

CORSO DI “GEOTECNICA”

ASPETTI INTRODUTTIVI ALLA GEOTECNICA

Prof. Ing. Geol. Eugenio Castelli

ecastelli@units.it

ORGANIZZAZIONE DEL CORSO

Giorno	Ora
Lunedì	13:00 -16:00
Martedì	13:00 -16:00

1	ASPETTI INTRODUTTIVI ALLA GEOTECNICA PROPRIETÀ IDENTIFICATIVE E CLASSIFICAZIONE DELLE TERRE
2	CONDIZIONI DI STATO INIZIALE E STORIA TENSIONALE COMPRESSIONE EDOMETRICA E CONSOLIDAZIONE
3	L'ACQUA NEL TERRENO
4	COMPORTAMENTO MECCANICO DELLE TERRE: RESISTENZA E RIGIDITÀ INDAGINI GEOTECNICHE: PROVE DI LABORATORIO
5	INDAGINI GEOTECNICHE IN SITO
6	RISPOSTA SISMICA LOCALE
7	SPINTA DELLE TERRE - OPERE DI SOSTEGNO
8	NORME TECNICHE DELLE COSTRUZIONI 2018: PROGETTAZIONE GEOTECNICA

The image shows the front cover and spine of the book 'Fondamenti di geotecnica' by Riccardo Berardi. The front cover has a purple top half and a white bottom half. The title 'Fondamenti di geotecnica' is printed in white on the purple background. Below the title, there is a detailed description of the book's content in Italian. The author's name, 'RICCARDO BERARDI', is printed in black on the white background. The publisher's logo, 'CittàStudi EDIZIONI', is at the bottom right. The spine is black with the title and author's name in white. A photograph of a rocky, uneven terrain is visible on the right side of the cover. The bottom left corner of the cover features the price '€ 39,00' and the publisher's website 'www.cittastudi.it'. A barcode is located at the bottom center of the cover.

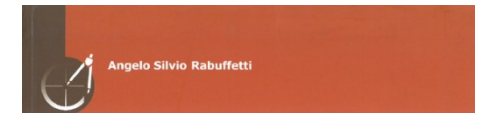


Diagram illustrating a vertical shaft (sonda) with various instruments and components labeled:

- IN (Indicator)
- TERMINO: 1 - 8, C
- PORTATA LATERALE: SENSORE UNITARIA
- PORTATA SU PAVIMENTO: SENSORE UNITARIA

Applications listed on the right:

- ✓ Indagini
- ✓ Laboratorio
- ✓ Fondazioni
- ✓ Spinte delle terre
- ✓ Palificazioni

Logo of **dei** TIPOGRAFIA DEL GENIO CIVILE



Roccia (lapidea, ammasso roccioso): aggregato naturale a struttura continua di particelle minerali, legate da elevata **coesione, che non viene perduta anche dopo essiccamento e prolungata immersione in acqua**; caratterizzata da valori elevati delle proprietà meccaniche (resistenza e rigidezza).

Meccanica delle rocce (Rock mechanics)
Ingegneria delle rocce (Rock engineering)

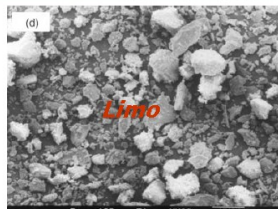
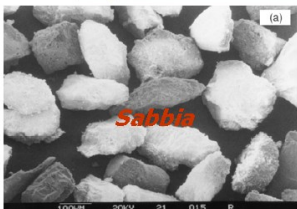
[ISRM](#)

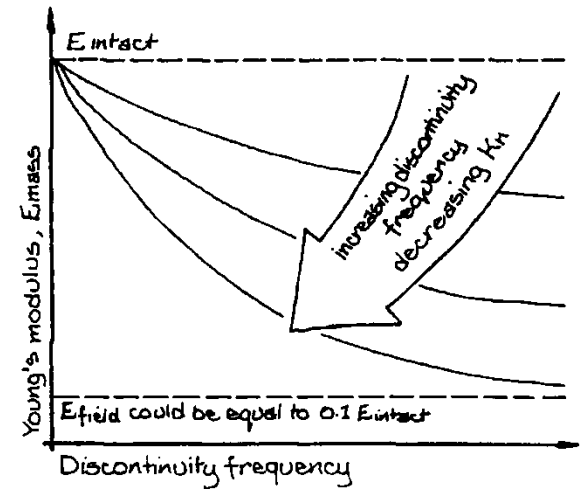
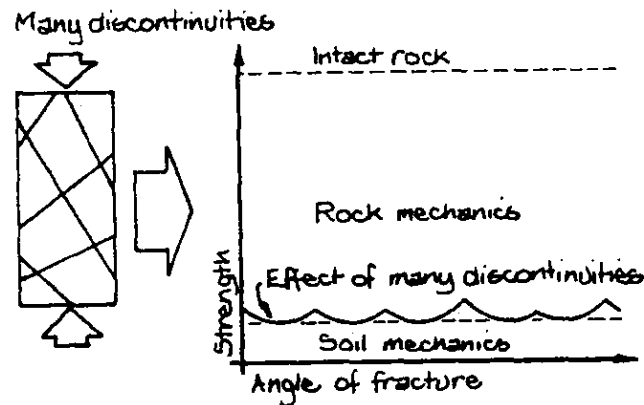
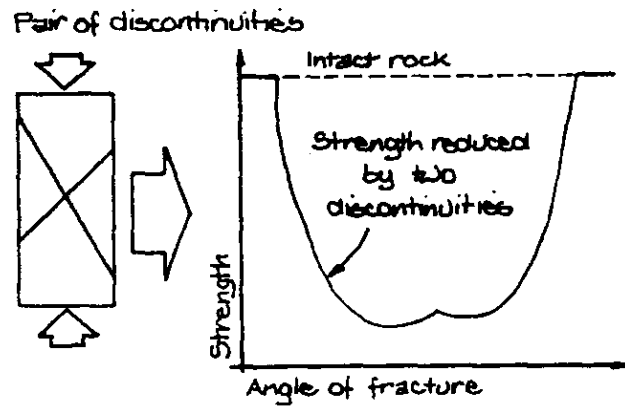
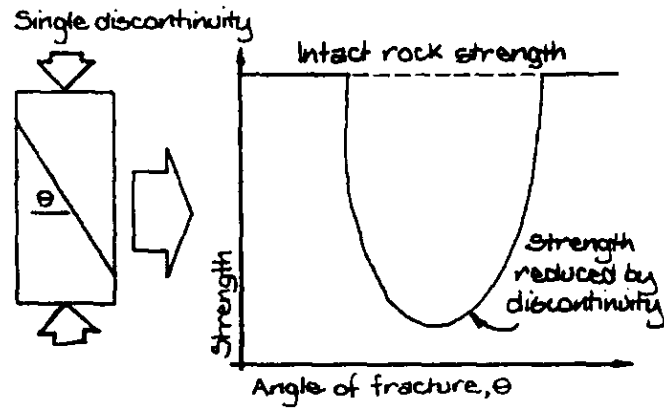
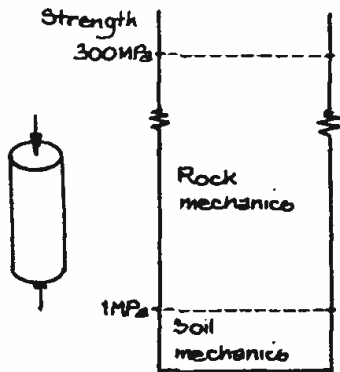


Terra (terreno sciolto, roccia sciolta): aggregato naturale a struttura discontinua di granuli minerali, che **possono essere separati mediante semplice sollecitazione meccanica o breve immersione in acqua**; caratterizzata da valori delle proprietà meccaniche in genere inferiori a quelle della roccia d'origine e dei manufatti.

[ISSMGE - International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering](#)

[AGI – Associazione Geotecnica Italiana](#)





Alcune motivazioni che spingono allo studio della meccanica delle terre.

Fin dagli albori della civiltà organizzata, a chi svolgeva il ruolo che oggi identifichiamo con quello dell'ingegnere civile è stata richiesta una conoscenza (sia pure semplicemente empirica) del comportamento meccanico delle terre, indispensabile per la realizzazione di quelle opere che avrebbero contribuito a migliorare la qualità della vita: canali, argini, dighe, infrastrutture, interventi di stabilizzazione dei pendii, strutture di fondazione e altre opere ancora.

I motivi di successo o insuccesso nella realizzazione delle opere ora citate vanno ricercati proprio nello stato di conoscenza dei principi e regole dell'arte di quelle **discipline (meccanica delle terre, tecnica delle fondazioni, stabilità dei fronti di scavo e dei pendii naturali, opere di terra e strutture di sostegno, per citarne alcune) che oggi collochiamo nel raggruppamento denominato GEOTECNICA.**

[Home | ISSMGE - International Society for Soil Mechanics and Geotechnical Engineering](#)

I terreni sono materiali naturali, generati da processi di disintegrazione ed alterazione delle rocce, ed il loro comportamento meccanico nella sede naturale riflette un'eredità acquisita nel corso di una storia di eventi, che vanno dalla fase di formazione del deposito fino alle vicende più recenti.

Questa storia conferisce ai terreni caratteri di eterogeneità e anisotropia e parametri fondamentali quali ad esempio la resistenza, la compressibilità, la rigidità e la permeabilità che, per poter essere definiti, diventano oggetto di indagine diretta e/o indiretta.

La **GEOTECNICA** quindi tratta il comportamento delle terre sia nella loro sede naturale (terreni) sia la loro utilizzazione come materiali da costruzione.

Si occupa pertanto dei problemi connessi: alla progettazione, alla costruzione e al comportamento dei seguenti tipi principali di opere:

- fondazioni delle strutture più diverse;
- dighe di terra e di pietrame, argini, rilevati stradali e ferroviari, rilevati e riempimenti per opere marittime, discariche, e colmate;
- stabilità di scavi e di pendii naturali e artificiali;
- opere di sostegno delle terre: muri di sostegno di vario tipo, paratie, palancole;
- gallerie e scavi in sotterraneo;
- opere interrate.

La soluzione dei problemi geotecnici concernenti è legata ai seguenti tre aspetti principali:

1. le condizioni del terreno e dell'acqua nel terreno,
2. il comportamento del terreno omogeneo considerato come un sistema di particelle,
3. la meccanica applicata al terreno.

Questi tre aspetti vengono considerati pressoché in contemporanea e con una certa dose di empirismo per giungere alla soluzione del problema tecnico reale.

- 1) **Le condizioni del terreno e dell'acqua nel terreno vengono studiate con indagini in sito e in laboratorio**, sia semplici che complesse. Con alcune indagini in sito si perviene a una prima determinazione del profilo geotecnico del suolo e alla raccolta di dati sulla situazione dell'acqua nel terreno; successivamente, con la classificazione del terreno a mezzo di prove di laboratorio, e talvolta con indagini sulla mineralogia e sui processi geologici, si prepara una descrizione ingegneristica della situazione del terreno.
- 2) **Il comportamento del terreno è determinato dalla sperimentazione con prove di laboratorio, prove in posto e misure in posto**; vengono coinvolti fenomeni e concetti base: il mezzo formato da particelle, il principio della pressione effettiva, la consolidazione delle argille, la permeabilità, i percorsi tensionali, la compressibilità e la resistenza al taglio.
- 3) **La meccanica applicata al terreno comprende le analisi e le teorie di materiali idealizzati e l'esame e la valutazione dei risultati che si ottengono dalle analisi e dalle teorie**. Questa valutazione dei risultati deve essere eseguita avendo ben presente che si tratta di un modello ideale da non confondere con il materiale reale.

