

# 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)



IL PROGETTISTA  
Dott. Ing. F. Colla  
Ordine Ingegneri  
Milano  
n° 20355  
Dott. Ing. E. Pagani  
Ordine Ingegneri Milano  
n° 15408



IL CONTRAENTE GENERALE

Project Manager  
(Ing. P.P. Marcheselli)

STRETTO DI MESSINA  
Direttore Generale e  
RUP Validazione  
(Ing. G. Fiammenghi)

STRETTO DI MESSINA  
Amministratore Delegato  
(Dott. P. Ciucci)

Unità Funzionale COLLEGAMENTI SICILIA

ST0214\_F0

Tipo di sistema STAZIONI - OPERE CIVILI

Raggruppamento di opere/attività STAZIONE ANNUNZIATA

Opera - tratto d'opera - parte d'opera GENERALE - PONTE STAZIONE FERROVIARIA ANNUNZIATA

Titolo del documento RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELL'OPERA

CODICE

C G 0 7 0 0 P R G D S C S 2 S G 0 0 0 0 0 0 0 2 F0

REV	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
F0	20-06-2011	EMISSIONE FINALE	S. BIANCHI	G. SCIUTO	F. COLLA



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELL'OPERA	<i>Codice documento</i> ST0214_F0	<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) ..	12
4 DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA .....	13
4.1 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E UBICAZIONE DELLA STRUTTURA .....	13
5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL LUOGO .....	16
5.1.1 Descrizione delle litologie.....	16
5.1.2 Indagini previste .....	17
5.1.3 Caratterizzazione geotecnica .....	19
5.1.4 Parametri principali assunti .....	25
6 CARATTERIZZAZIONE DELLA SISMICITA' DEL LUOGO.....	26
7 CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE.....	28
7.1 Verifiche di resistenza .....	28
7.1.1 Verifiche di resistenza agli stati limite ultimi .....	28
7.2 Verifiche agli stati limite di esercizio.....	28
7.2.1 Definizione degli stati limite di fessurazione.....	28
7.2.2 Condizioni ambientali .....	29
7.2.3 Sensibilità delle armature alla corrosione.....	29
7.2.4 Scelta degli stati limite di fessurazione.....	29
7.2.5 Verifiche allo stato limite di fessurazione .....	30
7.2.6 Verifiche delle tensioni in esercizio .....	30
7.3 Combinazioni di carico .....	32
7.4 Azioni sismiche.....	35
7.4.1 Vita nominale.....	35
7.4.2 Classe d'uso.....	35

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELL'OPERA	<i>Codice documento</i> ST0214_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

7.4.3	Periodo di riferimento per l'azione sismica .....	36
7.4.4	Classificazione sismica del terreno .....	36
8	FASI COSTRUTTIVE .....	37
9	ELABORATI DI RIFERIMENTO .....	38

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELL'OPERA	<i>Codice documento</i> ST0214_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

## PREMESSA

La presente relazione tratta il ponte pedonale di uscita dalla stazione Annunziata, ubicata nel comprensorio dei collegamenti lato Sicilia del ponte sullo stretto di Messina, ed inteso intrinsecamente come opera di scavalco di una fiamara.

### 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 "Provvedimanti 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> ST0214_F0	<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> ST0214_F0	<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

X0

##### Per pali di fondazione

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

$C = 50 \text{ mm}$

classe di esposizione

XC2

contenuto massimo di cloruri nel calcestruzzo

$cl = 0,20$

classe di consistenza slump

S4-S5

max dimensione aggregati

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

rapporto A/C massimo

0,50

##### Elevazioni spalle (cordoli di testa pali)

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

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

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 estradosso	$C =$	40	mm
classe di esposizione		XS1	
contenuto massimo di cloruri nel calcestruzzo	$cl$	0,20	
classe di consistenza slump		S4	
max dimensione aggregati	$D_{max} =$	32	mm
rapporto A/C massimo		0,50	

### **Baggioli e ritegni sismici**

classe di resistenza		<b>C32/40</b>	
modulo elastico	$E_c =$	33.346	N/mm <sup>2</sup>
massa volumica di riferimento	$\gamma_c =$	25,00	kN/m <sup>3</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	
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	<b>C32/40</b>
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	$f_{cm} = 40,00 \text{ N/mm}^2$
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	$f_{ctk} = 2,11 \text{ N/mm}^2$
resistenza caratteristica a trazione per flessione	$f_{ctfk} = 2,65 \text{ N/mm}^2$
tensione a SLE – combinazione rara	$\sigma_C = 19,92 \text{ N/mm}^2$
tensione a SLE – combinazione quasi permanente	$\sigma_C = 14,94 \text{ N/mm}^2$
copriferro estradosso	$C = 35 \text{ mm}$
classe di esposizione	XF4
contenuto massimo di cloruri nel calcestruzzo	cl 0,20
classe di consistenza slump	S4
max dimensione aggregati	$D_{max} = 20 \text{ mm}$
rapporto A/C massimo	0,45

