


PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA



PROGETTO DEFINITIVO

EUROLINK S.C.p.A.

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

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

<i>Unità Funzionale</i>	COLLEGAMENTI SICILIA	ST0118_F0
<i>Tipo di sistema</i>	STAZIONI - OPERE CIVILI	
<i>Raggruppamento di opere/attività</i>	STAZIONE PAPARDO	
<i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i>	GENERALE – OPERE CIVILI	
<i>Titolo del documento</i>	MURI DI SOSTEGNO PARCHEGGI - RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELLE OPERE	

CODICE

C G 0 7 0 0 P R G D S C S 1 S G 0 0 0 0 0 0 0 3 F 0

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELLE OPERE	<i>Codice documento</i> ST0118_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

INDICE

INDICE.....	3
PREMESSA.....	4
1 RIFERIMENTI NORMATIVI.....	4
2 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	5
3 CARATTERISTICHE MATERIALI	6
3.1 Calcestruzzi (Secondo UNI 11104 - 2004).....	6
3.2 Acciaio per armature di conglomerato cementizio armato (Secondo NTC 2008 – D.M. 14/01/2008)	7
4 DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA	8
4.1 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E UBICAZIONE DELLA STRUTTURA	8
4.2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL LUOGO	10
4.2.1 Descrizione delle litologie.....	10
4.2.2 Indagini previste	10
4.2.3 Caratterizzazione geotecnica	10
4.2.4 Parametri principali assunti	20
4.3 CARATTERIZZAZIONE DELLA SISMICITA' DEL LUOGO	20
4.4 CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE	22
4.4.1 Verifiche di resistenza	22
4.4.1.1 Verifiche di resistenza agli stati limite ultimi	22
4.4.2 Verifiche agli stati limite di esercizio.....	23
4.4.2.1 Definizione degli stati limite di fessurazione	23
4.4.2.2 Condizioni ambientali	23
4.4.2.3 Sensibilità delle armature alla corrosione.....	24
4.4.2.4 Scelta degli stati limite di fessurazione.....	24
4.4.2.5 Verifiche allo stato limite di fessurazione.....	24
4.4.2.6 Verifiche delle tensioni in esercizio.....	25
4.4.3 Azioni sismiche.....	26
4.4.3.1 Vita nominale.....	26
4.4.3.2 Classe d'uso	27
4.4.3.3 Periodo di riferimento per l'azione sismica	27
5 ELABORATI DI RIFERIMENTO	28

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELLE OPERE	<i>Codice documento</i> ST0118_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

PREMESSA

La presente relazione tratta dei muri di sostegno indicizzati con le lettere A e B, facenti parte delle opere di sostegno per la realizzazione dei parcheggi, a servizio della stazione ferroviaria Papardo, facente parte dei collegamenti lato Sicilia del ponte sullo stretto di Messina.

La stazione è situata all'interno di tale ambito approssimativamente alla progressiva 3+375 km degli assi ferroviari.

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"

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELLE OPERE		<i>Codice documento</i> ST0118_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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELLE OPERE		<i>Codice documento</i> ST0118_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

3 CARATTERISTICHE MATERIALI

3.1 Calcestruzzi (Secondo UNI 11104 - 2004)

Fondazioni

classe di resistenza	C25/30
modulo elastico	$E_c = 31.447 \text{ N/mm}^2$
resistenza caratteristica a compressione cilindrica	$f_{ck} = 24,90 \text{ N/mm}^2$
resistenza media a compressione cilindrica	$f_{cm} = 32,90 \text{ N/mm}^2$
resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = 14,11 \text{ N/mm}^2$
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	$f_{ctfk} = 2,15 \text{ N/mm}^2$
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

Elevazioni

classe di resistenza	C32/40
modulo elastico	$E_c = 36.050 \text{ N/mm}^2$
resistenza caratteristica a compressione cilindrica	$f_{ck} = 33,20 \text{ N/mm}^2$
resistenza media a compressione cilindrica	$f_{cm} = 39,84 \text{ N/mm}^2$
resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = 18,81 \text{ N/mm}^2$
resistenza a trazione (valore medio)	$f_{ctm} = 3,16 \text{ N/mm}^2$
resistenza caratteristica a trazione	$f_{ctk} = 2,21 \text{ N/mm}^2$
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	$\sigma_C = 14,94 \text{ N/mm}^2$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELLE OPERE	<i>Codice documento</i> ST0118_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

copriferro	C =	40	mm
classe di esposizione	XC4	XS1	XF2
classe di consistenza slump		S4	
max dimensione aggregati	Dmax =	32	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)

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

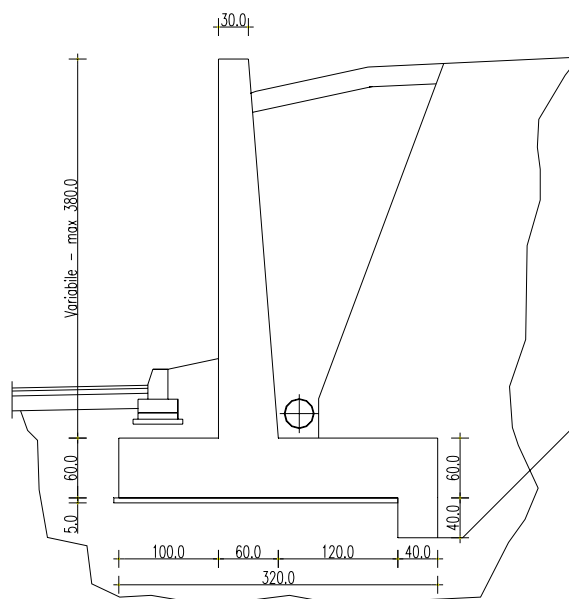
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELLE OPERE		<i>Codice documento</i> ST0118_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

4 DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA

4.1 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E UBICAZIONE DELLA STRUTTURA

La presente relazione tratta i muri di sostegno indicizzati con le lettere A e B, facenti parte delle opere di sostegno per la realizzazione dei parcheggi, a servizio della stazione ferroviaria Papardo. Il progetto prevede la realizzazione di quattro diverse tipologie di muri di sostegno in c.a. gettato in opera.

