The cover features a photograph of a stone structure, possibly a dam or bridge, with two dark rectangular openings. The structure is situated over a body of water, and the water's surface is highly textured with ripples and reflections. The background shows lush green trees. The title 'PROFESSIONE GEOLOGO' is overlaid on the top part of the image. 'PROFESSIONE' is in a smaller, blue, sans-serif font, while 'GEOLOGO' is in a very large, bold, light blue font. The letter 'G' is significantly larger and colored in a yellowish-green hue. Below the title, the subtitle 'Notiziario dell'Ordine dei Geologi del Lazio' is written in a smaller, yellowish-gold font. At the bottom, two grey bars contain the date 'OTTOBRE 2013' and the issue number 'NUMERO 37' in blue text.

PROFESSIONE GEOLOGO

OTTOBRE 2013

NUMERO 37

IL CERTIFICATO DI LABORATORIO GEOTECNICO: IL TAGLIO DIRETTO

STEFANO CIANCI

Geoplanning Servizi per il Territorio S.r.l.
stefano.cianci@geoplanning.it

MASSIMO PARENTE

Waterways S.r.l.
massimoparente@waterways.it

Il Taglio Diretto è una prova che, nella sua grezza e geniale semplicità, può risolvere molti problemi legati alla definizione dell'angolo di attrito e della coesione. Questi sono gli unici parametri geotecnici che la prova riesce a determinare mentre, nei casi più fortunati, dalla prova si riesce anche ad ipotizzare il comportamento del terreno. Queste limitazioni non esistono per le prove triassiali, sue cugine nobili, ma i vantaggi legati ai costi contenuti, ai tempi di esecuzione più veloci, al confezionamento di provini di minore dimensione, hanno

reso il Taglio Diretto (TD) la prova di gran lunga più richiesta, anche se non sempre in sintonia con l'esigenza di ottenere un modello geotecnico rispondente con la realtà progettuale.

Modalità di esecuzione

La prova viene eseguita inserendo un provino all'interno di una intelaiatura metallica (detta scatola di Casagrande) la quale è divisa in due semiscatole prismatiche poste una sopra l'altra; il provino è inserito in modo che la sua porzione centrale coincida con la

giunzione delle semiscatole. Queste sono libere di muoversi l'una rispetto all'altra lungo la loro linea di giunzione, che è un piano orizzontale e che definirà il piano di rottura del provino (Figura 1). La semiscatola inferiore è vincolata ad un motore che la spinge in avanti, mentre la semiscatola superiore è vincolata ad un anello dinamometrico (o ad una cella di carico) che misura la resistenza che il terreno offre allo sforzo di taglio, resistenza che si sviluppa principalmente lungo il piano di giunzione delle semiscatole (Figura 2). Un carico verticale viene imposto durante il taglio, e in fase di prova vengono misurate, oltre alla resistenza, sia lo spostamento della semiscatola inferiore (deformazione orizzontale) sia il cedimento del provino ovvero la deformazione verticale (Figura 3). Tale disposizione permette sempre il drenaggio dell'acqua. Quindi l'unica possibile tipologia di prova eseguibile con il Taglio Diretto è quella **Consolidata Drenata (CD)**. Dal TD in condizione Consolidata Non Drenata (CU) non è possibile ottenere una parametrizzazione utilizzabile in quanto la scatola di Casagrande non permette alcuna misurazione delle pressioni neutre, mentre la Non Consolidata Non Drenata (UU) è una condizione che non si realizza neanche impostando velocità di taglio elevatissime. Peraltro, non esistono norme che descrivano il TD UU, mentre la sola ASTM *temporibus illis* delineò una norma per il TD CU, mai aggiornata ed ormai abbandonata. Pertanto l'unica condizione per eseguire una prova di TD è la CD; di conseguenza è insensato parlare di



Fig. 1 - Scatola di Casagrande. Il provino è posto all'interno (foto: Geoplanning S.r.l.).

