

**Corso di Laurea in Scienze dell'Architettura (8CFU)**

*Roma, a.a. 2016 - 2017*

# **Tecnica delle Costruzioni**

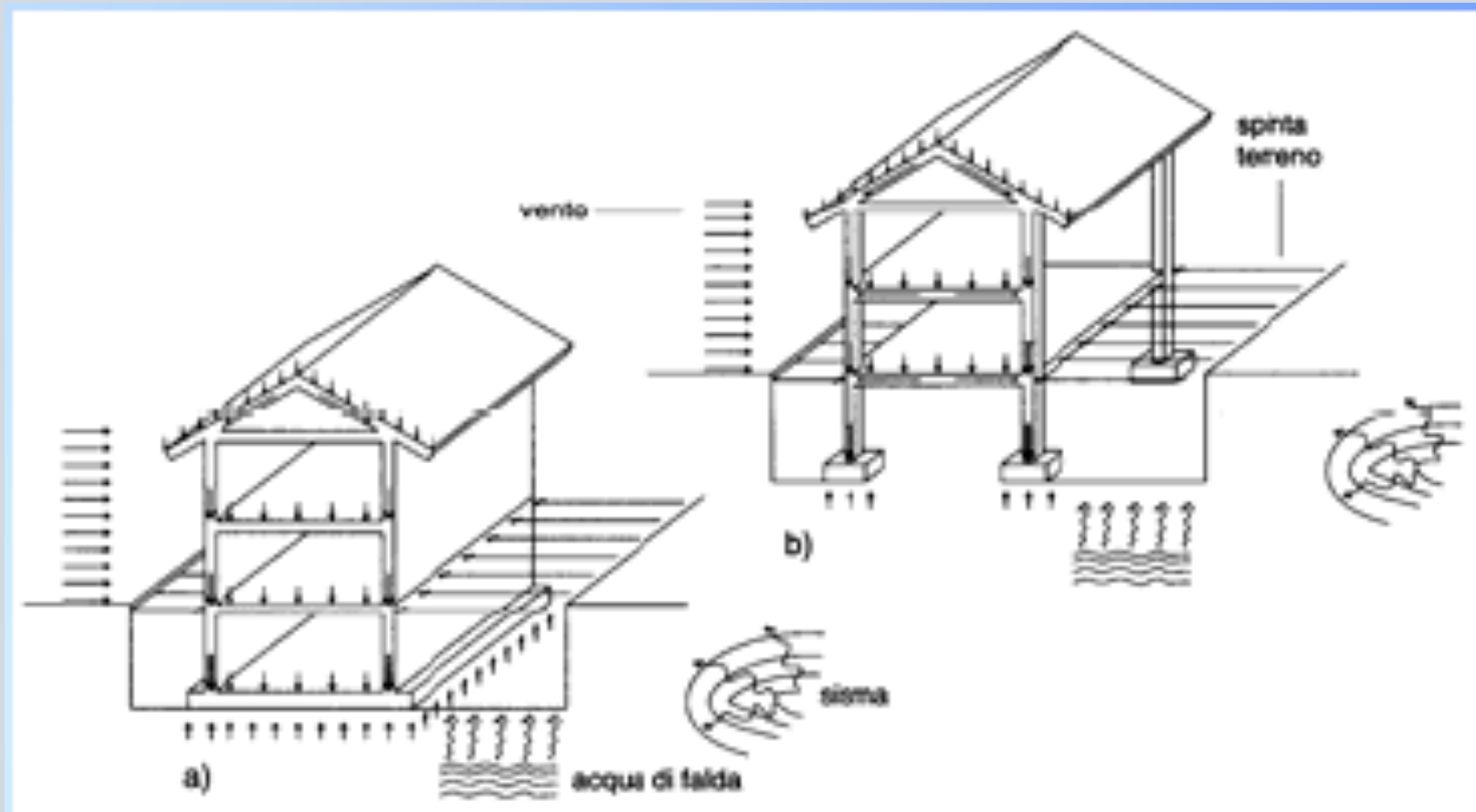
---

Silvia Santini

*Dipartimento di Architettura – Università di Roma TRE*



# Opere di fondazione



# Generalità

---

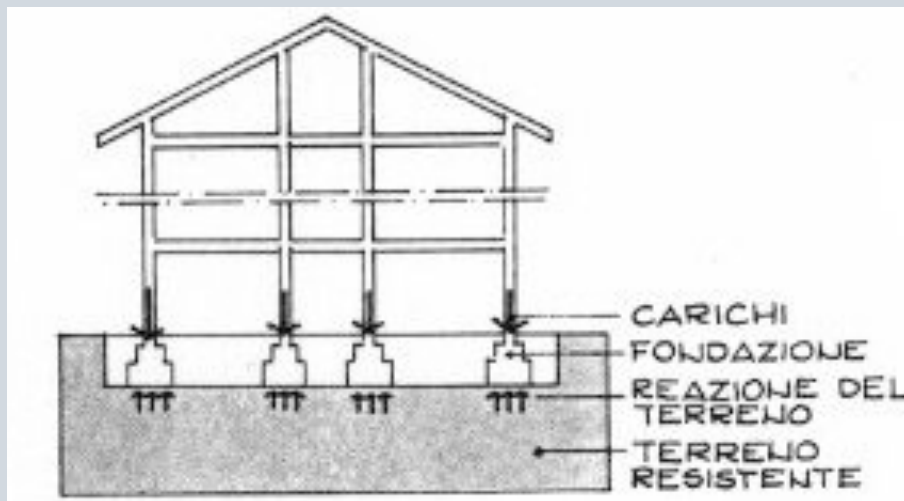
Le opere di fondazione hanno il compito di trasferire le sollecitazioni provenienti dalla struttura in elevazione al terreno. Tale trasferimento deve essere compatibile con la resistenza del terreno e le deformazioni che ivi si producono devono essere tali da non compromettere la stabilità e la funzionalità dell'edificio.

Le fondazioni si possono distinguere in:

- Fondazioni dirette: *plinti, travi rovesce, platee* che poggiano direttamente sul terreno.
- Fondazioni indirette: le strutture di fondazione poggiano su pali che provvedono a trasmettere le sollecitazioni provenienti dalla struttura a strati più profondi del terreno rispetto al loro piano d'imposta.

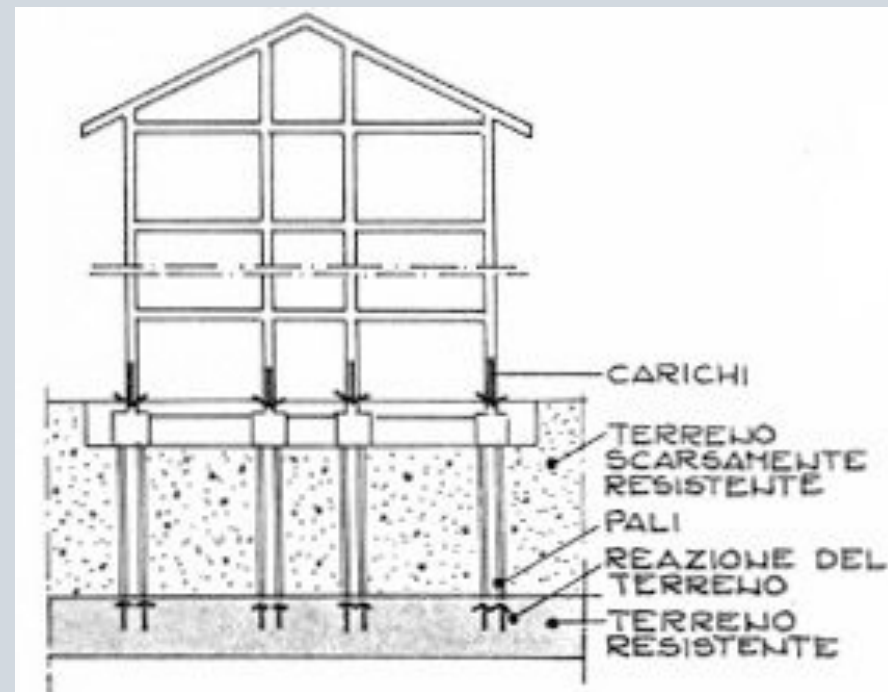
La scelta del tipo di fondazione deve essere fatta in base alle *caratteristiche del terreno, alle caratteristiche e all'economia dell'opera, alle interferenze con manufatti già esistenti.*

