

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</p>  <p>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>
--	--	---	--

<i>Unità Funzionale</i>	COLLEGAMENTI SICILIA	SS0794_F0
<i>Tipo di sistema</i>	INFRASTRUTTURE STRADALI OPERE CIVILI	
<i>Raggruppamento di opere/attività</i>	SVINCOLO ANNUNZIATA	
<i>Opera - tratto d'opera - parte d'opera</i>	SOTTOVIA RAMPA 1	
<i>Titolo del documento</i>	RELAZIONE GEOTECNICA	

CODICE	C	G	0	7	0	0	P	R	B	D	S	S	C	A	4	V	I	R	1	0	0	0	0	0	1	F0
--------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SS0794_F0.doc	<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.....	8
3.1 CALCESTRUZZI (SECONDO UNI 11104 - 2004)	8
3.2 ACCIAIO PER ARMATURE DI CONGLOMERATO CEMENTIZIO ARMATO (SECONDO NTC 2008 – D.M. 14/01/2008).....	10
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 PREVALENTI	12
4.2.2 INDAGINI PREVISTE	12
4.2.3 PARAMETRI PRINCIPALI ASSUNTI.....	35
4.2.4 COEFFICIENTE DI REAZIONE DEL TERRENO.....	35
4.3 CARATTERIZZAZIONE DELLA SISMICITA' DEL LUOGO	36
5 ANALISI STRUTTURA SCATOLARE	38
5.1 ANALISI DEI CARICHI	38
5.1.1 CARICO: g1.....	39
5.1.2 CARICO PERMANENTE PORTATO: g2	39
5.1.3 SPINTA DEL TERRENO	40
5.1.4 SPINTA DEL SOVRACCARICO ACCIDENTALE	42
5.1.5 SOVRACCARICO ACCIDENTALE SULLA SOLETTA SUPERIORE	42
5.1.6 SOVRACCARICO ACCIDENTALE SULLA SOLETTA INFERIORE	44
5.1.7 AZIONI SISMICHE: q6	46
5.1.7.1 PERIODO DI RIFERIMENTO	46
5.1.7.2 STATO LIMITE CONSIDERATO	46
5.1.7.3 PARAMETRI SPETTRALI.....	47
5.1.7.4 METODO DI ANALISI.....	47
5.1.7.5 SPINTA SISMICA DEL TERRENO	47
5.1.8 COMBINAZIONE DI CARICO CONSIDERATE	49

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SS0794_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

5.2	MODELLO DI CALCOLO	52
5.2.1	PROGRAMMA DI CALCOLO UTILIZZATO	52
5.2.2	DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO.....	52

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SS0794_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

PREMESSA

La presente relazione tratta le opere strutturali del “Sottovia - Rampa 1” carreggiata direzione Messina (Pk. Iniz. 0+694.83 - Pk. Fin. 0+704.83), facente parte dello svincolo di Annunziata terminale dell’intervento lato Sicilia del ponte sullo stretto di Messina.

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
- CNR-DT 207/2008 - Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni
- UNI EN1990:2002 - Basi della progettazione strutturale
- UNI EN1991-2:2003 - Azioni sulle strutture - Parte 2: Carichi da traffico sui ponti
- UNI EN1992-1-1:2004 - Progettazione delle strutture in cls - Parte 1.1: Regole generali e regole per gli edifici
- UNI EN1993-1-1:2005: Progettazione delle strutture in acciaio - Parte 1.1: Regole generali e regole per gli edifici
- UNI EN1993-1-5:2006: Progettazione delle strutture in acciaio - Parte 1.5: Elementi strutturali a lastra
- UNI EN1993-1-8:2005: Progettazione delle strutture in acciaio - Parte 1.8: Progettazione dei collegamenti
- UNI EN1993-1-9:2005: Progettazione delle strutture in acciaio - Parte 1.9: Fatica
- UNI EN1993-2:2006: Progettazione delle strutture in acciaio - Parte 2: Ponti in acciaio
- UNI EN1994-1-1:2004: Progettazione delle strutture miste acciaio-cls - Parte 1.1: Regole generali e regole per gli edifici

		<p align="center">Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO</p>		
<p align="center">RELAZIONE GEOTECNICA</p>		<p><i>Codice documento</i> SS0794_F0.doc</p>	<p><i>Rev</i> F0</p>	<p><i>Data</i> 20/06/2011</p>

- UNI EN1994-1-2:2005: Progettazione delle strutture miste acciaio-clc - Parte 2: Ponti a struttura composta
- UNI EN1998-1-1:2004: Progettazione delle strutture per la resistenza sismica - Parte 1.1: Regole generali

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SS0794_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

2 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] SEAOC Blue Book "Conceptual Framework for Performance-Based Seismic Design", Appendix B (2000).
- [2] Gruppo di Lavoro (2004). Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003. Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici).
- [3] Priestley M.J.N., Seible F. e Calvi G.M. "Seismic Design and Retrofit of Bridges", J. Wiley & Sons, Inc. (1996).
- [4] Migliacci A. e Mola F., "Progetto agli stati limite delle strutture in c.a.". Parte prima e seconda, Ed. Masson. 1996.
- [5] FEMA 440 – "Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures", prepared by ATC, ATC-55 Project, Redwood City CA, June 2005.
- [6] FEMA 440 – "Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures", prepared by ATC, ATC-55 Project, Redwood City CA, June 2005.
- [7] M. W. O'Neill and L. C. Reese "Drilled shafts: construction procedures and design methods", prepared for U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration; printed by ADSC: The International Association of Foundation Drilling, pub. n. ADSC-TL 4, August 1999.
- [8] CALTRANS "Seismic Design Criteria" Version 1.1; California department of transportation, USA, July 1999.
- [9] ATC-32 "Improved Seismic Design Criteria for California Bridges: Provisional Recommendations" Version 1.1; California, USA, June 1996.
- [10] ATC-49 "Recommended LRFD guidelines for the seismic design of highway bridges. Part I: Specifications. Part II: Commentary and Appendices", ATC/MCEER Joint Venture, USA, June 2003.
- [11] Roesset J.M. [1969] "Fundamentals of soil amplification", Conference on Seismic Design for Nuclear Power Plants, MIT, Ed. by Robert J. Hansen, Vol 1, pp. 183-244.
- [12] Mylonakis G. [2001] "Simplified model for seismic pile bending at soil layer interfaces", The Japanese Geotechnical Society, Vol. 41, No. 4(20010815), pp. 47-58.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SS0794_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

3 CARATTERISTICHE MATERIALI

3.1 CALCESTRUZZI (SECONDO UNI 11104 - 2004)

Per sottofondazioni

classe di resistenza	C12/15
classe di esposizione	XC0

Fondazioni

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	$f_{ctk} = 2.15 \text{ N/mm}^2$
tensione a SLE – combinazione rara	$\sigma_C = 14.94 \text{ N/mm}^2$
tensione a SLE – combinazione quasi permanente	$\sigma_C = 11.20 \text{ N/mm}^2$
copriferro	$C = 40 \text{ mm}$
classe di esposizione	XC2
classe di consistenza slump	S4
max dimensione aggregati	$D_{max} = 32 \text{ mm}$
rapporto A/C massimo	0.50

Elevazioni muri

classe di resistenza	C32/40
modulo elastico	$E_c = 33.643 \text{ N/mm}^2$
resistenza caratteristica a compressione cilindrica	$f_{ck} = 33.20 \text{ N/mm}^2$
resistenza media a compressione cilindrica	$f_{cm} = 41.20 \text{ N/mm}^2$
resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} = 18.81 \text{ N/mm}^2$
resistenza a trazione (valore medio)	$f_{ctm} = 3.10 \text{ N/mm}^2$

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SS0794_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

resistenza caratteristica a trazione	$f_{ctk} =$	2.17	N/mm ²
resistenza caratteristica a trazione per flessione	$f_{ctk} =$	2.60	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 =	45	mm
classe di esposizione	XC4	XS1	XF2
classe di consistenza slump		S4	
max dimensione aggregati	Dmax =	32	mm
rapporto A/C massimo		0.50	

Soletta

classe di resistenza		C32/40	
modulo elastico	$E_c =$	33.643	N/mm ²
resistenza caratteristica a compressione cilindrica	$f_{ck} =$	33.20	N/mm ²
resistenza media a compressione cilindrica	$f_{cm} =$	41.20	N/mm ²
resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} =$	18.81	N/mm ²
resistenza a trazione (valore medio)	$f_{ctm} =$	3.10	N/mm ²
resistenza caratteristica a trazione	$f_{ctk} =$	2.17	N/mm ²
resistenza caratteristica a trazione per flessione	$f_{ctk} =$	2.60	N/mm ²
tensione a SLE – combinazione rara	$\sigma_C =$	19.92	N/mm ²
tensione a SLE – combinazione quasi permanente	$\sigma_C =$	14.94	N/mm ²
copriferro estradosso	C =	40	mm
classe di esposizione		XF1	XS1
classe di consistenza slump		S4	
max dimensione aggregati	Dmax =	20	mm
rapporto A/C massimo		0.50	

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

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SS0794_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

3.2 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	$f_{yd} =$	391.30	N/mm ²
modulo elastico	$E_s =$	206.000	N/mm ²
deformazione caratteristica al carico massimo	ϵ_{uk}	7.50	%
deformazione di progetto	ϵ_{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> SS0794_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

4 DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA

4.1 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E UBICAZIONE DELLA STRUTTURA

Il sottopasso oggetto della presente relazione è denominato “Sottovia - Rampa 1” carreggiata direzione Messina (Pk. Iniz. 0+694.83 - Pk. Fin. 0+704.83), ed è parte dello svincolo di Annunziata terminale dell’intervento lato Sicilia del ponte sullo stretto di Messina.

La struttura scatolare è realizzata con una soletta di fondazione di spessore 1.2 m, pareti di spessore 1.0 m e soletta superiore 1.1 m. Si riportano di seguito la sezione trasversale e la pianta.

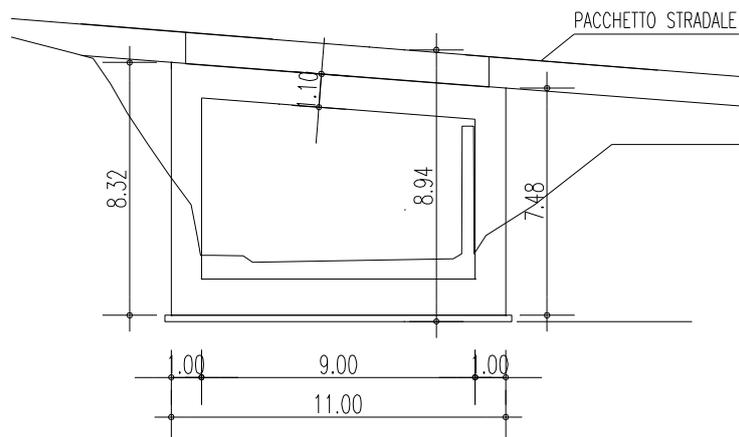


Figura 1 – Sezione trasversale tipica

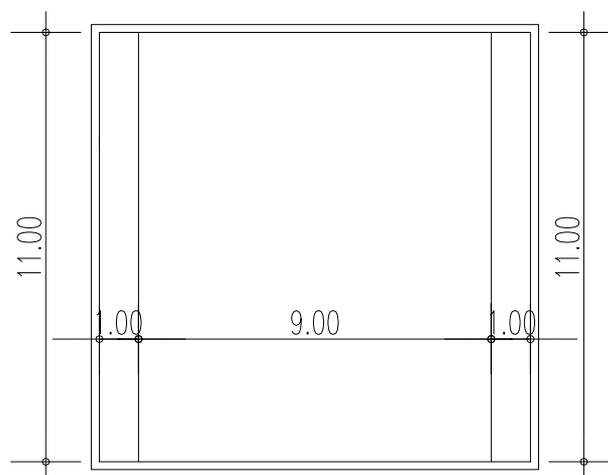


Figura 2 – Pianta

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SS0794_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

4.2 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEL LUOGO

4.2.1 DESCRIZIONE DELLE LITOLOGIE PREVALENTI

Le litologie prevalenti sono costituite dalla formazione dei Depositi alluvionali e dal San Pier Niceto Argilloso.

I Depositi alluvionali sono costituiti da ghiaie poligeniche ed eterometriche, giallastre o brune a clasti prevalentemente arrotondati di diametro da 2 a 30 cm, clasti sostenuti o a supporto di matrice argilloso-sabbiosa, alternate a rari sottili livelli di sabbie argillose rossastre; sabbie ciottolose a supporto di matrice argilloso-terrosa. L'età dei depositi alluvionali terrazzati è Pleistocene medio-superiore.

I depositi alluvionali recenti sono costituiti da limi e sabbie con livelli di ghiaie a supporto di matrice terroso-argillosa, talora terrazzati, localizzati in aree più elevate rispetto agli alvei fluviali attuali. La componente ruditica è rappresentata da ciottoli poligenici, prevalentemente cristallini, da spigolosi a subarrotondati di diametro tra 1 e 10 cm, mediamente di 4-5 cm. L'età dei depositi alluvionali recenti è l'Olocene.

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

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

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

La falda risulta presente a quota -17.8 m da piano campagna.

4.2.2 INDAGINI PREVISTE

Data l'esiguità delle prove localmente presenti, si è scelto di tenere conto di tutti i sondaggi e le prove della tratta che va dal Km 10+000 al Km 10+400 circa.

I sondaggi di riferimento per la presente tratta sono quindi S430, S431, S432, S435, S436, S437, S441, I2, I3 (campagna del 2010), S07, S08 (campagna del 2002).

Non sono localmente presenti indagini per la determinazione della categoria sismica di suolo.

In base ad indagini più lontane (sismica a rifrazione SR15 e sondaggio S441) essa risulta pari a **C**.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SS0794_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Le prove localmente utilizzate nella caratterizzazione sono:

Depositi alluvionali

Le prove localmente utilizzate nella caratterizzazione sono:

- prove SPT (S437,S431,S441,S436)
- prove sismiche a rifrazione (S432-SR15)
- prove di laboratorio per la determinazione delle granulometrie e delle caratteristiche fisiche (S430, S431, S432, S436, S437)

San Pier Niceto argilloso

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

Le prove utilizzate nella caratterizzazione sono:

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

Depositi alluvionali

Per quanto riguarda le caratteristiche fisiche l'andamento del fuso (campioni dei sondaggi S432,S437,S431,S441,S436) evidenzia che i litotipi corrispondono a materiali a grana grossa (ghiaie 39%), 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.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SS0794_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Per quanto concerne lo stato iniziale ed i parametri di resistenza dalle prove SPT si ha:

- **Dr:** I valori di N_{spt} sono stati corretti con il fattore correttivo $C_{sg}=0.45$ corrispondente al $d50=3mm$.
- **e_o :** a partire dal $d50$ 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 è mediamente 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.

z(m)	Dr(%)	K_0	ϕ'_p (pff=0-272KPa) (°)	ϕ'_{cv} (°)
0-10	40-70	0.32-0.40	37-43	33-35

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

Per i parametri di deformabilità dalle sismiche a rifrazione (S432-SR15 e PR18 SR) si ottengono valori di V_s che vanno mediamente da 200 m/s a 300 m/s.

