

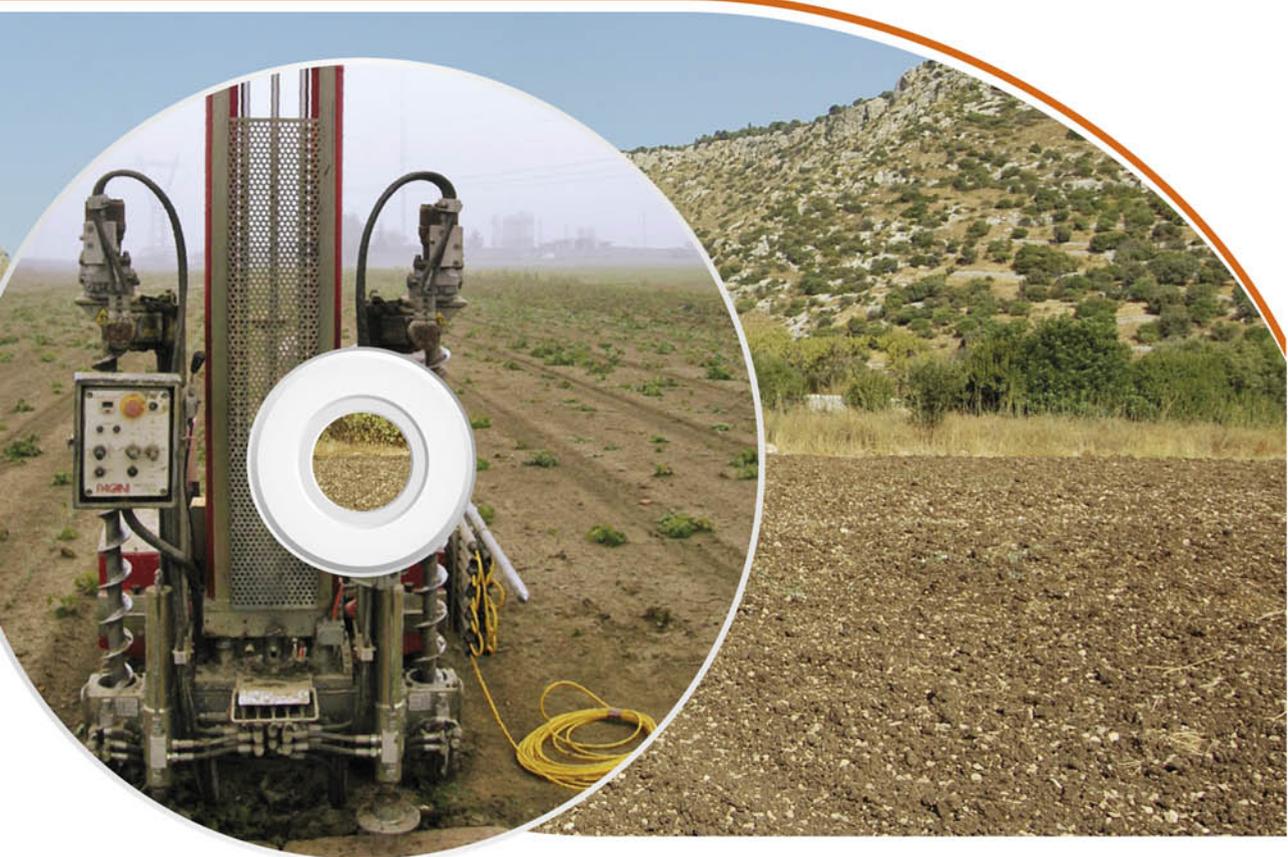
Alberto Bruschi

# P.G.S.

## INTERPRETAZIONE DI PROVE GEOTECNICHE IN SITO

con software modulare integrato per le prove  
SPT · DP · CPTM · CPTE/U · DMT

[Scheda sul sito >](#)



### Il software P.G.S.

Caratterizzazione geotecnica dei terreni attraverso le prove in sito dinamiche, statiche, dilatometriche e loro applicazione alla verifica della liquefacibilità del sito nonché di fondazioni dirette e su pali tramite metodi diretti

ALBERTO BRUSCHI

**P.G.S.**  
**Interpretazione di prove geotecniche in sito**  
**Un software modulare integrato per le prove**  
**SPT – DP – CPTM – CPTE/U – DMT**



Dario Flaccovio Editore

Alberto Bruschi

P.G.S. INTERPRETAZIONE DI PROVE GEOTECNICHE IN SITO

Un software modulare integrato per le prove SPT – DP – CPTM – CPTE/U – DMT

ISBN 978-88-579-0155-8

© 2012 by Dario Flaccovio Editore s.r.l. - tel. 0916700686

[www.darioflaccovio.it](http://www.darioflaccovio.it)    [info@darioflaccovio.it](mailto:info@darioflaccovio.it)

Prima edizione: settembre 2012

Bruschi, Alberto <1942>

P.G.S. : interpretazione di prove geotecniche in sito : un software modulare integrato per le prove SPT-DP-CPTM-CPTE/U-DMT / Alberto Bruschi. - Palermo : D. Flaccovio, 2012.

ISBN 978-88-579-0155-8

1. Geotecnica.

624.151 CDD-22

SBN Pal0247027

*CIP - Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"*

Stampa: Tipografia Priulla, Palermo, settembre 2012.

Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

L'editore dichiara la propria disponibilità ad adempiere agli obblighi di legge nei confronti degli aventi diritto sulle opere riprodotte.

La fotocopiatura dei libri è un reato.

Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume/fascicolo di periodico dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633. Le riproduzioni effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale possono essere effettuate solo a seguito di specifica autorizzazione rilasciata dagli aventi diritto/dall'editore.

# Indice

*Premessa*

*Lista dei principali simboli utilizzati*

PARTE PRIMA  
Aspetti teorici applicativi

**Capitolo 1 – Stato delle metodologie di indagine in situ**

1.1. Cenni introduttivi ..... » 3

**Capitolo 2 – Prove penetrometriche dinamiche – Prova SPT**

2.1. Cenni storici ..... » 13

2.2. Attrezzatura di prova ..... » 14

2.3. Procedura di prova ..... » 16

2.3.1. Controllo e calibrazione dell’attrezzatura ..... » 16

2.3.2. Preparazione del foro di sondaggio ..... » 17

2.3.3. Esecuzione della prova ..... » 17

2.3.4. Regole di sicurezza ..... » 18

2.3.5. Restituzione dei risultati ..... » 18

2.3.6. Fattori di correzione per la normalizzazione di N ..... » 19

2.3.7. La determinazione di  $E_R$  ..... » 22

2.3.8. Considerazioni generali sulla prova SPT ..... » 25

2.3.9. Vantaggi e svantaggi della prova ..... » 29

2.3.10. Fonti di errore nella prova SPT ..... » 29

2.3.11. Ripetibilità della prova SPT ..... » 30

**Capitolo 3 – Prove penetrometriche dinamiche – Prova DP**

3.1. Cenni introduttivi ..... » 31

3.2. Attrezzatura di prova ..... » 31

3.3. Procedura di prova ..... » 33

3.3.1. Controllo e calibrazione dell’attrezzatura ..... » 33

3.3.2. Preparazione della prova .....	»	34
3.3.3. Esecuzione della prova.....	»	34
3.3.4. Regole di sicurezza.....	»	35
3.3.5. Restituzione dei risultati .....	»	35
3.4. Conversioni da $N_{DP}$ a $N_{SPT}$ .....	»	37
3.5. Normalizzazione di $N_{DP}$ .....	»	38
3.6. Correlazione di prove $DP_{SH}$ con la litologia del terreno attraversato.....	»	39
3.7. Smussamento dei valori anomali .....	»	41
3.8. Fonti d'errore nelle prove dinamiche.....	»	42
3.9. Interpretazione delle prove $DP$ .....	»	45
3.10. Conversione da $q_c$ a $N_{SPT}$ (e viceversa) .....	»	46
3.11. Ripetibilità della prova.....	»	47

#### Capitolo 4 – Prove penetrometriche statiche (CPT)

4.1. Cenni storici.....	»	49
4.2. La prova $CPTM$ con punta Begemann.....	»	52
4.2.1. Smussamento dei valori anomali.....	»	53
4.2.2. Identificazione della litologia per le prove $CPTM$ .....	»	53
4.2.3. Problematiche legate all'utilizzo della prova $CPTM$ .....	»	55
4.2.4. Diffusione della prova $CPTM$ in Italia .....	»	57
4.3. La prova $CPTU$ con punta elettrica e piezocono .....	»	57
4.3.1. La standardizzazione internazionale.....	»	57
4.3.2. Interpretazione generica delle prove $CPT$ .....	»	58
4.3.3. Attrezzatura di prova .....	»	59
4.3.3.1. Calibrazione dell'attrezzatura di prova.....	»	60
4.3.3.2. Esecuzione della prova .....	»	60
4.3.3.3. Saturazione del filtro poroso e della punta.....	»	61
4.3.3.4. Influenza della pressioni nei pori.....	»	62
4.3.3.5. Influenza della posizione del filtro sulla misura della pressione interstiziale.....	»	63
4.3.4. Identificazione della litologia per le prove $CPT_E$ .....	»	64
4.3.4.1. Il grafico di Olsen (1984-1997) .....	»	64
4.3.4.2. Il grafico di Robertson e Campanella (1983).....	»	66
4.3.5. Identificazione della litologia per le prove $CPT_U$ .....	»	67
4.3.5.1. Il metodo di Robertson e Campanella (1990).....	»	67
4.3.5.2. Il metodo di Jefferies e Davies (1993).....	»	68
4.3.5.3. Criterio di Fellenius ed Eslami (2000).....	»	69
4.3.5.4. Caratterizzazione di Zhang e Tumay (1999).....	»	70
4.3.6. Contenuto di fini (%) $FC$ .....	»	70
4.3.7. Conversione da $q_c$ a $N_{SPT}$ (e viceversa) .....	»	70
4.3.8. Vantaggi e svantaggi della prova $CPT$ .....	»	71

**Capitolo 5 – Prove dilatometriche (DMT)**

5.1. Cenni storici.....	»	73
5.2. Attrezzatura e modalità di prova.....	»	74
5.3. Identificazione della litologia dalle prove DMT.....	»	75
5.4. I parametri intermedi.....	»	77
5.4.1. Indice di spinta orizzontale $K_D$ .....	»	77
5.4.2. Modulo dilatometrico $E_D$ .....	»	77
5.4.3. Vantaggi e svantaggi della prova DMT.....	»	77

**Capitolo 6 – Applicazioni – Metodi diretti**

6.1. Capacità portante di fondazioni superficiali.....	»	79
6.1.1. Stima della capacità portante da prove SPT-DP.....	»	79
6.1.1.1. Metodo di Bowles.....	»	79
6.1.2. Stima della capacità portante da prove CPTM.....	»	80
6.1.2.1. Metodo di Schmertmann (1978).....	»	80
6.1.2.2. Metodo di Meyerhof (1976).....	»	80
6.1.2.3. Metodo di Eslami e Gholami (2002).....	»	80
6.1.3. Stima della capacità portante da prove DMT.....	»	81
6.2. Cedimenti di fondazioni superficiali.....	»	82
6.2.1. Stima dei cedimenti da prove SPT-DP.....	»	82
6.2.1.1. Metodo di Parry (1971).....	»	82
6.2.1.2. Metodo di Schultze e Sherif (1973).....	»	83
6.2.1.3. Metodo di Peck-Hanson-Thornburn (1974).....	»	84
6.2.1.4. Metodo di Burland e Burbidge (1985).....	»	84
6.2.1.5. Metodo di Anagnostopoulos (1991).....	»	86
6.2.2. Stima dei cedimenti da prove CPTM.....	»	87
6.2.2.1. Metodo di Schmertmann.....	»	87
6.2.3. Stima dei cedimenti da prove dilatometriche DTM.....	»	89
6.3. Capacità portante di fondazioni su pali.....	»	90
6.3.1. Stima della capacità portante da prove SPT-DP.....	»	90
6.3.1.1. Metodo di Decourt e Quaresma (1978).....	»	90
6.3.1.2. Metodo di Meyerhof (1976-1983).....	»	91
6.3.1.3. Metodo di Briaud e Tucker (1984).....	»	91
6.3.1.4. Metodo di Reese e O'Neill (1989).....	»	92
6.3.1.5. Metodo di Mandolini (1997).....	»	94
6.3.1.6. Metodo del Florida Department of Transportation (2005).....	»	94
6.3.2. Stima della capacità portante da prove CPTM.....	»	95
6.3.2.1. Metodo di Schmertmann (1978).....	»	95
6.3.2.2. Metodo di Philipponat (1980).....	»	96
6.3.2.3. Metodo di Bustamante e Gianeselli – LCPC (1982).....	»	97
6.3.3. Stima della capacità portante da prove DMT.....	»	99

6.3.4. Stima della capacità portante da prove CPTe-CPTU.....	» 100
6.3.4.1. Metodo di Mandolini (1997).....	» 100
6.3.4.2. Metodo di Takesue (1998).....	» 100
6.3.4.3. Metodo dell'Imperial College di Londra (1996, 2005) ....	» 101
6.3.4.4. Metodo FUGRO (2004, 2005).....	» 103
6.3.4.5. Metodo NGI (2004, 2005).....	» 104
6.3.4.6. Metodo UWA (2004, 2005, 2007).....	» 105
6.3.4.7. Metodo di Togliani (2007, 2009).....	» 106
 <b>Capitolo 7 – Liquefacibilità del terreno</b>	
7.1. Cenni introduttivi.....	» 109
7.2. Normativa.....	» 109
7.3. Il rapporto CSR.....	» 110
7.3.1. Il fattore $r_d$ .....	» 110
7.3.2. Il fattore $MSF$ .....	» 112
7.3.3. Il fattore $K_\sigma$ .....	» 112
7.4. Il rapporto CRR dalla prova SPT/DP – parametro indice $N_{1,60,cs}$ .....	» 113
7.5. Il rapporto CRR dalla prova CPT – parametro indice $q_{c1,N,cs}$ .....	» 115
7.6. Il rapporto CRR dalla prova DMT – parametro indice $K_D$ .....	» 117
7.7. I metodi probabilistici.....	» 118
7.8. I metodi probabilistici: la probabilità di liquefazione.....	» 119
7.9. L'indice del potenziale di liquefazione LPI.....	» 120
7.10. L'indice di severità della liquefazione LS.....	» 121

## PARTE SECONDA

## Manuale d'uso

<b>Capitolo 1 – Installazione ed attivazione</b> .....	» 125
1.1. Requisiti minimi di sistema.....	» 125
1.2. Installazione del programma.....	» 125
1.3. Disinstallazione del programma.....	» 125
1.4. Attivazione del programma.....	» 125
1.4.1. Sistema di protezione.....	» 126
1.4.2. Istruzioni per l'attivazione del software.....	» 126
1.5. Assistenza tecnica.....	» 126
 <b>Capitolo 2 – Ambiente di lavoro</b>	
2.1. Controlli sui dati di input.....	» 127
2.2. Errori e problemi.....	» 127
2.3. Comandi presenti.....	» 127

**Capitolo 3 – Il programma madre PGS (acronimo per Prove Geotecniche in Sito)**

3.1. Cenni introduttivi.....	» 129
------------------------------	-------

**Capitolo 4 – Il modulo SPT (Standard Penetration Test)**

4.1. Operazioni iniziali.....	» 133
4.2. Inserimento dei dati .....	» 138
4.3. Proprietà geotecniche.....	» 142
4.4. Caratterizzazione geotecnica .....	» 150
4.5. Analisi dirette.....	» 152
4.5.1. Analisi di fondazione diretta (solo per plinti).....	» 153
4.5.2. Analisi di fondazione su pali .....	» 155
4.6. Analisi liquefazione .....	» 158
4.7. Rielaborazione di una prova .....	» 163
4.8. Raffronti tra due o più prove.....	» 163

