

Scienze e Tecnologie per i Beni Culturali

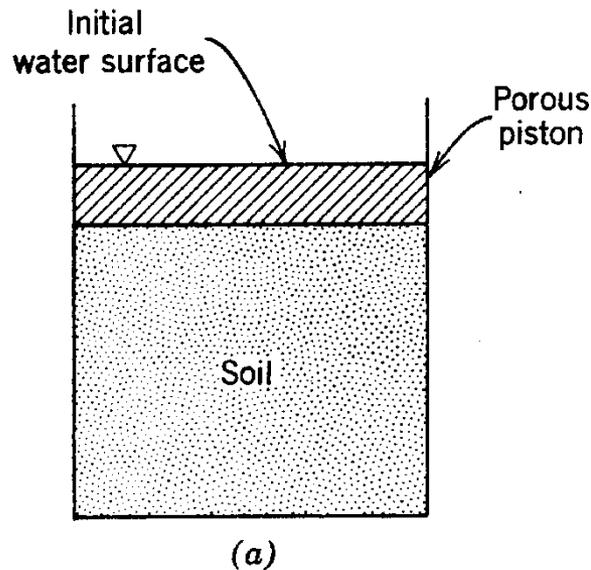
Corso di Geologia Applicata

Dott. Maria Chiara Turrini

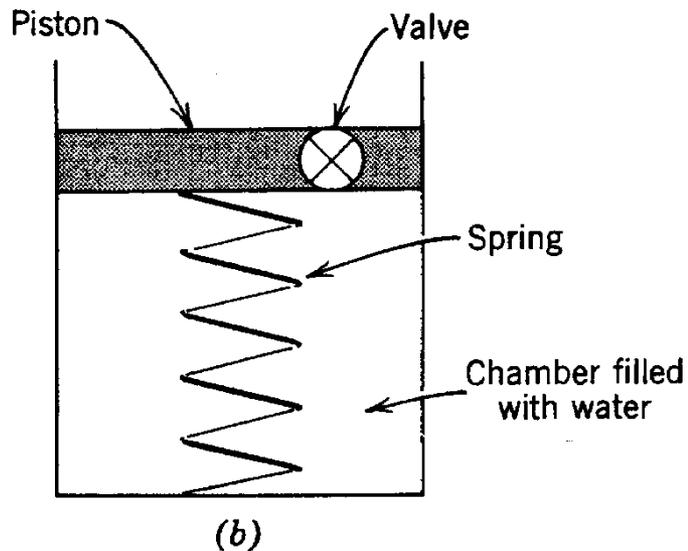
Consolidazione

Ripartizione degli sforzi fra fase solida e fase liquida

Poiché il terreno è un sistema multifase, il carico applicato verrà sopportato in parte dallo scheletro minerale e in parte dal fluido contenuto nei pori.

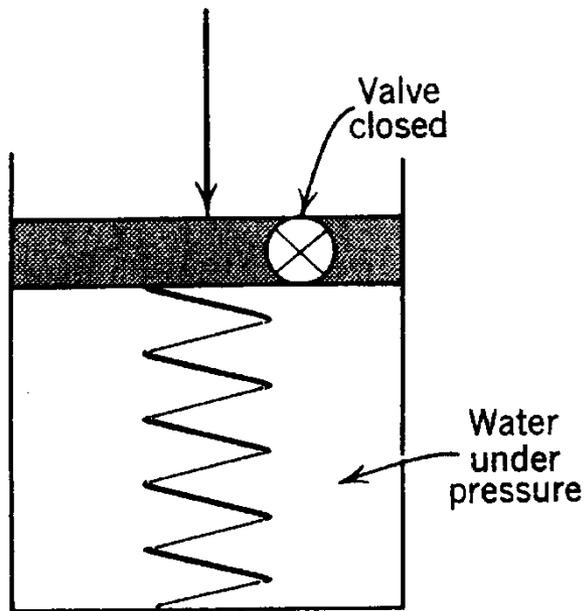


Supponiamo di avere un contenitore rigido, riempito con una terra satura. Il contenitore è chiuso con una pietra porosa, anch'essa satura, per consentire la fuoriuscita dell'acqua, che servirà da pistone.



Per visualizzare il comportamento del terreno saturo sottoposto a carico, sostituiamo il dispositivo precedente col dispositivo qui a fianco, in cui la resistenza dello scheletro minerale alla compressione è rappresentato da una molla, mentre la resistenza al flusso dell'acqua attraverso il terreno è rappresentata da una valvola nel pistone impermeabile.

L'unica pressione che esiste all'interno del cilindro è quella idrostatica u_0 .

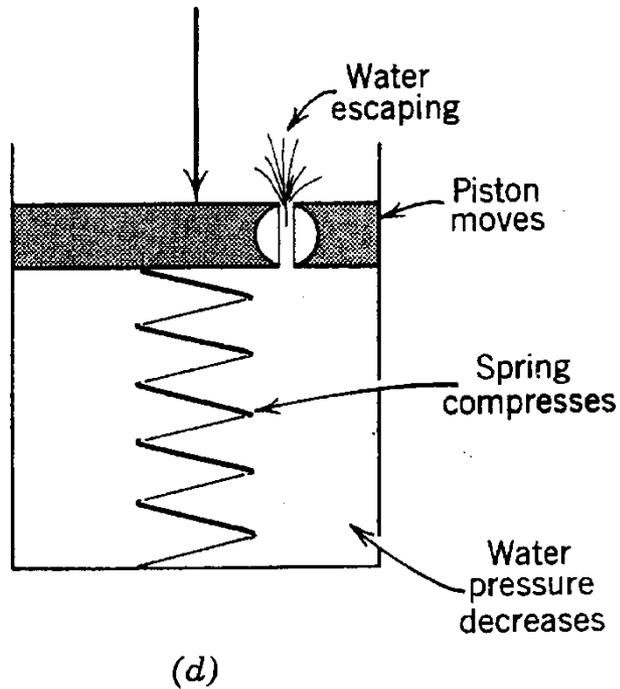


Applichiamo un carico al pistone, in cui la valvola è mantenuta chiusa.

Il pistone si abbasserà di pochissimo in quanto l'acqua è pressoché incompressibile.

Poiché non ho un raccorciamento della molla, questa evidentemente non sopporta alcun carico.

Essenzialmente tutto il carico applicato è sopportato dall'acqua che, come conseguenza, entra in pressione.

