

LA TEORIA E LA PRATICA NELLA GEOTECNICA (*)

FRANCESCO PENTA (**)

SOMMARIO: Premesse alcune considerazioni di carattere teorico sulla Geotecnica in generale, viene riscontrata la importanza della pratica di laboratorio e della esperienza di vita di cantiere per la buona ed economica riuscita delle opere. Viene rilevato come, molto opportunamente, a tali concetti sia stato ispirato il 1° Corso di specializzazione in Geotecnica tenuto nella Facoltà di Ingegneria di Napoli durante il 1954-1955.

Premessa

Signor Presidente, chiarissimi professori, colleghi.

Ringrazio il Prof. Girolamo IPPOLITO ed il Prof. Arrigo CROCE per il gradito incarico di dire qualche parola di merito sulla Geotecnica a chiusura del 1° Corso di specializzazione svolto durante il decorso anno accademico 1954-55.

E' giusto, perciò, che mi rivolga specialmente ai giovani ingegneri, ormai specializzati, per riepilogare con loro alcuni dei concetti generali che essi hanno appreso e per mettere in rilievo il compito che i docenti hanno loro assegnato, iniziandoli, con tanta passione e competenza, nel complesso campo della Scienza e della Tecnica dei terreni sciolti.

Geotecnica in generale e geotecnica dei terreni sciolti

La Geotecnica dei terreni sciolti, parte oltremodo importante della Geotecnica, ha per oggetto i lavori nei e su i terreni sciolti nonché l'impiego nelle costruzioni delle terre e delle rocce sciolte in generale.

Definizione di rocce, terre e terreni sciolti

Premesso che usiamo qui il termine consistenza nel senso di resistenza alla trazione, ricordiamo che per sciolte intendiamo, considerandole nel loro ambiente naturale geografico e geologico, le rocce costituite di frammenti di ogni dimensione prive di consistenza, come per esempio le sabbie, e quelle che perdono ogni consistenza allorquando l'acqua in esse contenuta supera certi limiti; a questa seconda categoria appartengono molte delle argille del linguaggio comune.

(*) Conferenza tenuta il 26 novembre 1955 per la chiusura del 1° Corso di Specializzazione in Geotecnica promosso dalla Cassa per il Mezzogiorno ed affidato al Centro Geotecnico della Fondazione Politecnica del Mezzogiorno presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Napoli.

(**) Prof. Dott. Ing. Francesco PENTA, Direttore dell'Istituto di Geologia Applicata della Università di Roma (Fac. Ingegneria), Direttore del Centro di Studio per la Geologia Tecnica del C.N.R.

TABELLA 1 - *Caratteristiche della parte solida (« del solido ») di un terreno sciolto*

Caratteristiche dei singoli grani e particelle	Natura petrografica, mineralogica, chimica Forma e grado di arrotondamento Superficie: tipo e stato Attività della superficie esterna e intralamellare Proprietà meccaniche (rigidità, compressibilità e fragilità) Grandezza dei grani
Rapporti reciproci fra i grani	Quantità relative (granulometria, diametri effettivi, curve e diagrammi) Uniformità (indice medio di granulometria e grado di disuniformità) Omogeneità.
Caratteri dell'insieme e loro variabilità	Condizioni genetiche Densità Porosità e indici dei pori (indice di addensamento, fattore di flocculazione) Struttura (conformazione, configurazione)
Comportamento rispetto ai fluidi e specialmente rispetto all'acqua.	Permeabilità ($K = \frac{V}{i}$; indice di permeabilità K_0 ; curve di permeabilità) Assorbimento di H ₂ O per capillarità (capacità e altezza di ascesa) Potere di adsorbimento e capacità di scambio basi Igroscopticità Screpolabilità Sgretolabilità e trascinabilità

Si potrebbe dimostrare come, sotto certi aspetti, anche le argille potrebbero riportarsi alla prima categoria (1). Ma non è il caso di sottolineare.

(1) Basta spappolarle in acqua e far evaporare l'acqua stessa mantenendole in continua agitazione.

TABELLA 2 - *Contenuti % di acqua e caratteristiche dei terreni sciolti*

Contenuto di acqua	Caratteristica del complesso
Vedi tabella 3, ove gli stati di consistenza ed i limiti di H ₂ O relativi sono messi in rapporto con lo stato e la funzione di H ₂ O	Stato di consistenza
a) <i>Contenuto normale</i> alla penetrazione di un cono b) <i>Contenuto ottimo</i> dopo costipamento, resistenza alla penetrazione di una bacchetta cilindrica	Grado di addensamento
c) <i>Limite di saturazione</i> , disgregazione per scuotimento d) <i>Umidità critica</i> , brusca variazione nella compressibilità	Grado di coerenza (o coesione)
e) <i>Equivalente di umidità</i> dopo centrifugazione	Adesione dell'acqua e permeabilità
f) <i>Umidità relativa</i> dopo evaporazione g) <i>Umidità di campagna</i> detto anche limite di saturazione che non ha da vedere con quello della lettera c)	Potere di assorbimento di H ₂ O e igroscopicità
h) <i>Umidità relativa</i> , rapporto fra % di H ₂ O e volume % di vuoti; non ha da vedere con quella della lettera f)	Porosità

Conviene assumere, sia pure in prima approssimazione, questa forma di definizione la quale, se dal punto di vista metodologico lascia alquanto a desiderare, è però comoda e sembra anche fra le più spontanee.

Per una più sintetica individuazione del gruppo dei terreni sciolti ci si può riferire alla classica espressione di COULOMB:

$$\tau = c + \sigma \operatorname{tag} \varphi$$

ove i simboli sono gli usuali e dove c , detta coesione, rappresenta la resistenza al taglio quando la pressione normale σ è uguale a zero. Occorre soltanto precisare che, in generale, per i terreni sciolti, sia c , che φ e, sotto certi aspetti, anche σ sono funzioni della quantità relativa d'acqua contenuta nel materiale sciolto nell'istante che si considera. L'influenza di tale contenuto è sempre molto sensibile ed, in alcuni casi, è tale che uno stesso materiale (come, per esempio, una argilla propriamente detta) può partecipare praticamente delle proprietà dei solidi, prima, e di quelle dei liquidi poi, a mano a mano che l'acqua in esso contenuta aumenta da pochi a molti percento.

Complesso solido-liquido

Nei terreni sciolti, in verità, salvo casi particolari, non può considerarsi la parte solida a sé stante, in quanto il comportamento di essi terreni è dovuto tanto alle mutue azioni fra i frammenti solidi ed il liquido, quanto alle caratteristiche intrinseche sia del solido, che del liquido, per le quali rimandiamo alle tabelle 1, 2, 3 e 4 ed al quadro sinottico 1°.

