



Sapienza Università di Roma
Facoltà di Ingegneria



Corso di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio

Corso di Fondamenti di Geotecnica

Prof. Ing. Massimo Grisolia

Esercitazioni Pratiche

Con la partecipazione ed a cura dei Dott. Ingg. Giuseppe Iorio e I. Paolo Marzano

Note introduttive al programma di esercitazioni

Scopo del programma di esercizi è essenzialmente quello di riprodurre in modo elementare alcune operazioni tipiche del processo di progettazione geotecnica che va dalla caratterizzazione e modellazione dei terreni ed alla soluzione di alcuni aspetti del dimensionamento e di verifica di prestazioni di alcune opere elementari.

Scopo delle esercitazioni non è quello di simulare dei veri e propri problemi ai quali lo studente deve dare una risposta o soluzione da sottoporre ad un giudizio di correttezza e di esattezza, ma piuttosto quello di evidenziare e sottolineare il processo logico di avvicinamento alla materia e di apprendimento delle procedure. In questo spirito lo svolgimento del lavoro è accompagnato in tutti i casi da una traccia della soluzione che ha proprio questo scopo.

Ogni esercizio è inoltre accompagnato da alcune note di introduzione e commento che hanno lo scopo anch'esse di tracciare la linea logica dell'apprendimento. In questo senso esse non si sostituiscono alla trattazione sicuramente più organica e completa del libro di testo, il cui riferimento resta pertanto essenziale ed insostituibile.

Esse piuttosto dovrebbero facilitare tale processo sottolineando, a mo' di guida, le diverse fasi dell'apprendimento, innescando una curiosità e disponibilità allo studio e di conseguenza rendendo lo studio stesso più ambito, semplice, interessante e, soprattutto produttivo.

Lo studio dovrebbe in tal modo identificarsi non con un faticoso "dovere" di mettere in testa nozioni e procedure, ma piuttosto con una voglia ed una curiosità di partecipare ad un processo di autentica comprensione e condivisione di concetti, fatto con modestia, rispetto, curiosità e trasporto.

m.g.

Esercitazione N°1 – Classificazione dei Terreni

Un campione di terreno deve essere classificato e se ne devono stimare le caratteristiche fisiche principali.

Esercizio 1.1 – Classificazione granulometrica

Dal campione viene prelevata una parte del materiale del peso di 622,75 g . Essa viene sottoposta ad analisi granulometrica effettuata con una serie di setacci, limitatamente alla frazione grossolana, e ricorrendo ad un'analisi granulometrica per sedimentazione, per il passante al setaccio n. 200 ASTM (apertura maglia 0,075 mm). I risultati sono riportati in tabella 1.

Ricostruire la curva granulometrica completa e determinare il coefficiente di uniformità $C_u = D_{60}/D_{10}$ e il coefficiente di curvatura $C_c = (D_{30})^2/(D_{10} \cdot D_{60})$.



Analisi Granulometrica	Setaccio ASTM	Apertura maglie (mm)	Peso trattenuto (g)
Analisi per Setacciatura 	10	2,000	5,53
	16	1,180	6,25
	20	0,850	8,11
	40	0,425	9,65
	60	0,250	10,25
	80	0,180	12,97
	100	0,150	10,00
	140	0,106	15,85
	170	0,090	13,85
	200	0,075	12,36
Analisi per Sedimentazione 		Diametro dei grani (mm)	Peso Passante su W_{N200}^* (%)
		0,050	89,71
		0,020	53,78
		0,015	40,85
		0,010	25,30
		0,006	14,25
		0,005	11,45
		0,004	10,30
		0,002	4,30
		0,001	3,50
Passante al n.200	W_{N200} (g) =	517,93	
Peso totale del campione	W_{tot} (g) =	622,75	

Tabella 1 – Risultati dell'analisi granulometrica

* Percentuale di terreno rimasta in sospensione al livello a cui il densimetro ha misurato la densità della sospensione

Traccia della soluzione

Per tracciare la curva granulometrica si consiglia di costruire una tabella come quella suggerita (tabella A).