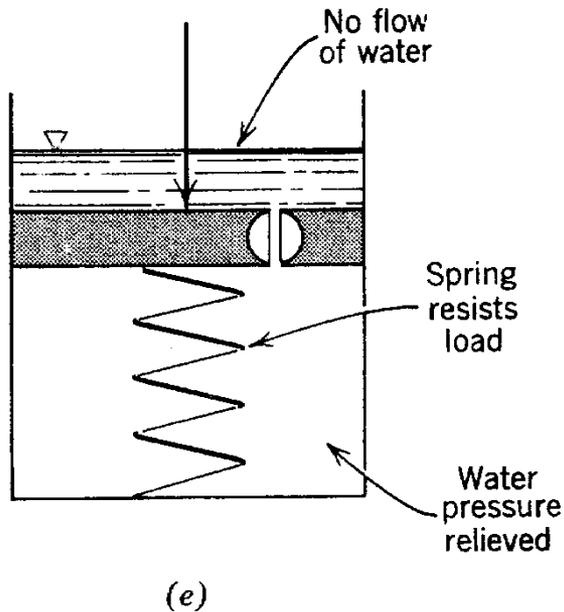


Apriamo la valvola.

La pressione spinge l'acqua attraverso la valvola.

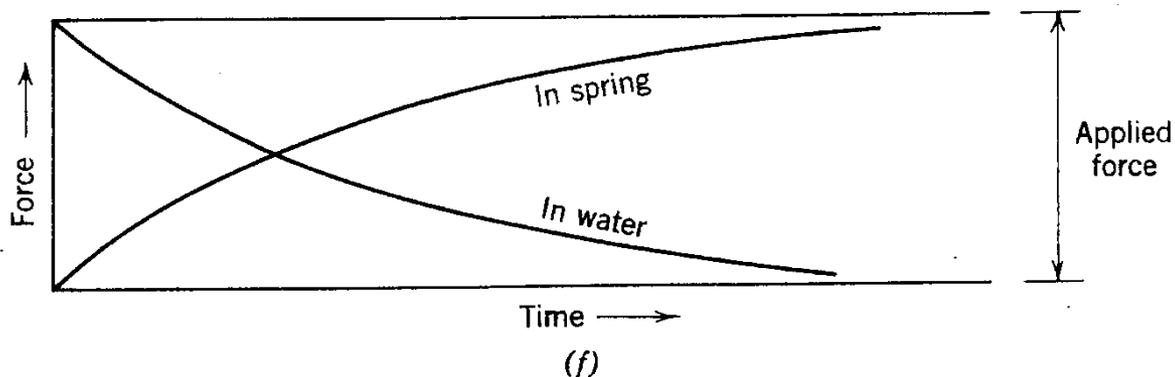
Mentre l'acqua esce il pistone può abbassarsi e la molla si raccorcia in quanto comincia a sopportare una frazione significativa del carico applicato.

La pressione dell'acqua nel cilindro diminuisce, via via che l'acqua fuoriesce dalla valvola.



Se il carico non cambia, si arriverà ad una condizione di equilibrio in cui la molla avrà raggiunto il raccorciamento adeguato al carico applicato e supporterà tutto il carico, mentre l'acqua non fluirà più.

La pressione all'interno del cilindro sarà di nuovo solo quella idrostatica.

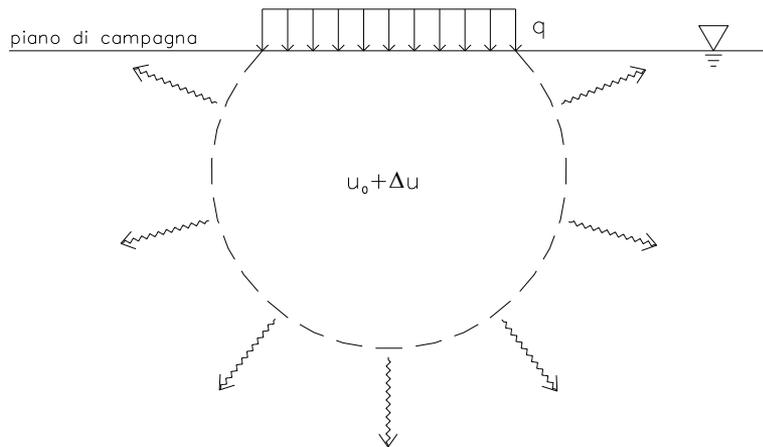


Poiché solo una piccola quantità di acqua può fluire nel tempo attraverso la valvola, il processo che trasferisce il carico dall'acqua alla molla deve avvenire gradualmente, come è esemplificato nel diagramma.

Il processo per il quale si ha l'espulsione graduale dell'acqua dai pori si chiama **consolidazione** e il tempo necessario affinché il processo avvenga si chiama **tempo di consolidazione**.

L'applicazione di un carico sul terreno comporta l'insorgere di sovrappressioni dell'acqua interstiziale.

La loro entità varia da punto a punto all'interno del bulbo tensionale, mentre al di fuori di esso l'acqua conserva il valore di equilibrio iniziale u_0 .



Distribuzione degli sforzi nel terreno, indotti dalla presenza di un carico distribuito q .

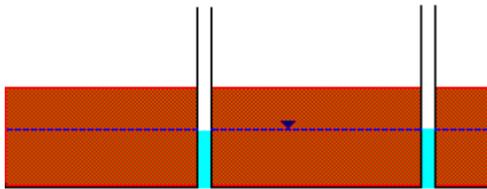
Creatosi così un gradiente, si instaura un moto di filtrazione la cui durata dipende dalle caratteristiche di permeabilità e deformabilità del terreno.

In particolare per **terreni a grana grossa** il tempo di durata del fenomeno è talmente breve da essere trascurabile.

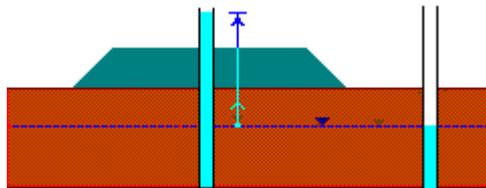
Nel caso di **terreno fine** (permeabilità inferiore) esso può essere anche dell'ordine di alcune decine di anni.

La velocità della consolidazione diminuisce nel tempo; circa la metà della consolidazione totale avviene in un decimo del tempo totale.