TABELLA 3 - *Caratteristiche dell'acqua e stati di consistenza dei terreni sciolti*

Stato dell'acqua	Azione dell'acqua	Stato di consistenza del complesso	Contenuti limiti (di H ₂ O) di consistenza	Indice di consistenza $\frac{l_f - l_n}{l_f - l_p}$ (1)
Libera (di occlusione, gravitazionale, di falda)	lubrificante	liquido (fluido) in moto o in quiete (dispersoide deflocculato ± stabile)	limite di fluidità (di scorrevolezza, di liquidità, l_f)	0
		liquido denso eventualmente tixotropico		
Capillare	coesiva	attaccaticcio (fluido-plastico)	limite dello stato attaccaticcio	Indice di plasticità $(l_f - l_p)$
		plasticizzante		
Adsorbita (« solidificata »)	coesiva	plastico (formabile)	limite di plasticità (di arrotondabilità, plasmabilità, l_p)	1
		apparente		
		semisolido	limite del ritiro (punto di schiarimento, separazione totale della fase liquida, l_r)	
		solido		

(1) l_n = contenuto di acqua allo stato naturale o generico.

TABELLA 4 - Caratteristiche del complesso

Gruppi di caratteristiche	Caratteristica	Metodi e mezzi di prova di laboratorio
Resistenze meccaniche e deformabilità	Compressibilità sotto carico costante e azione dell'acqua (pressione neutrale e curve isocrone), curve dei cedimenti.	
	Compressibilità sotto carichi variabili, storia del materiale, modulo di elasticità (compressibilità); fattore di compressione o costipamento, rigonfiabilità per scarico o per assunzione di acqua, modulo di rigonfiabilità; fattore di rigonfiabilità.	Edometro, triassiale
	Resistenza al taglio (τ); curve di resistenza, $\tau = f(\sigma)$ tenendo conto della pressione di H ₂ O.	Apparecchio per il taglio
	Coazione (c) (vedi anche coerenza alla tabella 2): coazione vera e coazione apparente.	Apparecchio per la torsione Triassiale
	Attrito interno; angolo d'attrito ϕ .	
	Resistenza «a secco» delle rocce sciolte coerenti	Comuni presse per la determinazione della resistenza a compressione cubica
	Resistenza alla penetrazione (vedi anche addensamento).	Cono svedese, danese, sonda Proctor
	Durezza	Comuni metodi
Gelività (rigonfiabilità e disgregabilità per effetto del gelo).	Alternanze di gelate e controlli degli effetti sul grado di coazione	
Stati di consistenza	Vedi tabella 3.	Prove unificate con cucchiaina Casagrande, cilindretti, ecc.
Stati di addensamento	Vedi tabella 2.	Coni, sonda Proctor, determinazione del p.sp., misura del grado di compressibilità e dell'indice dei pori
Permeabilità, porosità, igroscopicità	Vedi tabella 1 e 2.	Per la permeabilità delle rocce argillose, misure indirette con l'edometro

10) Quadro sinottico delle caratteristiche tecniche dei terreni (lapidei e sciolti).

Caratteristiche estrinseche	geografiche e locali	clima morfologia della superficie esistenza ed ubicazione di altri manufatti, impianti, corsi e bacini di acqua, ecc.
	geologiche	forma, dimensioni e giacitura dei corpi geologici interessati dal lavoro stratigrafia e tettonica grado di continuità esistenza di vuoti naturali o artificiali profondità del lavoro in genere acque sotterranee (posizione, natura, stato di moto)
Caratteristiche intrinseche	fondamentali (costituzione petrografica)	composizione mineralogica tessitura e struttura stato di aggregazione e tipo di legame ordine di formazione dei costituenti
	dipendenti (fisiche e chimiche, comprese le proprietà tecniche)	meccaniche fisico-chimiche chimiche comportamento rispetto all'acqua

Caratteristiche delle parti costituenti il complesso

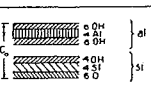

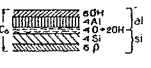
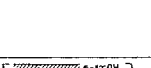






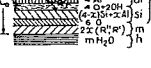
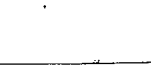
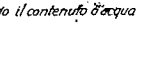
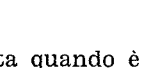
Se il terreno sciolto va considerato nel suo complesso, talora inscindibile, solido-liquido, il complesso stesso non può dirsi conosciuto, dunque, se non sono note preventivamente le proprietà del solido, da una parte, e quelle del liquido dall'altra.

Altrimenti le azioni reciproche e quindi le caratteristiche meccaniche del complesso resterebbero imprevedibili o anche inspiegabili.

Basti ricordare che un'argilla, propriamente detta (1), finemente polverizzata, immersa in alcuni liquidi, diventa «granulosa» e non presenta più il compor-

(1) Costituita totalmente o parzialmente da minerali silicatici, da idrofillosilicati, cioè, di uno o più dei gruppi della caolinite, montmorillonite, illite e simili.

TABELLA 5

TABELLA DE:		
a) ordinati secondo il numero crescente degli strati costituenti il pacchetto reticolare		
Nome	Composiz. chimica	Struttura reticolare
Allofane (Allofanite, carolothone, emolite, humite, pite, pectolite, palcanite, strogolite, thombergite, egerubimark, elvite, ericite, ferriallofane, melinite, omelite, procatolite, rimpornite, schroterite, umbra, viterbite, wulfsbergite)	$x Al_2O_3 \cdot y SiO_2 \cdot z H_2O$ x, y, z , molto variabili	amorfo
Halloysite (Varela: galapagite, glaucerite, gummito, (halusite, pitrite), indianite, lenzite, miziumite, nungite, pectolite, seveite, titi americani di revere hanno adottato il termine di endellite per indicare il halloysite)	$Al_2(OH)_2Si_4O_6(OH)_2$	
Methalloysite (Gi americani la chiamano Halloysite)		
Dickite	$Al_2(OH)_2Si_4O_6$	
Nacrite		
Caolinite (varietà: alutite, carnate, clayite, lithomarge, skinmark, luesite)		
Falerite	$Al_2(OH)_2(Si_4-xAl_x)O_6$ (x da 0 a 0,1)	
Anauxite (Varela: ionite)	$Al_2 \cdot x(OH)_2 \cdot 3x Si_4O_6$ (x da 0 a 0,4)	
Pirofillite (1) (Varela: agalmatolite, bisharite, pectolite, pagodite, pectauxite, rectorite, wulfsbergite)	$Al_2(OH)_2/Si_4O_6$	
Illite (Varela: argilla micacea, minerale simile a sericite, idramica)	$K_x(Al, \frac{1}{2}Mg)_2(OH)_2(Si_{4-x}Al_x)O_{10}$ ($x < 4$)	
Muscovite (Sericite) (1) (logopite, celadonite, parite, frigantolite, gieschite, liebererite, d'aintrite, parafite, ruitte, wilsonite, arkinitte, glaucocite, imorjakite, stilpnomelani)	$K_xAl_2(OH)_2/Si_4O_6$	
Montmorillonite (Varela: amargosite, confalonite, decaonite, d'aboujanite, emmitte, landerite, nectonite, olgite, ruzumovskite, smectite, steylith, strogolite, stoberite)	$(\frac{1}{2}R_1, R_2)_2x(Al, \frac{1}{2}Mg, Fe)_2(OH)_2/Si_{4-x}Al_xO_{10} \cdot nH_2O$ (x da 0 a 1)	
Beidellite (Varela: crombeidellite, ferrobaidellite)	come la montmorillonite con x da 1 a 4	
Nontronite (Varela: cloropale, cromonontronite, taratuvite, friboll, grammitte, heterite, morskite, mullerite, purgerite, stilpnodoran)	come la montmorillonite con x da 1 a 4 con $Fe > Al$	
Saponiti (Varela: bowlingite, cathkinite, kerolite, parfine, thulite)	come la montmorillonite con $Mg > Al$ (termini intermedi fra talco e biotite)	

1) Non è un minerale argilloso

secondo il contenuto d'acqua

tamento tipico che essa invece manifesta quando è a contatto con l'acqua. D'altra parte, immerso in acqua un materiale, sia pure ultrafinemente polverizzato, ma che non risponda a certi requisiti mineralogici, non rivela le doti (di plasticità, elevata impermeabilità, coesione a secco, ecc.) manifestate dai materiali argillosi propriamente detti (che rispondono invece a quei requisiti), anche quando essi non siano stati spinti ad un elevato grado di polverizzazione.

