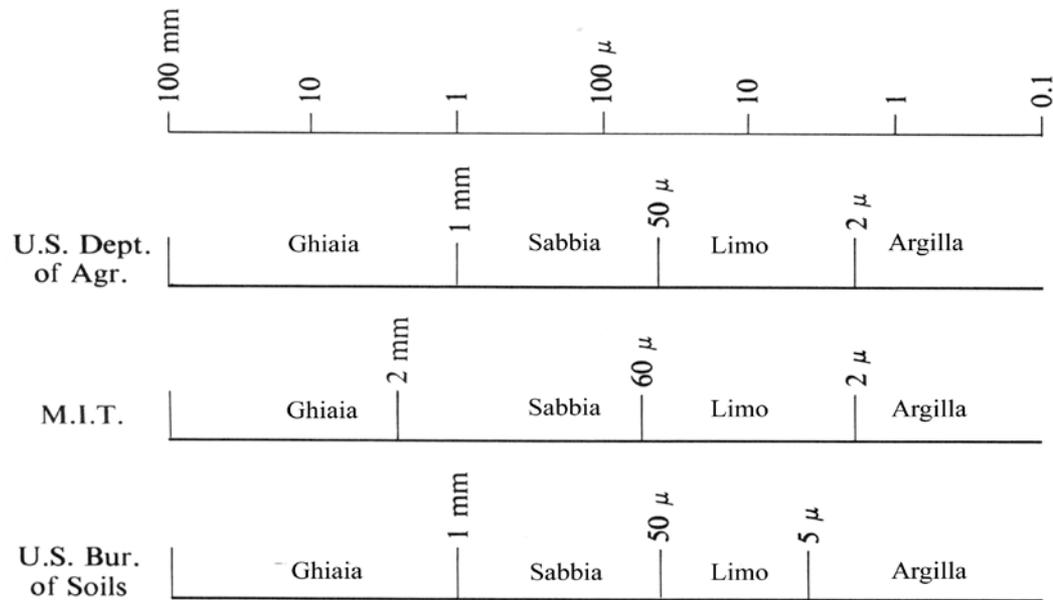


Generalità sui terreni

I terreni sono aggregati di particelle solide, costituite da diversi minerali, che coprono larga parte della superficie terrestre. Le forze applicate al terreno producono spesso spostamenti relativi tra le particelle. Lo studio della meccanica dei terreni deve perciò tenere conto della particolare natura del materiale: esso è, infatti, un mezzo trifase costituito da particelle solide, acqua ed aria o vapore d'acqua. Tenendo conto che la fase gassosa è molto comprimibile, e che l'acqua può fluire verso l'interno o l'esterno del terreno, le proporzioni relative delle tre componenti possono variare in funzione del tempo e dei carichi applicati. Queste tre componenti formano la base per una descrizione quantitativa del comportamento del terreno.

- Molti criteri di descrizione e di classificazione dei terreni si basano sulla dimensione delle loro particelle solide: si tratta di un criterio molto semplice di descrizione e classifica. I terreni, in base alla dimensione delle loro particelle, sono suddivisi in classi granulometriche, denominate ghiaia, sabbia, limo ed argilla. Le linee di demarcazione tra queste classi granulometriche sono del tutto arbitrarie e, quindi, esistono diversi sistemi di classifica. In figura 1 sono riportati tre diversi criteri di classifica che sono stati elaborati, indipendentemente, da diversi enti che operano sui terreni



- Figura 1 – Criteri di classifica dei terreni basati sulla dimensione delle particelle.

Le classi granulometriche, attualmente in uso nella meccanica dei terreni, sono mostrate in figura 2, con l'indicazione dei mezzi necessari per osservare le singole particelle; inoltre è da tenere presente che un terreno naturale può essere compreso in più classi granulometriche. La sua denominazione, pertanto, deve comprendere i nomi di tutte le classi granulometriche, con i prefissi ed i suffissi di cui si dirà più oltre.

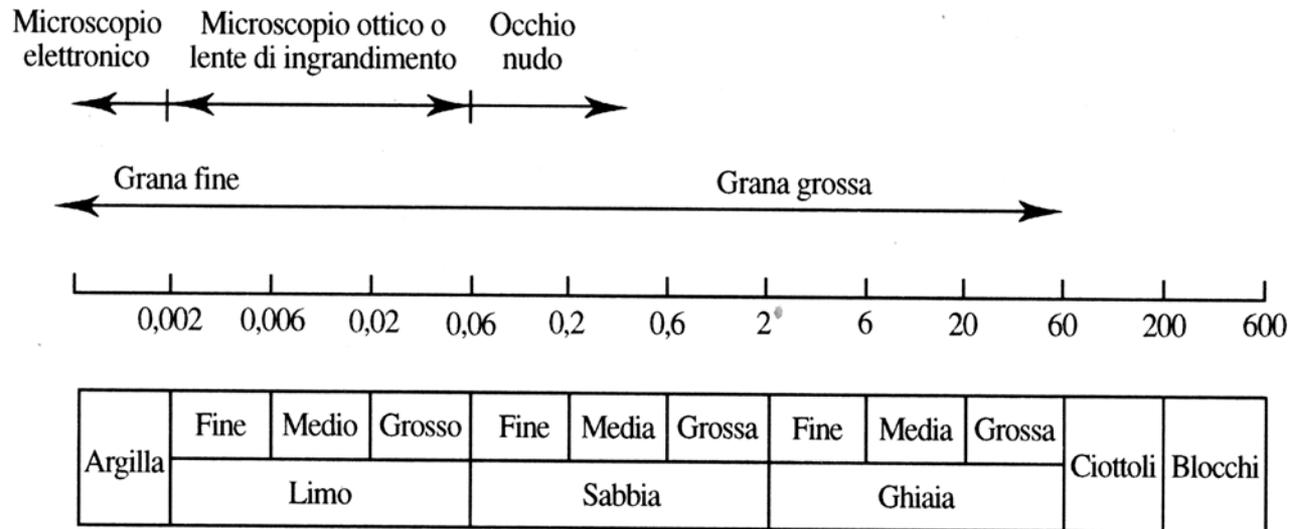
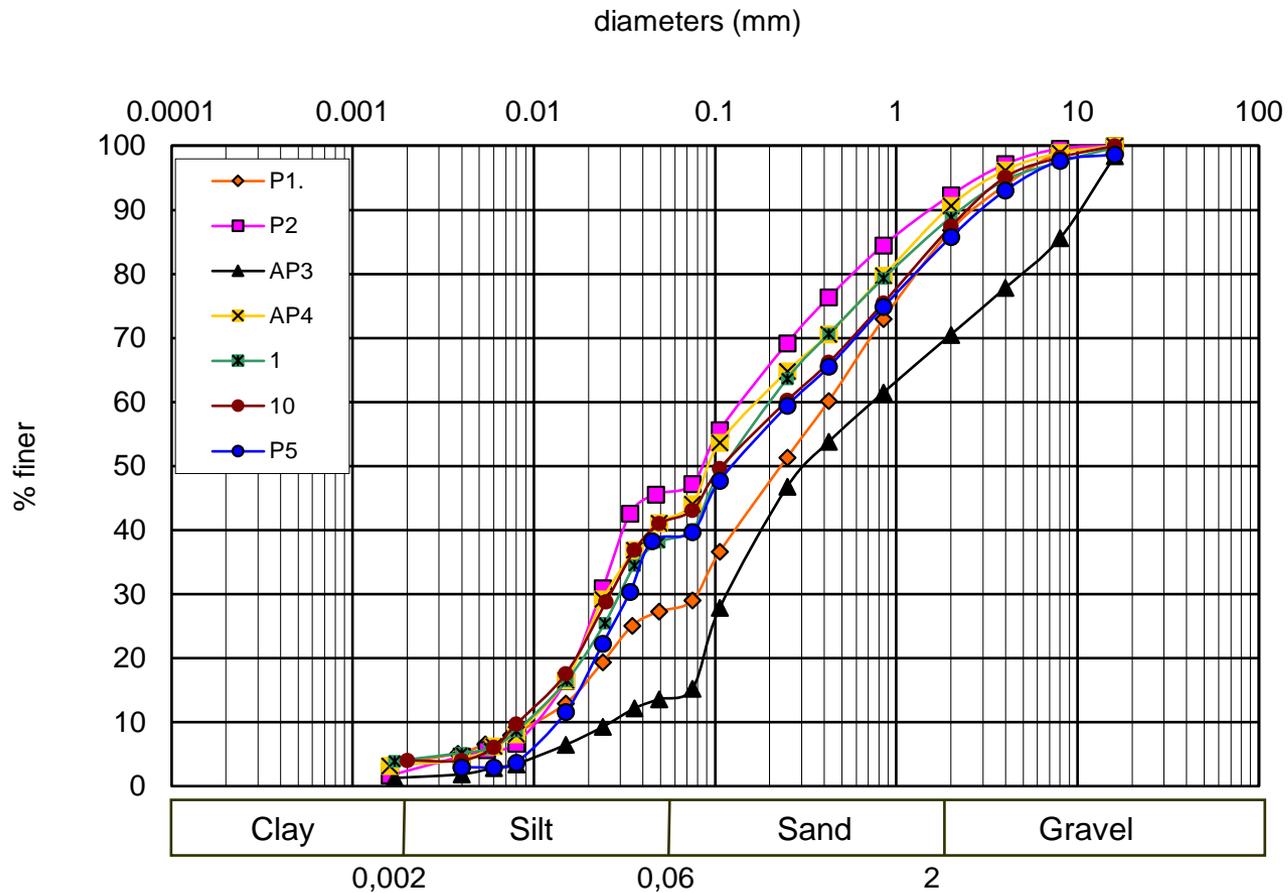


Figura 2 – Definizione delle classi granulometriche, e indicazione dei mezzi necessari per vedere le particelle solide.

- Per determinare la distribuzione della dimensione delle particelle solide, si ricorre all'analisi granulometrica, che è condotta per mezzo della setacciatura per particelle aventi dimensioni fino a 0,074 mm, mentre per particelle con dimensioni inferiori si ricorre all'analisi per sedimentazione.
- ANALISI GRANULOMETRICA PER SETACCIATURA. Il campione di terreno, il cui peso secco iniziale è funzione della massima dimensione delle particelle, è fatto passare attraverso una serie di setacci. La minima dimensione raggiungibile con la setacciatura è di 74 μm , per particelle solide più piccole si ricorre all'analisi granulometrica per sedimentazione.
- ANALISI GRANULOMETRICA PER SEDIMENTAZIONE. L'analisi granulometrica per sedimentazione si basa sulla legge di Stokes, che consente di determinare la velocità di caduta di una sfera di diametro D in fluido indefinito. Il risultato dell'analisi granulometrica è un diagramma in cui sull'asse delle ascisse sono riportati i diametri in millimetri, in scala logaritmica, e sull'asse delle ordinate le percentuali del passante., figura 3 e 4, questo diagramma prende il nome di curva granulometrica. Nel caso in cui la curva granulometrica è molto distesa – ricadente in più classi granulometriche - si dice che il terreno è ben gradato; per contro, quando è una retta quasi verticale, si dice che il terreno è poco gradato.
- Per stabilire se un terreno è molto o poco gradato è necessario determinare il coefficiente d'uniformità, U , definito come il rapporto tra il d_{60} ed il d_{10} , questi sono i diametri corrispondenti al passante del 60 e del 10% rispettivamente. Nel caso in cui un terreno è poco gradato, i valori di d_{60} e d_{10} sono prossimi tra loro, perciò il valore di U è prossimo all'unità; nel caso di terreni ben gradati il d_{60} è molto maggiore del d_{10} , per cui il valore U è molto maggiore dell'unità.



- Figura 3 – Fuso granulometrico di una formazione di pozzolane flegree

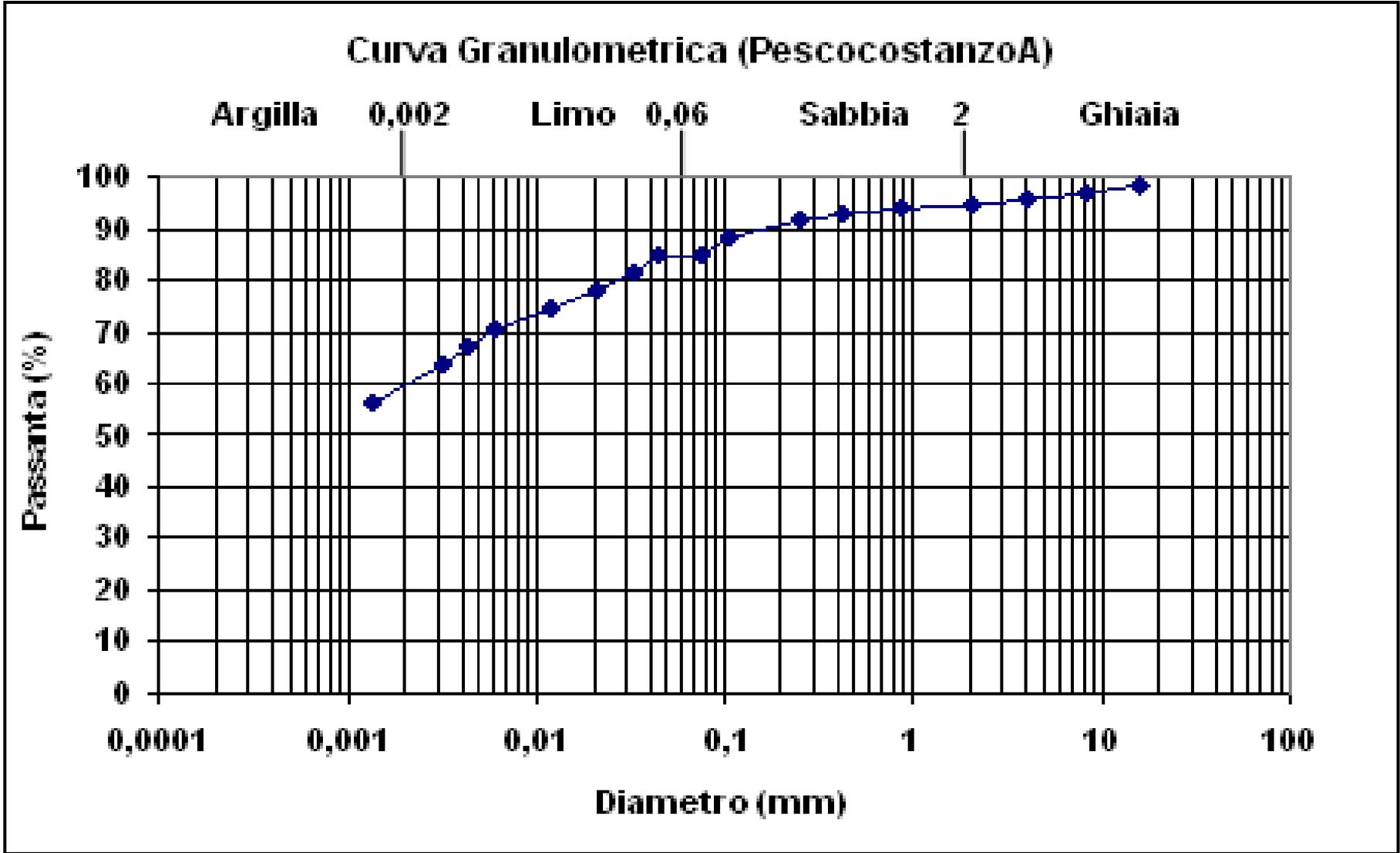


Figura 4 – Curva granulometrica di una formazione argillosa, Pescocostanzo (AQ)

