

PROFESSIONE GEOLOGO

Notiziario dell'Ordine dei Geologi del Lazio

OTTOBRE 2012

NUMERO 33



IL CERTIFICATO DI LABORATORIO GEOTECNICO: LE PROVE FISICHE – PARTE 2

STEFANO CIANCI

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

MASSIMO PARENTE

Setec Ingegneria S.r.l.
info@setecingegneria.it

In questa nota verranno analizzate la restituzione delle prove fisiche, in continuità con quanto già riportato sul n° 32 del luglio 2012 di “Professione Geologo”. In particolare saranno prese in considerazione la:

- determinazione del peso di volume dei grani;
- determinazione dei limiti di Atterberg (o di consistenza).

IL PESO DI VOLUME DEI GRANI

La definizione corretta è “peso di volume dei grani” (g_v), ma anche “peso di volume delle particelle” e “peso di volume della fase solida”. È espresso in kN/m^3 e deve essere riportato approssimato alla seconda cifra decimale. Tutte le altre definizioni non sono corrette (il peso specifico o peso specifico assoluto è un termine adimensionale, quindi altra cosa). È utile ricordare quanto questo parametro indice sia fondamentale: rientra in tutte le formule necessarie per il calcolo di parametri di stato come peso di volume saturo ed il grado di saturazione, è indispensabile per l’elaborazione dell’analisi granulometrica per sedimentazione (areometria, legge di Stokes), rientra nel calcolo della porosità e dell’indice dei vuoti (prova edometrica). Statisticamente il valore medio del peso di volume dei grani è compreso tra 25,51 e 26,78 kN/m^3 (ovvero tra 2,60 e 2,73 g/cm^3); tale variabilità è più che sufficiente a indurre sostanziali errori di calcolo e pertanto il peso di volume dei grani non può essere semplicemente **stimato**. A titolo di esempio, nell’area romana le piroclastiti possono presentare



Fig. 1 - Picnometri in diversi stadi della determinazione del peso di volume dei grani.

valori variabili tra 24,52 e 30,71 kN/m^3 (ovvero tra 2,50 e 3,13 g/cm^3), mentre terreni alluvionali fini tra 23,05 e 28,45 kN/m^3 (ovvero tra 2,35 e 2,90 g/cm^3), in relazione alla quantità di sostanza organica presente (la sostanza organica spesso è quasi impossibile da determinare in modo “occhimetrico”). Nei certificati il valore del peso di volume dei grani è la media di due determinazioni eseguite con il picnometro (Figura 1), strumento che, quando riempito di acqua distillata e disareata, può essere calibrato ricavando la curva di variazione del peso, proprio in funzione della temperatura. Tale curva potrà essere anch’essa richiesta al laboratorio, in associazione ai certificati e/o rapporti di taratura delle bilance e dei termometri utilizzati per eseguire le misure in fase di prova. Sul certificato geotecnico, i risultati dovranno essere normalizzati a 20°C (la misura è sensibile alla temperatura) ed indicata la temperatura alla quale sono state eseguite le misure. Affinché queste siano accettabili

(valore medio del parametro), devono essere confrontate con la deviazione standard, che non può superare il valore di 0,208 kN/m^3 . Altri parametri statistici differenti dalla deviazione standard sono accettati nel certificato, ma devono essere giustificati, anche se non costituiscono elemento di validazione delle misure; è quindi essenziale che la deviazione standard delle misure venga anch’essa indicata sul certificato. In conclusione, il peso di volume dei grani è un parametro estremamente variabile anche per litologie omogenee; inoltre, la valutazione della deviazione standard delle misure, è informazione molto utile per una corretta parametrizzazione geotecnica. La Figura 2 riporta esempi di certificati del peso di volume dei grani.