# Caratteristiche dei terreni



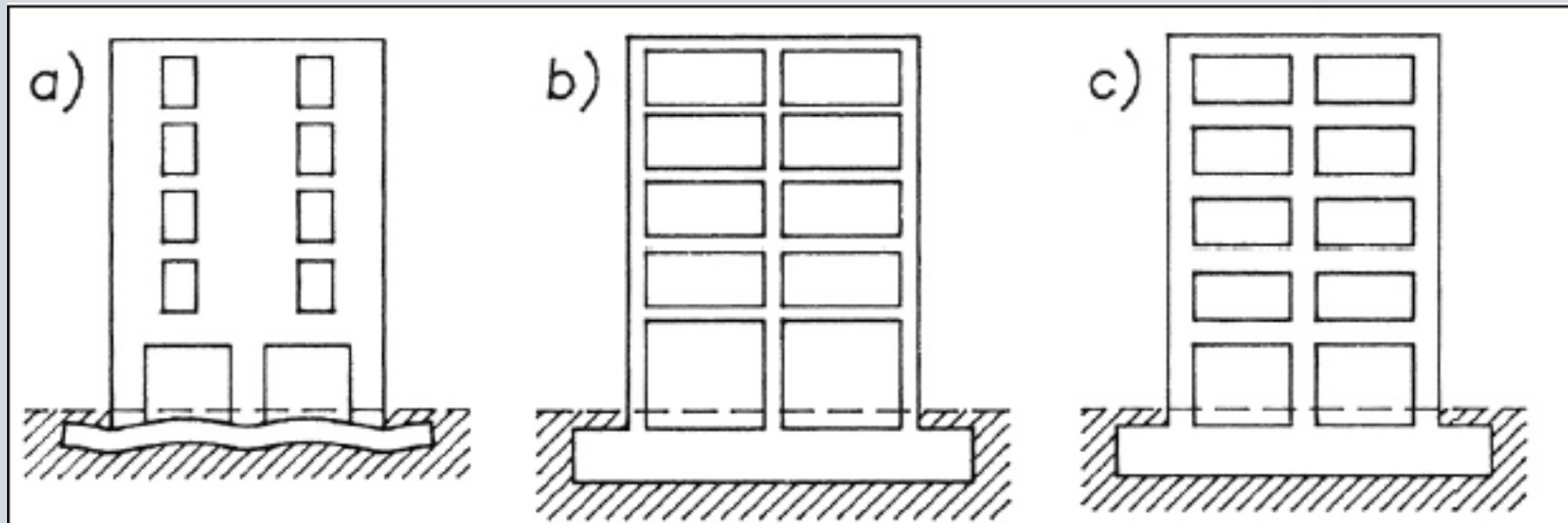
**Fondazioni dirette:** poggiano su strati di terreno raggiungibili con semplici operazioni di scavo.

**Fondazioni indirette:** trasmettono i carichi a strati profondi per appoggio o per attrito.



# Cedimenti

Il problema dei cedimenti differenziali può essere anche in parte risolto realizzando strutture di fondazione rigide, una struttura in elevazione molto rigida o entrambe le componenti rigide come illustrato in figura.



# Criteri di progettazione

---

- analisi del terreno di fondazione
- sistema costruttivo adottato nella struttura in elevazione
- valutazioni economiche
- caratteristiche statiche della struttura in elevazione (isostaticità o iperstaticità)
- tipo di vincolo imposto dal terreno alla fondazione (incastro perfetto, appoggio semplice)

Scelta FORMA e TIPO di fondazioni da adottare in relazione a:

- entità e distribuzione carichi
- natura e resistenza del terreno

# Caratteristiche del terreno

---

- resistenza meccanica allo schiacciamento (modulo di compressibilità)
- presenza di acqua (di assorbimento, di falda, di capillarità, di trapelazione, allo stato di vapore)
- presenza di fessurazioni e faglie
- grado di compattezza o scioltezza
- peso specifico apparente (peso dell'unità di volume apparente)
- porosità o percentuale dei vuoti
- attrito interno (rapporto tra resistenza al taglio e carico di compressione)
- permeabilità
- gelività (attitudine ad aumento di volume per congelamento H<sub>2</sub>O contenuta nei pori)
- penetrabilità
- natura chimica delle rocce componenti
- stabilità tettonica
- pendenza degli strati sotterranei



# Classificazione dei terreni

• **ROCCE LAPIDEE:** elevata durezza, buona resistenza ai carichi, trascurabile compressibilità, modesta permeabilità (caratteristiche esaltate da una struttura granulare più compatta e fine); attenzione a eventuali fessurazioni e fenomeni carsici;

• **ROCCE SCIOLTE:**

Classe dei materiali grossolani (blocchi e trovanti: di grossa pezzatura e forma irregolare; ciottoli e ghiaia: materiali incoerenti, duri e compatti, di forma arrotondata): in equilibrio per attrito, alta permeabilità;

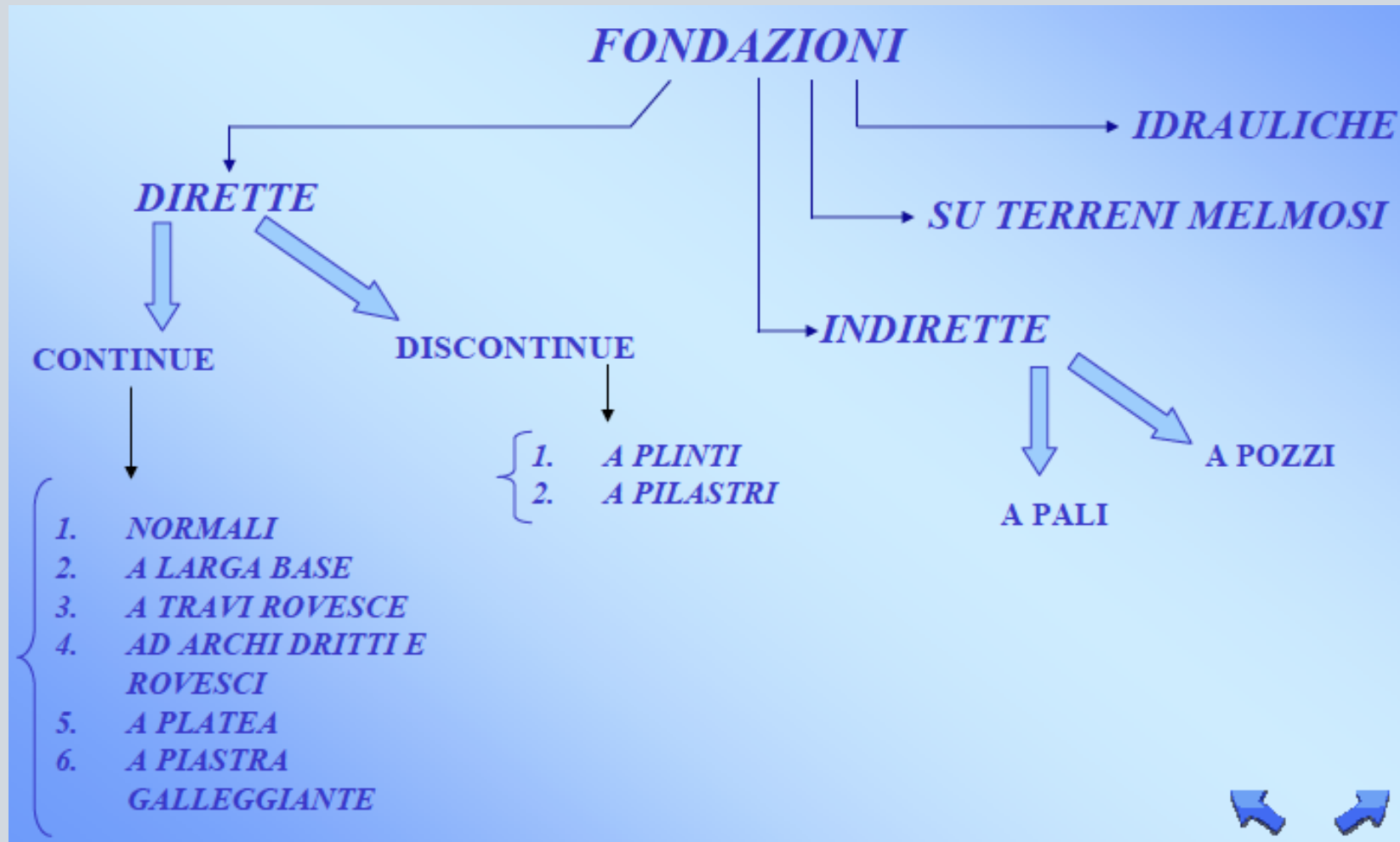
Classe delle sabbie (disgregazione molto spinta delle rocce originarie): in equilibrio per attrito quando asciutte, permeabili se a grani grossi, incoerenti e compressibili, anelastiche e suscettibili di costipamento; cedimenti piccoli e rapidi;