G_0 varia da 80 a 150 Mpa fino a 15m di profondità.

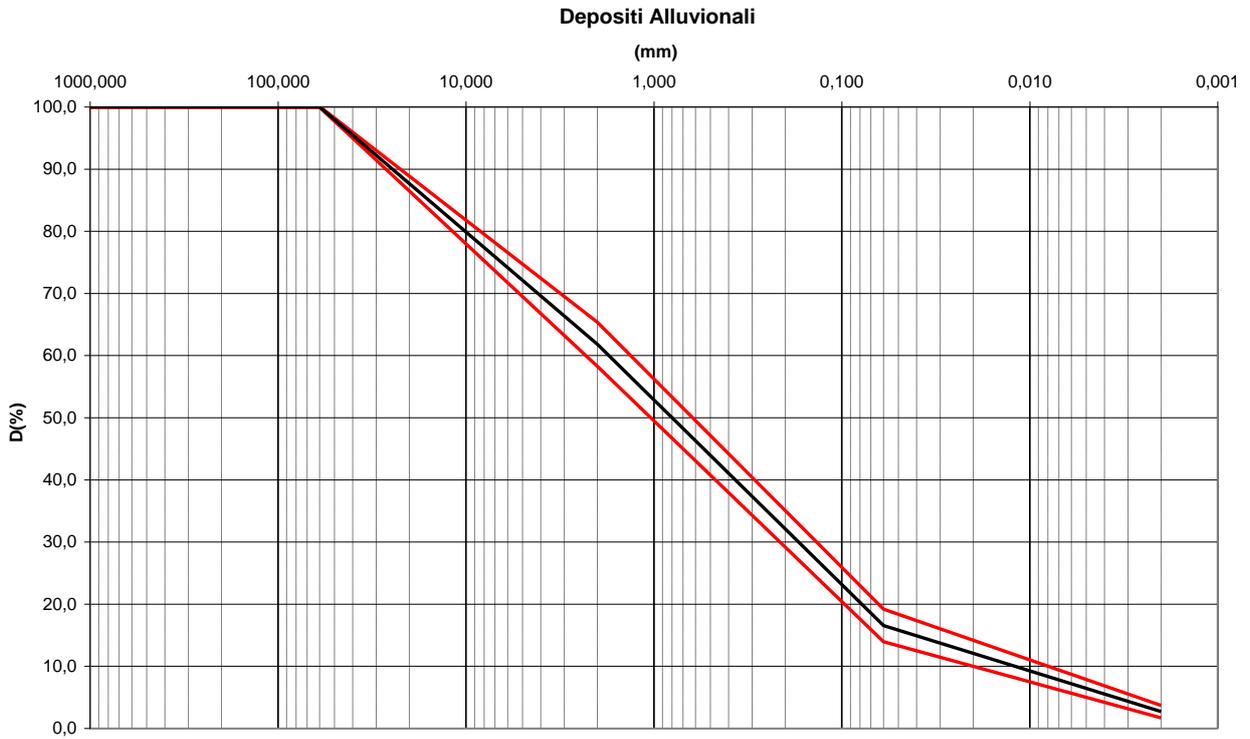
I valori di G_0 da prove SPT hanno invece un andamento che, stimato graficamente con una linea di tendenza, risulta pari a:

$$G_o = 34 \cdot (z)^{0.65}$$

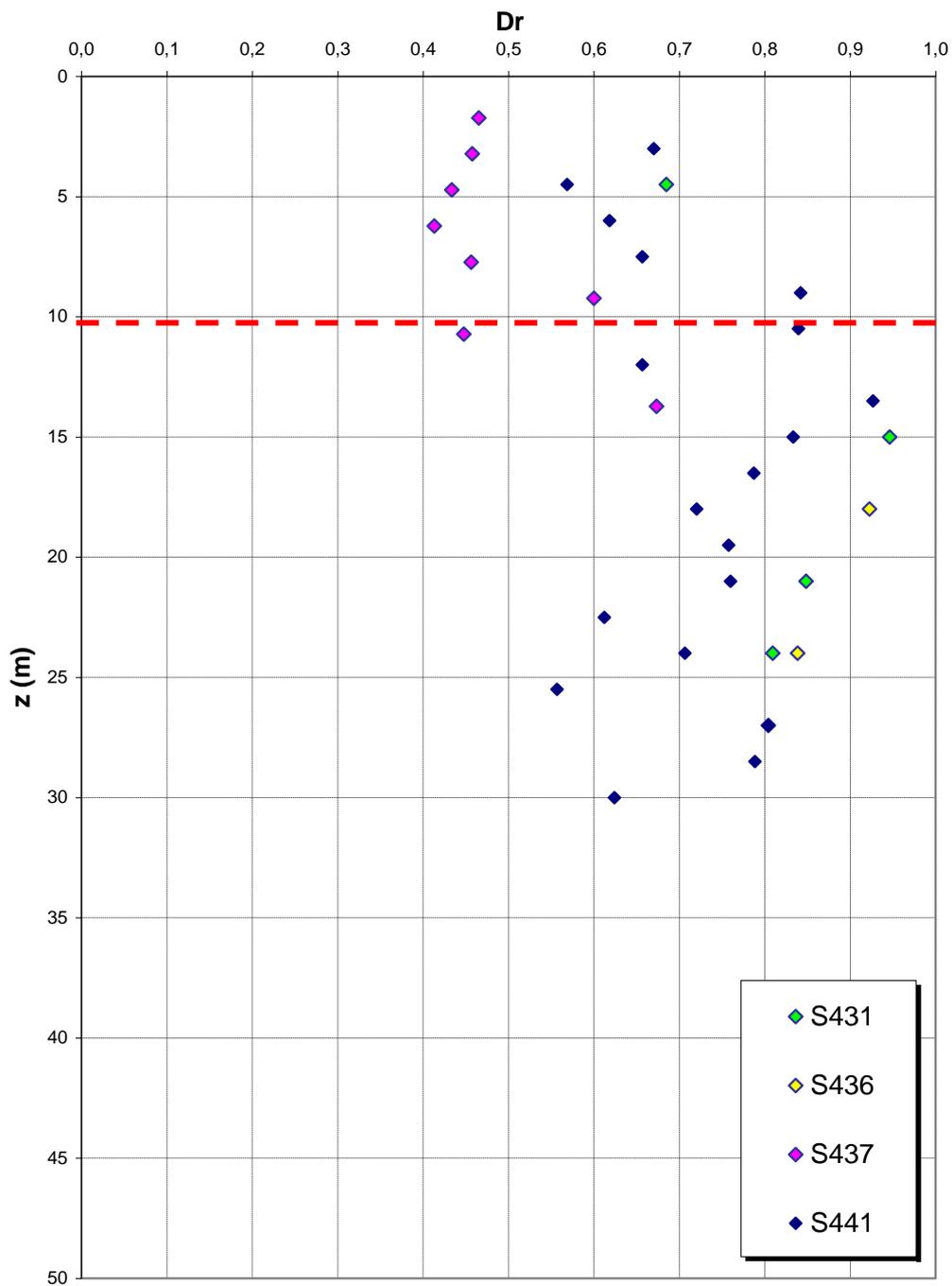
$$E_o = 80 \cdot (z)^{0.65}$$

$$E = (10 \div 25) \cdot (z)^{0.65}$$

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

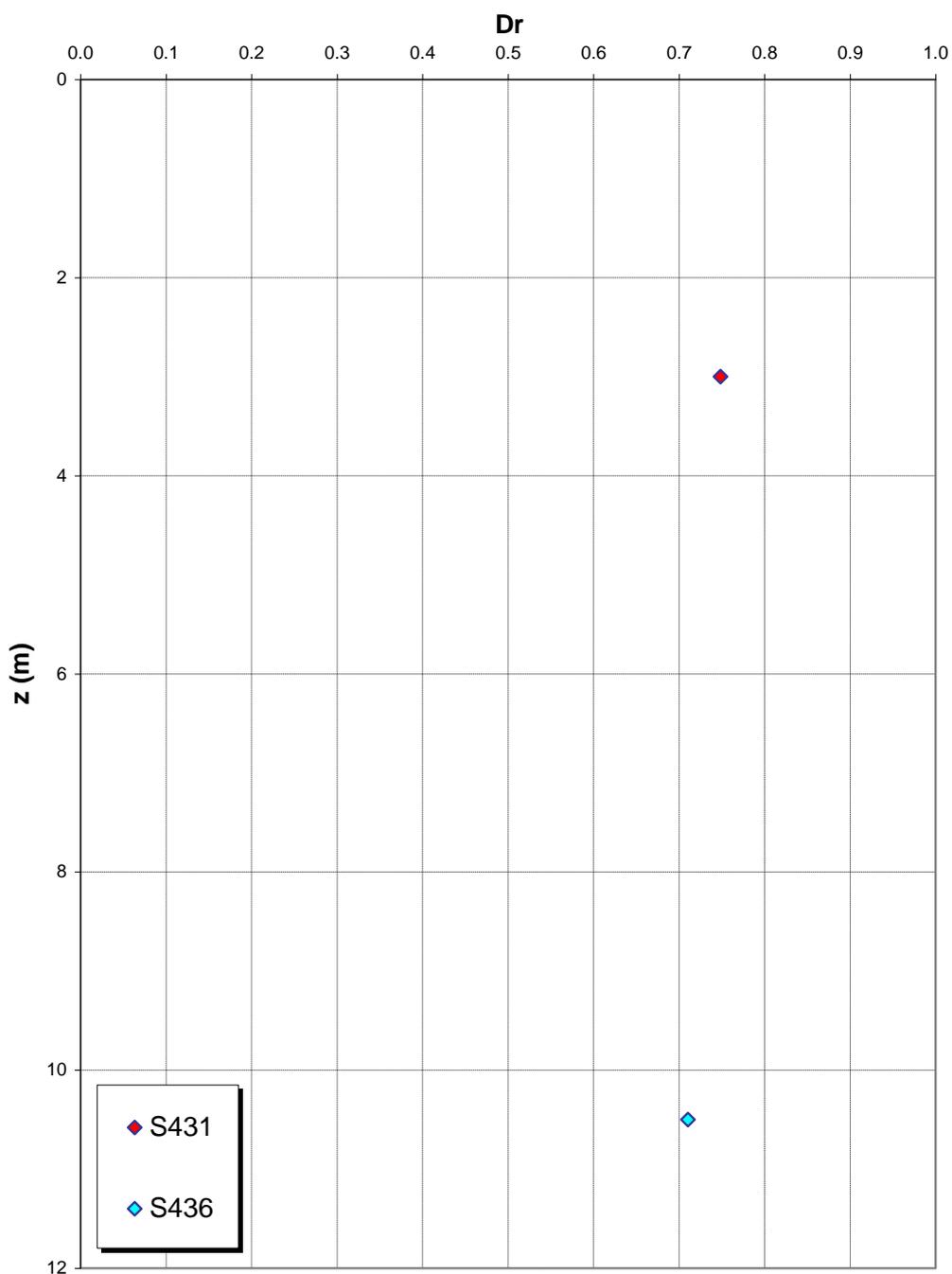


**Dr Skempton (1986)
Componente sabbiosa prevalente
DEPOSITI ALLUVIONALI**

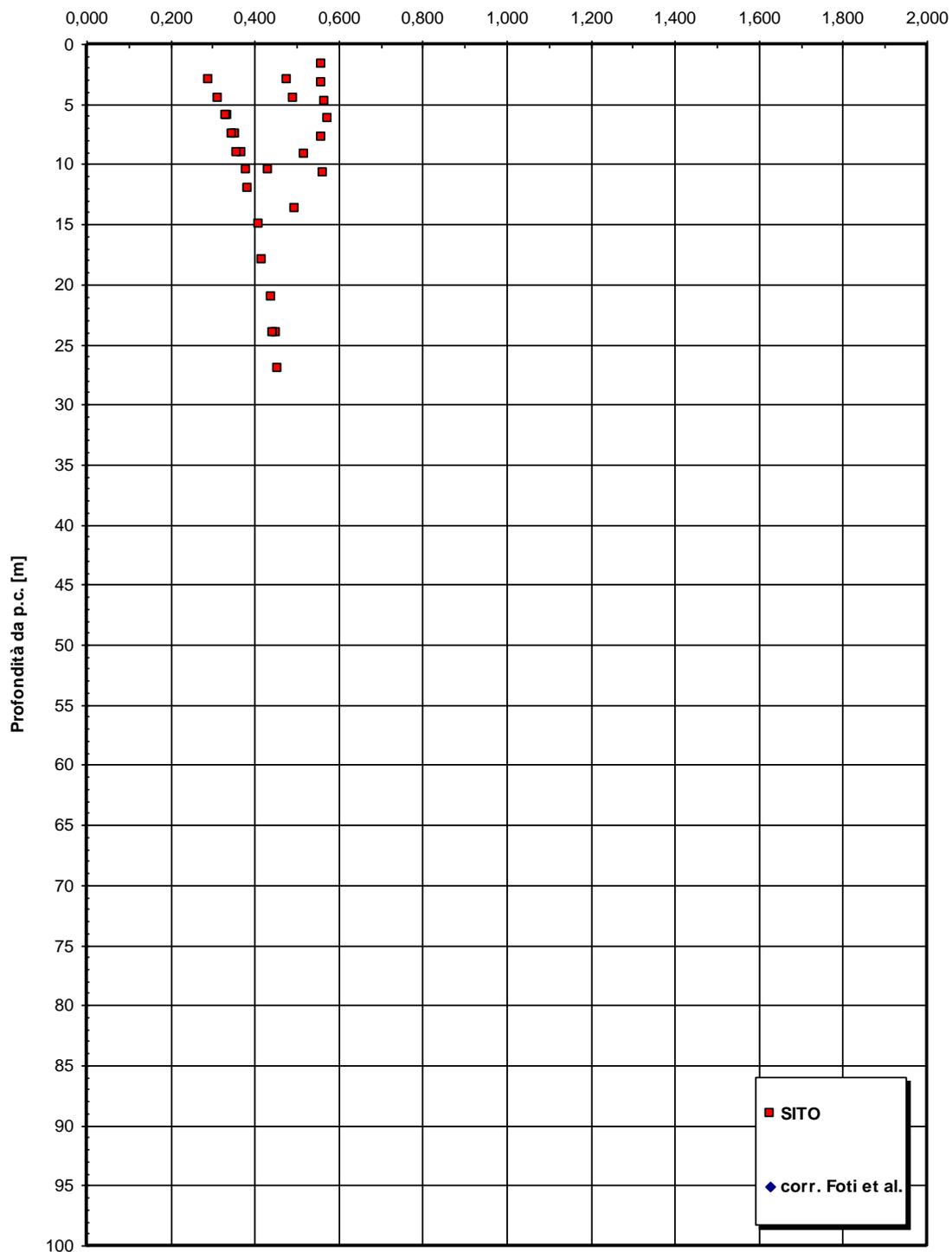


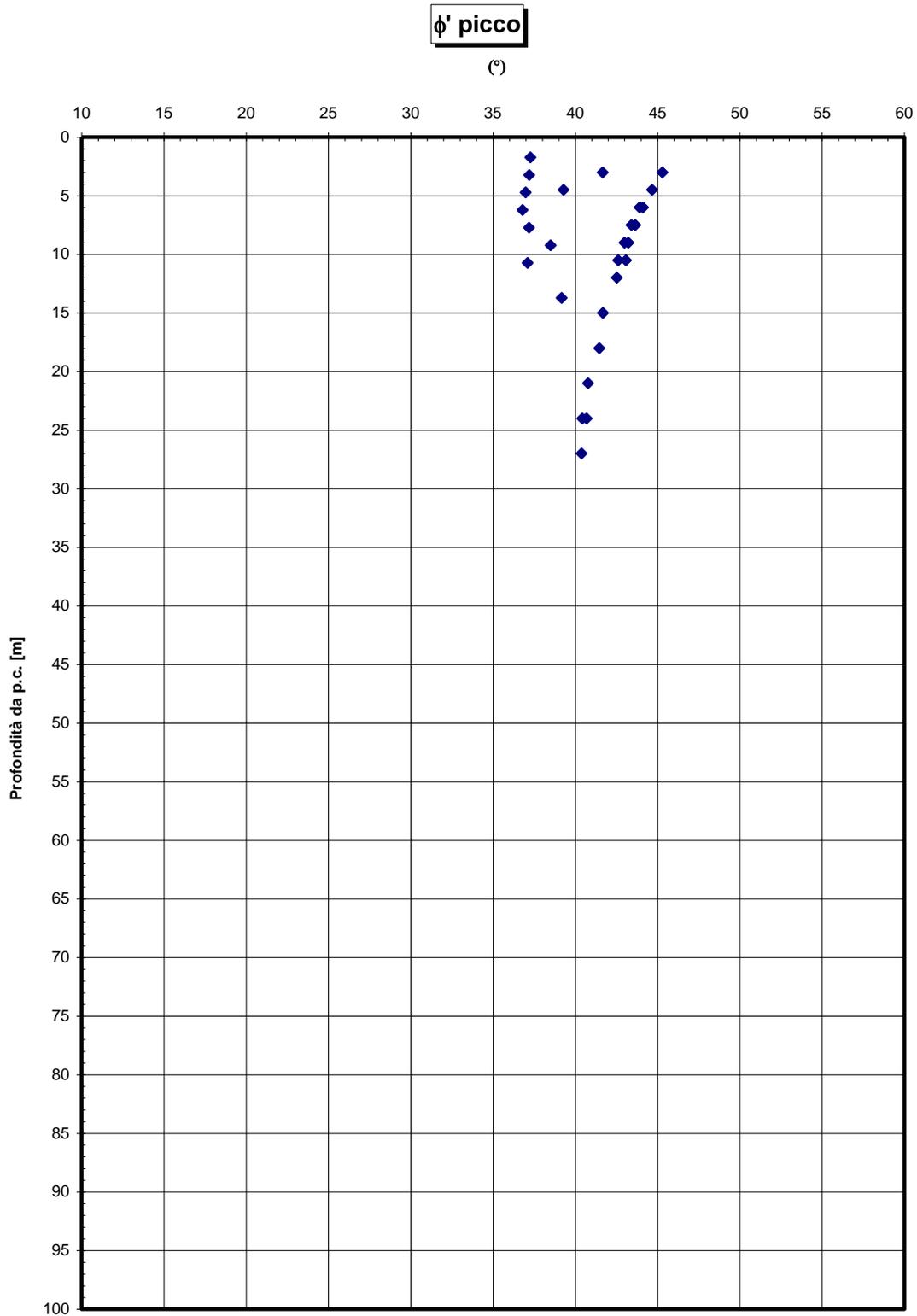
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
RELAZIONE GEOTECNICA	<i>Codice documento</i> SS0794_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

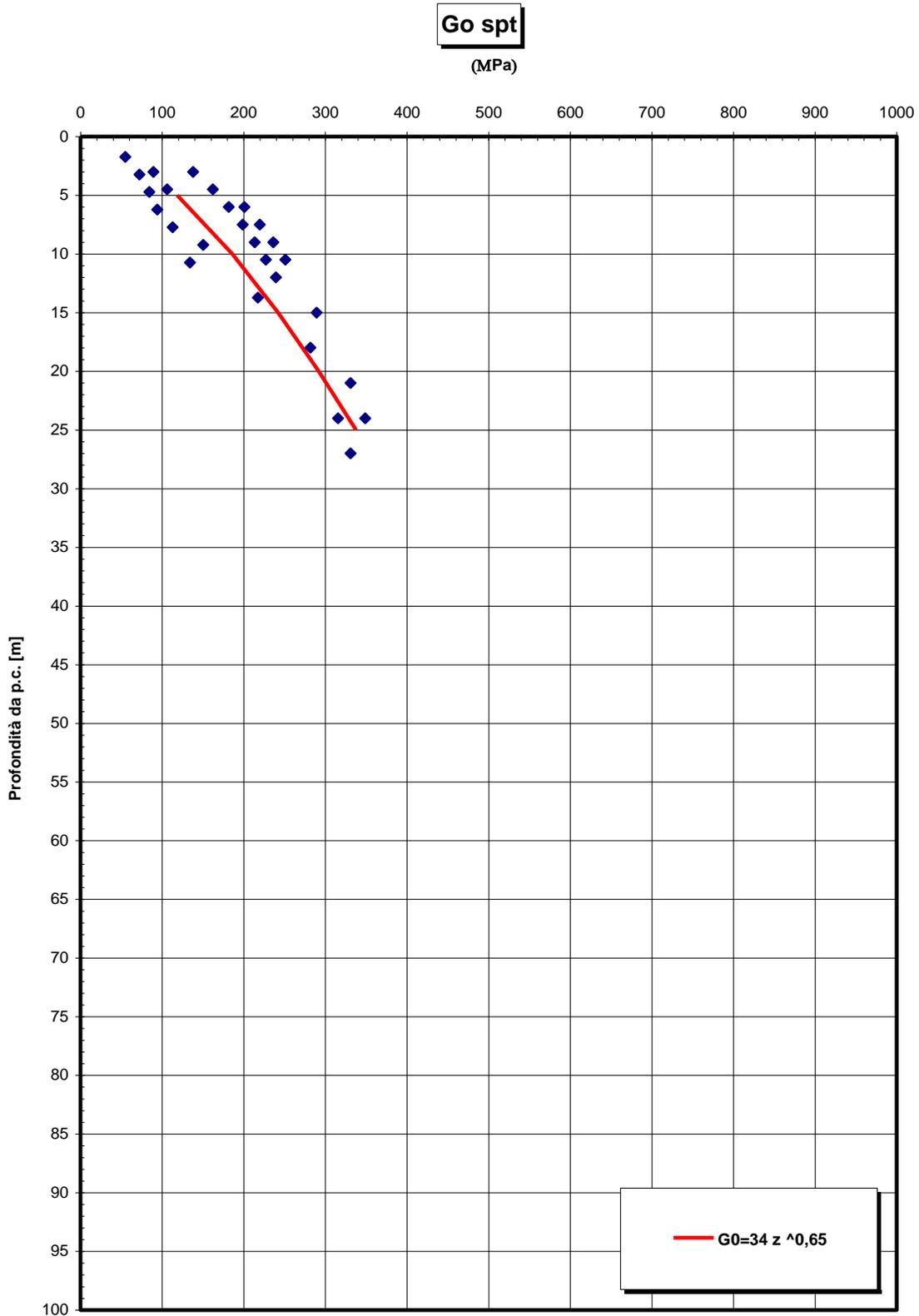
Dr Cubrinovski e Ishihahara (1999)
Componente ghiaiosa e sabbiosa
DEPOSITI ALLUVIONALI



eo







		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SS0794_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

San Pier Niceto argilloso

Per quanto riguarda le caratteristiche fisiche il fuso granulometrico mostra che le caratteristiche sono tipiche di materiali a grana medio fine con percentuale media di sabbia al 20%, limo al 62% ed argilla al 18%. Si ha che $D_{50}=0.06$, $D_{60}=0.15$ e $D_{10}=0.001$ mm.

Per quanto riguarda i limiti di Atterberg si ha $W_n=30\%$, $W_l=50\%$, $W_p=35\%$, $IP=15\%$

Dalla carta di Casagrande la posizione corrisponderebbe a limi di medio alta plasticità.

Per il peso di volume γ si assume un valore medio di 20KN/m^3 .

Per quanto concerne le caratteristiche di resistenza non si hanno a disposizione localmente delle prove per cui si fa riferimento alle 6 prove di laboratorio (4TD e 2 CID) su campioni prelevati fra 6m e 35m in altri sondaggi (S457, S465) .

Dalle prove di taglio diretto (campioni sondaggio S457) si ottengono i seguenti range di valori di resistenza di picco:

$$c'_{\text{picco}} = 0,050-0,080 \text{ MPa}$$

$$\varphi'_{\text{picco}} = 27^\circ \div 20^\circ$$

Per i valori di resistenza in condizioni di stato critico si ottiene:

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

$$\varphi'_{\text{cv}} = 25^\circ - 20^\circ$$

Nelle prove triassiali (campioni sondaggio S465) si ottengono i seguenti range di valori di resistenza di picco:

$$c'_{\text{picco}} = 0,016-0,020 \text{ MPa}$$

$$\varphi'_{\text{picco}} = 21^\circ \div 22^\circ$$

Per i valori di resistenza in condizioni di stato critico si ottiene:

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

$$\varphi'_{\text{cv}} = 21^\circ$$

Dalle correlazioni con i valori di N_{spt} si ottiene un valore di C_u mediamente pari a 370 kPa.

Per i parametri di deformabilità, dalle prove dilatometriche (S459bis, S453) effettuate sulla componente argillosa si evince un range del modulo pari a 55-75 Mpa.

Un valore singolo (S459bis a 54m) raggiunge invece 1000 MPa ma sembrerebbe essere stato effettuato su un livello conglomeratico che si alterna a quello argilloso.

Dalle prove di sismica a rifrazione (S454-SR3 e SR5 e S434-SR2) si ottengono valori medi di

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SS0794_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

velocità V_s ascrivibili all'intero pacchetto del San Pier Niceto argilloso molto elevate e pari a 800 e 1500 m/s fra 20 e 50m di profondità.

A tali valori corrisponderebbe un range di moduli G_0 pari a 1100 e a 4600 MPa, e quindi di E_0 pari a 2640 e a 11000 MPa con $E' = 264-1100$ MPa e $1100-3670$ MPa (rispettivamente pari a $1/10 E_0$ ed $1/3 E_0$).

Tale discrepanza con i valori ottenuti dalle pressiometriche possono ascrivarsi

- alla difficoltà, nell'interpretazione delle sismiche a rifrazione, nell'individuare il sismostrato esattamente riferibile alla formazione in esame che rende eventualmente affetta da errore l'individuazione dell'esatto valore di V_s ,
- alla presenza, all'interno del pacchetto del San Pier Niceto argilloso, di strati arenacei cementati che condizionano la risposta elastica globale.
- all'eventuale disturbo del foro in cui sono state effettuate le prove pressiometriche
- al fatto che quasi tutte le dilatometriche (tranne S459bis) forniscono valori di primo carico.

Si ritiene cautelativo assumere, per la sola facies prettamente argillosa, un modulo operativo pari a:

$E' = 70 \div 120$ MPa

compatibili rispettivamente con:

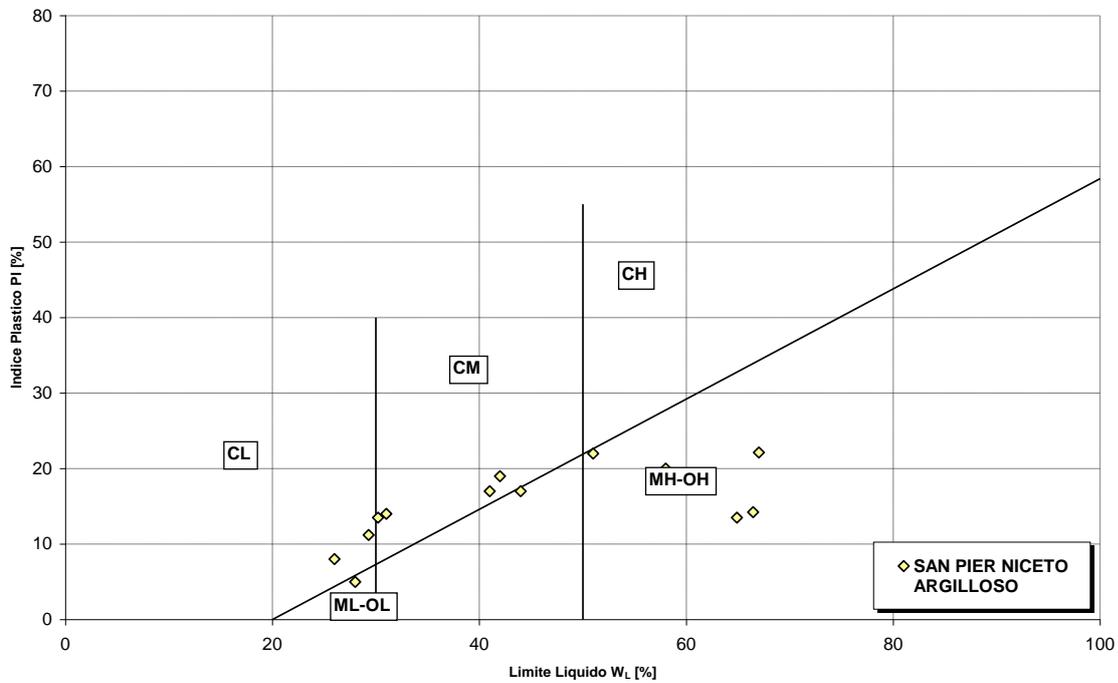
$E' = 200$ Cu (valore minimo)

$E' = 400$ Cu (valore massimo)