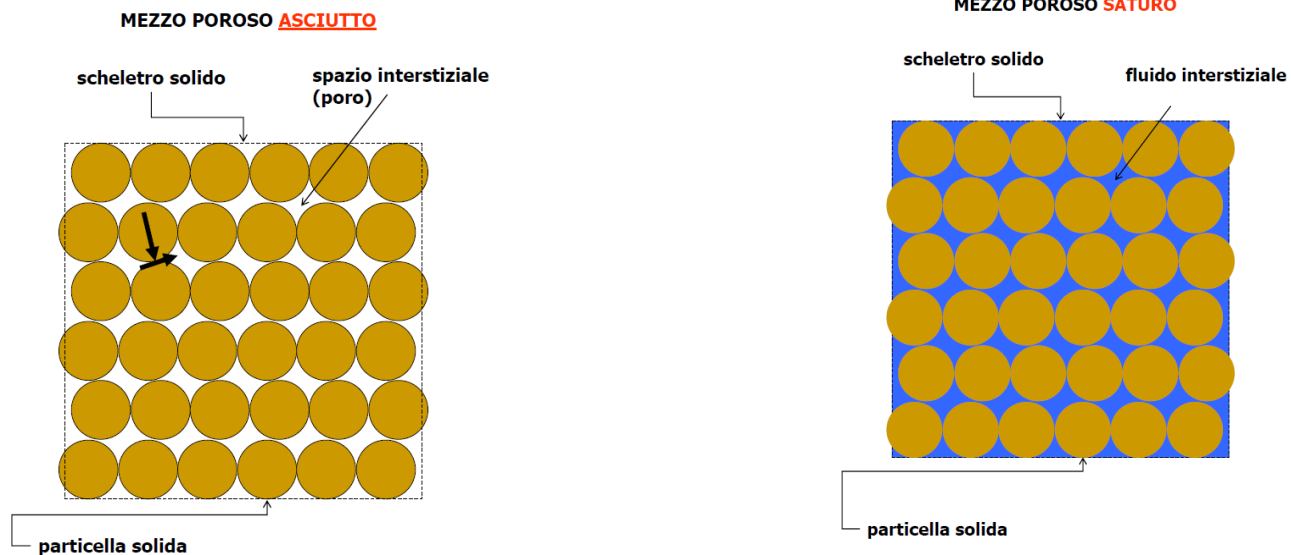
Per arrivare alla soluzione del problema reale bisogna mettere d'accordo e collegare questi tre aspetti empiricamente (cioè con i risultati dell'osservazione e dell'esperienza); l'empirismo risulta necessario a causa della complessità di un materiale come il terreno.

Molti dei procedimenti di progettazione e di costruzione derivano in modo rilevante da varie esperienze positive e, se usati correttamente, danno buoni risultati; possono diventare pericolosi quando vengono considerati come leggi fondamentali di comportamento del terreno.

I tre aspetti prima indicati, uniti all'empirismo, formano quindi la GEOTECNICA.

La trattazione di molti problemi geotecnici risente delle difficoltà che s'incontrano nell'evidenziare adeguatamente i tre aspetti e il diverso peso che, volta per volta, assumono nella soluzione del problema.

Il terreno può essere considerato quasi sempre un materiale costituito da sedimenti e da depositi di particelle derivate dalla disintegrazione della roccia, e spesso contiene, nei vuoti tra le particelle, acqua e aria o gas diversi; ne consegue che il comportamento del terreno dipende sia dalle proprietà fisiche dei suoi costituenti – solido, liquido e gassoso nel loro stato – sia dalle proprietà fisiche del complesso.



Determinazione delle caratteristiche dei terreni.

Uno degli argomenti principali trattati dalla **GEOTECNICA** è quello della determinazione delle caratteristiche fisiche del terreno che in genere vengono suddivise in: **caratteristiche generali o di classificazione, caratteristiche idrauliche e caratteristiche meccaniche.**

Tra le caratteristiche generali si hanno:

- il peso specifico della sostanza solida;
- il peso specifico dell'acqua, il peso dell'unità di volume del materiale al naturale, quello del materiale secco, quello del materiale saturo e quello del materiale immerso in acqua;
- la porosità e l'indice dei pori; il contenuto d'acqua;
- il grado di saturazione.

Per la classificazione si utilizzano: **la granulometria per tutte le terre ed i limiti di Atterberg per le terre a grana fine** (in prevalenza limi e argille).

Le prove per la determinazione di queste caratteristiche sono normalizzate secondo norme italiane e/o straniere.

L'ideazione e la messa a punto delle **prove per la determinazione dei parametri che possono definire le caratteristiche idrauliche e meccaniche delle terre** sono legate a una successione di sperimentazioni e alla definizione di concetti ed espressioni base che è iniziata nel 19° secolo con Coulomb, Rankine, Collin, Darcy, Boussinesq e Reynold, ma ha avuto un grande sviluppo nella prima metà del secolo 20° specialmente ad opera di Terzaghi, Fellenius, Casagrande, Irgensson, Rendulic, Hvorslev, Proctor, Buisman, Krey, Taylor e Skempton.

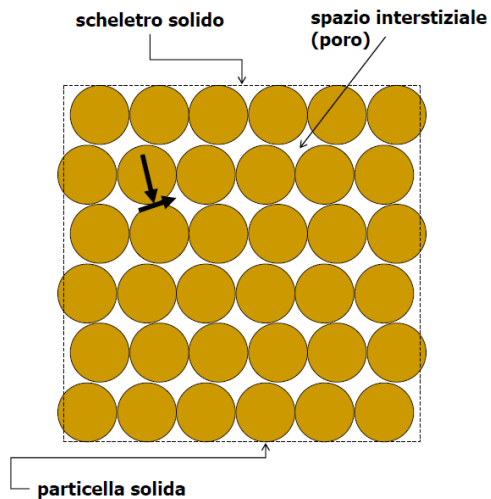
È in questo periodo che da Terzaghi viene enunciato il **principio della pressione effettiva o intergranulare** con la relazione $p_i = p - u$, dove p_i è la pressione effettiva e u è l'eccesso di pressione dell'acqua nei pori nel terreno saturo sia con acqua in quiete che con acqua in moto.

Sempre da Terzaghi vengono proposti anche la **teoria della consolidazione unidimensionale** con il coefficiente di consolidazione c_v e i parametri di compressibilità a_v , m_v e C_c nella prova edometrica.

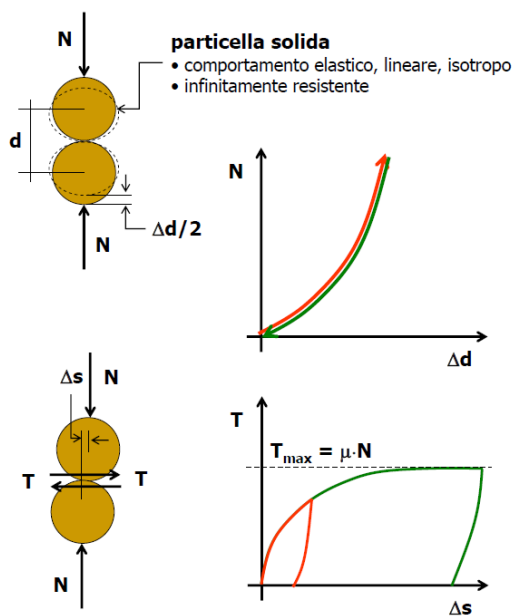
Da Terzaghi e Casagrande è poi **definita la pressione di preconsolidazione**, cioè la massima tensione di consolidazione cui è stato sottoposto il terreno, ed è evidenziata la presenza di argille normalmente consolidate per le quali la pressione effettiva esistente attualmente è uguale a quella massima di preconsolidazione che ha agito nel passato e di argille sovraconsolidate per le quali la pressione effettiva esistente è minore di quella massima che ha agito nel passato.

L'accettazione del principio della pressione effettiva, della teoria della consolidazione e del concetto della pressione di preconsolidazione ha consentito di studiare con buoni risultati il comportamento dei terreni argillosi e limosi sia sperimentalmente che teoricamente, e in pratica ha dato luogo all'affermarsi della **GEOTECNICA** con enormi progressi nella progettazione e costruzione.

MEZZO POROSO **ASCIUTTO**

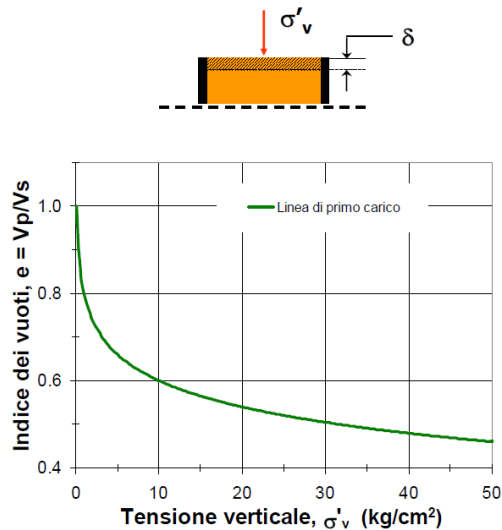


INTERAZIONE GRANO-GRANO

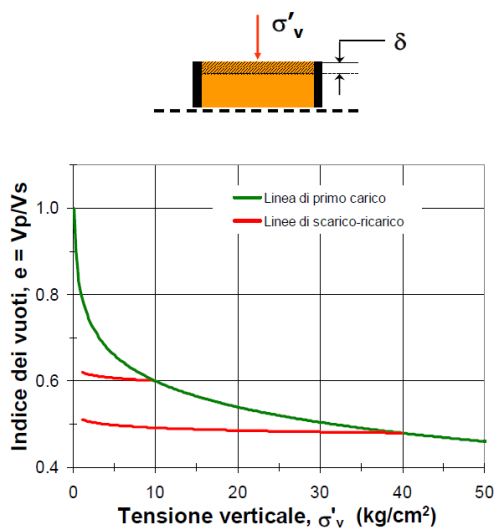


COMPORTAMENTO NON LINEARE ed ELASTO-PLASTICO

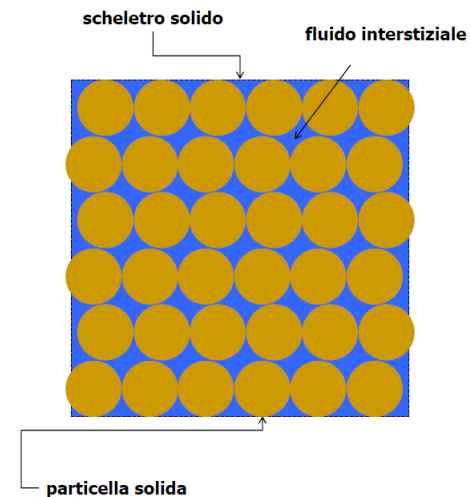
esempio della compressione a sezione trasversale costante



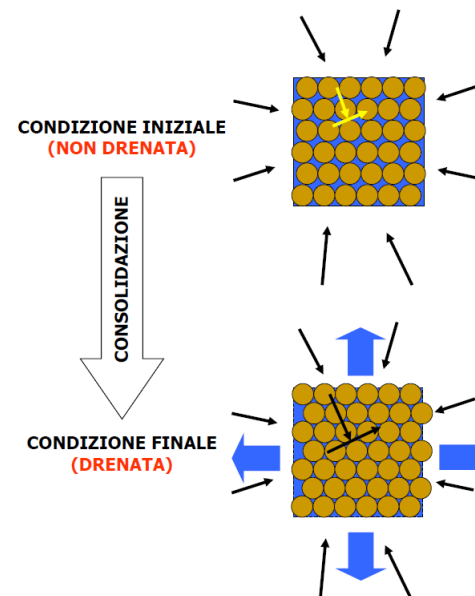
MEMORIA DELLA STORIA TENSIONALE



MEZZO POROSO **SATURO**



INTERAZIONE TRA LE FASI



Il **terreno** è la roccia sciolta o lapidea in sito ovvero nella sua sede naturale.

Nella pratica geotecnica le rocce sciolte sono indicate come: **terreni** o **terre** mentre le rocce lapidee come: **rocce**; nel loro assetto in sito queste ultime sono indicate come **ammassi rocciosi**.

I **grani** o **granelli** delle rocce sciolte sono le singole parti solide che sono separabili senza esercitare frantumazione.

Il terreno può essere costituito da **formazioni** di rocce relativamente omogenee ovvero di rocce che hanno una struttura più o meno **complessa**.

