

CARATTERIZZAZIONE MECCANICA DEI DEPOSITI DI TERRENI MEDIANTE PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE

Nunziante Squeglia

Dipartimento di Ingegneria Civile, Università di Pisa
squeglia@ing.unipi.it

Oronzo Pallara, Elena Mensi

Dipartimento di Ingegneria Strutturale e Geotecnica, Politecnico di Torino
oronzo.pallara@polito.it, elena.mensi@polito.it

Sommario

La presente nota riporta in sintesi i risultati di un confronto tra diversi metodi per la stima dell'angolo di resistenza al taglio di picco che utilizzano i risultati di prove SPT, ed un confronto tra i risultati di prove SPT e prove DP. Il confronto è stato effettuato a partire da una estesa banca dati messa a disposizione dalla Regione Toscana ed ha consentito di verificare che le correlazioni che non tengono conto della granulometria del terreno portano a stime dell'angolo di resistenza al taglio di picco non realistiche. Il confronto tra le prove SPT e DP, in particolare con la DPSH, ha escluso l'esistenza di un rapporto costante tra il numero di colpi N_{SPT} ed il numero di colpi risultante da una prova DP. Tale rapporto sembra altresì essere influenzato dalla granulometria del terreno, sebbene i dati disponibili non consentano di definire una correlazione certa.

Introduzione

Come è noto nei terreni a grana grossa il prelievo dei campioni a basso disturbo rappresenta un'operazione problematica o decisamente costosa. Per tale motivo è diffuso il ricorso a prove in sito, specialmente a prove penetrometriche dinamiche. Lo scopo delle prove penetrometriche dinamiche è quello di determinare il numero di colpi (N_{SPT} , N_{30} , N_{20}) necessari ad infiggere per una data profondità un tubo campionatore o una punta chiusa di dimensioni standardizzate lasciando cadere un maglio di massa data da un'altezza prefissata. La prova SPT deve essere effettuata in fori appositamente eseguiti e spesso si esegue in concomitanza di sondaggi geotecnici. Non vi è tale necessità per la prova DP che risulta pertanto economicamente vantaggiosa, tuttavia, al fine di evitare l'attrito laterale sulla batteria delle aste, è necessario eseguire la prova utilizzando dei tubi di rivestimento o comunque ricorrendo ad opportuni accorgimenti necessari a ridurre l'attrito tra il foro e le aste.

Le prove sono preferibilmente eseguite in terreni granulari (sabbie e ghiaie). Nonostante ciò è possibile realizzarle in qualsiasi terreno sciolto ed anche nel caso di alcune rocce tenere. In presenza di grossi elementi lapidei (blocchi, clasti), questa tipologia di prova perde di significato.

Attraverso l'impiego di correlazioni empiriche è possibile stimare in modo più o meno affidabile:

- la densità relativa (D_R), l'angolo di resistenza al taglio di picco (β') e la resistenza alla liquefazione (τ_1/σ'_{vo}) dei terreni granulari;
- il modulo di taglio a piccole deformazioni (G_0);
- la resistenza al taglio non drenata c_u di terreni a grana fine.

Nella presente nota si limiterà la discussione alle sole caratteristiche di resistenza al taglio ed al commento delle relazioni che intercorrono tra i risultati di prove SPT e prove DP. In particolare si farà riferimento alla prova DP superpesante (DPSH) per la maggiore disponibilità di dati e per la sua somiglianza alla prova SPT.

Determinazione dell'angolo di resistenza al taglio da prove SPT

Per la determinazione dell'angolo di resistenza al taglio di picco tre differenti approcci sono possibili. In un primo approccio si utilizzano le correlazioni tra N_{SPT} e ϕ'_p , quale quella della Japan Road Association (1990)

$$j'_p = \sqrt{15 \cdot N_{SPT}} + 15 \quad (1)$$

o quella precedentemente proposta da Peck (1953)

$$j'_p = 0.3 \cdot N_{SPT} + 20 \quad (2).$$

In un secondo approccio si fa riferimento a correlazioni che esprimono ϕ'_p come funzione di N_{SPT} e della tensione verticale efficace litostatica, come quella recentemente proposta da Hatanaka e Uchida (1996)

$$j'_p = \sqrt{20 \cdot N_{1,SPT}} + 20 \quad (3)$$

in cui $N_{1,SPT}$ è il numero di colpi N_{SPT} normalizzato rispetto alla pressione atmosferica, oppure utilizzando correlazioni ben note come quella proposta da De Mello (1971).