**Capitolo 5 – Il modulo DP (Prove penetrometriche dinamiche continue)**

5.1. Operazioni iniziali.....	» 167
5.2. Inserimento dei dati .....	» 170
5.3. Parametri geotecnici .....	» 181
5.4. Caratterizzazione geotecnica .....	» 190
5.5. Analisi diretta.....	» 192
5.5.1. Analisi di fondazione diretta (solo per plinti).....	» 192
5.5.2. Analisi di fondazione su pali .....	» 194
5.6. Analisi liquefazione .....	» 197
5.7. Raffronti tra più prove .....	» 204

**Capitolo 6 – Il modulo CPT (Prove penetrometriche statiche meccaniche)**

6.1. Operazioni iniziali.....	» 207
6.2. Inserimento dei dati .....	» 210
6.3. Proprietà geotecniche.....	» 217
6.4. Caratterizzazione geotecnica .....	» 228
6.5. Analisi dirette.....	» 230
6.5.1. Analisi di fondazione diretta (solo per plinti).....	» 231
6.5.2. Analisi di fondazione su pali .....	» 233
6.6. Analisi liquefazione .....	» 235
6.7. Raffronti tra le prove.....	» 241

**Capitolo 7 – Il modulo CPTe/U (Prove penetrometriche statiche elettriche o con piezocono)**

7.1. Preparazione dei dati della prova importati dal registratore in formato excel .....	» 245
7.1.1. Prova CPTU.....	» 245

X

P.G.S. Interpretazione di prove geotecniche in sito

7.1.2. Prova CPTe .....	» 252
7.2. Operazioni iniziali.....	» 252
7.3. Inserimento dei dati .....	» 255
7.4. Proprietà geotecniche.....	» 258
7.5. Preparazione dei dati della prova di dissipazione importati dal registratore in formato excel .....	» 269

**Capitolo 8 – Il modulo DMT (Prove dilatometriche)**

8.1. Operazioni iniziali.....	» 273
8.2. Inserimento dei dati .....	» 276
8.3. Proprietà geotecniche.....	» 282
8.4. Analisi diretta.....	» 287
8.4.1. Analisi di fondazione diretta (solo per plinti).....	» 287
8.4.2. Analisi di fondazione su pali .....	» 288
8.5. Analisi liquefazione .....	» 291
Riferimenti bibliografici .....	» 297

## Premessa

La programmazione di una indagine geognostica, qualsiasi finalità abbia, non può prescindere dalla prove in sito, alla cui corretta esecuzione e interpretazione sono sempre più affidate sia la caratterizzazione litologica che la derivazione dei parametri geotecnici delle terre.

Sino agli anni 1960-1970 si eseguivano principalmente sondaggi con alcune prove in foro (Standard Penetration Test – SPT), scissometriche (VST) e/o prove penetrometriche dinamiche continue (in genere non standardizzate), e la caratterizzazione geotecnica si basava al 90% sui risultati di analisi di laboratorio condotte su campioni indisturbati.

Le informazioni ottenute, la cui qualità era strettamente legata al grado di disturbo dei campioni stessi, erano comunque puntuali e spesso in numero ridotto visti gli alti costi, quindi insufficienti per preparare un modello fisico meccanico del sotto-suolo veramente rappresentativo.

Il graduale affermarsi nel decennio successivo prima delle prove penetrometriche statiche (CPTM-CPTU) e in seguito delle prove dilatometriche (DMT), capaci di fornire a costi contenuti una grande quantità di dati di cui era garantita la *ripetibilità*, ha in pratica ribaltato il concetto precedente, tant'è che il ricorso alle analisi di laboratorio, pur con le dovute eccezioni, si è progressivamente e fortemente ridotto.

Fermo restando tutto questo, rimane il problema (non secondario) di interpretare correttamente la prova in sito eseguita per ricavarne parametri geotecnici corretti.

Il programma P.G.S. (acronimo per Prove Geotecniche in Sito) nella sua forma attuale, che raggruppa attraverso codici di calcolo ad hoc l'elaborazione delle più note e utilizzate prove geotecniche in sito e qui allegato, è nato da una sollecitazione del collega dott. Gianni Togliani, formatosi al Laboratorio geotecnico dell'Ufficio Strade Nazionali del Canton Ticino, in seguito per vent'anni direttore di un'impresa specializzata soprattutto in indagini geognostiche e palificazioni, da alcuni anni libero professionista oltre che collaboratore dell'IST-SUPSI (Istituto di Scienze della Terra aggregato alla Scuola Universitaria Professionale della Svizzera Italiana), con il quale ha ideato e condotto un programma di ricerca (GEOLAB) sulle prove in sito.

L'invito a trattare in modo organico l'elaborazione e l'interpretazione delle prove è stato da me immediatamente ed entusiasticamente accolto e sviluppato considerando che, in proposito, mancano o quasi esempi di software di tipo generalista.

La stesura dei codici di calcolo relativi ad ogni tipo di prova ha richiesto un notevole lavoro di ricerca bibliografica che, attraverso il filtro operato dalla mia esperienza professionale, ha infine consentito di fornire agli utenti algoritmi comunque aggiornati ma anche affidabili se usati ovviamente con lo spirito critico necessario, che non deve mai mancare nell'utilizzo di codici di calcolo informatizzati.

L'Autore

**ELABORAZIONE DELLA PROVA**

Si entrerà nella finestra di gestione del programma SPT:

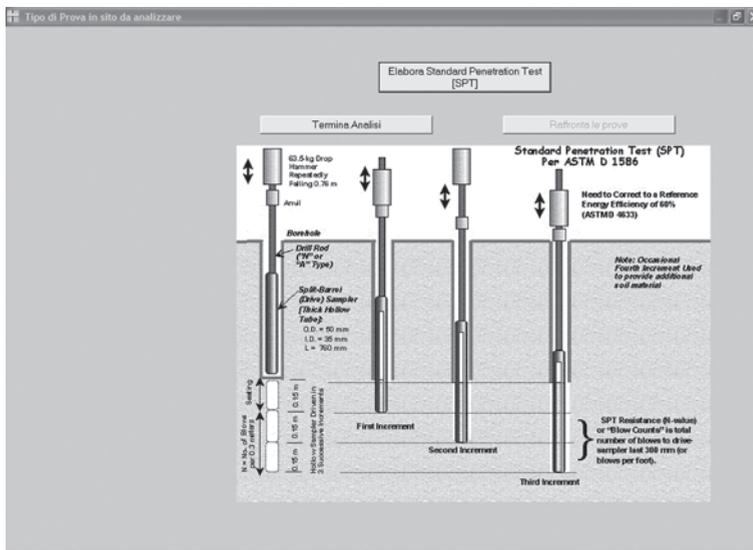


Figura 4.3

Nella finestra TIPO DI PROVA IN SITO DA ANALIZZARE sono presenti i comandi descritti di seguito.

**TERMINA ANALISI**

Si chiude il programma e si ritorna alla prima finestra (figura 4.1).

**ELABORA STANDARD PENETRATION TEST**

Si entrerà nel programma vero e proprio.

Dal menu principale della finestra DATI PRELIMINARI DI IDENTIFICAZIONE DELL'ANALISI si deve eseguire il comando FILE RELAZIONE:

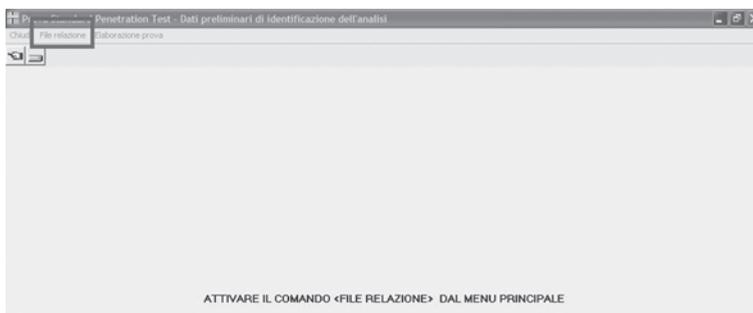


Figura 4.4

## FILE RELAZIONE

Comando obbligatorio che comporta la creazione di un file .rtf (Rich Text Format) importabile successivamente in Word.

Viene visualizzata la finestra INSERIRE IL NOME DEL FILE IN CUI VERRANNO ESPORTATI TUTTI I CALCOLI che secondo lo standard Microsoft consente di posizionare il file nella cartella desiderata.

Quando si importa il file in Word per la formattazione del testo, l'inserimento delle figure, etc. ricordarsi di salvare immediatamente prima di ogni modifica il file in formato word .doc: il formato .rtf *non* consente di mantenere le modifiche apportate al testo.

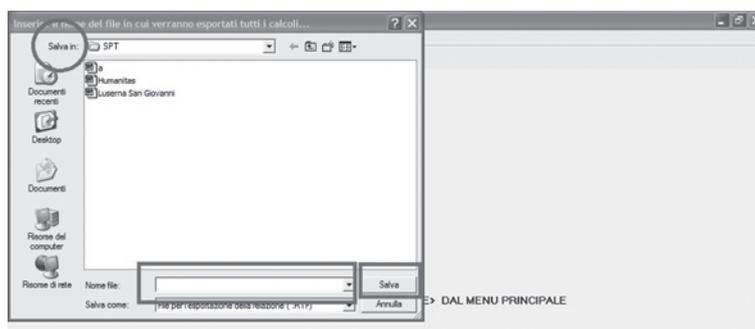


Figura 4.5

Nel file verranno salvati come relazione di calcolo tutti i dati di ingresso e i risultati delle analisi. Se si assegna al file un nome già esistente nella cartella di salvataggio, verrà visualizzato un messaggio di avvertimento:



Figura 4.6

Assegnato il nome al file di salvataggio ed eseguito il comando SALVA, la finestra si modifica attivando il comando ELABORAZIONE PROVA.



Figura 4.7

Cliccando sul comando **ELABORAZIONE PROVA** si presenta un menu a tendina con i comandi riportati di seguito.

**NUOVA**

Avvia l'elaborazione dei dati di una nuova prova.

**SALVATA**

Si avvia l'elaborazione di una prova già oggetto di elaborazione e salvata precedentemente in una cartella.

Di default il file contenente i dati originali della prova viene salvato nella cartella avente lo stesso nome del programma; se tale file è stato salvato al momento della prima elaborazione in una cartella diversa, ricordarsi il nome della cartella per il suo recupero, eventualmente attraverso il comando di Windows **CERCA**.

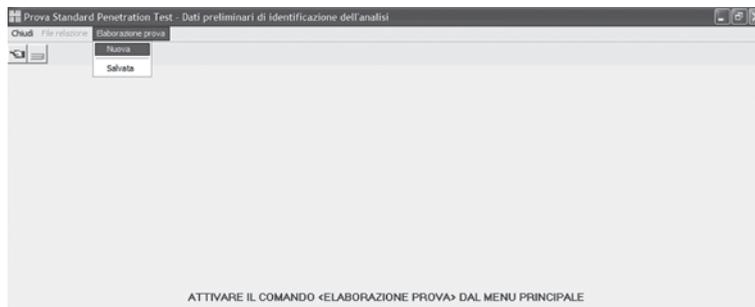


Figura 4.8

Eseguendo il comando **NUOVA** viene visualizzata la finestra di inserimento dei dati preliminari.

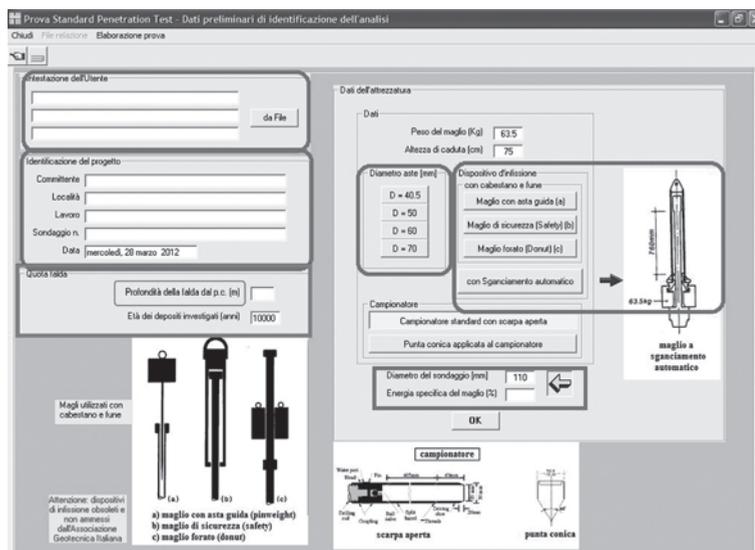


Figura 4.9

La finestra riporta le sezioni di inserimento dati riportate di seguito.

#### INTESTAZIONE DELL'UTENTE

Sezione non obbligatoria nella quale è possibile inserire l'intestazione dell'utente (nome dello studio, indirizzo, recapito telefonico) che verrà aggiunta all'inizio del file. Cliccando su DA FILE è possibile richiamare automaticamente tali dati. Il file è un file testo che è presente nella cartella *C:/Programmi/Flaccovio/PGS* con il nome *dati.int* ed è costituito da tre righe; inserire (aprendolo con il Blocco Note), mantenendo le virgolette iniziali e finali delle righe, nella prima riga il nome dello studio o dell'utente, nella seconda riga l'indirizzo, nella terza riga il numero di telefono, fax, eventuale e-mail. Inseriti i dati (verranno memorizzati, per cui è necessario inserirli solo una volta) salvare il file.

#### IDENTIFICAZIONE DEL PROGETTO

Sezione non obbligatoria nella quale è possibile inserire i dati relativi al progetto in corso (nome del committente, località, lavoro, numero del sondaggio [obbligatorio]) che verranno immessi in relazione e nei vari grafici creati dal programma.

#### DISPOSITIVO D'INFISSIONE

Si deve identificare, selezionando l'opzione relativa, il dispositivo di infissione utilizzato (i primi tre non sono ammessi dall'Associazione Geotecnica Italiana):

- maglio con guida;
- maglio di sicurezza;
- maglio forato;
- maglio a sganciamento automatico.

#### DIAMETRO ASTE

Campo in cui inserire il diametro delle aste di battitura.

#### CAMPIONATORE

Permette di scegliere il tipo di campionatore utilizzato:

- standard con scarpa aperta;
- punta conica applicata all'ultima asta.

Si deve inoltre inserire nelle caselle relative:

- diametro del foro di sondaggio (di default 110 mm);
- energia specifica trasmessa dal maglio alle aste in percentuale (di default assegnata in base al dispositivo di infissione);
- profondità della falda freatica (in m);
- età indicativa dei depositi investigati (in anni, di default 10.000).

Eseguito il comando OK si proseguirà nell'elaborazione. Si noti che se nella casella relativa alla profondità della falda dal p.c. non si inserisce nessun dato, verrà visualizzata una finestra di avvertimento:

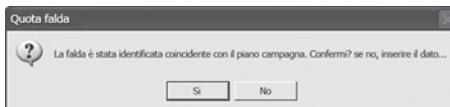


Figura 4.10

## 4.2. Inserimento dei dati

Con il comando OK dalla finestra DATI PRELIMINARI DI IDENTIFICAZIONE DELL'ANALISI viene visualizzata la finestra che inizialmente richiede il numero di strati a differente litologia identificati dall'analisi stratigrafica delle carote estratte dal sondaggio:



Figura 4.11

Inserito tale numero ed eseguito il comando OK, alla finestra vengono aggiunte tante caselle quanti sono gli strati identificati; nelle caselle di sinistra va inserita la profondità dei singoli strati, nelle caselle di destra l'identificazione litologica in accordo con la classificazione universale uscs di Casagrande.

