

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**INFRASTRUTTURE FERROVIARIE STRATEGICHE DEFINITE  
DALLA LEGGE OBIETTIVO N. 443/01**

**U.O. PRODUZIONE CENTRO - NORD**

**PROGETTO PRELIMINARE**

**LOTTO FUNZIONALE TRATTA BRESCIA-VERONA  
NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO OVEST**

**RILEVATI E TRINCEE FERROVIARIE**

Relazione geotecnica

SCALA:

-

COMMESSA    LOTTO    FASE    ENTE    TIPO DOC.    OPERA/DISCIPLINA    Progr.    REV.

I N 0 9    1 0    R    2 6    R H    G E 0 0 0 0    0 0 1    B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Aut. Ing.
A	Emissione esecutiva	G. Grimaldi	sett. 2014	M. Rigo	sett. 2014	S. Borelli	sett. 2014	<b>ITALFERR S.p.A.</b> Direzione Tecnica Produzione Centro Nord Dott. Ing. Fabrizio Agduini Ordine degli Ingegneri della Prov. di Roma n° 16392 sez. A
B	Emissione esecutiva	M. Rigo	feb. 2016	M. Rigo	feb. 2016	C. Mazzocchi	feb. 2016	

File: IN0910R26RHGE0000001B.dwg

n. Elab.:

## INDICE

1	PREMESSA .....	3
2	NORME E RACCOMANDAZIONI DI RIFERIMENTO .....	4
3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....	5
4	INDAGINI ESEGUITE .....	8
5	INQUADRAMENTO GEOTECNICO .....	13
6	PIEZOMETRIA .....	13
7	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....	14
7.1	UNITA' R .....	20
7.1.1	<i>Caratteristiche fisico – granulometriche</i> .....	20
7.1.2	<i>Caratteristiche meccaniche di resistenza</i> .....	21
7.1.3	<i>Caratteristiche meccaniche di deformabilità</i> .....	24
7.2	UNITA' 1 .....	25
7.2.1	<i>Caratteristiche fisico granulometriche</i> .....	25
7.2.2	<i>Caratteristiche meccaniche di resistenza</i> .....	27
7.2.3	<i>Caratteristiche meccaniche di deformabilità</i> .....	31
7.2.4	<i>Caratteristiche di permeabilità</i> .....	34
8	MODELLO GEOTECNICO .....	35
9	CLASSIFICAZIONE SISMICA E STABILITA' DEL SITO .....	36
9.1	RISPOSTA SISMICA .....	36
9.2	LIQUEFAZIONE .....	40

## 1 PREMESSA

La presente relazione geotecnica è stata redatta nell'ambito della progettazione preliminare del Nodo AV/AC di Verona, ingresso Ovest.

L'area oggetto di studio è ubicata dalla stazione di Verona in direzione Ovest fino allo svincolo della A22, Autostrada del Brennero.

Il tracciato ferroviario in progetto si sviluppa in affiancamento alla linea storica per una lunghezza di 3.440 m circa. In Figura 1 si riporta una foto aerea con indicazione dell'area oggetto di studio (Bing mappe).



**Figura 1 – Inquadramento geografico**

Di seguito la relazione si articolerà in questo modo:

- inquadramento geologico dell'area in esame;
- elenco delle indagini eseguite;
- inquadramento geotecnico;
- definizione delle modalità di rielaborazione ed interpretazione delle indagini di sito e laboratorio (caratterizzazione geotecnica);
- rappresentazione delle caratteristiche geotecniche dei litotipi investigati;



LOTTO FUNZIONALE TRATTA BRESCIA – VERONA

NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO OVEST

RELAZIONE GEOTECNICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN09	10	R26RH	GE 00 00 001	B	4 di 42

- definizione delo modello geotecnico;
- definizione delle caratteristiche sismiche e considerazioni circa il pericolo di attivazione del fenomeno di liquefazione.

## 2 NORME E RACCOMANDAZIONI DI RIFERIMENTO

La progettazione è conforme alle normative vigenti.

La normativa cui viene fatto riferimento nelle fasi di calcolo e progettazione è la seguente:

Norme Tecniche per le Costruzioni - D.M. 14-01-08 (NTC-2008);

Circolare n. 617 del 2 febbraio 2009 - Istruzioni per l'Applicazione Nuove Norme Tecniche Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008;

DM 6/5/2008 – Integrazione al D.M. 14-01-2008 di approvazione delle nuove Norme tecniche per le costruzioni;

Specifica RFI del 21/12/11 per la progettazione geotecnica delle opere civili ferroviarie.

	LOTTO FUNZIONALE TRATTA BRESCIA – VERONA					
	NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO OVEST					
RELAZIONE GEOTECNICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IN09	10	R26RH	GE 00 00 001	B	5 di 42

### 3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Le caratteristiche delle unità geologiche presenti nell'area sono intimamente legate agli elementi geomorfologici riconosciuti in superficie e, complessivamente, sono il prodotto dei processi deposizionali ed erosivi attuatisi tra le fasi finali del Pleistocene e l'Attuale, ossia negli ultimi 150.000 anni circa.

Come si evince esaminando la Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000, Foglio 49 - Verona (Figura 3 - Figura 4) e Foglio 48 - Peschiera del Garda (Figura 5 - Figura 6) nella quale colloca la quasi totalità del tracciato ferroviario in progetto, il sottosuolo dell'area di studio è costituito da sedimenti alluvionali fluvio-glaciali e fluviali depositi dall'antico Fiume Adige al termine del percorso montano, in particolare, da Ovest verso Est:

o fgR2: alluvioni fluvio-glaciali e fluviali, da molto grossolane a ghiaiose, con strato di alterazione superficiale argilloso, giallo-rossiccio, di ridotto spessore. Terrazze, sospese sui 30 metri, costituiscono l'alta pianura, generalmente a monte della zona delle risorgive e si raccordano con le cerchie moreniche maggiori dell'anfiteatro del Garda (RISS).

o fgR3: alluvioni fluvio-glaciali e fluviali, ghiaiose, con terreno argilloso rossastro di alterazione superficiale. Terrazze e sospese sui 25 metri, si raccordano con le cerchie più interne del morenico Riss (RISS RECENTE);

Le informazioni acquisite dalla cartografia geologica disponibile sono state confermate dai dati geognostici disponibili ovvero le indagini geognostiche realizzate a supporto della progettazione preliminare del tracciato ferroviario. Tali dati geognostici hanno evidenziato la presenza di un potente materasso alluvionale costituito da depositi di notevole spessore di ghiaie e ghiaie sabbiose.

Più a sud dell'area di interesse, nell'ambito della media e bassa pianura, le ampie conoidi ghiaiose dell'Adige si intercalano con depositi sabbiosi, limosi e argillosi dando luogo alla "fascia delle risorgive".



**OLOCENE**

a<sup>2</sup>



Alluvioni subiceo-glaciale, terrazze, antiche.

**PLEISTOCENE**

fg<sup>tc</sup>



Alluvioni fusio-glaciale e fluviale, da concolosa a ghiaiosa, con strati di alterazione superficiale argillosa, giallo-rossiccio, di ridotta spessore; terrazze e sospese sul 30 m, costituiscono felle pianure a mare delle zone delle sorgive e si ricordano con le cerchi marmiche maggiori dell'altipiano del Garda. Alluvioni dell'antica concolite dell'Adige, prevalentemente cementata, scrossate e terrazze. BISS.

**Simbologia convenzionale**

-  Orti e scarpate di terrazzo di costruzione fluviale.
-  Costone marmica.
-  Pozzo per acqua (profondità in metri).
-  Cava.

Figura 2 Carta geologica d'Italia scala 1:100000 Foglio n.49 Verona (stralcio non in scala, in rosso l'area di studio)



	LOTTO FUNZIONALE TRATTA BRESCIA – VERONA					
	NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO OVEST					
RELAZIONE GEOTECNICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IN09	10	R26RH	GE 00 00 001	B	8 di 42

#### 4 INDAGINI ESEGUITE

Lo studio geotecnico tiene conto dei sondaggi eseguiti nella presente fase di progettazione preliminare del Nodo AV/AC di Verona, ingresso Ovest.

L'indagine è costituita da n. 5 sondaggi a carotaggio continuo con installazione di strumentazione in foro (piezometri e tubazione per prove sismiche tipo Down Hole), prelievo di campioni, prove di permeabilità Lefranc e prove SPT in foro.

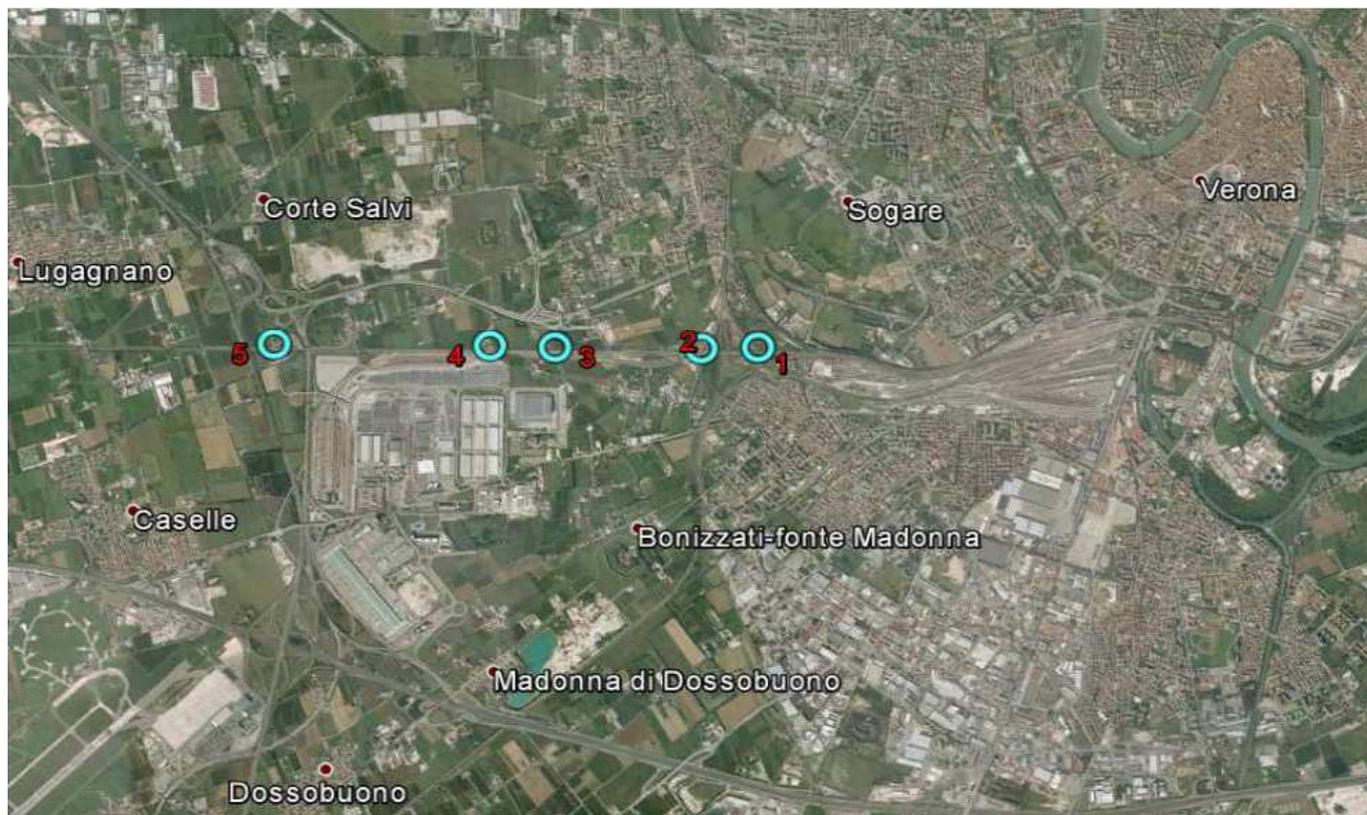
Per l'esecuzione dei sondaggi è stata impiegata una sonda a rotazione. La perforazione è stata eseguita utilizzando un carotiere semplice con avanzamento a secco, ovvero senza l'impiego di fluido di perforazione, per non dilavare le frazioni fini. Il sostegno delle pareti del foro è stato assicurato mediante l'infissione di rivestimenti metallici di diametro 127 mm fino a fondo foro.