Figura 5 - Foto al S.E.M. della pozzolana

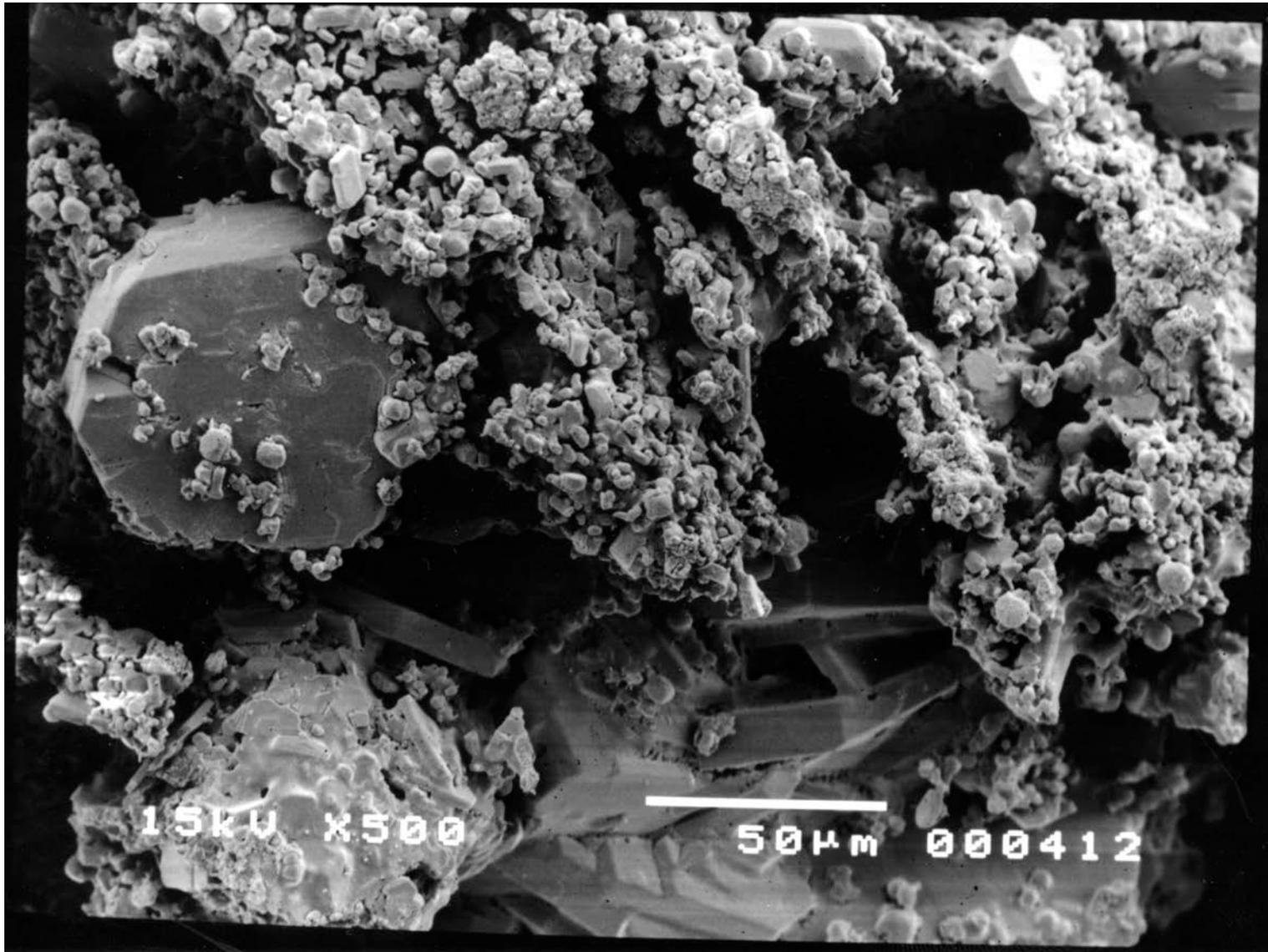
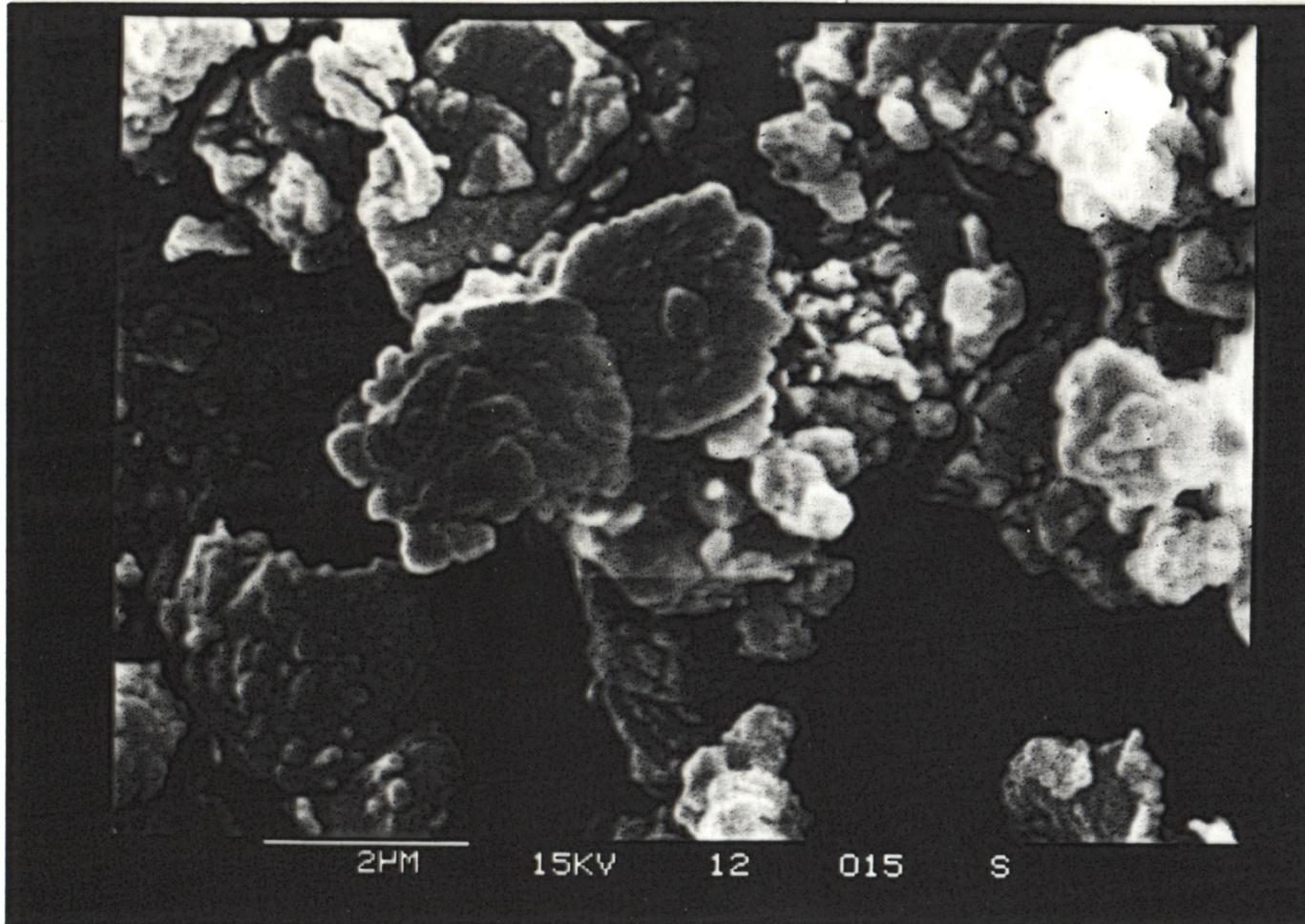


Figura 6 - Foto al S.E.M. di un'argilla



Proprietà indici del terreno

- Le componenti del terreno sono schematicamente indicate in figura 7. Il volume del solido, del liquido e dell'aria sono indicati con V_s , V_w , e V_a ed i relativi pesi con W_s , W_w e W_a . La somma dei volumi del liquido e del gas è detta volume dei vuoti ed indicata con V_v . La quantità relativa di vuoti in un terreno è un parametro molto utile esso, come sarà chiarito nei prossimi capitoli, può essere messo in relazione con molti dei comportamenti dei terreni.
- La misura relativa della quantità di vuoti presente è la porosità n , definita come il rapporto tra il volume dei vuoti ed il volume totale del terreno, vale a dire:
- La quantità relativa di vuoti in un terreno è un parametro molto utile esso, come sarà chiarito nei prossimi capitoli, può essere messo in relazione con molti dei comportamenti dei terreni. La misura relativa della quantità di vuoti presente è la porosità n , definita come il rapporto tra il volume dei vuoti ed il volume totale del terreno, vale a dire:

$$n = \frac{V_v}{V} \quad (1)$$

- Il rapporto dei vuoti, e è dato dal rapporto tra il volume dei vuoti ed il volume del solido:

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (2)$$

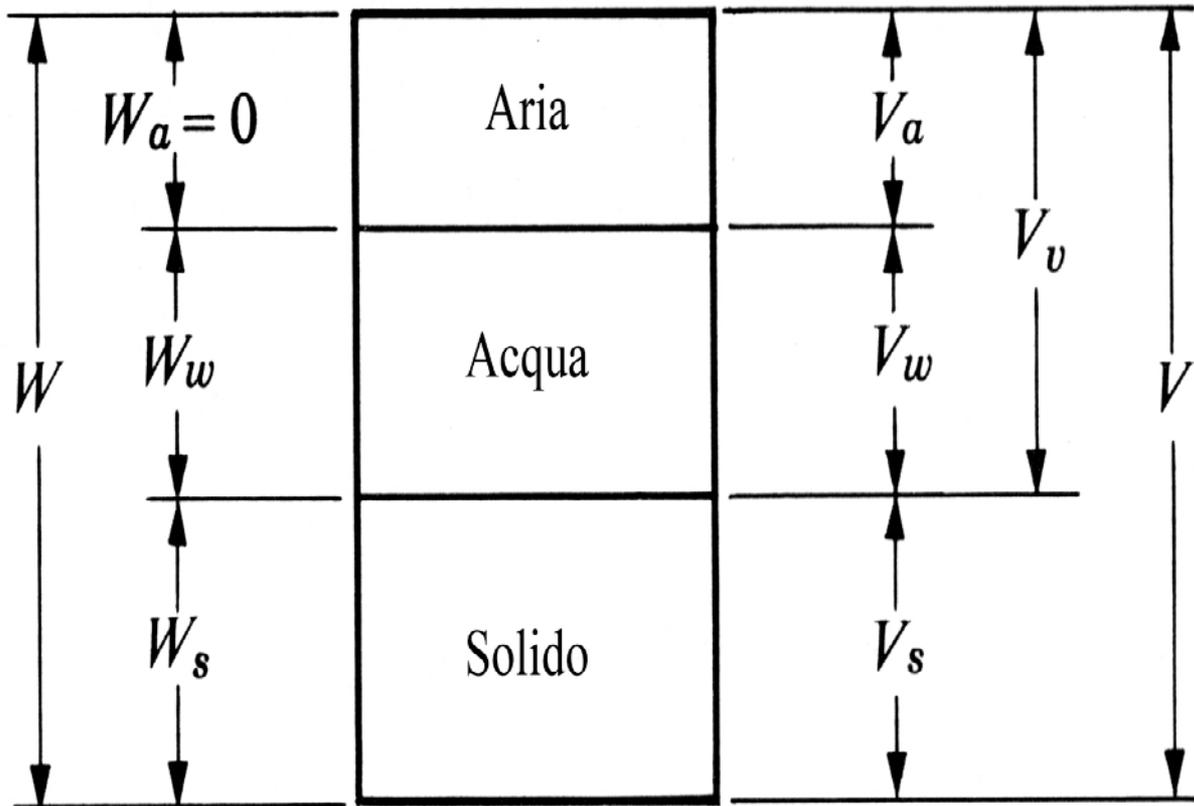
- Per esprimere la quantità d'acqua contenuta nel terreno, si utilizza il contenuto d'acqua, w , definito come il rapporto tra il peso dell'acqua ed il peso della sostanza solida:

$$w = \frac{W_w}{W_s} \cdot 100 \quad (3)$$

- Il contenuto d'umidità, o contenuto d'acqua volumetrico, θ_w , è invece definito come il rapporto tra il volume dell'acqua ed il volume totale del terreno:

$$\theta_w = \frac{V_w}{V} = 1 - n = \frac{1}{1 + e} = n \cdot S \quad (4)$$

Figura 7 – Schema per definire le proprietà indici



- Altro indice importante è il grado di saturazione definito come il rapporto tra il volume dell'acqua ed il volume dei vuoti, cioè: $S = (V_w/V_v) \times 100$, se il grado di saturazione è pari a 100 si dice che il terreno è totalmente saturo. Di norma se il grado di saturazione è pari o superiore al 90% si ritiene il terreno completamente saturo.

- Il peso dell'unità di volume naturale, o densità, è definito come il rapporto tra il peso di una data porzione di terreno ed il suo volume. Contenenendo un terreno anche acqua ed aria è importante dire chiaramente la fase o le fasi cui la densità si riferisce: quindi nel caso della densità naturale si scrive:

$$\gamma_n = \frac{W}{V} = \frac{W_s + W_w}{V_s + V_w + V_a} \quad (5)$$

- Allorquando si misura il grado di compattezza di un terreno s'introduce il parametro densità secca, γ_d , che è la densità del terreno senza la densità dell'acqua, perciò assume che il volume sia costante. In realtà la densità secca è una densità fittizia, perché quando dal terreno è rimossa l'acqua esso diminuisce di volume; in effetti essa misura la quantità di solido contenuto in determinato volume, e perciò assume lo stesso significato della porosità e del rapporto dei vuoti.

