

PROFESSIONE GEOLOGO

Notiziario dell'Ordine dei Geologi del Lazio

MAGGIO 2013

NUMERO 35

IL CERTIFICATO DI LABORATORIO GEOTECNICO: L'EDOMETRICA

STEFANO CIANCI

Geoplanning Servizi per il Territorio Srl
stefano.cianci@geoplanning.it

MASSIMO PARENTE

Setec Ingegneria Srl
m.parente@setecingegneria.it

La prova edometrica è stata definita e sviluppata al fine di descrivere il comportamento di un terreno coesivo quando sottoposto ad una variazione dello stato tensionale rispetto a quello al quale il materiale soggiace in sito. Nell'immaginario collettivo la prova edometrica serve solo per calcolare i cedimenti del terreno; troppo spesso viene richiesta ai laboratori l'esecuzione di questo test su materiali non rispondenti alla modellazione proposta da Terzaghi negli anni '20 del secolo scorso. Il fenomeno della consolidazione è proprio di materiali porosi, coesivi, saturi e confinati: una variazione dello stato tensionale sul materiale induce una variazione delle

pressioni interstiziali, la cui dissipazione (positiva o negativa) determina un cambiamento del volume del terreno evidenziabile come variazione dell'indice dei vuoti. Questa variazione durante la prova in laboratorio è assimilabile ad una mera modifica dell'altezza iniziale del materiale (cedimento o rigonfiamento). È sempre bene ricordare che la prova ha valore per materiale coesivo e saturo in condizioni di confinamento.

È particolarmente importante valutare un certificato relativo ad una prova edometrica, soprattutto in relazione alle prove fisiche eseguite sul materiale, con particolare riguardo alla granulometria, ai limiti di Atterberg ed al peso di volume

dei grani. La granulometria definisce quali e quante frazioni granulometriche compongono il terreno (in particolare l'argilla, intesa come passante a 2 mm); i limiti, e quindi l'Indice Plastico, aiutano a meglio inquadrare l'entità dei cedimenti; il peso di volume dei grani è necessario (insieme al contenuto d'acqua ed al peso di volume naturale) per il corretto calcolo dell'indice dei vuoti iniziale (e_0) del materiale e del suo grado di saturazione.

Le normative

Le normative che regolano la prova edometrica sono in particolare quelle statunitensi (ASTM), inglesi (BS), tedesche (DIN). In Italia non è mai stata



Fig 1 - Edometri (foto Geoplanning Srl).

PROVA DI COMPRESSIONE EDOMETRICA

(UNI CEN ISO/TS 17892-5)

Data di inizio prova:	31/01/11	Data di fine prova:	10/02/11
-----------------------	----------	---------------------	----------

CARATTERISTICHE DEL PROVINO

Diametro	ϕ	5,025	cm	Peso di vol. dei grani	γ_s	26,66	kN/m ³
Altezza iniziale	H_0	1,999	cm	Grado di saturazione	S_r	104	%
Area	a	19,832	cm ²	Cont. d'acqua finale	W_f	25,2	%
Volume iniziale	V_0	39,644	cm ³	Porosità iniziale	n_0	0,442	
Cont. d'acqua iniziale	W_i	30,4	%	Altezza del secco	H_{dry}	1,115	cm
Peso di volume	γ	19,40	kN/m ³	Indice dei vuoti iniziale	e_0	0,793	

Pressione σ (kPa)	Tempo t (h)	Cedimento cumulativo d (mm)	Indice dei vuoti e (-)	Modulo di compressibilità E' (kPa)	Coefficiente di compressibilità m_v (kPa ⁻¹)	Coefficiente di consolidazione c_v (cm ² /sec)	Coefficiente di permeabilità k (m/sec)
0	0	0	0,793				
49	24	0,079	0,786	12366	8,09E-05		
98	24	0,289	0,767	4653	2,15E-04	4,03E-04	8,7E-13
196	24	0,676	0,732	4992	2,00E-04	2,34E-04	4,7E-13
392	24	1,231	0,683	6827	1,46E-04	2,48E-04	3,6E-13
785	24	1,908	0,622	10884	9,19E-05	2,70E-04	2,5E-13
1570	24	2,761	0,545	16627	6,01E-05		
392	12	2,392	0,578				
98	12	1,866	0,626				
49	12	1,609	0,649				

Figura 2a: ad una attento confronto con i certificati delle figure 2b e 2c (verifica dei dati, delle note e delle unità di misura), il lettore trova che sia tutto a posto?