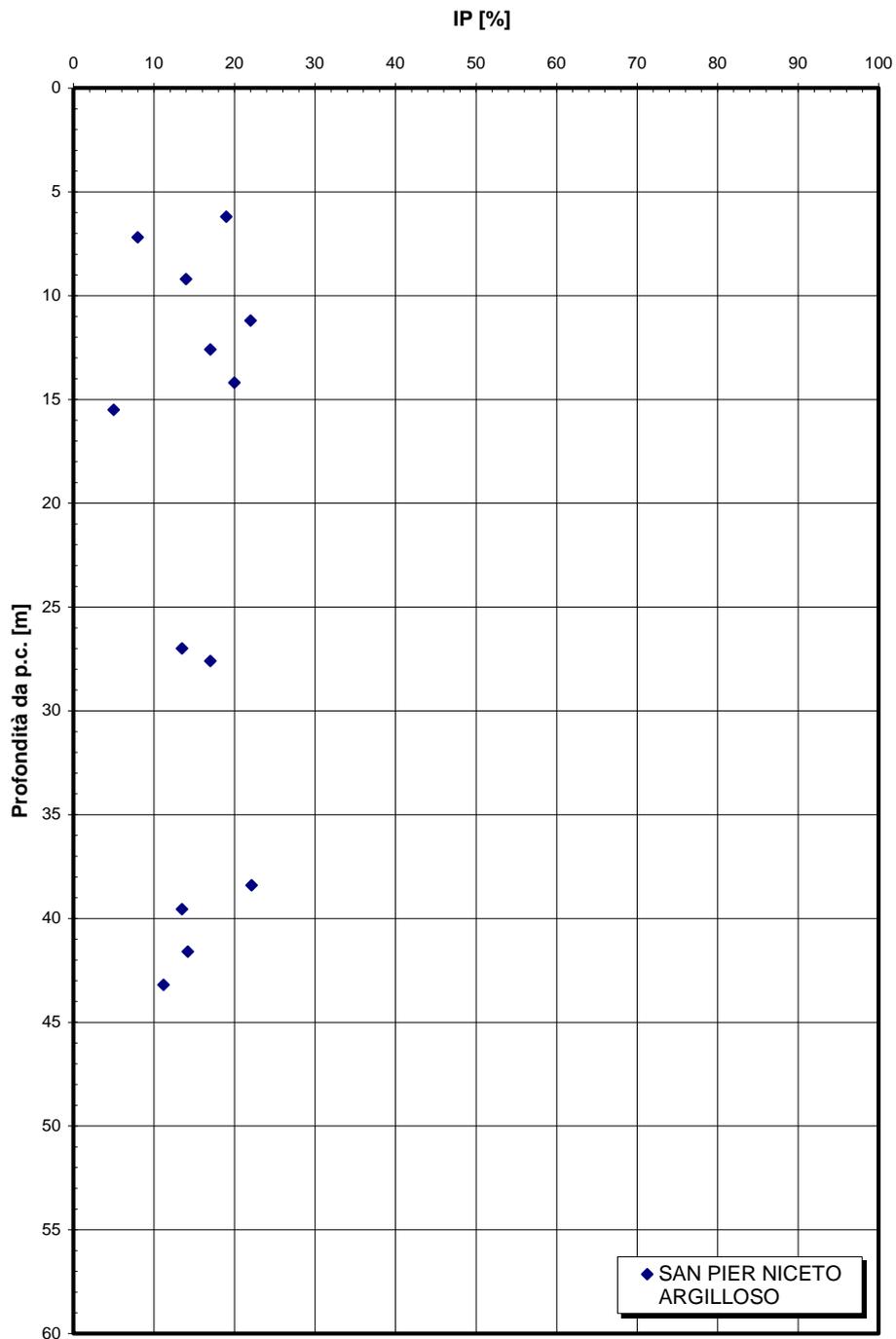
avendo posto un valore cautelativo di $Cu = 300$ Kpa



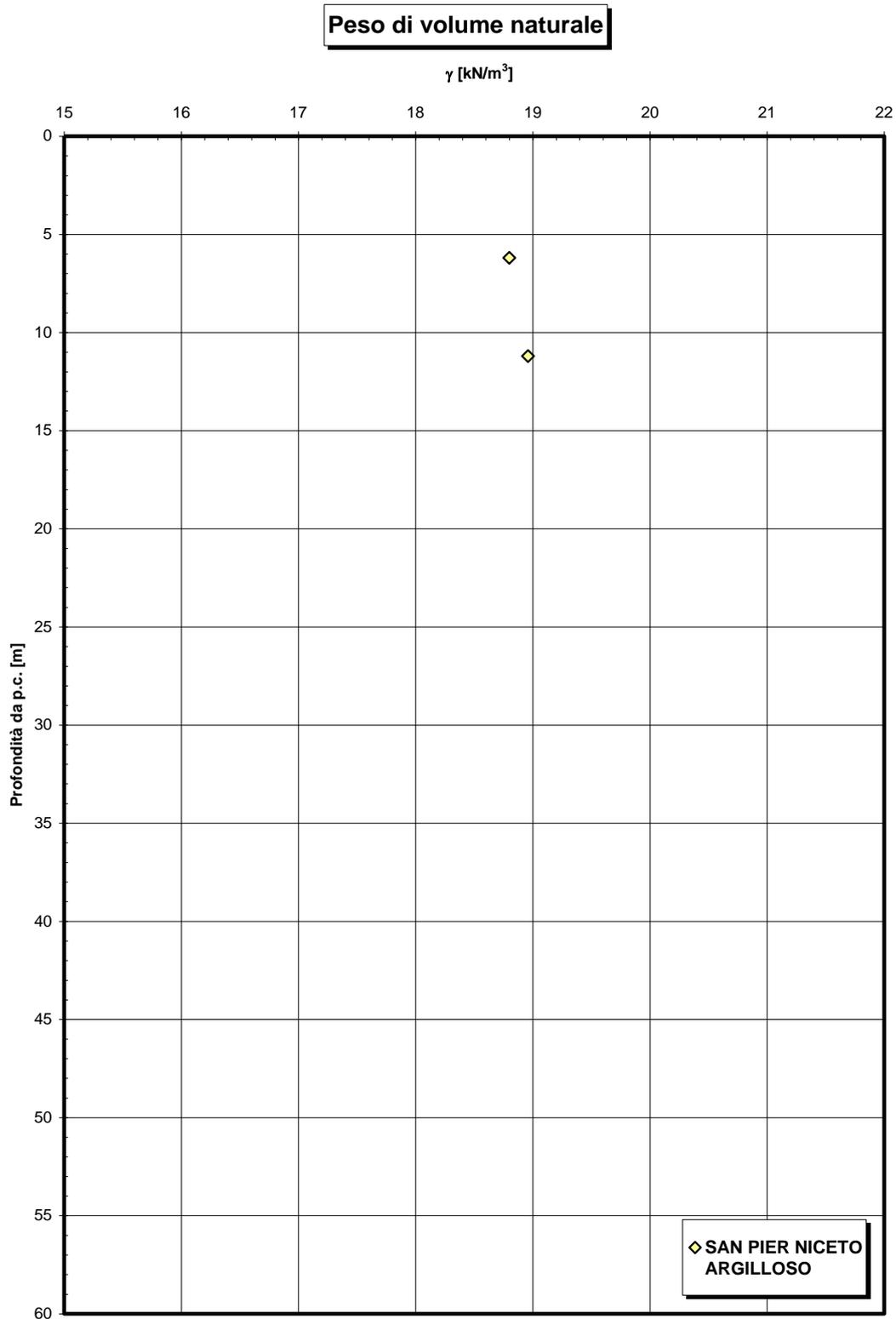
Carta di Plasticità di Casagrande



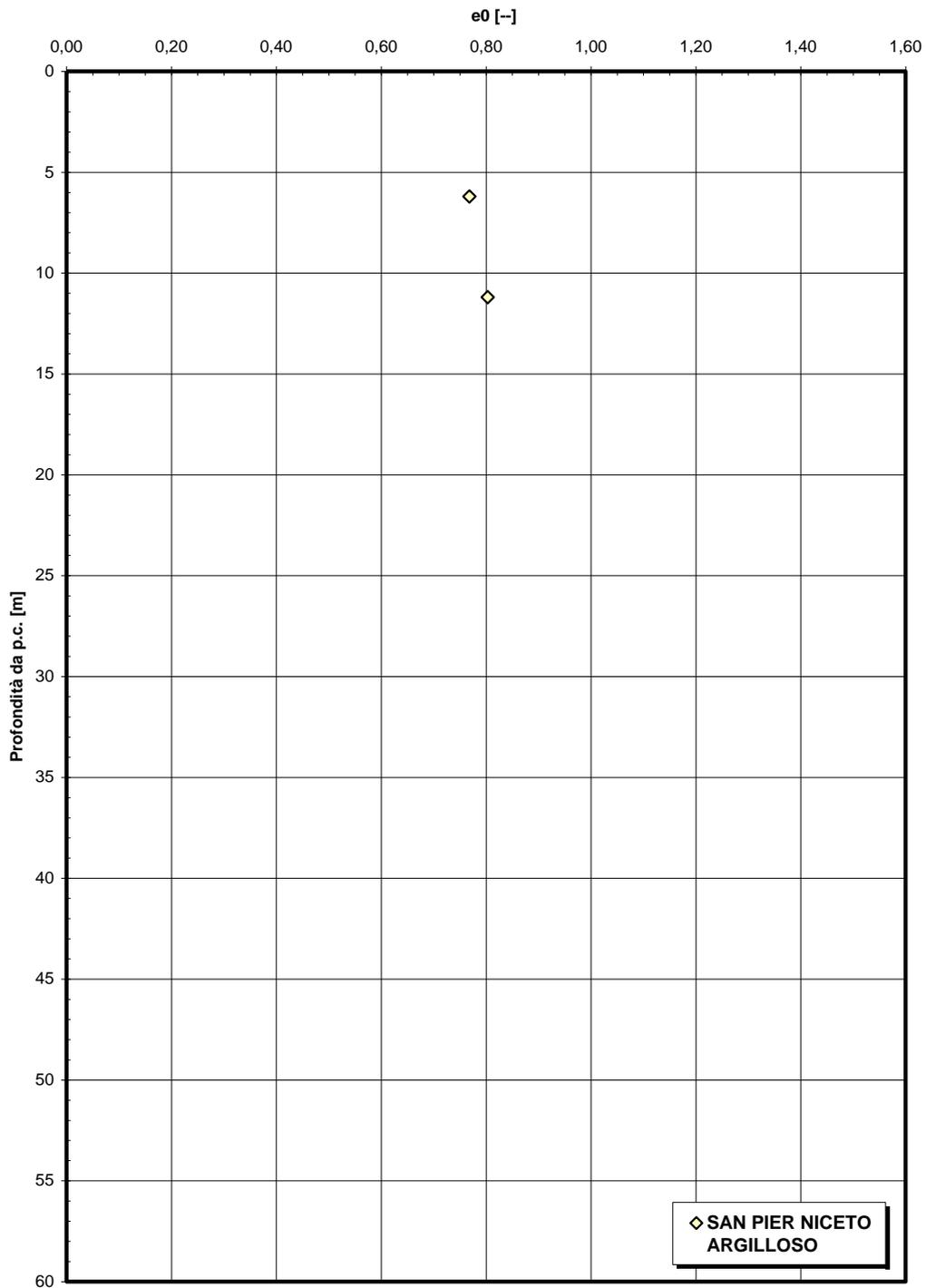
Indice di plasticità



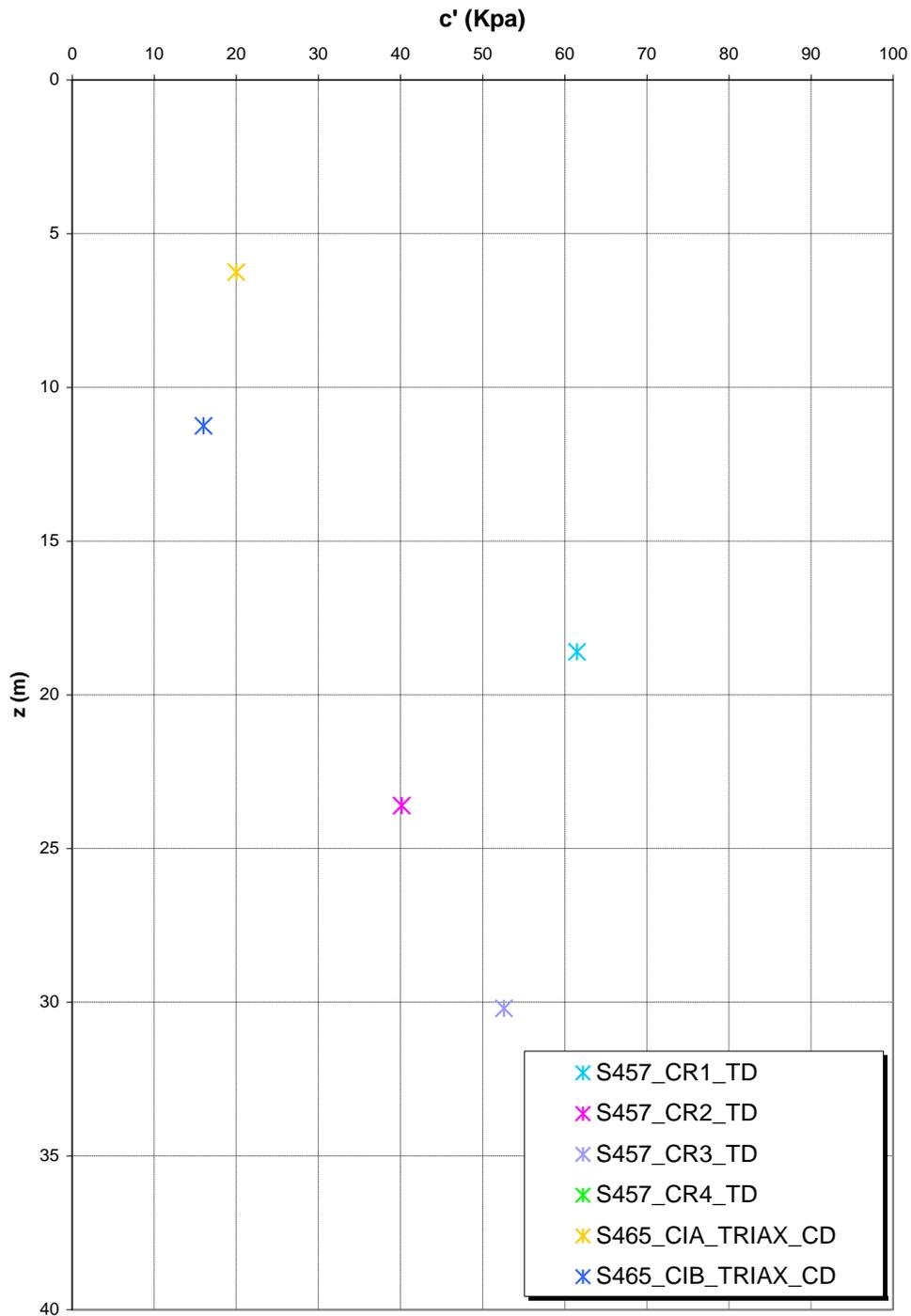
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SS0794_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: left;">F0</td> <td style="text-align: left;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						



