



# PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA



## PROGETTO DEFINITIVO

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

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

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

<i>Unità Funzionale</i>	COLLEGAMENTI SICILIA	SS0724_F0
<i>Tipo di sistema</i>	INFRASTRUTTURE STRADALI - OPERE CIVILI	
<i>Raggruppamento di opere/attività</i>	SVINCOLO CURCURACI	
<i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i>	PONTE – RAMPA 5	
<i>Titolo del documento</i>	RELAZIONE TECNICO DESCRITTIVA DELL'OPERA	

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>R</td><td>G</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>5</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	R	G	D	S	S	C	C	5	V	I	R	5	0	0	0	0	0	1	F0
C	G	0	7	0	0	P	R	G	D	S	S	C	C	5	V	I	R	5	0	0	0	0	0	1	F0		

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



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELL'OPERA</b>		<i>Codice documento</i> SS0724_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## INDICE

INDICE .....	3
PREMESSA.....	5
1 RIFERIMENTI NORMATIVI .....	5
2 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....	6
3 CARATTERISTICHE MATERIALI.....	7
3.1 Calcestruzzi (Secondo UNI 11104 - 2004).....	7
3.2 Acciaio per armature di conglomerato cementizio armato (Secondo NTC 2008 – D.M. 14/01/2008) .....	10
3.3 Acciaio per cemento armato precompresso (Secondo NTC 2008 – D.M. 14/01/2008) ..	11
4 DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA.....	12
4.1 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E UBICAZIONE DELLA STRUTTURA.....	12
4.2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL LUOGO.....	14
4.2.1 Indagini previste .....	14
4.2.2 Caratterizzazione geotecnica.....	15
4.3 CARATTERIZZAZIONE DELLA SISMICITA' DEL LUOGO .....	19
4.3.1 Vita nominale.....	19
4.3.2 Classe d'uso .....	19
4.3.3 Periodo di riferimento per l'azione sismica .....	19
4.3.4 Parametri di progetto .....	20
4.3.5 Classificazione sismica del terreno .....	21
4.3.6 Spettro di risposta elastico in accelerazione .....	21
4.3.7 Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali.....	22
4.3.8 Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti verticali.....	24
4.3.9 Spettro di progetto .....	25
4.4 CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE .....	26
4.4.1 Verifiche di resistenza.....	26
4.4.1.1 Verifiche di resistenza agli stati limite ultimi.....	26
4.4.2 Verifiche agli stati limite di esercizio.....	26
4.4.2.1 Definizione degli stati limite di fessurazione .....	26
4.4.2.2 Condizioni ambientali .....	27
4.4.2.3 Sensibilità delle armature alla corrosione .....	27

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELL'OPERA	<i>Codice documento</i> SS0724_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

4.4.2.4	Scelta degli stati limite di fessurazione .....	27
4.4.2.5	Verifiche allo stato limite di fessurazione .....	28
4.4.2.6	Verifiche delle tensioni in esercizio .....	28
4.4.3	Combinazioni di carico .....	29
4.4.4	Azioni sismiche .....	32
5	FASI COSTRUTTIVE .....	34
6	ELABORATI DI RIFERIMENTO .....	35

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE TECNICO DESCRITTIVA DELL'OPERA		<i>Codice documento</i> SS0724_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## PREMESSA

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

### 1 RIFERIMENTI NORMATIVI

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

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE TECNICO DESCRITTIVA DELL'OPERA		<i>Codice documento</i> SS0724_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 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 Japanese Geotechnical Society, Vol. 41, No. 4(20010815), pp. 47-58.
- [13] Joseph E. Bowles. [1988] "Fondazioni – progetto e analisi", McGraw-Hill.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
RELAZIONE TECNICO DESCRITTIVA DELL'OPERA	<i>Codice documento</i> SS0724_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 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	$E_c = 31.476 \text{ N/mm}^2$
resistenza caratteristica a compressione cilindrica	$f_{ck} = 25,00 \text{ N/mm}^2$
resistenza media a compressione cilindrica	$f_{cm} = 33,00 \text{ N/mm}^2$
resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = 14,17 \text{ N/mm}^2$
resistenza a trazione ( valore medio )	$f_{ctm} = 2,56 \text{ N/mm}^2$
resistenza caratteristica a trazione	$f_{ctk} = 1,79 \text{ N/mm}^2$
resistenza caratteristica a trazione per flessione	$f_{ctk} = 2,15 \text{ N/mm}^2$
tensione a SLE – combinazione rara	$\sigma_C = 14,94 \text{ N/mm}^2$
tensione a SLE – combinazione quasi permanente	$\sigma_C = 11,20 \text{ N/mm}^2$
copriferro	$C = 40 \text{ mm}$
classe di esposizione	XC2
classe di consistenza slump	S4
max dimensione aggregati	$D_{max} = 32 \text{ mm}$
rapporto A/C massimo	0,50

