

MECCANICA DEL TERRENO E FONDAZIONI

Una costruzione (edificio, strada, muro di sostegno ecc.), trasferisce dei carichi che trasmettono delle sollecitazioni al terreno, il quale deve essere in grado di sopportarle.

Il terreno va inteso come parte integrante di una struttura o come materiale che costituisce la struttura: esiste una interazione tra struttura e terreno.

Le terre devono soddisfare determinate esigenze di resistenza quando sono soggette a particolari situazioni di sollecitazione; è necessario pertanto eseguire delle prove, che hanno minore o maggiore importanza in funzione dell'uso che si vuole fare delle terre: usate per materiale da costruzione (strade, dighe, rilevati) o come elemento di fondazione o sottosuolo.

La Geotecnica: studia le caratteristiche fisico-meccaniche e permette di prevedere il comportamento delle terre sotto l'azione dei carichi.

caratteristiche fisiche delle terre: peso specifico naturale, peso specifico secco, porosità, indice dei vuoti, contenuto d'acqua, permeabilità, capillarità, granulometria ecc.

caratteristiche meccaniche delle terre: attrito interno, coesione ecc.

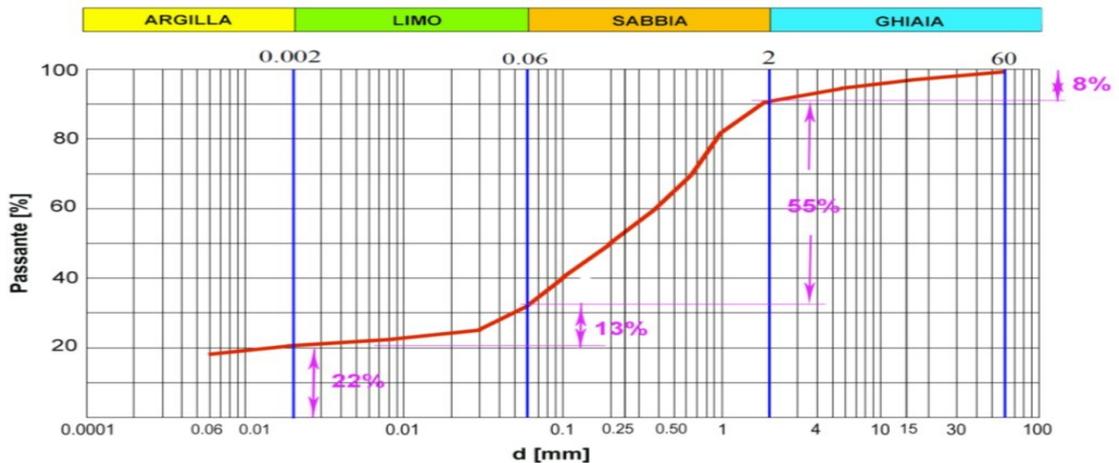
I terreni sono costituiti da una fase solida (granuli), da una fase liquida (acqua) e/o da una fase gassosa (aria). La fase solida costituisce la percentuale maggiore, è formata da particelle con differenti dimensioni; per tale motivo si suddividono le terre in funzione della loro granulometria.

Diamo una definizione in base all'analisi granulometrica (basata sul diametro medio d delle particelle che le compongono):

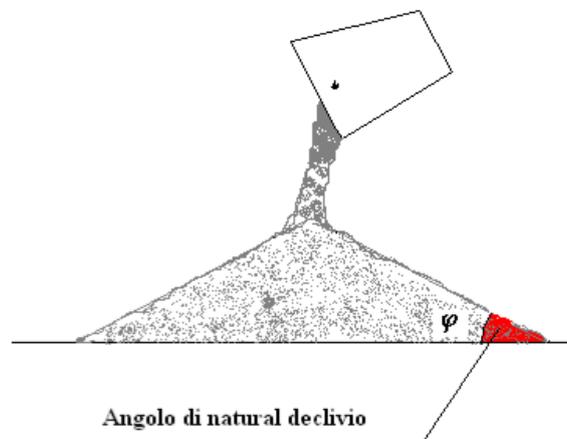
| | | |
|---------|--------------------|----|
| Argilla | $d < 0.002$ | mm |
| Limo | $0.002 < d < 0.02$ | mm |
| Sabbia | $0.02 < d < 2$ | mm |
| Ghiaia | $2 < d < 200$ | mm |
| Blocchi | $d < 200$ | mm |

L'analisi granulometrica viene fatta per setacciatura e si usano dei setacci disposti in serie, ognuno dei quali trattiene la frazione di solido i cui granuli hanno dimensioni maggiori dei fori del setaccio. La colonna di setacci viene appoggiata su un "setacciatore" che scuote la colonna per un determinato periodo di tempo, passato il quale si procede alla pesatura delle frazioni di solido trattenute in ciascun setaccio. Il peso di ciascuna frazione solida viene quindi rapportato al peso del solido totale. I valori dei passanti ottenuti e dei relativi diametri si riportano in un grafico ottenendo la curva granulometrica del terreno analizzato.





