

# PONTE SULLO STRETTO DI MESSINA



## PROGETTO DEFINITIVO

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

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

#### IL PROGETTISTA



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



#### IL CONTRAENTE GENERALE

Project Manager  
 (Ing. P.P. Marcheselli)

#### STRETTO DI MESSINA

Direttore Generale e  
 RUP Validazione  
 (Ing. G. Fiammenghi)

#### STRETTO DI MESSINA

Amministratore Delegato  
 (Dott. P. Ciucci)

*Unità Funzionale* COLLEGAMENTI SICILIA

SS0791\_F0

*Tipo di sistema* INFRASTRUTTURE STRADALI OPERE CIVILI

*Raggruppamento di opere/attività* SVINCOLO ANNUNZIATA

*Opera - tratto d'opera - parte d'opera* SOTTOVIA – RAMPA 1

*Titolo del documento* RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELL'OPERA

CODICE

C G 0 7 0 0 P R G D S S C A 4 S P 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



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELL'OPERA		<i>Codice documento</i> SS0791_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## INDICE

INDICE .....	3
PREMESSA.....	4
1 RIFERIMENTI NORMATIVI .....	4
2 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI .....	6
3 CARATTERISTICHE MATERIALI.....	7
3.1 CALCESTRUZZI (SECONDO UNI 11104 - 2004) .....	7
3.2 ACCIAIO PER ARMATURE DI CONGLOMERATO CEMENTIZIO ARMATO (SECONDO NTC 2008 – D.M. 14/01/2008).....	9
4 DESCRIZIONE DELLA STRUTTURA.....	10
4.1 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE E UBICAZIONE DELLA STRUTTURA.....	10
4.2 CARATTERISTICHE GEOTECNICA.....	11
4.2.1 DESCRIZIONE DELLE LITOLOGIE PREVALENTI .....	11
4.2.2 INDAGINI PREVISTE .....	12
4.2.3 PARAMETRI PRINCIPALI ASSUNTI.....	34
4.2.4 COEFFICIENTE DI REAZIONE DEL TERRENO.....	34
4.3 CARATTERIZZAZIONE DELLA SISMICITA' DEL LUOGO .....	35
4.4 CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE .....	37
4.4.1 VERIFICHE DI RESISTENZA.....	37
4.4.1.1 VERIFICHE DI RESISTENZA AGLI STATI LIMITE ULTIMI .....	37
5 FASI COSTRUTTIVE.....	39
6 ELABORATI DI RIFERIMENTO.....	40

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELL'OPERA		<i>Codice documento</i> SS0791_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## PREMESSA

La presente relazione di calcolo tratta la verifica delle opere strutturali del “Sottovia - Rampa 1” carreggiata direzione Messina (Pk. Iniz. 0+712.83 - Pk. Fin. 0+722.83), 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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELL'OPERA	<i>Codice documento</i> SS0791_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011	

- 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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELL'OPERA</b>		<i>Codice documento</i> SS0791_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.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELL'OPERA	<i>Codice documento</i> SS0791_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

### 3 CARATTERISTICHE MATERIALI

#### 3.1 CALCESTRUZZI (SECONDO UNI 11104 - 2004)

##### Per sottofondazioni

classe di resistenza

C12/15

classe di esposizione

XC0

##### Fondazioni

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

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 )

$f_{ctm} = 3.10 \text{ N/mm}^2$

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELL'OPERA		<i>Codice documento</i> SS0791_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

resistenza caratteristica a trazione	$f_{ctk} =$	2.17	N/mm <sup>2</sup>
resistenza caratteristica a trazione per flessione	$f_{cfk} =$	2.60	N/mm <sup>2</sup>
tensione a SLE – combinazione rara	$\sigma_C =$	19.92	N/mm <sup>2</sup>
tensione a SLE – combinazione quasi permanente	$\sigma_C =$	14.94	N/mm <sup>2</sup>
copriferro	C =	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 <sup>2</sup>
resistenza caratteristica a compressione cilindrica	$f_{ck} =$	33.20	N/mm <sup>2</sup>
resistenza media a compressione cilindrica	$f_{cm} =$	41.20	N/mm <sup>2</sup>
resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd} =$	18.81	N/mm <sup>2</sup>
resistenza a trazione ( valore medio )	$f_{ctm} =$	3.10	N/mm <sup>2</sup>
resistenza caratteristica a trazione	$f_{ctk} =$	2.17	N/mm <sup>2</sup>
resistenza caratteristica a trazione per flessione	$f_{cfk} =$	2.60	N/mm <sup>2</sup>
tensione a SLE – combinazione rara	$\sigma_C =$	19.92	N/mm <sup>2</sup>
tensione a SLE – combinazione quasi permanente	$\sigma_C =$	14.94	N/mm <sup>2</sup>
copriferro estradosso	C =	40	mm
classe di esposizione		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:

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



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELL'OPERA	<i>Codice documento</i> SS0791_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 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 <sup>2</sup>
tensione caratteristica di rottura	$f_{tk} =$	540	N/mm <sup>2</sup>
resistenza di calcolo a trazione	$f_{yd} =$	391.30	N/mm <sup>2</sup>
modulo elastico	$E_s =$	206.000	N/mm <sup>2</sup>
deformazione caratteristica al carico massimo	$\epsilon_{uk}$	7.50	%
deformazione di progetto	$\epsilon_{ud}$	6.75	%
coeff. resistenza a instabilità delle membrature	$\gamma_m =$	1.10	

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELL'OPERA	<i>Codice documento</i> SS0791_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 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.

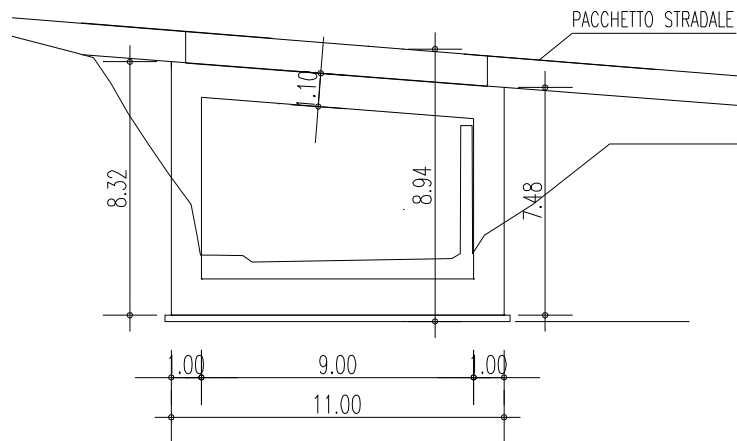


Figura 1 – Sezione trasversale tipica

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELL'OPERA	<i>Codice documento</i> SS0791_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

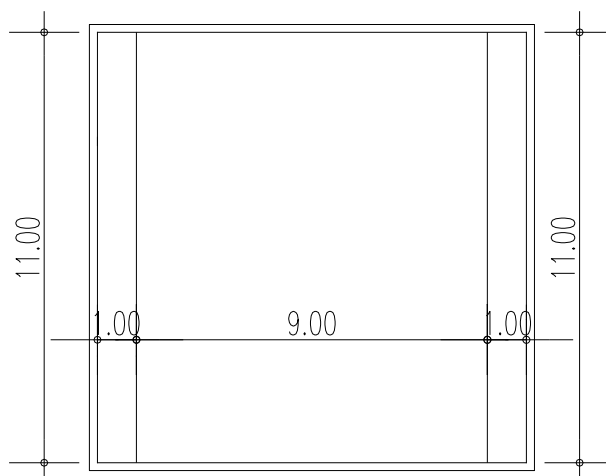


Figura 2 – Pianta

## 4.2 CARATTERISTICHE GEOTECNICA

### 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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELL'OPERA		<i>Codice documento</i> SS0791_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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**.

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.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELL'OPERA		<i>Codice documento</i> SS0791_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 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  $\gamma_s$  è risultato pari a circa 26.5 kN/m<sup>3</sup>.

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  $d_{50}=3mm$ .
- **$e_o$ :** 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  $e_o$  è mediamente pari a 0.4-0.6.
- **$\gamma_d$  :** si ottiene un pari a 17-19 KN/m<sup>3</sup>
- **$K_0$ :** si considera la relazione di Jaky.

<b>z(m)</b>	<b>Dr(%)</b>	<b><math>K_0</math></b>	<b><math>\phi'_p</math> (pff=0-272KPa) (°)</b>	<b><math>\phi'_{cv}</math> (°)</b>
<b>0-10</b>	<b>40-70</b>	<b>0.32-0.40</b>	<b>37-43</b>	<b>33-35</b>

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.

