

Giulio Riga

**GEOLOGIA APPLICATA
E INGEGNERIA GEOTECNICA**
ESERCIZI SVOLTI

GIULIO RIGA
GEOLOGIA APPLICATA E INGEGNERIA GEOTECNICA
ISBN 978-88-579-0019-3

© 2010 by Dario Flaccovio Editore s.r.l. - tel. 0916700686 - fax 091525738
www.darioflaccovio.it info@darioflaccovio.it

Prima edizione: aprile 2010

Riga, Giulio <1952->

Geologia applicata e ingegneria geotecnica : esercizi svolti / Riga Giulio. -

Palermo : D. Flaccovio, 2010.

ISBN 978-88-579-0019-3

1. Geologia applicata.

624.151 CDD-21

SBN Pal0225299

CIP - Biblioteca centrale della Regione siciliana "Alberto Bombace"

Nomi e marchi citati sono generalmente depositati o registrati dalle rispettive case produttrici.

L'editore dichiara la propria disponibilità ad adempiere agli obblighi di legge nei confronti degli aventi diritto sulle opere riprodotte.

La fotocopiatura dei libri è un reato.

Le fotocopie per uso personale del lettore possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume/fascicolo di periodico dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dall'art. 68, commi 4 e 5, della legge 22 aprile 1941 n. 633. Le riproduzioni effettuate per finalità di carattere professionale, economico o commerciale o comunque per uso diverso da quello personale possono essere effettuate solo a seguito di specifica autorizzazione rilasciata dagli aventi diritto/dall'editore.



SERVIZI GRATUITI ON LINE

Questo libro dispone dei seguenti servizi gratuiti disponibili on line:

- filodiretto con gli autori
- le risposte degli autori a quesiti precedenti
- files di aggiornamento al testo
- possibilità di inserire il proprio commento al libro.

L'indirizzo per accedere ai servizi è: www.darioflaccovio.it/scheda/?codice=DF0019

*A mamma Natuzza,
donna umile e semplice
che ha guidato il mio lavoro
con la sua avvertita presenza*

INDICE

<i>Premessa</i>	pag.	9
 <i>Capitolo 1 – Prove di laboratorio geotecnico</i>		
1.1. Determinazione delle proprietà indici	»	11
1.2. Analisi granulometrica	»	16
1.2.1. Procedura di calcolo	»	18
1.3. Umidità di una terra	»	22
1.4. Limiti di Atterberg	»	23
1.4.1. Indice di plasticità I_p	»	26
1.4.2. Indice di consistenza I_C	»	26
1.4.3. Indice di liquidità I_L	»	27
1.5. Classificazione delle terre	»	30
1.5.1. Sistema di classificazione HRB	»	31
1.5.2. Sistema di classificazione USBPR	»	32
1.5.3. Sistema di classificazione USCS	»	33
1.5.4. Classificazione AGI (Associazione geotecnica italiana)	»	34
1.6. Prova di costipamento Proctor	»	38
1.7. Prova di taglio diretto	»	42
1.8. Prova edometrica	»	49
1.8.1. Formule utilizzate	»	50
1.9. prova di compressione ad espansione laterale libera	»	57
1.10. Prova di compressione triassiale	»	60
1.11. Prova di permeabilità	»	66
1.11.1. Prova a carico costante	»	66
1.11.2. Prova a carico variabile	»	67
 <i>Capitolo 2 – Prove in sito</i>		
2.1. Prova penetrometrica dinamica SPT	»	71
2.1.1. Modalità di prova	»	71
2.1.2. Procedura	»	72
2.1.3. Calcolo di valore medio di N_{SPT}	»	72
2.1.4. Calcolo di $(N_1)_{60}$	»	73
2.1.5. Parametri geotecnici	»	74
2.1.6. Classificazione e parametri di resistenza al taglio preliminari	»	79
2.2. Prova penetrometrica dinamica DPL 030 – Emilia	»	82
2.2.1. Correlazione N_{10} – SPT	»	84
2.2.2. Diagramma $Q_{ammissibile}$	»	84
2.3. Prova penetrometrica statica CPT	»	86
2.3.1. Parametri geotecnici	»	87
2.3.1.1. Terreni incoerenti	»	87
2.3.1.2. Terreni coesivi	»	90
2.3.2. Riconoscimento dei profili stratigrafici	»	92
2.3.3. Calcolo della resistenza penetrometrica statica normalizzata q_{e1N}	»	94
2.4. Prova di densità in sito	»	100
2.5. Prova down-hole	»	101
2.5.1. Valutazione delle V_{s30}	»	102