##### Baggioli e ritegni sismici

classe di resistenza	C32/40
modulo elastico	$E_c = 33.346 \text{ N/mm}^2$
resistenza caratteristica a compressione cilindrica	$f_{ck} = 32,00 \text{ N/mm}^2$
resistenza media a compressione cilindrica	$f_{cm} = 40,00 \text{ N/mm}^2$
resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = 18,13 \text{ N/mm}^2$
resistenza a trazione ( valore medio )	$f_{ctm} = 3,02 \text{ N/mm}^2$
resistenza caratteristica a trazione	$f_{ctk} = 2,11 \text{ N/mm}^2$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
RELAZIONE TECNICO DESCRITTIVA DELL'OPERA	<i>Codice documento</i> SS0724_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

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

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

### **Soletta di impalcato**

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



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
RELAZIONE TECNICO DESCRITTIVA DELL'OPERA	<i>Codice documento</i> SS0724_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

### **Cordoli di impalcato**

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

### **Ttravi di impalcato**

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
RELAZIONE TECNICO DESCRITTIVA DELL'OPERA		<i>Codice documento</i> SS0724_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						

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

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

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

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

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE TECNICO DESCRITTIVA DELL'OPERA		<i>Codice documento</i> SS0724_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

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

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE TECNICO DESCRITTIVA DELL'OPERA		<i>Codice documento</i> SS0724_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 4 DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA

### 4.1 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E UBICAZIONE DELLA STRUTTURA

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

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

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

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

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

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

Nel seguito si riporta la pianta dell'opera.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
RELAZIONE TECNICO DESCRITTIVA DELL'OPERA	<i>Codice documento</i> SS0724_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