I sondaggi eseguiti sono riassunti in Tabella 1.

SONDAGGIO	DATA ESECUZIONE	LIVELLO PROGETTAZIONE	UBICAZIONE/ OPERA	QUOTA BOCCAFORE	PROFONDITA'
				m s.l.m.	m
DHL281R01 (S1)	10/06/2014	preliminare	N 45°25,635' E 10°57,202'	-	30
PLN281R02 (S2)	12/06/2014	preliminare	N 45°25,630' E 10°56,910'	-	30
SCL281R03 (S3)	27/05/2014	preliminare	N 45°25,635' E 10°56,156'	-	30
PLN281R04 (S4)	17/06/2014	preliminare	N 45°25,641' E 10°55,821'	-	30
DHL281O05 (S5)	03/06/2014	preliminare	N 45°25,647' E 10°54,704'	-	30
					150
					TOT

Tabella 1 Sondaggi – Campagna indagini 2014

La posizione dei sondaggi lungo il tratto in esame è indicata in Figura 4.


**Figura 4 Ubicazione indagini geognostiche**

SONDAGGIO	LIVELLO PROGETTAZIONE	PROVE DI LABORATORIO								PROVE IN SITO							PIEZOMETRO				
		NUMERO CAMPIONI PRELEVATI	GRANULOMETRIA	LIMITI	EDO	TD	CID	CIU	UU	ELL	Pocket	SPT	CPT	SISMICA	LEFRANC	LUGEON	CARICO PIASTRA	DILATOM.	PRESSIOM.	TUBO APERTO	CASAGRANDE
S1	preliminare	9	9	-	-	-	-	-	-	-	9	-	1	1	-	-	-	-	-	1	
S2	preliminare	9	9	-	-	-	-	-	-	-	9	-	-	1	-	-	-	-	-	1	
S3	preliminare	9	9	-	-	-	-	-	-	-	9	-	-	1	-	-	-	-	-	1	
S4	preliminare	8	9	-	-	-	-	-	-	-	9	-	-	-	-	-	-	-	-		
S5	preliminare	9	9	-	-	-	-	-	-	-	9	-	1	-	-	-	-	-	-		
		44	45	0	0	0	0	0	0	0	0	45	0	2	3	0	0	0	0	3	0
		TOT								TOT							TOT				

**Tabella 2 Sondaggi - Campagna indagini 2014**

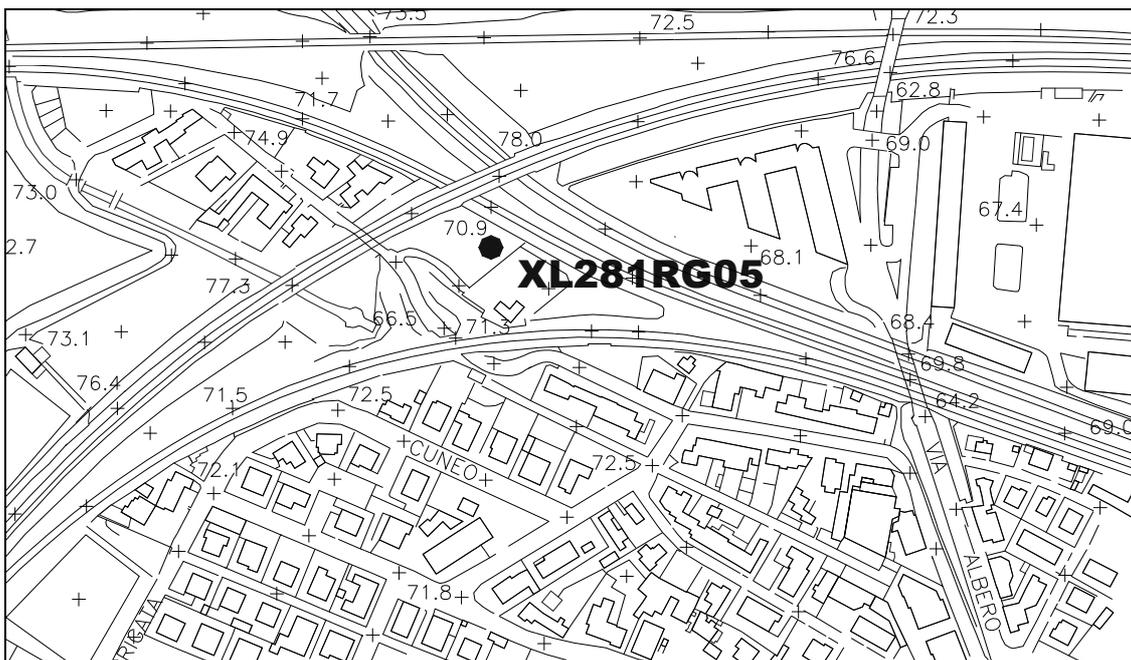
La Tabella 2 riassume il numero di campioni prelevati e le prove geotecniche eseguite in sito e in laboratorio, in particolare durante le perforazioni dei sondaggi sono state eseguite le seguenti attività:

- riconoscimento stratigrafico e geotecnico;
- 45 prelievi di campioni rimaneggiati per l'esecuzione di prove di laboratorio;
- 45 prove penetrometriche dinamiche Standard Penetration Test (SPT);
- 2 prove down hole;
- 3 prove di permeabilità Lefranc;
- installazione di 3 piezometri a tubo aperto.

Per la ricostruzione dei rapporti geostratigrafici tra le unità litostratigrafiche sono stati anche realizzati dei profili tomografici elettrici

Si rimanda alla relazione tecnica "Esiti indagini e prove in sito" L281 10 69 RH GE001 001 A per la sequenza delle schede di sondaggio.

Per la progettazione preliminare del Viadotto Bologna, in corrispondenza dello scavalco della linea Bologna-Verona delle linee merci Bivio Fenilone-VR Scalo e Brennero-VR Scalo, si è fatto riferimento al sondaggio n. XL281RG05, eseguito nella campagna eseguita tra i mesi di maggio e giugno 2003, e ubicato nelle immediate vicinanze del viadotto attuale come si evince dal seguente schema grafico:







LOTTO FUNZIONALE TRATTA BRESCIA – VERONA

NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO OVEST

RELAZIONE GEOTECNICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
IN09	10	R26RH	GE 00 00 001	B	12 di 42

Da m	A m	Profondità Finale m	PROFONDITA' m da p.c.	SIMBOLOGIA STRATIGRAFICA	TIPO	NUMERO	PROFONDITA' m da p.c.	POCKET PENETROMETER Kg/cm <sup>2</sup>	TORVAE Kg/cm <sup>2</sup>	S.P.T.	
20.00	30.00	30.00								N	H
DESCRIZIONE STRATIGRAFICA											
Ghiaia eterometrica, poligenica, per lo più subarrotondata, sabbiosa, localmente con sabbia, con tracce limose, nocciola; rari ciottoli Ø max 10 cm											
										45 *	21.20
										50	21.35
											21.40
										37 *	24.20
										44	24.35
										47	24.50
											24.65
							27.00			27 *	27.20
						2	27.50			31	27.35
										38	27.50
											27.65
			30.00								

Dalle schede di sondaggio sopra riportate si evince che la stratigrafia è del tutto simile a quella evidenziata nella campagna 2014, per tale motivo i dati trovano conferma in quanto analizzato di seguito.

	LOTTO FUNZIONALE TRATTA BRESCIA – VERONA					
	NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO OVEST					
RELAZIONE GEOTECNICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IN09	10	R26RH	GE 00 00 001	B	13 di 42

## 5 INQUADRAMENTO GEOTECNICO

L'area oggetto del presente lavoro è caratterizzata dalle unità geologiche sopra descritte, di natura essenzialmente ghiaiosa, distinte nel profilo geologico tecnico (scala 1:2.000/1:200) nelle seguenti unità litostratigrafiche:

- unità R: materiale rimaneggiato e/o di riporto antropico, costituito da ghiaia poligenica arrotondata, da fine a grossa (diametro massimo 6 cm), sabbiosa e debolmente limosa di colore nocciola e marrone. Localmente la porzione sabbiosa aumenta e può diventare talora prevalente. Si rinvencono rari pezzi di cotto e laterizi sparsi;
- unità 1: ghiaia poligenica arrotondata, da fine a grossa (diametro massimo 5-6 cm), sabbiosa e debolmente limosa di colore nocciola con ciottoli sparsi (diametro massimo 10÷15 cm). Localmente la porzione sabbiosa aumenta e può diventare talora prevalente;

Nella elaborazione del modello geologico di riferimento, sintetizzato nel profilo geologico tecnico, oltre che delle indagini puntuali (sondaggi stratigrafici), si sono tenute in debita considerazione anche le risultanze dell'indagine elettrica tomografica.

I sondaggi realizzati hanno permesso di individuare nel tratto in esame la presenza di due formazioni, così come indicato nel "Profilo geologico tecnico" IN09 10 R 00 F6 GE001 001 A e IN09 10 R 00 F6 GE001 002 A, in particolare si evidenzia la presenza dell'unità R per spessori massimi di 5 m e dell'unità 1, generalmente rinvenuta per tutti i 30 m di sondaggio, ad eccezione dell'S1 che a 30m di profondità incontra una piccola lente dell'unità 3, ritenuta non significativa e pertanto successivamente non caratterizzata dal punto di vista geotecnico.

La caratterizzazione geotecnica seguirà la stratigrafia su indicata individuando in ogni strato:

- caratteristiche fisico – granulometriche;
- caratteristiche meccaniche di resistenza;
- caratteristiche meccaniche di compressibilità e deformabilità;
- caratteristiche di permeabilità.

## 6 PIEZOMETRIA

	LOTTO FUNZIONALE TRATTA BRESCIA – VERONA					
	NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO OVEST					
RELAZIONE GEOTECNICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IN09	10	R26RH	GE 00 00 001	B	14 di 42

Per valutare il livello piezometrico sono stati utilizzati i 3 piezometri a tubo aperto.

L'analisi del livello di falda valutato nei sondaggi strumentati ha permesso di definire il profilo della falda stessa riportato negli elaborati IN09 10 R 00 F6 GE001 001 A e IN09 10 R 00 F6 GE001 002 A "Profilo geologico tecnico".

Di seguito per completezza si riportano le misure di falda effettuate nella campagna di indagini oggetto della presente relazione.

PIEZOMETRO				
SONDAGGIO	TRATTO FINESTRATO [m]	TIPO DI PIEZOMETRO	DIAMETRO [pollici]	LIVELLO ACQUA DA p.c. [m]
S1	12 - 30.	TUBO APERTO	3	22.45
S2	15 - 30	TUBO APERTO	3	26.5
S3	15 - 30	TUBO APERTO	3	28

**Tabella 3 Livelli di falda**

## 7 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

La definizione dei parametri geotecnici medi per le unità litotecniche sopra descritte è stata effettuata attraverso correlazioni di comune utilizzo in campo geotecnico, a partire dalle risultanze delle indagini disponibili:

- prove in foro SPT;
- prove down hole;
- prove di laboratorio geotecnico;
- prove Lefranc.

I terreni che caratterizzano la tratta in questione sono tutti di natura incoerente, pertanto l'interpretazione delle prove SPT è stata condotta utilizzando di volta in volta le correlazioni della letteratura che meglio si adattano per ricavare densità relativa, angolo di resistenza al taglio e modulo di Young.

	LOTTO FUNZIONALE TRATTA BRESCIA – VERONA					
	NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO OVEST					
RELAZIONE GEOTECNICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IN09	10	R26RH	GE 00 00 001	B	15 di 42

### Densità relativa

#### Skempton (1986)

E' noto che la resistenza e la deformabilità delle sabbie e delle ghiaie dipende significativamente dal loro stato di addensamento iniziale, definito attraverso la densità relativa (DR). Questa è stata stimata in accordo a quanto indicato da Skempton (1986):

$$\frac{(N_1)_{60}}{A} = D_R^2$$

con

$$\begin{aligned}
 & (N_1)_{60} = C_N N_{SPT} \\
 & A = \begin{cases} 55 \text{ per sabbie fini} \\ 60 \text{ per sabbie medie} \\ 65 \text{ per sabbie grossolane} \end{cases} \text{ fattore relativo alla granulometria}
 \end{aligned}$$

nella quale CN, fattore correttivo della profondità, vale:

$$\begin{aligned}
 & \text{per sabbie fini} \quad C_N = \frac{2}{1 + \sigma'_{vo}/100} \\
 & \text{per sabbie grossolane} \quad C_N = \frac{3}{2 + \sigma'_{vo}/100}
 \end{aligned}$$

con NSPT pari al numero di colpi necessari per ottenere un avanzamento di 30 cm nel corso di una SPT e  $\sigma'_{vo}$  lo stato tensionale verticale efficace alla quota della misura.