Tra le particelle, che costituiscono un terreno, è presente sempre l'**attrito**. Per capire in modo semplice l'attrito di un terreno, si può ricorrere ad un semplice esperimento: prendiamo un secchio di sabbia e lo versiamo a terra, otterremo una "montagnetta" di terreno, il cui angolo di inclinazione viene detto angolo di **natural declivio** o **angolo di attrito interno del terreno**.



I terreni vengono suddivisi in **coerenti** o **incoerenti** in funzione delle loro caratteristiche meccaniche (presentano comportamenti diversi quando sono soggetti a carichi).

La **coesione** è la forza di adesione dei granelli di terra uno con l'altro e dipende dalla presenza di acqua e dalla granulometria del terreno.

La coesione è presente nei terreni a grana fine (limi, argille) e praticamente nulla nei terreni a grana grossa (sabbia, ghiaia). Si parla quindi rispettivamente di **terreni coerenti** e terreni **incoerenti**.

Indagini sui terreni

Per determinare le caratteristiche dei terreni è necessario eseguire delle indagini su di esso. Abbiamo due categorie di indagini: indagini in **sito** ed indagini in **laboratorio**. Sono indagini, ovviamente di natura diversa che presentano entrambi vantaggi e svantaggi. Le indagini in sito hanno il vantaggio di esaminare il terreno nel suo stato naturale, ossia indisturbato, mentre quelle di laboratorio esaminano campioni di terreno che necessariamente vengono prelevati dal terreno e quindi in qualche modo disturbati.

Indagini in sito

Con tali indagini possiamo rilevare le caratteristiche geologiche dei terreni, ma anche di resistenza. Abbiamo indagini di tipo **diretto**, quando l'esame avviene tramite il prelievo di campioni di terreno, e **indiretto**, quando invece usiamo attrezzature che ci permettono di raccogliere informazioni senza prelevare campioni di terreno.

Tra questi abbiamo:

- sondaggi diretti come i carotaggi;
- indagine indiretta tramite sonda geoelettrica;
- indagini geosismiche;
- prove penetrometriche.

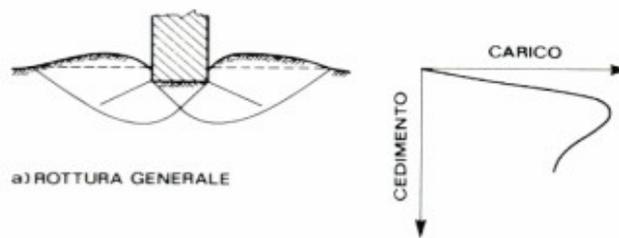
Indagini in laboratorio

Tali indagini si eseguono su campioni prelevati sul posto ed esaminati in laboratorio. E' di fondamentale importanza che tali campioni siano disturbati il meno possibile. Le prove in laboratorio consentono di rilevare, oltre al **peso specifico** e ad altre caratteristiche dei terreni, l'**angolo di attrito** e la **coesione**.

A tale risultato si può giungere mediante due tipi diversi di prove: la prova di **taglio diretto** e la **prova triassiale**.

Sollecitazioni sul terreno

Quando un terreno è sottoposto ad un carico gradualmente crescente, tramite per esempio una fondazione, subisce un cedimento che dipende da molti fattori, quali: la sua maggiore o minore compressibilità, tipo di fondazione, profondità del piano di posa, caratteristiche fisico-meccaniche del terreno, inclinazione del carico ecc. Si definisce carico limite del complesso terreno-fondazioni il carico per unità di area che porta a rottura il terreno, ossia che fa aumentare notevolmente i cedimenti, detto in modo semplice diremo che la fondazione "sprofonda" sotto quel carico.



Il valore del carico limite è di norma riportato sulla relazione geotecnica unitamente a quello della tensione ammissibile sul terreno e il tipo di fondazione utilizzato.

Nel caso di fondazioni dirette la tensione ammissibile sul terreno si ottiene dividendo il carico limite per un coefficiente di sicurezza maggiore o uguale a 3.

Il valore del carico limite q_{lim} o q_{ult} , superato il quale si ha la rottura del terreno viene determinato con formule sperimentali.