Classe delle polveri o limi (terreni alluvionali): riduzione coesione all'aumentare delle dimensioni dei grani; assorbimento acqua per capillarità; cedimenti in periodi più lunghi (lenta espulsione acqua);

Classe delle argille (particelle di silicato idrato di alluminio con  $\varnothing < 0.002\text{mm}$ ): maggiore assorbimento di acqua al crescere del rapporto alluminio-silice, argille compressibili ed elastiche.



# Tipi di fondazione



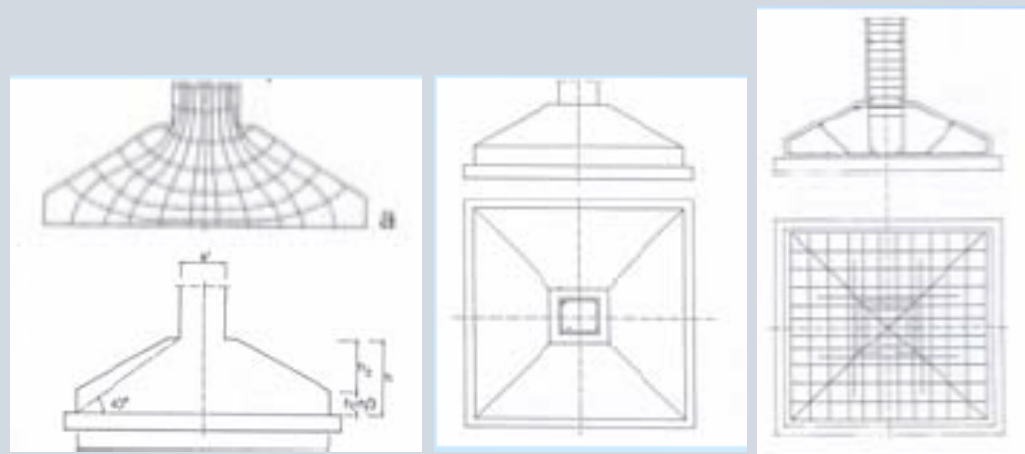
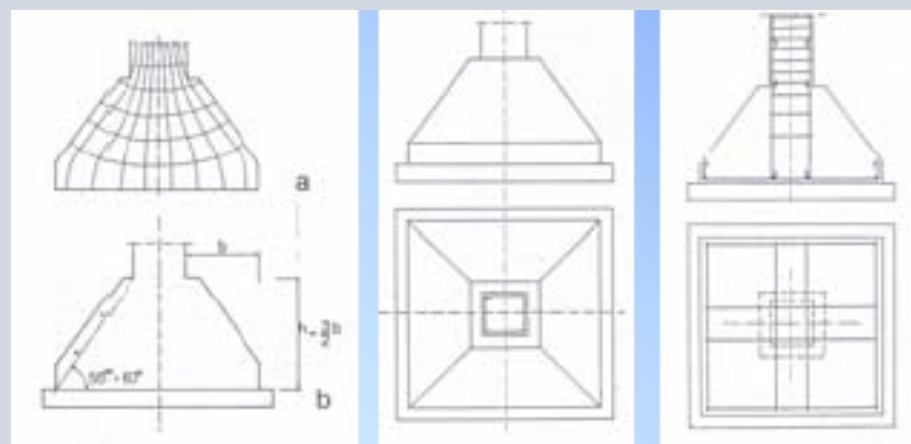
# Fondazioni dirette

---

- Trasmissione carichi dell'edificio direttamente al terreno;
- Utilizzo quando il terreno presenta una sufficiente resistenza a profondità economicamente raggiungibili (rocce lapidee che ammettono un buon carico di sicurezza);
- Forma influenzata dalla tipologia strutturale dell'edificio (muratura portante → fondazioni continue, struttura di tipo intelaiato → fondazioni isolate o continue);
- Realizzazione in calcestruzzo semplice o armato (utilizzo murature di pietrame o mattoni solo negli interventi di sottofondazione nel consolidamento di edifici esistenti);
- Distinzione in continue (trasmissione carichi distribuiti su estese superfici continue) e discontinue (trasmissione carichi distribuiti su ridotte superfici limitate);
- Realizzazione strato di conglomerato magro (magrone) di spessore compreso tra 10÷25 cm al di sotto delle fondazioni dirette per rendere regolare la superficie del terreno, migliorare la ripartizione dei carichi e realizzare una base di appoggio orizzontale.

# Fondazioni a plinti

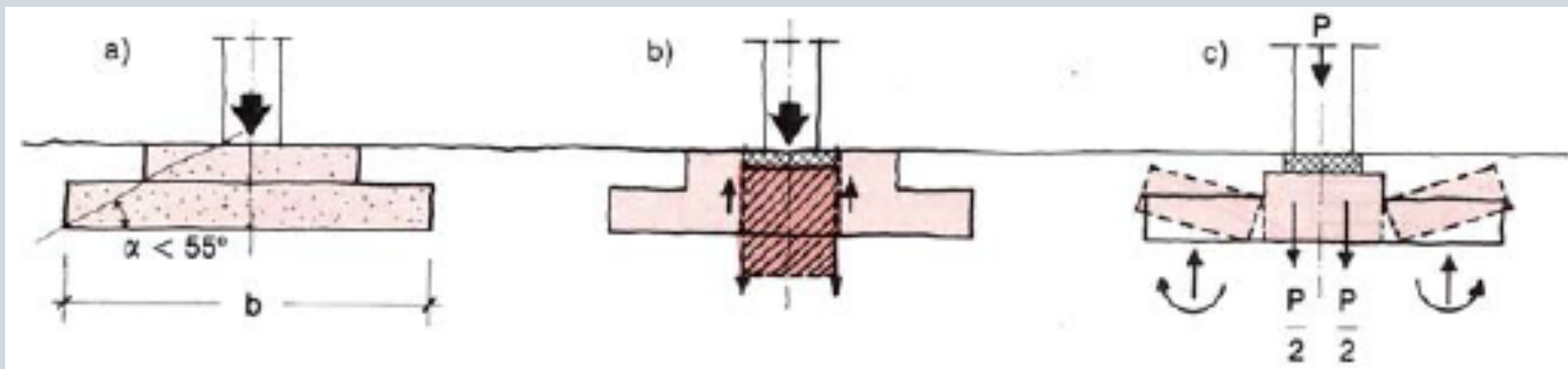
- impiegate per strutture a telaio (in c.a. o acciaio) quando il terreno resistente è poco profondo ed ha una capacità portante elevata ed uniforme;
- costituite da un solido tronco-piramidale (plinto) a pianta preferibilmente quadrata, tale da formare un naturale allargamento del pilastro;
- plinti di tipo inerte (di altezza tale che le sollecitazioni di flessione e di taglio siano interamente assorbite dal calcestruzzo; angolo tra piano di appoggio e congiungente le basi esterne del plinto e del pilastro maggiore di  $55^\circ$ ; possibile uso di calcestruzzo di resistenza inferiore rispetto a quella della struttura in elevazione) o flessibile (angolo minore di  $55^\circ$ ; sollecitazioni interne maggiori della capacità di resistenza del calcestruzzo → necessità di idonea armatura);



# Fondazioni a plinti

La struttura muraria di fondazione può, in tal caso rompersi per due tipi di sollecitazione:

- per punzonamento, dovuto a sforzi di taglio, che la muratura non sopporta (b);
- per flessione, dovuta al momento delle coppie di forze agenti (c).



