I

## **Static Probing**

Part I	GeoStru Software	1
1	Autoaggiornamento	. 2
2	Copyright	. 2
- 2	Supporto Clienti	2
4	Contatti	. 3
Part II	Utility	4
1	Tabelle Conversione	. 4
2	Database Terreni	. 5
Part III	Static	7
1	Introduzione	. 7
2	Strumenti	. 8
- 3	Correlazioni da usare	10
J		44
4	Dau generali	11
5		12
6	Inserisci una nuova prova	12
7	Immissione dati	15
8	Elaborazione	19
9	Rielaborazione	24
10	Traccia sezione	24
11	Classificazione suolo da correlazione	25
12	Classificazione suolo da prova sismica	26
13	Portanza e cedimenti	27
14	Parametri caratteristici con CySoil	 27
14		21
15		29
	Correlazioni geotecniche	. <b>29</b> 20
	Angolo di attrito	29 29
	Densità relativa	30
	Modulo di Young	31
	Modulo edometrico	31
	Peso di volume	32
	Modulo di deformazione di taglio	32
	Potenziale di liquefazione	32
	Coefficiente di consolidazione	32 32
	Terreni coesivi	33
	Coesione non drenata	33
	Indice di compressione C e coefficiente di consolidazione Cv	33
	Modulo edometrico	34
	Modulo di deformazione non drenato	34
	Peso di volume	34 34
	UUR Permeahilità	35
		20

	Index	0
	Sezione Geoapp	
16	Geoapp	
	Bibliografia	
		41
	Liquefazione	
	Categorie di sottosuolo e condizioni	
	Modulo di taglio G	

0

1

## 1 GeoStru Software



**GeoStru** è un'azienda che sviluppa software tecnico professionale per l'ingegneria strutturale, la geotecnica, la geologia, la geomeccanica, l'idrologia e le prove sui terreni.

Grazie a Geostru Software è possibile avvalersi di strumenti di grande efficacia per la propria professione. I software GeoStru sono strumenti completi, affidabili (gli algoritmi di calcolo sono quanto di più tecnologicamente avanzato nel campo della ricerca mondiale), aggiornati periodicamente, semplici da utilizzare, dotati di un'interfaccia grafica intuitiva e sempre all' avanguardia.

L'attenzione posta nell'assistenza ai clienti e nello sviluppo di software sempre in linea con le più moderne tecnologie ha consentito, in pochi anni, l'affermazione sui mercati internazionali. Il software, attualmente tradotto in cinque lingue e compatibile con le normative di calcolo internazionali, è utilizzato in piu' di 50 paesi nel mondo.

GeoStru è presente alle maggiori manifestazioni fieristiche nazionali: SAIE di Bologna, GeoFluid di Piacenza, MADEEXPO di Milano, Fiere di Roma ed internazionali: SEEBE di Belgrado, Costruct EXPO Romania, EcoBuild di Londra, etc. Oggi rivolgersi a GeoStru significa non solo acquistare un software, ma avere al proprio fianco delle persone specializzate che rimettono al cliente tutta l'esperienza acquisita.

Tanti sono i settori in cui l'azienda si è specializzata nel corso degli anni. La famiglia dei prodotti GeoStru è, infatti, suddivisa in diverse categorie:

- > Strutture
- ≻Geotecnica e geologia
- Geomeccanica
- Prove in situ
- ➢ Idrologia e idraulica
- Topografia
- Energia
- Geofisica

Per maggiori informazioni sui prodotti disponibili consultare in nostro sito web <a href="http://www.geostru.com/">http://www.geostru.com/</a>

Inoltre tra i tanti servizi offerti da GeoStru è possibile usufruire del servizio gratuito GeoStru Online che include applicazioni software sul web che risolvono le problematiche più varie.

## 1.1 Autoaggiornamento

Il software è dotato di un sistema integrato di autoaggiornamento. Dopo qualche secondo dall'avvio del software, passando con il puntatore del mouse sull'indicazione della versione (riportata in basso a destra nella finestra principale: GEOSTRU-201X.\_.\_), l'utente potrà verificare la disponibilità o meno di un aggiornamento del programma.

Se un messaggio avviserà l'utente circa la disponibilità di una versione aggiornata, si potrà procedere all'aggiornamento automatico del software cliccando direttamente sulla relativa icona.

Nel caso in cui non vi siano aggiornamenti disponibili apparirà il messaggio ''No updates available''.



## 1.2 Copyright

Le informazioni contenute nel presente documento sono soggette a modifiche senza preavviso.

Se non specificato diversamente, ogni riferimento a società, nomi, dati e indirizzi utilizzati nelle riproduzioni delle schermate e negli esempi è puramente casuale e ha il solo scopo di illustrare l'uso del prodotto.

Il rispetto di tutte le applicabili leggi in materia di copyright è a esclusivo carico dell'utente.

3

Nessuna parte di questo documento può essere riprodotta in qualsiasi forma o mezzo elettronico o meccanico, per alcun uso, senza il permesso scritto di GeoStru Software. Comunque, se l'utente ha come unico mezzo di accesso quello elettronico, allora sarà autorizzato, in base al presente documento, a stamparne una copia.

## 1.3 Supporto Clienti

Per qualsiasi domanda riguardante un prodotto GeoStru:

- Consultare la documentazione ed altro materiale stampato incluso nella confezione del prodotto.

- Consultare l'Help in linea.

- Consultare la documentazione tecnica utilizzata per lo sviluppo del software (Sito Web).

- Consultare l'area FAQ (Sito Web).

- Consultare i servizi di supporto GeoStru (Sito Web).

È attivo il nuovo servizio Ticket per rispondere alle richieste di assistenza dei nostri utenti.

Il servizio, riservato agli utenti in possesso di licenze di programmi GeoStru regolarmente aggiornati, permette di essere seguiti direttamente dai nostri specialisti e di ottenere risposte su problematiche di diversa natura inerenti i software licenziati (Sito Web).

Sito Web: www.geostru.com

## 1.4 Contatti



Web: <u>www.geostru.com</u> E-mail: info@geostru.eu

Consultare la pagina dei contatti del Sito Web per avere maggiori informazioni sui nostri contatti e sugli indirizzi delle sedi operative in Italia e all'Estero.

## 2 Utility

## 2.1 Tabelle Conversione

## Tabella di conversione da (°) in (%) e viceversa

Pendenza	Angolo	Pendenza	Angolo
(%)	Ö	(%)	Ö
1	0.5729	26	14.5742
2	1.1458	27	15.1096
3	1.7184	28	15.6422
4	2.2906	29	16.1722
5	2.8624	30	16.6992
6	3.4336	31	17.2234
7	4.0042	32	17.7447
8	4.5739	33	18.2629
9	5.1428	34	18.7780
10	5.7106	35	19.2900
11	6.2773	36	19.7989
12	6.8428	37	20.3045
13	7.4069	38	20.8068
14	7.9696	39	21.3058
15	8.5308	40	21.8014
16	9.0903	41	22.2936
17	9.6480	42	22.7824
18	10.2040	43	23.2677
19	10.7580	44	23.7495
20	11.3099	45	24.2277
21	11.8598	46	24.7024
22	12.4074	47	25.1735
23	12.9528	48	25.6410
24	13.4957	49	26.1049
25	14.0362	50	26.5651

## Tabella di conversione delle forze

Da	A	Operazione	Fattore
N	kg	Dividere per	9.8
<u>kN</u>	kg	Moltiplicare per	102
<u>kN</u>	t	Dividere per	9.8
kg	N	Moltiplicare per	9.8
kg	kN	Dividere per	102
t	kN	Moltiplicare per	9.8

Conversione forze: 1 Newton (N) = 1/9.81 Kg = 0.102 Kg; 1 kN = 1000 N

4

5

Da	A	Operazione	Fattore
t/m <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	Dividere per	10
kg/m <sup>2</sup>	kg/cm <sup>2</sup>	Dividere per	10000
Ra	kg/cm <sup>2</sup>	Dividere per	98000
kPa.	kg/cm <sup>2</sup>	Dividere per	98
Mpa	kg/cm <sup>2</sup>	Moltiplicare per	10.2
kPa	kg/m <sup>2</sup>	Moltiplicare per	102
Мра	kg/m <sup>2</sup>	Moltiplicare per	102000

## Tabella di conversione delle pressioni

## 2.2 Database Terreni

## Valori indicativi del peso di volume in Kg/m<sup>3</sup>

Terreno	Valore	Valore
	minimo	massimo
Ghiaia asciutta	1800	2000
Ghiaia umida	1900	2100
Sabbia asciutta compatta	1700	2000
Sabbia umida compatta	1900	2100
Sabbia bagnata compatta	2000	2200
Sabbia asciutta sciolta	1500	1800
Sabbia umida sciolta	1600	1900
Sabbia bagnata sciolta	1900	2100
Argilla sabbiosa	1800	2200
Argilla dura	2000	2100
Argilla semisolida	1900	1950
Argilla molle	1800	1850
Torba	1000	1100

