



Spoletto, 17-18-19 febbraio 2011

[www.dica.unict.it/users/agheresi/](http://www.dica.unict.it/users/agheresi/)

[www.romolodifrancesco.it](http://www.romolodifrancesco.it)



## PROGETTAZIONE STRUTTURALE E GEOTECNICA DI FONDAZIONI E OPERE DI SOSTEGNO

### 12: COSTRUZIONE DEL MODELLO GEOTECNICO – prove in sito

Di Francesco Romolo

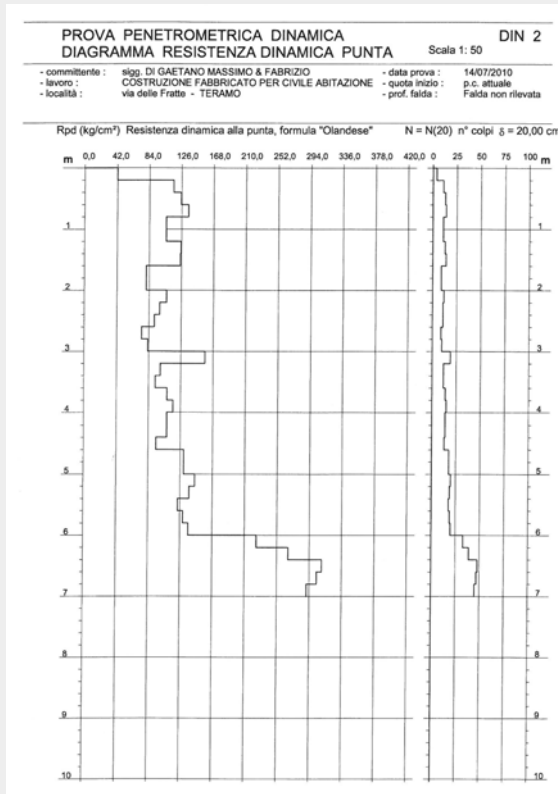
Prof. Gheresi Aurelio

## A) PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE (SPT)

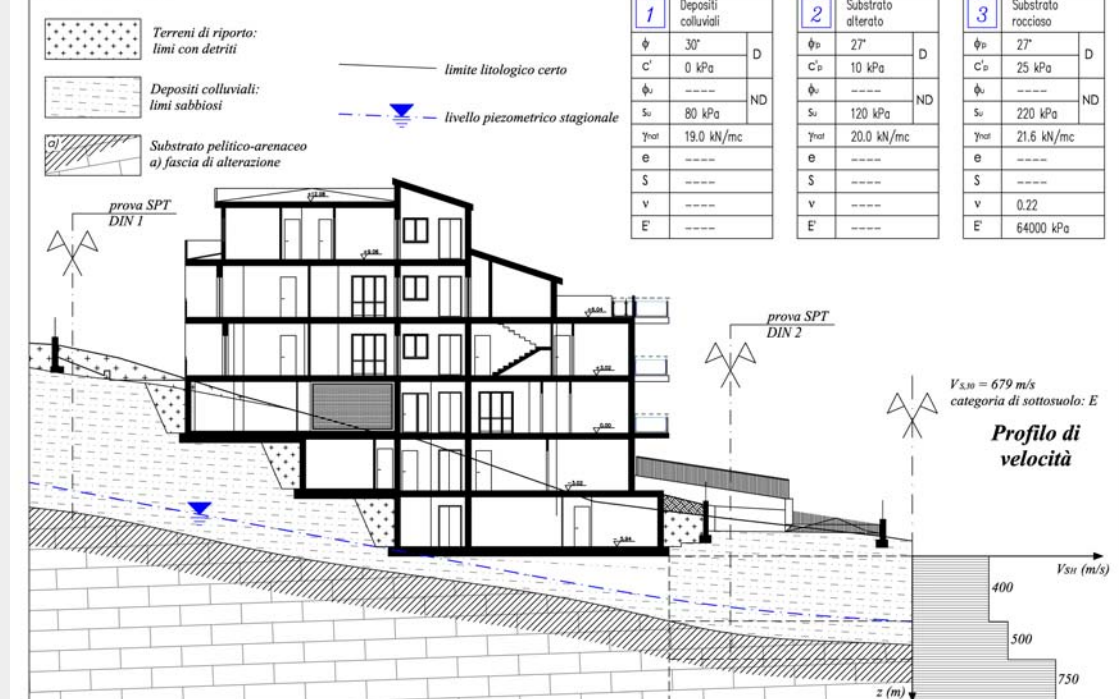
Con le prove penetrometriche dinamiche (generalmente definite SPT) viene misurato il numero di colpi necessario per un avanzamento prefissato (generalmente 10 cm) di un utensile costituito da una punta conica, consentendo di raggiungere due obiettivi:

- 1) ricostruire i dettagli della stratigrafia;
- 2) ricavare, mediante correlazioni empiriche, le **caratteristiche meccaniche dei terreni a grana grossa**.

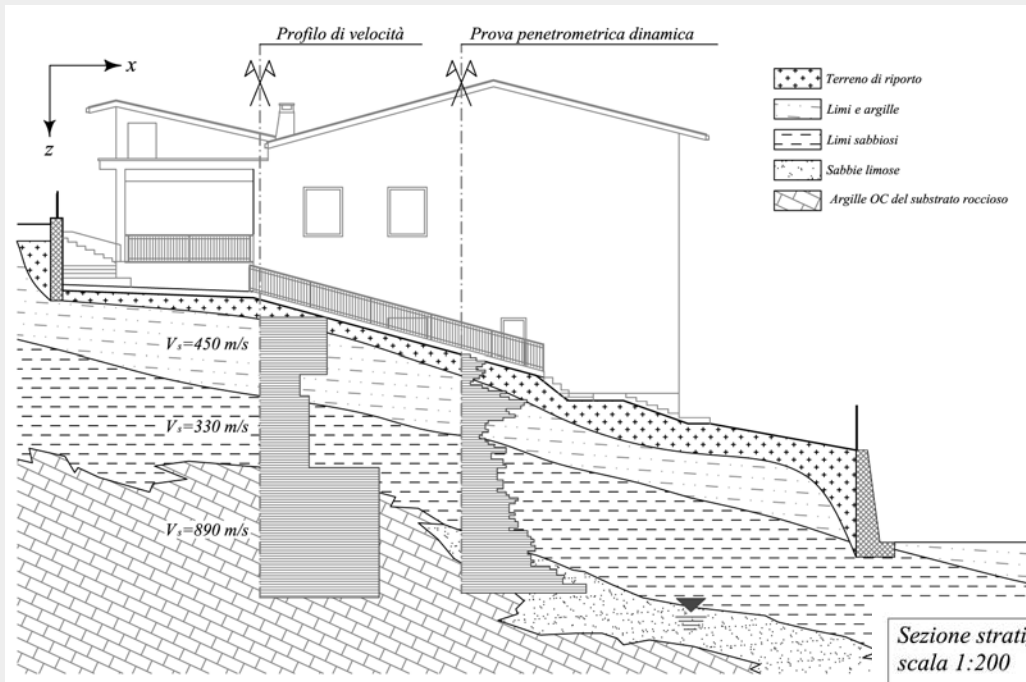
Equazione della Japan Road Association (1990)  $\phi' = 15 + \sqrt{15 \cdot N_{SPT}}$   
 Equazione da D' Apollonia et. ali (1970):  $E' = 25.000 + 800 \cdot N_{SPT,med}$



### Sezione stratigrafica e profilo geotecnico scala 1:200



## A) PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE (SPT)



Esempio di intervento di ampliamento di una scuola, e contestuale consolidamento delle fondazioni della struttura esistente, su terreni a stratigrafia complessa.

Le indagini sono consistite in prospezioni sismiche a rifrazione, prove SPT e sondaggi a carotaggio continuo con prove di laboratorio su campioni indisturbati.

In questo modo è stato definito il profilo geotecnico di tutti i litotipi presenti, sia a grana fine che a grana grossa.

Il caso riguarda la costruzione di un edificio residenziale su terreni alluvionali con contatto articolato con il sottostante substrato roccioso.

