1,00	1,00		
Gruppo 1 centr.	1,00	1,30	1,00	1,30	0,60	1,00	0,60	1,30	1,00	1,15	0,50	1,15	0,00	1,15	1,00	1,00	0,00	1,15
Gruppo 1 ecc.	1,00	1,30	1,00	1,30	0,60	1,00	0,60	1,30	1,00	1,15	0,50	1,15	0,00	1,15	1,00	1,00	0,00	1,15
Gruppo 2a centr.	1,00	1,30	1,00	1,30	0,60	1,00	0,60	1,30	0,75	1,15	0,00	1,15	1,00	1,15	1,00	1,00	0,00	1,15
Gruppo 2a ecc.	1,00	1,30	1,00	1,30	0,60	1,00	0,60	1,30	0,75	1,15	0,00	1,15	1,00	1,15	1,00	1,00	0,00	1,15
Gruppo 2b centr.	1,00	1,30	1,00	1,30	0,60	1,00	0,60	1,30	0,75	1,15	0,00	1,15	0,00	1,15	1,00	1,00	0,00	1,15
Gruppo 2b ecc.	1,00	1,30	1,00	1,30	0,60	1,00	0,60	1,30	0,75	1,15	0,00	1,15	0,00	1,15	1,00	1,00	0,00	1,15
Vento	1,35	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	1,00	1,50							1,00	1,20		
Gruppo 1 centr.	1,35	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	0,60	1,50	1,00	1,35	0,50	1,35	0,00	1,35	1,00	1,20	0,00	1,35
Gruppo 1 ecc.	1,35	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	0,60	1,50	1,00	1,35	0,50	1,35	0,00	1,35	1,00	1,20	0,00	1,35
Gruppo 2a centr.	1,35	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	0,60	1,50	0,75	1,35	0,00	1,35	1,00	1,35	1,00	1,20	0,00	1,35
Gruppo 2a ecc.	1,35	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	0,60	1,50	0,75	1,35	0,00	1,35	1,00	1,35	1,00	1,20	0,00	1,35
Gruppo 2b centr.	1,35	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	0,60	1,50	0,75	1,35	0,00	1,35	0,00	1,35	1,00	1,20	0,00	1,35
Gruppo 2b ecc.	1,35	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	0,60	1,50	0,75	1,35	0,00	1,35	0,00	1,35	1,00	1,20	0,00	1,35
Vento	1,10	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	1,00	1,50							1,00	1,20		
Gruppo 1 centr.	1,10	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	0,60	1,50	1,00	1,35	0,50	1,35	0,00	1,35	1,00	1,20	0,00	1,35
Gruppo 1 ecc.	1,10	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	0,60	1,50	1,00	1,35	0,50	1,35	0,00	1,35	1,00	1,20	0,00	1,35
Gruppo 2a centr.	1,10	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	0,60	1,50	0,75	1,35	0,00	1,35	1,00	1,35	1,00	1,20	0,00	1,35
Gruppo 2a ecc.	1,10	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	0,60	1,50	0,75	1,35	0,00	1,35	1,00	1,35	1,00	1,20	0,00	1,35
Gruppo 2b centr.	1,10	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	0,60	1,50	0,75	1,35	0,00	1,35	0,00	1,35	1,00	1,20	0,00	1,35
Gruppo 2b ecc.	1,10	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	0,60	1,50	0,75	1,35	0,00	1,35	0,00	1,35	1,00	1,20	0,00	1,35

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

9.5.1.1 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

9.5.2 MODELLO DI CALCOLO

9.5.2.1 Descrizione del modello di calcolo

Alla luce di quanto scaturito da valutazioni preliminari di carattere statico, condotte sulla tipologia strutturale ivi considerata, è stato possibile individuare la modellazione più performante, che meglio simulasse il naturale comportamento in opera delle pile.

Si è quindi scelta una particolare schematizzazione a mensola incastrata alla base, la cui applicabilità è supportata dall’indiscutibile rilevanza che risiede nella valutazione dei momenti sollecitanti alla base del fusto.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0

9.5.3 CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI

9.5.3.1 Sollecitazioni sul fusto

AZIONI ALLO SPICCATO DEL FUSTO NORME TECNICHE 2008

	Combinazioni		N (kN)	Vlong (kN)	Vtrasv (kN)	Mlong (kNm)	Mtrasv (kNm)	V comb (kN)	Mcomb (kNm)
		AZIONI GLOBALI							
AZIONI SLU GEO	15	Comb 1	11.782	180,00	427,70	2.598	9.846	464	10.772
	16	Comb 2	14.703	180,00	289,38	2.641	16.468	341	17.413
	17	Comb 3	14.135	180,00	289,38	2.634	16.756	341	17.668
	18	Comb 4	13.841	318,00	289,38	4.849	14.053	430	15.296
	19	Comb 5	13.443	318,00	289,38	4.842	14.269	430	15.740
	20	Comb 6	13.841	180,00	519,38	2.641	17.871	550	18.757
	21	Comb 7	13.443	180,00	519,38	2.634	18.087	550	18.950
AZIONI SLU STR	22	Comb 8	15.729	243,00	493,50	3.507	11.620	550	12.924
	23	Comb 9	19.165	243,00	333,90	3.565	19.455	413	20.737
	24	Comb 10	18.498	243,00	333,90	3.556	19.793	413	21.034
	25	Comb 11	18.154	405,00	333,90	6.157	16.620	525	18.631
	26	Comb 12	17.686	405,00	333,90	6.148	16.873	525	18.843
	27	Comb 13	18.154	243,00	603,90	3.565	21.102	651	22.308
	28	Comb 14	17.686	243,00	603,90	3.556	21.355	651	22.533
AZIONI SLU EQU	29	Comb 15	13.014	198,00	493,50	2.858	11.475	532	12.476
	30	Comb 16	16.450	198,00	333,90	2.916	19.309	388	20.350
	31	Comb 17	15.783	198,00	333,90	2.906	19.647	388	20.650
	32	Comb 18	15.439	360,00	333,90	5.508	16.474	491	18.142
	33	Comb 19	14.971	360,00	333,90	5.498	17.671	491	19.255
	34	Comb 20	15.439	198,00	603,90	2.916	20.956	636	21.930
	35	Comb 21	14.971	198,00	603,90	2.906	21.210	636	22.156
SISMA	36	SISMA long	16.624	1.784,00	1.960,00	21.913	23.988	2.650	33.321
	37	SISMA trasv	0	0,00	0,00	0	0	0	0

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0

9.5.3.2 Sollecitazioni sulle fondazioni



AZIONI ALLA BASE

Combinazioni		N (kN)	Vlong (kN)	Vtrasv (kN)	Mlong (kNm)	Mtrasv (kNm)	
AZIONI SLU GEO	15	Comb 1	21.567	180,00	427,70	3.052	10.988
	16	Comb 2	24.488	180,00	289,38	3.095	17.264
	17	Comb 3	23.919	180,00	289,38	3.088	17.552
	18	Comb 4	23.625	318,00	289,38	5.648	14.849
	19	Comb 5	23.227	318,00	289,38	5.641	15.065
	20	Comb 6	23.625	180,00	519,38	3.095	19.242
	21	Comb 7	23.227	180,00	519,38	3.088	19.458
AZIONI SLU STR	22	Comb 8	28.544	243,00	493,50	4.117	12.890
	23	Comb 9	31.981	243,00	333,90	4.175	20.325
	24	Comb 10	31.314	243,00	333,90	4.166	20.664
	25	Comb 11	30.969	405,00	333,90	7.172	17.491
	26	Comb 12	30.501	405,00	333,90	7.163	17.744
	27	Comb 13	30.969	243,00	603,90	4.175	22.648
AZIONI SLU EQU	28	Comb 14	30.501	243,00	603,90	4.166	22.901
	29	Comb 15	23.885	198,00	493,50	3.359	12.805
	30	Comb 16	27.321	198,00	333,90	3.417	20.240
	31	Comb 17	26.654	198,00	333,90	3.408	20.578
	32	Comb 18	26.310	360,00	333,90	6.414	17.405
SISMA	33	Comb 19	25.842	360,00	333,90	6.405	17.659
	34	Comb 20	26.310	198,00	603,90	3.417	22.562
	35	Comb 21	24.096	198,00	603,90	3.408	21.306
SISMA	36	SISMA long	21.542	1.784,00	588,00	26.373	10.250
	37	SISMA trasv	21.542	535,20	1.960,00	7.912	28.888
SLE	38	Comb SLE 1	20.889	180,00	329,00	3.048	8.470
	39	Comb SLE 2	23.467	180,00	222,60	3.077	14.267
	40	Comb SLE 3	22.976	180,00	222,60	3.072	14.518
	41	Comb SLE 4	23.166	300,00	74,20	5.297	10.220
	42	Comb SLE 5	22.704	300,00	74,20	5.292	10.470
	43	Comb SLE 6	23.166	180,00	394,20	3.077	16.380
	44	Comb SLE 7	22.704	180,00	394,20	3.072	15.645

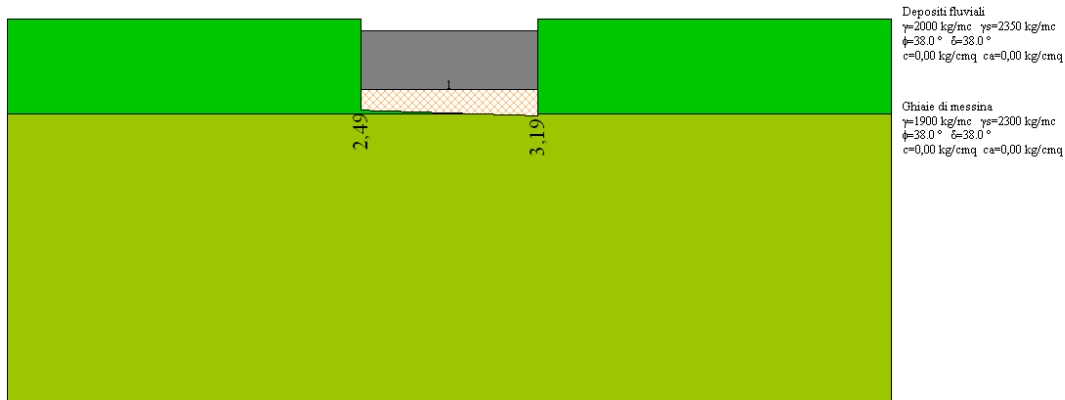
SPOSTAMENTI IN TESTA PILA

SLE	H (kN)	π (mm)
Frenamento	120	0,377
Resistenze passive vincolo	180	0,566

SLU	H (kN)	π (mm)
Sisma	1.160	3,646

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

Il momento flettente e il taglio sono calcolati rispetto al filo del fusto; si considera la situazione più gravosa corrispondente tra le combinazioni STR alla combinazione 4. Si riporta di seguito la pressione sul terreno lungo l'asse longitudinale della pila:



Le azioni sollecitanti sono calcolate rispetto al filo del fusto:

$$M_{Sd} = \left[(3,02 \cdot 10 - 2,500 \cdot 2,50) \cdot \frac{2,475^2}{2} + (3,19 - 3,02) \cdot 10 \cdot \frac{2,475^2}{3} \right] \cdot 10 = 768 \text{ kNm}$$

$$V_{Sd} = \left[(3,02 \cdot 10 - 2,500 \cdot 2,50) \cdot 2,475 + (3,19 - 3,02) \cdot 10 \cdot \frac{2,475}{2} \right] \cdot 10 = 571 \text{ kN}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

9.5.4 VERIFICA DELLE SEZIONI

9.5.4.1 Plinto di fondazione

$M_{Sd} = 768 \text{ kNm}$

VERIFICA A FLESSIONE

SEZIONE RETTANGOLARE	base (cm)	100
	altezza (cm)	250
ARMATURA	compressa	$\phi 26/10$
	tesa	$\phi 26/10$
SOLLECITAZIONI	$M_{sd} =$	768 kNm
INDICI DI RESISTENZA	$M_{rd} =$	5.041 kNm
	IR =	6,56

VERIFICA A TAGLIO

$T_{Sd} = 571 \text{ kN}$

RISULTATI VERIFICA A TAGLIO

Verifica senza armatura trasversale

Taglio res. ultimo (V_{Rd}): 623.807
 Indice di resistenza: 0.92

Verifica delle bielle compresse

Taglio resistente ultimo (V_{Rcd}): 7778.137
 $\text{ctg}(\Theta)$: 1.00
 Indice di resistenza: 0.07

Verifica con armatura trasversale

Taglio attribuito all'armatura (V_{Rsd}): 571.000
 Armatura trasversale per unita' di
 lunghezza ($A_{sw}, \text{cm}^2/\text{m}$): 6.62

Applicare solo i minimi di norma perchè la sezione non richiede armatura trasversale a taglio ($V \leq V_{rd1}$)

Staffe a 4 braccia
 : $\phi 20/100 \text{ cm}$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		Codice documento SS0706_F0.doc	Rev F0	Data 20/06/2011

9.5.4.2 Verifica fusto Pila

Con riferimento alle sollecitazioni al piede della pila si considerano le combinazioni allo SLU STR.

INTESTAZIONE E DATI CARATTERISTICI DEL LAVORO			
=====			
Nome archivio di lavoro	:	Sezione2	
Intestazione del lavoro	:	Combinazione 14	
Unità misura Forza	:	kN	
Unità misura Lunghezza	:	m	
Tensioni	:	N/mm ²	
Diametro armature	:	mm	
Area	:	mm ²	
I vertici in input sono riportati in senso orario per il contorno esterno e antiorario per le cavità. Il primo vertice è quello più in basso, a sinistra.			
Parametri di calcolo			
Normativa: NTC-2008			
Versione: 14 Gennaio 2008			
Rck = 40	fyk = 450	fykp = 1500	
Sollecitazioni agenti			
Sforzo normale N =		-17686.000	
Momento flettente Mz =		3556.000	
Momento flettente My =		21355.000	
Sollecitazioni resistenti di calcolo			
Sforzo normale N =		-156064.650	
Momento flettente Mz =		31366.476	
Momento flettente My =		188462.321	
Indice di resistenza s.l.u.: 0.11			
Campo di rottura della sezione: 4			
Valore dello sforzo normale di compressione centrata con incremento del 25% del coefficiente di sicurezza parziale relativo al calcestruzzo			
N,min = -183703			
inferiore ad N resistente = -156065			
Asse neutro			
z	y	ang	
0.0000	-2.9450	147.2	
Legame costitutivo 'parabola-rettangolo': -0.0020 / -0.0035			
con tensione massima di compressione: -18.81			
Deformazioni e tensioni nel calcestruzzo			
z	y	Def (%)	Tens
-2.350	-1.277	-0.01	-1.44
-3.960	-1.221	0.04	allungamento
-4.350	-0.991	0.04	allungamento
-4.350	0.990	-0.06	-9.39
-3.960	1.221	-0.08	-12.44
-2.350	1.277	-0.14	-17.14
2.350	1.277	-0.30	-18.81
3.959	1.221	-0.35	-18.81
4.350	0.990	-0.35	-18.81
4.350	-0.990	-0.25	-18.81
3.959	-1.221	-0.22	-18.81
2.350	-1.277	-0.17	-18.24
2.648	-0.877	-0.20	-18.80
3.652	-0.551	-0.25	-18.81
3.652	0.552	-0.30	-18.81
2.648	0.877	-0.29	-18.81
-2.652	0.876	-0.11	-14.96
-3.650	0.556	-0.06	-9.52
-3.650	-0.556	-0.00	-0.32
-2.652	-0.876	-0.02	-3.32
Deformazione massima nel calcestruzzo			
z	y	Def (%)	Tens
4.350	0.990	-0.35	-18.81
Legame costitutivo dell'acciaio ordinario			
Def(),a	Tens,a		
0.00	0.00		
0.19	391.30		
Deformazioni e Tensioni nell'Acciaio Ordinario			
z	y	d	Def(%) Tens

RELAZIONE DI CALCOLO

Codice documento

SS0706_F0.doc

Rev

F0

Data

20/06/2011

-2.349	-1.227	24.0	-0.01	-21.51
-3.945	-1.172	24.0	0.04	82.72
-4.300	-0.962	24.0	0.04	84.76
-4.300	0.962	24.0	-0.06	-120.86
-2.349	1.227	24.0	-0.14	-283.94
2.349	1.227	24.0	-0.30	-391.30
3.945	1.172	24.0	-0.35	-391.30
4.300	0.962	24.0	-0.35	-391.30
4.300	-0.962	24.0	-0.25	-391.30
3.945	-1.172	24.0	-0.22	-391.30
2.349	-1.227	24.0	-0.17	-345.80
-2.660	-0.926	24.0	-0.02	-32.23
-3.700	-0.593	24.0	0.00	3.86
-3.700	0.593	24.0	-0.06	-122.86
-2.660	0.926	24.0	-0.11	-230.30
2.656	0.927	24.0	-0.29	-391.30
3.702	0.588	24.0	-0.31	-391.30
3.702	-0.588	24.0	-0.25	-391.30
2.656	-0.927	24.0	-0.19	-391.30
-2.161	1.227	24.0	-0.14	-296.91
-1.973	1.227	24.0	-0.15	-309.88
-1.785	1.227	24.0	-0.16	-322.85
-1.598	1.227	24.0	-0.16	-335.82
-1.410	1.227	24.0	-0.17	-348.79
-1.222	1.227	24.0	-0.18	-361.76
-1.034	1.227	24.0	-0.18	-374.74
-0.846	1.227	24.0	-0.19	-387.71
-0.658	1.227	24.0	-0.19	-391.30
-0.470	1.227	24.0	-0.20	-391.30
-0.282	1.227	24.0	-0.21	-391.30
-0.094	1.227	24.0	-0.21	-391.30
0.094	1.227	24.0	-0.22	-391.30
0.282	1.227	24.0	-0.23	-391.30
0.470	1.227	24.0	-0.23	-391.30
0.658	1.227	24.0	-0.24	-391.30
0.846	1.227	24.0	-0.24	-391.30
1.033	1.227	24.0	-0.25	-391.30
1.221	1.227	24.0	-0.26	-391.30
1.409	1.227	24.0	-0.26	-391.30
1.597	1.227	24.0	-0.27	-391.30
1.785	1.227	24.0	-0.28	-391.30
1.973	1.227	24.0	-0.28	-391.30
2.161	1.227	24.0	-0.29	-391.30
2.526	1.221	24.0	-0.30	-391.30
2.704	1.215	24.0	-0.31	-391.30
2.881	1.209	24.0	-0.31	-391.30
3.058	1.203	24.0	-0.32	-391.30
3.236	1.196	24.0	-0.32	-391.30
3.413	1.190	24.0	-0.33	-391.30
3.590	1.184	24.0	-0.33	-391.30
3.768	1.178	24.0	-0.34	-391.30
-2.527	1.222	24.0	-0.13	-271.18
-2.704	1.217	24.0	-0.13	-258.42
-2.881	1.212	24.0	-0.12	-245.66
-3.058	1.208	24.0	-0.11	-232.90
-3.235	1.203	24.0	-0.11	-220.14
-3.413	1.198	24.0	-0.10	-207.39
-3.590	1.193	24.0	-0.09	-194.63
-3.767	1.188	24.0	-0.09	-181.87
-3.944	1.183	24.0	-0.08	-169.11
3.782	-1.176	24.0	-0.22	-391.30
3.603	-1.182	24.0	-0.21	-391.30
3.423	-1.189	24.0	-0.21	-391.30
3.244	-1.195	24.0	-0.20	-391.30
3.065	-1.201	24.0	-0.19	-391.30
2.886	-1.208	24.0	-0.19	-384.94
2.707	-1.214	24.0	-0.18	-371.89
2.528	-1.221	24.0	-0.17	-358.85
2.161	-1.227	24.0	-0.16	-332.79
1.972	-1.227	24.0	-0.16	-319.79
1.784	-1.227	24.0	-0.15	-306.79
1.595	-1.227	24.0	-0.14	-293.78
1.407	-1.227	24.0	-0.14	-280.78
1.219	-1.227	24.0	-0.13	-267.78
1.030	-1.227	24.0	-0.12	-254.77
0.842	-1.227	24.0	-0.12	-241.77
0.653	-1.227	24.0	-0.11	-228.77
0.465	-1.227	24.0	-0.10	-215.76
0.277	-1.227	24.0	-0.10	-202.76
0.088	-1.227	24.0	-0.09	-189.76
-0.100	-1.227	24.0	-0.09	-176.75
-0.289	-1.227	24.0	-0.08	-163.75
-0.477	-1.227	24.0	-0.07	-150.75
-0.665	-1.227	24.0	-0.07	-137.74
-0.854	-1.227	24.0	-0.06	-124.74
-1.042	-1.227	24.0	-0.05	-111.74
-1.231	-1.227	24.0	-0.05	-98.73
-1.419	-1.227	24.0	-0.04	-85.73
-1.608	-1.227	24.0	-0.04	-72.73