Formula di Terzaghi

Condizioni di applicabilità:

- fondazioni superficiali;
- piano di campagna e piano di imposta della fondazione orizzontali;
- carico trasmesso alla fondazione verticale e baricentrico rispetto alla base della fondazione stessa.

Caso di terreni compatti

$$q_{lim}(q_{ult}) = v_c \cdot c \cdot N_c + v_q \cdot \gamma_{t,1} \cdot t \cdot N_q + v_\gamma \cdot \gamma_{t,2} \cdot \frac{b}{2} \cdot N_\gamma$$

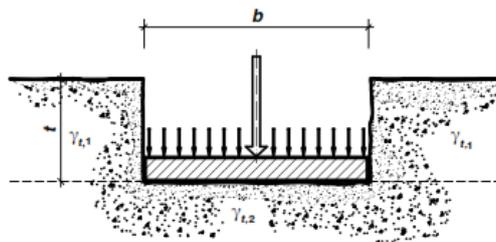
dove:

v_c, v_q, v_γ = coefficienti di forma (valori in tabella 24.12);

c = coesione; a vantaggio della sicurezza è consigliabile assumere $c = 0$;

$\gamma_{t,1}$ = peso volumico della terra situata ai lati della fondazione a livello del suo piano di imposta (vedi figura)

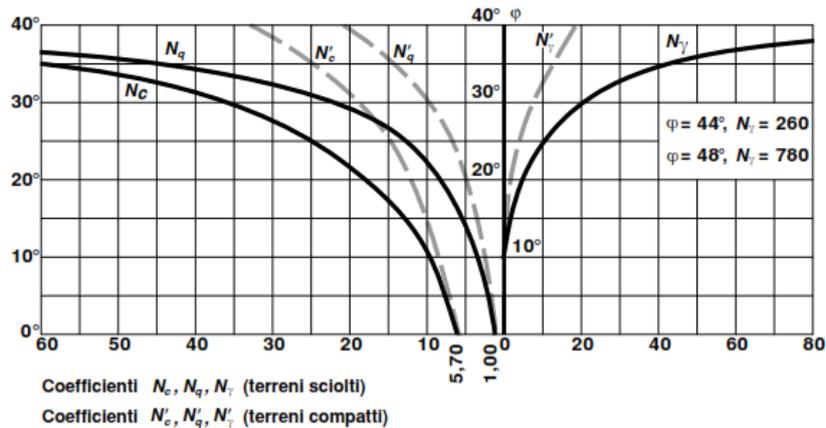
$\gamma_{t,2}$ = peso volumico della terra situata sotto il piano di fondazione.



t (oppure D) = profondità del piano di posa;

b = minore larghezza della fondazione;

N_c, N_q, N_γ = coefficienti adimensionali di portanza con i valori riportati in tabella 24.13 o dal grafico della figura.



Caso di terreni poco compatti, sciolti o molli

$$q_{lim} = v_c \cdot c \cdot N'_c + v_q \cdot \gamma_{t,1} \cdot t \cdot N'_q + v_\gamma \cdot \gamma_{t,2} \cdot \frac{b}{2} \cdot N'_\gamma$$

N'_c, N'_q, N'_γ = coefficienti adimensionali di portanza ricavati dal grafico della figura.

Significato dei termini:

— $c \cdot N_c$ = resistenza per coesione del terreno sotto la fondazione;

— $\gamma_{t,1} \cdot t \cdot N_q$ = resistenza del terreno ai lati della fondazione;

— $\gamma_{t,2} \cdot \frac{b}{2} \cdot N_\gamma$ = resistenza per attrito del terreno sotto la fondazione.

Le fondazioni

Le fondazioni rappresentano gli elementi strutturali che hanno il compito di ricevere i carichi trasmessi dalle strutture e di trasferirli opportunamente sul terreno: sono gli elementi di collegamento, cioè dei vincoli tra la struttura e il terreno stesso.

Pertanto il loro dimensionamento deve essere fatto in modo che siano in grado di trasmettere i carichi al terreno ma allo stesso tempo devono essere in grado di resistere alle reazioni del terreno.

Criteri generali di progetto per le fondazioni superficiali

La profondità del piano di posa della fondazione deve essere scelta e giustificata in relazione alle caratteristiche e alle prestazioni della struttura in elevazione, alle caratteristiche del sottosuolo e alle condizioni ambientali.