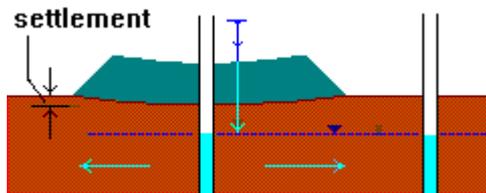
Consider a site on clay soil with initial steady-state groundwater conditions. An embankment is built, the loading is undrained: the pore pressure in the soil increases, seepage flow and therefore volume changes commences. As consolidation takes place, settlement occurs, and continues at a decreasing rate until steady-state conditions are regained.



Situazione prima del carico



Situazione subito dopo il carico



Situazione dopo il ritorno all'equilibrio

Tempo di consolidazione

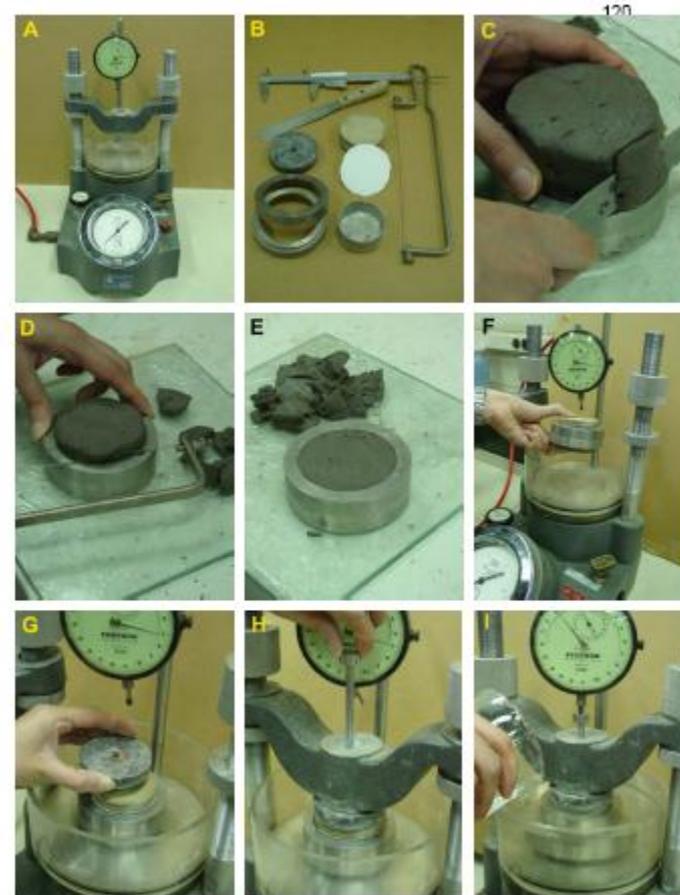
È il tempo necessario a raggiungere un certo grado, espresso in percentuale, della consolidazione.

Dipende dallo spessore del terreno interessato dal bulbo tensionale (H), dalla compressibilità del terreno (m_v) e dalla permeabilità del terreno (k)

$$t_c \approx \frac{m_v \cdot H^2}{k}$$

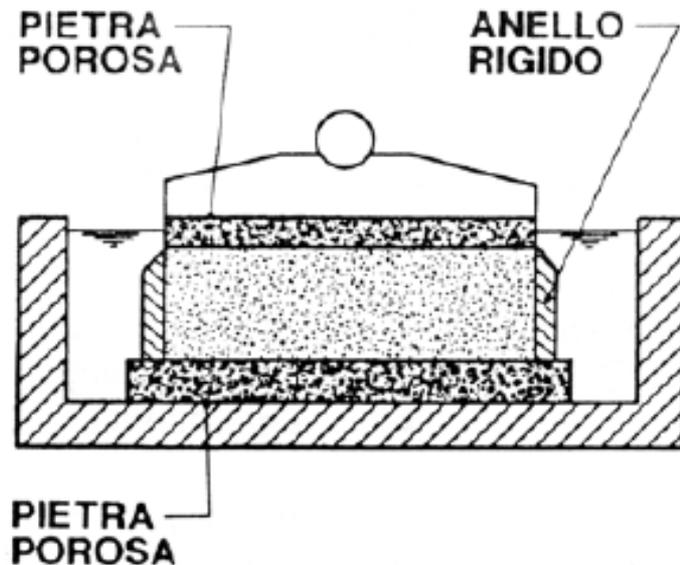
- aumenta all'aumentare della compressibilità
- aumenta rapidamente all'aumentare dello spessore del terreno
- diminuisce all'aumentare della permeabilità
- non dipende dal carico applicato

Il coefficiente m_v e il coefficiente k possono essere ricavati da una prova di laboratorio che consente di simulare il comportamento di un terreno caricato verticalmente: la **prova edometrica**



Engineering Properties of Soils Based on Laboratory Testing
Prof. Krishna Reddy, UIC

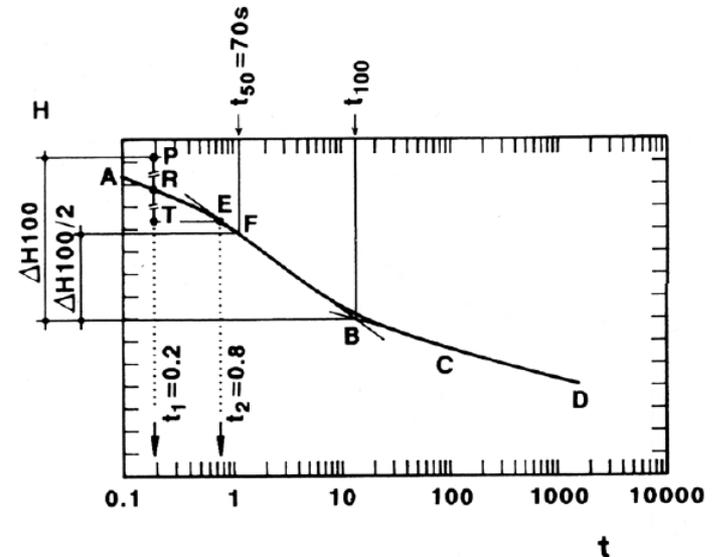
La prova edometrica consiste nell'applicare un carico verticale ad un provino cilindrico di terreno saturo, contenuto lateralmente da un anello rigido e compreso tra due pietre porose permeabili, in modo da permettere il drenaggio nella sola direzione verticale.