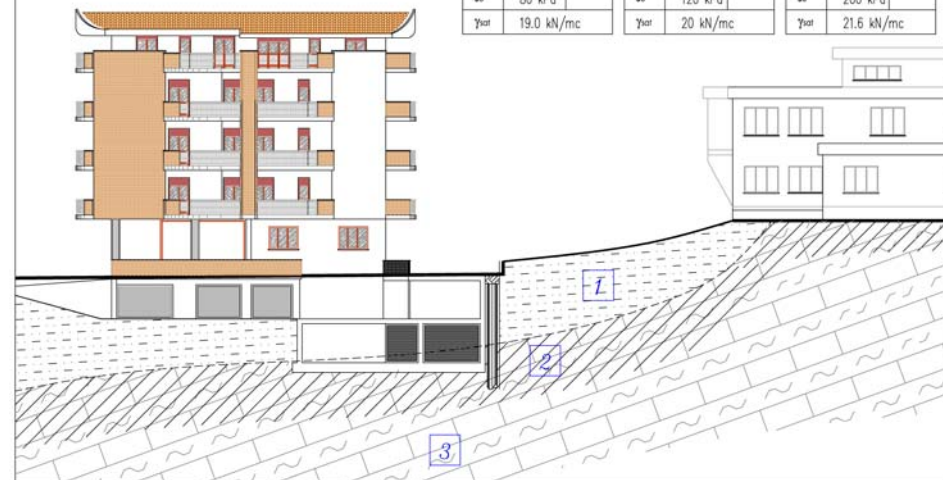
Le indagini sono consistite in prospezioni sismiche del tipo a rifrazione e prove SPT, con lo scopo di mappare l'andamento del contatto alluvioni – substrato e di definire il profilo geotecnico del sito.

Le indagini hanno infine condotto alla progettazione di una paratia quale opera di sostegno provvisoria.

Sezione stratigrafica e profilo geotecnico  
scala 1:200

PARAMETRI GEOTECNICI

1 Terreni alluvionali fini				2 Substrato alterato				3 Substrato roccioso			
$\phi_u$	27°	D		$\phi_u$	27°	D		$\phi_u$	27°	D	
$c'_u$	10 kPa			$c'_u$	10 kPa			$c'_u$	30 kPa		
$\phi_v$	0°	ND		$\phi_v$	0°	ND		$\phi_v$	0°	ND	
$s_u$	80 kPa			$s_u$	120 kPa			$s_u$	200 kPa		
$\gamma_{sat}$	19.0 kN/mc			$\gamma_{sat}$	20 kN/mc			$\gamma_{sat}$	21.6 kN/mc		

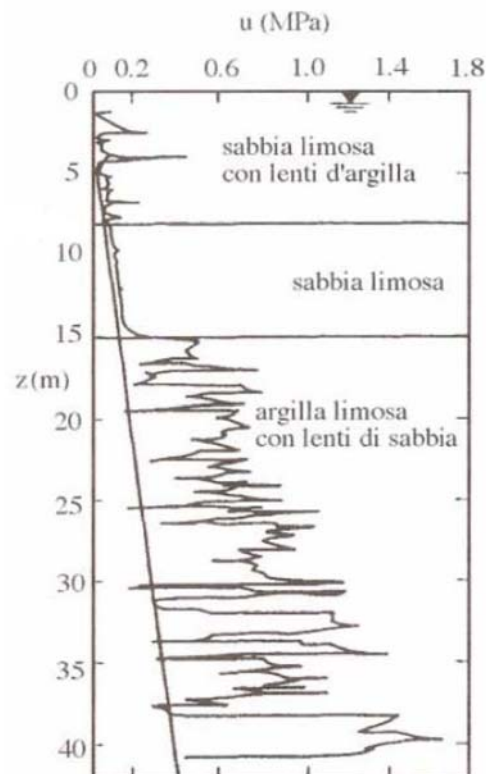




## B) PROVE PENETROMETRICHE STATICHE (CPT)

Con le prove penetrometriche statiche (generalmente definite CPT) viene misurata la resistenza ( $q_c$ ) all'avanzamento di una punta conica infissa nel terreno a velocità costante e l'attrito laterale ( $f_s$ ); anche in questo caso gli obiettivi sono duplici:

- 1) **ricostruire i dettagli della stratigrafia**, confrontando la friction ratio:  $FR = f_s/q_c$  con una carta di classificaz.;
- 2) ricavare, mediante correlazioni empiriche derivanti generalmente da grafici, le **caratteristiche meccaniche**



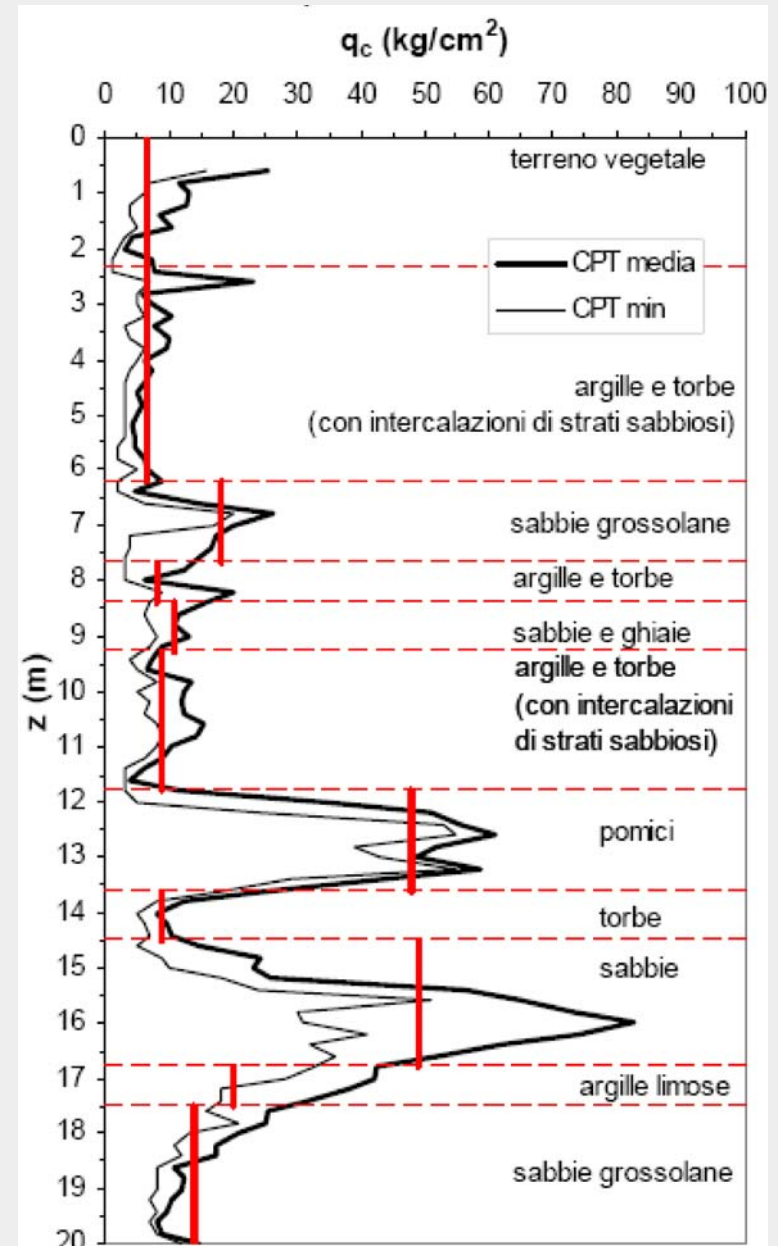
Il grafico a sinistra (Battaglia et al., 1986) mostra un esempio canonico di andamento della resistenza alla punta in funzione della variabilità dei terreni; in questo modo è possibile riconoscere con immediatezza la “**linea delle argille**”.

A destra una prova eseguita in terreni alluvionali con un'intercalazione legata ad un episodio vulcanico alla profondità 12 – 13.60 m. Anche in questo caso è possibile distinguere i terreni a grana fine da quelli a grana grossolana.

La correlazione empirica più diretta è:

$$E = 2.5 \div 3.5q_c$$

valida per fondazioni quadrate e nastriformi.