2) TIPOLOGIA A: il muro presenta un'altezza variabile con valore massimo di 3,80 m dallo spiccato di fondazione. La fondazione è di tipo diretto e realizzata tramite una soletta di spessore 0,60 m dotata di un dente a monte profondo anch'esso 0,40 m.

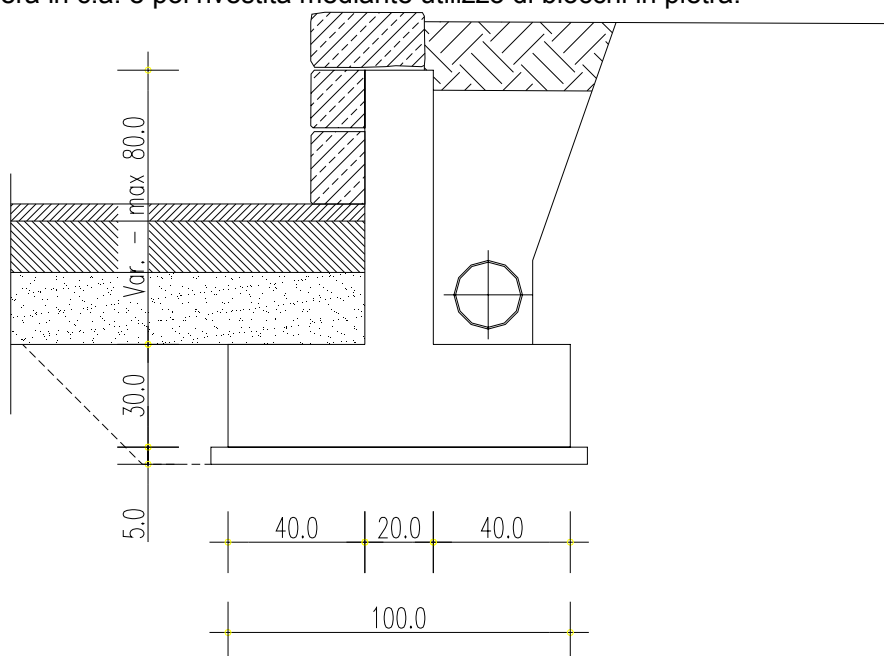


L'analisi statica dei muri in esercizio è stata effettuata considerando una profondità unitaria. Con tale ipotesi sono state pertanto trascurate, a favore di sicurezza, le effettive diffusioni dei carichi e delle sollecitazioni nella parete verticali con allargamento delle traiettorie di diffusione verso il basso e conseguente sensibile riduzione delle sollecitazioni al nodo inferiore, nella fondazione e sul terreno.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELLE OPERE	<i>Codice documento</i> ST0118_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

L'analisi dei carichi è stata effettuata in ottemperanza alla Normativa vigente.

1) TIPOLOGIA B: il muro presenta un'altezza variabile con valore massimo di 0,80 m dallo spiccato di fondazione. La fondazione è di tipo diretto e realizzata tramite una soletta di spessore 0,30 m. L'opera in c.a. è poi rivestita mediante utilizzo di blocchi in pietra.



L'analisi statica dei muri in esercizio è stata effettuata considerando una profondità unitaria. Con tale ipotesi sono state pertanto trascurate, a favore di sicurezza, le effettive diffusioni dei carichi e delle sollecitazioni nella parete verticali con allargamento delle traiettorie di diffusione verso il basso e conseguente sensibile riduzione delle sollecitazioni al nodo inferiore, nella fondazione e sul terreno.

L'analisi dei carichi è stata effettuata in ottemperanza alla Normativa vigente.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELLE OPERE	<i>Codice documento</i> ST0118_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

4.2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL LUOGO

4.2.1 Descrizione delle litologie

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; 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.

La falda non risulta interferente con le opere.

4.2.2 Indagini previste

I sondaggi di riferimento per la presente tratta sono S104 (campagna del 1992), S445 e S445bis (campagna del 2010).

La categoria di suolo sismico (secondo N.T.C. 2008) risulta di categoria **C** (S445bis - $N_{SPT30} = 42$).

Le prove localmente utilizzate nella caratterizzazione sono:

Sabbie e Ghiaie di Messina

- Prove granulometriche (sondaggio S445) ;
- SPT (sondaggi S104, S445, S445bis) ;
- prove pressiometriche (sondaggio S445);
- 2 prove Le Franc (sondaggio S445bis).

4.2.3 Caratterizzazione geotecnica

Sabbie e Ghiaie di Messina

In questa tratta la formazione si presenta, dalle prove SPT analizzate, in egual misura composta da sabbie e ghiaie con densità relative di che sembrerebbero diminuire con la profondità

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELLE OPERE		<i>Codice documento</i> ST0118_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

mostrando uno stato di addensamento medio.

Con riferimento al fuso medio si ha che: $d_{50}=0.55\text{mm}$, $d_{60}=1\text{mm}$ e $d_{10}=0.07\text{mm}$. le percentuali medie di ghiaia, sabbia e limo sono rispettivamente di 31%, 51%, 14%.

- **Dr**: i valori di N_{spt} sono stati corretti con il fattore correttivo $C_{sg}=0.85$ corrispondente al $d_{50}=0.55\text{mm}$.
- **e_o** : a partire dal d_{50} stimato si ottiene di $e_{max}-e_{min}$ pari a 0.34. 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 determinato in funzione di z, risulta pari a $0.5\div 0.6$ nei primi 7m e a $0.4\div 0.5$ sotto i 7m.
- γ_d : in base a tali valori di e_o e da γ_s si può stimare $\gamma_d = 18\div 20\text{KN/m}^3$;
- **K_0** : si considera la relazione di Mesri (1989) per tenere conto degli effetti di "aging".

I primi 30 m sembrerebbero maggiormente addensati soprattutto nella porzione sabbio-ghiaiosa.