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>	
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELL'OPERA	<i>Codice documento</i> SS0791_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

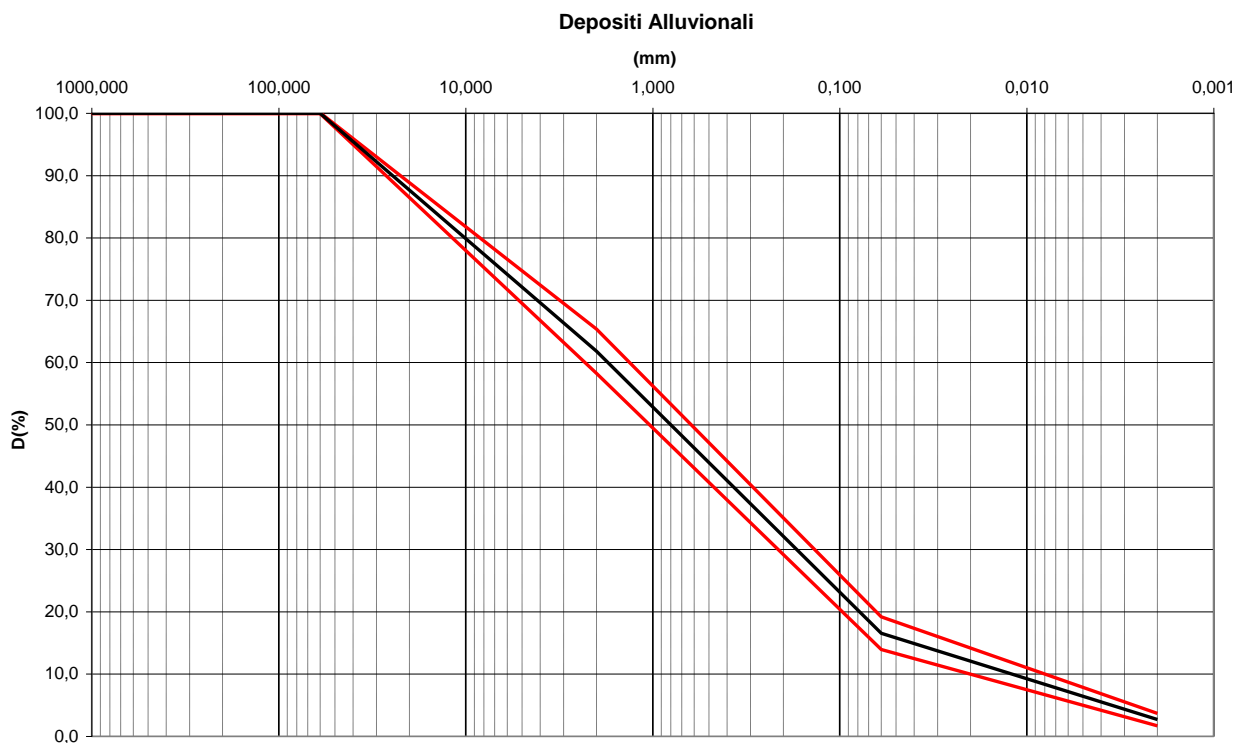
I valori di  $G_o$  da prove SPT hanno invece un andamento che, stimato graficamente con una linea di tendenza, risulta pari a:

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

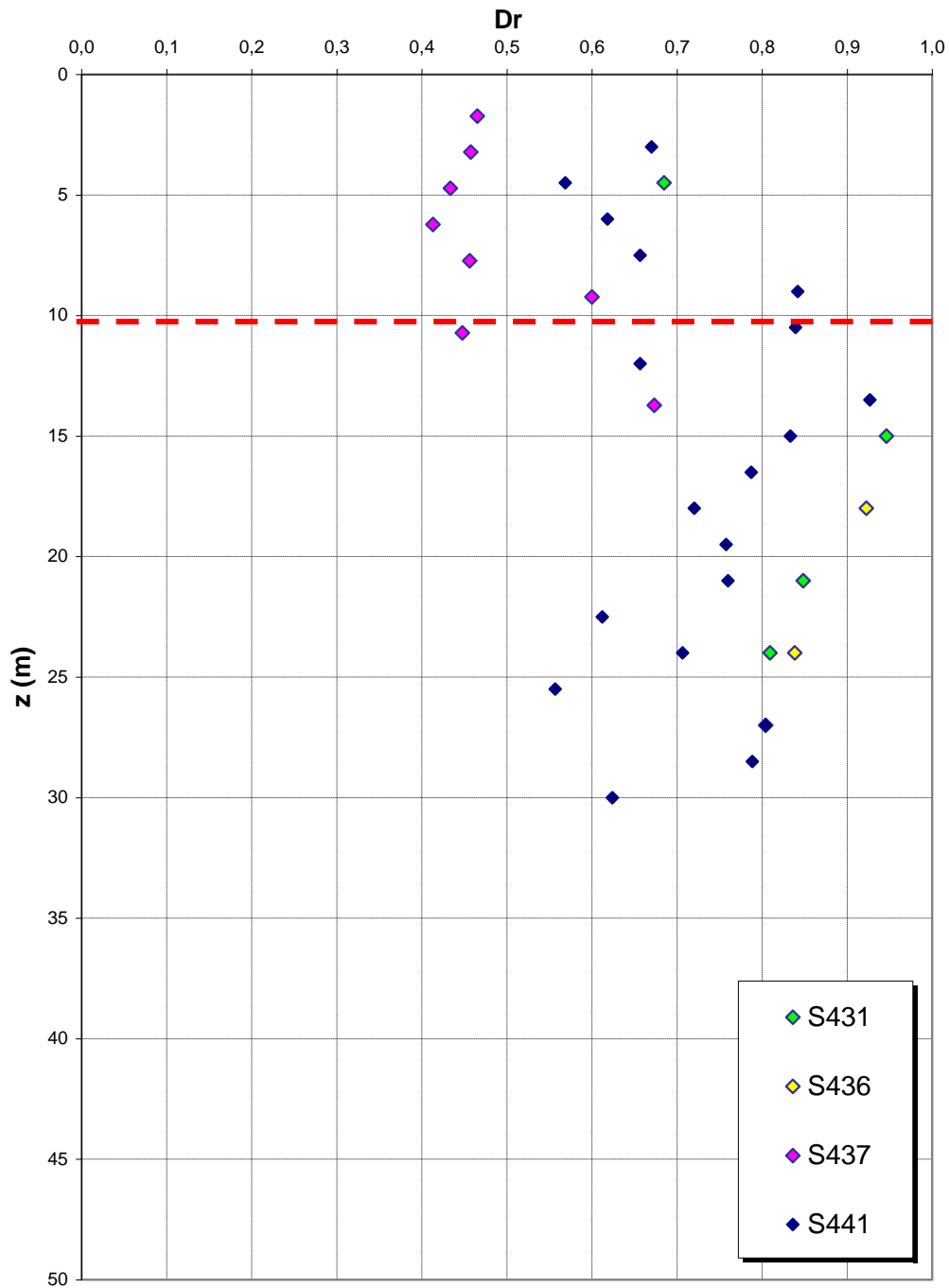
$$E_o = 80 \cdot (z)^{0.65}$$

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

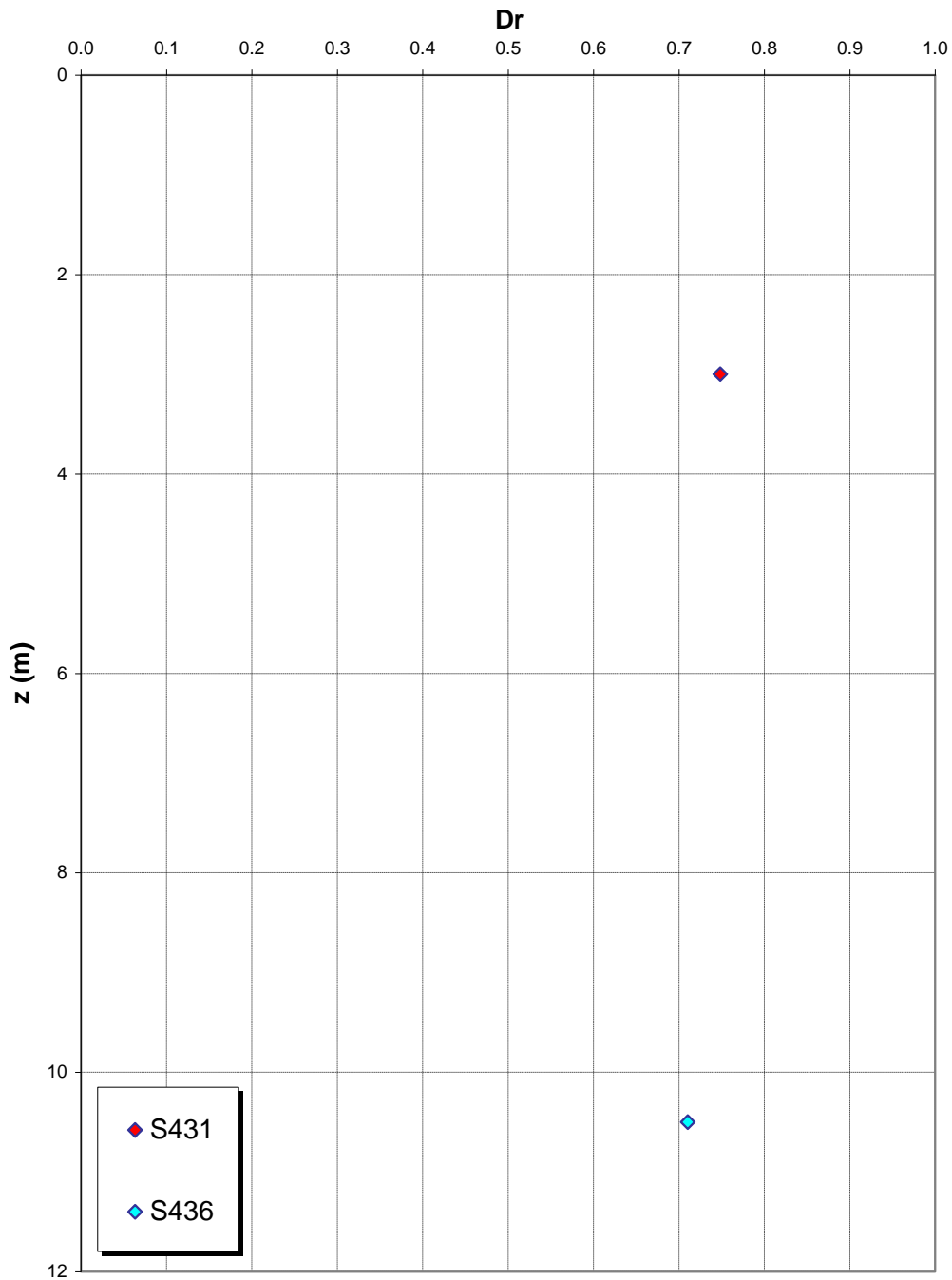
pari rispettivamente a circa  $1/10 \div 1/5$  (medio - alte deformazioni) ed ad  $1/3$  di quelli iniziali (piccole deformazioni).