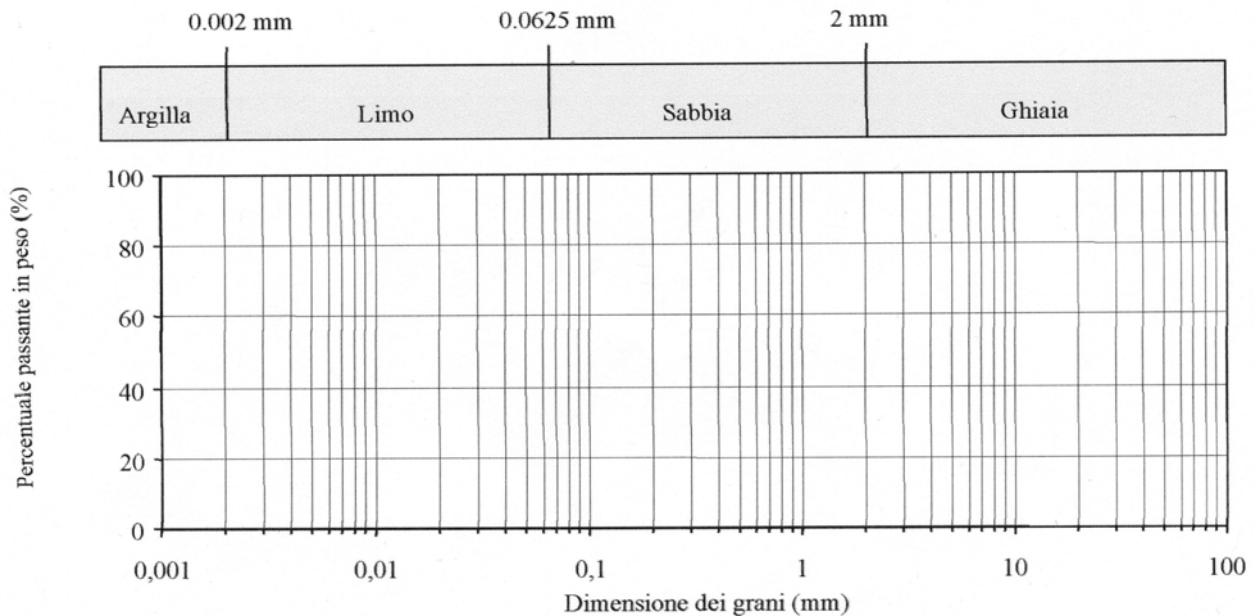
La percentuale combinata nell'analisi per setacciatura coincide con la percentuale del passante in peso, mentre nell'analisi per sedimentazione andrà eseguita sul peso totale del campione (622,75 g).

Se si riportano, infine, in un grafico in scala semilogaritmica in ascisse i valori del diametro dei grani e in ordinate i corrispondenti valori del passante (%) (grafico A), si ottiene la rappresentazione della curva granulometrica completa del campione sottoposto ad analisi.

	Setaccio ASTM	Apertura maglie	Peso trattenuto	Percentuale Trattenuto	Peso Passante	Percentuale e Passante	Percentuale Combinata
	n.	mm	g	%	g	%	%
Analisi per Setacciatura	10	2,000	5,53				
	16	1,180	6,25				
	20	0,850	8,11				
	40	0,425	9,65				
	60	0,250	10,25				
	80	0,180	12,97				
	100	0,150	10,00				
	140	0,106	15,85				
	170	0,090	13,85				
	200	0,075	12,36				
Analisi per Sedimentazione		Diametro dei grani				Passante su $W_{N 200}$	
		mm				%	
		0,050				89,71	
		0,020				53,78	
		0,015				40,85	
		0,010				25,30	
		0,006				14,25	
		0,005				11,45	
		0,004				10,30	
		0,002				4,30	
		0,001				3,50	

Tabella A – Elaborazione dell'analisi granulometrica

Grafico A – Curva granulometrica


Esercizio 1.2 – Caratteristiche fisiche

Dal campione viene prelevata una fustella di materiale di volume $V = 80\text{ cm}^3$ e peso $P = 153,06\text{ g}$. Dopo essiccamento in forno a 105° per 24 ore il suo peso scende a $P_s = 127,55\text{ g}$. Il peso dell'unità di volume della parte solida è $\gamma_s = 27,0\text{ kN/m}^3$.

Calcolare:

- contenuto naturale d'acqua (w_n);
- indice dei vuoti (e);
- porosità (n);
- grado di saturazione (S_r);
- peso dell'unità di volume del terreno saturo (γ_{sat});
- peso dell'unità di volume del terreno secco (γ_d).