Tale classificazione, che dovrebbe essere bagaglio di ogni geologo e/o geotecnico, è l'unica identificazione mediante sigle che è da considerarsi oggettiva e non soggettiva, e di valenza universale.

Per facilitare l'identificazione è presente anche una schema della classificazione USCS.

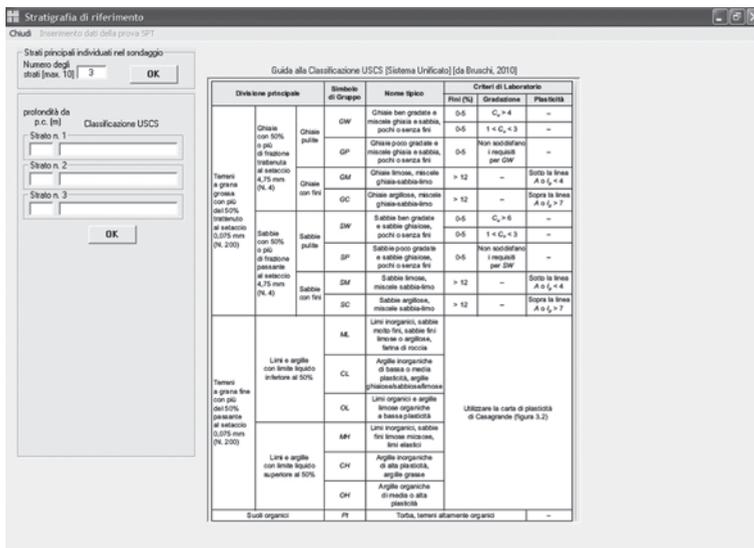


Figura 4.12

Il programma madre PGS (acronimo per Prove Geotecniche in Sito) ■ cap 3

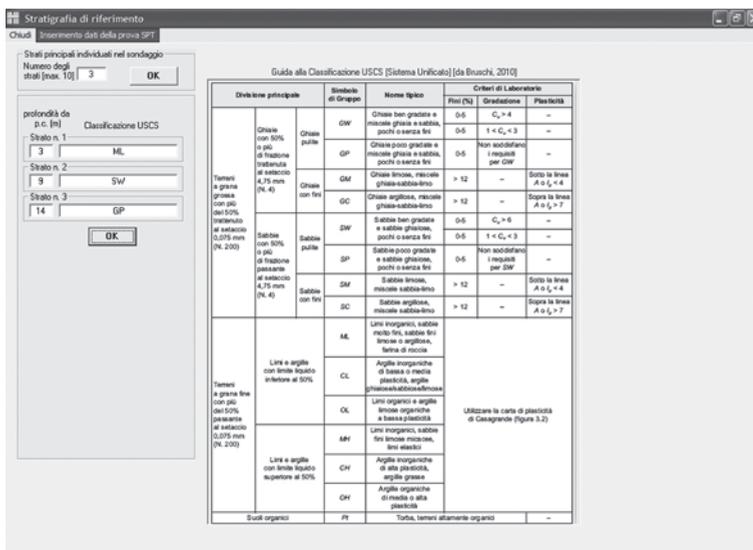


Figura 4.13

Dopo l’inserimento dei dati richiesti ed eseguendo il comando OK, si passa all’introduzione dei dati misurati nel corso del sondaggio e in cui si richiede per ogni prova SPT eseguita:

- z = la profondità della prova z in metri;
- N1 = il primo valore del numero dei colpi misurato nei primi 15 centimetri;
- N2 = il secondo valore del numero dei colpi misurato nei secondi 15 centimetri;
- N3 = il terzo valore del numero dei colpi misurato nei 15 centimetri successivi.

Tali valori vanno inseriti per quante prove SPT si sono eseguite; al termine dell’inserimento si attiva il comando OK.



Figura 4.14

Vengono immediatamente visualizzati a fianco di ogni prova una lettera che indica

l'affidabilità della prova in base al criterio di Schmertmann (A = alta affidabilità; B = bassa affidabilità) e un grafico che visualizza le profondità di prova e il numero dei colpi  $N_1$ ,  $N_2$  ed  $N_3$  inseriti: tale grafico può essere salvato nella cartella di lavoro per essere successivamente importato nel file relazione.

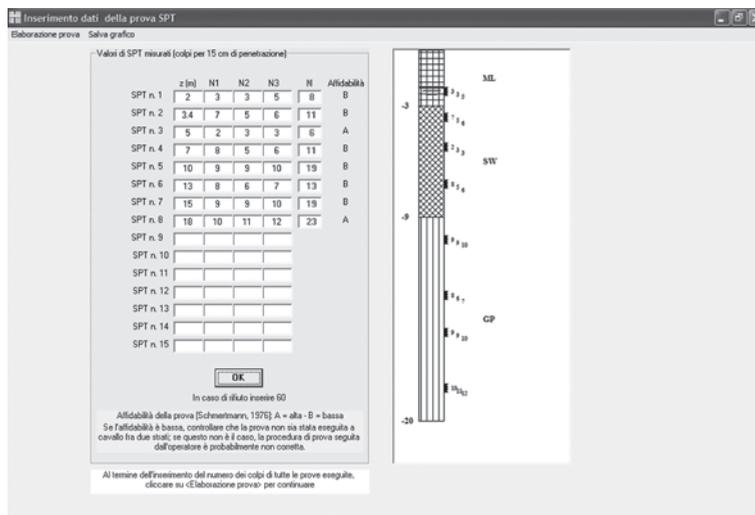


Figura 4.15

Si procede quindi nell'elaborazione con il comando ELABORAZIONE PROVA, presente in alto a sinistra.

Viene visualizzato il grafico che riporta in funzione della profondità di prova i valori di  $N_{60}$  calcolati e l'identificazione litologica del sondaggio; tale grafico può essere salvato con il comando relativo SALVA GRAFICO.

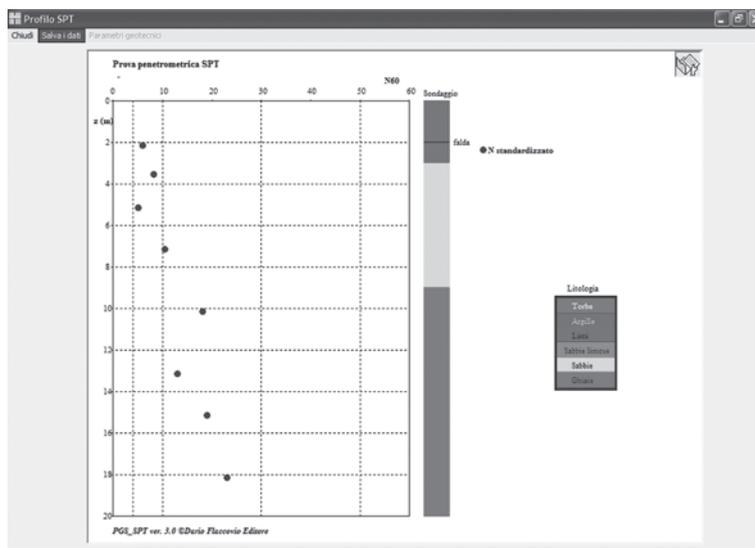


Figura 4.16

Per proseguire è obbligatorio attivare il comando SALVA DATI in cui viene richiesta la cartella in cui salvare i dati inseriti e il nome identificativo del file di salvataggio dei dati:

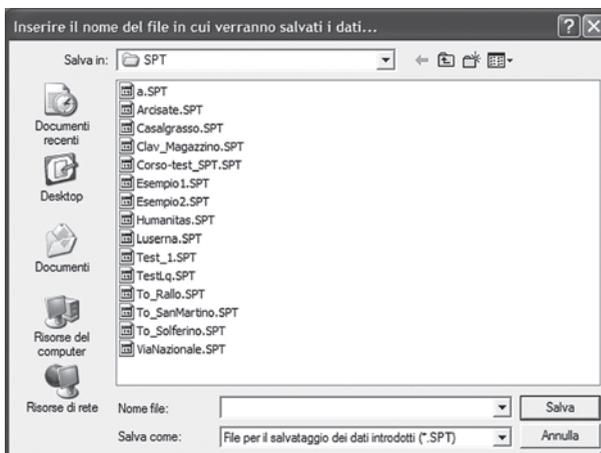


Figura 4.17

Salvati i dati con il comando SALVA, si attiva il comando PARAMETRI GEOTECNICI:

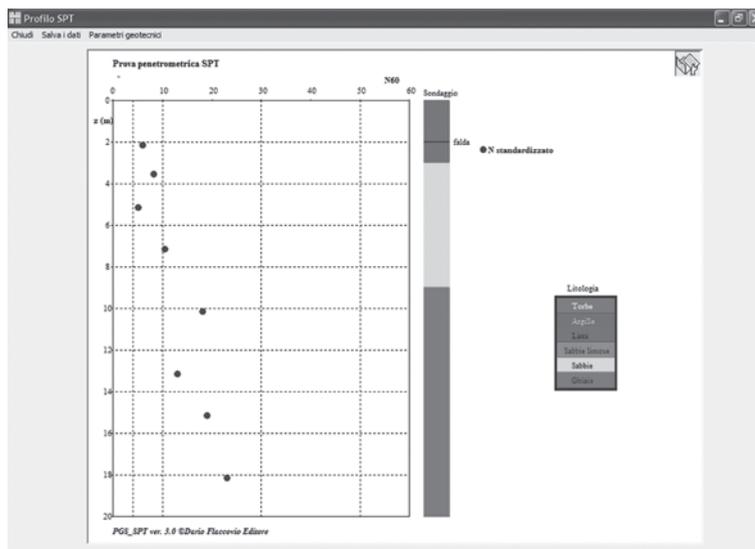


Figura 4.18

Con la sua esecuzione mediante un click del mouse vengono calcolati i parametri delle varie proprietà geotecniche del terreno (che è possibile valutare con la prova SPT) che vengono visualizzati nella finestra successiva RISULTATI DELLE ELABORAZIONI.

### 4.3. Proprietà geotecniche

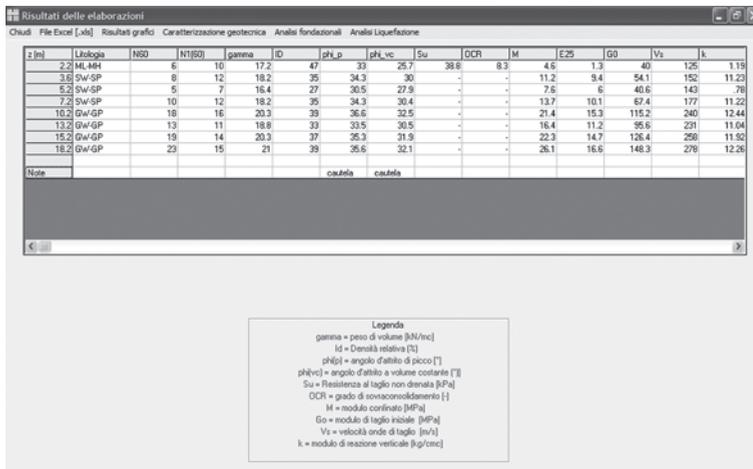


Figura 4.19

Nella finestra RISULTATI DELLE ELABORAZIONI è presente nel menu principale una serie di comandi di primaria importanza che verranno analizzati nei paragrafi successivi:

- FILE EXCEL;
- risultati grafici;
- caratterizzazione geotecnica;
- analisi fondazionali;
- analisi liquefazione.

#### FILE EXCEL (.XLS)

Permette di esportare i dati calcolati in un foglio di lavoro importabile successivamente in Excel.

#### RISULTATI GRAFICI

Permette di visualizzare (e salvare) per ogni parametro geotecnico il suo andamento con la profondità di prova.

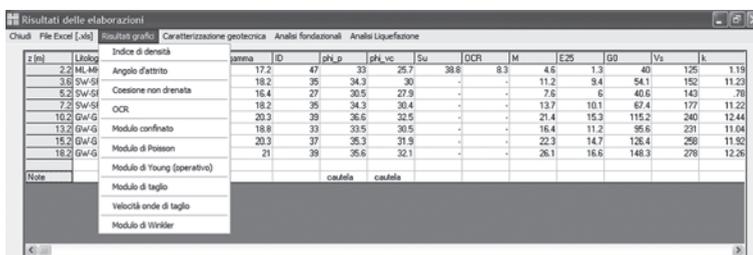


Figura 4.20

I parametri calcolati dal programma sono:

- INDICE DI DENSITÀ;
- ANGOLO D'ATTRITO;
- COESIONE NON DRENATA;
- OCR;
- MODULO CONFINATO;
- MODULO DI POISSON;
- MODULO DI YOUNG (OPERATIVO);
- MODULO DI TAGLIO;
- VELOCITÀ ONDE DI TAGLIO;
- MODULO DI WINKLER.

#### PESO DI VOLUME

Il valore viene calcolato (ma non riportato in grafico) con la relazione polinomiale messa a punto dall'Autore:

$$\gamma = 98,1(1,39 + 0,053 N_{60} - 0,0011 N_{60}^2 + 0,0000076 N_{60}^3)$$

#### INDICE DI DENSITÀ

Per il calcolo dell'indice di densità (o densità relativa) il programma utilizza le relazioni di Kuhlavy e Mayne (1990):

$$I_D = \left[ \frac{N_{l(60)}}{60 + 25 \log(D_{50}) \left( 1,2 + 0,05 \log\left(\frac{t}{100}\right) \right)} OCR^{0,18}} \right]^{0,5}$$

e di Cubrinowski e Ishihara (1999):

$$D_R^2 = \frac{N_{l(60)}}{9 \left( 0,23 + \frac{0,06}{D_{50}} \right)^{1,7}}$$

Il valore ritenuto rappresentativo è il valore mediato tra i due metodi.

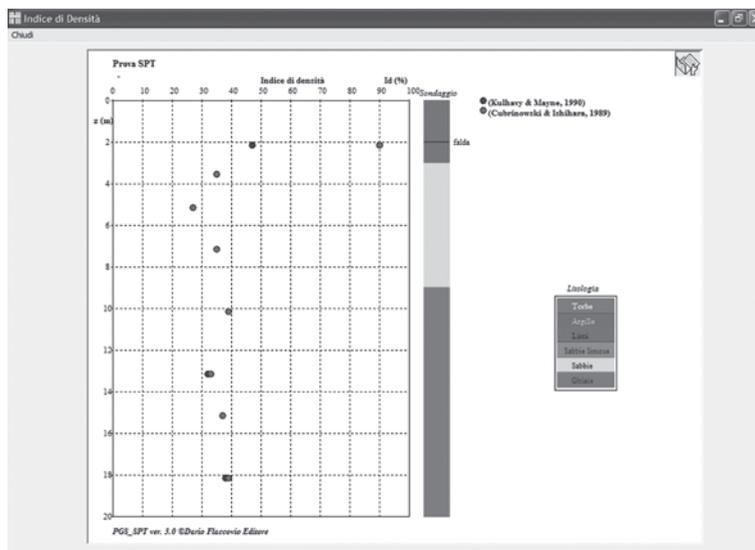


Figura 4.21

### ANGOLO D'ATTRITO

Per la determinazione dei valori dell'angolo d'attrito di picco il programma fa ricorso alle relazioni di Hatanaka e Huchida (1996, 1998):

$$\varphi' = 20 + \sqrt{15,4 N_{(60)}}$$

e di Schmertmann (1975):

$$\varphi' = \tan^{-1} \left( \frac{N_{60}}{12,2 + 20,3 \frac{\sigma'_v}{98,1}} \right)^{0,34}$$

Inoltre nel codice di calcolo si è implementata anche la valutazione dell'angolo d'attrito a volume costante secondo la procedura messa a punto da Horwath (2000, 2002) che prevede i seguenti passaggi di calcolo:

$$\sigma'_h = 0,3 q_c^{0,22} \sigma'_v{}^{0,69}$$

$$\sigma'_f = \frac{\sigma'_v + 2\sigma'_h}{3}$$

$$\varphi_d = 3 \left\{ \left\{ I_D \left[ 10 - \ln \left( \frac{100\sigma_f}{P_a} \right) \right] \right\} - 1 \right\} \geq 0$$

$$\varphi_{vc} = \varphi' - \varphi_d$$

La prima formula prevede l'utilizzo del valore della resistenza alla punta statica equivalente che è valutata con la:

$$q_{c(eq)} = 5,44 D_{50}^{0,26} N_{60}$$

Il valore ritenuto rappresentativo dell'angolo d'attrito di picco è il valore mediato tra i due metodi.