2.6.	Prova scissometrica	»	105
2.6.1.	Schema esecutivo della prova	»	105
2.6.2.	Presentazione dei risultati	»	106
2.6.2.1.	Correzione dei risultati	»	106
2.6.2.2.	Calcolo di valore medio di c_u	»	106
2.7.	Prova di permeabilità Lefranc	»	107
2.7.1.	Prova di Lafranc a carico costante	»	108
2.7.2.	Prova di Lafranc a carico variabile	»	108
2.7.3.	Prova di Lafranc a carico variabile – Metodo approssimato	»	109

Capitolo 3 – Stabilità dei pendii

3.1.	Stabilità dei pendii	»	113
3.2.	Metodi di calcolo	»	115
3.3.	Verifica di stabilità dei pendii in terra	»	116
3.3.1.	Metodo dello strato confinato	»	116
3.3.2.	Metodo di Culmann	»	117
3.3.3.	Metodo di Taylor	»	119
3.3.4.	Altezza critica di un pendio	»	126
3.3.5.	Pendio indefinito	»	128
3.3.5.1.	Metodo Duncan, Buchianani e Dewet (1987)	»	130
3.4.	Verifica di stabilità dei pendii in roccia	»	139
3.5.	Metodi di calcolo	»	140
3.5.1.	Pendio interessato da un giunto	»	140
3.5.2.	Pendio interessato da due giunti	»	145
3.5.3.	Rottura cuneiforme	»	147
3.6.	Superficie circolare in condizione non drenate – Analisi per $\varphi = 0$	»	148
3.7.	Calcolo del fattore di sicurezza	»	149
3.7.1.	Metodo Fellenius	»	149
3.7.2.	Metodo Bishop semplificato	»	151
3.7.3.	Metodo Janbu	»	152
3.8.	Condizione sismica	»	154
3.9.	Stabilizzazione dei pendii	»	157
3.9.1.	Tiranti	»	159
3.9.2.	Sovraccarichi	»	160
3.9.3.	Trincee drenanti	»	161
3.9.4.	Back-analysis	»	162

Capitolo 4 – Idrogeologia

4.1.	Stima della permeabilità in sito	»	181
4.1.1.	Prova di infiltrazione in foro di sondaggio	»	181
4.1.2.	Metodo Bouwer e Rice (1976)	»	182
4.2.	Flusso di Darcy's e velocità lineare	»	186
4.3.	Infiltrazione nei terreni di copertura	»	188
4.4.	Velocità di diffusione in falda	»	189
4.5.	Portata della falda	»	190
4.6.	Velocità reale della falda	»	190
4.7.	Infiltrazione potenziale media	»	191
4.8.	Volume di acqua disponibile	»	193
4.9.	Bilancio idrogeologico	»	194
4.10.	Studio di una sorgente	»	197