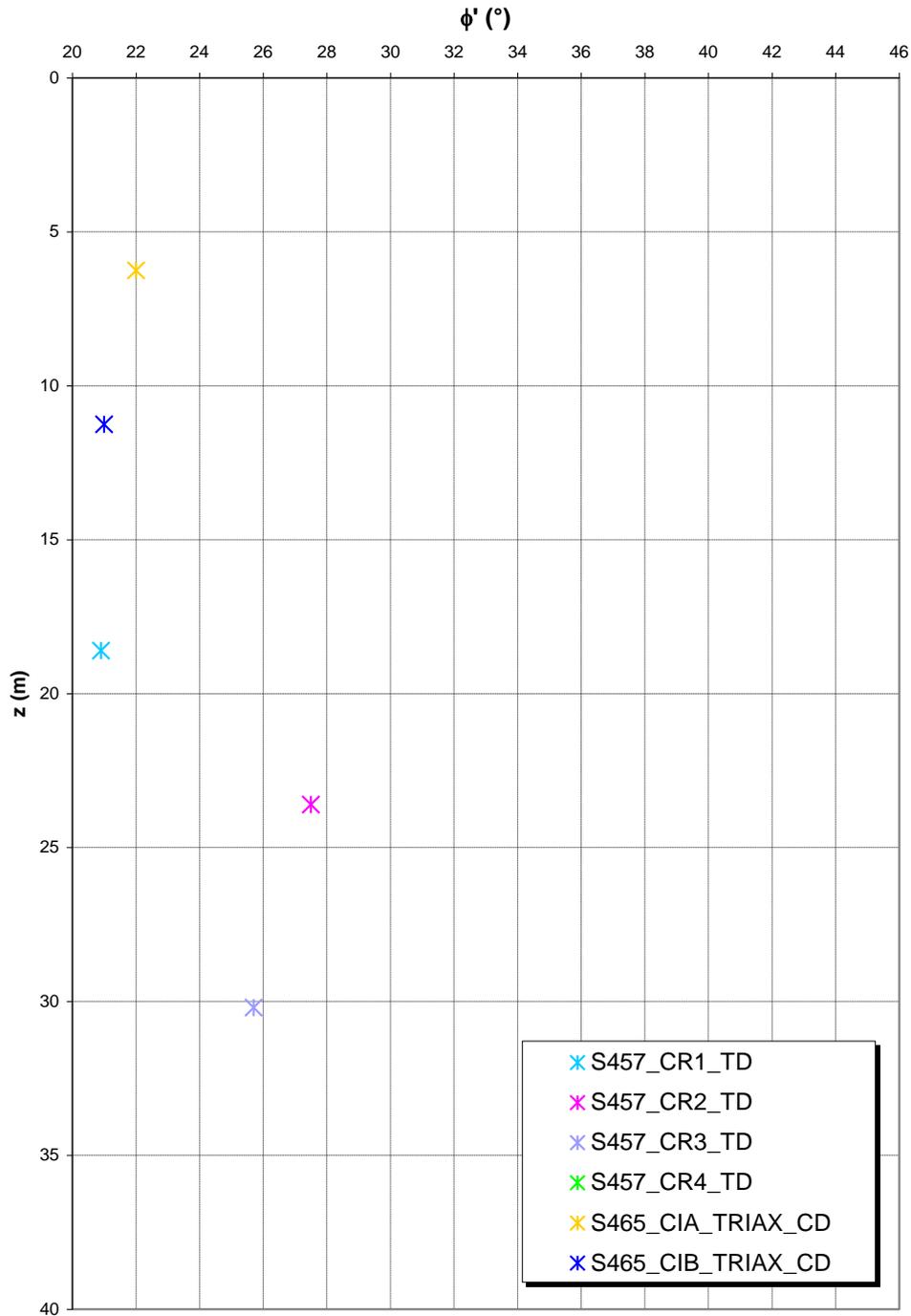
Indice dei vuoti iniziale



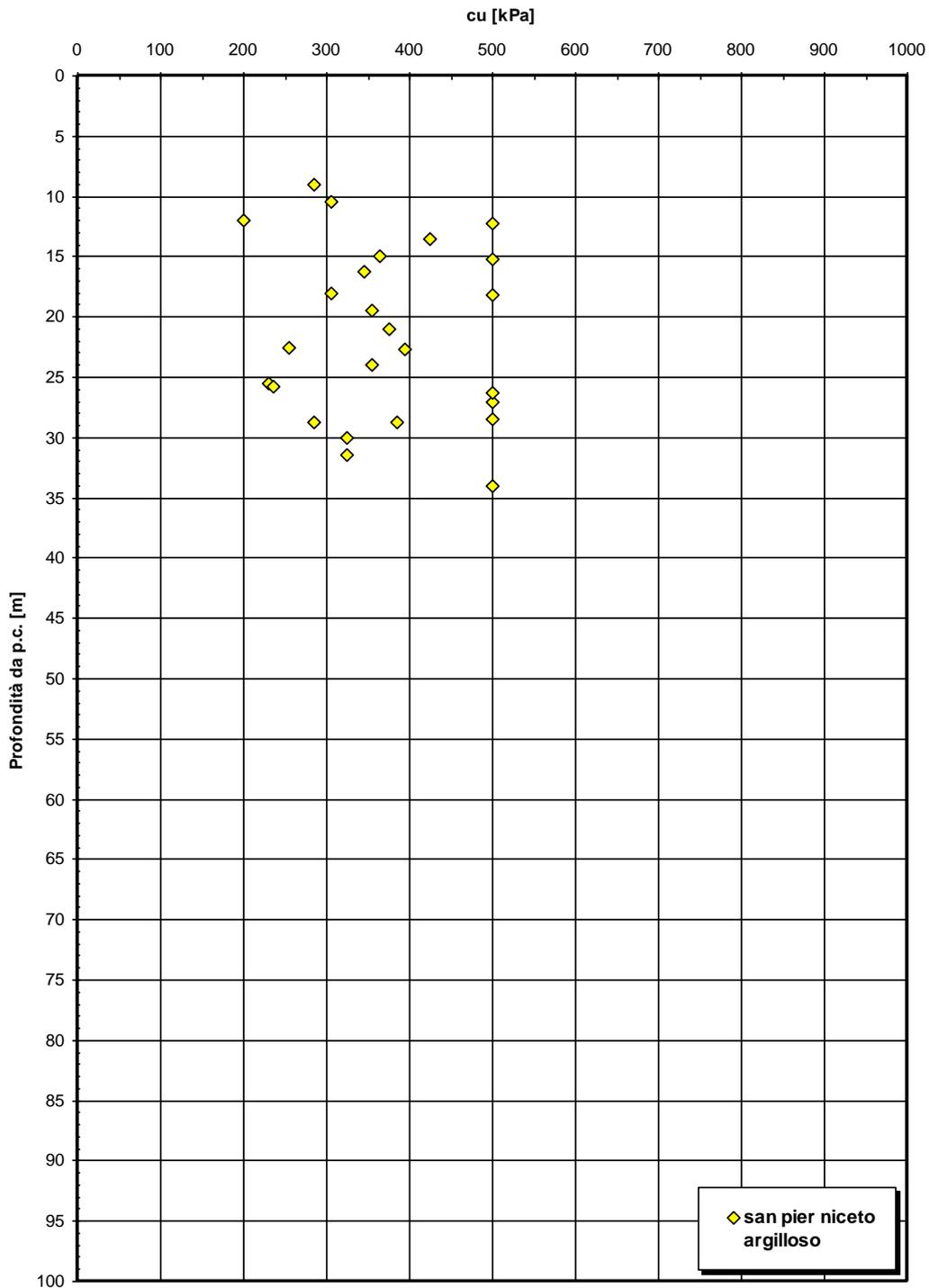
**Coesione
SAN PIER NICETO ARGILLOSO**

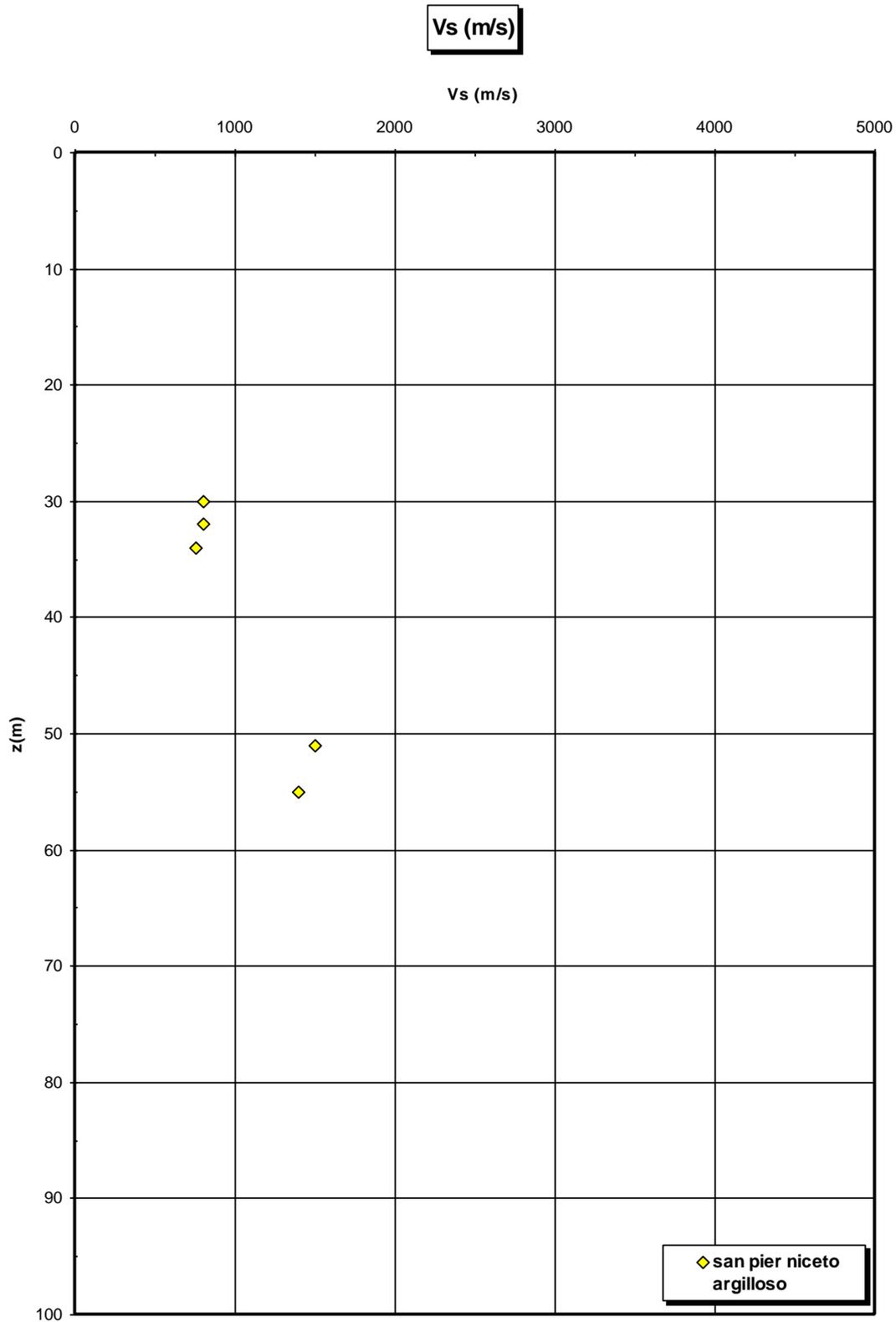


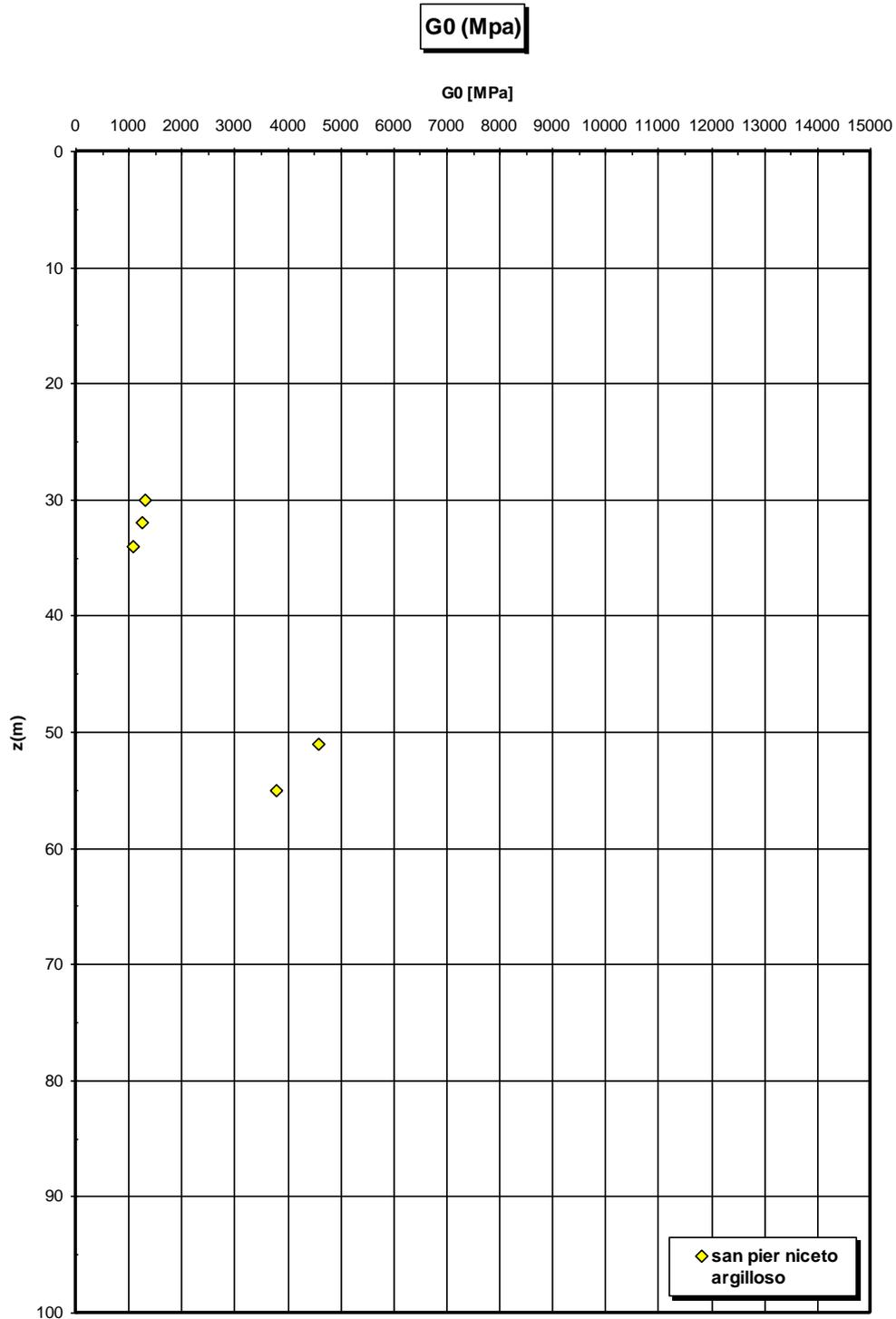
**Angolo di attrito
SAN PIER NICETO ARGILLOSO**