RELAZIONE DI CALCOLO

Codice documento
SS0706_F0.doc

Rev
F0

Data
20/06/2011

-1.796	-1.227	24.0	-0.03	-59.72
-1.984	-1.227	24.0	-0.02	-46.72
-2.173	-1.227	24.0	-0.02	-33.72
-2.527	-1.221	24.0	-0.00	-9.93
-2.704	-1.215	24.0	0.00	1.65
-2.881	-1.209	24.0	0.01	13.23
-3.059	-1.203	24.0	0.01	24.81
-3.236	-1.196	24.0	0.02	36.39
-3.413	-1.190	24.0	0.02	47.97
-3.590	-1.184	24.0	0.03	59.56
-3.768	-1.178	24.0	0.03	71.14
-4.034	-1.119	24.0	0.04	83.23
-4.122	-1.067	24.0	0.04	83.74
-4.211	-1.014	24.0	0.04	84.25
-4.033	1.128	24.0	-0.08	-157.05
-4.122	1.072	24.0	-0.07	-144.99
-4.211	1.017	24.0	-0.06	-132.92
4.034	1.119	24.0	-0.35	-391.30
4.123	1.067	24.0	-0.35	-391.30
4.211	1.014	24.0	-0.35	-391.30
4.211	-1.014	24.0	-0.24	-391.30
4.123	-1.067	24.0	-0.24	-391.30
4.034	-1.119	24.0	-0.23	-391.30
-4.300	0.769	24.0	-0.05	-100.30
-4.300	0.577	24.0	-0.04	-79.74
-4.300	0.384	24.0	-0.03	-59.17
-4.300	0.192	24.0	-0.02	-38.61
-4.300	-0.000	24.0	-0.01	-18.05
-4.300	-0.193	24.0	0.00	2.51
-4.300	-0.385	24.0	0.01	23.08
-4.300	-0.577	24.0	0.02	43.64
-4.300	-0.770	24.0	0.03	64.20
4.300	0.769	24.0	-0.34	-391.30
4.300	0.577	24.0	-0.33	-391.30
4.300	0.385	24.0	-0.32	-391.30
4.300	0.192	24.0	-0.31	-391.30
4.300	0.000	24.0	-0.30	-391.30
4.300	-0.192	24.0	-0.29	-391.30
4.300	-0.385	24.0	-0.28	-391.30
4.300	-0.577	24.0	-0.27	-391.30
4.300	-0.769	24.0	-0.26	-391.30
-3.527	0.658	24.0	-0.07	-141.88
-3.353	0.712	24.0	-0.08	-159.56
-3.180	0.766	24.0	-0.09	-177.25
-3.007	0.819	24.0	-0.09	-194.93
-2.833	0.873	24.0	-0.10	-212.62
-3.524	-0.646	24.0	-0.00	-2.53
-3.349	-0.700	24.0	-0.00	-8.92
-3.174	-0.753	24.0	-0.01	-15.30
-2.998	-0.807	24.0	-0.01	-21.69
-2.823	-0.860	24.0	-0.01	-28.07
2.828	0.871	24.0	-0.29	-391.30
3.000	0.815	24.0	-0.30	-391.30
3.172	0.758	24.0	-0.30	-391.30
3.344	0.702	24.0	-0.30	-391.30
3.516	0.646	24.0	-0.30	-391.30
2.830	-0.870	24.0	-0.20	-391.30
3.005	-0.814	24.0	-0.21	-391.30
3.179	-0.757	24.0	-0.22	-391.30
3.354	-0.701	24.0	-0.23	-391.30
3.528	-0.644	24.0	-0.24	-391.30
3.702	0.457	24.0	-0.30	-391.30
3.702	0.327	24.0	-0.29	-391.30
3.702	0.196	24.0	-0.29	-391.30
3.702	0.065	24.0	-0.28	-391.30
3.702	-0.065	24.0	-0.27	-391.30
3.702	-0.196	24.0	-0.27	-391.30
3.702	-0.327	24.0	-0.26	-391.30
3.702	-0.457	24.0	-0.25	-391.30
-3.700	0.461	24.0	-0.05	-108.78
-3.700	0.329	24.0	-0.05	-94.70
-3.700	0.197	24.0	-0.04	-80.62
-3.700	0.066	24.0	-0.03	-66.54
-3.700	-0.066	24.0	-0.03	-52.46
-3.700	-0.198	24.0	-0.02	-38.38
-3.700	-0.329	24.0	-0.01	-24.30
-3.700	-0.461	24.0	-0.00	-10.22
-2.463	0.927	24.0	-0.12	-243.94
-2.267	0.927	24.0	-0.13	-257.58
-2.070	0.928	24.0	-0.13	-271.21
-1.873	0.928	24.0	-0.14	-284.85
-1.676	0.929	24.0	-0.14	-298.49
-1.480	0.929	24.0	-0.15	-312.12
-1.283	0.930	24.0	-0.16	-325.76
-1.086	0.930	24.0	-0.16	-339.40
-0.889	0.931	24.0	-0.17	-353.03
-0.693	0.932	24.0	-0.18	-366.67
-0.496	0.932	24.0	-0.18	-380.31
-0.299	0.933	24.0	-0.19	-391.30

RELAZIONE DI CALCOLO

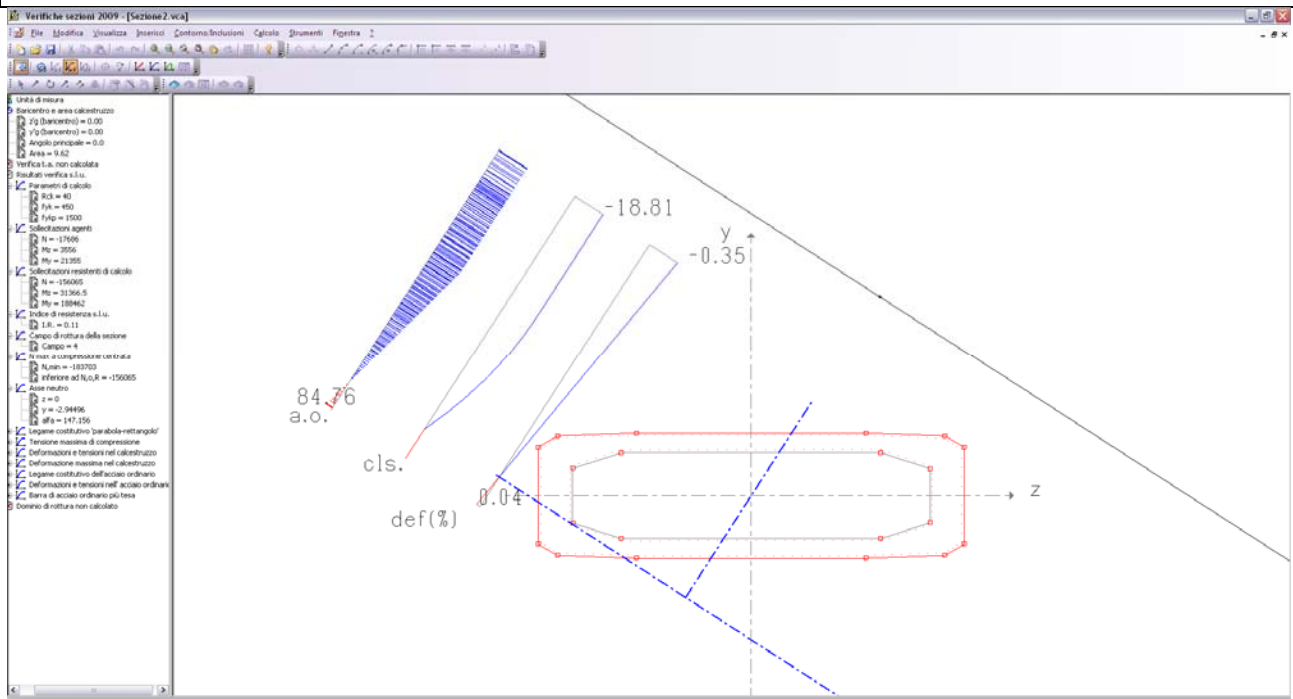
Codice documento
SS0706_F0.doc



Rev
F0

Data
20/06/2011

-0.102	0.933	24.0	-0.20	-391.30
0.094	0.934	24.0	-0.20	-391.30
0.291	0.934	24.0	-0.21	-391.30
0.488	0.935	24.0	-0.22	-391.30
0.685	0.935	24.0	-0.22	-391.30
0.881	0.936	24.0	-0.23	-391.30
1.078	0.936	24.0	-0.24	-391.30
1.275	0.937	24.0	-0.24	-391.30
1.471	0.937	24.0	-0.25	-391.30
1.668	0.938	24.0	-0.26	-391.30
1.865	0.939	24.0	-0.26	-391.30
2.062	0.939	24.0	-0.27	-391.30
2.258	0.940	24.0	-0.28	-391.30
2.455	0.940	24.0	-0.28	-391.30
2.652	0.941	24.0	-0.29	-391.30
-2.463	-0.926	24.0	-0.02	-45.89
-2.266	-0.925	24.0	-0.03	-59.55
-2.069	-0.924	24.0	-0.04	-73.21
-1.872	-0.924	24.0	-0.04	-86.88
-1.675	-0.923	24.0	-0.05	-100.54
-1.478	-0.923	24.0	-0.06	-114.20
-1.281	-0.922	24.0	-0.06	-127.86
-1.084	-0.921	24.0	-0.07	-141.52
-0.887	-0.921	24.0	-0.08	-155.18
-0.690	-0.920	24.0	-0.08	-168.84
-0.493	-0.920	24.0	-0.09	-182.50
-0.296	-0.919	24.0	-0.10	-196.17
-0.099	-0.918	24.0	-0.10	-209.83
0.098	-0.918	24.0	-0.11	-223.49
0.295	-0.917	24.0	-0.12	-237.15
0.492	-0.917	24.0	-0.12	-250.81
0.689	-0.916	24.0	-0.13	-264.47
0.886	-0.915	24.0	-0.14	-278.13
1.083	-0.915	24.0	-0.14	-291.79
1.279	-0.914	24.0	-0.15	-305.45
1.476	-0.913	24.0	-0.15	-319.12
1.673	-0.913	24.0	-0.16	-332.78
1.870	-0.912	24.0	-0.17	-346.44
2.067	-0.912	24.0	-0.17	-360.10
2.264	-0.911	24.0	-0.18	-373.76
2.461	-0.910	24.0	-0.19	-387.42
2.658	-0.910	24.0	-0.19	-391.30

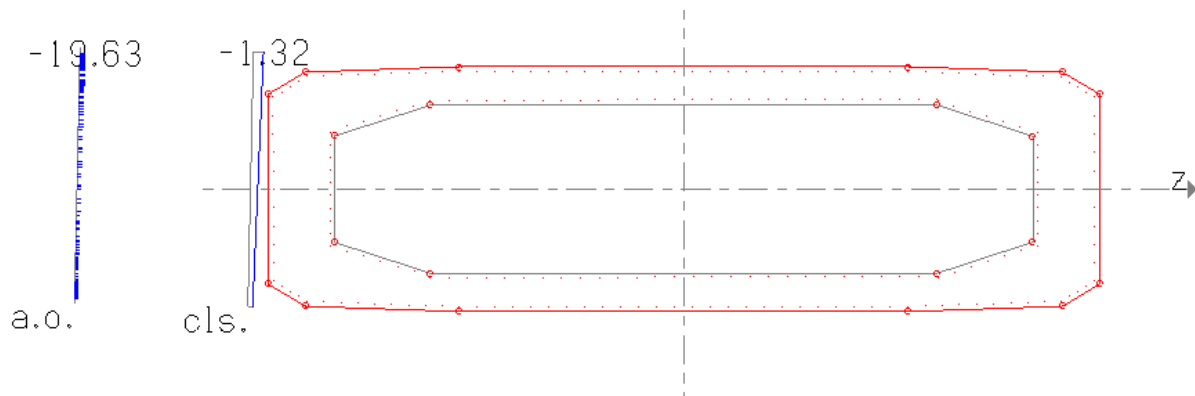
Barra di acciaio ordinario più tesa
z y d Def(%) Tens
-4.300 -0.962 24.0 0.04 84.76





		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

Con riferimento ora alle sollecitazioni al piede della pila si considerano la combinazione allo SLE QUASI PERMANENTE.

ARMATURA	distribuita	φ24/20
SOLLECITAZIONI	Nsd =	10.859 KN
	Msd long =	2.598 kNm
	Msd trasv =	582 kNm



TENSIONI	cls	$\sigma_c = (N/mm^2) 1,32 < 0,45 f_{ck} = 0,45 \times 33,20 = 14,94$
	ferro	$\sigma_f = (N/mm^2) 19,63 < 0,80 f_{yk} = 0,80 \times 450 = 360$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

9.6 ANALISI DELLA PILA 3

La pila 3 è costituita da un plinto di fondazione a pianta rettangolare di dimensioni 16,50 x 7,50 m, di spessore 2,50 m. L'architettura della pila è definita da due fusti poligonali cavi di altezza 18,00 e 18,55 m. In sommità del fusto è individuabile un pulvino caratterizzato da uno sviluppo verticale di 4,20 m. Il collegamento tra impalcato ed opera di sostegno è affidato integralmente a 4 appoggi, 2 per ogni fusto, collocati con un interasse reciproco di 3,90 m e 4,26 m.

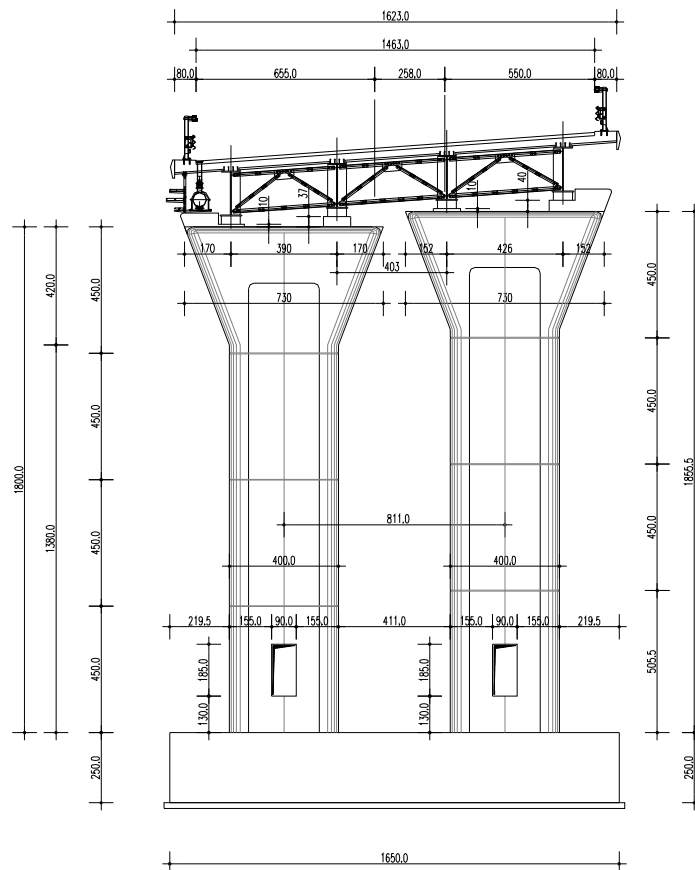


Figura 9.3 – Carpenteria Pila.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0

Si riporta di seguito un tabulato riassuntivo della geometria delle strutture.