I LIMITI DI ATTERBERG

Questi limiti forniscono, immediatamente ed a costi contenuti, importanti informazioni inerenti la resistenza al taglio (coesione ed angolo di attrito in condizioni drenate), la permeabilità, la compressibilità ed il rigonfiamento di un terreno. Il Limite Liquido (LL) ed il Limite Plastico (LP) sono presenti sempre sul medesimo certificato in quanto vengono eseguiti congiuntamente. Il Limite di Ritiro (LR) è legato a specifiche problematiche geologiche e geotecniche come ad esempio l’azione prodotta su manufatti e opere dovuta all’eccessiva variazione di volume di materiali argillosi in relazione a periodi siccitosi, che simula cedimenti che in realtà non esistono:

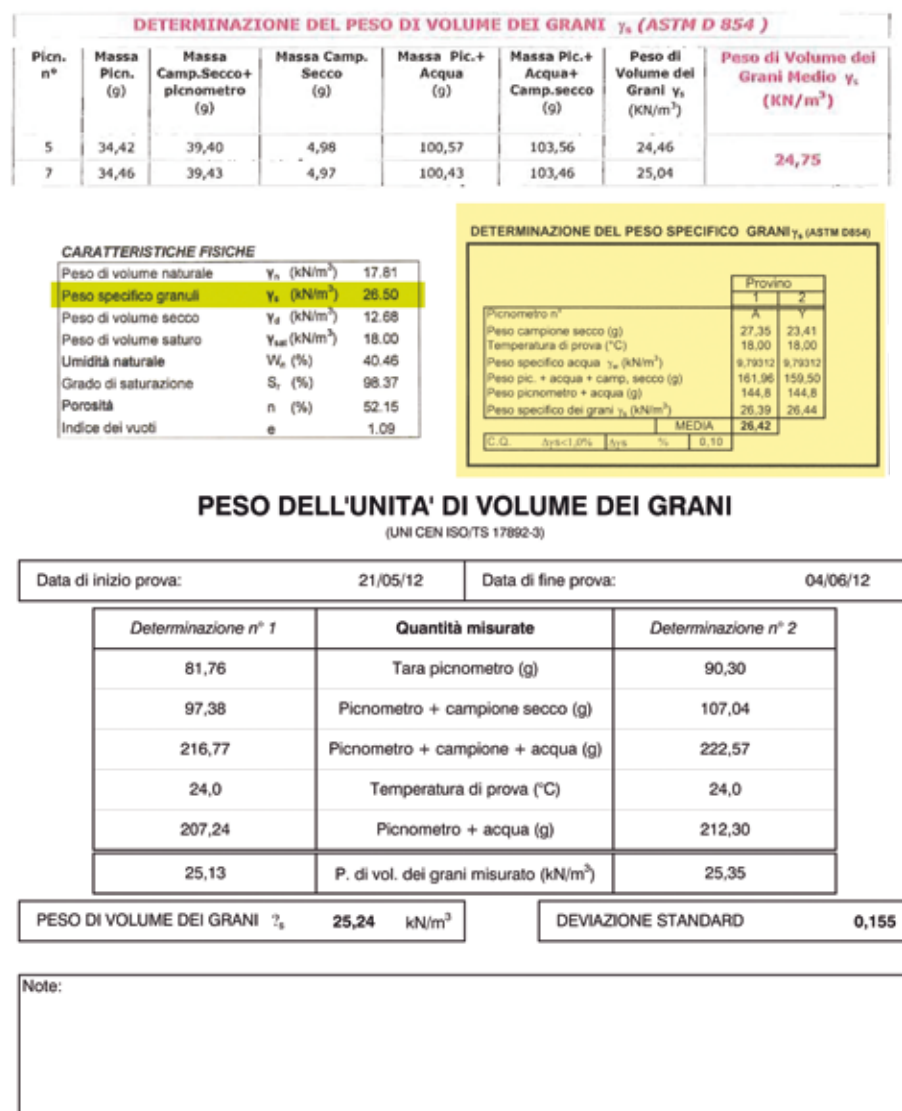


Fig. 2 - Esempi di certificati del peso di volume dei grani (rapporto tra gli elaborati 1:1).

pertanto i processi legati a fenomeni di ritiro piuttosto che consolidazione p.d. devono essere attentamente valutati. I Limiti di Atterberg sono determinati sempre su materiale rimaneggiato ed aggiunto di acqua distillata e passante al setaccio avente luce 0,425 mm (setaccio N40 della serie A.S.T.M.).