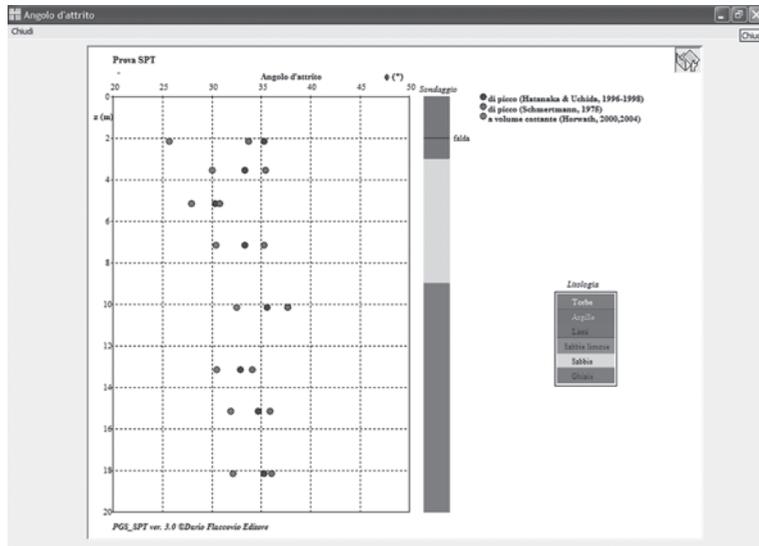


Figura 4.22

### COESIONE NON DRENATA

La coesione non drenata (o resistenza al taglio non drenata) è calcolata con la relazione di Terzaghi e Peck (1948):

$$S_u = 6,4 N_{60}$$

confermata dalla relazione di Bruschi (2004):

$$S_u = 6,5 N_{60}$$

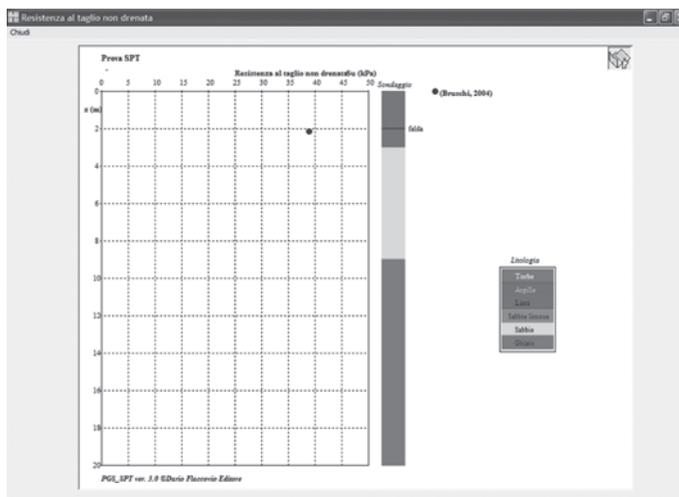


Figura 4.23

OCR

Il grado (o rapporto) di sovra consolidamento è calcolato solo nei terreni coesivi attraverso le formulazioni proposte da Mayne e Kemper (1988):

$$OCR = 0,47N_{60} \frac{P_a}{\sigma'_v}$$

$$OCR = 0,58N_{60} \frac{P_a}{\sigma'_v}$$

Il valore ritenuto rappresentativo del parametro è il valore mediato tra le formule.

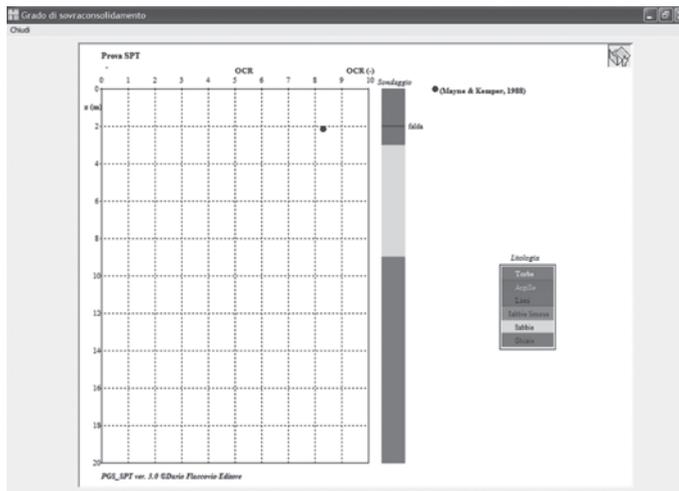


Figura 4.24

Diventa quindi importante nel corso della prima elaborazione salvare con l'apposito comando (se lo si desidera) i grafici relativi allo smussamento dei valori di resistenza anomali e al filtraggio dei dati mediante media mobile.

### 5.3. Parametri geotecnici

Con l'esecuzione del comando PARAMETRI GEOTECNICI vengono calcolati i parametri delle varie proprietà geotecniche del terreno (che è possibile valutare con la prova DP) che vengono visualizzati nella finestra RISULTATI DELLE ELABORAZIONI:

z	Litologia	N10	gamma	Qd (MPa)	ID (%)	phi (°)	phi v.c. (°)	Su (kPa)	M (MPa)	E (MPa)	G0 (MPa)	Vs (m/s)	OCR (%)	k (g/cm³)
1.2	Sv SP	7	16.9	6.3	29	30.5	27.8	9.0	7.4*	56	177	1	79	
1.2	Sv SP	7	16.9	6.3	29	30.5	27.8	9.0	7.4*	56	177	1	79	
1.25	Sv SP	6	16.4	7.1	25	29.4	27.5	8.7	6*	51.3	173	1	67	
1.3	Sv SP	5	16	6	23	28.5	27	7.4	5.1*	46.2	169	1	56	
1.32	Sv SP	6	16.4	7.1	25	29.4	27.5	8.7	6*	51.6	174	1	67	
1.34	Sv SP	5	16	6	23	28.5	27	7.4	5.2*	45.5	169	1	56	
1.34	Sv SP	5	16	6	23	28.4	26.9	7.4	5.2*	45.8	170	1	56	
1.38	Sv SP	9	17.6	10.7	31	31.5	28.5	12.1	8.9*	66.7	189	1	1.06	
1.4	Sv SP	11	18.2	13.1	34	32.7	29.2	14.3	10.1*	75.3	196	1	1.105	
1.42	Sv SP	13	18.9	15.5	37	33.7	29.7	16.4	11.2*	83.6	202	1	1.162	
1.44	Sv SP	14	19.1	16.7	39	34.1	29.7	17.4	12.5*	87.7	205	1	1.158	
1.46	Sv SP	9	17.6	10.7	31	31.4	28.5	12.1	8.6*	67.3	181	1	1.06	
1.48	Dv GP	9	17.6	10.7	30	31.3	28.6	12.1	9.2*	69	244	1	1.06	
1.5	Dv GP	9	17.2	8.5	28	30.6	28.3	11	8.9*	62.4	245	1	35	
1.52	Dv GP	9	17.6	10.7	30	31.3	28.6	12.1	9.2*	69.5	245	1	1.06	
1.54	Dv GP	9	17.6	10.7	30	31.2	28.5	12.1	9.2*	69.9	245	1	1.06	
1.55	Dv GP	6	16.4	7.1	24	29.1	27.6	8.7	6.9*	70.5	230	1	67	
1.56	Dv GP	7	16.9	6.9	26	29.8	27.9	9.0	7.9*	72.3	237	1	79	
1.6	Dv GP	6	16.4	7.1	24	29	27.5	8.7	6.9*	70.9	231	1	67	
1.62	Dv GP	7	16.9	6.9	26	29.8	27.9	9.0	7.9*	72.7	236	1	79	
1.64	Md MH	9	17.6	10.7				95.9*	6.4	61.2	172	4.5	1.06	
1.66	Md MH	8	17.2	9.5				79*	5.9	57	169	3.9	52	
1.68	Md MH	9	17.6	10.7				87.6*	6.4	61.2	172	4.4	1.06	
1.7	Md MH	9	17.6	10.7				87.6*	6.4	61.5	173	4.3	1.06	
1.72	Md MH	10	17.9	11.9				95.2*	7	65.4	176	4.7	1.2	
1.74	Md MH	10	17.9	11.9				96.1*	7	65.9	177	4.7	1.2	

gamma = peso di volume [kN/m³]  
 Qd = resistenza dinamica [MPa]  
 Id = densità relativa [%]  
 phi = angolo d'attrito di picco [°]  
 phi v.c. = angolo d'attrito a volume costante [°]  
 Su = coesione non drenata [kPa]  
 OCR = grado di sovraccaricamento [%]

M = modulo confinato [MPa]  
 E (2D = modulo di Young [MPa])  
 E (3D = modulo di Young [MPa])  
 G0 = modulo di taglio iniziale [MPa]  
 Vs = velocità onde di taglio [m/s]  
 k = modulo di reazione [g/cm³]

Figura 5.40

Nella finestra è presente nel menu principale una serie di comandi di primaria importanza.

### FILE EXCEL (.XLS)

Permette di esportare i dati calcolati in un foglio di lavoro importabile successivamente in Excel:

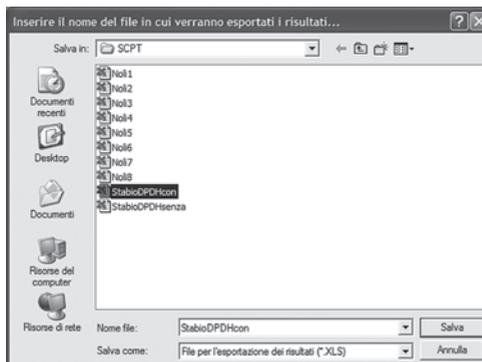


Figura 5.41

### RISULTATI GRAFICI

Permette di visualizzare (e salvare) per ogni parametro geotecnico il suo andamento con la profondità di prova.

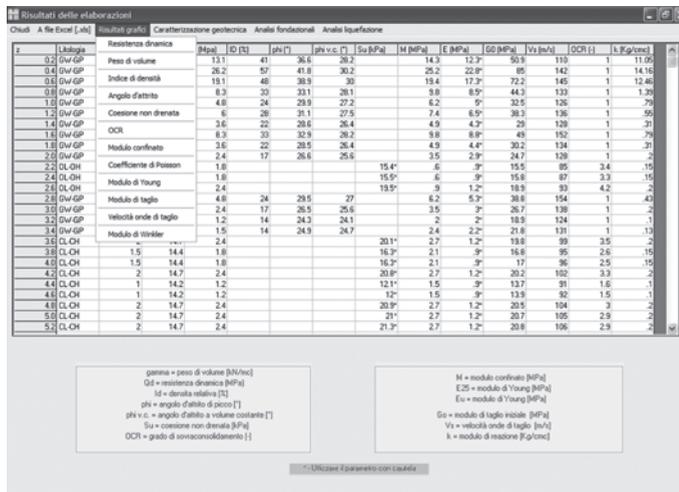


Figura 5.42

I parametri calcolati dal programma sono riportati di seguito.

### RESISTENZA DINAMICA

Applica le classiche formule degli olandesi:

$$r_d = \frac{M H}{e A}$$

$$q_d = \frac{M^2 H}{(e A)(M + Q)}$$

I valori di  $r_d$  e di  $q_d$  sono espressi in kg/cm<sup>2</sup>; per convertirli in MPa vanno divisi per ≈ 10.

$r_d$  è utilizzato nelle prove eseguite con il rivestimento mentre  $q_d$  in quelle eseguite senza rivestimento.

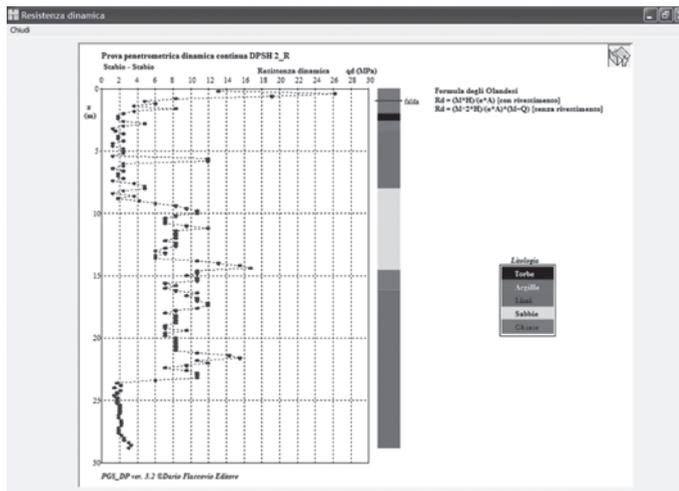


Figura 5.43

## PESO DI VOLUME

Viene utilizzata una relazione polinomiale messa a punto dall'Autore:

$$\gamma = 98,1 (1,39 + 0,053 N_{60} - 0,0011 N_{60}^2 + 0,0000076 N_{60}^3)$$

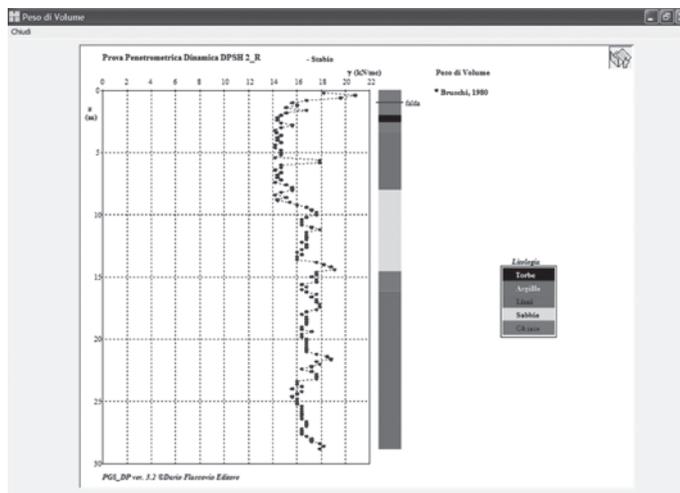


Figura 5.44

## INDICE DI DENSITÀ

Per il calcolo dell'indice di densità (o densità relativa) il programma utilizza le relazioni di Kuhlawy e Mayne (1990):

$$I_D = \left[ \frac{N_{I(60)}}{60 + 25 \log(D_{50}) \left( 1,2 + 0,05 \log\left(\frac{t}{100}\right) \right) OCR^{0,18}} \right]^{0,5}$$

e di Cubrinowski e Ishihara (1999):

$$D_R^2 = \frac{N_{I(60)}}{9 \left( 0,23 + \frac{0,06}{D_{50}} \right)^{1,7}}$$

Il valore ritenuto rappresentativo è il valore mediato tra i due metodi.

