

3.4.4.2.9 Prova dilatometrica (DMT)

3.4.4.2.9.1 Generalità

Il dilatometro piatto (DMT) è una lama di acciaio avente dimensioni 95×200×15 mm, con il bordo inferiore affilato. Su di un lato dello strumento è montata una membrana metallica circolare espandibile (Figura 3.4-57).

La prova consiste nell'infiggere verticalmente la lama nel terreno mediante spinta statica, agendo su una batteria di aste, espandendo la membrana con gas in pressione e misurando le pressioni corrispondenti a due livelli di deformazione predeterminati della membrana. Da queste misure è possibile determinare, mediante correlazioni, numerosi parametri geotecnici di uso comune.



Figura 3.4-57 – Dilatometro piatto

3.4.4.2.9.2 Standard e documenti di riferimento

La prova dilatometrica è stata originariamente introdotta da Marchetti (1980). L'attrezzatura e le metodologie di prova DMT sono standardizzate dall'ASTM e nell'Eurocodice 7.

Informazioni particolarmente dettagliate su attrezzatura, procedura di prova, interpretazione ed applicazioni di progetto della prova DMT sono contenute nel rapporto del Comitato Tecnico TC16 ISSMGE (2001), disponibile anche in versione italiana.

Marchetti, S. (1980) - In Situ Tests by Flat Dilatometer. *J. Geotech. Engrg. Div., ASCE, 106(GT3), 299-321.*

ASTM D6635-01 (2001) - Standard Test Method for Performing the Flat Plate Dilatometer. *Book of Standards 04.09.* 14 pp.

Eurocode 7 - Geotechnical Design - Part 2: Ground Investigation and Testing. *EN 1997-2:2007.*

TC16 (2001) - The Flat Dilatometer Test (DMT) in Soil Investigations - A Report by the ISSMGE Committee TC16. 41 pp. Reprinted in *Proc. 2nd Int. Conf. on the Flat Dilatometer, Washington D.C. (USA), April 2-5, 2006, 7-48.* Versione italiana: Marchetti, S., Monaco, P., Totani, G. e Calabrese, M. (2001) - Il Dilatometro Piatto. *Atti XVIII Ciclo Conferenze di Geotecnica di Torino*, 50 pp.

3.4.4.2.9.3 Descrizione della prova

La lama viene fatta avanzare nel terreno per mezzo di attrezzature di uso comune, ad es. attrezzature di spinta normalmente utilizzate per la prova penetrometrica a punta conica (CPT) o per sondaggi. Le aste di spinta trasferiscono la forza di penetrazione alla lama.

La lama è collegata ad una centralina di misura in superficie per mezzo di un cavo elettropneumatico (che trasmette pressione di gas e continuità elettrica) passante all'interno delle aste di spinta. Una bombola di gas, collegata alla centralina di misura per mezzo di un cavo pneumatico, costituisce la sorgente di gas necessaria per espandere la membrana. La centralina di misura è dotata di un regolatore di pressione, di manometri, di un segnalatore audiovisivo e di valvole di sfiato.

Lo schema generale della prova dilatometrica è illustrato in Figura 3.4-58.

Ad intervalli regolari (generalmente ogni 20 cm) la penetrazione viene arrestata e, utilizzando la centralina di misura, viene immesso gas del quale si aumenta gradualmente la pressione, facendo dilatare la membrana contro il terreno. Ad ogni profondità, in circa 1 minuto, vengono rilevati due valori di pressione:

A = pressione necessaria per controbilanciare la pressione del terreno ed iniziare il movimento della membrana (pressione di distacco o *lift-off*);

B = pressione necessaria per ottenere una dilatazione del centro della membrana contro il terreno di 1.1 mm.

La prova DMT può essere eseguita in una grande varietà di terreni, da estremamente teneri a molto duri (argille con resistenza al taglio non drenata c_u da 2-4 kPa fino a 1000 kPa (marne), moduli M da 0.4 MPa a 400 MPa). La prova DMT è appropriata per sabbie, limi e argille, dove i grani sono piccoli rispetto al diametro della membrana (60 mm). Non è appropriata per misure nelle ghiaie. Tuttavia la lama è abbastanza robusta da attraversare strati di ghiaia di circa 0.5 m di spessore.