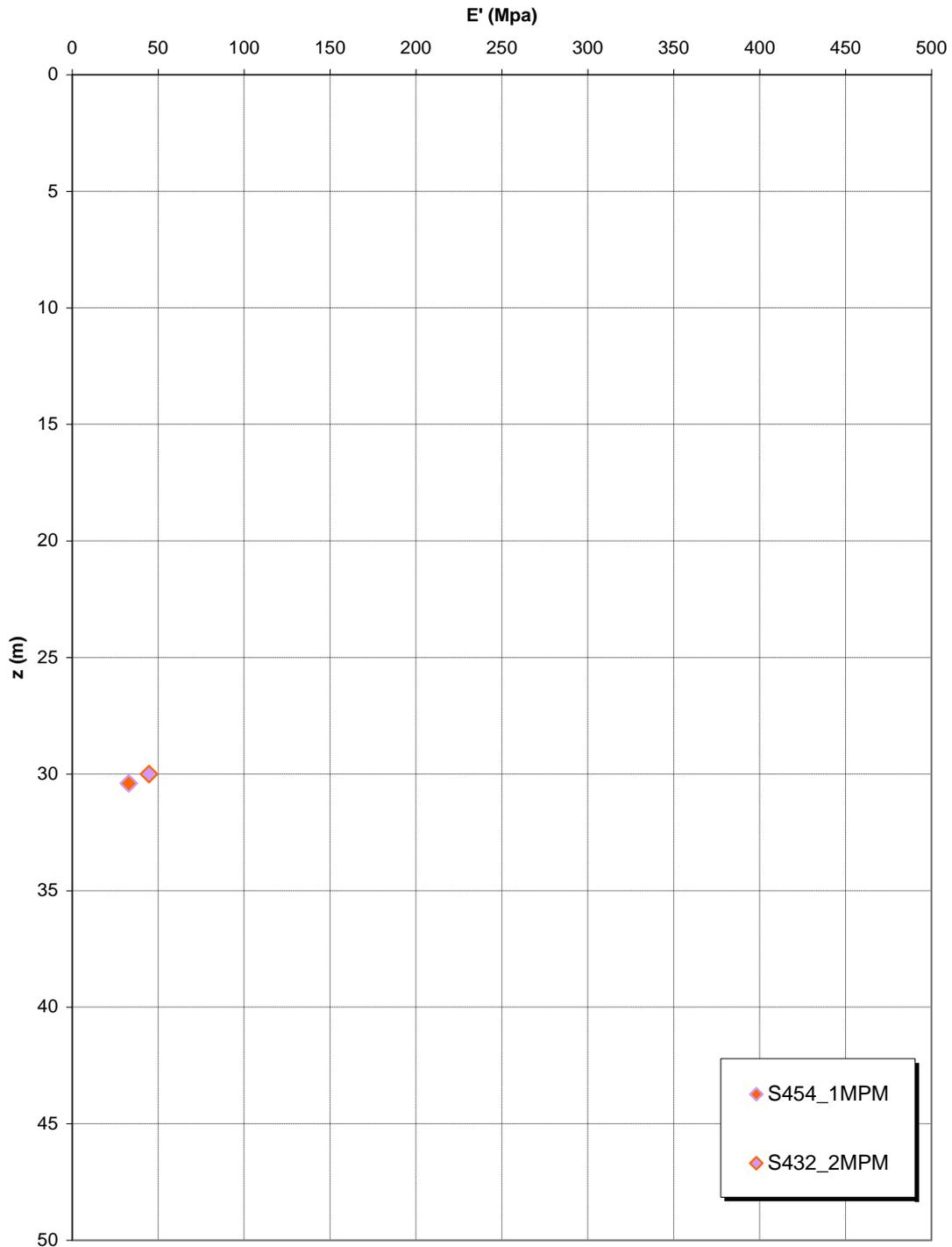
Coesione non drenata da prove SPT



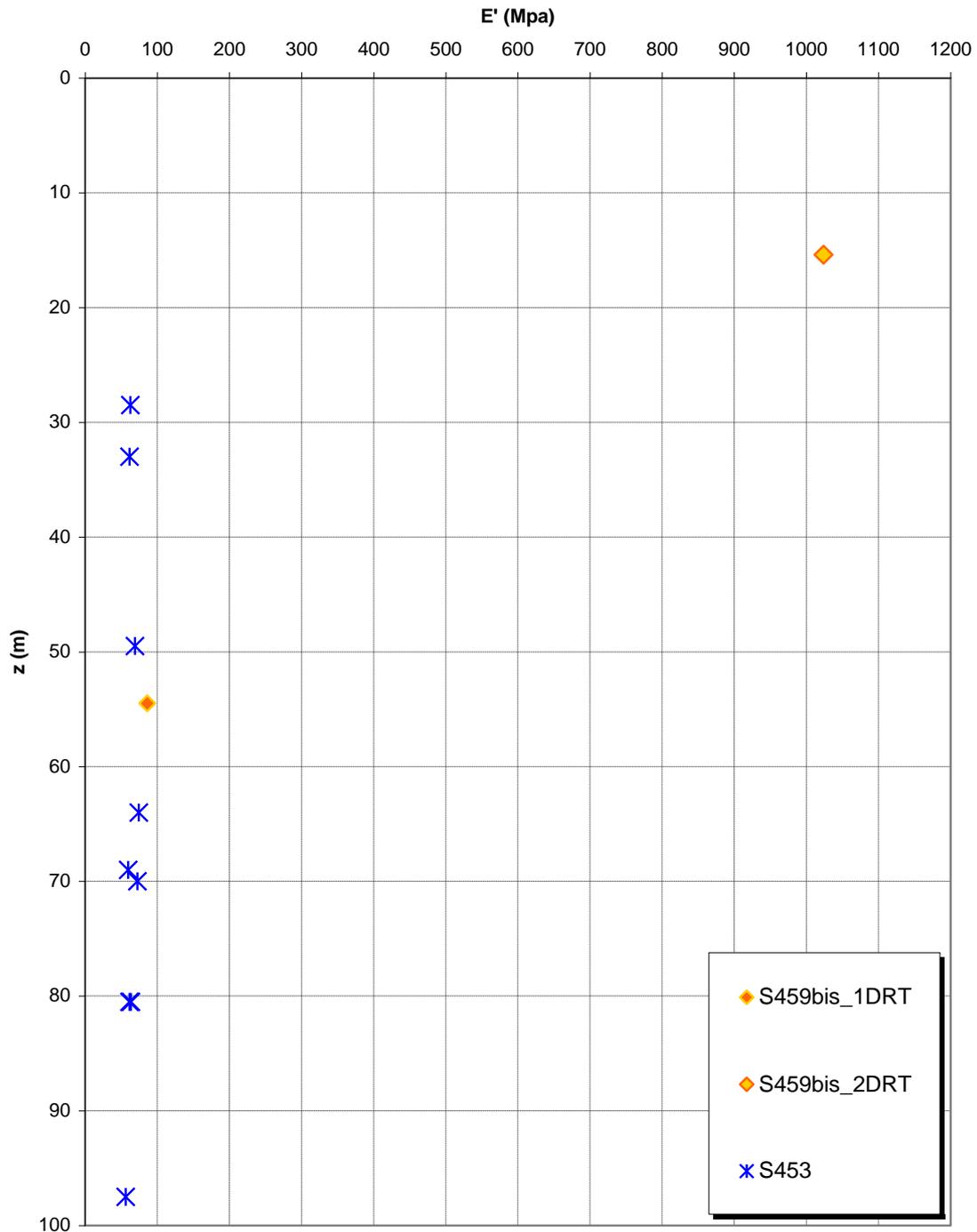




**Prove pressiometriche
SAN PIER NICETO ARGILLOSO**



**Prove dilatometriche
SAN PIER NICETO ARGILLOSO**



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SS0794_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

4.2.3 PARAMETRI PRINCIPALI ASSUNTI

Per i criteri e per gli aspetti generali di caratterizzazione si rimanda a quanto riportato nella relazione Elab. CG0800PRBDCSBC8G000000001A. Per la definizione delle categorie di suolo si rimanda al medesimo elaborato ed alla relazione sismica di riferimento.

Stratigrafia media	prof. (m)	γ (kN/m ³)	ϕ' (°)	c' (Kpa)	E'^* (MPa)	K (m/s)
Depositi Alluvionali recenti	0 –13	17-19	38-40	0	$(10\div 25) z^{0.65}$	10^{-4}
San Pier Niceto argilloso	>13	19-21	30-22	20-50	70-120	$4 \cdot 10^{-7}$
Falda	-17.8 m da p.c.					

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

4.2.4 COEFFICIENTE DI REAZIONE DEL TERRENO

Il coefficiente di reazione del terreno k_s , detto anche coefficiente di Winkler, è stato in prima analisi ricavato mediante la:

$$k_s = \frac{P}{w}$$

dove:

p: pressione applicata

w: cedimento.

La pressione massima applicata è pari a circa 225 kPa, derivante da:

peso proprio + permanente portato 125 kPa

sovraccarichi 100 kPa.

Il cedimento è stato in prima analisi valutato per mezzo del software LoadCap 2010, prodotto da

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SS0794_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Geostru. Il software permette di tenere in conto la pressione netta applicata (pari alla differenza tra quella precedentemente espressa e quella dovuta al terreno per una profondità di circa 8.50 m - profondità piano di posa fondazione scatolare rispetto al piano campagna). La pressione netta risulta di circa 63.5 kPa.

In particolare, i cedimenti sono stati valutati secondo il metodo edometrico per i terreni coesivi e secondo il metodo di Schmertmann (1970) per quelli incoerenti.

Si riassumono i risultati ottenuti nella tabella successivamente riportata.

Strato	Z (m)	σ'_v (kPa)	$\Delta\sigma'_v$ (kPa)	Metodo	Wt (cm)
5	9.25			Schmertmann	0.02
6	11			Schmertmann	0.04
7	12.5			Schmertmann	0.03
8	14	267	44.506	Edometrico	0.12
9	16	307	34.068	Edometrico	0.09
10	18	345.039	25.962	Edometrico	0.07
11	20	365.425	20.036	Edometrico	0.05
12	22	385.811	15.747	Edometrico	0.04
13	24	406.197	12.611	Edometrico	0.03
14	26	426.583	10.281	Edometrico	0.03
15	28	446.969	8.516	Edometrico	0.02
16	30	467.355	7.154	Edometrico	0.02
17	32	487.741	6.086	Edometrico	0.02
18	34	508.127	5.235	Edometrico	0.01
19	36	528.513	4.547	Edometrico	0.01
					0.60

In tal modo si ottiene:

$$k_s = \frac{63.5}{0.006} \cong 10000 \text{ kN/m}^3.$$

4.3 CARATTERIZZAZIONE DELLA SISMICITA' DEL LUOGO

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

Le forme spettrali previste dalle NTC sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SS0794_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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 attribuendo ad:

a_g il valore previsto dalla pericolosità sismica;

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

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

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

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

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

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

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

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SS0794_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Messina:



T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
30	0.061	2.364	0.277
50	0.081	2.318	0.294
72	0.099	2.305	0.312
101	0.118	2.319	0.319
140	0.139	2.343	0.326
201	0.166	2.361	0.334
475	0.247	2.411	0.359
975	0.336	2.446	0.384
2475	0.482	2.491	0.432

5 ANALISI STRUTTURA SCATOLARE

5.1 ANALISI DEI CARICHI

Le azioni di progetto considerate in accordo con quanto prescritto dal D.M. 14/01/2008 sono:

g_1 = peso proprio della struttura;

g_2 = carichi permanenti portati;

g_i = spinta del terreno

q_i = spinta del sovraccarico accidentale

q_i = sovraccarico da traffico

q_i = azioni sismiche;

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SS0794_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

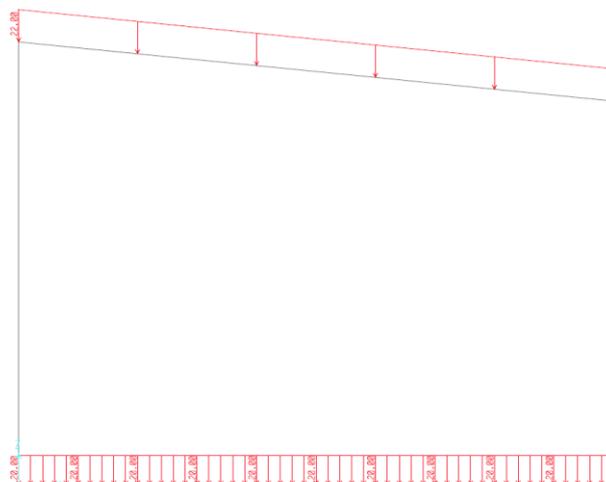
5.1.1 CARICO: g1

Il peso della struttura scatolare è calcolato automaticamente dal programma di calcolo ad elementi finiti impostando il peso specifico del calcestruzzo ($\gamma=25 \text{ kN/m}^3$) e le reali sezioni degli elementi costituenti la struttura.

5.1.2 CARICO PERMANENTE PORTATO: g2

Il carico permanente sulla soletta superiore è costituito dal peso della pavimentazione stradale (0.10 m) valutata in ragione di 2 kN/m^2 , dal peso del pacchetto stradale e del terreno di ricoprimento valutato in ragione di 20 kN/m^3 (1.0 m). Per un totale di 22 kN/m^2 .

Il carico permanente sulla soletta inferiore è costituito dal peso del pacchetto stradale, comprensivo di pavimentazione + massetto e valutato in ragione di 20 kN/m^3 (spessore 0.30 m) e dal peso del materiale di riempimento (spessore 0.70 m), valutato pari a 20 kN/m^3 . Per un totale di 20 kN/m^2 .