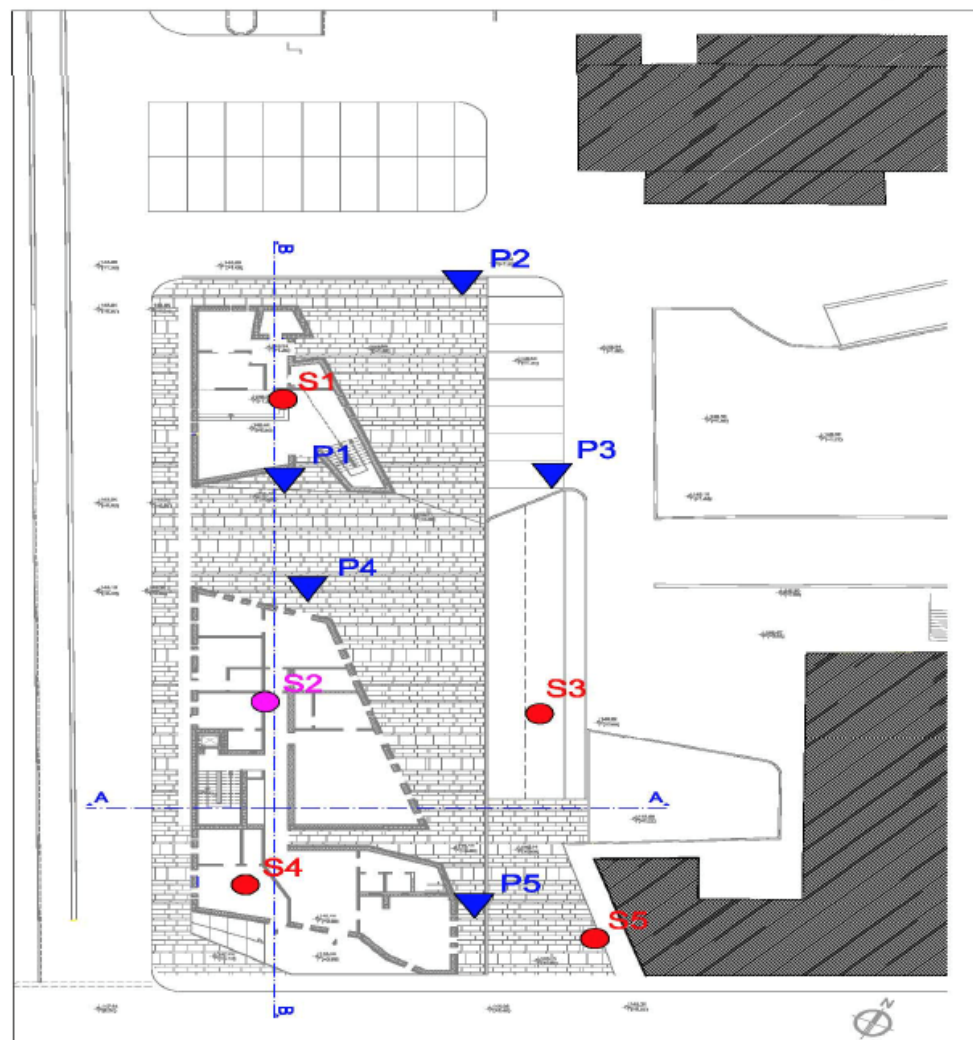
Il **campione** è un elemento di volume rappresentativo del terreno; i **provini** sono parti del campione, sulle quali si eseguono le prove in laboratorio.

Per identificare il sistema geotecnico e, più in particolare, il terreno su cui interagisce un'opera di ingegneria occorre sviluppare un piano di **indagini**, che comprendono rilevamenti, esplorazioni, campionamenti, esperimenti e prove in sito e in laboratorio.

I dati sono elaborati ed interpretati per costruire un **profilo geotecnico** del terreno, corredato dei risultati di **prove di identificazione**.

Il profilo geotecnico si pone alla base della **caratterizzazione geotecnica**, che è necessaria per ogni ricerca progettuale. Esso deve essere opportunamente correlato al **profilo geologico** che illustra la costituzione del terreno sotto l'aspetto geologico.

Planimetria di ubicazione delle indagini



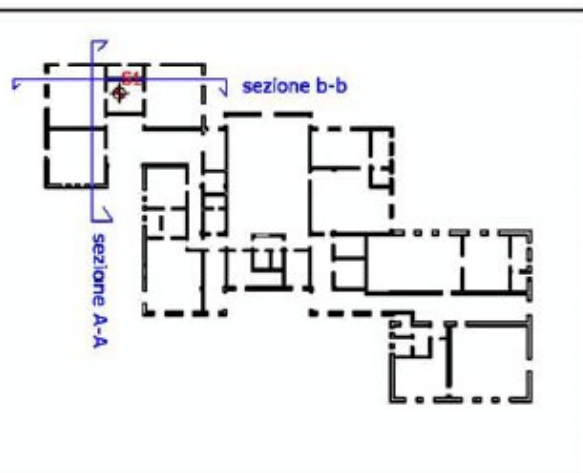
S1 Sondaggio meccanico a carotaggio continuo della profondità di 15,0 ml strumentato con piezometro a tubo aperto.

S2 Sondaggio meccanico a carotaggio continuo della profondità di 34,0 ml strumentato per prova down hole.

P5 Prova penetrometrica statico-dinamica.

Sezioni geologiche

Scala 1:200



Limo con argilla e argilloso, debolmente sabbioso, talora debolmente ghiaioso.
Colore marrone avana brunoastro.



Limo argilloso sabbioso con ghiaia.
Colore da marrone bruno giallastro.



Limo con sabbia e sabbioso, argilloso, color marrone avana; con ghiaia da spigolosa a subarrotondata.



Ghiaia, generalmente fine, da spigolosa a subarrotondata in matrice sabbioso limos acolor marrone.

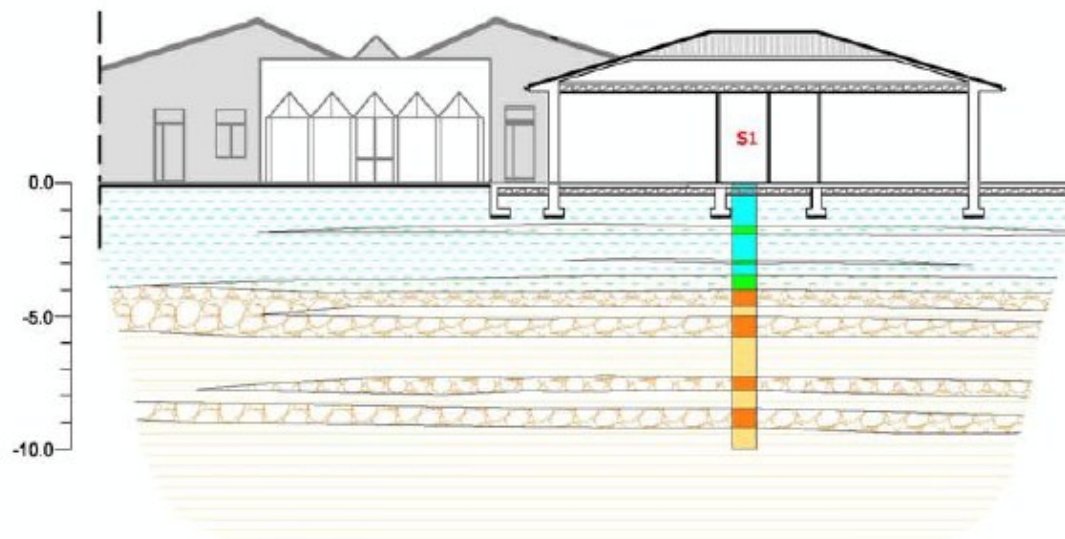


Livello piezometrico (assente in data 09.10.08)

SEZIONE A - A



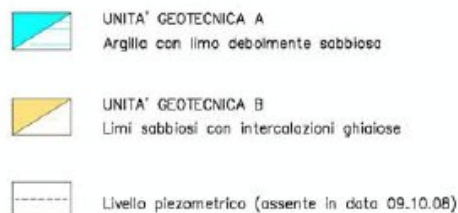
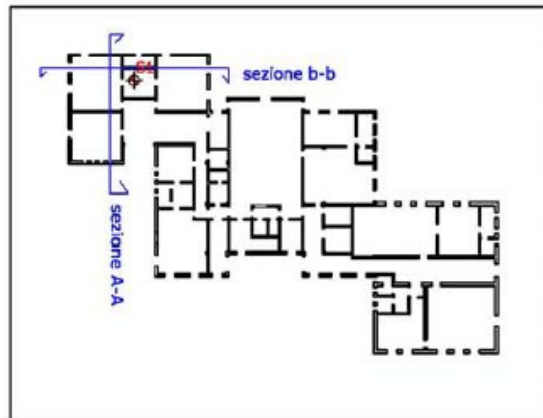
SEZIONE B - B



Sezioni geotecniche

Scala 1:200

SEZIONE A - A



Valori medi (Vm)

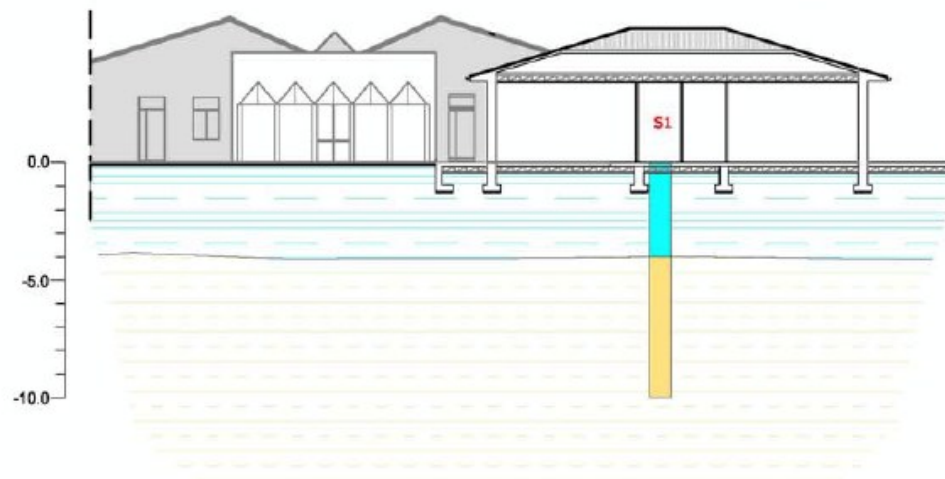
Unità A – Terreno vegetale – (Spessore 0.50 m). Si trascura.
Argilla con limo debolmente sabbiosa (Spessore 3.40m):

peso dell'unità di volume	$\gamma = 1,96 \text{ t/mc}$
resistenza al taglio non drenata	$C_u = 0,76 \text{ kg/cm}^2$
resistenza al taglio drenata	$c' = 0,42 \text{ kg/cm}^2; \phi' = 20^\circ$
modulo edometrico	$E_{ed} = 50 \text{ kg/cm}^2$

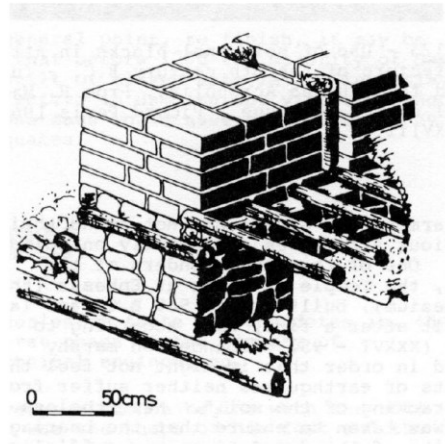
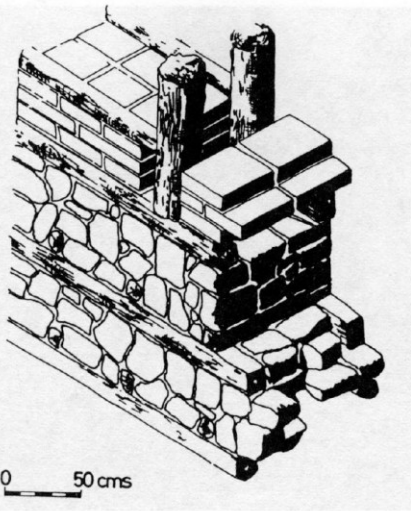
Unità B - limi sabbiosi con passate ghiaiose (Spessore 6.55m)

peso dell'unità di volume	$\gamma = 2,0 \text{ t/mc}$
densità relativa	$D_r = 80\%$
resistenza al taglio drenata	$\phi' = 44^\circ$
resistenza al taglio a volume costante	$\phi_{cv} = 36^\circ$
modulo edometrico	$E_{ed} = 400 \text{ kg/cm}^2$
potenziale di liquefazione : inesistente	