Spinta fornita da penetrometro o sonda

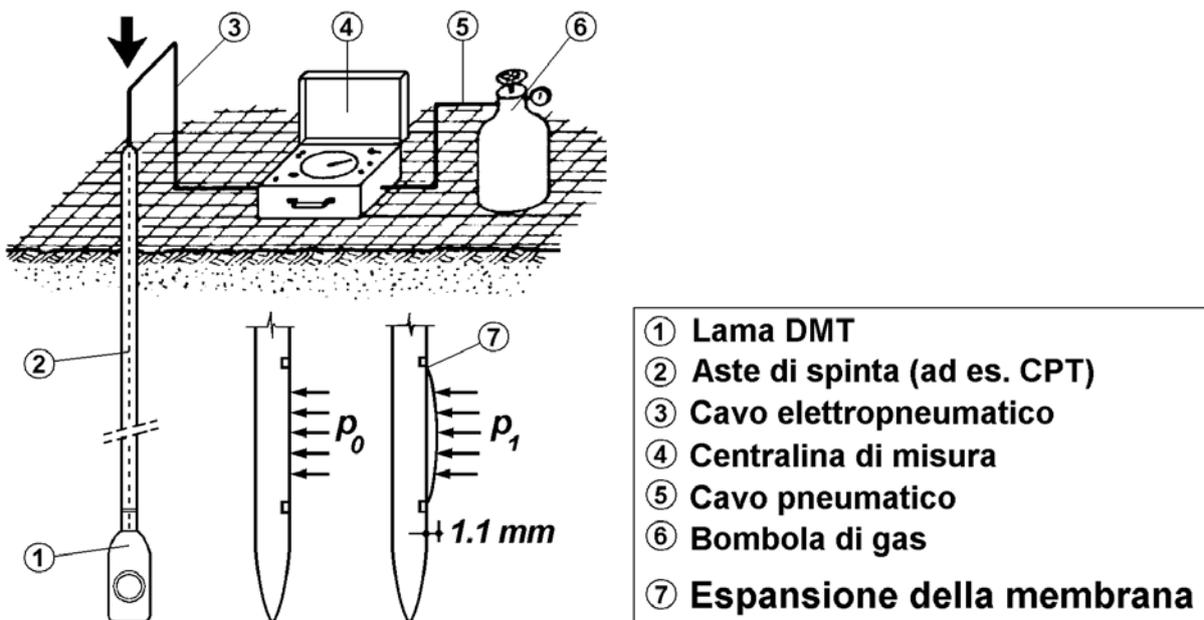


Figura 3.4-58 – Schema generale della prova DMT

3.4.4.2.9.4 Elaborazione dati e interpretazione

Le formule base per l'elaborazione dei dati DMT e le principali correlazioni sono riassunte nella Tabella 3.4-20.

Le letture di pressione A , B devono essere corrette per mezzo dei valori ΔA , ΔB determinati mediante calibrazione, per tenere conto della rigidezza della membrana, e convertite in p_0 , p_1 .

I due valori di pressione determinati p_0 e p_1 vengono elaborati ottenendo tre "parametri indice":

- I_D Indice di Materiale
- K_D Indice di Spinta Orizzontale
- E_D Modulo Dilatometrico

Dai parametri indice I_D , K_D , E_D , applicando le correlazioni usuali (TC16 2001), vengono ricavati i parametri:

- M Modulo edometrico (terreni sia coesivi che incoerenti)
- c_u Resistenza al taglio non drenata (terreni coesivi)
- K_0 Coefficiente di spinta a riposo (terreni coesivi)
- OCR Rapporto di sovraconsolidazione (terreni coesivi)
- Φ' Angolo di resistenza al taglio (terreni incoerenti)

ed altre informazioni (vedi Tabella 3.4-20).

Il modulo edometrico M e la resistenza al taglio non drenata c_u sono ritenuti i parametri più affidabili e utili ottenuti dalla prova DMT.

Tabella 3.4-20 – Formule base per l'elaborazione delle prove DMT (TC16 2001)