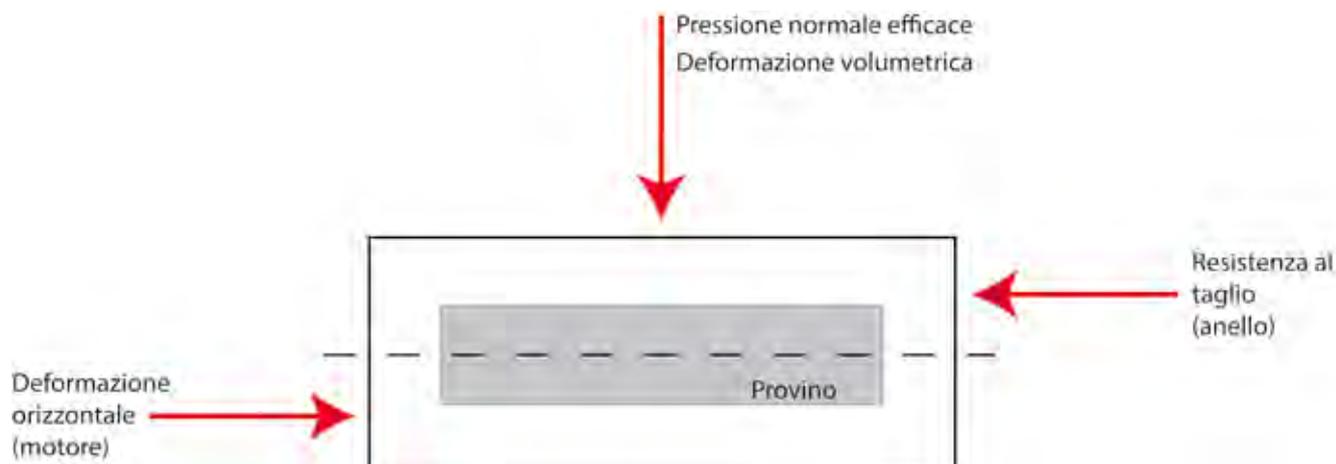


Fig. 2 - Sezione verticale schematica della scatola di Casagrande (cfr. Figura 1) riportante gli sforzi agenti.

“taglio veloce” o “taglio lento” in quanto la prova deve essere sempre condotta con velocità di taglio sufficientemente lente da garantire il drenaggio, ovvero tale da non fare insorgere sovrappressioni interstiziali. Risulta evidente quindi quanto sia determinante per la corretta esecuzione della prova la velocità di taglio: questa viene definita dalla fase di consolidazione, sulla base di un procedimento che varia di poco a seconda delle varie normative. Quindi, **la consolidazione diventa una fase essenziale della prova perché determina la velocità di taglio**: è curioso constatare che in media solo 1 volta su 127 campioni (fonte statistica: Geoplanning Servizi per il Territorio S.r.l.) viene richiesta la restituzione di tale fase, che deve essere sempre eseguita ma che ha un costo di restituzione che rende la prova di TD meno economica, anche se meno cara delle triassiali. Il limite di eseguibilità della prova di TD è legato sostanzialmente alle dimensioni dei granuli costituenti il materiale i quali non devono superare il 10% delle dimensioni della scatola al fine di evitare l'insorgere di resistenze anomale (effetto “bordo”): pertanto in una scatola prismatica di sezione quadrata che abbia dimensioni di circa 6x6x2 cm (standard) può essere ospitato un materiale i cui granuli abbiano al massimo un diametro di 6 mm. Tutti gli altri materiali dovranno essere ricostituiti eliminando i clasti più grandi. La prova di TD CD viene di norma eseguita su tre provini che vengono consolidati a differenti pressioni e sottoposti poi alla fase di taglio utilizzando le medesime pressioni. E' particolarmente importante valutare un certificato relativo ad una

prova di TD, 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.