Il Limite Liquido (LL)

Qualsiasi metodologia si utilizzi, è assolutamente raro ottenere tramite unica determinazione (caso comunque accettato da alcune norme) il valore del LL; questo si ottiene normalmente tramite l'interpolazione di tre determinazioni riportate su di un diagramma semilogaritmico. Sul

certificato dovrebbero essere riportati il numero di colpi e la corrispondente umidità; per eccesso di zelo possono essere indicate anche le singole misure per la determinazione dei contenuti d'acqua. Il LL è pertanto un valore di umidità e , come tale, dovrebbe esser restituito approssimato alla prima cifra decimale (vedere "LE PROVE FISICHE – PARTE 1"); nello specifico però deve venire espresso come un intero non approssimato. Il diagramma semilogaritmico di restituzione sul certificato presenta in ascisse il contenuto d'acqua in percentuale (scala lineare) ed in ordinate il logaritmo (in base 10) del numero di colpi. L'ordinata della retta interpolante i punti sperimentali a 25

colpi, definisce l'umidità corrispondente al LL trovato.

Il Limite Plastico (LP)

Viene definito LP quel contenuto d'acqua per il quale si ottiene la prima fessura su un cilindro di terreno di diametro 3,2 mm che viene "rollato" con il palmo della mano (modalità di esecuzione ampiamente concordata dagli standard normativi). Se la valutazione soggettiva dell'operatore è importante nel caso della determinazione del LL, questa diventa sostanziale nel caso del LP. La determinazione viene ottenuta come media di due misurazioni aventi deviazione standard minore di 0,90% per essere accettabili. È comunque possibile che il certificato riporti tutte le misure necessarie al calcolo dei contenuti d'acqua delle due misurazioni. La restituzione del LP, come media delle due misurazioni, deve venire indicata approssimata all'intero, come per il LL.

Il Limite di Ritiro (LR)

Le attuali disposizioni di sicurezza hanno avuto il merito di eliminare in ambito lavorativo tutte quelle sostanze ritenute pericolose per l'uomo e per l'ambiente, come il mercurio. Questo elemento era alla base della determinazione del LR. Il LR è definito come quel contenuto d'acqua per il quale alla diminuzione di contenuto d'acqua non corrisponde più alcuna variazione di volume. Come



Fig. 3 - Attrezzature per la determinazione dei Limiti di Atterberg. A sinistra: cilindri di terreno per il LP con le bacchette di riferimento e prisma di ottone per la calibrazione della coppella di Casagrande. A destra in primo piano le capsule contenenti il materiale da sottoporre a determinazione del LR; in secondo piano coppella di Casagrande per la determinazione del LL e ferro solcatore.

è noto, infatti, un terreno diminuisce di volume man mano che perde umidità, ma da un determinato valore di contenuto d'acqua in poi il volume del materiale rimane costante: tale valore di umidità è caratteristico del terreno, ed è appunto il LR. La modalità di determinazione del LR è cambiata in ragione del divieto di utilizzare il mercurio in ambito lavorativo: la procedura era semplice, immergendo il terreno secco nel mercurio e pesando la quantità di metallo spostata dal terreno se ne ricavava il volume. Il mercurio oggi è stato sostituito con la paraffina, della quale deve essere nota la densità. Le normative, pur concordanti nella modalità di esecuzione, divergono sul numero di determinazioni da eseguire e sulla scelta delle specifiche attrezzature di misura, ma non c'è nessuna prescrizione

su analisi statistiche delle misurazioni ottenute, che rendano accettabili il valore della misura. Si ritiene indispensabile che in un certificato vengano indicate quantomeno le risultanze di due misurazioni e che queste, come per il LR, presentino una deviazione standard minore di 0,90%. Anche la restituzione del LR, come media delle due misurazioni, è approssimata all'intero. La Figura 3 mostra l'attrezzatura necessaria per l'esecuzione dei Limiti di Atterberg.