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SS0794_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

5.1.3 SPINTA DEL TERRENO

La spinta del terreno è valutata sia in condizione “attiva” sia in condizione a “riposo”.
 Si utilizzano i seguenti coefficienti parziali di sicurezza sui parametri geotecnici:

Parametro	γ_{M1}
$\tan \phi'k$	1
$c'k$	1
cuk	1
γ	1

Si assumono i seguenti valori per le grandezze significative per il calcolo:

caratteristiche del sistema muro-terreno		
peso per unità di volume terreno	$\gamma_{\text{terreno}} =$ <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>19</td></tr></table>	19
19		
angolo di attrito interno del terreno	$\phi' =$ <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>35°</td></tr></table>	35°
35°		
inclinazione del paramento	$\beta =$ <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>0°</td></tr></table>	0°
0°		
angolo di attrito terreno-paramento	$\delta =$ <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>0°</td></tr></table>	0°
0°		
angolo di inclinazione terrapieno	$i =$ <table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>0°</td></tr></table>	0°
0°		

Il coefficiente di spinta attiva viene calcolato con la formula di Muller-Breslau

$$K_a = \frac{\cos^2(\phi' - \beta)}{\cos^2 \beta \cdot \cos(\beta + \delta) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta + \phi') \cdot \sin(\phi' - i)}{\cos(\beta + \delta) \cdot \cos(\beta - i)}} \right]^2}$$

	M1
K_a	0.271

I coefficienti di spinta a riposo vengono calcolati mediante la formula di Jaky:

$$K_0 = 1 - \sin \phi$$

	M1
k_0	0.426

Per il calcolo della spinta in condizioni "attiva" si ha:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SS0794_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

ritto di sinistra

quota alla quale si calcola la spinta [m]	1.50	3.38	7.13	9.00
spinta terreno [kN/m ²]	8	17	37	46

ritto di destra

quota alla quale si calcola la spinta [m]	2.50	4.13	7.38	9.00
spinta terreno [kN/m ²]	13	21	38	46



Per il calcolo della spinta in condizioni "a riposo" si ha:

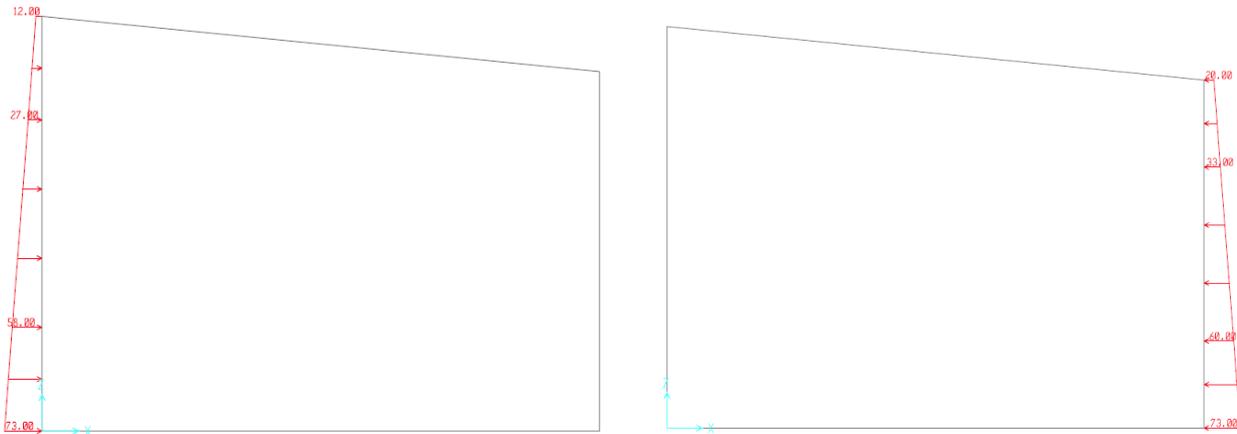
ritto di sinistra

quota alla quale si calcola la spinta [m]	1.50	3.38	7.13	9.00
spinta terreno [kN/m ²]	12	27	58	73

ritto di destra

quota alla quale si calcola la spinta [m]	2.50	4.13	7.38	9.00
spinta terreno [kN/m ²]	20	33	60	73

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SS0794_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						



5.1.4 SPINTA DEL SOVRACCARICO ACCIDENTALE

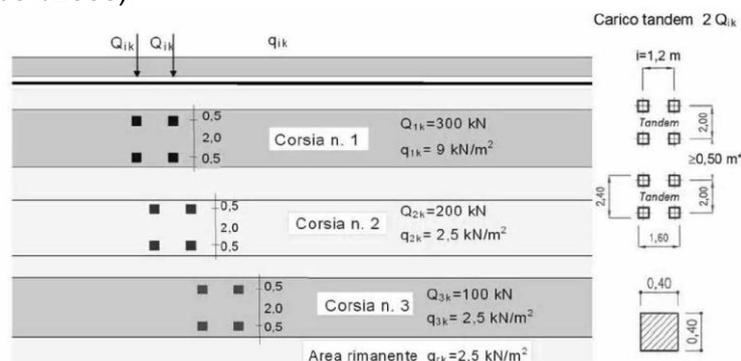
Si considera un sovraccarico accidentale agente sul terreno ai lati della struttura pari a 20 kN/m² (sovraccarico stradale). Tale sovraccarico genera delle spinte orizzontali sui ritti di valore pari a:

- in condizioni di spinta “attiva”
 $s = q \times k_a = 5.42 \text{ kN/m}^2$

- in condizioni di spinta a “riposo”
 $s = q \times k_0 = 8.52 \text{ kN/m}^2$

5.1.5 SOVRACCARICO ACCIDENTALE SULLA SOLETTA SUPERIORE

Per le verifiche agli stati limite ultimi si considera lo schema di carico 1 (come definito al punto 5.1.3.3.4 del D.M. 14/01/2008).



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SS0794_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

Figura 3 – Schema di carico 1 (dimensioni in [m])

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

Figura 4 – Intensità dei carichi Q_{ik} e q_{ik} per le diverse corsie

Compatibilmente con la larghezza di ingombro media della carreggiata (pari a circa 9.2 m) si considerano:

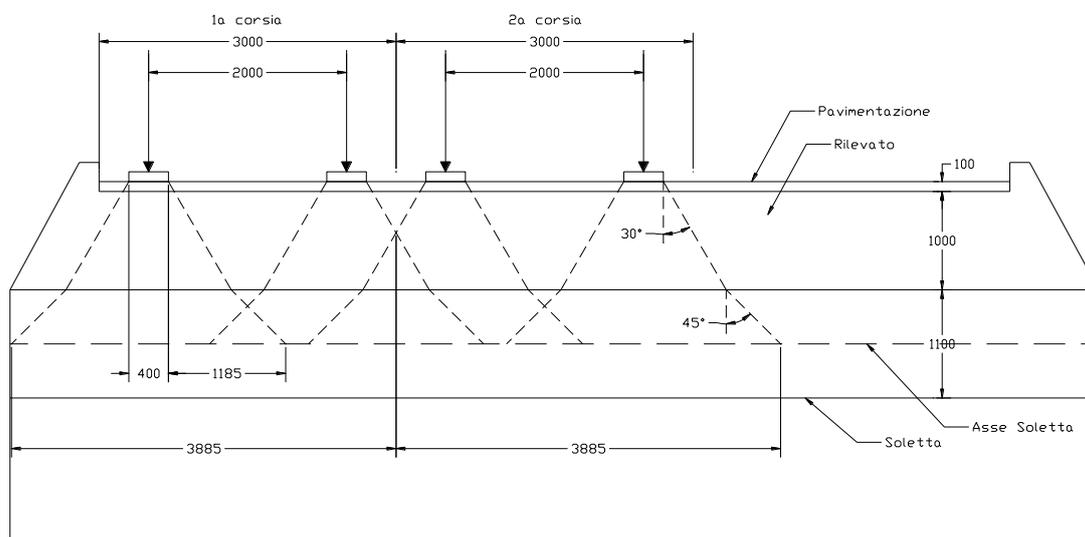
Corsia n.1: una colonna di carico con larghezza di ingombro pari a 3.0 m costituita da carichi concentrati su due assi in tandem ($Q_{1k} = 300$ kN) e da carichi uniformemente distribuiti ($q_{1k} = 9$ kN/m²);

Corsia n.2: una seconda colonna di carico analoga alla prima ma con intensità dei carichi ridotta ($Q_{2k} = 200$ kN, $q_{2k} = 2.5$ kN/m²);

Corsia n.3: una terza colonna di carico analoga alla prima ma con intensità dei carichi ridotta ($Q_{3k} = 100$ kN, $q_{3k} = 2.5$ kN/m²);

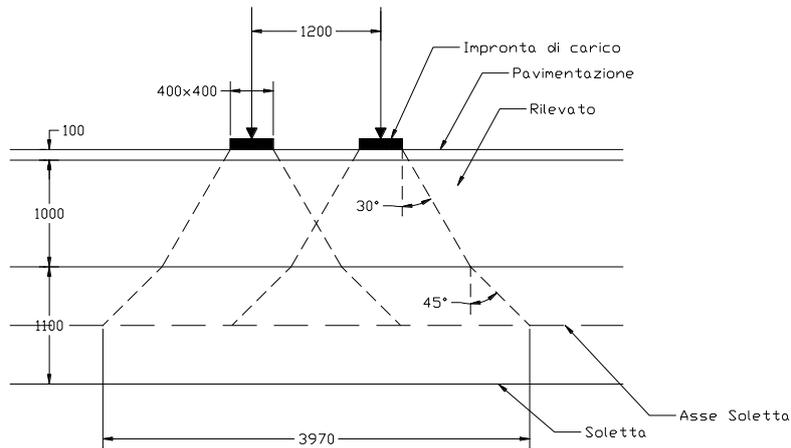
Area rimanente: una colonna di carico con la larghezza di ingombro rimanente e pari a 0.20 m costituita dal carico uniformemente distribuito $q_{rk} = 2.5$ kN/m².

La diffusione dell'azione Q_{ik} verticale viene assunta pari a 30° nel terreno e 45° nel calcestruzzo. In senso longitudinale allo scatolare si considera la seguente diffusione del carico Q_{ik} :



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SS0794_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

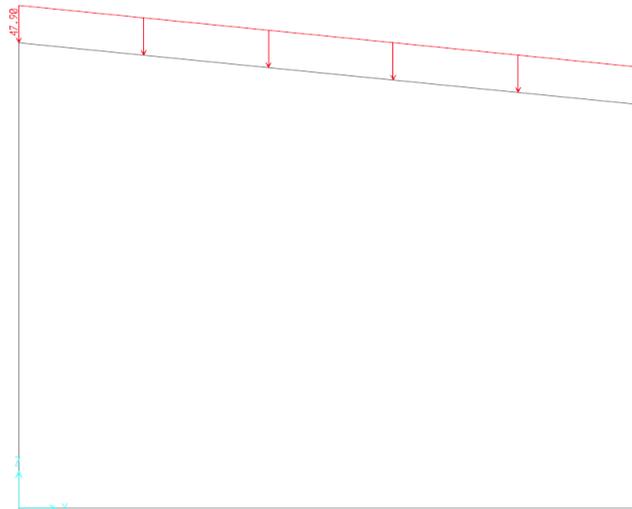
In senso trasversale allo scatolare si considera la seguente diffusione del carico Q_{1k} :



Si ottiene il seguente valore per la prima corsia di carico:

$$q_{Q1k} = q_{1k} + \frac{2xQ_{1k}}{BxL} = 9 + \frac{2x300}{3.97x3.885} = 47.90 \text{ kN/m}$$

A favore di sicurezza si applica tale carico sull'intera larghezza della struttura scatolare.



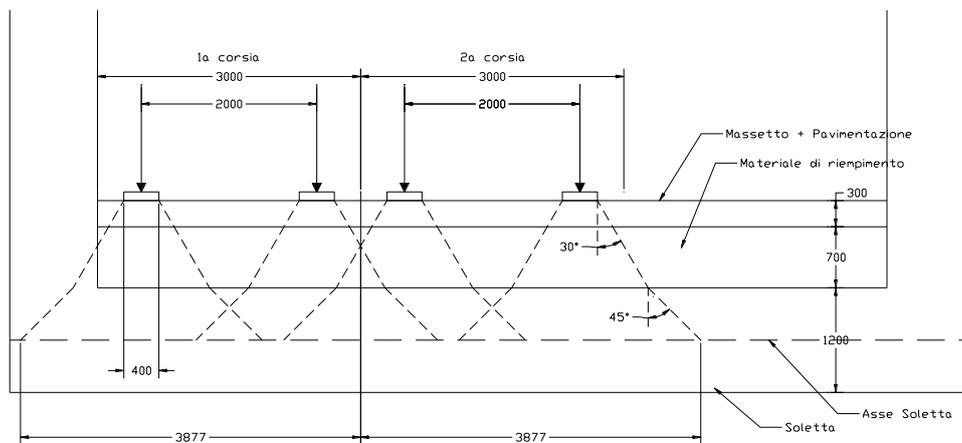
5.1.6 SOVRACCARICO ACCIDENTALE SULLA SOLETTA INFERIORE

Per le verifiche agli stati limite ultimi si considera lo schema di carico 1 (come definito al punto

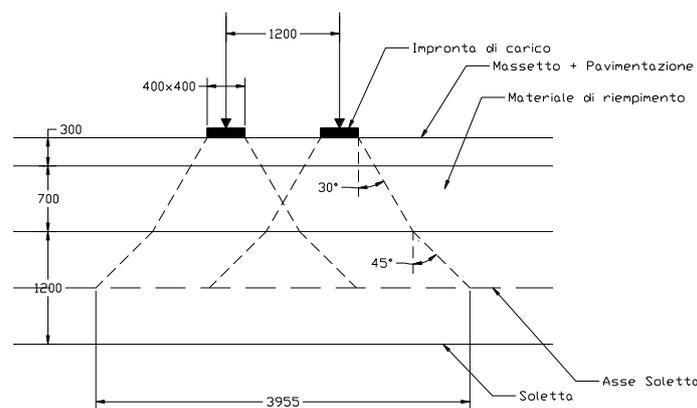
		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SS0794_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

5.1.3.3.4 del D.M. 14/01/2008).

La diffusione dell'azione Q_{ik} verticale viene assunta pari a 30° nel terreno e 45° nel calcestruzzo. In senso trasversale allo scatolare si considera la seguente diffusione del carico Q_{ik} :



In senso longitudinale allo scatolare si considera la seguente diffusione del carico Q_{ik} :

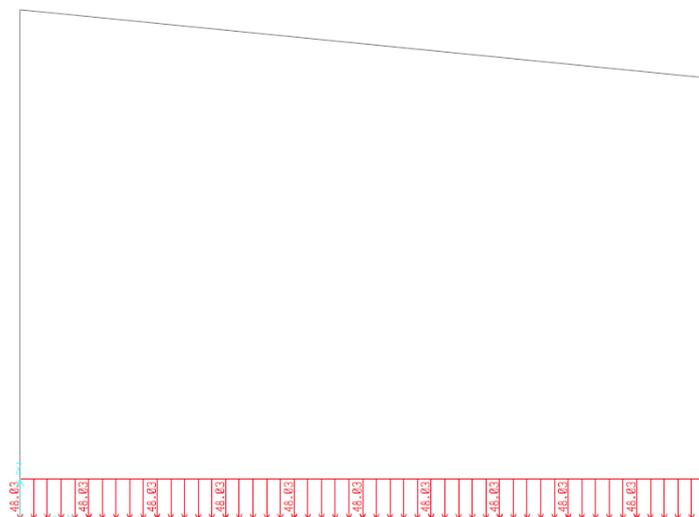


Si ottiene il seguente valore per la prima corsia di carico:

$$q_{Q1k} = q_{1k} + \frac{2xQ_{1k}}{BxL} = 9 + \frac{2x300}{3.955x3.887} = 48.03 \text{ kN/m}$$

A favore di sicurezza si applica tale carico sull'intera larghezza della struttura scatolare.