Dr(%) Sabbie e ghiaie	Dr(%) Componente sabbiosa prevalente	ϕ'_p (pff=0-272KPa) (°)	ϕ'_p (pff=-272-350KPa) (°)	ϕ'_{cv} (°)	K_0
60-80	$z=0\div 7\text{m}$ 30-60 $z>7\text{m}$ 60-80	36-38 37-42	35-37	33-35	0.4-0.5

I valori operativi dei parametri di resistenza di picco, per $z>7\text{m}$, possono porsi uguali a

$$c'=0$$

$$\phi'=38^\circ-40^\circ$$

Per quanto riguarda i parametri di deformabilità G_0 ed E_0 , dalle correlazioni di prove SPT, si ha:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELLE OPERE		<i>Codice documento</i> ST0118_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

$$G_0 = 35 z^{0.65}$$

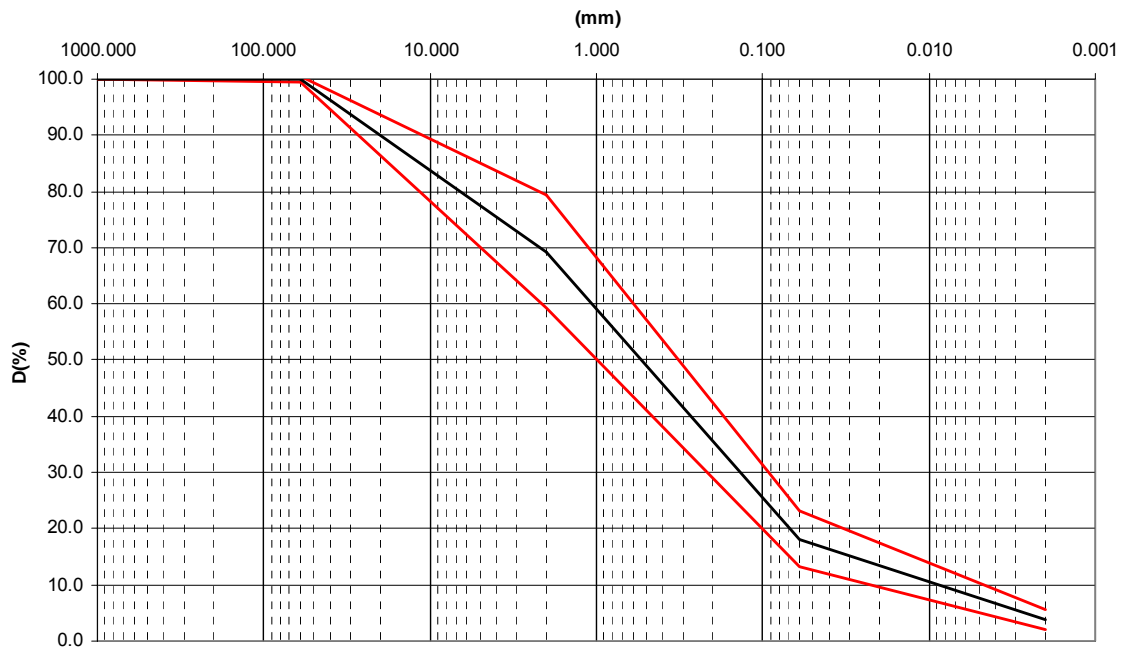
$$E_0 = 84 z^{0.65}$$

$$E' = (11 \div 28) z^{0.65}$$

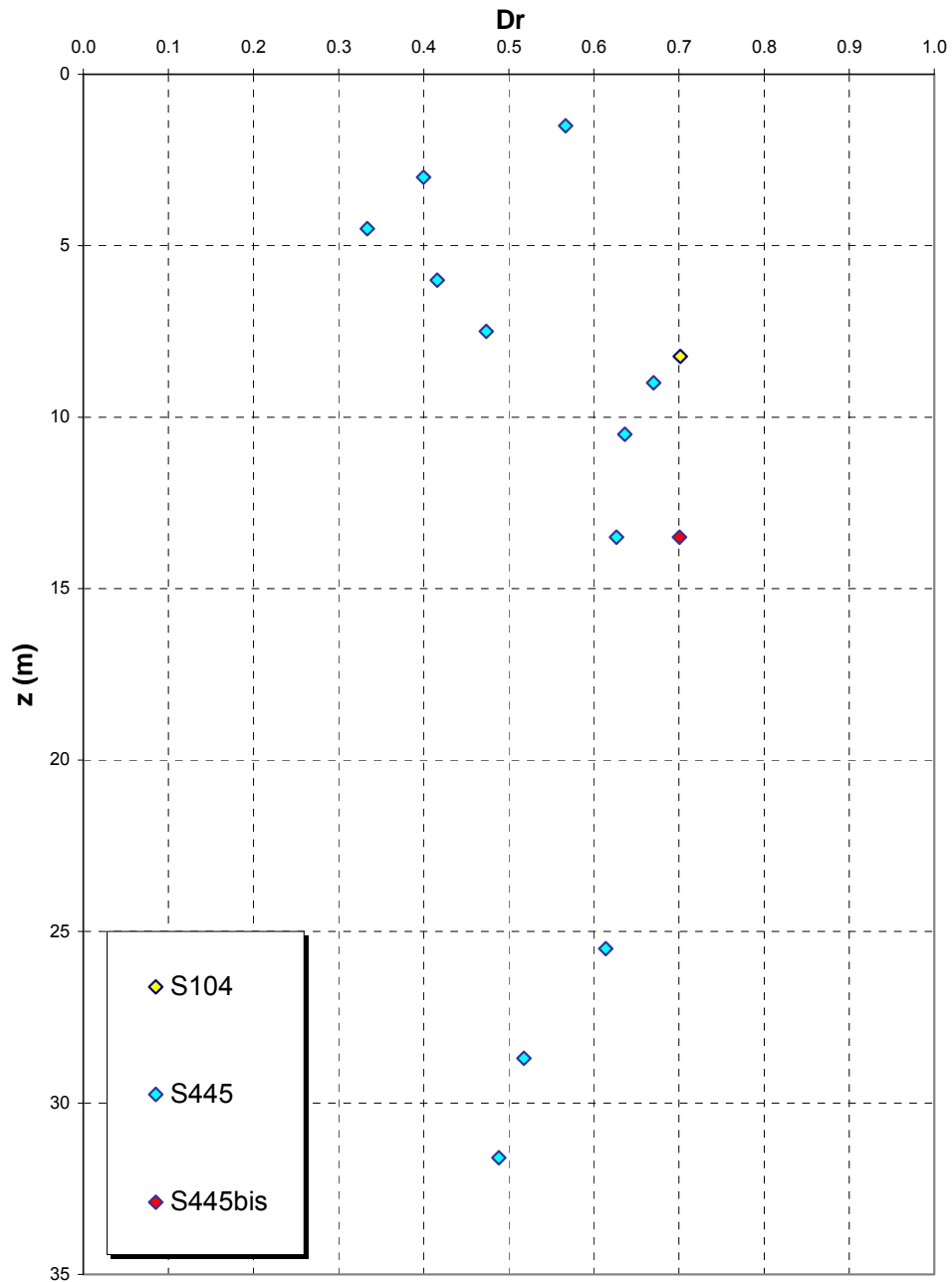
con E' pari rispettivamente a circa $1/0 \div 1/5$ (medie e grandi deformazioni) ed a $1/3$ (piccole deformazioni) di quelli iniziali.