**Cordoli di impalcato**

classe di resistenza	<b>C32/40</b>
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	$f_{cm} = 40,00 \text{ N/mm}^2$
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	$f_{ctk} = 2,11 \text{ N/mm}^2$
resistenza caratteristica a trazione per flessione	$f_{ctfk} = 2,65 \text{ N/mm}^2$
tensione a SLE – combinazione rara	$\sigma_C = 19,92 \text{ N/mm}^2$
tensione a SLE – combinazione quasi permanente	$\sigma_C = 14,94 \text{ N/mm}^2$
copriferro	$C = 35 \text{ mm}$
classe di esposizione	XF4
contenuto massimo di cloruri nel calcestruzzo	cl 0,20

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELL'OPERA		<i>Codice documento</i> ST0214_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

classe di consistenza slump	S4
max dimensione aggregati	Dmax = 20 mm
rapporto A/C massimo	0,45

### Travi di impalcato

classe di resistenza	<b>C45/55</b>
modulo elastico	$E_c = 34.077 \text{ N/mm}^2$
massa volumica di riferimento	$\gamma_c = 25,00 \text{ kN/m}^3$
resistenza caratteristica a compressione cilindrica	$f_{ck} = 35,00 \text{ N/mm}^2$
resistenza media a compressione cilindrica	$f_{cm} = 43,00 \text{ N/mm}^2$
resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = 19,83 \text{ N/mm}^2$
resistenza a trazione ( valore medio )	$f_{ctm} = 3,21 \text{ N/mm}^2$
resistenza caratteristica a trazione	$f_{ctk} = 2,24 \text{ N/mm}^2$
resistenza caratteristica a trazione per flessione	$f_{ctk} = 2,41 \text{ N/mm}^2$
tensione a SLE – combinazione rara	$\sigma_C = 21,00 \text{ N/mm}^2$
tensione a SLE – combinazione quasi permanente	$\sigma_C = 15,75 \text{ N/mm}^2$
copriferro estradosso	C = 35 mm
classe di esposizione	XF4
classe di consistenza slump	S4
max dimensione aggregati	Dmax = 20 mm
rapporto A/C massimo	0,50

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

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

		<p align="center"><b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO</p>		
<p>RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELL'OPERA</p>	<p><i>Codice documento</i> ST0214_F0</p>	<p><i>Rev</i> F0</p>	<p><i>Data</i> 20-06-2011</p>	

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> ST0214_F0	<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> ST0214_F0	<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 tratta le sottostrutture costituenti il ponte pedonale di accesso alla stazione ferroviaria Annunziata 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 rettilineo, con luce tra gli assi appoggi pari a 17,60 m, e da una larghezza trasversale, di 7,30 m. Nel particolare l'estensione trasversale del suddetto impalcato, può essere ripartita in 6,00 m di superficie bitumata e 0,59 m di cordoli. Allo scopo di sopperire a logiche necessità cinematiche e di servizio, viene conferita alla sovrastruttura, una pendenza trasversale del 2,5%.

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

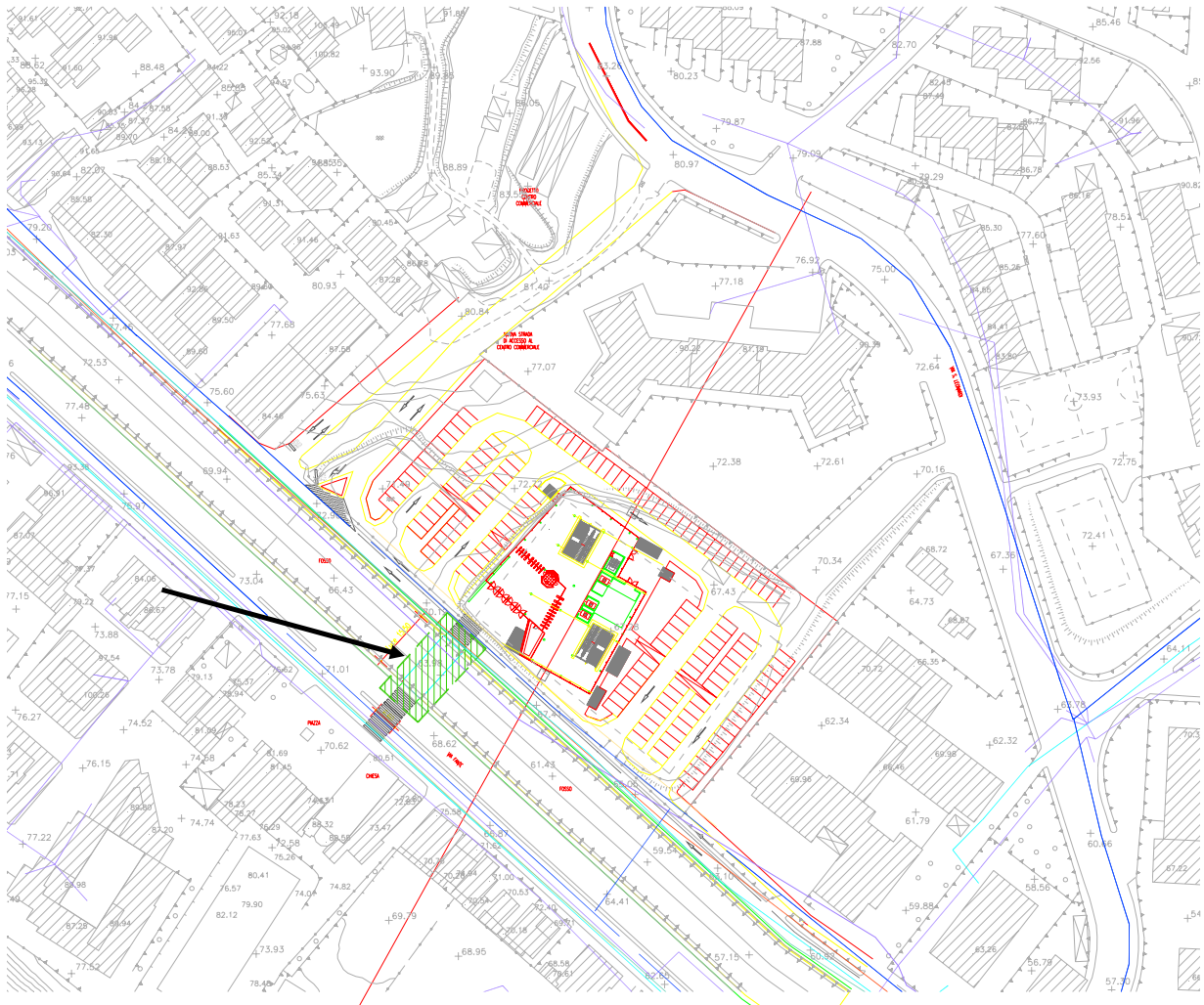
Nell'ambito dell'esecuzione delle analisi strutturali, atte a fornire le sollecitazioni di progetto agenti sulle sottostrutture, viene utilizzato in prima fase uno schema statico a telaio con collegamenti a cerniera, mentre in seconda fase uno schema a telaio con collegamenti monolitici, conseguente alla maturazione della soletta e del sovra cordolo con conseguente solidarizzazione con le travi.