#### Meyerhof (1957)

ha elaborato una correlazione valida per tutti i tipi di suolo per cui la densità relativa è pari a

$$D_r = 21 \sqrt{\frac{N_{SPT}}{\sigma'_v + 0.7}}$$

$\sigma'_v$  : tensione verticale efficace, espressa in kg/cm<sup>2</sup>

### Bazaraa (1967)

Questa correlazione è valida per tutti i tipi di suolo. La correlazione, a differenza delle precedenti che sono definite per mezzo di prove SPT eseguite in laboratorio su campioni ricostituiti, si basa su prove in sito SPT. La critica mossa dall'autore riportava che le prime potevano non essere rappresentative dei valori di  $N$  che a parità di densità relativa in laboratorio non tenevano conto di fattori importanti come la cementazione, l'invecchiamento (aging) e la storia tensionale del deposito.

Partendo da tali obiezioni Bazaraa è pervenuto alle seguenti correlazioni:

$$\text{per } \sigma'_{v0} \leq 0.732 \text{ kg/cm}^2 \quad D_r^2 = \frac{N}{20 \cdot (1 + 4.1 \cdot \sigma'_{v0})}$$

$$\text{per } \sigma'_{v0} > 0.732 \text{ kg/cm}^2 \quad D_r^2 = \frac{N}{20 \cdot (3.24 + 1.024 \cdot \sigma'_{v0})}$$

tensione verticale efficace  $\sigma'v$  espressa in kg/cm<sup>2</sup>

### Angolo d'attrito

#### Schmertmann (1978)

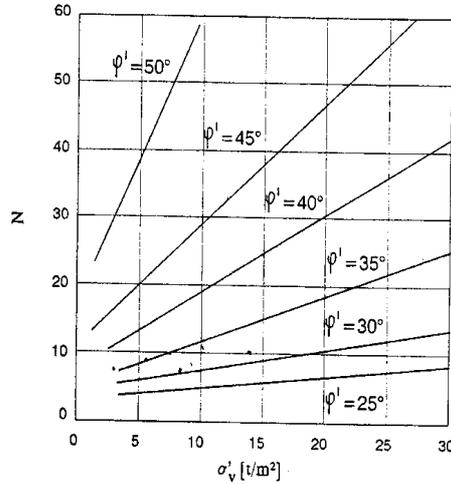
$$\varphi(^{\circ}) = 0.14D_r(\%) + 28 \rightarrow \text{per sabbia fine uniforme}$$

$$\varphi(^{\circ}) = 0.115D_r(\%) + 31.5 \rightarrow \text{per sabbia media uniforme}$$

$$\varphi(^{\circ}) = 0.10D_r(\%) + 34.5 \rightarrow \text{per sabbia grossa uniforme}$$

$$\varphi(^{\circ}) = 0.08D_r(\%) + 38 \rightarrow \text{per ghiaia}$$

#### De Mello (1971):



### Bolton (1986)

A partire dagli angoli di attrito ottenuti dalla relazione precedente è possibile ricavare, attraverso la relazione di Bolton (1986) per un terreno incoerente il parametro di resistenza  $\phi'$  in condizioni di particolare addensamento e stato tensionale:

$$\phi' - \phi'_{cv} = m(Dr(10 - \ln p') - 1)$$

Dove  $\phi'$  è l'angolo di attrito interno alla pressione media  $p'$  e stato di addensamento  $Dr$ , mentre  $\phi'_{cv}$  rappresenta l'angolo di attrito a volume costante proprio della stessa sabbia sciolta e, perciò, dipendente esclusivamente dalle caratteristiche mineralogiche e strutturali della sabbia in esame. Il parametro  $m$  si assume pari a 3 in condizioni di deformazione piana e pari a 5 in condizioni di assialsimmetria.

Tali valori, classificabili come  $\phi$  di picco, non sono direttamente fruibili perchè valori spesso troppo ottimistici

Nelle suddette condizioni, secondo TERZAGHI è preferibile far riferimento ad un valore ridotto di  $\phi$ , ricavabile mediante la relazione:

$$\tan \phi' = 0,67 \tan \phi'_p$$

Si ritiene molto adatta al contesto locale e sufficientemente cautelativa la relazione proposta da DE MELLO perchè corretta in funzione della tensione verticale efficace agente alla quota di realizzazione della prova. Generalmente per valori d'angolo d'attrito  $> 38^\circ$  la stima è superiore al valore reale. Le correlazioni di De Mello e

la correzione di Terzaghi approssimano meglio  $\phi$ , mentre quella di Schmertmann è più indicata per valutare il l'angolo di resistenza al taglio di picco ed essendo una valutazione indiretta potrebbe contenere un margine d'errore maggiore, tuttavia è stata considerata poiché è completa in quanto esprime la dipendenza di  $\phi$  dalle caratteristiche del materiale, dalla densità relativa e indirettamente anche dal numero di colpi.

## Modulo E'

### Jamiolkowski (1988)

Il modulo di Young efficace secante  $E'_{25}$ , corrispondente ad un grado di mobilitazione della resistenza pari al 25%, è posto in relazione al numero dei colpi NSPT misurati nel corso della prova penetrometrica dinamica ed alla densità relativa attraverso la seguente espressione:

$$\text{per terreni NC } E'_{25} = (10.5 - 3.5 \cdot D_R) \cdot N_{SPT}$$

$$\text{per terreni OC } E'_{25} = (52.5 - 35 \cdot D_R) \cdot N_{SPT}$$

### D'Apollonia

$$E' = s_1 \cdot N_{SPT} + s_2$$

E' D'Apollonia		
	s <sub>1</sub>	s <sub>2</sub>
1	0.756	18.750
		Sabbie e ghiaie NC
2	1.043	36.790
		Sabbie SC
3	0.478	7.170
		Sabbia satura
4	0.316	1.580
		Sabbia argillosa
5	1.16	0.029
		Terreni coesivi

	LOTTO FUNZIONALE TRATTA BRESCIA – VERONA					
	NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO OVEST					
RELAZIONE GEOTECNICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IN09	10	R26RH	GE 00 00 001	B	19 di 42

## Douglas

$$E' = 7\sqrt{N_{SPT}}$$

## Modulo $G_0$

Un criterio generale per correlare le SPT con le Vs è il seguente:

- tutte le misure devono essere eseguite al di sotto del livello piezometrico dove può essere fatta una stima ragionevole dello sforzo verticale effettivo;
- tutte le misure dovrebbero essere eseguite tramite CPT poiché si ottiene una descrizione dettagliata del profilo del suolo ma se questo non è possibile, la quantità di prove SPT deve essere tale da fornire un trend di dati consistente (Andrus e Juang, 2002). Per la valutazione del modulo di taglio dinamico  $G_0$  si potrebbe utilizzare il metodo proposto da Ohta e Goto (1978) che ricava dapprima la velocità delle onde di taglio  $V_s = f(N_{spt})$

$$V_s = 54.33 N_{SPT}^{0.173} \cdot \alpha \beta \left( \frac{z}{0.303} \right)^{0.193}$$

$$G_0 = V_s^2 \cdot \frac{\gamma}{g}$$

Yoshida e Kokusho 1988

$$V_s = \beta \cdot N_{SPT}^{0.25} \cdot \sigma_{vo}'^{0.14}$$

OHTA & GOTO (1978):					
		fa			fg
1	Olocene (attuale)	1	1	ghiaia	1.45
2	Pleistocene (circa 1.8 Mpa)	1.303	2	sabbie ghiaiose	1.15
			3	sabbie grosse	1.14
			4	sabbie medie	1.09
			5	sabbie fini	1.07
			6	argille	1

Yoshida e Kokusho, 1988		
		$\beta$
1	sabbia fine	49
2	25% ghiaia	56
3	50% ghiaia	60
4	qualsiasi terreno	55

## 7.1 UNITA' R

Litotipo riscontrato in posizione superficiale in tutti i sondaggi da p.c a profondità massima di 6m, costituito da ghiaia sabbiosa e debolmente limosa. Si rinvencono rari pezzi di cotto e laterizi sparsi. Su tali litotipi sono state svolte delle prove in sito SPT e sono stati estratti alcuni campioni rimaneggiati sottoposti a prova.

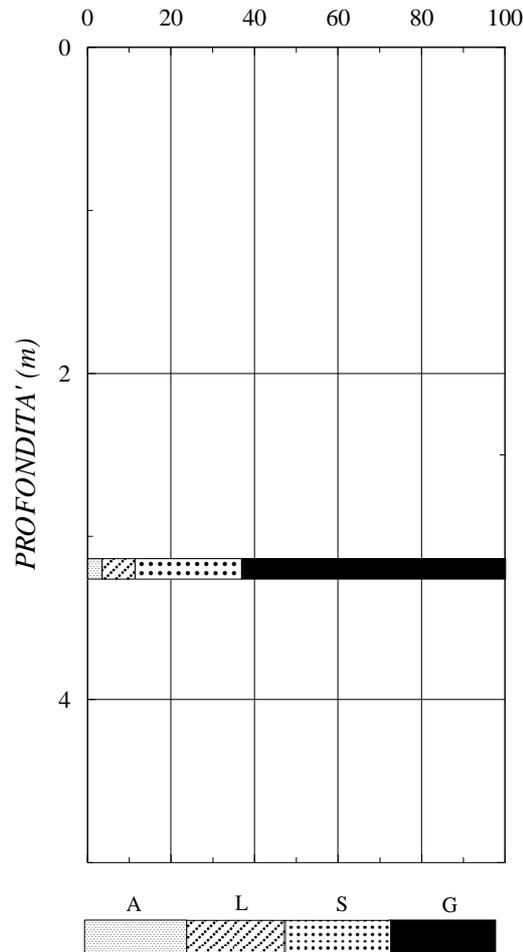
### 7.1.1 Caratteristiche fisico – granulometriche

Le caratteristiche fisico granulometriche sono state dedotte attraverso i campioni rimaneggiati prelevati durante i sondaggi.

unità 1	SONDAGGIO	CAMPIONE	PROFONDITA' MEDIA	GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
			m da p.c.	[%]	[%]	[%]	[%]
	DHL281R01 (S1)	c1	3.2	65.3	23.4	7.9	3.4
	DHL281R01 (S2)	c1	3.2	58.2	27.1	11.2	3.5
	DHL281R01 (S3)	c1	3.2	63.2	25.5	7.9	3.4
	DHL281R01 (S4)	c1	3.2	78.1	16.2	4.6	1.1
	DHL281R01 (S5)	c1	3.3	58.8	20.4	6.4	2
			valori medi	61.8	25.3	9.6	3.5

**Tabella 4 Granulometrie unità R**

**GRANULOMETRIA**  
(%)



**Figura 5 Granulometrie unità R**

Secondo la classificazione AGI 1977 si tratta di: GHIAIA CON SABBIA DEBOLMENTE LIMOSA

**7.1.2 Caratteristiche meccaniche di resistenza**

Le caratteristiche meccaniche di resistenza, in particolare la densità relativa e l'angolo d'attrito  $\varphi'$  sono stati determinati attraverso l'elaborazione dei risultati delle prove SPT, di seguito in tabella

SONDAGGIO	PROFONDITA' MEDIA m da p.c.	N2	N3	NSPT	falda m da p.c.	$\sigma_v$ [kPa]	u [kPa]	$\sigma_v'$ [kPa]
S1	3	13	20	33	22	60	0	60
S2	3	6	6	12	26	60	0	60
S3	3	19	39	58	28	60	0	60
S4	3	9	9	18	28	60	0	60
S5	3	11	12	23	30	60	0	60

