Il magazine di **portonuovo.it** Estratto del Numero 9 Marzo 2009

Porti&Logistica

Costo ridotto
per l'indagine geotecnica a mare
Un'avanzata metodologia Made in Italy



Intervista al Prof. Silvano Marchetti, della Facoltà di Ingegneria dell'Università de L'Aquila

Costo ridotto per l'indagine geotecnica a mare

Un'avanzata metodologia Made in Italy

el 2008 è stata messa a punto, ed impiegata per la prima volta in una indagine nei fondali del Porto di Genova, una innovativa metodologia che ha permesso di abbattere sostanzialmente il costo dell'indagine geotecnica. La metodologia, messa a punto dal gruppo del Prof. Marchetti dell'Università dell'Aquila, permette di effettuare l'indagine, anziché da un piano di lavoro fisso, quale quello di una piattaforma autosollevante poggiante sul fondale – molto costosa – dal ponte di un pontone galleggiante, di costo di gran lunga inferiore. L'indagine che viene eseguita da pontone consiste in una serie di prove dilatometriche (prove DMT). La prova DMT rappresenta uno degli sviluppi più avanzati e moderni nel campo delle prove in sito. Dopo essere stata ideata ed utilizzata in Italia, la prova ha avuto una diffusione rapidissima, prima negli Stati Uniti, poi in circa 50 paesi nel mondo. E' stata usata in un gran numero di importanti progetti. La prova è standardizzata nella normativa americana ASTM, negli Eurocodici e nel Rapporto della Commissione TC16 della Società Internazionale di Meccanica dei Terreni ISSMGE.

Data l'importanza progettuale delle informazioni acquisite mediante l'indagine geotecnica e al tempo stesso l'interesse a ridurre sia i tempi che i costi delle indagini a mare, notoriamente molto alti, abbiamo incontrato il Prof. Marchetti della Facoltà di Ingegneria dell'Univerità dell'Aquila. Ne è uscita questa intervista.

Quali sono i vantaggi delle prove DMT rispetto alle indagini tradizionali?

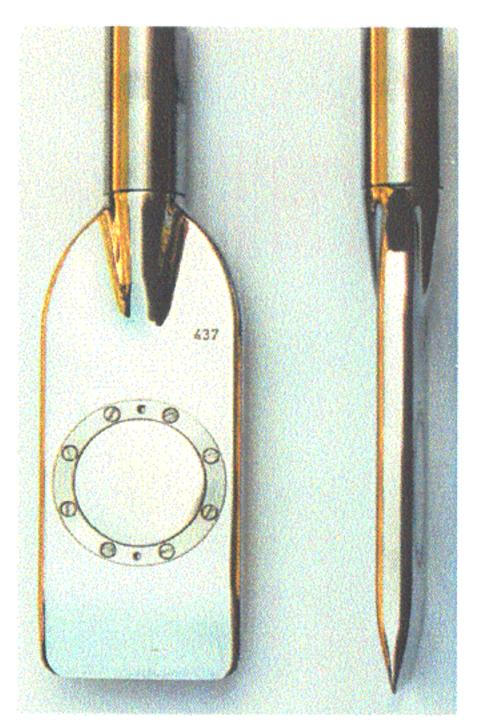
Fino a qualche decennio addietro le indagini geotecniche, sia a terra che a mare, venivano eseguite ricorrendo generalmente a sondaggi e prelievo di campioni, successivamente analizzati in laboratorio. Negli ultimi decenni la metodologia tradizionale è stata sempre più frequentemente sostituita dalle prove in sito, sia perché in mare è arduo, se non impossibile, prelevare campioni "indisturbati", sia perché le indagini tradizionali hanno costi e tempi molto maggiori. Le indagini in sito sono molto più rapide ed economiche, forniscono un gran numero di misure e i risultati sono indipendenti dall'operatore. La prova dilatometrica (prova DMT) rappresenta uno degli sviluppi più recenti nel campo delle prove in sito. La prova consiste nello

spingere nel terreno, mediante un penetrometro autocarrato, uno speciale strumento a forma di lama, dotato di sensori che misurano le caratteristiche geotecniche dei terreni, generalmente indagando fino a profondità dell'ordine di 30 m.

