Progetto di Fondazioni per un Palazzo di 4 Piani su Terreno Argilloso con Bassa Portanza

Ing. Diego Dell'Erba



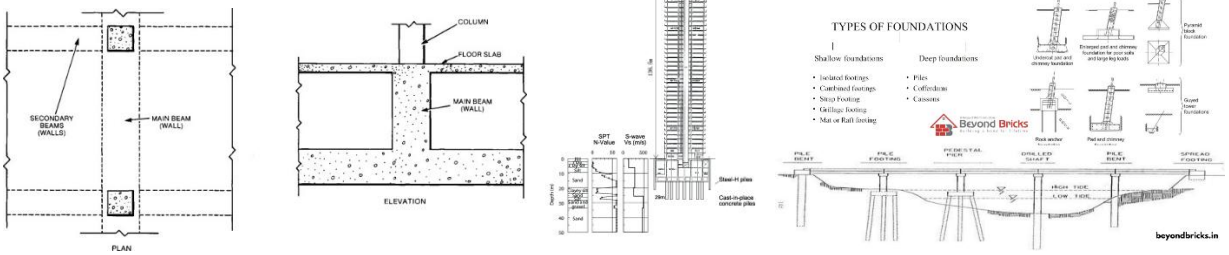
Progettare un edificio di **quattro piani su terreno argilloso a bassa portanza** significa affrontare uno dei casi classici più delicati della geotecnica applicata.

Anno 2026

SPORTELLO INNOVAZIONE

Domanda di Guglielmo, Ingegnere Geotecnico

Come impostare un progetto di fondazioni per un palazzo di 4 piani su terreno argilloso con bassa portanza



Progettare un edificio di **quattro piani su terreno argilloso a bassa portanza** significa affrontare uno dei casi classici più delicati della geotecnica applicata.

Perché in presenza di argille deboli il problema non è soltanto la capacità portante immediata.

Il vero problema è il comportamento nel tempo.

Le argille infatti:

- si deformano lentamente
- consolidano sotto carico
- modificano la distribuzione tensionale
- possono generare cedimenti differenziali molto pericolosi

Prima fase: costruire il modello geotecnico

Il progetto corretto parte sempre da una campagna geognostica seria.

Servono:

- almeno 2–3 sondaggi profondi

- campioni indisturbati
- prove **SPT**
- prove **CPTu**
- rilievo falda
- prove di laboratorio

Prove di laboratorio indispensabili

- limiti di Atterberg
- umidità naturale
- peso di volume
- edometro
- taglio diretto o triassiale

Senza questo quadro il progetto fondale resta debole.

Parametri da ricavare

Il progettista deve ottenere:

- coesione efficace **c'**
- angolo di attrito **φ'**
- modulo edometrico
- coefficiente di consolidazione
- peso di volume naturale

Formula base: tensione efficace

$$\sigma' = \sigma - u$$

Dove:

- **σ** = tensione totale
- **u** = pressione interstiziale
- **σ'** = tensione efficace

La resistenza reale nasce sempre da σ'.

Formula di resistenza

$$\tau = c + \sigma' \tan \varphi$$

Applicazione del criterio di Mohr-Coulomb criterion

Esempio reale di progetto

Supponiamo:

edificio:

- 4 piani
- carico medio fondale = 180 kPa

terreno argilloso:

- c = 22 kPa
- φ = 18°
- γ = 18 kN/m³

Verifica capacità portante

Formula classica:

$$q_{ult}=cN_c+\gamma DN_q+0.5\gamma BN_\gamma$$

Supponendo:

- Nc = 17
- Nq = 7
- Nγ = 3

si ottiene una portanza ultima compatibile ma con margine ridotto.

Questo significa:

la sola capacità portante non basta per decidere.