Tabella 5 Valori Nspt unità R

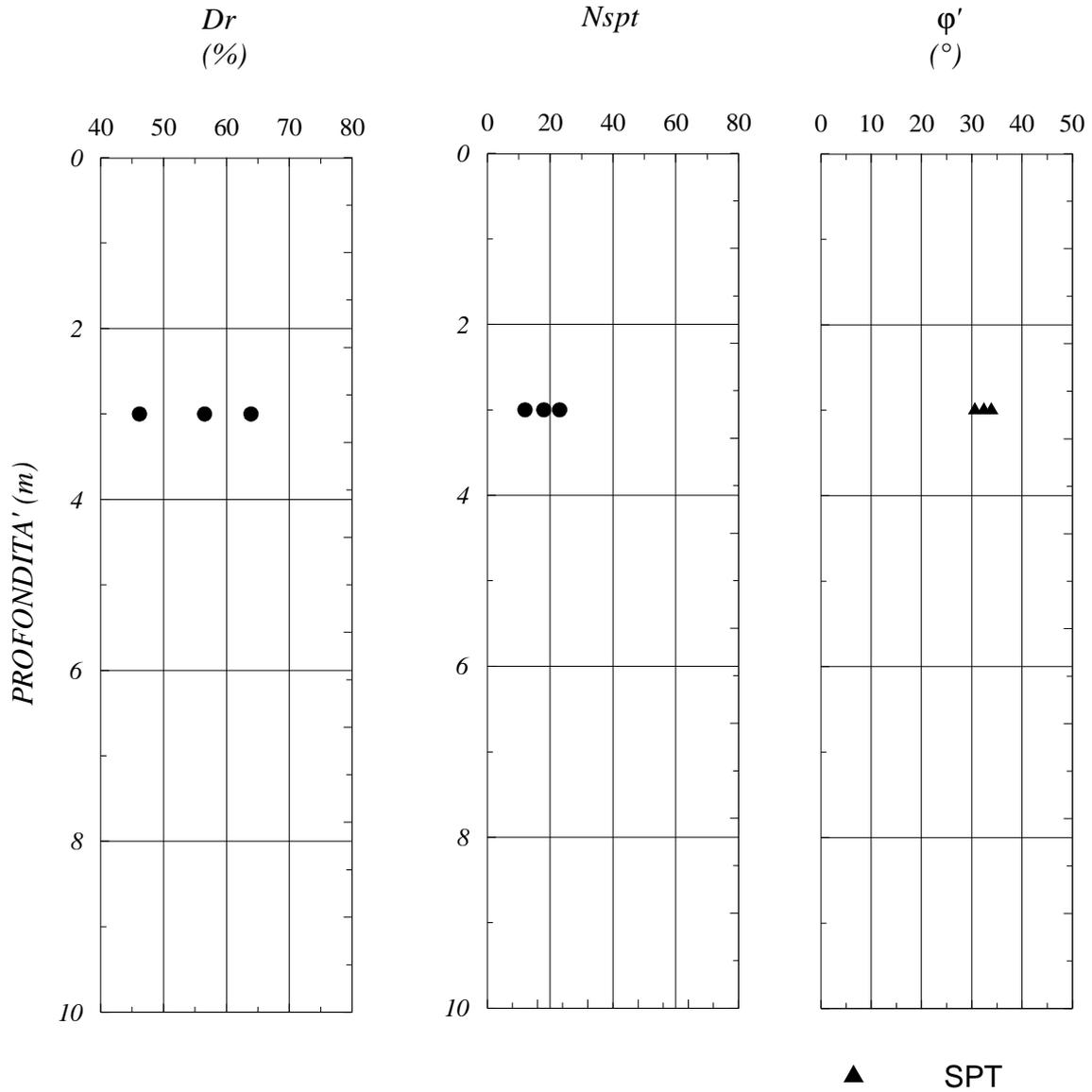
								media	55.5
Dr Skempton			Dr Meyerhoff		Dr Bazaraa	Dr scelta			
$C_N$	$N'_{60}$	Terzaghi- Peck	Meyerhoff		Bazaraa				
-	$D_r$ (%)		$D_r$ (%)		$D_r$ (%)	$D_r$ (%)			
	A		B		C	INDICE	A		
2.00	1.15	13.8	65.0	46.15	63.80	41.64	3	46.15	
2.00	1.15	20.8	65.0	56.53	78.14	51.00	4	56.53	
2.00	1.15	26.5	65.0	63.90	88.33	57.65	5	63.90	

Tabella 6 Densità relativa unità R

							media	29.0
$\phi'$ Schmertmann			$\phi'$ De Mello		$\phi'_{cv}$ Bolton	$\phi'$ scelto		
Schmertmann			De Mello		6			
a	b	$\phi_p'$ [°]	$\phi_p'$ [°]		$\phi_{cv}'$ [°]	$\phi'$ [°]		
-	-	A	C			INDICE	C	
3	34.50	0.10	39.12		28.19	33.12	3	28.19
3	34.50	0.10	40.15		29.73	34.15	4	29.73
3	34.50	0.10	40.89		30.66	34.89	5	30.66

Tabella 7 Angolo d'attrito unità R

**UNITÀ R**



**Figura 6 Caratteristiche meccaniche di resistenza unità R**

	LOTTO FUNZIONALE TRATTA BRESCIA – VERONA					
	NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO OVEST					
RELAZIONE GEOTECNICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IN09	10	R26RH	GE 00 00 001	B	24 di 42

### 7.1.3 Caratteristiche meccaniche di deformabilità

Le caratteristiche meccaniche di deformabilità, in particolare il modulo  $E'$  è stato determinato attraverso l'elaborazione dei risultati delle prove SPT, di seguito in tabella

											media	30.1
E' Jamiolkowski					E' D'Apollonia				E' Douglas	E' scelto		
				Jamiolkowski	D'Apollonia				Douglas			
$D_r$ (%)	1: terre N.C. 2: terre O.C.	$s_1$	$s_2$	$E'_{25}$ [MPa]		$s_1$	$s_2$	$E'$ [MPa]	$E'$ [MPa]		$E'$ [MPa]	
<b>A</b>		-	-			-	-	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>INDICE</b>	<b>A</b>	
46.15	<b>1</b>	10.50	3.50	10.66	<b>1</b>	0.76	18.75	27.82	24.25	3	27.8	
56.53	<b>1</b>	10.50	3.50	15.34	<b>1</b>	0.76	18.75	32.36	29.70	4	32.4	
63.90	<b>1</b>	10.50	3.50	19.01	<b>1</b>	0.76	18.75	36.14	33.57	5	36.1	

Tabella 8 Modulo E unità R

					media	208.1				media	134.7
E <sub>0</sub> ' Otha&Goto					Yoshida e Kokusho, 1988						
età	granulometria										
<b>1</b>	<b>1</b>	$V_s$ [m/s]	$G_0$ [MPa]	$E_0'$ [MPa]	$V_s$ [m/s]	$G_0$ [MPa]	$E_0'$ [MPa]				
					<b>3</b>						
1		191.1	74.4	193.6	154.5	48.7	126.6				
1		205.0	85.7	222.7	164.2	55.0	142.9				
1		213.9	93.2	242.4	170.4	59.2	153.8				

Tabella 9 Modulo E<sub>0</sub> unità R

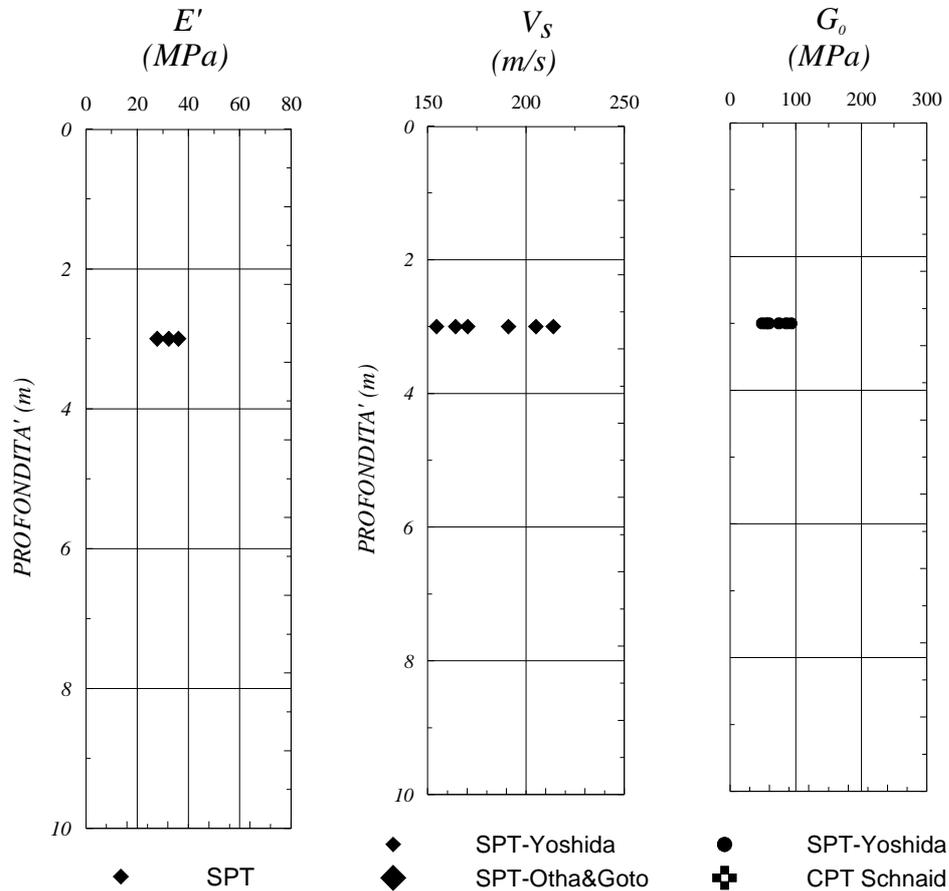


Figura 7 Caratteristiche meccaniche di deformabilità unità R

## 7.2 UNITA' 1

Litotipo riscontrato in a una profondità variabile tra i 3 e 5 metri dal p.c. e fino a 30m, costituito da ghiaia da fine a grossa, sabbiosa e debolmente limosa. Su tali litotipi sono state svolte delle prove in sito SPT e sono strati estratti alcuni campioni rimaneggiati sottoposti a prova

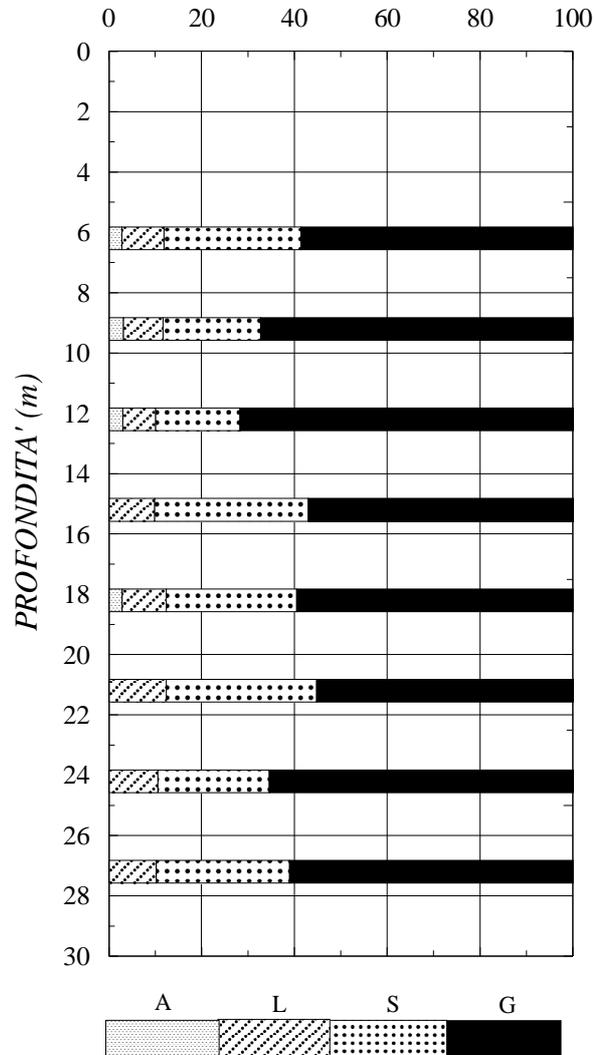
### 7.2.1 Caratteristiche fisico granulometriche