FUSTO	Altezza impalcato		1,90	mt	
	Larghezza pavimentato		14,63	mt	
	Baricentro impalcato		0,00	mt	influsce sul momento trasverse del vento
	Campata		26,00	mt	
	Altezza baggiolo+ appoggio		0,50	mt	
	Peso pulvino		1.470,00	kN	
	Altezza pulvino		4,20		
	Altezza fusto		14,30		
	Altezza fusto +pulgino		18,50	mt	
	Numero fusti		2		
	Interasse fusti		8,11	mt	
	Base / Diametro sezione	D	2,70	mt	diametro fittizio equipeso
	Altezza sezione		-	mt	
Peso fusto +pulgino		7.033,00	kN		
FONDAZIONE	Eccentricità Fusti-Fond-trasversale		0,00	mt	
	Base plinto		7,50	mt	
	Lunghezza plinto		16,50	mt	
	Altezza plinto		2,50	mt	
	Altezza terreno su plinto		0,60	mt	
	Peso Terreno su plinto		1.212,85	kN	
	Peso plinto		7.734,38	kN	
	Totale plinto + Terreno		8.947,23	kN	
	N° pali		8,00		
	Diametro		1,50	mt	
	W _{long} palo		18,00	mt	ASSE LONGITUDINALE PALI
W _{trav} palo		30,00	mt	ASSE TRASVERSALE PALI	
Obliquità fondazione	0 °	0,00	rad		

Modulo elastico cls	360.000 daN/cm ²
Inerzia longitudinale	4,09 m ⁴
Inerzia trasversale	10,51 m ⁴

9.6.1 ANALISI DEI CARICHI

La pila è soggetta dalle sollecitazioni derivanti dall'impalcato riportati precedentemente. Di seguito si riassumono i carichi globali gravanti:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0

AZIONI TRASMESSE DALL'IMPALCATO		N kN	H long kN	H trasv kN	M long kN m	M trasv kN m
	Peso strutturale impalcato	0	0	0	0	0
	Permanenti	0	0	0	0	0
	Ritiro	0	0	0	0	0
	Mezzi schema centrato	0	0	0	0	0
	Mezzi schema eccentrico	0	0	0	0	0
	Folla schema centrato	0	0	0	0	0
	Folla schema eccentrica	0	0	0	0	0
	Frenamento	0	240	0	0	0
	Resistenze passive vincolo	0	152	0	0	0
	Vento: impalcato scarico	0	0	288	0	0
	Vento: impalcato carico	0	0	402	0	0
	Cedimento	0	0	0	0	0
	Azione centrifuga	0	0	120	0	0
	Svicio	0	0	200	0	0
	Sisma	0	1.160	1.000	0	0

Eccentricità dei carichi verticali (mt) 0,01

Azione sismica sul fusto Flong.= 432 Ftrasv.= 272 Fvert.= 629

Vento sul fusto Ftrasv.= 104,0

Pila 1				Pila 2			
N	M trasv	H long	H trasv	N	M trasv	H long	H trasv
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	120	0	0	0	120	0
0	0	82	0	0	0	70	0
0	0	0	144	0	0	0	144
0	0	0	201	0	0	0	201
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	60	0	0	0	60
0	0	0	100	0	0	0	100
0	0	580	500	0	0	580	500

PRINCIPALE	P.p. %G1	Perm. %G2	Attrito		Temperatura		Vento		Accident.		Folla		Frenamento		Ced. - Ritiro		Centrifuga	
			Ψ ₀	%G2	Ψ ₀	%G3	Ψ ₀	%Q	Ψ ₀	%Q	Ψ ₀	%Q	Ψ ₀	%Q	Ψ ₀	%Q	Ψ ₀	%Q
Vento	1,00	1,30	1,00	1,30	0,60	1,00	1,00	1,30							1,00	1,00		
Gruppo 1 centr.	1,00	1,30	1,00	1,30	0,60	1,00	0,60	1,30	1,00	1,15	0,50	1,15	0,00	1,15	1,00	1,00	0,00	1,15
Gruppo 1 ecc.	1,00	1,30	1,00	1,30	0,60	1,00	0,60	1,30	1,00	1,15	0,50	1,15	0,00	1,15	1,00	1,00	0,00	1,15
Gruppo 2a centr.	1,00	1,30	1,00	1,30	0,60	1,00	0,60	1,30	0,75	1,15	0,00	1,15	1,00	1,15	1,00	1,00	0,00	1,15
Gruppo 2a ecc.	1,00	1,30	1,00	1,30	0,60	1,00	0,60	1,30	0,75	1,15	0,00	1,15	1,00	1,15	1,00	1,00	0,00	1,15
Gruppo 2b centr.	1,00	1,30	1,00	1,30	0,60	1,00	0,60	1,30	0,75	1,15	0,00	1,15	0,00	1,15	1,00	1,00	0,00	1,15
Gruppo 2b ecc.	1,00	1,30	1,00	1,30	0,60	1,00	0,60	1,30	0,75	1,15	0,00	1,15	0,00	1,15	1,00	1,00	0,00	1,15
Vento	1,35	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	1,00	1,50							1,00	1,20		
Gruppo 1 centr.	1,35	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	0,60	1,50	1,00	1,35	0,50	1,35	0,00	1,35	1,00	1,20	0,00	1,35
Gruppo 1 ecc.	1,35	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	0,60	1,50	1,00	1,35	0,50	1,35	0,00	1,35	1,00	1,20	0,00	1,35
Gruppo 2a centr.	1,35	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	0,60	1,50	0,75	1,35	0,00	1,35	1,00	1,35	1,00	1,20	0,00	1,35
Gruppo 2a ecc.	1,35	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	0,60	1,50	0,75	1,35	0,00	1,35	1,00	1,35	1,00	1,20	0,00	1,35
Gruppo 2b centr.	1,35	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	0,60	1,50	0,75	1,35	0,00	1,35	0,00	1,35	1,00	1,20	0,00	1,35
Gruppo 2b ecc.	1,35	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	0,60	1,50	0,75	1,35	0,00	1,35	0,00	1,35	1,00	1,20	0,00	1,35
Vento	1,10	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	1,00	1,50							1,00	1,20		
Gruppo 1 centr.	1,10	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	0,60	1,50	1,00	1,35	0,50	1,35	0,00	1,35	1,00	1,20	0,00	1,35
Gruppo 1 ecc.	1,10	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	0,60	1,50	1,00	1,35	0,50	1,35	0,00	1,35	1,00	1,20	0,00	1,35
Gruppo 2a centr.	1,10	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	0,60	1,50	0,75	1,35	0,00	1,35	1,00	1,35	1,00	1,20	0,00	1,35
Gruppo 2a ecc.	1,10	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	0,60	1,50	0,75	1,35	0,00	1,35	1,00	1,35	1,00	1,20	0,00	1,35
Gruppo 2b centr.	1,10	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	0,60	1,50	0,75	1,35	0,00	1,35	0,00	1,35	1,00	1,20	0,00	1,35
Gruppo 2b ecc.	1,10	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	0,60	1,50	0,75	1,35	0,00	1,35	0,00	1,35	1,00	1,20	0,00	1,35

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

9.6.1.1 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

9.6.2 MODELLO DI CALCOLO

9.6.2.1 Descrizione del modello di calcolo

Alla luce di quanto scaturito da valutazioni preliminari di carattere statico, condotte sulla tipologia strutturale ivi considerata, è stato possibile individuare la modellazione più performante, che meglio simulasse il naturale comportamento in opera delle pile.

Si è quindi scelta una particolare schematizzazione a mensola incastrata alla base, la cui applicabilità è supportata dall’indiscutibile rilevanza che risiede nella valutazione dei momenti sollecitanti alla base del fusto.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0

9.6.3 CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI

9.6.3.1 Sollecitazioni sul fusto

AZIONI ALLO SPICCATO DEL FUSTO NORME TECNICHE 2008

	Combinazioni		N kN	Vlong kN	Vtrasv kN	Mlong kN m	Mtrasv kN m
		AZIONI GLOBALI					
AZIONI SLU GEO	15	Comb 1	18.156	256,00	400,40	4.956	12.106
	16	Comb 2	26.172	256,00	464,88	5.068	17.152
	17	Comb 3	22.097	256,00	464,88	5.017	22.065
	18	Comb 4	23.829	426,20	464,88	8.624	15.742
	19	Comb 5	20.931	426,20	464,88	8.574	19.817
	20	Comb 6	23.829	256,00	464,88	5.067	15.742
	21	Comb 7	20.931	256,00	464,88	5.017	19.817

AZIONI SLU STR	22	Comb 8	23.491	345,60	462,00	6.685	13.968
	23	Comb 9	32.913	345,60	536,40	6.836	19.872
	24	Comb 10	28.132	345,60	536,40	6.767	25.640
	25	Comb 11	30.164	545,40	536,40	11.010	18.217
	26	Comb 12	26.762	545,40	536,40	10.943	23.001
	27	Comb 13	30.164	345,60	536,40	6.835	18.217
	28	Comb 14	26.762	345,60	536,40	6.767	23.001

	Combinazioni		N kN	Vlong kN	Vtrasv kN	Mlong kN m	Mtrasv kN m
SISMA	36	SISMA long	21.443	2.288,00	2.324,00	31.512	26.940
	37	SISMA trasv	0	0,00	0,00	0	0

	Combinazioni		N kN	Vlong kN	Vtrasv kN	Mlong kN m	Mtrasv kN m
AZIONI SLE	38	Comb SLE 1	17.060	256,00	308,00	4.949	9.312
	39	Comb SLE 2	24.089	256,00	357,60	5.024	13.602
	40	Comb SLE 3	20.560	256,00	357,60	4.990	17.874
	41	Comb SLE 4	23.601	404,00	119,20	8.117	7.957
	42	Comb SLE 5	20.177	404,00	119,20	8.083	12.229
	43	Comb SLE 6	23.601	256,00	119,20	5.024	7.957
	44	Comb SLE 7	20.177	256,00	119,20	4.990	12.229

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0

9.6.3.2 Sollecitazioni sulle fondazioni

AZIONI ALLA BASE



	Combinazioni	N kN	Vlong kN	Vtrasv kN	Mlong kN m	Mtrasv kN m
AZIONI SLU GEO	Comb 1	27.104	256,00	517,40	5.596	14.482
	Comb 2	35.119	256,00	535,08	5.708	19.139
	Comb 3	31.044	256,00	535,08	5.657	24.052
	Comb 4	32.776	426,20	535,08	9.689	17.729
	Comb 5	29.878	426,20	535,08	9.640	21.805
	Comb 6	32.776	256,00	535,08	5.707	17.729
	Comb 7	29.878	256,00	535,08	5.657	21.805
AZIONI SLU STR	Comb 8	35.570	345,60	597,00	7.549	16.709
	Comb 9	44.991	345,60	617,40	7.700	22.165
	Comb 10	40.211	345,60	617,40	7.631	27.932
	Comb 11	42.243	545,40	617,40	12.374	20.509
	Comb 12	38.841	545,40	617,40	12.307	25.294
	Comb 13	42.243	345,60	617,40	7.699	20.509
	Comb 14	38.841	345,60	617,40	7.631	25.294
SISMA	SISMA long	31.300	2.288,00	980,00	41.080	2.298
	SISMA trasv	30.948	1.200,00	2.324,00	25.800	39.936
AZIONI SLE	Comb SLE 1	26.007	256,00	398,00	5.589	11.139
	Comb SLE 2	33.036	256,00	411,60	5.664	15.131
	Comb SLE 3	29.507	256,00	411,60	5.630	19.403
	Comb SLE 4	31.060	404,00	411,60	9.127	14.244
	Comb SLE 5	28.492	404,00	411,60	9.093	17.448
	Comb SLE 6	31.060	256,00	411,60	5.664	14.244
	Comb SLE 7	28.492	256,00	411,60	5.630	16.689

SPOSTAMENTI IN TESTA PILA

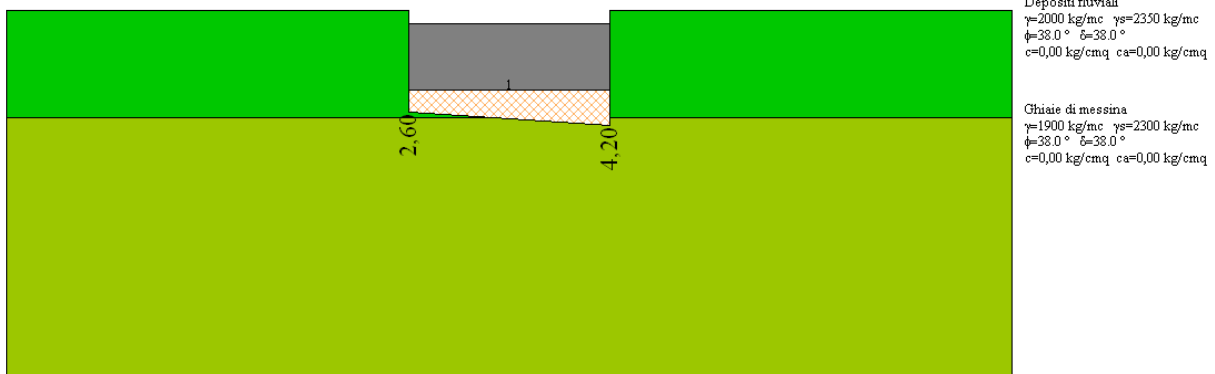
SLE	H (kN)	Δ (mm)
Frenamento	74	1,061
Resistenze passive vincolo	132	1,892

SLU	H (kN)	Δ (mm)
Sisma	600	8,600

Il momento flettente e il taglio sono calcolati rispetto al filo del fusto; si considera la situazione più gravosa corrispondente tra le combinazioni STR alla combinazione 4. Si riporta di seguito la

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

pressione sul terreno lungo l'asse longitudinale della pila:



Le azioni sollecitanti sono calcolate rispetto al filo del fusto:

$$M_{Sd} = \left[(3,67 \cdot 10 - 2,500 \cdot 2,50) \cdot \frac{2,475^2}{2} + (4,20 - 3,67) \cdot 10 \cdot \frac{2,475^2}{3} \right] \cdot 10 = 1.041 \text{ kNm}$$

$$V_{Sd} = \left[(3,67 \cdot 10 - 2,500 \cdot 2,50) \cdot 2,475 + (4,20 - 3,67) \cdot 10 \cdot \frac{2,475}{2} \right] \cdot 10 = 371 \text{ kN}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

9.6.4 VERIFICA DELLE SEZIONI

9.6.4.1 Plinto di fondazione

$M_{Sd} = 1.041 \text{ kNm}$

VERIFICA A FLESSIONE

SEZIONE RETTANGOLARE	base (cm)	100
	altezza (cm)	250
ARMATURA	compressa	$\phi 26/10$
	tesa	$\phi 26/10$
SOLLECITAZIONI	$M_{sd} =$	1.041 kNm
INDICI DI RESISTENZA	$M_{rd} =$	5.041 kNm
	$IR =$	4,84

VERIFICA A TAGLIO

$T_{Sd} = 371 \text{ kN}$

RISULTATI VERIFICA A TAGLIO

Verifica senza armatura trasversale

Taglio res. ultimo (V_{Rd}): 623.807
 Indice di resistenza: 0.59

Verifica delle bielle compresse

Taglio resistente ultimo (V_{Rcd}): 7778.137
 $\text{ctg}(\Theta)$: 1.00
 Indice di resistenza: 0.05

Verifica con armatura trasversale

Taglio attribuito all'armatura (V_{Rsd}): 371.000
 Armatura trasversale per unita' di
 lunghezza ($A_{sw}, \text{cm}^2/\text{m}$): 4.30

Applicare solo i minimi di norma perchè la sezione non richiede armatura trasversale a taglio ($V \leq V_{rd1}$)

Staffe a 4 braccia
 : $\phi 20/100 \text{ cm}$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

9.6.4.2 Verifica fusto Pila

Con riferimento alle sollecitazioni al piede della pila si considerano le combinazioni allo SLU sismiche, considerate le più gravose..

INTESTAZIONE E DATI CARATTERISTICI DEL LAVORO

```

=====
Nome archivio di lavoro      : Sezione1 pile
Intestazione del lavoro     : sismica
Unità misura Forza          : kN
Unità misura Lunghezza     : cm
Tensioni                     : N/mm²
Diametro armature           : mm
Area                         : mm²

```

I vertici in input sono riportati in senso orario per il contorno esterno e antiorario per le cavità. Il primo vertice è quello più in basso, a sinistra.

Parametri di calcolo
Normativa: NTC-2008
Versione: 14 Gennaio 2008
Rck = 300 fyk = 4580 fykp = 16300

Sollecitazioni agenti
Sforzo normale N = -4145.000
Momento flettente Mz = 1446200.000
Momento flettente My = 1201600.000

Sollecitazioni resistenti di calcolo
Sforzo normale N = -62912.751
Momento flettente Mz = 21946195.211
Momento flettente My = 18235678.188

Indice di resistenza s.l.u.: 0.07

Campo di rottura della sezione: 2

Valore dello sforzo normale di compressione centrata con incremento del 25% del coefficiente di sicurezza parziale relativo al calcestruzzo

N,min = -789735
inferiore ad N resistente = -62912.8

Asse neutro
z' y' ang
0.00 80.53 166.7

Legame costitutivo 'parabola-rettangolo': -0.0020 / -0.0035
con tensione massima di compressione: -141.09

Deformazioni e tensioni nel calcestruzzo

z'	y'	Def(%)	Tens
39.9	-132.8	0.84	allungamento
39.9	-90.7	0.67	allungamento
130.0	-61.4	0.46	allungamento
130.0	48.6	0.00	allungamento
30.1	81.1	-0.03	-41.37
-30.2	81.1	0.03	allungamento
-130.2	49.2	0.26	allungamento
-130.2	-61.9	0.71	allungamento
-45.1	-89.1	0.74	allungamento
-45.1	-132.6	0.92	allungamento
-166.0	-128.0	1.02	allungamento
-176.4	-125.6	1.02	allungamento
-185.9	-120.8	1.01	allungamento
-194.0	-113.8	0.99	allungamento
-200.2	-105.1	0.96	allungamento
-200.2	92.4	0.15	allungamento
-194.3	100.7	0.11	allungamento
-186.8	107.4	0.07	allungamento
-177.9	112.3	0.04	allungamento

RELAZIONE DI CALCOLO

Codice documento

SS0706_F0.doc

Rev

F0

Data

20/06/2011

-168.1	115.0	0.02	allungamento
-0.2	121.1	-0.17	-137.26
165.6	115.3	-0.30	-141.09
176.0	112.8	-0.31	-141.09
185.5	108.0	-0.29	-141.09
193.6	101.1	-0.27	-141.09
199.8	92.4	-0.24	-141.09
199.8	-105.2	0.57	allungamento
193.3	-114.2	0.61	allungamento
184.8	-121.3	0.65	allungamento
174.7	-126.1	0.68	allungamento
163.8	-128.2	0.70	allungamento

Deformazione massima nel calcestruzzo

z'	y'	Def(%)	Tens
176.0	112.8	-0.31	-141.09

Legame costitutivo dell'acciaio ordinario

Def(),a	Tens,a
0.00	0.00
0.19	3982.60

Deformazioni e Tensioni nell'Acciaio Ordinario

z'	y'	d	Def(%)	Tens
44.9	-127.6	24.0	0.81	3982.60
44.9	-94.3	24.0	0.68	3982.60
135.0	-65.1	24.0	0.47	3982.60
135.0	52.3	24.0	-0.02	-327.01
30.9	86.1	24.0	-0.05	-1117.68
-31.0	86.1	24.0	0.01	150.03
-135.2	52.8	24.0	0.25	3982.60
-135.2	-65.5	24.0	0.73	3982.60
-50.1	-92.8	24.0	0.76	3982.60
-50.1	-127.4	24.0	0.91	3982.60
-165.3	-123.0	24.0	1.00	3982.60
-174.7	-120.8	24.0	1.00	3982.60
-183.1	-116.6	24.0	0.99	3982.60
-190.3	-110.4	24.0	0.97	3982.60
-195.2	-103.5	24.0	0.95	3982.60
-195.2	90.8	24.0	0.15	3115.30
-190.6	97.3	24.0	0.12	2458.13
-183.9	103.3	24.0	0.09	1803.61
-176.0	107.6	24.0	0.06	1269.57
-167.3	110.0	24.0	0.04	884.25
-0.2	116.1	24.0	-0.15	-3075.59
164.9	110.3	24.0	-0.28	-3982.60
174.3	108.1	24.0	-0.28	-3982.60
182.7	103.8	24.0	-0.27	-3982.60
189.9	97.7	24.0	-0.26	-3982.60
194.8	90.8	24.0	-0.23	-3982.60
194.8	-103.6	24.0	0.57	3982.60
189.6	-110.7	24.0	0.60	3982.60
182.0	-117.0	24.0	0.64	3982.60
173.2	-121.3	24.0	0.66	3982.60
163.3	-123.2	24.0	0.68	3982.60
-139.5	111.0	24.0	0.01	224.28
-111.6	112.1	24.0	-0.02	-435.69
-83.8	113.1	24.0	-0.05	-1095.67
-55.9	114.1	24.0	-0.08	-1755.64
-28.1	115.1	24.0	-0.12	-2415.62
27.3	115.2	24.0	-0.17	-3555.93
54.8	114.2	24.0	-0.19	-3982.60
82.4	113.2	24.0	-0.22	-3982.60
109.9	112.2	24.0	-0.24	-3982.60
137.4	111.3	24.0	-0.26	-3982.60
-195.2	-75.8	24.0	0.83	3982.60
-195.2	-48.0	24.0	0.72	3982.60
-195.2	-20.2	24.0	0.61	3982.60
-195.2	7.5	24.0	0.49	3982.60
-195.2	35.3	24.0	0.38	3982.60
-195.2	63.1	24.0	0.26	3982.60
-135.2	-41.9	24.0	0.64	3982.60
-135.2	-18.2	24.0	0.54	3982.60
-135.2	5.5	24.0	0.44	3982.60
-135.2	29.1	24.0	0.34	3982.60
135.0	-41.6	24.0	0.37	3982.60