Per questi minerali argillosi detti anche siallitici rimandiamo alla tabella 5. Per una idea schematica sulla tessitura e sulle proprietà delle argille possono essere utili la figura 1 e le tabelle 6 e 7.

Azioni reciproche

Col variare della natura del costituente solido variano fortemente i tipi di legami fra le particelle solide e l'acqua; così, per esempio, è ben diversa l'azione

MINERALI SIALLITICI			
b) con struttura reticolare non ancora ben determinata			
Nome	Composiz. chimica	Struttura reticolare	
Sepiolite: sec. Langchambon	$Si_4O_{11}(Mg_{2x}, H_{2x})H_2O \cdot 7H_2O$	$a_0 = 23,2 \text{ \AA}$ $b_0 = 13,7 - \beta \cdot 90,9$ $c_0 = 5,32 \cdot Z \cdot 4$	Inosilicato tipo <i>arnésenite</i>
sec. Strunz	$Mg_3[(H_2O)_3/Si_4O_{11}]H_2O$		id. id. cristallo
sec. de Lapparent	$(OH)_2Mg_2H_2Si_3H_4O_{10}$	$c_0 = 10 \text{ \AA}$	Filosilicato tipo micacea
Attapulgite: sec. Strunz	$Mg_{2\frac{1}{2}}H[(H_2O)_3/Si_4O_{11}]H_2O$	$a_0 = 13,7 \text{ \AA}$ $b_0 = 12,9 \text{ \AA}$ $b_0 = 16 \text{ \AA}$ $c_0 = 5,2 \cdot Z \cdot 2$	Inosilicato tipo cristallo
sec. de Lapparent	$(OH)_2H_2(Mg, Al_2)Si_3H_4O_{10}$ con H sostituito in piccola parte da K	$c_0 = 10,2 \text{ \AA}$	come la sepiolite
Bravaisite: id. id.	$(66SiO_2 \cdot 2Al_2O_3 \cdot 2MgO \cdot 2K_2O \cdot 24H_2O)$	$c_0 = 10 \text{ \AA}$	Filosilicato tipo micacea
α Palygorskite o Lussite: sec. Jeremann	Miscela di una molecola montmorillonitica e di due molecole sepiolitiche		
α Pilolite: id.	id. id. due id. id.	id. id. una id. id.	id. id.
β Pilolite: id.	id. tre id. id.	id. id. id. id.	id. id.
Xilofiti: id.	id. di mol. montmorillonitica, di mol. sepiolitica e di mol. nontronitica		
β Palygorskite: id.	id. di una molecola montmorillonitica e di una molecola sepiolitica		
sec. Strunz	$[Mg(Al, Fe)_2(OH)_2(H_2O)_2/Si_4O_{11}]H_2O$	$a_0 = 2 \text{ \AA}$ $b_0 = 21,6 \text{ \AA}$ $c_0 = 5,2 \cdot 5,3$	Inosilicato tipo cristallo
Batchelorite:	$Al_2(OH)_2/Si_4O_6 \cdot nH_2O$		Tipo halloysite (?)
Canbyite:	$Fe_2[(OH)_2/Si_4O_6] \cdot nH_2O$		id. id. o hisingerite
Collinite (dilwite, scabbroite):	$\alpha Al_2O_3 \cdot y Si_2O_5 \cdot z H_2O$ $y: x = 0,5 \pm 1,0$ $z: x = 4 \pm 6$		id. id. o allofane o caolinite
Elbrussite:	Silicato idrato di Al, Fe, Fe ^{III} , Mg		(?)
Gumbelite:	$\alpha Al_2O_3 \cdot y Si_2O_5 \cdot z H_2O$ $y: x = 2,5 \pm 0,5$ $z: x = 1,5$		Tipo pirofillite o auxite
Grenalite:	$Fe^II Fe^III(OH)_2/Si_4O_6 \cdot z H_2O$	$a_0 = 14,9 \text{ \AA}$ $b_0 = 18,6 \text{ \AA}$ $c_0 = 5,10 \cdot Z \cdot 2$	Inosilicato tipo cristallo
Hisingerite (degeroite):	Silicato idrato ferrico		Amorfo o nontronite
Kockite:	$2Al_2O_3 \cdot 3Si_2O_5 \cdot 5H_2O$		Tipo caolinite o struttura propria
Iddingsite (traversite, oroseite):	$MgO \cdot Fe_2O_3 \cdot 3Si_2O_5 \cdot 4H_2O$		(?)
Leverrierite:	$Al_2O_3 \cdot 3Si_2O_5 \cdot (H_2K)_2O$		Caolinite o concorrente di caolinite e muscovite o specie minerale a se'
Malthacite:	$\alpha Al_2O_3 \cdot y Si_2O_5 \cdot z H_2O$ $y: x = 4,3 \pm 0,9$ $z: x = 1,9$		Miscela di minerali tipo montmorillonite
Melaacolino:	$Al_2 Si_2 O_9$		(?)
Miloschite:	$(Al Cr)_2O_3 \cdot 2Si_2O_5 \cdot 2H_2O$		(?)
Newtonite:	Silicato idrato di Al		Miscela di caolinite e halloysite
Rectorite:	$\alpha Al_2O_3 \cdot y Si_2O_5 \cdot z H_2O$ $y: x = 2 \pm 2,2$ $z: x = 1 \pm 1,2$		Caolinite, auxite e miscela
Tachizolite:	Silicato idrato di Al		Tipo caolinite
Talcosite:	$Al_2O_3 \cdot 2Si_2O_5 \cdot 0,5H_2O$		Caolinite o miscela
Termierite:	$Al_2O_3 \cdot 6Si_2O_5 \cdot 2,5H_2O$		Miscela di minerali tipo montmorillonite

superficiale dell'acqua su un grano, diciamo così, « inerte », sia pure più o meno vacuolare, e quella su e dentro una scaglia di minerale argilloso propriamente detto.

Come pure è differente la forza che la superficie esterna di un grano « inerte » esercita sul velo d'acqua che lo bagna e quella di una lamella argillosa sull'acqua che, con legame dipolare, s'è fissata anche sulle superfici interne, interlamellari, del pacchetto di strati reticolari della lamella stessa.