- La densità secca è data da:

$$\gamma_d = \frac{W_s}{V} = \frac{\gamma_t}{1 + w} \quad (6)$$

- Infine si definisce la densità della sostanza solida data da:

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} \quad (7)$$

- La densità della sostanza solida varia poco per i diversi terreni, poiché rappresenta la densità dei minerali costituenti le particelle solide, i valori di γ_s , con le dovute eccezioni, sono compresi tra 26 e 28 kN/m³, con valori medi per sabbie e limi di 26,5 kN/m³ e di 27,5 kN/m³ per le argille.

Figura 8 – Schema della molecola dell'acqua

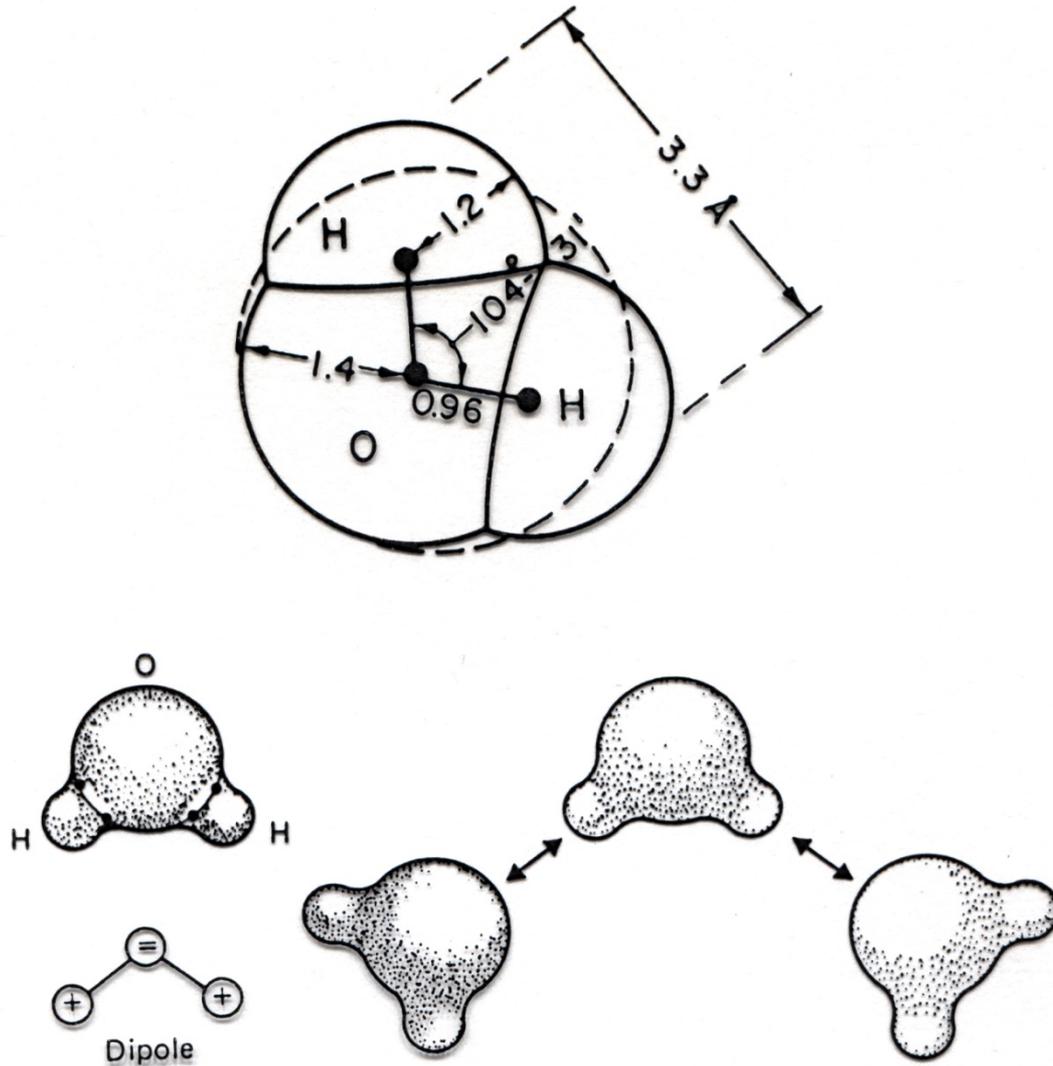
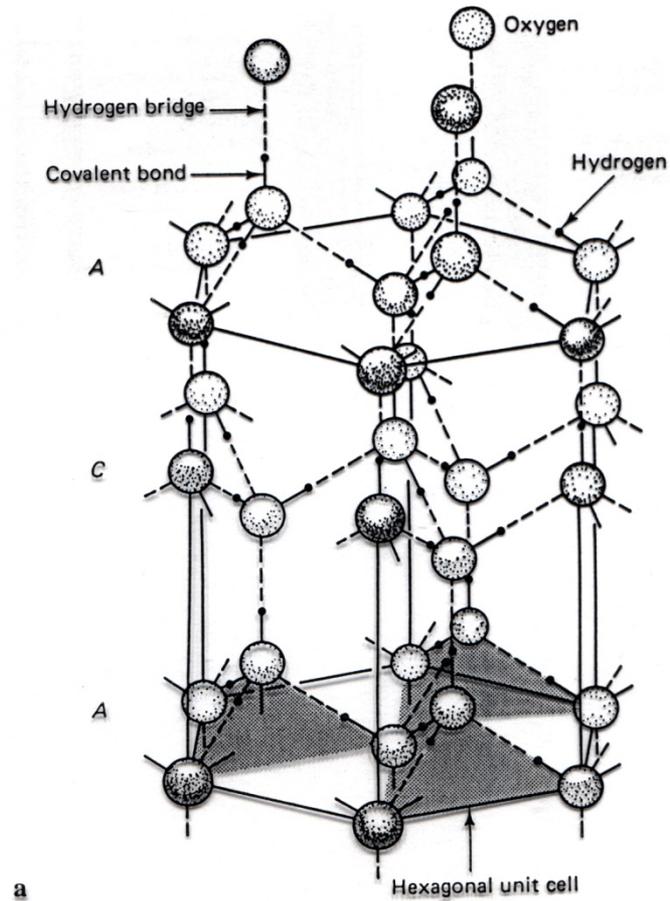
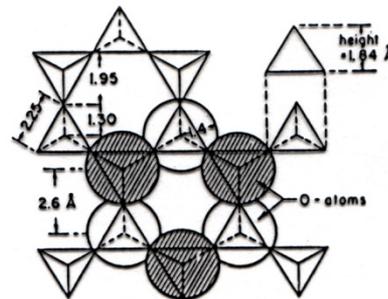


Figura 9 – Schema della struttura del ghiaccio



a

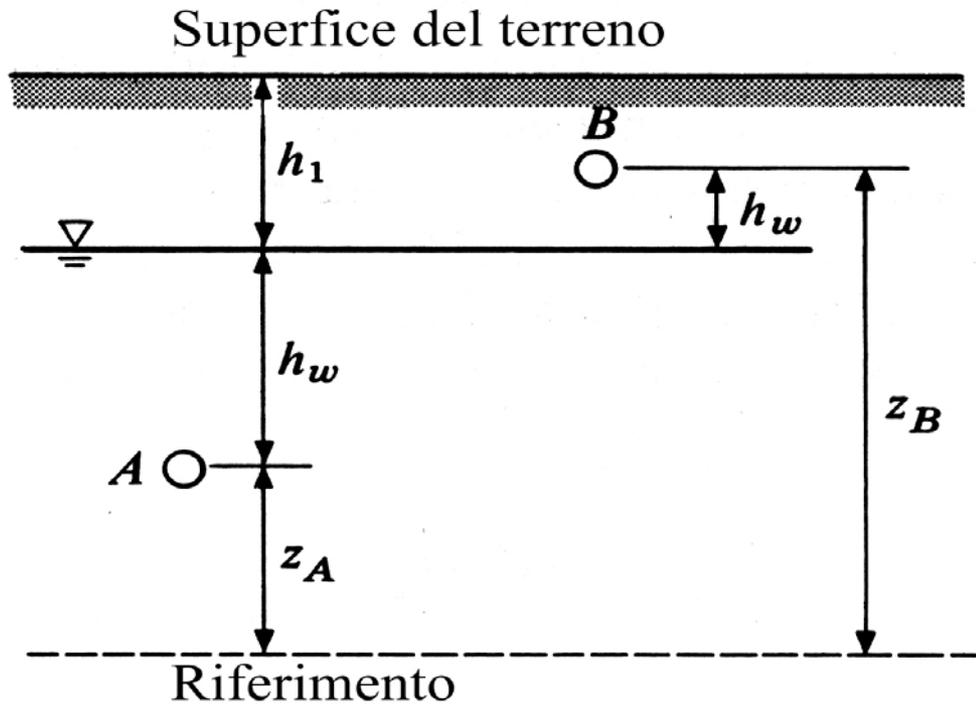


b

Interazione tra fase solida e fluidi di porosità

- Il terreno è un mezzo trifase, essendo costituito da particelle solide, acqua ed aria; è necessario, perciò, considerare il contributo che ciascuna fase dà al comportamento di questo particolare materiale. Si consideri, ad esempio, il deposito di figura 10- una vista microscopica dell'elemento A è riportato in figura 10 (a); essendo posto al di sotto del livello di falda per questo i suoi pori sono completamente riempiti dall'acqua e il terreno in questo caso è detto saturo. L'elemento di terreno B è mostrato in figura 10 (b), sebbene esso sia posto al di sopra del livello di falda, nei suoi pori è contenuta una certa quantità di acqua a causa delle precipitazioni meteoriche che penetrano nel terreno. Nel caso in cui i pori siano piccoli, l'acqua può arrivare in B per risalita capillare e in questo caso il terreno è detto parzialmente saturo.
- In figura 10 (a) i pori nel terreno sono interconnessi, perciò, essendo la falda è in quiete, l'acqua è soggetta ad una pressione idrostatica pari a:
- $$u = \gamma_w \cdot h_w \quad (8)$$
- In cui h_w è la distanza del punto A dal pelo libero della falda. Essa è detta, in idraulica, altezza piezometrica, e la pressione u è detta pressione dell'acqua dei pori, o semplicemente pressione dei pori. Se nel terreno è inserito un tubo piezometrico con la presa nel punto A, l'acqua si porterà ad un'altezza pari ad h_w all'interno del tubo.

Figura 10



- Scegliendo il riferimento di figura 10, per il teorema di Bernoulli si ha:

$$h = \frac{v^2}{2g} + \frac{u}{\gamma_w} + z = \frac{v^2}{2g} + h_w + z_A \quad (9)$$

- dove nella (90) g è l'accelerazione di gravità, v la velocità e z è la quota geometrica. In meccanica dei terreni di solito la velocità è piccola, perciò il termine può essere trascurato, quindi si ha: $h = h_w + z_A$
- ed h prende il nome di quota piezometrica.
- Si consideri l'acqua contenuta nell'elemento B di figura 11 (b): poiché vi è la presenza anche di aria, l'acqua forma delle interfacce, dette menischi, in cui esiste una tensione superficiale, e la pressione dell'acqua al di sotto del menisco è inferiore a quella atmosferica. Per studiare correttamente questo problema si consideri il semplice schema in cui i pori del terreno formano un tubo continuo, il valore della tensione superficiale T e l'angolo α , figura 12, sono funzione del fluido e del materiale costituente il terreno.
- Nel caso in cui il fluido sia acqua e il tubo di vetro, si ha che $T = 0,075 \text{ g/cm}$ (pari a 10^{-5} N) ed $\alpha = 0$.

Figura 11

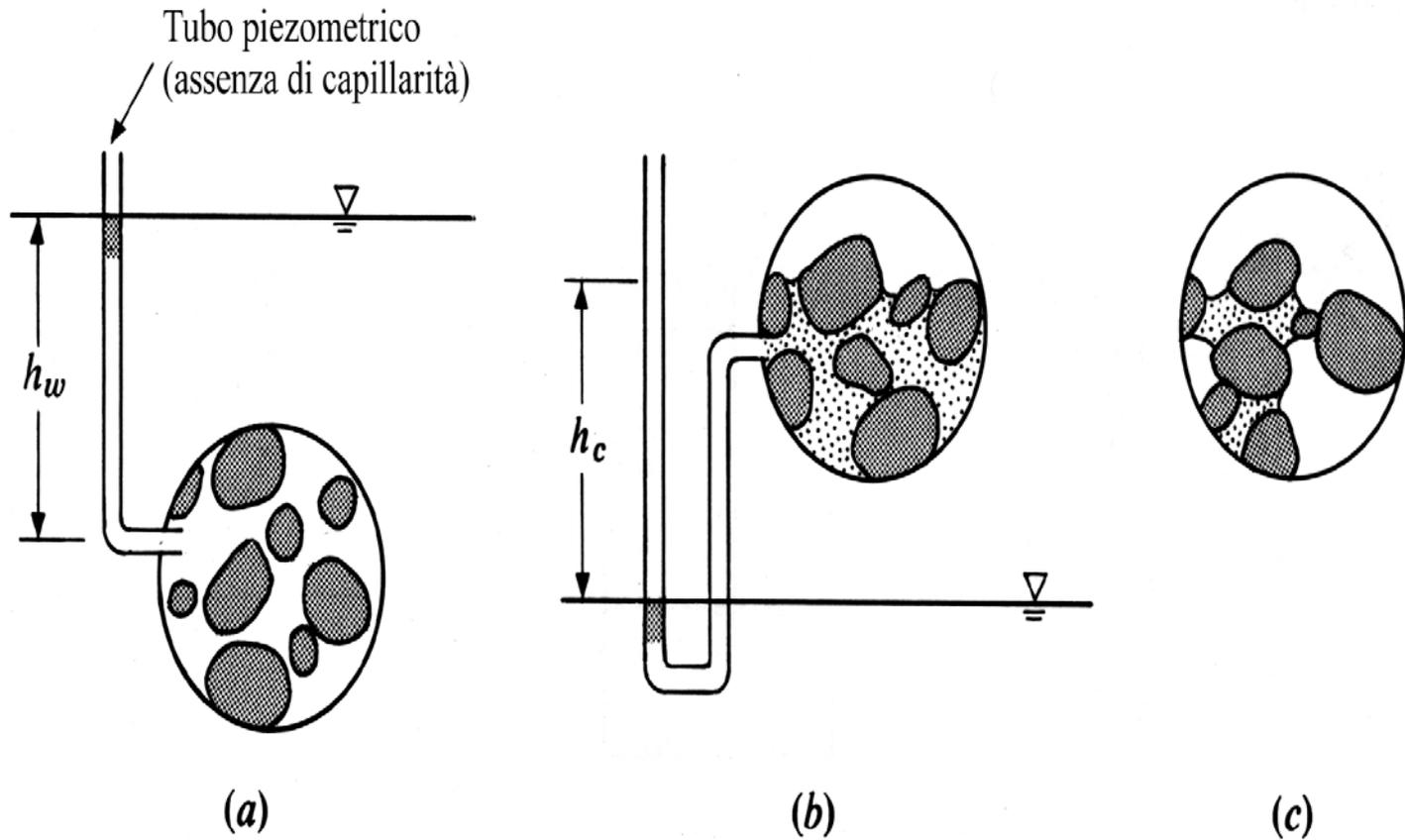
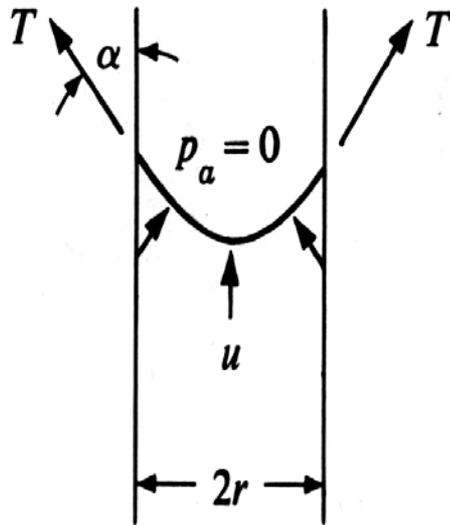
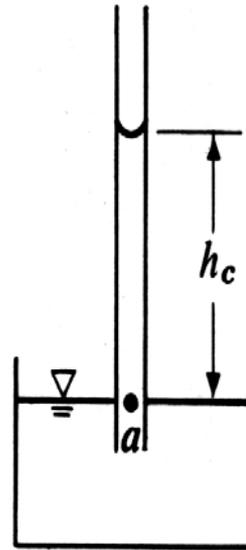