L'uso più frequente delle prove DMT è nelle indagini a terra. Negli ultimi anni è stata impiegata in diverse indagini in aree portuali.

Come funziona lo strumento?

Il dilatometro piatto (Fig. 1) è una lama di acciaio con il bordo inferiore tagliente. Su una faccia è montata una



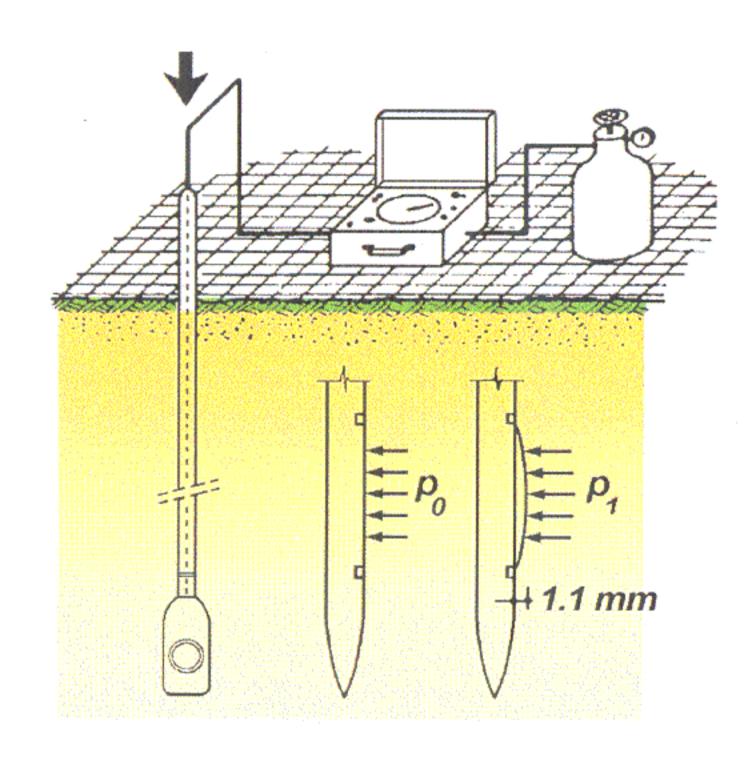
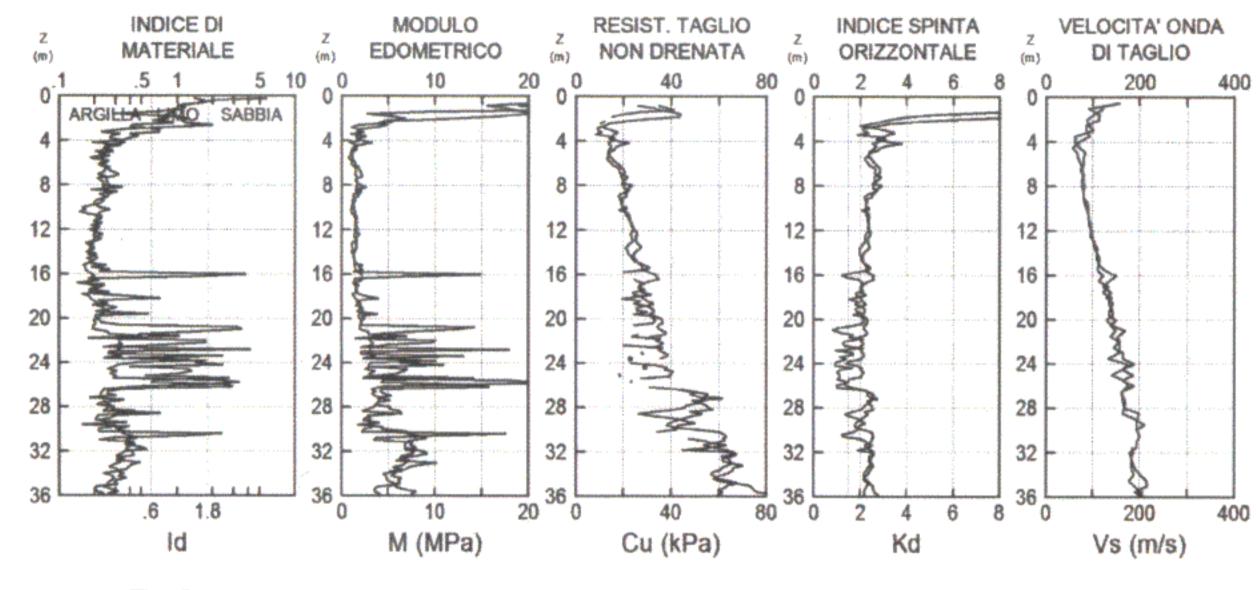