Traccia della soluzione

- il contenuto d'acqua (w_n) è definito come il rapporto (%) tra il peso dell'acqua (P_w) e il peso del materiale secco (P_s);
- l'indice dei vuoti (e) è definito come il rapporto tra il volume dei vuoti (V_v) e il volume della parte solida (V_s). Il volume dei vuoti (V_v) si ottiene dalla differenza tra il volume totale del provino (V) ed il volume della parte solida (V_s). Quest'ultimo si ricava dal peso dell'unità di volume della parte solida (γ_s), definito come il rapporto tra il peso del materiale secco (P_s) e il suo volume (V_s);

- c) la porosità (n) è definita come il rapporto (%) tra il volume dei vuoti (V_v) e il volume totale del campione (V), somma dei volumi delle singole fasi ($V = V_v + V_s$);
- d) il grado di saturazione (S_r) del provino è definito come il rapporto (%) tra il volume occupato dall'acqua (V_w) e il volume dei vuoti (V_v). Il volume del provino occupato dall'acqua, si ricava dal rapporto tra il peso dell'acqua contenuta nel provino (P_w) e il peso dell'unità di volume dell'acqua (γ_w);
- e) il peso dell'unità di volume del terreno saturo (γ_{sat}) è definito come il rapporto tra il peso del campione saturo ($P_{sat} = P_s + P_w$) (nell'ipotesi di completa saturazione, ossia $S_r = 100\%$) e il volume totale dello stesso campione (V);
- f) il peso dell'unità di volume del terreno secco (γ_d) è definito come il rapporto tra il peso del campione secco (P_s) e il volume totale del campione (V).

Esercizio 1.3 – Limiti di Atterberg

A partire dalle misure di laboratorio riportate nelle tabelle 2 e 3 e dai risultati delle analisi di cui al punto 1.1 e 1.2 determinare:

- Limite di Liquidità w_L (%);
- Limite di Plasticità w_p (%);
- Indice di Plasticità I_p (%);
- Indice di Attività del materiale A ;
- Indice di Consistenza I_c .

Test	Tara	Tara + peso provino umido	Tara + peso provino asciutto	N° colpi
n°	w_c (g)	w_w (g)	w_d (g)	N
1	27,3491	35,6672	33,5729	32
2	24,592	32,6737	30,5608	27
3	25,0937	33,8561	31,5186	20
4	28,2557	37,2982	34,7535	15

Tabella 2 – Risultati di laboratorio limite di liquidità

Test	Tara	Tara + peso provino umido	Tara + peso provino asciutto
n°	M_c (g)	M_w (g)	M_d (g)
1	27,3058	28,6936	28,3508
2	12,9064	15,0061	14,5545
3	28,4357	30,9086	30,3914
4	25,4251	26,72979	26,40825

Tabella 3 – Risultati di laboratorio limite di plasticità

Traccia della soluzione

Il *limite di liquidità* w_L è definito come il contenuto d'acqua per il quale si misurano, con il cucchiaino di Casagrande, 25 colpi, per richiudere un tratto di un cm di un solco ricavato nel campione. Per determinare tale valore si può procedere nel seguente modo:

- a) dai risultati delle prove di laboratorio (tabella 2) si ricavano:
 - peso dell'acqua = peso totale del campione - peso del campione asciutto
 - peso della parte solida = peso del campione asciutto
 - contenuto d'acqua = peso dell'acqua / peso della parte solida;
- b) si riportano in un grafico (grafico B) in scala semilogaritmica (n° colpi - w_L) i valori del contenuto d'acqua calcolati per ogni test in corrispondenza del relativo numero di colpi;
- c) tracciata la retta che interpola le quattro coppie di punti, si ricava per estrapolazione il contenuto d'acqua corrispondente a 25 colpi, costituente il limite di liquidità.