Data ricevimento campione: 23/10/2003

SONDAGGIO:
 CAMPIONE: CI1
 PROFONDITA', m: 3.00/3.50
 Data esecuzione prove: 31/10-15/11/2003

PROVA EDOMETRICA I.L. (ASTM D 2435-02 - Method A)

Condizioni del campione:

Caratteristiche iniziali del campione

diametro	5.05	cm	peso di volume (ASTM D 2435-02)	19.12	kN/m ³
altezza	2.00	cm	densità secca	15.60	kN/m ³
contenuto in acqua (CNR-UNI 10008)	22.50	(%)	Peso specifico dei grani (CNR-UNI 10013)	2.73	-
grado di saturazione	86.03	(%)	Indice dei vuoti	0.713	-

Pressioni Kpa	Cedimenti cm	$\Delta H/H$ %	Indice Vuoti -	Mod. Edom. KPa
24.52	0.003	0.15	0.710	-
49.03	0.008	0.40	0.706	9777.04
98.07	0.022	1.10	0.694	6953.17
196.13	0.042	2.10	0.677	9649.10
98.07	0.041	2.05	0.678	-
49.03	0.040	2.00	0.679	-
98.07	0.042	2.10	0.677	48034.68
196.13	0.052	2.60	0.668	19151.12
392.27	0.071	3.55	0.652	20011.44
784.53	0.099	4.95	0.628	26827.78
1569.06	0.132	6.60	0.600	44801.42
3138.12	0.200	10.00	0.542	42318.47
392.27	0.146	7.30	0.588	-
98.07	0.096	4.80	0.631	-
24.52	0.058	2.90	0.663	-

NOTA:

Data di emissione:
18/11/2003

Verbale di accettazione:

Fig 2b: ad una attento confronto con i certificati delle figure 2b e 2c (verifica dei dati, delle note e delle unità di misura), il lettore trova che sia tutto a posto?