Un terzo approccio utilizza le relazioni lineari proposte da Schmertmann (1978) tra ϕ'_p e la densità relativa D_R , le cui costanti dipendono dalla granulometria del terreno. La densità relativa è stimata attraverso le correlazioni proposte da Skempton (1986)

$$(N_1)_{60} / D_R^2 = A \quad (4)$$

in cui A è funzione della granulometria del terreno e $(N_1)_{60}$ è dato dalla relazione

$$(N_1)_{60} = N_{SPT} \cdot C_N \frac{ER}{60}, \quad (5)$$

oppure attraverso la correlazione proposta da Cubrinowski ed Ishihara (1999)

$$(N_1)_{78} / D_R^2 = C_D \quad (6)$$

in cui C_D è funzione della quantità $e_{max} - e_{min}$, che è a sua volta funzione di d_{50} ed $(N_1)_{78}$ è dato dalla relazione

$$(N_1)_{78} = N_{SPT} \cdot C_N \cdot \frac{ER}{78} \quad (7)$$

Nelle relazioni (5) e (7) la quantità $C_N = (p_a / \sigma'_{v0})^{0.5}$ è il coefficiente di normalizzazione proposto da Liao e Whitman (1986).

Allo scopo di confrontare le stime di ϕ'_p ricavabili attraverso i diversi approcci sono state elaborate (Raffi, 2006) un gran numero di prove SPT eseguite nell'ambito del Progetto di Valutazione degli Effetti Locali in corso di realizzazione da parte della Regione Toscana. Il confronto è stato effettuato separatamente per le sabbie, le ghiaie ed i ciottoli. La figura 1 mostra il confronto tra i valori di densità relativa ricavati dalle correlazioni di Cubrinowski ed Ishihara e quelli risultanti dalla correlazione di Skempton. Come si vede l'accordo tra le due correlazioni è buono con una sovrastima di D_r ottenuta tramite la correlazione di C & I. La figura 1 in realtà è stata ottenuta elaborando i dati in modo leggermente diverso da quanto proposto da C & I. Infatti, come mostrato da Raffi (2006), la stima di $e_{max} - e_{min}$ dal coefficiente di uniformità del terreno (Jamiołkowski et Al., 2004) fornisce valori più realistici di quelli ottenibili dalla correlazione con il d_{50} . Si rammenta, a tale proposito che la correlazione con il d_{50} è quella suggerita dagli stessi Autori.

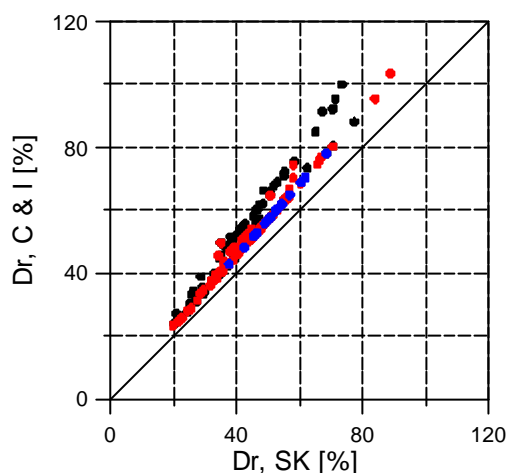


Figura 1. Confronto tra i valori di D_r ricavati tramite le correlazioni di Cubrinowski ed Ishihara e Skempton.

La figura 2 mostra a titolo esemplificativo i valori di ϕ'_p ottenuti per le sabbie. A commento dei risultati ottenuti è possibile fare le seguenti considerazioni, in parte già note:

- le correlazioni della Japan Road Association (1990) e Peck (1953) rappresentano un limite inferiore ed in particolare per le sabbie per valori di $N_{SPT} < 40$;
- le correlazioni di De Mello (1971) e Hatanaka e Uchida (1996) rappresentano un limite superiore;

