

## 1. PROVE CPT : METODOLOGIA DELL' INDAGINE

La prova penetrometrica statica CPT (di tipo meccanico) consiste essenzialmente nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta meccanica di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante ( $v = 2 \text{ cm / sec} \pm 0,5 \text{ cm / sec}$ ).

La penetrazione viene effettuata tramite un dispositivo di spinta (martinetto idraulico), opportunamente ancorato al suolo con coppie di coclee ad infissione, che agisce su una batteria doppia di aste (aste coassiali esterne cave e interne piene), alla cui estremità è collegata la punta.

Lo sforzo necessario per l'infissione è misurato per mezzo di manometri, collegati al martinetto mediante una testa di misura idraulica.

La punta conica (del tipo telescopico) è dotata di un manicotto sovrastante, per la misura dell'attrito laterale : punta / manicotto tipo "**Begemann**".

Le dimensioni della punta / manicotto sono standardizzate, e precisamente:

- diametro Punta Conica meccanica       $\varnothing$       = 35,7 mm
- area di punta       $A_p$       = 10 cm<sup>2</sup>
- angolo di apertura del cono       $\alpha$       = 60 °
- superficie laterale del manicotto       $A_m$       = 150 cm<sup>2</sup>

Sulla batteria di aste esterne può essere installato un anello allargatore per diminuire l'attrito sulle aste, facilitandone l'infissione.

## 1.1 STRUMENTO UTILIZZATO PER LA PRESENTE INDAGINE.

### PAGANI TG 63 200 KN

Caratteristiche:

- Rif. Norme ASTM D3441-86
- Diametro punta conica meccanica  $\varnothing = 35.7 \text{ mm}$
- Angolo di apertura punta  $\alpha = 60^\circ$
- Area punta  $A_p = 10 \text{ cm}^2$
- Manicotto laterale di attrito tipo "Begemann" (h 133 mm - sup. lat. Am.  $150 \text{ cm}^2$ )
- Velocità di avanzamento costante  $V = 2 \text{ cm / sec}$  ( $\pm 0,5 \text{ cm / sec}$ )
- Costante di trasformazione  $C_t = 10$
- Anello Allargatore
- Cella di carico
- Sistema di misura idraulico
- Sistema di acquisizione automatico
- Passo del penetrometro (intervallo entro cui effettua la lettura) = 20 cm.

## 2. REGISTRAZIONE DATI.

Una cella di carico, che rileva gli sforzi di infissione, è montata all'interno di un'unità rimovibile, chiamata "selettore", che preme alternativamente sull'asta interna e su quella esterna.

Durante la fase di spinta le aste sono azionate automaticamente da un comando idraulico. L'operatore deve solamente controllare i movimenti di spinta per l'infissione delle aste.

I valori acquisiti dalla cella di carico sono visualizzati sul display di una Sistema Acquisizione Automatico (unità ACQ002).

Per mezzo di un software (TGAS01) è possibile sia durante l'acquisizione, che in un secondo momento a prove ultimate trasferire i dati ad un PC.



Le letture di campagna ( che possono essere rilevate dal sistema di acquisizione sia in Kg che in Kg/cm<sup>2</sup>) durante l'infissione sono le seguenti:

- Lettura alla punta **LP** = prima lettura di campagna durante l'infissione relativa all'infissione della sola punta
- Lettura laterale **LT** = seconda lettura di campagna relativa all'infissione della punta+manicotto
- Lettura totale **LLTT** = terza lettura di campagna relativa all'infissione delle aste esterne ( tale lettura non sempre viene rilevata in quanto non è influente metodologicamente ai fini interpretativi).

## 2. METODOLOGIA DI ELABORAZIONE

I dati rilevati della prova sono quindi una coppia di valori per ogni intervallo di lettura costituiti da LP (Lettura alla punta) e LT (Lettura 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).

Trasferiti i dati ad un PC vengono elaborati da un programma di calcolo “*STATIC PROBING*” della GeoStru Software s.a.s. a licenza Geoservice s.r.l. (Lic. D’uso n°: 887 e 2352).