# Valori indicativi dell'angolo di attrito, in gradi, per terreni

Terreno	Valore minimo	Valore massimo
Ghiaia compatta	35	35
Ghiaia sciolta	34	35
Sabbia compatta	35	45
Sabbia sciolta	25	35
Marna sabbiosa	22	29
Marna grassa	16	22
Argilla grassa	0	30
Argilla sabbiosa	16	28
Limo	20	27

## Valori indicativi della coesione in Kg/cm<sup>2</sup>

Terreno	Valore
Argilla sabbiosa	0.20
Argilla molle	0.10
Argilla plastica	0.25
Argilla semisolida	0.50
Argilla solida	1
Argilla tenace	2÷10
Limo compatto	0.10

# Valori indicativi del modulo elastico, in Kg/cm<sup>2</sup>

Terreno	Valore massimo di E	Valore minimo di E
Argilla molto molle	153	20.4
Argilla molle	255	51
Argilla media	510	153
Argilla dura	1020	510
Argilla sabbiosa	2550	255
Loess	612	153
Sabbia limosa	204	51
Sabbia sciolta	255	102
Sabbia compatta	816	510
Argilloscisto	51000	1530
Limo	204	20.4
Sabbia e ghiaia sciolta	1530	510
Sabbia e ghiaia compatte	2040	1020

## Valori indicativi del coefficiente di Poisson per terreni

Terreno	Valore massimo di v	Valore minimo di v
Argilla satura	0.5	0.4
Argilla non satura	0.3	0.1
Argilla sabbiosa	0.3	0.2
Limo	0.35	0.3
Sabbia	1.0	0.1
Sabbia ghiaiosa comunemente usata	0.4	0.3

## Valori indicativi del peso specifico di alcune rocce in Kg/m<sup>3</sup>

Roccia	Valore minimo	Valore massimo
Granito	45	60
Dolerite	55	60
Basalto	50	55
Arenaria.	35	50
Argilloscisto	15	30
Calcare	35	50
Quarzite	50	60
Marmo	35	50

## Valori indicativi del modulo elastico e del coefficiente di Poisson per rocce

Roccia	E		ν	
	Valore massimo	Valore minimo	Valore massimo	Valore minimo
Basalto	1071000	178500	0.32	0.27
Granito	856800	142800	0.30	0.26
Scisto cristallino	856800	71400	0.22	0.18
Calcare	1071000	214200	0.45	0.24
Calcare poroso	856800	35700	0.45	0.35
Arenaria	428400	35700	0.45	0.20
Argilloscisto	214200	35700	0.45	0.25
Calcestruzzo	Varia	abile	0.	15

## 3 Static

## 3.1 Introduzione

Il programma Static Probing permette l'archiviazione, la gestione e l'elaborazione delle Prove Penetrometriche Statiche.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno.

L'utilizzo dei dati dovrà comunque essere trattato con spirito critico e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

#### Interpretazione del grafico

Scegliendo il tipo di interpretazione litologica (consigliata o meno a seconda del tipo di penetrometro utilizzato) si ha in automatico la stratigrafia con il passo dello strumento ed interpolazione automatica degli strati. Il programma esegue inoltre il grafico (per i vari autori) Profondità/Valutazioni litologiche, per visualizzare in maniera diretta l'andamento delle litologie presenti lungo la verticale indagata.



## 3.2 Strumenti

Permette di scegliere il penetrometro utilizzato immettendo i dati strumentali (specifiche tecniche).

Per quanto riguarda il **Punta elettrica** generalmente tale strumento permette di ottenere dati in continuo con un passo molto ravvicinato (anche 2 cm.) rispetto al **Punta meccanica** (20 cm.). Per il **Piezocono** i

9

dati di inserimento oltre a quelli di LP e LT sono invece la pressione neutrale misurata ed il tempo di dissipazione (tempo intercorrente misurato tra la misura della sovrappressione neutrale e la pressione neutrale o pressione della colonna d'acqua). Tale misurazione si effettua generalmente misurando la sovrappressione ottenuta in fase di spinta e la pressione neutrale (dissipazione nel tempo) misurata in fase di alleggerimento di spinta (arresto penetrazione). Il programma permette di immettere U1 – U2 – U3 cioè la sovrappressione neutrale misurata rispettivamente con filtro poroso posizionato nel cono, attorno al cono, o attorno al manicotto a seconda del tipo di piezocono utilizzato. Tale sovrappressione (che è data dalla somma della pressione idrostatica preesistente la penetrazione e dalle pressioni dei pori prodotte dalla compressione) può essere positiva o negativa e generalmente varia da (-1 a max. + 10-20 kg/cmq) ed è prodotta dalla compressione o dilatazione del terreno a seguito della penetrazione. Per il calcolo oltre ai dati strumentali generali si deve immettere per una correzione dei valori immessi:

### Area punta del cono (area esterna punta)

**Area interna punta del cono** (area del restringimento in prossimità del setto poroso – interna cono-manicotto). Generalmente il rapporto tra le aree varia da (0,70 - 1,00).

Il **Passo** del penetrometro è l'intervallo entro cui effettua la lettura, generalmente per penetrometri normali è 20 cm., per le punte elettrichepiezoconi può essere di 2 cm.

Il programma elabora quindi i dati di resistenza alla punta e laterale fs con le opportune correzioni dovute alla normalizzazione (con la tensione litostatica e con la pressione dei pori).

**Robertson** definisce infine il valore caratteristico del **Ic** (Indice di tipo dello strato) e **Contenuto in materiale fine FC %** (cioè la percentuale di contenuto argilloso < 2 micron).

Per inserire un **Nuovo strumento** posizionarsi sulla voce **Penetrometri** e fare click con il tasto destro del mouse, quindi scegliere la voce **Nuovo** e immettere i dati richiesti. Per **Eliminare uno strumento** esistente posizionarsi su quello da eliminare, attivare il menu di scelta rapida tramite il pulsante destro e selezionare il comando **Elimina.** 

💷 Strumenti						×
Strumenti						
Strumenti	- Dati strun	nentali				
	TIPO			D	EEP DRILL	
CPT SUNDA DOLMEN 200 KN ELECTRONIC GOUDA 100 kN	Letture	F	Punta - Lat	terale	-	
- PAGANI 100 kN	Baricentro	o punta lungo l'altezza	a		30	cm
- DEEP DRILL - Dynastar Tecnotest - PAGANI TG 63 (200 kN) - CPTE - PAGANI 200 kN (CPTE) - ISMES - CPTU - PAGANI 200 kN (CPTU) - WISSA - V.D. BERG - UBC	Area pun	ta			10	cmq
	Area inte	rna punta cono			8.5	cmq
	Angolo di	apertura punta			60	•
	Diametro	Punta conica meccan	ica		35.7	mm
	Altezza m	anicotto laterale	_		13.3	cm
	Sistema d	li misura	٩	leccanico	-	
	Passo				20	cm
FUGRO F5CW/V	Peso man	icotto ancoraggio			2	Kg
	Superficie	e manicotto			150	cmq
	Anello alla	argatore		No	-	
	Costante	di trasformazione			20	
	Rifermen	to norme		ASTM	D3441-86	
	Pressione	neutrale rilevata	U1 su cor	10	<b>T</b>	
	Peso aste	a metro			0	Kg
	Distanza	punta/Geofono				cm
	Dati in us	cita ———				_
•	Temperat	tura		No	· ·	
< >	Inclinazio	ne sonda		No	· ·	
Immagine 📔	Velocità d	i avanzamento			*	cm/s
			0	ĸ	Annulla	?

## 3.3 Correlazioni da usare

Permette di selezionare per ogni parametro da stimare la correlazione da utilizzare.

Ved. anche <u>Cenni teorici</u>.

## 3.4 Dati generali

Permette di assegnare i dati generali per l'intestazione (Committente, Cantiere, Località, Operatore prova, Responsabile prova, Codice commessa, Numero certificati allegati) e la localizzazione della prova.

▲ Inserendo la localizzazione nel formato: via xxxx, città, provincia, nazione, sarà individuata automaticamente la zona di lavoro. Alternativamente occorre assegnare le coordinate nel sistema WGS84 in gradi decimali.

Il sistema richiede per l'individuazione della zona una connessione internet.