## B) PROVE PENETROMETRICHE STATICHE (CPT)

Nel caso di terreni a grana fine è possibile risalire al valore della coesione non drenata a partire dall'equazione per il calcolo della capacità portante delle fondazioni che è noto essere indipendente dalla geometria:

$$s_u = (q_c - \sigma_{v0}) / N_c$$

nella quale compare quale unica incognita il fattore di capacità portante  $N_c$ .

Nel caso delle argille di bassa e media consistenza tale fattore può essere desunto utilizzando correlazioni tra la  $q_c$  e la  $s_u$  ricavata da prove scissometriche.

In alternativa può essere utilizzata la relazione di Bjerrum (1972), 1973) che indica un valore medio  $N_c = 14$  con un campo di incertezza del 33%.

Ancora può essere applicata la relazione di Baligh et al. (1980):

$$N_c = 14 + (8 - 0.15z)$$

essendo  $z$  la profondità.

Se l'applicazione delle CPT ai terreni a grana fine NC mostra una certa aleatorietà, nel caso delle argille OC occorre tenere conto delle incertezze connesse con la struttura macroscopica (fessurazione).

Passando alle applicazioni ai terreni a grana grossa, la correlazione più immediata è:

$$D_R = 98 + 66 \log[(q_c / (\sigma_{v0})^{0.5})]$$

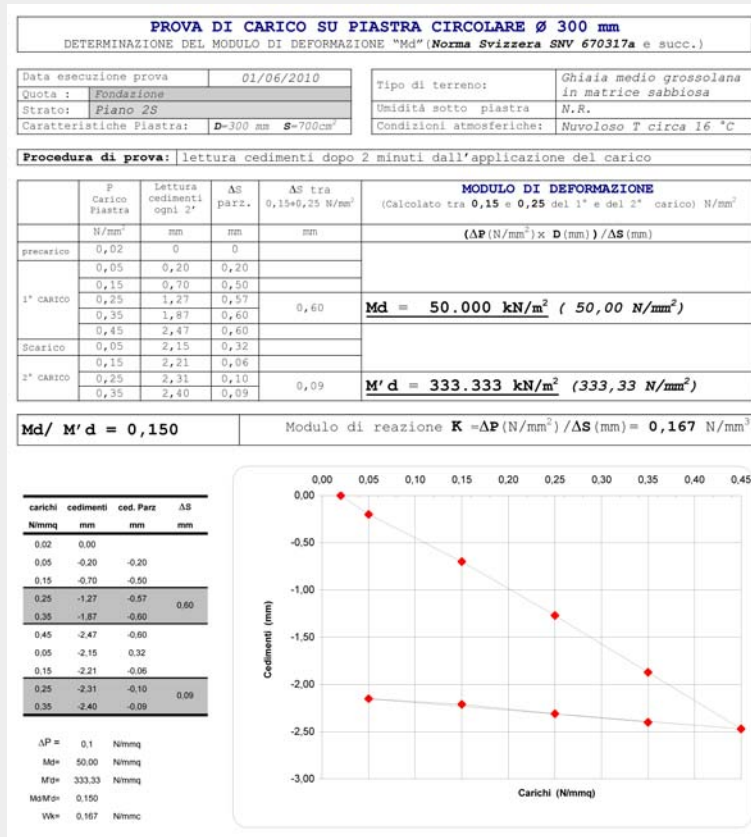
dalla quale risalire al valore dell'angolo di resistenza al taglio tramite la relazione di Robertson & Campanella (1983):

$$\Phi' = \arctan[0.1 + 0.38 \log(q_c / (\sigma_{v0}))]$$





## C) PROVE DI CARICO SU PIASTRA



Consistono in una piastra del diametro di 30 cm, completata di martinetto, comparatori di spostamento verticale, pompa e manometro. Richiedono un mezzo di contrasto comparabile con il campo di sforzi utilizzato.