La resistenze specifiche **Qc** (Resistenza alla punta **RP**) e **Ql** (Resistenza Laterale **RL** o **fs** attrito laterale specifico che considera la superficie del manicotto di frizione) 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 tenendo in debito conto che:

- $A_p =$  l’ area punta (base del cono punta tipo “Begemann”) = 10 cmq
- $A_m =$  area del manicotto di frizione = 150 cmq
- $C_t =$  costante di trasformazione =10

Il programma Static Probing permette inoltre 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.

I dati di uscita principali sono RP (Resistenza alla punta) e RL (Resistenza laterale o fs, attrito laterale specifico che considera la superficie del manicotto di frizione) che il programma calcola automaticamente ; inoltre viene calcolato il Rapporto RP/RL (Rapporto Begemann 1965) e il Rapporto RL/RP (Rapporto Schmertmann 1978 – FR %- ).

I valori sono calcolati con queste formule:

$$qc \text{ (RP)} = (LP \times Ct) / 10 \text{ cmq.}$$

**Resistenza alla punta**

$$ql \text{ (RL) ( fs)} = [(LT - LP) \times Ct] / 150 \text{ cmq.}$$

**Resistenza laterale**

$qc \text{ (RP)} = \text{Lettura alla punta } LP \times \text{Costante di Trasformazione } Ct / \text{Superficie Punta } Ap$

$ql \text{ (RL) ( fs)} = \text{Lettura laterale } LT - \text{Lettura alla punta } LP \times \text{Costante di Trasformazione } Ct / Am \text{ area del manicotto di frizione}$

N.B.

-  $Ap = 10 \text{ cmq}$  e  $Am = 150 \text{ cmq}$

- la resistenza laterale viene conteggiata **20 cm sotto** (alla quota della prima lettura della punta)

## 2.1 VALUTAZIONI STATISTICHE

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.

## **2.2 CORRELAZIONI**

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.

### **2.1.1 INTERPRETAZIONI LITOLOGICHE ( Autori di riferimento)**

- Searle 1979
- Douglas Olsen 1981 ( consigliato per CPTE)
- A.G.I. 1977 ( consigliato per CPT)
- Schmertmann 1978 (consigliato per CPT)
- Robertson 1983-1986 ( consigliato per CPTE)
- Begemann 1965 ( consigliato per CPT – classificazione valida solo per terreni in falda)

### **2.1.2 Suddivisione delle metodologie di indagine con i Penetrometri statici**

CPT (Cone Penetration Test – punta Meccanica tipo Begemann)

CPTE (Cone Penetration Test Electric – punta elettrica)

CPTU (Piezocono)

Per quanto riguarda la 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 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 usato per le elaborazioni 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** (l'intervallo entro cui effettua la lettura, generalmente per penetrometri normali è 20 cm., per le punte elettriche-piezoconi può essere di 2 cm).

Il programma elabora quindi i dati di resistenza alla punta e laterale  $f_s$  con le opportune correzioni dovute alla normalizzazione (con la tensione litostatica e con la pressione dei pori). Robertson definisce infine il valore caratteristico del  $I_c$  (Indice di tipo dello strato) e Contenuto in materiale fine FC % (cioè la percentuale di contenuto argilloso < 2 micron).

### 2.1.3 CORRELAZIONI GEOTECNICHE

Scegliendo il tipo di interpretazione litologica si ha in automatico la stratigrafia con il passo dello strumento ed interpolazione automatica degli strati.

Ad ogni strato mediato il programma calcola la  $Q_c$  media, la  $f_s$  media, il peso di volume naturale medio, il comportamento geotecnico<sup>1</sup> (coesivo, incoerente o coesivo-incoerente), ed applica una texture.

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

#### TERRENI INCOERENTI

##### *ANGOLO DI ATTRITO*

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 Herminier

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 quarzose

Angolo di Attrito (Schmertmann 1977-1982) – per varie litologie (correlazione che generalmente sovrastima il valore)

---

<sup>1</sup> La scelta oltre che in automatico può essere fatta anche manualmente; scegliendo coesivo il programma elabora i dati geotecnici solamente come terreno coesivo, incoerente elabora i dati solo come incoerente; scegliendo coesivo-incoerente (terreno dotato di comportamento intermedio e non inquadrabile in maniera certa) il programma elabora i dati anche in uscita con entrambi i comportamenti. La scelta ultima sulla caratterizzazione della natura prevalente dei terreni investigati ( incoerente o coesiva ) è demandata al professionista (geologo) incaricato dal committente nel rispetto delle competenze e delle esperienze geologiche acquisite in zona.