# Fondazioni a plinti

---

- il plinto funziona come una mensola liscia, con un carico uniforme rappresentato dalla spinta del terreno e un carico concentrato opposto, rappresentato dal pilastro;
- plinti semplicemente appoggiati sul terreno; collegamento plinto-pilastro mediante cerniera (con opportuno collegamento tra le armature) o incastro;
- fondazione più economica, se di modesta estensione;
- possibile collegamento plinti con reticolo di travi e cordoli per assicurare un comportamento più omogeneo della struttura in presenza di cedimenti o altre sollecitazioni differenti da punto a punto;

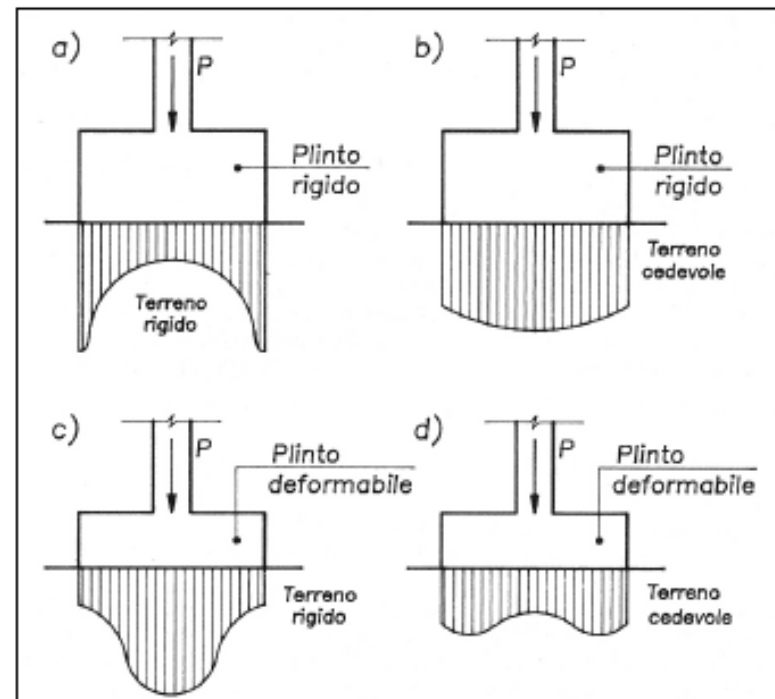
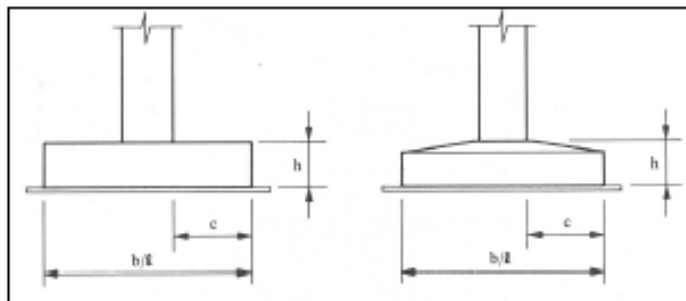


# Fondazioni a plinti

Da un punto di vista geometrico, i plinti possono essere distinti in alti o bassi, ovvero in deformabili e rigidi. Da un punto di vista meccanico, a seconda della scelta cambia sia il comportamento del plinto stesso, sia la sua interazione con il terreno sottostante e quindi la distribuzione delle tensioni come riportato in figura.

In genere, le varie categorie di plinto si distinguono nel seguente modo:

$c \geq 4h$                       *grande snellezza*  
 $h/2 \leq c \leq 4h$               *media snellezza*  
 $c \leq h/2$                         *piccola snellezza*





# Fondazioni a plinti

---

I plinti di *media snellezza*, i più usati, vengono progettati seguendo la teoria della trave.

I plinti di *grande snellezza*, soluzione poco economica, vengono progettati seguendo la teoria delle piastre.

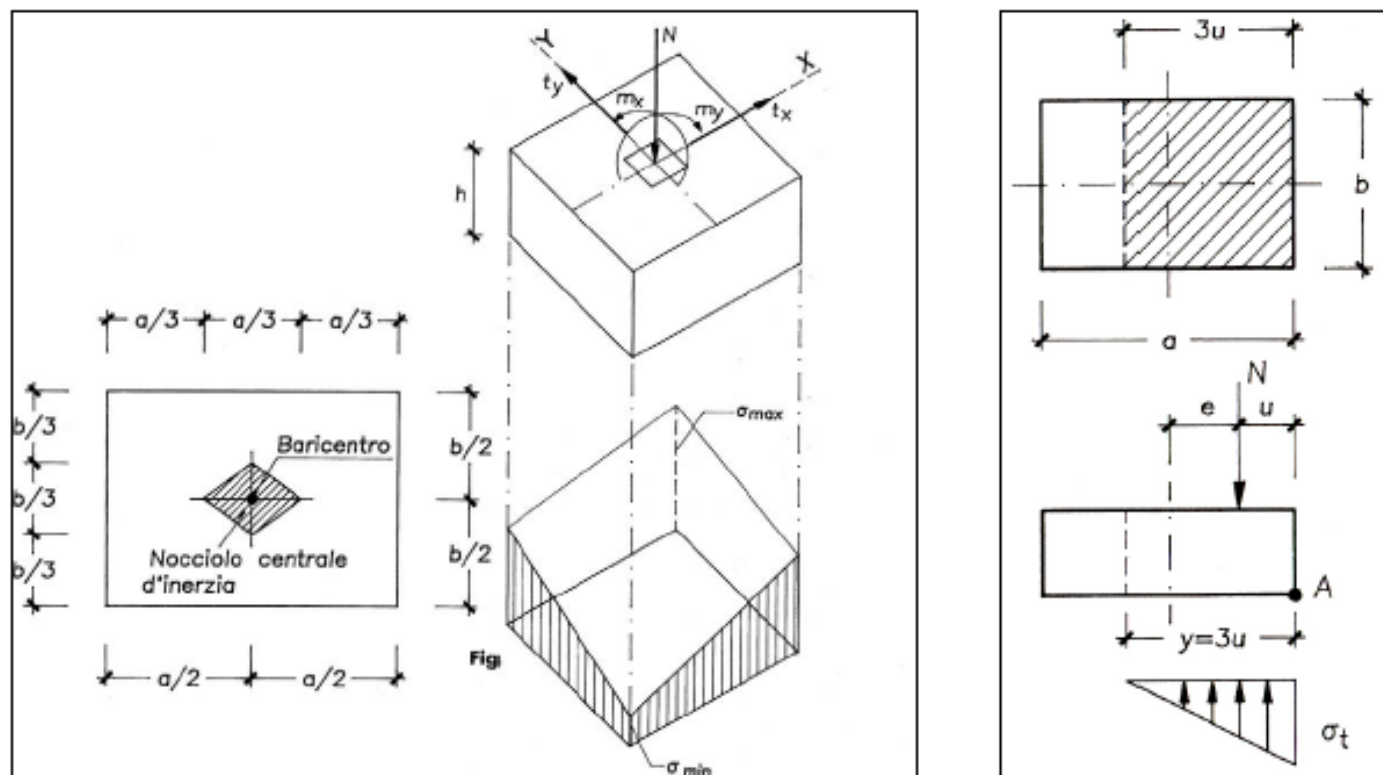
I plinti di *piccola snellezza*, vengono trattati come travi tozze.