Verifica decisiva: cedimenti

Su argilla il controllo vero è questo:

$$S = \frac{C_c H}{1+e_0}\log\frac{\sigma'_f}{\sigma'_0}$$

Se il cedimento supera valori ammissibili:

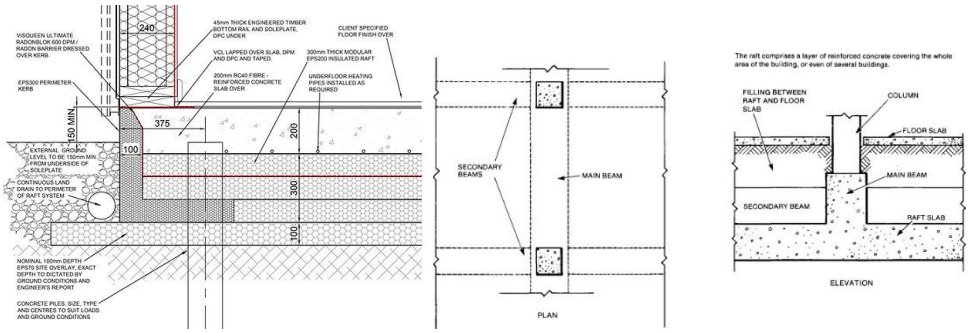
la fondazione superficiale diventa critica.

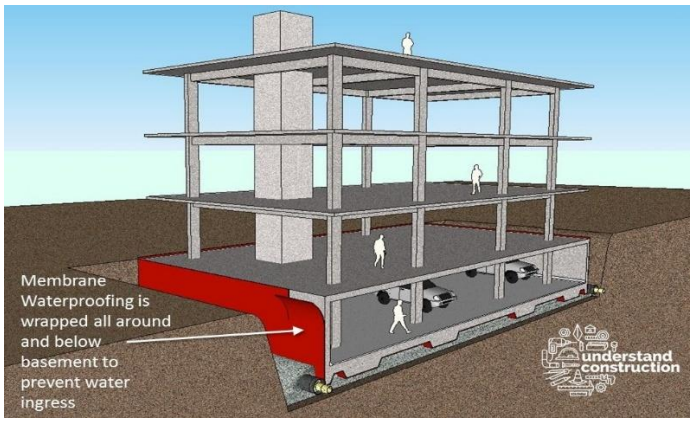
Soluzioni possibili

Caso A — Platea rigida

Adatta se:

- argilla uniforme
- cedimenti contenuti
- edificio regolare





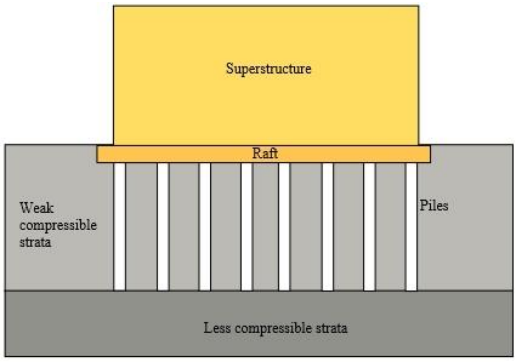
La platea:

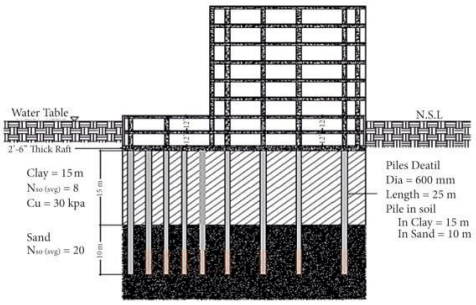
- distribuisce il carico
- riduce pressioni locali
- limita differenziali

Caso B — Platea su pali

Quando l’argilla è molto debole.

Si trasferisce parte del carico a strati profondi.





Caso C — Pali trivellati

Quando esiste strato resistente in profondità.

Criterio moderno di scelta

Non si sceglie la fondazione guardando solo il valore di portanza.

Si sceglie guardando insieme:

- portanza
- cedimenti
- falda
- uniformità stratigrafica
- risposta futura

Monitoraggio moderno consigliato

Su edifici importanti oggi conviene prevedere:

- capisaldi topografici
- letture cedimenti
- fessurimetri
- eventuali sensori evoluti

Perché il progetto moderno non termina al collaudo.

Continua nella lettura dell’opera.

Su terreno argilloso la sicurezza nasce prima dalla conoscenza del sottosuolo e poi dalla scelta fondale.