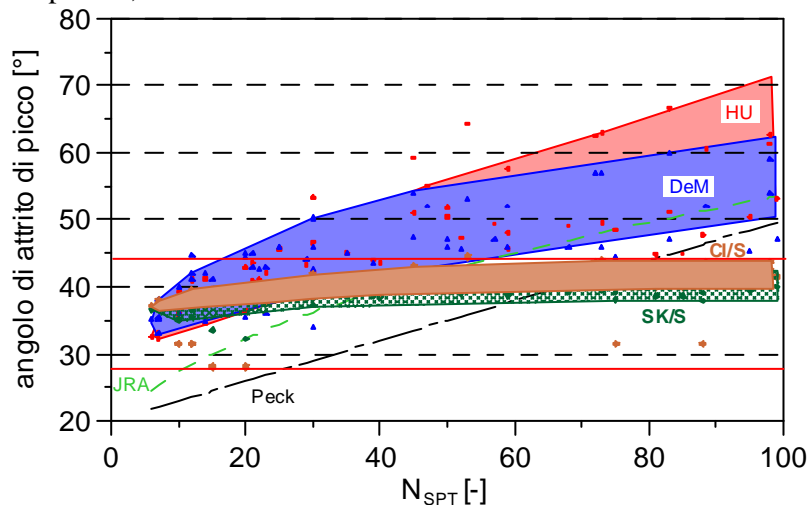


Figura 2. Stima dell'angolo di attrito di picco mediante diverse correlazioni.

- le correlazioni basate sulla stima di D_r e la successiva determinazione di ϕ'_p , tramite la correlazione di Schmertmann (1978), conducono ad una variazione contenuta dell'angolo di resistenza al taglio di picco;
- la correlazione di Hatanaka e Uchida (1996) porta a stime particolarmente elevate di ϕ'_p per valori di $N_{SPT} > 40$ ed appare quindi poco utilizzabile in tale caso;
- le correlazioni che non tengono conto della granulometria del terreno portano ad una stima eccessivamente cautelativa dell'angolo di resistenza al taglio di picco ovvero ad una variabilità molto elevata nella stima di ϕ'_p che, per valori di $N_{SPT} > 40$ può essere dell'ordine di $\pm 5^\circ$.

Uso delle prove DP e correlazioni con la prova SPT

Come detto in precedenza, la prova DP consiste nel far penetrare nel terreno mediante battitura una punta conica di dimensioni e forma standardizzate. Nei casi esaminati nella presente nota, come già detto, si farà particolare riferimento alla versione superpesante della prova DP, indicata con la sigla DPSH, che presenta molti tratti in comune con la prova SPT come l'energia impiegata o il diametro dell'attrezzo di penetrazione. Oltre alla già citata economicità delle prove DPSH rispetto alle SPT è attribuibile alla DPSH anche una maggiore ripetibilità. A tale proposito la figura 3 riporta a titolo di esempio i risultati di prove penetrometriche SPT e prove penetrometriche DPSH eseguite nelle alluvioni del fiume Arno lungo diverse verticali su un'area abbastanza ampia di circa 30'000 m². E' possibile notare la minore dispersione dei risultati ottenuti nel corso di prove penetrometriche continue e la variabilità dei risultati ottenuti nel corso di prove SPT eseguite sulla medesima area.

Mancando una serie di studi specifici è necessario utilizzare la base statistica creata per la prova SPT e, quindi, cercare delle correlazioni con i risultati di quest'ultima. Una rassegna delle correlazioni tra N_{30} (DPSH) ed N_{SPT} è reperibile nel lavoro di Cestari (1990). Riassumendo molto sinteticamente le esperienze disponibili si ottiene che, in assenza di rivestimento N_{30} (DPSH)/ $N_{SPT} = 1.15$ (Muromachi e Kobayashi 1982), in presenza di rivestimento o di iniezioni di fango N_{30} (DPSH)/ $N_{SPT} = 0.95 - 0.50$. Tuttavia è opinione degli autori, alla luce della propria esperienza e degli studi di Cubrinowski e Ishihara (1999), che tale correlazione sia influenzata dal rendimento energetico del sistema di battitura e dalla dimensione delle particelle. In relazione a questo ultimo aspetto, vale la pena ricordare che, al

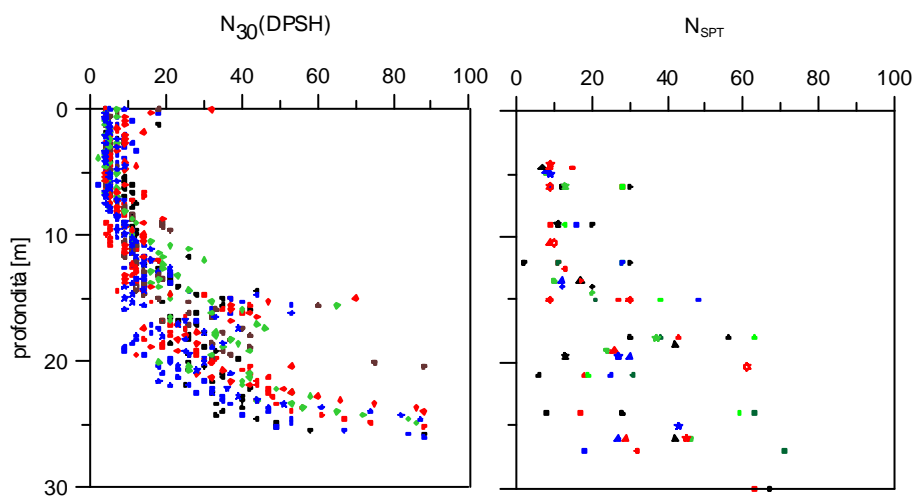


Figura 3. Profili di prove penetrometriche dinamiche in sito.

