



PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA



PROGETTO DEFINITIVO

EUROLINK S.C.p.A.

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

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

<p><i>Unità Funzionale</i> COLLEGAMENTI SICILIA</p> <p><i>Tipo di sistema</i> INFRASTRUTTURA FERROVIARIA – OPERE CIVILI</p> <p><i>Raggruppamento di opere/attività</i> LINEA FERROVIARIA DA OPERA DI ATTRAVERSAMENTO A STAZIONE DI MESSINA</p> <p><i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i> POSTO DI MANUTENZIONE – SOTTOPASSO PEDONALE</p> <p><i>Titolo del documento</i> RELAZIONE GEOTECNICA</p>	<p>SF0217_F0</p>
---	------------------

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>B</td><td>D</td><td>S</td><td>F</td><td>C</td><td>L</td><td>2</td><td>P</td><td>M</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>0</td><td>1</td><td>F0</td> </tr> </table>	C	G	0	7	0	0	P	R	B	D	S	F	C	L	2	P	M	0	0	0	0	0	0	1	F0
C	G	0	7	0	0	P	R	B	D	S	F	C	L	2	P	M	0	0	0	0	0	0	1	F0		

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 GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

INDICE

INDICE.....	3
PREMESSA.....	5
1 RIFERIMENTI NORMATIVI.....	5
2 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	7
3 CARATTERISTICHE MATERIALI	9
3.1 Calcestruzzi (Secondo UNI 11104 - 2004).....	9
3.1.1 Acciaio per armature (Secondo NTC 2008 – D.M. 14/01/2008).....	9
4 DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA	11
4.1 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E UBICAZIONE DELLA STRUTTURA	11
4.2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL LUOGO	12
4.2.1 Descrizione delle litologie.....	12
4.2.2 Indagini previste	13
4.2.3 Caratterizzazione geotecnica	13
4.2.4 Parametri principali assunti	38
4.3 CARATTERIZZAZIONE DELLA SISMICITA' DEL LUOGO	38
4.3.1 Azioni sismiche.....	38
4.3.1.1 Vita nominale.....	39
4.3.1.2 Classe d'uso	39
4.3.1.3 Periodo di riferimento per l'azione sismica	39
4.3.1.4 Parametri di progetto.....	40
4.3.1.5 Classificazione sismica del terreno	41
4.3.1.6 Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali	42
5 ANALISI DELLE FONDAZIONI	43
5.1 COMBINAZIONE DELLE SOLLECITAZIONI.....	43
5.2 RISULTATI DELL'ANALISI	45
5.3 VERIFICHE GEOTECNICHE.....	46
5.3.1 MODELLO DI CALCOLO	46
5.3.1.1 DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO.....	46
5.3.1.2 VERIFICHE APPROCCIO 1 – COMBINAZIONE 1	57
5.3.1.3 VERIFICHE APPROCCIO 1 – COMBINAZIONE 2	67
5.3.1.4 VERIFICHE SLE - CEDIMENTI.....	77

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

6	5.3.1.5 VALUTAZIONE DEI RISULTATI	91
	ELABORATI DI RIFERIMENTO	93

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

PREMESSA

La presente relazione tratta il sottopasso pedonale per il posto di manutenzione ferroviario alla progressiva circa 5+500 (binario dispari) ideato come opera con finalità di attraversamento della tratta ferroviaria Messina-Reggio Calabria.

Il posto di manutenzione è ubicato in adiacenza alla Strada Provinciale n°48 in un tratto in cui la ferrovia si distanzia dalle carreggiate principali dell'Autostrada Messina – Reggio Calabria; vista l'orografia piuttosto complessa della zona si richiede uno scavo propedeutico ai lavori di realizzazione della struttura per portarsi alla quota di cantiere.

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.



Ponte sullo Stretto di Messina
PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE GEOTECNICA

Codice documento
SF0217_F0

<i>Rev</i>	<i>Data</i>
F0	20/06/2011

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_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.



Ponte sullo Stretto di Messina
PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE GEOTECNICA

Codice documento
SF0217_F0

<i>Rev</i>	<i>Data</i>
F0	20/06/2011

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

3 CARATTERISTICHE MATERIALI

Si riportano nel seguito i materiali previsti per la realizzazione delle componenti strutturali principali dell'opera oggetto della presente relazione.

3.1 Calcestruzzi (Secondo UNI 11104 - 2004)

Per sottofondazioni

classe di resistenza

C12/15

classe di esposizione

XC0

Fondazioni

classe di resistenza

C25/30

modulo elastico

$E_c = 31.447 \text{ N/mm}^2$

massa volumica di riferimento

$\gamma_c = 25,00 \text{ kN/m}^3$

resistenza caratteristica a compressione cilindrica

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

resistenza media a compressione cilindrica

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

resistenza di calcolo a compressione

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

resistenza a trazione (valore medio)

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

resistenza caratteristica a trazione

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

resistenza caratteristica a trazione per flessione

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

tensione a SLE – combinazione rara

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

tensione a SLE – combinazione quasi permanente

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

copriferro

$C = 40 \text{ mm}$

classe di esposizione

XC2

contenuto massimo di cloruri nel calcestruzzo

$cl = 0,20$

classe di consistenza slump

S4

max dimensione aggregati

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

rapporto A/C massimo

0,50

Elevazioni, muri, solette

classe di resistenza

C32/40

modulo elastico

$E_c = 36.050 \text{ N/mm}^2$

massa volumica di riferimento

$\gamma_c = 25,00 \text{ kN/m}^3$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

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

	B450C		
tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} =$	450	N/mm ²
tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} =$	540	N/mm ²
resistenza di calcolo a trazione	$f_{vd} =$	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 GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_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 il sottopasso pedonale per il posto di manutenzione ferroviario alla progressiva circa 5+500 (binario dispari) ideato come opera con finalità di attraversamento della tratta ferroviaria Messina-Reggio Calabria.

Il posto di manutenzione è ubicato in adiacenza alla Strada Provinciale n°48 in un tratto in cui la ferrovia si distanzia dalle carreggiate principali dell'Autostrada Messina – Reggio Calabria; vista l'orografia piuttosto complessa della zona si richiede uno scavo propedeutico ai lavori di realizzazione della struttura per portarsi alla quota di cantiere.

L'opera in questione risulta totalmente interrata, in coerenza con i presupposti logici di tale tipologia strutturale. Geometricamente essa è schematizzabile come uno scatolare a sezione quadrata realizzato in c.a, caratterizzato da uno sviluppo longitudinale di 50,93 m avente estradosso a circa 80 cm dalla quota ferro minore tra i binari che lo sovrappassano; alle estremità Nord e Sud dello scatolare sono ubicate le uscite che portano dalla quota della strada di servizio e dei marciapiedi a quella dello scatolare stesso, per una differenza totale di 3,70 m.

La soletta di base del tratto scatolare presenta una larghezza di 3,80 m e uno spessore pari a 0,40 m. Lateralmente ad essa corrono due muri laterali che presentano uno stacco in elevazione pari a 3,30 m totale per un'altezza netta interna di 2,50 m. Il completamento dello schema scatolare è quindi realizzato previa interposizione tra la sommità dei muri laterali e il terreno sovrastante di una soletta superiore spessa 0,40 m.

Alle due estremità dello scatolare sono poste le uscite lato nord e lato sud, caratterizzate invece da elevazioni di spessore pari a 30 cm e da soletta di base di spessore 40 cm; tali uscite presentano forma in pianta pseudo-rettangolare e includono le rampe di scale e le rampe inclinate. In queste zone non è presente una soletta di copertura in calcestruzzo, bensì una copertura leggera composta da un telaio in acciaio e da pannelli in policarbonato antiurto dello spessore di 4 mm.

Per quanto concerne le specifiche tecniche adottate nell'ambito della progettazione, si fa riferimento alla presente relazione, e alle normative di riferimento indicate nel seguito.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

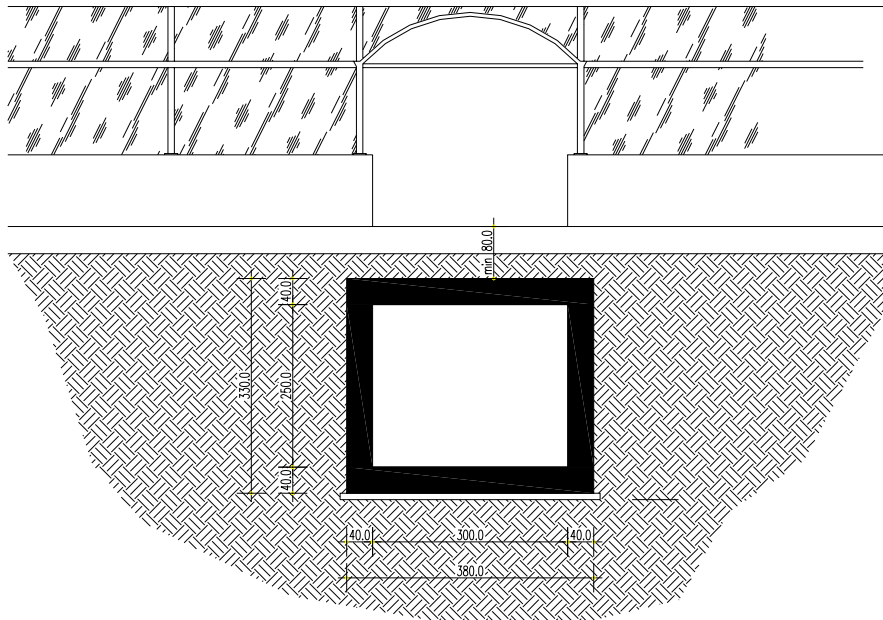


Figura 1.1 – Sezione tipo sottopasso

4.2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL LUOGO

4.2.1 Descrizione delle litologie

Le litologie presenti sono le Sabbie e Ghiaie di Messina e i 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.

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

recenti è l'Olocene.

La falda non risulta interferente con le opere come si evince dai seguenti elaborati:

- CG0800PRBDSSBC8G000000001
Relazione geotecnica generale versante Sicilia
- CG0800PRGDSSBC6G000000003
Relazione idrogeologica
- CG0800PN5DSSBC6G000000009-10-11-12
Carta idrogeologica versante Sicilia
- CG0800PF6DSSBC6TF00000001-2-3-4-5-6-7-8-33-34-35-36-37-38-39
Tracciato ferroviario - Binario Pari - Profilo geologico-geotecnico
- CG0800PF6DSSBC6TF00000017-18-19-20-21-22-23-24-40-41-42-43-44-45-46
Tracciato ferroviario - Binario Dispari - Profilo geologico-geotecnico

4.2.2 Indagini previste

I sondaggi di riferimento per la presente tratta (ferrovia da 5+1 a 5+6 km) sono S447 e S448 (campagna del 2010).

Alla zona in esame si assegna la categoria di suolo sismico (secondo N.T.C. 2008) di classe **C** (S447).

Le prove localmente utilizzate nella caratterizzazione sono:

- prove granulometriche (sondaggi S447)
- prove SPT (sondaggi S447 e S448)
- 1 prova Cross hole (sondaggio S447)
- 4 prove pressiometriche (sondaggi S447 e S448)
- 4 prove Le Franc (sondaggi S447 e S448).

4.2.3 Caratterizzazione geotecnica

Per i criteri e per gli aspetti generali di caratterizzazione si rimanda a quanto riportato nella relazione Elab. CG0800PRBDSSBC8G000000001. Per la definizione delle categorie di suolo si rimanda al medesimo elaborato ed alla relazione sismica di riferimento.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Sabbie e Ghiaie di Messina

Con riferimento al fuso medio (8 prove granulometriche) si ha che: $d_{50}=2\text{mm}$, $d_{60}=4\text{mm}$ e $d_{10}=0.04\text{mm}$. le percentuali medie di ghiaia, sabbia e limo sono rispettivamente di 50%, 40%, 9%.

- **Dr:** I valori di N_{spt} sono stati corretti con il fattore correttivo $C_{\text{sg}}=0.55$ corrispondente al $d_{50}=2\text{mm}$
- **e_o :** a partire dal d_{50} stimato si ottiene di $e_{\text{max}}-e_{\text{min}}$ pari a 0.26, non dissimile dai valori reperibili in letteratura ($0.17 < e_{\text{max}}-e_{\text{min}} < 0.29$) 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 0.5-0.6.
- **γ_d :** in base a tali valori di e_o e da γ_s si può stimare $\gamma_d = 17-18 \text{ KN/m}^3$
- **K_0 :** si considera la relazione di Mesri (1989) per tenere conto degli effetti di "aging".

Per i parametri di resistenza:

$z(\text{m})$	Dr(%) Sabbie e ghiaie	ϕ'_p (pff=0-272KPa) (°)	ϕ'_{cv} (°)	K_0
0-10	35-70	38-42	33-35	0.4-0.45
>10	40-60	38-40	33-35	0.4

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 S447 con i quali si evidenzia una buona correlazione delle Vs determinate tramite prove SPT.

Come riferimento per il calcolo delle pressione efficace media non si considera la presenza della falda.

$$G_0 = 43 z^{0.62}$$

$$E_0 = 105 z^{0.62}$$

$$E' = (14 \div 35) z^{0.62}$$

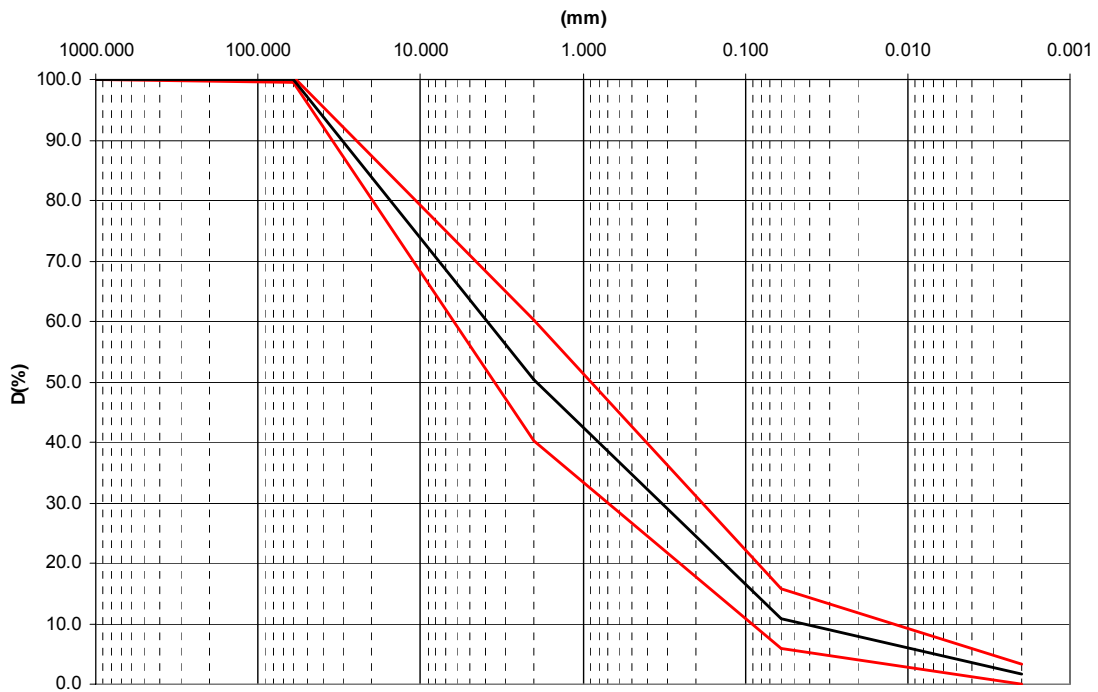
pari rispettivamente a circa $1/10 \div 1/5$ (medio - alte deformazioni) ed ad $1/3$ di quelli iniziali (piccole deformazioni).

Le quattro prove pressiometriche (S447 e S448 valori del ramo di carico) mostrano anche in

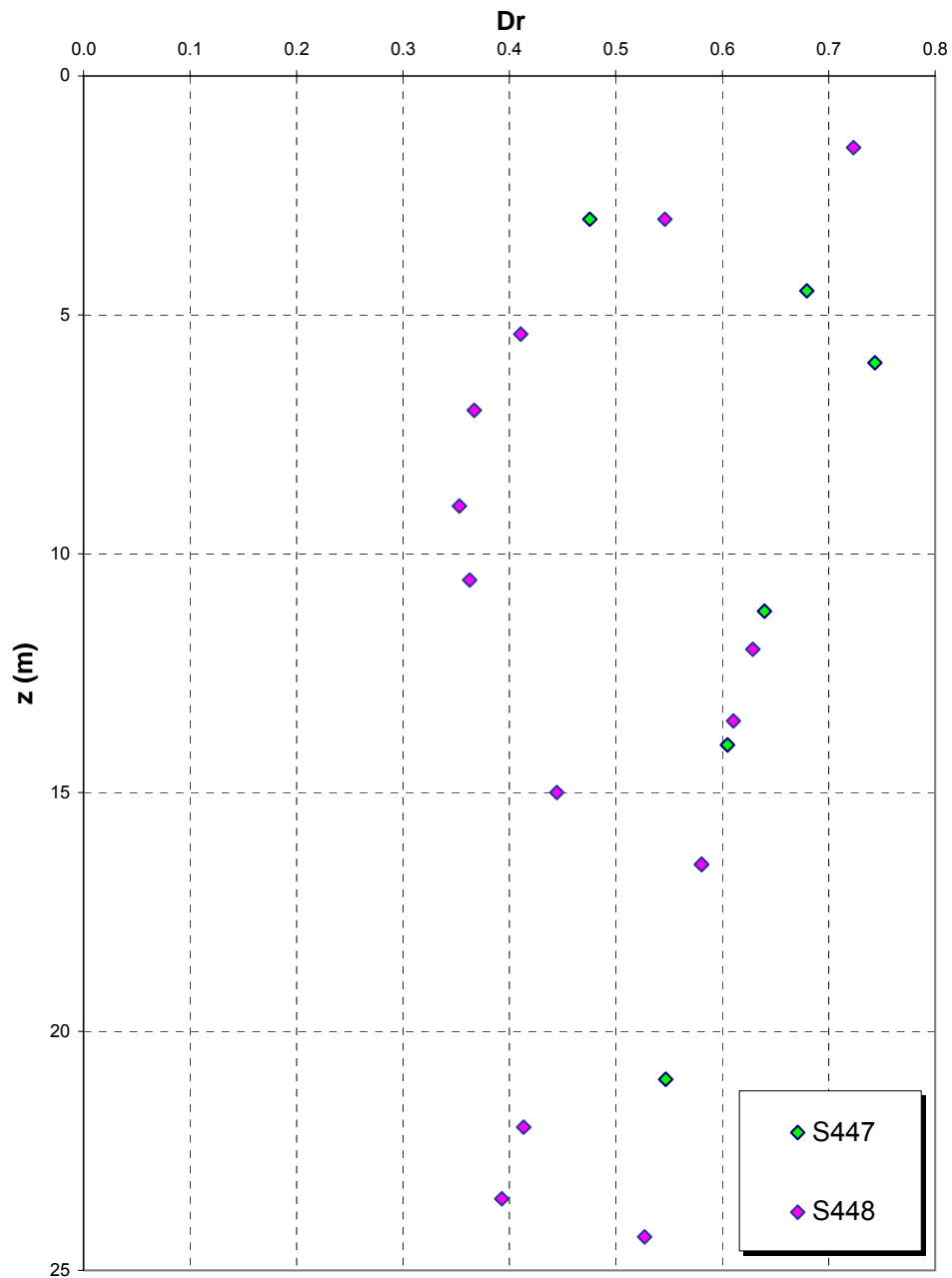
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011


questo caso valori dei moduli E' più alti rispetto a quelli del range operativo, mostrando fra 10 e 25m di profondità una variabilità compresa fra 350 e 800 Mpa