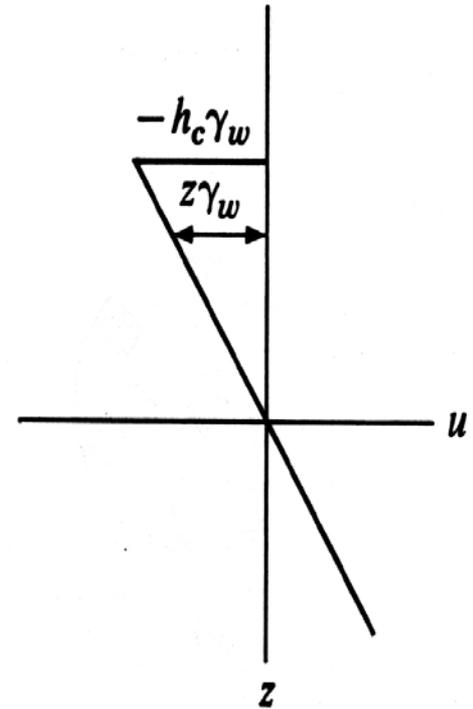
Figura 12



(a)



(b)



(c)

- La pressione u immediatamente al di sotto del menisco può essere valutata considerando l'equilibrio del menisco, figura 12 (a). Assumendo come pressione di riferimento quella atmosferica, la pressione dell'aria vale $p_a = 0$, e sommando le forze verticali si ha:

$$2\pi r T \cos \alpha + u \pi r^2 = 0 \quad (10)$$

- da cui si ricava:

$$u = -\frac{2T \cos \alpha}{r} \quad (11)$$

- Si ha, quindi, che u è negativa, quando α è minore di $\pi/2$, come accade nel caso in esame. La pressione nell'acqua al di sotto del menisco è, in ogni caso, inferiore a quella atmosferica.
- Per determinare l'altezza di risalita capillare, h_c , figura 12 (b), si consideri la pressione nel punto a posto allo stesso livello della superficie libera del liquido all'esterno del tubo.
- Per determinare l'altezza di risalita capillare, h_c , figura 3.2 (b), si consideri la pressione nel punto a posto allo stesso livello della superficie libera del liquido all'esterno del tubo.

- La pressione che grava sulla superficie libera del liquido è pari a quella atmosferica, assunta come pressione di riferimento, perché in caso contrario si avrebbe il flusso dell'acqua dal recipiente verso il tubo, pertanto si ha:

$$h_c \gamma_w - \frac{2T \cos \alpha}{r} = 0 \quad (11)$$

- da cui si ricava:

$$h_c = \frac{2T \cos \alpha}{r \gamma_w} \quad (12)$$

- Si ha quindi equilibrio solo quando l'acqua è risalita all'interno del tubo di un'altezza h_c .
- Si rileva, inoltre, che la pressione dell'acqua all'interno del tubo capillare cresce passando da un minimo di $-h_c \gamma_w$ a 0 in corrispondenza della superficie libera del liquido, se la pressione atmosferica è assunta come valore di riferimento.
- Per un terreno contenente acqua capillare, la pressione dei pori sarà data da immediatamente al di sotto del menisco; pertanto un piezometro mostrerebbe un livello dell'acqua a distanza h_c al di sotto di questo punto.
- Quanto detto in precedenza serve ad illustrare una serie di fenomeni d'interazione tra acqua e particelle solide, alcuni dei quali sono esaminati di seguito.

Figura 13

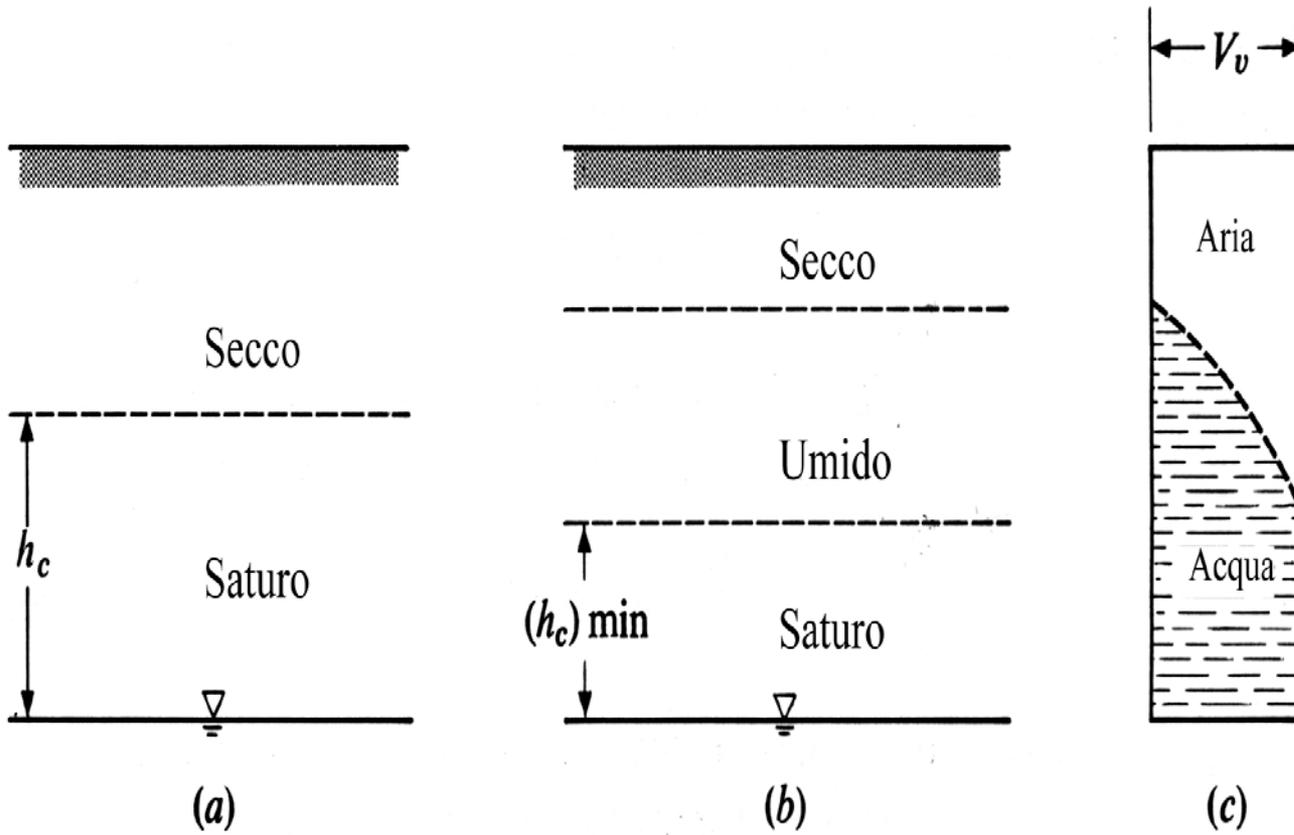
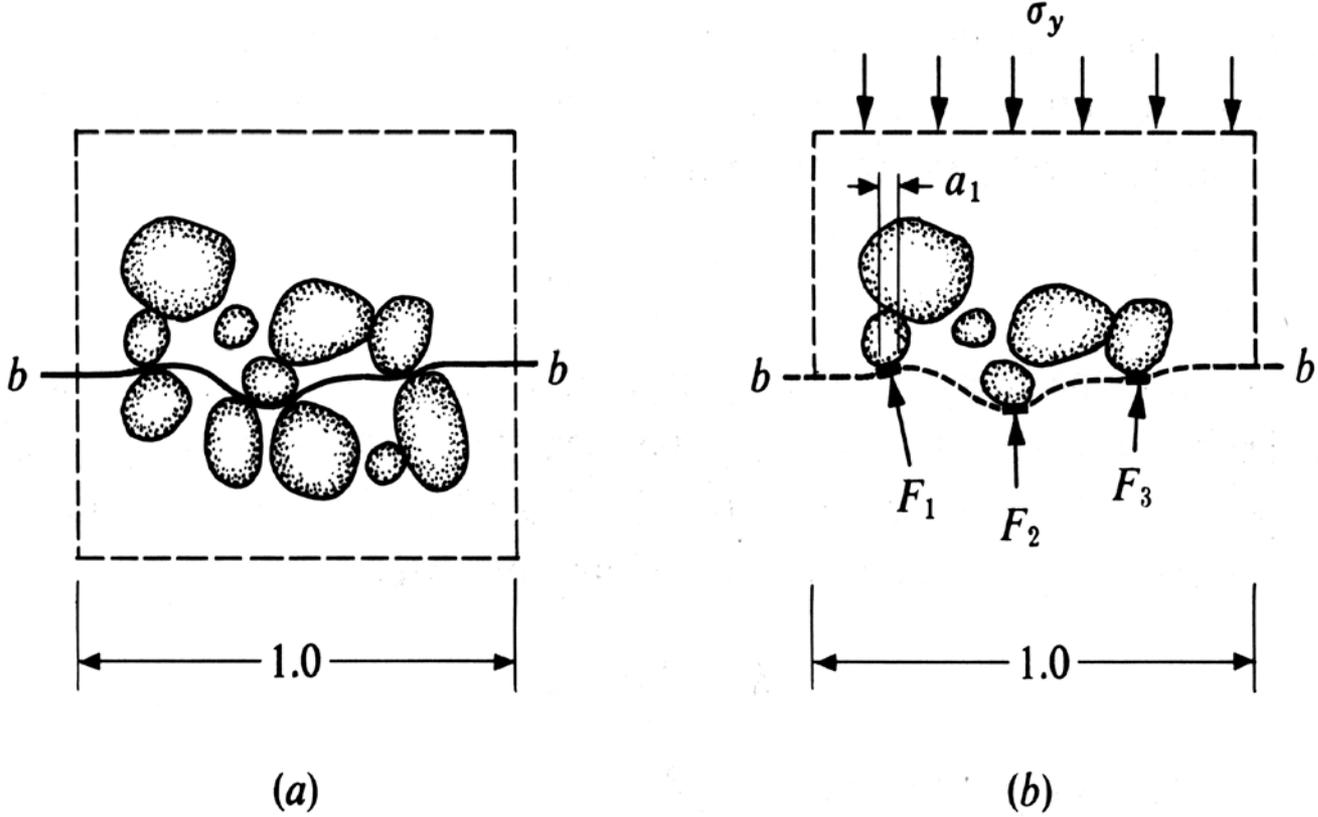


Tabella 1

Raggio dei pori (μm)	Altezza capillare, h_c (cm H ₂ O)	Pressione (atm)	Tensione capillare		Potenziale di suction (P_f)
			p_c (10^{-3} xbar)	(dyne/cm ²)	
148,320	10	0,010	9,81	$9,81 \times 10^3$	1
24,720	60	0,058	58,9	$5,89 \times 10^3$	1,78
14,400	103	0,101	101,0	$1,01 \times 10^3$	2,01
4,310	344	0,333	337,5	$3,38 \times 10^3$	2,54
2,875	516	0,5	506	$5,05 \times 10^3$	2,71
1,435	1033	1	1013	$1,01 \times 10^3$	3,01
0,720	2066	2	2027	$2,03 \times 10^3$	3,32
0,480	3099	3	3040	$3,04 \times 10^3$	3,49
0,275	5165	5	5067	$5,07 \times 10^3$	3,71
0,145	10330	10	10134	$1,10 \times 10^3$	4,01
0,095	15495	15	15201	$1,52 \times 10^3$	4,19

Figura 14- Schema per la dimostrazione del principio di Terzaghi



Principio di Terzaghi delle tensioni efficaci

- Terreno saturo.
- Si consideri il caso di un terreno saturo, figura 14, che si trova in condizioni di equilibrio sotto le forze di massa, cioè peso proprio del terreno più acqua. I pori sono, quindi, totalmente pieni d'acqua e se sono tra loro in contatto e con la superficie libera della falda, il valore della pressione dei pori u in ogni punto A è data dalla equazione (8).
- Oltre alla pressione u è evidente che esistono delle forze che le particelle solide si scambiano nei punti di contatto. Per studiare questo tipo di sforzo, si consideri la superficie $b - b$, figura 14, che passa attraverso i punti di contatto delle particelle e si consideri l'equilibrio dell'elemento di volume di figura 14 (b) avente una sezione trasversale unitaria. Sulla superficie $b - b$ agiscono la pressione dei pori u in corrispondenza dei vuoti, e le forze F_1, F_2, F_3, \dots , nei punti di contatto delle particelle caratterizzati dalle aree $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$. Si consideri la sommatoria delle componenti di dette forze in direzione normale a detta superficie, esse sono definite in una superficie unitaria del terreno e per questo hanno le dimensioni di una tensione; la loro sommatoria prende il nome di tensione effettiva, o efficace, ed è indicata con σ' , perciò si può scrivere:

$$\sigma'_y = \sum_{i=1}^n F_{iy} \quad (13)$$

- L'equilibrio richiede che:

$$\sum_{i=1}^n F_{iy} + u \left(1 - \sum_{i=1}^n a_i \right) = \sigma_y \quad (14)$$

- oppure:

- $$\sigma'_y + u \left(1 - \sum_{i=1}^n a_i \right) = \sigma_y \quad (15)$$

- Si noti che $\sum_{i=1}^n a_i$ è l'area delle superfici di contatto per unità di area del terreno, per

- semplicità si può porre pari ad a . Il valore di a non è noto con accuratezza, tuttavia misure molto precise (Bishop e Eldin, 1950) hanno dimostrato che il valore di a è trascurabile, perciò può essere ignorato senza commettere un grosso errore, pertanto la (15) può scriversi nel modo seguente:

- $$\sigma_y = \sigma'_y + u \quad (16)$$

- L'equazione (16) è nota come principio delle pressioni efficaci (Terzaghi, 1948), essa stabilisce che in un terreno si hanno deformazioni solo se variano le tensioni efficaci, per contro la pressione dei pori, essendo uno sforzo sferico, non produce effetti significativi perché, per i campi di pressioni normalmente considerati, non riesce a deformare in maniera apprezzabile le particelle solide, pertanto la pressione dei pori prende anche il nome di pressione neutra.