### ***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

### ***MODULO DI YOUNG***

Modulo di Young (Schmertmann 1970-1978)  $E_y(25)$  –  $E_y(50)$  - modulo secante riferito rispettivamente al 25 % e 50 % del valore di rottura – prima fase della curva carico/deformazione

Modulo di Young secante drenato (Robertson & Campanella 1983)  $E_y(25)$  –  $E_y(50)$ - per sabbie NC quarzose

Modulo di Young (ISOPT-1 1988)  $E_y(50)$  - per sabbie OC sovraconsolidate e SC

### ***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) – valido per sabbie

Modulo Edometrico (Buisman - Sanglerat) – valido per sabbie argillose

### ***PESO DI VOLUME GAMMA***

Peso di Volume Gamma (t/mc) (Meyerhof) -

Peso di Volume Gamma saturo (t/mc) (Meyerhof) -

### ***MODULO DI DEFORMAZIONE DI TAGLIO***

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

### ***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  $F_s \geq 1,25$ , possibile per  $F_s=1,0-1,25$  e molto probabile per  $F_s < 1$

### ***FATTORI DI COMPRESSIBILITÀ***

Ramo di carico C ( autori vari)

Ramo di carico medio  $C_{rm}$  (autori vari)

**OCR** - Grado di Sovraconsolidazione

Grado di Sovraconsolidazione OCR - (metodo Stress-History)

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

Grado di Sovraconsolidazione OCR (Piacentini-Righi Inacos 1978)

Grado di Sovraconsolidazione OCR - (Ladd e Foot - Ladd ed altri 1977)

**MODULO DI REAZIONE  $K_0$**  (Kulhawy Maine, 1990).

### **CORRELAZIONE NSPT**

**Meardi – Meigh 1972**

**Mayerof**

## **TERRENI COESIVI**

### ***COESIONE NON DRENATA***

Coesione non drenata (Lunne & Eide)

Coesione non drenata (Rolf Larsson SGI 1995) - suoli fini granulari

Coesione non drenata (Baligh ed altri 1976-1980) in tale elaborazione occorre inserire il valore di  $N_k$  (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 )

Coesione non drenata (Lunne, Robertson and Powell 1977)

Coesione non drenata (Terzaghi - valore minimo)

Coesione non drenata (Begemann)

Coesione non drenata (De Beer) - valida per debole coesione.

### ***INDICE DI COMPRESSIONE C***

Indice di Compressione Vergine  $C_c$  (Schmertmann)

Indice di Compressione Vergine  $C_c$  (Schmertmann 1978)

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

Fattore di compressibilità medio ramo di carico  $C_{rm}$  (Piacentini-Righi Inacos 1978).

### ***MODULO EDOMETRICO-CONFINATO***

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 – Alluvioni attuali argille plastiche – suoli organici ( W 90-130 )**

Buisman e Sanglerat valida per litotipi **argille compatte**  
Valore medio degli autori su suoli coesivi

### ***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 **n**  $30 < n < 1500$ )

### **PESO DI VOLUME GAMMA**

Peso di Volume terreni coesivi (t/mq) (Meyerhof)

Peso di Volume saturo terreni coesivi (t/mq) (Meyerhof)

### ***MODULO DI DEFORMAZIONE DI TAGLIO***

Imai & Tonouchi (1982)

### **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)

Grado di Sovraconsolidazione Jamiolkowski et altri 1979 – valida per argilla di Taranto

Grado di Sovraconsolidazione Schmertmannn 1978

## **COEFFICIENTE DI CONSOLIDAZIONE VERTICALE**

Coefficiente di Consolidazione  $C_v$  (Piacentini-Righi, 1988)

## **PERMEABILITÀ**

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