Chiusura

Un edificio su argilla non si appoggia semplicemente sul terreno.

Si affida a un equilibrio delicato tra:

- pressione
- acqua
- deformazione
- tempo

Il progettista moderno
deve quindi non solo verificare il presente, ma leggere il comportamento futuro dell'opera.

SCHEDA TECNICA DI CALCOLO

Predimensionamento geotecnico di una platea 12 × 18 m su terreno argilloso

Caso studio: edificio civile in c.a. di 4 piani

1. Obiettivo della scheda

La presente scheda mostra, con approccio operativo, il percorso di **predimensionamento geotecnico** di una fondazione a platea impostata su **terreno argilloso a bassa portanza**, evidenziando il punto chiave della progettazione:

su argilla non basta verificare la portanza; occorre governare i cedimenti.

2. Dati geometrici dell'opera

Edificio

- tipologia: edificio civile in cemento armato

- numero di piani: 4
- struttura: intelaiata regolare

Fondazione

- tipologia iniziale studiata: **platea rettangolare**
- dimensioni in pianta:
  - larghezza $B = 12.00\,m$
  - lunghezza $L = 18.00\,m$

Area della platea

$$A = B \times L = 12 \times 18 = 216\,m^2$$

3. Dati di carico

Carico verticale totale dell'edificio

Si assume, in prima approssimazione, il seguente valore caratteristico:

$$N_k = 28\,000\,kN$$

Quota di imposta della fondazione

$$D_f = 1.50\,m$$

4. Parametri geotecnici assunti

Si considera un terreno costituito da **argilla limosa compressibile**.

Parametri fisico-meccanici

- peso di volume naturale:

$$\gamma = 18\,kN/m^3$$

- coesione efficace:

$$c' = 20\,kPa$$

- angolo di attrito efficace:

$$\varphi' = 18°$$

- modulo edometrico medio:

$$M_E = 8\,000\ kPa$$

- coefficiente di Poisson:

$$\nu = 0.35$$

- indice dei vuoti iniziale:

$$e_0 = 0.90$$

- indice di compressione:

$$C_c = 0.25$$

- spessore significativo dello strato comprimibile:

$$H = 8.0\ m$$

Ipotesi idraulica

- falda non interferente nella prima fase di verifica preliminare

5. Predimensionamento iniziale della platea

Si assume uno **spessore preliminare** della platea pari a:

$$h = 0.60\ m$$

Volume della platea

$$V = 12 \times 18 \times 0.60 = 129.6\ m^3$$

Assumendo per il calcestruzzo armato:

$$\gamma_{cls} = 25\ kN/m^3$$

si ottiene il peso proprio della platea:

$$G_p = 129.6 \times 25 = 3\,240\ kN$$

Carico complessivo trasmesso al terreno

$$N_{tot} = N_k + G_p = 28\,000 + 3\,240 = 31\,240\ kN$$

6. Pressione media trasmessa al terreno

La pressione media di contatto vale:

$$q_{med} = \frac{N_{tot}}{A}$$

$$q_{med} = \frac{31\,240}{216} = 144.6\ kPa$$

Si assume quindi:

$$q_{med} \approx 145\ kPa$$

7. Verifica preliminare di capacità portante

Per una verifica di prima impostazione si utilizza la formula classica:

$$q_{ult} = c' N_c + \gamma D_f N_q + 0.5 \gamma B N_\gamma$$

Per $\varphi' = 18°$si assumono indicativamente:

- $N_c = 15$
- $N_q = 5.5$
- $N_\gamma = 2.5$

Calcolo dei contributi

Contributo coesivo

$$c' N_c = 20 \times 15 = 300\ kPa$$

Contributo del sovraccarico alla quota di posa

$$\gamma D_f N_q = 18 \times 1.5 \times 5.5 = 148.5\ kPa$$

Contributo del termine dimensionale

$$0.5\gamma B N_\gamma = 0.5 \times 18 \times 12 \times 2.5 = 270\ kPa$$

Portanza ultima

$$q_{ult} = 300 + 148.5 + 270 = 718.5\ kPa$$
$$q_{ult} \approx 720\ kPa$$

8. Pressione ammissibile preliminare

Assumendo un coefficiente di sicurezza globale:

$$FS = 3$$

si ha:

$$q_{amm} = \frac{q_{ult}}{FS} = \frac{720}{3} = 240\ kPa$$

Confronto

- pressione agente:

$$q_{med} = 145\ kPa$$

- pressione ammissibile:

$$q_{amm} = 240\ kPa$$

Esito della verifica a portanza

$$145 < 240$$

La platea risulta quindi **preliminarmente verificata rispetto alla capacità portante**.

