

SPECIFICHE INDAGINI GEOTECNICHE CON DILATOMETRO PIATTO MARCHETTI (DMT) E DILATOMETRO SISMICO MARCHETTI (SDMT)

A. GENERALITÀ DMT

La prova DMT consiste nell'infiggere verticalmente nel terreno, mediante spinta statica, uno strumento di prova a lama, espandendo con del gas in pressione una membrana circolare situata su di un lato dello strumento e misurando le pressioni corrispondenti a due livelli di deformazione predeterminati della membrana.

Normativa di riferimento:

- ASTM (2001) "D 6635-01 Standard Test Method for Performing DMT", Book of Standards Volume 04.09
- CEN-Eurocode 7 (1999) - "Flat dilatometer test (DMT)", Part 3, Section 9

B. ATTREZZATURA DMT

B.1 Dispositivo di spinta

Può essere costituito da un penetrometro statico da 20 t di spinta effettiva, completo di batteria di aste di spinta (ϕ_e compreso tra 36 e 50 mm) oppure dal dispositivo di spinta di una sonda da perforazione. In questo secondo caso almeno 2÷3 m di aste, quelle connesse allo strumento di prova, avranno $\phi_e=36\pm 50$ mm. Le aste sovrastanti potranno avere diametro maggiore.

Il cavo elettrico-pneumatico di collegamento dello strumento con la superficie passa internamente alle aste di spinta. In caso di spinta a mezzo sonda esso può uscire lateralmente in corrispondenza del raccordo, spaccato longitudinalmente, che connette le ultime 2÷3 aste alle aste sovrastanti di diametro maggiore. Sopra il punto di uscita il cavo verrà fissato opportunamente all'esterno delle aste.

B.2 Attrezzatura dilatometrica originale Marchetti

L'attrezzatura dilatometrica sarà del tipo originale Marchetti senza modifiche e dovrà comprendere:

- Lama dilatometrica Marchetti (95 x 200 x 15 mm), con membrana metallica laterale espandibile per 1.1 mm al centro;
- Centralina di misura Marchetti;
- Cavo elettropneumatico di collegamento del dilatometro con la centralina
- Bombola di gas azoto, con riduttore di pressione con uscita regolabile almeno fino a 80 bar.

C. MODALITÀ ESECUTIVE DMT

C.1 Accertamenti preliminari

Prima dell'esecuzione della prova si dovrà verificare che la lama di prova sia diritta, senza concavità o convessità maggiori di 0.5 mm rispetto alla corda.

La lama collegata alle aste dovrà presentare una deviazione del bordo affilato dall'asse entro 1.5 mm. La membrana dovrà essere liscia e regolare ed il metallo che la costituisce non deve essere snervato.

Dovrà essere verificata la tenuta del sistema complessivo collegato lama-cavo-centralina. A tal fine si pressurizzerà il sistema a 2 bar e si chiuderà la mandata. Non si dovranno rilevare nel circuito perdite di pressione maggiori di 100 kPa/min.

C.2 Taratura

Dovranno essere misurati, tramite il dispositivo di taratura, i valori di depressione (DeltaA) e di pressione (DeltaB) necessari per portare la membrana, della lama libera in aria, nelle posizioni A e B, corrispondenti rispettivamente agli spostamenti 0.05 mm e 1,1 mm del centro membrana. Dovrà risultare DeltaA=5-30 kPa; DeltaB=5-80 kPa. Membrane con caratteristiche diverse non saranno accettate e dovranno essere sostituite.

Le membrane nuove dovranno essere sottoposte a 5 cicli di carico e scarico con pressioni comprese entro i limiti indicati dal costruttore prima di essere impiegate in prove reali.

La taratura della membrana dovrà essere eseguita all'inizio e al termine di ogni verticale di prova.

La prova sarà eseguita da personale in possesso del patentino di abilitazione rilasciato dal costruttore.

C.3 Prova corrente

Il dilatometro sarà spinto verticalmente nel terreno arrestando la penetrazione ad intervalli di 20 cm per l'esecuzione delle misure. Durante l'infissione il segnale acustico (o audiovisivo) sarà sempre attivato e la valvola di sfiato dovrà essere aperta.