Fig. I – In alto : Lama dilatometrica e schema della prova DMT. In basso : Lama dilatometrica spinta dal penetrometro autocarrato.





Sigla	Descrizione
M	Modulo Edometrico (per Sigma')
Cu	Resistenza al taglio non drenata
ld	Indice di materiale
Vs	Velocità onda di taglio
Go	Modulo di taglio massimo
Ed	Modulo dilatometrico
Kd	Indice di spinta orizzontale
Gamma	Peso volume naturale
Sigma'	Pressione efficace verticale
Ko (arg)	Coefficiente spinta orizzontale in sito
Ocr (arg)	Grado di sovraconsolidazione
Phi	Angolo di attrito min (cautelativo)

Fig. 2 - Esempio di risultati di una prova DMT (Fucino, Telespazio)



Fig. 3 - Prova DMT da piattaforma (Venezia, Progetto Mose)



Fig. 4 - Prova DMT da piattaforma (Porto di Vado Ligure – Piastra Multifunzionale)



Fig. 5 - Prova DMT da piattaforma (Porto di Salerno, Ampliamento Molo Trapezio)

membrana metallica circolare espandibile del diametro di 6 cm.

La lama viene spinta nel terreno mediante aste di acciaio avvitate di seguito l'una all'altra man mano che la punta avanza (non vengono quindi eseguiti nel terreno fori di sondaggio). Un cavo elettropneumatico, passante attraverso le aste, collega la lama alla centralina di misura in superficie. Ad intervalli generalmente di 20 cm la penetrazione viene arrestata e viene immessa aria compressa, facendo dilatare la membrana contro il terreno, eseguendo quindi una prova di carico. Le misure effettuate durante tale prova vengono elaborate, ottenendo così ogni 20 cm i parametri geotecnici di progetto. Maggiori dettagli sulla prova e sulla interpretazione possono rinvenirsi nella bibliografia.

Quali risultati dà la prova DMT e quali sono le applicazioni ingegneristiche?

Un esempio di risultati della prova è illustrato nella Fig. 2, dove sono anche elencati i principali parametri geotecnici determinati. Tali parametri sono impiegati per progettare in sicurezza ed economicamente le fondazioni delle opere civili tra cui dighe, ponti, opere portuali. Nel caso delle opere portuali,

tali parametri sono impiegati nel dimensionamento di palancolate, diaframmi, opere di sostegno, fondazioni superficiali, palificate, banchine, cassoni, imbasamenti, darsene, bacini di carenaggio, vasche.

Come si eseguono le prove DMT in mare da un piano di lavoro fisso?

Fino al 2008, anno in cui si è cominciato ad eseguire le prove DMT in mare da un pontone galleggiante, le prove sono state eseguite predisponendo un piano di lavoro fisso sul quale potesse poggiare il penetrometro. Ad esempio in Fig. 3 (Laguna di Venezia) e Fig. 4 (Porto di Vado Ligure) il piano di lavoro fisso era il ponte di una piattaforma autosollevante. Nel caso della Fig. 5 (Porto di Salerno) il piano di lavoro era costituito da un impalcato di acciaio sporgente in mare, sorretto da pali vibroinfissi. Tale impalcatura veniva smontata e rimontata su pali infissi di volta in volta per ogni ubicazione di prova. Una volta che si è predisposto un piano di lavoro fisso, le modalità di prova non sono molto diverse rispetto alle prove eseguite a terra. La differenza principale consiste nella presenza di un tubo guida nel tratto in acqua. Tale tubo guida, al cui interno passano le aste penetrometriche, collega il piano