4.11.	Vulnerabilità della falda	»	199
4.11.1.	Metodo ISIS	»	199
4.11.2.	Metodo SINTACS	»	205
4.11.3.	Metodo DRASTIC	»	211
4.12.	Cuneo salato	»	215
4.13.	Dreno di un pozzo	»	222
4.13.1.	Criteri di scelta della ghiaia	»	222
4.13.1.1.	Metodo semplificato	»	222
4.13.1.2.	Criterio di Terzaghi (1921)	»	222
4.13.1.3.	Criterio del U.S. Army Corps of Engineers	»	224
4.14.	Verifica della tubazione del pozzo	»	225
4.14.1.	Portata ottimale di un filtro	»	225
4.15.	Portata ottimale di un pozzo	»	232
4.16.	Perdite di carico ed efficienza del pozzo	»	235
4.16.1.	Perdite di carico nel pozzo	»	235
4.16.2.	Efficienza del pozzo	»	237
4.17.	Chiusura dei pozzi abbandonati	»	240
4.18.	Disinfezione dei pozzi	»	242
4.19.	Prove di emungimento	»	243
4.19.1.	Procedura speditiva	»	244
4.19.2.	Pozzo in falda freatica senza piezometro	»	245
4.19.3.	Pozzo in falda freatica due piezometri	»	246
4.19.4.	Pozzo in falda artesianiana senza piezometri	»	247
4.19.5.	Pozzo in falda artesianiana con un solo piezometro	»	248
4.20.	Dimensionamento della zona di rispetto dei pozzi	»	250
4.20.1.	Metodo per calcolare il raggio fisso	»	250
4.20.2.	Equazione di Darcy	»	252
4.20.3.	Metodo dei limiti del flusso uniforme	»	252
4.20.4.	Barriera idraulica	»	254
4.20.5.	Metodo Krijgman e Lobo Ferriera (2001)	»	254
	 Bibliografia	»	 265
	Sitografia	»	270
	Elenco fonti	»	271

PREMESSA

Il presente volume, ideato non solo per gli studenti ma anche per il giovane professionista, può essere considerato come un manuale dove trovare i presupposti teorici e le metodologie di base per la risoluzione di problemi di geologia applicata e di ingegneria geotecnica.

Nato da una raccolta di esercizi sviluppati per essere utilizzati nelle diverse situazioni di lavoro che si sono presentate e nei programmi di calcolo automatico realizzati a partire dal 1985 di cui alcuni editi da Dario Flaccovio Editore, il volume ha lo scopo di offrire una panoramica delle possibilità di calcolo e di far acquisire il metodo di calcolo per lo svolgimento dei problemi proposti senza l'utilizzo di software.

Le procedure di calcolo illustrate, sperimentate da vari autori in casi reali, presuppongono una base di conoscenze teoriche delle tematiche trattate. Al tal fine, ho ritenuto utile presentare ciascun esercizio accompagnato da una breve descrizione del tema trattato, dei metodi di calcolo utilizzati e delle formule necessarie per risolverlo.

Per maggiori approfondimenti si consiglia al lettore di consultare i testi dove i temi proposti e le procedure utilizzate sono sviluppati con maggior dettaglio.

Il testo si articola in quattro capitoli, ognuno dei quali affronta un importante argomento dell'ingegneria geotecnica e della geologia applicata; nello specifico:

- prove di laboratorio geotecnica;
- indagini in sito;
- stabilità dei pendii;
- idrogeologia.

Vi invito a segnalarmi non solo gli errori, ma eventuali suggerimenti o commenti in modo da effettuare le modifiche necessarie per un continuo miglioramento del testo.

Vorrei concludere ringraziando il dott. Alessandro Cittadino per l'aiuto dato nella preparazione dei grafici contenuti nel testo e in particolare l'editore per i consigli e per il sostegno dato nella preparazione dei testi.

L'autore

CAPITOLO I

PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO

1.1. DETERMINAZIONE DELLE PROPRIETÀ INDICI

Un suolo contiene tre tipologie di componenti fondamentali: solidi, liquidi e gas. I componenti solidi sono in genere costituiti da frammenti di rocce e di vegetali mentre quelli liquidi e gassosi sono sempre l'acqua e l'aria.

Il volume complessivo di questi ultimi è chiamato *volume dei vuoti*.

Nella figura 1.1 sono raffigurati i componenti del suolo in funzione del loro volume e del loro peso.