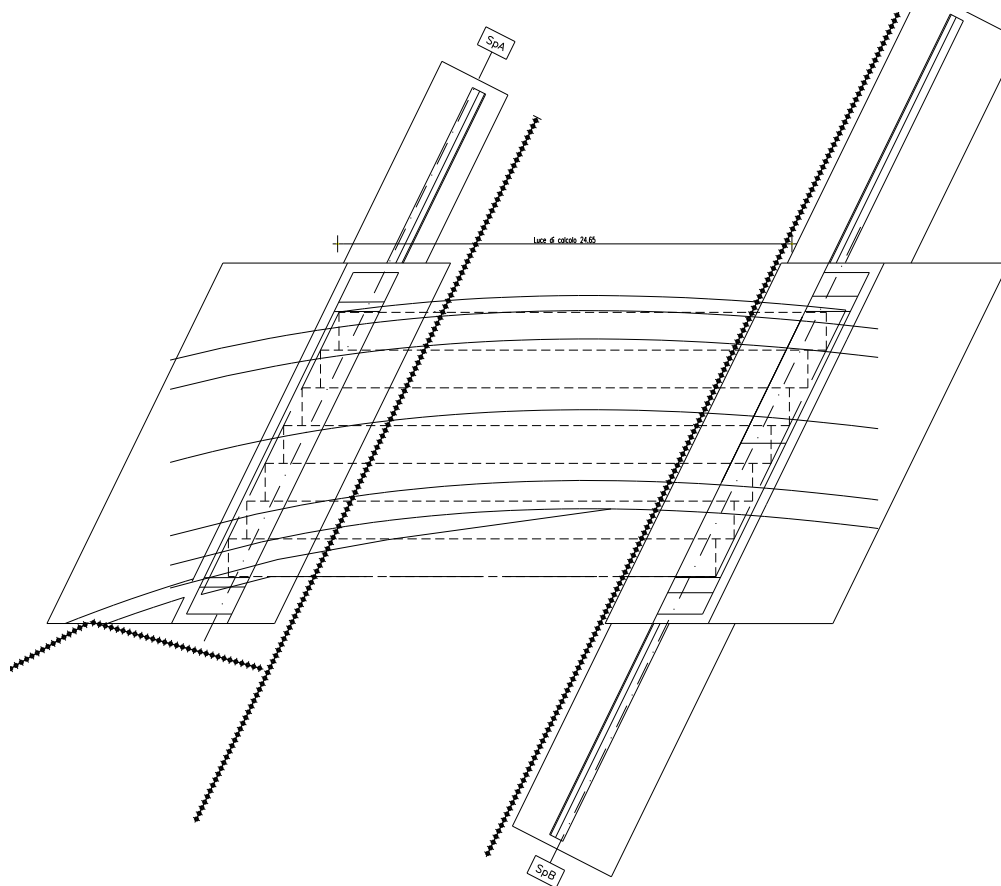


Figura 4.1 – Planimetria ponte rampa 5.

L'impalcato ha le seguenti caratteristiche geometriche:

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE TECNICO DESCRITTIVA DELL'OPERA		<i>Codice documento</i> SS0724_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 4.2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL LUOGO

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.

### 4.2.1 Indagini previste

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

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

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

Le prove localmente utilizzate nella caratterizzazione sono:

- Prove di laboratorio per la determinazione delle caratteristiche fisiche (sondaggio S417)

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE TECNICO DESCRITTIVA DELL'OPERA</b>		<i>Codice documento</i> SS0724_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- Prove granulometriche (sondaggi S417, SPPS02 e SPPS03)
- Prove SPT (sondaggi S417, S418, SPPS02, SPPS03)
- 1 prova Cross Hole (sondaggio S418)
- 1 prova Down hole (sondaggio SPPS02)
- 5 prove pressiometriche (sondaggi S417, S418)
- 4 prove Le Franc (sondaggi S417 e S418)

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

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

#### Sabbie e Ghiaie di Messina

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE TECNICO DESCRITTIVA DELL'OPERA		<i>Codice documento</i> SS0724_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE TECNICO DESCRITTIVA DELL'OPERA		<i>Codice documento</i> SS0724_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### Depositi alluvionali

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

Con riferimento al fuso medio:

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

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

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

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

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

z(m)	Dr(%) Sabbie e ghiaie	$\phi'_p$ (pff=0.272KPa) (°)	$\phi'_{cv}$ (°)	$K_0$
<b>0-10</b>	<b>50-80</b>	<b>40-42</b>	<b>33-35</b>	<b>0.4-0.35</b>

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

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

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
RELAZIONE TECNICO DESCRITTIVA DELL'OPERA	<i>Codice documento</i> SS0724_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

modulo  $G_0$ :

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

$E_0 = 200 \div 300$  MPa

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

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE TECNICO DESCRITTIVA DELL'OPERA		<i>Codice documento</i> SS0724_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 4.3 CARATTERIZZAZIONE DELLA SISMICITA' DEL LUOGO

### 4.3.1 Vita nominale

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

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

### 4.3.2 Classe d'uso

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

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

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

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

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

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE TECNICO DESCRITTIVA DELL'OPERA		<i>Codice documento</i> SS0724_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

#### 4.3.4 Parametri di progetto

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

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

- $a_g$  accelerazione orizzontale massima del terreno;
- $F_0$  valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- $T_C^*$  periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

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

$a_g$  il valore previsto dalla pericolosità sismica;