Dati Generali		http://www.geostru.com/geoapp/gpg.aspx?dest=Bian
Committente	GeoStru	
Cantiere	SS 106	Satellite F
Località	Bianco	+
Operatore prova	Mari Rossi	Bianco, Reggio Calabria, Italy 🗙 🌈
Resp <mark>onsabile</mark> prova	Dott. Bianchi	Lat: 38.0875024 Long: 16.151946100000032
Codice commessa	001	Na va Villon
Numero certificati allegat	ti 2	9
Zona	Bianco, Reggio Calabria, Italy	
Lat./Long. [WGS84]	38.0875 16.151 <sup>1</sup>	
		Detimopa Te econdizion dura

## 3.5 Elaborazione statistica

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Static Probing, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato un valore inferiore o maggiore della media aritmetica dello strato (dato comunque maggiormente utilizzato); i valori possibili in immissione sono:

- **Medio:** Media aritmetica dei valori della resistenza alla punta sullo strato considerato.
- **Media minima:** Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori della resistenza alla punta sullo strato considerato.
- **Massimo:** Valore massimo dei valori del numero della resistenza alla punta sullo strato considerato.
- **Minimo:** Valore minimo dei valori del numero della resistenza alla punta sullo strato considerato.
- **Media + s:** Media + scarto (valore statistico) dei valori della resistenza alla punta sullo strato considerato.
- **Media s:** Media scarto (valore statistico) dei valori della resistenza alla punta sullo strato considerato.
- Distribuzione normale R.N.C.: <u>ved. Parametri caratteristici</u>.
- Distribuzione normale R. C.: ved. Parametri caratteristici.

## 3.6 Inserisci una nuova prova

Il programma è basato su una immissione grafica delle prove penetrometriche, pertanto per inserirle occorre:

- 1) Selezionare l'icona Gestione Prove
- 2) Posizionarsi sull'area di lavoro

3) Premere il pulsante destro del mouse, scegliere nuova prova ed immettere i **dati generali**:

#### Strumento

Scegliere il tipo di Penetrometro statico utilizzato, se nella lista strumenti non compare occorre posizionarsi nel treeview di Strumenti (prima suddivisione inserire nuovo);

Suddivisione CPT (Cone Penetration Test – punta Meccanica tipo Begemann), CPTE (Cone Penetration Test Electric – punta elettrica), CPTU (Piezocono);

Inserire i dati tecnici strumentali del penetrometro utilizzato (tali dati sono generalmente forniti dalla casa costruttrice).

#### • Sigla prova

Inserire la sigla di identificazione della prova.

• X, Y, Z

X, Y Individuano la posizione planimetrica; Z la posizione altimetrica.

## • Profondità prova

Inserire la profondità (in m) raggiunta dall'ultima lettura.

#### Profondità falda

Se rilevate, si possono inserire le profondità anche di varie falde attraversate nel sondaggio da....a..... [m]

## • Colore

Ciascuna prova può essere contrassegnata da un colore a scelta dell'utente.

<u>∃</u> 5 े <b>€ € € € € € € € € €</b>				Static Probing - C:\Program File
HE HOME MODIFICA	VISUALIZZA DRAW PRE Strumenti Correlazioni da usare Dati Generali	FERENZE OUTPUT ?	stica	2 ccia one ve
name -4.18: 0.50	4.18 8.37 12 	5 16.7 20.9	25.1 * 29.3	005 07.6 414
Nuova prova	3	Prova corrente Nr.1		22
2		Per questo tipo di strumento ati Generali Strumento PAGANI 200 kN (CPTU	o la falda si assegnerà in una fase : Certificato	successiva.
		Sigla prova K (m) Y (m) Z (m)	Constant of the second se	à Profondità A Finale (m)
		Profondità prova (m) Falda Non p Accelerazione sismica massima (g) [ Colore prova		
		vote Data mercoledi 20 agosto 2	2014 •	ш +

4) Posizionarsi con il mouse sulla prova, attivare il menu di scelta rapida "pulsante destro del mouse" e scegliere <u>Immissione Dati</u>

5) In **Immissione Dati** sono attivi una serie di menu di scelta rapida tra i quali occorre sottolineare:

-Sulla colonna del **peso unità di volume** pulsante destro del mouse per il calcolo automatico

-Sul grafico una serie di funzioni tra le quali inserimento, con il destro del mouse, di strati, esportazioni ecc...

-Per cancellare uno strato selezionare l'intera riga sulla tabella **Strati** e premere **Canc**.

6) Terminata l'immissione posizionarsi sulla prova e attivare elaborazione.

7) In Elaborazione, per scegliere dei parametri, posizionarsi sulla griglia in alto a destra e premere il pulsante destro del mouse;.

\*La differenza tra <u>Elaborazione</u> e <u>Rielaborazione</u> è la seguente: la prima calcola i parametri geotecnici e conserva le eventuali modifiche su di essi, la seconda ricalcola i parametri non conservando le eventuali modifiche apportate dall'utente.

\*Se lo strumento da usare non appare nella lista degli strumenti aprire la finestra **Strumenti...**,

## 3.7 Immissione dati

Le letture da inserire nel programma sono formate dalla resistenza di punta misurata dalla sonda nella prima porzione dell`infissione nel terreno, e dal valore totale comprensivo della resistenza di punta più la resistenza laterale (spinta totale della punta e del manicotto di frizione). La resistenza specifica Qc e Ql vengono desunte tramite opportune costanti e sulla base dei valori specifici dell'area di base della punta e dell'area del manicotto di frizione laterale.

Più precisamente i vari termini in gioco sono :

- Lettura alla punta = Prima lettura dello strumento utilizzato.
- Lettura laterale = Seconda lettura dello strumento utilizzato (lettura totale).
- **A** = Area di base del cono della sonda (ex. 10 cm<sup>2</sup>).
- **Am** = Area del manicotto di frizione (ex. 150 cm<sup>2</sup>).
- K = Costante di trasformazione utilizzata per ottenere le letture eseguite nel valore di uscita previsto.
- Qc (RP) Resistenza alla punta = (Lettura alla punta x K) / A.
- QI (RL) Resistenza laterale = (Lettura alla punta Lettura laterale) x K) / A.

I dati di inserimento generale della prova sono quindi una coppia di valori per ogni intervallo di lettura costituiti da **LP** (Lettura alla punta) e **LT** (Lettura totale della punta + manicotto), le relative resistenze vengono quindi desunte per differenza, inoltre la resistenza laterale viene conteggiata 20 cm sotto (alla quota della prima lettura della punta). I dati di inserimento della prova possono essere in Kg/cm<sup>2</sup>, in t/m<sup>2</sup>, in Mpa, in kN/m<sup>2</sup>, in kPa a scelta dall'utente e possono essere inseriti automaticamente anche da un copia-incolla (*ex. da Excel*) posizionandosi nella I<sup>a</sup> casella ed incollando i dati.

I dati di uscita sono pertanto **RP** (Resistenza alla punta) e **RL** (Resistenza laterale o **fs** attrito laterale specifico che considera la superficie del manicotto di frizione).

Il programma calcola quindi automaticamente durante l'inserimento i valori risultanti di **fs** [**Fs** (attrito laterale specifico) Resistenza Laterale], del **Rapporto RP/RL** [Rapporto Begemann 1965], del **Rapporto RL/RP** [Rapporto Schmertmann 1978 (FR) %].

Scegliendo il tipo di interpretazione litologica (consigliata o meno a seconda del tipo di penetrometro utilizzato) si ha in automatico la stratigrafia con il passo dello strumento ed interpolazione automatica degli strati.

Ad ogni strato mediato il programma calcola la **Qc** media, la **fs** media, il peso di volume naturale medio, il comportamento geotecnico (coesivo, incoerente o coesivo-incoerente), ed applica una texture.

La texture può essere variata semplicemente trasportando la texture scelta sullo strato della tabella.

Scegliendo coesivo il programma elabora i dati geotecnici solamente come terreno coesivo, o incoerente elabora i dati solo come incoerente; scegliendo coesivo-incoerente (terreno dotato di comportamento intermedio e non inquadrabile i maniera certa) il programma elabora i dati anche in uscita con entrambi i comportamenti.

Per quanto riguarda il **Punta elettrica** generalmente tale strumento permette di ottenere dati in continuo con un passo molto ravvicinato (anche 2 cm) rispetto alla **Punta meccanica** (20 cm.).

Per il **Piezocono** i dati di inserimento oltre a quelli di LP e LT sono invece la pressione neutrale misurata ed il tempo di dissipazione (tempo intercorrente misurato tra la misura della sovrappressione neutrale e la pressione neutrale o pressione della colonna d'acqua).

Tale misurazione si effettua generalmente misurando la sovrappressione ottenuta in fase di spinta e la pressione neutrale (dissipazione nel tempo) misurata in fase di alleggerimento di spinta (arresto penetrazione).