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

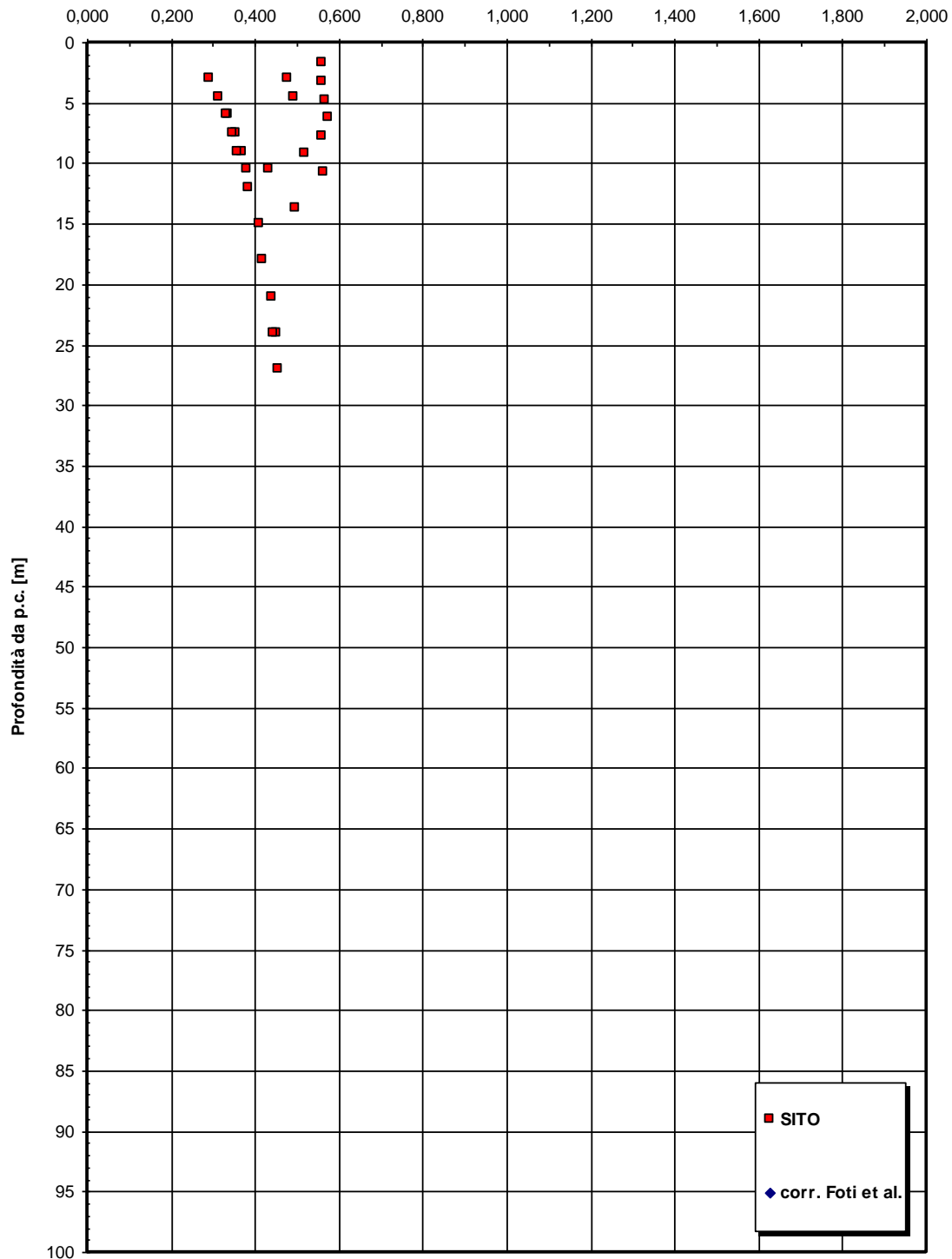


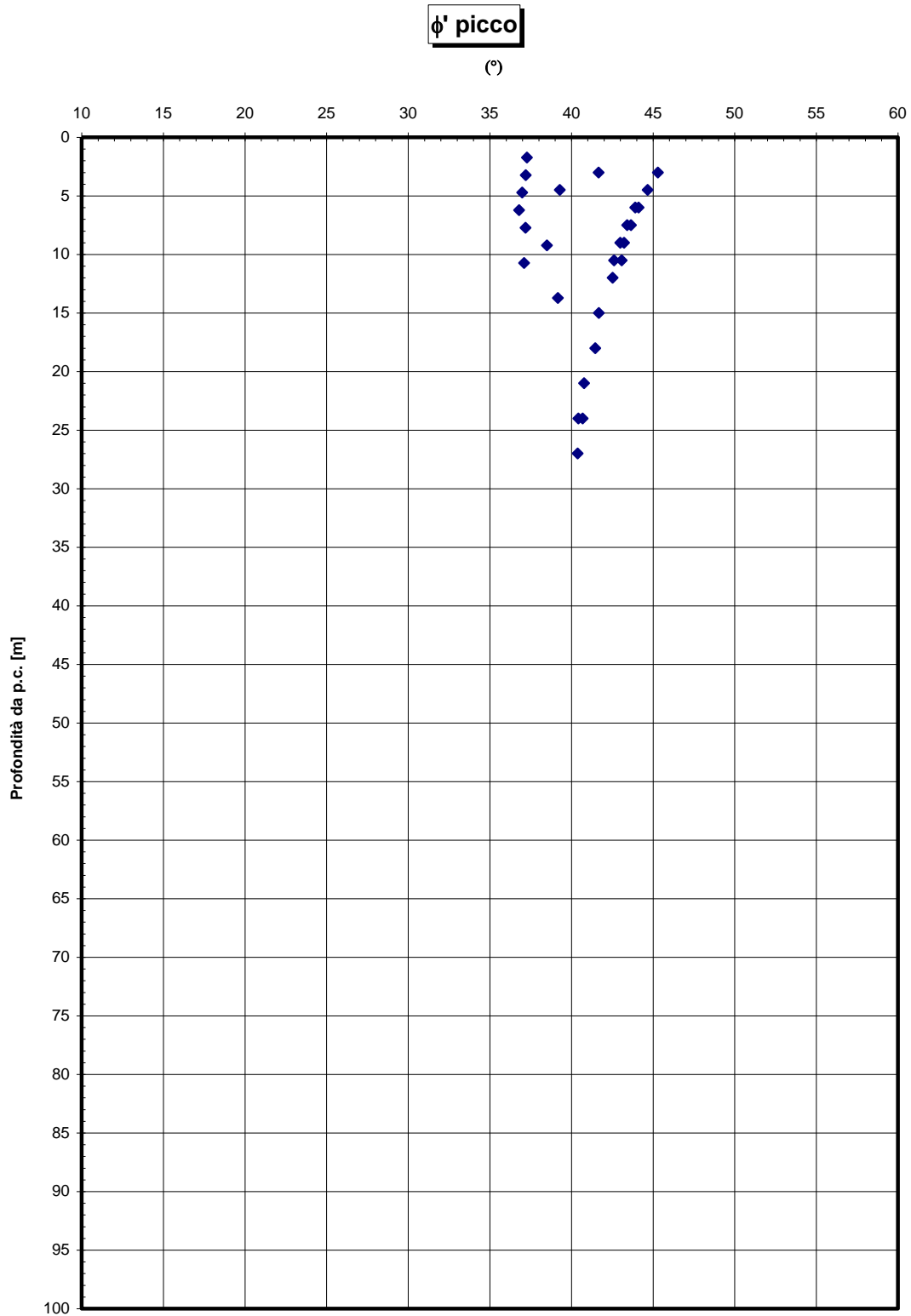
**Dr Cubrinovski e Ishihahara (1999)  
Componente ghiaiosa e sabbiosa  
DEPOSITI ALLUVIONALI**