- Terreno parzialmente saturo.
- In un terreno parzialmente saturo, l'acqua è presente solo in alcuni dei pori del terreno, come si vede nella figura 15. In queste condizioni l'acqua nei pori non è continua perciò si creano delle interfacce aria – acqua. L'aria contenuta nei pori ha una pressione u_a , mentre nell'acqua la pressione è u_w , pertanto per un'unità di superficie della sezione b – b si può scrivere:

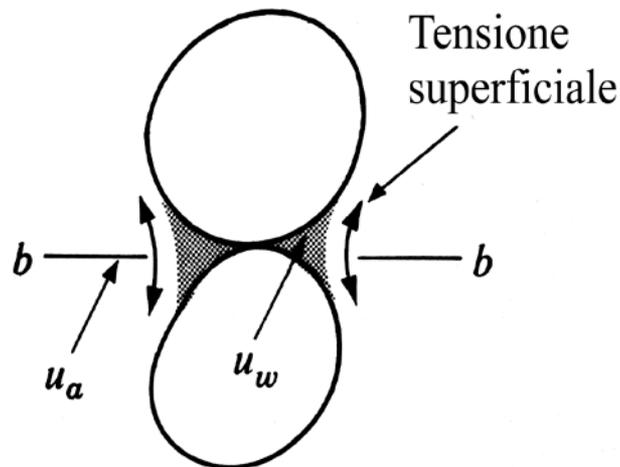
- $$\sigma = \sigma' + u_w a_w + u_a (1 - a_w - a) - T \quad (17)$$

- in cui a_w è la parte di superficie che passa attraverso l'acqua, ed inoltre poiché a è ancora una volta trascurabile e la si può porre pari a zero, la (17) può pertanto risciversi:

- $$\sigma = \sigma' + u_w a_w + u_a (1 - a_w) - T \quad (18)$$

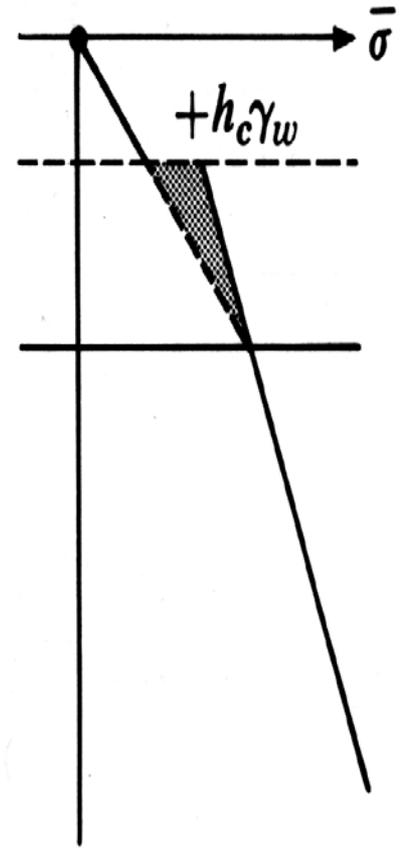
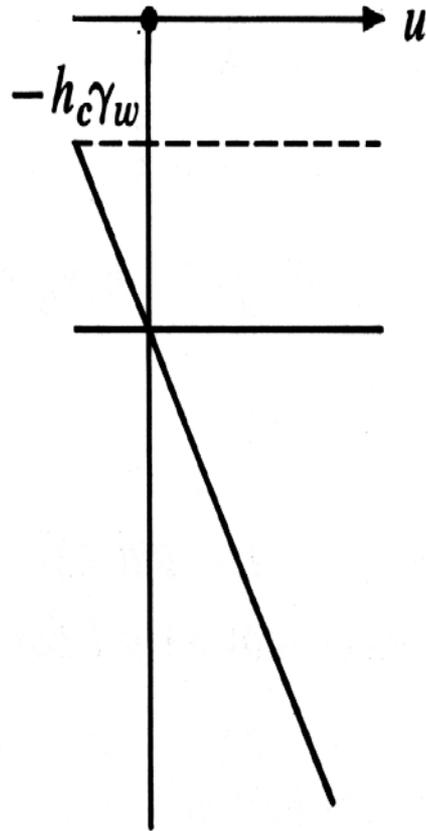
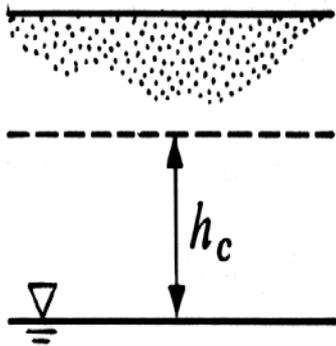
- Si ricorda che la tensione superficiale dipende dalla curvatura del menisco, equazione (11), che dipende dalla quantità d'acqua contenuta nel terreno.

- Ricordando che: $u = \chi u_w + (1 - \chi)u_a$
- e tenendo presente la definizione di tensione efficace e di pressione neutra si ha in definitiva:
- $$\sigma = \sigma' + \chi u_w + u_a(1 - \chi) \quad (19)$$
- Il confronto tra le equazioni (16) e (19), suggerisce che il parametro χ tiene conto dell'effetto di u_w e di T . Il parametro χ è stato ricavato per via analitica da Bligh (1967), mentre l'equazione (19) è stata suggerita da Bishop ed Ali (1960a) ed è stata inoltre ricavata da Croney ed Ali (1958) e da Aitchison (1960).



- Figura 15

Figura 17



- Si consideri nuovamente il punto A di figura 10, il valore della tensione totale σ è dato dal peso della colonna d'acqua e di terreno che grava al di sopra del punto considerato, pertanto si può scrivere :

$$\sigma = h_1 \gamma + h_w \gamma_{sat} \quad (19)$$

- In cui γ e γ_{sat} sono rispettivamente il peso dell'unità di volume del terreno al di sopra e al di sotto del pelo libero della falda. Dall'equazione (1.2) si ha:

$$(20)$$

$$u = h_w \gamma_w$$

- si può quindi scrivere:

$$\sigma' = \sigma - u = h_1 \gamma + h_w (\gamma_{sat} - \gamma_w) = h_1 \gamma + h_w \gamma' \quad (21)$$

- in cui $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$ è il peso dell'unità del terreno alleggerito dalla spinta idrostatica. Nel caso in cui al di sopra del pelo libero della falda si ha saturazione per risalita capillare, la pressione dei pori al di sopra del pelo libero della falda è negativa riferita alla pressione atmosferica. Nella zona satura per capillarità si ha poiché la pressione efficace è data dalla pressione totale diminuita della pressione dei pori, essendo u negativa, il suo valore cresce, figura 17.

- Da quanto finora detto è evidente che in un terreno non saturo o parzialmente saturo l'acqua di porosità contribuisce a far crescere le tensioni efficaci che, essendo dovute alla pressione dell'acqua, sono sferiche e di compressione. Il grado di saturazione dei terreni varia al variare delle condizioni climatiche per cui il valore della pressione neutra negativa, o suzione, varia nel tempo. Nel diagramma di figura 18 è riportata la variazione dei valori di suzione misurati in funzione del tempo e dei dati di pioggia. Il diagramma indica chiaramente che la suzione non è costante nel tempo ma è maggiore nei periodi in cui le precipitazioni sono minori (periodi secchi), e diminuisce nei periodi di pioggia.
- Al fine di far comprendere meglio quelli che sono gli effetti dell'infiltrazione dell'acqua piovana su comportamento del terreno, si è simulato in laboratorio quello che accade in sito. Nella figura 19 sono riportati in diagramma i risultati della prova di laboratorio, dal diagramma di figura si rileva che in concomitanza dell'immissione dell'acqua si ha una repentina crescita della suzione con una riduzione di altezza del provino.
- Quello che si è verificato nel provino si verifica anche in sito al variare della suzione, questo significa che i terreni piroclastici, nel caso specifico quelli dei Camaldoli di Napoli, sono soggetti a cicli di carico e scarico a seconda del periodo stagionale, secco o piovoso, nel diagramma di figura 20 si rileva come al variare del periodo stagionale si hanno dei cicli di carico e scarico.

Figura 18 – Diagramma suzione tempo per il sito dei Camaldoli (NA)