RELAZIONE DI CALCOLO

Codice documento
SS0706_F0.doc

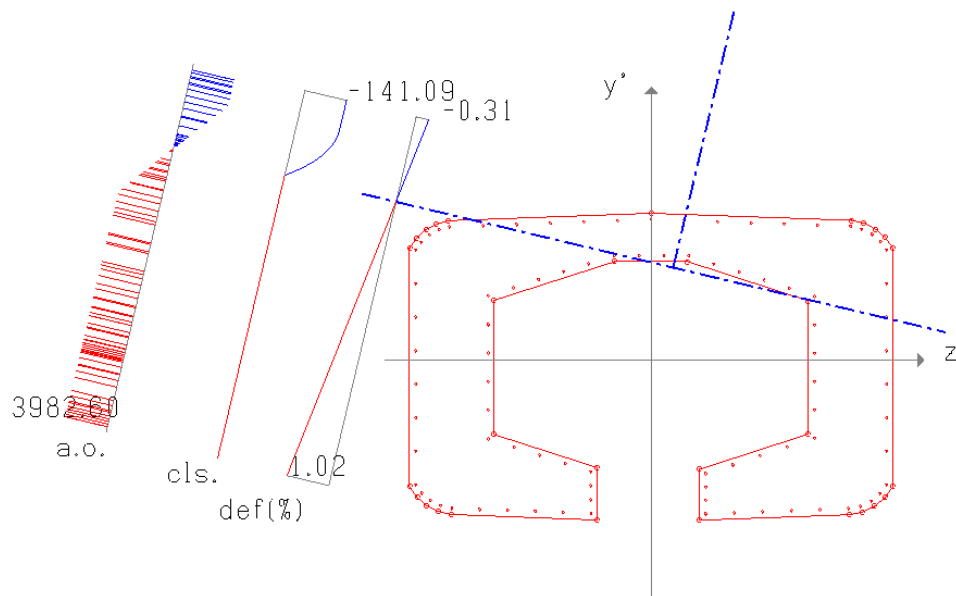
Rev
F0



Data
20/06/2011

135.0	-18.1	24.0	0.27	3982.60
135.0	5.3	24.0	0.18	3731.86
135.0	28.8	24.0	0.08	1702.42
-114.4	59.5	24.0	0.20	3982.60
-93.5	66.1	24.0	0.15	3163.58
-72.7	72.8	24.0	0.10	2159.07
-51.8	79.5	24.0	0.05	1154.55
51.7	79.4	24.0	-0.05	-959.55
72.5	72.6	24.0	-0.04	-801.41
93.4	65.8	24.0	-0.03	-643.28
114.2	59.0	24.0	-0.02	-485.15
-10.4	86.1	24.0	-0.01	-272.54
10.3	86.1	24.0	-0.03	-695.11
-50.1	-115.9	24.0	0.86	3982.60
-50.1	-104.3	24.0	0.81	3982.60
44.9	-116.5	24.0	0.77	3982.60
44.9	-105.4	24.0	0.72	3982.60
-71.3	-86.0	24.0	0.76	3982.60
-92.6	-79.2	24.0	0.75	3982.60
-113.9	-72.3	24.0	0.74	3982.60
67.5	-87.0	24.0	0.62	3982.60
90.0	-79.7	24.0	0.57	3982.60
112.5	-72.4	24.0	0.52	3982.60
-73.1	-126.5	24.0	0.92	3982.60
-96.2	-125.7	24.0	0.94	3982.60
-119.2	-124.8	24.0	0.96	3982.60
-142.3	-123.9	24.0	0.98	3982.60
68.6	-126.7	24.0	0.79	3982.60
92.3	-125.8	24.0	0.76	3982.60
115.9	-125.0	24.0	0.73	3982.60
139.6	-124.1	24.0	0.71	3982.60
194.8	-75.8	24.0	0.45	3982.60
194.8	-48.0	24.0	0.34	3982.60
194.8	-20.3	24.0	0.22	3982.60
194.8	7.5	24.0	0.11	2319.30
194.8	35.3	24.0	-0.00	-82.14
194.8	63.0	24.0	-0.12	-2483.57

Barra di acciaio ordinario più tesa

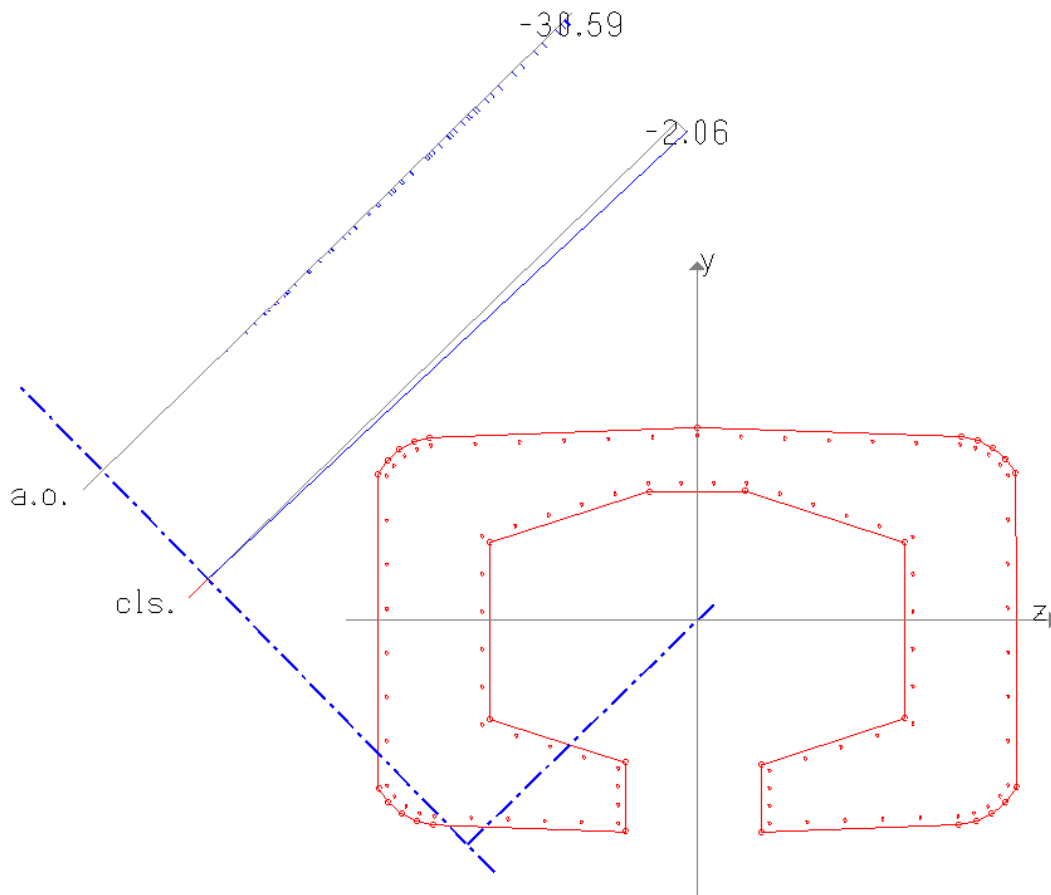
z'	y'	d	Def (%)	Tens
-174.7	-120.8	24.0	1.00	3982.60



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011



Con riferimento ora alle sollecitazioni al piede della pila si considerano la combinazione allo SLE QUASI PERMANENTE.

ARMATURA	distribuita	φ24/20
SOLLECITAZIONI	Nsd =	6.247 KN
	Msd long =	1.469 kNm
	Msd trasv =	4.257 kNm



TENSIONI	cls	$\sigma_c = (N/mm^2) 2,06 < 0,45 f_{ck} = 0,45 \times 33,20 = 14,94$
	ferro	$\sigma_f = (N/mm^2) 30,59 < 0,80 f_{yk} = 0,80 \times 450 = 360$

9.7 ANALISI DELLA PILA 4

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<table border="1"> <thead> <tr> <th><i>Rev</i></th> <th><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>F0</td> <td>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 pila 4 è costituita da un plinto di fondazione a pianta rettangolare di dimensioni 17,62 x 7,50 m, di spessore 2,50 m. L'architettura della pila è definita da 2 fusti poligonali cavi di altezze 12,70 e 14,22 m. In sommità del fusto è individuabile un pulvino caratterizzato da uno sviluppo verticale di 4,20 m. Il collegamento tra impalcato ed opera di sostegno è affidato integralmente a due appoggi per fusto, collocati con un interasse reciproco di 4,90 m.

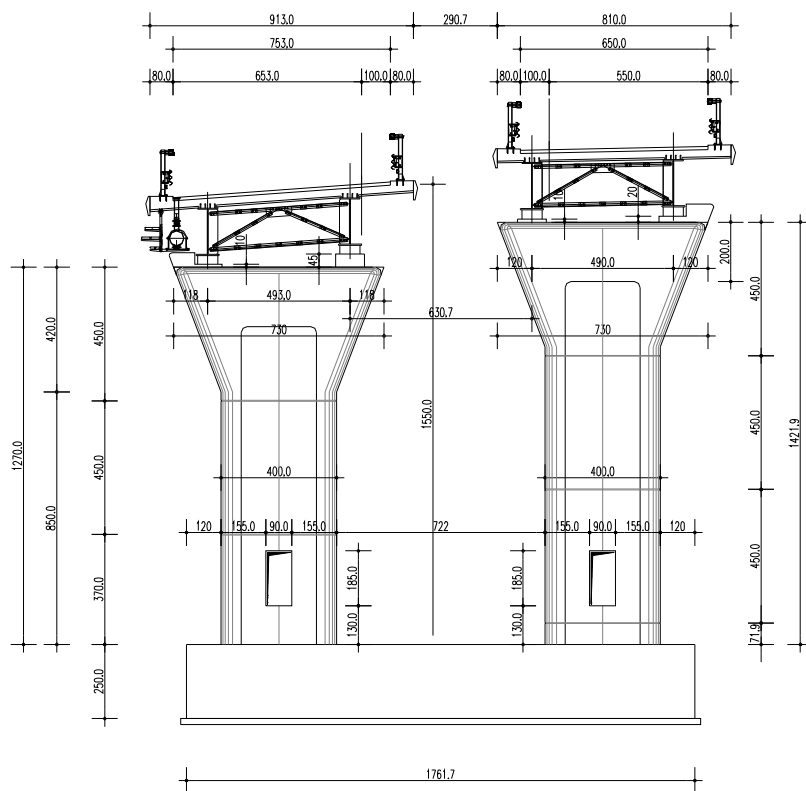




Figura 9.3 – Carpenteria Pila.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0

Si riporta di seguito un tabulato riassuntivo della geometria delle strutture.

FUSTO	Altezza impalcato		1,90	mt	
	Larghezza pavimentato		6,50+7,53	mt	
	Baricentro impalcato		0,00	mt	influsce sul momento trasverse del vento
	Campata		23,50	mt	
	Altezza baggiolo+ appoggio		0,50	mt	
	Peso pulvino		1.470,00	kN	
	Altezza pulvino		4,20	mt	
	Altezza fusto		10,00	mt	
	Altezza fusto +pulgino		14,20	mt	
	Numero fusti		2		
	Interasse fusti		11,12	mt	
	Base / Diametro sezione	D	2,70	mt	diametro fittizio equipeso
	Altezza sezione		-	mt	
Peso fusto +pulgino		5.802,24	kN		
FONDAZIONE	Eccentricità Fusti-Fond-trasversale		0,00	mt	
	Base plinto		7,50	mt	
	Lunghezza plinto		17,62	mt	
	Altezza plinto		2,50	mt	
	Altezza terreno su plinto		0,60	mt	
	Peso Terreno su plinto		1.303,57	kN	
	Peso plinto		8.259,38	kN	
	Totale plinto + Terreno		9.562,95	kN	
	N° pali		8,00		
	Diametro		1,50	mt	
W _{long} palo		18,00	mt	ASSE LONGITUDINALE PALI	
W _{trav} palo		33,17	mt	ASSE TRASVERSALE PALI	
Obliquita fondazione	0 °	0,00	rad		

Modulo elastico cls	360.000 daN/cm ²
Inerzia longitudinale	4,09 m ⁴
Inerzia trasversale	10,51 m ⁴

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

9.7.1 ANALISI DEI CARICHI

La pila è soggetta dalle sollecitazioni derivanti dall'impalcato riportati precedentemente. Di seguito si riassumono i carichi globali gravanti:

AZIONI TRASMESSE DALL'IMPALCATO		N kN	H long kN	H trasv kN	M long kN m	M trasv kN m
	Peso strutturale impalcato	0	0	0	0	0
	Permanenti	0	0	0	0	0
	Ritiro	0	0	0	0	0
	Mezzi schema centrato	0	0	0	0	0
	Mezzi schema eccentrico	0	0	0	0	0
	Folla schema centrato	0	0	0	0	0
	Folla schema eccentrica	0	0	0	0	0
	Frenamento	0	240	0	0	0
	Resistenze passive vincolo	0	180	0	0	0
	Vento: impalcato scarico	0	0	512	0	0
	Vento: impalcato carico	0	0	576	0	0
	Cedimento	0	0	0	0	0
	Azione centrifuga	0	0	240	0	0
	Svio	0	0	200	0	0
Sisma	0	1.160	1.000	0	0	

Pila 1				Pila 2			
N	M trasv	H long	H trasv	N	M trasv	H long	H trasv
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	120	0	0	0	120	0
0	0	90	0	0	0	90	0
0	0	0	256	0	0	0	256
0	0	0	288	0	0	0	288
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	120	0	0	0	120
0	0	0	100	0	0	0	100
0	0	580	500	0	0	580	500

PRINCIPALE	P.p. %G1	Perm. %G2	Attrito		Temperatura		Vento		Accident.		Folla		Frenamento		Ced. - Ritiro		Centrifuga		
			Ψ ₀	%G2	Ψ ₀	%G3	Ψ ₀	%Q	Ψ ₀	%Q	Ψ ₀	%Q	Ψ ₀	%Q	Ψ ₀	%Q	Ψ ₀	%Q	Ψ ₀
AZIONI SLU GEO																			
Vento	1,00	1,30	1,00	1,30	0,60	1,00	1,00	1,30							1,00	1,00			
Gruppo 1 centr.	1,00	1,30	1,00	1,30	0,60	1,00	0,60	1,30	1,00	1,15	0,50	1,15	0,00	1,15	1,00	1,00	0,00	1,15	
Gruppo 1 ecc.	1,00	1,30	1,00	1,30	0,60	1,00	0,60	1,30	1,00	1,15	0,50	1,15	0,00	1,15	1,00	1,00	0,00	1,15	
Gruppo 2a centr.	1,00	1,30	1,00	1,30	0,60	1,00	0,60	1,30	0,75	1,15	0,00	1,15	1,00	1,15	1,00	1,00	0,00	1,15	
Gruppo 2a ecc.	1,00	1,30	1,00	1,30	0,60	1,00	0,60	1,30	0,75	1,15	0,00	1,15	1,00	1,15	1,00	1,00	0,00	1,15	
Gruppo 2b centr.	1,00	1,30	1,00	1,30	0,60	1,00	0,60	1,30	0,75	1,15	0,00	1,15	0,00	1,15	1,00	1,00	0,00	1,15	
Gruppo 2b ecc.	1,00	1,30	1,00	1,30	0,60	1,00	0,60	1,30	0,75	1,15	0,00	1,15	0,00	1,15	1,00	1,00	0,00	1,15	
AZIONI SLU STR																			
Vento	1,35	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	1,00	1,50							1,00	1,20			
Gruppo 1 centr.	1,35	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	0,60	1,50	1,00	1,35	0,50	1,35	0,00	1,35	1,00	1,20	0,00	1,35	
Gruppo 1 ecc.	1,35	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	0,60	1,50	1,00	1,35	0,50	1,35	0,00	1,35	1,00	1,20	0,00	1,35	
Gruppo 2a centr.	1,35	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	0,60	1,50	0,75	1,35	0,00	1,35	1,00	1,35	1,00	1,20	0,00	1,35	
Gruppo 2a ecc.	1,35	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	0,60	1,50	0,75	1,35	0,00	1,35	1,00	1,35	1,00	1,20	0,00	1,35	
Gruppo 2b centr.	1,35	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	0,60	1,50	0,75	1,35	0,00	1,35	0,00	1,35	1,00	1,20	0,00	1,35	
Gruppo 2b ecc.	1,35	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	0,60	1,50	0,75	1,35	0,00	1,35	0,00	1,35	1,00	1,20	0,00	1,35	
AZIONI SLU EQU																			
Vento	1,10	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	1,00	1,50							1,00	1,20			
Gruppo 1 centr.	1,10	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	0,60	1,50	1,00	1,35	0,50	1,35	0,00	1,35	1,00	1,20	0,00	1,35	
Gruppo 1 ecc.	1,10	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	0,60	1,50	1,00	1,35	0,50	1,35	0,00	1,35	1,00	1,20	0,00	1,35	
Gruppo 2a centr.	1,10	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	0,60	1,50	0,75	1,35	0,00	1,35	1,00	1,35	1,00	1,20	0,00	1,35	
Gruppo 2a ecc.	1,10	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	0,60	1,50	0,75	1,35	0,00	1,35	1,00	1,35	1,00	1,20	0,00	1,35	
Gruppo 2b centr.	1,10	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	0,60	1,50	0,75	1,35	0,00	1,35	0,00	1,35	1,00	1,20	0,00	1,35	
Gruppo 2b ecc.	1,10	1,50	1,00	1,50	0,60	1,20	0,60	1,50	0,75	1,35	0,00	1,35	0,00	1,35	1,00	1,20	0,00	1,35	

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

9.7.1.1 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

9.7.2 MODELLO DI CALCOLO

9.7.2.1 Descrizione del modello di calcolo

Alla luce di quanto scaturito da valutazioni preliminari di carattere statico, condotte sulla tipologia strutturale ivi considerata, è stato possibile individuare la modellazione più performante, che meglio simulasse il naturale comportamento in opera delle pile.