Raggiunta la quota di prova, si arresta l'infissione e si scarica la spinta sulle aste. Immediatamente dopo l'arresto della penetrazione si invia gas alla membrana misurando, tramite la centralina elettro-pneumatica di superficie:

- la pressione alla quale si ha il distacco della membrana (lettura A - il segnale cessa), da rilevarsi 15 sec dall'arresto della penetrazione;
- la pressione necessaria per espandere di 1.1 mm il centro della membrana (lettura B - il segnale si riattiva), da rilevarsi a circa 15 sec dalla lettura A.

Se richiesto, verrà anche misurato ed annotato il valore C della pressione che agisce sulla membrana quando, durante lo scarico del gas (dapprima immesso per ottenere le letture A e B), la membrana si richiude sulla posizione A di riposo riattivando il segnale acustico. Il tempo di scarico deve essere di circa 30 sec.

Qualora la natura del terreno impedisca l'infissione del dilatometro fino alla profondità prefissata, si devono estrarre aste e dilatometro, si deve eseguire un preforo di diametro adeguato (es. 100 mm) fino alla profondità prescritta, quindi si reimmette il dilatometro per proseguire la prova.

C.4 Documentazione

Per ogni prova deve essere fornita la seguente documentazione:

- individuazione dell'ubicazione e della data di prova;
- valori di A e B rilevati a ciascuna profondità;
- valori di DeltaA e DeltaB iniziali e finali di ciascuna verticale

Le letture (A e B) devono essere elaborate e diagrammate in modo da ottenere i profili di:

- indice di materiale Id, correlato alla granulometria del materiale (sabbia, limo, argilla);
- indice di spinta orizzontale Kd;
- modulo dilatometrico Ed;
- modulo edometrico $M = 1/mv$;
- coesione non drenata Cu (nei soli terreni coesivi);
- angolo di attrito (solo nei terreni incoerenti);
- coefficiente di spinta orizzontale Ko (nei soli terreni coesivi);
- grado di sovraconsolidazione (nei soli terreni coesivi).

D. PROVE DI DISSIPAZIONE "DMTA"

Se richiesto, verranno anche eseguite prove di dissipazione DMTA. Tali prove consistono nel rilevare, a dilatometro fermo, una sequenza di letture A (generalmente a tempi raddoppiati quali 15 sec, 30 sec, 1 min, 2 min ecc.) che permettono di costruire la curva di decadimento nel tempo della pressione totale σ_H esercitata dal terreno sulla lama.

Il decadimento è tanto più lento quanto meno il terreno è permeabile. L'interpretazione della curva di decadimento fornisce stime del coefficiente di consolidazione e del coefficiente di permeabilità.

E. GENERALITA' SDMT

Il Dilatometro sismico (SDMT) è la combinazione del dilatometro "meccanico" standard (DMT) con una sonda sismica a due ricevitori per la misura della velocità di propagazione delle onde di taglio V_s .

Normativa di riferimento:

ASTM (2008) "D 7400-08 Standard Test Methods for Downhole Seismic Testing"

F. ATTREZZATURA SDMT

La sonda sismica sovrastante il dilatometro sarà dotata di due ricevitori posti a distanza verticale di 0,5 m (configurazione *true-interval*). I due ricevitori devono avere gli assi sensibili orizzontali e paralleli tra loro. La configurazione di prova *true-interval* a due ricevitori evita possibili inesattezze nella determinazione dello zero dei tempi dall' impatto, talora riscontrate nella configurazione *pseudo-interval* con un solo ricevitore. Inoltre la coppia di sismogrammi registrata dai due ricevitori ad una data profondità di prova corrisponde allo stesso colpo, anziché a colpi successivi non necessariamente identici, con sensibile miglioramento della ripetibilità delle misure di V_s . Il segnale è amplificato e digitalizzato in profondità.