SEZIONE B - B

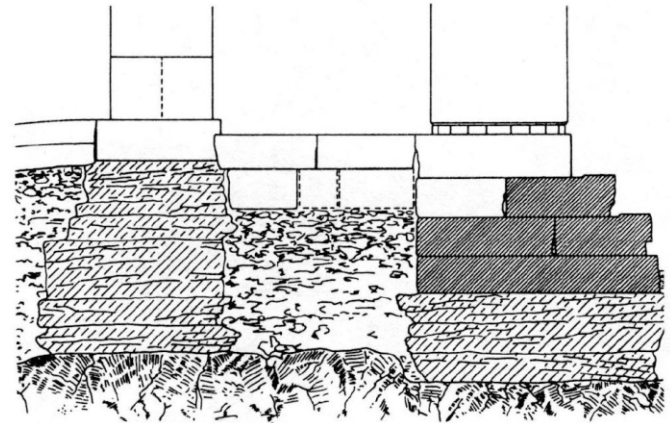


Earthquake protection



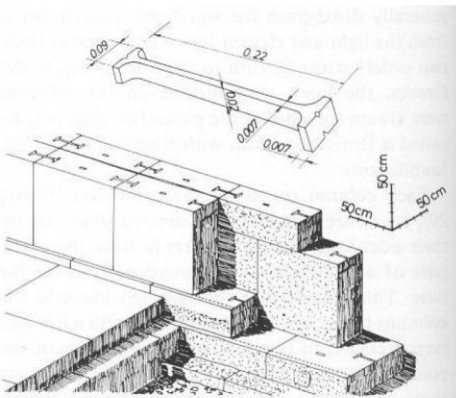
(Palace at Beycesultan, Anatolia)

Isolated footings



(Delos)

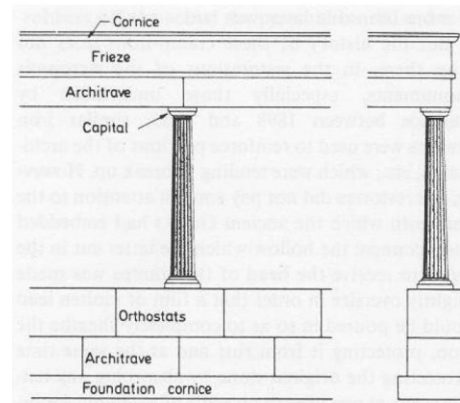
Stylobates at Delos



- iron clamps:
- uniform load spreading
 - prevention of dislocation (earthquakes)

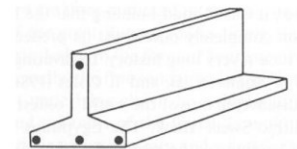


Underground Doric order

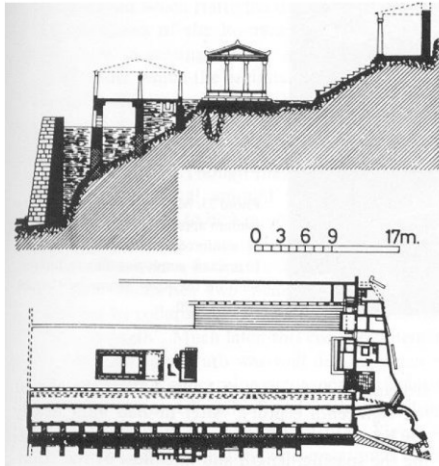


- columns: load concentration
- stylobates(orthostats): long blocks of dressed stone (column foundation wall)
- wider foundation base

Present adaptation:



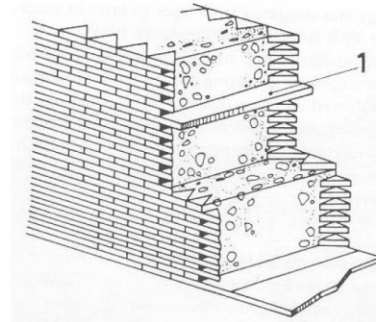
Retaining walls — Pergamum



retaining wall for the terrace
of the Temple of Demeter
at Pergamum
(about 2nd century BC)

Invention of concrete

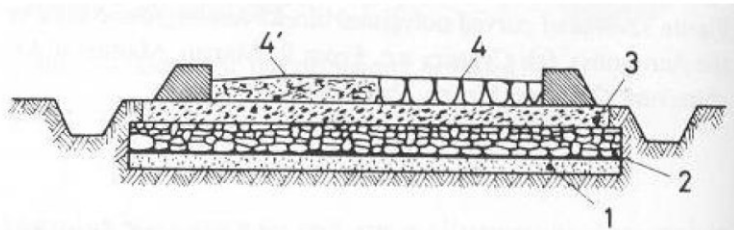
concrete — from Latin 'concreescere' = 'to grow together'



concrete cast between a formwork
in brick for foundations
1: wooden tie-bar

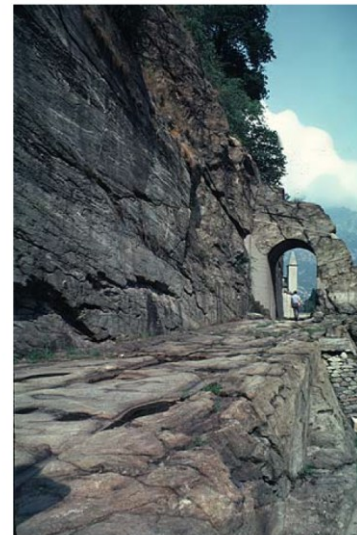
application: e.g. concrete raft for the foundation of Colosseum

Roman military roads



- 1: The 'statumen' (20 to 30 cm thick): a layer of mortar over a layer of sand (prevents underlying clay from rising)
- 2: The 'rudus' (30 to 50 cm): slabs and blocks of stone with cement mortar joints
- 3: The 'nucleus' (30 to 50 cm): gravel and broken stones mixed with lime to form a kind of concrete (firm core)
- 4: The 'summa dorsum': either stone slabs (4) or gravel concrete (4') (resistant to wear by rain and wheels)

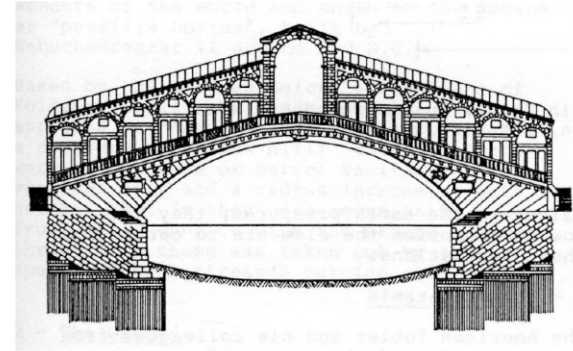
Paved Roman road



Rialto Bridge, Venice

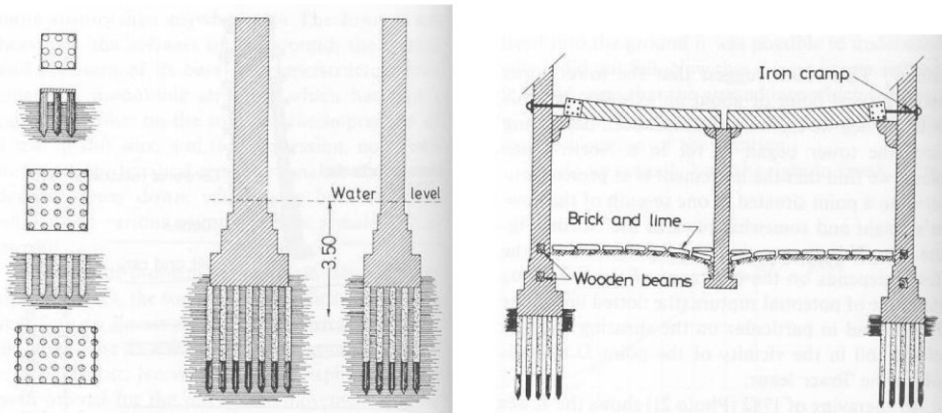


Rialto bridge (Venice, 1588-92)



- single span of 26.4 m (designed by Antonio da Ponte)
- alluvium subsoil
- beneath each abutment 600 piles – 15 cm diameter, 3.3 m length (3 groups)
- group effect (fewer longer piles would be more efficient)

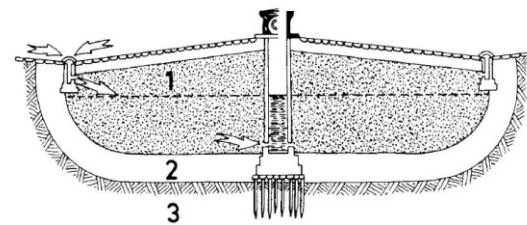
Venetian foundations



- outer walls on piles
- internal walls on ground preconsolidated by older buildings

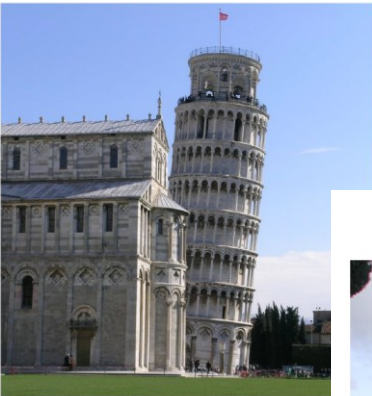
Venetian wells (underground tanks)

rainfall collection ~ sand fill (support and filtration)



1: filtering sand, 2: clay, 3: natural soil

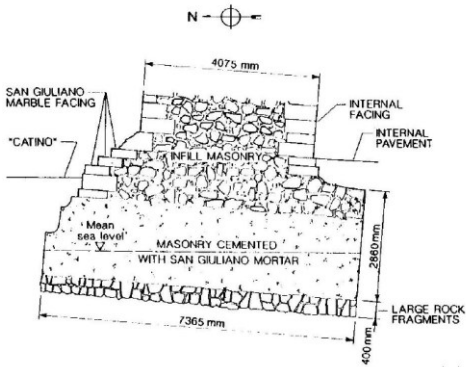
Leaning tower of Pisa (1173-1373)