Il programma permette di immettere **U1 – U2 – U3** cioè la sovrappressione neutrale misurata rispettivamente con filtro poroso posizionato nel cono, attorno al cono (alla base di esso), o attorno al manicotto di frizione a seconda del tipo di piezocono utilizzato.

Tale sovrappressione (che è data dalla somma della pressione idrostatica preesistente la penetrazione e dalle pressioni dei pori prodotte dalla

compressione) può essere positiva o negativa e generalmente varia da  $(-1 \text{ a max.} + 10-20 \text{ kg/cm}^2)$  ed è prodotta dalla compressione o dilatazione del terreno a seguito della penetrazione.

Per il calcolo, oltre ai dati strumentali generali si deve immettere per una correzione dei valori immessi :

Area punta del cono (area esterna della punta)

**Area interna punta del cono** (area del restringimento in prossimità del setto poroso – interna cono-manicotto)

Generalmente il rapporto tra le aree varia da (0,70 – 1,00).

Il programma elabora quindi i dati di resistenza alla punta e laterale fs con le opportune correzioni dovute alla normalizzazione (con la tensione litostatica e con la pressione dei pori).

**Robertson** definisce infine il valore caratteristico del **Ic** (Indice di tipo dello strato) e **Contenuto in materiale fine FC %** (cioè la percentuale di contenuto argilloso < 2 micron).

## Grafico

Quando si inserisce una nuova prova i dati sono visualizzati su un modello grafico in cui vengono riportati i dati identificativi della prova, il diagramma che riproduce ad ogni passo l'andamento della resistenza alla punta e laterale, la falda e la litostratigrafia. Il modello base proposto interagisce in contemporaneo con il valore delle letture immesso ad ogni passo e con la griglia sottostante in cui avviene la gestione della stratigrafia, ossia ogni dato modificato nella colonna di immissione dati viene aggiornato sul modello grafico, così come ogni cambiamento eseguito sulla griglia di gestione della stratigrafia viene riprodotto sul grafico nella colonna litostratigrafica.

Il modello grafico proposto è gestibile da un menu di scelta rapida che si attiva con il pulsante destro del mouse; i comandi di gestione sono: esporta in DXF ed in EXCEL, stampa, copia, sposta, pagina intera ed opzioni. Le opzioni su colori, linee e scala sono riproposte anche nel menu **Preferenze** alla voce **Opzioni elaborato grafico**.

Dal comando **Grafico valutazioni litologiche** è possibile visualizzare un grafico *Profondità - Valutazioni litologiche* secondo l'autore selezionato.

Il comando **Litologia Istantanea** individua la litologia (coesivo/incoerente) man mano che l'utente inserisce la profondità dello strato.

**Ricerca dinamica strato** è un comando che sincronizza la stratigrafia sul grafico con la griglia degli strati sottostante: ossia quando si posiziona con il mouse su uno strato del grafico viene evidenziato nella stratigrafia sottostante.



#### Osservazioni

Le funzioni **Copia-Incolla** permettono di copiare od incollare la sequenza di dati (N° colpi) da un foglio Excel al programma Static Probing: esse si attivano dal menu di scelta rapida visualizzato posizionando il puntatore del mouse sulla griglia di immissione dei dati e premendo il tasto destro del mouse.

#### Come inserire uno strato da tastiera

Digitare nella tabella visualizzata sotto il modello grafico (in basso a destra nella finestra di immissione dati) le profondità degli strati.

#### Come inserire uno strato con il mouse

Attivare sul grafico il menu di scelta rapida, selezionare il comando Inserisci strato, fare click ed inserire la quota corrispondente.

## Cancellare uno strato

Selezionare dalla tabella stratigrafia una riga intera e premere canc dalla tastiera.

## 3.8 Elaborazione

Permette l'elaborazione automatica dei dati penetrometrici sullo strato considerato o selezionato; per avviare l'elaborazione scegliere il comando **Elaborazione** dal menu di scelta rapida che compare posizionandosi con il puntatore del mouse sulla prova da elaborare e premendo il tasto destro del mouse. Le correlazioni (opzione preliminare "<u>Correlazioni da usare</u> ") proposte sono distinte per tipologia di terreno (coesivo o incoerente) e, in funzione del parametro, è riportato l'autore corrispondente. Le correlazioni vengono scelte attivando con un click del mouse il comando posto sulla barra degli strumenti.

Il programma elabora i dati ottenuti e mediati nello strato considerato suddividendo dapprima il terreno come coesivo o incoerente o coesivoincoerente.

Tale suddivisione automatica può essere personalizzata a scelta dell'utente agendo sulla finestra a tendina presente nella tabella degli strati creati automaticamente (vedi immagine).

Per i coesivi-incoerenti (terreni dal comportamento non inquadrabile in maniera certa) il programma elabora i dati geotecnici sia come terreno coesivo che incoerente.

	0 € €	€, Q	₫ 🖱 =								Stat	ic Probing - C:\Prog
LE	HOME	MOE	DIFICA	VISUALIZZA	DRAW	PREFERENZE	OL	JTPUT	?			
/	Ð	Ð,	Q	Q Q	Ę	Ē						
segna	Zoom	Zoom	Zoom Z	Zoom Zoom	Zoom	Sposta						
	Tutto	+	Fi	nestra dinamio	o precedent	e						
			Visua	lizza								
ptu I	mmissior	ie dati ( N	lr.2)									
Lettu	re qc/fs	Pression	ni neutrali	Falde qt fst	Altro							
							CROSTA					
Prof. (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	qc/fs				VIA LUN 89032 B WWW.G	IGOMARE IGOMARE IANCO RC ITAL EOSTRU.COM	Y.			
0.020	0.926	0.032	29.211				Pr	obe CPTU - Piez	ocone Nr.2			
0.040	1.706	0.034	50.473				50	rumento utilizza	to TECNO PEN	TA TP CPLZIN		
0.080	3 266	0.075	43 605				6	mm Harts				
0,100	4,046	0,075	53,732				C:	antiere:				
0.120	4.826	0.078	62.271				Lo	calità:				
0.140	4.849	0.079	61.38					Resistenza ount	a Oc (Mpa)			
0.160	4.843	0.089	54.723					and a part	C. C. Proj			
0.180	4.843	0.089	54.538					0	7.0	14.0	21.0	28.0
.200	4.829	0.09	53.596							1	1	1
.220	4.845	0.095	51.27									
.240	4.826	0.097	49.701									
.260	4.826	0.099	48.896				1	)		1		1
.280	4.827	0.1	48.318									
.300	4.854	0.112	43.339					L C				
.320	4.861	0.112	43.324				2					
0.340	4.895	0.112	43.627					1				
0.360	4.932	0.112	43.957		-							
							3	ſ			-	1
	Robertsor	1990 - B		Searle 1979				S				
	Douglas C	lsen 1981		A.G.I 1977				- (			1	
Schme	ertmann 1	978 Rob	ertson 1983	Begemann 1	965		4	117			- 3	1
R	obertson	1986	Rober	rtson 1990 - A	_ 4			2				
of.	Li	tologia						5				
00 01		4.4		1 CV				1				
02 50	ma non es	eguiblie	pie	t Sti			-					1
04 50	ma non es	eguibile	pie	+ 50				(				
08 51	ma non es	equibile	pie	t Sti				ι ζ				
10 Sti	ma non es	equibile	nie	t Sti			6			1	- 12 - 12 - 12 - 12 - 12 - 12 - 12 - 12	ŝ
12 Sti	ma non es	equibile	nie	t Sti	∢	]						
14 Sti	ma non es	equibile	pie	t Sti	x=7.5	16 y=6.195		Stratigrafi	a Grafice	o valutazioni lito	logiche	Litologia istantanea
16 Sti	ma non es	equibile	pie	t Sti				-			-	-
. 18 Sti	ma non es	eguibile	pie	t Sti	Prof.	qc	fs	Ga	imma	Comp.	Teut	Description
20 Sti	ma non es	eguibile	pie	t Sti	(m)	(Mpa)	(Mpa)	(K)	1/m <sup>3</sup> )	Geotecnico	rextur	Descrizione
22 Sti	ma non es	eguibile	pie	t Sti	0.0	0.926	0.03	2	19	Cooriyo		Argille - Argille
24 Sti	ma non es	eguibile	pie	t Sti	0.0	8 2 486	0.03	1	10.			Limi argillosi -
26 Sti	ma non es	eguibile	pie	t Sti	1 1	4 5 104	0.00	9	20.0	Coesivo		Sabbie limose - Lin
28 Sti	ma non es	eguibile	pie	t Sti	4 3	3.407	0.09	1	20.	Incoerente-Coe	sivo	Limi argillosi -
30 Stir	ma non es	eguibile	pie	t Sti	4	4 3.531	0.06	3	20.1	3 Incoerente		. Sabbie limose - Lin
32 Sti	ma non es	eguibile	pie	t Sti	5.8	2 2.528	0.0	6	19.	7 Coesivo		Limi argillosi -
	ma non es	eguibile	pie	t Sti 📃 .	5.8	3.087	0.05	4	20.0	0 Incoerente		Sabbie limose - Lin
.34 Sti		-		the second se								

## Osservazioni Correlazioni da usare

Le correlazioni scelte dall'utente per l'elaborazione sono evidenziate in rosso sulla lista situata a sinistra dello schermo. Quando si vuole cambiare correlazione è sufficiente selezionare quella prescelta con un click del mouse e, in automatico, viene proposto nella griglia di elaborazione il nuovo parametro.