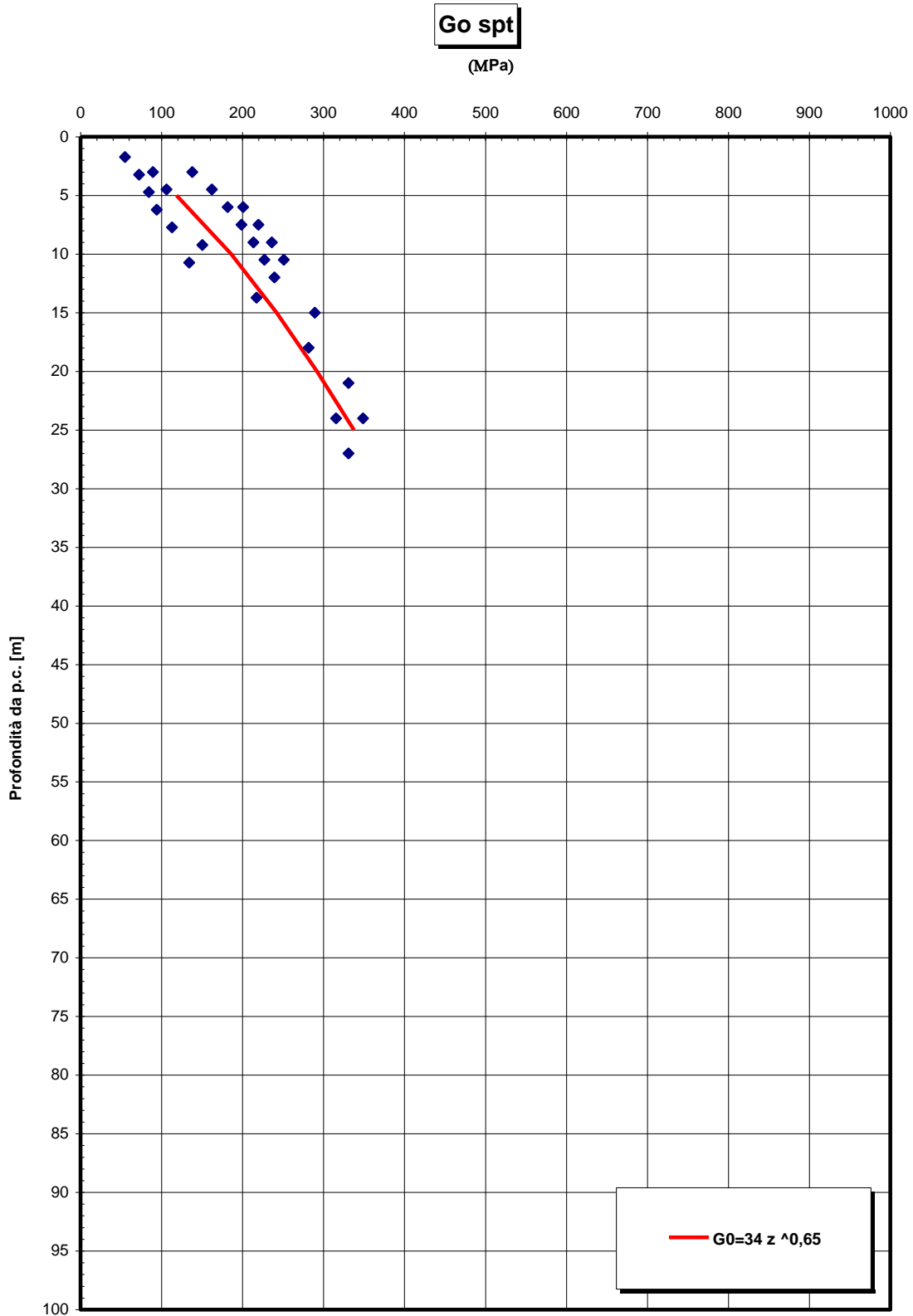




eo







		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELL'OPERA		<i>Codice documento</i> SS0791_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  $\gamma$  si assume un valore medio di  $20\text{KN/m}^3$ .

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  $N_{\text{spt}}$  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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELL'OPERA</b>		<i>Codice documento</i> SS0791_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 ascriversi

- 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:

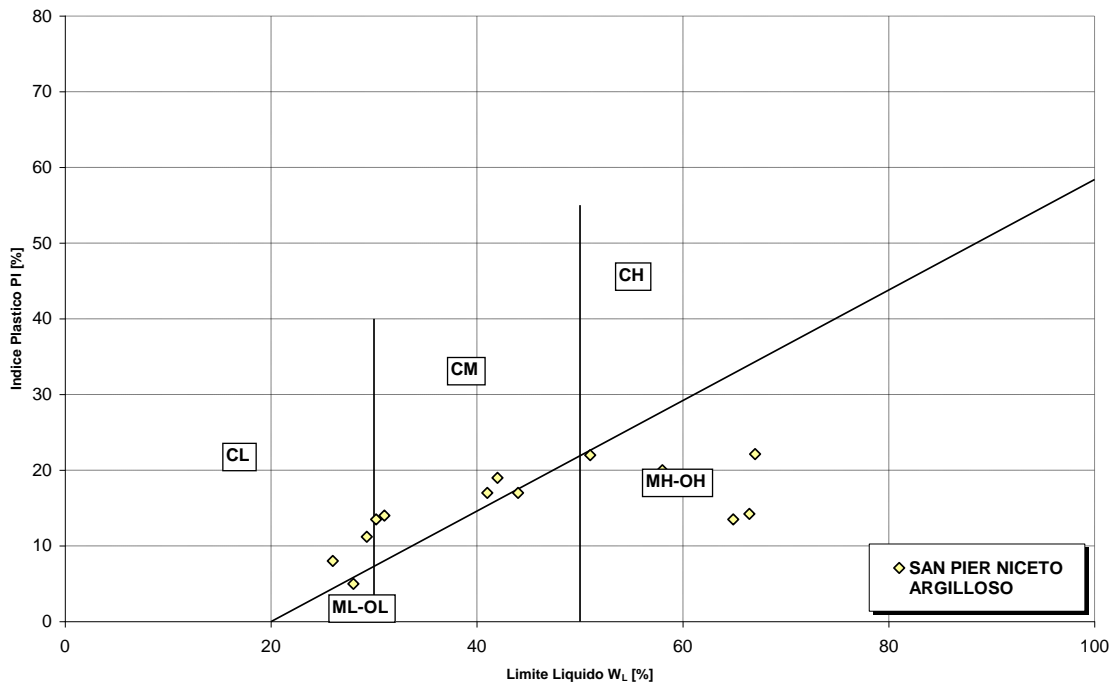
$E' = 200$  Cu (valore minimo)

$E' = 400$  Cu (valore massimo)

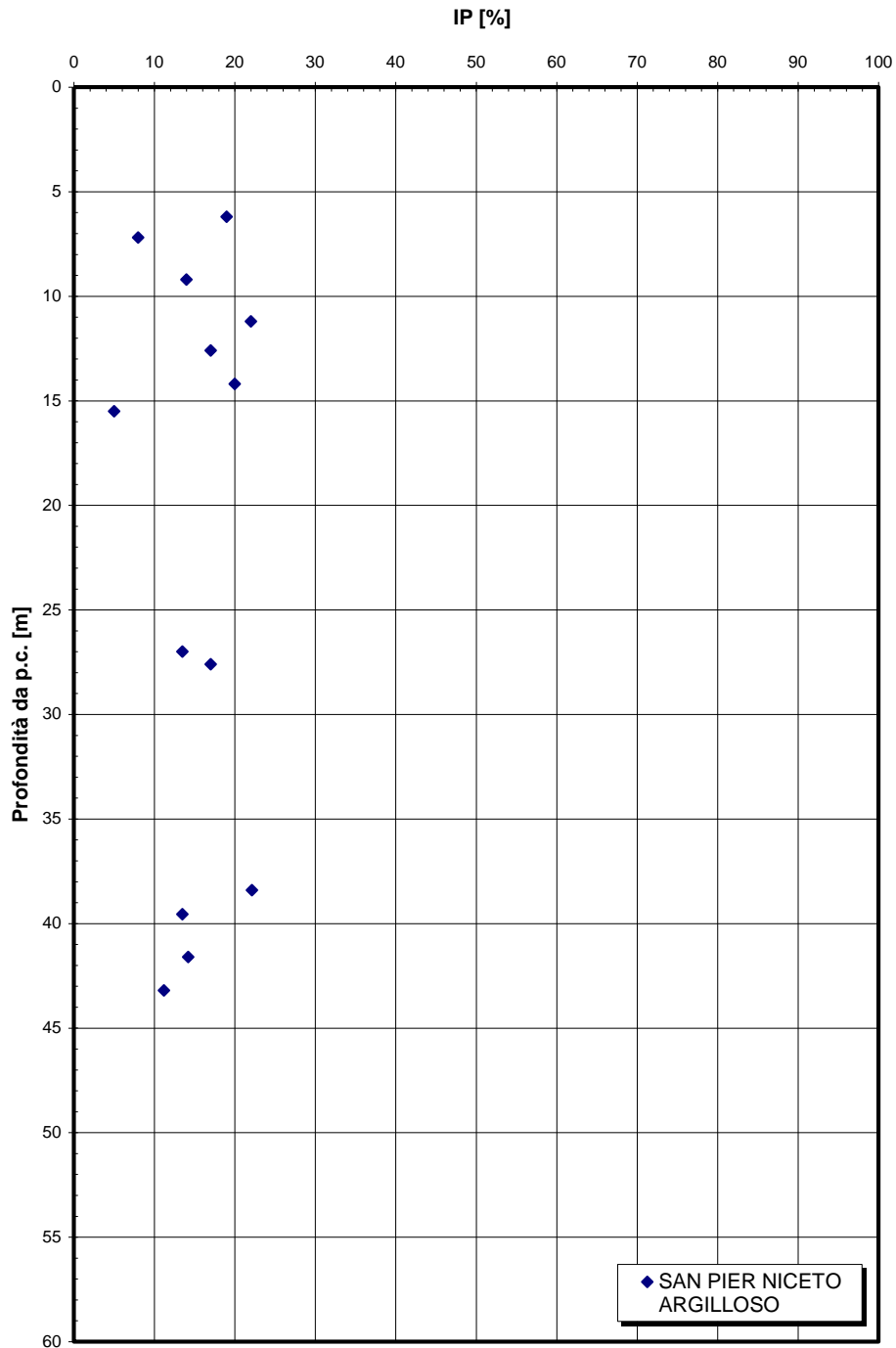
avendo posto un valore cautelativo di  $Cu = 300$  Kpa