9. Verifica del cedimento immediato

Per il cedimento elastico immediato si assume la relazione semplificata:

$$S_i = \frac{q\,B\,(1-\nu^2)}{M_E} \cdot I_s$$

Ponendo, in prima approssimazione:

- $q = 145\,kPa$
- $B = 12\,m$
- $\nu = 0.35$
- $M_E = 8000\,kPa$
- $I_s = 1.0$

si calcola:

$$1-\nu^2 = 1-0.35^2 = 0.8775$$
$$S_i = \frac{145 \times 12 \times 0.8775}{8000}$$
$$S_i = \frac{1526.85}{8000} = 0.1909\,m$$
$$S_i \approx 0.19\,m = 19\,cm$$

Esito

Il cedimento immediato stimato è già significativo.

10. Verifica del cedimento di consolidazione

Si utilizza la formula classica della consolidazione primaria:

$$S_c = \frac{C_c H}{1+e_0}\log\left(\frac{\sigma_0' + \Delta\sigma}{\sigma_0'}\right)$$

Ipotesi adottate

Alla quota media dello strato comprimibile si assume:

$$\sigma_0' = 90\,kPa$$
$$\Delta\sigma = 70\,kPa$$

Sostituendo:

$$S_c = \frac{0.25 \times 8}{1 + 0.90} \log\left(\frac{90 + 70}{90}\right)$$

$$S_c = \frac{2}{1.90} \log\left(\frac{160}{90}\right)$$

$$S_c = 1.0526 \times \log(1.777)$$

$$\log(1.777) \approx 0.249$$

$$S_c = 1.0526 \times 0.249 = 0.262\, m$$

$$S_c \approx 26\, cm$$

11. Cedimento totale stimato

$$S_{tot} = S_i + S_c$$

$$S_{tot} = 19 + 26 = 45\, cm$$

$$S_{tot} \approx 45\, cm$$

Esito geotecnico

Un cedimento di questo ordine di grandezza è **eccessivo** per un edificio civile ordinario.

La conclusione è chiara:

la platea semplice risulta accettabile a portanza ma non a deformabilità.

12. Valutazione tecnica del risultato

Questo caso dimostra un principio essenziale della geotecnica applicata:

la capacità portante non è l'unico criterio di scelta della fondazione.

Su terreno argilloso compressibile, la verifica dominante è spesso quella dei cedimenti, perché è proprio la deformazione del terreno a compromettere:

- funzionalità della struttura
- integrità delle tamponature
- regolarità dei solai
- compatibilità con impianti e finiture
- comportamento nel tempo

13. Strategia di progetto migliorativa

Poiché la platea semplice non è sufficiente, si introduce una soluzione più evoluta:

Platea su pali

Si assume che:

- il **70% del carico** sia assorbito dai pali
- il **30% del carico** resti distribuito al terreno superficiale

Ripartizione del carico

Carico assorbito dai pali:

$$N_p = 0.70 \times 31\,240 = 21\,868\ kN$$

Carico trasmesso al terreno tramite la platea:

$$N_t = 0.30 \times 31\,240 = 9\,372\ kN$$

Nuova pressione media di contatto

$$q' = \frac{9\,372}{216} = 43.4\ kPa$$

14. Nuova stima dei cedimenti con platea su pali

Cedimento immediato ridotto

$$S_i' = \frac{43.4 \times 12 \times 0.8775}{8000}$$
$$S_i' = 0.057\ m$$
$$S_i' \approx 5.7\ cm$$