Consentono di ricavare:

1) il modulo di deformazione, quale pendenza delle curve di carico e scarico (nella prova a fianco:  $M = 25 \text{ Mpa}$  – **errore!**);

2) la coesione non drenata:  $s_u = (q - \sigma_{v0})/9.25$

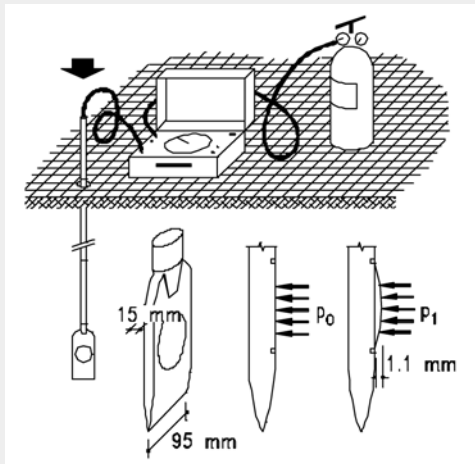
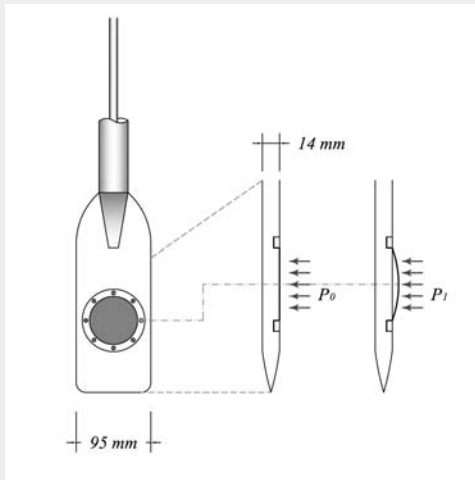
con  $q$  che identifica la pressione corrispondente al punto di rottura.

Come qualunque altra prova in scala ridotta (compresa la sperimentazione di laboratorio) occorre porre attenzione all'interpretazione di tali prove su terreni fessurati.

È l'unica prova che fornisce il coefficiente di Winkler la cui validità risente, però, dell'effetto scala!



## D) PROVE DILATOMETRICHE (DMT)



Infine, mediante correlazioni empiriche può essere costruito il profilo geotecnico del sito (Totani et al., 1999, *Impiego della prova dilatometrica nella progettazione geotecnica*, XX Convegno Nazionale di Geotecnica – Parma).

Il dilatometro è una lama piatta dotata su una faccia di una sottile membrana espandibile di forma circolare infissa a spinta mediante le stesse macchine delle prove penetrometriche statiche.

La lama è collegata, tramite un cavo elettro-pneumatico passante lungo le aste di spinta, ad una centralina dotata di manometri, di una valvola di controllo del flusso dei gas forniti da una bombola di aria compressa e di una valvola di sfiato.

La punta dilatometrica è fatta avanzare ad incrementi di profondità prefissati, generalmente 20 cm; quindi, a punta ferma, viene immessa aria compressa nella lama misurando due pressioni:

A) la pressione necessaria per iniziare il movimento della membrana ( $p_0$ );

B) la pressione corrispondente ad uno spostamento del centro della membrana pari ad 1.1 mm ( $p_1$ ).