**Carta di Plasticità di Casagrande**



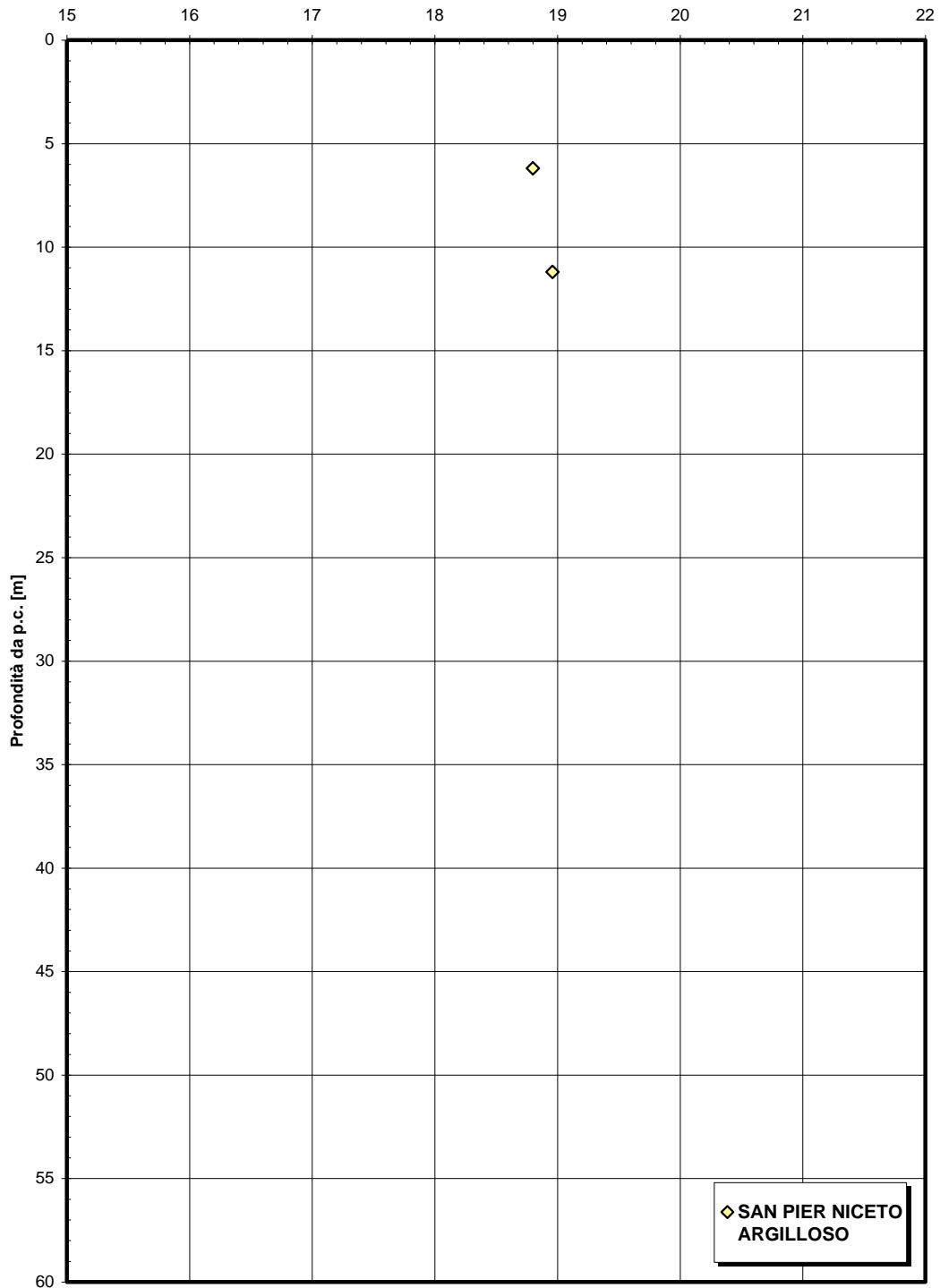
**Indice di plasticità**



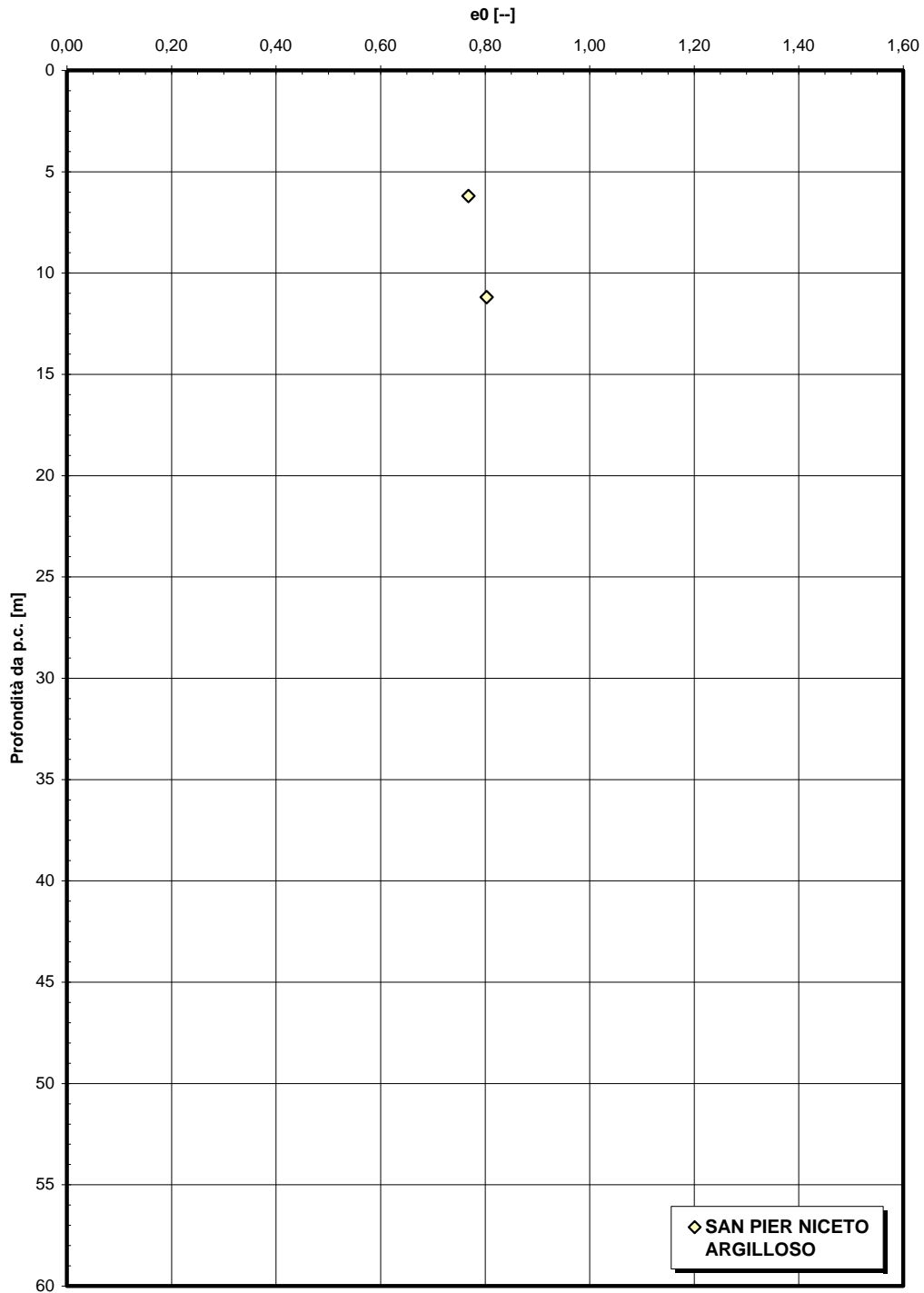


**Peso di volume naturale**

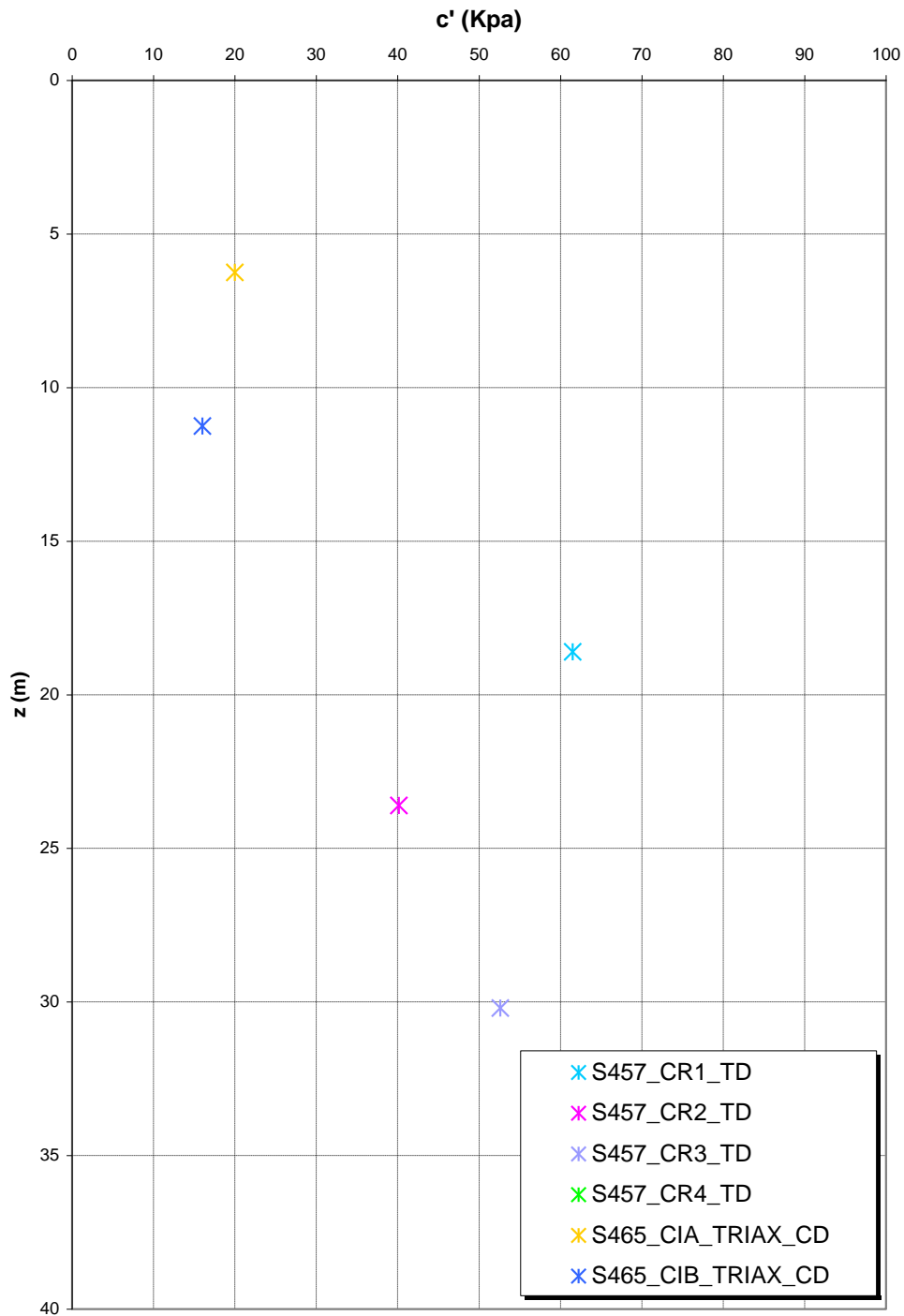
$\gamma$  [kN/m<sup>3</sup>]