I corrispondenti valori operativi di E' non risultano in buon accordo con quelli che si ottengono dalle prove pressiometriche (S445bis) che, pur rappresentando il comportamento a medie deformazioni, evidenziano spesso valori più alti (380-800MPa rispettivamente a 25 e 35m da p.c.).

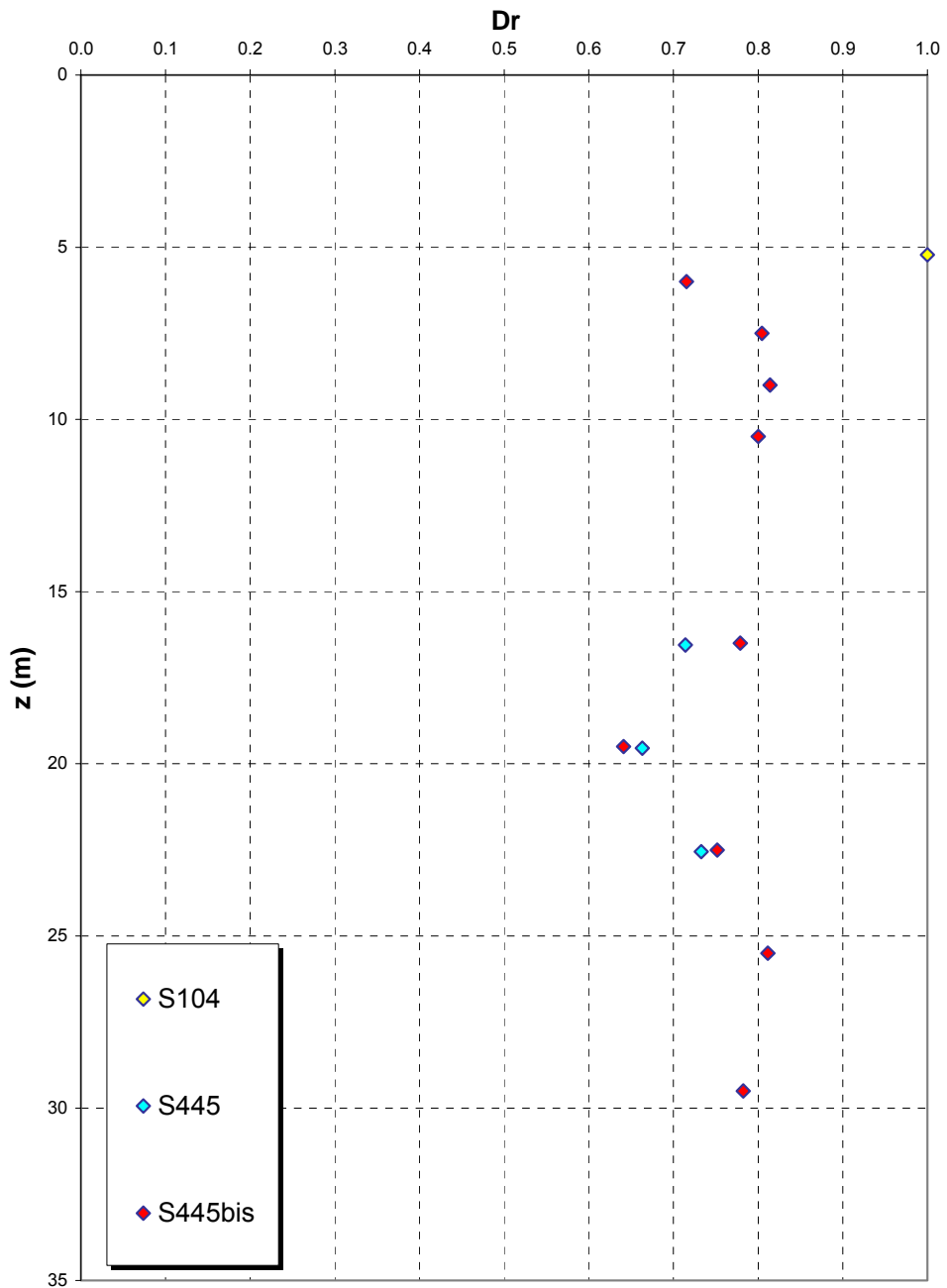
Sabbie e ghiaie di Messina



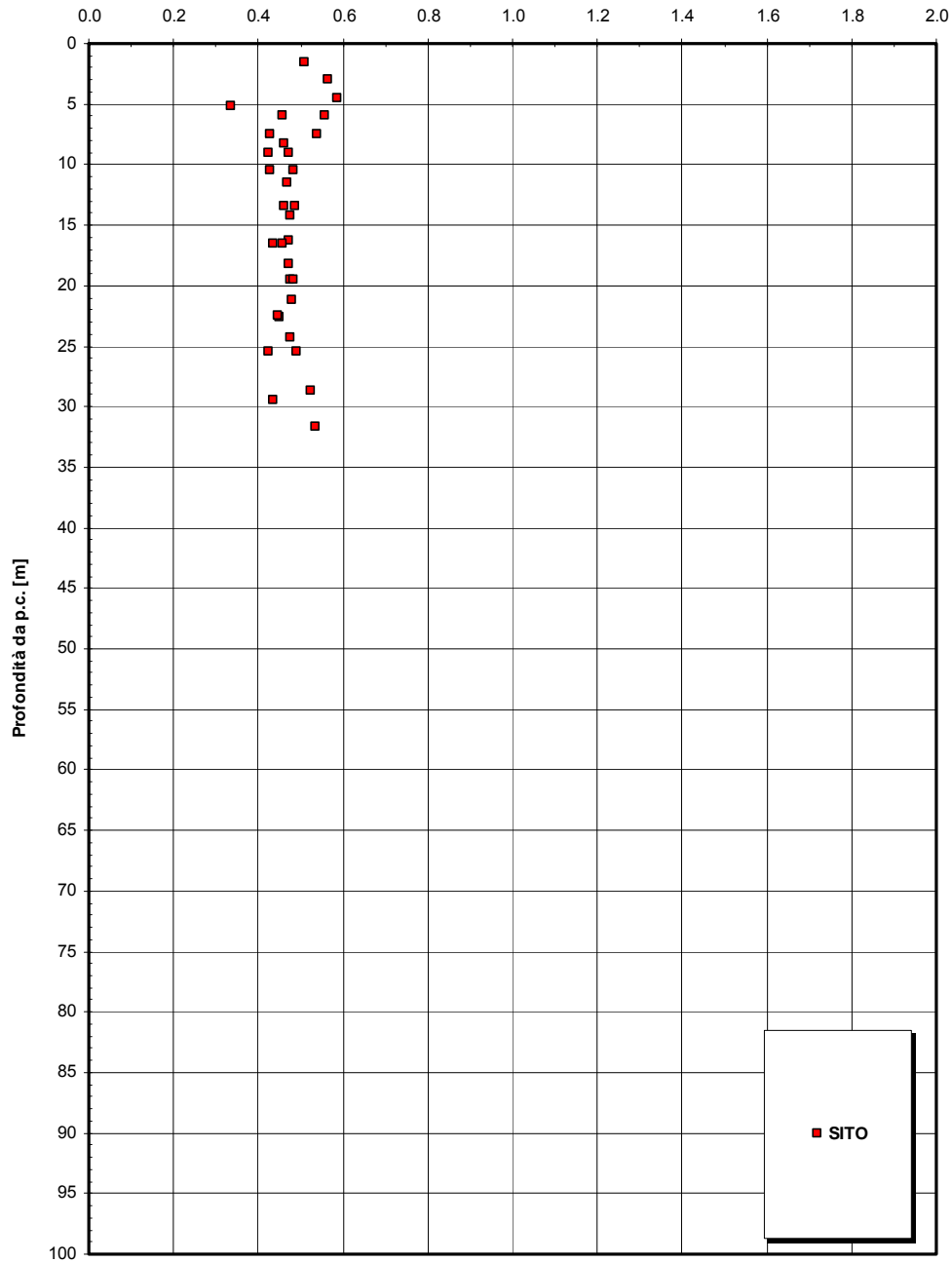
Dr Skempton (1986)
Componente sabbiosa prevalente
SABBIE E GHIAIE DI MESSINA