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SS0794_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						



5.1.7 AZIONI SISMICHE: q6

5.1.7.1 PERIODO DI RIFERIMENTO

Le azioni sismiche sulla costruzione vengono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R ottenuto moltiplicando la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U .

Considerando il manufatto in classe d'uso IV (secondo 2.4.2 D.M. 14/01/2008 e par. 5.2 Relazione Sismica), si ottiene:

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

dove:

$$V_N = 100 \text{ anni vita nominale (Tab. 2.3.I D.M. 14/01/2008)}$$

$$C_U = 2 \text{ coefficiente d'uso per classe d'uso IV (Tab. 2.3.II D.M. 14/01/2008)}$$

5.1.7.2 STATO LIMITE CONSIDERATO

Ai fini del progetto e della verifica delle strutture per gli stati limite ultimi lo spettro di progetto da utilizzare è lo spettro di progetto per lo stato limite di salvaguardia della vita SLV (riferito alla probabilità di superamento P_{VR} pari al 10% nel periodo di riferimento V_R).

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SS0794_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

5.1.7.3 PARAMETRI SPETTRALI

Si riportano i valori dei parametri per i periodi di ritorno TR associato alla stato limite ultimo considerato:

	TR anni	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
SLV	1898	0.435	2.478	0.418

5.1.7.4 METODO DI ANALISI

L'analisi della sicurezza della struttura scatolare in condizioni sismiche è eseguita mediante il metodo pseudo statico. Nell'analisi l'azione sismica è rappresentata da una forza statica equivalente pari al prodotto delle forze di gravità per un opportuno coefficiente sismico.

I valori dei coefficienti sismici orizzontale k_h e verticale k_v possono essere valutati mediante le espressioni (par. 7.11.6.2.1 NTC)

$$k_h = \beta_m \times a_{max} / g$$

$$k_v = \pm 0.5 \times k_h$$

dove

$g [m/s^2] =$	9.810	accelerazione di gravità
$\beta_m =$	1.000	per muri che non sono in grado di subire spostamenti relativi rispetto al terreno
$a_{max} =$	0.435	= $S \times a_g = S_S \times S_T \times a_g$ - accelerazione orizzontale massima attesa al sito
$S_S =$	1.000	coefficiente di amplificazione stratigrafica
$S_T =$	1.000	coefficiente di amplificazione topografica

In base alle precedenti assunzioni si ottengono i seguenti coefficienti sismici

$k_h =$	0.435	coeff. sismico orizzontale
$k_v =$	0.218	coeff. sismico verticale

5.1.7.5 SPINTA SISMICA DEL TERRENO

La spinta totale, ovvero statica e sismica viene calcolata con la seguente espressione (EN 1998: Annex E):

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SS0794_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%;"><i>Rev</i></td> <td style="width: 50%;"><i>Data</i></td> </tr> <tr> <td>F0</td> <td>20/06/2011</td> </tr> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

$$E_d = 1/2 \times \gamma \times (1 + k_v) \times K \times H^2 + E_{ws} + E_{wd}$$

dove

- H = altezza del muro
- E_{ws} = spinta idrostatica
- E_{wd} = spinta idrodinamica
- K = coefficiente di spinta del terreno
- γ = peso specifico terreno

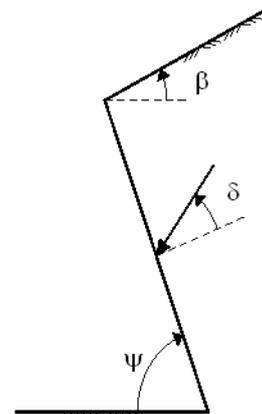
In condizioni di spinta attiva il coefficiente K è determinato con la formula di Mononobe Okabe:

se $\beta \leq \phi - \theta$

$$K = \frac{\text{sen}^2(\psi + \phi' - \theta)}{\cos\theta \text{sen}^2\psi \cdot \text{sen}(\psi - \theta - \delta) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\phi + \delta) \cdot \text{sen}(\phi - \beta - \theta)}{\text{sen}(\psi - \theta - \delta) \cdot \text{sen}(\psi + \beta)}} \right]^2}$$

se $\beta > \phi - \theta$

$$K = \frac{\text{sen}^2(\psi + \phi' - \theta)}{\cos\theta \text{sen}^2\psi \cdot \text{sen}(\psi - \theta - \delta)}$$



Per lo scatolare in esame si è posto:

- peso per unità di volume terreno
- angolo di attrito interno del terreno
- angolo di attrito terreno-paramento
- angolo di inclinazione terrapieno
- angolo di inclinazione paramento a monte

$\gamma =$	19
$\phi' =$	35°
$\delta =$	0°
$\beta =$	0°
$\psi =$	90°
$\theta =$	0.95°
$E_{ws} =$	0.00
$E_{wd} =$	0.00

Il valore di θ si è ricavato in condizioni di assenza di falda con la seguente espressione:

$$\tan \theta = k_h / (1 \pm k_v)$$

Si ha quindi:

$$k = 0.815$$

La spinta statica e dinamica complessiva dovuta al terreno risulta:

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO	
RELAZIONE GEOTECNICA	<i>Codice documento</i> SS0794_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

	ritto di sinistra			
quota alla quale si calcola la spinta [m]	1.50	3.38	7.13	9.00
spinta terreno [kN/m ²]	23	52	110	139

	ritto di destra			
quota alla quale si calcola la spinta [m]	2.50	4.13	7.38	9.00
spinta terreno [kN/m ²]	39	64	114	139



5.1.8 COMBINAZIONE DI CARICO CONSIDERATE

Le combinazioni di azioni per le verifiche agli stati limite ultimi sono definite al punto 2.5.3 del D.M. 14 gennaio 2008:

$$\sum_{j>1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad \text{comb. fondamentale}$$

$$E + \sum_{j>1} G_{k,j} + P + \sum_{i>1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \quad \text{comb. sismica}$$

dove:

- G_k è il valore caratteristico delle azioni permanenti;
- E è l'azione del sisma per lo stato limite considerato;
- P è il valore caratteristico delle azioni di precompressione;
- Q_k è il valore caratteristico delle azioni variabili;

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
		RELAZIONE GEOTECNICA	<i>Codice documento</i> SS0794_F0.doc	<i>Rev</i> F0

γ_G , γ_P e γ_Q sono i coefficienti parziali delle azioni per gli SLU;
 ψ_0, ψ_2 sono i coefficienti di combinazione delle azioni variabili.

I valori dei coefficienti ψ_0 , γ_G , γ_P e γ_Q sono riportati nelle tabelle seguenti:

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

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

Figura 5 – Coefficienti parziali di sicurezza per le combinazioni di carico agli SLU

Azioni	Gruppo di azioni (Tabella 5.1.IV)	Coefficiente ψ_0 di combinazione	Coefficiente ψ_1 (valori frequenti)	Coefficiente ψ_2 (valori quasi permanenti)
Azioni da traffico (Tabella 5.1.IV)	Schema 1 (Carichi tandem)	0,75	0,75	0,0
	Schemi 1, 5 e 6 (Carichi distribuiti)	0,40	0,40	0,0
	Schemi 3 e 4 (carichi concentrati)	0,40	0,40	0,0
	Schema 2	0,0	0,75	0,0
	2	0,0	0,0	0,0
	3	0,0	0,0	0,0
	4 (folla)	----	0,75	0,0
Vento q_s	Vento a ponte scarico SLU e SLE	0,6	0,2	0,0
	Esecuzione	0,8	----	0,0
	Vento a ponte carico	0,6		
Neve q_s	SLU e SLE	0,0	0,0	0,0
	esecuzione	0,8	0,6	0,5
Temperatura	T_k	0,6	0,6	0,5

Figura 6 – Coefficienti ψ_0 , ψ_1 , ψ_2 per le azioni variabili

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SS0794_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Si riportano di seguito la tabella riassuntiva contenente i coefficienti utilizzati per tutte le combinazioni di carico che verranno utilizzate per le verifiche agli SLU e agli SLV.

	CC1	CC2	CC3	CC4	CC5	CC6	CC7	CC8
G1	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1	1
G2 permanente portato inf	1.50	1.50	1.50	1.50	0	0	1	1
G2 permanente portato sup	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1	1
ST riposo sx	1.35	1.35	-	-	-	-	-	1
ST riposo dx	1.35	0.675	-	-	-	-	1	-
ST attiva sx	-	-	1.35	1.35	1.35	1.35	-	-
ST attiva dx	-	-	1.35	0.675	1.35	0.675	-	-
SS riposo sx	1.35	1.35	-	-	-	-	-	-
SS riposo dx	1.35	0.675	-	-	-	-	-	-
SS attiva sx	-	-	1.35	1.35	1.35	1.35	-	-
SS attiva dx	-	-	1.35	0.675	1.35	0.675	-	-
Q sovraccarico stradale inf	1.35	1.35	1.35	1.35	0	0	-	-
Q sovraccarico stradale sup	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	-	-
ST sismica sx	-	-	-	-	-	-	1	-
ST sismica dx	-	-	-	-	-	-	-	1
Q sisma +x	-	-	-	-			1	-
Q sisma -x	-	-	-	-			-	1

In fase statica per la struttura scatolare si valuta sia la condizione di spinta "attiva" (CC3) che di spinta a "riposo" (CC1), inoltre si è valutata anche la possibilità di uno squilibrio delle spinte dovuta a una diversa compattazione del rilevato (CC2 e CC4), a tal fine la spinta sulla parete di destra viene ridotta in fase di combinazione con un coefficiente posto pari a 0.50.

Per massimizzare le sollecitazioni sulla soletta inferiore si considera una combinazione di carico senza sovraccarico permanente e stradale sulla soletta stessa (CC5 e CC6).

Per sisma in diretto da sinistra a destra si è caricata la parete di sinistra con la spinta attiva in fase sismica e la parete di destra, a favore di sicurezza, con la spinta a riposo (CC7).

		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO		
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SS0794_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

Per sisma in diretto da destra a sinistra si è caricata la parete di destra con la spinta attiva in fase sismica e la parete di sinistra, a favore di sicurezza, con la spinta a riposo (CC8).

5.2 MODELLO DI CALCOLO

5.2.1 PROGRAMMA DI CALCOLO UTILIZZATO

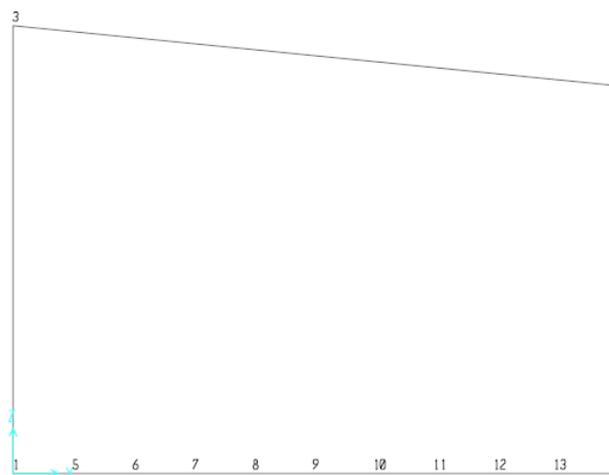
I calcoli e le verifiche strutturali dell'opera in oggetto sono stati eseguiti utilizzando i seguenti software e strumenti di calcolo:

SAP 2000 Software ad elementi finiti per modellazione strutturale tridimensionale

Vcaslu Software per il calcolo delle sezioni in c.a. e in c.a.p. sviluppato

5.2.2 DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO

Il sottopasso è stato studiato con un modello a elementi finiti tipo beam di larghezza 1.0 m. L'interazione struttura-terreno di fondazione è modellata mediante suolo alla Winkler di valore pari a 10000 kN/m³. Il calcolo delle sollecitazioni viene effettuato con un'analisi elastica lineare.



		Ponte sullo Stretto di Messina PROGETTO DEFINITIVO					
RELAZIONE GEOTECNICA		<i>Codice documento</i> SS0794_F0.doc	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;"><i>Rev</i></th> <th style="text-align: left;"><i>Data</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center;">F0</td> <td style="text-align: center;">20/06/2011</td> </tr> </tbody> </table>	<i>Rev</i>	<i>Data</i>	F0	20/06/2011
<i>Rev</i>	<i>Data</i>						
F0	20/06/2011						

Figura 7 – Modello con numerazione dei nodi

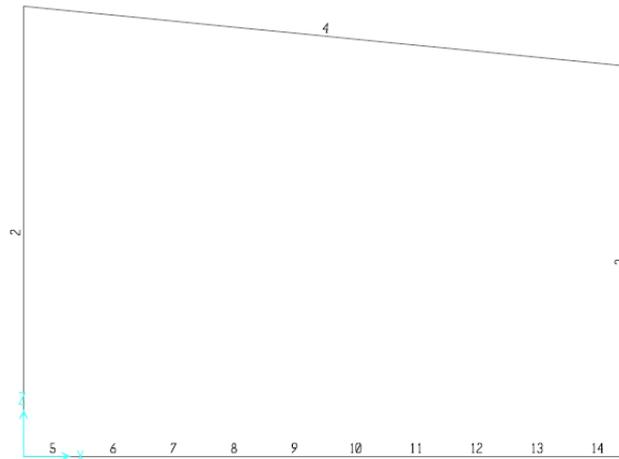


Figura 8 – Modello con numerazione degli elementi

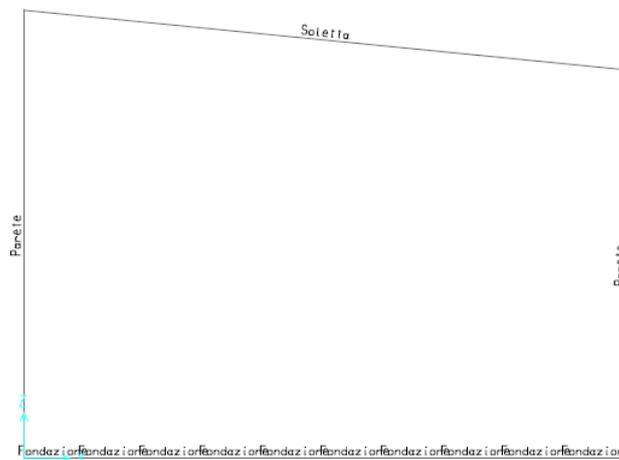


Figura 9 – Modello con sezione elementi