Le normative

La prova di TD, avendo largo utilizzo, è stata normata da numerosi Stati, in particolare gli USA (ASTM), Il Regno Unito (BS) e la Germania (DIN). In Italia non è mai stata 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 17892-10).

I certificati

Ricordiamo che devono essere sempre presenti:

- 1) i riferimenti normativi;
- 2) le misurazioni acquisite;
- 3) le date di esecuzione.

Ciò che non deve essere presente, invece, è la valutazione della resistenza a rottura dei provini e il diagramma “ σ - τ ” che definisce la curva dalla quale vengono ottenuti l'angolo di attrito e la coesione efficace, cioè l'interpretazione della prova; tale operazione è svolta dal progettista in



Fig. 3 - Apparecchiatura per la prova TD. La scatola è inserita in un alloggiamento pieno d'acqua e solidale con il motore: la semiscatola superiore è collegata all'anello dinamometrico. Il ponticello applica la pressione normale e permette la misura delle deformazioni verticali. Il comparatore sul lato esterno, solidale col movimento del motore, misura le deformazioni orizzontali (foto: Geoplanning S.r.l.).

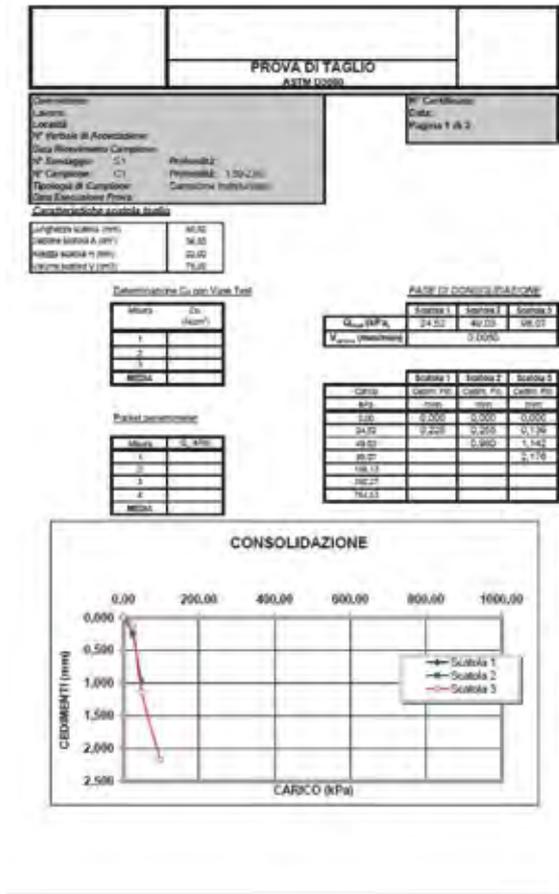


Fig 4 - Sono raffrontate le pagine 1 di due diversi certificati di una prova TD. Il certificato A riporta dei dati circa l'imposizione delle pressioni normali in fase di consolidazione dei tre provini (qui indicati con il termine di "scatole"), ma non c'è traccia della fase reale di consolidazione: tale restituzione è quantomeno inutile (basta una nota scritta) e poco chiara (il diagramma è mal definito). Il certificato B riporta solo i termini generali con i quali è stata eseguita la fase di consolidazione.