Di conseguenza, per esempio, è tutto affatto diverso il grado di compressibilità del sistema nei due casi distinti: nel primo caso la compressibilità è effetto del ravvicinarsi delle particelle stesse dopo espulsione dell'acqua interstiziale; nel secondo caso è anche il cristallo singolo del minerale argilloso che si comprime, se l'acqua adsorbita interlamellare trova modo di vincere il legame dipolare e di filtrare, poi, fra le particelle, addensate, intanto, in un complesso estremamente poco permeabile.

Interazioni fra solido e liquido col variare della grossezza degli interstizi e col variare della struttura reticolare dei costituenti le singole particelle solide

Si supponga che gli interstizi fra i singoli grani di un materiale sciolto vadano decrescendo; nell'acqua che li attraversa l'influenza delle forze ritardatrici, dovute alle azioni reciproche (solido-liquido), aumenta fino al punto che l'azione di superficie diventa predominante. Decisiva, in modo da trasformare completamente l'essenza dello spostamento stesso, diventa tale azione, quando l'acqua impegna anche gli spazi interlamellari dei reticoli cristallini dei minerali argillosi (vedi fig. 2).

Stato di moto o di quiete dell'acqua contenuta nei terreni sciolti

Quanto s'è detto apre la via alla comprensione della differenza di comportamento dei materiali, intesi sempre come complessi solido-liquido, a seconda che

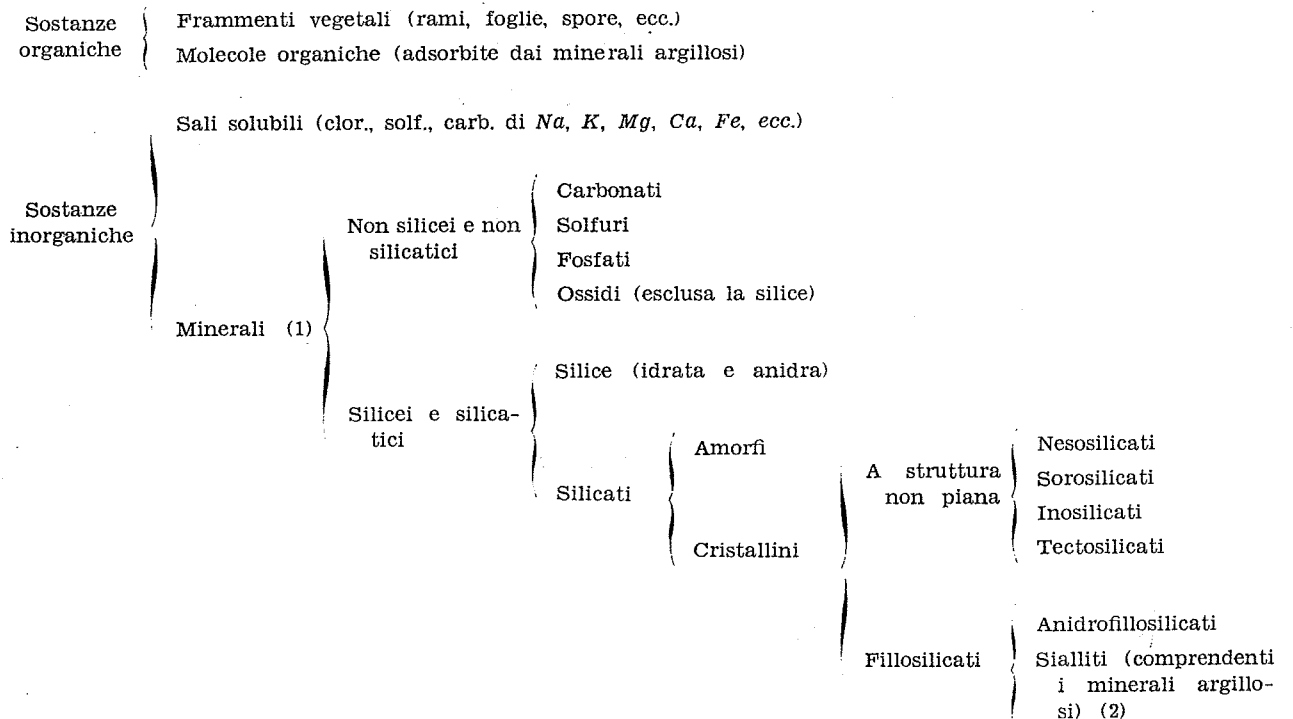
l'acqua sia in quiete o sia in stato di moto o di tendenza al moto. Moto che può nascere per cause esterne efficienti sulla sola acqua o anche e soltanto per l'azione che esercita il solido sul liquido qualora il complesso tutto venga compresso o comunque sollecitato da forze esterne.

Manifestazioni dell'azione dell'acqua in moto sul solido, ancora più evidenti, sono, per es., il potere di trascinamento delle acque filtranti, l'erosione con ablazione operate dalle acque esterne che, nel loro defluire, lambiscono materiali sciolti.

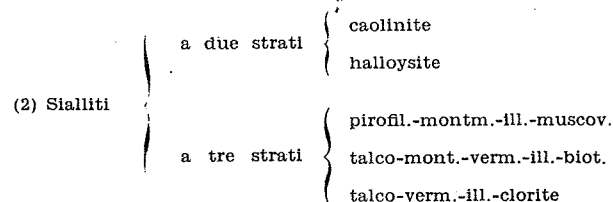
Compito della geotecnica relativamente ad un terreno sciolto considerato a sè stante

Uno scopo della geotecnica è, pertanto, quello di predisporre delle teorie ispirate da materiali ideali, che siano però equivalenti ai relativi tipi di complessi reali; nella pratica sarà adottata l'una o l'altra di queste teorie o anche la teoria unica generale il cui adattamento ai casi reali si effettua agendo opportunamente sui parametri.

TABELLA 6 - Componenti delle argille (secondo U. VENTRIGLIA, 1954)



(1) Compresi i frammenti di rocce micro e criptocristalline.



Ma da quanto si è ricordato si deducono le difficoltà di concepire e perfezionare modelli ideali nei quali si sia tenuto conto di tutti i diversi fattori che allontanano il complesso del terreno sciolto dallo schema ideale del mezzo omogeneo, continuo ed isotropo cui, per le note ragioni, si deve sempre ricorrere. In ogni caso, chi applica deve essere in grado di

questa ultima le azioni mutue fra solido e liquido talvolta non riuscirebbero sufficientemente chiarite o soddisfacentemente spiegate.