Le spalle afferenti a tale opera ed oggetto di studio del seguente elaborato, sono costituite dal cordolo in c.a. gettato in opera, posizionato in testa pali. Entrambe le spalle risultano infatti sorrette da 1 fila da 6 pali del diametro di 1.000 mm.

L'analisi dei carichi e l'analisi sismica sono state effettuate in ottemperanza alla NTC del 14 Gennaio 2008; inoltre per il terreno sono state assunte le ipotesi di spinta a riposo in condizioni statiche e spinta attiva in condizioni sismiche.

Nel seguito si riportano il profilo dell'opera in esame, la sezione trasversale sulle spalle e la planimetria di inquadramento dell'opera in esame.

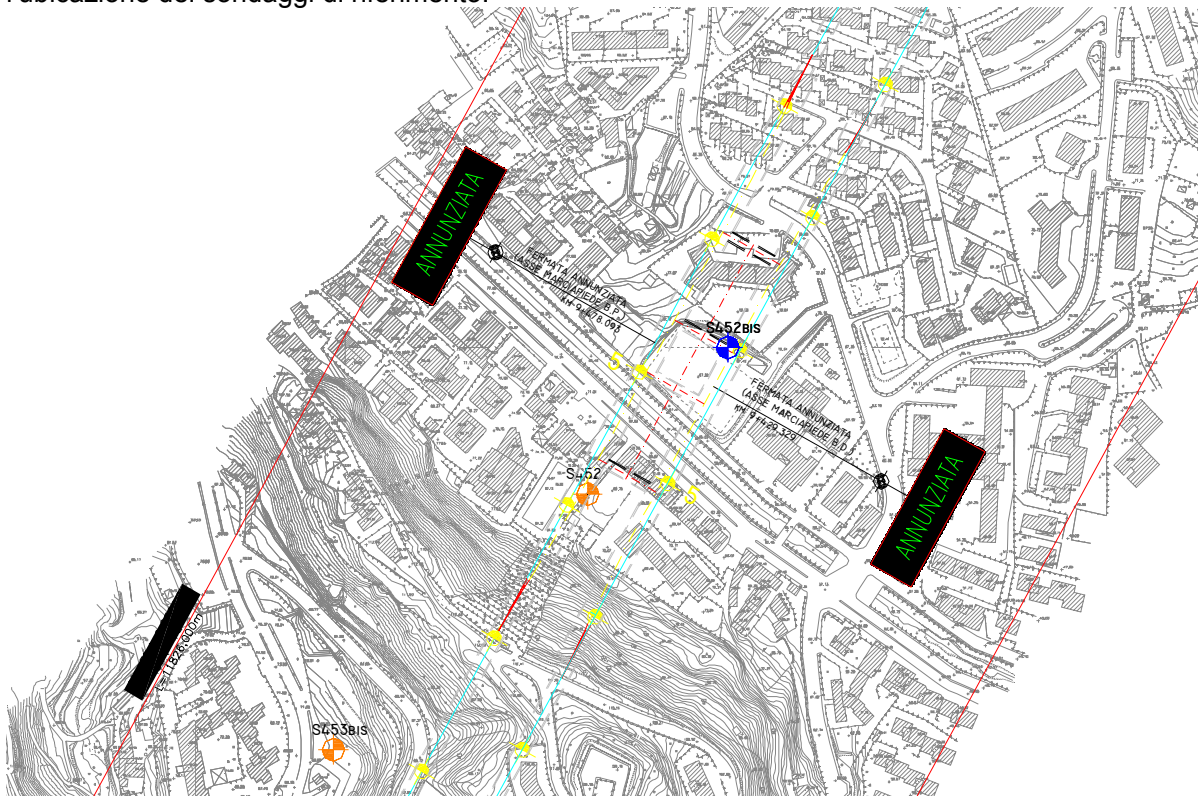




		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE TECNICO-DESCRIPTIVA DELL'OPERA	Codice documento ST0214_F0	Rev F0	Data 20-06-2011	