G. MODALITA' ESECUTIVE SDMT

G.1 Esecuzione delle misure di V_s mediante dilatometro sismico

L' energizzazione avviene in superficie mediante un martello a pendolo (≈ 10 Kg) che percuote orizzontalmente una base di ferro parallelepipedica pressata verticalmente contro il terreno ed orientata con asse longitudinale parallelo all' asse dei ricevitori, in modo che essi offrano la massima sensibilità all' onda di taglio generata. Le energizzazioni di superficie e quindi le misure sismiche verranno effettuate ad intervalli di profondità di 0.5 m. Durante la prova la configurazione sarà tale che gli assi sensibili dei sensori saranno orientati parallelamente alla linea d' impatto, ovvero all' asse longitudinale dell'incudine. Ad ogni profondità di misura dovranno essere effettuate almeno tre energizzazioni e quindi tre determinazioni della velocità V_s . La ripetibilità dei valori di V_s potrà essere ritenuta accettabile se tutti i valori ricadono nell' ambito dell'intervallo $\pm 3\%$ del valore medio, altrimenti sarà necessario effettuare ulteriori determinazioni fino a che almeno l' 80% dei valori sia compreso nel suddetto intervallo. La configurazione della sorgente rispetto alla verticale di prova deve essere tale che una retta ideale tracciata dalle aste al centro dell'incudine sia perpendicolare all' asse longitudinale dell'incudine. E' ammessa una deviazione da tale perpendicolarità fino a 20° . L'incudine dovrà essere pressata contro la superficie del terreno con un carico verticale tale da assicurare il trasferimento dell'energia d' impatto al terreno senza che l'incudine trasli. Il punto di trasferimento del carico all'incudine dovrà essere costituito per quanto possibile da un vincolo di tipo "carrello". In tal modo l'incudine risulterà caricata verticalmente, ma non disperderà verso l'alto l'energia dell' impatto. La linea d' impatto dovrà essere orizzontale. La capacità di acquisizione dei segnali dovrà essere almeno quella corrispondente a 50 microsecondi. Le misure con SDMT dovranno essere effettuate da personale con documentata esperienza con questo tipo di misure.

G.2 Elaborazione delle misure

La velocità delle onde di taglio V_s è ottenuta come rapporto tra la differenza tra la sorgente e i due ricevitori ($(S_2 - S_1)$) e il ritardo dell'arrivo dell'impulso dal primo al secondo ricevitore (Δt). La determinazione del ritardo dai sismogrammi SDMT, di solito ottenuta utilizzando l' algoritmo della *cross-correlation*, è generalmente ben condizionata, essendo basata sui due sismogrammi - in particolare le onde iniziali - piuttosto che sul

tempo di primo arrivo o *marker* specifici nel sismogramma. I risultati SDMT sono generalmente elaborati sotto forma di grafici e tabulati numerici. Il profilo di V_s è generalmente riportato a fianco di quattro profili DMT base - indice di materiale I_d (tipo di terreno), modulo di deformazione confinato M , resistenza al taglio non drenata C_u e indice di spinta orizzontale K_d (correlato ai gradi di sovraconsolidazione OCR) - ottenuti da correlazioni DMT usuali. I risultati includeranno i sismogrammi registrati e rifasati secondo il ritardo calcolato, affiancati.

G3. Documentazione SDMT

Per ogni verticale di prova SDMT, in aggiunta a quanto specificato in precedenza per la prova dilatometrica (DMT), dovrà essere fornita la seguente documentazione:

- profili di V_s con la profondità;
- profili del modulo di taglio a piccole deformazioni G_0 (ricavato da V_s) con la profondità;
- printouts della ripetibilità di V_s e il corrispondente coefficiente di correlazione;
- sismogrammi di prova rilevati a ciascuna profondità.

H. MISURE DI V_s CON SDMT IN TERRENO NON PENETRABILE

In caso di terreno non penetrabile è possibile eseguire la prova SDMT (solo misure di V_s) all'interno di un foro di sondaggio preventivamente riempito di ghiaietto pulito (granulometria 4-12 mm). L'ottimo accordo osservato tra i profili di V_s ottenuti da prove SDMT parallele eseguite, nello stesso sito, nel terreno naturale e in un foro riempito di ghiaietto indica l'affidabilità delle misure di V_s ottenute in questo modo. Infatti sia nel caso del primo che del secondo ricevitore il percorso d' onda include un breve tratto nella sabbia di riempimento di lunghezza molto simile.

Ulteriori dettagli in:

- Totani et al (2009), Totani, G., Monaco, P., Marchetti, S. & Marchetti, D. (2009). *Vs measurements by Seismic Dilatometer (SDMT) in non penetrable soils*. Proc. 17th ICSMGE, Alexandria, Egypt, 2 : 977-980
- See also [Instrumentation SDMT](#)