Le caratteristiche fisico granulometriche sono state dedotte attraverso i campioni rimaneggiati prelevati durante i sondaggi.

unità 2	SONDAGGIO	CAMPIONE	PROFONDITA' MEDIA	GHIAIA	SABBIA	LIMO	ARGILLA
			m da p.c.	[%]	[%]	[%]	[%]
	DHL281R01 (S1)	c2	6.2	58.6	29.6	9.1	2.7
	DHL281R01 (S1)	c3	9.2	62.7	25.5	8.3	3.5
	DHL281R01 (S1)	c4	12.2	59.5	29.3	7.9	3.3
	DHL281R01 (S1)	c5	15.2	55.8	32.9	11.3	
	DHL281R01 (S1)	c6	18.2	58.8	33.8	7.4	
	DHL281R01 (S1)	c7	21.2	78	19.2	2.8	
	DHL281R01 (S1)	c8	24.2	68.6	27.7	3.7	
	DHL281R01 (S1)	c9	27.2	76.6	19.7	3.7	
	DHL281R01 (S2)	c2	6.2	62.2	26.8	8.8	2.2
	DHL281R01 (S2)	c3	9.2	67.4	21	8.5	3.1
	DHL281R01 (S2)	c4	12.2	66.7	21.5	9.3	2.5
	DHL281R01 (S2)	c5	15.2	63.8	29.3	6.9	
	DHL281R01 (S2)	c6	18.2	60.5	27.1	12.4	
	DHL281R01 (S2)	c7	21.2	62.6	27.1	10.3	
	DHL281R01 (S2)	c8	24.2	55.1	32	12.9	
	DHL281R01 (S2)	c9	27.2	68.1	24.8	7.1	
	DHL281R01 (S3)	c2	6.2	63	26.8	7.5	2.7
	DHL281R01 (S3)	c3	9.2	66.7	23.8	6.9	2.6
	DHL281R01 (S3)	c4	12.2	71.8	18.2	7.1	2.9
	DHL281R01 (S3)	c5	15.2	56.8	28.3	12.3	2.6
	DHL281R01 (S3)	c6	18.2	76.5	17.3	4.5	1.7
	DHL281R01 (S3)	c7	21.2	75.1	19.4	5.5	
	DHL281R01 (S3)	c8	24.2	82.4	14.8	2.8	
	DHL281R01 (S3)	c9	27.2	71.8	24.4	3.8	
	DHL281R01 (S4)	c2	6.2	64.3	24.3	8.8	2.6
	DHL281R01 (S4)	c3	9.2	61.1	26.3	8.8	3.8
	DHL281R01 (S4)	c4	12.2	59.6	29.8	10.6	
	DHL281R01 (S4)	c5	15.2	57.1	33.1	9.8	
	DHL281R01 (S4)	c6	18.2	59.3	31.4	9.3	
	DHL281R01 (S4)	c7	21.2	60.4	28	11.6	
	DHL281R01 (S4)	c8	24.2	61.7	28.2	10.1	
	DHL281R01 (S4)	c9	27.2	32.7	28	9.3	
	DHL281R01 (S5)	c2	6.3	54.4	32.9	9.9	2.8
	DHL281R01 (S5)	c3	9.3	69.2	18.4	8.9	3.5
	DHL281R01 (S5)	c4	12.3	52.6	33	11.5	2.9
	DHL281R01 (S5)	c5	15.3	60.6	28.8	8.4	2.2
	DHL281R01 (S5)	c6	18.3	59.6	28.1	9.5	2.8
	DHL281R01 (S5)	c7	21.3	55.3	32.4	12.3	
	DHL281R01 (S5)	c8	24.3	65.5	24	10.5	
	DHL281R01 (S5)	c9	27.3	61.1	28.8	10.1	
			valori medi	64.4	26.5	7.9	2.9

Tabella 10 Granulometrie unità 1

**GRANULOMETRIA**  
(%)



**Figura 8 Granulometrie unità 1**

Secondo la classificazione AGI 1977 si tratta di: GHIAIA CON SABBIA DEBOLMENTE LIMOSA

**7.2.2 Caratteristiche meccaniche di resistenza**

Le caratteristiche meccaniche di resistenza, in particolare la densità relativa e l'angolo d'attrito  $\varphi'$  sono stati determinati attraverso l'elaborazione dei risultati delle prove SPT, di seguito in tabella

SONDAGGIO	PROFONDITA' MEDIA m da p.c.	N2	N3	NSPT	falda m da p.c.	$\sigma_v$ [kPa]	u [kPa]	$\sigma_v'$ [kPa]
S1	6	25	21	46	22	120	0	120
S2	6	29	39	68	26	120	0	120
S4	6	26	13	39	28	120	0	120
S5	6	21	27	48	30	120	0	120
S1	9	34	40	74	22	180	0	180
S2	9	30	36	66	26	180	0	180
S3	9	32	28	60	28	180	0	180
S4	9	19	30	49	28	180	0	180
S5	9	30	50	80	30	180	0	180
S1	12	30	34	64	22	240	0	240
S2	12	33	40	73	26	240	0	240
S3	12	22	23	45	28	240	0	240
S4	12	21	27	48	28	240	0	240
S5	12	31	36	67	30	240	0	240
S1	15	27	38	65	22	300	0	300
S2	15	30	50	80	26	300	0	300
S3	15	28	20	48	28	300	0	300
S4	15	31	40	71	28	300	0	300
S5	15	19	38	57	30	300	0	300
S1	18	14	19	33	22	360	0	360
S2	18	32	50	82	26	360	0	360
S3	18	30	50	80	28	360	0	360
S4	18	13	11	24	28	360	0	360
S5	18	43	50	93	30	360	0	360
S1	21	18	17	35	22	420	0	420
S2	21	28	33	61	26	420	0	420
S3	21	18	18	36	28	420	0	420
S4	21	36	40	76	28	420	0	420
S5	21	23	20	43	30	420	0	420
S1	24	21	20	41	22	480	20	460
S2	24	19	22	41	26	480	0	480
S4	24	41	50	91	28	480	0	480
S1	27	14	18	32	22	540	50	490
S2	27	29	24	53	26	540	10	530
S3	27	25	31	56	28	540	0	540
S4	27	21	27	48	28	540	0	540
S5	27	30	39	69	30	540	0	540
S3	29	19	24	43	28	580	10	570
S5	29.5	30	35	65	30	590	0	590

Tabella 11 Valori Nspt unità 1

								media	71.3
Dr Skempton				Dr Meyerhoff	Dr Bazaraa	Dr scelta			
C <sub>N</sub>	N'60	Terzaghi-Peck		Meyerhoff	Bazaraa				
-		D <sub>r</sub> (%)		D <sub>r</sub> (%)	D <sub>r</sub> (%)		D <sub>r</sub> (%)		
		A	B	C	INDICE	A			
2.00	0.94	63.8	65.0	99.03	125.63	87.23	7	99.03	
2.00	0.94	36.6	65.0	75.00	95.14	66.06	8	75.00	
2.00	0.94	45.0	65.0	83.21	105.55	73.28	10	83.21	
2.00	0.79	58.4	65.0	94.80	114.25	85.32	11	94.80	
2.00	0.79	52.1	65.0	89.53	107.90	80.57	12	89.53	
2.00	0.79	47.4	65.0	85.37	102.88	76.82	13	85.37	
2.00	0.79	38.7	65.0	77.15	92.97	69.42	14	77.15	
2.00	0.79	63.2	65.0	98.57	118.79	88.71	15	98.57	
2.00	0.68	43.6	65.0	81.93	95.42	74.94	16	81.93	
2.00	0.68	49.8	65.0	87.51	101.91	80.04	17	87.51	
2.00	0.68	30.7	65.0	68.70	80.01	62.84	18	68.70	
2.00	0.68	32.7	65.0	70.96	82.63	64.90	19	70.96	
2.00	0.68	45.7	65.0	83.83	97.63	76.68	20	83.83	
2.00	0.60	39.0	65.0	77.46	88.02	71.76	21	77.46	
2.00	0.60	48.0	65.0	85.93	97.65	79.61	22	85.93	
2.00	0.60	28.8	65.0	66.56	75.64	61.66	23	66.56	
2.00	0.60	42.6	65.0	80.96	91.99	74.99	24	80.96	
2.00	0.60	34.2	65.0	72.54	82.42	67.20	25	72.54	
2.00	0.54	17.7	65.0	52.15	58.18	48.81	26	52.15	
2.00	0.54	43.9	65.0	82.21	91.70	76.94	27	82.21	
2.00	0.54	42.9	65.0	81.20	90.58	75.99	28	81.20	
2.00	0.54	12.9	65.0	44.47	49.61	41.62	29	44.47	
2.00	0.54	49.8	65.0	87.55	97.66	81.94	30	87.55	
2.00	0.48	16.9	65.0	51.04	56.12	48.17	31	51.04	
2.00	0.48	29.5	65.0	67.39	74.09	63.60	32	67.39	
2.00	0.48	17.4	65.0	51.77	56.92	48.86	33	51.77	
2.00	0.48	36.8	65.0	75.22	82.70	70.99	34	75.22	
2.00	0.48	20.8	65.0	56.58	62.21	53.40	35	56.58	
2.00	0.45	18.6	65.0	53.55	58.41	50.78	36	53.55	
2.00	0.44	18.1	65.0	52.75	57.34	50.14	37	52.75	
2.00	0.44	40.1	65.0	78.59	85.42	74.69	38	78.59	
2.00	0.43	13.9	65.0	46.27	50.20	44.02	39	46.27	
2.00	0.41	21.8	65.0	57.89	62.41	55.29	40	57.89	
2.00	0.41	22.7	65.0	59.10	63.63	56.51	41	59.10	
2.00	0.41	19.5	65.0	54.72	58.91	52.31	42	54.72	
2.00	0.41	28.0	65.0	65.60	70.63	62.72	43	65.60	
2.00	0.39	16.8	65.0	50.77	54.43	48.67	44	50.77	
2.00	0.38	24.7	65.0	61.62	65.90	59.17	45	61.62	

Tabella 12 Densità relativa unità 1

							media	32.9
$\phi'$ Schmertmann			$\phi'$ De Mello	$\phi'$ cv Bolton	$\phi'$ scelto			
Schmertmann			De Mello	6				
a	b	$\phi_p'$ [°]	$\phi_p'$ [°]	$\phi_{cv}'$ [°]		$\phi'$ [°]		
-	-	A	C		INDICE	C		
4	38.00	0.08	45.92	34.5	39.92	7	34.54	
4	38.00	0.08	44.00	32.4	38.00	8	32.43	
4	38.00	0.08	44.66	33.2	38.66	10	33.22	
4	38.00	0.08	45.58	34.6	39.58	11	34.63	
4	38.00	0.08	45.16	34.2	39.16	12	34.20	
4	38.00	0.08	44.83	33.8	38.83	13	33.84	
4	38.00	0.08	44.17	33.1	38.17	14	33.07	
4	38.00	0.08	45.89	34.9	39.89	15	34.93	
4	38.00	0.08	44.55	33.9	38.55	16	33.86	
4	38.00	0.08	45.00	34.4	39.00	17	34.35	
4	38.00	0.08	43.50	32.5	37.50	18	32.52	
4	38.00	0.08	43.68	32.8	37.68	19	32.77	
4	38.00	0.08	44.71	34.0	38.71	20	34.03	
4	38.00	0.08	44.20	33.7	38.20	21	33.69	
4	38.00	0.08	44.87	34.5	38.87	22	34.47	
4	38.00	0.08	43.33	32.5	37.33	23	32.54	
4	38.00	0.08	44.48	34.0	38.48	24	34.02	
4	38.00	0.08	43.80	33.2	37.80	25	33.19	
4	38.00	0.08	42.17	30.9	36.17	26	30.89	
4	38.00	0.08	44.58	34.3	38.58	27	34.34	
4	38.00	0.08	44.50	34.2	38.50	28	34.25	
4	38.00	0.08	41.56	29.7	35.56	29	29.68	
4	38.00	0.08	45.00	34.8	39.00	30	34.82	
4	38.00	0.08	42.08	30.9	36.08	31	30.88	
4	38.00	0.08	43.39	33.0	37.39	32	32.99	
4	38.00	0.08	42.14	31.0	36.14	33	30.99	
4	38.00	0.08	44.02	33.8	38.02	34	33.82	
4	38.00	0.08	42.53	31.7	36.53	35	31.66	
4	38.00	0.08	42.28	31.3	36.28	36	31.33	
4	38.00	0.08	42.22	31.3	36.22	37	31.26	
4	38.00	0.08	44.29	34.3	38.29	38	34.28	
4	38.00	0.08	41.70	30.3	35.70	39	30.28	
4	38.00	0.08	42.63	32.0	36.63	40	32.04	
4	38.00	0.08	42.73	32.2	36.73	41	32.21	
4	38.00	0.08	42.38	31.6	36.38	42	31.63	
4	38.00	0.08	43.25	33.0	37.25	43	33.00	
4	38.00	0.08	42.06	31.1	36.06	44	31.09	
4	38.00	0.08	42.93	32.6	36.93	45	32.58	