Gli indici

Dai risultati dei Limiti di Atterberg è possibile ottenere una serie di indici che possono dare informazioni, alcune utilissime per riuscire a valutare più compiutamente altri parametri del terreno, come ad esempio la coesione.

Il primo indice è l'Indice Plastico (IP), ottenuto come differenza tra il Limite Liquido ed il Limite Plastico: questo indice è stato correlato empiricamente alla resistenza al taglio (coesione ed angolo di attrito in condizioni drenate), alla permeabilità, alla compressibilità ed al rigonfiamento. La conoscenza dell'IP permette di valutare se i valori di coesione ottenuti da una prova di taglio sono coerenti, oppure se un materiale è tendenzialmente compressibile (o rigonfiante), eccetera, ma pensare di parametrizzare il terreno sulla base di questo indice è una follia geotecnica. Lo stato in cui si trova il materiale naturale, ovvero la sua consistenza, è descritto dall'Indice di Consistenza (IC) e dal suo complemento, l'Indice di Liquidità (IL). L'Indice di Consistenza (IC) è dato dalla differenza tra il Limite Liquido ed il contenuto d'acqua naturale rapportato all'Indice Plastico. Dall'analisi del LR si possono ottenere l'Indice di ritiro (Ir), dato dal rapporto tra il peso del terreno secco ed il volume minimo secco del terreno (da non confondere con il peso di volume secco indicato normalmente come g_{dry}) ed il Rapporto di ritiro (Rr). Infine il rapporto tra IP e la percentuale di argilla, ovvero la percentuale di materiale avente diametro inferiore a 2 mm, viene definito indice di attività colloidale, o semplicemente Attività (A): anche questo indice risulta assai utile per confermare o meno le valutazioni che portano poi ad interpretare correttamente le risultanze di altre prove, in particolar modo quelle di taglio. In Tabella 1 sono descritte le caratteristiche del terreno legate all'IP, IC ed A; in Tabella 2 vengono rappresentati gli Indici e le loro correlazioni.

Il certificato dei Limiti

Come si potrà intuire, un certificato che riporti tutte le possibili informazioni e risultati ottenibili dall'esecuzione dei Limiti dovrebbe essere composto da molte pagine, ed alcuni dei dati riportati peraltro risulterebbero poco utili, a svantaggio della leggibilità del documento. In conclusione, sarebbe sufficiente riportare, oltre alle date di esecuzione e al riferimento della normativa di riferimento seguita per l'esecuzione e la restituzione:

CARATTERISTICHE DI PLASTICITÀ		CARATTERISTICHE DI CONSISTENZA			CARATTERISTICHE DI ATTIVITÀ	
Indice Plastico IP	Caratteristiche di plasticità del terreno	Indice di Consistenza IC	Condizione	Caratteristiche di consistenza del terreno	Attività A	Caratteristiche di attività del terreno
$0 < IP \leq 5$	Non plastico	$IC < 0$	$W_n > W_{ll}$	Fluida	$A < 0,75$	Inattivo
$5 < IP \leq 15$	Poco plastico	$0,00 < IC \leq 0,25$	$W_n < W_{ll}$	Fluidoplastica	$0,75 < A < 1,25$	Normalmente Attivo
$15 < IP \leq 40$	Plastico	$0,25 < IC \leq 0,50$		Molle-plastica	$A > 1,25$	Attivo
$IP > 40$	Molto plastico	$0,50 < IC \leq 0,75$		Plastica		
		$0,75 < IC \leq 1,00$		Solidoplastica		
		$IC > 1$	$W_n > W_{lr}$	Semisolidi		
		$IC > 1$	$W_n < W_{lr}$	Solidi		