Sabbie e ghiaie di Messina

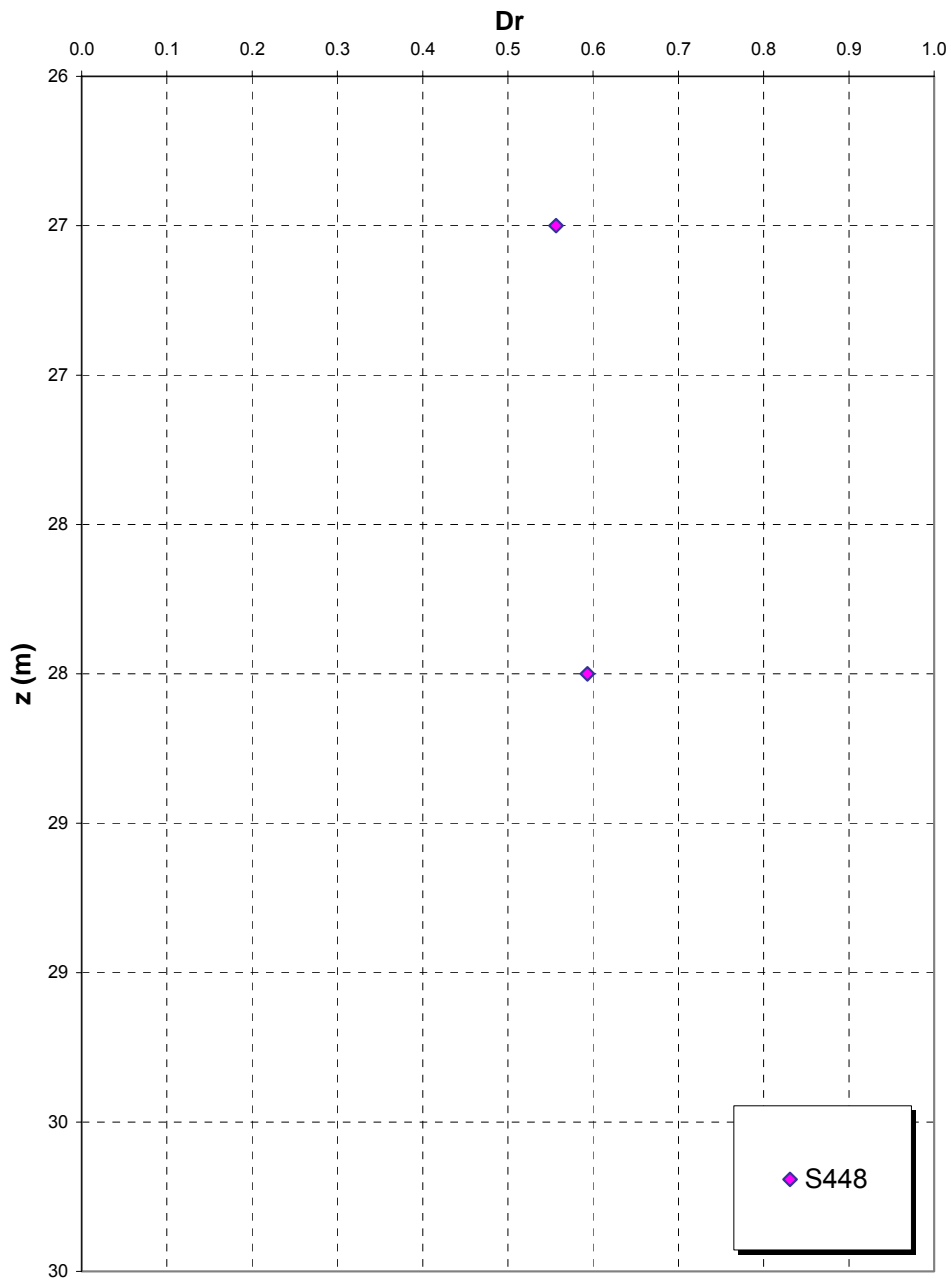


**Dr Cubrinovski e Ishihara (1999)
Componente ghiaiosa e sabbiosa
SABBIE E GHIAIE DI MESSINA**

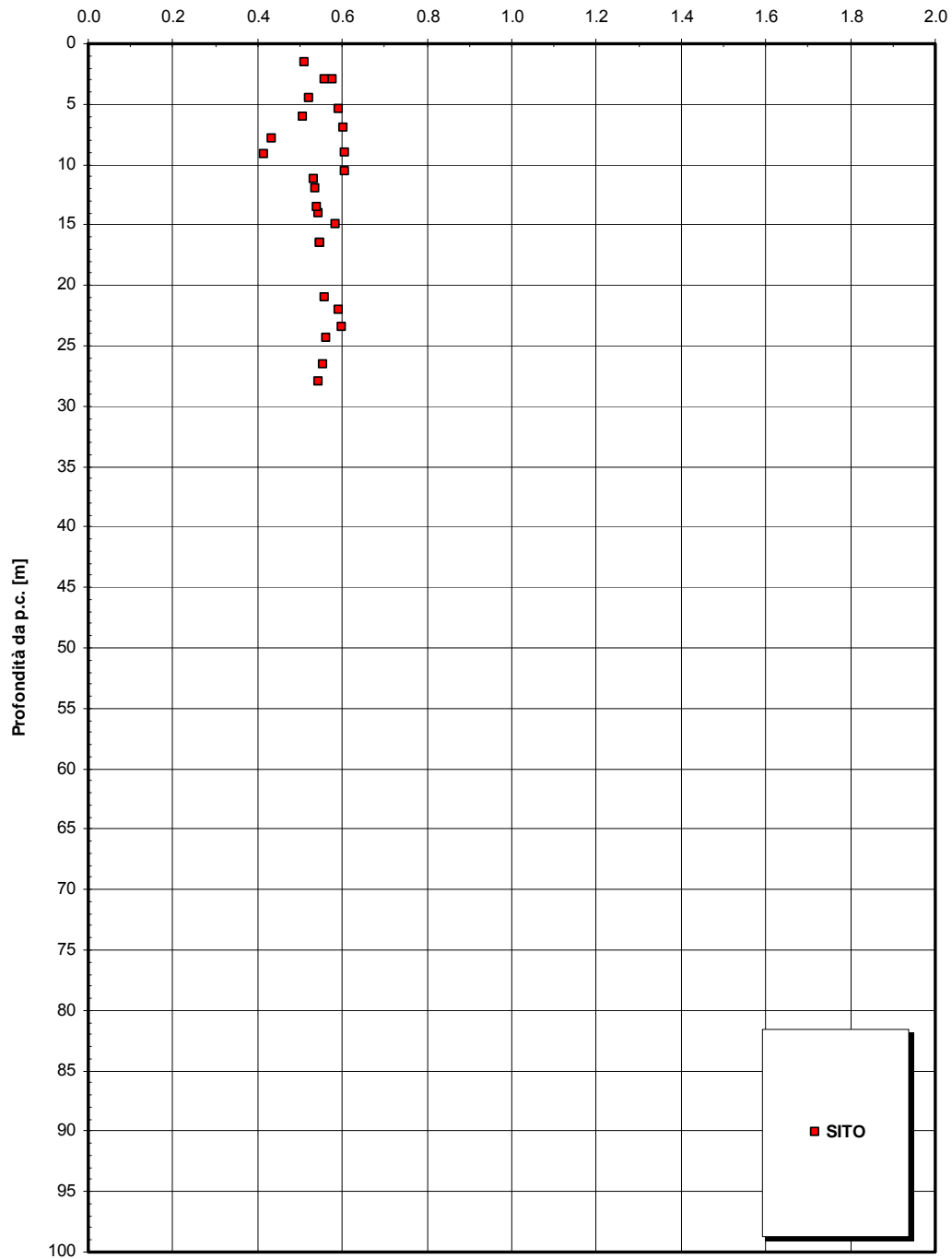


		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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



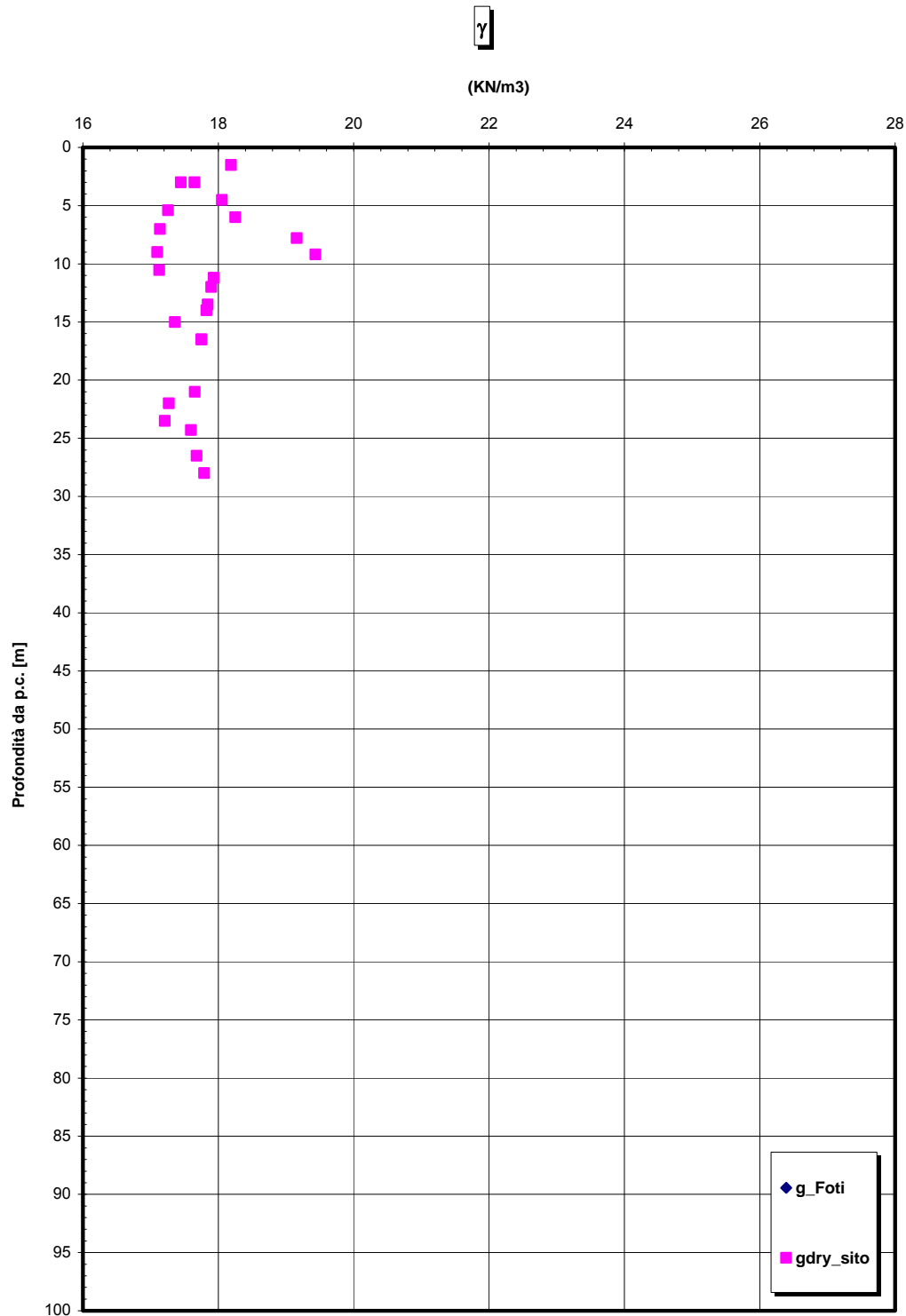
eo

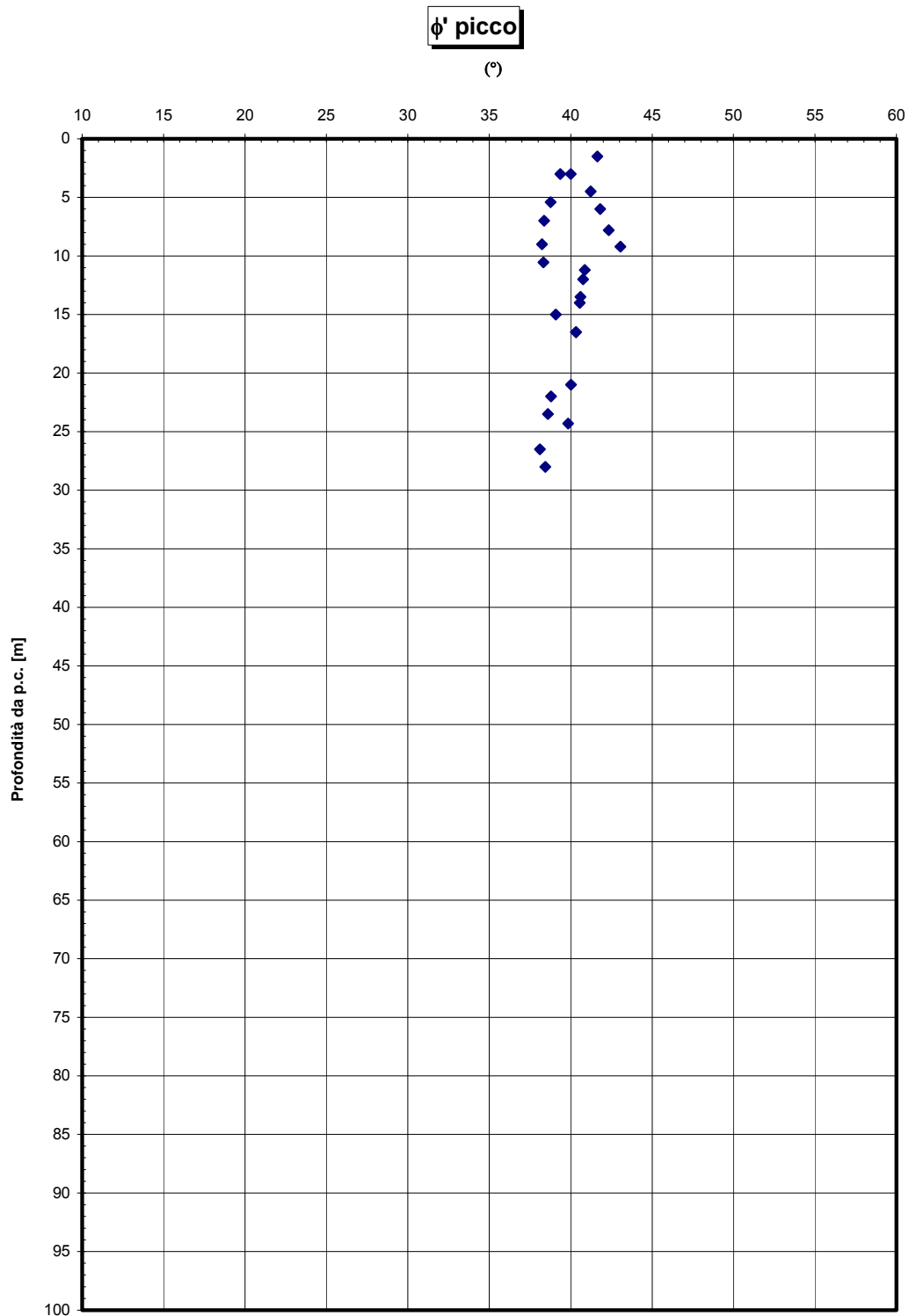


RELAZIONE GEOTECNICA

Codice documento
SF0217_F0

Rev	Data
F0	20/06/2011





RELAZIONE GEOTECNICA

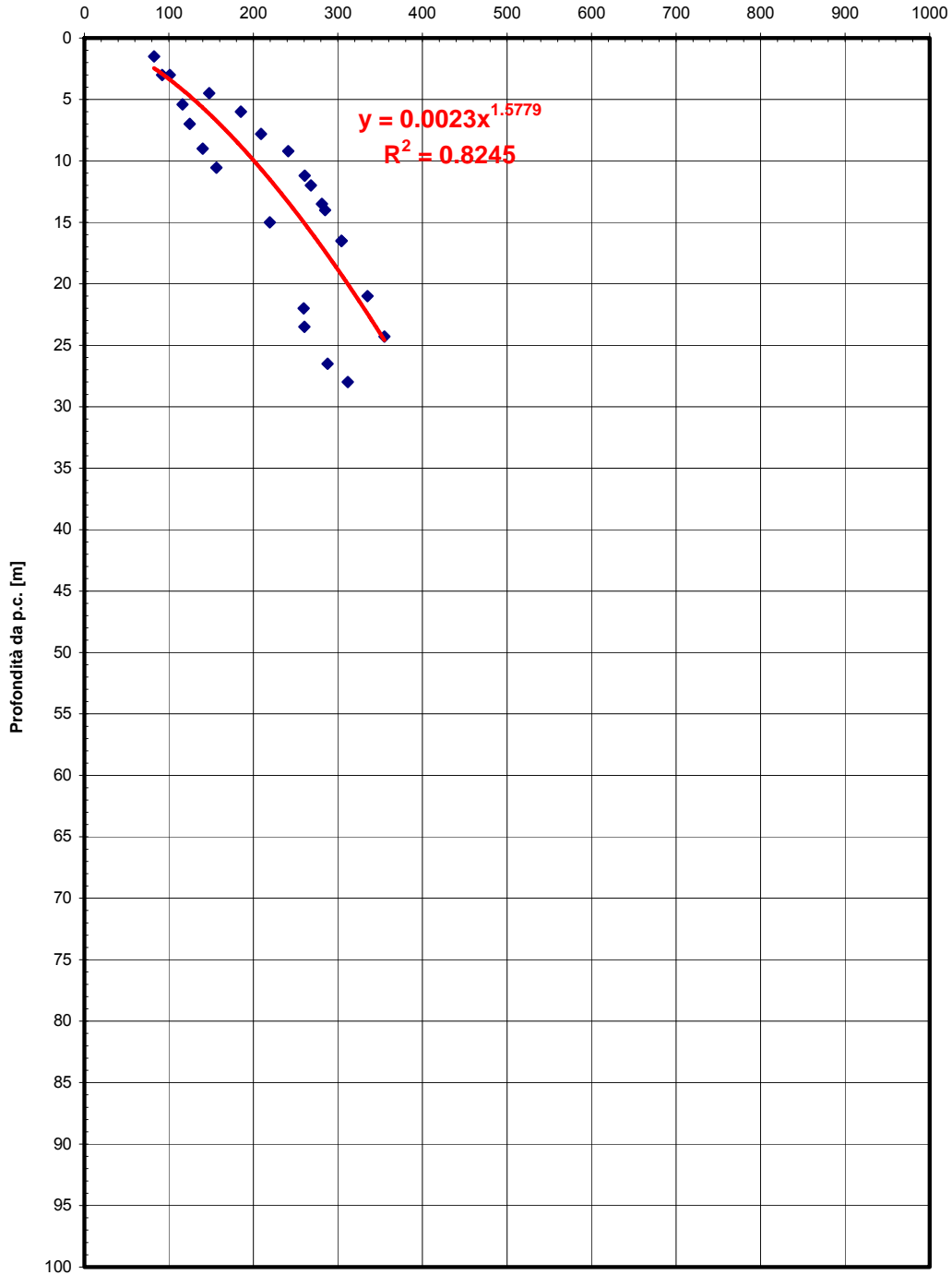
Codice documento
SF0217_F0

Rev
F0

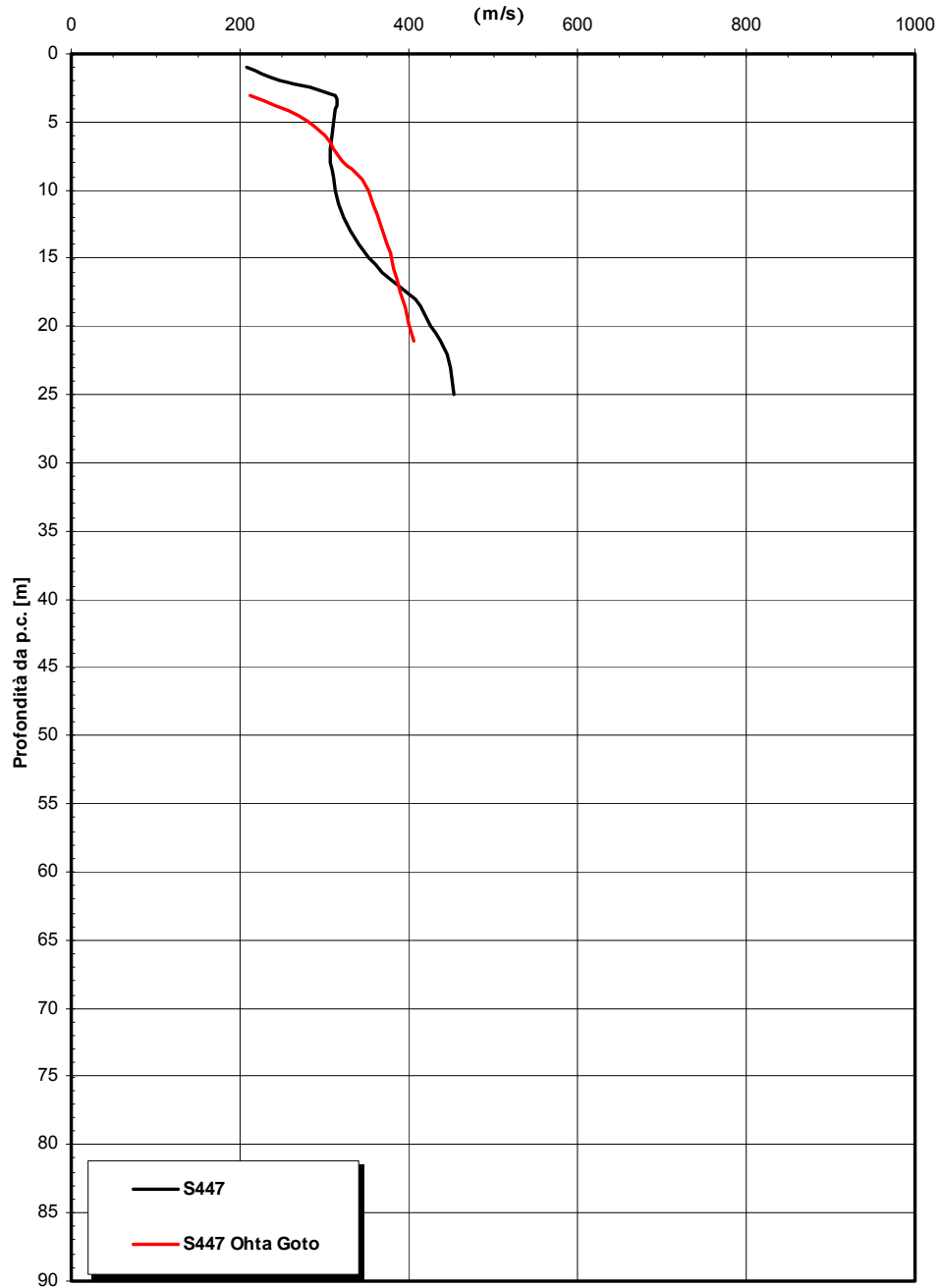
Data
20/06/2011

Go spt

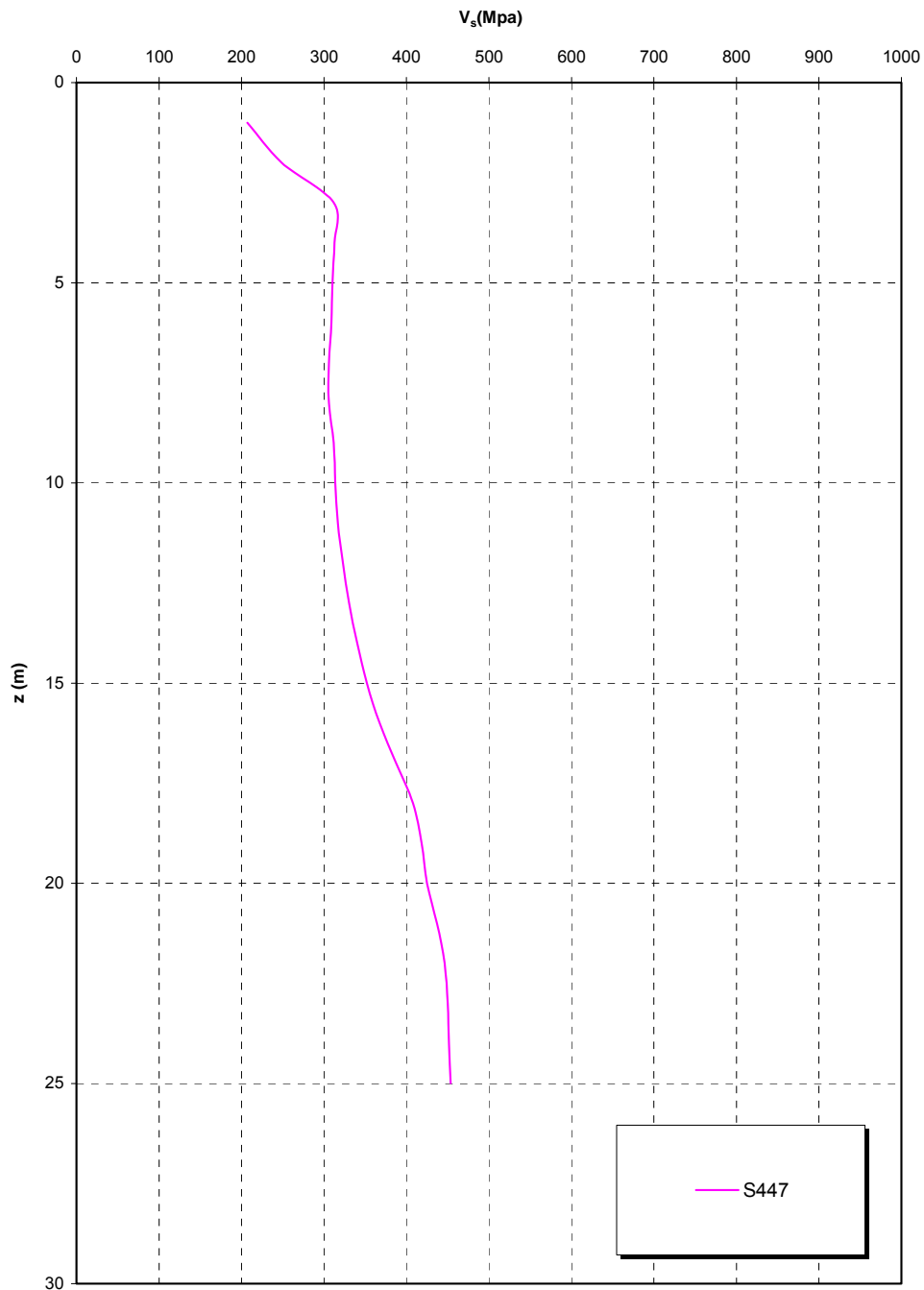
(MPa)