## 5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL LUOGO

Si riporta di seguito lo stralcio planimetrico della zona relativa all'opera in oggetto da cui si evince l'ubicazione dei sondaggi di riferimento.



### 5.1.1 Descrizione delle litologie

Le litologie prevalenti sono costituite dalla formazione dai Depositi alluvionali, dalla Serie gessoso solfifera (Calcari brecciati e argille gessose) e dal San Pier Niceto argilloso.

Depositi alluvionali: si tratta prevalentemente di depositi sabbioso-ghiaiosi olocenici di fondo alveo. L'incisione operata dai corsi d'acqua determina la diretta sovrapposizione di tali depositi sul substrato cristallino-metamorfico. Gli spessori massimi dedotti da affioramento e sondaggi non è superiore alla decina di metri.

Serie gessoso solfifera (Calcari brecciati e Argille gessose): si tratta delle evaporiti relative alla crisi di salinità che ha interessato il Bacino Mediterraneo durante il Messiniano.

La litofacies evaporitica è caratterizzata da gessi e argille gessose, prevalentemente alla base



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELL'OPERA	<i>Codice documento</i> ST0214_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

della successione, e da calcari brecciati e vacuolari affioranti discontinuamente. L'appoggio della formazione è sempre sulle varie litofacies della Formazione di S. Pier Niceto.

La formazione del San Pier Niceto è costituita essenzialmente da due facies distinte, una basale conglomeratica ed arenacea e l'altra superiore di natura prevalentemente argillosa.

Alla base il conglomerato è costituito da grossi ciottoli poligenici arrotondati e ghiaie di colore marrone-avana in una matrice arenacea rossastra con sabbia sempre più fine man mano che ci si sposta verso l'alto. Nella parte superiore assume l'aspetto di un ammasso roccioso che affiora estesamente in banchi.

Superiormente la porzione arenacea lascia il posto a strati limo argillosi di potenza metrica.

La falda risulta interferente con le opere e localizzabile a profondità di circa 10m da p.c..

### 5.1.2 Indagini previste

I sondaggi di riferimento per la presente tratta sono S452 e S452bis.

Data l'esiguità delle prove, si è scelto di tenere conto anche delle indagini effettuate in altre tratte.

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

Le simiche a rifrazione effettuate in località La Giostra (SR5-S454) in un contesto litostratigrafico simile forniscono una categoria di suolo variabile tra **B** ( $V_{s30}=410\text{m/s}$ ) e **C** ( $V_{s30}=300\text{m/s}$ ).

Le prove localmente utilizzate nella caratterizzazione sono:

#### Depositi alluvionali

Le prove localmente utilizzate nella caratterizzazione sono:

- prove SPT (S452, S452bis)
- prove sismiche a rifrazione (S454-SR5)
- prove di laboratorio per la determinazione delle granulometrie e delle caratteristiche fisiche (S452)

#### Calcari brecciati

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELL'OPERA		<i>Codice documento</i> ST0214_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Data l'esiguità dei sondaggi che caratterizzano la presente formazione nella tratta in esame, si fa riferimento alla caratterizzazione generale.

Le prove utilizzate nella caratterizzazione sono:

- prove pressiometriche (S451, S451bis)
- prove sismiche a rifrazione (SR5, SR10)

#### Argille gessose

Data l'esiguità dei sondaggi che caratterizzano la presente formazione nella tratta in esame, si fa riferimento alla caratterizzazione generale.

Le prove utilizzate nella caratterizzazione sono:

- prove pressiometriche (S432, S454)
- prove dilatometriche (S451, S452, S452bis, S455)
- prove sismiche a rifrazione (SR5, SR10)
- prove di laboratorio per la determinazione dei parametri di resistenza (I2, S434, SPP07, SPP08)
- prove di laboratorio per la determinazione dei parametri fisici.
- prove edometriche (SPP07, SPP08)

#### San Pier Niceto argilloso

Data l'esiguità dei sondaggi che caratterizzano la presente formazione nella tratta in esame, si fa riferimento alla caratterizzazione generale.