Banana shape

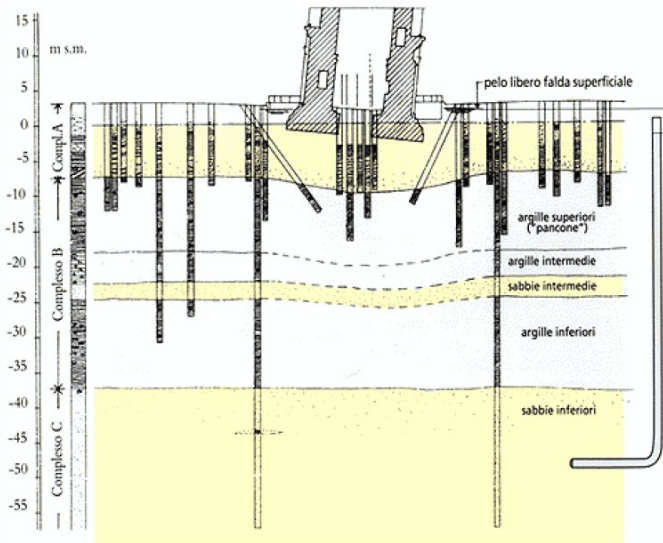


Annular shallow foundation

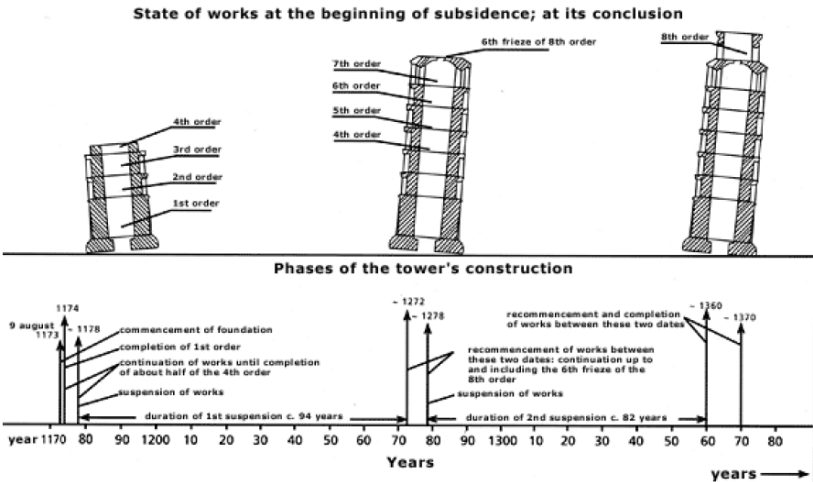


soft ground + too heavy tower $\leadsto$ close to limit equilibrium

Subsoil in Pisa



Leaning history

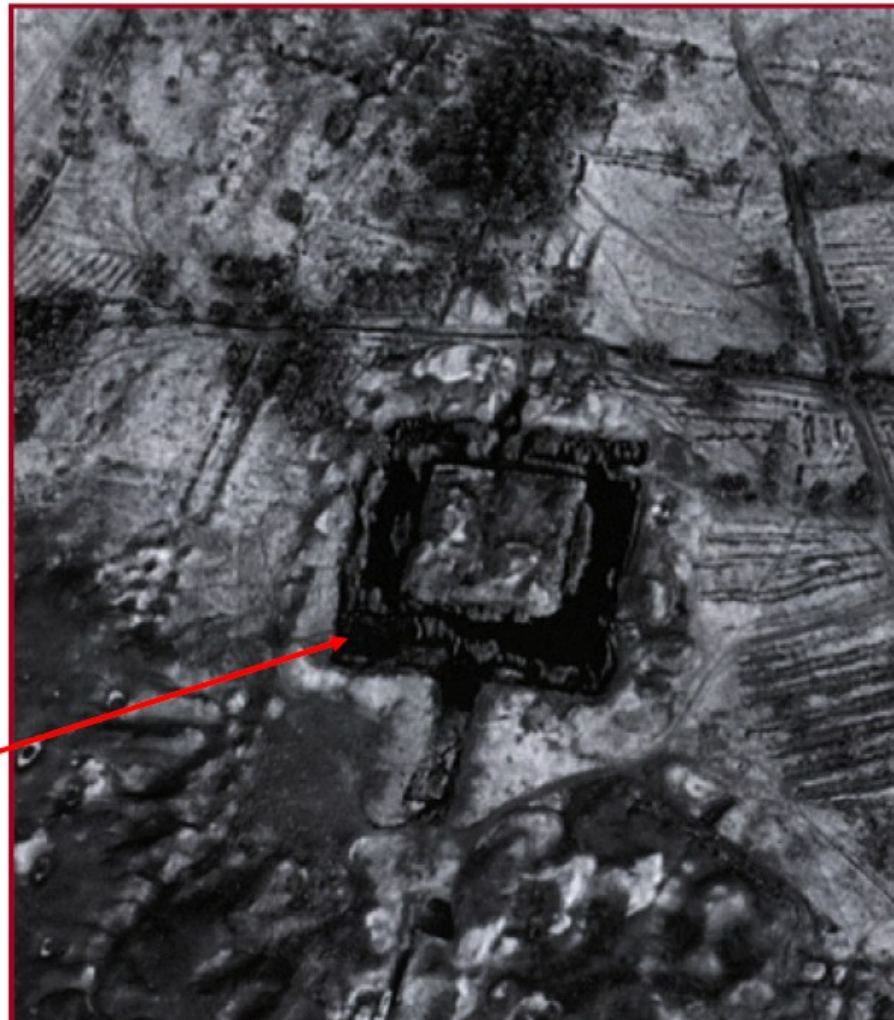


Gli Ziggurat della Mesopotamia sono
gli esempi più antichi di costruzioni in
terra



Zone di
punzonamento
del terreno

Rovine dello Ziggurat di Babilonia



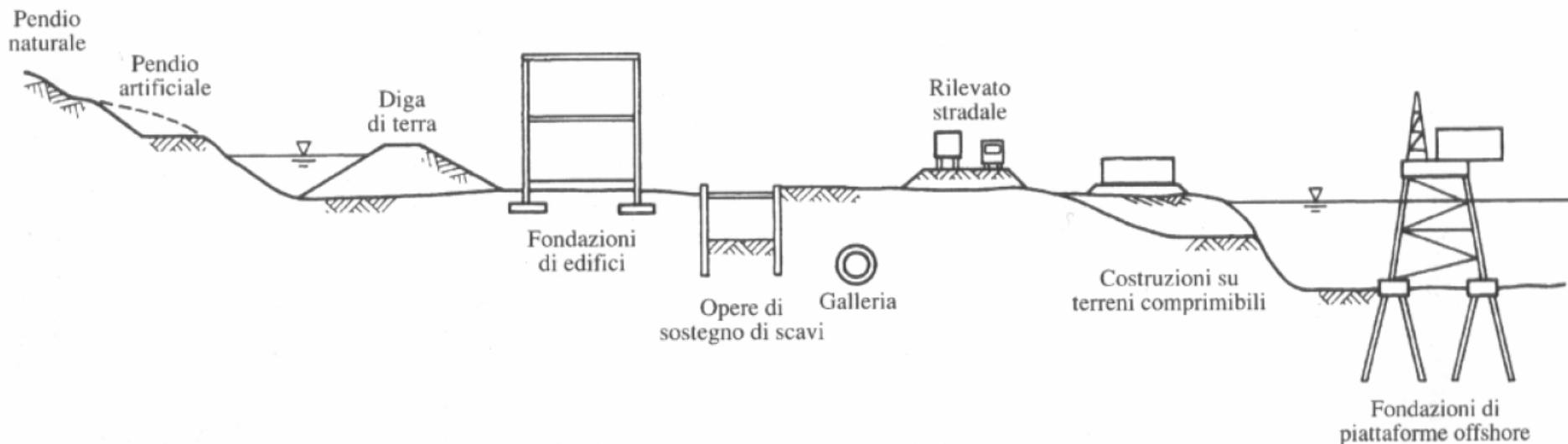
MECCANICA DELLE TERRE – GEOTECNICA

È la disciplina che **studia la risposta meccanica di terreni e rocce**:

1. alle azioni di **superficie** trasmesse da manufatti;
2. alle azioni di **volume** causate da gravità, eventi sismici o moti filtranti;
3. alle **variazioni di geometria** del mezzo associate ad erosione e scavi all'aperto o in sotterraneo.

La **Geotecnica** nasce come una branca dell'Ingegneria, per studiare:

- le opere **a contatto con il terreno** (fondazioni, opere di sostegno, etc.);
- le opere costruite **nel terreno** (gallerie, scavi, etc.);
- le opere costruite **con il terreno** (argini, rilevati, colmate, dighe, etc.);
- alcuni **fenomeni** che si verificano **nel terreno** (frane, subsidenza, amplificazione sismica, etc.)



In base alle Norme Tecniche delle Costruzioni 2018:

- **azioni E e reazioni R** devono essere calcolate e confrontate; nel caso delle opere geotecniche il terreno può essere, al tempo stesso, l'elemento sollecitante e resistente. L'entità delle forze dipende anche dalle caratteristiche del terreno e questo rende, spesso, più complicate le analisi rispetto a situazioni in cui sono coinvolti altri materiali da costruzione (ad es. acciaio, calcestruzzo armato).

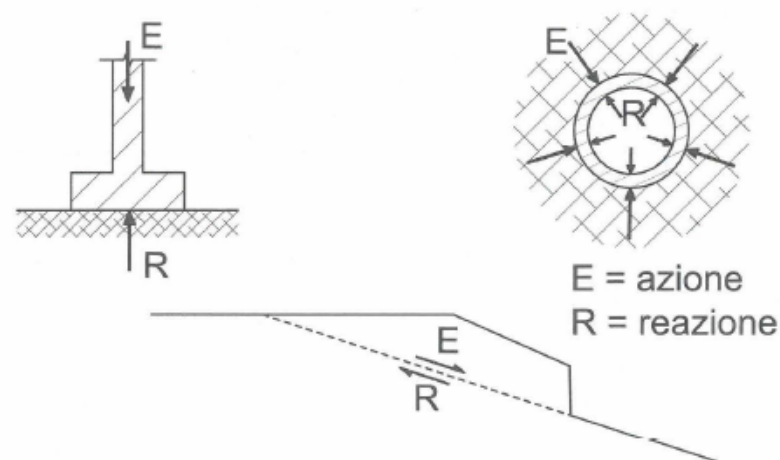
Requisiti comuni alle opere geotecniche sono *stabilità* (resistenza) e *limitati spostamenti* (requisiti validi, in generale, per ogni opera di ingegneria civile);

- alla **stabilità** può associarsi il concetto di **stato limite ultimo (SLU)**, definibile come lo stato «al superamento del quale l'opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata, a causa di fenomeni quali collassi strutturali, instabilità, crolli e comunque fenomeni che mettono fuori servizio irreversibilmente l'opera»;
- nel caso delle opere geotecniche, grandissima rilevanza hanno anche gli **aspetti legati agli spostamenti**, riferibili allo **stato limite di esercizio (SLE)**, definibile come la condizione «superata la quale l'opera non soddisfa più le esigenze per le quali è stata progettata, a causa di perdita di particolari funzionalità tipiche dell'esercizio, dovute a danneggiamenti locali, eccessivi spostamenti e deformazioni, eccessive vibrazioni»;

da notare che: in un *sistema geotecnico* a causa di particolari differenze tra i peculiari comportamenti del terreno e quelli di altri materiali da costruzione, non necessariamente il raggiungimento di uno stato limite (ultimo o di esercizio) nel terreno corrisponde allo stesso stato limite nella struttura che con esso interagisce.

In definitiva, per la progettazione di opere ed interventi di tipo geotecnico, è necessario valutare con particolare attenzione il comportamento del terreno in esame.

Si deve perciò effettuare una caratterizzazione fisico-meccanica, che viene condotta generalmente tramite prove sperimentali specifiche e che serve come base per la modellazione della risposta dell'insieme opera terreno.



INGREDIENTI PER UNA CORRETTA SOLUZIONE DI UN PROBLEMA GEOTECNICO

MECCANICA DEI TERRENI
Relazioni costitutive
Analisi dei problemi al finito

GEOLOGIA, INDAGINI
Conoscenza della storia geologica
Adeguate conoscenza del sottosuolo

ESPERIENZA
Analisi di esperienze precedenti

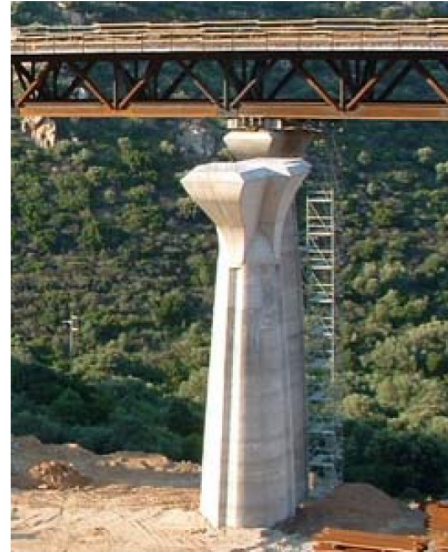
ECONOMIA
Confronto tra soluzioni alternative



**NECESSITÀ DI EFFETTUARE
VALUTAZIONI QUANTITATIVE**



MODELLAZIONE



**MODELLAZIONE DI
COSTRUZIONI
ESEGUITE CON
MATERIALI
INDUSTRIALI**

Caratteristiche “note”



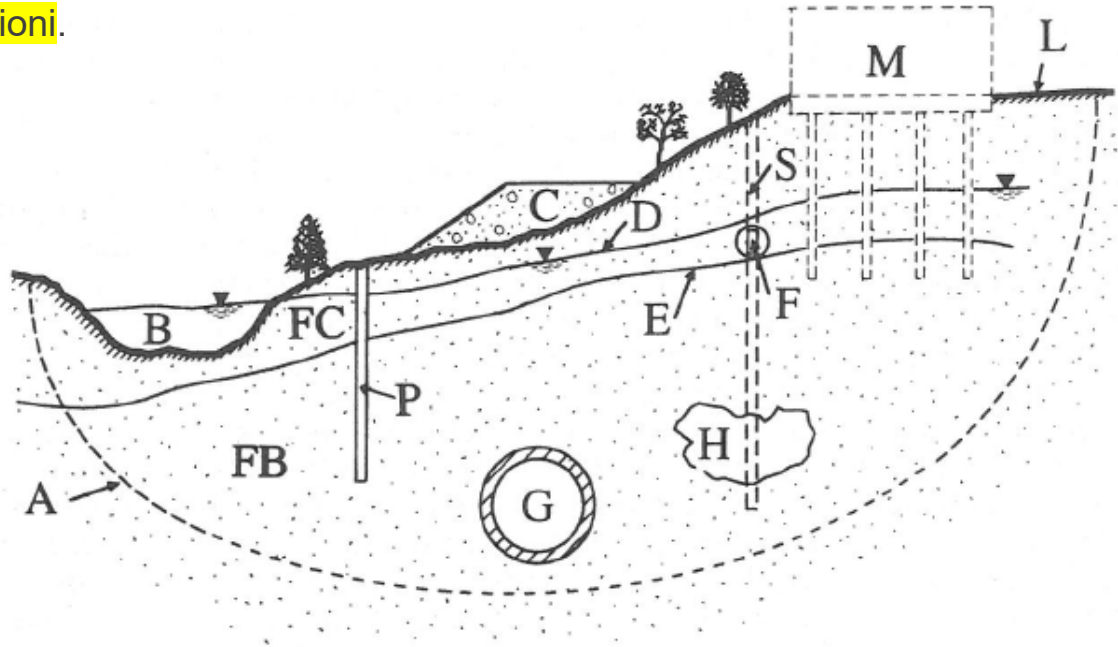
**MODELLAZIONE DI COSTRUZIONI INTERAGENTI O
COSTRUITE CON MATERIALI NATURALI**
Caratteristiche del materiale non note a priori

Allo **studio di ogni problema geotecnico** è necessario premettere l'**identificazione** del **sistema geotecnico**, al quale si fa riferimento nell'attività progettuale e costruttiva per impostare analisi e scelte.