Cedimento di consolidazione ridotto

Assumendo un incremento medio di tensione ridotto:

$$\Delta\sigma' = 20\ kPa$$

si ha:

$$S_c' = \frac{0.25 \times 8}{1 + 0.90} \log\left(\frac{90 + 20}{90}\right)$$
$$S_c' = 1.0526 \times \log(1.222)$$

$$\log(1.222) \approx 0.087$$

$$S_c' = 1.0526 \times 0.087 = 0.0916\,m$$

$$S_c' \approx 9.2\,cm$$

Cedimento totale ridotto

$$S_{tot}' = 5.7 + 9.2 = 14.9\,cm$$

$$S_{tot}' \approx 15\,cm$$

Esito

Il sistema platea su pali riduce il cedimento da circa **45 cm** a circa **15 cm**, con miglioramento molto rilevante del comportamento globale.

15. Predimensionamento preliminare dei pali

Si assumono pali trivellati con:

- diametro:

$$d = 0.60\,m$$

- lunghezza:

$$L = 18\,m$$

- capacità portante di progetto per palo:

$$Q_{palo} = 900\,kN$$

Numero di pali necessario

$$n = \frac{21\,868}{900} = 24.3$$

Si adottano quindi:

$$n = 25\,pali$$

Maglia preliminare

Disposizione possibile:

- **5 × 5 pali**

da affinare in funzione di:

- posizione dei pilastri
- setti strutturali
- travi di irrigidimento
- verifiche di punzonamento
- interazione palo-palo
- interazione palo-platea

16. Revisione dello spessore della platea

Nel caso di platea su pali, per garantire adeguata rigidezza e corretto assorbimento delle azioni localizzate, conviene adottare uno spessore maggiore rispetto alla prima ipotesi.

Scelta consigliata

$$h = 0.70\,m$$

Questa scelta migliora:

- la rigidezza globale
- il controllo dei differenziali
- la risposta a flessione
- la sicurezza a taglio e punzonamento

17. Soluzione tecnica finale consigliata

Sistema fondale consigliato

Platea su pali

Dati finali preliminari

- dimensioni platea:

$$12 \times 18\,m$$

- spessore consigliato:

$$0.70\ m$$

- numero di pali:

$$25$$

- diametro pali:

$$0.60\ m$$

- lunghezza pali:

$$18\ m$$

Funzione del sistema integrato

La platea:

- distribuisce i carichi
- irrigidisce l'insieme
- controlla i cedimenti differenziali
- lavora in collaborazione con i pali

I pali:

- trasferiscono quota significativa del carico in profondità
- intercettano strati più rigidi
- riducono la pressione efficace sul livello superficiale deformabile

18. Tabella finale riassuntiva

Voce	Platea semplice	Platea su pali
Dimensioni platea	12 × 18 m	12 × 18 m
Area	216 m²	216 m²
Spessore preliminare	0.60 m	0.70 m
Carico totale	31,240 kN	31,240 kN
Pressione media sul terreno	145 kPa	43.4 kPa
Portanza preliminare	verificata	verificata

Voce	Platea semplice	Platea su pali
Cedimento immediato	19 cm	5.7 cm
Cedimento consolidativo	26 cm	9.2 cm
Cedimento totale	45 cm	15 cm
Esito finale	non idonea	soluzione credibile

19. Conclusione tecnica

Questo caso numerico mette in evidenza un concetto fondamentale:

un terreno può risultare resistente ma non sufficientemente rigido.

E proprio questa differenza tra **resistenza** e **deformabilità** rappresenta il cuore della buona progettazione geotecnica.

Nel caso esaminato:

- la platea semplice supera la verifica a portanza
- ma non rispetta il controllo dei cedimenti
- la soluzione corretta evolve quindi verso una **platea su pali**

Nel progetto delle fondazioni su argilla,
la domanda decisiva non è soltanto se il terreno regge, ma quanto il terreno cede e come quel cedimento cambierà nel tempo.

La vera geotecnica non appoggia semplicemente l'opera sul suolo:

interpreta il sottosuolo, governa la deformazione e protegge il futuro della struttura.

Ing. Diego Dell'Erba