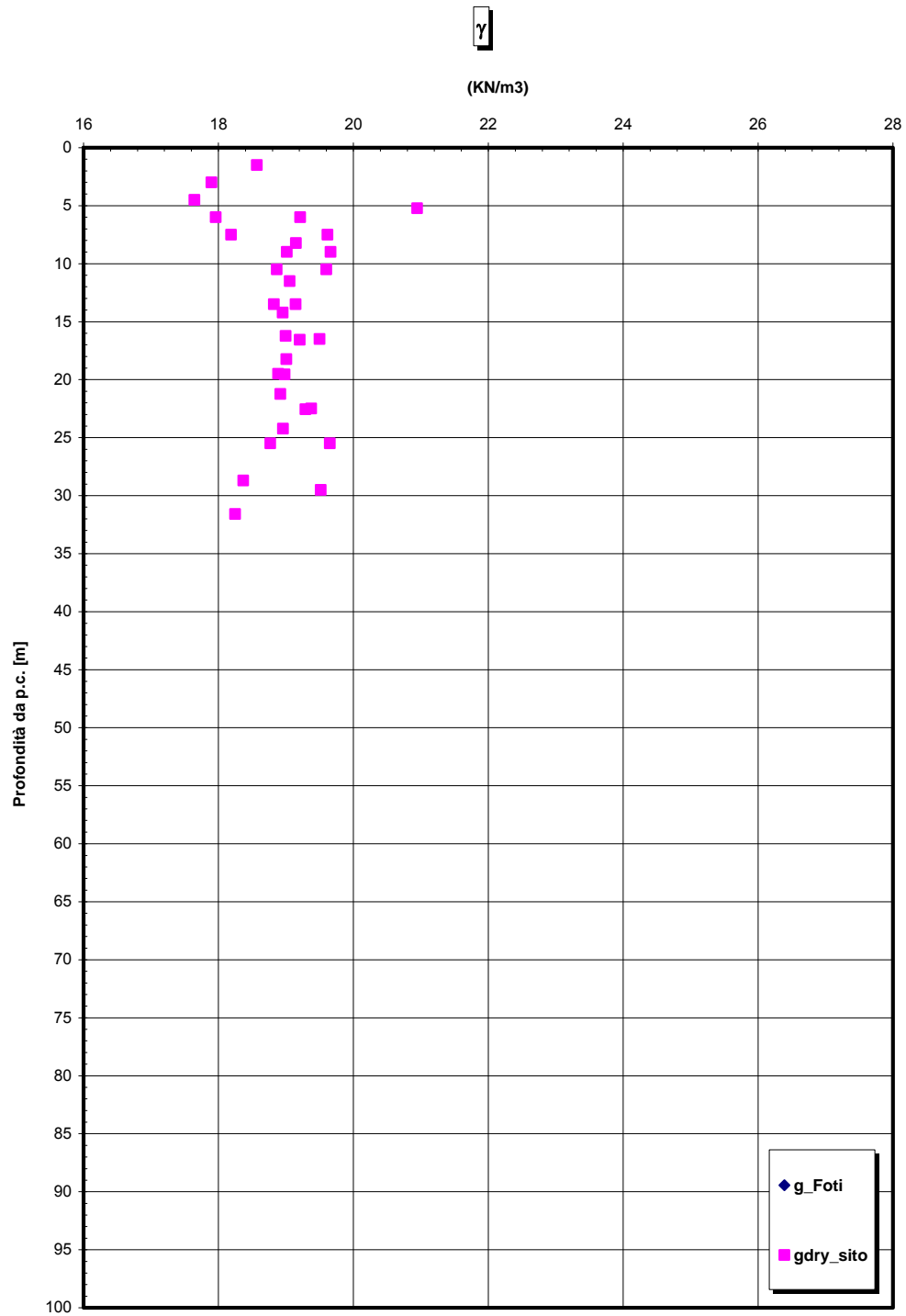


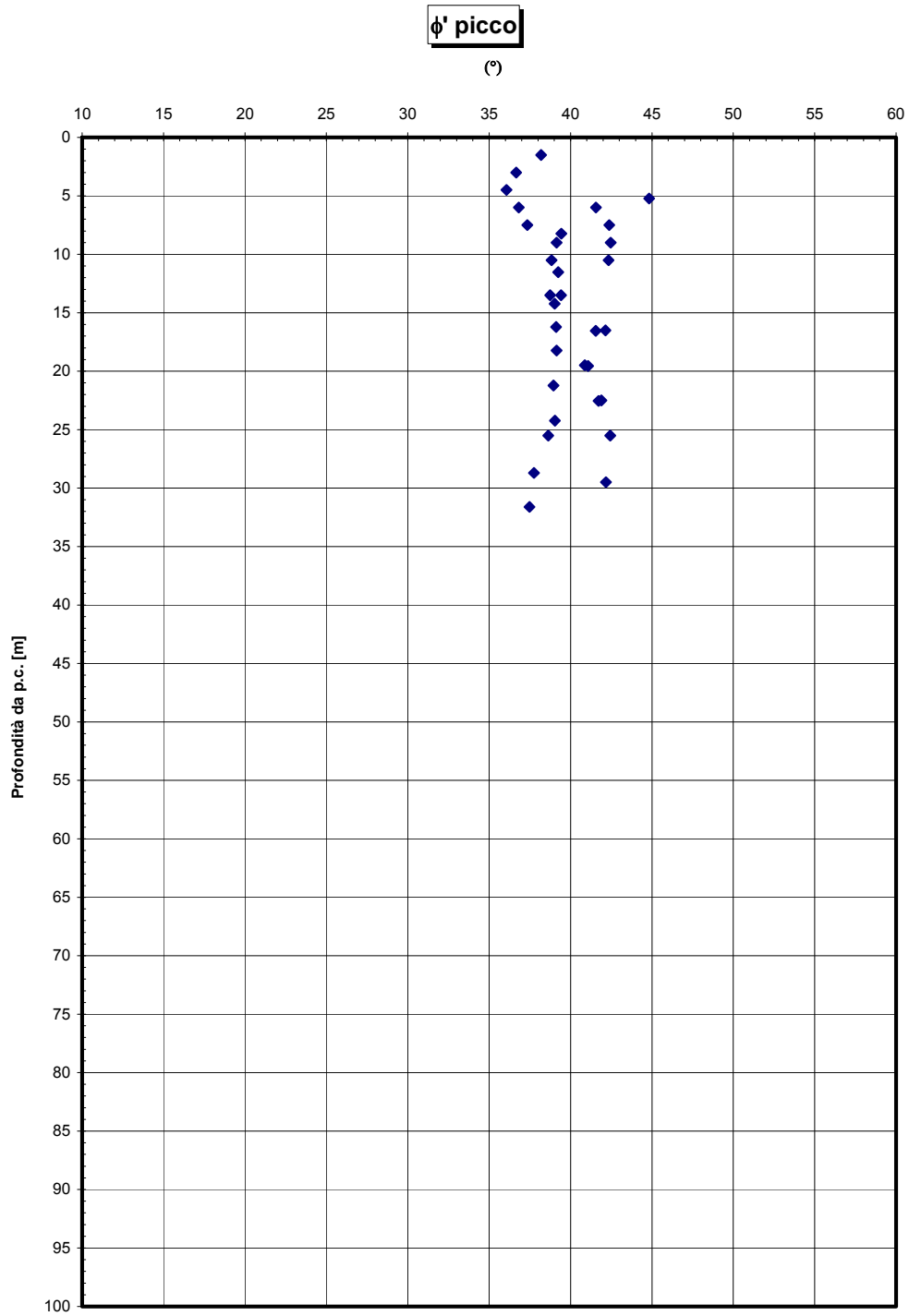
Dr Cubrinovski e Ishihara (1999)
Componente ghiaiosa e sabbiosa
SABBIE E GHIAIE DI MESSINA