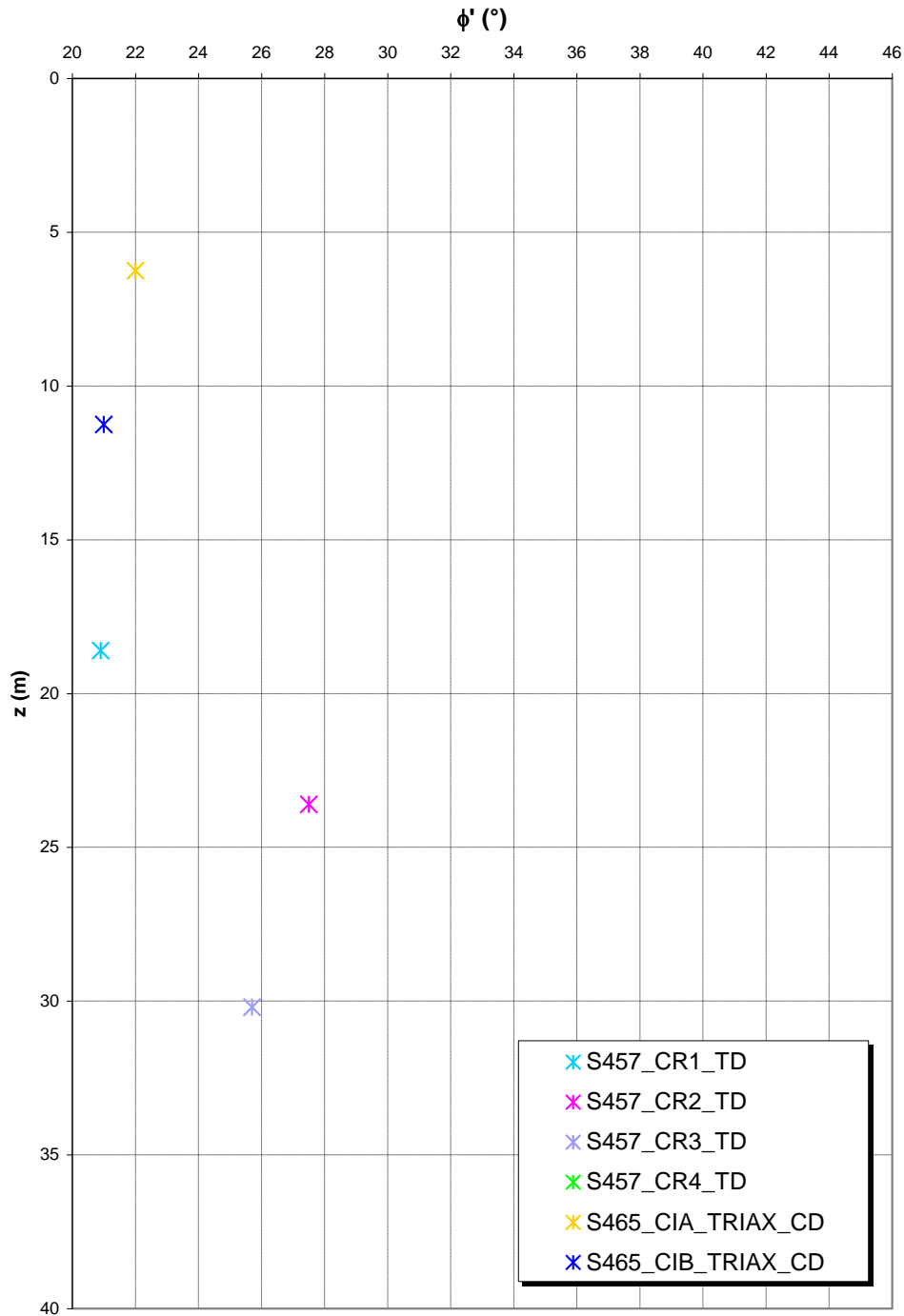
**Indice dei vuoti iniziale**



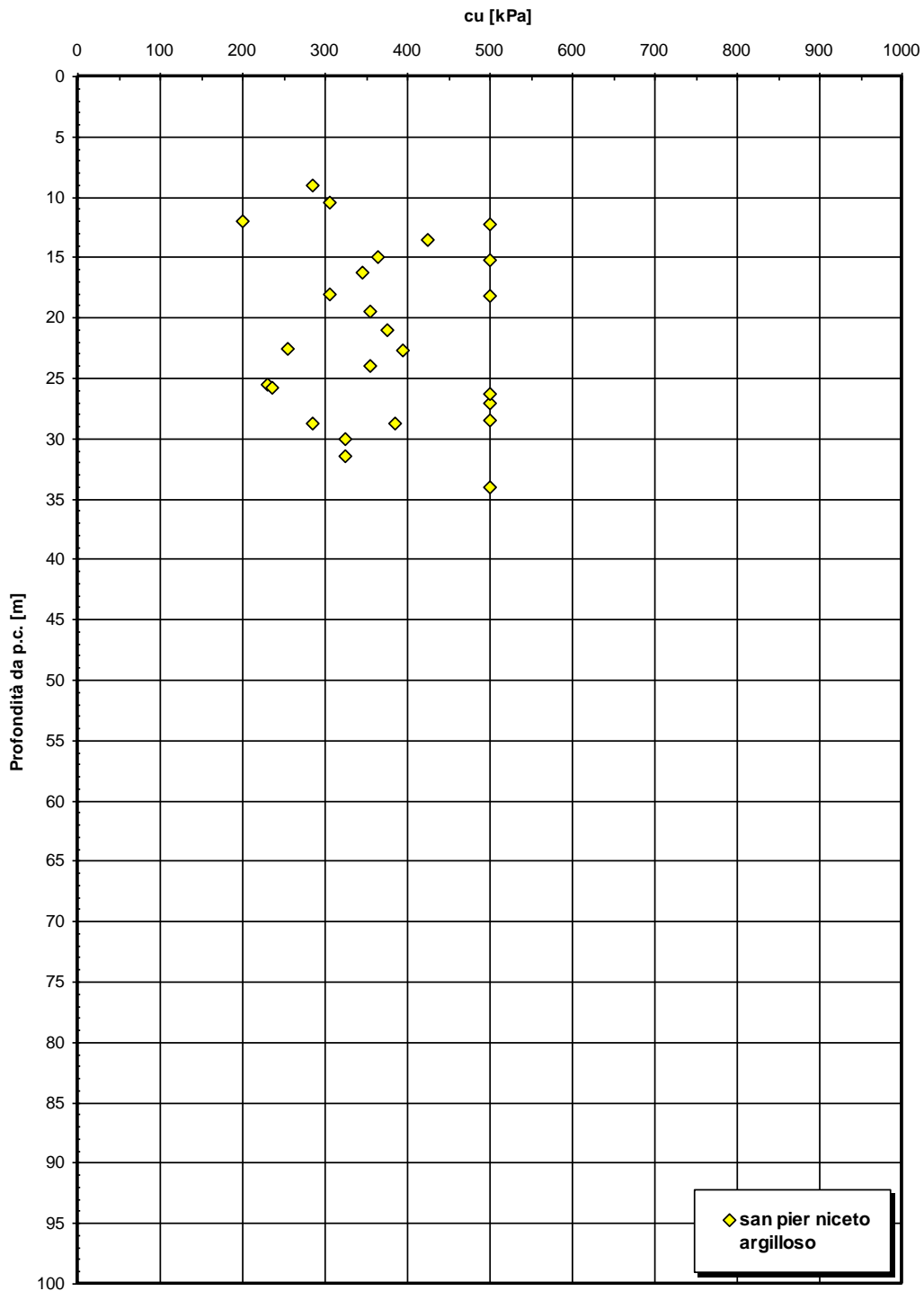
**Coesione  
SAN PIER NICETO ARGILLOSO**