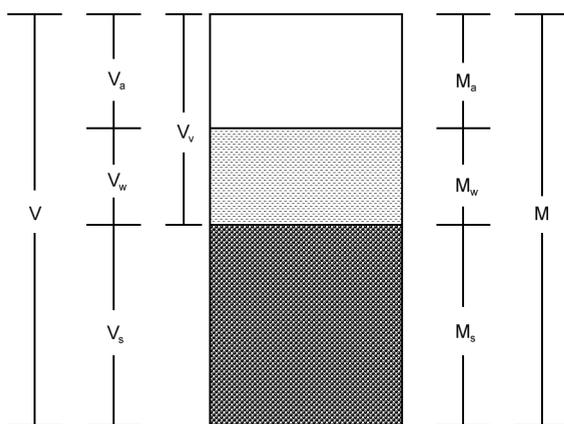


Figura 1.1 – Componenti del suolo: V = peso totale, V_a = peso dell'aria, M_w = peso dell'acqua e M_s = peso dei solidi

Un gran numero di relazioni molto importanti nelle analisi geotecniche sono possibili tra i volumi e/o i pesi dei due-tre componenti di cui è costituito un suolo (a seconda che sia non saturo o saturo d'acqua).

In termine di volume sono importanti le relazioni riportate di seguito.

Indice dei pori

$$e = \frac{V_v}{V_s}$$

Porosità

$$n = \frac{V_v}{V} \%$$

Grado di saturazione

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \%$$

dove

V_v = volume dei vuoti
 V_s = volume dei solidi
 V_w = volume dell'acqua
 V = volume totale.

In termini di peso sono importanti le seguenti relazioni:

Umidità

$$W = \frac{M_w}{P_s} \cdot 100 \%$$

Peso di unità di volume

$$\gamma = \frac{M}{V}$$

Densità secca

$$\gamma_d = \frac{M_s}{V}$$

Peso specifico

$$G_s = \frac{M_s}{V_v \cdot \gamma_w}$$

dove

M = peso totale
 M_s = peso del materiali solido essiccato a 105 °C
 P_w = peso dell'acqua
 V = volume totale
 γ_w = densità dell'acqua.

Altre importanti relazioni, come i limiti di Atterberg, sono usate come base nei sistemi di classificazione dei terreni a grana fine. Sono descritte di seguito.

Limite di liquidità (W_L)

È il contenuto di umidità con il quale un suolo passa dallo stato liquido allo stato plastico.

Una correlazione approssimata intercorre tra il limite liquido e l'indice di compressibilità per le argille normalmente consolidate da bassa a moderata sensibilità:

$$C_c = 0,009 \cdot (W_L - 10\%)$$

Limite plastico (W_P)

È il contenuto di umidità con il quale il suolo passa dallo stato plastico a quello semisolido con diminuzione di umidità.

Indice plastico

È la differenza tra il limite liquido e il limite plastico:

$$I_p = W_L - W_P$$

Consistenza relativa

Lo stato di consistenza di una terra viene rappresentato dalla relazione:

$$C_R = \frac{W_L - W}{W_L - W_P}$$

Indice di gruppo

Si tratta di un coefficiente di qualità di una terra determinato con l'equazione:

$$I_g = 0,2 \cdot (P - 35) + 0,005 \cdot (P - 35) \cdot (W_L - 40) + 0,01 \cdot (P - 15) \cdot (I_p - 10)$$

dove

P = passante al setaccio n. 200

W_L = limite di liquidità

I_p = indice di plasticità.

ESERCIZIO N. 1 – STIMA DEL PESO SPECIFICO

Determinare il peso specifico di un campione di argilla utilizzando i dati riportati di seguito.

Picnometro + campione secco = 66,225 g

Picnometro + acqua = 153,731 g

Picnometro + campione + acqua = 161,193 g

Peso del picnometro = 54,328 g

SOLUZIONE

Calcolo del peso specifico

$$G_s = \frac{P. \text{ secco}}{[P. \text{ secco} + \text{Peso (picnometro + acqua)}] - \text{Peso (picnometro + campione - acqua)}}$$

$$\text{Peso specifico } G_s = \frac{66,225 - 54,328}{[(66,225 - 54,328) + 153,731] - 161,193} = 2,67 \text{ g/cm}^3 = 26,18 \text{ kN/m}^3$$

ESERCIZIO N. 2 – STIMA DEL CONTENUTO D'ACQUA

Determinare il contenuto di acqua in un campione di argilla utilizzando i dati riportati di seguito.