Tabella 1

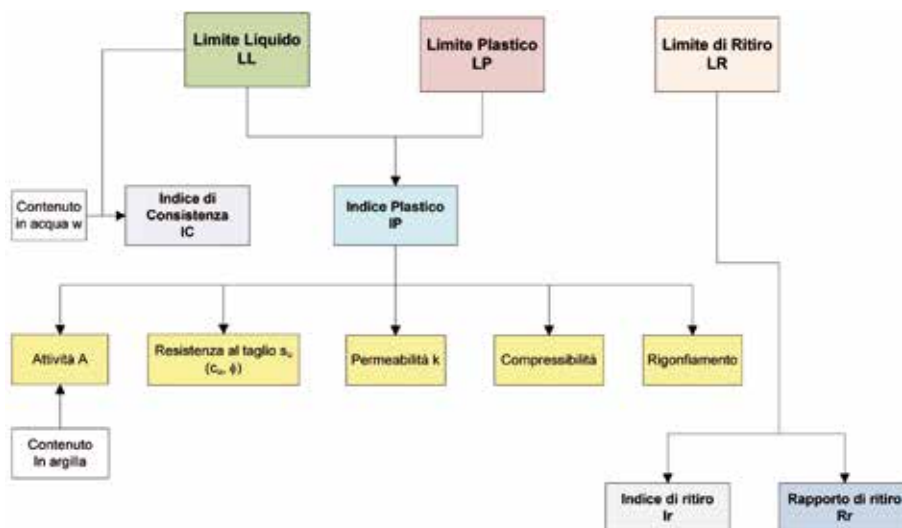


Tabella 2. Diagramma di correlazione tra gli Indici ottenibili dai Limiti di Atterberg e parametri geotecnici.

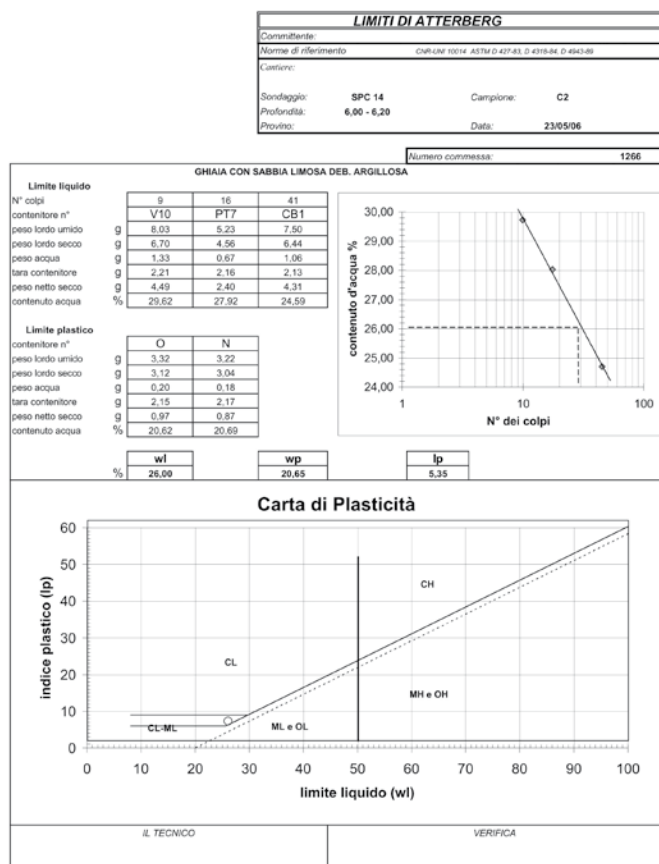


Figura 4. Esempio di certificati dei Limiti.