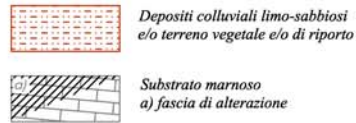


SIMB	DESCRIZIONE	FORMULE BASE DI INTERPRETAZIONE DEL DMT	
$p_0$ $p_1$	Prima lettura corretta Seconda lettura corretta	$p_0 = 1.05(A - Z_M + \Delta A) - 0.05(B - Z_M - \Delta B)$ $p_1 = B - Z_M - \Delta B$	$Z_M$ = Scarto del manometro dallo zero Tuttavia se $\Delta A$ & $\Delta B$ vengono misurate con lo stesso manometro per le letture A & B, porre $Z_M=0$ (si ha compensazione di $Z_M$ )
$I_D$	Indice di materiale	$I_D = (p_1 - p_0) / (p_0 - u_0)$	$u_0$ = pressione neutra preinserimento
$K_D$ $E_D$	Indice di spinta orizzontale Modulo dilatometrico	$K_D = (p_0 - u_0) / \sigma'_{v0}$ $E_D = 34.7 (p_1 - p_0)$	$\sigma'_{v0}$ = tensione verticale preinserimento $E_D$ non è il modulo di Young E. $E_D$ deve essere utilizzato solo in combinazione con $K_d$ (storia tensionale). Dapprima calcolare $M_{DMT} = R_M E_D$ , poi ricavare il modulo $E \approx 0.8 M_{DMT}$
$K_0$	Coeff. di spinta a riposo	$K_{0,DMT} = (K_0 / 1.5)^{0.47} \cdot 0.6$	per $I_D < 1.2$
OCR	Rapp. di sovraconsolidazione	$OCR_{DMT} = (0.5 K_D)^{1.56}$	per $I_D < 1.2$
$C_u$	Resistenza al taglio non drenata	$C_{u,DMT} = 0.22 \sigma'_{v0} (0.5 K_D)^{1.25}$	per $I_D < 1.2$
$\varphi$	Angolo di resistenza al taglio	$\varphi_{min,DMT} = 28 + 14.6 \log K_D - 2.1 \log^2 K_D$	per $I_D > 1.8$
$C_h$	Coeff. di consolidazione	$C_{h,DMTA} \approx 7 \text{ cm}^2 / T_{flex}$	$T_{flex}$ dalla A-log(t), curva di dissipazione DMTA
$K_h$	Coeff. di permeabilità	$K_h = C_h \gamma_w / M_h \quad (M_h \approx K_0 M_{DMT})$	
$\gamma$ $M$	Peso di volume e descrizione Modulo edometrico	(si veda l'abaco in Cestari, 1990) $M_{DMT} = R_M E_D$ 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 $0.6 < I_D < 3$ $R_M = R_{M,0} + (2.5 - R_{M,0}) \log K_D$ dove $R_{M,0} = 0.14 + 0.15(I_D - 0.6)$ 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 interstiziale di equilibrio	$U_0 = p_2 \approx C - Z_M + \Delta A$	In terreni liberamente drenanti



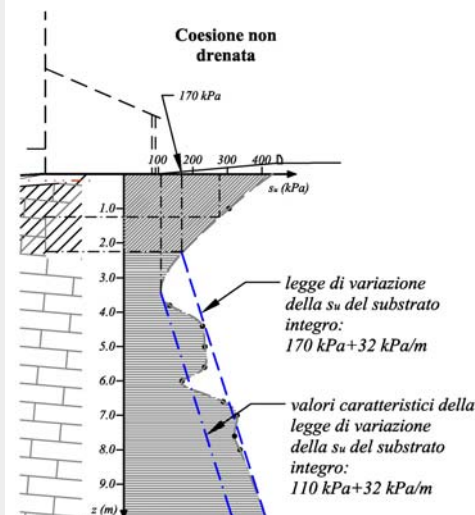
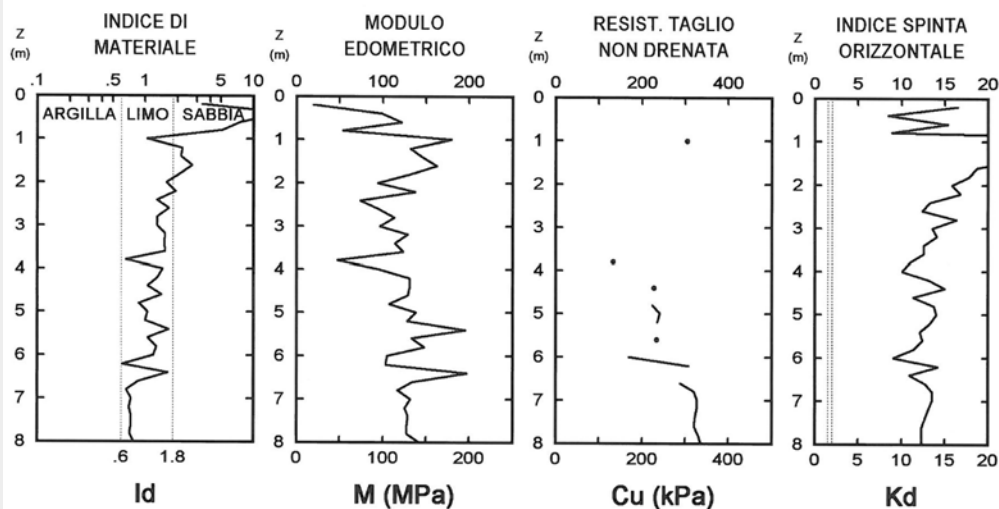
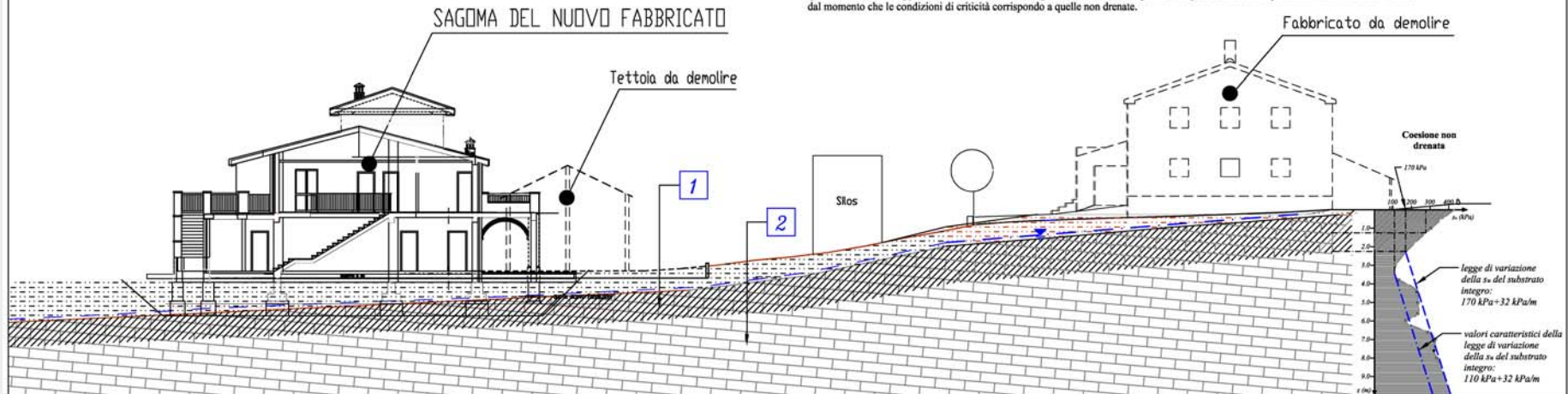
## D) PROVE DILATOMETRICHE (DMT)