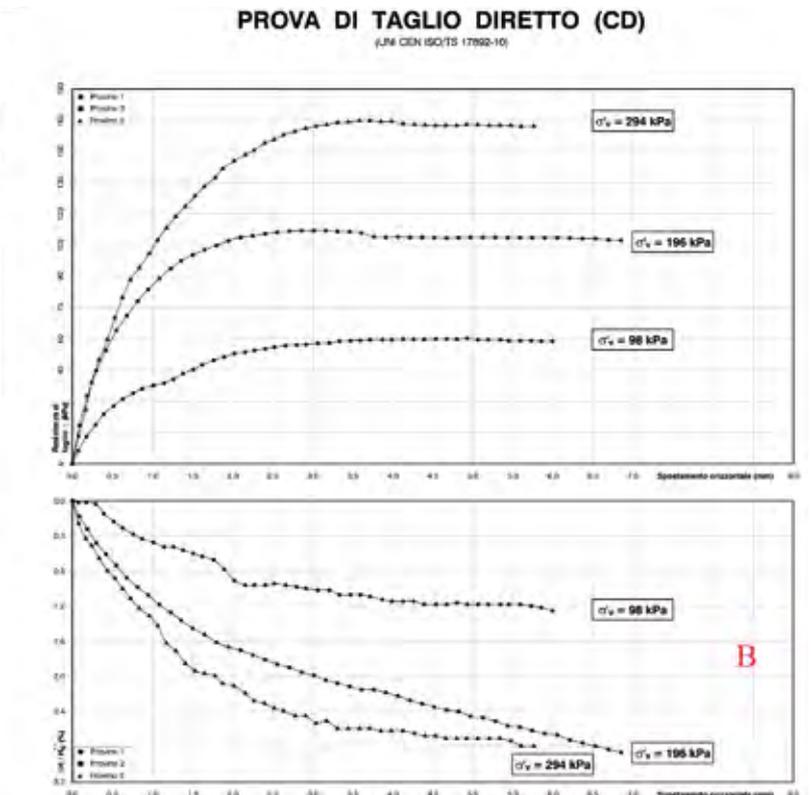
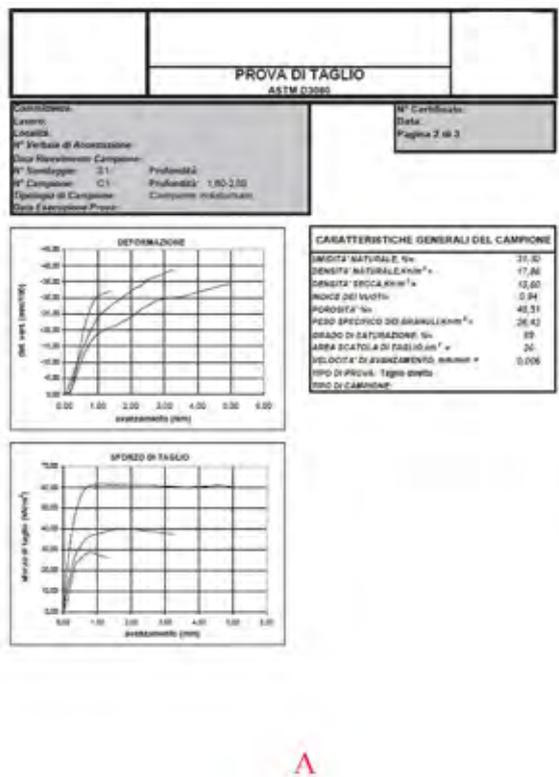


Fig 5 - Sono raffrontate le pagine 2 dei precedenti certificati di una prova TD. Nel certificato A i grafici sono molto piccoli e non riportano i punti di misura.

quanto legata alle sue responsabilità. Nel caso del TD l'unità di misura della pressione è il kPa, quella della forza è il N, quella della densità (peso di volume) è il kN/cm³, quella delle deformazioni è il millimetro e quella delle dimensioni è il centimetro; i decimali da riportare sono spesso definiti da normativa, anche se in alcuni casi, come già indicato nelle precedenti note, vale il buon senso e il criterio di una restituzione il più possibile "leggibile". Come accennato, di norma la fase di consolidazione non viene riportata. Un certificato completo dovrà contenere:

- le caratteristiche iniziali dei provini (parametri di stato e parametri indice, dimensioni);
- le pressioni imposte in fase di consolidazione e di taglio;
- il cedimento finale della fase di consolidazione;
- la velocità di taglio;
- il contenuto finale d'acqua dei provini;
- i grafici "deformazione orizzontale - resistenza al taglio" e "deformazione orizzontale - deformazione verticale";
- tutte le misure (almeno quelle elaborate) acquisite in fase di taglio, e

- relative alle deformazioni (orizzontali e verticali) e alla resistenza al taglio;
- le eventuali note esplicative.