Peso del terreno umido + tara = 53,22 g

Peso del terreno secco + tara = 46,28 g

Tara del contenitore = 32,24 g

SOLUZIONE

$$\text{Umidità } W = \frac{M_w}{M_s} \cdot 100 = \frac{53,22 - 46,28}{46,28 - 32,24} \cdot 100 = \frac{6,94}{14,04} \cdot 100 = 49,43\%$$

ESERCIZIO N. 3 – VALUTAZIONI DELLE PROPRIETÀ INDICI

Calcolare le proprietà indici di un campione di limo argilloso conoscendo i dati riportati di seguito.

Peso di volume: $1,82 \text{ t/m}^3 = 17,84 \text{ kN/m}^3$

Peso specifico: $2,75 \text{ t/m}^3 = 26,69 \text{ kN/m}^3$

Contenuto d'acqua: 26%

Limite di liquidità: 38%

Limite di plasticità: 21%

Passante al setaccio n. 200: 82%

SOLUZIONE

$$M_s = \frac{\gamma}{(1 + W / 100)} = \frac{1,82}{(1 + 26 / 100)} = 1,444 \text{ t/m}^3 = 141,5 \text{ kN/m}^3 \text{ (peso secco)}$$

$$M_w = \frac{W}{100} \cdot M_s = \frac{26}{100} \cdot 1,444 = 0,3754 \text{ t (peso dell'acqua)}$$

$$V_s = \frac{P_s}{G_s} = \frac{1,444}{2,75} = 0,525 \text{ m}^3 \text{ (volume dei solidi)}$$

$$V_w = \frac{P_w}{\gamma_a} = \frac{0,3754}{1} = 0,3754 \text{ m}^3 \text{ (volume dell'acqua)}$$

$$V_v = (V - V_s) = (1 - 0,525) = 0,475 \text{ m}^3 \text{ (volume dei vuoti)}$$

Porosità:

$$\frac{V_v}{V} = \frac{0,475}{1} = 0,475 \cdot 100 = 47,5\%$$

Indice dei pori:

$$\frac{V_v}{V_s} = \frac{0,475}{0,525} = 0,9$$

Grado di saturazione:

$$\frac{V_w}{V_v} = \frac{0,3754}{0,475} \cdot 100 = 79\%$$

Peso di volume saturo:

$$[(G_s \cdot (1 - n))] = [(0,475 + 2,75 \cdot (1 - 0,475))] = 1,91 \text{ t/m}^3 = 18,33 \text{ kN/m}^3$$

Peso di volume secco:

$$[G_s \cdot (1 - n)] = [2,75 \cdot (1 - 0,475)] = 1,444 \text{ t/m}^3 = 14,15 \text{ kN/m}^3$$

Indice di plasticità:

$$W_L - W_p = 38 - 21 = 17$$

Consistenza relativa:

$$(W_L - W) / I_p = (38 - 26) / 17 = 0,705$$

Indice di compressibilità:

$$0,009 \cdot (W_L - 10\%) = 0,009 \cdot (38 - 10) = 0,251$$

Indice di gruppo:

$$I_g = 0,2 \cdot (P - 35) + 0,005 \cdot (P - 35) \cdot (W_L - 40) + 0,01 \cdot (P - 15) \cdot (I_p - 10)$$

$$I_g = 0,2 \cdot (82 - 35) + 0,005 \cdot (82 - 35) \cdot (38 - 40) + 0,01 \cdot (82 - 15) \cdot (17 - 10) = 13,62$$

1.2. ANALISI GRANULOMETRICA

In natura è difficile trovare un suolo che sia costituito da particelle della stessa dimensione e forma; in genere s'incontrano, per esempio, suoli che contengono sabbia e argilla o sabbia e ghiaia.

Pertanto, nella pratica progettuale, la conoscenza del tipo di suolo e della distribuzione del diametro dei grani assume particolare importanza in quanto, unitamente alle proprietà indici, consente di classificare il suolo e di valutare il comportamento. Per i terreni granulari, la granulometria può essere ottenuta da un'analisi per setacciatura, utilizzando vagli ad apertura decrescente (figura 1.2).