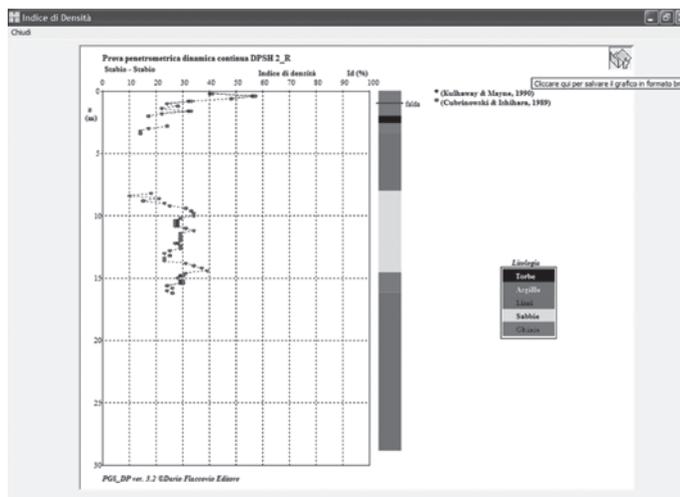


Figura 5.45

### ANGOLO D'ATTRITO

Per la determinazione dei valori dell'angolo d'attrito di picco il programma fa ricorso alle relazioni di Hatanaka e Huchida (1996, 1998):

$$\varphi' = 20 + \sqrt{15,4 N_{1(60)}}$$

di Schmertmann (1975):

$$\varphi' = \tan^{-1} \left( \frac{N_{60}}{12,2 + 20,3 \frac{\sigma'_v}{98,1}} \right)^{0,34}$$

di Wolff (1989):

$$N_{1(60)} = 27,1 + 0,3N_{1(60)} - 0,00054 N_{1(60)}^2$$

Inoltre nel codice di calcolo si è implementata anche la valutazione dell'angolo d'attrito a volume costante secondo la procedura messa a punto da Horwath (2000, 2002) che prevede i seguenti passaggi di calcolo:

$$\sigma'_h = 0,3 q_c^{0,22} \sigma_v'^{0,69}$$

$$\sigma'_f = \frac{\sigma'_v + 2\sigma'_h}{3}$$

$$\varphi_d = 3 \left\{ \left\{ I_D \left[ 10 - \ln \left( \frac{100 \sigma_f}{p_a} \right) \right] \right\} - 1 \right\} \geq 0$$

$$\varphi_{vc} = \varphi' - \varphi_d$$

La prima formula prevede l'utilizzo del valore della resistenza alla punta statica equivalente che è valutata con la:

$$q_{c(eq)} = 5,44 D_{50}^{0,26} N_{60}$$

Il valore ritenuto rappresentativo dell'angolo d'attrito di picco è il valore mediato tra i tre metodi.

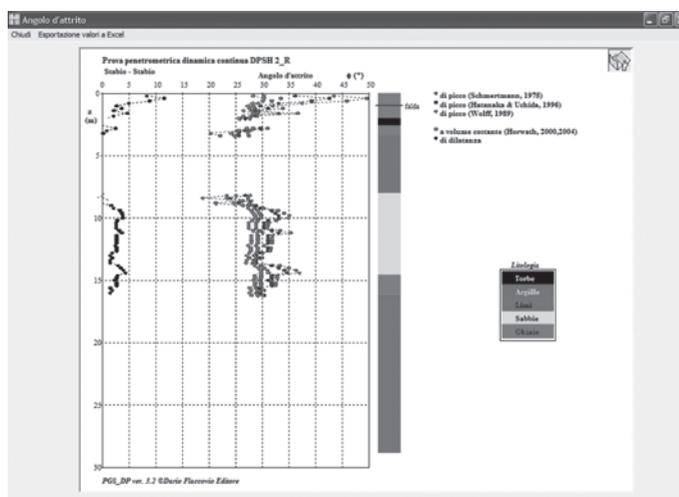


Figura 5.46

Nella finestra è presente anche il comando esportazione valori a Excel che salva in formato .xls i valori dell'angolo d'attrito calcolati con i quattro metodi; si ritiene valida l'opzione per una migliore definizione dell'angolo d'attrito caratteristico secondo un solo metodo da utilizzarsi in accordo alle NTC 08.

## COESIONE NON DRENATA

La resistenza al taglio non drenata è calcolata solo nei terreni coesivi attraverso il valore medio fra la relazione di Terzaghi e Peck (1948):

$$S_u = 6,4 N_{60}$$

confermata dalla relazione di Bruschi (2004):

$$S_u = 6,5 N_{60}$$

Per tener conto dell'eventuale grado di preconsolidamento del terreno (si veda al punto successivo) viene calcolato e messo in grafico anche il valore calcolato con il metodo proposto da Sotelo e Bosch (1999) integrato da Bruschi (2009):

$$\frac{S'_H}{\sigma'_v} = 0,37OCR^{0,68}$$

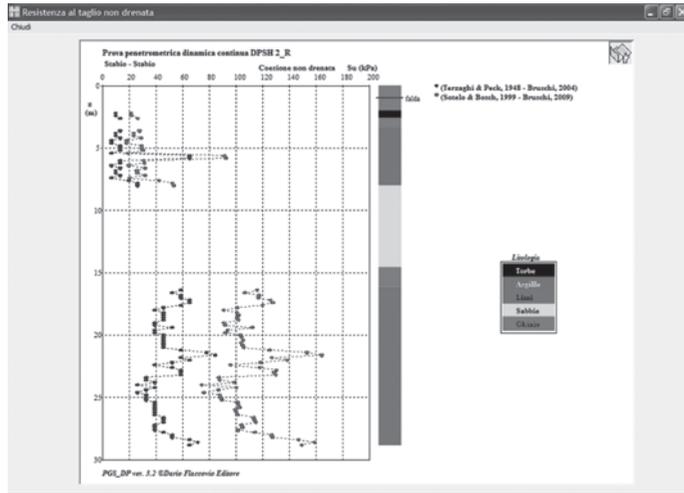


Figura 5.47

### OCR

Il grado (o rapporto) di sovraconsolidamento è calcolato solo nei terreni coesivi attraverso le formulazioni proposte da Mayne e Kemper (1988):

$$OCR = 0,47 N_{60} \frac{p_a}{\sigma'_v}$$

$$OCR = 0,58 N_{60} \frac{p_a}{\sigma'_v}$$

Il valore ritenuto rappresentativo del parametro OCR è il valore mediato tra le formule.

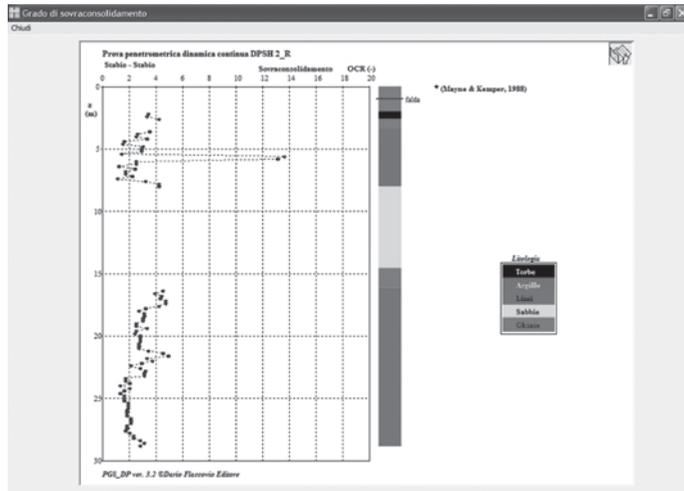


Figura 5.48

### MODULO CONFINATO

Valutato mediante la correlazione proposta da Mayne e Frost (1988) per i terreni incoerenti:

$$M = 2,002 N_{60}^{0,82}$$

e la relazione di Schultze e Menzenbach (1961) per i terreni a grana fine:

$$M = 0,45 N_{60} \quad \text{argille organiche}$$

$$M = 0,4 + 1,15 N_{60} \quad \text{argille}$$

$$M = 1,2 + 5,8 N_{60} \quad \text{limi}$$

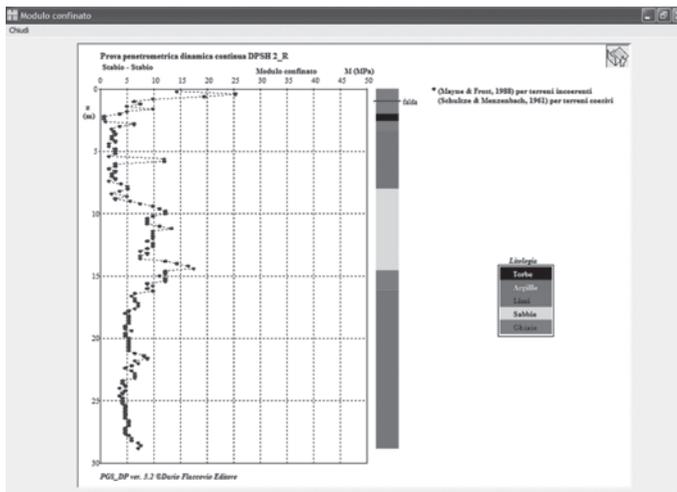


Figura 5.49

### COEFFICIENTE DI POISSON

Calcolato dalla relazione di Trautman e Kulhawy (1987):

$$\nu \approx 0,1 + 0,3 \varphi_{rel}$$

$$\varphi_{rel} = \frac{\varphi_{vc} - 25^\circ}{20^\circ}$$

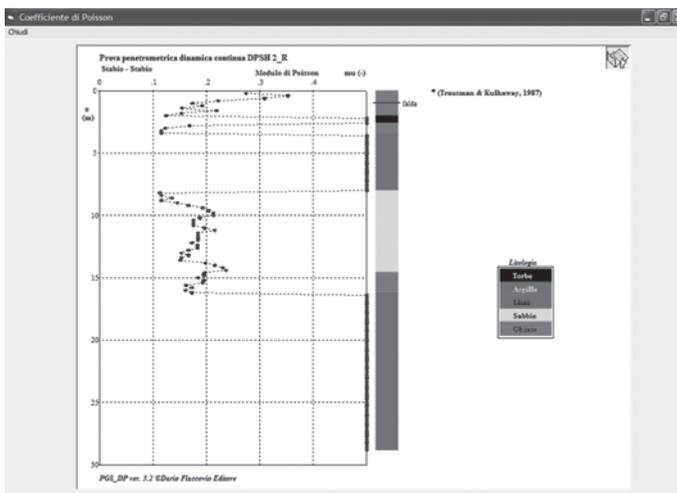


Figura 5.50

## MODULO DI YOUNG

Il modulo elastico operativo a un livello del 25% (E25) viene calcolato mediante le correlazioni proposte da Stroud (1989):

$$E = N_{60}^{0,78}$$

da Jamiolkowski ( $I_D$  indica la densità relativa in valore numerico (0 a 1)):

$$E = (10,5 - 3,5 I_D) N_{60} \text{ (in kg/cm}^2\text{)}$$

$$E = (52,5 - 35 I_D) N_{60} \text{ (in kg/cm}^2\text{)}$$

rispettivamente nelle sabbie normalmente consolidate e sovraconsolidate, e dalla legge di decadimento del modulo di taglio attraverso le:

$$E_0 = 2 G_0 (1 - \nu)$$

$$E = E_0 (1 - 0,8^{0,3})$$

Il valore ritenuto rappresentativo è il valore mediato tra i tre metodi.

Nel caso di terreno coesivo viene applicata la formula di Ohya et al. (1982):

$$E = 1,93 N_{60}^{0,63} \text{ per le argille}$$

$$E = 0,4 N_{60} \text{ per i limi}$$

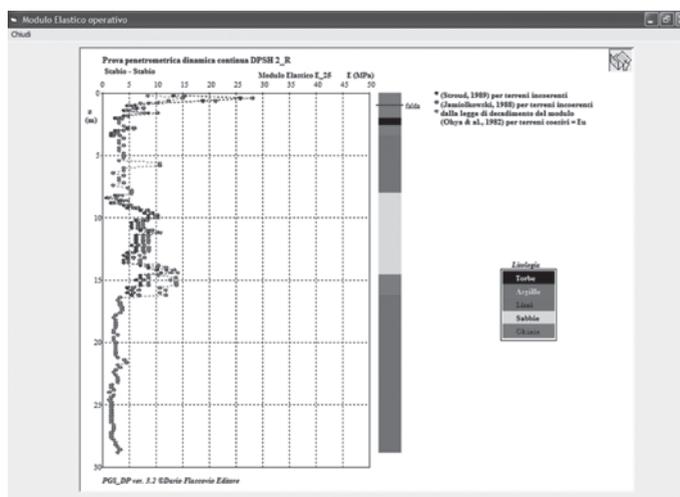


Figura 5.51

## MODULO DI TAGLIO

Il modulo di taglio a basse deformazioni viene valutato dalla relazione di Wroth confermata da Sabatini (2002):

$$G_0 = 15,56 N_{60}^{0,68}$$

e dalle velocità delle onde sismiche di taglio calcolate precedentemente attraverso la:

$$G_0 = \rho V_s^2$$

$$\rho = \frac{\gamma}{g}$$

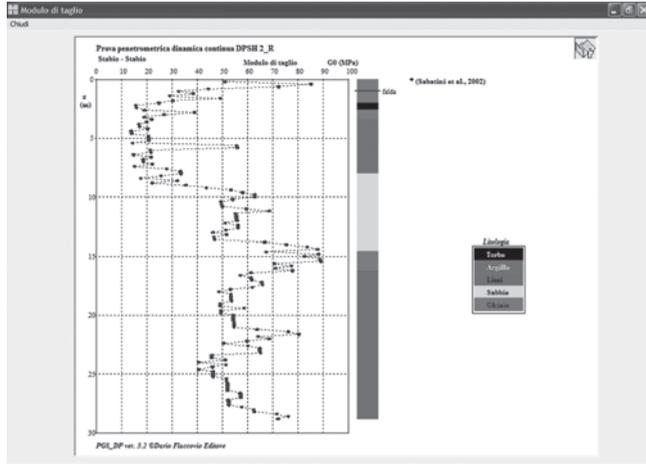


Figura 5.52

### VELOCITÀ ONDE DI TAGLIO

La velocità delle onde sismiche di taglio viene calcolata con il metodo di Ohta e Goto (1978):

$$V_s = 54,33(N_{60})^{0,173} F_A F_B \left( \frac{z}{0,3048} \right)^{0,193}$$

con il metodo di Yoshida e Monotori:

$$V_s = (N_{SPT})^{0,25} \beta \sigma_v^{0,14}$$

e con il metodo di Andrus (2003):

$$V_s = 72,9(N_{60})^{0,224} F_A \left( \frac{z}{0,3048} \right)^{0,130}$$

Il valore ritenuto rappresentativo è il valore mediato tra le tre formule.