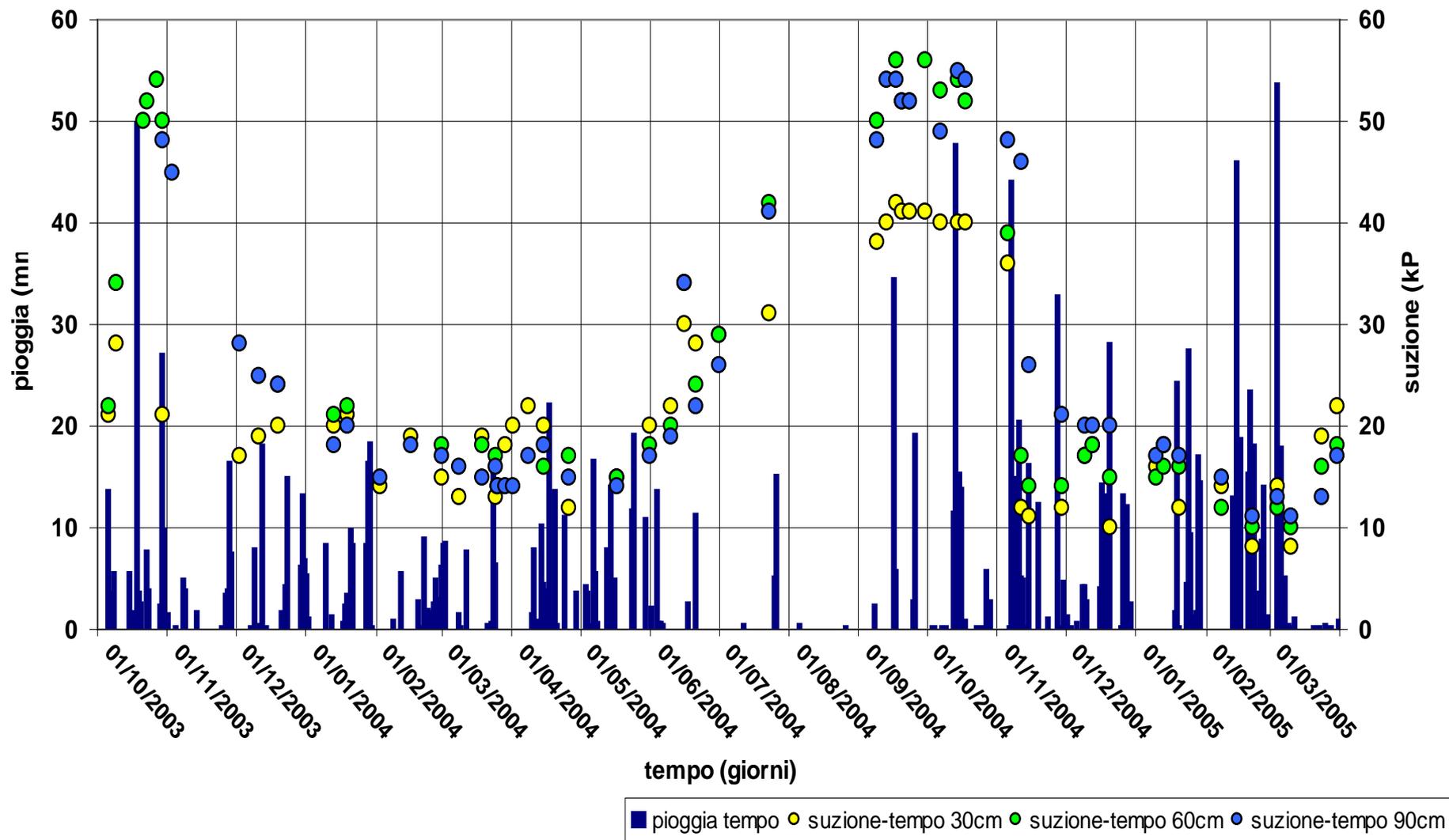


Figura 24

Specimen 2 with pumice

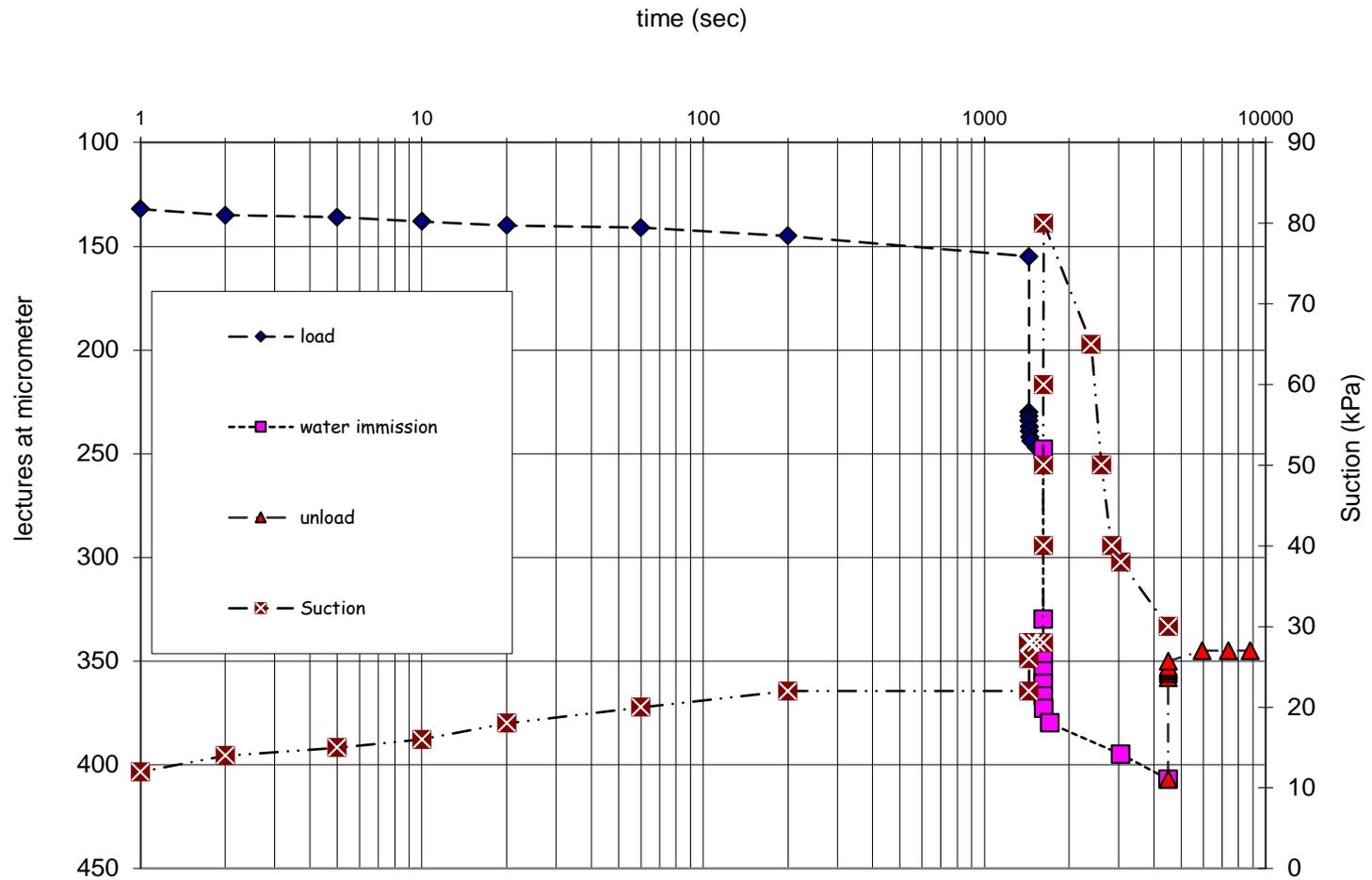
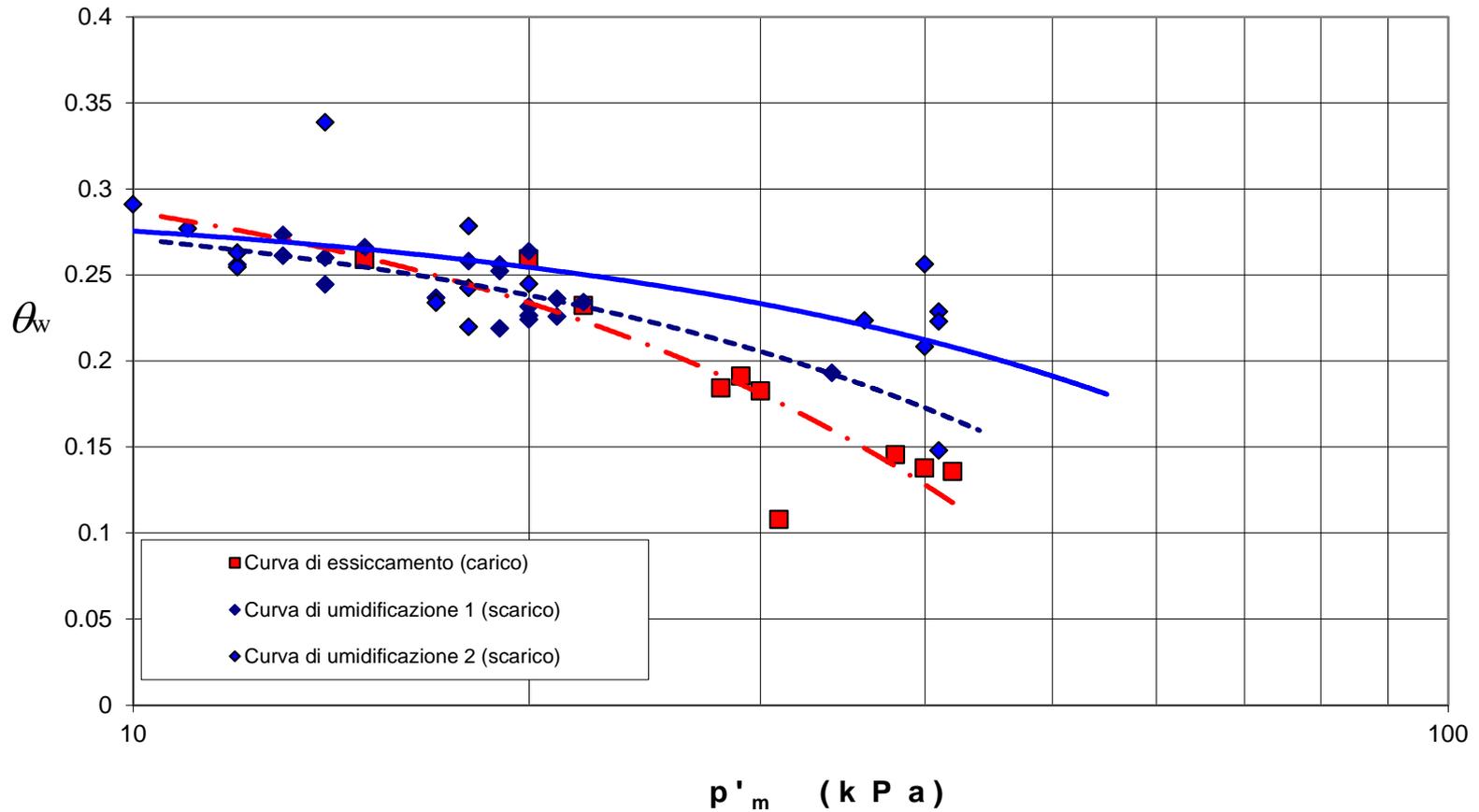
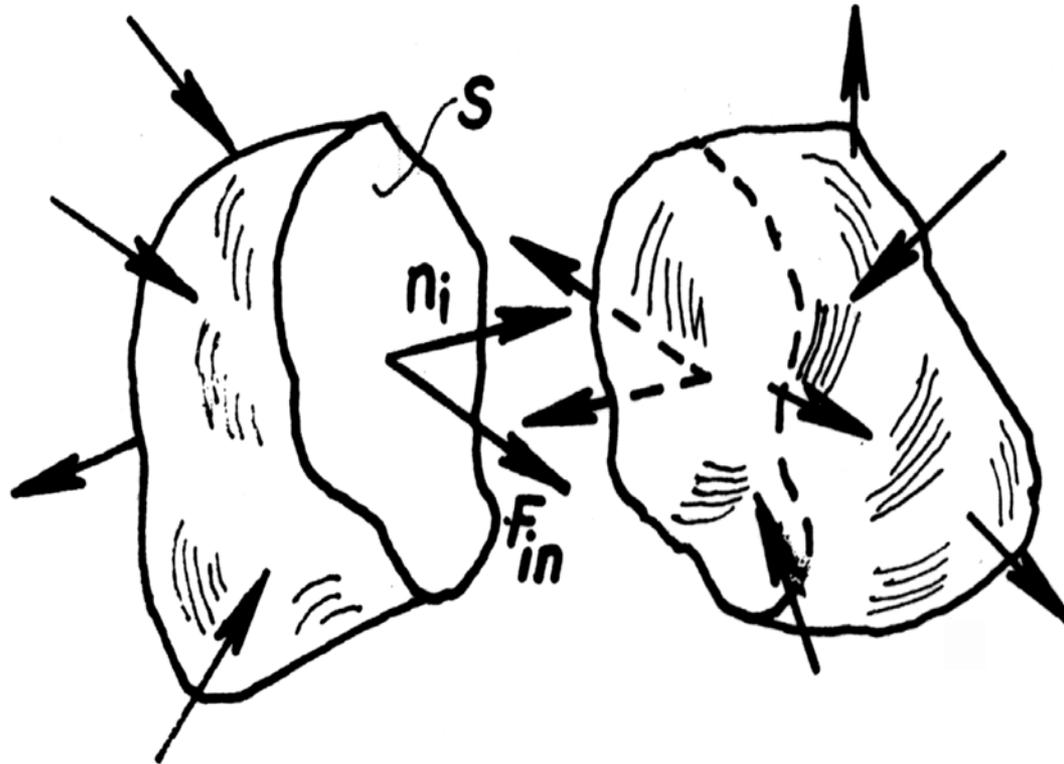


Figura 20 – Cicli stagionali di carico e scarico.

z = 30 cm



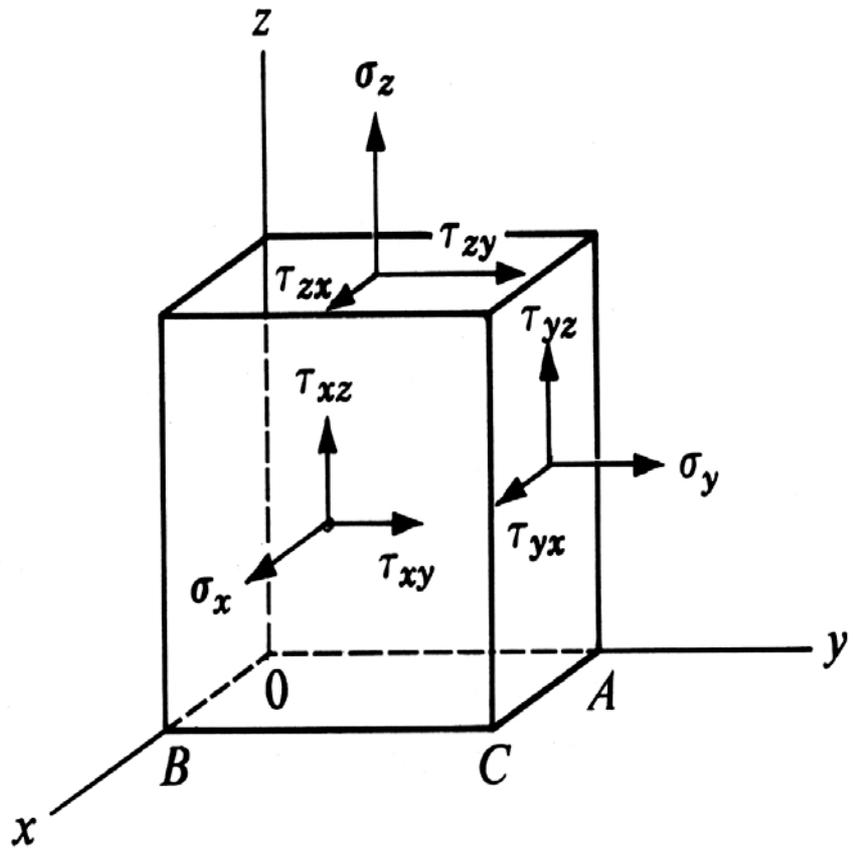
Definizione di tensione normale e tensione di taglio



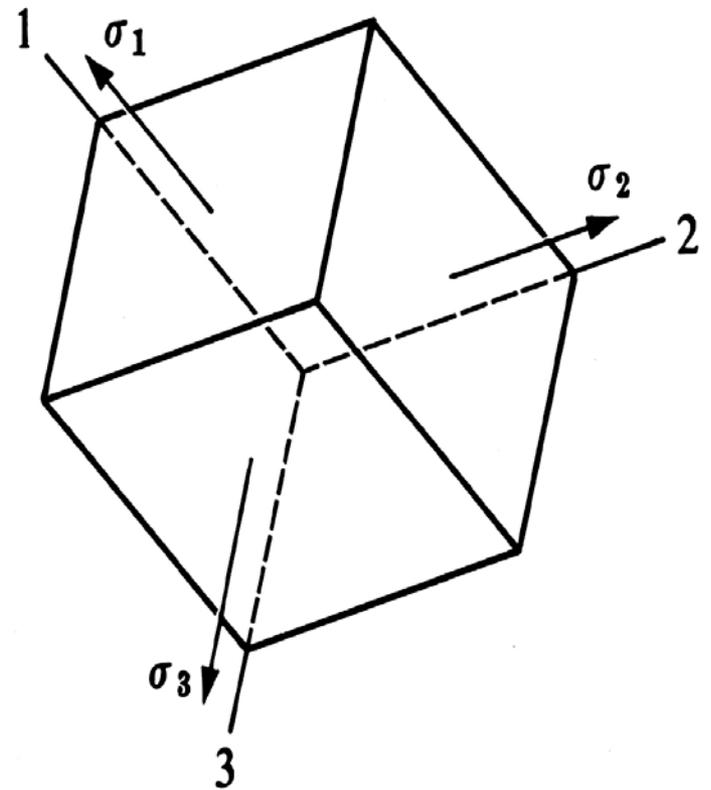
• Figura 21

- Si consideri un corpo continuo in equilibrio, figura 21 soggetto al sistema di forze di superficie indicato in figura, sezionando il corpo per mezzo di una superficie ideale S , le due parti in cui è suddiviso il corpo resteranno in equilibrio se sulla superficie S sono applicate delle forze che rappresentano le azioni che si scambiavano mutuamente le due parti del corpo, prima della separazione. La risultante di queste forze può essere decomposta secondo la direzione normale e la direzione tangenziale alla superficie ottenendo le forze n_{ij} e t_{ij} che rappresentano, rispettivamente, la risultante delle tensioni normali e tangenziali che agiscono lungo la superficie di separazione del corpo. Le forze agenti sulla parte esterna del corpo prendono il nome di forze di superficie per distinguerle dalle forze di massa, dovute essenzialmente al peso proprio del corpo.
- Per quanto detto in precedenza è evidente che in ogni punto di un corpo continuo agisce un sistema di sforzi, o tensioni. Per definire lo stato di sforzo in un punto di un continuo si consideri un elemento di volume nell'intorno del punto, questo può essere rappresentato da un cubo riferito ad un sistema d'assi cartesiani, x , y e z . L'elemento di volume, di lati dx , dy e dz , sarà soggetto al sistema di tensioni indicato nella figura 22.
- Tra tutte le possibili terne d'assi ne esiste una sola per la quale sono nulle le tensioni di taglio, questa prende il nome di terna principale ed i relativi assi prendono il nome di direzioni principali di sforzo, figura 2.4. Le direzioni principali di sforzo sono assi di simmetria, per questo le tensioni tangenziali, che sono emisimmetriche, sono nulle.