Per quanto concerne le caratteristiche iniziali dei provini (Figura 4), vale quanto indicato nella nota "Il certificato di laboratorio geotecnico: le prove fisiche - parte I" nel paragrafo riguardante "Il peso di volume naturale", in particolare per quanto concerne la taratura delle fustelle per il confezionamento dei provini (Professione Geologo n° 32 del luglio 2012). Ai grafici dovrà essere dedicato il giusto spazio, in modo da

PROVA DI TAGLIO ASTM D3080	
Committente: Lavoro: Località: N° Verbale di Accettazione: Data Ricevimento Campione: N° Sondaggio: S1 Profondità: N° Campione: C1 Profondità: 1,60-2,00 Tipologia di Campione: Campione indisturbato Data Eseecuzione Prova:	N° Certificato: Data: Pagina 3 di 3

Dati Sperimentali

Provino n°1			Provino n°2			Provino n°3		
Avanzamento	Def. Vert.	Sforzo Taglio	Avanzamento	Def. Vert.	Sforzo Taglio	Avanzamento	Def. Vert.	Sforzo Taglio
(mm)	(mm/100)	(kN/m ²)	(mm)	(mm/100)	(kN/m ²)	(mm)	(mm/100)	(kN/m ²)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.15	-0.70	7.22	0.14	-2.97	12.05	0.17	-1.30	29.21
0.34	-7.60	21.89	0.34	-8.75	26.12	0.37	-6.50	47.71
0.53	-18.40	25.92	0.53	-13.90	32.48	0.55	-11.70	56.66
0.75	-26.10	28.75	0.73	-18.60	38.09	0.75	-15.70	60.48
0.95	-30.10	28.06	0.93	-22.80	37.34	0.95	-18.40	61.39
1.13	-31.20	28.89	1.12	-25.30	38.04	1.16	-19.70	61.66
1.35	-32.00	28.31	1.31	-26.80	38.93	1.35	-20.80	61.39
			1.50	-29.50	39.78	1.58	-21.50	61.34
			1.70	-29.80	40.00	1.75	-22.70	61.51
			1.89	-31.30	40.00	1.96	-23.80	61.17
			2.08	-32.80	40.00	2.17	-25.30	61.22
			2.28	-33.70	39.34	2.37	-26.90	61.15
			2.48	-35.50	38.00	2.55	-27.90	61.10
			2.67	-36.30	38.07	2.70	-29.10	60.79
			2.87	-37.00	38.23	2.97	-29.60	60.50
			3.07	-38.00	37.79	3.19	-29.90	60.48
			3.27	-38.60	37.57	3.39	-30.10	60.39
						3.58	-30.40	60.02
						3.78	-31.10	60.00
						3.98	-31.70	60.67
						4.18	-32.20	60.38
						4.37	-32.80	60.67
						4.57	-33.40	60.91
						4.76	-33.90	60.72
						4.96	-34.20	60.26