Nè, d'altra parte, riesce sempre agevole definire esaurientemente volta per volta i singoli materiali in modo, cioè, da poterli ricondurre a materiali a comportamento già noto o a modelli veramente equi-

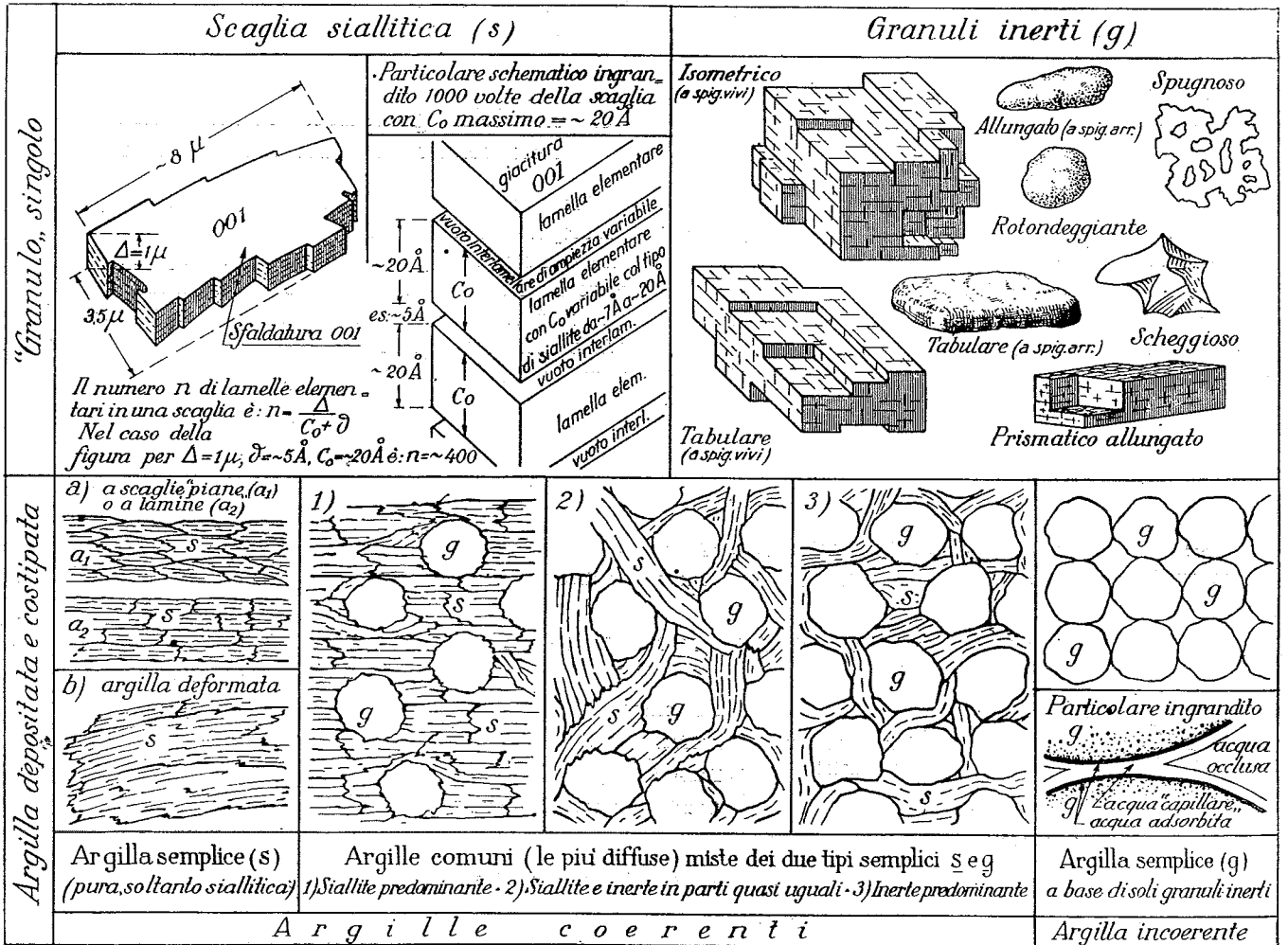


Fig. 1 - Modello schematico della tessitura di una argilla generica - (v. Tab. 7).

valutare volta per volta il grado di avvicinamento del mezzo con cui o su cui opera al mezzo ideale per il quale valgono le trattazioni analitiche della Meccanica che sfociano nelle formule risolutive indispensabili per le previsioni ed i proporzionamenti.

Perciò l'esecutore anche in questo campo della Tecnica deve conoscere le premesse teoriche delle formule risolutive che assume nei suoi calcoli e nelle sue progettazioni in genere.

A questo scopo ed anche perchè i giovani tecnici possano ulteriormente sviluppare e perfezionare le teorie illustrate durante il Corso, sono stati richiamati ed ulteriormente ampliati e perfezionati i concetti generali e particolari di *Meccanica dei solidi e dei liquidi*, nonchè di *Chimica-fisica*; senza l'ausilio di

valenti per poi applicare a quelli le nozioni acquisite o valide per questi.

Non poche volte la disuniformità del materiale in esame crea il problema di stabilire il numero dei campioni da prelevare ed i criteri da assumere per la scelta dei campioni stessi; nè è raro il caso in cui la disparità dei risultati di prove ed indagini eseguite su un dato materiale lascia perplesso chi deve convincersi di aver indagato sufficientemente, di non essere, cioè, molto lontano dal vero o, comunque, chi deve conoscere l'entità degli errori commessi. I criteri e gli indirizzi per superare anche queste non indifferenti difficoltà sono stati perciò opportunamente considerati e, quindi, illustrati con apposite lezioni sui controlli probabilistici.

TABELLA 7 - Costituzione e proprietà delle argille «semplici»

(v. fig. 1)

(Le argille comuni sono miscugli dei due tipi «semplici»; le loro caratteristiche si manifestano specialmente in acqua).