	Correlazioni geotecniche		the finance of the last termination of the second	> 🖸 📈
Mutti A material control in the label of a control in the l	H 🖶 🔍 Q, % X 🖻 🖍 🔀 🔜	• @ ×		_
A start water w	Conserver     Conserver	Orieltow         Griglia di 4           9	elaborazione	
<ul> <li>A schedungen mit der schedungen mit de</li></ul>	Balgh ed altri 1980 Nk=20     Rolf Larsson SGI 1995     Monthead D20 Ministry 6220	6 1.54 5.74 0.208 33.5 33.5		
	Hold Schwerze     Hold Sc	Quando si vuole cambiare correlazione è sufficiente selezionare quella prescetta con un click del mouse e, in automatico, viene proposto nella griglia di elaborazione il nuovo parametro.	<section-header></section-header>	

## Invia correlazione al foglio di stampa

Permette di cambiare il parametro calcolato automaticamente in funzione della correlazione scelta ed inviarlo (con il tasto destro del mouse sulla griglia di elaborazione) al foglio di stampa corrispondente. Le elaborazioni prodotte sono:

a 🔍 🖏 👗 🖻 💼 🐺 📃			- 0	×				
Nº 1	Correlazi	oni						
	Strato	Prof. Strato (m)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	s (KPa)	s' (KPa)		
Kiekstad, 1978 - Lunne, Robertson and Por	1	0.60	0.0	0.0	0.0	0.0		
Lunne Robertson and Powell 1977	2	1.10	2.373	0.052	4.0	4.0		
Terzaghi	3	1.20	1.373	Invia	is correlations al foglio stamps			
Beremann	4	1.40	0.735			and an rogi	io stampt	
De Beer	5	1.70	0.817	0.034	17.9	15.4		
Baligh ed altri 1980 Nk-20	6	2.20	1.04	0.025	25.1	18.7		
Dolf Jargeon SCI 1005	-	0.40						
Mandard 1074 Mandard - Dawell 1070	համամե		l <sup>3</sup>	.14				
Madula Edamatrian								
Mitchell & Cardner (1075)								
Mitchell & Gardher (1975)								
metodo generale del modulo Edometrico								
(±)Buisman								
Buismann Sanglerat								

## Terreni coesivi

Si riportano di seguito i riferimenti bibliografici delle correlazioni utilizzate in Static Probing per la stima deoi parametri geotecnici dei terreni coesivi:

Coesione non drenata (Lunne & Eide) Coesione non drenata (Rolf Larsson SGI 1995) Coesione non drenata (Baligh ed altri 1976-1980) in tale elaborazione occorre inserire il valore di Nk (generalmente variabile da 11 a 25) Coesione non drenata (Marsland 1974-Marsland e Powell 1979) Coesione non drenata Sunda (relazione sperimentale) Coesione non drenata (Lunne T.-Kleven A. 1981) Coesione non drenata (Kjekstad. 1978 - Lunne, Robertson and Powell 1977) Coesione non drenata (Terzaghi - valore minimo) Coesione non drenata (Begemann) Coesione non drenata (De Beer) - valida per debole coesione Peso di Volume terreni coesivi (t/mg) Peso di Volume saturo terreni coesivi (t/mg) Modulo Edometrico (Mitchell & Gardner 1975) Modulo Edometrico - metodo generale Modulo Edometrico (valore medio degli autori su suoli *coerenti*) Modulo di deformazione non drenato Eu (Cancelli ed altri 1980) Modulo di deformazione non drenato Eu (Ladd ed altri 1977) - Inserire valore n 30 < n < 1500 Modulo di deformazione di taglio G - (Imai & Tomauchi) Indice di Compressione Vergine Cc (Schmertmann) Indice di Compressione Vergine Cc (Schmertmann 1978) Coefficiente di Permeabilità K (Piacentini-Righi, 1988) Grado di Sovraconsolidazione OCR - (metodo Stress-History) Grado di Sovraconsolidazione OCR (P.W. Mayne 1991) - per argille ed argille sovraconsolidate Grado di Sovraconsolidazione OCR (Larsson 1991 S.G.I.) Grado di Sovraconsolidazione OCR (Piacentini-Righi Inacos 1978) OCR - (Ladd e Foot - Ladd ed altri 1977) - valido per argille NC OCR - (Ladd e Foot) Fattore di compressibilità ramo di carico C (Piacentini-Righi Inacos 1978) Fattore di compressibilità medio ramo di carico Crm (Piacentini-Righi Inacos 1978) Coefficiente di Permeabilità K (*Piacentini-Righi* 1988) Coefficiente di Consolidazione Cv (Piacentini-Righi 1988)

### Terreni incoerenti

Si riportano di seguito i riferimenti bibliografici delle correlazioni utilizzate in Static Probing per la stima deoi parametri geotecnici dei terreni incoerenti:

Densità Relativa (Baldi ed altri 1978-1983 - Schmertmann 1976) - per sabbie NC non cementate Densità Relativa (Schmertmann) Densità Relativa (Harman 1976) Densità Relativa (Lancellotta 1983) Densità Relativa (Jamiolkowski 1985) Densità Relativa (Larsson 1995) - per sabbie omogenee non gradate Stato di Addensamento (A.G.I. 1977) Angolo di Attrito (Durgunouglu-Mitchell 1973-1975) - per sabbie N.C. e S.C. non cementate Angolo di Attrito (Meyerhof 1951) – per sabbie N.C. e S.C. Angolo di Attrito (Caquot) - per sabbie N.C. e S.C. non cementate e per prof. > 2 mt. in terreni saturi o > 1 mt. non saturi Angolo di Attrito (Koppejan) - per sabbie N.C. e S.C. non cementate e per prof. > 2 mt. in terreni saturi o > 1 mt. non saturi Angolo di Attrito (De Beer 1965-1967) - per sabbie N.C. e S.C. non cementate e per prof. > 2 mt. in terreni saturi o > 1 mt. non saturi Angolo di Attrito (Robertson & Campanella 1983) - per sabbie non cementare guarzose Angolo di Attrito (Schmertmann 1977-1982) – per varie litologie (correlazione che generalmente sovrastima il valore) N spt medio dello strato (Meardi 1972 - Meigh) N spt min.-max. (Meyerhof) Modulo di Young (Schmertmann 1970-1978) Ey (25) -Ey(50) - modulo secante riferito rispettivamente al 25 % e 50 % del valore di rottura – prima fase della curva carico/deformazione Modulo di Young (sabbia di Hokksund) - Parkin ed altri 1980 -Ey (25) – Ey (50) - per sabbie NC e SC Modulo di Young secante drenato Ey (25) – Ey(50) Robertson & Campanella (1983) - per sabbie NC quarzose Modulo di Young (ISOPT-1 1988) Ey (50) - per sabbie OC sovraconsolidate e SC Modulo Edometrico (Robertson & *Campanella*) da Schmertmann

Modulo Edometrico (Lunne-Christoffersen 1983 - Robertson and Powell 1997) - valido per sabbie NC Modulo Edometrico (Kulhawy-Mayne 1990) Modulo Edometrico (Mitchell & Gardner 1975) Modulo Edometrico (Buisman - Sanglerat) Modulo Edometrico (ENEL - CRIS ed altri 1983) Modulo Edometrico (Chapman e Donald 1981) Modulo Edometrico (valore medio degli autori su suoli incoerenti) Modulo di Deformazione di taglio G - (Imai & Tonouchi 1982) e G max. Pressione laterale - coeff. Ko (Kulhawy-Mayne (1990) Peso di Volume Gamma (t/mc)- per sabbia sciolta e densa Peso di Volume Gamma saturo (t/mc) - per sabbia sciolta e densa Coefficiente di Permeabilità K (Piacentini-Righi, 1988) Coefficiente di Consolidazione Cv (Piacentini-Righi, 1988) Verifica alla liquefazione dei suoli incoerenti (Metodo di Robertson e Wride 1997 - C.N.R. - GNDT) - coefficiente di sicurezza relativo alle varie zone sismiche I-I-III-IV cat.) -N.B. la liquefazione è assente per Fs >= 1,25, possibile per Fs=1,0-1,25 e molto probabile per Fs < 1

## 3.9 Rielaborazione

La rielaborazione permette di riavere i parametri ottenuti con le correlazioni scelte dall'utente (in rosso), se queste sono state modificate (Vedi Correlazioni da usare in <u>Elaborazione</u>).