A

PROVA DI TAGLIO DIRETTO (CD)
UNI CEN ISO 17890

MISURAZIONI ACQUISITE								
Provino 1			Provino 2			Provino 3		
Spesamento orizzontale (mm)	Deformazione verticale (%)	Subsidenza di taglio (mm)	Spesamento orizzontale (mm)	Deformazione verticale (%)	Subsidenza di taglio (mm)	Spesamento orizzontale (mm)	Deformazione verticale (%)	Subsidenza di taglio (mm)
0.00	0.00	0	0.00	0.00	0	0.00	0.00	0
0.07	0.02	6	0.08	0.18	18	0.06	0.26	13
0.17	0.02	13	0.19	0.32	32	0.17	0.43	26
0.29	0.04	19	0.30	0.48	45	0.24	0.51	39
0.39	0.15	24	0.42	0.81	85	0.34	0.86	50
0.51	0.24	28	0.55	0.73	64	0.44	0.80	60
0.62	0.31	31	0.68	0.88	71	0.53	0.88	75
0.76	0.38	34	0.81	0.89	79	0.62	1.00	80
0.87	0.44	36	0.94	1.09	84	0.72	1.11	85
1.01	0.47	38	1.08	1.18	89	0.80	1.23	94
1.14	0.53	39	1.22	1.27	94	0.96	1.31	101
1.26	0.53	41	1.38	1.36	97	1.06	1.43	107
1.38	0.56	43	1.50	1.45	100	1.17	1.62	113
1.51	0.60	45	1.68	1.52	103	1.29	1.71	118
1.62	0.64	47	1.80	1.61	105	1.41	1.85	124
1.76	0.67	50	1.95	1.67	107	1.53	1.94	129
1.89	0.76	51	2.10	1.70	109	1.64	1.97	133
2.02	0.91	53	2.25	1.76	109	1.78	2.00	137
2.15	0.98	54	2.42	1.81	110	1.87	2.08	142
2.27	0.96	54	2.56	1.85	111	2.00	2.11	145
2.41	0.96	56	2.71	1.80	112	2.16	2.19	148
2.52	0.94	56	2.86	1.95	112	2.27	2.28	151
2.66	0.96	57	3.01	1.99	112	2.40	2.31	154
2.80	0.96	57	3.16	2.04	112	2.52	2.37	156
2.91	1.00	57	3.31	2.09	112	2.63	2.39	156
3.06	1.02	58	3.46	2.11	112	2.76	2.45	160
3.21	1.02	58	3.61	2.15	111	2.91	2.45	161
3.30	1.07	59	3.76	2.15	109	3.04	2.54	162
3.47	1.07	59	3.91	2.19	109	3.17	2.51	162
3.66	1.07	59	4.06	2.23	109	3.31	2.58	164

B

PROVA DI TAGLIO DIRETTO (CD)
UNI CEN ISO 17890

MISURAZIONI ACQUISITE								
Provino 1			Provino 2			Provino 3		
Spesamento orizzontale (mm)	Deformazione verticale (%)	Subsidenza di taglio (mm)	Spesamento orizzontale (mm)	Deformazione verticale (%)	Subsidenza di taglio (mm)	Spesamento orizzontale (mm)	Deformazione verticale (%)	Subsidenza di taglio (mm)
3.71	1.09	59	4.24	2.28	109	3.44	2.59	164
3.87	1.13	59	4.37	2.31	109	3.58	2.58	165
3.96	1.14	59	4.52	2.35	109	3.71	2.59	166
4.10	1.14	60	4.67	2.38	108	3.85	2.62	164
4.26	1.14	60	4.82	2.40	109	3.96	2.62	164
4.39	1.18	60	4.97	2.46	109	4.13	2.62	163
4.54	1.18	60	5.12	2.47	109	4.27	2.65	163
4.67	1.18	60	5.28	2.51	109	4.40	2.68	163
4.80	1.18	60	5.43	2.56	109	4.53	2.68	162
4.93	1.18	60	5.58	2.58	109	4.66	2.71	162
5.06	1.18	59	5.74	2.62	109	4.80	2.71	162
5.19	1.18	59	5.90	2.65	109	4.92	2.71	163
5.34	1.18	59	6.06	2.67	109	5.06	2.71	163
5.48	1.18	59	6.21	2.72	109	5.20	2.71	162
5.59	1.18	59	6.37	2.76	108	5.34	2.71	162
5.70	1.20	59	6.50	2.80	108	5.47	2.74	162
5.85	1.22	59	6.69	2.83	108	5.60	2.79	162
5.99	1.25	59	6.85	2.87	107	5.76	2.79	162

Fig. 6 - Sono raffrontate le pagine dei certificati di una prova TD contenenti le misure registrate in fase di taglio. Nel certificato A le letture sono al massimo 28. Le misure riportate nel certificato B sono restituite su 2 pagine, per un massimo di 48 letture.