Tipo di argilla «semplice» Proprietà	Argille coerenti (tipo <i>s</i> della figura) costituite esclusivamente (o quasi) da uno o più minerali <i>siallitici</i> (senza o quasi senza inerti): <i>terre ed argille pregiate</i> (caolini, terre caolinari, bentoniti, ecc.).	Argille incoerenti (tipo <i>g</i> della figura) prive (o quasi) di minerali <i>siallitici</i> , a base di soli granuli <i>inerti</i> : rocce sciolte a grana pelitica, argille solo dal punto di vista granulometrico. Ricadono qui anche alcune «sabbie bollenti», ceneri vulcaniche, cineriti, «argille di frizione», ecc.
Granulometria	Grana predominante iniziale di pochi micron (μ). A causa della forma e della capacità di adsorbire acqua (rigonfiando) le <i>scaglie</i> possono restare in sospensione per tempi molto lunghi.	Grani singoli di dimensione massima 1 o 2 μ . Nella levigazione la formula di Stokes è tanto più rispondente quanto più il granulo è rotondeggiante e la massa del granulo è «compatta».
Caratteristiche del singolo grano e variabilità delle dimensioni	Scaglie deformabili (flessibili, rigonfiabili) suddivisibili (secondo 001) anche per semplice contatto con acqua idonea; con dati caratteri dell'acqua le lamelle possono anche riattaccarsi lungo le superfici (001) piane o incurvate; la saldatura, di regola effimera, può dar luogo a consistenza anche sensibile. Le altre proprietà variano col tipo di minerali <i>siallitici</i> . Composizione chimica: idrofillosilicati di <i>Al</i> (e sub. <i>Mg</i> , <i>Fe</i> , ecc.).	Grani di forma qualsiasi: rotondeggiante, ellissoidica, irregolare, prismatica (tozza, allungata, aciculare), cubica, tabulare, lamellare; con superficie: lucida, liscia, scabra, vacuolare ecc.; «rigidi» (suddivisibili o frantumabili in genere soltanto per energetiche azioni meccaniche); incompressibili; tendono in genere a passare in soluzione col diminuire fortemente della grana al disotto del μ . Il singolo grano può essere un frammento di cristallo o di roccia micro- e più spesso criptocristallina o amorfa o anche di un resto fossile. Composizione chimica: qualunque e più spesso silicea o silicatica.
Attività di superficie e superfici attive (libere o liberabili)	Superficie periferica ($\sim 1/001$) con attività del tipo dei granuli <i>g</i> ; superficie // 001 relativamente meno attiva; tale superficie non si limita però alle due sole periferiche della scaglia, ma si estende anche agli spazi interlamellari reticolari i quali sono in numero di 500-2000 per ogni micron di spessore della lamina.	Sola superficie periferica, tanto più sviluppata quanto più il contorno è scabro ed il materiale costitutivo poroso, vacuolare, spugnoso. Come ordine di grandezza la superficie attiva è qualche millesima parte di quella (teorica) di una scaglia di eguale volume di minerale <i>siallitico</i> .
Stati e funzioni della acqua pura, astraendo dalle sostanze disciolte e dalla storia del materiale	L'acqua riempie gli interstizi eventualmente ancora esistenti fra scaglia e scaglia (aq_1) e specie quelli laterali alle singole scaglie (aq_2); molta acqua può però penetrare negli spazi interlamellari reticolari (senza che si sia intanto distrutta la compagine della singola scaglia); questo terzo tipo di acqua (aq_3) è più difficile ad espellere; per alcuni <i>sialliti</i> tale acqua viene espulsa soltanto riscaldando a temperature superiori anche ai 2-300°. L' aq_2 ha una funzione eguale a quella che riempie gli interstizi fra i granuli inerti (tipo <i>g</i>).	L'acqua riempie gli interstizi fra i granuli; nei granuli scabri si spinge nell'interno delle scabrosità e dei vacuoli. Ad eliminare tutta questa acqua bastano praticamente 110°. Per via meccanica si può espellere l'acqua in eccesso rispetto a quella riempiente gli interstizi restanti dopo raggiunta la disposizione (e configurazione) di massimo addensamento. In queste condizioni l'acqua con la sua tensione superficiale negli interstizi «capillari» agisce da «legante» dei granuli adiacenti. Alla perdita totale dell'acqua a 110° corrisponde in genere la perdita di consistenza del miscuglio di granuli.
Permeabilità	Disposizione delle scaglie <i>siallitiche</i> (vedi figura), legame dipolare dell' H_2O (intrusa fra le scaglie e nei giunti interreticolari) col solido <i>siallitico</i> e rigonfiamento conseguente rendono impermeabili le argille <i>siallitiche</i> in vario grado a seconda la natura del <i>siallitico</i> , il contenuto di acqua ed il tipo di essa; sotto questo aspetto, esse rappresentano il limite cui tendono le argille del tipo <i>g</i> .	Con forme arrotondate, il grado di impermeabilità cresce col diminuire della grana e dipende dal grado di costipazione e compressione; al limite la circolazione dell'acqua per verificarsi deve, fra l'altro, vincere la adesione («capillare»). Piccole quantità di <i>s</i> (grazie alla deformabilità delle scaglie e quindi, alla possibilità di chiudere i vuoti e di rigonfiare) favoriscono la impermeabilizzazione.
Compressibilità	Lo stato in cui si trova l' H_2O intercalato fra le scaglie singole e nell'interno dei pacchetti reticolari ne rende estremamente difficile e lenta la espulsione; sotto un carico costante la compressione di un'argilla <i>siallitica</i> si prolunga perciò per i tempi lunghissimi; già la singola scaglia si comporta, per suo conto, come compressibile.	Raggiunto l'addensamento (e configurazione) di minimo volume totale specifico con relativa espulsione dell'acqua in eccesso, ogni ulteriore deformazione può verificarsi o con rottura del singolo grano o con deformazione dello stesso; per realizzare questo ultimo caso occorrono pressioni di regola elevatissime: intanto l'acqua (incompressibile) partecipa alla resistenza.
Altre proprietà tecniche	Forte coesione allo stato asciutto. Grande rigonfiabilità e contraibilità per effetto dell'acqua e delle pressioni esterne. Mobilità sostanzialmente lenta e con moto viscoso soltanto in seguito all'intervento dell'acqua e per lo più dopo il succedersi di rigonfiamenti e contrazioni con screpolamento per alternanze di umidità e secchezza.	Poca o nulla coesione allo stato asciutto. Variabilità di volume poco considerevole specialmente se il materiale è molto costipato. Mobilità spontanea, cioè anche indipendente dall'intervento dell'acqua con scoscendimenti e moto non viscoso.

2°) Quadro sinottico di alcune caratteristiche estrinseche.

Morfologia del terreno	<ul style="list-style-type: none"> pianura terreni molto acclivi forti « a picchi »
Altre condizioni locali (oltre il clima)	<ul style="list-style-type: none"> esistenza di altri manufatti esistenza di vuoti sotterranei vicinanza di bacini o corsi d'acqua
Forma del corpo geologico interessato dal lavoro	<ul style="list-style-type: none"> ammassi informi strati o correnti di lave, dicchi (corpi tabulari)
Giacitura del corpo geologico (tabulare) interessato dal lavoro	<ul style="list-style-type: none"> orizzontale inclinata verticale o quasi
Caratteristiche stratigrafiche	<ul style="list-style-type: none"> successioni di corpi diversi unica formazione sufficientemente estesa
Caratteristiche tettoniche locali	<ul style="list-style-type: none"> tettonica non disturbata tettonica a pieghe, a faglie o mista vulcano-tettonica grandi masse caoticamente conformate (tipo argille scagliose con masse lapidee disordinatamente inglobate)
Grado di continuità del corpo geologico	<ul style="list-style-type: none"> con fratture, giunti di stratificazione con vuoti sotterranei
Livello in cui s'esegue il lavoro	<ul style="list-style-type: none"> poco profondo molto profondo
Idrografia sotterranea	<ul style="list-style-type: none"> profondità della falda livello costante livello variabile falda a pelo libero in rocce sciolte (con permeabilità « in piccolo ») falda a pelo libero in rocce lapidee (con permeabilità « in grande ») falda in pressione

I fattori geologici, morfologici e geografici determinanti del comportamento dei terreni sciolti

Nell'esame sommario che abbiamo eseguito è stato considerato, in verità, soltanto qualche aspetto del problema tecnico che i terreni sciolti presentano nella loro sede. Più precisamente si sono esaminati i problemi dal solo punto di vista delle caratteristiche proprie, intrinseche, del singolo terreno, considerato cioè a sé stante; non ci siamo preoccupati, quindi, dell'ambiente in cui esso si trova.