A tal fine occorre delimitare una porzione T del sottosuolo nell'intorno del manufatto M in progetto, comprendendo, se necessario, le attigue costruzioni esistenti.

Le dimensioni di T vengono scelte caso per caso con criteri cautelativi, in dipendenza del tipo di problema e della costituzione del sottosuolo.

Spesso, nel fissare il volume di T, è necessario procedere per tentativi dopo indagini e calcoli preliminari di tensioni e deformazioni.



Il sistema geotecnico:

A: superficie limite del sistema geotecnico; **FB:** formazione di base; **E:** tetto della formazione di base; **FC:** terreni di copertura; **D:** superficie libera della falda; **L:** superficie topografica; **B:** corso d'acqua; **C:** rilevato; **G:** manufatti nel sottosuolo; **H:** cavità nel sottosuolo; **M:** manufatto in progetto; **S:** sondaggio; **F:** campione; **P:** piezometro

Per identificare compiutamente il terreno sotto l'aspetto geotecnico occorre considerare le **proprietà** cosiddette **indici**, che sono correlate alle **proprietà meccaniche** che intervengono direttamente nelle analisi di meccanica dei terreni e delle rocce.

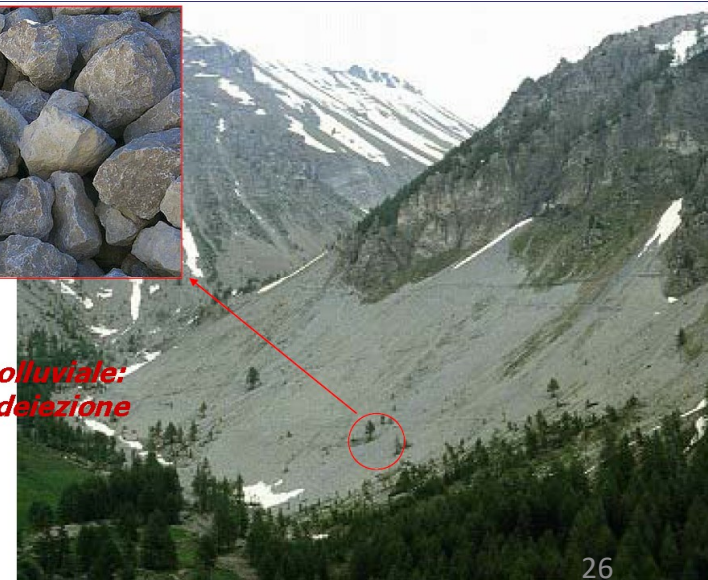
A loro volta le proprietà indici dipendono dai **processi** da cui i terreni e le rocce hanno avuto origine e, più in generale, dall'ambiente naturale, oggetto di studio delle discipline geologiche.

Caratteristiche di alcuni tipi di depositi

Deposito	Descrizione
Alluvionale	Formatosi per erosione, trasporto in acqua e deposizione in ambiente continentale, è spesso stratificato con livelli di materiali sabbioso e ghiaioso intervallati a livelli limosi e argillosi.
Colluviale	Formatosi alla base di rilievi montuosi, la sua composizione dipende dalla roccia che costituisce i sovrastanti rilievi.
Lacustre	Formatosi per sedimentazione in acque calme, è composto principalmente da sedimenti compresi tra le sabbie fini e le argille
Marino	Formatosi per deposizione di sabbie, limi e argille in acqua salmastra, è caratterizzato generalmente da una maggiore uniformità e dalla presenza di scheletri di organismi marini e conchiglie
Glaciale	Formatosi a seguito del trasporto operato dai ghiacciai, è caratterizzato dalla presenza di tutte le frazioni, inclusi ciottoli e blocchi di roccia.
Eolico	Formatosi per selezione e trasporto di particelle di sabbia operato dal vento è particolarmente uniforme.



**Deposito colluviale:
Conoidi di deiezione**



FONDAZIONI

Tutte le strutture civili (edifici, ponti, muri, ecc.) sono vincolate al terreno attraverso una “struttura di fondazione”, che va opportunamente dimensionata.



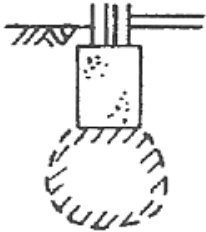
Il vincolo terreno, sollecitato attraverso la fondazione, non deve collassare o essere troppo cedevole (cioè, produrre cedimenti incompatibili con la statica e/o la funzionalità della sovrastruttura).

La soluzione del problema richiede tipicamente la valutazione:

- della capacità portante della fondazione;
- dei cedimenti indotti in condizioni di esercizio.

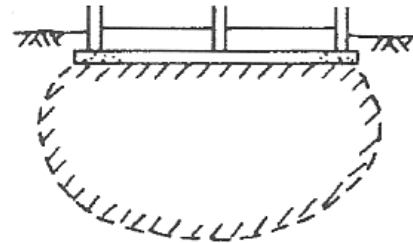
Fondazioni superficiali e profonde

Plinti



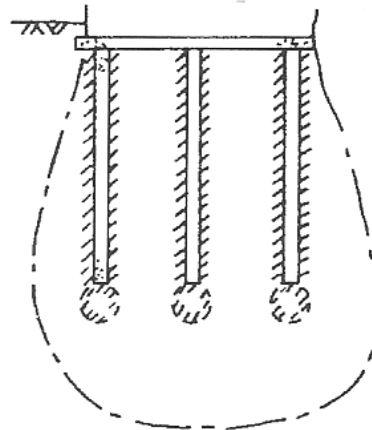
Resistenza
Compressibilità
Deformabilità

Travi e piastre



Resistenza
Compressibilità
Deformabilità
Consolidazione

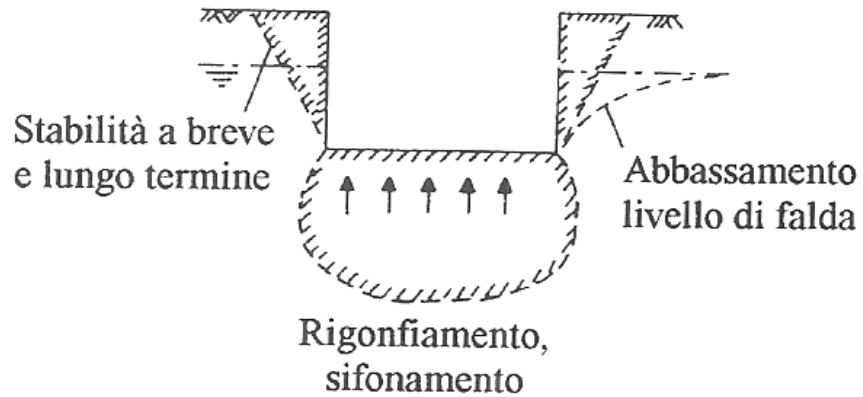
Palificate



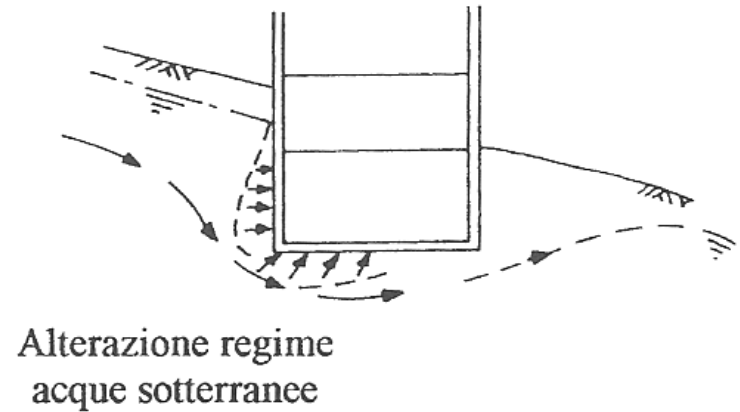
Resistenza
Deformabilità

Scavi a cielo aperto ed in sotterraneo

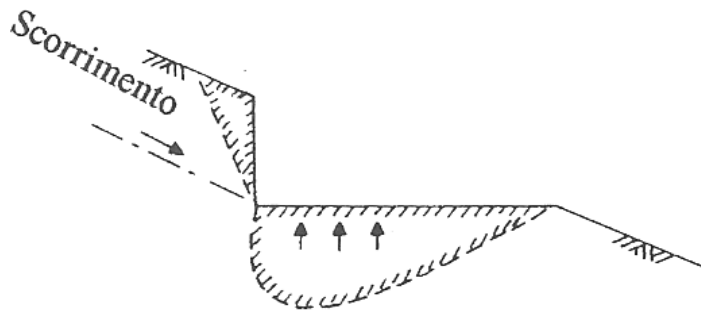
Scavi a cielo aperto sotto falda



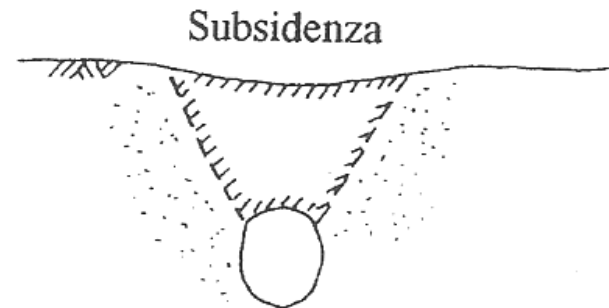
Scavi sostenuti



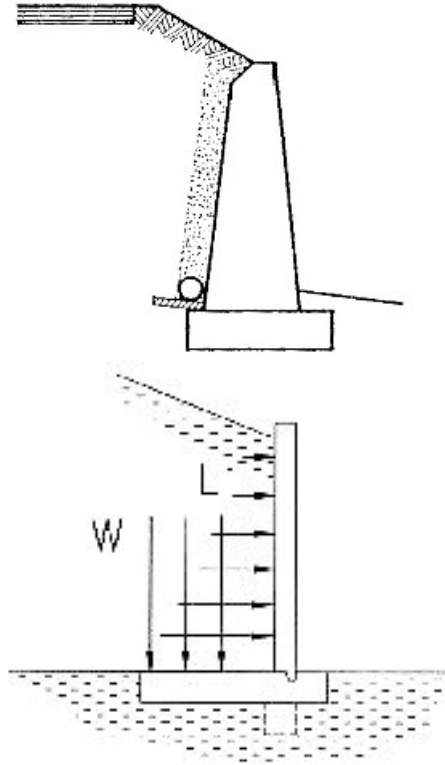
Scavi su pendio



Scavi in sotterraneo



OPERE DI SOSTEGNO



Occorre in genere:

- determinare le azioni esercitate dal terreno sulla struttura di sostegno;
- regolare il regime delle acque a tergo del muro;
- determinare le azioni esercitate in fondazione;
- verificare il muro al ribaltamento ed allo scorrimento;
- verificare gli elementi strutturali.