Nonostante la complessità del problema e nell'ottica di individuare, per quanto possibile, modelli semplici, ma comunque efficaci, i plinti usuali vengono dimensionati ipotizzando un comportamento rigido su un terreno schematizzabile come una serie di molle di uguale rigidità. Ne consegue una distribuzione delle tensioni di tipo lineare.

Considerando che le sollecitazioni di calcolo, in genere, sono una sovrastima delle sollecitazioni reali, il modello semplificato garantisce la sicurezza della struttura nonostante possa sottostimare le sollecitazioni che si sviluppano nel plinto.

# Fondazioni a plinti

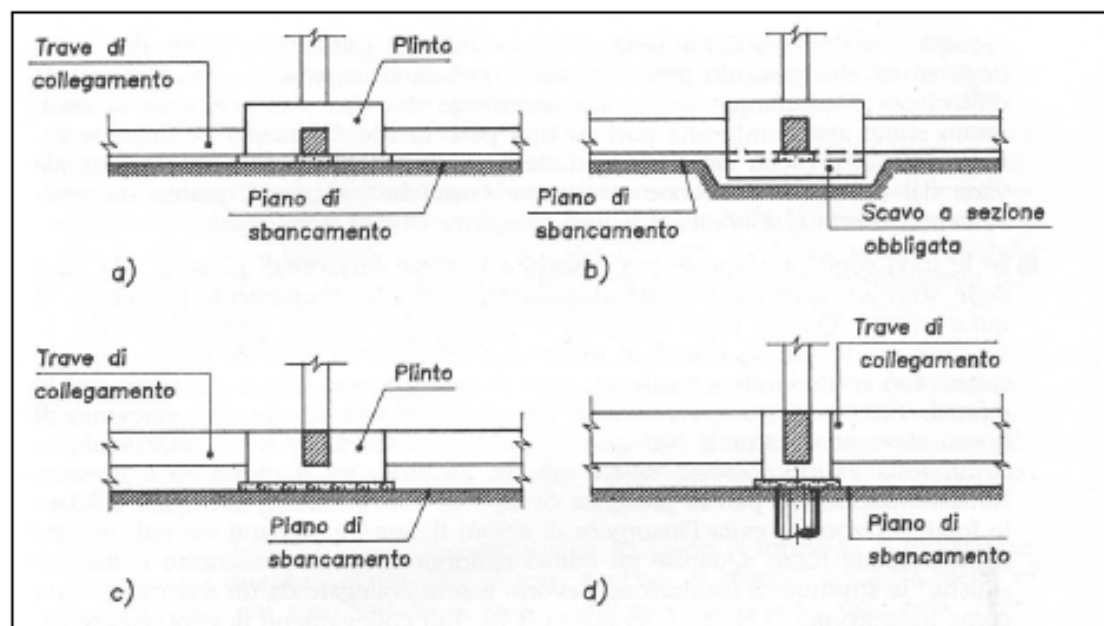
Considerando che la superficie di contatto tra il plinto ed il terreno può essere considerata come non reagente a trazione, il giunto sarà interamente reagente se  $e_x \leq a/6$  e  $e_y \leq b/6$ , altrimenti la sezione si parzializzerà.



# Fondazioni a plinti

Spesso i plinti vengono collegati tra loro tramite travi di collegamento che possono svolgere svariate funzioni:

- Irrigidimento
- Assorbimento di sollecitazioni provenienti dalle strutture in elevazione.

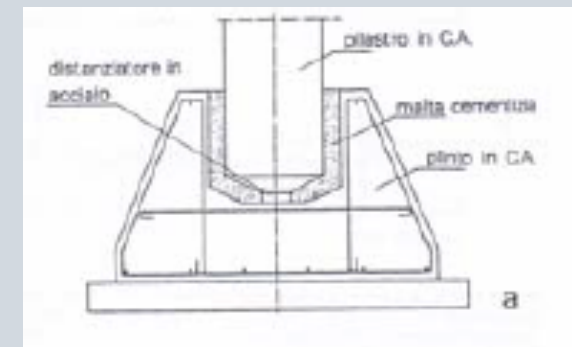


- Costituire la fondazione di tamponature e solai direttamente poggiati su di esse.

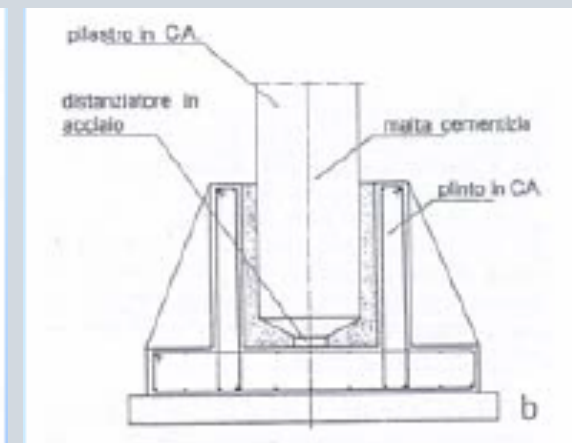
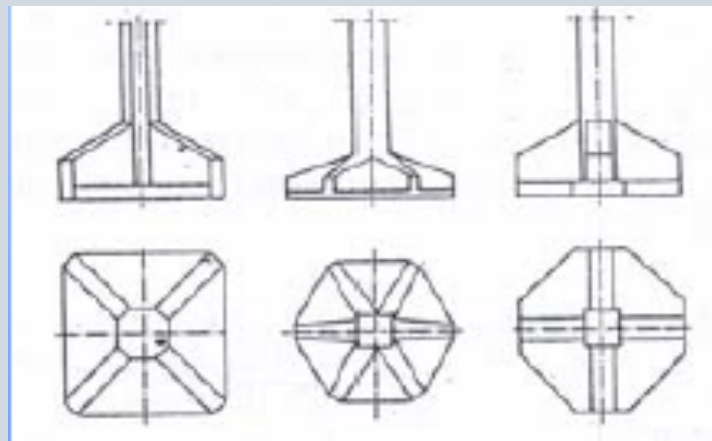
- Le dimensioni vengono stabilite in funzione del compito che devono svolgere.

# Fondazioni a plinti

- prefabbricazione conveniente solo per fondazioni di limitata estensione nel caso sia possibile una unificazione delle dimensioni dei plinti; plinti caratterizzati da alloggiamenti per il collegamento con le strutture in elevazione;