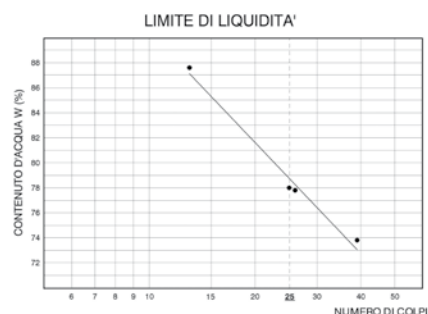
CARATTERISTICHE DI CONSISTENZA

(UNI CEN ISO/TS 17892-12)

Data di inizio prova LL e LP	02/10/11	Data di fine prova LL e LP	11/10/11
Data di inizio prova LR	03/10/11	Data di fine prova LR	09/10/11

LIMITE DI LIQUIDITA'	LL	79	%
LIMITE DI PLASTICITA'	LP	34	%
INDICE DI PLASTICITA'	IP	45	%
LIMITE DI RITIRO	LR	15	%
CONTENUTO NATURALE D'ACQUA	W _n	19,3	%
INDICE DI CONSISTENZA	IC	>1	
INDICE DI LIQUIDITA'	IL	<0	
INDICE DI RITIRO	I _r	1,02	
RAPPORTO DI RITIRO	R _r	174,1	
INDICE DI ATTIVITA'	A	2,14	

prova n°	colpi n°	W %	
1	13	87,6	LL
2	25	78,0	
3	26	77,8	
4	39	73,8	
5	--	--	
1	Dev. Stand. 0,15	33,8	LP
2		33,6	
1	Dev. Stand. 0,57	15,5	LR
2		14,7	



Note: l'asse delle ordinate del grafico del LL riporta un intervallo ΔW pari a 20 anziché 10. Determinazioni eseguite con materiale passante al setaccio N40 (luce 0,425 mm): il valore dell'Indice di Attività calcolato sulla percentuale di argilla corretta rispetto alla quantità di materiale passante al setaccio N40 è pari a 1,02 (materiale normalmente attivo).

Figura 5. Esempio di certificati dei Limiti.

- per il Limite Liquido** i valori dei contenuti d'acqua e dei corrispondenti numero di colpi ottenuti dalle varie misurazioni, che come minimo dovrebbero essere tre. Ovviamente dovrà essere riportato il relativo grafico semilogaritmico ed il valore del LL ottenuto;
 - per il Limite Plastico** i valori dei contenuti d'acqua delle due misurazioni, la loro deviazione standard, ed il valore del LP;
 - per il Limite di Ritiro** ugualmente le risultanze delle due determinazioni, la loro deviazione standard ed il valore del LR;
 - i valori dell'**Indice di Consistenza** (IC), dell'**Indice di Liquidità** (IL), dell'**Indice e del Rapporto di ritiro** (I_r e R_r) e dell'**Attività** (A);
- È auspicabile che sia riportato nel certificato anche il valore del contenuto

naturale d'acqua. Da non trascurare la lettura delle note (eventuali) nel certificato, che tra l'altro dovrebbero riportare in particolare l'utilizzo del setaccio N40: infatti l'utilizzo della frazione più fina per l'esecuzione dei Limiti di Atterberg è contemplato dalle normative e rientra quindi nella prassi di prova l'uso di setacciare il materiale. Nondimeno è comunque una indicazione molto importante da comunicare. Si può tralasciare la carta di plasticità di Casagrande, che appartiene ad un sistema classificativo delle terre, da restituire con un apposito certificato. Le Figure 4 e 5 riportano esempi di certificati dei Limiti: in una delle due figure sono presenti delle indicazioni che lasciano quantomeno perplessi sulla bontà dell'esecuzione. Provi il lettore a individuare tali indicazioni: nel prossimo articolo verrà suggerito il motivo di tale perplessità.