### Sezione stratigrafica e profilo geotecnico scala 1:200



PARAMETRI GEOTECNICI		VALORI CARATTERISTICI		PARAMETRI GEOTECNICI		VALORI CARATTERISTICI	
1	Substrato roccioso alterato	1	Substrato roccioso alterato	2	Substrato roccioso integro	2	Substrato roccioso integro
$\phi_p$	27.0-34°	D	$\phi_p$	27.0°	D	$\phi_p$	---
$C_p$	10-25 kPa	D	$C_p$	10 kPa	D	$C_p$	---
$\phi_u$	0°	ND	$\phi_u$	0°	ND	$\phi_u$	0°
$S_u$	170 kPa	ND	$S_u$	100 kPa	ND	$S_u$	170 kPa
$\gamma_{nat}$	20.0 kN/mc		$\gamma_{nat}$	20.0 kN/mc		$\gamma_{nat}$	21.6 kN/mc

1) Nella definizione dei valori caratteristici del substrato alterato è stato tenuto conto dello studio scientifico citato nella relazione geologica ed i valori scelti corrispondono al valore minimo, al fine di tenere conto delle eterogeneità che il terreno manifesta.  
2) Nella definizione dei valori caratteristici del substrato integro è stato applicato il valore minimo derivato dalla prova dilatometrica, dalla quale è emersa una legge di variazione lineare con la profondità; nel contempo non vengono considerati i parametri relativi al breve termine dal momento che le condizioni di criticità corrispondono a quelle non drenate.



Il dilatometro è l'unica prova in grado di fornire il coefficiente di spinta a riposo delle terre:

$$K_0 = (K_D / 1.5) \quad 0.47-0.6$$

essendo:

$$K_D = (p_0 - u_0) / v_0$$





# FINE

*Tutte le figure sono protette dai diritti di copyright;  
contattare gli autori per l'autorizzazione all'uso.*