Le prove utilizzate nella caratterizzazione sono:

- prove pressiometriche (S432, S454)
- prove dilatometriche (S459bis, S453)
- prove sismiche a rifrazione (SR2, SR3, SR5)
- prove di laboratorio per la determinazione dei parametri di resistenza (S457, S465)
- prove di laboratorio per la determinazione dei parametri fisici.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELL'OPERA		<i>Codice documento</i> ST0214_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

### 5.1.3 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.

#### Depositi alluvionali

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 riguarda lo stato iniziale:

- **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. Il valore di  $e_o$  risulta pari a 0.5-0.6;
- **$\gamma_d$ :** si ottiene un pari a 17-19 KN/m<sup>3</sup>.
- **$K_0$ :** si considera la relazione di Jaky.

z(m)	Dr(%) Sabbie e ghiaie	$K_0$
------	--------------------------	-------

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELL'OPERA		<i>Codice documento</i> ST0214_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

<b>0-10</b>	<b>40-80</b>	<b>0.36-0.4</b>
<b>&gt;10</b>	<b>50-60</b>	<b>0.38</b>

Per quanto riguarda i parametri di resistenza, sulla base delle prove SPT si è ottenuto:

z(m)	$\phi'_p$ (pff=0-272KPa) (°)	$\phi'_p$ (pff=272-350KPa) (°)	$\phi'_{cv}$ (°)
<b>0-10</b>	<b>37-40</b>	<b>33-36</b>	<b>33-35</b>
Come <b>&gt;10</b>	<b>38</b>	<b>35</b>	<b>33-35</b>

parametri operativi di picco si utilizzeranno:

$$c'=0$$

$$\phi' = 37^\circ - 39^\circ$$

Per i parametri di deformabilità, i valori di  $G_0$  da prove SPT hanno un andamento che, stimato graficamente con una linea di tendenza, risulta pari a:

$$G_o = 39 \cdot (z)^{0.59}$$

$$E_o = 93 \cdot (z)^{0.59}$$

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

$$E = (12 \div 31) \cdot (z)^{0.59}$$

pari rispettivamente a circa 1/10÷1/5 (medie e grandi deformazioni) ed ad 1/3 (piccole deformazioni) di quelli iniziali.

### Calcarì brecciati

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELL'OPERA		<i>Codice documento</i> ST0214_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Per le caratteristiche fisiche Non avendo a disposizione prove di laboratorio si può stimare un peso di volume  $\gamma$  pari a 19-21 KN/m<sup>3</sup>.

Per i parametri di resistenza al taglio in termini di sforzi efficaci in mancanza di rilievi su affioramenti, una stima del parametro RMR'89 risulta difficile a partire dalle informazioni ricavabili dalle stratigrafie e dalle foto delle cassette (es: RQD) anche a causa del disturbo causato dal carotaggio.

Cautelativamente quindi si pone:

$$c' = 0.020 \div 0.050 \text{ MPa}$$

$$\phi' = 25^\circ - 30^\circ$$

Per le caratteristiche di deformabilità i risultati dalle prove dilatometriche e pressiometriche effettuate negli strati più profondi (60-90m) nella nuova campagna di indagine 2010 (S451e S451bis) mostrano valori molto variabili di  $E'$  e pari a 800 ÷ 2500 MPa nel caso di scarico e ricarico e a 150 ÷ 400 MPa nel caso di primo carico. Ciò è da imputare alla struttura molto complessa della formazione costituita da calcari e brecce calcaree e da livelli di laminati marnosi.

Anche i risultati dalle prove sismiche a rifrazione risulterebbero fra loro variabili. Facendo riferimento alle stese sismiche in località Annunziata (SR10) ed in corrispondenza del sondaggio S454 (SR5) e riferendosi a profondità medie di 15-20m, si sono riscontrati velocità medie  $V_s$  rispettivamente pari a 300 (SR5) ÷ 400 m/s (SR10) circa, alle quali corrisponderebbe un modulo elastico iniziale medio  $G_0$  pari a 250 MPa a cui corrisponde  $E_0 = 600$  MPa. In zona Annunziata la formazione si presenta già a basse profondità come una breccia calcarea; in corrispondenza del sondaggio S454 (località Giostra), invece, è descritto come una sabbia limosa con inclusi clasti eterometrici. Le sismiche forniscono per gli strati un valore medio del modulo elastico ( $1/10 E_0$  ed  $1/3 E_0$ ) pari a 60 e 200 MPa.

Nella porzione più superficiale ed alterata (10-20m), si pone:

$$E' = 60 \div 200 \text{ MPa}$$

Per problemi di grandi deformazioni e caratterizzate da condizioni di primo carico (fondazioni, rilevati) si farà riferimento ai valori minimi del range mentre per opere di sostegno si farà riferimento a valori contenuti nel range.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELL'OPERA	<i>Codice documento</i> ST0214_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

Nella parte più massiva e per problemi caratterizzati da piccole deformazioni in condizioni di scarico o scarico e ricarica (opere di sostegno) i valori operativi dei moduli potranno essere posti pari a:

$$E' = 200 \div 800 \text{ Mpa}$$

Il massimo valore è da riferire agli strati più profondi (60-90m).

Per la permeabilità le due prove Le Franc localmente previste danno un valore medio pari a circa  $10^{-7}$  m/s.

### Argille gessose

Il fuso granulometrico mostra che le caratteristiche sono tipiche di materiali a grana fine con percentuale media di ghiaia al 14%, sabbia al 30%, limo al 43% ed argilla al 16%.

Inoltre  $D_{50}=0.025\text{mm}$ ,  $D_{60}=0.05\text{mm}$  e  $D_{10}=0.001\text{mm}$

Per quanto riguarda i limiti di Atterberg si ha  $W_n=33\%$ ,  $W_l=46\%$ ,  $W_p=24\%$ ,  $IP=22\%$ .