eo

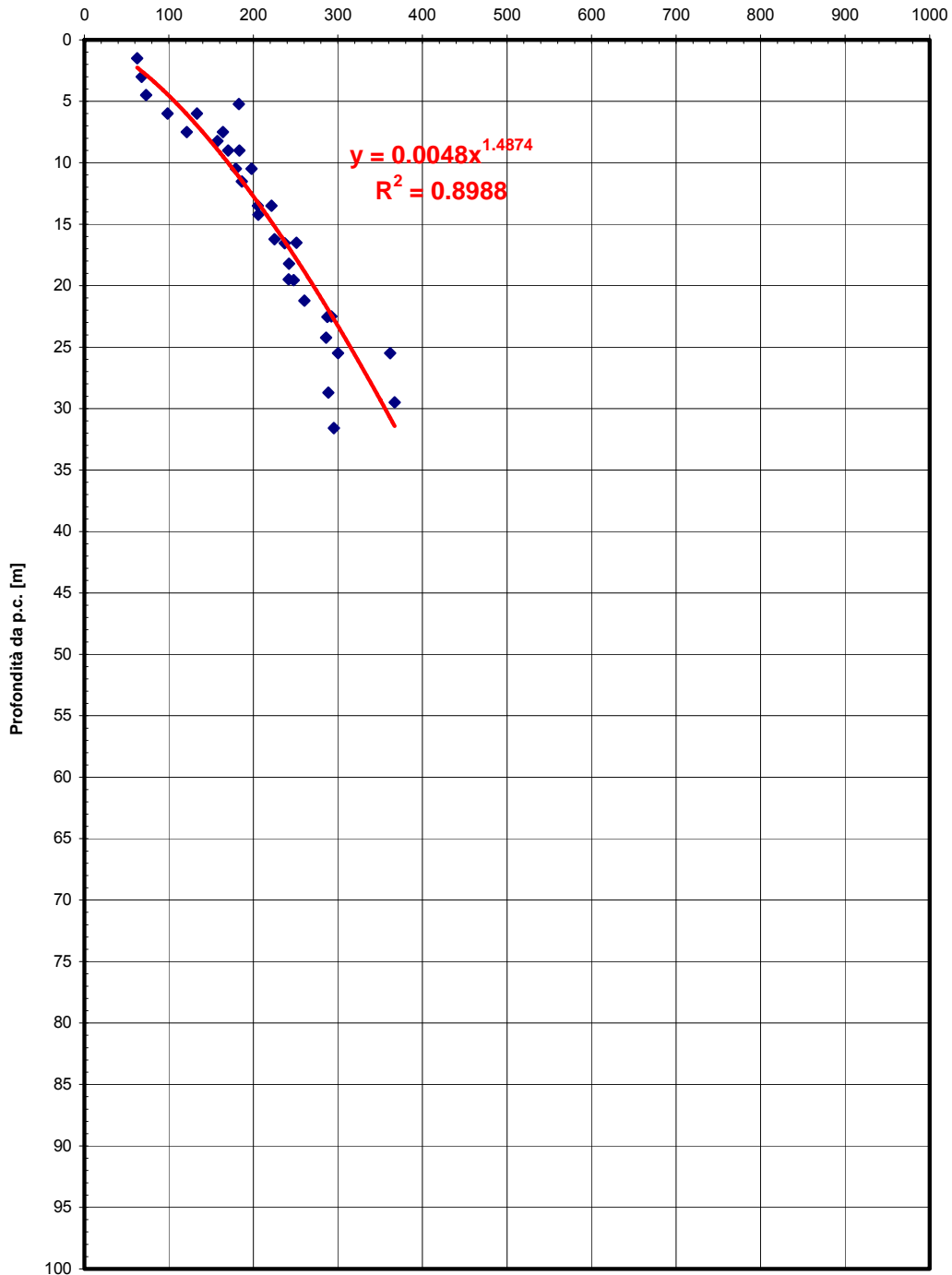




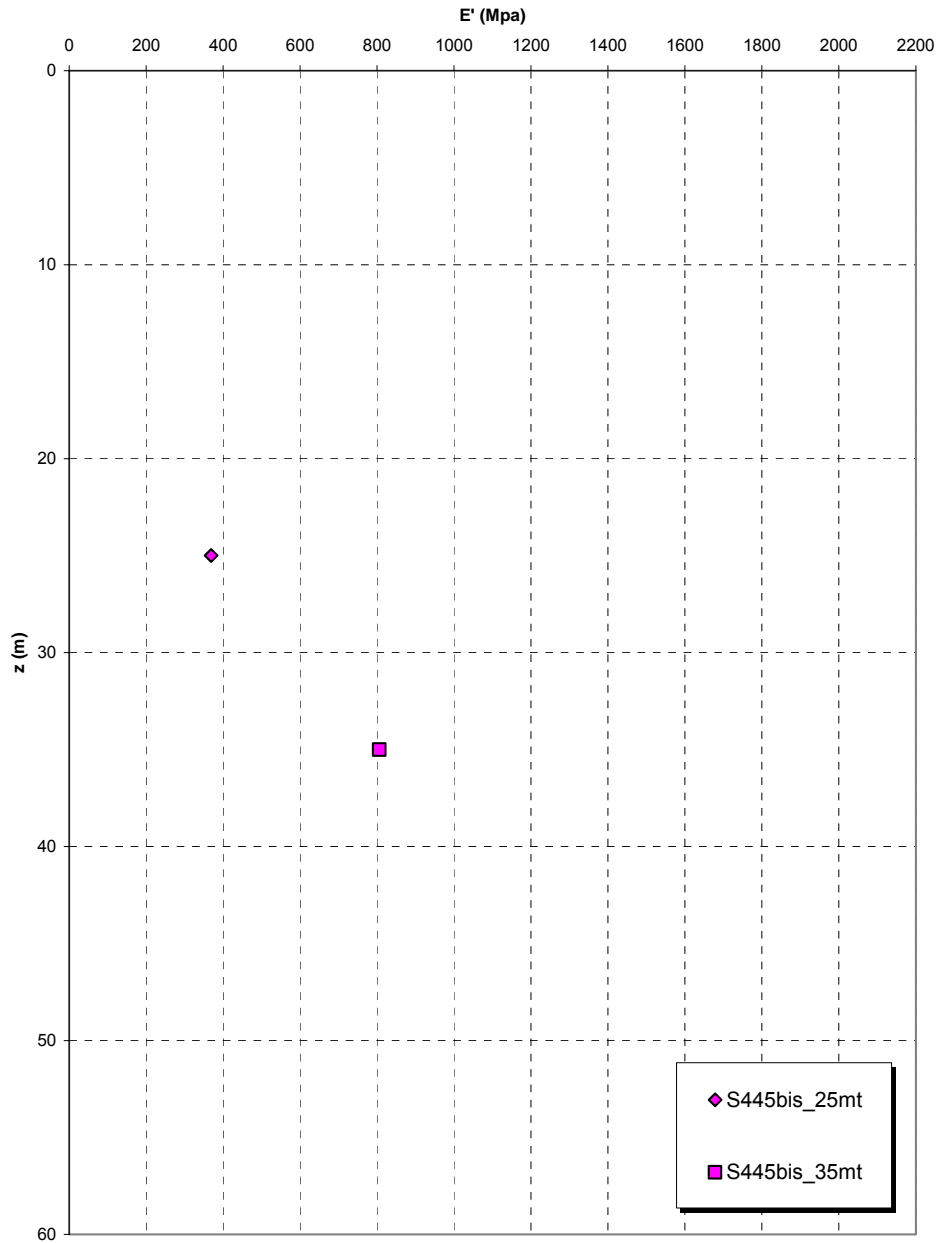


Go spt

(MPa)



**Prove pressiometriche
SABBIE E GHIAIE DI MESSINA**



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELLE OPERE		<i>Codice documento</i> ST0118_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

4.2.4 Parametri principali assunti

Dai profili stratigrafici generale della tratta principale si evince che, per le ridotte profondità delle fondazioni dirette utilizzate, la sola litologia interessata risulta essere quella dei depositi alluvionali.