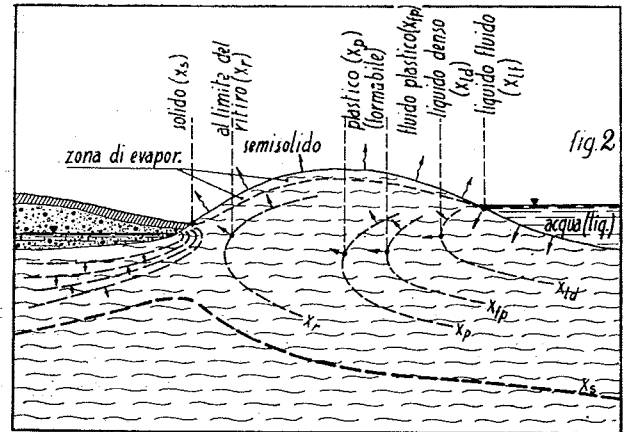


Fig. 2 - Spostamento dell' H_2O entro una massa argillosa - (Schizzo schematico) — L'argilla è lambita, da una parte, da acqua ed è libera nell'atmosfera (secca) per la restante superficie limite superiore. Da destra entra acqua allo stato liquido; nello stesso tempo a sinistra (ed in alto) evapora una eguale quantità di H_2O . Schematicamente da destra verso sinistra il complesso solido-liquido passa dallo stato liquido fluido a quello solido, a mano a mano che diminuisce il %, x , di acqua. Al di sotto di un certo livello lo spostamento è praticamente nullo e permane soltanto la cosiddetta *umidità di cava*; se però in profondità la massa era originariamente secca, lo spostamento si verificherà (sia pure con estrema lentezza) anche verso il basso e la superficie corrispondente ad x , si abbasserà col tempo. In conclusione, la massa argillosa funziona da argine impermeabile. Lo schema ha carattere puramente indicativo e si riferisce ad una massa che per lungo periodo di tempo non è stata interessata da precipitazioni meteoriche.

Ma tale ambiente assume spesso importanza tale che trascurarlo senza ragioni o addirittura ignorarlo potrebbe equivalere anche a basarsi, in partenza, su presupposti arbitrari e a commettere, quindi, errori anche grossolani; errori che graverebbero sulle previsioni del comportamento che il terreno singolo manifesterà all'atto della esecuzione dell'opera o molto tempo dopo che l'opera stessa è stata compiuta.

Nel dire ambiente, vogliamo intendere l'assieme di tutte quelle caratteristiche, non intrinseche del materiale, ma derivanti dai rapporti del relativo corpo geologico con altri corpi geologici, dalle condizioni topografiche o morfologiche, dalle condizioni climatiche e dai rapporti diretti o indiretti che il terreno interessato dall'opera ha con altri manufatti già esistenti o da costruire (all'esterno o in sotterraneo) o con corsi o bacini di acqua ecc. Tali caratteristiche sono elencate nei due quadri sinottici (1° e 2°) acclusi.

Vogliamo dunque alludere a quelle caratteristiche locali interessanti ed interessate dal corpo di terreno

(inteso sempre come complesso solido-liquido), sul quale o nel quale si va ad operare: caratteristiche che diciamo estrinseche e che, per brevità, ci asteniamo qui dall'elencare e dall'illustrare. Basta qualche esempio schematico e semplice per fissare sinteticamente l'importanza di qualcuna di esse. Così, agli effetti della compressibilità di un terreno acquifero (nel senso

meabile (v. fig. 4); nella quale ultima l'acqua che la sabbia tende ad espellere sotto i carichi non può penetrare e circolare con velocità paragonabile a quella che si verifica nel primo caso.

La stessa diversità di comportamento si verifica quando la massa direttamente interessata è sostanzialmente argillosa, nei due casi in cui essa sia estesa per chilometri da ogni lato (v. fig. 5) o, per contro, sia limitata a poca distanza da sabbie o comunque da materiali molto più permeabili (v. fig. 6).

D'altra parte, agli effetti della stabilità del suolo e delle opere ad esso affidate, diverso è il caso di una formazione argillosa con superficie limite esterna orizzontale (v. fig. 5) da quello in cui la stessa formazione sia invece limitata da pendii con pronunciata acclività (v. fig. 7).

Numerosi altri esempi si potrebbero riportare per mettere in vista l'influenza di altri fattori.

Ma conviene arrestarsi e chiudere questo argomento, appena abbozzato, notando che, se la conoscenza petrografica delle rocce sciolte è indispensabile per prevedere il comportamento delle particelle solide di un terreno e le azioni reciproche fra esse e l'acqua, altrettanto indispensabile è la conoscenza geologica e geografica (quest'ultima in senso molto lato) delle masse interessate dai lavori e di quelle ad esse circostanti.

La conoscenza della forma, della giacitura e delle dimensioni del corpo costituito da quel terreno, dei suoi rapporti con gli altri corpi geologici presenti, nonché delle relazioni con i fattori geografici e topografici che possono maggiormente influire volta per volta sul comportamento del terreno o della serie dei terreni interessati dal lavoro da eseguire, costituisce dunque altra premessa necessaria per lo sviluppo del progetto e per l'esecuzione di opere che interessino terreni sciolti.

L'indirizzo per un esame accurato di tutti questi fattori è stato dato, durante il Corso, dalle lezioni e conferenze di *Petrografia Applicata*, di *Geologia Tecnica* e di *Geologia Regionale*.

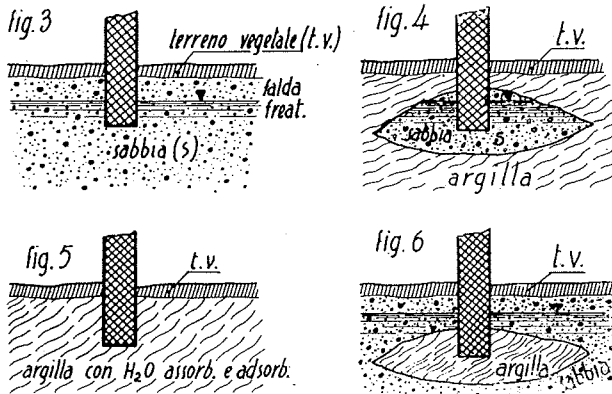


Fig. 3 - Fondazione su sabbia acquifera.
 Fig. 4 - Fondazione su sabbia acquifera racchiusa entro argille - La sabbia contiene acqua esogena di infiltrazione lontana ed alimentante sorgenti, anche molto lontane, oppure acqua fossile.
 Fig. 5 - Fondazione su una massa praticamente illimitata di argilla - Il terreno vegetale (t. v.) sufficientemente spesso protegge l'argilla dalle rapide alternanze di umidità e siccità e dalle conseguenti screpolature più o meno profonde. In tali condizioni il contenuto di H₂O sotto le fondazioni è costante.
 Fig. 6 - Fondazione su una lente di argilla racchiusa entro le sabbie.

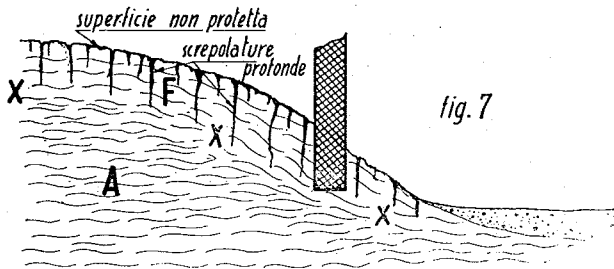


Fig. 7 - Pendio franoso di un rilievo argilloso non protetto in superficie.