Si è quindi scelta una particolare schematizzazione a mensola incastrata alla base, la cui applicabilità è supportata dall’indiscutibile rilevanza che risiede nella valutazione dei momenti sollecitanti alla base del fusto.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

9.7.3 CALCOLO DELLE SOLLECITAZIONI

9.7.3.1 Sollecitazioni sul fusto

AZIONI ALLO SPICCATO DEL FUSTO NORME TECNICHE 2008

	Combinazioni		N kN	Vlong kN	Vtrasv kN	Mlong kN m	Mtrasv kN m
		AZIONI GLOBALI					
AZIONI SLU GEO	15	Comb 1	12.752	180,00	769,60	2.740	13.748
	16	Comb 2	17.596	180,00	511,68	2.840	9.523
	17	Comb 3	14.726	180,00	511,68	2.783	25.694
	18	Comb 4	16.368	456,00	511,68	7.421	9.441
	19	Comb 5	14.176	456,00	511,68	7.364	21.570
	20	Comb 6	16.368	180,00	787,68	2.840	14.299
	21	Comb 7	14.176	180,00	787,68	2.783	26.427

AZIONI SLU STR	22	Comb 8	16.679	243,00	888,00	3.693	15.879
	23	Comb 9	22.370	243,00	590,40	3.828	11.011
	24	Comb 10	19.001	243,00	590,40	3.751	29.995
	25	Comb 11	20.928	567,00	590,40	9.206	10.915
	26	Comb 12	18.356	567,00	590,40	9.129	25.152
	27	Comb 13	20.928	243,00	914,40	3.828	16.617
	28	Comb 14	18.356	243,00	914,40	3.751	30.855

	Combinazioni		N kN	Vlong kN	Vtrasv kN	Mlong kN m	Mtrasv kN m
SISMA	36	SISMA long	15.437	2.670,00	1.842,00	24.420	17.977
	37	SISMA trasv	0	0,00	0,00	0	0

	Combinazioni		N kN	Vlong kN	Vtrasv kN	Mlong kN m	Mtrasv kN m
AZIONI SLE	38	Comb SLE 1	12.121	180,00	592,00	2.733	10.594
	39	Comb SLE 2	16.361	180,00	393,60	2.800	7.377
	40	Comb SLE 3	13.861	180,00	393,60	2.761	21.439
	41	Comb SLE 4	16.160	420,00	131,20	6.784	2.804
	42	Comb SLE 5	13.619	420,00	131,20	6.745	16.866
	43	Comb SLE 6	16.160	180,00	371,20	2.800	7.028
	44	Comb SLE 7	13.619	180,00	371,20	2.761	21.090

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0

9.7.3.2 Sollecitazioni sulle fondazioni

AZIONI ALLA BASE



	Combinazioni	N kN	Vlong kN	Vtrasv kN	Mlong kN m	Mtrasv kN m
AZIONI SLU GEO	Comb 1	22.315	180,00	873,60	3.190	16.670
	Comb 2	27.158	180,00	574,08	3.290	11.402
	Comb 3	24.289	180,00	574,08	3.233	27.573
	Comb 4	25.931	456,00	574,08	8.561	11.319
	Comb 5	23.739	456,00	574,08	8.504	23.448
	Comb 6	25.931	180,00	850,08	3.290	16.867
	Comb 7	23.739	180,00	850,08	3.233	28.995
AZIONI SLU STR	Comb 8	29.589	243,00	1.008,00	4.300	19.251
	Comb 9	35.280	243,00	662,40	4.436	13.178
	Comb 10	31.911	243,00	662,40	4.358	32.162
	Comb 11	33.838	567,00	662,40	10.624	13.082
	Comb 12	31.266	567,00	662,40	10.547	27.319
	Comb 13	33.838	243,00	986,40	4.436	19.594
	Comb 14	31.266	243,00	986,40	4.358	33.832
SISMA	SISMA long	25.631	2.670,00	1.000,00	35.816	288
	SISMA trasv	25.631	1.160,00	1.842,00	19.952	28.181
AZIONI SLE	Comb SLE 1	21.684	180,00	672,00	3.183	12.842
	Comb SLE 2	25.924	180,00	441,60	3.250	8.822
	Comb SLE 3	23.424	180,00	441,60	3.211	22.884
	Comb SLE 4	24.851	420,00	441,60	7.834	8.751
	Comb SLE 5	22.945	420,00	441,60	7.795	19.297
	Comb SLE 6	24.851	180,00	681,60	3.250	13.575
	Comb SLE 7	22.945	180,00	681,60	3.211	22.657

SPOSTAMENTI IN TESTA PILA

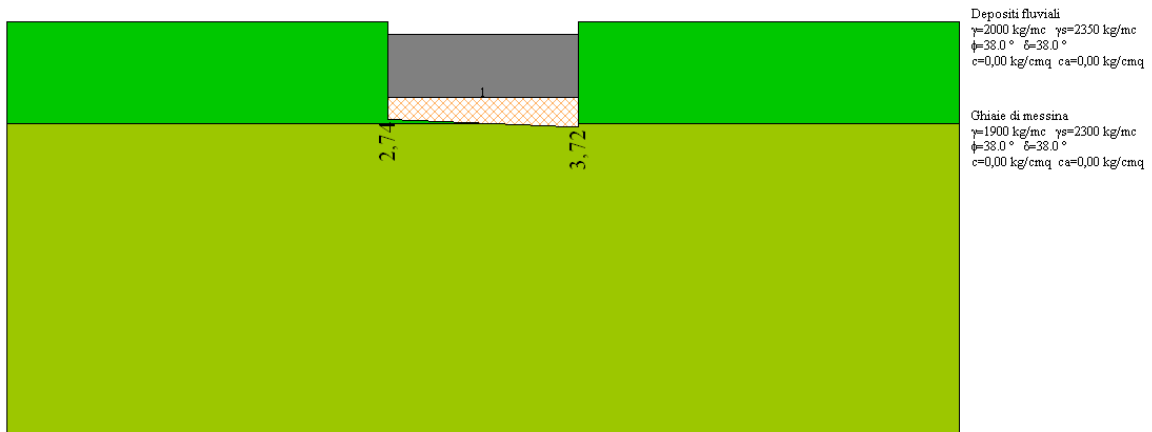
SLE	H (kN)	÷ (mm)
Frenamento	120	0,778
Resistenze passive vincolo	90	0,583

SLU	H (kN)	÷ (mm)
Sisma	580	3,760

Il momento flettente e il taglio sono calcolati rispetto al filo del fusto; si considera la situazione più gravosa corrispondente tra le combinazioni STR alla combinazione 4. Si riporta di seguito la

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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>F0</td> <td>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						

pressione sul terreno lungo l'asse longitudinale della pila:



Le azioni sollecitanti sono calcolate rispetto al filo del fusto:

$$M_{Sd} = \left[(3,40 \cdot 10 - 2,500 \cdot 2,50) \cdot \frac{2,475^2}{2} + (3,72 - 3,40) \cdot 10 \cdot \frac{2,475^2}{3} \right] \cdot 10 = 915 \text{ kNm}$$

$$V_{Sd} = \left[(3,40 \cdot 10 - 2,500 \cdot 2,50) \cdot 2,475 + (3,72 - 3,40) \cdot 10 \cdot \frac{2,475}{2} \right] \cdot 10 = 726 \text{ kN}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

9.7.3.3 Plinto di fondazione

$M_{Sd} = 915 \text{ kNm}$

VERIFICA A FLESSIONE

SEZIONE RETTANGOLARE	base (cm)	100
	altezza (cm)	250
ARMATURA	compressa	$\phi 26/10$
	tesa	$\phi 26/10$
SOLLECITAZIONI	$M_{sd} =$	915 kNm
INDICI DI RESISTENZA	$M_{rd} =$	5.041 kNm
	IR =	5,51

VERIFICA A TAGLIO

$T_{Sd} = 726 \text{ kN}$

RISULTATI VERIFICA A TAGLIO	
Verifica senza armatura trasversale	
Taglio res. ultimo (VRd):	623.807
Indice di resistenza:	1.16
Verifica delle bielle compresse	
Taglio resistente ultimo (VRcd):	7778.137
ctg(Theta):	1.00
Indice di resistenza:	0.09
Verifica con armatura trasversale	
Taglio attribuito all'armatura (VRsd):	726.000
Armatura trasversale per unita' di lunghezza ($A_{sw}, \text{cm}^2/\text{m}$):	8.41
Staffe a 4 braccia:	$\phi 20/100 \text{ cm}$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

9.7.3.4 Verifica fusto Pila

Con riferimento alle sollecitazioni al piede della pila si considerano le combinazioni allo SLU sismiche, considerate le più gravose..

INTESTAZIONE E DATI CARATTERISTICI DEL LAVORO

```

=====
Nome archivio di lavoro      : Sezione1 pile
Intestazione del lavoro     : sismica
Unità misura Forza          : kN
Unità misura Lunghezza     : cm
Tensioni                     : N/mm²
Diametro armature           : mm
Area                         : mm²

```

I vertici in input sono riportati in senso orario per il contorno esterno e antiorario per le cavità.
Il primo vertice è quello più in basso, a sinistra.

Parametri di calcolo
Normativa: NTC-2008
Versione: 14 Gennaio 2008
Rck = 300 fyk = 4580 fykp = 16300

Sollecitazioni agenti
Sforzo normale N = -3532.000
Momento flettente Mz = 1221000.000
Momento flettente My = 1033900.000

Sollecitazioni resistenti di calcolo
Sforzo normale N = -63435.963
Momento flettente Mz = 21925116.949
Momento flettente My = 18566818.363

Indice di resistenza s.l.u.: 0.06

Campo di rottura della sezione: 2

Valore dello sforzo normale di compressione centrata con incremento del 25% del coefficiente di sicurezza parziale relativo al calcestruzzo
N,min = -789735
inferiore ad N resistente = -63436

Asse neutro
z' y' ang
0.00 80.62 166.3

Legame costitutivo 'parabola-rettangolo': -0.0020 / -0.0035
con tensione massima di compressione: -141.09

Deformazioni e tensioni nel calcestruzzo

z'	y'	Def(%)	Tens
39.9	-132.8	0.83	allungamento
39.9	-90.7	0.66	allungamento
130.0	-61.4	0.45	allungamento
130.0	48.6	0.00	allungamento
30.1	81.1	-0.03	-41.69
-30.2	81.1	0.03	allungamento
-130.2	49.2	0.26	allungamento
-130.2	-61.9	0.71	allungamento
-45.1	-89.1	0.74	allungamento
-45.1	-132.6	0.92	allungamento
-166.0	-128.0	1.02	allungamento
-176.4	-125.6	1.02	allungamento
-185.9	-120.8	1.01	allungamento
-194.0	-113.8	0.99	allungamento
-200.2	-105.1	0.96	allungamento
-200.2	92.4	0.15	allungamento
-194.3	100.7	0.11	allungamento
-186.8	107.4	0.08	allungamento
-177.9	112.3	0.05	allungamento
-168.1	115.0	0.03	allungamento

RELAZIONE DI CALCOLO

Codice documento

SS0706_F0.doc

Rev

F0

Data

20/06/2011

-0.2	121.1	-0.17	-136.98
165.6	115.3	-0.31	-141.09
176.0	112.8	-0.31	-141.09
185.5	108.0	-0.30	-141.09
193.6	101.1	-0.28	-141.09
199.8	92.4	-0.25	-141.09
199.8	-105.2	0.56	allungamento
193.3	-114.2	0.61	allungamento
184.8	-121.3	0.64	allungamento
174.7	-126.1	0.67	allungamento
163.8	-128.2	0.69	allungamento

Deformazione massima nel calcestruzzo

z'	y'	Def(%)	Tens
176.0	112.8	-0.31	-141.09

Legame costitutivo dell'acciaio ordinario

Def(),a	Tens,a
0.00	0.00
0.19	3982.60

Deformazioni e Tensioni nell'Acciaio Ordinario

z'	y'	d	Def(%)	Tens
44.9	-127.6	24.0	0.81	3982.60
44.9	-94.3	24.0	0.67	3982.60
135.0	-65.1	24.0	0.46	3982.60
135.0	52.3	24.0	-0.02	-391.76
30.9	86.1	24.0	-0.05	-1121.56
-31.0	86.1	24.0	0.01	173.76
-135.2	52.8	24.0	0.25	3982.60
-135.2	-65.5	24.0	0.73	3982.60
-50.1	-92.8	24.0	0.76	3982.60
-50.1	-127.4	24.0	0.90	3982.60
-165.3	-123.0	24.0	1.00	3982.60
-174.7	-120.8	24.0	1.00	3982.60
-183.1	-116.6	24.0	0.99	3982.60
-190.3	-110.4	24.0	0.97	3982.60
-195.2	-103.5	24.0	0.95	3982.60
-195.2	90.8	24.0	0.15	3214.31
-190.6	97.3	24.0	0.12	2557.84
-183.9	103.3	24.0	0.09	1902.87
-176.0	107.6	24.0	0.07	1367.13
-167.3	110.0	24.0	0.05	978.98
-0.2	116.1	24.0	-0.15	-3052.87
164.9	110.3	24.0	-0.29	-3982.60
174.3	108.1	24.0	-0.29	-3982.60
182.7	103.8	24.0	-0.28	-3982.60
189.9	97.7	24.0	-0.26	-3982.60
194.8	90.8	24.0	-0.24	-3982.60
194.8	-103.6	24.0	0.56	3982.60
189.6	-110.7	24.0	0.59	3982.60
182.0	-117.0	24.0	0.63	3982.60
173.2	-121.3	24.0	0.65	3982.60
163.3	-123.2	24.0	0.67	3982.60
-139.5	111.0	24.0	0.01	307.00
-111.6	112.1	24.0	-0.02	-364.97
-83.8	113.1	24.0	-0.05	-1036.94
-55.9	114.1	24.0	-0.08	-1708.92
-28.1	115.1	24.0	-0.11	-2380.89
27.3	115.2	24.0	-0.17	-3545.91
54.8	114.2	24.0	-0.19	-3982.60
82.4	113.2	24.0	-0.22	-3982.60
109.9	112.2	24.0	-0.24	-3982.60
137.4	111.3	24.0	-0.26	-3982.60
-195.2	-75.8	24.0	0.84	3982.60
-195.2	-48.0	24.0	0.72	3982.60
-195.2	-20.2	24.0	0.61	3982.60
-195.2	7.5	24.0	0.49	3982.60
-195.2	35.3	24.0	0.38	3982.60
-195.2	63.1	24.0	0.27	3982.60
-135.2	-41.9	24.0	0.64	3982.60
-135.2	-18.2	24.0	0.54	3982.60
-135.2	5.5	24.0	0.44	3982.60
-135.2	29.1	24.0	0.35	3982.60
135.0	-41.6	24.0	0.37	3982.60
135.0	-18.1	24.0	0.27	3982.60

RELAZIONE DI CALCOLO

Codice documento
SS0706_F0.doc

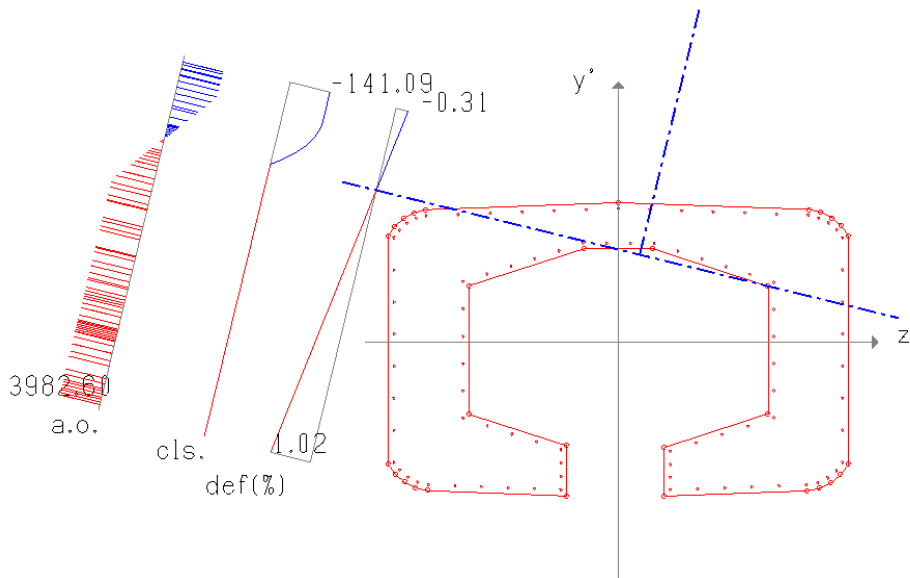
Rev
F0

Data
20/06/2011

135.0	5.3	24.0	0.17	3647.19
135.0	28.8	24.0	0.08	1627.72
-114.4	59.5	24.0	0.20	3982.60
-93.5	66.1	24.0	0.15	3206.73
-72.7	72.8	24.0	0.10	2195.74
-51.8	79.5	24.0	0.06	1184.75
51.7	79.4	24.0	-0.05	-975.60
72.5	72.6	24.0	-0.04	-829.64
93.4	65.8	24.0	-0.03	-683.68
114.2	59.0	24.0	-0.03	-537.72
-10.4	86.1	24.0	-0.01	-258.01
10.3	86.1	24.0	-0.03	-689.79
-50.1	-115.9	24.0	0.86	3982.60
-50.1	-104.3	24.0	0.81	3982.60
44.9	-116.5	24.0	0.76	3982.60
44.9	-105.4	24.0	0.72	3982.60
-71.3	-86.0	24.0	0.75	3982.60
-92.6	-79.2	24.0	0.75	3982.60
-113.9	-72.3	24.0	0.74	3982.60
67.5	-87.0	24.0	0.62	3982.60
90.0	-79.7	24.0	0.57	3982.60
112.5	-72.4	24.0	0.51	3982.60
-73.1	-126.5	24.0	0.92	3982.60
-96.2	-125.7	24.0	0.94	3982.60
-119.2	-124.8	24.0	0.96	3982.60
-142.3	-123.9	24.0	0.98	3982.60
68.6	-126.7	24.0	0.78	3982.60
92.3	-125.8	24.0	0.75	3982.60
115.9	-125.0	24.0	0.73	3982.60
139.6	-124.1	24.0	0.70	3982.60
194.8	-75.8	24.0	0.45	3982.60
194.8	-48.0	24.0	0.33	3982.60
194.8	-20.3	24.0	0.22	3982.60
194.8	7.5	24.0	0.11	2208.87
194.8	35.3	24.0	-0.01	-180.78
194.8	63.0	24.0	-0.12	-2570.43

Barra di acciaio ordinario più tesa

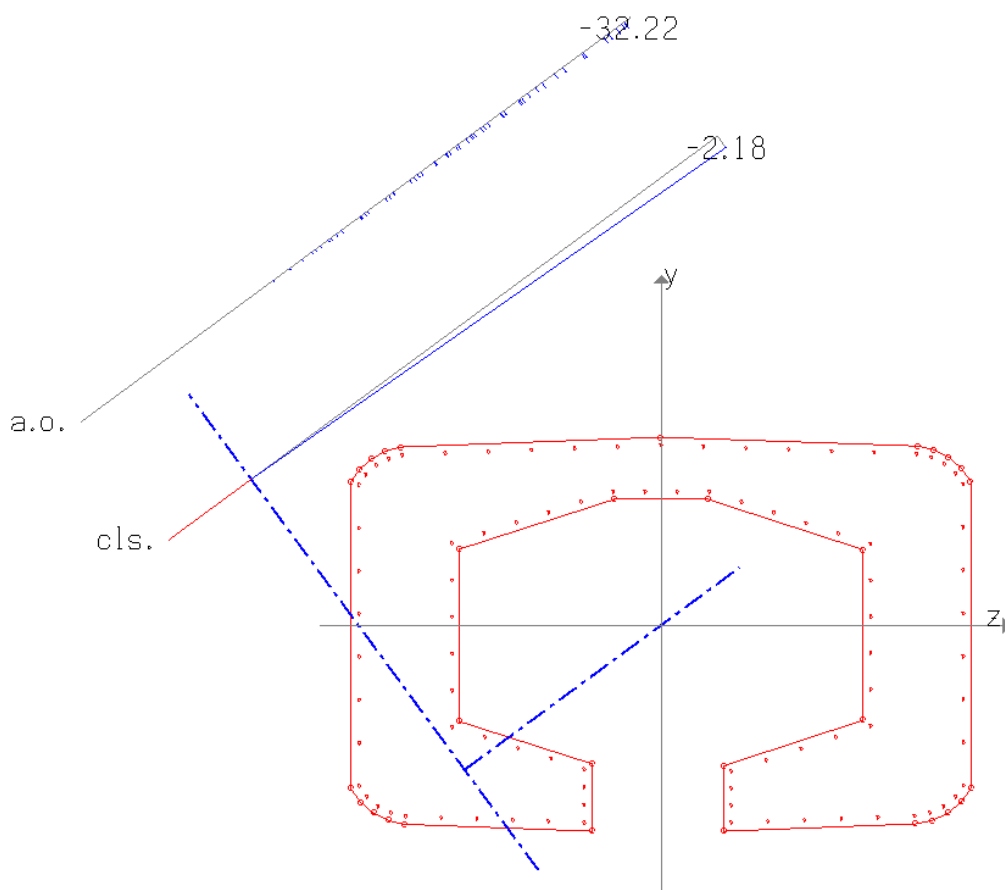
z'	y'	d	Def(%)	Tens
-174.7	-120.8	24.0	1.00	3982.60



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Con riferimento ora alle sollecitazioni al piede della pila si considerano la combinazione allo SLE QUASI PERMANENTE.