Le strutture di fondazione trasmettono i carichi provenienti dalle strutture di elevazione agli strati di terreno che hanno caratteristiche di deformabilità e resistenza tali da sopportare tali azioni. Se lo strato di terreno idoneo si trova in superficie o in prossimità della superficie (solitamente lo strato superficiale, di spessore medio di circa 1.00 m, è costituito da terreno vegetale non idoneo) le strutture fondali saranno di tipo **diretto** (o superficiale). In caso contrario o si rende necessario un notevole sbancamento (non sempre possibile tecnicamente o economicamente), per raggiungere gli strati portanti, o ci si avvale di elementi strutturali (pali o micropali) sufficientemente lunghi da raggiungere lo strato portante, superando gli strati di scarse caratteristiche geotecniche; si parlerà in questo caso di fondazioni **indirette** (o profonde).

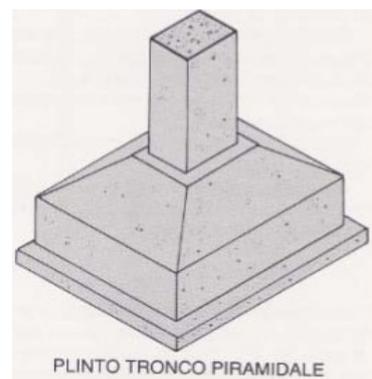
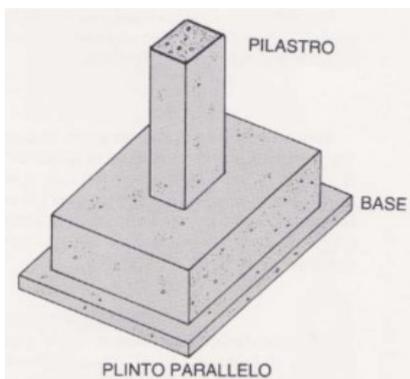
Possiamo suddividere le fondazioni in due famiglie:

- fondazioni superficiali (o **dirette**): plinti, travi rovesce, platea di fondazione.
- fondazioni profonde (o **indirette**): pali di fondazione, micropali.

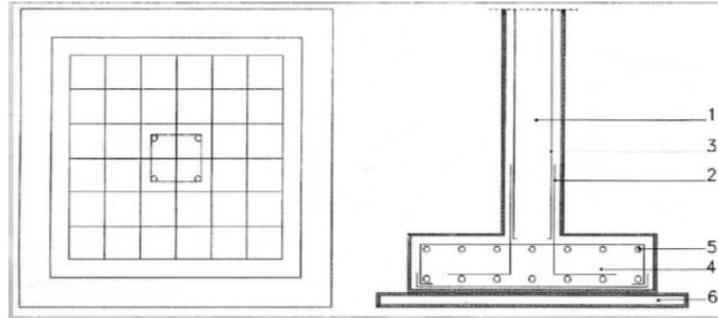
La scelta del tipo di fondazione deve essere fatta in base alle caratteristiche del terreno, alle caratteristiche e all'economia dell'opera, alle interferenze con manufatti già esistenti.

Plinti

Vengono adottati per strutture a telaio (travi e pilastri), e i carichi trasmessi dai pilastri non sono molto elevati. Il plinto consiste in un allargamento realizzato alla base del pilastro e presenta solitamente una forma piramidale, parallelepipedica o a gradoni.



1. pilastro
2. ferri di ripresa
3. armatura del pilastro
4. plinto
5. armatura del plinto
6. magrone