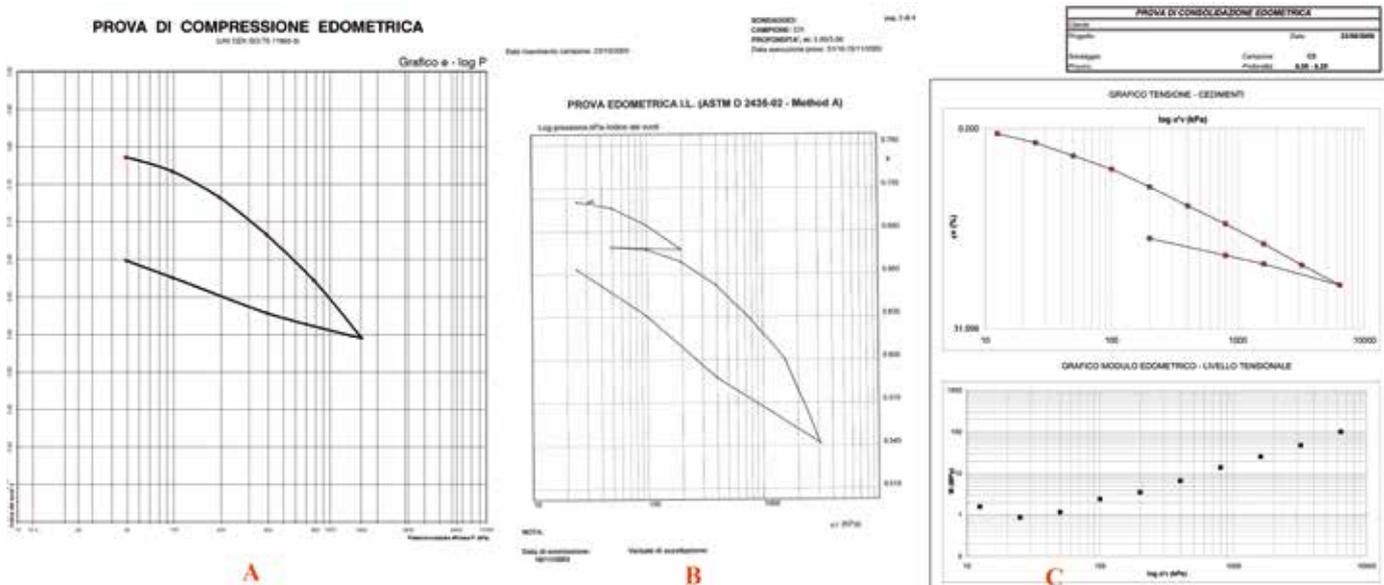


Fig 3 - Da quanto riportato, quale dei tre campioni è il più compressibile? È verosimile la risposta?

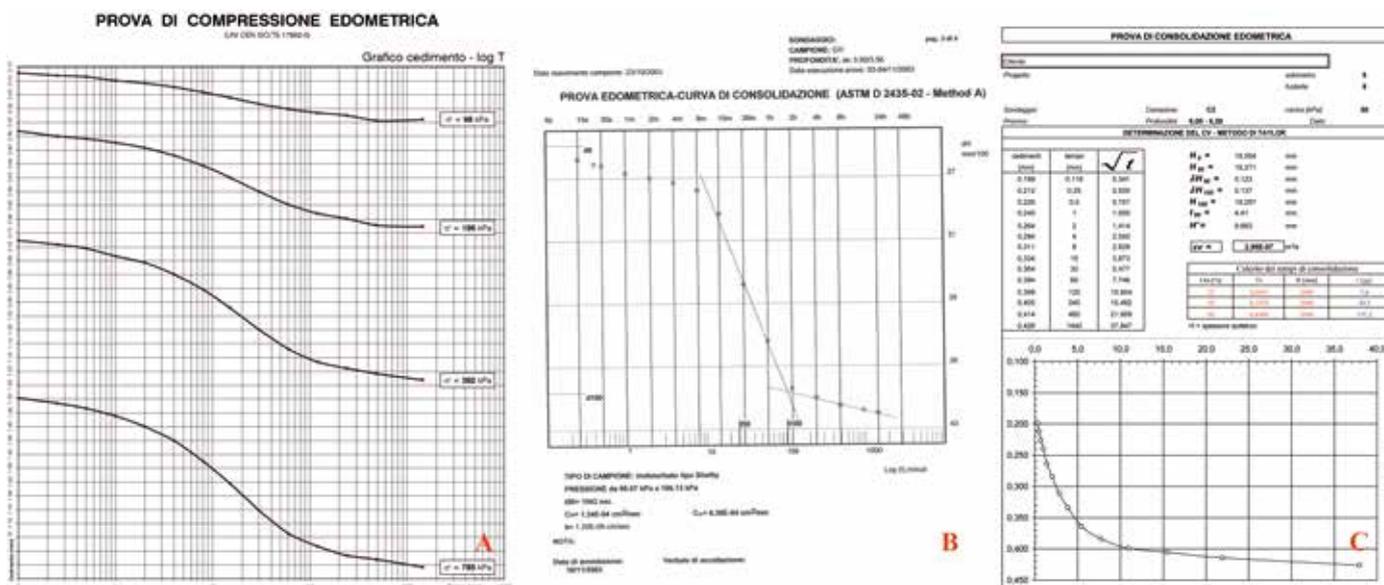


Fig 4 - Il certificato indicato con la lettera C riporta anche le misure acquisite. Verifichi il lettore tali dati con la tabella riportata in Figura 1C.

editata una normativa specifica, ma generalmente la prova viene eseguita secondo le “Raccomandazioni sulle Prove Geotecniche di Laboratorio” (AGI, 1994); ultimamente è cogente la normativa europea (UNI CEN ISO/TS 17892-5). In generale, le norme differiscono tra loro di poco quando si riferiscono strettamente al percorso di prova, ma si distinguono soprattutto in merito alla taratura dei singoli sistemi di misura e alla calibrazione del “sistema edometro” (cella edometrica, sistema levatorico di trasmissione dei carichi, set di pesi).