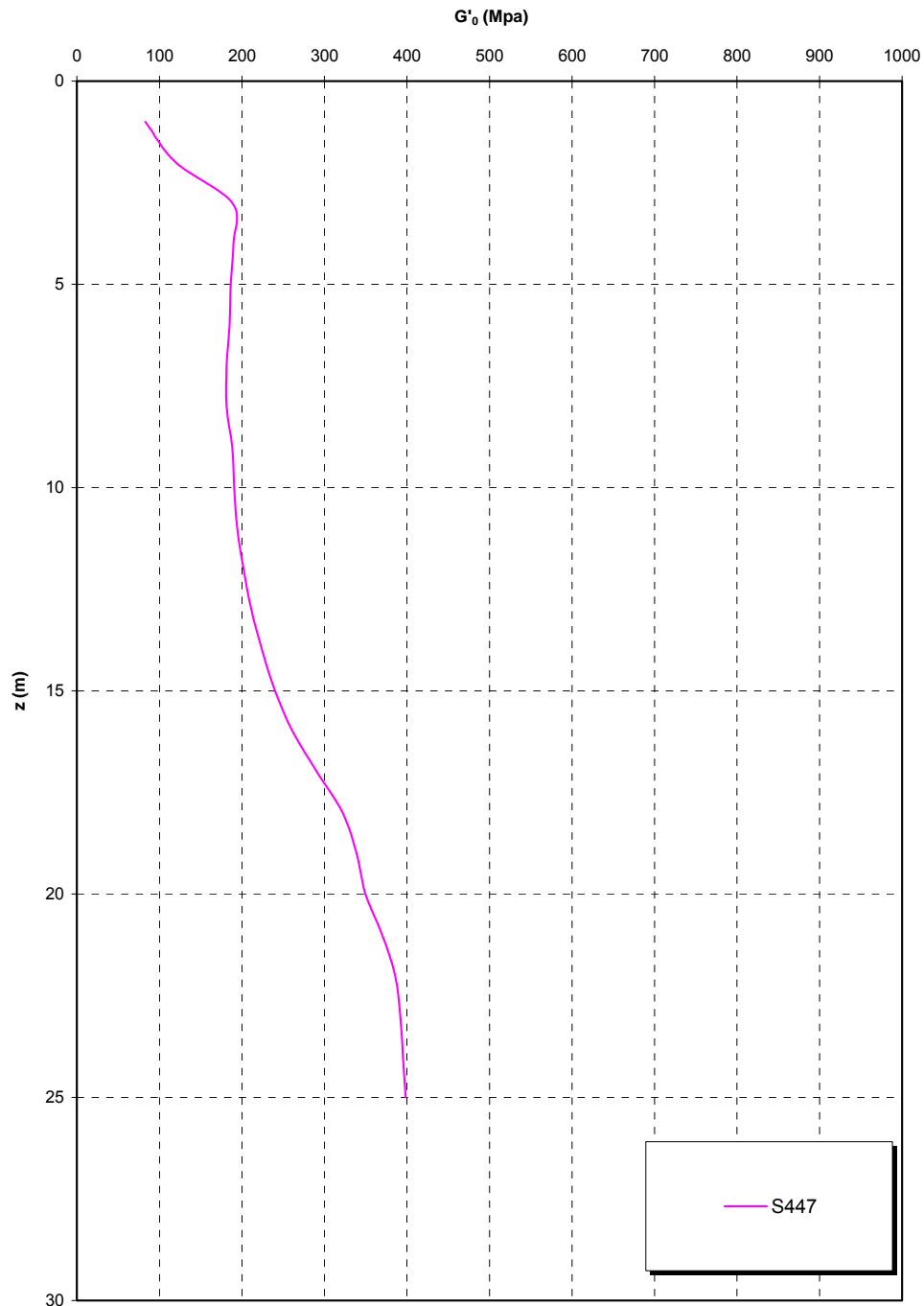
**Sabbie e Ghiaie di Messina - confronto Vs -
ferrovia tratta da 5+1- 5+6 Km**



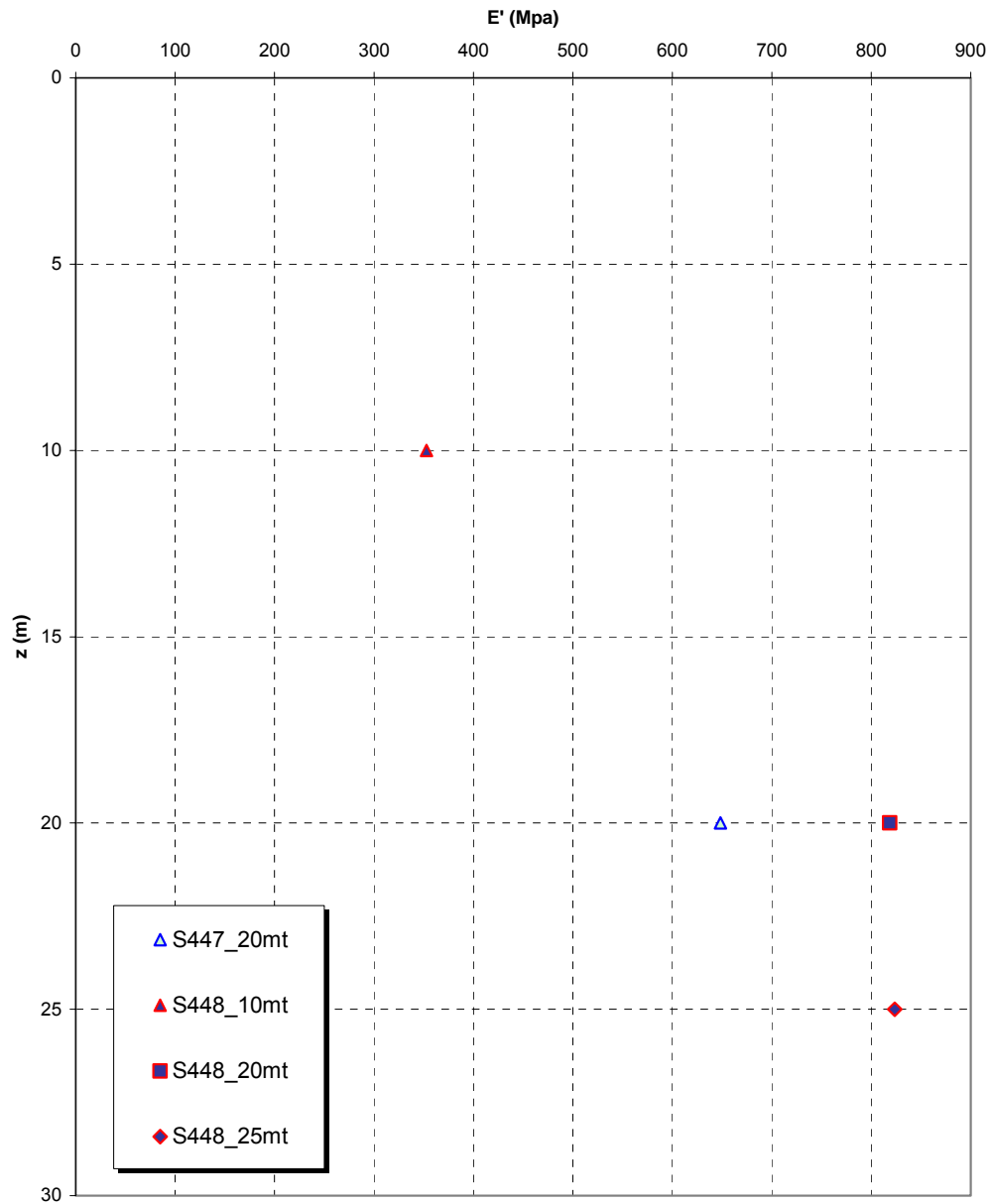
**Prove sismiche
SABBIE E GHIAIE DI MESSINA**



**Prove sismiche
SABBIE E GHIAIE DI MESSINA**



**Prove pressiometriche e dilatometriche
SABBIE E GHIAIE DI MESSINA
-Ferrovia Da 5+1 a 5+6 km-**



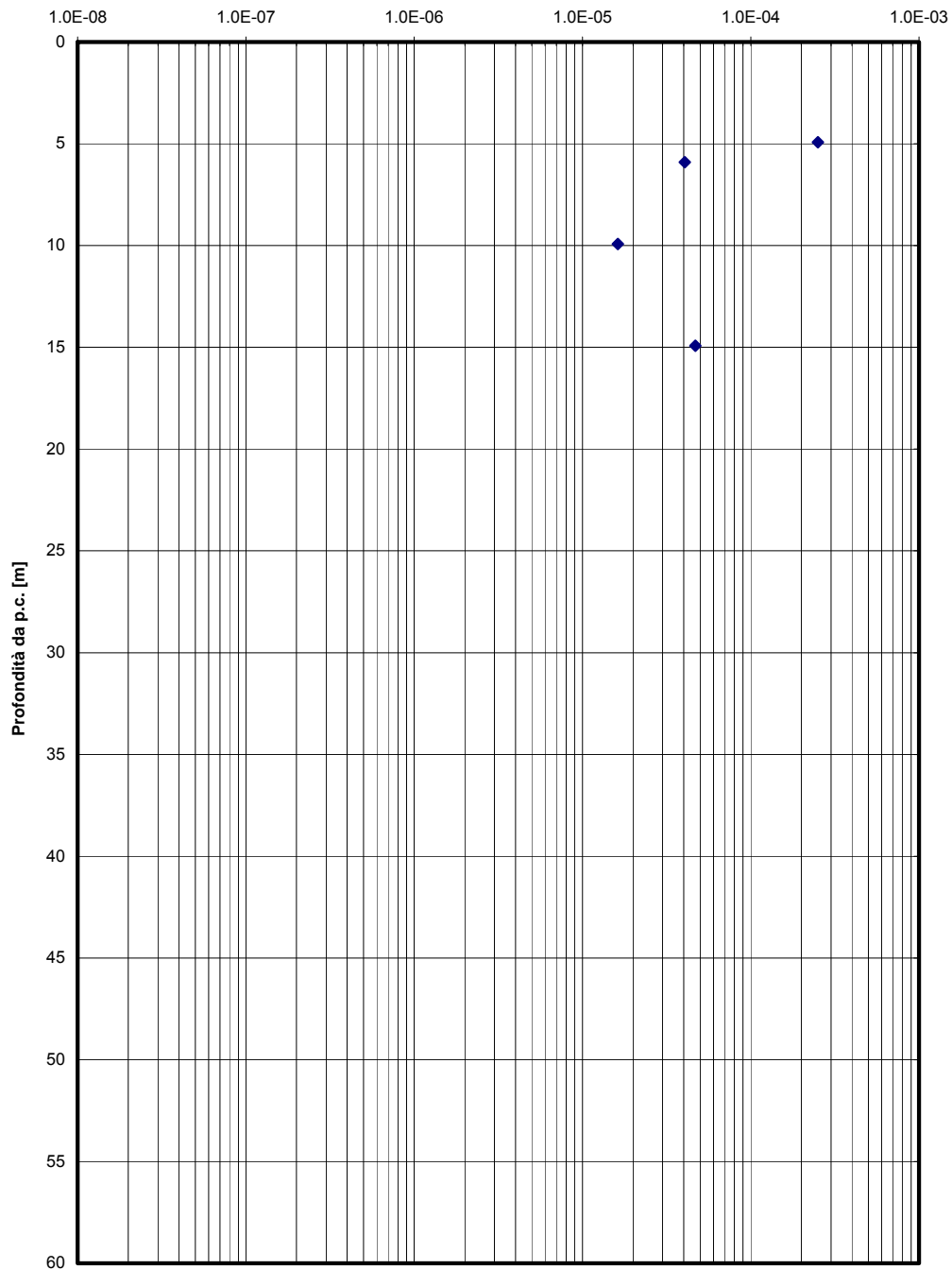
RELAZIONE GEOTECNICA

Codice documento
SF0217_F0

<i>Rev</i>	<i>Data</i>
F0	20/06/2011

K

m/s



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Depositi alluvionali

In assenza di indagini locali per le caratteristiche granulometriche si fa riferimento alla caratterizzazione generale.

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

Con riferimento al fuso medio:

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

Il peso di volume dei grani medio γ_s è risultato pari a circa 26.5 kN/m³.

Per lo stato iniziale si ha:

- **Dr:** I valori di N_{spt} sono stati corretti con il fattore correttivo $C_{sg}=0.75$ corrispondente al $d_{50}=0.8\text{mm}$,
- **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 0.4-0.6.
- **γ_d :** si ottiene un pari a 17-19 KN/m³.
- **K_0 :** si considera la relazione di Jaky.

Per le caratteristiche di resistenza si ottiene:

z(m)	Dr(%) Sabbie e ghiaie	ϕ'_p (pff=0-272KPa) (°)	ϕ'_{cv} (°)	K_0
0-15	35-70	37-43	33-35	0.3-0.4

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

Per le caratteristiche di deformabilità, dalle prove sismiche in foro (S414, S424) e sismiche a rifrazione (S454bis-SR3, S432-SR15 PR18-SR) si ottengono valori di G_0 che mediamente varia da 150 a 250 Mpa fino a 15m di profondità.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

I valori di G_o da prove SPT hanno invece un andamento che, stimato graficamente con una linea di tendenza, risulta pari a:

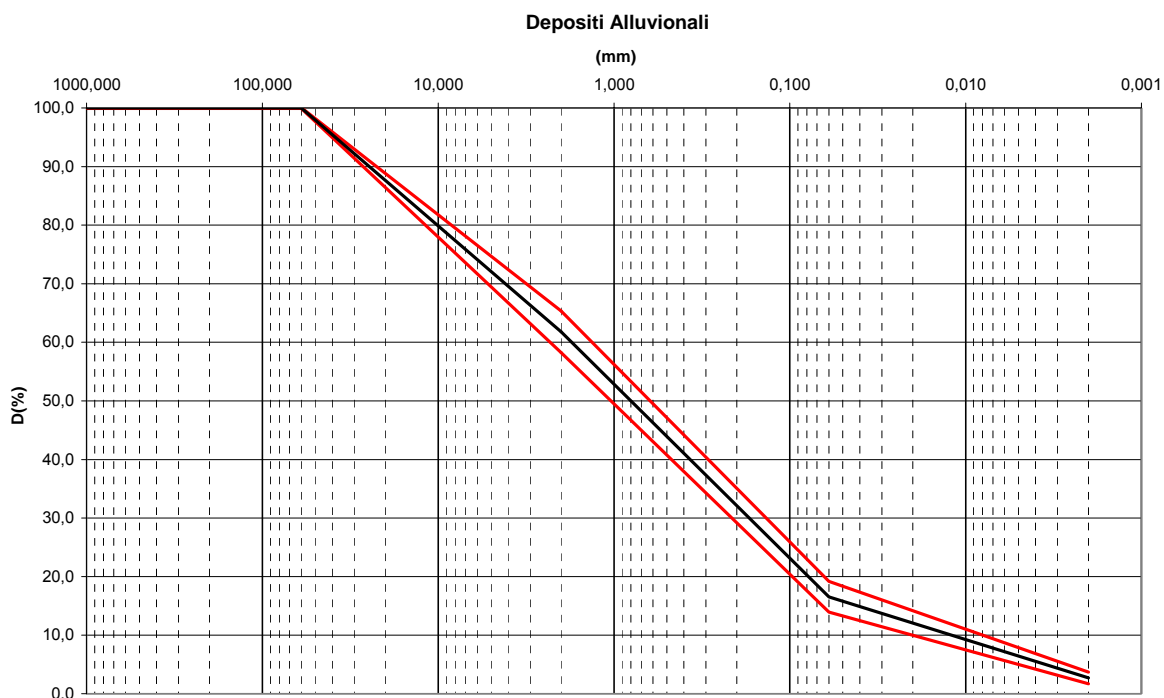
$$G_o = 34 \cdot (z)^{0,65}$$

$$E_o = 80 \cdot (z)^{0,65}$$

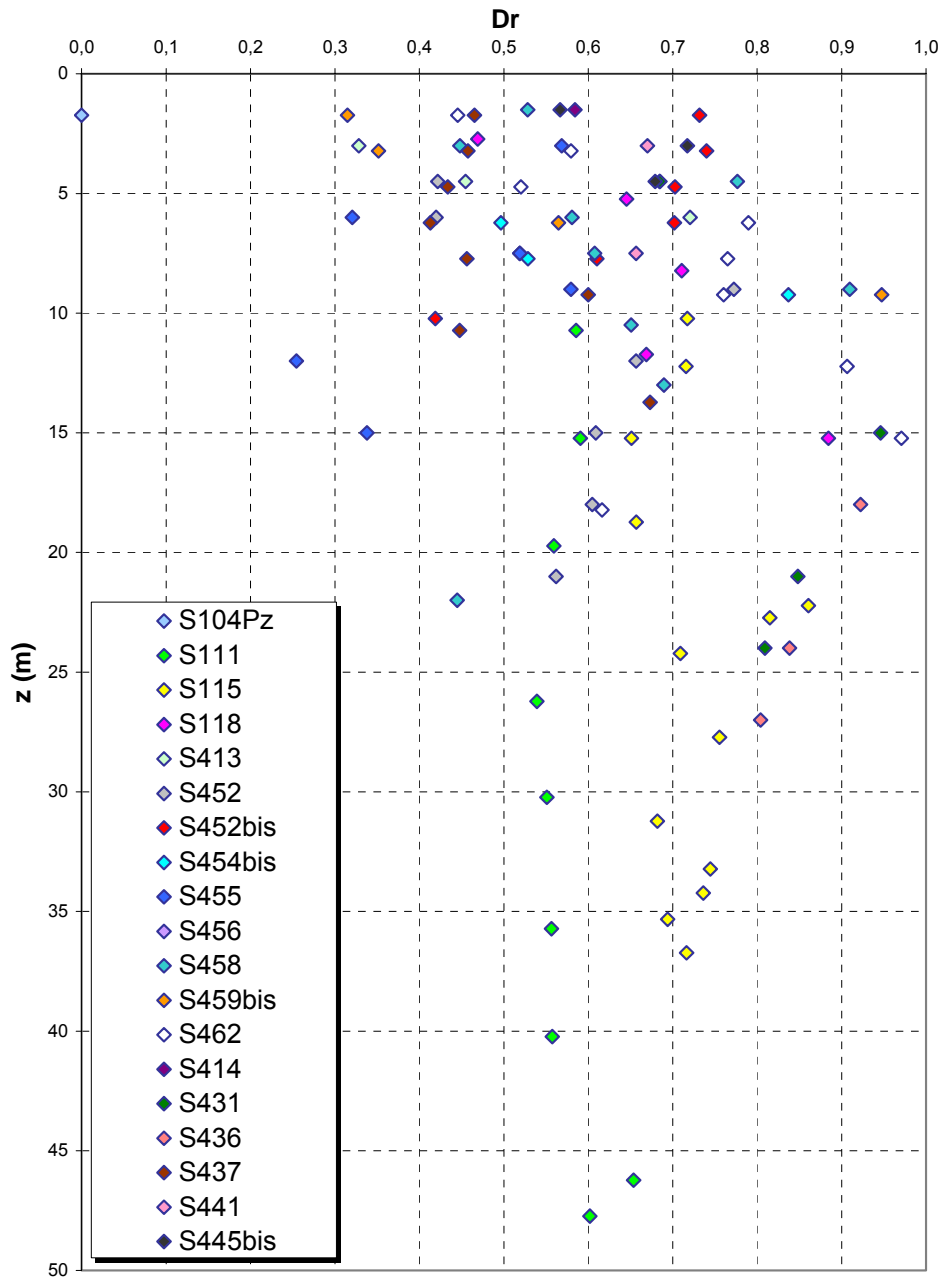
$$E = (10 \div 25) \cdot (z)^{0,65}$$

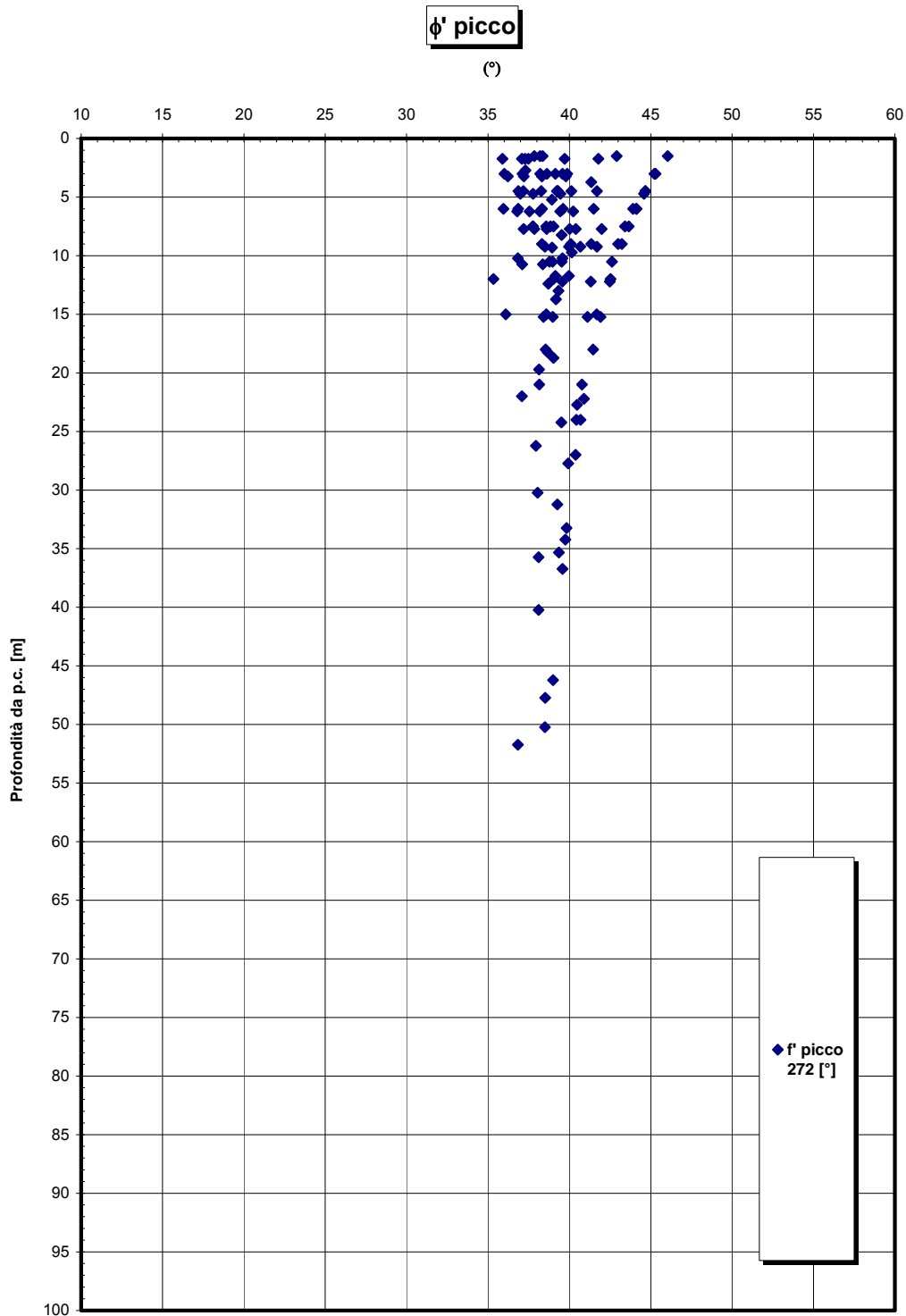
pari rispettivamente a circa $1/10 \div 1/5$ ed ad $1/3$ di quelli iniziali.

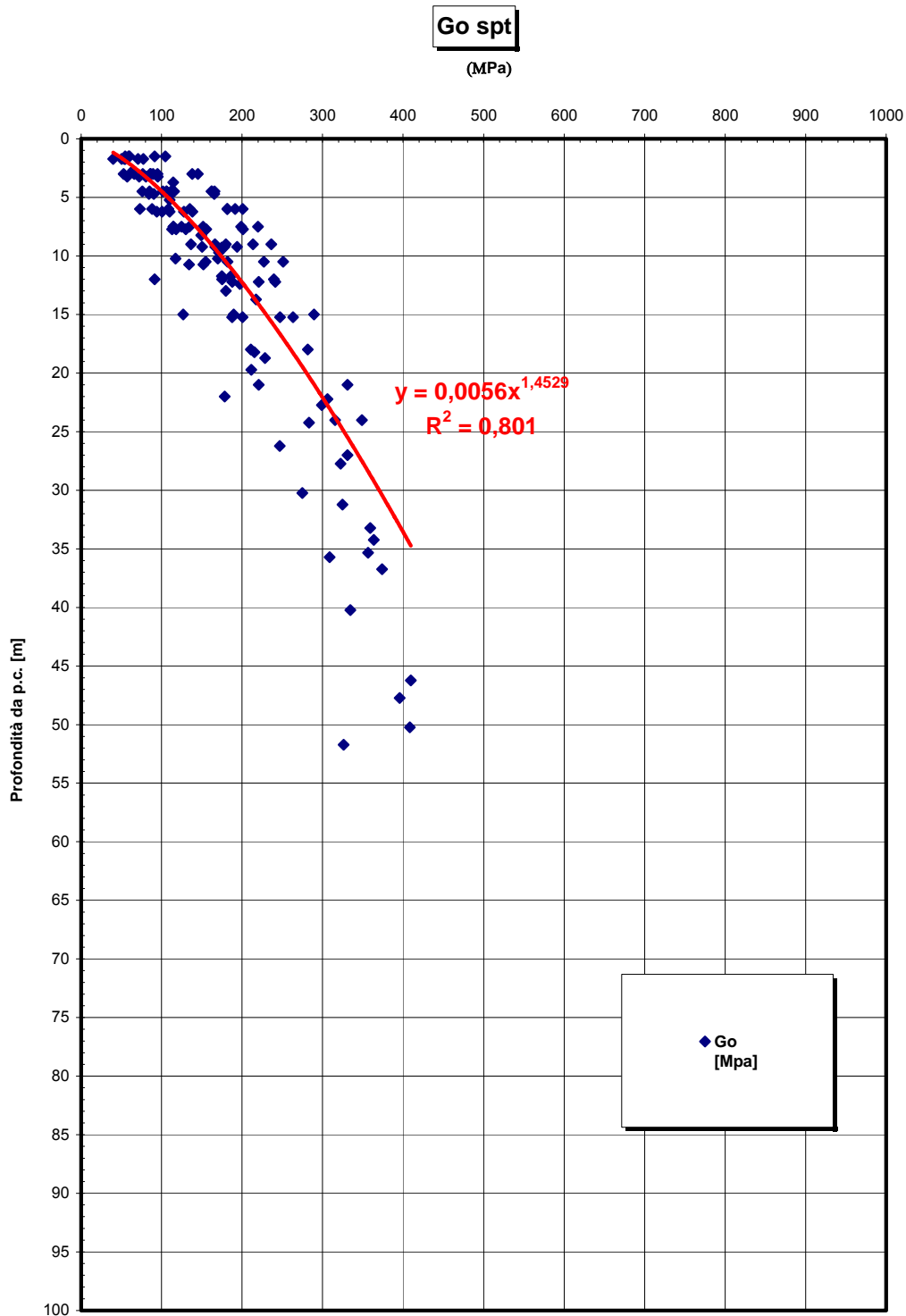
Le prove dilatometriche (DMT1, S436) forniscono valori di primo carico, tra 0 e 20m di profondità, compresi fra circa 15MPa ad 1m da p.c. e 60MPa a 15-20m da p.c., valori compatibili con quelli minimi del range.

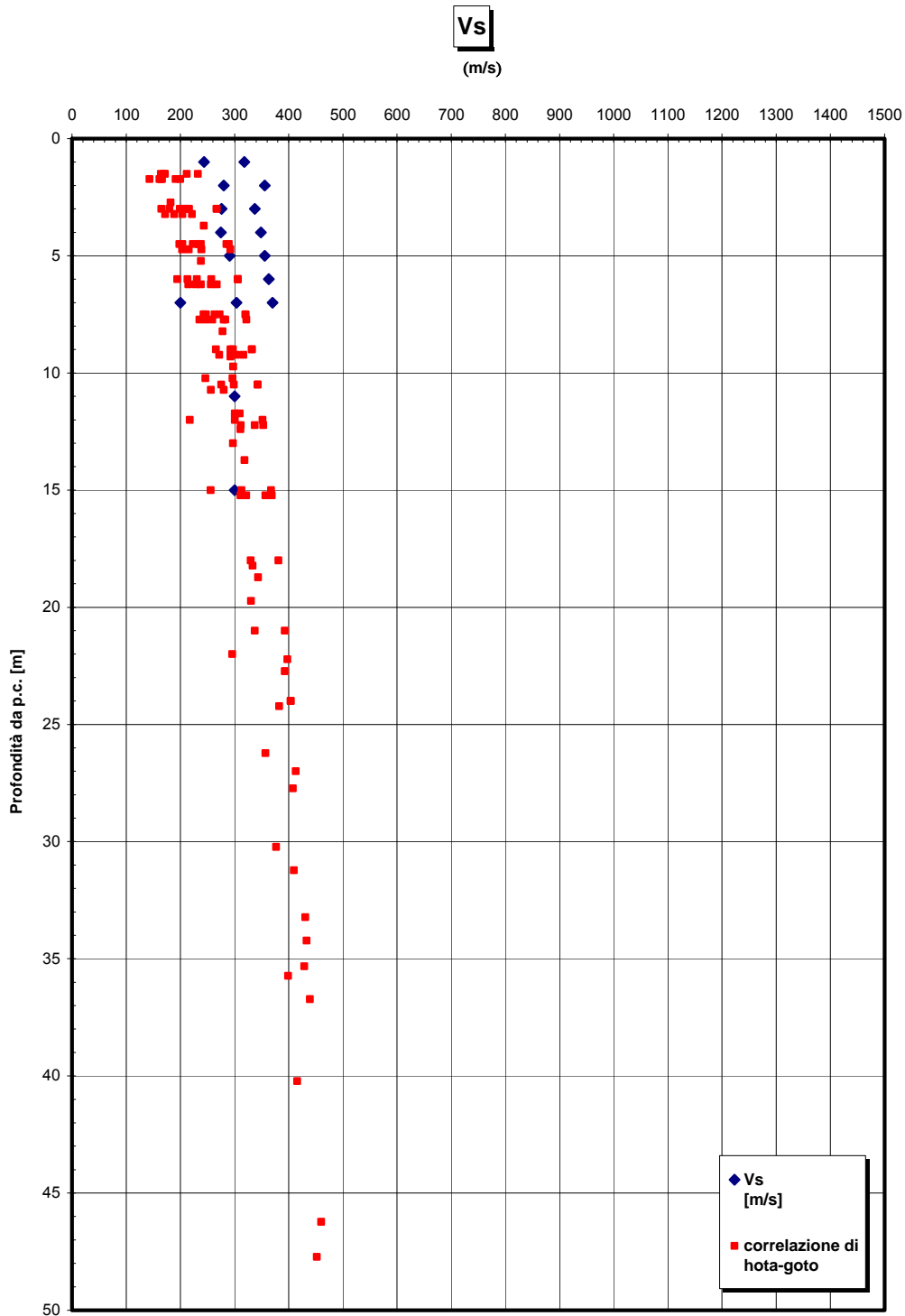


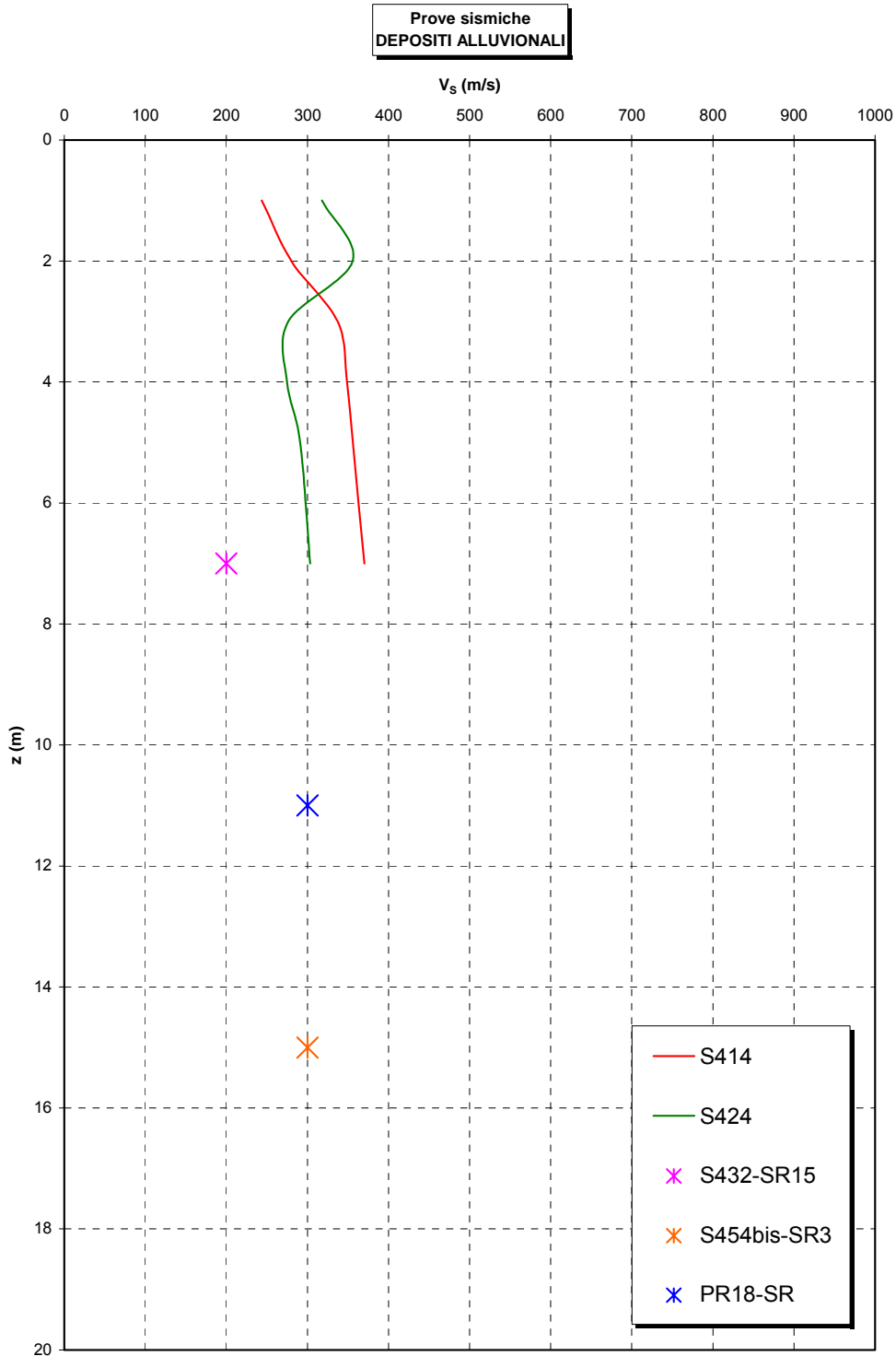
Dr Skempton (1986)
Componente sabbiosa prevalente
DEPOSITI ALLUVIONALI