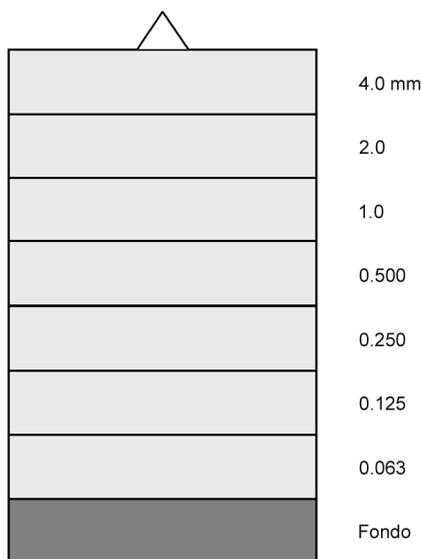


Figura 1.2 – Vagli ad apertura decrescente

Come specificato dalla norma UNI EN 933-2, le aperture dei setacci devono essere omogenee, quadrate e simmetriche.

Le dimensioni in mm definite dalla norma sono le seguenti:

$$0,063 - 0,125 - 0,250 - 0,500 - 1 - 2 - 4 - 8 - 16 - 31,5 - 63 - (125)$$

Alla fine del procedimento, le particelle del suolo trattenute in ciascun setaccio vengono pesate e i risultati rappresentati graficamente sotto forma di una curva granulometrica.

Questa è normalmente disegnata su un grafico semilogaritmico con in ascissa logaritmica il diametro dei grani e in ordinata aritmetica le percentuali passanti (figura 1.3).

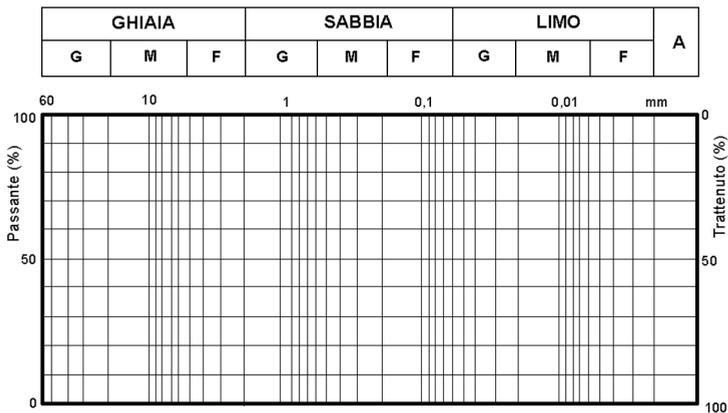


Figura 1.3 – Grafico semilogaritmico per disegnare la curva granulometrica

Per i suoli a grana fine, non è possibile determinare il diametro dei grani per setacciatura in quanto le particelle sono troppo piccole.

In questo caso, per stimare tale diametro, si utilizza il metodo idrometrico, processo che consente di osservare indirettamente la velocità di sedimentazione delle particelle in una miscela suolo-acqua.

La prova consiste nel misurare la velocità di caduta delle particelle di terreno, cioè il tempo che la singola particella impiega per percorrere una determinata distanza.

Le letture sono effettuate mediante un densimetro, che viene introdotto nel cilindro contenente il terreno in esame.

La distanza a cui si fa riferimento è rappresentata dal pelo libero della soluzione e il baricentro del densimetro stesso; il tempo viene misurato con un cronometro.

Secondo la legge di Stokes, il diametro dei grani in sospensione è dato da:

$$D = \sqrt{\frac{1800 \cdot V \cdot \eta}{\gamma_s - \gamma'}}$$

dove

D = diametro medio dei grani (mm)

V = velocità di caduta dei grani (cm/s)

η = viscosità del liquido (g s/cm²)

γ_s = peso specifico dei grani (g/cm³)

γ' = peso specifico del liquido (g/cm³).