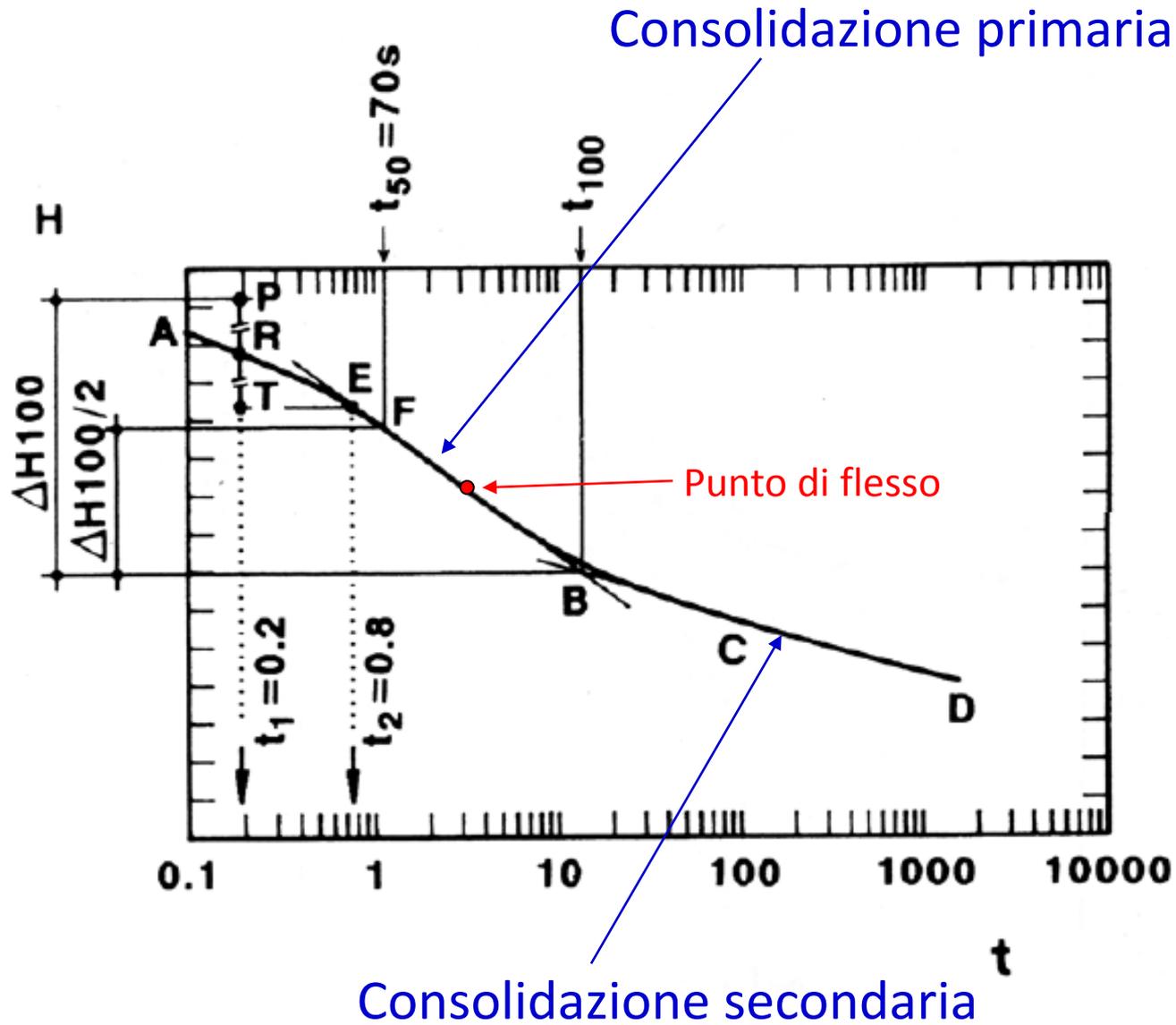


Il metodo più utilizzato è quello ad incremento di carico costante. Esso prevede l'applicazione di una serie di gradini di carico mantenuti costanti per un periodo, solitamente di 24 ore, sufficiente a garantire la completa dissipazione delle sovrappressioni dell'acqua interstiziale generate dal carico stesso.

Gli incrementi di pressione verticale $\Delta\sigma_v$ sono applicati in una sequenza di 9 carichi successivi pari a: 12.5, 25, 50, 100, 200, 400, 800, 1600, 3200 kN/m², terminata la fase di carico si procede a quella di scarico secondo 4 step di carico pari a: 800, 200, 50, 12.5 kN/m².

Per ogni step si possono riportare i valori ottenuti su un diagramma semilogaritmico (tempo, cedimenti), ed è possibile distinguere un primo tratto AB, in cui si hanno deformazioni del provino conseguenti all'espulsione dell'acqua dai pori (processo di consolidazione primaria), e un secondo tratto lineare, BD, corrispondente a deformazioni viscosi (consolidazione secondaria).





L'aliquota di deformazione da considerare nel tracciamento della curva sforzi-deformazioni è solo quella che compete al processo di consolidazione primaria, ed è convenzionalmente ottenuta dall'intersezione del tratto lineare BD con la tangente BE alla curva sperimentale nel punto di flesso F.

I valori di cedimento

$$\Delta H = H_0 - H$$

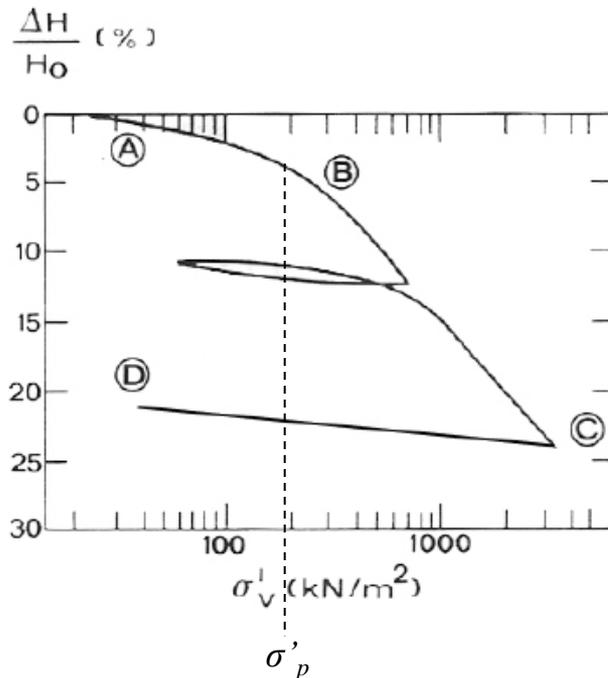
(H_0 = altezza iniziale del provino; H = altezza finale del provino) così ottenuti permettono di ricavare le deformazioni verticali