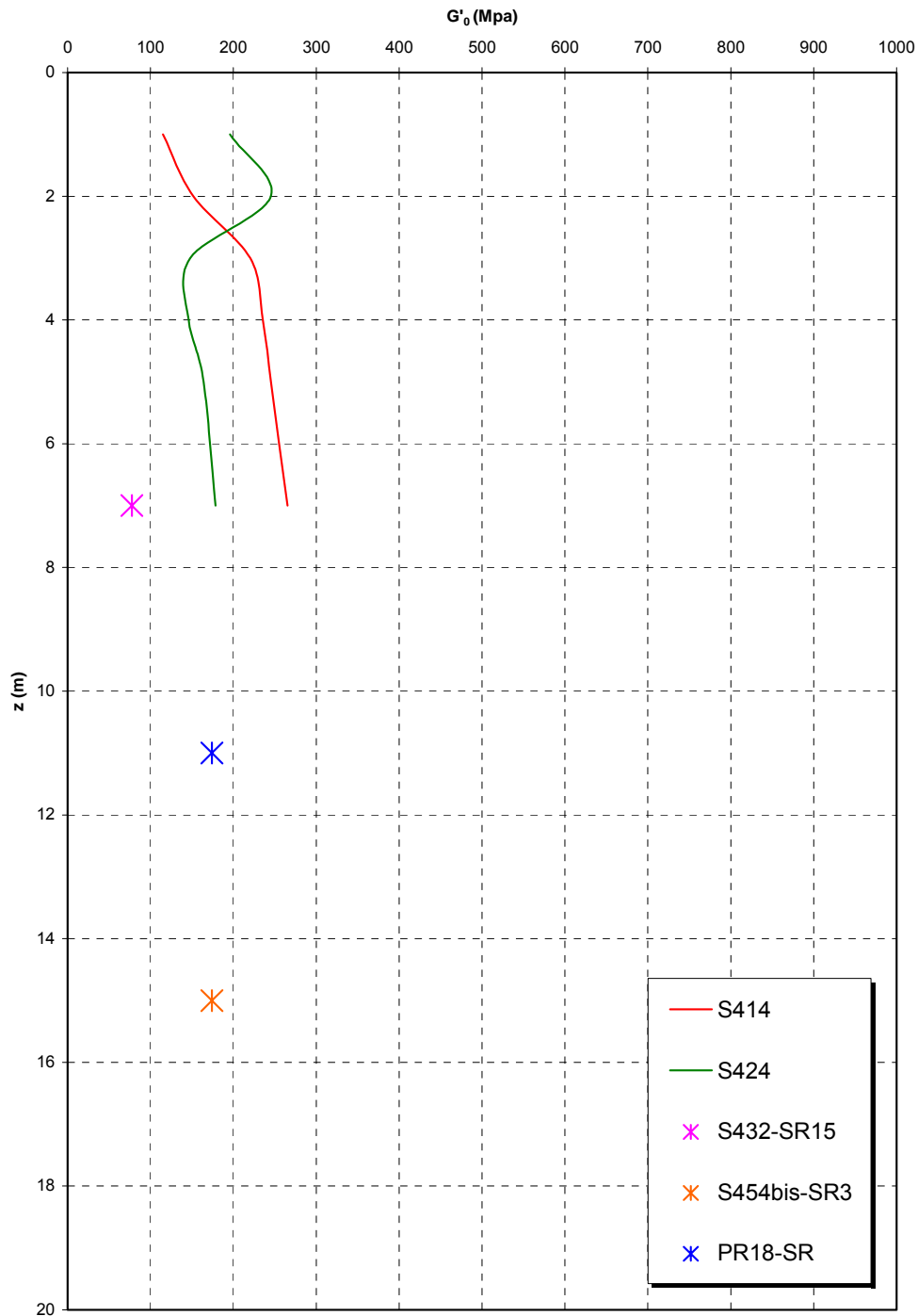




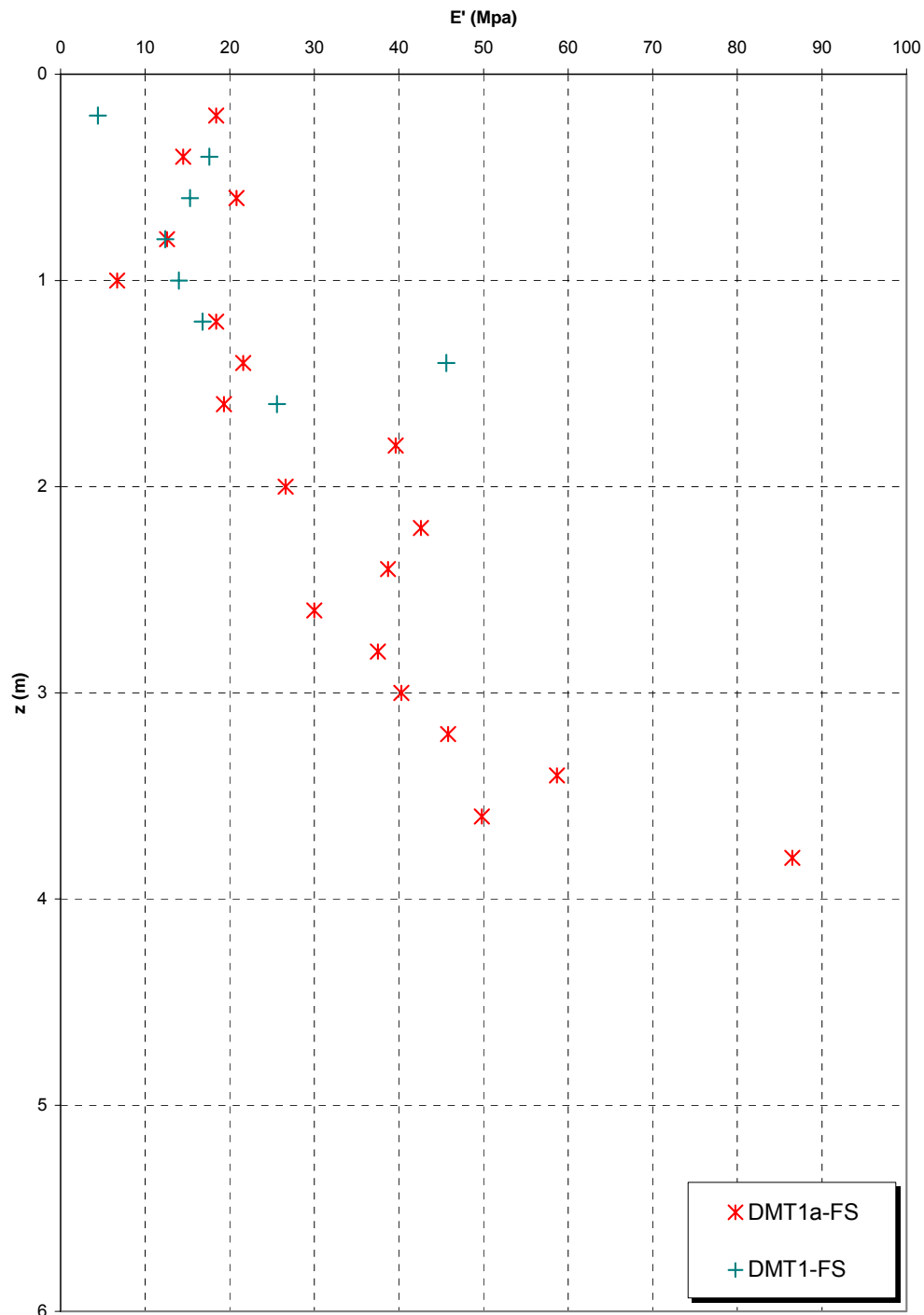




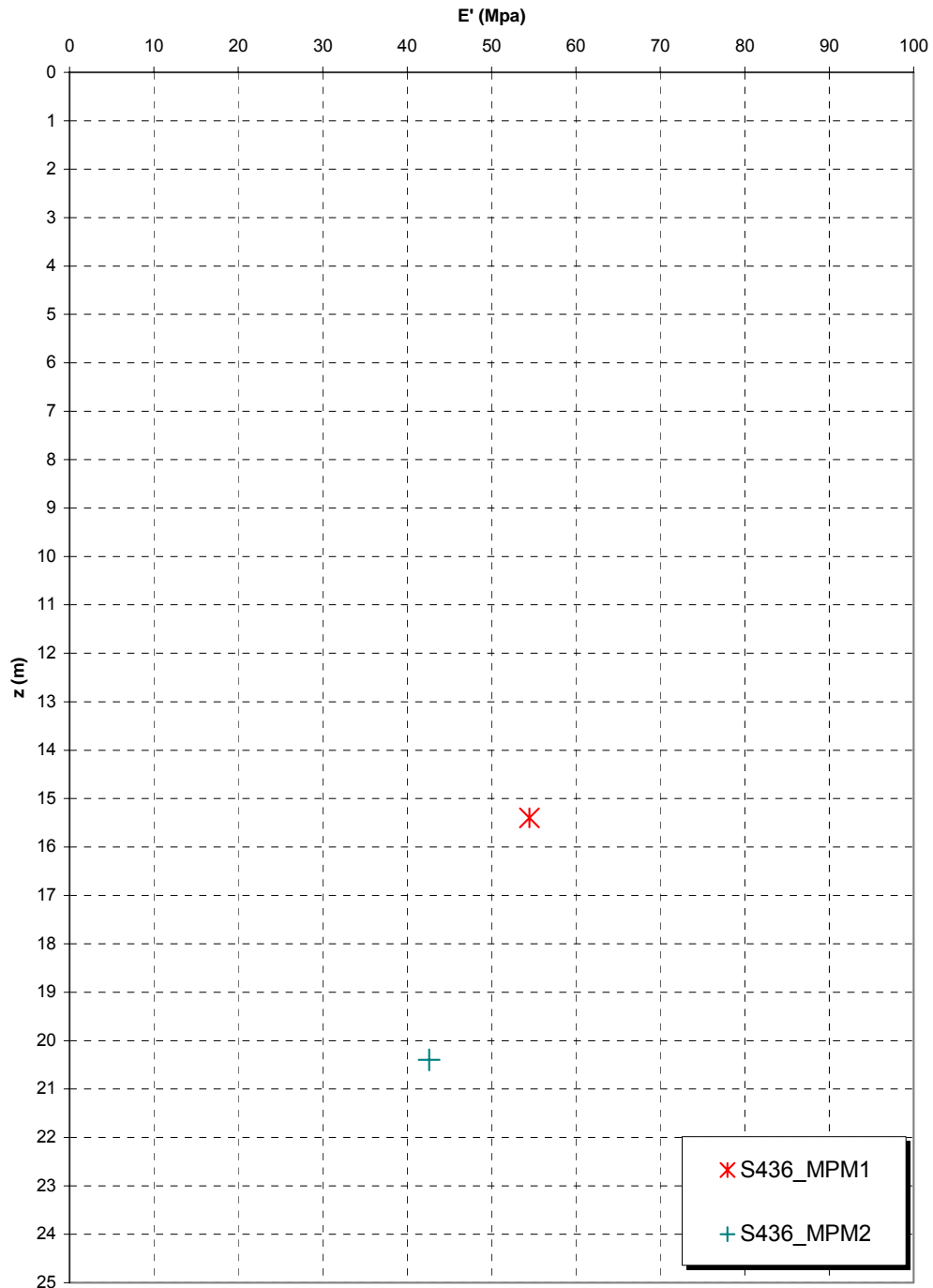
**Prove sismiche
DEPOSITI ALLUVIONALI**



**Prove dilatometriche
DEPOSITI ALLUVIONALI**

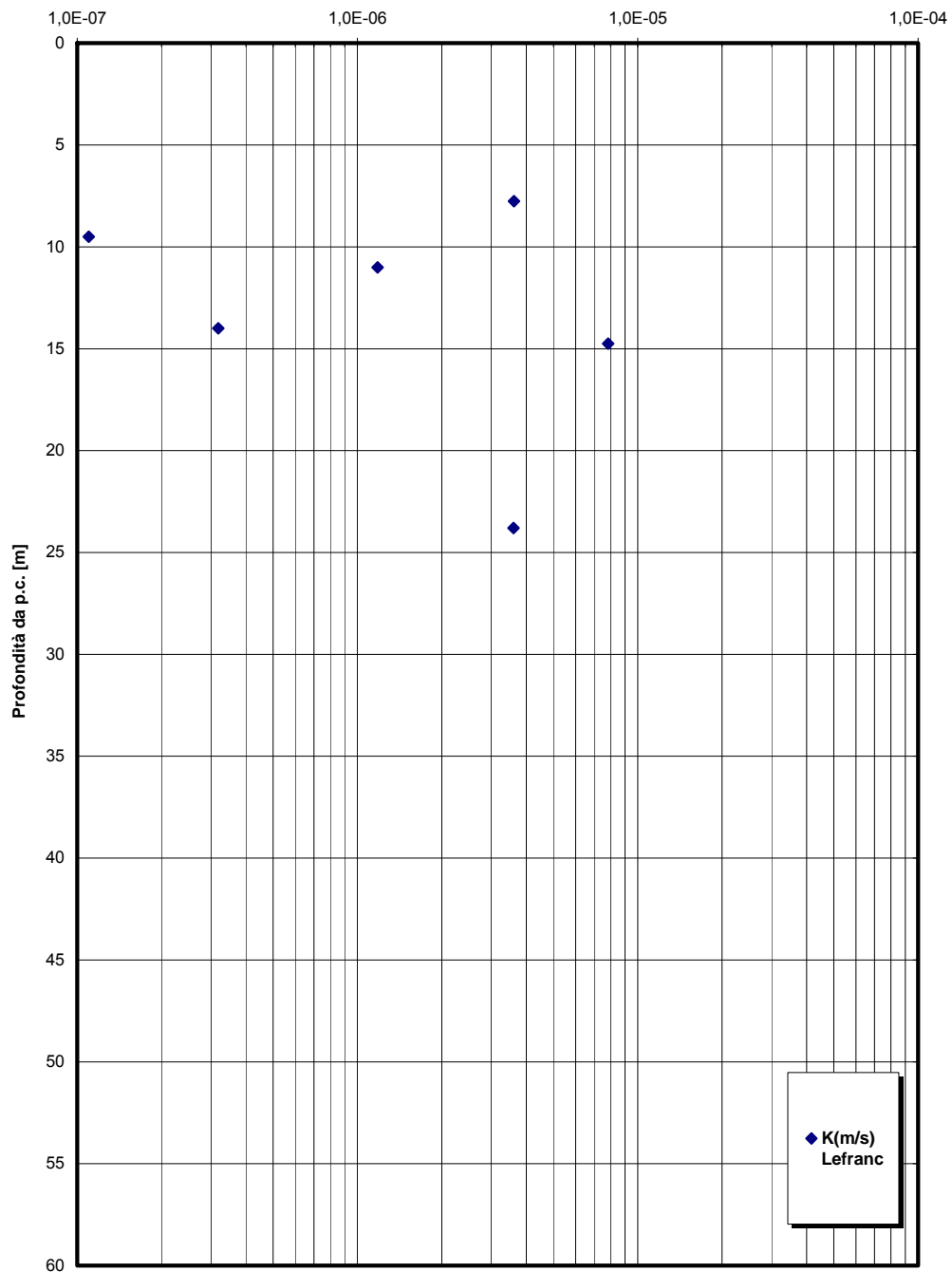


**Prove pressiometriche
DEPOSITI ALLUVIONALI**



K

m/s



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

4.2.4 Parametri principali assunti

Parametri principali assunti – GHIAIE DI MESSINA

Peso di volume	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$
Peso di volume saturo	$\gamma_s = 22 \text{ kN/m}^3$
Angolo di attrito interno	$\phi' = 38^\circ$ (prudenziale limite massimo)
Angolo di attrito terreno – fondazione	$\phi' = 38^\circ$
Modulo deformazione elastico (z=3 m)	$E' = 50 \text{ MPa}$

Parametri principali assunti – DEPOSITI ALLUVIONALI

Peso di volume	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$
Peso di volume saturo	$\gamma_s = 22 \text{ kN/m}^3$
Angolo di attrito interno	$\phi' = 38^\circ$
Angolo di attrito terreno – fondazione	$\phi' = 38^\circ$
Modulo deformazione elastico (z=3 m)	$E' = 45 \text{ MPa}$

4.3 CARATTERIZZAZIONE DELLA SISMICITA' DEL LUOGO

4.3.1 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 $Se(T)$, 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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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

4.3.1.1 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, prudenzialmente, si considera la tipologia 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.

4.3.1.2 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 $c_U = 2,0$.

4.3.1.3 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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

4.3.1.4 Parametri di progetto

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

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

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

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

a_g il valore previsto dalla pericolosità sismica;

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

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

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

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

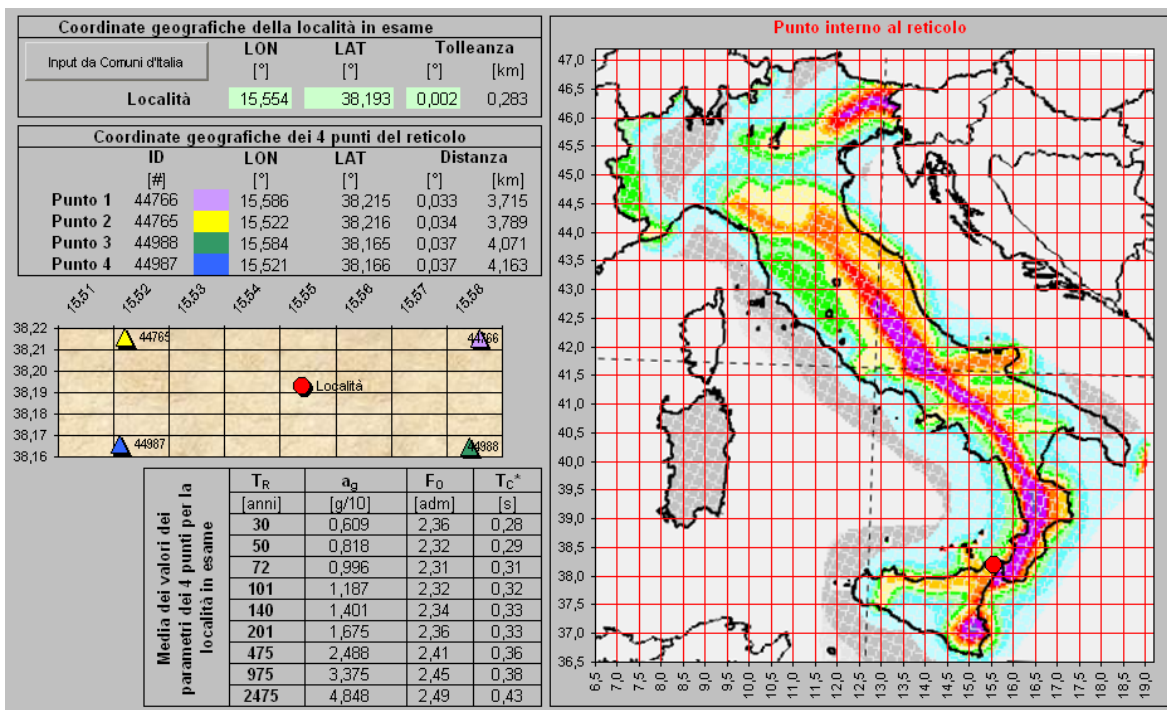
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE GEOTECNICA	<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0

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

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:



4.3.1.5 Classificazione sismica del terreno

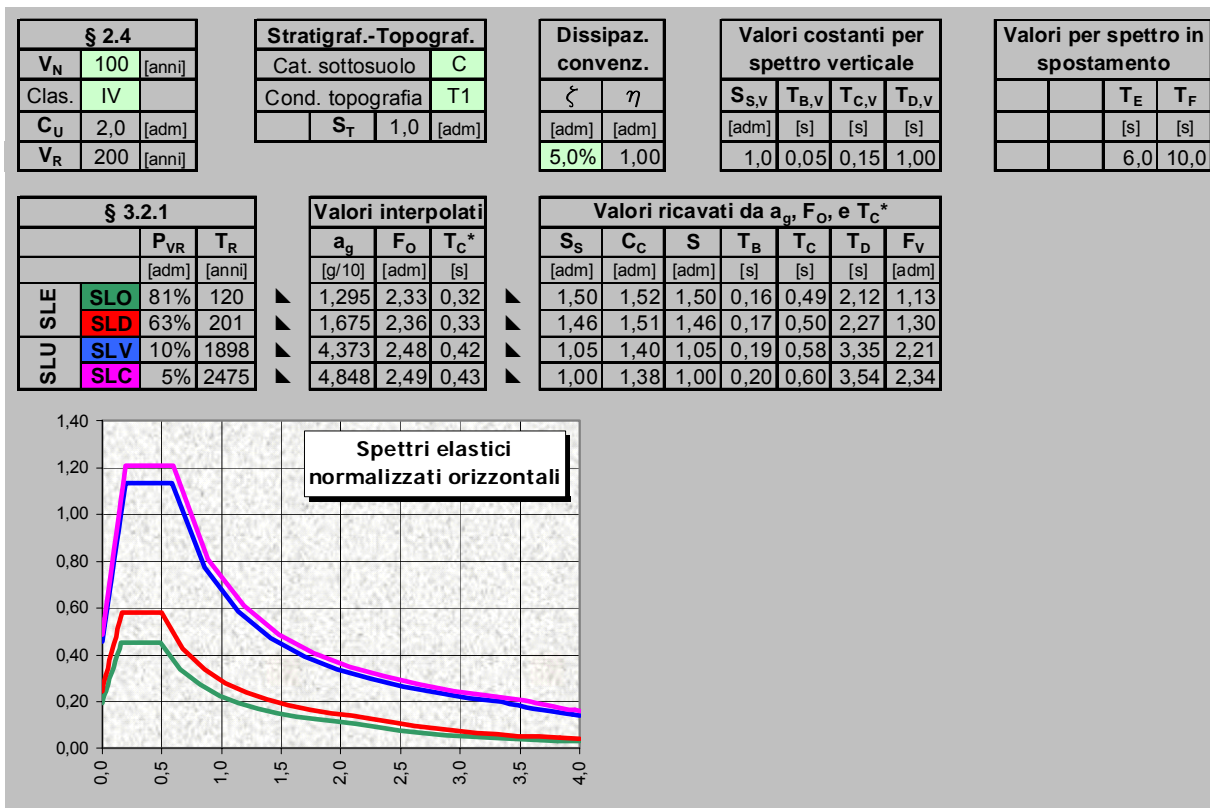
Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, in accordo con le NTC, si fa riferimento all'approccio semplificato che si basa sulla individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento. Gli studi eseguiti, con particolare riferimento alla prova Cross Hole del sondaggio denominato S447 già indicato al paragrafo 4.2.1 della presente relazione, denotano che il terreno è

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE GEOTECNICA	<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0

classificabile come **Classe C** che include depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati e terreni a grana fine mediamente consistenti.

4.3.1.6 Spettro di risposta elastico in accelerazione delle componenti orizzontali

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



Si individua la condizione topografica, del sito, in accordo con quanto indicato in Tab.3.2.IV delle NTC 2008, come categoria T1, in quanto l'opera in questione è posta lungo il suo sviluppo su una superficie pianeggiante sistemata in fase di cantierizzazione; non sono presenti infatti in corrispondenza dell'ingombro del sottopasso pendii con inclinazione media superiore ai 15° o rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base che giustifichino categorie topografiche differenti.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO			
		RELAZIONE GEOTECNICA	<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

5 ANALISI DELLE FONDAZIONI

Per le verifiche geotecniche a scorrimento e di stabilità globale si assume un modello di comportamento a corpo rigido. Per le sole verifiche geotecniche si è sviluppato una modellazione con un vincolo di incastro nella mezzeria della soletta di fondazione, annullando la rigidità delle molle che simulano il solo elastico, dal quale si ricavano le azioni agenti sul piano di fondazione.

I criteri utilizzati per le verifiche geotecniche sono secondo l'approccio 1 delle DM 2008 A1-M1-R1 A2 –M2 – R2

5.1 COMBINAZIONE DELLE SOLLECITAZIONI

Vengono innanzitutto presentate le diverse combinazioni utilizzate per la valutazione delle sollecitazioni.

		Combinazione	Coefficienti moltiplicativi delle sollecitazioni									
			A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
S L U	S T R	Comb 1	1,35	1,5	1,45	1,45	0	0	1,5	1,5	0	0,58
		Comb 2	1,35	1,5	1,45	1,45	0	0	1,5	0,75	0	0,58
		Comb 3	1,35	1,5	1,45	1,45	1,5	1,5	0	0	0	0,58
		Comb 4	1,35	1,5	1,45	1,45	1,5	0,75	0	0	0	0,58
	S i s m a	Comb 6	1,35	1,5	0	0	0	0	0	0	0	0,00
		Comb 5	1	1	0,2	0,2	0	0	1	0	1	0,08
		Comb 7	1	1,3	1,25	1,25	0	0	1,3	1,3	0	0,5
		Comb 8	1	1,3	1,25	1,25	0	0	1,3	0,65	0	0,5
		Comb 9	1	1,3	1,25	1,25	1,3	1,3	0	0	0	0,5
		Comb 10	1	1,3	1,25	1,25	1,3	0,65	0	0	0	0,5
		Comb 11	1	1,3	0	0	0	0	0	0	0	0,0

S L E	Frequente	Comb 12	1	1	0,8	0,8	0	0	1	1	0	0,4
	Quasi Per	Comb 13	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0
	Frequente	Comb 14	1	1	0,8	0,8	0	0	1	0,5	0	0,4
	Quasi Per	Comb 15	1	1	0	0	0	0	1	0,5	0	0
	Frequente	Comb 16	1	1	0,8	0,8	1	1	0	0	0	0,4
	Quasi Per	Comb 17	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0
	Frequente	Comb 18	1	1	0,8	0,8	1	0,5	0	0	0	0,4
	Quasi Per	Comb 19	1	1	0	0	1	0,5	0	0	0	0
	Frequente	Comb 20	1	1	0,8	0,8	0	0	0	0	0	0,4
	Quasi Per	Comb 21	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Nella tabella soprastante vengono utilizzate le seguenti indicizzazioni per l'identificazione delle diverse nature di sollecitazioni.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- A = Pesi propri strutturali;
- B = Permanenti non strutturali;
- C = Accidentali da traffico;
- D = Incremento di spinta per sovraccarico concentrato;
- E = Spinta a riposo del terreno sul muro sinistro;
- F = Spinta a riposo del terreno sul muro destro;
- G = Spinta attiva del terreno sul muro sinistro;
- H = Spinta attiva del terreno sul muro destro;
- I = Incremento di spinta del terreno sul muro sinistro dovuto al sisma secondo le teorie di Woods;
- J = Sollecitazione per frenamento

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

5.2 RISULTATI DELL'ANALISI

Nella tabella seguente si riportano le azioni compressive sulla fondazione.

GEO:

TABLE: Joint Reactions								
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
21	COMB1	Combination	0	153	774	1059	0	0
21	COMB2	Combination	0	184	774	1020	0	0
21	COMB3	Combination	0	92	247	231	0	0
21	COMB4	Combination	0	129	774	1141	0	0
21	COMB5	Combination	0	139	648	870	0	0
21	COMB6	Combination	0	158	648	847	0	0
21	COMB7	Combination	0	139	648	870	0	0
21	COMB8	Combination	0	205	768	986	0	0
21	COMB9	Combination	0	0	242	411	0	0
21	COMB10	Combination	0	168	612	776	0	0
21	COMB11	Combination	0	0	189	322	0	0

SLE:

TABLE: Joint Reactions								
Joint	OutputCase	CaseType	U1	U2	U3	R1	R2	R3
Text	Text	Text	KN	KN	KN	KN-m	KN-m	KN-m
21	COMB12	Combination	0	94	300	-88	0	0
21	COMB13	Combination	0	0	117	0	0	0
21	COMB14	Combination	0	108	299	-98	0	0
21	COMB15	Combination	0	15	116	-10	0	0
21	COMB16	Combination	0	94	303	-88	0	0
21	COMB17	Combination	0	0	120	0	0	0
21	COMB18	Combination	0	122	301	-106	0	0
21	COMB19	Combination	0	29	119	-18	0	0
21	COMB21	Combination	0	0	114	0	0	0
21	COMB20	Combination	0	94	297	-88	0	0

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

5.3 VERIFICHE GEOTECNICHE

5.3.1 MODELLO DI CALCOLO

Per il calcolo della capacità portante delle fondazioni si utilizza il software di calcolo Aztec CARL 10.0 versione 10.05.b – carico limite e cedimenti.