ARMATURA	distribuita	φ24/20
SOLLECITAZIONI	Nsd =	5.748 KN
	Msd long =	1.366 kNm
	Msd trasv =	5.405 kNm



TENSIONI	cls	$\sigma_c = (N/mm^2) 2,18 < 0,45 f_{ck} = 0,45 \times 33,20 = 14,94$
	ferro	$\sigma_f = (N/mm^2) 32,22 < 0,80 f_{yk} = 0,80 \times 450 = 360$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

10 ANALISI DELLE FONDAZIONI

10.1 ANALISI DEL SISTEMA FONDAZIONALE DELLA SPALLA A.

10.1.1 ANALISI DEI CARICHI

VERIFICHE DI STABILITA'

	<i>N</i> (kN)	<i>M_{rib}</i> (kNm)	<i>M_{stab}</i> (kNm)	\square	<i>u</i> (m)	<i>e</i> (m)	SL
Combinazione 1	118.442	-126.016	1.355.123	10,75	10,38	0,12	SLU GEO
Combinazione 2	120.687	-134.799	1.363.541	10,12	10,18	0,32	
Combinazione 3	120.164	-134.799	1.361.579	10,10	10,21	0,29	
Combinazione 4	120.126	-134.673	1.361.436	10,11	10,21	0,29	
Combinazione 5	119.734	-134.673	1.359.965	10,10	10,23	0,27	
Combinazione 6	120.126	-129.566	1.366.544	10,55	10,30	0,20	
Combinazione 7	119.734	-129.566	1.365.072	10,54	10,32	0,18	
Combinazione 8	120.126	-132.603	1.361.436	10,27	10,23	0,27	
Combinazione 9	119.734	-132.603	1.359.965	10,26	10,25	0,25	
Combinazione 10	120.794	-166.288	1.357.339	8,16	9,86	0,64	
Combinazione 11	149.094	-145.999	1.686.496	11,55	10,33	0,17	SLU STR
Combinazione 12	151.729	-156.310	1.696.378	10,85	10,15	0,35	
Combinazione 13	151.115	-156.310	1.694.074	10,84	10,18	0,32	
Combinazione 14	151.070	-156.162	1.693.907	10,85	10,18	0,32	
Combinazione 15	150.610	-156.162	1.692.180	10,84	10,20	0,30	
Combinazione 16	151.070	-149.631	1.700.438	11,36	10,27	0,23	
Combinazione 17	150.610	-149.631	1.698.710	11,35	10,29	0,21	
Combinazione 18	151.070	-153.732	1.693.907	11,02	10,20	0,30	
Combinazione 19	150.610	-153.732	1.692.180	11,01	10,21	0,29	
Combinazione 20	151.851	-193.274	1.689.098	8,74	9,85	0,65	
Comb SLE 1	105.733	-97.636	1.186.982	12,16	10,30	0,20	SLE
Comb SLE 2	107.685	-105.274	1.194.302	11,34	10,11	0,39	
Comb SLE 3	107.230	-105.274	1.192.596	11,33	10,14	0,36	
Comb SLE 4	107.197	-105.165	1.192.472	11,34	10,14	0,36	
Comb SLE 5	106.855	-105.165	1.191.192	11,33	10,16	0,34	
Comb SLE 6	107.197	-100.327	1.197.309	11,93	10,23	0,27	
Comb SLE 7	106.855	-100.327	1.196.030	11,92	10,25	0,25	
Comb SLE 8	107.197	-103.365	1.192.472	11,54	10,16	0,34	
Comb SLE 9	106.855	-103.365	1.191.192	11,52	10,18	0,32	
Comb SLE 10	107.764	-132.655	1.188.909	8,96	9,80	0,70	
perm + sisma X + 0,30 sisma (Y+Z) schema 1	113.680	-519.592	1.192.832	2,30	5,92	4,58	SLV
perm + sisma X + 0,30 sisma (Y+Z) schema 2	113.498	-519.592	1.192.150	2,29	5,93	4,57	

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		Codice documento SS0706_F0.doc	Rev F0	Data 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	118.442	14.538	3.731	21.165	191	SLU GEO
Combinazione 2	120.687	38.475	5.469	22.163	129	
Combinazione 3	120.164	34.943	6.783	22.163	129	
Combinazione 4	120.126	34.560	4.748	22.051	129	
Combinazione 5	119.734	31.912	5.734	22.051	129	
Combinazione 6	120.126	24.345	5.734	21.370	129	
Combinazione 7	119.734	21.697	5.734	21.370	129	
Combinazione 8	120.126	32.490	5.631	21.913	185	
Combinazione 9	119.734	29.842	6.617	21.913	185	
Combinazione 10	120.794	77.282	2.587	25.741	129	
Combinazione 11	149.094	24.988	4.305	24.461	221	SLU STR
Combinazione 12	151.729	53.087	6.368	25.632	149	
Combinazione 13	151.115	48.941	7.911	25.632	149	
Combinazione 14	151.070	48.493	5.522	25.501	149	
Combinazione 15	150.610	45.383	6.679	25.501	149	
Combinazione 16	151.070	35.431	6.679	24.631	149	
Combinazione 17	150.610	32.322	6.679	24.631	149	
Combinazione 18	151.070	46.063	6.559	25.339	214	
Combinazione 19	150.610	42.953	7.716	25.339	214	
Combinazione 20	151.851	98.616	2.985	27.062	149	
Comb SLE 1	105.733	20.846	2.870	16.327	147	SLE
Comb SLE 2	107.685	41.660	4.496	17.195	100	
Comb SLE 3	107.230	38.589	5.639	17.195	100	
Comb SLE 4	107.197	38.257	3.869	17.098	100	
Comb SLE 5	106.855	35.953	4.727	17.098	100	
Comb SLE 6	107.197	28.582	4.727	16.453	100	
Comb SLE 7	106.855	26.278	4.727	16.453	100	
Comb SLE 8	107.197	36.457	4.637	16.978	148	
Comb SLE 9	106.855	34.153	5.495	16.978	148	
Comb SLE 10	107.764	75.264	1.990	18.254	100	
perm + sisma X + 0,30 sisma (Y+Z) schema 1	113.680	369.586	104.090	57.382	13.824	SLV
perm + sisma X + 0,30 sisma (Y+Z) schema 2	113.498	368.971	104.318	57.382	13.824	

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

10.1.2 MODELLO DI CALCOLO

Progetto: Viadotto rampe 3 e 4 – 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

- 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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 η_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

$$q_u = c N_c s_c d_c i_c g_c b_c + q N_q s_q d_q i_q g_q b_q + 0.5 B' \gamma N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma$$

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_γ , sono i fattori di profondità; s_c, s_q, s_γ , sono i fattori di forma; i_c, i_q, i_γ , sono i fattori di inclinazione del carico; b_c, b_q, b_γ , sono i fattori di inclinazione del piano di posa; g_c, g_q, g_γ , sono i fattori che tengono conto del fatto che la fondazione poggia su un terreno in pendenza.



I fattori N_c, N_q, N_γ sono espressi come:

$$N_q = e^{\pi \text{tg} \phi} K_p$$

$$N_c = (N_q - 1) \text{ctg} \phi$$

$$N_\gamma = 2.0(N_q - 1) \text{tg} \phi$$

Vediamo ora come si esprimono i vari fattori che compaiono nella espressione del carico ultimo.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

Fattori di forma

$$\text{per } \phi=0 \quad s_c = 1 + 0.2 \frac{B'}{L'}$$

$$\text{per } \phi>0 \quad s_c = 1 + 0.2 \frac{B' (1+\sin \phi)}{L' (1-\sin \phi)}$$

$$s_q = 1 + 0.1 \frac{B' (1+\sin \phi)}{L' (1-\sin \phi)}$$

$$s_\gamma = 1 + 0.1 \frac{B' (1+\sin \phi)}{L' (1-\sin \phi)}$$

Fattori di profondità



Si definisce il parametro k come

$$k = \frac{D}{B'} \quad \text{se} \quad \frac{D}{B'} \leq 1$$

$$k = \arctg \frac{D}{B'} \quad \text{se} \quad \frac{D}{B'} > 1$$

vari coefficienti si esprimono come

$$\text{per } \phi=0 \quad d_c = 1 + 0.4k$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

$$\text{per } \phi > 0 \quad d_c = d_q - \frac{1 - d_q}{N_c \operatorname{tg} \phi}$$

$$d_q = 1 + 2 \operatorname{tg} \phi (1 - \sin \phi)^2 k$$

$$\gamma = 1$$

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 $A_f = B' \times L'$ (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 η l'angolo di inclinazione della fondazione espresso in gradi ($\eta=0$ per fondazione orizzontale).

I fattori di inclinazione del carico si esprimono come:

$$\text{per } \phi = 0 \quad i_c = 1 - \frac{m H}{A_f c_a N_c}$$

$$\text{per } \phi > 0 \quad i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$$

$$i_q = \left(1 - \frac{H}{V + A_f c_a \operatorname{ctg} \phi} \right)^m$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

$$\text{per } \eta = 0 \quad i_y = \left(1 - \frac{H}{V + A_f c_a \operatorname{ctg} \phi}\right)^{m+1}$$

$$\text{dove} \quad m = \frac{2 + B' / L'}{1 + B' / L'}$$

Fattori di inclinazione del piano di posa della fondazione

$$\text{per } \phi=0 \quad b_c = 1 - \frac{2 \eta}{\pi + 2}$$

$$\text{per } \phi>0 \quad b_c = b_q - \frac{1 - b_q}{N_c \operatorname{tg} \phi}$$

$$b_q = (1 - \eta \operatorname{tg} \phi)^2$$



$$b_\gamma = b_q$$

Fattori di inclinazione del terreno

Indicando con β la pendenza del pendio i fattori g si ottengono dalle espressioni seguenti:

$$\text{per } \phi=0 \quad g_c = \frac{1 - 2\beta}{\pi + 2}$$

$$\text{per } \phi>0 \quad g_c = g_q - \frac{1 - g_q}{N_c \operatorname{tg} \phi}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$$g_q = g_\gamma = (1 - \operatorname{tg}\beta)^2$$

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 η_s

Eseguendo il calcolo mediante gli Eurocodici si può impostare $\eta_s \geq 1.0$

$$\frac{F_r}{F_s} \geq \eta_s$$

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 δ_f l'angolo d'attrito terreno-fondazione, con c_a l'adesione terreno-fondazione e con B_f la larghezza della fondazione reagente, la forza resistente può esprimersi come

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

$$F_r = N \operatorname{tg} \delta_f + c_a B_r$$

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 50 per cento.

Per quanto riguarda l'angolo d'attrito terra-fondazione, δ_f , diversi autori suggeriscono di assumere un valore di δ_f pari all'angolo d'attrito del terreno di fondazione.

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 . 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 indotte 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Descrizione Destruzione 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]

α Inclinazione del piano di posa espressa in [°]

ω Inclinazione del piano campagna espressa in [°]

Descrizione	Forma	X	Y	B	L	D	α	ω
Fondazione	(R)	10,50	10,50	21,00	21,00	3,00	0,00	0,00

Descrizione terreni e falda

Caratteristiche fisico-meccaniche

Simbologia adottata

Descrizione Descrizione terreno

γ Peso di volume del terreno espresso in [daN/mc]

γ_{sat} Peso di volume saturo del terreno espresso in [daN/mc]

ϕ Angolo di attrito interno del terreno espresso in gradi

δ Angolo di attrito palo-terreno espresso in gradi

c Coesione del terreno espressa in [daN/cm²]

ca Adesione del terreno espressa in [daN/cm²]

Descrizione	γ	γ_{sat}	ϕ	δ	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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

Descr Descrizione terreno

E Modulo di Young espresso in [daN/cm²]

Descr	E
Depositi fluviali	250,00
Ghiaie di messina	400,00

Descrizione stratigrafia

Simbologia adottata

n° 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]

N	Z1	Z2	Z3	Terreno
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

γ_{Gsfav} Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni permanenti

γ_{Gfav} Coefficiente parziale favorevole sulle azioni permanenti

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- γ_{Qsfav} Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni variabili
 γ_{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
 γ_{cu} Coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata
 γ_{qu} Coefficiente parziale di riduzione del carico ultimo
 γ_{γ} 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	γ_{Gfav}	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,30	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1,50	1,30

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	γ_{cu}		1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}		1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	γ_{γ}		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	γ_{Gfav}	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,00	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1,00	1,00

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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
Coazione efficace	$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	γ_{γ}	1,00	1,00

Coefficienti parziali γ_R per le verifiche geotecniche.

		<i>R1</i>	<i>R2</i>	<i>R3</i>
Capacità portante	γ_r	1,00	1,80	2,30
Scorrimento	γ_r	1,00	1,10	1,10

Coeff. di combinazione $\Psi_0 = 0,70$ $\Psi_1 = 0,50$ $\Psi_2 = 0,20$

Per le verifiche geotecniche specifiche si rimanda all'elaborato CG0700PRBDSSCC5VIR0000001B-01 "Relazione Geotecnica".

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0

10.2 ANALISI DEL SISTEMA FONDAZIONALE DELLA SPALLA B-3.

10.2.1 ANALISI DEI CARICHI

VERIFICHE DI STABILITA'

	<i>N</i> (kN)	<i>M_{rib}</i> (kNm)	<i>M_{stab}</i> (kNm)	\square	<i>u</i> (m)	<i>e</i> (m)	SL
Combinazione 1	31.767	-37.929	220.442	5,81	5,75	0,25	SLU GEO
Combinazione 2	33.303	-41.440	226.204	5,46	5,55	0,45	
Combinazione 3	33.299	-41.440	226.187	5,46	5,55	0,45	
Combinazione 4	32.919	-42.039	224.764	5,35	5,55	0,45	
Combinazione 5	32.916	-42.039	224.751	5,35	5,55	0,45	
Combinazione 6	32.919	-39.495	227.307	5,76	5,71	0,29	
Combinazione 7	32.916	-39.495	227.294	5,76	5,71	0,29	
Combinazione 8	32.919	-40.562	224.764	5,54	5,60	0,40	
Combinazione 9	32.916	-40.562	224.751	5,54	5,60	0,40	
Combinazione 10	33.336	-58.830	221.881	3,77	4,89	1,11	
Combinazione 11	40.586	-43.974	277.945	6,32	5,76	0,24	SLU STR
Combinazione 12	42.390	-48.095	284.708	5,92	5,58	0,42	
Combinazione 13	42.384	-48.095	284.688	5,92	5,58	0,42	
Combinazione 14	41.939	-48.798	283.018	5,80	5,58	0,42	
Combinazione 15	41.935	-48.798	283.002	5,80	5,58	0,42	
Combinazione 16	41.939	-45.624	286.192	6,27	5,74	0,26	
Combinazione 17	41.935	-45.624	286.177	6,27	5,74	0,26	
Combinazione 18	41.939	-47.065	283.018	6,01	5,63	0,37	
Combinazione 19	41.935	-47.065	283.002	6,01	5,63	0,37	
Combinazione 20	42.425	-68.510	279.634	4,08	4,98	1,02	
Comb SLE 1	29.062	-29.423	197.322	6,71	5,78	0,22	SLE
Comb SLE 2	30.398	-32.475	202.332	6,23	5,59	0,41	
Comb SLE 3	30.394	-32.475	202.317	6,23	5,59	0,41	
Comb SLE 4	30.064	-32.996	201.080	6,09	5,59	0,41	
Comb SLE 5	30.061	-32.996	201.068	6,09	5,59	0,41	
Comb SLE 6	30.064	-30.645	203.431	6,64	5,75	0,25	
Comb SLE 7	30.061	-30.645	203.420	6,64	5,75	0,25	
Comb SLE 8	30.064	-31.712	201.080	6,34	5,63	0,37	
Comb SLE 9	30.061	-31.712	201.068	6,34	5,63	0,37	
Comb SLE 10	30.413	-47.597	198.573	4,17	4,96	1,04	
perm + sisma X + 0,30 sisma (Y+Z) schema 1	31.540	-111.198	200.293	1,80	2,82	3,18	SLV
perm + sisma X + 0,30 sisma (Y+Z) schema 2	31.538	-111.198	200.287	1,80	2,82	3,18	

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0

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	31.767	8.087	3.605	8.477	185	SLU GEO
Combinazione 2	33.303	15.055	4.471	9.009	125	
Combinazione 3	33.299	15.044	4.335	9.009	125	
Combinazione 4	32.919	14.789	4.041	9.014	125	
Combinazione 5	32.916	14.782	3.940	9.014	125	
Combinazione 6	32.919	9.702	3.940	8.539	125	
Combinazione 7	32.916	9.694	3.940	8.539	125	
Combinazione 8	32.919	13.313	7.271	8.876	401	
Combinazione 9	32.916	13.305	7.169	8.876	401	
Combinazione 10	33.336	36.963	2.752	11.644	125	
Combinazione 11	40.586	9.546	4.259	9.801	213	SLU STR
Combinazione 12	42.390	17.725	5.293	10.426	144	
Combinazione 13	42.384	17.713	5.134	10.426	144	
Combinazione 14	41.939	17.414	4.789	10.432	144	
Combinazione 15	41.935	17.405	4.669	10.432	144	
Combinazione 16	41.939	11.065	4.669	9.838	144	
Combinazione 17	41.935	11.056	4.669	9.838	144	
Combinazione 18	41.939	15.680	8.580	10.270	468	
Combinazione 19	41.935	15.671	8.460	10.270	468	
Combinazione 20	42.425	43.428	3.275	11.490	144	
Comb SLE 1	29.062	6.473	2.890	6.544	142	SLE
Comb SLE 2	30.398	12.532	3.729	7.007	96	
Comb SLE 3	30.394	12.523	3.611	7.007	96	
Comb SLE 4	30.064	12.301	3.356	7.011	96	
Comb SLE 5	30.061	12.294	3.267	7.011	96	
Comb SLE 6	30.064	7.599	3.267	6.572	96	
Comb SLE 7	30.061	7.592	3.267	6.572	96	
Comb SLE 8	30.064	11.017	6.164	6.891	336	
Comb SLE 9	30.061	11.010	6.075	6.891	336	
Comb SLE 10	30.413	31.504	2.234	7.795	96	
perm + sisma X + 0,30 sisma (Y+Z) schema 1	31.540	76.104	22.378	16.880	3.756	SLV
perm + sisma X + 0,30 sisma (Y+Z) schema 2	31.538	76.102	21.625	16.880	3.756	

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

10.2.2 MODELLO DI CALCOLO

Per il calcolo della capacità portante delle fondazioni profonde si utilizza il software di calcolo Aztec CARL 10.0 versione 10.05.b – carico limite e cedimenti.