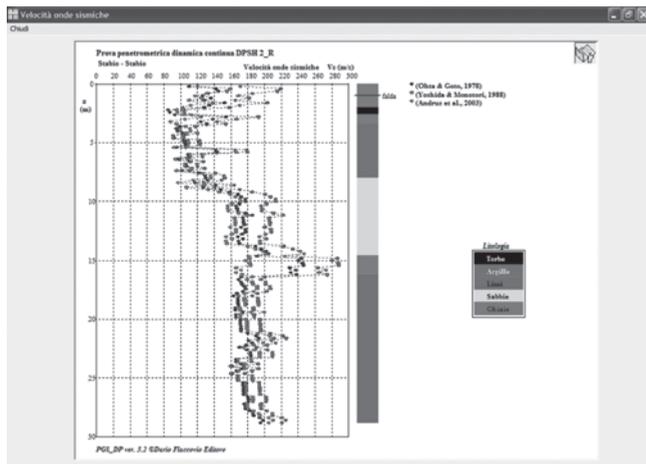


Figura 5.53

### MODULO DI WINKLER

Per valori di  $N_{1(60)}$  inferiori a 10, il modulo viene calcolato con le equazioni presentate in forma grafica da Terzaghi (1983) rispettivamente per terreni sopra falda e sotto falda:

$$k_w = \frac{N_{1(60)}}{\left(-0,0084 N_{1(60)} + 5,07\right)}$$

$$k_w = \frac{N_{1(60)}}{\left(-0,155 N_{1(60)} + 9,863\right)}$$

Per valori di  $N_{1(60)}$  superiori a 10 viene utilizzata la:

$$k_w = 0,2824 N_{1(60)} + 7,905$$

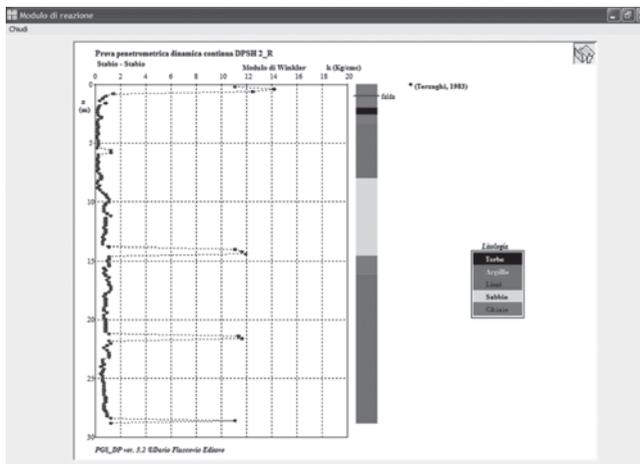


Figura 5.54

## 5.4. Caratterizzazione geotecnica

Eseguendo il comando CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA dal menu principale:

i	Litologia	NSD	gamma	Gd [kPa]	D [t]	phi [°]	c [kPa]	psi v.c. [°]	Su [kPa]	M [kPa]	E [kPa]	GD [kPa]	Vs [m/s]	OCR [t]	Is [kPa/cm]
0,0	Dw GP	11	18,2	13,1	41	26,6	28,2		14,3	12,3	20,9	103	1	11,60	
0,4	Dw GP	22	20,8	26,2	57	41,8	30,2		25,2	22,0	65	142	1	14,16	
0,8	Dw GP	16	19,6	19,1	46	39,9	30		19,4	17,3	72,2	145	1	12,46	
0,8	Dw GP	7	18,8	8,9	33	33,1	28,1		9,8	8,9	44,3	133	1	1,26	
1,5	Dw GP	4	15,6	4,8	24	29,9	27,2		6,2	6	32,6	136	1	7,9	
1,3	Dw GP	5	16	6	28	31,1	27,5		7,4	8,9	38,3	136	1	5,65	
1,4	Dw GP	3	15,1	3,6	22	29,6	26,4		4,9	4,7	29	128	1	21	
1,8	Dw GP	7	18,8	8,3	30	32,9	28,2		9,8	8,8	49	152	1	7,9	
1,8	Dw GP	9	19,1	3,6	22	29,6	26,4		4,9	4,4	30,2	134	1	29	
2,0	Dw GP	2	14,7	2,4	17	26,6	25,6		3,5	2,9	24,7	138	1	2	
2,0	OL OH	1,5	14,4	1,8				15,4°	6	2°	15,6	95	3,4	15	
2,4	OL OH	1,5	14,4	1,8				19,9°	6	2°	15,6	87	3,3	16	
2,8	OL OH	2	14,7	2,4				19,9°	3	1,2°	18,9	93	4,2	2	
2,8	Dw GP	4	15,6	4,8	24	29,9	27,2		6,2	5,3	28,8	154	1	40	
3,0	Dw GP	2	14,7	2,4	17	26,6	25,6		3,5	2°	26,7	138	1	2	
3,0	Dw GP	1	14,2	1,2	14	24,3	24,1		2°	2°	18,9	124	1	1	
3,0	Dw GP	1,3	14,3	1,5	14	24,9	24,7		2,4	2,2°	21,6	131	1	13	
3,0	OL OH	2	14,7	2,4				20,1°	2,7	1,2°	19,8	99	3,5	2	
3,0	OL OH	1,5	14,4	1,8				16,3°	2,1	0°	16,8	95	2,6	15	
4,0	OL OH	1,5	14,4	1,8				16,3°	2,1	0°	17	96	2,6	16	
4,0	OL OH	2	14,7	2,4				20,8°	2,7	1,2°	20,2	102	3,3	2	
4,0	OL OH	1	14,2	1,2				12,1°	1,8	0°	12,7	91	1,6	1	
4,0	OL OH	1	14,2	1,2				12°	1,5	0°	13,9	92	1,5	1	
4,0	OL OH	2	14,7	2,4				20,9°	2,7	1,2°	20,5	104	3	2	
5,0	OL OH	2	14,7	2,4				21°	2,9	1,2°	20,7	105	2,9	2	
5,0	OL OH	2	14,7	2,4				21,3°	2,7	1,2°	20,8	106	2,9	2	

gamma = peso di volume [kN/m<sup>3</sup>]  
Gd = resistenza dinamica [kPa]  
D = densità relativa [t]  
phi = angolo d'attrito di picco [°]  
psi v.c. = angolo d'attrito a volume costante [°]  
Su = coesione non drenata [kPa]  
OCR = grado di sovraccaricamento [t]

M = modulo cortante [kPa]  
E = modulo di Young [kPa]  
GD = modulo di Young [kPa]  
Vs = modulo di taglio iniziale [kPa]  
Vv = velocità onde di taglio [m/s]  
Is = modulo di torsione [kPa/cm]

Figura 5.55



### 5.5. Analisi diretta

Il comando ANALISI FONDAZIONALI attiva due sottomenu relativi rispettivamente alle valutazioni progettuali di fondazioni dirette e di fondazioni profonde:

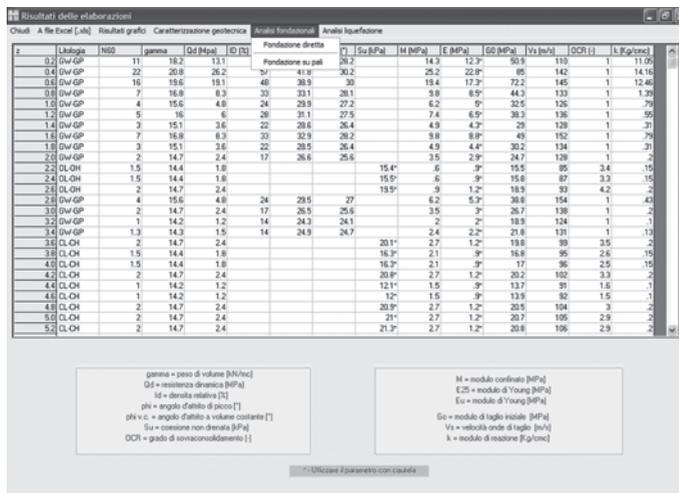


Figura 5.59

#### 5.5.1. Analisi di fondazione diretta (solo per plinti)

Per l'analisi di fondazione diretta vengono richiesti:

- profondità d'imposta (m);
- larghezza della fondazione (m).

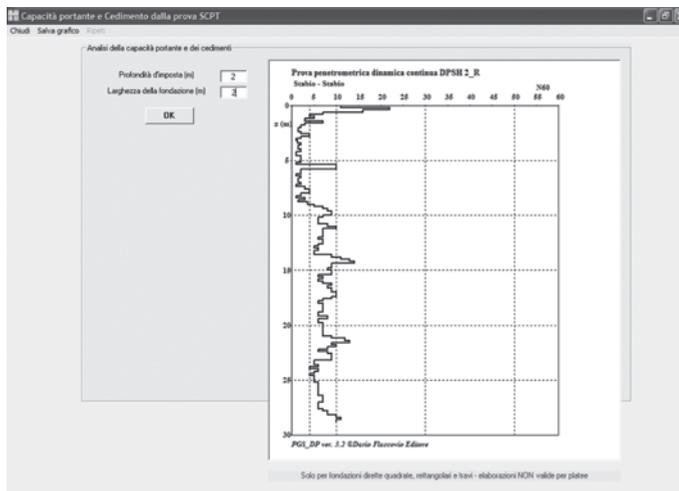


Figura 5.60

Inseriti i dati e cliccato su OK, il programma visualizza sul grafico gli intervalli di profondità entro cui ricade l'influenza della fondazione caricata e calcola in tale in-

Il modulo DP (Prove penetrometriche dinamiche continue) ■ cap 5

tervallo il valore medio del peso di volume, del numero dei colpi rappresentativo e la capacità portante ammissibile corrispondente calcolata con il metodo di Bowles.

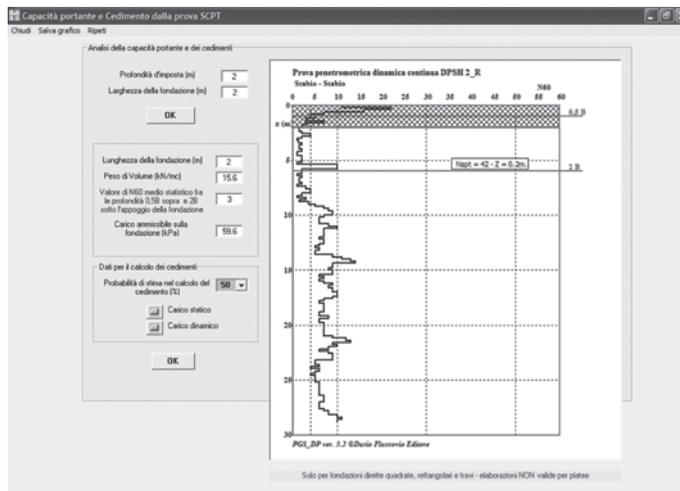


Figura 5.61

Richiede quindi il valore della larghezza della fondazione.

È possibile inoltre scegliere, agendo sulla freccia accanto alla casella corrispondente, la probabilità di stima che il cedimento calcolato con il metodo di Burland e Burbidge sia corretto (il valore da scegliere varia tra 50% e 100% con valore di default di 50%).

Sempre in accordo con il metodo di calcolo, viene anche richiesto di assegnare il tipo di carico applicato, se statico o dinamico:

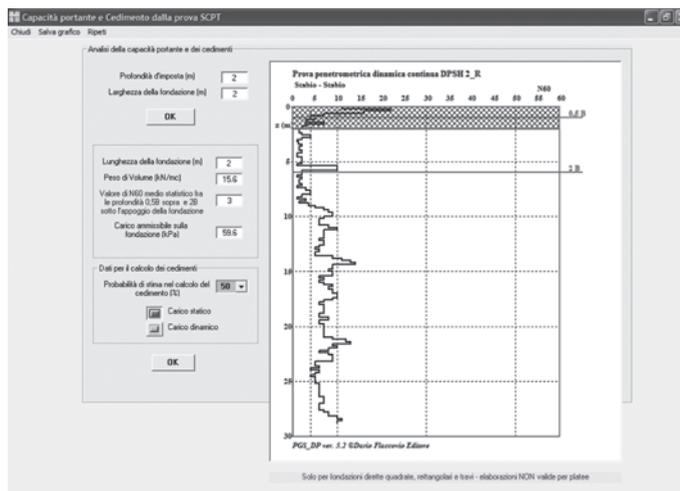


Figura 5.62

Eseguendo il comando OK vengono visualizzati i risultati dei calcoli:

- cedimento immediato e cedimento previsto dopo 20 anni con il metodo di Burland e Burbidge;
- cedimento immediato in accordo con il metodo di Parry;
- cedimento immediato in accordo con il metodo di Peck;
- cedimento immediato in accordo con il metodo di Sherif;
- cedimento immediato in accordo con il metodo di Anagnostopoulos.

Gli stessi sono illustrati anche in grafico per una comprensione più immediata dei valori:

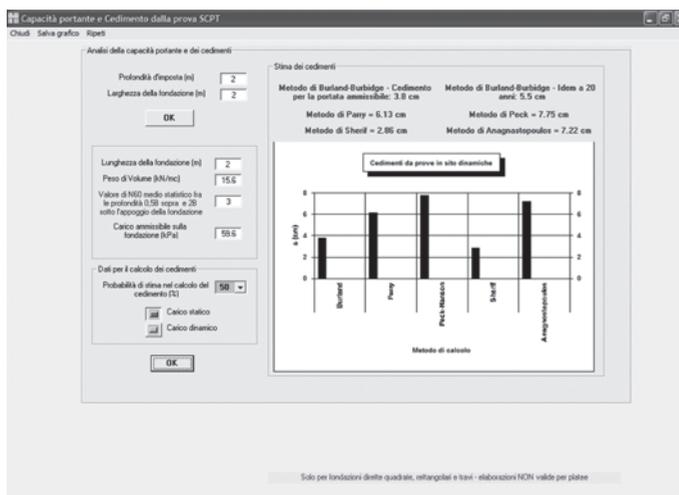


Figura 5.63

### 5.5.2. Analisi di fondazione su pali

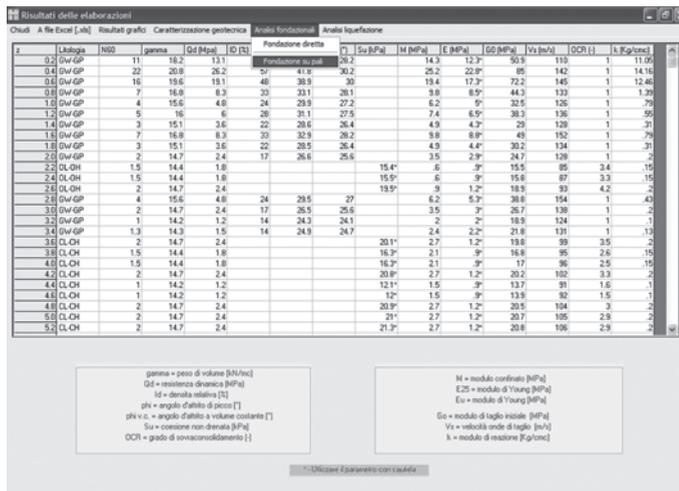


Figura 5.64

### 6.5.2. Analisi di fondazione su pali

Risultati delle elaborazioni				Analisi fondazioni		Analisi liquefazione							
Clusid	File Excel (.xls)	Risultati grafici	Caratterizzazione geotecnica	Fondazione diretta									
Z [m]	Litologia	CF (%)	Qc (MPa)	gamma	tf	vs	Sw	E	M	tau	OCR	Cc	Gs
6.4	Sabbia	27	6.31	15.5		31.4		22.1	26.1	0.186	1.5		362.0
5.6	Sabbia limosa	32	3.85	15.2		31.7		13.5	18.0	0.201	0.9		352.0
5.6	Sabbia limosa	41	2.85	16.9		22.0	31.0	16.5	13.3	0.180	0.9		369.0
7.0	Argilla limosa	54	1.76	16.7				90.9	13.5	0.900	4.1	0.109	203.0
7.2	Argilla limosa	67	1.24	16.5				61.9	9.1	0.900	2.7	0.115	137.0
7.4	Argilla limosa	79	1.06	16.3				52.7	7.8	0.900	2.2	0.109	117.0
7.6	Sabbia	55	1.30	16.1	6.0	27.0	27.0	5.5	7.6	0.130	0.9		263.0
7.6	Sabbia	46	1.81	16.1	12.0	29.0	29.0	7.2	9.7	0.160	0.9		369.0
8.0	Sabbia	42	2.12	16.3	15.0	29.0	29.0	6.4	11.1	0.160	0.9		325.0
8.2	Sabbia	41	2.27	16.4	16.0	30.0	30.0	9.0	11.7	0.175	0.9		337.0
8.4	Sabbia	40	2.20	16.4	17.0	30.0	30.0	9.5	12.3	0.175	0.9		346.0
8.6	Sabbia	40	2.43	16.5	17.0	30.0	30.0	9.7	12.6	0.175	0.9		354.0
8.8	Sabbia	42	2.32	16.5	16.0	29.0	29.0	9.2	12.0	0.160	0.9		356.0
9.0	Sabbia	46	2.13	16.5	14.0	29.0	29.0	8.5	11.2	0.160	0.9		363.0
9.2	Sabbia	48	1.99	16.4	12.0	29.0	29.0	7.9	10.6	0.145	0.9		362.0
9.4	Sabbia	52	1.86	16.6	10.0	28.0	28.0	7.4	10.0	0.145	0.9		352.0
9.6	Sabbia limosa	59	1.71	16.7	9.0	27.0	27.0	6.8	9.3	0.130	0.9		349.0
9.8	Argilla limosa	67	1.53	16.9				76.5	11.2	0.900	2.4	0.107	169.0
10.0	Argilla limosa	77	1.29	15.0				73.9	9.1	0.900	1.9	0.116	137.0
10.2	Argilla	85	1.12	16.9				62.7	7.7	0.900	1.6	0.122	116.0

Figura 6.52

Eseguendo il comando FONDAZIONI SU PALI viene visualizzata la finestra ANALISI FONDAZIONE SU PALI DA METODI DIRETTI.