Visto l'alto rapporto tra la larghezza di base della fondazione, pari a 3,80 m, e lo sviluppo longitudinale della stessa, si modella come fondazione nastriforme.

5.3.1.1 DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO

Normative di riferimento

- Legge nr. 1086 del 05/11/1971.

Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio, normale e precompresso ed a struttura metallica.

- Legge nr. 64 del 02/02/1974.

Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.

- D.M. LL.PP. del 11/03/1988.

Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

- D.M. LL.PP. del 14/02/1992.

Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.

- D.M. 9 Gennaio 1996

Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche

- D.M. 16 Gennaio 1996

Norme Tecniche relative ai 'Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi'

- D.M. 16 Gennaio 1996

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche

- Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996

- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996

- Norme Tecniche per le Costruzioni 2008 (D.M. 14 Gennaio 2008)

- Circolare 617 del 02/02/2009

Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

Verifica al carico limite

Il rapporto fra il carico limite in fondazione e la componente normale della risultante dei carichi trasmessi sul terreno di fondazione deve essere superiore a η_q . Cioè, detto Q_u , il carico limite ed R la risultante verticale dei carichi in fondazione, deve essere:

$$Q_u / R \geq \eta_q$$

Le espressioni di Brinch-Hansen per il calcolo della capacità portante si differenziano a secondo se siamo in presenza di un terreno puramente coesivo ($\phi=0$) o meno e si esprimono nel modo seguente:

Caso generale

$$q_u = cN_c s_c d_c i_c g_c b_c + qN_q s_q d_q i_q g_q b_q + 0.5B^{\gamma} N_{\gamma} s_{\gamma} d_{\gamma} i_{\gamma} g_{\gamma} b_{\gamma}$$

Caso di terreno puramente coesivo $\phi=0$

$$q_u = c_u N_c s_c d_c i_c b_c g_c + q$$

in cui d_c, d_q, d_{γ} , sono i fattori di profondità; s_c, s_q, s_{γ} , sono i fattori di forma; i_c, i_q, i_{γ} , sono i fattori di inclinazione del carico; b_c, b_q, b_{γ} , sono i fattori di inclinazione del piano di posa; g_c, g_q, g_{γ} , sono i fattori che tengono conto del fatto che la fondazione poggia su un terreno in pendenza.

I fattori N_c, N_q, N_{γ} sono espressi come:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$$N_q = e^{\pi \text{tg} \phi} K_p$$

$$N_c = (N_q - 1) \text{ctg} \phi$$

$$N_\gamma = 2.0(N_q - 1) \text{tg} \phi$$

Vediamo ora come si esprimono i vari fattori che compaiono nella espressione del carico ultimo.

Fattori di forma

$$\text{per } \phi=0 \quad s_c = 1 + 0.2 \frac{B'}{L'}$$

$$\text{per } \phi>0 \quad s_c = 1 + 0.2 \frac{B' (1 + \text{sen } \phi)}{L' (1 - \text{sen } \phi)}$$

$$s_q = 1 + 0.1 \frac{B' (1 + \text{sen } \phi)}{L' (1 - \text{sen } \phi)}$$

$$s_\gamma = 1 + 0.1 \frac{B' (1 + \text{sen } \phi)}{L' (1 - \text{sen } \phi)}$$

Nel caso in esame, essendo la fondazione nastriforme, i valori dei fattori di forma suddetti risultano tutti unitari.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Fattori di profondità

Si definisce il parametro k come

$$k = \frac{D}{B'} \quad \text{se} \quad \frac{D}{B'} \leq 1$$

$$k = \arctg \frac{D}{B'} \quad \text{se} \quad \frac{D}{B'} > 1$$

I vari coefficienti si esprimono come

$$\text{per } \phi=0 \quad d_c = 1 + 0.4k$$

$$\text{per } \phi>0 \quad d_c = d_q - \frac{1 - d_q}{N_c \operatorname{tg} \phi}$$

$$d_q = 1 + 2 \operatorname{tg} \phi (1 - \sin \phi)^2 k$$

$$\gamma = 1$$

Fattori di inclinazione del carico

Indichiamo con V e H le componenti del carico rispettivamente perpendicolare e parallela alla base e con A_f l'area efficace della fondazione ottenuta come $A_f = B' \times L'$ (B' e L' sono legate alle dimensioni effettive della fondazione B , L e all'eccentricità del carico e_B , e_L dalle relazioni $B' = B - 2e_B$ $L' = L - 2e_L$) e con η l'angolo di inclinazione della fondazione espresso in gradi ($\eta=0$ per fondazione orizzontale).

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

I fattori di inclinazione del carico si esprimono come:

$$\text{per } \phi = 0 \quad i_c = 1 - \frac{m H}{A_f c_a N_c}$$

$$\text{per } \phi > 0 \quad i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1}$$

$$i_q = \left(1 - \frac{H}{V + A_f c_a \operatorname{ctg} \phi}\right)^m$$

$$\text{per } \eta = 0 \quad i_\gamma = \left(1 - \frac{H}{V + A_f c_a \operatorname{ctg} \phi}\right)^{m+1}$$

$$\text{dove} \quad m = \frac{2 + B' / L'}{1 + B' / L'}$$

Fattori di inclinazione del piano di posa della fondazione

$$\text{per } \phi=0 \quad b_c = 1 - \frac{2 \eta}{\pi + 2}$$

$$\text{per } \phi>0 \quad b_c = b_q - \frac{1 - b_q}{N_c \operatorname{tg} \phi}$$

$$b_q = (1 - \eta \operatorname{tg} \phi)^2$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$$b_\gamma = b_q$$

Fattori di inclinazione del terreno

Indicando con β la pendenza del pendio i fattori g si ottengono dalle espressioni seguenti:

$$\text{per } \phi=0 \quad g_c = \frac{1 - 2\beta}{\pi + 2}$$

$$\text{per } \phi>0 \quad g_c = g_q - \frac{1 - g_q}{N_c \operatorname{tg} \phi}$$

$$g_q = g_\gamma = (1 - \operatorname{tg}\beta)^2$$

poter applicare la formula di Brinch-Hansen devono risultare verificate le seguenti condizioni:

$$H < V \operatorname{tg} \delta + A_f c_a$$

$$\beta \leq \phi$$

$$i_q, i_\gamma > 0$$

$$\beta + \eta \leq 90^\circ$$

Verifica della portanza per carichi orizzontali (scorrimento)

Per la verifica a scorrimento lungo il piano di fondazione deve risultare che la somma di tutte le forze parallele al piano di posa che tendono a fare scorrere la fondazione deve essere minore di tutte le forze, parallele al piano di scorrimento, che si oppongono allo scivolamento, secondo un certo coefficiente di sicurezza. La verifica a scorrimento risulta soddisfatta se il rapporto fra la

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

risultante delle forze resistenti allo scivolamento F_r e la risultante delle forze che tendono a fare scorrere la fondazione F_s risulta maggiore di un determinato coefficiente di sicurezza η_s

Eseguendo il calcolo mediante gli Eurocodici si può impostare $\eta_s \geq 1.0$

$$\frac{F_r}{F_s} \geq \eta_s$$

Le forze che intervengono nella F_s sono: la componente della spinta parallela al piano di fondazione e la componente delle forze d'inerzia parallela al piano di fondazione.

La forza resistente è data dalla resistenza d'attrito e dalla resistenza per adesione lungo la base della fondazione. Detta N la componente normale al piano di fondazione del carico totale gravante in fondazione e indicando con δ_f l'angolo d'attrito terreno-fondazione, con c_a l'adesione terreno-fondazione e con B_r la larghezza della fondazione reagente, la forza resistente può esprimersi come

$$F_r = N \operatorname{tg} \delta_f + c_a B_r$$

La Normativa consente di computare, nelle forze resistenti, una aliquota dell'eventuale spinta dovuta al terreno posto a valle della fondazione. In tal caso, però, il coefficiente di sicurezza deve essere aumentato opportunamente. L'aliquota di spinta passiva che si può considerare ai fini della verifica a scorrimento non può comunque superare il 50 per cento.

Per quanto riguarda l'angolo d'attrito terra-fondazione, δ_f , diversi autori suggeriscono di assumere un valore di δ_f pari all'angolo d'attrito del terreno di fondazione.

Calcolo delle tensioni indotte

Metodo di Boussinesq

Il metodo di Boussinesq considera il terreno come un mezzo omogeneo elastico ed isotropo. Dato un carico concentrato Q , applicato in superficie, la relazione di Boussinesq fornisce la seguente espressione della tensione verticale indotta in un punto $P(x,y,z)$ posto alla profondità z :

$$q_v = \frac{3Qz^3}{2\pi R^5}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

dove: $R = (x^2 + y^2 + z^2)^{1/2}$;

Per ottenere la pressione indotta da un carico distribuito occorre integrare tale espressione su tutta l'area di carico, considerando il carico Q come un carico infinitesimo agente su una areola dA . L'integrazione analitica di questa espressione si presenta estremamente complessa specialmente nel caso di carichi distribuiti in modo non uniforme. Pertanto si ricorre a metodi di soluzione numerica. Dato il carico agente sulla fondazione, si calcola il diagramma delle pressioni indotte sul piano di posa della fondazione. Si divide l'area di carico in un elevato numero di areole rettangolari a ciascuna delle quali compete un carico dQ : la tensione indotta in un punto $P(x,y,z)$, posto alla profondità z , si otterrà sommando i contributi di tutte le areole di carico calcolati come nella formula di Boussinesq.

Geometria della fondazione

Simbologia adottata

Descrizione Destrizione della fondazione

Forma Forma della fondazione (N=Nastriforme, R=Rettangolare, C=Circolare)

- X Ascissa del baricentro della fondazione espressa in [m]
- Y Ordinata del baricentro della fondazione espressa in [m]
- B Base/Diametro della fondazione espressa in [m]
- L Lunghezza della fondazione espressa in [m]
- D Profondità del piano di posa in [m]
- α Inclinazione del piano di posa espressa in [°]
- ω Inclinazione del piano campagna espressa in [°]

Descrizione	Forma	X	Y	B	L	D	α	ω
Sottopasso	(N)	1,90	--	3,80	--	4,00	0,00	0,00

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Descrizione terreni e falda

Caratteristiche fisico-meccaniche

Simbologia adottata

Descrizione Descrizione terreno

- γ Peso di volume del terreno espresso in [daN/mc]
 γ_{sat} Peso di volume saturo del terreno espresso in [daN/mc]
 ϕ Angolo di attrito interno del terreno espresso in gradi
 δ Angolo di attrito palo-terreno espresso in gradi
 c Coesione del terreno espressa in [daN/cm²]
 ca Adesione del terreno espressa in [daN/cm²]

Descrizione	γ	γ_{sat}	ϕ	δ	c	ca
Depositi fluviali	1800,0	2200,0	38,00	38,00	0,000	0,000
Ghiaie di messina	1800,0	2200,0	38,00	38,00	0,000	0,000

Caratteristiche di deformabilità

Simbologia adottata

Descr Descrizione terreno

E Modulo di Young espresso in [daN/cm²]

Descr	E
Depositi fluviali	250,00
Ghiaie di messina	400,00

Descrizione stratigrafia

Simbologia adottata

n° Identificativo strato

Z1 Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°1 espressa in [m]

Z2 Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°2 espressa in [m]

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Z3 Quota dello strato in corrispondenza del punto di sondaggio n°3 espressa in [m]

Terreno Terreno dello strato

Punto di sondaggio n° 1: X = -10,0 [m] Y = 3,0 [m]

Punto di sondaggio n° 2: X = 0,0 [m] Y = 0,0 [m]

Punto di sondaggio n° 3: X = 10,0 [m] Y = 3,0 [m]

N	Z1	Z2	Z3	Terreno
1	-3,0	-3,0	-3,0	Depositi fluviali
2	-30,0	-30,0	-30,0	Ghiaie di messina

Normativa

N.T.C. 2008

Calcolo secondo: Approccio 1

Simbologia adottata

γ_{Gsfav}	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni permanenti
γ_{Gfav}	Coefficiente parziale favorevole sulle azioni permanenti
γ_{Qsfav}	Coefficiente parziale sfavorevole sulle azioni variabili
γ_{Qfav}	Coefficiente parziale favorevole sulle azioni variabili
$\gamma_{tan\phi'}$	Coefficiente parziale di riduzione dell'angolo di attrito drenato
$\gamma_{c'}$	Coefficiente parziale di riduzione della coesione drenata
γ_{cu}	Coefficiente parziale di riduzione della coesione non drenata
γ_{qu}	Coefficiente parziale di riduzione del carico ultimo
γ_{γ}	Coefficiente parziale di riduzione della resistenza a compressione uniaxiale delle rocce

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Coefficienti parziali combinazioni statiche

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

<i>Carichi</i>	<i>Effetto</i>		<i>A1</i>	<i>A2</i>
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,30	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1,50	1,30

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

<i>Parametri</i>			<i>M1</i>	<i>M2</i>
Tangente dell'angolo di attrito		$\gamma_{\tan\phi'}$	1,00	1,25
Coesione efficace		$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata		γ_{cu}	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale		γ_{qu}	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume		γ_{γ}	1,00	1,00

Coefficienti parziali combinazioni sismiche

Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

<i>Carichi</i>	<i>Effetto</i>		<i>A1</i>	<i>A2</i>
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,00	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1,00	1,00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

<i>Parametri</i>			<i>M1</i>	<i>M2</i>
Tangente dell'angolo di attrito		$\gamma_{\tan\phi'}$	1,00	1,25
Coesione efficace		$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata		γ_{cu}	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale		γ_{qu}	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume		γ_{γ}	1,00	1,00

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Coefficienti parziali γ_R per le verifiche geotecniche.

		R1	R2	R3
Capacità portante	γ_r	1,00	1,80	2,30
Scorrimento	γ_r	1,00	1,10	1,10
Coeff. di combinazione	$\Psi_0 = 0,70$	$\Psi_1 = 0,50$	$\Psi_2 = 0,20$	

Condizioni di carico

Simbologia e convenzioni di segno adottate

Carichi verticali positivi verso il basso.

Carichi orizzontali positivi verso sinistra.

Momento positivo senso antiorario.

<i>Fondazione</i>	Nome identificativo della fondazione
<i>N</i>	Sforzo normale totale espressa in [daN]
<i>Mx</i>	Momento in direzione X espressa in [daNm]
<i>My</i>	Momento in direzione Y espresso in [daNm]
<i>ex</i>	Eccentricità del carico lungo X espressa in [m]
<i>ey</i>	Eccentricità del carico lungo Y espressa in [m]
<i>β</i>	Inclinazione del taglio nel piano espressa in [°]
<i>T</i>	Forza di taglio espressa in [daN]

5.3.1.2 VERIFICHE APPROCCIO 1 – COMBINAZIONE 1

Tra parentesi è indicata la combinazione corrispondente definita al capitolo precedente.

Condizione n° 1 (Condizione n° 1)

Fondazione	N	Mx	My	ex	ey	β	T
Sottopasso	77400,0	0,0	105900,0	1,4	0,0	17,9	49808,1

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Condizione n° 2 (Condizione n° 2)

Fondazione	N	Mx	My	ex	ey	β	T
Sottopasso	77400,0	0,0	102000,0	1,3	0,0	24,8	43938,3

Condizione n° 3 (Condizione n° 3)

Fondazione	N	Mx	My	ex	ey	β	T
Sottopasso	24700,0	0,0	23100,0	0,9	0,0	13,0	40946,9

Condizione n° 4 (Condizione n° 4)

Fondazione	N	Mx	My	ex	ey	β	T
Sottopasso	77400,0	0,0	114100,0	1,5	0,0	90,0	12900,0

Condizione n° 5 (Condizione n° 6)

Fondazione	N	Mx	My	ex	ey	β	T
Sottopasso	64800,0	0,0	84700,0	1,3	0,0	90,0	15800,0

Descrizione combinazioni di carico

Simbologia adottata

- γ Coefficiente di partecipazione della condizione
- Ψ Coefficiente di combinazione della condizione
- C Coefficiente totale di partecipazione della condizione

Combinazione n° 1 SLU - Caso A1-M1

	γ	Ψ	C
Condizione n° 1	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 2 SLU - Caso A1-M1

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

	γ	Ψ	C
Condizione n° 2	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 3 SLU - Caso A1-M1

	γ	Ψ	C
Condizione n° 3	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 4 SLU - Caso A1-M1

	γ	Ψ	C
Condizione n° 4	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 6 SLU - Caso A1-M1

	γ	Ψ	C
Condizione n° 6	1.00	1.00	1.00

Analisi in condizioni drenate

Verifica della portanza per carichi verticali

Il calcolo della portanza è stato eseguito col metodo di Brinch-Hansen

La relazione adottata è la seguente:

$$q_u = c N_c s_c i_c d_c b_c g_c + q N_q s_q i_q d_q b_q g_q + 0.5 B \gamma N_\gamma s_\gamma i_\gamma d_\gamma b_\gamma g_\gamma$$

Altezza del cuneo di rottura: AUTOMATICA

Il criterio utilizzato per il calcolo del macrostrato equivalente è stato la MEDIA PESATA

Nel calcolo della portanza sono state richieste le seguenti opzioni:

Riduzione sismica: NESSUNA

Coefficiente correttivo su N_γ per effetti cinematici (combinazioni sismiche SLU): 1,00

Coefficiente correttivo su N_γ per effetti cinematici (combinazioni sismiche SLE): 1,00

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Riduzione per carico eccentrico: MEYERHOF
 Riduzione per rottura locale o punzonamento del terreno: VESIC
 Meccanismo di punzonamento in presenza di falda.

Sottopasso

Combinazione n° 1

Caratteristiche fisico-meccaniche del terreno equivalente

Spessore dello strato	H = 3,90	[m]
Peso specifico terreno	$\gamma = 1800,00$	[daN/mc]
Angolo di attrito	$\phi = 38,00$	[°]
Coesione	c = 0,00	[daN/cm ²]
Modulo di taglio	G = 166,67	[daN/cm ²]

Base ridotta	$B' = B - 2 e_x = 1,06$ [m]
Lunghezza ridotta	$L' = L - 2 e_y = 1,00$ [m]

Coefficienti di capacità portante e fattori correttivi del carico limite.

$N_c = 61,35$	$N_q = 48,93$	$N_\gamma = 78,02$
$s_c = 1,00$	$s_q = 1,00$	$s_\gamma = 1,00$
$i_c = 0,64$	$i_q = 0,64$	$i_\gamma = 0,52$
$d_c = 1,19$	$d_q = 1,19$	$d_\gamma = 1,00$
$b_c = 1,00$	$b_q = 1,00$	$b_\gamma = 1,00$
$g_c = 1,00$	$g_q = 1,00$	$g_\gamma = 1,00$

Il valore della capacità portante è dato da:

$$q_u = 0,00 + 19,17 + 2,64 = 21,82 \text{ [daN/cm}^2\text{]}$$

$$Q_u = 232027,74 \text{ [daN]}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$$Q_d = 232027,74 \text{ [daN]}$$

$$V = 77400,00 \text{ [daN]}$$

$$\eta = Q_u / V = 232027,74 / 77400,00 = 3,00$$

Indici rigidezza

$$I_c = 0,64$$

$$I_{rc} = 433,92$$

Combinazione n° 2

Caratteristiche fisico-meccaniche del terreno equivalente

Spessore dello strato	H = 3,90	[m]
Peso specifico terreno	$\gamma = 1800,00$	[daN/mc]
Angolo di attrito	$\phi = 38,00$	[°]
Coesione	c = 0,00	[daN/cm ²]
Modulo di taglio	G = 166,67	[daN/cm ²]

Base ridotta $B' = B - 2 \text{ ex} = 1,16 \text{ [m]}$

Lunghezza ridotta $L' = L - 2 \text{ ey} = 1,00 \text{ [m]}$

Coefficienti di capacità portante e fattori correttivi del carico limite.

$N_c = 61,35$	$N_q = 48,93$	$N_\gamma = 78,02$
$s_c = 1,00$	$s_q = 1,00$	$s_\gamma = 1,00$
$i_c = 0,57$	$i_q = 0,58$	$i_\gamma = 0,44$
$d_c = 1,19$	$d_q = 1,19$	$d_\gamma = 1,00$
$b_c = 1,00$	$b_q = 1,00$	$b_\gamma = 1,00$
$g_c = 1,00$	$g_q = 1,00$	$g_\gamma = 1,00$

Il valore della capacità portante è dato da:

$$q_u = 0,00 + 17,31 + 2,48 = 19,79 \text{ [daN/cm}^2\text{]}$$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$$Q_u = 230399,24 \text{ [daN]}$$

$$Q_d = 230399,24 \text{ [daN]}$$

$$V = 77400,00 \text{ [daN]}$$

$$\eta = Q_u / V = 230399,24 / 77400,00 = 2,98$$

Indici rigidezza

$$I_c = 0,57$$

$$I_{rc} = 433,92$$

Combinazione n° 3

Caratteristiche fisico-meccaniche del terreno equivalente

Spessore dello strato	H = 3,90	[m]
Peso specifico terreno	$\gamma = 1800,00$	[daN/mc]
Angolo di attrito	$\phi = 38,00$	[°]
Coesione	c = 0,00	[daN/cm ²]
Modulo di taglio	G = 166,67	[daN/cm ²]

$$\text{Base ridotta} \quad B' = B - 2 e_x = 1,93 \text{ [m]}$$

$$\text{Lunghezza ridotta} \quad L' = L - 2 e_y = 1,00 \text{ [m]}$$

Coefficienti di capacità portante e fattori correttivi del carico limite.