La prova DMT all'opera

lcune opere nella cui progettazione è stata impiegata la prova DMT. Progetto Mose di Venezia, Nuova Stazione FFSS sotterranea Bologna, Alta Velocità FFSS, Via di corsa nuovo Shuttle Nasa a Capo Kennedy, Aeroporto di Fiumicino, Nuovo Centro Congressi Eur Nuvola Fuksas (Condotte), Aeroporto di Barcellona, Palazzo Esposizioni Roma, Metropolitana di Roma, Metropolitana di Londra, Area faglia San Andreas in California, Centrale EniPower Ravenna, Centrali nucleari del Sud Carolina, Scuola Jovine a S. Giuliano di Puglia, Ferrovia Alta Velocità Barcellona.

Porto di Vado Ligure, Porto di Barcellona, Porto di Salerno, Porto di Genova, Marina Pez Vela in Costa Rica.





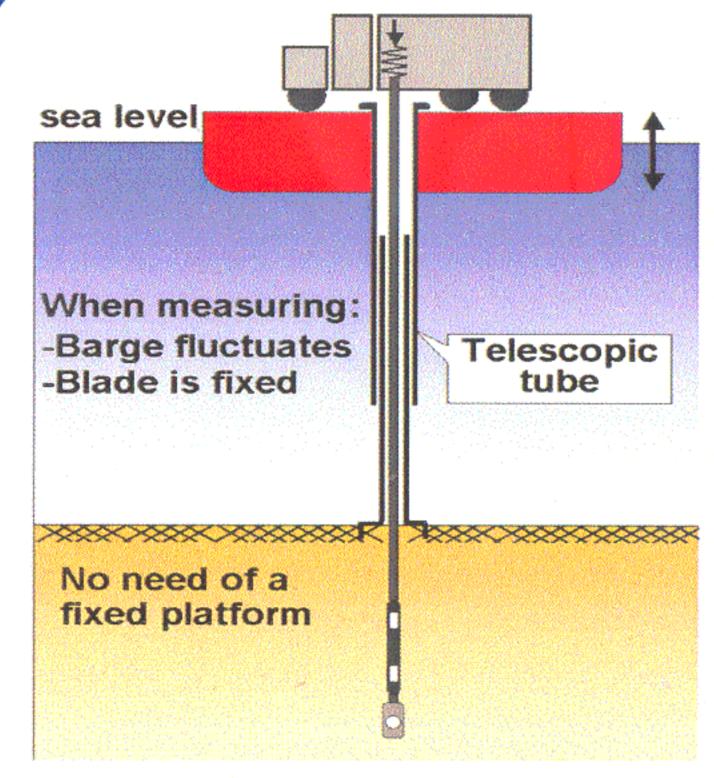


Fig. 7 - Schema della prova DMT eseguita da pontone



Fig. 8 – Penetrometro autocarrato su pontone

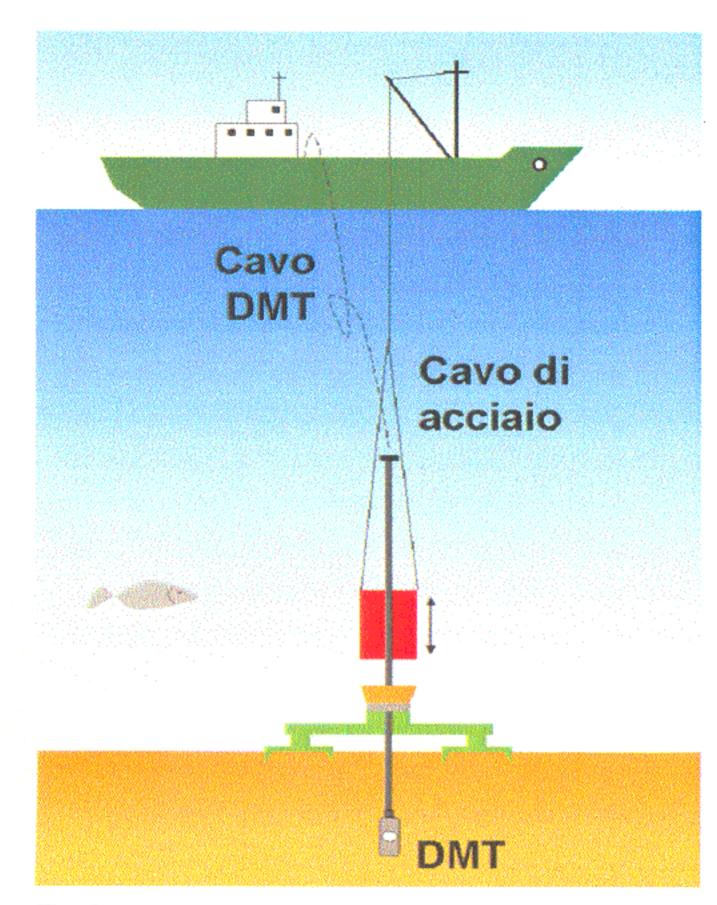


Fig. 9 - Schema per prove DMT in alti fondali

Riferimenti bibliografici

ASTM D6635-01 (2002) "Standard Test Method for Performing the Flat Plate Dilatometer".

Book of Standards Vol. 04.09, 14 pp.

Eurocode 7, (1997) " Geotechnical Design. Part 3: Design assisted by field tests, "Flat Dilatometer Test (DMT), 8pp."

TC16 (2001) "The DMT in Soil Investigations", A Report by the ISSMGE Committee TC16, 41 pp. (Versione Italiana www.marchetti-dmt.it/docfiles/tc16_it.doc)

di lavoro al fondale, dove esso viene intestato. Va però evidenziato che sia la piattaforma autosollevante che l'impalcatura sopra descritta hanno costi molto elevati.

Come è possibile effettuare le prove DMT da pontone per abbattere i costi?

Nel Novembre 2008, per motivi contrattuali e burocratici, ci si è trovati davanti alla necessità di effettuare in tempi brevissimi una indagine nei fondali del Porto di Genova (Fig. 6). Molte ubicazioni di indagine si trovavano in mare distanti dai moli, quindi sarebbe stato proibitivo ricorrere ad un impalcato – un vero e proprio ponte come a Salerno. D'altra parte una piattaforma autosollevante non era disponibile in