Parametri principali assunti – GHIAIE DI MESSINA

Peso di volume	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$
Peso di volume saturo	$\gamma_s = 20 \text{ KN/m}^3$
Angolo di attrito interno	$\phi' = 38^\circ$
Angolo di attrito terreno – fondazione	$\delta = 25,33$ pari ai 2/3 di ϕ'
Modulo deformazione elastico (z=3 m)	$E' = 45 \text{ MPa}$

4.3 CARATTERIZZAZIONE DELLA SISMICITA' DEL LUOGO

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

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

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

Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno TR 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELLE OPERE	<i>Codice documento</i> ST0118_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

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.

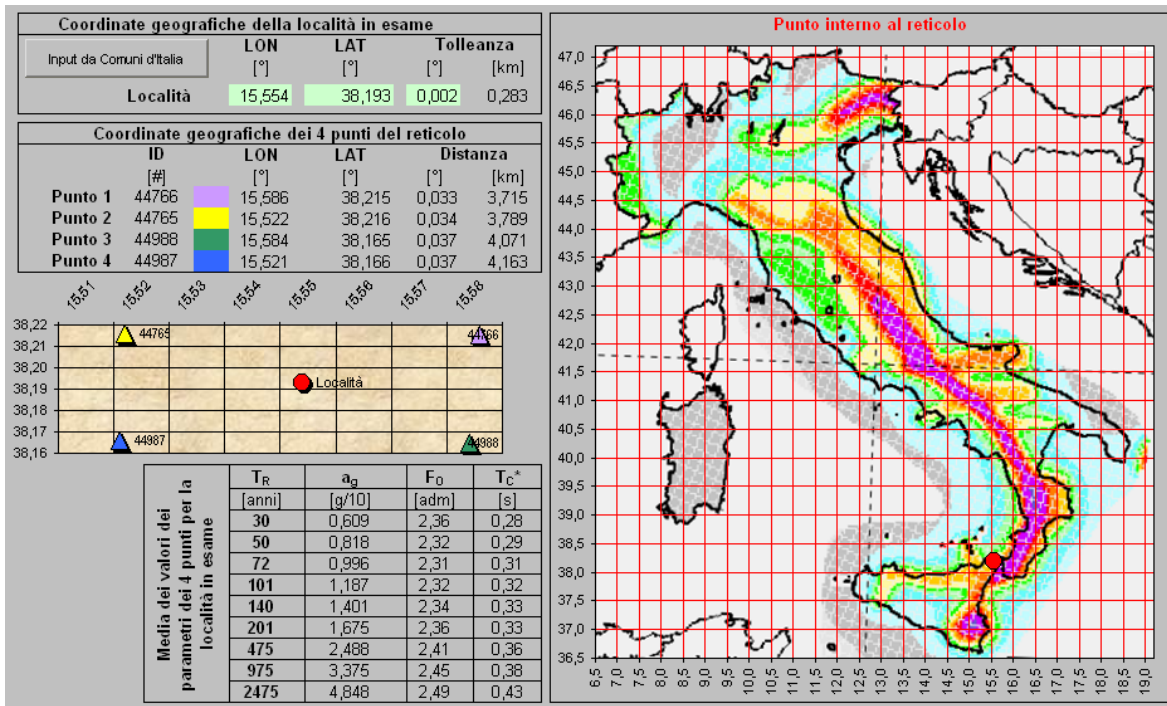
A tal fine è conveniente utilizzare, come parametro caratterizzante la pericolosità sismica, il periodo di ritorno dell'azione sismica T_R , espresso in anni. Fissata la vita di riferimento V_R , i due parametri T_R e P_{VR} sono immediatamente esprimibili, l'uno in funzione dell'altro, mediante l'espressione:

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

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:



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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELLE OPERE	<i>Codice documento</i> ST0118_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

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

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

4.4.2 Verifiche agli stati limite di esercizio

4.4.2.1 Definizione degli stati limite di fessurazione

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

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

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

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

$$w_1 = 0,1 \text{ mm}$$

$$w_2 = 0,2 \text{ mm}$$

$$w_3 = 0,3 \text{ mm}$$

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:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELLE OPERE		<i>Codice documento</i> ST0118_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011

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

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

4.4.2.3 Sensibilità delle armature alla corrosione

Le armature si distinguono in due gruppi:

- armature sensibili;
- armature poco sensibili.

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

4.4.2.4 Scelta degli stati limite di fessurazione

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

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	$\leq w_1$

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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELLE OPERE	<i>Codice documento</i> ST0118_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

Stato limite di apertura delle fessure

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

Il valore caratteristico di calcolo è dato da:

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

dove w_m rappresenta l'ampiezza media delle fessure.

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

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

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

$$\varepsilon_{sm} \geq 0.6 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s}$$

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

4.4.2.6 Verifiche delle tensioni in esercizio

Valutate le azioni interne nelle varie parti della struttura, dovute alle combinazioni caratteristica e quasi permanente delle azioni, si calcolano le massime tensioni sia nel calcestruzzo sia nelle armature; si deve verificare che tali tensioni siano inferiori ai massimi valori consentiti di seguito riportati.

Tensione massima di compressione del calcestruzzo nelle condizioni di esercizio

La massima tensione di compressione del calcestruzzo σ_c , deve rispettare la limitazione seguente:

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

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

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELLE OPERE	<i>Codice documento</i> ST0118_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

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

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

4.4.3 Azioni sismiche

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

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

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

4.4.3.1 Vita nominale

La vita nominale di un'opera strutturale è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata. Nel caso in oggetto, secondo quanto prescritto al paragrafo 2.4 delle "Nuove Norme tecniche per le costruzioni – D.M. 14 gennaio 2008", la vita nominale si assume pertanto pari a **$V_N = 50$ anni**.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELLE OPERE	<i>Codice documento</i> ST0118_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

4.4.3.2 Classe d'uso

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

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

4.4.3.3 Periodo di riferimento per l'azione sismica

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

$$V_R = V_N \times C_U = 50 \text{ anni} \times 2 = 100 \text{ anni}$$

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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELLE OPERE	<i>Codice documento</i> ST0118_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20-06-2011	

5 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	1S	G0	00	00	00	03	A
CG0700	P	SH	D	S	CS	1S	G0	00	00	00	01	A
CG0700	P	CL	D	S	CS	1S	G0	00	00	00	01	A
CG0700	P	P8	D	S	CS	1S	G0	00	00	00	03	A
CG0700	P	PA	D	S	CS	1S	G0	00	00	00	17	A
CG0700	P	SZ	D	S	CS	1S	G0	00	00	00	04	A