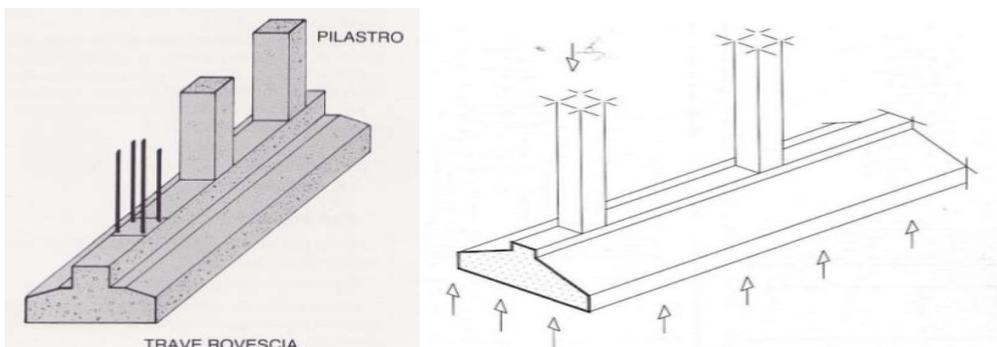


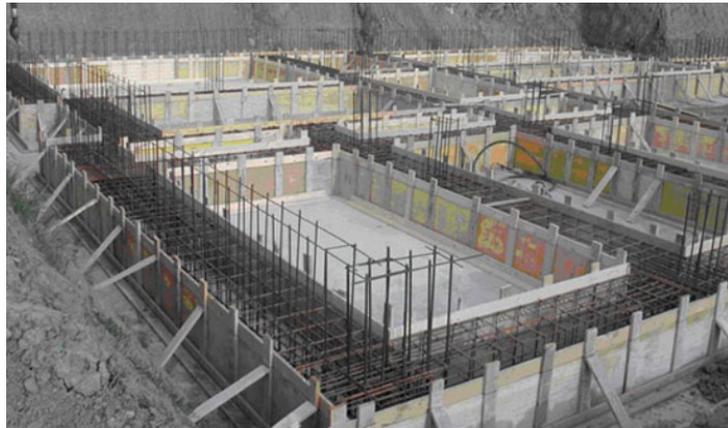
Se il plinto è la fondazione di un pilastro in cemento armato, devono essere disposti dei ferri di collegamento, sporgenti dalle fondazioni per circa 80-100 cm per assicurare il collegamento tra i due elementi. Le fondazioni in genere non devono poggiare direttamente sul terreno perché le armature si potrebbero ossidare e quindi corrodere. Viene realizzato uno strato di calcestruzzo a basso contenuto di cemento detto **magrone**, di spessore variabile da 5 a 10 cm, il cui compito è quello di fornire la base di appoggio alle strutture di fondazione ed evitare il contatto diretto delle armature con il terreno.



Travi rovesce

La fondazione a trave rovescia è un altro tipo di fondazione, utilizzata in presenza di strutture a telaio (travi e pilastri), dove i carichi trasmessi dai pilastri sono molto elevati e il terreno ha una resistenza limitata. Si tratta in pratica di unire le basi dei pilastri con una trave continua fino a congiungerli tra loro, chiamata **trave rovescia**. In questo tipo di fondazione si realizza così una specie di trave armata, che viene detta rovescia perché funziona al contrario di una comune trave della costruzione; nella fondazione infatti i carichi vengono dal basso, per effetto della reazione del terreno. La fondazione continua offre una superficie di appoggio maggiore ed assicura una più uniforme resistenza della base.





Platea di fondazione

La fondazione a platea è una fondazione continua che si allarga a comprendere tutta l'area occupata dalla costruzione. La sua adozione diviene necessaria e conveniente quando i carichi della costruzione sono molto elevati ed il terreno di appoggio poco resistente: allargando in questo modo la base di appoggio, i carichi sul terreno diminuiscono di molto.

La platea è generalmente costruita in cemento armato; si può utilizzare un'armatura ridotta (o rete elettrosaldata) solo se lo spessore è elevato. Al contrario, diminuendo lo spessore della base, è necessario costruire delle nervature di rinforzo alla base dei pilastri o dei muri della costruzione.



Pali di fondazione, micropali

Vengono impiegati quando il terreno capace di resistere ai carichi della costruzione si trova a notevole profondità (superiore ai 5-6 m) per cui non sono validi economicamente e staticamente gli altri tipi di fondazione.

In questo caso la fondazione viene appoggiata su strutture che trasferiscono i carichi negli strati più profondi di terreno; queste strutture sono normalmente costituite da **pali** o da **micropali**.

Quando i pali vengono realizzati fino a raggiungere in profondità un terreno più consistente, i carichi vengono trasmessi a quest'ultimo tramite i pali stessi che lavorano quindi di punta; inoltre una certa resistenza viene offerta anche dall'attrito dei pali con il terreno, lungo la superficie di contatto. Quando è difficile o impossibile raggiungere uno strato con caratteristiche meccaniche

adatte, la resistenza ai carichi viene affidata esclusivamente all'attrito pali-terreno; in questi casi i pali stessi vengono detti sospesi o galleggianti.

Si possono avere :

- **pali legno**: ormai quasi abbandonati, usati per modeste costruzioni e in zone con abbondante legname.
- **pali in ferro**: profilati HE, in Italia il loro impiego è sempre stato limitato, e il loro uso sta diminuendo in quanto possono deteriorarsi nel tempo.
- **pali in cemento armato**: sono quelli comunemente usati e presentano una armatura longitudinale con staffe a spirale e possono essere di due tipi:
 - **pali infissi**: vengono infissi nel terreno tramite battitura con maglio senza estrazione di terreno.
 - **pali trivellati** il foro occupato dal palo si ottiene con l'estrazione del terreno.