$$\varepsilon_v = \frac{\Delta H}{H_0}$$

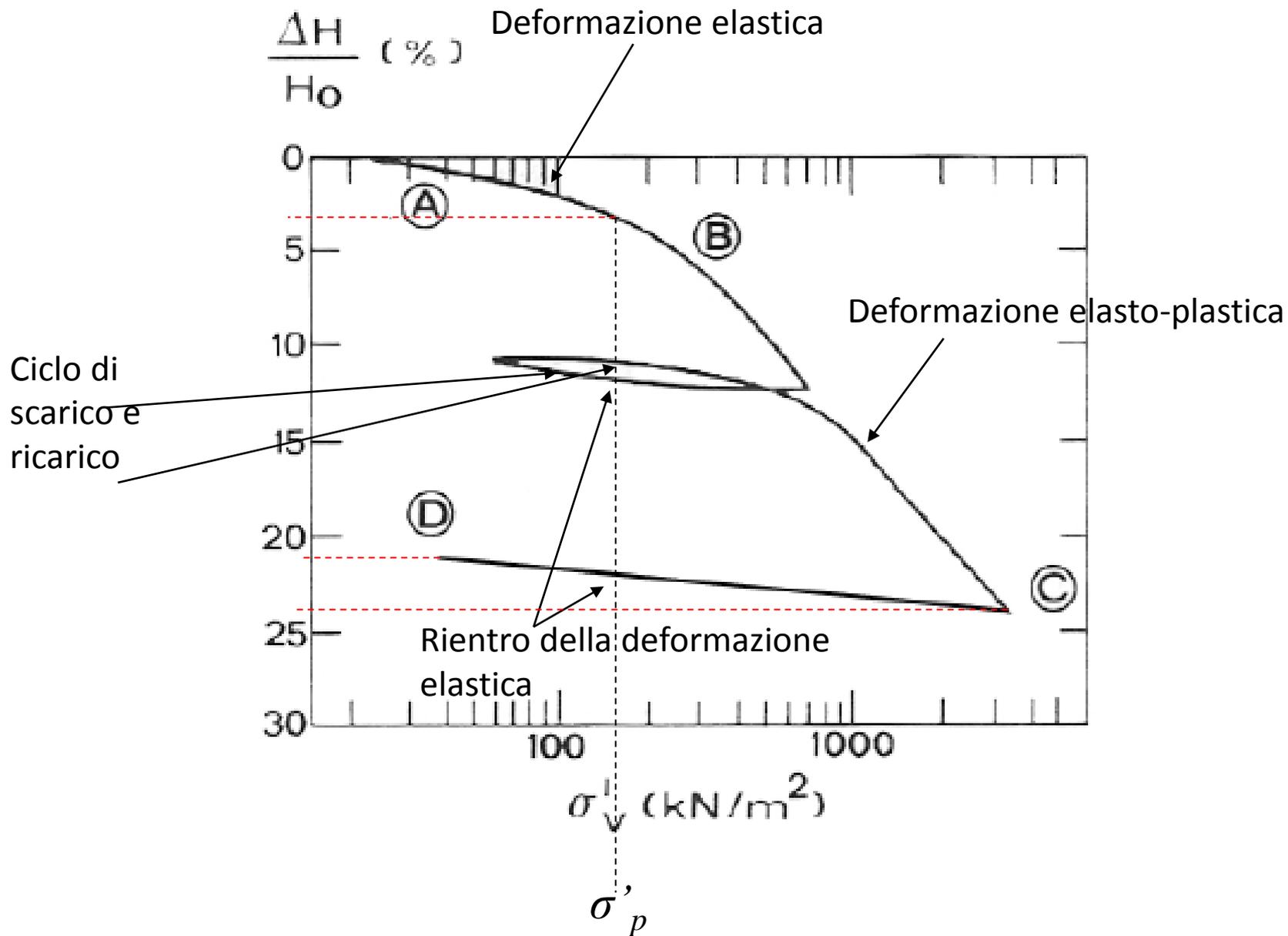
che vengono diagrammate in funzione del logaritmo delle tensioni applicate.

La curva che ne deriva è composta da diversi tratti:

Il primo tratto (*AB*) è definito tratto di ricomprensione, il terreno ha un comportamento elastico non lineare caratterizzato da una modesta compressibilità.



Una volta raggiunta la σ'_p (pressione di preconsolidazione), la massima tensione di consolidazione a cui è stato sottoposto il terreno durante la sua storia geologica, inizia un tratto di compressione (*BC*) con deformazioni sia elastiche che plastiche, in cui queste ultime sono l'aliquota maggiore. Nella curva di scarico (*CD*) il campione recupera tutta l'aliquota di deformazioni elastiche che si sono avute durante la prova mettendo in evidenza l'aliquota di deformazioni di natura plastica generatosi nel tratto di compressione.



Dalla prova edometrica si possono ricavare tutta una serie di parametri fondamentali per la progettazione geotecnica come:

- parametri di consolidazione e coefficiente di permeabilità
- parametri di compressione volumetrica
- moduli di deformazione
- pressione e grado di preconsolidazione
- parametri di rigonfiamento

In modo particolare si ricava il **coefficiente di compressibilità**

$$m_v = \frac{\delta \varepsilon_v}{\delta \sigma_v'}$$

ε_v = deformazione verticale
 σ_v = sforzo che ha provocato la deformazione ε_v

e il **coefficiente di consolidazione**

$$C_v = \frac{0.197 \cdot (H / 2)^2}{t_{50}}$$

H = altezza del provino
 t_{50} = tempo necessario a raggiungere il 50% della consolidazione totale

Conoscendo i parametri sopradetti è possibile calcolare i cedimenti di un terreno di caratteristiche conosciute relativamente ad un manufatto che si intende costruire.