crescere della dimensione dei grani, la penetrazione del campionatore SPT può avvenire “a punta chiusa” con una diminuzione significativa del rapporto tra energia immessa e sezione effettiva della punta. Un confronto tra prove DPSH e prove SPT eseguite lungo verticali adiacenti in diverse località della Toscana, effettuato a partire dalla già citata banca dati, sembra confermare ulteriormente tale ipotesi (Figura 4). Alla luce di tale osservazione sembra possibile poter concludere che la correlazione tra N_{30} (DPSH) ed N_{SPT} debba essere espressa più che da una costante da una funzione del diametro medio dei grani, sebbene i dati riportati in figura 4 non siano adeguati alla definizione di una relazione quantitativa.

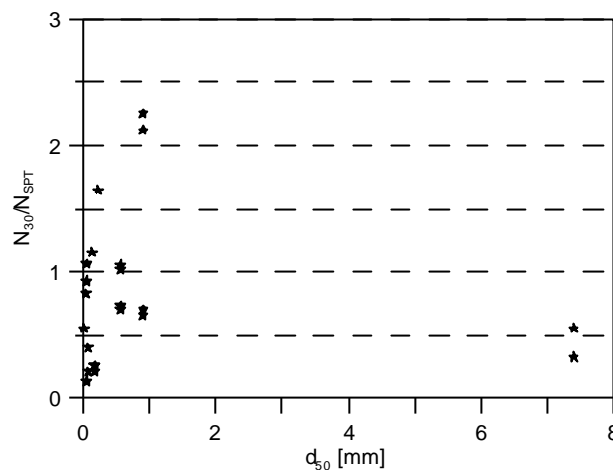


Figura 4. Variabilità del rapporto N_{DPSH}/N_{SPT} con il d_{50} .

Bibliografia.

- Japan Road Association (1990). Specification for Highway Bridges, Part IV.
- Peck R.B., Hanson W.E., e Thornburn T.H. (1953). Foundation Engineering. J. Wiley & Sons Inc., New York.
- Hatanaka M. e Uchida A. (1996). Empirical Correlation between Penetration Resistance and Internal Friction Angle of Sandy Soils. *Soils and Foundations*. 36(4): 1-10.
- De Mello V.F.B (1971). The Standard Penetration Test. *SOA Report, Proc. IV Panamerican Conf. on SMFE, San Juan, Puerto Rico*.
- Schmertmann J.H. (1978). Use of SPT to Measure Dynamic Soil Properties? Yes, But...! *Dynamic Geotechnical Testing, ASTM STP 654*. 341-355.
- Skempton A.W. (1986). Standard Penetration Tests Procedures & the Effects in Sands of Overburden Pressure, Relative Density, Particle Size, Ageing and Overconsolidation. *Géotechnique*. 36(3): 425-447.
- Cubrinovski M. e Ishihara K. (1999). Empirical Correlation between SPT N-value and Relative Density of Sandy Soils. *Soils and Foundations*. 5: 61-71.
- Liao S.C. e Withmann R.V. (1986). Overburden Correction Factors for SPT in Sand. *Journal of GED, ASCE*. 112(3): 373-377
- Jamiolkowski M., Kongsukprasert L. and Lo Presti D.C.F. (2004) Characterization of gravelly geomaterials. *Proceedings of the Fifteenth Southeast Asian Geotechnical Conference, Bangkok, Keynote lecture, Vol. 2, pp. 29-56*
- Raffi C. (2006) Valutazione dei parametri di resistenza dei terreni granulari ottenuti da risultati di prove penetrometriche, Tesi di laurea di I livello.
- Cestari F. (1990). Prove Geotecniche in Sito. *Edizioni Geo-Graph Segrate*.
- Muromachi T. e Kobayashi S. (1982). Comparative study of static and dynamic penetration tests currently in use in Japan. *ESOPT-2, Amsterdam, Balkema*. 1: 297-302.