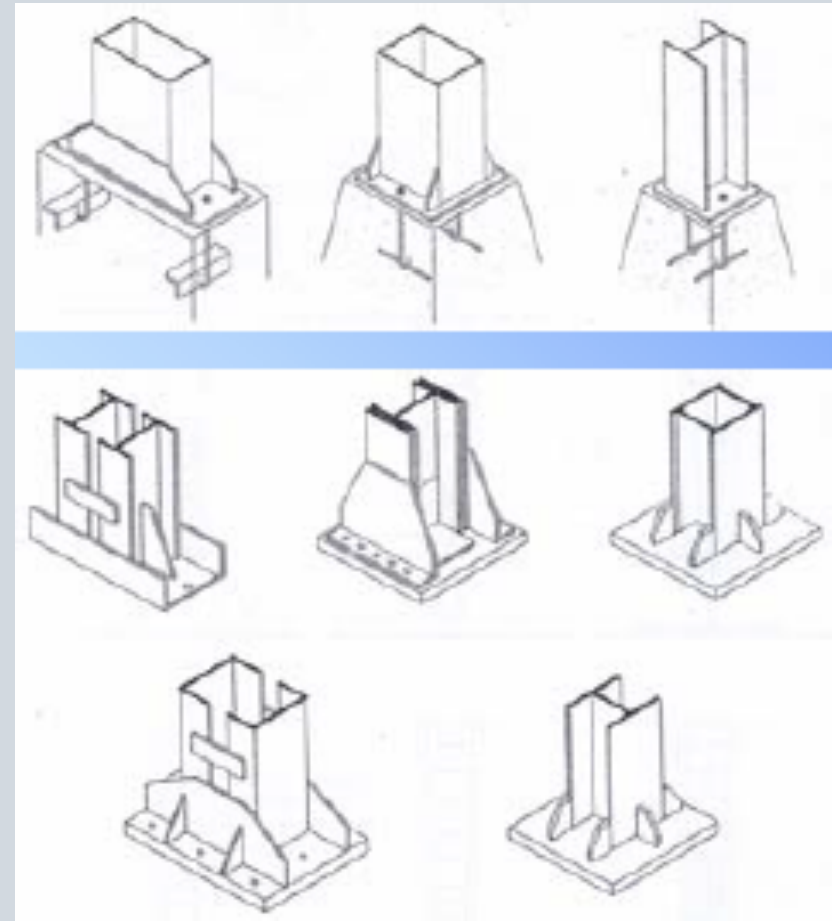


Plinti nervati



# Fondazioni a plinti

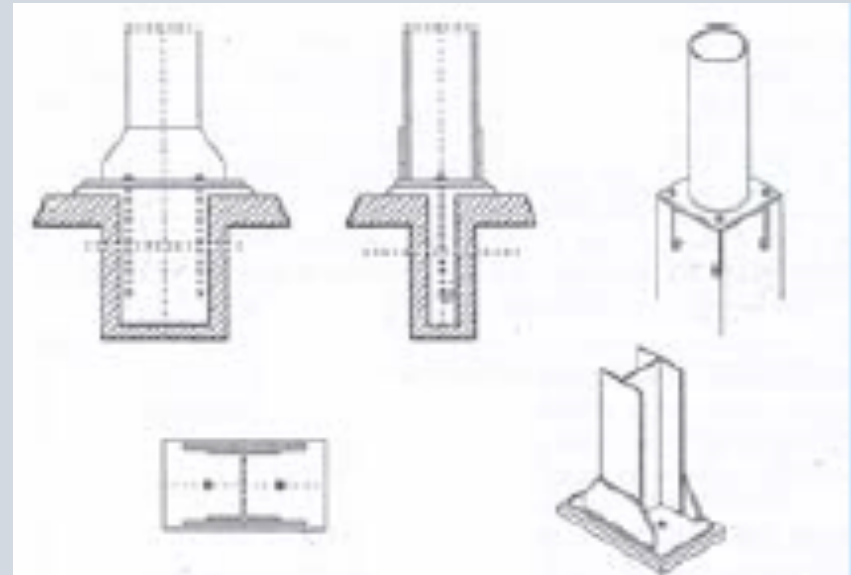
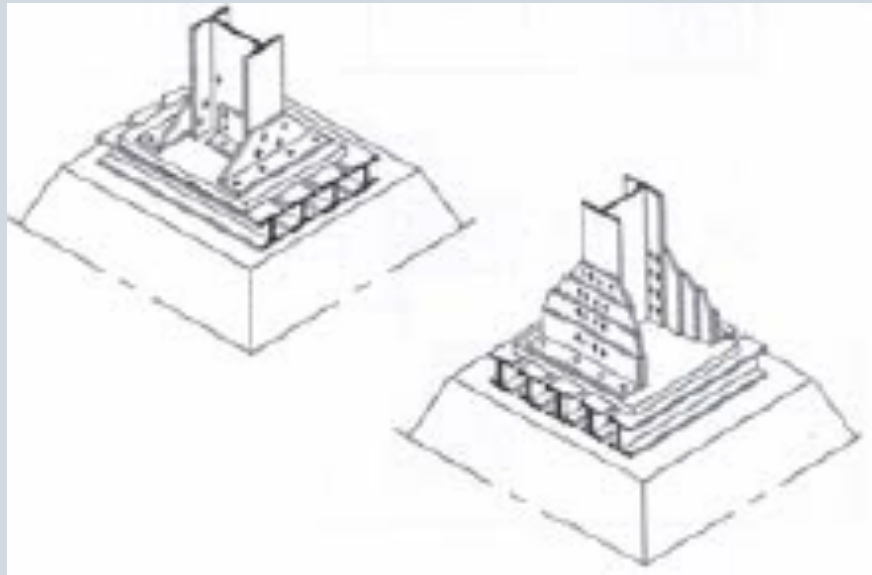
• plinti per strutture in acciaio: formati da due parti, una in acciaio collegata al pilastro e una in calcestruzzo armato o no poggiante sul terreno (dado); dado di forma parallelepipedica o tronco-piramidale, gettato in opera prima del montaggio del pilastro, con la superficie superiore perfettamente liscia; ancoraggio dei pilastri strutturali in acciaio ai plinti in c.a. mediante un sistema di tirafondi (speciali bulloni) annegati nel conglomerato, per realizzare un vincolo a incastro.





# Fondazioni a plinti

---



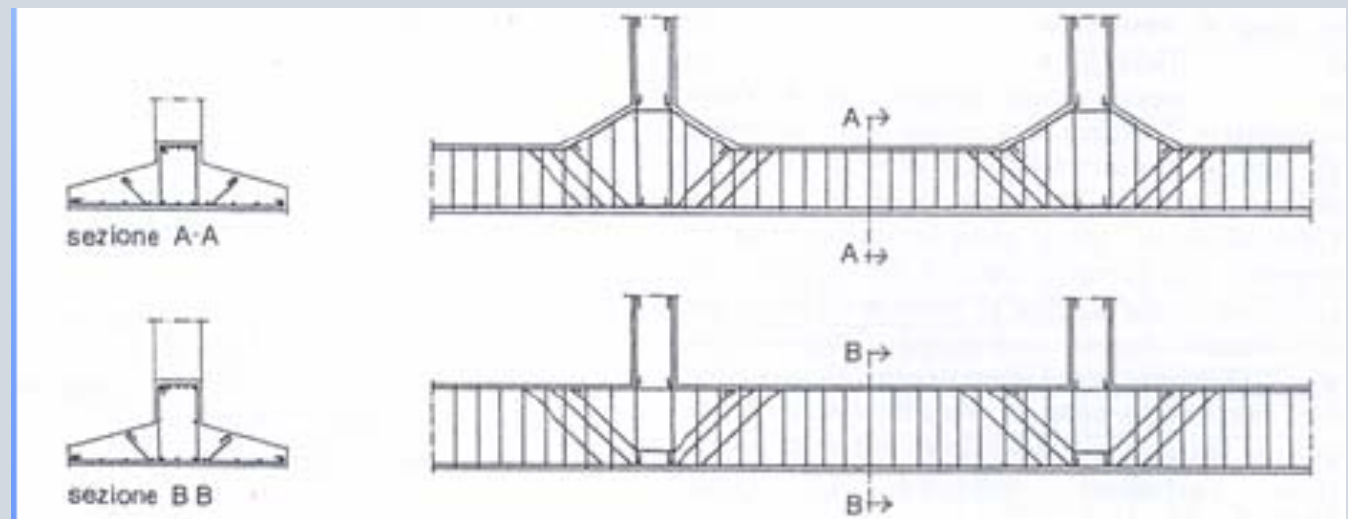
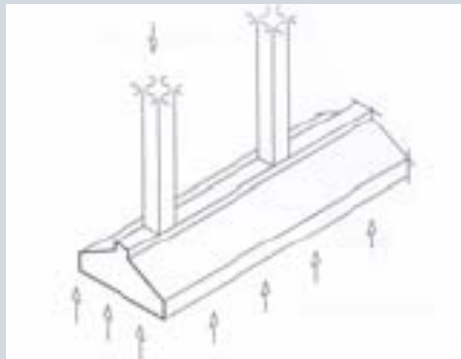
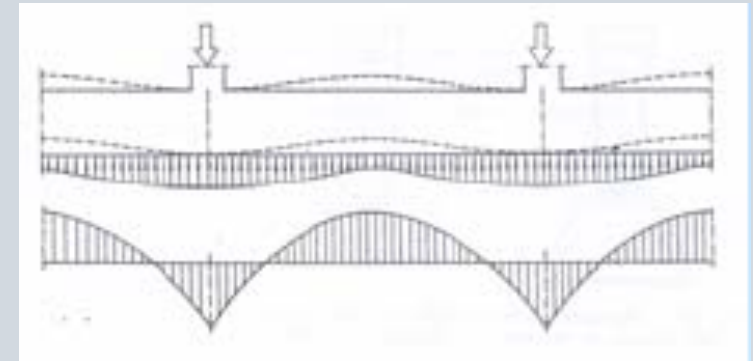


# Fondazioni a plinti



# Fondazioni a travi continue

Terreno disuniforme, Zona sismica  
Sezione a T rovescia  
Deformazione opposta rispetto trave norm.