tempi brevi – oltre ad avere un costo rilevante. Sarebbero stati invece disponibili, senza difficoltà e a costi irrisori, pontoni. Si è allora affrontato il problema di come conciliare il fatto che la superficie del pontone fluttui, a causa del moto ondoso, con la necessità che la misura sia eseguita a lama dilatometrica ferma. Si è così arrivati alla metodologia illustrata nella Fig. 7. Il principio della metodologia è il seguente:

• Il tubo guida che congiunge il piano di lavoro fluttuante (ponte del pontone) al fondale è telescopico anziché essere un unico tubo. Il troncone superiore del telescopio è flangiato superiormente e sospeso al pontone,

- quindi fluttua con esso. La parte inferiore del telescopio è poggiante sul fondale, ed è quindi svincolata dal moto ondoso.
- Le aste penetrometriche vengono spinte dal penetrometro autocarrato che si trova sul pontone (Fig. 8). Pur in presenza di moto ondoso, il penetrometro è in grado di spingere le aste senza particolare difficoltà fino a onde di 30-40 cm. Una volta raggiunta la profondità voluta, il sistema di spinta in superficie viene scollegato dalle aste. Da quel momento le aste e la lama dilatometrica sono immobili, poiché sono infisse nel terreno. A lama ferma si può quindi eseguire la prova.

Sono eseguibili indagini in acque profonde?

La metodologia precedente è applicabile in fondali fino a circa 30 m d'acqua. Per profondità maggiori, ad esempio 100 m, è preferibile il sistema in Fig. 9. Tale sistema concilia – come il precedente – il fatto che il natante di appoggio fluttui con la necessità che la misura sia eseguita a lama dilatometrica ferma. Il sistema permette al momento di indagare solo i primi 5-10 m sotto il fondale. E' quindi utilizzabile per indagini relative alla progettazione di trincee, oleodotti o interventi poco profondi. E' allo studio una estensione del sistema che permetta di indagare anche strati più profondi.

Patrizia Lupi



Fig. 6 - Porto di Genova. Riempimento Calata Bettolo. Indagini DMT da pontone.