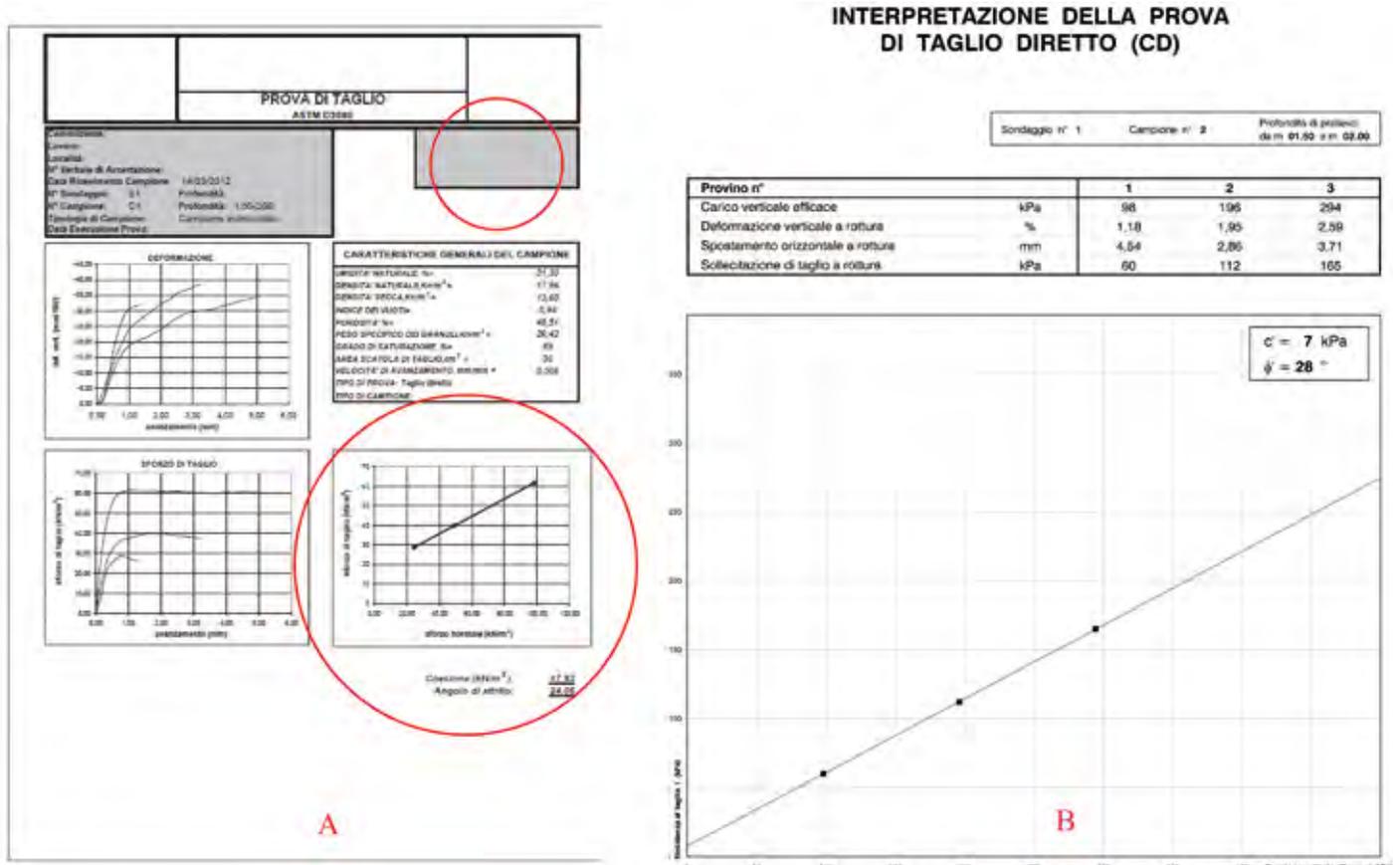


Fig. 7 - Interpretazione delle prove riportate nelle Figure 4, 5 e 6 nei certificati A e B. L'interpretazione della prova A (cerchio rosso in basso) è restituita sulla pagina 2 dove sono stati eliminati tutti i riferimenti al numero del certificato (cerchio rosso in alto); il foglio però è su carta intestata. Da notare i decimali riportati sia per l'angolo di attrito sia per la coesione intercetta (valore solo deducibile in quanto la curva di interpolazione non taglia l'asse delle ordinate); è da notare lo spessore della curva di interpolazione. L'interpretazione della prova B è restituita su un foglio apposito non intestato, e riporta le misure dei punti utilizzati per l'interpolazione ed i carichi normali applicati ai provini.

essere facilmente leggibili (Figura 5). E' importante che venga anche indicato a quale provino è riferita ogni singola curva ed i carichi normali efficaci ai quali i provini stessi sono stati sottoposti. Sulle curve devono essere riportati i punti misurati sperimentalmente. Il grafico relativo alle deformazioni verticali può essere riportato anche come valore percentuale della variazione volumetrica. Nella prova di TD, infatti, si considera la sezione del provino sempre costante (ciò rappresenta una semplificazione necessaria ma accettabile, che però rende la prova meno precisa ed attendibile rispetto alle prove triassiali); pertanto le variazioni di volume del provino sono definite dalle sole variazioni dell'altezza (cedimenti s.l.) del provino stesso. Tali variazioni, quando riferite all'altezza iniziale del provino, esprimono le variazioni volumetriche percentuali del provino. Le curve dei grafici sono tanto più definite quanto maggiore è il numero delle misurazioni acquisite: più sono le misure acquisite, minore è la possibilità di interventi esterni volti a "modificare"