I certificati

Ribadiamo che le informazioni da ricercare, e che devono essere sempre presenti, sono:

- 1) normativa utilizzata;
- 2) misurazioni acquisite;
- 3) date di esecuzione.

Normalmente il certificato è composto da più pagine, nella prima delle quali sono riportate due tabelle distinte: nella prima sono indicate le caratteristiche geometriche (dimensioni esatte) e fisiche (pesi di volume, contenuti d’acqua e parametri indice) del provino. La

seconda riassume le principali misure ottenute durante la prova (carichi imposti, cedimenti misurati), e riporta i calcoli di indici (indice dei vuoti), di moduli e di coefficienti ottenibili dalla prova secondo la teoria di Terzaghi (es.: modulo edometrico E’, coefficiente di consolidazione primaria c_v, coefficiente di permeabilità k). È fondamentale che siano chiaramente indicate le unità di misura di ogni singola misura o calcolo: nel SI per le pressioni si usa il Pascal (Pa) e i suoi multipli (1 kg/cm² = 98,1 kPa), per le distanze il centimetro (cm – ma i

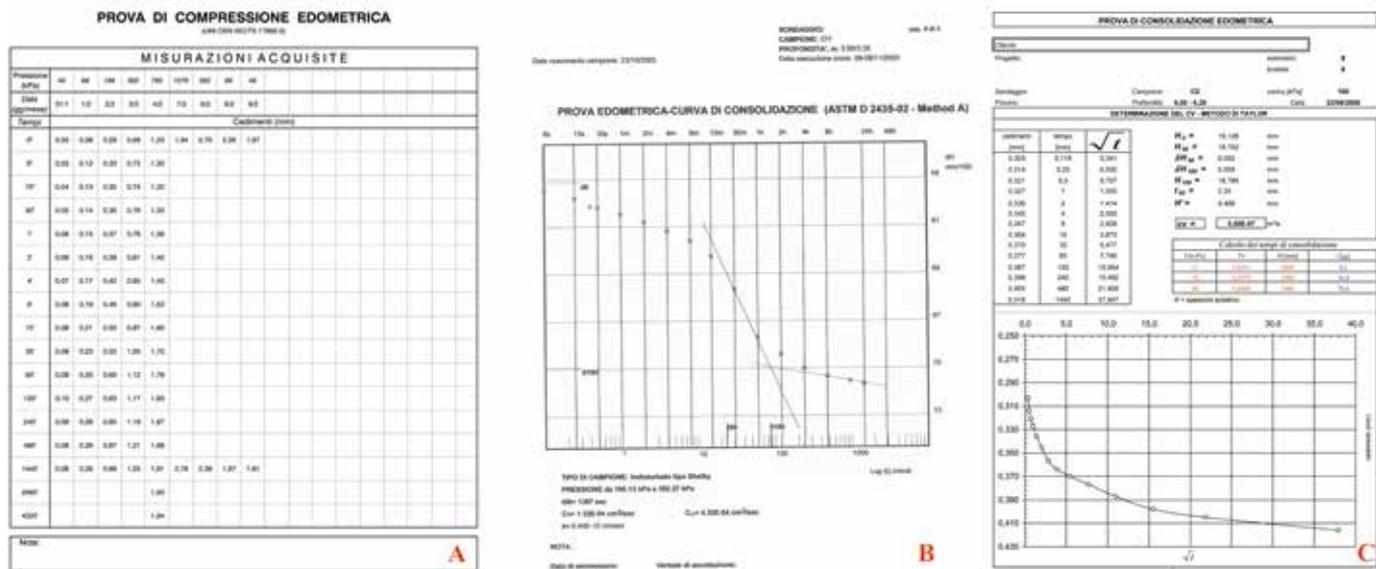


Fig 5 - Il certificato indicato con la lettera A termina con questa pagina. Quello indicato con la lettera B non restituisce le letture. Il certificato individuato dalla lettera C presenta altre 3 pagine con grafici “cedimento- \sqrt{t} ” e relative letture a differenti pressioni di carico efficace.