Figura 22 – Stato di sforzo in un punto

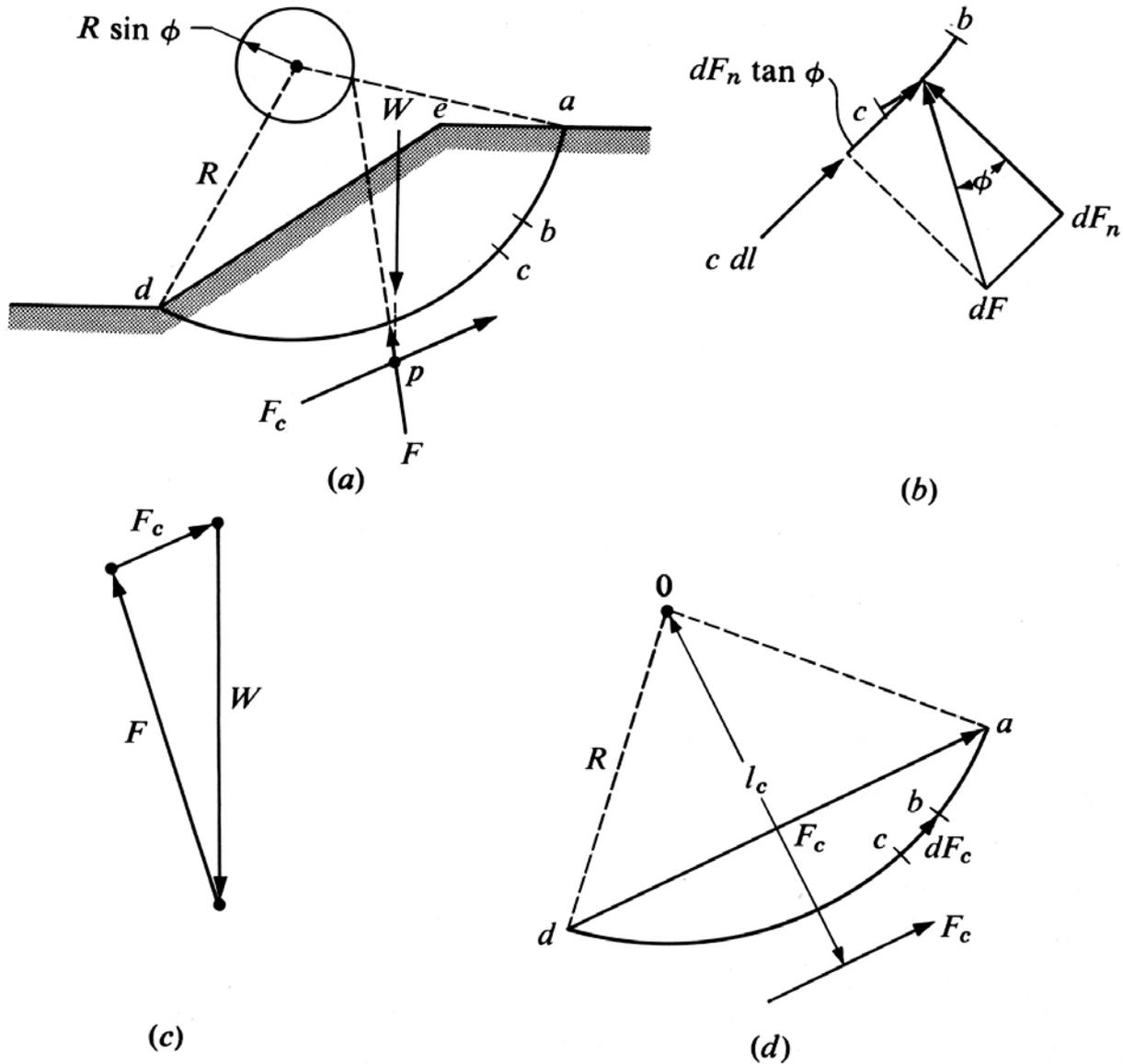


(a)



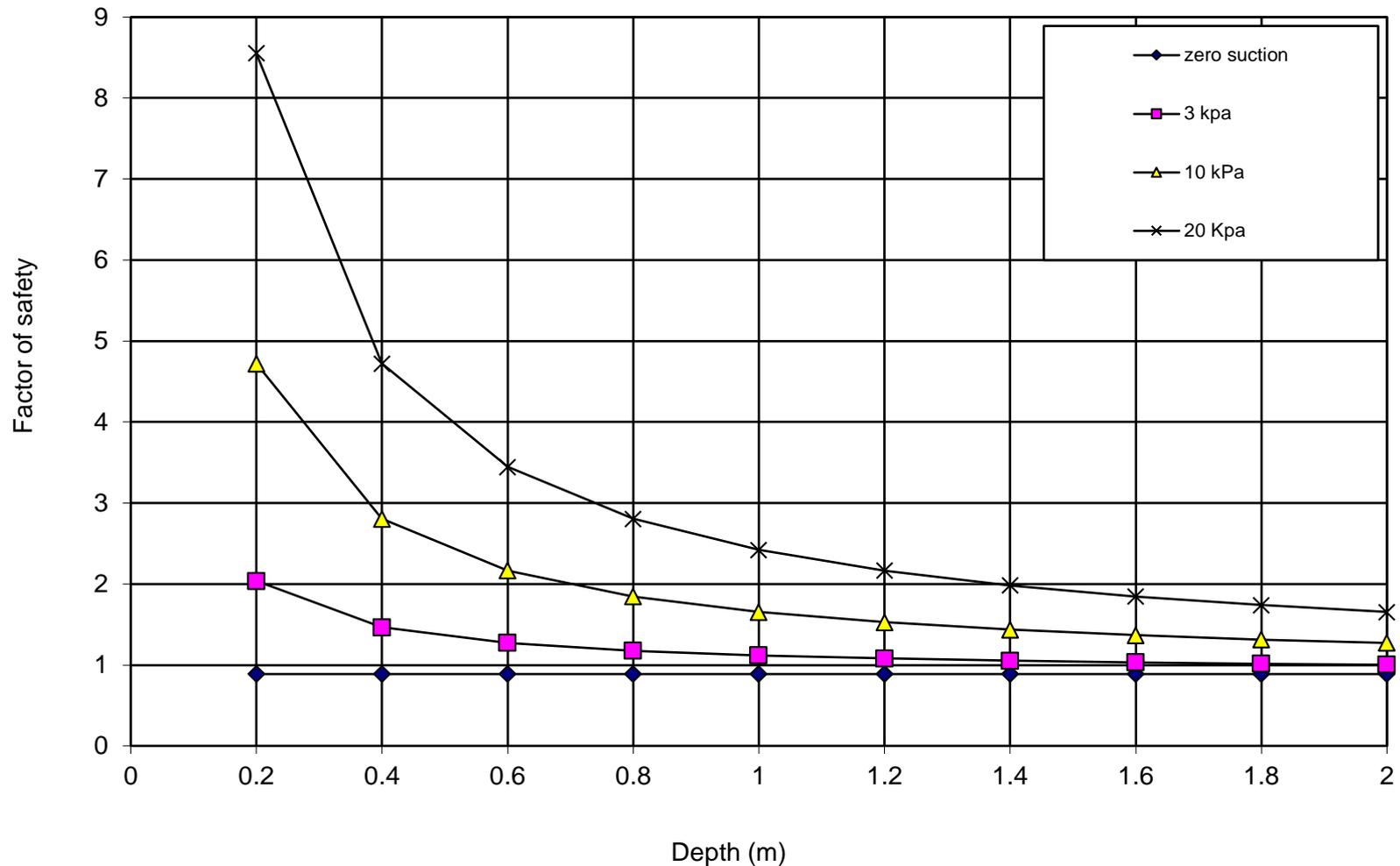
(b)

Figura 23 - Problema di stabilità di un pendio



- Dallo schema della figura 23 si rileva che nei pendii la forza peso ha una componente verticale e una tangenziale, questa viene detta resistenza mobilitata. Il terreno si oppone all'azione di questa forza tangenziale grazie alla resistenza disponibile, pertanto nei problemi di stabilità dei pendii è possibile definire un coefficiente di sicurezza dato proprio dal rapporto tra resistenza disponibile e quella mobilitata, Vale a dire: $FS = \frac{S}{\tau}$
- Nel caso in cui i due termini del rapporto sono uguali il fattore di sicurezza è pari ad uno per cui si dice che il pendio è in condizioni di equilibrio limite.
- La resistenza a taglio di un terreno è ben rappresentata dal criterio di resistenza di Mohr – Coulomb, rappresentato nel piano di Mohr dalla seguente relazione:
- $$\tau = c' + \sigma' \tan \phi' \quad (22)$$
- Da questa relazione si rileva che la resistenza a taglio è funzione della tensione verticale efficace σ' che per quanto detto in precedenza dipende dalla pressione dell'acqua o pressione neutra che, nel caso sia negativa, incrementa la tensione verticale efficace e quindi la resistenza del terreno a parità di ogni altra condizione poiché c' e ϕ' sono caratteristiche del terreno.
- Nella figura 24 è riportata la variazione del fattore di sicurezza di un pendio al variare dello spessore dello strato e del valore della suzione. Da questo diagramma risulta evidente che per bassi spessori e per suzione diversa da zero il fattore di sicurezza è sempre maggiore dell'unità, ciò sta ad indicare stabilità del pendio. Se la suzione si annulla per effetto della pioggia il valore di $FS = 1$ con relativi problemi di stabilità.

Figura 24 – Variazione del fattore di sicurezza al variare della suzione e dello spessore (Fourie; Rowe ; Blight, 1999)

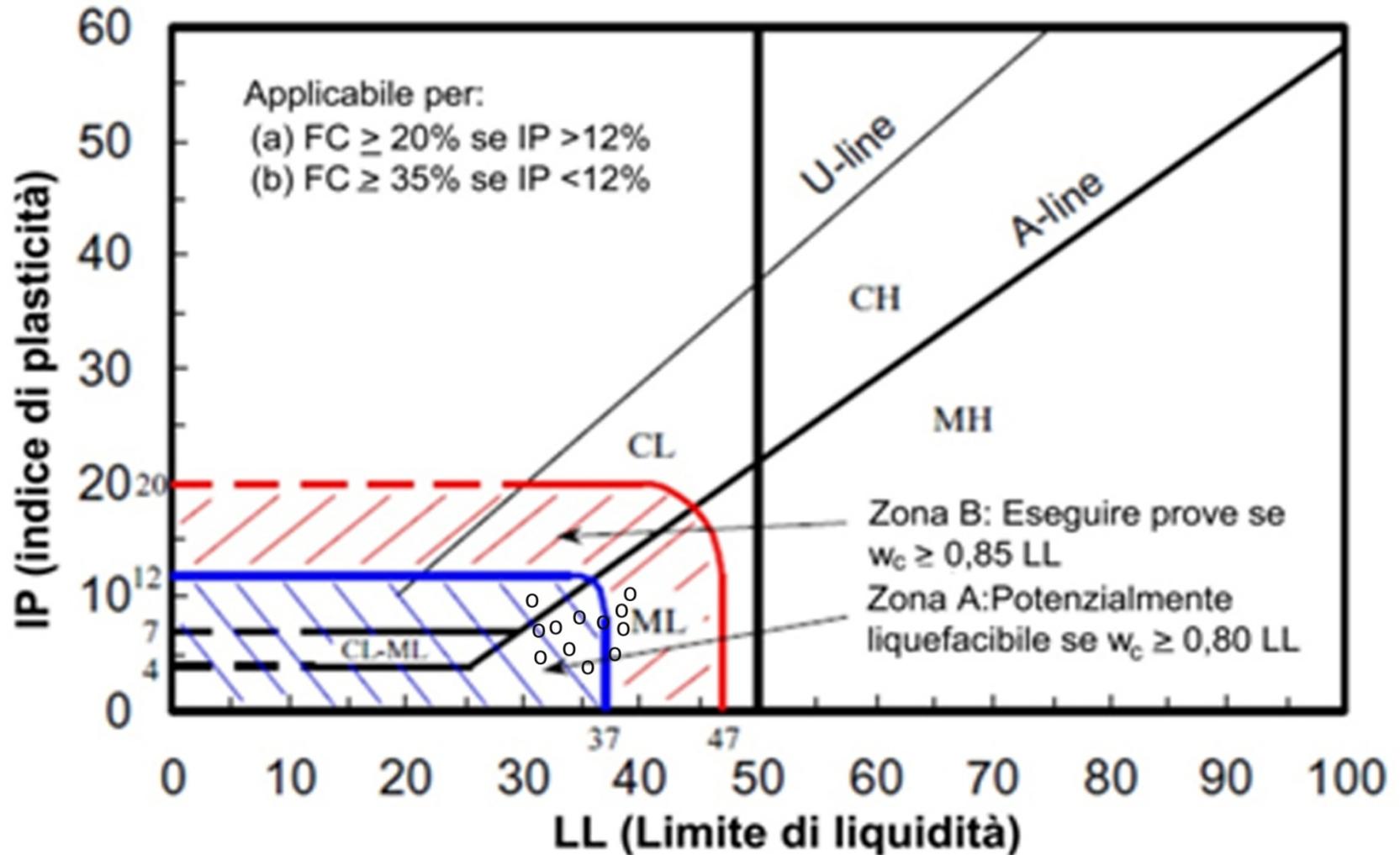


Liquefazione del terreno

- La liquefazione del terreno è un problema che si è posto dopo il terremoto di Niigata in Giappone nel 1964 e di Kobe nel 1995, questi eventi hanno mostrato il significato e la vastità dei danni causati dalla liquefazione del terreno. Questo fenomeno è uno dei maggiori problemi nella progettazione di grandi strutture in sabbia come i depositi dei residui di miniera e le dighe di terra.
- Diversi fenomeni sono descritti come liquefazione del terreno, sono, quindi, riportati di seguito una serie di definizioni per aiutare a comprendere il fenomeno.
- Liquefazione da flusso.
Si applica solo ai terreni la cui resistenza a taglio decresce al crescere della deformazione, terreno rammollente (i.e. suscettibili di perdita di resistenza);
- Richiede una risposta di comportamento rammollente quando i terreni sono caricati in condizioni non drenate essendo sottoposti a tensioni di taglio ed efficace pressappoco costanti;
- Richiede che le tensioni di taglio in sito siano maggiori della resistenza residua o della minima resistenza a taglio non drenata;
- Entrambi i carichi monotoni o ciclici possono innescare la liquefazione da flusso;
- Perché si abbia la rottura di strutture in terra, come le scarpate, un sufficiente volume di materiale deve subire il fenomeno di rammollimento. La rottura risultante può essere uno scivolamento o un flusso a seconda del tipo di materiale e della geometria del sottosuolo;
- Può verificarsi in ogni terreno metastabile saturo, o prossimo alla saturazione, come un deposito di materiale granulare fino molto sciolto, argilla molto sensitiva, e depositi di loess (limo).