$N_c = 61,35$	$N_q = 48,93$	$N_\gamma = 78,02$
$s_c = 1,00$	$s_q = 1,00$	$s_\gamma = 1,00$
$i_c = 0,38$	$i_q = 0,39$	$i_\gamma = 0,25$
$d_c = 1,19$	$d_q = 1,19$	$d_\gamma = 1,00$
$b_c = 1,00$	$b_q = 1,00$	$b_\gamma = 1,00$
$g_c = 1,00$	$g_q = 1,00$	$g_\gamma = 1,00$

Il valore della capacità portante è dato da:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

$$q_u = 0,00 + 11,73 + 2,29 = 14,02 \text{ [daN/cm}^2\text{]}$$

$$Q_u = 270582,77 \text{ [daN]}$$

$$Q_d = 270582,77 \text{ [daN]}$$

$$V = 24700,00 \text{ [daN]}$$

$$\eta = Q_u / V = 270582,77 / 24700,00 = 10,95$$

Indici rigidezza

$$I_c = 0,38$$

$$I_{rc} = 433,92$$

Combinazione n° 4

Caratteristiche fisico-meccaniche del terreno equivalente

Spessore dello strato	H = 3,90	[m]
Peso specifico terreno	$\gamma = 1800,00$	[daN/mc]
Angolo di attrito	$\phi = 38,00$	[°]
Coesione	c = 0,00	[daN/cm ²]
Modulo di taglio	G = 166,67	[daN/cm ²]

Base ridotta $B' = B - 2 e_x = 0,85 \text{ [m]}$

Lunghezza ridotta $L' = L - 2 e_y = 1,00 \text{ [m]}$

Coefficienti di capacità portante e fattori correttivi del carico limite.

$N_c = 61,35$	$N_q = 48,93$	$N_\gamma = 78,02$
$s_c = 1,00$	$s_q = 1,00$	$s_\gamma = 1,00$
$i_c = 0,69$	$i_q = 0,69$	$i_\gamma = 0,58$
$d_c = 1,19$	$d_q = 1,19$	$d_\gamma = 1,00$
$b_c = 1,00$	$b_q = 1,00$	$b_\gamma = 1,00$
$g_c = 1,00$	$g_q = 1,00$	$g_\gamma = 1,00$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Il valore della capacità portante è dato da:

$$q_u = 0,00 + 20,68 + 2,37 = 23,06 \text{ [daN/cm}^2\text{]}$$

$$Q_u = 196356,15 \text{ [daN]}$$

$$Q_d = 196356,15 \text{ [daN]}$$

$$V = 77400,00 \text{ [daN]}$$

$$\eta = Q_u / V = 196356,15 / 77400,00 = 2,54$$

Indici rigidezza

$$I_c = 0,69$$

$$I_{rc} = 433,92$$

Combinazione n° 6

Caratteristiche fisico-meccaniche del terreno equivalente

Spessore dello strato	H = 3,90	[m]
Peso specifico terreno	$\gamma = 1800,00$	[daN/mc]
Angolo di attrito	$\phi = 38,00$	[°]
Coesione	c = 0,00	[daN/cm ²]
Modulo di taglio	G = 166,67	[daN/cm ²]

Base ridotta $B' = B - 2 e_x = 1,19 \text{ [m]}$

Lunghezza ridotta $L' = L - 2 e_y = 1,00 \text{ [m]}$

Coefficienti di capacità portante e fattori correttivi del carico limite.

$N_c = 61,35$	$N_q = 48,93$	$N_\gamma = 78,02$
$s_c = 1,00$	$s_q = 1,00$	$s_\gamma = 1,00$
$i_c = 0,56$	$i_q = 0,57$	$i_\gamma = 0,43$
$d_c = 1,19$	$d_q = 1,19$	$d_\gamma = 1,00$
$b_c = 1,00$	$b_q = 1,00$	$b_\gamma = 1,00$
$g_c = 1,00$	$g_q = 1,00$	$g_\gamma = 1,00$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Il valore della capacità portante è dato da:

$$q_u = 0,00 + 17,03 + 2,47 = 19,50 \text{ [daN/cm}^2\text{]}$$

$$Q_u = 231202,57 \text{ [daN]}$$

$$Q_d = 231202,57 \text{ [daN]}$$

$$V = 64800,00 \text{ [daN]}$$

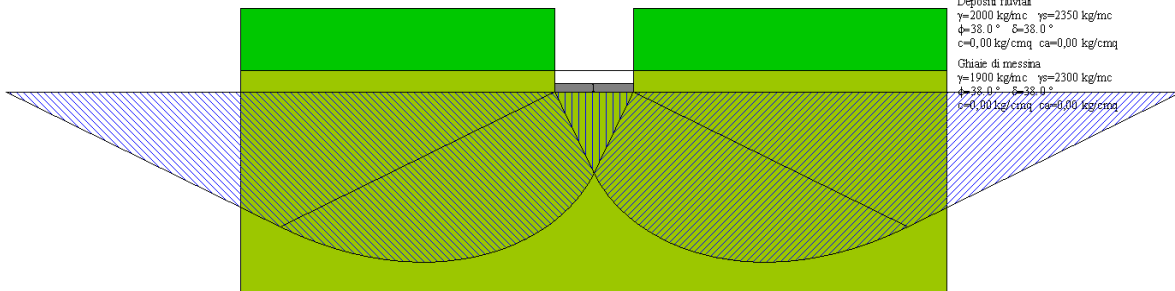
$$\eta = Q_u / V = 231202,57 / 64800,00 = 3,57$$

Indici rigidezza

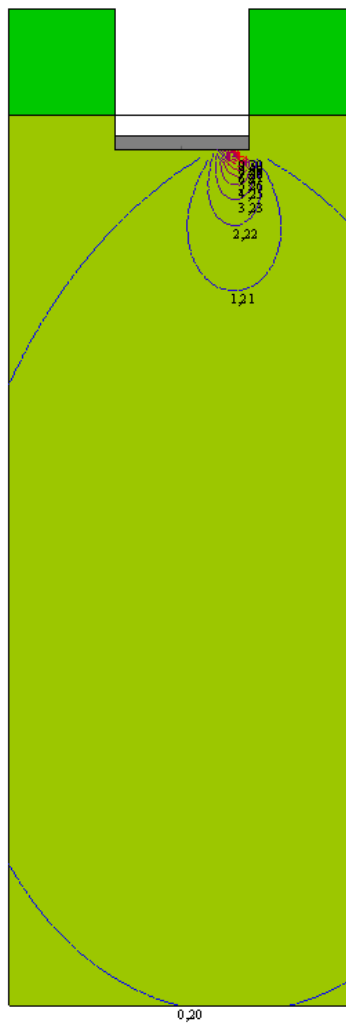
$$I_c = 0,56$$

$$I_{rc} = 433,92$$

Cuneo di rottura - comb 4



Bulbo delle tensioni - Sez X-X comb 4



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

5.3.1.3 VERIFICHE APPROCCIO 1 – COMBINAZIONE 2

Tra parentesi è indicata la combinazione corrispondente definita al capitolo precedente.

Condizione n° 1 (Condizione n° 5)

Fondazione	N	Mx	My	ex	ey	β	T
Sottopasso	64800,0	0,0	87000,0	1,3	0,0	90,0	13900,0

Condizione n° 2 (Condizione n° 7)

Fondazione	N	Mx	My	ex	ey	β	T
Sottopasso	64800,0	0,0	87000,0	1,3	0,0	90,0	13900,0

Condizione n° 3 (Condizione n° 8)

Fondazione	N	Mx	My	ex	ey	β	T
Sottopasso	76800,0	0,0	98600,0	1,3	0,0	90,0	20500,0

Condizione n° 4 (Condizione n° 9)

Fondazione	N	Mx	My	ex	ey	β	T
Sottopasso	24200,0	0,0	41100,0	1,7	0,0	90,0	0,0

Condizione n° 5 (Condizione n° 10)

Fondazione	N	Mx	My	ex	ey	β	T
Sottopasso	61200,0	0,0	77600,0	1,3	0,0	90,0	16800,0

Condizione n° 6 (Condizione n° 11)

Fondazione	N	Mx	My	ex	ey	β	T
Sottopasso	18900,0	0,0	32200,0	1,7	0,0	90,0	0,0

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Descrizione combinazioni di carico

Simbologia adottata

- γ Coefficiente di partecipazione della condizione
 Ψ Coefficiente di combinazione della condizione
C Coefficiente totale di partecipazione della condizione

Combinazione n° 1 SLU - Caso A2-M2 - Sismica

	γ	Ψ	C
Condizione n° 5	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 2 SLU - Caso A2-M2

	γ	Ψ	C
Condizione n° 7	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 3 SLU - Caso A2-M2

	γ	Ψ	C
Condizione n° 8	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 4 SLU - Caso A2-M2

	γ	Ψ	C
Condizione n° 9	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 5 SLU - Caso A2-M2

	γ	Ψ	C
Condizione n° 10	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 6 SLU - Caso A2-M2

	γ	Ψ	C
Condizione n° 11	1.00	1.00	1.00

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Analisi in condizioni drenate

Verifica della portanza per carichi verticali

Il calcolo della portanza è stato eseguito col metodo di Brinch-Hansen

La relazione adottata è la seguente:

$$q_u = c N_c s_c i_c d_c b_c g_c + q N_q s_q i_q d_q b_q g_q + 0.5 B \gamma N_\gamma s_\gamma i_\gamma d_\gamma b_\gamma g_\gamma$$

Altezza del cuneo di rottura: AUTOMATICA

Il criterio utilizzato per il calcolo del macrostrato equivalente è stato la MEDIA PESATA

Nel calcolo della portanza sono state richieste le seguenti opzioni:

Riduzione sismica: NESSUNA

Coefficiente correttivo su N_γ per effetti cinematici (combinazioni sismiche SLU): 1,00

Coefficiente correttivo su N_γ per effetti cinematici (combinazioni sismiche SLE): 1,00

Riduzione per carico eccentrico: MEYERHOF

Riduzione per rottura locale o punzonamento del terreno: VESIC

Meccanismo di punzonamento in presenza di falda.

Sottopasso

Combinazione n° 1 (SISMICA)

Caratteristiche fisico-meccaniche del terreno equivalente

Spessore dello strato	H = 3,43	[m]
Peso specifico terreno	$\gamma = 1800,00$	[daN/cm ³]
Angolo di attrito	$\phi = 32,01$	[°]
Coesione	c = 0,00	[daN/cm ²]
Modulo di taglio	G = 166,67	[daN/cm ²]

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Base ridotta $B' = B - 2 e_x = 1,11$ [m]

Lunghezza ridotta $L' = L - 2 e_y = 1,00$ [m]

Coefficienti di capacità portante e fattori correttivi del carico limite.

$N_c = 35,51$	$N_q = 23,19$	$N_\gamma = 30,24$
$s_c = 1,00$	$s_q = 1,00$	$s_\gamma = 1,00$
$i_c = 0,60$	$i_q = 0,62$	$i_\gamma = 0,48$
$d_c = 1,23$	$d_q = 1,22$	$d_\gamma = 1,00$
$b_c = 1,00$	$b_q = 1,00$	$b_\gamma = 1,00$
$g_c = 1,00$	$g_q = 1,00$	$g_\gamma = 1,00$

Il valore della capacità portante è dato da:

$$q_u = 0,00 + 13,84 + 1,55 = 15,39 \text{ [daN/cm}^2\text{]}$$

$$Q_u = 171569,94 \text{ [daN]}$$

$$Q_d = 95316,63 \text{ [daN]}$$

$$V = 64800,00 \text{ [daN]}$$

$$\eta = Q_u / V = 171569,94 / 64800,00 = 2,65$$

Indici rigidezza

$$I_c = 0,60 \quad I_{rc} = 192,68$$

Combinazione n° 2

Caratteristiche fisico-meccaniche del terreno equivalente

Spessore dello strato	$H = 3,43$	[m]
Peso specifico terreno	$\gamma = 1800,00$	[daN/mc]
Angolo di attrito	$\phi = 32,01$	[°]

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Coesione $c = 0,00$ [daN/cm²]

Modulo di taglio $G = 166,67$ [daN/cm²]

Base ridotta $B' = B - 2 e_x = 1,11$ [m]

Lunghezza ridotta $L' = L - 2 e_y = 1,00$ [m]

Coefficienti di capacità portante e fattori correttivi del carico limite.

$N_c = 35,51$ $N_q = 23,19$ $N_\gamma = 30,24$

$s_c = 1,00$ $s_q = 1,00$ $s_\gamma = 1,00$

$i_c = 0,60$ $i_q = 0,62$ $i_\gamma = 0,48$

$d_c = 1,23$ $d_q = 1,22$ $d_\gamma = 1,00$

$b_c = 1,00$ $b_q = 1,00$ $b_\gamma = 1,00$

$g_c = 1,00$ $g_q = 1,00$ $g_\gamma = 1,00$

Il valore della capacità portante è dato da:

$$q_u = 0,00 + 13,84 + 1,55 = 15,39 \text{ [daN/cm}^2\text{]}$$

$$Q_u = 171569,94 \text{ [daN]}$$

$$Q_d = 95316,63 \text{ [daN]}$$

$$V = 64800,00 \text{ [daN]}$$

$$\eta = Q_u / V = 171569,94 / 64800,00 = 2,65$$

Indici rigidezza

$I_c = 0,60$ $I_{rc} = 192,68$

Combinazione n° 3

Caratteristiche fisico-meccaniche del terreno equivalente

Spessore dello strato $H = 3,43$ [m]

Peso specifico terreno $\gamma = 1800,00$ [daN/mc]

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Angolo di attrito $\phi = 32,01$ [°]
 Coesione $c = 0,00$ [daN/cm²]
 Modulo di taglio $G = 166,67$ [daN/cm²]

Base ridotta $B' = B - 2 e_x = 1,23$ [m]
 Lunghezza ridotta $L' = L - 2 e_y = 1,00$ [m]

Coefficienti di capacità portante e fattori correttivi del carico limite.

$N_c = 35,51$	$N_q = 23,19$	$N_\gamma = 30,24$
$s_c = 1,00$	$s_q = 1,00$	$s_\gamma = 1,00$
$i_c = 0,52$	$i_q = 0,54$	$i_\gamma = 0,39$
$d_c = 1,23$	$d_q = 1,22$	$d_\gamma = 1,00$
$b_c = 1,00$	$b_q = 1,00$	$b_\gamma = 1,00$
$g_c = 1,00$	$g_q = 1,00$	$g_\gamma = 1,00$

Il valore della capacità portante è dato da:

$$q_u = 0,00 + 12,05 + 1,39 = 13,45 \text{ [daN/cm}^2\text{]}$$

$$Q_u = 165707,93 \text{ [daN]}$$

$$Q_d = 92059,96 \text{ [daN]}$$

$$V = 76800,00 \text{ [daN]}$$

$$\eta = Q_u / V = 165707,93 / 76800,00 = 2,16$$

Indici rigidezza

$$I_c = 0,52 \quad I_{rc} = 192,68$$

Combinazione n° 4

Caratteristiche fisico-meccaniche del terreno equivalente

Spessore dello strato $H = 3,43$ [m]

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Peso specifico terreno	$\gamma = 1800,00$	[daN/mc]
Angolo di attrito	$\phi = 32,01$	[°]
Coesione	$c = 0,00$	[daN/cm ²]
Modulo di taglio	$G = 166,67$	[daN/cm ²]

Base ridotta	$B' = B - 2 e_x = 0,40$ [m]
Lunghezza ridotta	$L' = L - 2 e_y = 1,00$ [m]

Coefficienti di capacità portante e fattori correttivi del carico limite.

$N_c = 35,51$	$N_q = 23,19$	$N_\gamma = 30,24$
$s_c = 1,00$	$s_q = 1,00$	$s_\gamma = 1,00$
$i_c = 1,00$	$i_q = 1,00$	$i_\gamma = 1,00$
$d_c = 1,23$	$d_q = 1,22$	$d_\gamma = 1,00$
$b_c = 1,00$	$b_q = 1,00$	$b_\gamma = 1,00$
$g_c = 1,00$	$g_q = 1,00$	$g_\gamma = 1,00$

Il valore della capacità portante è dato da:

$$q_u = 0,00 + 22,43 + 1,16 = 23,59 \text{ [daN/cm}^2\text{]}$$

$$Q_u = 95123,69 \text{ [daN]}$$

$$Q_d = 52846,49 \text{ [daN]}$$

$$V = 24200,00 \text{ [daN]}$$

$$\eta = Q_u / V = 95123,69 / 24200,00 = 3,93$$

Indici rigidezza

$$I_c = 1,00 \quad I_{rc} = 192,68$$

Combinazione n° 5

Caratteristiche fisico-meccaniche del terreno equivalente

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Spessore dello strato	$H = 3,43$	[m]
Peso specifico terreno	$\gamma = 1800,00$	[daN/mc]
Angolo di attrito	$\phi = 32,01$	[°]
Coesione	$c = 0,00$	[daN/cm ²]
Modulo di taglio	$G = 166,67$	[daN/cm ²]

Base ridotta	$B' = B - 2 e_x = 1,26$	[m]
Lunghezza ridotta	$L' = L - 2 e_y = 1,00$	[m]

Coefficienti di capacità portante e fattori correttivi del carico limite.

$N_c = 35,51$	$N_q = 23,19$	$N_\gamma = 30,24$
$s_c = 1,00$	$s_q = 1,00$	$s_\gamma = 1,00$
$i_c = 0,50$	$i_q = 0,53$	$i_\gamma = 0,38$
$d_c = 1,23$	$d_q = 1,22$	$d_\gamma = 1,00$
$b_c = 1,00$	$b_q = 1,00$	$b_\gamma = 1,00$
$g_c = 1,00$	$g_q = 1,00$	$g_\gamma = 1,00$

Il valore della capacità portante è dato da:

$$q_u = 0,00 + 11,80 + 1,39 = 13,19 \text{ [daN/cm}^2\text{]}$$

$$Q_u = 166742,43 \text{ [daN]}$$

$$Q_d = 92634,68 \text{ [daN]}$$

$$V = 61200,00 \text{ [daN]}$$

$$\eta = Q_u / V = 166742,43 / 61200,00 = 2,72$$

Indici rigidezza

$$I_c = 0,50 \quad I_{rc} = 192,68$$

Combinazione n° 6

Caratteristiche fisico-meccaniche del terreno equivalente

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Spessore dello strato	$H = 3,43$	[m]
Peso specifico terreno	$\gamma = 1800,00$	[daN/mc]
Angolo di attrito	$\phi = 32,01$	[°]
Coesione	$c = 0,00$	[daN/cm ²]
Modulo di taglio	$G = 166,67$	[daN/cm ²]

Base ridotta	$B' = B - 2 e_x = 0,39$	[m]
Lunghezza ridotta	$L' = L - 2 e_y = 1,00$	[m]

Coefficienti di capacità portante e fattori correttivi del carico limite.

$N_c = 35,51$	$N_q = 23,19$	$N_\gamma = 30,24$
$s_c = 1,00$	$s_q = 1,00$	$s_\gamma = 1,00$
$i_c = 1,00$	$i_q = 1,00$	$i_\gamma = 1,00$
$d_c = 1,23$	$d_q = 1,22$	$d_\gamma = 1,00$
$b_c = 1,00$	$b_q = 1,00$	$b_\gamma = 1,00$
$g_c = 1,00$	$g_q = 1,00$	$g_\gamma = 1,00$

Il valore della capacità portante è dato da:

$$q_u = 0,00 + 22,43 + 1,13 = 23,56 \text{ [daN/cm}^2\text{]}$$

$$Q_u = 92476,03 \text{ [daN]}$$

$$Q_d = 51375,57 \text{ [daN]}$$

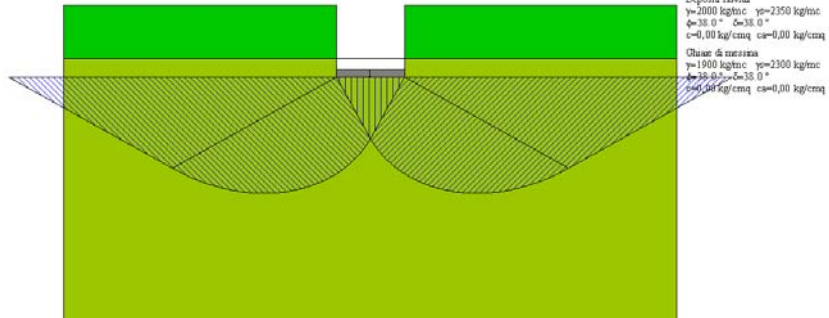
$$V = 18900,00 \text{ [daN]}$$

$$\eta = Q_u / V = 92476,03 / 18900,00 = 4,89$$

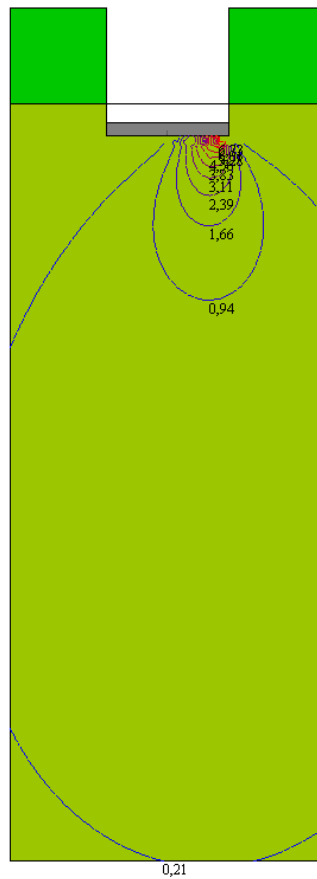
Indici rigidezza

$$I_c = 1,00 \quad I_{rc} = 192,68$$

Cuneo di rottura - COMB 8



Bulbo delle tensioni - Sez X-X COMB 8



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

5.3.1.4 VERIFICHE SLE - CEDIMENTI

Cedimenti della fondazione

Metodo Elastico

Il metodo dell'elasticità per il calcolo dei cedimenti, così come implementato, fornisce due valori:

- uno per deformazione laterale impedita (w_{imp})
- uno in condizioni di deformazione laterale libera (w_{lib})

L'espressione di w_{imp} è la seguente:

$$\Delta H = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta \sigma_i (1 - \nu - 2 \nu^2)}{E_i (1 - \nu)} \Delta z_i$$

dove

$\Delta \sigma$ è la tensione indotta nel terreno, alla profondità z , dalla pressione di contatto della fondazione;

E è il modulo elastico relativo allo strato **i-esimo**;

Δz rappresenta lo spessore dello strato **i-esimo** in cui è stato suddiviso lo strato compressibile e per il quale si conosce il modulo elastico;

ν è il coefficiente di **Poisson**.