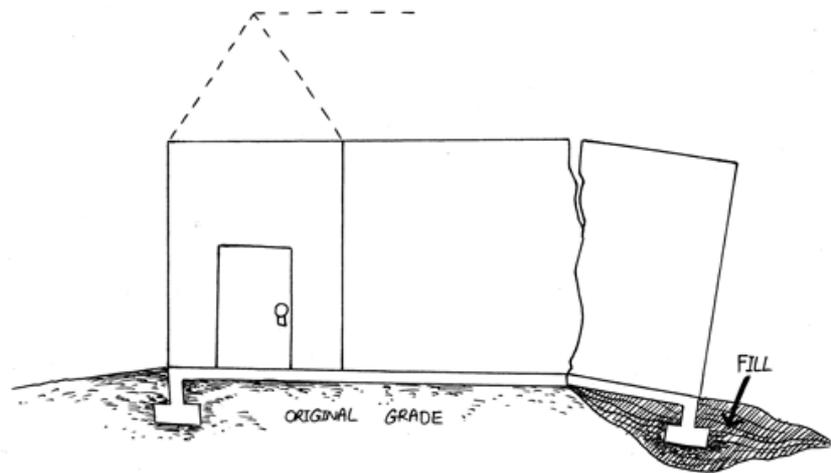
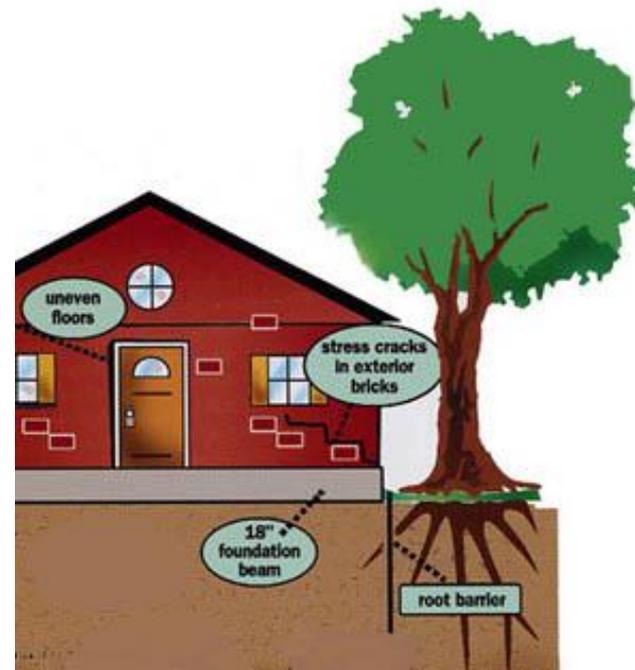
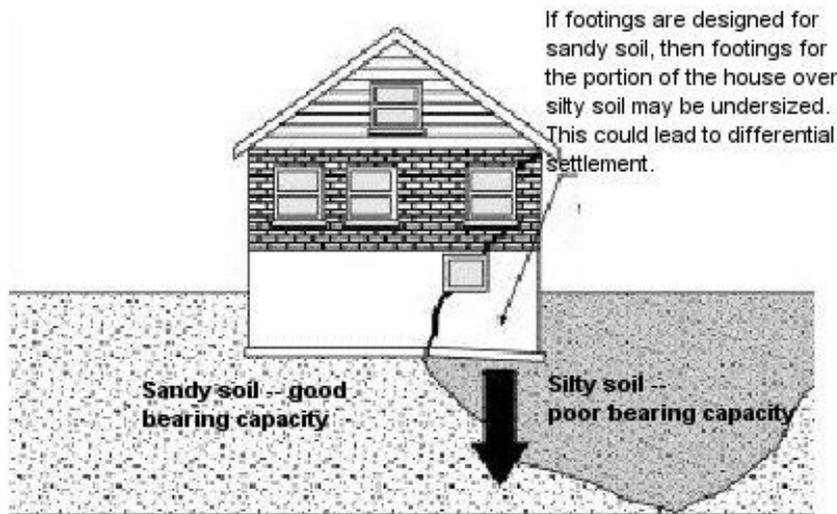
In questo modo è possibile progettare il manufatto tenendo conto delle caratteristiche del terreno, così da evitare danni strutturali causati dai cedimenti del terreno.

Per far questo è necessario:

1. “appoggiare” il manufatto su terreni con caratteristiche tali da ridurre i cedimenti (caratteristiche meccaniche più elevate)
2. diminuire lo sforzo applicato al terreno a causa del peso del manufatto (aumentando la base di appoggio)
3. distribuire uniformemente il peso del manufatto

I **cedimenti differenziali** sono spostamenti non uniformi che avvengono nelle strutture e che si evidenziano successivamente al completamento della struttura stessa.

Un esempio che illustra cosa sono e quali possono essere i pericoli connessi ai cedimenti differenziali è il seguente: si supponga di lasciare l'automobile parcheggiata inizialmente su un prato; ritornando si nota che una ruota è affondata di ben 30 cm nel suolo, un'altra ruota è rimasta esattamente nella sua posizione iniziale, le altre due ruote sono affondate di soli 5 cm. L'automobile ha subito dei cedimenti differenziali, ossia non tutti i cedimenti sono della stessa entità. La macchina, dapprima orizzontale si sarà un po' inclinata da una parte, perdendo la posizione iniziale.

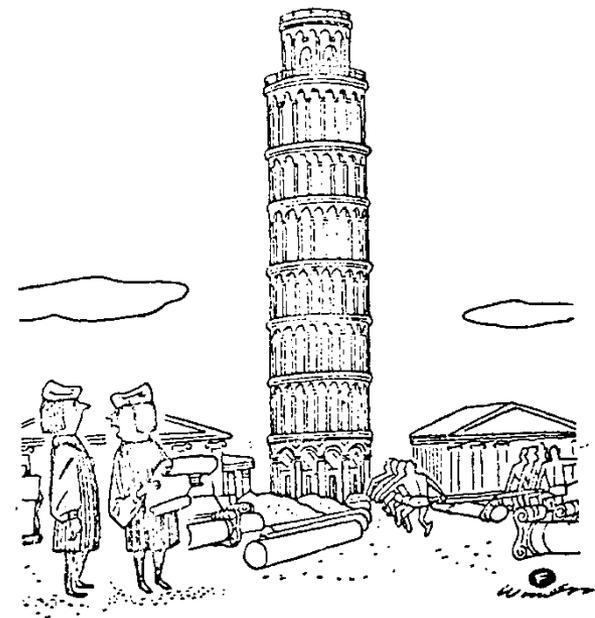


Situazioni che possono provocare cedimenti strutturali





Un esempio noto a livello mondiale su cosa può produrre un cedimento differenziale del terreno di fondazione è l'inclinazione della Torre di Pisa.