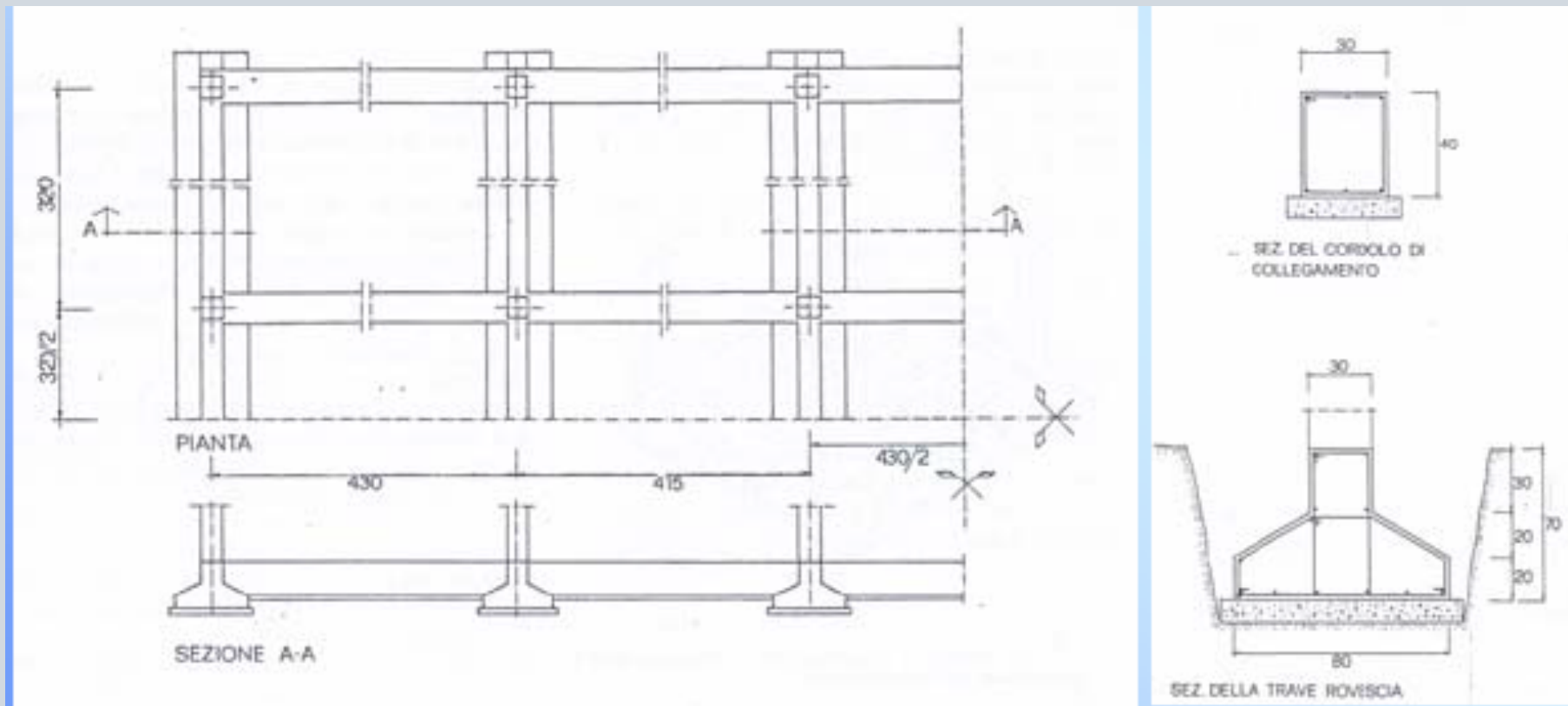


# Fondazioni a travi continue

---

- Orditura in una direzione (con cordoli trasversali di collegamento) o in più direzioni (si ottiene un reticolo di travi che consente una migliore distribuzione di carichi sul terreno e un più efficace collegamento delle strutture di piedritto → fondazioni a maglia chiusa);
- Possibilità di realizzare fondazioni a larghezza variabile, nel caso in cui i pilastri allineati abbiano carichi e interassi diversi, per rendere uniforme il carico unitario trasmesso dalla fondazione al terreno;
- Aumento rigidità della trave rovescia raccordando i pilastri alla trave con piani inclinati di  $120^\circ$ - $135^\circ$  in rapporto alle sollecitazioni di taglio;
- Getto in due fasi (prima ali o suola, poi anima entro le paratie di una cassaforma).

# Fondazioni a travi continue





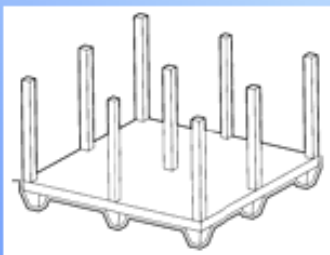
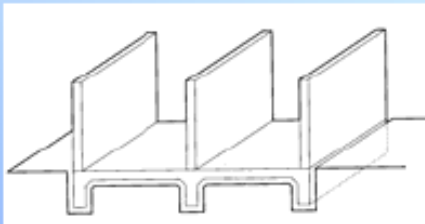
# Fondazioni a platea

---

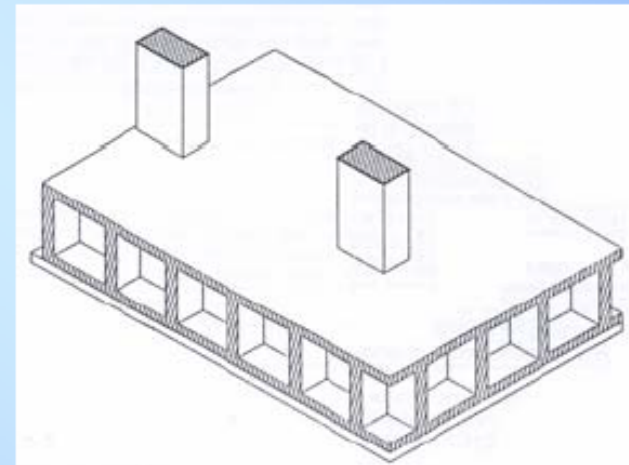
- utilizzate quando i carichi delle strutture sono elevati rispetto alla resistenza ammissibile sul terreno o quando nel progetto si richiede di realizzare un solaio al piano interrato di notevole portata;
- criteri fondamentali nella costruzione di tale fondazione: terreno di appoggio omogeneo, distribuzione abbastanza uniforme dei carichi, calcolo della platea in modo da risultare una piastra monolitica;
- funzionamento come solaio rovescio (carico distribuito rappresentato dalla reazione del terreno, carichi concentrati in corrispondenza delle strutture di elevazione dell'edificio);
- rigidità = funzione dell'altezza della platea;
- platee costituite da un solettone di calcestruzzo (di notevole spessore) o c.a. di base irrigidito da una serie di travi ortogonali colleganti i pilastri della struttura verticale;

# Fondazioni a platea

- possibile presenza di travi secondarie ortogonali alle principali per irrigidire ulteriormente il solettone di base (per conservare la funzionalità del piano interrato ispessimenti e nervature vengono spesso effettuati nel terreno sottostante le strutture in elevazione, sfruttando per i getti scavi a sezione obbligata);
- platea scatolare: formata da nervature verticali incrociate di piccolo spessore e notevole altezza con maglia costante collegate superiormente e inferiormente da solette continue; notevole rigidità e leggerezza;