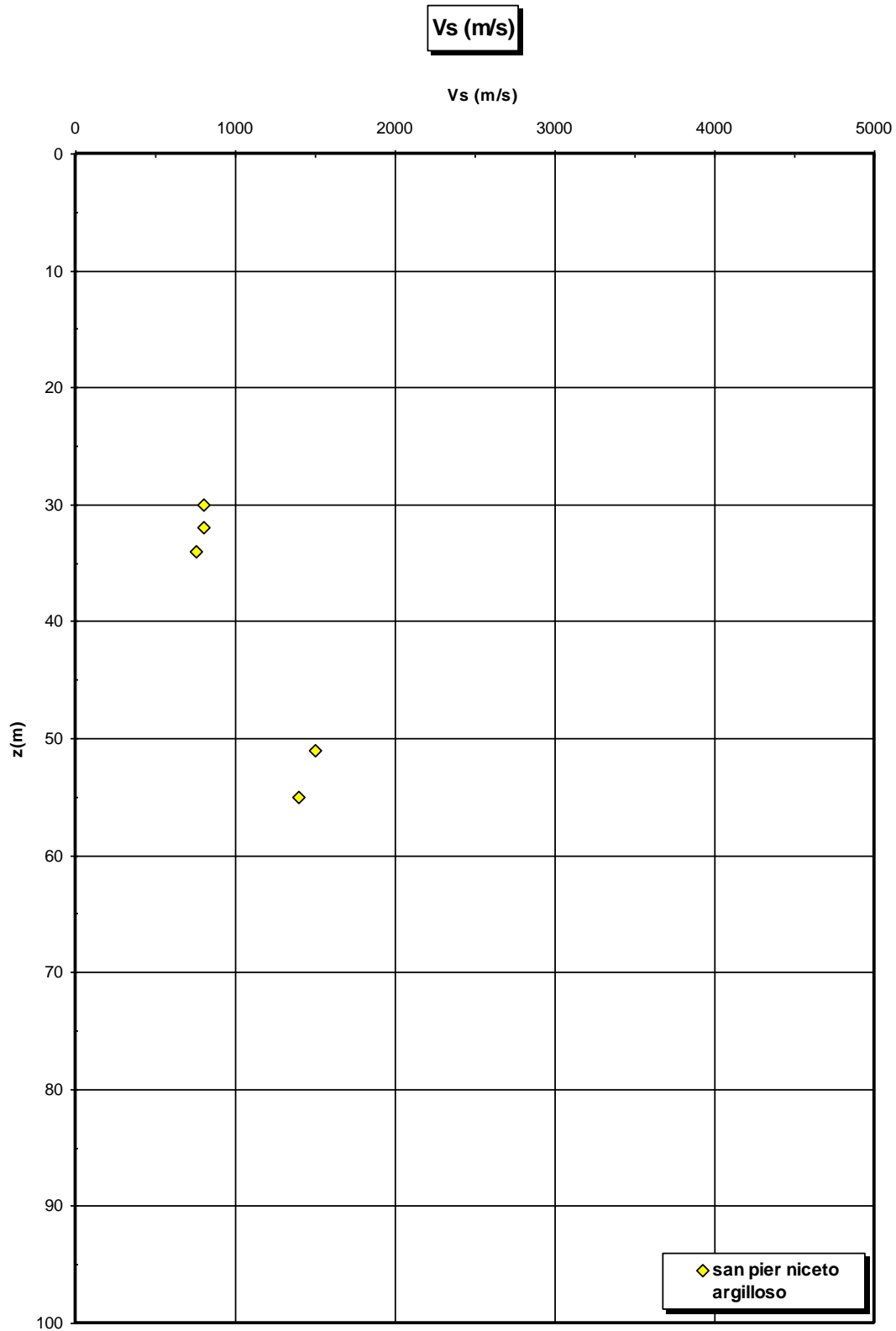


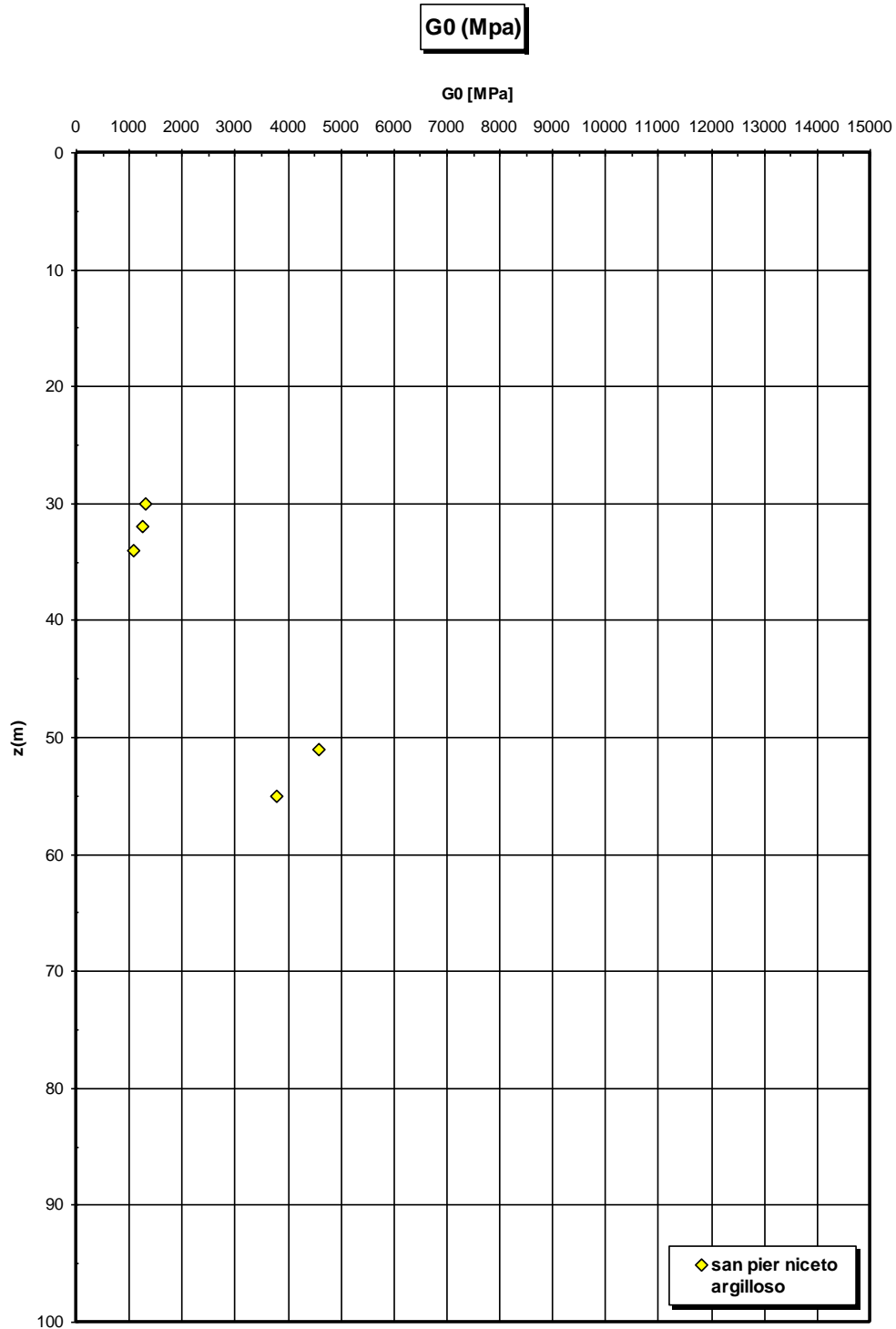
**Angolo di attrito  
SAN PIER NICETO ARGILLOSO**