Tabella 13 Angolo d'attrito unità 1

## UNITÀ 1

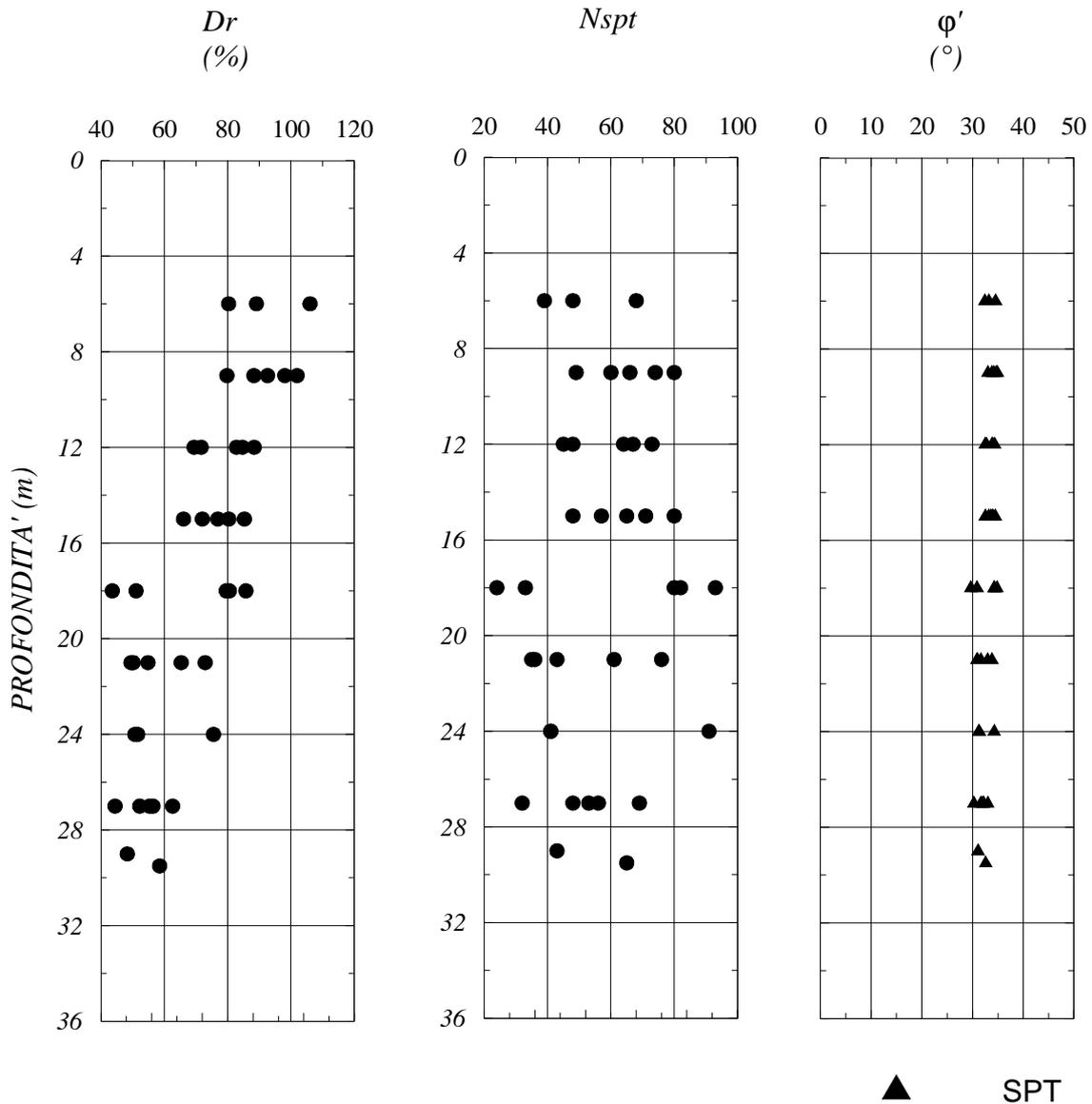


Figura 9 Caratteristiche meccaniche di resistenza unità 1

### 7.2.3 Caratteristiche meccaniche di deformabilità

Le caratteristiche meccaniche di deformabilità, in particolare il modulo  $E'$  è stato determinato attraverso l'elaborazione dei risultati delle prove SPT, di seguito in tabella

										media	62.6
E' Jamiolkowski					E' D'Apollonia				E' Douglas	E' scelto	
				Jamiolkowski	D'Apollonia				Douglas		
D <sub>r</sub> (%)	1: terre N.C. 2: terre O.C.	s <sub>1</sub>	s <sub>2</sub>	E' 25 [MPa]		s <sub>1</sub>	s <sub>2</sub>	E' [MPa]	E' [MPa]		E' [MPa]
99.03	1	10.50	3.50	47.83	1	0.76	18.75	70.16	57.72	7	70.2
75.00	1	10.50	3.50	30.71	1	0.76	18.75	48.23	43.71	8	48.2
83.21	1	10.50	3.50	36.42	1	0.76	18.75	55.04	48.50	10	55.0
94.80	1	10.50	3.50	53.15	1	0.76	18.75	74.69	60.22	11	74.7
89.53	1	10.50	3.50	48.62	1	0.76	18.75	68.65	56.87	12	68.6
85.37	1	10.50	3.50	45.07	1	0.76	18.75	64.11	54.22	13	64.1
77.15	1	10.50	3.50	38.22	1	0.76	18.75	55.79	49.00	14	55.8
98.57	1	10.50	3.50	56.40	1	0.76	18.75	79.23	62.61	15	79.2
81.93	1	10.50	3.50	48.85	1	0.76	18.75	67.13	56.00	16	67.1
87.51	1	10.50	3.50	54.29	1	0.76	18.75	73.94	59.81	17	73.9
68.70	1	10.50	3.50	36.43	1	0.76	18.75	52.77	46.96	18	52.8
70.96	1	10.50	3.50	38.48	1	0.76	18.75	55.04	48.50	19	55.0
83.83	1	10.50	3.50	50.69	1	0.76	18.75	69.40	57.30	20	69.4
77.46	1	10.50	3.50	50.63	1	0.76	18.75	67.89	56.44	21	67.9
85.93	1	10.50	3.50	59.94	1	0.76	18.75	79.23	62.61	22	79.2
66.56	1	10.50	3.50	39.22	1	0.76	18.75	55.04	48.50	23	55.0
80.96	1	10.50	3.50	54.43	1	0.76	18.75	72.43	58.98	24	72.4
72.54	1	10.50	3.50	45.38	1	0.76	18.75	61.84	52.85	25	61.8
52.15	1	10.50	3.50	28.63	1	0.76	18.75	43.70	40.21	26	43.7
82.21	1	10.50	3.50	62.51	1	0.76	18.75	80.74	63.39	27	80.7
81.20	1	10.50	3.50	61.26	1	0.76	18.75	79.23	62.61	28	79.2
44.47	1	10.50	3.50	21.46	1	0.76	18.75	36.89	34.29	29	36.9
87.55	1	10.50	3.50	69.15	1	0.76	18.75	89.06	67.51	30	89.1
51.04	1	10.50	3.50	30.50	1	0.76	18.75	45.21	41.41	31	45.2
67.39	1	10.50	3.50	49.66	1	0.76	18.75	64.87	54.67	32	64.9
51.77	1	10.50	3.50	31.28	1	0.76	18.75	45.97	42.00	33	46.0
75.22	1	10.50	3.50	59.79	1	0.76	18.75	76.21	61.02	34	76.2
56.58	1	10.50	3.50	36.64	1	0.76	18.75	51.26	45.90	35	51.3
53.55	1	10.50	3.50	35.37	1	0.76	18.75	49.75	44.82	36	49.7
52.75	1	10.50	3.50	35.48	1	0.76	18.75	49.75	44.82	37	49.7
78.59	1	10.50	3.50	70.52	1	0.76	18.75	87.55	66.78	38	87.5
46.27	1	10.50	3.50	28.42	1	0.76	18.75	42.94	39.60	39	42.9
57.89	1	10.50	3.50	44.91	1	0.76	18.75	58.82	50.96	40	58.8
59.10	1	10.50	3.50	47.22	1	0.76	18.75	61.09	52.38	41	61.1
54.72	1	10.50	3.50	41.21	1	0.76	18.75	55.04	48.50	42	55.0
65.60	1	10.50	3.50	56.61	1	0.76	18.75	70.91	58.15	43	70.9
50.77	1	10.50	3.50	37.51	1	0.76	18.75	51.26	45.90	44	51.3
61.62	1	10.50	3.50	54.23	1	0.76	18.75	67.89	56.44	45	67.9

Tabella 14 Modulo E' unità 1

		media 303.2			media 321.4		
E <sub>0</sub> ' Otha&Goto					Yoshida e Kokusho, 1988		
età	granulometria						
1	2	V <sub>s</sub> [m/s]	G <sub>0</sub> ' [MPa]	E <sub>0</sub> ' [MPa]	V <sub>s</sub> [m/s]	G <sub>0</sub> ' [MPa]	E <sub>0</sub> ' [MPa]
1		234.9	112.5	292.4	220.9	99.4	258.6
1		213.3	92.8	241.2	203.2	84.2	218.8
1		221.1	99.7	259.2	209.6	89.6	232.9
1		258.3	136.1	353.8	236.7	114.3	297.1
1		253.3	130.8	340.1	232.7	110.4	287.1
1		249.1	126.5	329.0	229.4	107.3	279.0
1		240.6	118.0	306.8	222.5	101.0	262.5
1		261.9	139.8	363.5	239.5	117.0	304.1
1		266.8	145.1	377.3	241.2	118.6	308.3
1		272.9	151.9	394.8	246.0	123.3	320.7
1		251.0	128.5	334.0	228.8	106.7	277.4
1		253.8	131.4	341.5	231.0	108.8	282.8
1		268.9	147.4	383.3	242.8	120.2	312.5
1		279.6	159.4	414.5	249.4	126.8	329.7
1		289.9	171.3	445.4	257.3	135.0	350.9
1		265.4	143.6	373.2	238.3	115.8	301.0
1		283.9	164.4	427.4	252.7	130.2	338.5
1		273.4	152.3	396.1	244.5	121.9	317.0
1		257.9	135.6	352.5	231.1	108.9	283.1
1		301.9	185.8	483.0	264.9	143.1	372.0
1		300.6	184.2	478.9	263.9	142.0	369.3
1		244.1	121.4	315.8	220.3	99.0	257.3
1		308.5	194.1	504.5	270.0	148.6	386.3
1		268.6	147.1	382.5	238.2	115.7	300.9
1		295.7	178.3	463.6	258.9	136.7	355.4
1		270.0	148.6	386.3	239.2	116.7	303.4
1		307.2	192.4	500.3	267.6	146.0	379.7
1		278.4	158.0	410.8	245.7	123.1	320.0
1		283.5	163.9	426.1	247.1	124.5	323.6
1		283.5	163.9	426.1	248.6	126.0	327.5
1		325.5	216.0	561.5	280.1	160.0	416.0
1		278.1	157.6	409.9	240.2	117.6	305.8
1		303.4	187.7	488.1	261.9	139.9	363.7
1		306.3	191.3	497.5	264.8	143.0	371.7
1		298.3	181.4	471.6	258.7	136.5	354.9
1		317.6	205.7	534.7	273.2	152.2	395.7
1		296.9	179.7	467.1	256.4	134.1	348.6
1		319.9	208.7	542.6	274.2	153.2	398.4