## 3.10 Traccia sezione

E' possibile creare delle sezioni geologiche semplicemente collegando attraverso una polilinea più prove tramite il mouse di cui le prove stesse ne rappresentano i vertici. Per eseguire tale procedura basta cliccare con il tasto destro del mouse sulla singola prova e selezionare il comando **'Crea sezione'**. Il programma Slope consente di leggere il file esportato da Static Probing e di importare i dati della prova per la generazione della sezione geotecnica.



## 3.11 Classificazione suolo da correlazione

Nella fase di stima della categoria del suolo il software carica in automatico i dati della prova corrente.

Se nella prova corrente è stata definita una stratigrafia, individua in automatico: **Profondità**, **Descrizione**, **Qc**, **fs**, **Tipo** (coesivo, incoerente o coesivo-incoerente), **Autore**, **Vs** e **Cu**.

I dati caricati in automatico possono essere comunque modificati indipendentemente dai dati della prova che si sta elaborando.

## Parametri geotecnici:

I parametri geotecnici necessari alla classificazione dei suoli sono calcolati dal software tramite il comando Calcola.

Oppure, sono assegnati dall'utente e il programma stima la categoria di suolo in base ai valori attribuiti.

Nella tabella **Range Categorie Suolo** è possibile impostare i valori minimi e massimi dei parametri geotecnici che individuano la classe del suolo.

26

## 3.12 Classificazione suolo da prova sismica

## Prova penetrometrica statica con piezocono sismico (SCPTU)

Tramite il piezocono sismico si ha a disposizione un sistema molto rapido ed economico per determinare: stratigrafia dettagliata, parametri geotecnici e velocità delle onde di taglio.

Il piezocono sismico permette di determinare, in contemporanea ai parametri di una prova penetrometrica statica (qc, fs, U), le velocità delle onde di taglio (Vs). Esso è costituito da geofoni triassiali ortogonali tra di loro secondo le direzioni X, Y e Z.

L'utilizzo di due accelerometri posti ortogonalmente tra di loro consente di acquisire un segnale significativo dell'onda sismica a prescindere dall'orientamento della sonda (durante la fase di infissione non è possibile mantenere un orientamento).

Il sistema di energizzazione deve generare prevalentemente onde di taglio a larga ampiezza con poche componenti compressionali.

L'analisi del segnale avviene graficizzando i singoli segnali registrati dai geofoni triassiali.



Per la valutazione dei tempi di arrivo si può utilizzare il metodo crossover della sovrapposizione di due segnali polarizzati. Dai valori dei tempi di arrivo sono state calcolate le Vs relative al tratto sorgente-geofono e successivamente le Vs nel livello litologico.

Per la classificazione del suolo si è fatto riferimento al parametro Vs30 corrispondente alla velocità delle onde di taglio nei primi 30 metri.

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{(i=1,N)} \frac{h_i}{V_i}}$$

Dove hi e Vi indicano lo spessore e la velocità delle onde di taglio per N strati presenti in 30 metri.

Per la stima delle categorie di profilo stratigrafico abbiamo fatto riferimento alle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.

## 3.13 Portanza e cedimenti

#### Portanza fondazioni superficiali

Calcolo della portanza limite e ammissibile di fondazioni superficiali secondo gli autori sotto riportati:

- Terzaghi & Peck
- Meyerhof
- Schmertmann
- Herminier

## Portanza fondazioni profonde

Permette di calcolare la portanza di fondazioni profonde (pali infissi) in tonnellate, attraverso la relazione di Meyerhof, utilizzando la similitudine di infissione della sonda penetrometrica con i pali infissi.

## 3.14 Parametri caratteristici con CvSoil

## Parametri caratteristici con CVsoils

Static consente di definire due stratigrafie: una stabilita dall'utente sulla base del numero di colpi, l'altra su passo strumentale.

La stratigrafia su passo strumentale è molto utile in quanto vengono restituiti al passo i parametri geotecnici, i quali possono essere esportati dal comando **Esporta per altri software GeoStru**, selezionando file xlm per CVsoils .

Questi file possono essere esportati per il nuovo programma della GeoStru, **'CVsoils'**, per la determinazione dei parametri geotecnici caratteristici.

Per potere eseguire l'elaborazione su passo strumentale è necessario:

- a) definire in fase di immissione dati, oltre alla stratigrafia utente, anche la stratigrafia su passo strumentale;
- b) **ATTENZIONE**: Prima di definire la stratigrafia su passo strumentale salvare la stratigrafia utente, tramite il comando evidenziato in figura.

•							
x=4.991	1 y=1.869	🕞 St	ratigrafia Grafico	valutazioni litol	ogiche <mark>Li</mark>	tologia istantanea	
Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm²)	fs Save Media (Kg/cm²)	Gamma Medio (t/m³)	Comp. Geotecnico	Texture	Descrizione	
0.2	4.0	0.3	1.7	Incoerente	n ah, ah, ah, a ah, ah, ah, ah,	Torbe	1
0.6	6.5	0.3	1.8	Incoerente		Argille	
1.4	15.3	0.6	1.9	Incoerente-Coe		Limi argillosi e limi	
1.6	14.0 c) esegu	0.3 Iire la Riel	1.9 laborazione.	Incoerente-Coe		Limi e limi sabbiosi	

Per esportare per **CVSOIL** selezionare esporta in formato XLM Cvsoil.

#### Parametri caratteristici con Static

Dal menu Dati generali, Calcolo qc, è possibile scegliere come valutare qc nello strato. Inoltre è possibile selezionare molte opzioni, tra queste un particolare chiarimento a:

## Distribuzione normale R.N.C.

Il valore di  $q_{c,k}$  viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, secondo la seguente relazione:

$$qc_{k} = qc_{medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{ac})$$

dove  $s_{ac}$  è la deviazione standard di qc.

## Distribuzione normale R..C.

Il valore di  $q_{c,k}$  viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, trattando i valori medi di qc distribuiti normalmente:

$$qc_{k} = qc_{medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{qc}) \sqrt{n}$$

dove n è il numero di campioni.

La prima distribuzione fornisce i valori prossimi ai minimi, la seconda invece quelli prossimi ai medi.

## 3.15 Cenni teorici

#### 3.15.1 Correlazioni geotecniche

3.15.1.1 Terreni incoerenti

3.15.1.1.1 Angolo di attrito

*(Durgunouglu-Mitchell 1973-1975)* Per sabbie N.C. e S.C. non cementate

*Meyerhof 1951)* Per sabbie N.C. e S.C. (Caquot)

Per sabbie N.C. e S.C. non cementate e per prof. > 2 mt. in terreni saturi o > 1 mt. non saturi

(Koppejan) Per sabbie N.C. e S.C. non cementate e per prof. > 2 mt. in terreni saturi o > 1 mt. non saturi

(De Beer 1965-1967) Per sabbie N.C. e S.C. non cementate e per prof. > 2 mt. in terreni saturi o > 1 mt. non saturi

*(Robertson & Campanella 1983)* Per sabbie non cementare quarzose

*(Schmertmann 1977-1982)* Per varie litologie (correlazione che generalmente sovrastima il valore)

#### 3.15.1.1.2 Densità relativa

Densità Relativa (*Baldi ed altri 1978-1983 - Schmertmann 1976*) Per sabbie NC non cementate

Densità Relativa (Schmertmann)

Densità Relativa (Harman 1976)

Densità Relativa (Lancellotta 1983)

Densità Relativa (Jamiolkowski 1985)

Densità Relativa *(Larsson 1995)* Per sabbie omogenee non gradate

Stato di Addensamento (A.G.I. 1977)

3.15.1.1.3 Modulo di Young

Modulo di Young (Schmertmann 1970-1978) Ey (25) - Ey(50)

Modulo secante riferito rispettivamente al 25 % e 50 % del valore di rottura – prima fase della curva carico/deformazione

Modulo di Young *(sabbia di Hokksund)* - Parkin ed altri 1980 - Ey (25) - Ey (50) Per sabbie NC e SC

Modulo di Young secante drenato Ey (25) – Ey(50) *Robertson & Campanella (1983)* Per sabbie NC quarzose

Modulo di Young *(ISOPT-1 1988)* Ey (50) Per sabbie OC sovraconsolidate e SC

3.15.1.1.4 Modulo edometrico

Modulo Edometrico (Robertson & Campanella) da Schmertmann

Modulo Edometrico (Lunne-Christoffersen 1983 - Robertson and Powell 1997)

Valido per sabbie NC

Modulo Edometrico (Kulhawy-Mayne 1990)

Modulo Edometrico (Mitchell & Gardner 1975)

Modulo Edometrico (Buisman - Sanglerat)

Modulo Edometrico (ENEL - CRIS ed altri 1983)

Modulo Edometrico (Chapman e Donald 1981)

Modulo Edometrico (valore medio degli autori su suoli incoerenti)

3.15.1.1.5 Peso di volume

Peso Unità di Volume (t/mc) Per sabbia sciolta e densa

Peso Unità di Volume saturo (t/mc) Per sabbia sciolta e densa

3.15.1.1.6 Modulo di deformazione di taglio

G (kg/cmq) *(Ohsaki & Iwasaki)* Elaborazione valida per sabbie con fine plastico e sabbie pulite.

*Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)* Elaborazione valida soprattutto per sabbie e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

3.15.1.1.7 Potenziale di liquefazione

Verifica alla liquefazione dei suoli incoerenti *(Metodo di Robertson e Wride* 1997 – C.N.R. – GNDT) Coefficiente di sicurezza relativo alle varie zone sismiche I-I-III-IV cat.

**N.B.** La liquefazione è assente per Fs >= 1,25, possibile per Fs=1,0-1,25 e molto probabile per Fs < 1.

3.15.1.1.8 Coefficiente di consolidazione

Coefficiente di Consolidazione Cv (Piacentini-Righi, 1988)

3.15.1.1.9 Permeabilità

Coefficiente di Permeabilità K (Piacentini-Righi, 1988).

#### 3.15.1.2 Terreni coesivi

3.15.1.2.1 Coesione non drenata

Coesione non drenata (Lunne & Eide)

Coesione non drenata (Rolf Larsson SGI 1995)

Coesione non drenata (*Baligh ed altri 1976-1980*) In tale elaborazione occorre inserire il valore di Nk (generalmente variabile da 11 a 25)

Coesione non drenata (Marsland 1974-Marsland e Powell 1979)

Coesione non drenata Sunda (relazione sperimentale)

Coesione non drenata (Lunne T.-Kleven A. 1981)

Coesione non drenata (Kjekstad. 1978 - Lunne, Robertson and Powell 1977)

Coesione non drenata (*Terzaghi - valore minimo*) Coesione non drenata (*Begemann*)

Coesione non drenata *(De Beer)* Valida per debole coesione.

3.15.1.2.2 Indice di compressione C e coefficiente di consolidazione Cv

Indice di Compressione Vergine Cc (Schmertmann)

Indice di Compressione Vergine Cc (Schmertmann 1978)

Fattore di compressibilità ramo di carico C (*Piacentini-Righi Inacos* 1978)

Fattore di compressibilità medio ramo di carico Crm (*Piacentini-Righi Inacos 1978*)

Coefficiente di Consolidazione Cv (Piacentini-Righi 1988)

3.15.1.2.3 Modulo edometrico

Mitchell - Gardnerr (1975) Mo (Eed) (Kg/cmq) per limi e argille.

Metodo generale del modulo edometrico.

Buisman correlazione valida per limi e argille di media plasticità.

Buisman e Sanglerat valida per litotipi argille compatte.

3.15.1.2.4 Modulo di deformazione non drenato

Modulo di deformazione non drenato Eu (Cancelli ed altri 1980)

Modulo di deformazione non drenato Eu (Ladd ed altri 1977) Inserire valore n30 < n < 1500

#### 3.15.1.2.5 Peso di volume

Peso di Volume terreni coesivi (t/mq)

Peso di Volume saturo terreni coesivi (t/mq)

#### 3.15.1.2.6 OCR

Grado di Sovraconsolidazione OCR - (metodo Stress-History)

Grado di Sovraconsolidazione OCR (*P.W. Mayne 1991*) Per argille ed argille sovraconsolidate

Grado di Sovraconsolidazione OCR (Larsson 1991 S.G.I.)

Grado di Sovraconsolidazione OCR (Piacentini-Righi Inacos 1978)

OCR - (*Ladd e Foot - Ladd ed altri 1977*) Valido per argille NC

OCR - (Ladd e Foot)

3.15.1.2.7 Permeabilità

Coefficiente di Permeabilità K (Piacentini-Righi, 1988).

#### 3.15.2 Modulo di taglio G

La teoria dell'elasticità mette in relazione il modulo di taglio (G), con la densità del suolo (r) e la velocità delle onde (Vs):

 $G = \rho \times Vs2$ 

Quindi il modulo di taglio è in relazione con le velocità delle onde di taglio.

Il modulo di taglio ha valori più alti per bassi livelli di sforzo e decresce con l'aumentare degli sforzi di taglio.



Stima del modulo di taglio a basse deformazioni (G0) con correlazioni empiriche.

**Rix & Stokoe (1991)** 

$$Go = K \times (qc)^a \times (\sigma' v 0)$$

Per le sabbie: K=1634; a=0.25; b=0.375

Mayne & Rix (1993)

 $Go = K \times (qc)^a \times (e)^b$ 

Per le argille: K=406; a=0.695;b=-1.13, e: indice dei vuoti

### 3.15.3 Categorie di sottosuolo e condizioni

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (*Tab. 3.2.II e 3.2.III*).

Са	Descrizione	
te		
go		
ria		
Α	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi	
	caratterizzati da valori di Vs,30 superiori a 800 m/s,	
	eventualmente comprendenti in superficie uno strato di	
	alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.	
В	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 Vs,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).	
С	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o	
	terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori	
	superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale	
	miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	
	e da valori di Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s	
	(ovvero 15 < NSPT,30 < 50 nei terreni a grana grossa e 70	
	< cu,30 < 250 kPa nei terreni a grana fina).	
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente ad densati	
	o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con	
	spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale	
	miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità	
	e da valori di Vs,30 inferiori a 180 m/s (ovvero NSPT,30 <	
	15 nei terreni a grana grossa e cu,30 < 70 kPa nei terreni	
	a grana fina).	
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non	
	superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con Vs	
	> 800 m/s).	

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

Fatta salva la necessità della caratterizzazione geotecnica dei terreni nel volume significativo (si intende la parte di sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso), ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente Vs,30 di propagazione delle onde di taglio (definita successivamente) entro i primi 30 m di profondità. Per le fondazioni superficiali, tale profondità è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dei pali. Nel caso di piano di imposta della fondazione.

La misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio è fortemente raccomandata. Nei casi in cui tale determinazione non sia disponibile, la classificazione può essere effettuata in base ai valori del numero equivalente di colpi della prova penetrometrica dinamica (Standard Penetration Test)

NSPT,30 (definito successivamente) nei terreni prevalentemente a grana grossa e della resistenza non drenata equivalente cu,30 (definita successivamente) nei terreni prevalentemente a grana fina.

Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definite al § 3.2.3 delle presenti norme.

Per sottosuoli appartenenti alle ulteriori categorie S1 ed S2 di seguito indicate (Tab. 3.2.III), è necessario predisporre specifiche analisi per la definizione delle azioni sismiche, particolarmente nei casi in cui la presenza di terreni suscettibili di liquefazione e/o di argille d'elevata sensitività possa comportare fenomeni di collasso del terreno.

Cat ego ria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di Vs,30 inferiori a 100 m/s (ovvero 10 < cu,30 < 20 kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Tabella 3.2.III –	Categorie	aggiuntive	di sottosuolo.
-------------------	-----------	------------	----------------

La velocità equivalente delle onde di taglio Vs,30 è definita dall'espressione

$$V_{S,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{S_i}}} [m/s]$$

La resistenza penetrometrica dinamica equivalente NSPT,30 è definita dall'espressione

$$N_{SPT,30} = \frac{\sum_{i=1,M} h_i}{\sum_{i=1,M} \frac{h_i}{N_{SPT,i}}}$$

La resistenza non drenata equivalente cu,30 è definita dall'espressione

$$C_{u,30} = \frac{\displaystyle{\sum_{i=1,K}} h_i}{\displaystyle{\sum_{i=1,K}} \frac{h_i}{C_{u,i}}}$$

Nelle precedenti espressioni si indica con:

hi spessore (in metri) dell'i-esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità;

VS,i velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

NSPT, i numero di colpi NSPT nell'i-esimo strato;

cu,i resistenza non drenata nell'i-esimo strato;

N numero di strati compresi nei primi 30 m di profondità;

M numero di strati di terreni a grana grossa compresi nei primi 30 m di profondità;

K numero di strati di terreni a grana fina compresi nei primi 30 m di profondità.