10.2.2.1 DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO

Progetto: Viadotto Rampe 3 e 4 – spalla SpB-3

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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 η_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

$$q_u = c N_c s_c d_c i_c g_c b_c + q N_q s_q d_q i_q g_q b_q + 0.5 B' \gamma N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma$$

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_γ , sono i fattori di profondità; s_c, s_q, s_γ , sono i fattori di forma; i_c, i_q, i_γ , sono i fattori di inclinazione del carico; b_c, b_q, b_γ , sono i fattori di inclinazione del piano di posa; g_c, g_q, g_γ , sono i fattori che tengono conto del fatto che la fondazione poggia su un terreno in pendenza.

I fattori N_c, N_q, N_γ sono espressi come:

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} K_p$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

$$N_{\gamma} = 2.0(N_q - 1)tg\phi$$

Vediamo ora come si esprimono i vari fattori che compaiono nella espressione del carico ultimo.

Fattori di forma

$$\text{per } \phi=0 \quad s_c = 1 + 0.2 \frac{B'}{L'}$$

$$\text{per } \phi>0 \quad s_c = 1 + 0.2 \frac{B' (1+\text{sen } \phi)}{L' (1+\text{sen } \phi)}$$



$$s_q = 1 + 0.1 \frac{B' (1+\text{sen } \phi)}{L' (1+\text{sen } \phi)}$$

$$s_{\gamma} = 1 + 0.1 \frac{B' (1+\text{sen } \phi)}{L' (1+\text{sen } \phi)}$$

Fattori di profondità

Si definisce il parametro k come

$$k = \frac{D}{B'} \quad \text{se} \quad \frac{D}{B'} \leq 1$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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

$$\text{per } \phi=0 \quad d_c = 1 + 0.4k$$

$$\text{per } \phi>0 \quad d_c = d_q - \frac{1 - d_q}{N_c \operatorname{tg} \phi}$$

$$d_q = 1 + 2 \operatorname{tg} \phi (1 - \sin \phi)^2 k$$

$$\gamma = 1$$



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 $A_f = B' \times L'$ (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 η l'angolo di inclinazione della fondazione espresso in gradi ($\eta=0$ per fondazione orizzontale).

I fattori di inclinazione del carico si esprimono come:

$$\text{per } \phi = 0 \quad i_c = 1 - \frac{m H}{A_f c_a N_c}$$

$$\text{per } \phi > 0 \quad i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

$$i_q = \left(1 - \frac{H}{V + A_f c_a \operatorname{ctg} \phi}\right)^m$$

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 β la pendenza del pendio i fattori g si ottengono dalle espressioni seguenti:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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 η_s .

Eseguendo il calcolo mediante gli Eurocodici si può impostare $\eta_s \geq 1.0$

$$\frac{F_r}{F_s} \geq \eta_s$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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 δ_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 50 per cento.

Per quanto riguarda l'angolo d'attrito terra-fondazione, δ_f , diversi autori suggeriscono di assumere un valore di δ_f pari all'angolo d'attrito del terreno di fondazione.

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 . 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 indotte sul piano di posa della fondazione. Si divide l'area di carico in un elevato numero di areole rettangolari

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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]

α Inclinazione del piano di posa espressa in [°]

ω Inclinazione del piano campagna espressa in [°]

Descrizione	Forma	X	Y	B	L	D	α	ω
Fondazione	(R)	8,25	8,25	16,50	16,50	3,00	0,00	0,00

Descrizione terreni e falda

Caratteristiche fisico-meccaniche

Simbologia adottata

Descrizione Descrizione terreno

γ Peso di volume del terreno espresso in [daN/mc]

γ_{sat} Peso di volume saturo del terreno espresso in [daN/mc]

ϕ Angolo di attrito interno del terreno espresso in gradi

δ Angolo di attrito palo-terreno espresso in gradi

c Coesione del terreno espressa in [daN/cm²]

ca Adesione del terreno espressa in [daN/cm²]

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Descrizione	γ	γ_{sat}	ϕ	δ	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/cm²]

Descr	E
Depositi fluviali	250,00
Ghiaie di messina	400,00

Descrizione stratigrafia

Simbologia adottata

n° 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]

N	Z1	Z2	Z3	Terreno
1	-3,0	-3,0	-3,0	Depositi fluviali
2	-30,0	-30,0	-30,0	Ghiaie di messina

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Normativa

N.T.C. 2008

Calcolo secondo: Approccio 1

Simbologia adottata

γ_{Gsfav}	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni permanenti
γ_{Gfav}	Coefficiente parziale favorevole sulle azioni permanenti
γ_{Qsfav}	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni variabili
γ_{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
γ_{cu}	Coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata
γ_{qu}	Coefficiente parziale di riduzione del carico ultimo
γ_{γ}	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	γ_{Gfav}	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,30	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1,50	1,30

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	γ_{cu}	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	γ_{γ}	1,00	1,00

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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	γ_{Gfav}	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,00	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{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
Coazione efficace	$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	γ_{γ}	1,00	1,00

Coefficienti parziali γ_R per le verifiche geotecniche.

		<i>R1</i>	<i>R2</i>	<i>R3</i>
Capacità portante	γ_r	1,00	1,80	2,30
Scorrimento	γ_r	1,00	1,10	1,10

Coeff. di combinazione $\Psi_0 = 0,70$ $\Psi_1 = 0,50$ $\Psi_2 = 0,20$

Per le verifiche geotecniche specifiche si rimanda all'elaborato CG0700PRBDSSCC5VIR0000001B-01 "Relazione Geotecnica".

		<p align="center">Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO</p>		
<p align="center">RELAZIONE DI CALCOLO</p>		<p><i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc</p>	<p><i>Rev</i> F0</p>	<p><i>Data</i> 20/06/2011</p>

10.3 ANALISI DEL SISTEMA FONDAZIONALE DELLA SPALLA B-4.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE DI CALCOLO	<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0

10.3.1 ANALISI DEI CARICHI

VERIFICHE DI STABILITA'

	<i>N</i> (kN)	<i>M_{rib}</i> (kNm)	<i>M_{stab}</i> (kNm)	\square	<i>u</i> (m)	<i>e</i> (m)	SL
Combinazione 1	60.661	-85.885	557.105	6,49	7,77	0,48	SLU GEO
Combinazione 2	62.197	-91.741	562.867	6,14	7,57	0,68	
Combinazione 3	62.193	-91.741	562.849	6,14	7,57	0,68	
Combinazione 4	61.813	-92.416	561.426	6,08	7,59	0,66	
Combinazione 5	61.810	-92.416	561.413	6,07	7,59	0,66	
Combinazione 6	61.813	-88.707	565.135	6,37	7,71	0,54	
Combinazione 7	61.810	-88.707	565.122	6,37	7,71	0,54	
Combinazione 8	61.813	-90.277	561.426	6,22	7,62	0,63	
Combinazione 9	61.810	-90.277	561.413	6,22	7,62	0,63	
Combinazione 10	62.396	-119.299	558.710	4,68	7,04	1,21	
Combinazione 11	77.551	-99.406	705.039	7,09	7,81	0,44	SLU STR
Combinazione 12	79.355	-106.280	711.802	6,70	7,63	0,62	
Combinazione 13	79.350	-106.280	711.782	6,70	7,63	0,62	
Combinazione 14	78.904	-107.073	710.112	6,63	7,64	0,61	
Combinazione 15	78.900	-107.073	710.096	6,63	7,64	0,61	
Combinazione 16	78.904	-102.443	714.741	6,98	7,76	0,49	
Combinazione 17	78.900	-102.443	714.726	6,98	7,76	0,49	
Combinazione 18	78.904	-104.562	710.112	6,79	7,67	0,58	
Combinazione 19	78.900	-104.562	710.096	6,79	7,67	0,58	
Combinazione 20	79.585	-138.631	706.922	5,10	7,14	1,11	
Comb SLE 1	55.554	-66.427	501.749	7,55	7,84	0,41	SLE
Comb SLE 2	56.890	-71.520	506.759	7,09	7,65	0,60	
Comb SLE 3	56.886	-71.520	506.744	7,09	7,65	0,60	
Comb SLE 4	56.556	-72.107	505.506	7,01	7,66	0,59	
Comb SLE 5	56.553	-72.107	505.495	7,01	7,66	0,59	
Comb SLE 6	56.556	-68.677	508.935	7,41	7,78	0,47	
Comb SLE 7	56.553	-68.677	508.924	7,41	7,78	0,47	
Comb SLE 8	56.556	-70.247	505.506	7,20	7,70	0,55	
Comb SLE 9	56.553	-70.247	505.495	7,20	7,70	0,55	
Comb SLE 10	57.049	-95.483	503.144	5,27	7,15	1,10	
perm + sisma X + 0,30 sisma (Y+Z) schema 1	59.769	-275.278	505.081	1,83	3,84	4,41	SLV
perm + sisma X + 0,30 sisma (Y+Z) schema 2	59.768	-275.278	505.075	1,83	3,84	4,41	

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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	60.661	29.233	4.491	14.076	185	SLU GEO
Combinazione 2	62.197	42.003	5.070	14.723	125	
Combinazione 3	62.193	41.982	4.934	14.723	125	
Combinazione 4	61.813	40.949	4.640	14.699	125	
Combinazione 5	61.810	40.934	4.539	14.699	125	
Combinazione 6	61.813	33.533	4.539	14.221	125	
Combinazione 7	61.810	33.517	4.539	14.221	125	
Combinazione 8	61.813	38.810	9.194	14.561	401	
Combinazione 9	61.810	38.795	9.093	14.561	401	
Combinazione 10	62.396	75.353	3.351	17.768	125	
Combinazione 11	77.551	34.166	5.282	16.262	213	SLU STR
Combinazione 12	79.355	49.156	5.985	17.021	144	
Combinazione 13	79.350	49.132	5.825	17.021	144	
Combinazione 14	78.904	47.920	5.480	16.993	144	
Combinazione 15	78.900	47.901	5.360	16.993	144	
Combinazione 16	78.904	38.660	5.360	16.396	144	
Combinazione 17	78.900	38.642	5.360	16.396	144	
Combinazione 18	78.904	45.409	10.826	16.831	468	
Combinazione 19	78.900	45.390	10.706	16.831	468	
Combinazione 20	79.585	88.285	3.966	18.145	144	
Comb SLE 1	55.554	22.999	3.572	10.851	142	SLE
Comb SLE 2	56.890	34.103	4.190	11.414	96	
Comb SLE 3	56.886	34.085	4.072	11.414	96	
Comb SLE 4	56.556	33.187	3.816	11.393	96	
Comb SLE 5	56.553	33.174	3.728	11.393	96	
Comb SLE 6	56.556	26.328	3.728	10.951	96	
Comb SLE 7	56.553	26.315	3.728	10.951	96	
Comb SLE 8	56.556	31.327	7.776	11.273	336	
Comb SLE 9	56.553	31.314	7.688	11.273	336	
Comb SLE 10	57.049	62.996	2.695	12.246	96	
perm + sisma X + 0,30 sisma (Y+Z) schema 1	59.769	200.379	54.705	31.791	7.219	SLV
perm + sisma X + 0,30 sisma (Y+Z) schema 2	59.768	200.376	53.953	31.791	7.219	

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

10.3.2 MODELLO DI CALCOLO

Per il calcolo della capacità portante delle fondazioni profonde si utilizza il software di calcolo Aztec CARL 10.0 versione 10.05.b – carico limite e cedimenti.

10.3.2.1 DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO

Progetto: Viadotto Rampe 3 e 4 – spalla SpB-4

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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 η_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

$$q_u = c N_c s_c d_c i_c g_c b_c + q N_q s_q d_q i_q g_q b_q + 0.5 B' \gamma N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma$$

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_γ , sono i fattori di profondità; s_c, s_q, s_γ , sono i fattori di forma; i_c, i_q, i_γ , sono i fattori di inclinazione del carico; b_c, b_q, b_γ , sono i fattori di inclinazione del piano di posa; g_c, g_q, g_γ , sono i fattori che tengono conto del fatto che la fondazione poggia su un terreno in pendenza.

I fattori N_c, N_q, N_γ sono espressi come:

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} K_p$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

$$N_{\gamma} = 2.0(N_q - 1) \operatorname{tg} \phi$$

Vediamo ora come si esprimono i vari fattori che compaiono nella espressione del carico ultimo.

Fattori di forma

$$\text{per } \phi=0 \quad s_c = 1 + 0.2 \frac{B'}{L'}$$

$$\text{per } \phi>0 \quad s_c = 1 + 0.2 \frac{B' (1 + \operatorname{sen} \phi)}{L' (1 - \operatorname{sen} \phi)}$$



$$s_q = 1 + 0.1 \frac{B' (1 + \operatorname{sen} \phi)}{L' (1 - \operatorname{sen} \phi)}$$

$$s_{\gamma} = 1 + 0.1 \frac{B' (1 + \operatorname{sen} \phi)}{L' (1 - \operatorname{sen} \phi)}$$

Fattori di profondità

Si definisce il parametro k come

$$k = \frac{D}{B'} \quad \text{se} \quad \frac{D}{B'} \leq 1$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

$$k = \arctg \frac{D}{B'} \quad \text{se} \quad \frac{D}{B'} > 1$$

vari coefficienti si esprimono come

per $\phi=0$ $d_c = 1 + 0.4k$

$$\text{per } \phi > 0 \quad d_c = d_q - \frac{1 - d_q}{N_c \operatorname{tg} \phi}$$

$$d_q = 1 + 2 \operatorname{tg} \phi (1 - \sin \phi)^2 k$$

$$\gamma = 1$$

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 $A_f = B' \times L'$ (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 η l'angolo di inclinazione della fondazione espresso in gradi ($\eta=0$ per fondazione orizzontale).

I fattori di inclinazione del carico si esprimono come:

$$\text{per } \phi = 0 \quad i_c = 1 - \frac{m H}{A_f c_a N_c}$$

$$\text{per } \phi > 0 \quad i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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 β la pendenza del pendio i fattori g si ottengono dalle espressioni seguenti:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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 η_s .

Eseguendo il calcolo mediante gli Eurocodici si può impostare $\eta_s \geq 1.0$

$$\frac{F_r}{F_s} \geq \eta_s$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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 δ_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 50 per cento.

Per quanto riguarda l'angolo d'attrito terra-fondazione, δ_f , diversi autori suggeriscono di assumere un valore di δ_f pari all'angolo d'attrito del terreno di fondazione.

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 . 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 indotte sul piano di posa della fondazione. Si divide l'area di carico in un elevato numero di areole rettangolari

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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 Descrizione 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]

α Inclinazione del piano di posa espressa in [°]

ω Inclinazione del piano campagna espressa in [°]

Descrizione	Forma	X	Y	B	L	D	α	ω
Fondazione	(R)	8,25	8,25	16,50	16,50	3,00	0,00	0,00

Descrizione terreni e falda

Caratteristiche fisico-meccaniche

Simbologia adottata

Descrizione Descrizione terreno

γ Peso di volume del terreno espresso in [daN/mc]

γ_{sat} Peso di volume saturo del terreno espresso in [daN/mc]

ϕ Angolo di attrito interno del terreno espresso in gradi

δ Angolo di attrito palo-terreno espresso in gradi

c Coesione del terreno espressa in [daN/cm²]

ca Adesione del terreno espressa in [daN/cm²]

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Descrizione	γ	γ_{sat}	ϕ	δ	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/cm²]

Descr	E
Depositi fluviali	250,00
Ghiaie di messina	400,00

Descrizione stratigrafia

Simbologia adottata

n° 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]

N	Z1	Z2	Z3	Terreno
1	-3,0	-3,0	-3,0	Depositi fluviali
2	-30,0	-30,0	-30,0	Ghiaie di messina

Normativa

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

N.T.C. 2008

Calcolo secondo: Approccio 1

Simbologia adottata

- γ_{Gsfav} Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni permanenti
- γ_{Gfav} Coefficiente parziale favorevole sulle azioni permanenti
- γ_{Qsfav} Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni variabili
- γ_{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
- γ_{cu} Coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata
- γ_{qu} Coefficiente parziale di riduzione del carico ultimo
- γ_{γ} 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	γ_{Gfav}	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,30	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1,50	1,30

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	γ_{cu}	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	γ_{γ}	1,00	1,00

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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	γ_{Gfav}	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,00	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{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
Coazione efficace	$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	γ_{γ}	1,00	1,00

Coefficienti parziali γ_R per le verifiche geotecniche.

		<i>R1</i>	<i>R2</i>	<i>R3</i>
Capacità portante	γ_r	1,00	1,80	2,30
Scorrimento	γ_r	1,00	1,10	1,10

Coeff. di combinazione $\Psi_0 = 0,70$ $\Psi_1 = 0,50$ $\Psi_2 = 0,20$

Per le verifiche geotecniche specifiche si rimanda all'elaborato CG0700PRBDSSCC5VIR0000001B-01 "Relazione Geotecnica".

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

10.4 ANALISI DEL SISTEMA FONDAZIONALE DELLE PILE BASE 12,00x7,50 M

Si procede andando a dimensionare la fondazione per le sola pila più sollecitata, individuabile nella Pila P1 con fondazione rettangolare 12,00 x 7,50 m.