SIMBOLO	DESCRIZIONE	FORMULE BASE DI ELABORAZIONE DMT	
p_0	Prima Lettura Corretta	$p_0 = 1.05 (A - Z_M + \Delta A) - 0.05 (B - Z_M - \Delta B)$	
p_1	Seconda Lettura Corretta	$p_1 = B - Z_M - \Delta B$	
		$Z_M =$ Lettura al manometro quando "aperto" all'atm. Se ΔA , ΔB sono misurate con lo stesso manometro usato per le letture A , B corrette, porre $Z_M = 0$ (Z_M è compensata)	
I_D	Indice di Materiale	$I_D = (p_1 - p_0) / (p_0 - u_0)$	
		$u_0 =$ pressione neutra pre-inserimento	
K_D	Indice di Spinta Orizzontale	$K_D = (p_0 - u_0) / \sigma'_{v0}$	
		$\sigma'_{v0} =$ tensione geostatica pre-inserimento	
E_D	Modulo Dilatometrico	$E_D = 34.7 (p_1 - p_0)$	
		E_D NON è un modulo di Young E . E_D deve essere usato solo DOPO averlo combinato con K_D (Storia Tensionale). Prima ricavare $M_{DMT} = R_M E_D$, poi ad es. $E \approx 0.8 M_{DMT}$	
K_0	Coeff. Spinta Orizz. in Sito	$K_{0,DMT} = (K_D / 1.5)^{0.47} - 0.6$	
		per $I_D < 1.2$	
OCR	Rapp. di Sovraconsolidazione	$OCR_{DMT} = (0.5 K_D)^{1.56}$	
		per $I_D < 1.2$	
c_u	Res. al Taglio Non Drenata	$c_{u,DMT} = 0.22 \sigma'_{v0} (0.5 K_D)^{1.25}$	
		per $I_D < 1.2$	
Φ'	Angolo di Resistenza al Taglio	$\Phi_{safe,DMT} = 28^\circ + 14.6^\circ \log K_D - 2.1^\circ \log^2 K_D$	
		per $I_D > 1.8$	
c_h	Coeff. di Consolidazione	$c_{h,DMTA} \approx 7 \text{ cm}^2 / t_{flex}$	
		t_{flex} da curva di decadimento A -log t da DMTA	
k_h	Coeff. di Permeabilità	$k_h = c_h \gamma_w / M_h$ ($M_h \approx K_0 M_{DMT}$)	
γ	Peso di Volume	(vedi grafico in TC16 2001)	
M	Modulo Verticale Drenato Confinato	$M_{DMT} = R_M E_D$	
		se $I_D \leq 0.6$	$R_M = 0.14 + 2.36 \log K_D$
		se $I_D \geq 3$	$R_M = 0.5 + 2 \log K_D$
		se $0.6 < I_D < 3$	$R_M = R_{M,0} + (2.5 - R_{M,0}) \log K_D$ con $R_{M,0} = 0.14 + 0.15 (I_D - 0.6)$
		se $K_D > 10$	$R_M = 0.32 + 2.18 \log K_D$
		se $R_M < 0.85$ porre $R_M = 0.85$	
u_0	Pressione Neutra di Equilibrio	$u_0 = p_2 - C - Z_M + \Delta A$	
		In terreni drenanti	

Per quanto riguarda l'uso dei risultati DMT per specifici problemi applicativi, in particolare:

- pali soggetti a carichi orizzontali
- individuazione di superfici di scorrimento in frane
- liquefacibilità delle sabbie
- controllo della compattazione
- parametri di input per analisi agli elementi finiti
- modulo di reazione orizzontale per il dimensionamento dei diaframmi

una sintesi delle metodologie è contenuta nel Rapporto TC16 (2001), dove sono anche riportati i riferimenti bibliografici degli articoli originali pertinenti.

3.4.4.2.9.5 Presentazione dei risultati

La Figura 3.4-59 mostra un esempio di risultati DMT. L'uso dei risultati è il seguente:

- L'indice di materiale I_D fornisce informazioni sul tipo di terreno (argilla, limo, sabbia).
- Il modulo edometrico M e la resistenza al taglio non drenata c_u sono parametri di uso comune.
- Il profilo dell'indice di spinta orizzontale K_D è simile, nella forma, al profilo del rapporto di sovraconsolidazione OCR. In argille $K_D \approx 2$ indica OCR = 1, $K_D > 2$ indica un deposito sovraconsolidato. Il profilo di K_D può aiutare a comprendere la storia del deposito.