COSTRUZIONI IN TERRA (rilevati e argini)

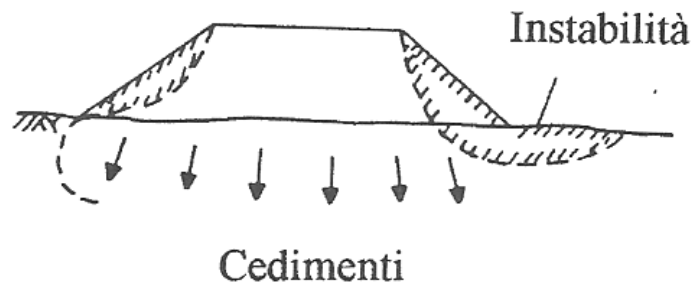


È necessario:

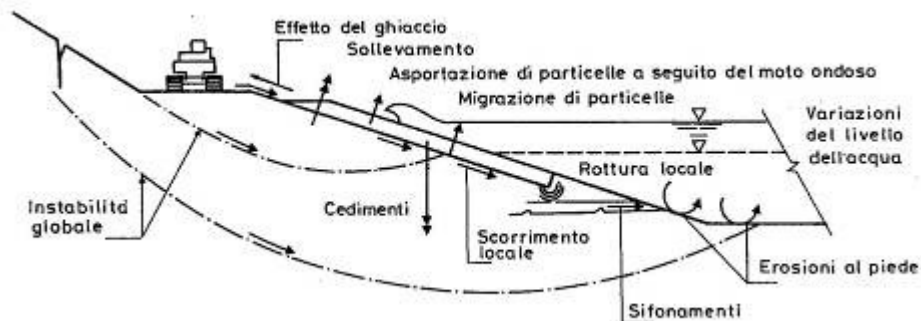
- verificare i cedimenti in condizioni di esercizio;
- valutare la sicurezza nei confronti della stabilità delle scarpate;
- analizzare il comportamento idraulico (ove richiesto).

MANUFATTI IN MATERIALI SCIOLTI

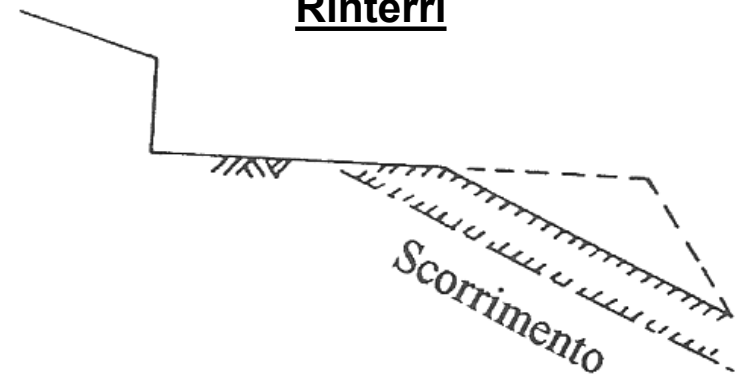
Rilevati stradali e ferroviari



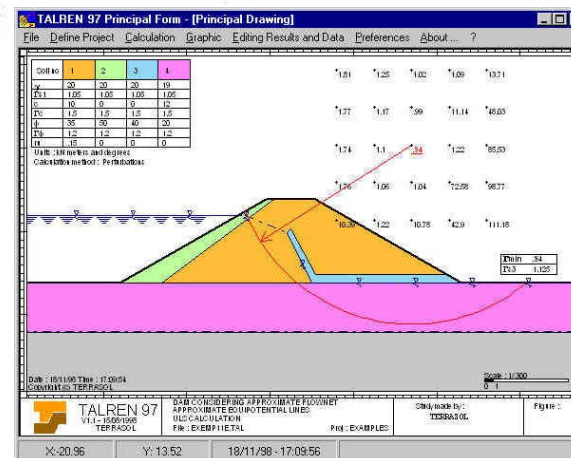
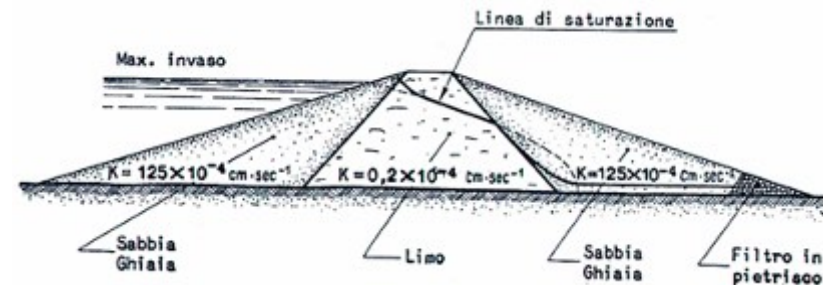
Argini fluviali



Rinterri

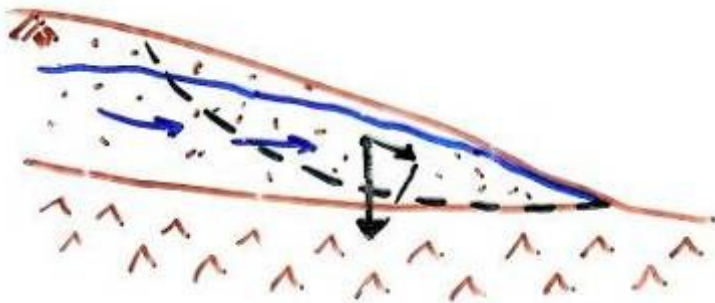


Dighe in terra



DIFESA DEL TERRITORIO DAI RISCHI NATURALI

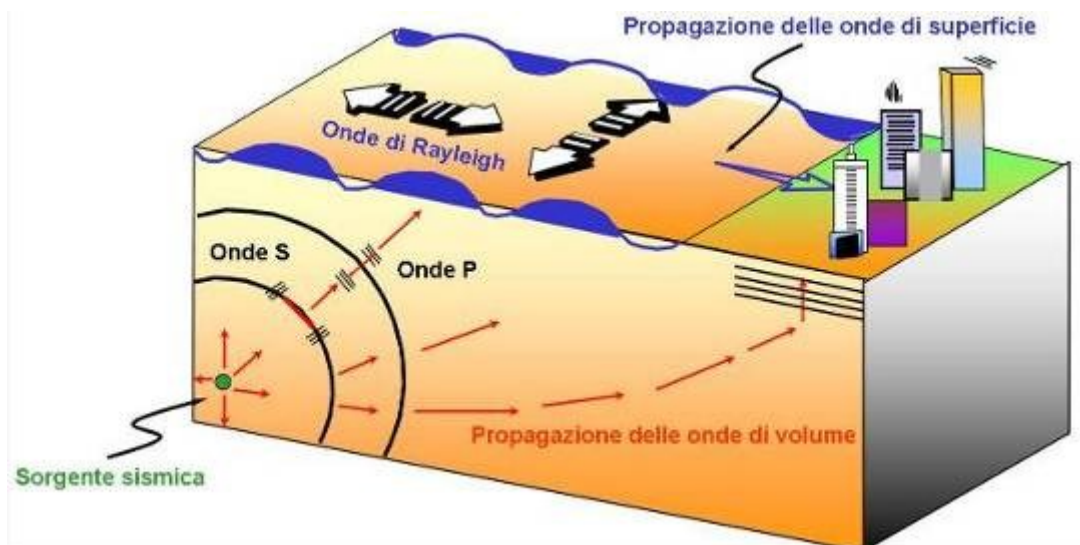
STABILITÀ DEI PENDII NATURALI



SUBSIDENZA GRANDI AREE



RISPOSTA SISMICA DEL SOTTOSUOLO



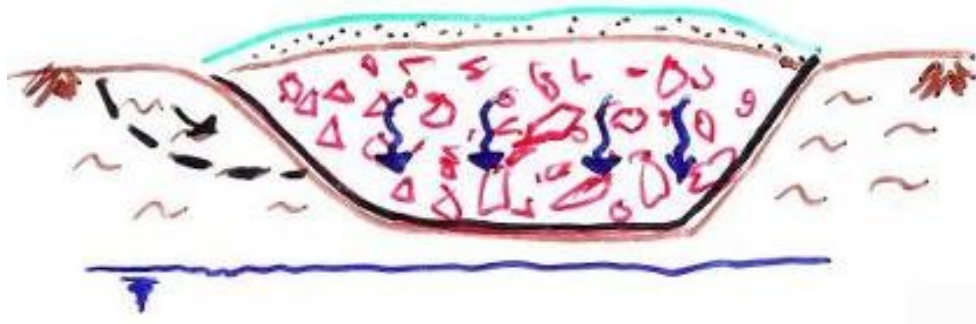
STABILITÀ DEI PENDII



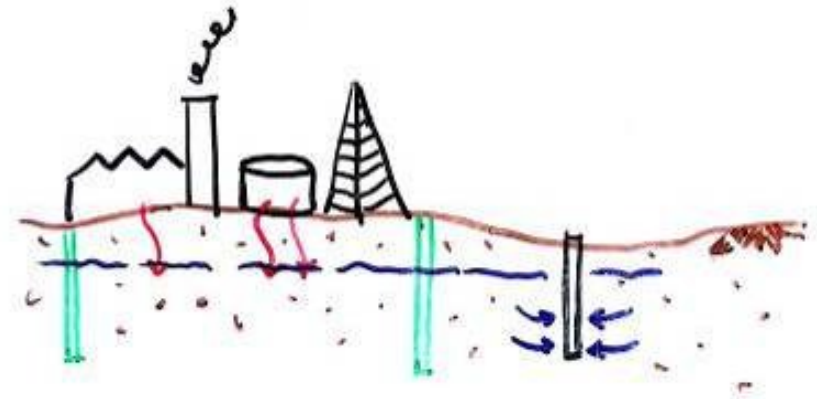
Tipicamente si adoperano procedure sperimentali e teoriche per la valutazione della sicurezza di pendii e per l'analisi diagnostica di movimenti franosi in atto o già avvenuti.

DIFESA DEL TERRITORIO DAI RISCHI ANTROPICI

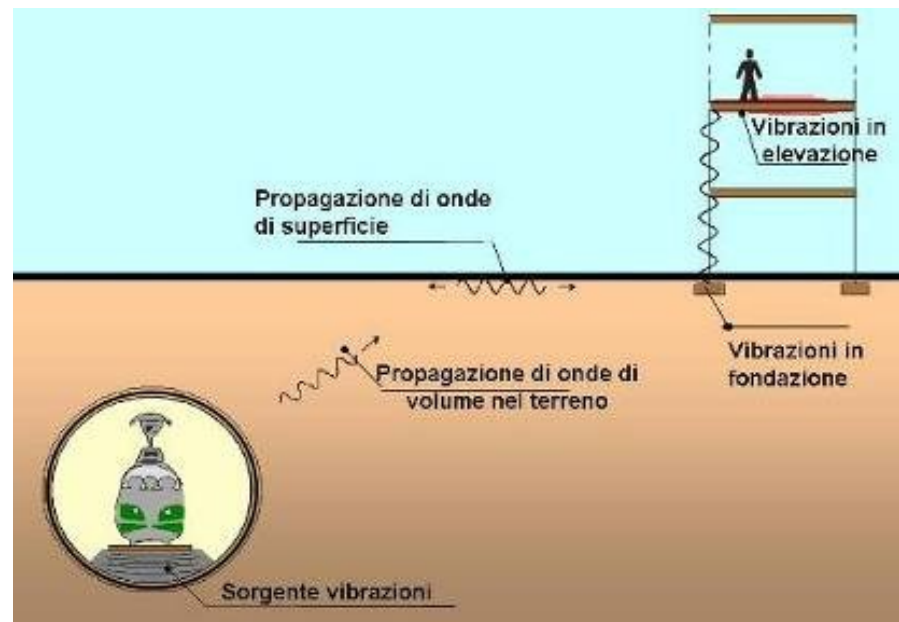
DISCARICHE RSU



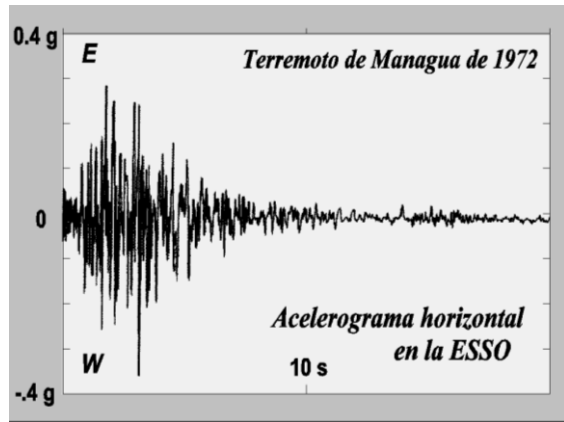
INQUINAMENTO DEL SOTTOSUOLO



VIBRAZIONI AMBIENTALI



DINAMICA DELLE TERRE E DELLE ROCCE



QUESITI CUI DEVE RISPONDERE LA GEOTECNICA

- ❑ Qual è lo stato tensionale all'interno di un ammasso di terreno indotto da una certa struttura?
- ❑ Qual è il cedimento a cui sarà soggetta una struttura e in quanto tempo maturerà?
- ❑ Quale è la stabilità di una struttura fondata nel terreno e che tipo di fondazione sarà necessaria?
- ❑ Quale è il grado di stabilità di uno scavo o di un versante? Come è possibile incrementarlo?
- ❑ Che problemi di filtrazione e stabilità ci sono in uno scavo sotto falda o in un argine e come si controllano ?