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

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

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

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

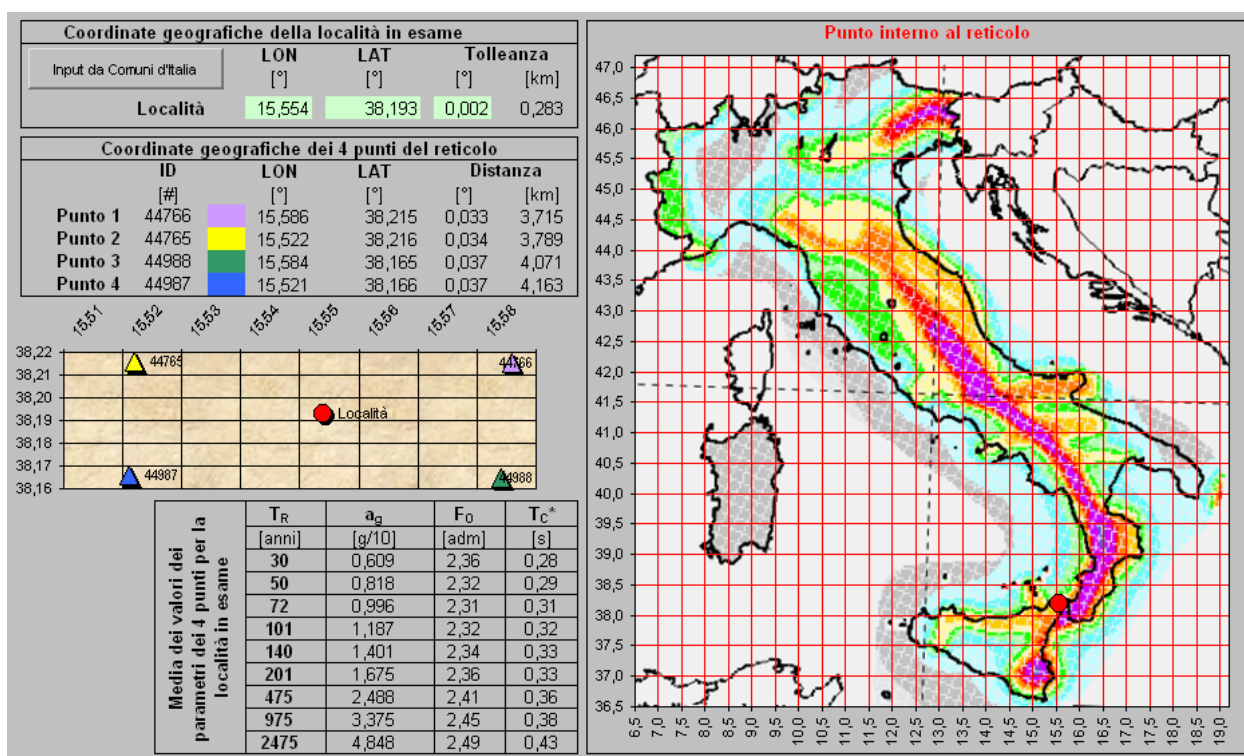
		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		RELAZIONE TECNICO DESCRITTIVA DELL'OPERA	<i>Codice documento</i> SS0724_F0.doc	<i>Rev</i> F0

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

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

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

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



#### 4.3.5 Classificazione sismica del terreno

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

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
RELAZIONE TECNICO DESCRITTIVA DELL'OPERA		<i>Codice documento</i> SS0724_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						

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

#### 4.3.6 Spettro di risposta elastico in accelerazione

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

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

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

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

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

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

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

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

Inoltre:

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
RELAZIONE TECNICO DESCRITTIVA DELL'OPERA		<i>Codice documento</i> SS0724_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