Nel caso di sottosuoli costituiti da stratificazioni di terreni a grana grossa e a grana fina, distribuite con spessori confrontabili nei primi 30 m di profondità, ricadenti nelle categorie da A ad E, quando non si disponga di misure dirette della velocità delle onde di taglio si può procedere come segue:

- determinare NSPT,30 limitatamente agli strati di terreno a grana grossa compresi entro i primi 30m di profondità;

- determinare cu,30 limitatamente agli strati di terreno a grana fina compresi entro i primi 30 m di profondità; - individuare le categorie corrispondenti singolarmente ai parametri NSPT,30 e cu,30 ;

- riferire il sottosuolo alla categoria peggiore tra quelle individuate al punto precedente.

#### 3.15.4 Liquefazione

Il metodo di **Seed e Idriss** (1982) è il più noto e utilizzato dei metodi semplificati e richiede solo la conoscenza di pochi parametri geotecnici: la granulometria, il numero dei colpi nella prova SPT, la densità relativa, il peso di volume.

Per determinare il valore del coefficiente riduttivo rd viene utilizzata la formula empirica proposta da **Iwasaki** et al. (1978):

$$r_d = 1 - 0.015z$$

mentre per il fattore correttivo MSF si veda la Tabella 1 dove viene riportato il valore di questo fattore ottenuto da vari ricercatori, tra cui **Seed H. B. e Idriss I. M** (1982).

Magnitudo	Seed H. B. & Idriss I. M. (1982)				
5.5	1.43				
6.0	1.32				
6.5	1.19				
7.0	1.08				
7.5	1.00				
8.0	0.94				
8.5	0.89				

Tabella 1 - Magnitudo Scaling Factor

La resistenza alla liquefazione **CRR**, viene calcolata in funzione della magnitudo, del numero di colpi, della pressione verticale effettiva, della densità relativa.

Si ottiene un grafico (Fig. 1) ottenuto selezionando i casi di terreni in cui si è avuta liquefazione e non liquefazione durante i terremoti.

Si calcola inizialmente il numero dei colpi corretto alla quota desiderata per tenere conto della pressione litostatica mediante la seguente espressione:

$$(N_{1.60}) = C_N \cdot N_m$$

dove:

 $\mathbf{N}_{m}$  è il numero medio dei colpi nella prova penetrometrica standard SPT;  $\mathbf{C}_{N}$  è un coefficiente correttivo che si calcola mediante la seguente espressione:

$$C_{N} = \left(\frac{Pa}{\sigma'_{v0}}\right)^{0.5}$$

dove:

σ'<sub>vo</sub> è la pressione verticale effettiva; **Pa** la pressione atmosferica espressa nelle stesse unità di σ'<sub>vo</sub>;

 ${f n}$  un'esponente che dipende dalla densità relativa del terreno (Fig. 2).





Figura 2 – Coefficiente correttivo C<sub>N</sub>

E' stato dimostrato che per un terremoto di magnitudo pari a 7,5 CRR è:

$$CRR \approx \frac{N_{1.60}}{90}$$

Si applica quindi la:

$$F_{S} = \frac{CRR}{CSR}$$

se  $F_S > 1,3$  il deposito non è liquefacibile.

Gli Autori hanno precisato che questa procedura è valida per sabbie con D50 > 0,25 mm; per sabbie limose e limi suggeriscono di correggere ulteriormente il valore di  $N_{1.60}$ :

$$(N_{1.60})_{CS} = N_{1.60} + 7.5$$

## 3.15.5 Bibliografia

F. Cestari *Prove Geotecniche in sito* – ed. GEO-GRAPH 1990 M. Casadio *Il Manuale del Geologo* – Pitagora Editrice

Di Martino Geotecnica Stradale

P. Focardi *Prove in sito* – Geologia Tecnica 1982

Piacentini – Righi Valutazione Compressibilità dei terreni e Consolidamento in base ai risultati di prove penetrometriche statiche – Inarcos Bologna

P. Ventura Interpretazione delle prove penetrometriche statiche tramite punta piezometrica

Pelli – Ottaviani Definizione della resistenza non drenata delle argille del Mare Adriatico mediante prove penetrometriche statiche - R.I.G. 1992

G. Sanglerat Le Penetrometre et la reconnoissance des soils – Dunod Paris 1965

G. Sanglerat The Penetrometre and soil exploration – ESPC 1972

A. Flora Introduzione alle Indagini Geotecniche – Helvelius Edizioni

C. Guidi Geotecnica e Tecnica delle Fondazioni – Vol. I-II – Hoepli (1975)

F. Gambini *Manuale dei Piloti* – Ed. Scac

Herminier Theory for the interpretation of penetration test data – Annales I.T.B.T.P. – Congress of Zurich 1953)

Bellotti-Jamiolkowski-Ghionna-Pedroni

Penetrometro Statico - terreni non coesivi - Atti Convegno Naz. Geotecnica 1983 R. Lancellotta Penetrometro Statico - terreni coesivi - Atti Convegno Naz. Geotecnica 1983 R. Lancellotta Meccanica dei Terreni – Elementi di Geotecnica – L.E.U. Torino S.G.S. Recommended Standard for Cone Penetration Tests – June 1992 Sunda Strumentazione Geotecnica Manuale Uso Penetrometro Statico M. Carter (1983) Geotechnical engineering-Handbook-Pentech Press-London F. Colleselli-Soranzo (1980) Esercitazioni di Geotecnica - Ed. Cleup - Padova R.F. Craig (1985) Soil mechanics – Van Notraan Reinhold (UH) Co.Ltd R.E. Hunt (1986) Geotechnical engineering techniques and practices – MeGraw- Hill – Inc. USA M. Pellegrini (1982) Geologia Applicata - Ed. Pitagora - Bologna G. Pilot (1982) Foundation engineering – Ecole national des ponts et chausees – Paris A.G.I. (1977) Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche - AGI - Roma Larsson R. (1985) The CPT test Equipment - testing - evaluation. An situ method for

determination of stratigraphy and properties in soil profiles – S.G.I.

P. Mayne (1992) *Tentative method for estimation Gvo from Qc data in sand* – Potsdam NY 1991

Lunne, P.K. Robertson and Powell J.J.M. (1997) Cone Penetration Test in Geotechnical Pratice – B.A. & P.

T. Lunne, A. Kleven (1981) Role of CPT in North Sea foundation engineering – Session ASCE Nationali Convetion – S. Louis

T. Lunne, Christoffersen H.P. (1985) Interpretation of Cone Penetration Data for Offshore Sands – Norwegian Geotechnical Institute 1985 - Pbl. 156

Jamiolkowski M. et al (1985)

*New developments in field and laboratory testing of soils – International Conference On Soil Mechanics and Foundation Engineering –* A.A. Balkema

Kulhawy F.H., Mayne P.H. (1990) Manual on estimating soil properties for foundation design – Electric Power Research Institute 1990

Robertson P.K., Campanella R.G., Greig J. et al. (1986) Use of piezometer cone data – Use in situ tests in Geotechnical Engineering - ASCE Conference 1986

Robertson P.K., Campanella R.G. (1983) Interpretation of cone penetration test – Canadian Geotechnical Journal – 20(4)

## 3.16 Geoapp

## Geoapp: la più grande suite del web per calcoli online

Gli applicativi presenti in <u>Geostru Geoapp</u> sono stati realizzati a supporto del professionista per la soluzione di molteplici casi professionali. Geoapp comprende oltre 40 <u>applicazioni</u> per: Ingegneria, Geologia, Geofisica, Idrologia e Idraulica. La maggior parte delle applicazioni sono gratuite, altre necessitato di una sottoscrizione (subscription) mensile o annuale.

Perchè si consiglia la subscription?

Perchè una subscription consente di:

- usare applicazioni professionali ovunque e su qualunque dispositivo;
- salvare i file in cloud e sul proprio PC;
- riaprire i file per elaborazioni successive;
- servizi di stampa delle relazioni ed elaborati grafici;
- notifica sull'uscita di nuove applicazioni ed inclusione automatica nel proprio abbonamento;
- disponibilità di versioni sempre aggiornate;
- servizio di assistenza tramite Ticket.

#### 3.16.1 Sezione Geoapp

## Generale ed Ingegneria, Geotecnica e Geologia

Tra le applicazioni presenti, una vasta gamma può essere utilizzata per **Static**. A tale scopo si consigliano i seguenti applicativi:

- ➢ Formulario NSPT
- Classificazione suoli NTC2018
- Classificazione delle terre SMC
- Geostru Maps