**"I skimmed a little on the foundation,
but no one will ever know it!"**

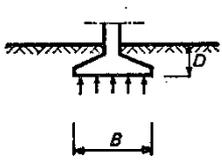
In edilizia e architettura le **fondazioni** sono quella parte della struttura dell'edificio che svolge il compito di trasmettere i carichi dalle strutture in elevazione al terreno.

Le **fondazioni** sono gli elementi strutturali che hanno la funzione di ricevere i carichi provenienti dalla sovrastruttura (sia essa una costruzione, un'apparecchiatura o altro) e trasmetterli al suolo. Pertanto, proprio per il ruolo di interfaccia che esse svolgono, le fondazioni sono il principale elemento strutturale che risente di quella che generalmente è indicata come **interazione terreno-struttura**.

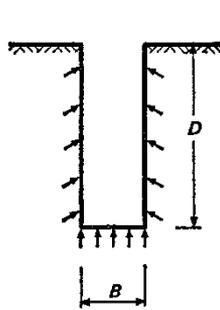
Possiamo suddividere le fondazioni in due famiglie:
fondazioni superficiali (o dirette): plinto, trave di fondazione, piastra di fondazione o platea.

fondazioni profonde (o indirette): palo di fondazione, micropalo, fondazione ciclopica.

FONDAZIONE DIRETTA



FONDAZIONE PROFONDA



Fondazione diretta

$$D/B < 4$$

Fondazione semi-profonda

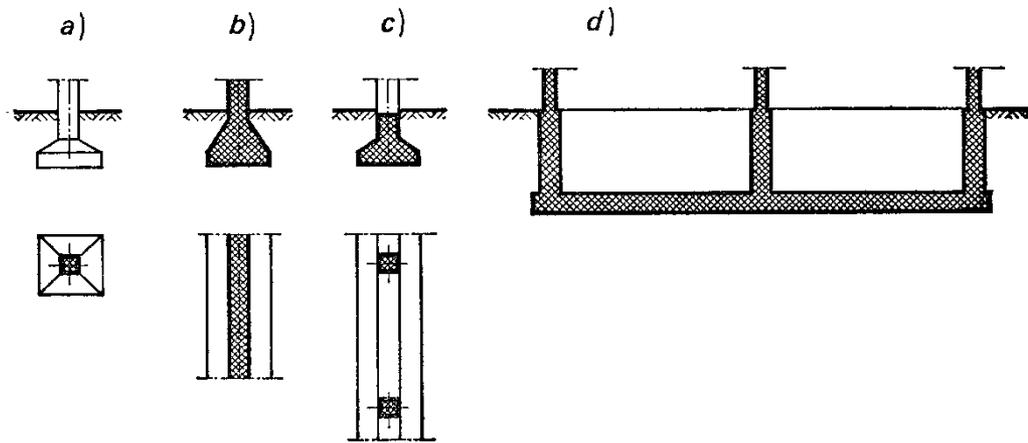
$$4 < D/B < 10$$

Fondazione profonda $D/B > 10$

Fondazioni dirette sono quelle per le quali il carico è interamente trasmesso al terreno con la pressione sotto il piano di appoggio, senza intervento di attrito laterale (o quando questo intervento è trascurabile)

Fondazioni profonde sono quelle per le quali il carico è trasmesso al terreno con la pressione sotto il piano di appoggio e per attrito lungo il fusto.

Fondazioni dirette



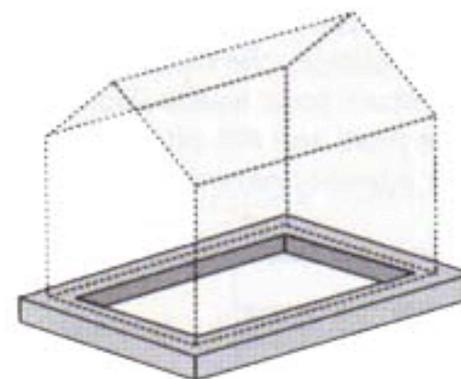
1. Fondazione su plinto quando ogni fondazione supporta un singolo pilastro (a)
2. Fondazione continua quando la fondazione è una trave (b) o i plinti sono uniti da una trave (c)
3. Fondazione a platea quando tutta la struttura viene supportata da una soletta che ricopre l'intera area occupata dall'edificio (d).