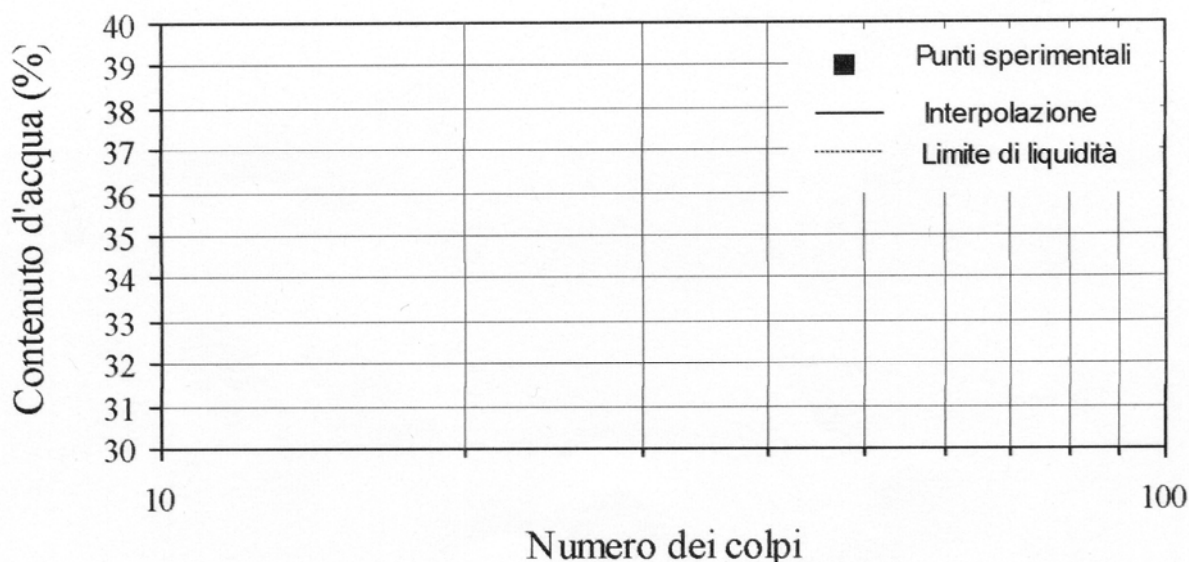


Grafico B – Limite di liquidità

Il *limite di plasticità* w_p è definito come il contenuto d'acqua in corrispondenza del quale il terreno inizia a perdere il suo comportamento plastico. Viene determinato formando dei bastoncini dello spessore di 3,2 mm che iniziano a fessurarsi in corrispondenza del raggiungimento di tale contenuto d'acqua. Per determinarne il valore si può procedere analogamente a quanto detto al punto a) per il limite di liquidità.

Ricavati quindi i valori del contenuto d'acqua corrispondenti ad ogni test (tabella 3), si determina il limite di plasticità come il valore medio di questi.

L'*indice di plasticità* indica il campo di variazione del contenuto d'acqua all'interno del quale il terreno ha un comportamento plastico, può cioè essere deformato o rimaneggiato senza cambio di volume e senza fessurarsi. Esso è definito dalla relazione $I_p (\%) = w_L - w_p$.

L'indice di attività del materiale A è definito dalla relazione $A = I_p/CF$, ossia dal rapporto tra l'indice di plasticità e la frazione argillosa (Clay Fraction) presente nel campione (% in peso inferiore a 0.002 mm). In base al valore di A i terreni coesivi possono essere distinti in:

- inattivi $A < 0.75$
- normalmente attivi $0.75 < A < 1.25$
- attivi $A > 1.25$

L'indice di consistenza I_c è definito dalla relazione $I_c = (w_L - w_n)/I_p$.

Entrambi questi due ultimi indici danno un'idea della consistenza del terreno.

Esercizio 1.4 - Classificazione e identificazione del materiale

Sulla base delle caratteristiche determinate nei punti precedenti, con riferimento alla tabella 4, si denomini il terreno secondo la classifica A.G.I.

Si riconosca, quindi, il terreno secondo la Classificazione USCS (tabella 5), riportando il punto rappresentativo del materiale sulla Carta di Plasticità di Casagrande (figura 1) e secondo la Classificazione AASHTO (tabella 6).

Percentuale del passante in peso	Denominazione
Frazione prevalente	Individua il nome del terreno (Argilla o Limo o Sabbia o Ghiaia)*
25 ÷ 50 %con....
10 ÷ 25 %oso/a
5 ÷ 10 %	debolmenteoso/a
< 5 %	Si trascura

* Se esistono due termini prevalenti con % molto vicine i nomi delle frazioni granulometriche vengono associati (ex. Argilla e sabbia etc.)

Tabella 4 – Classifica A.G.I.