Per rispondere a queste ed altre domande l'Ingegneria Geotecnica utilizza i concetti della meccanica del continuo (conservazione della massa, equilibrio, congruenza, legame costitutivo) per formulare modelli di calcolo.

Sondaggi con campionamento e prove di laboratorio

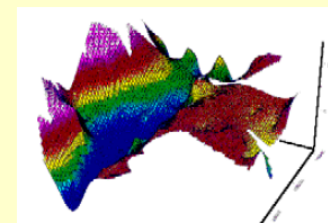


Modellazione costitutiva

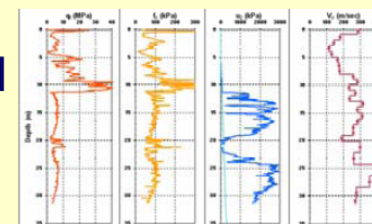
Valutazione dei parametri
 D_{50} , U , γ , $e_0(n)$, w , S_r , Ψ , D_R , K_σ , OCR
 G_σ , ν' , E' , E_u , ϕ' (M), c' , D , c_u
 $C_c(\lambda)$, $C_r(\kappa)$, C_α , V_p , V_s , V_R , k , c_v

Modellazione costitutiva

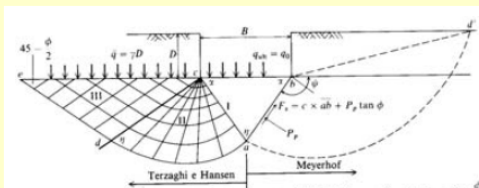
Indagini geofisiche



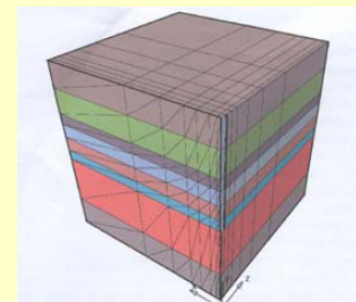
Prove in posto



Metodi analitici



Simulazioni numeriche



ALCUNE DEFINIZIONI

L'ACQUA IN QUIETE

Acqua libera: acqua libera di muoversi attraverso gli elementi solidi sotto l'influenza della gravità.

Acqua di assorbimento: acqua trattenuta **meccanicamente** nel terreno.

Acqua di adsorbimento: acqua trattenuta da **forze chimico-fisiche** nel terreno.

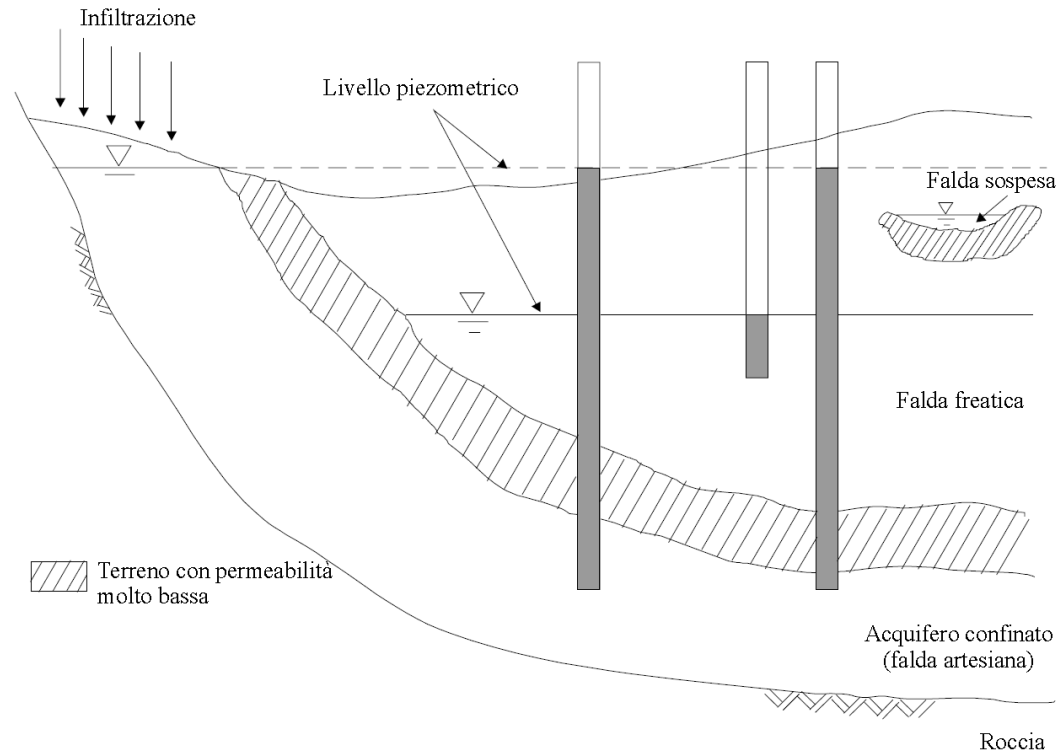
Pressione idrostatica: pressione in un **liquido in quiete** (condizioni statiche), pari al prodotto del peso specifico del liquido e della profondità dalla superficie piezometrica.

Superficie piezometrica: superficie in corrispondenza della quale la **pressione idrostatica relativa è uguale a zero** (e quella assoluta pari alla pressione atmosferica).

Quota piezometrica: elevazione rispetto ad una quota di riferimento del livello dell'acqua nel sottosuolo, pari alla somma della quota geometrica e dell'altezza piezometrica.

Piezometro: strumento per misurare la quota piezometrica mediante l'altezza del pelo libero dell'acqua.

Pressione neutra o interstiziale: pressione dell'acqua nei pori di un terreno o di un ammasso roccioso.



L'ACQUA "IN MOTO"

Risalita capillare: altezza al di sopra della superficie piezometrica a cui l'acqua risale per azione della capillarità.

Filtrazione: il moto (flusso) dell'acqua nel terreno, associato ad un gradiente idraulico.

Gradiente idraulico: perdita di carico per distanza unitaria del flusso.

Linea di flusso: traiettoria teorica seguita da una particella d'acqua in un **flusso laminare**.

Linea (superficie) equipotenziale: linea (superficie) di uguale quota piezometrica (potenziale idraulico).

Rete di flusso (o di deflusso): rappresentazione grafica di linee di flusso e linee (superfici) equipotenziari, utilizzata nello studio di fenomeni di filtrazione.

Coefficiente di permeabilità (permeabilità): volume d'acqua passante nell'unità di tempo attraverso una sezione unitaria di un mezzo poroso, sotto un gradiente idraulico unitario.

Acquifero: formazione di terreno saturo (o parzialmente saturo) sufficientemente permeabile da fornire acqua a pozzi o sorgenti.

Sovrappressione interstiziale: pressione interstiziale in eccesso rispetto alla pressione idrostatica.

Condizioni di drenaggio libero (drenate): stati di sollecitazione del terreno saturo in cui è possibile un moto di filtrazione associato a variazioni del contenuto d'acqua.

Condizioni di drenaggio impedito (non drenate): stati di sollecitazione del terreno saturo in cui non sono possibili né filtrazione né variazioni del contenuto d'acqua.

Consolidazione: transitorio tra condizioni di drenaggio impedito e libero di un terreno saturo. Consiste nella graduale riduzione di volume associata ad una diminuzione di contenuto d'acqua, derivante da un incremento di sollecitazioni di compressione.

Terreno coesivo: presenta allo stato secco una considerevole resistenza alla compressione non confinata ed una significativa coesione se immerso in acqua.

Terreno granulare o incoerente: presenta allo stato secco trascurabile resistenza alla compressione non confinata e coesione nulla se immerso in acqua.

Porosità: rapporto tra volume dei vuoti di una massa di terreno e il volume totale.

Compattezza: il grado di addensamento di un terreno granulare, inversamente proporzionale alla porosità.

Contenuto d'acqua: rapporto tra peso dell'acqua di un dato volume di terreno e il peso della parte solida. Se è nullo, il terreno si dice *asciutto*; se è massimo, il terreno è *saturo*.

Consistenza: la difficoltà relativa con cui un terreno fine può essere deformato, in dipendenza dal contenuto d'acqua.

Stato plastico: intervallo di consistenza nel quale un terreno fine presenta proprietà plastiche (di plasmabilità).

Peso dell'unità di volume: peso specifico «apparente» della massa composta dalle particelle solide, dal liquido e dal gas eventualmente contenuti nei vuoti.

IL TERRENO “SOLLECITATO / STRESSATO”

Tensione: sforzo esercitato su un elemento unitario di superficie per effetto di una sollecitazione.

Tensione normale (tangenziale): componente dello sforzo unitario ortogonale (parallela) ad un dato piano.

Tensioni principali: sforzi agenti sui piani lungo cui non agiscono componenti tangenziali.

Tensione totale: sforzo totale agente su un elemento unitario di superficie, **corrispondente alla sollecitazione interna che equilibra i carichi esterni.**

Tensione efficace: sforzo normale, corrispondente alla **forza media per unità di superficie trasmessa tra granulo e granulo**, e pari alla differenza tra tensione totale e pressione interstiziale.

Tensione di sovra-consolidazione: massima tensione efficace alla quale una terra è stata sottoposta nella sua storia geologica.

Deformazione: variazione di dimensioni di un elemento derivante da **contrazione** (variazione di volume) o **distorsione** (variazione di forma).

Rigidezza (modulo di deformazione): rapporto tra sforzi e deformazioni sotto determinate condizioni di carico.

Modulo tangente (secante): pendenza della tangente (secante) nella curva sforzi-deformazioni.

Deformabilità: capacità di **variazione di forma** di una terra, sottoposta ad una sollecitazione di taglio.

Compressibilità: capacità di **riduzione di volume** di una terra, sottoposta ad una sollecitazione di compressione.

Compattazione (costipamento): addensamento di un terreno da costruzione per mezzo di azioni dinamiche.

IL TERRENO “ROTTO”

Snervamento (plasticizzazione): raggiungimento di stati tensionali limite per i quali si osservano deformazioni irreversibili significative.

Duttilità: proprietà di una terra di deformarsi oltre il limite di snervamento **senza apprezzabili** cadute di tensione.

Fragilità: proprietà di una terra di deformarsi oltre il limite di snervamento **con significative** cadute di tensione.

Scorrimento: movimento traslativo di terreno o roccia su una superficie piana o curvilinea, associato a formazione di blocchi rigidi separati da forti discontinuità di deformazioni distorsionali.

Inviluppo di resistenza (inviluppo di Mohr): il luogo di stati tensionali (tangente ai cerchi di Mohr), rappresentanti condizioni di sollecitazioni a rottura, espressi in termini di tensioni normali e tangenziali.

Attrito interno: l'aliquota di resistenza al taglio proporzionale agli sforzi normali tra i granuli.

Coesione: l'aliquota di resistenza al taglio di un terreno in assenza di sforzi normali.

- *Coesione apparente:* c. nei terreni granulari dovuta alle tensioni capillari.
- *Coesione vera:* c. nei terreni granulari cementati o fini, dovuta a legami interparticellari di natura fisico-chimica.

(Stato limite di) equilibrio plastico: stato di sforzo in un terreno deformato sino al punto di mobilitazione della resistenza al taglio.

Equilibrio plastico attivo (passivo): associato a espansione (compressione) della massa di terreno.

Gradiente idraulico critico: gradiente idraulico per il quale gli sforzi normali intergranulari in una massa di terreno incoerente sono annullati dalle sovrappressioni interstiziali.

Sifonamento: instabilità idrodinamica in terreni granulari, prodotta da gradiente idraulico critico.