 Tabella 15 Modulo E<sub>0</sub> unità 1

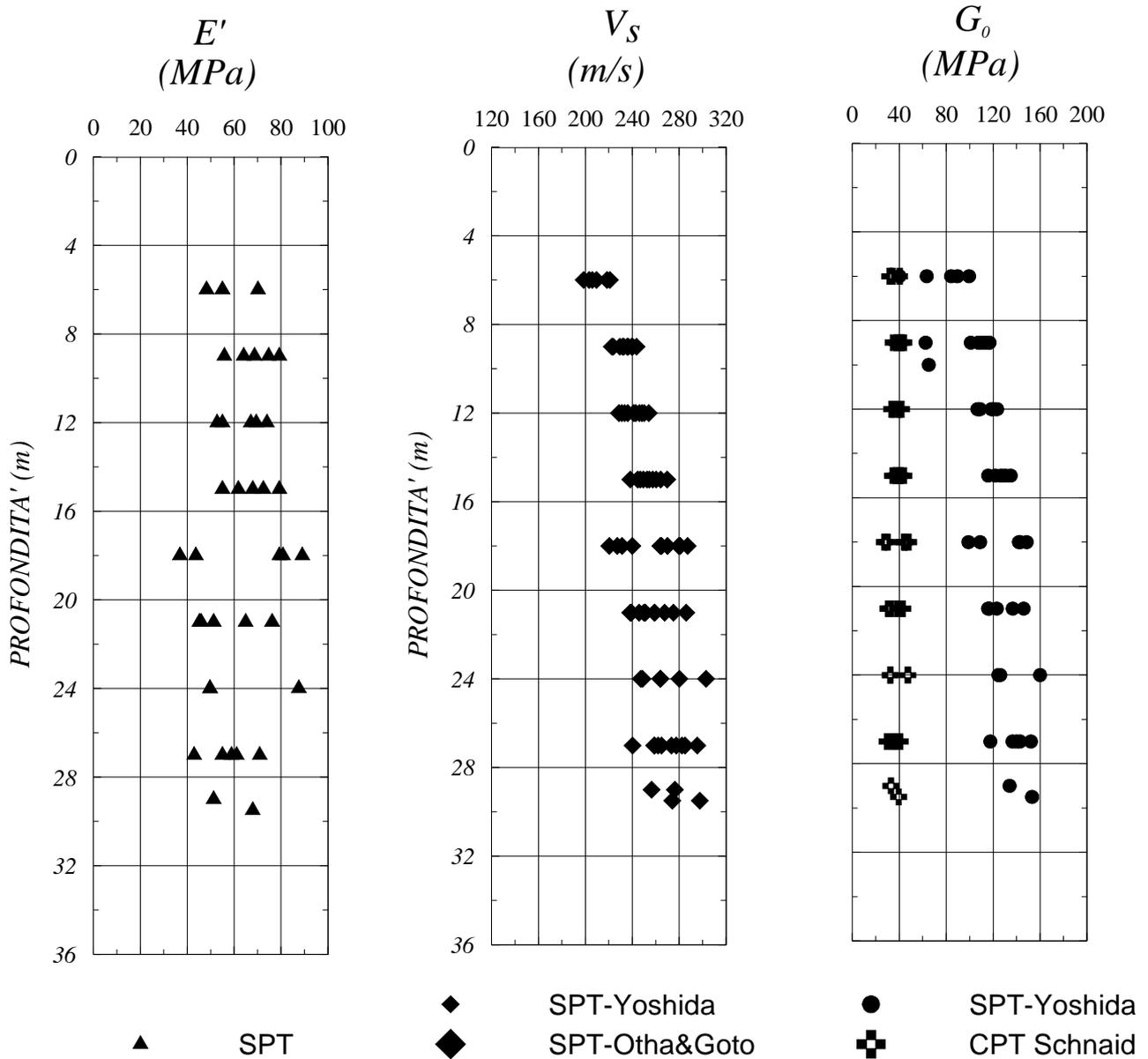


Figura 10 Caratteristiche meccaniche di deformabilità unità 1

#### 7.2.4 Caratteristiche di permeabilità

Dai risultati delle prove Lefranc

<i>Sondaggio</i>	<i>Prof. prova Lefranc da a [m]</i>	<i>Permeabilità k [m/s]</i>
DHL281R01	19.50÷20.00	$1.25 \times 10^{-5}$
PNL281R02	25.0 – 25.5	$7.62 \times 10^{-5}$
SCL281R03	9.50÷10.50	$1.55 \times 10^{-5}$

**Tabella 16 Permeabilità unità 1**

## 8 MODELLO GEOTECNICO

UNITA' R: da p.c. a 5.00m ghiaia con sabbia limosa

- Peso per unità di volume  $\gamma_{nat} = 20.00 \text{ kN/m}^3$
- Densità relativa  $D_r = 55 \%$
- Angolo di attrito  $\varphi' = 29^\circ$
- Modulo di Young operativo  $E' = 30 \text{ MPa}$

UNITA' 1: da p.c. a 30m da p.c. ghiaia con sabbia

- Peso per unità di volume  $\gamma_{nat} = 20.00 \text{ kN/m}^3$
- Densità relativa  $D_r = 70\%$
- Angolo di attrito  $\varphi' = 33^\circ$
- Modulo di Young operativo  $E' = 60 \text{ MPa}$

In accordo con le indicazioni dei rilievi piezometrici eseguiti direttamente in foro si desume che nella zona in esame non sia presente falda superficiale ma solo a circa 25.00m da p.c.

	LOTTO FUNZIONALE TRATTA BRESCIA – VERONA					
	NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO OVEST					
RELAZIONE GEOTECNICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IN09	10	R26RH	GE 00 00 001	B	36 di 42

## 9 CLASSIFICAZIONE SISMICA E STABILITA' DEL SITO.

### 9.1 RISPOSTA SISMICA

L'azione sismica sulle costruzioni è valutata a partire da una "pericolosità sismica di base", in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

I risultati dello studio di pericolosità sono forniti, in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (non distano più di 10 km) e nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale:

- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima  $a_g$ , del valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale  $F_0$ , del periodo di inizio del tratto costante dello spettro in accelerazione orizzontale  $T_c^*$ ;
- per diverse probabilità di superamento in 75 anni e/o diversi periodi di ritorno  $T_R$  ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 45 e 1462 anni, estremi inclusi.

Pertanto, per individuare, a partire dai dati di pericolosità sismica disponibili, le corrispondenti azioni sismiche occorre fissare:

- la vita di riferimento  $V_R$  della costruzione;
- le probabilità di superamento nella vita di riferimento  $P_{V_R}$  associate a ciascuno degli stati limite considerati.

Infatti, fissata la vita di riferimento  $V_R$ ,  $T_R$  è esprimibile in funzione di  $P_{V_R}$  mediante l'espressione:

$$T_R = - \frac{V_R}{\ln(1 - P_{V_R})}$$

La vita di riferimento è calcolata come:

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

dove  $V_N$  è la vita nominale dell'opera e  $C_U$  la classe d'uso.

Si è posto  $V_N=75$  anni e  $C_U=1$ .

	LOTTO FUNZIONALE TRATTA BRESCIA – VERONA					
	NODO AV/AC DI VERONA: INGRESSO OVEST					
RELAZIONE GEOTECNICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
	IN09	10	R26RH	GE 00 00 001	B	37 di 42

Nota l'accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido  $a_g$ , l'accelerazione di picco  $a_{max}$  è valutata sulla base della risposta sismica locale:

$$a_{max} = S_s \cdot S_T \cdot a_g$$

dove  $S_s$  è il coefficiente che comprende l'effetto della amplificazione stratigrafica,  $S_T$  è il coefficiente che comprende l'effetto della amplificazione topografica.

La classificazione della categoria di sottosuolo viene eseguita sulla base di misure dirette dei valori di velocità di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità  $V_{s,30}$ .

Si può ricavare il parametro  $V_{s,30}$  mediante la relazione:

$$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

In relazione alle specifiche indagini eseguite nell'area, n. 2 prove Down Hole in foro di sondaggio (per ogni dettaglio si veda il doc. IN0910R00RHGE0005001A "Relazione Tecnica, esiti campagna geofisica – Tomografia elettrica e Down-Hole"), è possibile classificare i terreni in sito come suolo di tipo "B", ovvero "Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s,30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero  $NSPT_{,30} > 50$  nei terreni a grana grossa e  $cu_{,30} > 250$  kPa nei terreni a grana fina)."

Si ritiene pertanto di poter assegnare una categoria di sottosuolo "B" e una categoria topografica "T1" (superficie sub pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ ). I seguenti diagrammi sono stati redatti in corrispondenza del comune di Verona.

Ricerca per coordinate  
 LONGITUDINE: 10.9988  
 LATITUDINE: 45.4351

Ricerca per comune  
 REGIONE: Veneto  
 PROVINCIA: Verona  
 COMUNE: Verona

**Elaborazioni grafiche**

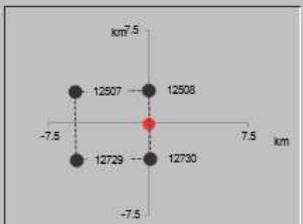
Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

**Elaborazioni numeriche**

Tabella parametri

odi del reticolo intorno al sito



Reticolo di riferimento



Controllo sul reticolo

- Sito esterno al reticolo
- Interpolazione su 3 nodi
- Interpolazione corretta

Interpolazione

superficie rigata

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_N$   info

Coefficiente d'uso della costruzione -  $c_U$   info

**Valori di progetto**

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) -  $V_R$   info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) -  $T_R$  info

Stati limite di esercizio - SLE	SLO - $P_{VR} = 81\%$	45
	SLD - $P_{VR} = 63\%$	75
Stati limite ultimi - SLU	SLV - $P_{VR} = 10\%$	712
	SLC - $P_{VR} = 5\%$	1462

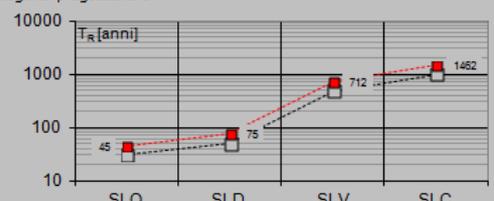
**Elaborazioni**

Grafici parametri azione

Grafici spettri di risposta

Tabella parametrizzazione

**Strategia di progettazione**



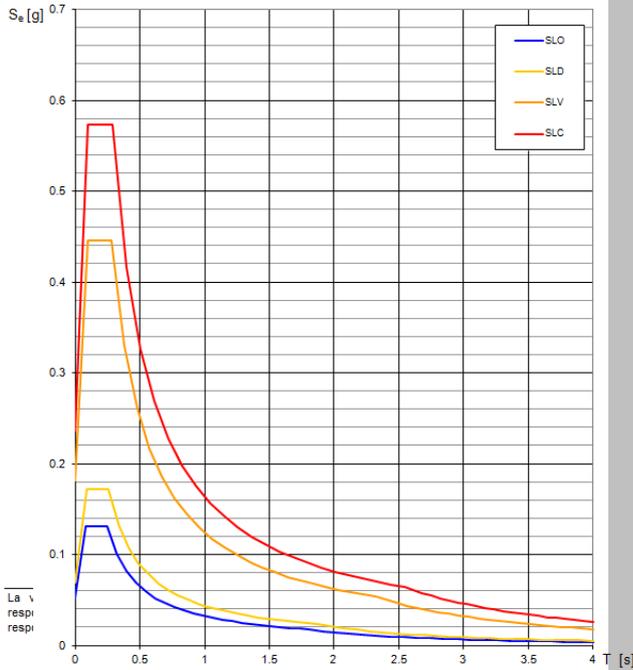
**LEGENDA GRAFICO**

---□--- Strategia per costruzioni ordinarie

.....■..... Strategia scelta

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_C$  per i periodi di ritorno  $T_R$  associati a ciascuno

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_C$ [s]
SLO	45	0.052	2.515	0.244
SLD	75	0.069	2.500	0.255
SLV	712	0.182	2.453	0.278
SLC	1462	0.236	2.431	0.284

Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato SLD

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
$a_g$	0.069 g
$F_o$	2.500
$T_C$	0.255 s
$S_a$	1.200
$C_c$	1.446
$S_c$	1.000
$q$	1.000

Parametri dipendenti

$S$	1.200
$\eta$	1.000
$T_b$	0.123 s
$T_c$	0.369 s
$T_d$	1.875 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_2 \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10(\beta + \xi)} \geq 0,55, \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6, §. 3.2.3.5})$$

$$T_b = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_c = C_c \cdot T_C \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_d = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_b \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \left[ \frac{T}{T_b} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left( 1 - \frac{T}{T_b} \right) \right]$$

$$T_b \leq T < T_c \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_c \leq T < T_d \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \left( \frac{T_c}{T} \right)$$

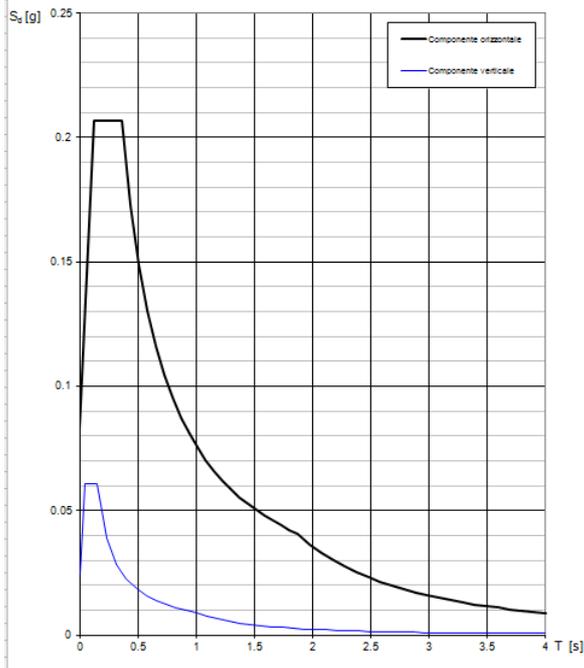
$$T_d \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \left( \frac{T_c \cdot T_b}{T} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $\eta q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 §. 3.2.3.5)

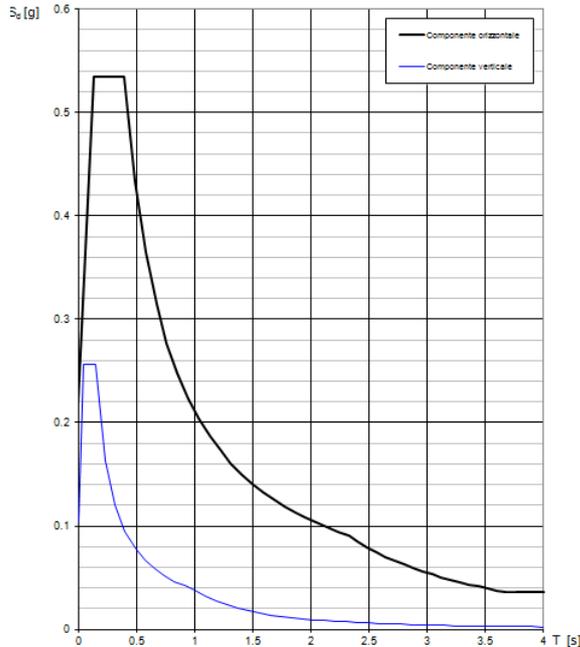
Punti dello spettro di risposta

T [s]	$S_e$ [g]
0.000	0.053
0.123	0.207
0.369	0.207
0.440	0.173
0.512	0.149
0.584	0.130
0.656	0.116
0.727	0.105
0.798	0.095
0.871	0.087
0.943	0.081
1.014	0.075
1.086	0.070
1.158	0.066
1.230	0.062
1.301	0.059
1.373	0.055
1.445	0.053
1.517	0.050
1.588	0.048
1.660	0.046
1.732	0.044
1.804	0.042
1.875	0.041
1.977	0.037
2.078	0.033
2.179	0.030
2.280	0.027
2.381	0.025
2.482	0.023
2.584	0.021
2.685	0.020
2.786	0.018
2.887	0.017
2.988	0.016
3.089	0.015
3.191	0.014
3.292	0.013
3.393	0.012
3.494	0.012
3.595	0.011
3.696	0.010
3.798	0.010
3.899	0.009
4.000	0.009

Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limi SLD



Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limi SLV



Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato SLV

Parametri indipendenti	
STATO LIMITE	SLV
$a_0$	0.182 g
$F_0$	2.453
$T_0$	0.278 s
$S_0$	1.200
$C_0$	1.421
$S_1$	1.000
$q$	1.000

Parametri dipendenti	
$S$	1.200
$\eta$	1.000
$T_0$	0.132 s
$T_1$	0.239 s
$T_2$	2.327 s

## Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_0 \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10 \cdot (\xi + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6, §. 3.2.3.5})$$

$$T_0 = T_0 / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_1 = C_0 \cdot T_0 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_2 = 4,0 \cdot a_2 / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

## Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_0 \quad S_d(T) = a_0 \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \left[ \frac{T}{T_0} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_0} \right) \right]$$

$$T_0 \leq T < T_1 \quad S_d(T) = a_0 \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_1 \leq T < T_2 \quad S_d(T) = a_0 \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \left( \frac{T_1}{T} \right)$$

$$T_2 \leq T \quad S_d(T) = a_0 \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \left( \frac{T_1 T_2}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto  $S_d(T)$  per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico  $S_e(T)$  sostituendo  $\eta$  con  $\eta/q$ , dove  $q$  è il fattore di struttura. (NTC-08 §.3.2.3.5)

## Punti dello spettro di risposta

$T$ [s]	$S_d$ [g]
0.000	0.218
0.132	0.536
0.239	0.536
0.487	0.434
0.579	0.385
0.671	0.315
0.763	0.277
0.855	0.247
0.947	0.223
1.039	0.203
1.131	0.187
1.223	0.173
1.315	0.161
1.407	0.150
1.499	0.141
1.591	0.133
1.683	0.126
1.775	0.119
1.867	0.113
1.959	0.108
2.051	0.103
2.143	0.099
2.235	0.095
2.327	0.091
2.407	0.085
2.496	0.080
2.586	0.075
2.646	0.070
2.725	0.066
2.805	0.063
2.885	0.059
2.964	0.056
3.044	0.053
3.124	0.050
3.203	0.049
3.283	0.046
3.363	0.044
3.442	0.042
3.522	0.040
3.602	0.038
3.681	0.036
3.761	0.035
3.841	0.033
3.920	0.033
4.000	0.036

## 9.2 LIQUEFAZIONE

Sono state eseguite delle valutazioni preliminari circa la suscettibilità alla liquefazione dei terreni di fondazione e i relativi interventi di mitigazione.

Le NTC08 al paragrafo 7.11.3.4.2 affermano che la verifica alla liquefazione può essere omessa quando si manifesti una delle seguenti circostanze:

1. Eventi sismici attesi di magnitudo  $M$  inferiore a 5;
2. Accelerazioni massime attese al piano campagna in condizioni di free-field minori di 0.1 g;
3. Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
4. Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  oppure  $qc_{1N} > 180$  dove  $(N1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa

e  $q_{c1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione verticale efficace di 100 kPa;

5. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate in Figura 11 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili alla liquefazione per  $U_c < 3.5$
6. nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3.5$  ed in Figura 12 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili alla liquefazione per  $U_c > 3.5$
7. nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3.5$ .

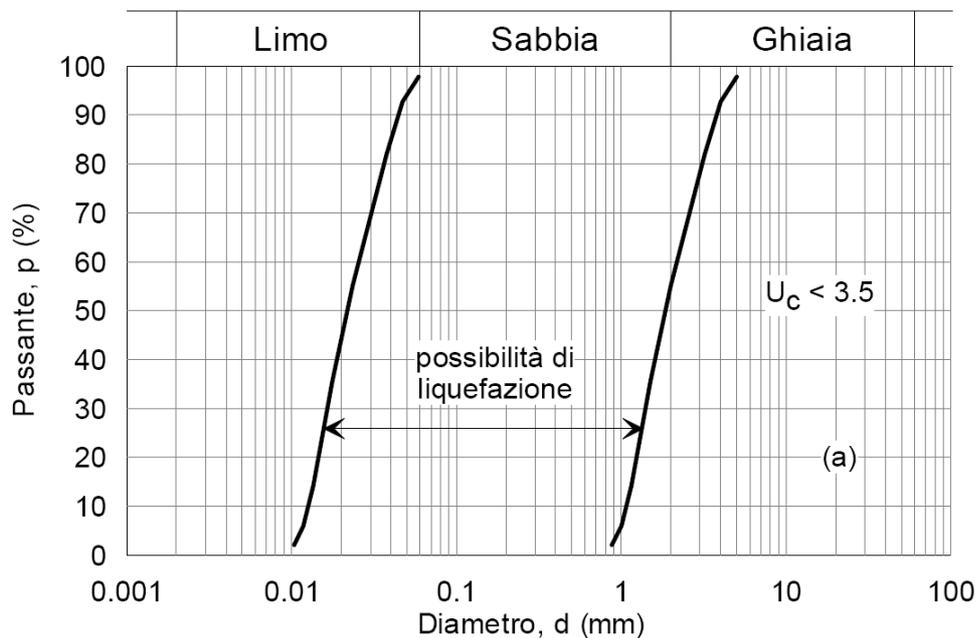


Figura 11 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili alla liquefazione per  $U_c < 3.5$

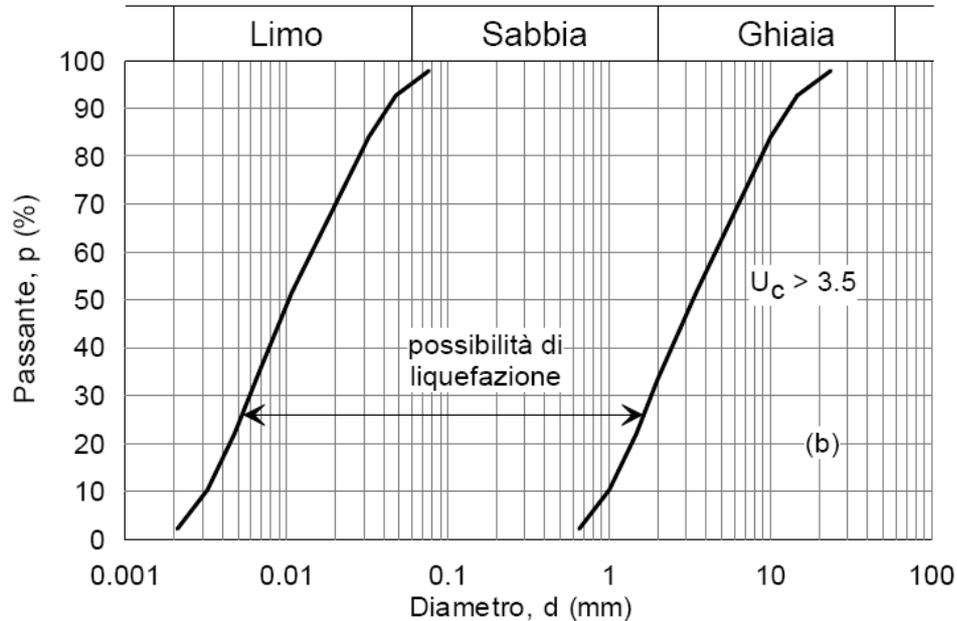


Figura 12 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili alla liquefazione per  $U_c > 3.5$

Per il sito in esame, sulla base di quanto riportato nei capitoli precedenti e nella relazione geologica, risulta che:

1. l'evento sismico atteso è di magnitudo  $M$  superiore a 5;
2. le accelerazioni massime attese al piano campagna sono pari a 0.146 g;
3. la profondità della falda è superiore a 19m dal p.c.;
4. sono presenti strati ghiaiosi con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} > 30$  e limitati strati limo-sabbiosi con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N1)_{60} < 30$ .

Siccome si manifestano nel caso in esame i punti 3 e 4 si omette in questa fase la verifica a liquefazione in quanto il fenomeno non può attivarsi.

Si rimanda comunque al progetto definitivo per ogni approfondimento ritenuto necessario dell'eventuale campagna d'indagine geognostica da farsi.