Il grafico riporta l'andamento della resistenza alla punta e viene richiesto l'inserimento dei seguenti dati:

- lunghezza prevista del palo (in metri, non può essere superiore alla lunghezza della prova);
- diametro del fusto del palo (in metri);
- diametro alla base del palo (in metri, di default uguale al diametro del fusto).

Geometria del palo

Lunghezza del palo (m)

Diametro del fusto del palo (m)

Diametro alla base del palo (m)

Assegnati i dati, con l'esecuzione del comando OK:

Figura 6.53

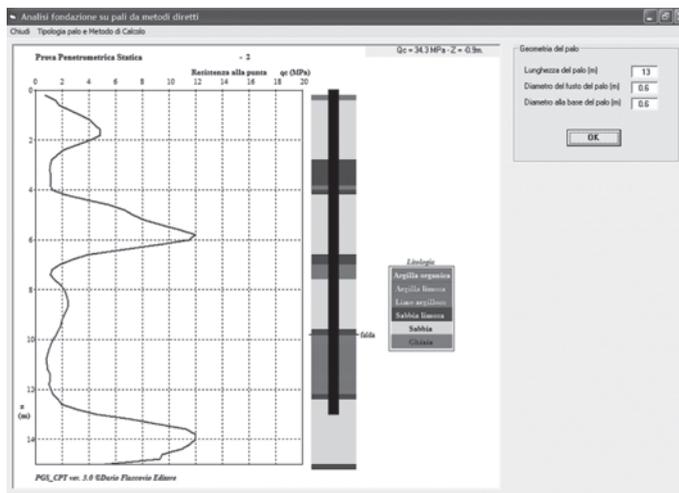


Figura 6.54

viene visualizzata sulla colonna stratigrafica la presenza del palo con la sua lunghezza.

Dal comando TIPOLOGIA DEL PALO E METODO DI CALCOLO si sceglie la tipologia del palo di cui è previsto l'impiego:

- battuto;

- trivellato;
- CFA (ad elica continua),

e il relativo metodo di calcolo della portata da utilizzare.

I metodi di calcolo a disposizione sono:

- metodo di Schmertmann:
  - palo battuto in calcestruzzo;
  - palo battuto in acciaio a punta aperta;
  - palo battuto in acciaio a punta chiusa.
- metodo di Philipponat:
  - palo battuto in qualsiasi tipo di terreno.
- metodo di Bustamante e Gianeselli (LCPC):
  - palo trivellato, eseguito a secco o con circolazione di fango, palo CFA, micropalo iniettato a bassa pressione;
  - palo trivellato eseguito in cassaforma metallica;
  - palo battuto prefabbricato in cemento armato o in cemento armato precompresso.

Per ogni metodo il programma valuta:

- la portata limite di base;
- la portata limite di fusto;
- la portata totale.

Quindi, in accordo con le NTC 2008, le portate (o resistenze) di progetto (paragrafo 6.4.3.1) sono:

- resistenza limite di base;
- resistenza limite di fusto;
- resistenza limite totale,

sia per l'approccio 1

- combinazione 2 che per l'approccio 2.

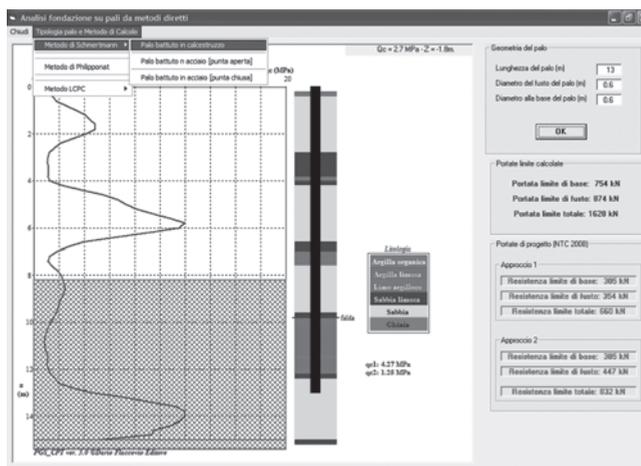


Figura 6.55

Il modulo CPT (Prove penetrometriche statiche meccaniche) ■ cap 6

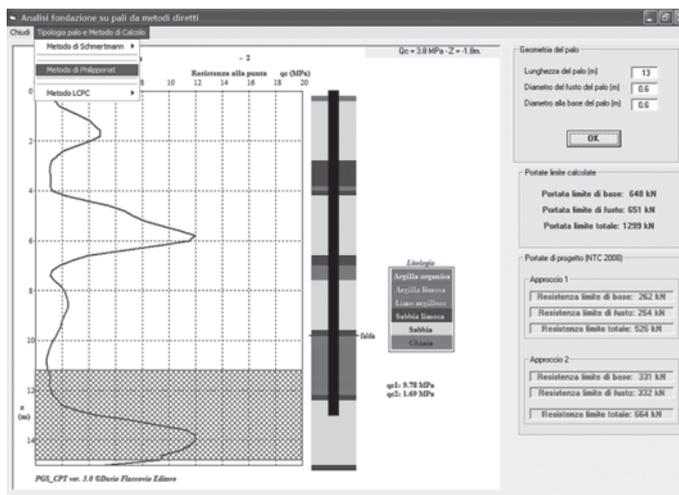


Figura 6.56

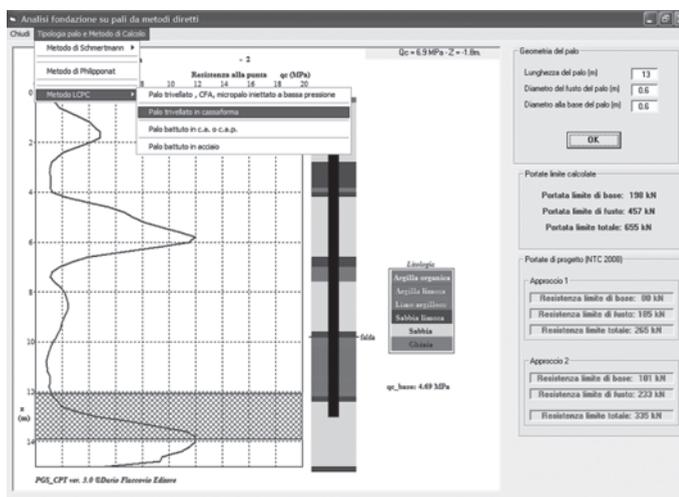


Figura 6.57

## 6.6. Analisi liquefazione

Risultati delle elaborazioni

z [m]	litologia	CF (%)	Resultato grafici	Caratterizzazione geotecnica	Analisi fondazioni	Analisi liquefazione														
				gamma	lg	phi_p	phi_vs	Su	E	M	nu	OCR	Cc	Gs						
6.4	Sabbia	27	6.31	15.6	45.0	36.0	31.4			22.1	26.7	0.156	1.5							367.0
6.6	Sabbia limosa	32	3.96	19.2	31.0	34.0	31.7			13.5	18.0	0.201	0.9							352.0
6.8	Sabbia limosa	41	2.65	18.9	22.0	31.0	30.3			30.9	16.6	0.133	0.180	0.9						306.0
7.0	Argilla limosa	54	1.76	18.7				30.9		13.5	0.900	4.11	0.109	260.0						
7.2	Argilla limosa	67	1.24	18.5				61.9		9.11	0.900	2.7	0.115	137.0						
7.4	Argilla limosa	79	1.08	18.3				62.7		7.8	0.900	2.2	0.109	117.0						
7.6	Sabbia	55	1.36	18.1	6.0	27.0	27.0		6.5	7.6	0.150	0.9		262.0						
7.8	Sabbia	46	1.81	18.1	12.0	28.0	28.0		7.2	9.7	0.160	0.9		308.0						
8.0	Sabbia	42	2.12	18.3	15.0	28.0	28.0		8.4	11.1	0.160	0.9		325.0						
8.2	Sabbia	41	2.27	18.4	18.0	30.0	30.0		9.0	11.7	0.175	0.9		337.0						
8.4	Sabbia	40	2.36	18.4	17.0	30.0	30.0		9.5	12.3	0.175	0.9		346.0						
8.6	Sabbia	40	2.43	18.5	17.0	30.0	30.0		9.7	12.6	0.175	0.9		354.0						
8.8	Sabbia	42	2.32	18.5	18.0	29.0	29.0		9.2	12.6	0.160	0.9		356.0						
9.0	Sabbia	46	2.12	18.5	14.0	29.0	29.0		6.5	11.2	0.160	0.9		353.0						
9.2	Sabbia	48	1.99	18.4	12.0	28.0	28.0		7.9	10.6	0.145	0.9		352.0						
9.4	Sabbia	52	1.96	18.6	19.0	28.0	28.0		7.4	10.6	0.145	0.9		352.0						
9.6	Sabbia limosa	58	1.71	18.7	9.0	27.0	27.0		6.8	9.3	0.130	0.9		349.0						
9.8	Argilla limosa	67	1.53	18.9				75.5		11.2	0.900	2.4	0.107	168.0						
10.0	Argilla limosa	77	1.29	19.0				73.9		9.1	0.900	1.9	0.116	137.0						
10.2	Argilla	89	1.12	18.9				62.7		7.7	0.900	1.6	0.122	116.0						

Figura 6.58

Il comando ANALISI LIQUEFAZIONE consente di visualizzare la finestra CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE. Dal comando ASSEGNA CATEGORIA nel menu principale si può scegliere da dove derivare la categoria del suolo, se dai valori della velocità delle onde sismiche calcolati in precedenza o con l'inserimento diretto dei valori misurati nel corso dei prove geofisiche (eseguite in foro o prove di superficie eseguite in vicinanza del foro).



Figura 6.59

In base alla scelta fatta, verrà visualizzato il grafico dell'andamento del parametro scelto come riferimento con la profondità:

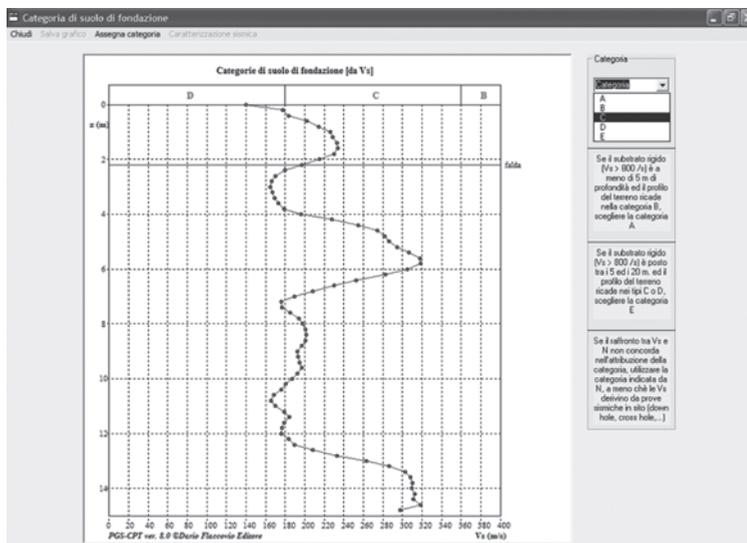


Figura 6.60

Tramite il menu a tendina sulla destra si sceglie la categoria di suolo.

Si deve successivamente eseguire dal menu principale il comando CARATTERIZZAZIONE SISMICA, inserendo i tre dati delle forme spettrali previsti dalle NTC per ogni stato limite relativi alla località in cui è stata eseguita la prova.

Per la valutazione dei parametri di azione si può fare riferimento ai seguenti software disponibili gratuitamente sul web:

1. *Spettri-NTC* del Consiglio Superiori dei Lavori Pubblici;
2. *CDS Zone Sismiche* della Società S.T.S. Software Tecnico Scientifico;
3. *Edilus MS – Mappe Sismiche* della Società Acca Software S.p.A.

Il modulo CPT (Prove penetrometriche statiche meccaniche) ■ cap 6

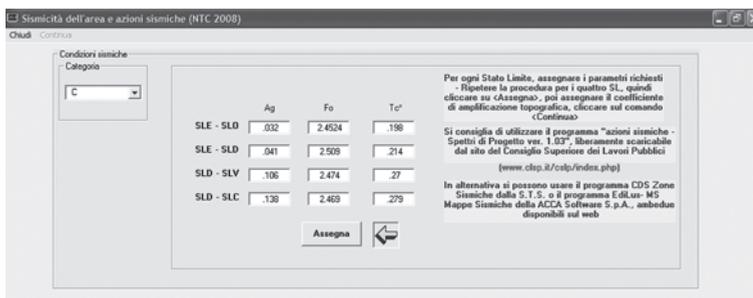


Figura 6.61

Inseriti i dati richiesti, si esegua il comando ASSEGNA; nella stessa finestra verrà visualizzata la richiesta di assegnazione del coefficiente di amplificazione topografica.

Dopo tale assegnazione, viene visualizzato il valore dell'accelerazione massima attesa al suolo e viene richiesto il valore della magnitudo di riferimento.

Per il passaggio successivo si deve cliccare su OK.