cedimenti vengono restituiti in millimetri), per il tempo i secondi (o multipli intesi come minuti, ore o giorni). In questa seconda tabella deve essere indicato se i cedimenti riportati (ed eventualmente le deformazioni percentuali) sono cumulativi o meno, così come va specificato se i valori di cedimento sono stati acquisiti dopo 24 ore, o si riferiscono al tempo necessario ad ottenere il 100% della consolidazione primaria (t_{100}), o ad un altro momento della prova. La Figura 1 mette a confronto le citate tabelle poste sulla prima pagina di differenti certificati. La seconda pagina dei certificati è dedicata normalmente ai grafici necessari per la progettazione geotecnica. Il grafico principale è quello in cui è rappresentata la variazione dell'indice dei vuoti in funzione dei carichi imposti: il grafico è semilogaritmico (“e-logP” – il logaritmo delle pressioni è l'ascissa). Da questo grafico si ricavano il **Cc** (indice di compressibilità), **Cr** (indice di ricomprensione) e **Cs** (indice di rigonfiamento), oltre a potere eseguire la costruzione di Casagrande per definire la pressione di preconsolidazione (**Pc**). Altro grafico, meno richiesto, è quello che riporta la variazione del modulo edometrico (**E'**) in funzione dei carichi imposti: in questo caso è notevole la confusione che si genera, in quanto il modulo edometrico è caratteristico di un intervallo di pressioni e non di un

singolo carico. Nel caso in cui non fosse stato richiesto il peso di volume dei grani, il grafico “e-logP” può essere sostituito dal grafico “e-logP”: la deformazione (**e**) è riportata come valore percentuale rispetto all'altezza iniziale del provino. Anche in questo caso appare evidente come sia necessario essere certi delle reali dimensioni del provino stesso, troppo spesso sostituite con quelle “nominali”. La Figura 2 mette a confronto alcuni di questi grafici ottenuti dalle seconde pagine dei precedenti certificati. Nelle successive pagine dei certificati sono riportate le curve relative ai cedimenti ottenuti in funzione del tempo per ogni gradino di carico: normalmente il diagramma è semilogaritmico (“cedimento-logt”), ma è possibile restituire i cedimenti in funzione della radice quadrata del tempo (“cedimento- \sqrt{t} ”), anche se quest'ultima tipologia di grafico è meno utile e meno chiara. Infatti, l'andamento dei cedimenti nel diagramma semilogaritmico di un materiale coesivo è caratteristico, e permette di calcolare sia il coefficiente di consolidazione primaria (c_v) tramite il metodo cosiddetto “di Casagrande” (definendo “ h_{50} ” e “ t_{50} ” intesi come altezza del materiale e tempo necessario al raggiungimento del 50% della consolidazione primaria) sia il coefficiente di consolidazione secondaria (c_a). Se dall'andamento della curva di

consolidazione di un materiale coesivo non è chiaramente applicabile il metodo “di Casagrande”, è possibile calcolare il coefficiente di consolidazione primaria c_v , ma non il coefficiente di consolidazione primaria c_a , con il metodo “di Taylor” il quale, partendo da una curva “cedimento- \sqrt{t} ”, permette di definire “ h_{90} ” e “ t_{90} ” (intesi come altezza del materiale e tempo necessario al raggiungimento del 90% della consolidazione primaria). È da sottolineare come gli andamenti delle curve nel grafico “cedimento- \sqrt{t} ” sono sempre molto simili qualunque sia il materiale sottoposto a prova: ne consegue che con il metodo “di Taylor” è possibile calcolare quasi sempre il coefficiente di consolidazione primaria (c_v), anche se il materiale è granulare. La Figura 3 evidenzia i grafici estratti dai precedenti certificati relativi ai cedimenti. L'ultima pagina del certificato dovrebbe riassumere tutte le misure acquisite, definendo con quattro il numero totale minimo di pagine (Figura 5). Ciò è vero se i grafici riportati e le tabelle e le misure sono restituite con dimensioni ragionevolmente grandi da poter essere lette nel dettaglio ed utilizzabili, come negli esempi riportati nelle Figure.