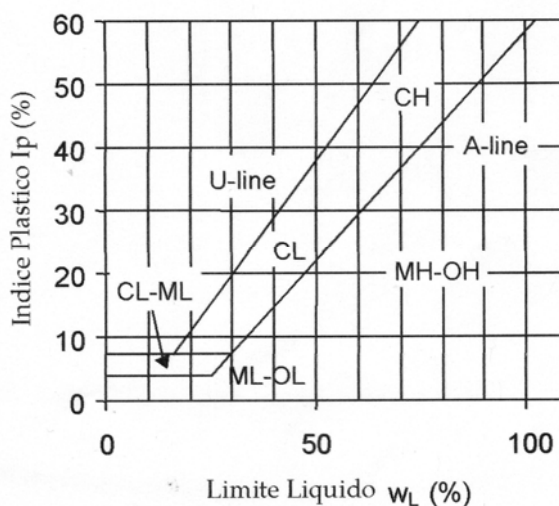


Figura 1 – Carta di plasticità di Casagrande

CLASSIFICA GENERALE	MATERIALI A GRANA GROSSA (GRANULARI)							MATERIALI A GRANA FINE (ARGILLOSI)				
	<i>Passante al setaccio n.200 ≤ 35%</i>							<i>Passante al setaccio n.200 > 35%</i>				
Gruppo	A1		A3	A2				A-4	A-5	A-6	A-7	
Sottogruppo	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5	A-7-6
Passante												
n.10 (2 mm)	50 max											
n.40 (0,42 mm)	30 max	50 max	51 min									
n.200 (0,074 mm)	15 max	25 max	10 max	35 max	35 max	35 max	35 max	36 min	36 min	36 min	36 min	36 min
Limiti (pass. N.40)												
w ₁ (%)				40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min	40 max	41 min	41 min
I _p (%)	6 max		N.P.	10 max	10 max	11 min	11 min	10 max	10 max	11 min	11 min	11 min
											I _p < w ₁ -30	I _p > w ₁ -30
TIPO DI TERRENO	Ciottoli - ghiaia - sabbia		Sabbia fine	Ghiaia e sabbia limosa o argillosa				Limi		Argille		

Tabella 6 – Classifica dei terreni e delle miscele di aggregati AASHTO

TERRENI A GRANA GROSSA		Trattenuto al setaccio n.200 > 50%						
TERRENI A GRANA FINE	Passante al setaccio n.200 > 50 %	% Ghiaia > % Sabbia Trattenuto al setaccio n.4 > 50%	pass. 200 < 5%	$Cu \geq 4$ e $1 < Cc < 3$	GW	Ghiaie pulite con granulometria ben assortita miscele di ghiaia e sabbia		
			5% < pass. 200 < 12%	$Cu \geq 4$ e/o $1 < Cc < 3$	% fine ML o MI	GW-GM	Ghiaia limosa ben assortita	
					% fine CL o CH	GW-GC	Ghiaia argillosa ben assortita	
				$Cu < 4$ e/o $Cc > 3$	% fine ML o MH	GP-GM	Ghiaia limosa poco assortita	
					% fine CL o CH	GP-GC	Ghiaia argillosa poco assortita	
				pass. 200 > 12%	% fine ML o MH	GM	Ghiaia limosa, miscele di ghiaia sabbia e limo	
					% fine M e C	GC-GM	Ghiaia limosa e argillosa	
			% fine CL o CH	GC	Ghiaie argillose, miscele di ghiaia, sabbia e argilla			
			% Sabbia % Ghiaia Passante al setaccio n. 4 > 50%	pass. 200 < 5%	$Cu \geq 6$ e $1 < Cc < 3$	SW	Sabbie pulite con granulometria ben assortita sabbie ghiaiose	
		5% < pass. 200 < 12%		$Cu \geq 6$ e $1 < Cc < 3$	% fine ML o MH	SW-SM	Sabbia limosa ben assortita	
					% fine CL o CH	SW-SC	Sabbia argillosa ben assortita	
				$Cu < 6$ e/o $Cc > 3$	% fine ML o WI	SP-SM	Sabbia limosa poco assortita	
					% fine CL o CH	SP-SC	Sabbia argillosa poco assortita	
		pass. 200 > 12%		% fine ML o MH	SM	Sabbie limose miscele di sabbia e limo		
			% fine M e C	SC-SM	Sabbie limose e argillose			
% fine CL o CH	SC		Sabbia argillose miscele di sabbia e argilla					
w _l < 50 %	Inorganico	Ip > 7 sopra Linea A	CL	Argille inorganiche di medio-bassa plasticità				
		4 < Ip < 7 sopra Linea A	CL-ML	Argilla limosa o limo argilloso di bassa plasticità				
		Ip < 4 sotto Linea A	ML	Limi inorganici, limi argillosi di bassa plasticità				
	w _l ≥ 50 %	Inorganico	sopra Linea A	CH	Argille inorganiche di elevata plasticità			
			sotto Linea A	MH	Limi inorganici			
			Organico w _l (essiccato)/ w _l (naturale)	OL	Limi organici argille limose organiche di bassa plasticità			

Tabella 5 — Classifica Unified Soil Classification System U.S.C.S.