- A - Massa d'argilla con contenuto di H₂O costante (ed inferiore al limite di plasticità) nella quale può anche essere $c \neq 0$.
- F - Fascia nella quale, per effetto del disseccamento, si producono le screpolature che, approfondendosi, aprono la via all'in-zuppamento ed alla plasticizzazione di livelli sempre più profondi della massa argillosa. Nella massa così plasticizzata è $c = 0$ e ϕ decrescente col crescere del contenuto d'acqua e col diminuire della profondità.
- X-X - Superficie limite fra la parte stabile e quella instabile della massa argillosa. Tale superficie limite tende ad approfondirsi col tempo.

che contiene acqua) ben diverso è il grado di costipamento — con il suo sviluppo nel tempo sotto carico — di una massa sabbiosa impregnata d'acqua, paragonabile ad un semispazio illimitato (v. fig. 3), e quello dello stesso tipo di terreno sciolto, quando esso costituisce invece una massa praticamente racchiusa da ogni parte entro una formazione argillosa, imper-

Studi di laboratorio e realtà dei cantieri

La materia intesa come branca che mira a suggerire i criteri qualitativi e a dettare le norme quantitative per l'esecuzione dei lavori interessanti i terreni sciolti, non può dirsi ancora Geotecnica, se essa si limita alle sole basi propedeutiche e non entra in merito alle reali condizioni nelle quali devono svolgersi i lavori.

Se è necessario che lo specialista sia in possesso delle basi teoriche e della tecnica di sperimentazione di laboratorio, altrettanto indispensabile è la sua esperienza di vita di cantiere e dei relativi moderni mezzi d'opera, dalla cui organizzazione dipende la buona ed economica riuscita dell'opera.

Molto opportunamente, perciò, gli organizzatori del Corso hanno provveduto perchè gli aspiranti alla specializzazione partecipassero attivamente alla *sperimentazione di laboratorio* e osservassero, con spirito

critico, l'organizzazione e lo sviluppo dei lavori di cantiere nel settore dei terreni sciolti, dopo aver ascoltate le lezioni introduttive appositamente predisposte e tenute da tecnici e costruttori di rinomata competenza.

La teoria e la pratica nella Geotecnica

Quanto abbiamo detto, salvo qualche parola di sfuggita sui cantieri e sui mezzi d'opera, potrebbe apparire limitato alla Geotecnica teorica.

Avremmo, così, dedicato il tempo concessoci dalla pazienza degli ascoltatori quasi esclusivamente ad uno solo dei due numeri del nostro ordine del giorno: la teoria e la pratica.

Ma se ci si mette d'accordo, per la Geotecnica, come per tutte le altre branche della Tecnica, sul significato di Pratica, anche nella trattazione di ciò che può sembrare sola teoria troveremo più che considerato l'aspetto cosiddetto pratico dei vari problemi geotecnici.

Dobbiamo però ammettere anzitutto che il geotecnico sia preventivamente preparato, anzi formato, nelle varie materie tecniche nel cui dominio egli va ad operare; tali materie sono specialmente le costruzioni idrauliche, stradali ed edili, intese tutte nel senso più lato. Altro presupposto implicito è che il geotecnico sia dotato della capacità di scorgere ed impostare i singoli problemi ed intuisca a tempo quali insegnamenti, tratti dalle varie discipline (che, per necessità di cose, sono suddivise) vadano applicati volta per volta.

Per pratica professionale noi intendiamo, infatti, l'operare razionalmente e perciò economicamente. Non riusciamo, pertanto, a vedere scisse Pratica e Teoria, anzi le vediamo così intimamente connesse da raggiungere quasi una fusione la quale si omogeneizza tanto più, quanto più a lungo il tecnico singolo opera e, operando con raziocinio, perfeziona ed amplia con la propria esperienza le nozioni generali e particolari apprese dalle trattazioni teoriche.

Ciò non implica però che il geotecnico in specie o il giovane ingegnere, neo laureato, in genere, possa da solo e subito affrontare *in toto* ogni progettazione o, addirittura, l'esecuzione di opere di molto impegno.

E' indubbiamente indispensabile che i primi passi della attività professionale siano mossi sotto la ac-

corta guida di ingegneri più esperti e più adusati ad affrontare i problemi, abbracciati sotto tutti gli aspetti: dal tecnico all'estetico e dall'economico all'amministrativo o anche legale.

Ma l'esperienza di più decenni di professione e di vita universitaria ci ha mostrato che gli insegnamenti così detti teorici che le nostre Scuole d'Ingegneria di ordine universitario impartiscono ai giovani — dotati di potere assimilativo e di intuizione sufficiente — li mettono in grado di superare rapidamente questo periodo di tirocinio. Pochi mesi bastano talora perchè il giovane possa rendersi autonomo nell'affrontare l'esecuzione dei lavori per i quali la Scuola lo ha preparato.

Con il presupposto, dunque, di una preparazione teorica a carattere di generalità, ma aderente ed ispirata alle necessità pratiche, costituite, queste ultime, da singoli casi particolari, neanche nel settore geotecnico appare giustificata una distinzione sostanziale fra Teoria e Pratica.

Conclusioni

Ed è con molto compiacimento che ho potuto constatare come il Corso di Specializzazione che oggi vediamo a chiudere si sia svolto appunto in modo da realizzare questi presupposti.

La selezione dei candidati alla specializzazione, i tipi, l'ordine e le modalità di svolgimento dei singoli insegnamenti sono, infatti, destinati al pieno successo.

I docenti, con ampiezza di vedute, ma anche con abbondanza di particolari, hanno fornito ai giovani specializzandi i mezzi necessari perchè essi, riunendo ed amalgamando l'assieme di teorie e di cognizioni acquisite, possano operare tecnicamente ed economicamente bene.

A loro, giovani specializzati, che hanno avuto il privilegio di apprendere in un breve periodo di tempo quanto ai singoli docenti è costato anni ed anni di studio e di lavoro, resta affidato il compito di elaborare ulteriormente le conoscenze acquisite e di dedicare le loro forze anche al progresso di questa importante branca della Tecnica.

Grazie.

RESUME: Après avoir établi certaines considérations de caractère théorique sur la Géotechnique en général, l'on s'aperçoit de l'importance de la pratique de laboratoire et de l'expérience réelle sur le chantier pour la bonne et économique réussite des travaux.

Il est mis en évidence, bien à propos, comment à ces conceptions a été inspiré le premier cours de spécialisation en Géotechnique tenu à la Faculté des Ingénieurs de Naples durant l'année académique 1954-1955.

SUMMARY: Theoretical considerations on Geotechnique are made, and successively the importance is underlined of laboratory practice and of the field experience for the success of the works.

It is remarked, moreover, how, very opportunely, to such conceptions has been inspired the 1st Geotechnique Specialization Course, kept in the Faculty of Engineering of the University of Naples during the Academic Year 1954-55.