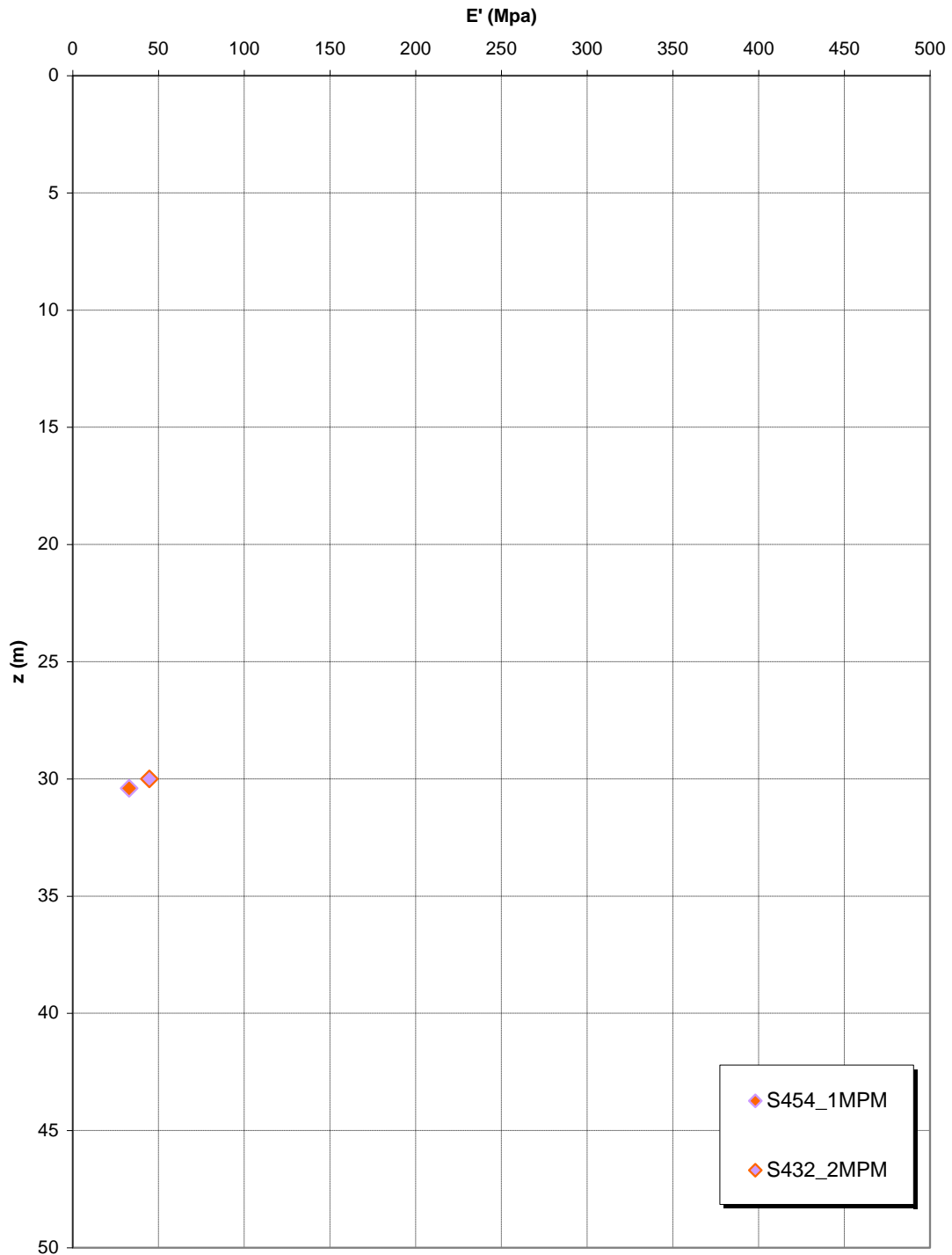
**Coesione non drenata da prove SPT**





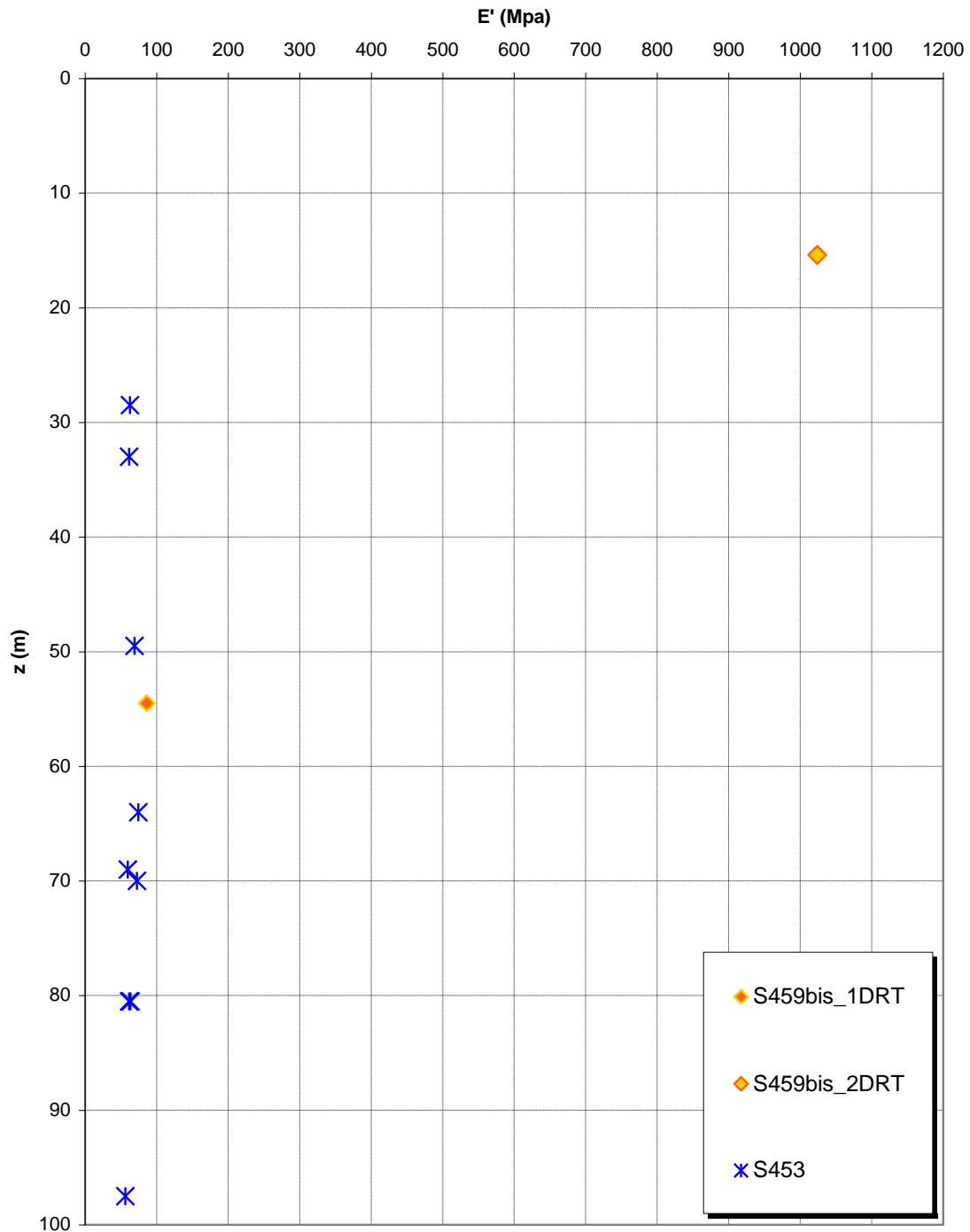


**Prove pressiometriche  
SAN PIER NICETO ARGILLOSO**





**Prove dilatometriche  
SAN PIER NICETO ARGILLOSO**



		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELL'OPERA		<i>Codice documento</i> SS0791_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)	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi'$ (°)	$c'$ (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	$4 \cdot 10^{-7}$
<b>Falda</b>	-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 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 -

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELL'OPERA		<i>Codice documento</i> SS0791_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

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)	$\sigma'_v$ (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
					<b>0.60</b>

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 funzione dei tre parametri:

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELL'OPERA		<i>Codice documento</i> SS0791_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

- $a_g$  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.

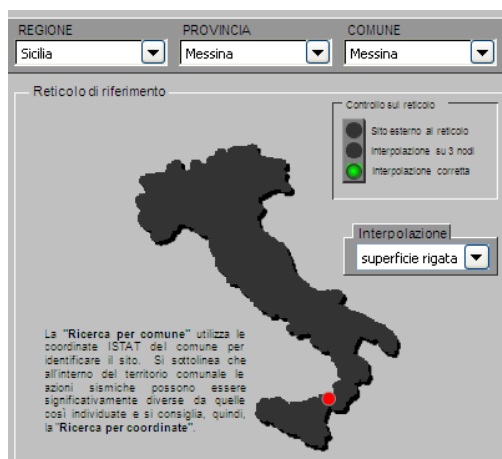
A tal fine è conveniente utilizzare, come parametro caratterizzante la pericolosità sismica, il periodo di ritorno dell'azione sismica  $T_R$ , espresso in anni. Fissata la vita di riferimento  $V_R$ , i due parametri  $T_R$  e  $P_{VR}$  sono immediatamente esprimibili, l'uno in funzione dell'altro,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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
<b>RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELL'OPERA</b>		<i>Codice documento</i> SS0791_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011



$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_C^*$ [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

## 4.4 CRITERI GENERALI DI PROGETTAZIONE

### 4.4.1 VERIFICHE DI RESISTENZA

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

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

#### 4.4.1.1 VERIFICHE DI RESISTENZA AGLI STATI LIMITE ULTIMI

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

La verifica di resistenza delle sezioni nei vari elementi strutturali, viene condotta tenendo conto

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELL'OPERA		<i>Codice documento</i> SS0791_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

delle condizioni più gravose che si individuano dall'inviluppo delle sollecitazioni agenti nelle diverse combinazioni di carico.

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

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

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELL'OPERA		<i>Codice documento</i> SS0791_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 5 FASI COSTRUTTIVE

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

- Scavo di sbancamento;
- Realizzazione opere provvisoriale;
- Scavo di fondazione;
- Realizzazione fondazione;
- Realizzazione pareti;
- Realizzazione della soletta di chiusura;
- Realizzazione opere di finitura (pavimentazione, barriere di sicurezza, reti di protezione ecc.).

		<b>Ponte sullo Stretto di Messina</b> <b>PROGETTO DEFINITIVO</b>		
RELAZIONE TECNICO-DESCRITTIVA DELL'OPERA		<i>Codice documento</i> SS0791_F0.doc	<i>Rev</i> F0	<i>Data</i> 20/06/2011

## 6 ELABORATI DI RIFERIMENTO

Nell'eseguire le verifiche relative all'opera di cui alla presente relazione si fa riferimento ai seguenti elaborati:

CG0700	P	RG	D	S	SC	A4	SP	R1	00	00	01	B
CG0700	P	SH	D	S	SC	A4	SP	R1	00	00	01	B
CG0700	P	CL	D	S	SC	A4	SP	R1	00	00	01	B
CG0700	P	RB	D	S	SC	A4	SP	R1	00	00	01	B
CG0700	P	P7	D	S	SC	A4	SP	R1	00	00	01	B
CG0700	P	FZ	D	S	SC	A4	SP	R1	00	00	01	B
CG0700	P	P8	D	S	SC	A4	SP	R1	00	00	01	B
CG0700	P	Z9	D	S	SC	A4	SP	R1	00	00	01	B
CG0700	P	PA	D	S	SC	A4	SP	R1	00	00	01	B
CG0700	P	BA	D	S	SC	A4	SP	R1	00	00	01	B
CG0700	P	BZ	D	S	SC	A4	SP	R1	00	00	01	B