1.2.1. Procedura di calcolo

a) *Calcolo della lettura vera*

$$R_d = R + C_m$$

dove

R = lettura areometro

C_m = correzione del menisco.

b) *Calcolo della lettura pienamente corretta*

$$R_p = R + C_m + C_t - C_d$$

dove

R = lettura aerometro

C_m = correzione del menisco

C_t = correzione della temperatura

C_d = correzione della soluzione disperdente.

c) *Calcolo della correzione totale*

$$\text{Correzione totale} = C_m + C_t + C_d$$

d) *Calcolo del diametro dei grani*

$$D = K \cdot \sqrt{\frac{H_r}{t}}$$

dove

$$K = \sqrt{\frac{1800 \cdot \eta}{\gamma_s - 1}}$$

H_r = altezza effettiva (cm)

t = tempo trascorso in secondi dall'istante in cui si è fermata l'agitazione.

e) Percentuale di materiale non depositato

$$P = C_p \cdot R_p \quad \%$$

dove

$$C_p = \frac{\gamma}{\gamma - 1} \cdot \frac{100}{P_s}$$

con

γ = peso specifico dei grani

P_s = peso del materiale secco.

R_p = lettura pienamente corretta.

La percentuale P di materiale più fine di una certa dimensione e i corrispondenti diametri dei grani sono riportati su un diagramma semilogaritmico (in ordinata in scala naturale le percentuali e in ascisse in scala logaritmica i diametri).

L'andamento della curva granulometrica ottenuta è importante specialmente per le terre granulari e può essere espresso dal coefficiente di uniformità e dal coefficiente di curvatura:

$$U = D_{60}/D_{10}$$

$$C = (D_{30})^2/(D_{60} \cdot D_{10})$$

dove

D_{10} = diametro dei grani corrispondente al passante 10%

D_{30} = diametro dei grani corrispondente al passante 30%

D_{60} = diametro dei grani corrispondente al passante 60%.

Per $U = 1$ l'uniformità è massima

$U = 2$ il materiale è uniforme

$U = 2-6$ il materiale è poco graduato

$U = 6-15$ il materiale è ben graduato

$U > 15$ il materiale è decisamente ben graduato.

ESERCIZIO N. 4 – DETERMINAZIONE DELLA CURVA GRANULOMETRICA

Calcolare il diametro delle particelle, il passante percentuale e la curva di distribuzione granulometria utilizzando i dati riportati di seguito.

Peso del campione: 58,85 g

Peso specifico: 2,65 g/cm³

Valore di K : 0,01291

Correzione menisco: 0,5

Correzione totale: - 0,2

Vaglio (n.)	Apertura (mm)	Peso trattenuto (g)
1	0,600	0
2	0,425	1,45
3	0,212	1,75
4	0,150	0,52
5	0,063	1,94
Fondo	0	0,24

Letture (n.)	Tempo (min)	Letture aerometro	Altezza H_r (cm)
1	1	29,5	9,1
2	4	27,0	10,12
3	8	24,5	11,15
4	15	22,5	11,97
5	30	20,0	13,00
6	60	17,5	14,00
7	240	11,0	16,70
8	1420	5,5	18,95

SOLUZIONE
Analisi per setacciatura

Apertura (mm)	Trattenuto (g)	Trattenuto (%) ⁽¹⁾	Cumulativo (%) ⁽²⁾	Passante (%) ⁽³⁾
0,600	0	0	0	100
0,425	1,45	2,46	2,46	97,54
0,212	1,75	2,97	5,43	94,57
0,150	0,52	0,88	6,32	93,68
0,063	1,94	3,29	9,61	90,39
0	0,24	0,4	10,02	89,98

1 - Trattenuto percentuale = $\text{trattenuto}/\text{peso campione} \cdot 100 = 1,45/58,85 \cdot 100 = 2,46\%$

2 - Cumulativo percentuale = $\text{trattenuto } \%^n + \text{trattenuto } \%^{n-1} = 2,46 - 0 = 2,46\%$

3 - Passante percentuale = $100 - \text{cumulativo } \% = 100 - 2,46 = 97,54$