L'espressione di w_{lib} è la seguente:

$$\Delta H = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta \sigma_i}{E_i} \Delta z_i$$

dove i termini sono stati già descritti sopra.

Lo spessore dello strato compressibile considerato nell'analisi dei cedimenti è stato determinato in funzione della percentuale della tensione di contatto. I valori del cedimento ottenuti dalle due relazioni rappresentano un valore minimo w_{imp} e un valore massimo w_{lib} del cedimento in condizioni elastiche della fondazione analizzata.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Condizioni di carico

Simbologia e convenzioni di segno adottate

Carichi verticali positivi verso il basso.

Carichi orizzontali positivi verso sinistra.

Momento positivo senso antiorario.

<i>Fondazione</i>	Nome identificativo della fondazione
<i>N</i>	Sforzo normale totale espressa in [kN]
<i>Mx</i>	Momento in direzione X espressa in [kNm]
<i>My</i>	Momento in direzione Y espresso in [kNm]
<i>ex</i>	Eccentricità del carico lungo X espressa in [m]
<i>ey</i>	Eccentricità del carico lungo Y espressa in [m]
<i>β</i>	Inclinazione del taglio nel piano espressa in [°]
<i>T</i>	Forza di taglio espressa in [kN]

Condizione n° 1 (Combinazione 12)

Fondazione	N	Mx	My	ex	ey	β	T
Sottopasso	300,000	0,000	88,000	0,3	0,0	90,0	94,000

Condizione n° 2 (Combinazione 13)

Fondazione	N	Mx	My	ex	ey	β	T
Sottopasso	117,000	0,000	0,000	0,0	0,0	90,0	0,000

Condizione n° 3 (Combinazione 14)

Fondazione	N	Mx	My	ex	ey	β	T
Sottopasso	299,000	0,000	98,000	0,3	0,0	90,0	108,000

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Condizione n° 4 (Combinazione 15)

Fondazione	N	Mx	My	ex	ey	β	T
Sottopasso	116,000	0,000	10,000	0,1	0,0	90,0	15,000

Condizione n° 5 (Combinazione 16)

Fondazione	N	Mx	My	ex	ey	β	T
Sottopasso	303,000	0,000	88,000	0,3	0,0	90,0	94,000

Condizione n° 6 (Combinazione 17)

Fondazione	N	Mx	My	ex	ey	β	T
Sottopasso	120,000	0,000	0,000	0,0	0,0	90,0	0,000

Condizione n° 7 (Combinazione 18)

Fondazione	N	Mx	My	ex	ey	β	T
Sottopasso	301,000	0,000	106,000	0,4	0,0	90,0	122,000

Condizione n° 8 (Combinazione 19)

Fondazione	N	Mx	My	ex	ey	β	T
Sottopasso	119,000	0,000	18,000	0,2	0,0	90,0	29,000

Condizione n° 9 (Combinazione 20)

Fondazione	N	Mx	My	ex	ey	β	T
Sottopasso	114,000	0,000	0,000	0,0	0,0	90,0	0,000

Condizione n° 10 (Combinazione 21)

Fondazione	N	Mx	My	ex	ey	β	T

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Sottopasso 297,000 0,000 88,000 0,3 0,0 90,0 94,000

Descrizione combinazioni di carico

Simbologia adottata

γ Coefficiente di partecipazione della condizione

Ψ Coefficiente di combinazione della condizione

C Coefficiente totale di partecipazione della condizione

Combinazione n° 1 SLE

	γ	Ψ	C
Condizione n° 1	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 2 SLE

	γ	Ψ	C
Condizione n° 2	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 3 SLE

	γ	Ψ	C
Condizione n° 3	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 4 SLE

	γ	Ψ	C
Condizione n° 4	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 5 SLE

	γ	Ψ	C
Condizione n° 5	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 6 SLE

	γ	Ψ	C
Condizione n° 6	1.00	1.00	1.00

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Combinazione n° 7 SLE

	γ	Ψ	C
Condizione n° 7	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 8 SLE

	γ	Ψ	C
Condizione n° 8	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 9 SLE

	γ	Ψ	C
Condizione n° 9	1.00	1.00	1.00

Combinazione n° 10 SLE

	γ	Ψ	C
Condizione n° 10	1.00	1.00	1.00

Analisi in condizioni drenate

Cedimenti

Il calcolo dei cedimenti è stato eseguito con il metodo Elastico.

Per il calcolo dei cedimenti, è stata impostata un'altezza dello strato compressibile legato alla percentuale tensionale.

In particolare la percentuale impostata è: 0,05 (%)

Cedimento complessivo

Simbologia adottata

Comb Identificativo della combinazione

w_i Cedimento elastico espresso in [cm]

w_{imp} Cedimento elastico ad espansione laterale impedita espresso in [cm]

H Spessore strato compressibile espresso in [m]

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

X coordinata X punto di calcolo cedimento espressa in [m]

Y coordinata Y punto di calcolo cedimento espressa in [m]

Sottopasso

Comb	w _i	w _{imp}	H	X	Y
1	0,89	0,84	16,30	2,19	6,00
1	0,88	0,83	16,30	0,00	6,00
1	0,89	0,83	16,30	3,80	6,00
2	0,25	0,24	10,90	1,90	6,00
2	0,24	0,23	10,90	0,00	6,00
2	0,24	0,23	10,90	3,80	6,00
3	0,89	0,84	16,30	2,23	6,00
3	0,88	0,82	16,30	0,00	6,00
3	0,89	0,83	16,30	3,80	6,00
4	0,25	0,24	10,90	1,99	6,00
4	0,24	0,23	10,90	0,00	6,00
4	0,24	0,23	10,90	3,80	6,00
5	0,90	0,85	16,40	2,19	6,00
5	0,89	0,84	16,40	0,00	6,00
5	0,90	0,84	16,40	3,80	6,00
6	0,26	0,25	11,10	1,90	6,00
6	0,24	0,23	11,10	0,00	6,00
6	0,24	0,23	11,10	3,80	6,00
7	0,91	0,85	16,40	2,25	6,00
7	0,89	0,84	16,40	0,00	6,00
7	0,90	0,84	16,40	3,80	6,00
8	0,27	0,26	11,00	2,05	6,00
8	0,26	0,24	11,00	0,00	6,00
8	0,26	0,25	11,00	3,80	6,00
9	0,24	0,23	10,80	1,90	6,00
9	0,23	0,22	10,80	0,00	6,00
9	0,23	0,22	10,80	3,80	6,00

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

10	0,88	0,83	16,30	2,20	6,00
10	0,87	0,81	16,30	0,00	6,00
10	0,87	0,82	16,30	3,80	6,00

Cedimento dei singoli strati

Simbologia adottata

Strato Identificativo dello strato

Terreno Terreno dello strato

ΔH Spessore dello strato espresso in [m]

Δw_i Cedimento elastico espresso in [cm]

Δw_{imp} Cedimento elastico ad espansione laterale impedita espresso in [cm]

Sottopasso (Combinazione n° 1)

Strato	Terreno	ΔH	Δw_i	Δw_{imp}
Totale		12,30	0,8926	0,8369

Sottopasso (Combinazione n° 2)

Strato	Terreno	ΔH	Δw_i	Δw_{imp}
Totale		6,90	0,2495	0,2382

Sottopasso (Combinazione n° 3)

Strato	Terreno	ΔH	Δw_i	Δw_{imp}
Totale		12,30	0,8937	0,8379

Sottopasso (Combinazione n° 4)

Strato	Terreno	ΔH	Δw_i	Δw_{imp}
Totale		6,90	0,2534	0,2411

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Sottopasso (Combinazione n° 5)

Strato	Terreno	ΔH	Δw_i	Δw_{imp}
Totale		12,40	0,9044	0,8478

Sottopasso (Combinazione n° 6)

Strato	Terreno	ΔH	Δw_i	Δw_{imp}
Totale		7,10	0,2604	0,2483

Sottopasso (Combinazione n° 7)

Strato	Terreno	ΔH	Δw_i	Δw_{imp}
Totale		12,40	0,9065	0,8497

Sottopasso (Combinazione n° 8)

Strato	Terreno	ΔH	Δw_i	Δw_{imp}
Totale		7,00	0,2704	0,2561

Sottopasso (Combinazione n° 9)

Strato	Terreno	ΔH	Δw_i	Δw_{imp}
Totale		6,80	0,2409	0,2301

Sottopasso (Combinazione n° 10)

Strato	Terreno	ΔH	Δw_i	Δw_{imp}
Totale		12,30	0,8840	0,8289

Dettagli sui cedimenti dei singoli strati

Simbologia adottata

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- n° numero d'ordine dell'i-esimo strato
 z quota media dell'i-esimo strato espresso in [m]
 ΔH spessore dello strato i-esimo espresso in [m]
 $\Delta\sigma_v$ incremento di tensione verticale dell'i-esimo strato espresso in [N/cm²]
 E modulo elastico dell'i-esimo strato espresso in [N/cm²]
 Δw cedimento dell'i-esimo strato espresso in [cm]

Sottopasso (Combinazione n° 1)

n°	z	ΔH	$\Delta\sigma_v$	E	Δw
1	-4,41	0,82	8,4	5000,0	0,1176
2	-5,23	0,82	7,7	5000,0	0,1173
3	-6,05	0,82	6,5	5000,0	0,1021
4	-6,87	0,82	5,4	5000,0	0,0859
5	-7,69	0,82	4,5	5000,0	0,0726
6	-8,51	0,82	3,8	5000,0	0,0623
7	-9,33	0,82	3,3	5000,0	0,0543
8	-10,15	0,82	2,9	5000,0	0,0479
9	-10,97	0,82	2,6	5000,0	0,0428
10	-11,79	0,82	2,4	5000,0	0,0387
11	-12,61	0,82	2,2	5000,0	0,0352
12	-13,43	0,82	2,0	5000,0	0,0323
13	-14,25	0,82	1,8	5000,0	0,0299
14	-15,07	0,82	1,7	5000,0	0,0277
15	-15,89	0,82	1,6	5000,0	0,0259
Totale		12,30			0,8926

Sottopasso (Combinazione n° 2)

n°	z	ΔH	$\Delta\sigma_v$	E	Δw
1	-4,23	0,46	2,4	5000,0	0,0170
2	-4,69	0,46	3,0	5000,0	0,0246
3	-5,15	0,46	2,9	5000,0	0,0244

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

4	-5,61	0,46	2,7	5000,0	0,0232
5	-6,07	0,46	2,4	5000,0	0,0215
6	-6,53	0,46	2,2	5000,0	0,0197
7	-6,99	0,46	2,0	5000,0	0,0180
8	-7,45	0,46	1,8	5000,0	0,0164
9	-7,91	0,46	1,7	5000,0	0,0150
10	-8,37	0,46	1,5	5000,0	0,0138
11	-8,83	0,46	1,4	5000,0	0,0128
12	-9,29	0,46	1,3	5000,0	0,0119
13	-9,75	0,46	1,2	5000,0	0,0111
14	-10,21	0,46	1,1	5000,0	0,0103
15	-10,67	0,46	1,1	5000,0	0,0097
Totale		6,90			0,2495

Sottopasso (Combinazione n° 3)

n°	z	ΔH	$\Delta \sigma_v$	E	Δw
1	-4,41	0,82	8,4	5000,0	0,1179
2	-5,23	0,82	7,7	5000,0	0,1185
3	-6,05	0,82	6,5	5000,0	0,1026
4	-6,87	0,82	5,4	5000,0	0,0861
5	-7,69	0,82	4,5	5000,0	0,0726
6	-8,51	0,82	3,8	5000,0	0,0622
7	-9,33	0,82	3,3	5000,0	0,0542
8	-10,15	0,82	2,9	5000,0	0,0478
9	-10,97	0,82	2,6	5000,0	0,0427
10	-11,79	0,82	2,4	5000,0	0,0386
11	-12,61	0,82	2,1	5000,0	0,0351
12	-13,43	0,82	2,0	5000,0	0,0322
13	-14,25	0,82	1,8	5000,0	0,0298
14	-15,07	0,82	1,7	5000,0	0,0277
15	-15,89	0,82	1,6	5000,0	0,0258
Totale		12,30			0,8937


		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Sottopasso (Combinazione n° 4)

n°	z	ΔH	$\Delta\sigma_v$	E	Δw
1	-4,23	0,46	3,0	5000,0	0,0223
2	-4,69	0,46	3,0	5000,0	0,0245
3	-5,15	0,46	2,9	5000,0	0,0243
4	-5,61	0,46	2,7	5000,0	0,0231
5	-6,07	0,46	2,4	5000,0	0,0214
6	-6,53	0,46	2,2	5000,0	0,0196
7	-6,99	0,46	2,0	5000,0	0,0179
8	-7,45	0,46	1,8	5000,0	0,0163
9	-7,91	0,46	1,6	5000,0	0,0149
10	-8,37	0,46	1,5	5000,0	0,0137
11	-8,83	0,46	1,4	5000,0	0,0127
12	-9,29	0,46	1,3	5000,0	0,0118
13	-9,75	0,46	1,2	5000,0	0,0110
14	-10,21	0,46	1,1	5000,0	0,0103
15	-10,67	0,46	1,1	5000,0	0,0096
Totale		6,90			0,2534

Sottopasso (Combinazione n° 5)

n°	z	ΔH	$\Delta\sigma_v$	E	Δw
1	-4,41	0,83	8,5	5000,0	0,1198
2	-5,24	0,83	7,7	5000,0	0,1192
3	-6,07	0,83	6,5	5000,0	0,1036
4	-6,89	0,83	5,4	5000,0	0,0870
5	-7,72	0,83	4,5	5000,0	0,0735
6	-8,55	0,83	3,8	5000,0	0,0630
7	-9,37	0,83	3,3	5000,0	0,0549
8	-10,20	0,83	2,9	5000,0	0,0484
9	-11,03	0,83	2,6	5000,0	0,0433
10	-11,85	0,83	2,4	5000,0	0,0391

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

11	-12,68	0,83	2,2	5000,0	0,0356
12	-13,51	0,83	2,0	5000,0	0,0327
13	-14,33	0,83	1,8	5000,0	0,0302
14	-15,16	0,83	1,7	5000,0	0,0280
15	-15,99	0,83	1,6	5000,0	0,0262
Totale		12,40			0,9044

Sottopasso (Combinazione n° 6)

n°	z	ΔH	$\Delta\sigma_v$	E	Δw
1	-4,24	0,47	2,6	5000,0	0,0185
2	-4,71	0,47	3,1	5000,0	0,0260
3	-5,18	0,47	2,9	5000,0	0,0257
4	-5,66	0,47	2,7	5000,0	0,0243
5	-6,13	0,47	2,5	5000,0	0,0225
6	-6,60	0,47	2,2	5000,0	0,0205
7	-7,08	0,47	2,0	5000,0	0,0187
8	-7,55	0,47	1,8	5000,0	0,0170
9	-8,02	0,47	1,7	5000,0	0,0156
10	-8,50	0,47	1,5	5000,0	0,0143
11	-8,97	0,47	1,4	5000,0	0,0132
12	-9,44	0,47	1,3	5000,0	0,0122
13	-9,92	0,47	1,2	5000,0	0,0114
14	-10,39	0,47	1,1	5000,0	0,0106
15	-10,86	0,47	1,1	5000,0	0,0100
Totale		7,10			0,2604

Sottopasso (Combinazione n° 7)

n°	z	ΔH	$\Delta\sigma_v$	E	Δw
1	-4,41	0,83	8,5	5000,0	0,1207
2	-5,24	0,83	7,9	5000,0	0,1213
3	-6,07	0,83	6,5	5000,0	0,1044

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

4	-6,89	0,83	5,4	5000,0	0,0872
5	-7,72	0,83	4,5	5000,0	0,0734
6	-8,55	0,83	3,8	5000,0	0,0628
7	-9,37	0,83	3,3	5000,0	0,0546
8	-10,20	0,83	2,9	5000,0	0,0482
9	-11,03	0,83	2,6	5000,0	0,0431
10	-11,85	0,83	2,4	5000,0	0,0389
11	-12,68	0,83	2,1	5000,0	0,0354
12	-13,51	0,83	2,0	5000,0	0,0325
13	-14,33	0,83	1,8	5000,0	0,0300
14	-15,16	0,83	1,7	5000,0	0,0279
15	-15,99	0,83	1,6	5000,0	0,0260
Totale		12,40			0,9065

Sottopasso (Combinazione n° 8)

n°	z	ΔH	$\Delta \sigma_v$	E	Δw
1	-4,23	0,47	3,7	5000,0	0,0304
2	-4,70	0,47	3,1	5000,0	0,0259
3	-5,17	0,47	3,0	5000,0	0,0256
4	-5,63	0,47	2,7	5000,0	0,0242
5	-6,10	0,47	2,5	5000,0	0,0223
6	-6,57	0,47	2,2	5000,0	0,0203
7	-7,03	0,47	2,0	5000,0	0,0185
8	-7,50	0,47	1,8	5000,0	0,0169
9	-7,97	0,47	1,7	5000,0	0,0154
10	-8,43	0,47	1,5	5000,0	0,0142
11	-8,90	0,47	1,4	5000,0	0,0131
12	-9,37	0,47	1,3	5000,0	0,0121
13	-9,83	0,47	1,2	5000,0	0,0113
14	-10,30	0,47	1,1	5000,0	0,0106
15	-10,77	0,47	1,1	5000,0	0,0099
Totale		7,00			0,2704

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Sottopasso (Combinazione n° 9)

n°	z	ΔH	$\Delta\sigma_v$	E	Δw
1	-4,23	0,45	2,4	5000,0	0,0161
2	-4,68	0,45	2,9	5000,0	0,0236
3	-5,13	0,45	2,8	5000,0	0,0235
4	-5,59	0,45	2,6	5000,0	0,0224
5	-6,04	0,45	2,4	5000,0	0,0208
6	-6,49	0,45	2,2	5000,0	0,0191
7	-6,95	0,45	2,0	5000,0	0,0174
8	-7,40	0,45	1,8	5000,0	0,0159
9	-7,85	0,45	1,6	5000,0	0,0146
10	-8,31	0,45	1,5	5000,0	0,0134
11	-8,76	0,45	1,4	5000,0	0,0124
12	-9,21	0,45	1,3	5000,0	0,0115
13	-9,67	0,45	1,2	5000,0	0,0108
14	-10,12	0,45	1,1	5000,0	0,0101
15	-10,57	0,45	1,0	5000,0	0,0094
Totale		6,80			0,2409

Sottopasso (Combinazione n° 10)

n°	z	ΔH	$\Delta\sigma_v$	E	Δw
1	-4,41	0,82	8,3	5000,0	0,1165
2	-5,23	0,82	7,6	5000,0	0,1163
3	-6,05	0,82	6,4	5000,0	0,1012
4	-6,87	0,82	5,3	5000,0	0,0851
5	-7,69	0,82	4,4	5000,0	0,0719
6	-8,51	0,82	3,8	5000,0	0,0617
7	-9,33	0,82	3,3	5000,0	0,0537
8	-10,15	0,82	2,9	5000,0	0,0474
9	-10,97	0,82	2,6	5000,0	0,0424



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

10	-11,79	0,82	2,3	5000,0	0,0383
11	-12,61	0,82	2,1	5000,0	0,0349
12	-13,43	0,82	2,0	5000,0	0,0320
13	-14,25	0,82	1,8	5000,0	0,0296
14	-15,07	0,82	1,7	5000,0	0,0275
15	-15,89	0,82	1,6	5000,0	0,0256
Totale		12,30			0,8840

5.3.1.5 VALUTAZIONE DEI RISULTATI

I fattori di sicurezza ottenuti per verifica di portanza verticale della sottostruttura in oggetto risultano, per le combinazioni statiche, spesso ampiamente superiori al valore richiesto dalla normativa vigente; le dimensioni minime della fondazione sono imposte dalle dimensioni dello scatolare stesso e risultano quindi accettabili in termini di portanza verticale. Non si effettua la verifica allo scorrimento orizzontale dell'opera in quanto non risulta possibile il cinematismo, vista la presenza del terreno laterale ai piedritti che agisce come vincolo.

I cedimenti massimi si attestano su valori massimi minori di 1 cm, valore ritenuto più che accettabile ed in linea con i valori attesi.

		<p align="center">Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO</p>		
<p align="center">RELAZIONE GEOTECNICA</p>		<p><i>Codice documento</i> SF0217_F0</p>	<p><i>Rev</i> F0</p>	<p><i>Data</i> 20/06/2011</p>

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SF0217_F0	<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	FC	L2	PM	00	00	00	02
CG0700	P	SH	D	S	FC	L2	PM	00	00	00	01
CG0700	P	CL	D	S	FC	L2	PM	00	00	00	04
CG0700	P	CL	D	S	FC	L2	PM	00	00	00	02
CG0700	P	RB	D	S	FC	L2	PM	00	00	00	01
CG0700	P	P7	D	S	FC	L2	PM	00	00	00	01
CG0700	P	Z9	D	S	FC	L2	PM	00	00	00	01
CG0700	P	PZ	D	S	FC	L2	PM	00	00	00	03
CG0700	P	PZ	D	S	FC	L2	PM	00	00	00	04
CG0700	P	BZ	D	S	FC	L2	PM	00	00	00	01
CG0700	P	SZ	D	S	FC	L2	PM	00	00	00	02
CG0700	P	SZ	D	S	FC	L2	PM	00	00	00	03
CG0700	P	SZ	D	S	FC	L2	PM	00	00	00	04