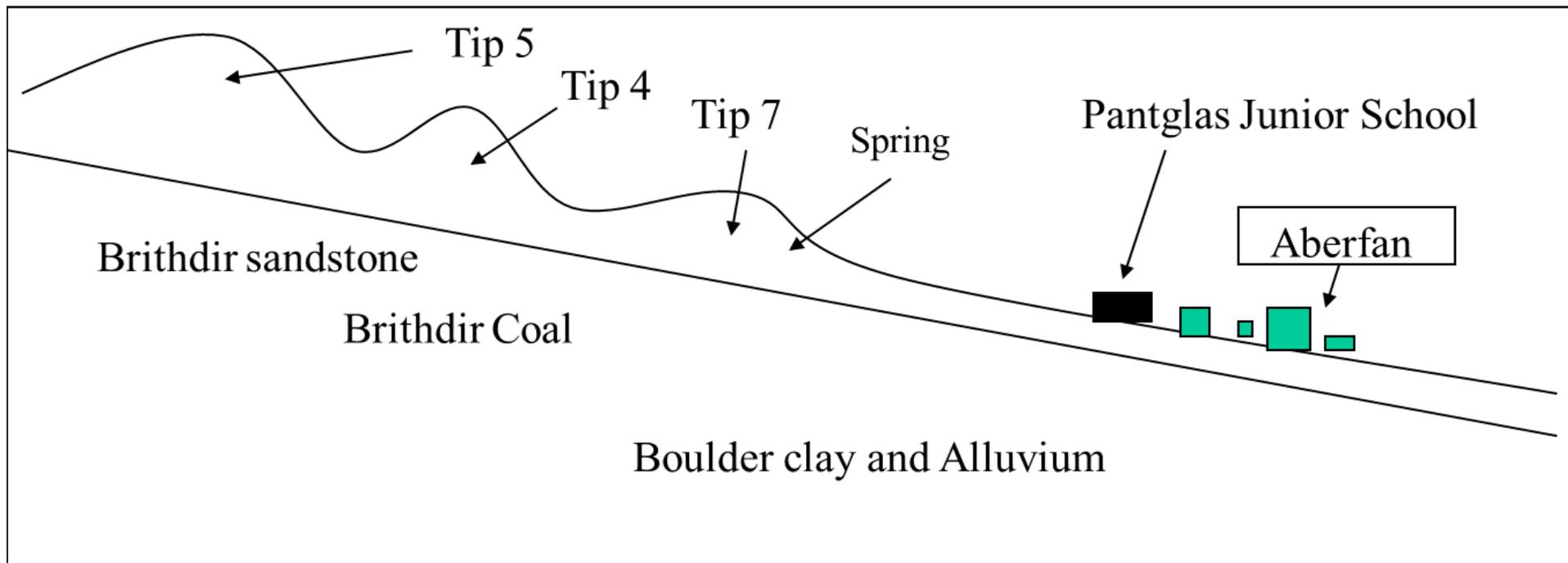
- Se il terreno ha un comportamento rammollente, cioè può subire una perdita di resistenza, il flusso da liquefazione è possibile se nel terreno s'innesci un fenomeno di collasso e se la tensione di taglio dovuta alla gravità è maggiore della minima resistenza a taglio non drenata, l'innescio può essere monotonico o ciclico. Un pendio o una struttura in terra possono andare a rottura o franare in dipendenza dell'ammontare del rammollimento riferita all'incrudimento del terreno all'interno della struttura, della fragilità del terreno rammollito e della geometria del sottosuolo. La deformazione risultante della struttura in terra che sia tanto rammollente quanto incrudente dipende da numerosi fattori, quali: distribuzione del terreno, geometria del sottosuolo, ammontare e tipo del fenomeno d'innescio, dalla fragilità del terreno che ha subito il rammollimento e dalle condizioni di drenaggio. Esempi di rotture per liquefazione da flusso sono la frana Aberfan (Bishop, 1973), frana sottomarina Zealand (Koppejan et al., 1948), ed il rilevato dei residui di cava di Stava (Italia).
- In generale le rotture per liquefazione da flusso non sono molto comuni ma quando avvengono, si mobilitano con grande rapidità con preavviso molto ridotto, questi fenomeni sono, quindi, generalmente catastrofici, pertanto la progettazione, per evitare che avvengano questi fenomeni, deve essere condotta con grande cautela.
- In tempi recenti Seed ed Ali hanno presentato una carta di plasticità modificata in base alla quale è possibile stabilire se si ha o meno liquefazione da flusso, nella figura 25 sono riportati i punti rappresentativi delle piroclastiti dei Camaldoli si rileva come tutti i punti indichino un pericolo reale di liquefazione da flusso. La perdita di resistenza dei terreni piroclastici è dovuta alla diminuzione della suzione, o al suo annullamento, in seguito all'infiltrazione di acqua piovana, come è avvenuto il 5 e 6 maggio 1998 a Pizzo d'Alvano.

Figura 25 – Diagramma di Seed con i punti rappresentativi dei Camaldoli (NA)



Disastro di Aberfan

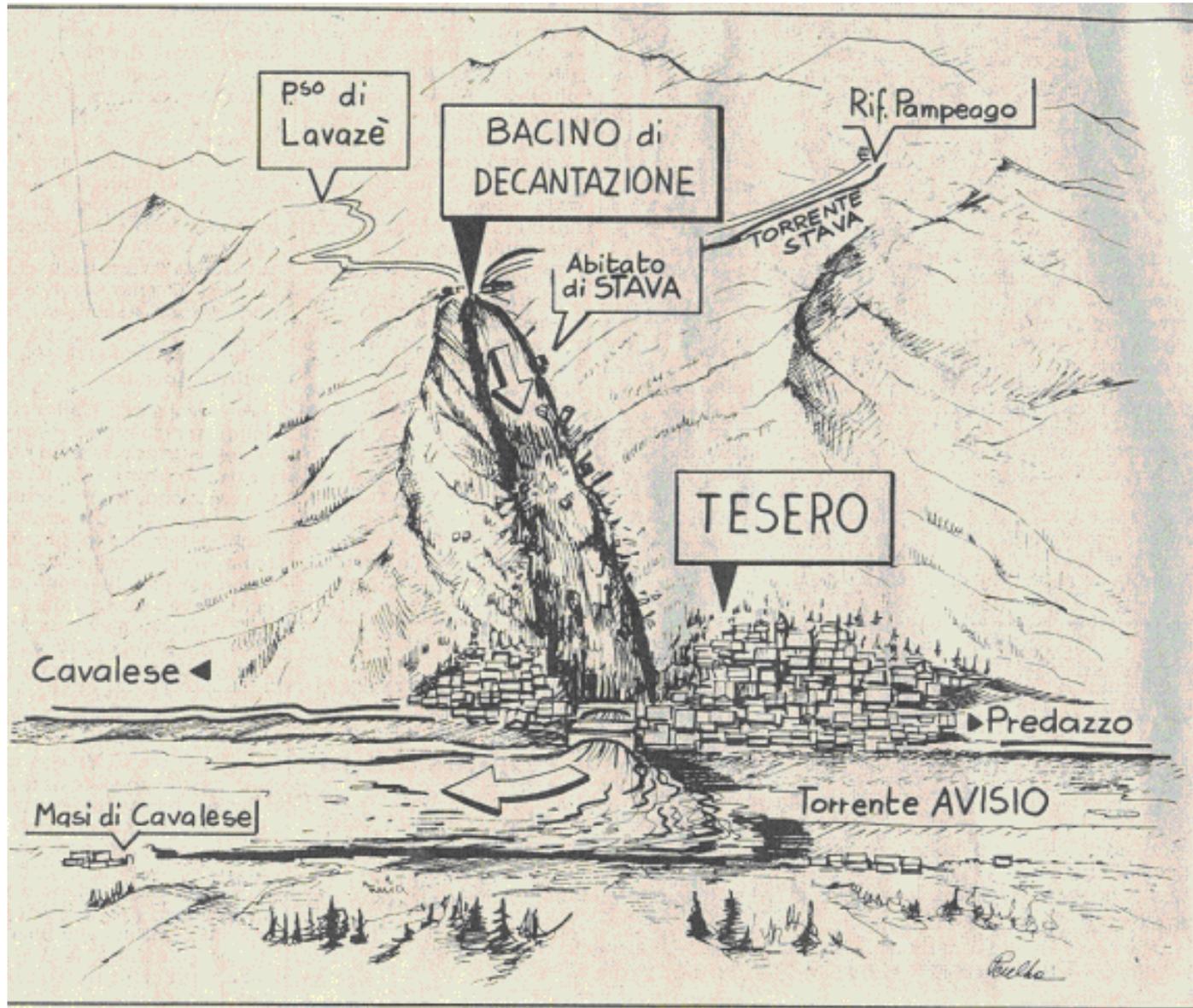
- La frana di Aberfan si è verificata il 21 ottobre del 1966. Il 21 ottobre 1966 una frana che coinvolse un cumulo di scorie della miniera di carbone di Aberfan nel sud del Galles ha ucciso 147 persone, 116 di questi erano bambini della scuola elementare Pantglas. Aberfan si trova sulle rive del fiume Taff e è dominato dalle cime del Merthyr Vale Colliery. La frana ha coinvolto oltre 100,000m³ dei rifiuti di miniera che viaggiarono con una velocità di circa 30 km / h. Frane precedenti si erano verificate in prossimità ma il National Coal Board aveva creduto che la velocità di movimento fosse abbastanza lento per permettere di dare un allarme. Tuttavia, il cumulo numero 7 si trovava sopra una sorgente. Infiltrazioni d'acqua attraverso l'arenaria emerse come una sorgente nella parte inferiore del cumulo. L'acqua passando attraverso il materiale di risulta ne ha rimosso dell'argilla fine aumentando così la sua pendenza.



- Erano 09:15 e la scuola aveva appena finito le preghiere del mattino, quando milioni di tonnellate di rifiuti di carbone, roccia e acqua erano scivolati di circa 245 m giù per la montagna di Aberfan. I bambini avrebbero dovuto iniziare la loro settimana di vacanza di metà semestre a mezzogiorno. Ma molti bambini non hanno mai raggiunto la scuola. La nebbia ha ritardato un autobus carico di 50 senior e junior dal villaggio di Mount Pleasant nelle vicinanze. Alcuni hanno deciso di andare a piedi e sono arrivati abbastanza tardi. Già dal Venerdì mattina c'era stata molto più pioggia nel mese di ottobre nella zona del Galles del Sud, che comprende Aberfan, rispetto a quanto si ottiene in media durante tutto il mese. Più della metà di questa era caduta durante un acquazzone torrenziale due giorni prima.



Frana di Stava





- In Val di Stava sono presenti alcune miniere da cui si estrae galena argentifera e fluorite. Per far decantare il materiale di scarto della miniera venne costruito nel 1961 un bacino di decantazione dove veniva fatto decantare il materiale di scarto della miniera. Nel 1969 fu realizzato un secondo bacino di decantazione, a monte del primo. Complessivamente l'argine dei due bacini era alto 50 m.
- Alle ore 12.20 circa del 19 luglio 1985 cede l'arginatura del bacino superiore delle discariche e il materiale crolla sul bacino inferiore. Anche l'argine di questo secondo bacino crolla e una massa fangosa composta da sabbia, limi ed acqua si riversa a valle ad una velocità di quasi 90 chilometri orari spazzando via persone, alberi, abitazioni e tutto quanto incontra fino a raggiungere la confluenza con il torrente Avisio. Poche fra le persone investite poterono sopravvivere. Dalle discariche fuoriuscirono circa 180 mila metri cubi di materiale ai quali si aggiunsero altri 40-50 mila metri cubi provenienti da processi erosivi, dalla distruzione degli edifici e dallo sradicamento di centinaia di alberi.
- •Lungo il suo percorso la colata di fango provocò la morte di 268 persone, la distruzione completa di 3 alberghi, 53 case d'abitazione e 6 capannoni; 8 ponti furono demoliti e 9 edifici gravemente danneggiati. Uno strato di fango tra 20 e 40 centimetri ricopriva un'area di 435.000 metri quadri circa per una lunghezza di 4,2 chilometri.
- •è il più grave disastro mai verificatosi nel mondo a causa del crollo di discariche al servizio di miniere e rimane a tutt'oggi, con 268 morti e quasi 300 miliardi di danni alle cose, una delle più gravi catastrofi industriali mai verificatesi al mondo, seconda in Italia solo al disastro del Vajont.

L'esame del sismogramma di Cavalese documenta il tempo impiegato dalla colata di fango per percorrere la valle di Stava.

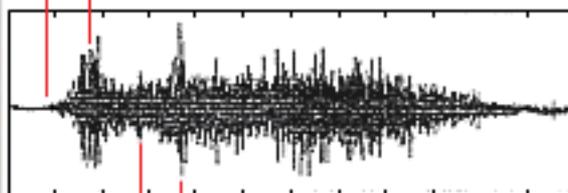


Il crollo inizia alle 12.22.55*ora locale. Una prima fase dura 11 secondi ed una seconda della durata di 19 secondi mostrano che il fenomeno si sta sviluppando.

12.22'55

12.23'45

Dopo altri 26 secondi, vale a dire 50 secondi dopo l'inizio del crollo, si registra l'impatto con l'abitato di Stava. La velocità della frana è di poco superiore ai 25 metri al secondo, pari a 90 Km/h.



12.24'45

Dopo 1'50" dall'inizio del fenomeno la colata raggiunge la periferia nord di Tesero.

12.25'44

A 2'49" si verifica la collisione della massa di fango con il ponte "romano" ed il ponte sulla strada statale. La distanza complessivamente percorsa fino a questo punto è di 3.3 chilometri e la velocità di poco superiore a 23 metri al secondo. La massa fangosa si incanala quindi nella stretta fessura a valle dei ponti di Tesero per raggiungere infine la valle del Avisio

Il percorso complessivo dalle discariche alla confluenza del rio Stava con il torrente Avisio è di circa 4,2 chilometri.

Danni da liquefazione sismica Niigata 1964