Plinto



Fondazione continua



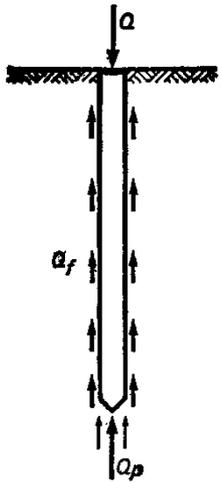


Platea di fondazione

Platea di fondazione in costruzione



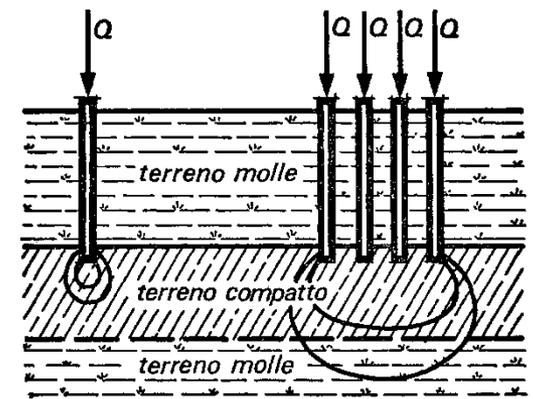
Fondazioni profonde



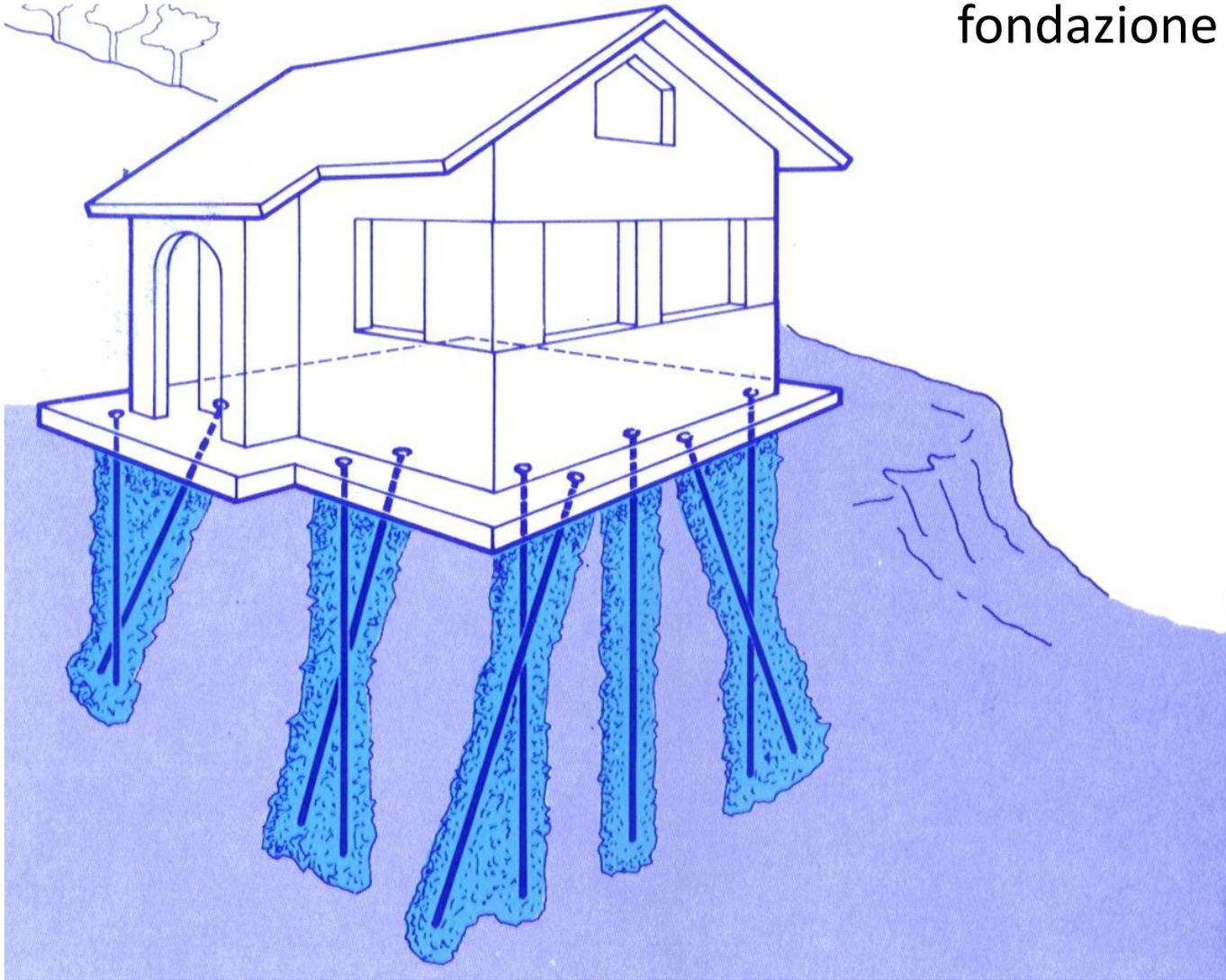
Le fondazioni profonde differiscono da quelle dirette essenzialmente per il fatto che trasmettono una parte della loro sollecitazione per attrito lungo il fusto al di sopra della base di fondazione.

Lo studio della stabilità delle fondazioni profonde consiste quindi anche nello studio dell'attrito laterale e nella valutazione dei suoi effetti.

È evidente che in un gruppo di pali (palificata) le sollecitazioni trasmesse al terreno da ciascun palo in alcune zone si sommano dando luogo a sollecitazioni maggiori. Ne consegue che generalmente la capacità portante di un gruppo di pali è inferiore alla somma delle capacità portanti di ciascun palo.



Micropali di fondazione





Infissione di un palo di fondazione prefabbricato

Armatura di un palo che sarà gettato in opera





L'installazione di fondazioni profonde per la costruzione di un ponte



Ammorsamento di pali di fondazione

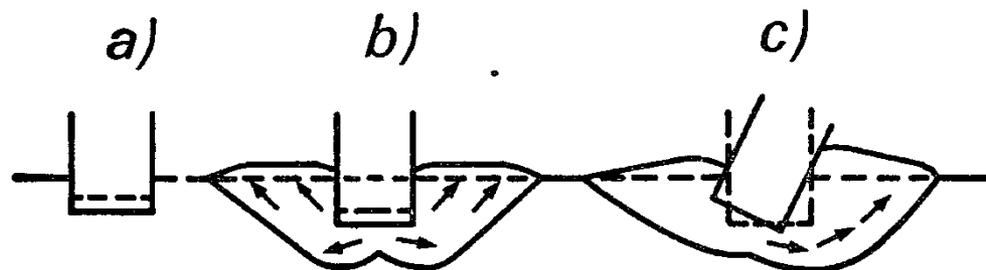


Fondazioni a pozzo (ciclopiche) sono costituite da scavi a sezione obbligata profondi, riempiti con materiale arido accuratamente costipato o conglomerato cementizio a basso tenore di cemento.

Nella progettazione della fondazione un primo calcolo è costituito dalla verifica di stabilità del complesso terreno-fondazione; cioè si procede alla determinazione del **carico di rottura** o **capacità portante**, rappresentata dal carico massimo per cui il terreno entra in una fase plastica nella quale il cedimento è accompagnato da una rottura del terreno per taglio.

Il **carico di rottura** non è una caratteristica intrinseca del terreno, ma è funzione delle sue caratteristiche meccaniche, della profondità del piano di fondazione, della forma e delle dimensioni della superficie di carico.

Il comportamento del terreno sotto una fondazione sulla quale il carico aumenta progressivamente fino a produrre la rottura può essere diviso in tre fasi:



- a) Una fase pseudoelastica, nel corso della quale la sollecitazione aumenta dando luogo ad un cedimento minimo;
- b) Una fase plastica nella quale il cedimento è accompagnato da una rottura del terreno per taglio e da un rigonfiamento da una parte e dall'altra della fondazione;
- c) Una fase di rottura, nel corso della quale, in seguito alle differenze nella natura del suolo, la rottura finale avviene generalmente per rovesciamento.