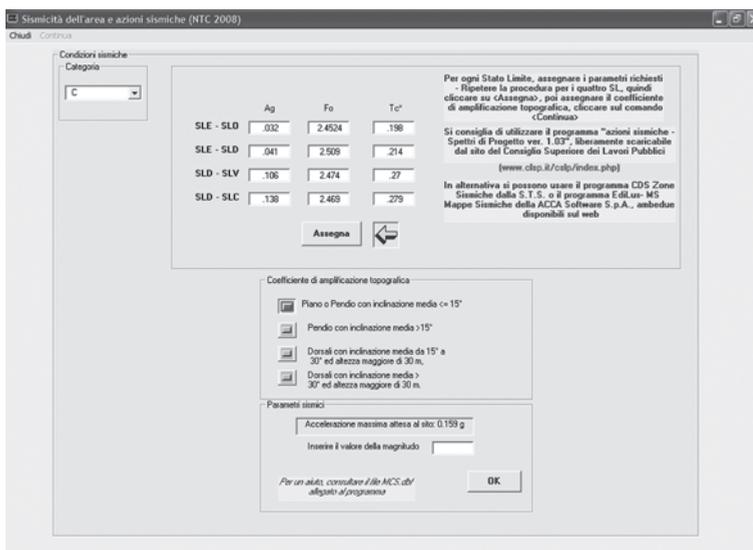


Figura 6.62

Se il valore inserito della magnitudo del sisma previsto è inferiore a 5, viene visualizzato un messaggio che avverte che la stima della liquefacibilità si può escludere ai sensi dell'articolo 7.11.3.4.2 delle NTC:

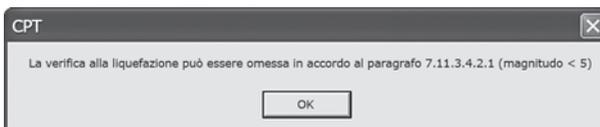


Figura 6.63

Se al contrario il valore della magnitudo inserita è superiore a 5:

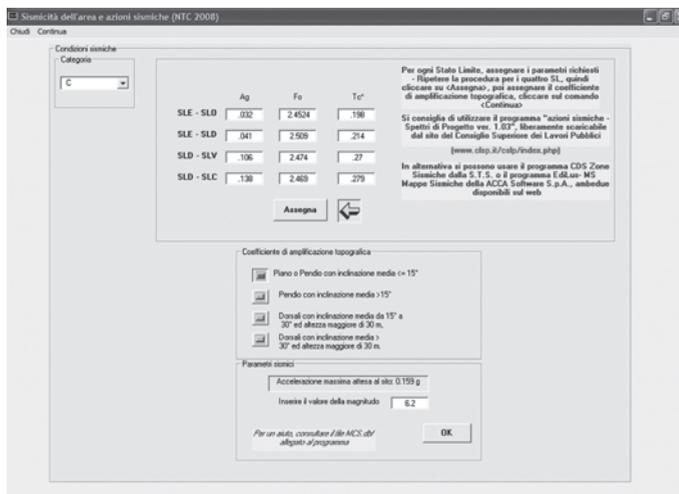


Figura 6.64

si entra nella finestra relativa alla valutazione della liquefacibilità:

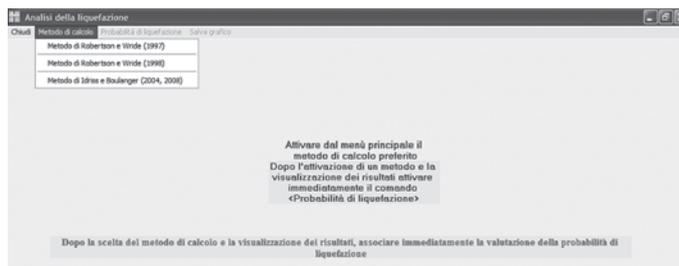


Figura 6.65

Se la profondità raggiunta con la prova è inferiore a 20 metri, con l'attivazione di uno dei metodi di calcolo a disposizione si avrà comunque un messaggio: Per ogni metodo vengono visualizzati in forma grafica:



Figura 6.66

- profondità di prova;
- litologia assegnata;
- CSR (Cyclic Stress Ratio – rapporto di tensione ciclica);
- CRR (Cyclic Resistance Ratio – rapporto di resistenza ciclica);
- coefficiente di sicurezza;
- accelerazione al sito;
- magnitudo di calcolo;
- cedimento in fase sismica;

- cedimento post liquefazione;
- cedimento totale dovuto al sisma.

A questo punto occorre salvare il grafico e dal menu principale eseguire immediatamente il comando **PROBABILITÀ DI LIQUEFAZIONE** per valutare la probabilità di liquefazione con la profondità e l'indice del potenziale di liquefazione secondo Iwasaki modificato da Sonmez assieme a una valutazione del valore calcolato: Tutti i metodi possono essere visualizzati a piacere.

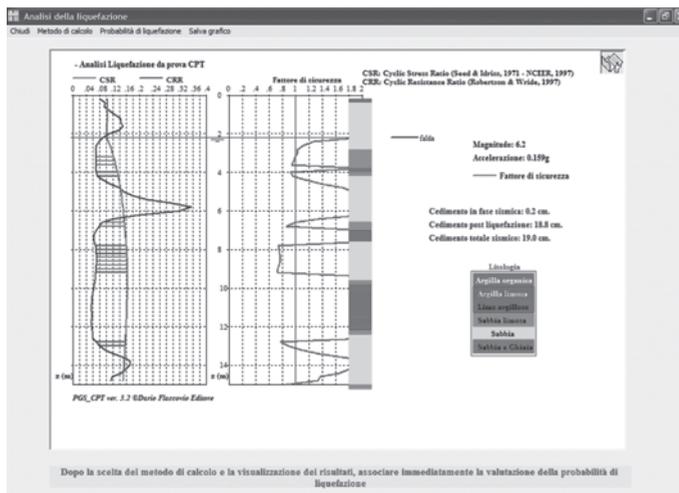


Figura 6.67

Si deve sempre rispettare la sequenza:

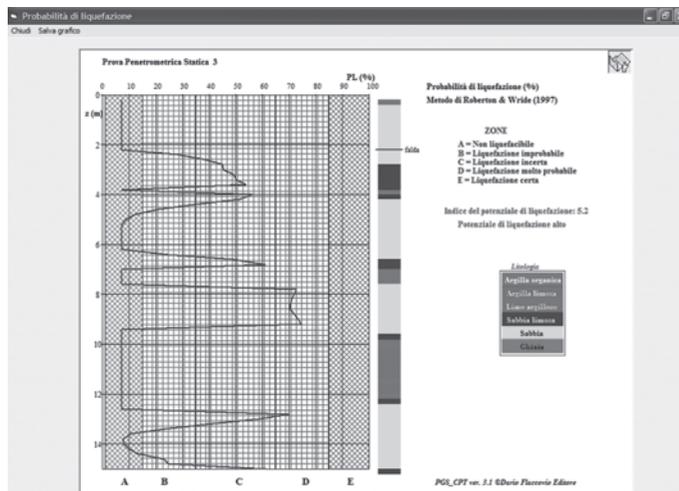


Figura 6.68

- calcolo della liquefacibilità e dei cedimenti indotti;
- probabilità di liquefazione.

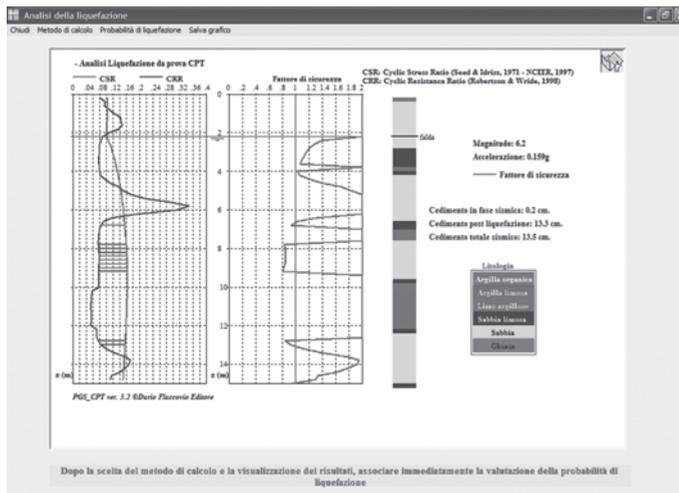


Figura 6.69

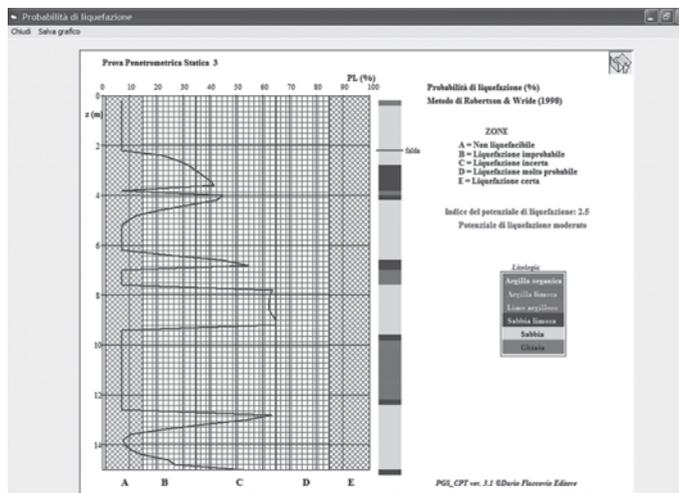


Figura 6.70

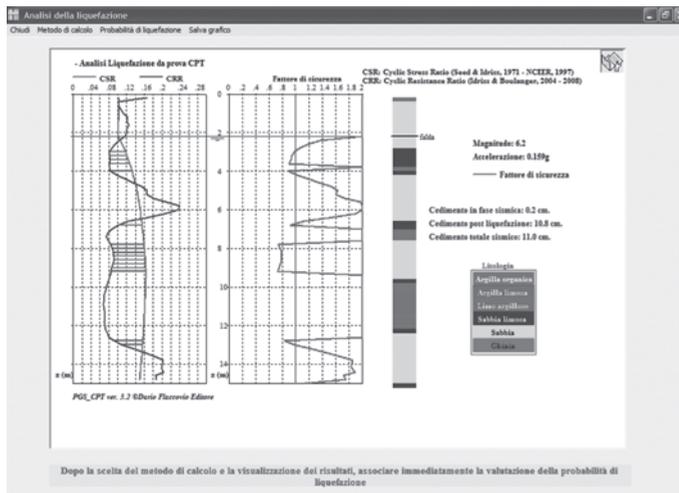


Figura 6.71

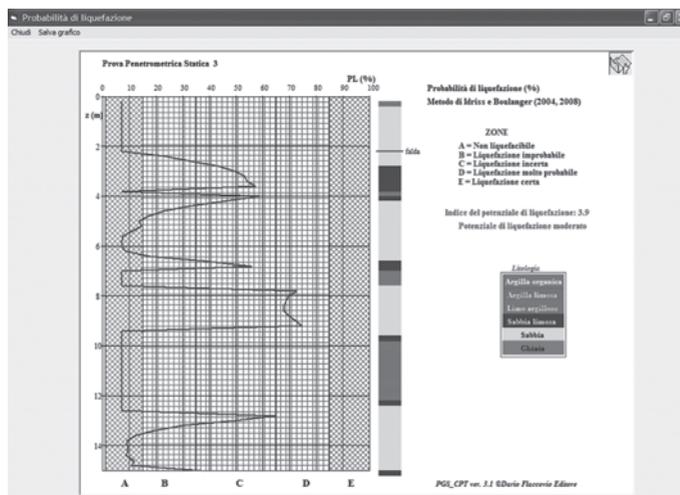


Figura 6.72

Terminate le valutazioni relative alla liquefacibilità del sito, con l'esecuzione del comando CHIUDI si ritornerà alla finestra precedente dove si potranno eventualmente modificare i dati (ad esempio cambiando la magnitudo).

Se non si desidera effettuare alcuna modifica, è possibile tornare al menu principale tramite il comando CHIUDI.

## 6.7. Raffronti tra le prove

Una caratteristica del programma è la possibilità di confrontare i risultati di più prove eseguite per lo stesso progetto.

Se infatti dopo aver calcolato i parametri geotecnici di una prova, quando attraverso il comando CHIUDI nella finestra RISULTATI DELLE ELABORAZIONI si ritorna alla finestra iniziale, invece di terminare l'analisi uscendo dal programma si attiva nuovamente ELABORA PROVA PENETROMETRICA STATICA e si ripete tutta la procedura di elaborazione fino al calcolo dei parametri geotecnici-



Figura 6.73

ci, ed eventualmente alle elaborazioni successive, all'attivazione del comando CHIUDI per la seconda prova si noterà che nella finestra di arrivo risulta attivato il comando RAFFRONTA LE PROVE.

Con la procedura illustrata si possono calcolare andando avanti e indietro fino a 10 prove contemporaneamente, a condizione che non si termini mai il programma.

### Nota

Se si termina l'analisi inavvertitamente o non si ha tempo di elaborare in una stessa sessione di lavoro tutte le eventuali prove eseguite e quindi non è possibile raffrontare tutte le prove desiderate, si raccomanda di confrontare le prove solo dopo averle elaborato tutte, salvando ogni volta il file di elaborazione con un nome diverso (ad esempio *prova\_1*, *prova\_2*, *prova\_3*, etc.), uscire dal programma, rientrarvi e rielaborare le prove solo fine al calcolo dei parametri geotecnici (avendo cura di salvare il file relazione con un nome fittizio).

Al termine dell'elaborazione delle singole prove eseguendo il comando RAFFRONTA LE PROVE, verrà visualizzata la finestra RAFFRONTI TRA PROVE E ANALISI (figura 6.74).

Dal comando RAFFRONTA PROVE STATICHE si attiva un menu a tendina che presenta i parametri che possono essere raffrontati.

Eseguendo un comando dal menu a tendina si avrà la visualizzazione dell'andamento grafico del parametro relativo. Ad esempio:



Figura 6.74

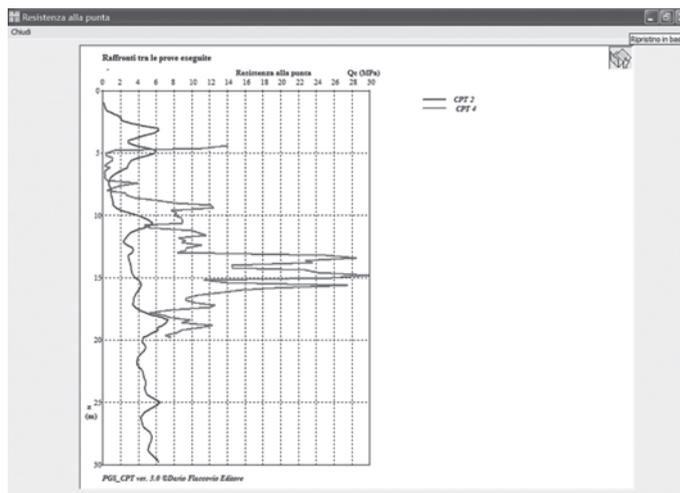


Figura 6.75

Il modulo CPT (Prove penetrometriche statiche meccaniche) ■ cap 6

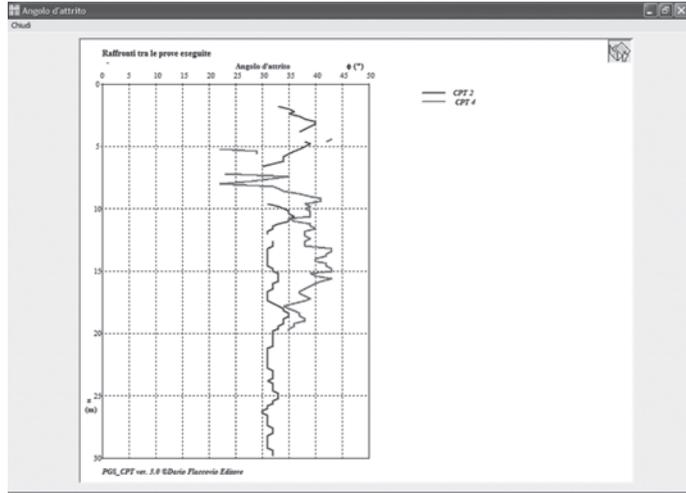


Figura 6.76

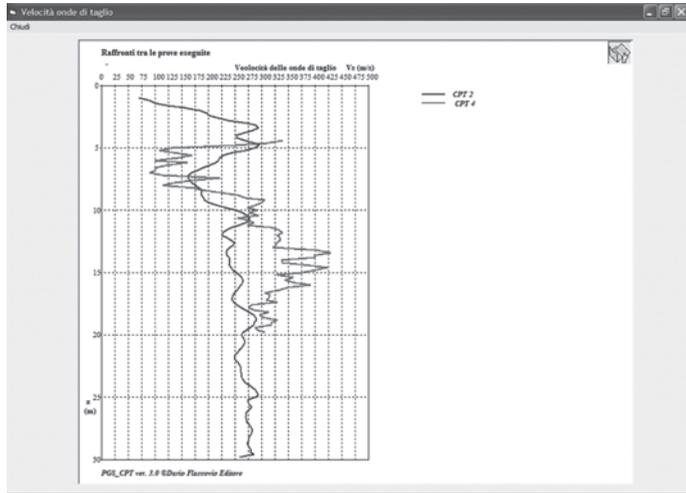


Figura 6.77