10.4.1 ANALISI DEI CARICHI

AZIONI ALLA BASE

Combinazioni			N (kN)	Vlong (kN)	Vtrasv (kN)	Mlong (kNm)	Mtrasv (kNm)
AZIONI SLU GEO	15	Comb 1	17.758	180,00	410,80	2.885	9.596
	16	Comb 2	21.047	180,00	345,54	2.932	13.622
	17	Comb 3	20.127	180,00	345,54	2.921	15.753
	18	Comb 4	20.101	318,00	345,54	5.361	12.134
	19	Comb 5	19.437	318,00	345,54	5.350	13.733
	20	Comb 6	20.101	180,00	575,54	2.932	16.320
	21	Comb 7	19.437	180,00	575,54	2.921	17.919
AZIONI SLU STR	22	Comb 8	23.394	243,00	474,00	3.891	11.131
	23	Comb 9	27.262	243,00	398,70	3.955	15.895
	24	Comb 10	26.183	243,00	398,70	3.940	18.397
	25	Comb 11	26.152	405,00	398,70	6.807	14.148
	26	Comb 12	25.373	405,00	398,70	6.791	16.025
	27	Comb 13	26.152	243,00	668,70	3.955	19.062
	28	Comb 14	25.373	243,00	668,70	3.940	20.939
AZIONI SLU EQU	29	Comb 15	19.665	198,00	474,00	3.174	11.133
	30	Comb 16	23.533	198,00	398,70	3.239	15.897
	31	Comb 17	22.454	198,00	398,70	3.223	18.399
	32	Comb 18	22.423	360,00	398,70	6.090	14.151
	33	Comb 19	21.644	360,00	398,70	6.074	16.027
	34	Comb 20	22.423	198,00	668,70	3.239	19.065
	35	Comb 21	20.434	198,00	668,70	3.223	19.269
SISMA	36	SISMA long	18.050	2.088,00	445,50	27.452	7.448
	37	SISMA trasv	18.050	626,40	1.485,00	8.236	22.279
SLE	38	Comb SLE 1	17.111	180,00	316,00	2.881	7.355
	39	Comb SLE 2	20.007	180,00	265,80	2.912	11.049
	40	Comb SLE 3	19.211	180,00	265,80	2.905	12.902
	41	Comb SLE 4	19.723	300,00	88,60	5.024	6.956
	42	Comb SLE 5	18.953	300,00	88,60	5.017	8.809
	43	Comb SLE 6	19.723	180,00	408,60	2.912	12.828
	44	Comb SLE 7	18.953	180,00	408,60	2.905	13.660

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

10.4.2 MODELLO DI CALCOLO

Per il calcolo della capacità portante delle fondazioni profonde si utilizza il software di calcolo Aztec CARL 10.0 versione 10.05.b – carico limite e cedimenti.

10.4.2.1 DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO

Progetto: Curcuraci lato Messina – Pila P1

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

- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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 η_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

$$q_u = c N_c s_c d_c i_c g_c b_c + q N_q s_q d_q i_q g_q b_q + 0.5 B' \gamma N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma$$

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_γ , sono i fattori di profondità; s_c, s_q, s_γ , sono i fattori di forma; i_c, i_q, i_γ , sono i fattori di inclinazione del carico; b_c, b_q, b_γ , sono i fattori di inclinazione del piano di posa; g_c, g_q, g_γ , sono i fattori che tengono conto del fatto che la fondazione poggia su un terreno in pendenza.

I fattori N_c, N_q, N_γ sono espressi come:

$$N_q = e^{\pi \tan \phi} K_p$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

$$N_{\gamma} = 2.0(N_q - 1) \operatorname{tg} \phi$$

Vediamo ora come si esprimono i vari fattori che compaiono nella espressione del carico ultimo.

Fattori di forma

$$\text{per } \phi=0 \quad s_c = 1 + 0.2 \frac{B'}{L'}$$

$$\text{per } \phi>0 \quad s_c = 1 + 0.2 \frac{B' (1 + \operatorname{sen} \phi)}{L' (1 - \operatorname{sen} \phi)}$$

$$s_q = 1 + 0.1 \frac{B' (1 + \operatorname{sen} \phi)}{L' (1 - \operatorname{sen} \phi)}$$



$$s_{\gamma} = 1 + 0.1 \frac{B' (1 + \operatorname{sen} \phi)}{L' (1 - \operatorname{sen} \phi)}$$

Fattori di profondità

Si definisce il parametro k come

$$k = \frac{D}{B'} \quad \text{se} \quad \frac{D}{B'} \leq 1$$

$$k = \operatorname{arctg} \frac{D}{B'} \quad \text{se} \quad \frac{D}{B'} > 1$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

vari coefficienti si esprimono come

per $\phi=0$ $d_c = 1 + 0.4k$

$$\text{per } \phi > 0 \quad d_c = d_q - \frac{1 - d_q}{N_c \operatorname{tg} \phi}$$

$$d_q = 1 + 2 \operatorname{tg} \phi (1 - \sin \phi)^2 k$$

$$\gamma = 1$$



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 $A_f = B' \times L'$ (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 η l'angolo di inclinazione della fondazione espresso in gradi ($\eta=0$ per fondazione orizzontale).

I fattori di inclinazione del carico si esprimono come:

$$\text{per } \phi = 0 \quad i_c = 1 - \frac{m H}{A_f c_a N_c}$$

$$\text{per } \phi > 0 \quad i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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 β la pendenza del pendio i fattori g si ottengono dalle espressioni seguenti:

per $\phi=0$

$$g_c = \frac{1 - 2\beta}{\pi + 2}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

per $\phi > 0$

$$g_c = g_q - \frac{1 - g_q}{N_c \operatorname{tg} \phi}$$

$$g_q = g_\gamma = (1 - \operatorname{tg} \beta)^2$$

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 η_s

Eseguendo il calcolo mediante gli Eurocodici si può impostare $\eta_s \geq 1.0$

$$\frac{F_r}{F_s} \geq \eta_s$$

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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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 δ_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 50 per cento.

Per quanto riguarda l'angolo d'attrito terra-fondazione, δ_f , diversi autori suggeriscono di assumere un valore di δ_f pari all'angolo d'attrito del terreno di fondazione.

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 . 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 indotte 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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]

α Inclinazione del piano di posa espressa in [°]

ω Inclinazione del piano campagna espressa in [°]

Descrizione	Forma	X	Y	B	L	D	α	ω
Fondazione	(R)	3,75	6,00	7,50	12,00	3,00	0,00	0,00

Descrizione terreni e falda

Caratteristiche fisico-meccaniche

Simbologia adottata

Descrizione Descrizione terreno

γ Peso di volume del terreno espresso in [daN/mc]

γ_{sat} Peso di volume saturo del terreno espresso in [daN/mc]

ϕ Angolo di attrito interno del terreno espresso in gradi

δ Angolo di attrito palo-terreno espresso in gradi

c Coesione del terreno espressa in [daN/cm²]

ca Adesione del terreno espressa in [daN/cm²]

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Descrizione	γ	γ_{sat}	ϕ	δ	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/cm²]

Descr	E
Depositi fluviali	250,00
Ghiaie di messina	400,00

Descrizione stratigrafia

Simbologia adottata

n° 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]

N	Z1	Z2	Z3	Terreno
1	-4,0	-4,0	-4,0	Depositi fluviali
2	-30,0	-30,0	-30,0	Ghiaie di messina

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Normativa

N.T.C. 2008

Calcolo secondo: Approccio 1

Simbologia adottata

γ_{Gsfav}	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni permanenti
γ_{Gfav}	Coefficiente parziale favorevole sulle azioni permanenti
γ_{Qsfav}	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni variabili
γ_{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
γ_{cu}	Coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata
γ_{qu}	Coefficiente parziale di riduzione del carico ultimo
γ_{γ}	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	γ_{Gfav}	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,30	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1,50	1,30

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	γ_{cu}	1,00	1,40

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	γ_{γ}	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	γ_{Gfav}	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,00	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{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	γ_{cu}	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	γ_{γ}	1,00	1,00

Coefficienti parziali γ_R per le verifiche geotecniche.

		<i>R1</i>	<i>R2</i>	<i>R3</i>
Capacità portante	γ_r	1,00	1,80	2,30
Scorrimento	γ_r	1,00	1,10	1,10

Coeff. di combinazione $\Psi_0 = 0,70$ $\Psi_1 = 0,50$ $\Psi_2 = 0,20$

Per le verifiche geotecniche specifiche si rimanda all'elaborato CG0700PRBDSSCC5VIR0000001B-01 "Relazione Geotecnica".

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

10.5 ANALISI DEL SISTEMA FONDAZIONALE DELLE PILE BASE 16,50x7,50 M

Si procede andando a dimensionare la fondazione per le sola pila più sollecitata, individuabile nella Pila P3 con fondazione rettangolare 16,50 x 7,50 m.

10.5.1 ANALISI DEI CARICHI

AZIONI ALLA BASE

	Combinazioni	N kN	Vlong kN	Vtrasv kN	Mlong kN m	Mtrasv kN m
AZIONI SLU GEO	Comb 1	27.104	256,00	517,40	5.596	14.482
	Comb 2	35.119	256,00	535,08	5.708	19.139
	Comb 3	31.044	256,00	535,08	5.657	24.052
	Comb 4	32.776	426,20	535,08	9.689	17.729
	Comb 5	29.878	426,20	535,08	9.640	21.805
	Comb 6	32.776	256,00	535,08	5.707	17.729
	Comb 7	29.878	256,00	535,08	5.657	21.805
AZIONI SLU STR	Comb 8	35.570	345,60	597,00	7.549	16.709
	Comb 9	44.991	345,60	617,40	7.700	22.165
	Comb 10	40.211	345,60	617,40	7.631	27.932
	Comb 11	42.243	545,40	617,40	12.374	20.509
	Comb 12	38.841	545,40	617,40	12.307	25.294
	Comb 13	42.243	345,60	617,40	7.699	20.509
	Comb 14	38.841	345,60	617,40	7.631	25.294
SISMA	SISMA long	31.300	2.288,00	980,00	41.080	2.298
	SISMA trasv	30.948	1.200,00	2.324,00	25.800	39.936
AZIONI SLE	Comb SLE 1	26.007	256,00	398,00	5.589	11.139
	Comb SLE 2	33.036	256,00	411,60	5.664	15.131
	Comb SLE 3	29.507	256,00	411,60	5.630	19.403
	Comb SLE 4	31.060	404,00	411,60	9.127	14.244
	Comb SLE 5	28.492	404,00	411,60	9.093	17.448
	Comb SLE 6	31.060	256,00	411,60	5.664	14.244
	Comb SLE 7	28.492	256,00	411,60	5.630	16.689

10.5.2 MODELLO DI CALCOLO

Per il calcolo della capacità portante delle fondazioni profonde si utilizza il software di calcolo Aztec CARL 10.0 versione 10.05.b – carico limite e cedimenti.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

10.5.2.1 DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO

Progetto: Curcuraci lato Messina – Pila P3

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

- 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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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 η_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

$$q_u = c N_c s_c d_c i_c g_c b_c + q N_q s_q d_q i_q g_q b_q + 0.5 B \gamma N_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma$$

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_γ , sono i fattori di profondità; s_c, s_q, s_γ , sono i fattori di forma; i_c, i_q, i_γ , sono i fattori di inclinazione del carico; b_c, b_q, b_γ , sono i fattori di inclinazione del piano di posa; g_c, g_q, g_γ , sono i fattori che tengono conto del fatto che la fondazione poggia su un terreno in pendenza.

I fattori N_c, N_q, N_γ sono espressi come:



$$N_q = e^{\pi \text{tg} \phi} K_p$$

$$N_c = (N_q - 1) \text{ctg} \phi$$

$$N_\gamma = 2.0 (N_q - 1) \text{tg} \phi$$

Vediamo ora come si esprimono i vari fattori che compaiono nella espressione del carico ultimo.

Fattori di forma

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

per $\phi=0$ $s_c = 1 + 0.2 \frac{B}{L}$

per $\phi>0$ $s_c = 1 + 0.2 \frac{B (1+\text{sen } \phi)}{L (1-\text{sen } \phi)}$

$s_q = 1 + 0.1 \frac{B (1+\text{sen } \phi)}{L (1-\text{sen } \phi)}$

$s_\gamma = 1 + 0.1 \frac{B (1+\text{sen } \phi)}{L (1-\text{sen } \phi)}$

Fattori di profondità

Si definisce il parametro k come

$k = \frac{D}{B}$ se $\frac{D}{B} \leq 1$

$k = \text{arctg} \frac{D}{B}$ se $\frac{D}{B} > 1$

vari coefficienti si esprimono come

per $\phi=0$ $d_c = 1 + 0.4k$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

$$\text{per } \phi > 0 \quad d_c = d_q - \frac{1 - d_q}{N_c \operatorname{tg} \phi}$$

$$d_q = 1 + 2 \operatorname{tg} \phi (1 - \sin \phi)^2 k$$

$$\gamma = 1$$

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 $A_f = B' \times L'$ (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 η l'angolo di inclinazione della fondazione espresso in gradi ($\eta=0$ per fondazione orizzontale).

I fattori di inclinazione del carico si esprimono come:

$$\text{per } \phi = 0 \quad i_c = 1 - \frac{m H}{A_f c_a N_c}$$

$$\text{per } \phi > 0 \quad i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$$

$$i_q = \left(1 - \frac{H}{V + A_f c_a \operatorname{ctg} \phi} \right)^m$$

$$\text{per } \eta = 0 \quad i_\gamma = \left(1 - \frac{H}{V + A_f c_a \operatorname{ctg} \phi} \right)^{m+1}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

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 $\phi>0$

$$b_c = b_q - \frac{1 - b_q}{N_c \operatorname{tg} \phi}$$

$$b_q = (1 - \eta \operatorname{tg} \phi)^2$$

$$b_\gamma = b_q$$

Fattori di inclinazione del terreno

Indicando con β la pendenza del pendio i fattori g si ottengono dalle espressioni seguenti:

per $\phi=0$

$$g_c = \frac{1 - 2\beta}{\pi + 2}$$

per $\phi>0$

$$g_c = g_q - \frac{1 - g_q}{N_c \operatorname{tg} \phi}$$

$$g_q = g_\gamma = (1 - \operatorname{tg} \beta)^2$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

poter applicare la formula di Brinch-Hansen devono risultare verificate le seguenti condizioni:

$$H < V \operatorname{tg} \delta + A_f c_a$$

$$\beta \leq \phi$$

$$i_x, i_y > 0$$

$$\beta + \eta \leq 90^\circ$$

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 η_s



Eseguendo il calcolo mediante gli Eurocodici si può impostare $\eta_s \geq 1.0$

$$\frac{F_r}{F_s} \geq \eta_s$$

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 δ_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

$$F_r = N \operatorname{tg} \delta_f + c_a B_r$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

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, δ_f , diversi autori suggeriscono di assumere un valore di δ_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

$\Delta \sigma$ 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**;

Δz rappresenta lo spessore dello strato **i-esimo** in cui è stato suddiviso lo strato compressibile e per il quale si conosce il modulo elastico;

ν 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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 . 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 indotte 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]

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- D Profondità del piano di posa in [m]
 α Inclinazione del piano di posa espressa in [°]
 ω Inclinazione del piano campagna espressa in [°]

Descrizione	Forma	X	Y	B	L	D	α	ω
Fondazione	(R)	3,75	8,25	7,50	16,50	3,00	0,00	0,00

Descrizione terreni e falda

Caratteristiche fisico-meccaniche

Simbologia adottata

Descrizione Descrizione terreno

- γ Peso di volume del terreno espresso in [daN/mc]
 γ_{sat} Peso di volume saturo del terreno espresso in [daN/mc]
 ϕ Angolo di attrito interno del terreno espresso in gradi
 δ Angolo di attrito palo-terreno espresso in gradi
 c Coesione del terreno espressa in [daN/cm²]
 ca Adesione del terreno espressa in [daN/cm²]

Descrizione	γ	γ_{sat}	ϕ	δ	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/cm²]

Descr	E
Depositi fluviali	250,00
Ghiaie di messina	400,00

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Descrizione stratigrafia

Simbologia adottata

n° 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]

N	Z1	Z2	Z3	Terreno
1	-4,0	-4,0	-4,0	Depositi fluviali
2	-30,0	-30,0	-30,0	Ghiaie di messina

Normativa

N.T.C. 2008

Calcolo secondo: Approccio 1

Simbologia adottata

γ_{Gsfav} Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni permanenti

γ_{Gfav} Coefficiente parziale favorevole sulle azioni permanenti

γ_{Qsfav} Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni variabili

γ_{Qfav} Coefficiente parziale favorevole sulle azioni variabili

$\gamma_{tan\phi'}$ Coefficiente parziale di riduzione dell'angolo di attrito drenato

γ_c Coefficiente parziale di riduzione della coesione drenata

γ_{cu} Coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata

γ_{qu} Coefficiente parziale di riduzione del carico ultimo

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

γ_Y 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	γ_{Gfav}	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,30	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1,50	1,30

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
Coazione efficace		$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata		γ_{cu}	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale		γ_{qu}	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume		γ_Y	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	γ_{Gfav}	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,00	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{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
Coazione efficace		$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata		γ_{cu}	1,00	1,40

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	γ_{γ}	1,00	1,00

Coefficienti parziali γ_R per le verifiche geotecniche.

		R1	R2	R3
Capacità portante	γ_r	1,00	1,80	2,30
Scorrimento	γ_r	1,00	1,10	1,10

Coeff. di combinazione $\Psi_0 = 0,70$ $\Psi_1 = 0,50$ $\Psi_2 = 0,20$

Per le verifiche geotecniche specifiche si rimanda all'elaborato CG0700PRBDSSCC5VIR0000001B-01 "Relazione Geotecnica".

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE DI CALCOLO		<i>Codice documento</i> SS0706_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						

11 TABULATI DI CALCOLO

Si veda il CD allegato, contenente i seguenti dati:

11.1 ANALISI DELL'IMPALCATO: PESO PROPRIO ACCIAIO E SOLETTA

11.1.1 DATI DI INPUT

11.1.2 RISULTATI

11.2 ANALISI DELL'IMPALCATO: CARICHI PERMANENTI

11.2.1 DATI DI INPUT

11.2.2 RISULTATI

11.3 ANALISI DELL'IMPALCATO: EFFETTI SECONDARI DEL RITIRO

11.3.1 DATI DI INPUT

11.3.2 RISULTATI

11.4 ANALISI DELL'IMPALCATO: ACCIDENTALI MEZZI DISPOSIZIONE SX

11.4.1 DATI DI INPUT

11.4.2 RISULTATI

11.5 ANALISI DELL'IMPALCATO: ACCIDENTALI MEZZI DISPOSIZIONE SX

11.5.1 DATI DI INPUT

11.5.2 RISULTATI

11.6 ANALISI DELL'IMPALCATO: TEMPERATURA E VENTO

11.6.1 DATI DI INPUT

11.6.2 RISULTATI

11.7 ANALISI SISMICA DELL'IMPALCATO

11.7.1 DATI DI INPUT

11.7.2 RISULTATI

ALLEGATO A

ALLEGATO B