Dalla carta di Casagrande la posizione corrisponderebbe ad argille di medio-alta plasticità.

Per il peso di volume  $\gamma$  si è ottenuto un valore di  $19 \div 21 \text{KN/m}^3$ .

Per il peso di volume  $\gamma_s$  si è ottenuto un valore medio di  $26.6 \text{KN/m}^3$ .

Per il peso di volume  $\gamma_d$  si è ottenuto un valore medio di  $14.5 \text{KN/m}^3$ .

Per quanto riguarda la determinazione delle caratteristiche iniziali e per la determinazione delle pressioni verticali di consolidazione:

- **OCR:** è stato possibile stimare il grado di sovraconsolidazione a partire dai valori di  $C_u$  calcolati con le prove pressiometriche ottenendo un valore massimo pari a 3 tra 35 e 40m di profondità. A partire dalle prove SPT si ottiene che per  $15\text{m} < z < 20\text{m}$  il materiale è caratterizzato da un  $OCR=2.5 \div 4$  sino a 35m, diminuendo in profondità ( $OCR=6.8-0.174 z$ ) ad un valore di OCR prossimo ad 1 per  $z > 35\text{m}$ ;
- $e_o$  è stato stimato dalle prove di laboratorio: si è ottenuto un valore compreso tra 0.7 e 0.8;
- $k_o$  è stimabile sulla base della seguente espressione:

$$k_o = (1 - \sin \varphi') \cdot \sqrt{OCR}$$

essendo:

$\varphi'$  = angolo di attrito.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELL'OPERA		<i>Codice documento</i> ST0214_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Per quanto riguarda i parametri di resistenza, si hanno a disposizione 12 prove di laboratorio su campioni prelevati fra 8m e 50m; le condizioni di rottura delle prove sono caratterizzate sia da  $\sigma'_2 \neq \sigma'_3$  che da  $\sigma'_2 = \sigma'_3$ .

Dall'interpretazione dei dati, nell'ambito delle pressioni di prova, si ottengono i seguenti range di valori di resistenza di picco:

	<b>c' picco</b> <b>[Mpa]</b>	<b>φ' picco</b> <b>[°]</b>	<b>c' cv</b> <b>[Mpa]</b>	<b>φ' cv</b> <b>[°]</b>	<b>c' r</b> <b>[Mpa]</b>	<b>φ' r</b> <b>[°]</b>
( $\sigma'_2 \neq \sigma'_3$ )	0.010-0.050	30-20	0	28-30	0	16
( $\sigma'_2 = \sigma'_3$ )	0.010-0.040	30-25	0	23	0	16

Il valore operativo è dato da:

$$c' = 0.010 \div 0.050 \text{ MPa}$$

$$\varphi' = 30^\circ \div 20^\circ$$

$$c'_{cv} = 0 \text{ MPa}$$

$$\varphi'_{cv} = 23^\circ \div 28^\circ$$

I valori più coesivi ed i corrispondenti angoli di attrito sono da associare allo strato superficiale più sovraconsolidato.

In mancanza di prove di laboratorio TXUU i valori di resistenza non drenata Cu sono stati determinati correlando i valori di  $N_{spt}$  ed i risultati delle prove pressiometriche.

In questo contesto dalle pressiometriche si ottengono valori di Cu molto alti e pari da 300-370 a 900 KPa a circa 40m di profondità, trascurando dei valori molto bassi ottenuti nella prove del sondaggio S455 effettuate in strati torbosi.

Invece dalle prove SPT si ottengono valori fra 250 e 400 KPa. Tale discrepanza con le pressiometriche può ricondursi alla elevata plasticità dell'argilla che dovrebbe suggerire l'utilizzo di un fattore moltiplicativo dei valori di  $N_{spt}$  maggiore di 5.

Comunque si può assumere:

$$Cu = 400 \text{ KPa per } z < 35\text{m}$$

$$Cu = 250 \text{ KPa per } z > 35\text{m}$$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELL'OPERA		<i>Codice documento</i> ST0214_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

Per quanto riguarda i parametri di deformabilità, dalle prove dilatometriche (S451, S452, S452bis) si evince un modulo medio variabile da circa 40 MPa a 100 MPa tra 17 e 53m di profondità, con valori ottenuti nel sondaggio S455 troppo bassi (15-30MPa) e da scartare perché effettuati su un livelletto torboso. I valori determinati dalle prove corrispondono al primo ciclo di carico.

Dalla prova sismica down hole effettuata nel sondaggio SPPS08 si ottengono valori di Vs molto elevati (1100 m/s) corrispondenti ad uno strato molto consistente. Il modulo  $G_0$  corrispondente risulterebbe pari a 2300 MPa.

Dalla prove sismiche a rifrazione (S432-SR10, S454-SR5), ad una profondità media di 20-25m, si registra un valore medio di Vs pari a 400÷450m/s a cui corrisponde un valore di  $G_0$  pari a circa 300÷400 Mpa e quindi  $E_0 = 720 \div 960 \text{Mpa}$ .