la prova. Le misure (Figura 6) possono essere restituite o tal quali (ovvero esattamente nella quantità e con le unità di misura con le quali sono state registrate) o già elaborate (esempio: la resistenza del provino viene normalmente acquisita in Newton o in kg forza, ma viene restituita come pressione in kPa): in quest'ultimo caso però il certificato deve riportare tutti gli elementi tali da potere ottenere il dato elaborato (sezioni, cedimenti, ecc.). In ogni caso il laboratorio deve archiviare sempre i dati acquisiti tal quale, in modo da poterli fornire su richiesta.

L'interpretazione dei risultati

L'interpretazione della prova di TD è responsabilità del progettista. Il laboratorio di solito fornisce anche una sua interpretazione (su carta non intestata). L'interpretazione della prova TD non può prescindere dalla granulometria del materiale per comprendere il comportamento meccanico del materiale stesso. La descrizione del campione (vedere "Il certificato di laboratorio geotecnico: la descrizione del campione"

- Professione Geologo n° 31 del maggio 2012), insieme alla curva granulometrica ed ai limiti di consistenza, sono il punto di partenza per una corretta interpretazione. L'esperienza peraltro dimostra che mediamente solo l'1% delle prove ottengono un allineamento perfetto tra i punti: il mancato allineamento normalmente è dovuto a disomogeneità esistenti tra i provini, che sono alti circa 2 cm e spesso confezionati in tratti differenti della carota originaria (Figura 7). Risulta quindi evidente come l'interpretazione non dipenda solamente dalla modalità di esecuzione della prova, ma anche (spesso e soprattutto) dalla valutazione di tutti quegli elementi che partecipano nella definizione del reale comportamento del terreno.