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

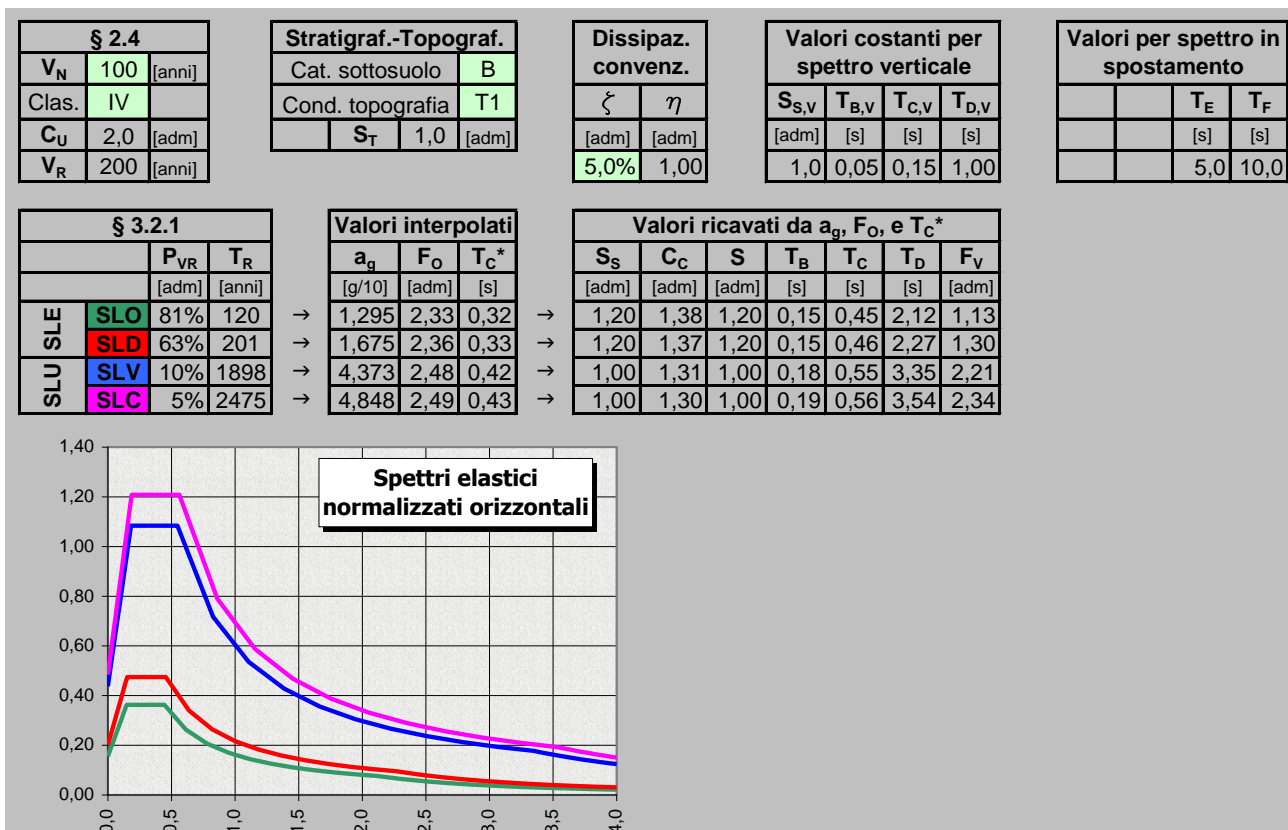
CATEGORIA TOPOGRAFICA	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	-	1,00
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
		RELAZIONE TECNICO DESCRITTIVA DELL'OPERA	Codice documento SS0724_F0.doc

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

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



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

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

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

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

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



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>					
RELAZIONE TECNICO DESCRITTIVA DELL'OPERA		<i>Codice documento</i> SS0724_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						

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

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

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

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

CATEGORIA SOTTOSUOLO	S <sub>s</sub>	T <sub>B</sub>	T <sub>C</sub>	T <sub>D</sub>
A, B, C, D, E	1,00	0,05 s	0,15 s	1,0 s

#### 4.3.9 Spettro di progetto

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

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

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

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE TECNICO DESCRITTIVA DELL'OPERA		<i>Codice documento</i> SS0724_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 4.4 CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE

### 4.4.1 Verifiche di resistenza

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

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

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

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

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

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

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

### 4.4.2 Verifiche agli stati limite di esercizio

#### 4.4.2.1 Definizione degli stati limite di fessurazione

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

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

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE TECNICO DESCRITTIVA DELL'OPERA		<i>Codice documento</i> SS0724_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

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

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

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

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

#### 4.4.2.2 Condizioni ambientali

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

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

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE TECNICO DESCRITTIVA DELL'OPERA		<i>Codice documento</i> SS0724_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

#### 4.4.2.5 Verifiche allo stato limite di fessurazione

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

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

##### Stato limite di apertura delle fessure

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

Il valore caratteristico di calcolo è dato da:

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

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

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

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

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

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

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

#### 4.4.2.6 Verifiche delle tensioni in esercizio

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE TECNICO DESCRITTIVA DELL'OPERA		<i>Codice documento</i> SS0724_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE TECNICO DESCRITTIVA DELL'OPERA</b>		<i>Codice documento</i> SS0724_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>
<b>Carichi verticali</b>				<b>Carichi orizzontali</b>		<b>Carichi verticali</b>
Gruppo di azioni	Modello principale (Schemi di carico 1, 2, 3, 4, 6)	Veicoli speciali	Folla (Schema di carico 5)	Frenatura $q_3$	Forza centrifuga $q_4$	Carico uniformemente distribuito
1	Valore caratteristico					Schema di carico 5 con valore di combinazione $2,5 \text{ kN/m}^2$
2 a	Valore frequente			Valore caratteristico		
2 b	Valore frequente				Valore caratteristico	
3 (*)						Schema di carico 5 con valore caratteristico $5,0 \text{ kN/m}^2$
4 (**)			Schema di carico 5 con valore caratteristico $5,0 \text{ kN/m}^2$			Schema di carico 5 con valore caratteristico $5,0 \text{ kN/m}^2$
5 (***)	Da definirsi per il singolo progetto	Valore caratteristico o nominale				

(\*) Ponti di 3ª categoria

(\*\*) Da considerare solo se richiesto dal particolare progetto (ad es. ponti in zona urbana)

(\*\*\*) Da considerare solo se si considerano veicoli speciali

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

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

$\gamma_{G2}$  coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali;

$\gamma_Q$  coefficiente parziale delle azioni variabili da traffico;

$\gamma_{Qi}$  coefficiente parziale delle azioni variabili.

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

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		RELAZIONE TECNICO DESCRITTIVA DELL'OPERA	Codice documento SS0724_F0.doc	Rev F0

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

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

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

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

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE TECNICO DESCRITTIVA DELL'OPERA		<i>Codice documento</i> SS0724_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

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

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

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

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

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

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

Combinazione utilizzata nell'analisi dell'impalcato:

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

Azione base accidentali

#### 4.4.4 Azioni sismiche

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

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

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



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE TECNICO DESCRITTIVA DELL'OPERA		<i>Codice documento</i> SS0724_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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.

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE TECNICO DESCRITTIVA DELL'OPERA		<i>Codice documento</i> SS0724_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 provvisorie;
- Scavo di fondazione;
- Realizzazione platee di fondazione;
- Costruzione delle elevazioni delle spalle;
- Messa in opera del sistema di appoggi;
- Varo delle travi in c.a.p.;
- Posa in opera coppelle e armatura;
- Getto della soletta di impalcato;
- Getto dei cordoli in c.a.;
- Realizzazione opere di finitura (pavimentazione, barriere di sicurezza, reti di protezione ecc.).

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

- Fase Ia: varo travi in c.a.p.
- Fase Ib: getto della soletta superiore.
- Fase II: Applicazione degli elementi non strutturali (carichi permanenti portati).

Al fine dell'analisi strutturale si definiscono, inoltre, le seguenti fasi:

- Fase III: Applicazione carichi accidentali di breve durata.
- Fase IV: Perdite di precompressione per ritiro del calcestruzzo

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE TECNICO DESCRITTIVA DELL'OPERA	<i>Codice documento</i> SS0724_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	R5	00	00	01	B
CG0700	P	SH	D	S	SC	C5	VI	R5	00	00	01	B
CG0700	P	CL	D	S	SC	C5	VI	R5	00	00	01	B
CG0700	P	RB	D	S	SC	C5	VI	R5	00	00	01	B
CG0700	P	P7	D	S	SC	C5	VI	R5	00	00	01	B
CG0700	P	FZ	D	S	SC	C5	VI	R5	00	00	01	B
CG0700	P	P8	D	S	SC	C5	VI	R5	00	00	01	B
CG0700	P	Z9	D	S	SC	C5	VI	R5	00	00	01	B
CG0700	P	PA	D	S	SC	C5	VI	R5	00	00	01	B
CG0700	P	BA	D	S	SC	C5	VI	R5	00	00	01	B
CG0700	P	BA	D	S	SC	C5	VI	R5	00	00	02	B
CG0700	P	BZ	D	S	SC	C5	VI	R5	00	00	02	B
CG0700	P	BZ	D	S	SC	C5	VI	R5	00	00	01	B
CG0700	P	SA	D	S	SC	C5	VI	R5	00	00	01	B
CG0700	P	SA	D	S	SC	C5	VI	R5	00	00	02	B
CG0700	P	BA	D	S	SC	C5	VI	R5	00	00	04	B