Vista la grande discrepanza fra i risultati e visto il numero esiguo di prove si ritiene cautelativo quindi assumere, un modulo operativo a medie - grandi deformazioni pari a:

$E' = 80 \div 160 \text{ MPa}$

compatibile con

$E' = 200 \text{Cu}$  nel valore minimo

$E' = 400 \text{Cu}$  nel valore massimo

avendo posto un valore di  $\text{Cu} = 400 \text{Kpa}$

Tale range corrisponde ad  $1/10 \div 1/5$  del valore di  $E_0$  determinato con le sismiche a rifrazione.

Le prove di laboratorio edometriche (SPP07, SPP08) per la determinazione delle caratteristiche di compressibilità e per la determinazione dei coefficienti di consolidazione non sono ritenute significative per il presunto disturbo dei campioni.

Il valore di  $E_{ed}$  medio si attesta infatti intorno a 14Mpa.

Il valore di  $C_c$  medio è pari a 0.13

Il valore di  $c_s$  medio è pari a 0.034

Il valore di  $c_v$  medio è pari a  $1.87 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

Il valore di  $c_\alpha$  medio è pari a  $1.4 \times 10^{-3}$

Per quanto concerne la permeabilità le prove edometriche non determinano il valore di K che quindi verrà stimato in base alla correlazione di Rocchi (2003): per  $e_L$  che assume un valore medio pari a 1.456 si ottiene un valore della permeabilità verticale di  $1 \times 10^{-8} \text{ m/sec}$ .

C'è da dire, però, che la permeabilità a grande scala di tale ammasso risente degli eventuali livelli più permeabili (sabbiosi, gessosi, etc,...) e quindi, considerando più rappresentativo l'esito delle



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELL'OPERA	<i>Codice documento</i> ST0214_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

prove in situ, si considerano invece valori della permeabilità (orizzontale) dell'ordine di  $6 \times 10^{-7}$  m/sec.

#### 5.1.4 Parametri principali assunti

La stratigrafia assunta per le verifiche geotecniche è estrapolata dal profilo geotecnico generale e così riassunto:

da p.c a -14,00 m	depositi alluvionali
da -14,00 a -42,00 m	calcari brecciati
da -42,00 a -61,00 m	argille gessose

Dalle indagini di riferimento S452 e S452bis si evince che la quota di falda si attesta intorno alla profondità dal piano campagna di circa -20,00 m, ossia a circa -15,00 m dalla quota del canale esistente coincidente con la quota di testa palo nelle modellazioni di verifica (trascurati i primi 3 m in adiacenza al muro esistente del canale); tale valore è riferito ad indagini datate giugno in cui la falda può essere più bassa rispetto al periodo autunnale – invernale, per cui la quota della falda è assunta prudenzialmente a -10,00 m dal piano del letto del canale esistente.

##### Parametri principali assunti – DEPOSITI ALLUVIONALI

Peso di volume	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$
Peso di volume saturo	$\gamma_s = 26,5 \text{ kN/m}^3$
Angolo di attrito interno	$\phi' = 38^\circ$ (prudenziale limite massimo)
Angolo di attrito terreno – palo	$\phi' = 38^\circ$
Modulo deformazione elastico (z=6 m)	$E' = 50 \text{ MPa}$

##### Parametri principali assunti – CALCARI BRECCIATI

Peso di volume	$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
Peso di volume saturo	$\gamma_s = 27 \text{ kN/m}^3$
Angolo di attrito interno	$\phi' = 27^\circ$
Angolo di attrito terreno – palo	$\phi' = 27^\circ$
Modulo deformazione elastico (z=3 m)	$E' = 130 \text{ MPa}$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELL'OPERA		<i>Codice documento</i> ST0214_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

## 6 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  $P_{VR}$  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

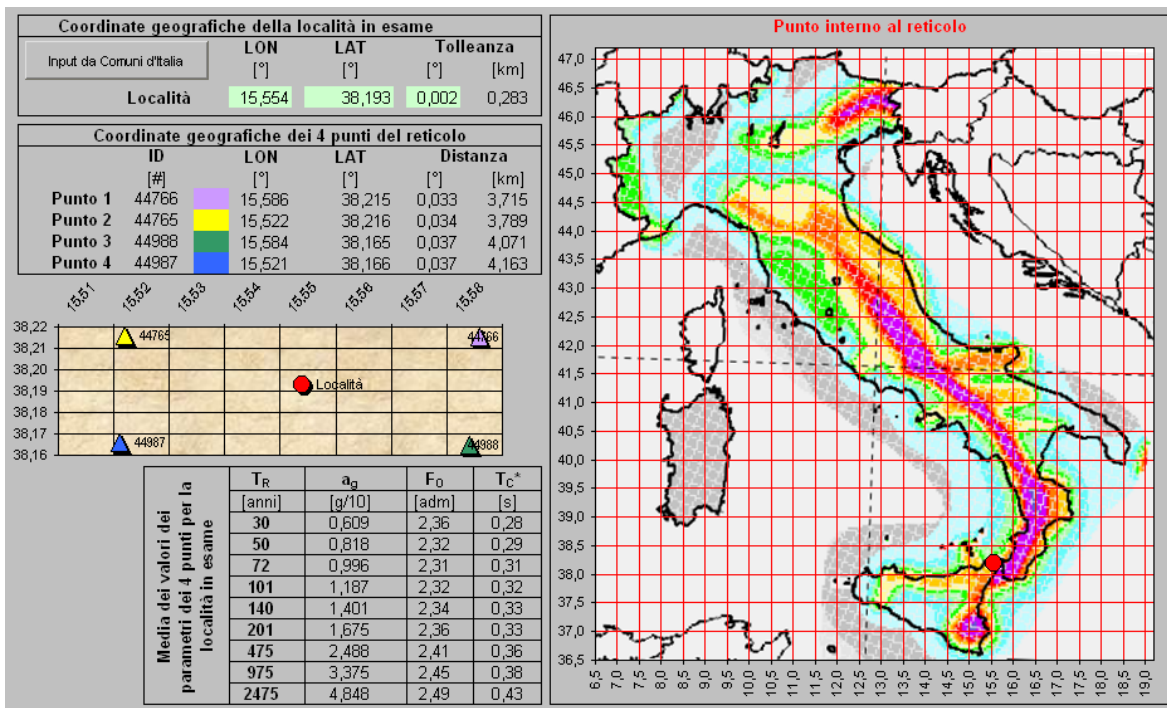
l'espressione:

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

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



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELL'OPERA		<i>Codice documento</i> ST0214_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

## 7 CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE

### 7.1 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.

#### 7.1.1 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.

### 7.2 Verifiche agli stati limite di esercizio

#### 7.2.1 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> ST0214_F0	<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.

### 7.2.2 Condizioni ambientali

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

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

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

### 7.2.3 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.

### 7.2.4 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> ST0214_F0	<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	$\leq w_2$	ap. fessure	$\leq w_3$
		quasi permanente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
b	Aggressive	frequente	ap. fessure	$\leq w_1$	ap. fessure	$\leq w_2$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$
c	Molto aggressive	frequente	formazione fessure	-	ap. fessure	$\leq w_1$
		quasi permanente	decompressione	-	ap. fessure	$\leq w_1$

### 7.2.5 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  $\epsilon_{sm}$  per la distanza media tra le fessure  $\Delta_{sm}$ :

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

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

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

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.

### 7.2.6 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> ST0214_F0	<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:

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

$\sigma_c < 0.45 \cdot f_{ck}$  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%.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELL'OPERA		Codice documento ST0214_F0	Rev F0	Data 20-06-2011

### 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:

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

### 7.3 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.

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

Gruppo di azioni	Carichi sulla carreggiata					Carichi su marciapiedi e piste ciclabili
	Carichi verticali			Carichi orizzontali		Carichi verticali
	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



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELL'OPERA		<i>Codice documento</i> ST0214_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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.

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

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

<sup>(1)</sup> Equilibrio che non coinvolga i parametri di deformabilità e resistenza del terreno; altrimenti si applicano i valori di GEO.

<sup>(2)</sup> Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

<sup>(3)</sup> 1,30 per instabilità in strutture con precompressione esterna

<sup>(4)</sup> 1,20 per effetti locali

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
		RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELL'OPERA	Codice documento ST0214_F0	Rev F0

**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 $q_3$	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

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELL'OPERA		<i>Codice documento</i> ST0214_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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

### 7.4.1 Vita nominale

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

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

### 7.4.2 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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELL'OPERA	<i>Codice documento</i> ST0214_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

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  $c_U = 2,0$

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

#### 7.4.4 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.

La categoria di suolo sismico, secondo N.T.C: 2008, risulta pari a **C** (sismica a rifrazione SR15, S441).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELL'OPERA	<i>Codice documento</i> ST0214_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

## 8 FASI COSTRUTTIVE

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

- Scavo di sbancamento in adiacenza ai muri esistenti di confinamento della fiamara;
- Demolizione della porzione superiore dei muri esistenti in corrispondenza del ponte pedonale da realizzare;
- Realizzazione pali di fondazione in adiacenza ai suddetti muri;
- Getto della prima fase dei cordoli sommità pali;
- Varo delle travi in c.a.p.;
- Getto di completamento dei cordoli delle spalle e della soletta di impalcato;
- Ritombamento del terreno a tergo delle spalle e realizzazione opere di finitura (pavimentazione, barriere di sicurezza, reti di protezione ecc.).

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

La realizzazione dell'impalcato prevede le seguenti fasi:

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

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

- Applicazione carichi accidentali di breve durata.
- 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> ST0214_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

## 9 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	CS	2S	G0	00	00	00	02
CG0700	P	SH	D	S	CS	2S	G0	00	00	00	01
CG0700	P	CL	D	S	CS	2S	G0	00	00	00	01
CG0700	P	RB	D	S	CS	2S	G0	00	00	00	01
CG0700	P	P7	D	S	CS	2S	G0	00	00	00	01
CG0700	P	Z9	D	S	CS	2S	G0	00	00	00	01
CG0700	P	PA	D	S	CS	2S	G0	00	00	00	14
CG0700	P	BZ	D	S	CS	2S	G0	00	00	00	01
CG0700	P	SZ	D	S	CS	2S	G0	00	00	00	01
CG0700	P	SZ	D	S	CS	2S	G0	00	00	00	04