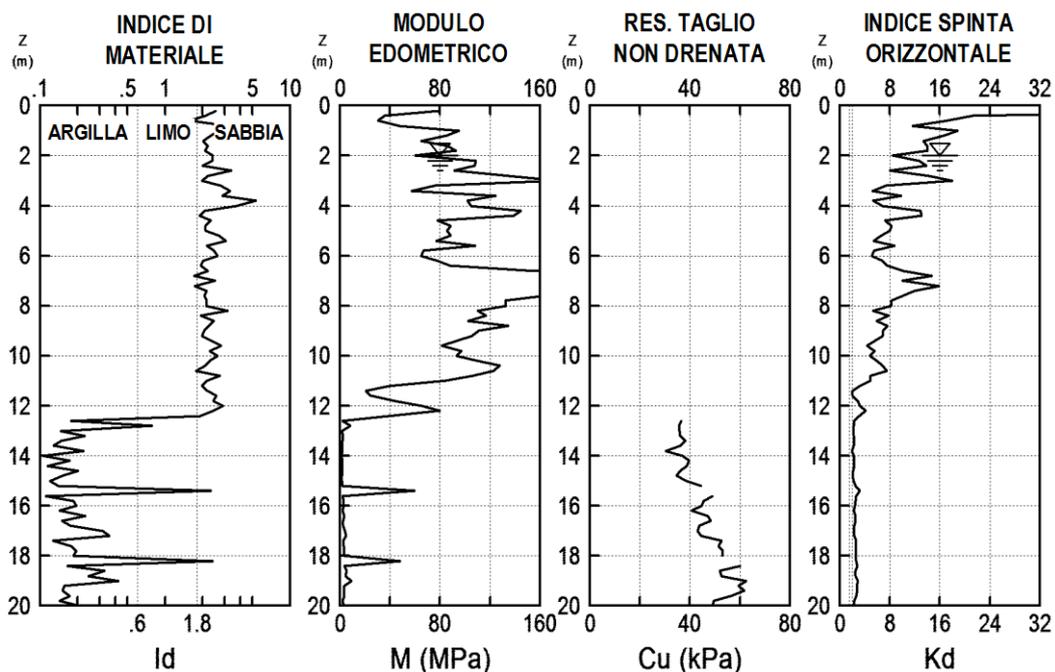


Figura 3.4-59 – Esempio di risultati DMT

3.4.4.2.9.6 Specifiche per l'esecuzione della prova dilatometrica (DMT)

A. Attrezzatura

A.1 Dispositivo di spinta

Può essere costituito da un penetrometro statico da 200 kN di spinta effettiva, completo di batteria di aste di spinta (Φ_{est} 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 $\Phi_{est} = 36 \div 50$ mm. Le aste sovrastanti potranno avere diametro maggiore.

Il cavo elettropneumatico 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.

A.2 Attrezzatura dilatometrica

L'attrezzatura dilatometrica avrà la geometria inizialmente fissata da Marchetti senza modifiche e dovrà comprendere:

- lama dilatometrica (95×200×15 mm) con membrana metallica laterale espandibile per 1.1 mm al centro;
- centralina di misura;
- 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.

B. Modalità esecutive

B.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 200 kPa e si chiuderà la mandata. Non si dovranno rilevare nel circuito perdite di pressione maggiori di 100 kPa/min.

B.2 Taratura

Dovranno essere misurati, tramite il dispositivo di taratura, i valori di depressione (ΔA) e di pressione (ΔB) 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:

$$\Delta A = 5-30 \text{ kPa}$$

$$\Delta B = 5-80 \text{ kPa}$$

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.

B.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. Entro 20 secondi dall'arresto si invia gas alla membrana misurando, tramite la centralina elettropneumatica di superficie:

- la pressione alla quale si ha il distacco della membrana (lettura *A* – il segnale cessa), da rilevarsi a circa 15 secondi dall'inizio della immissione del gas;
- la pressione necessaria per espandere di 1.1 mm il centro della membrana (lettura *B* – il segnale si riattiva), da rilevarsi a circa 15 secondi 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 (pressione di "richiusura" o *closing pressure*). Il tempo di scarico deve essere di circa 30 secondi.

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 (ad es. 100 mm) fino alla profondità prescritta, quindi si re-immette il dilatometro per proseguire la prova.

B.4 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 secondi, 30 secondi, 1 min, 2 min, etc.) 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.

C. Documentazione

Per ogni prova deve essere fornita la seguente documentazione:

- individuazione dell'ubicazione e della data di prova;
- quota del piano campagna rilevata rispetto al livello del mare;
- valori di *A* e *B* rilevati a ciascuna profondità;
- valori di ΔA e ΔB iniziali e finali di ciascuna verticale;
- eventualmente, valori di *C* (se rilevati) a ciascuna profondità;
- eventualmente, letture *A* in funzione del tempo rilevate nel corso di prove di dissipazione DMTA a ciascuna profondità (se eseguite).

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

- indice di materiale I_D , correlato alla granulometria del materiale (argilla, limo, sabbia);
- indice di spinta orizzontale K_D ;
- modulo dilatometrico E_D ;
- modulo edometrico $M = 1/m_v$;
- resistenza al taglio non drenata c_u (solo in terreni coesivi);
- angolo di resistenza al taglio Φ' (solo in terreni incoerenti);
- coefficiente di spinta orizzontale K_0 (solo in terreni coesivi);
- grado di sovraconsolidazione OCR (solo in terreni coesivi).