*Platea di fondazione con rinforzi di irrigidimento sotto i carichi dei pilastri o sotto i carichi dei setti portanti*

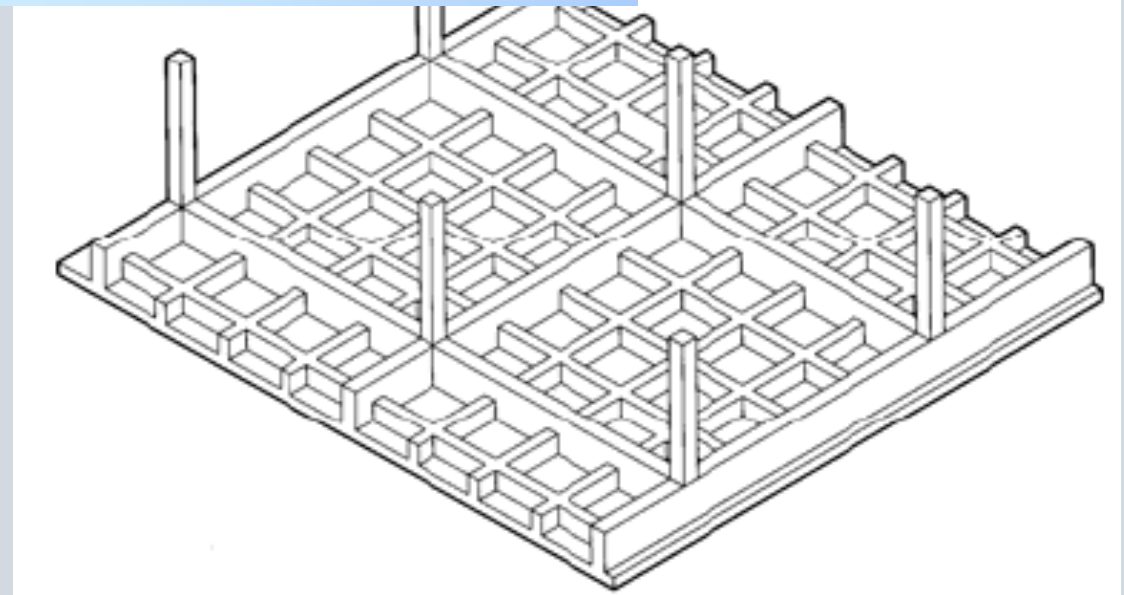


*Platea scatolare*



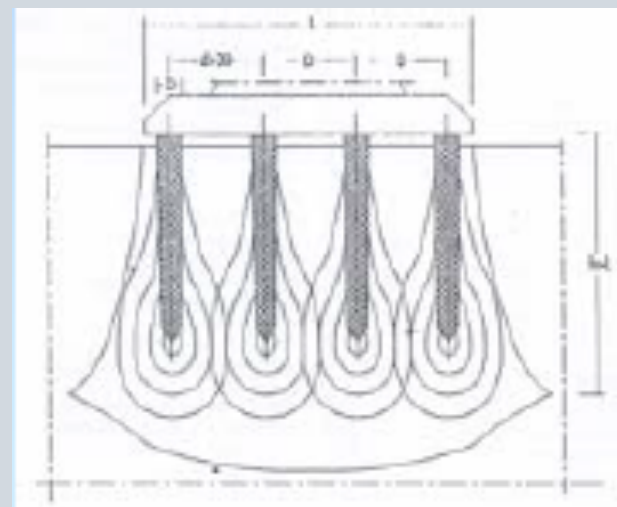
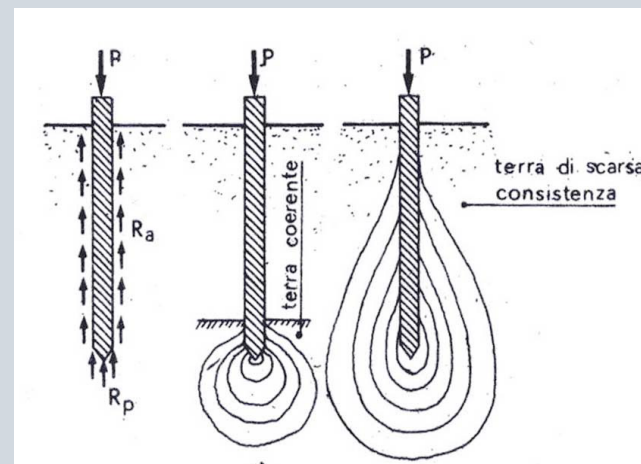
# Fondazioni a platea

- travi principali: si incontrano in corrispondenza della base dei pilastri, hanno larghezza modesta e altezza notevole per ottenere elevata rigidezza e economia di armature e pesi; travi perimetrali con ali a sbalzo estese oltre il perimetro dell'edificio;
- travi secondarie: strette ed alte, incastrate nelle travi principali e poco distanziate tra loro per ridurre la luce delle solette e limitarne l'altezza;
- solette: incastrate nelle travi, armate con ferri unidirezionali o incrociati.



# Fondazioni indirette: pali

- equilibrio assicurato attraverso la reazione del terreno che si trova sotto la punta, quando il palo è infisso in uno strato resistente (palo appoggiato) o per attrito laterale che si sviluppa tra palo e terreno (palo sospeso, utilizzato in presenza di terreni incoerenti e falde freatiche superficiali; distribuzione carico portato su ampia zona di terreno circostante e sottostante il palo);
- fondazioni costituite da vari pali il cui insieme è definito palificata;
- influenza negativa tra i bulbi delle pressioni dei singoli pali (con rischio di cedimento della palificata) limitata distanziando opportunamente i pali in rapporto al loro diametro e alla loro lunghezza (interasse pari a circa tre volte il diametro del palo);

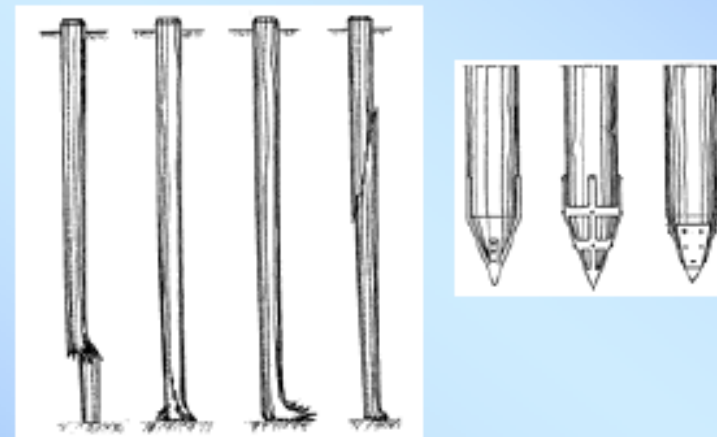


# Fondazioni indirette: pali infissi legno

- realizzati in legno, in c.a. e acciaio;
- posa in opera per battitura fino a rifiuto con un maglio lasciato cadere da un'altezza prefissata da un'apposita incastellatura;

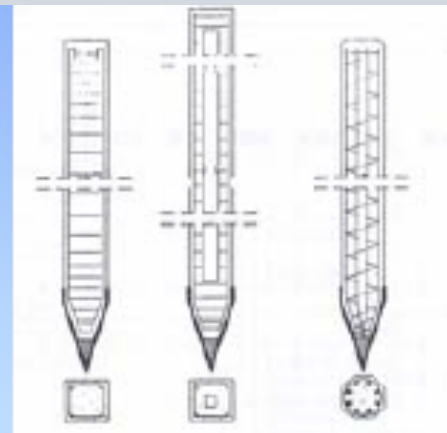


- pali in legno: poco usati per la breve durata e le dimensioni limitate; infissi previa protezione della testa e della punta; possibile danneggiamento dei pali durante la battitura; conservazione nel tempo migliore se si trovano in un terreno a stato idrometrico costante; si adoperano solo nelle opere provvisorie o nelle fondazioni di poca importanza;



# Fondazioni indirette: pali infissi c.a.

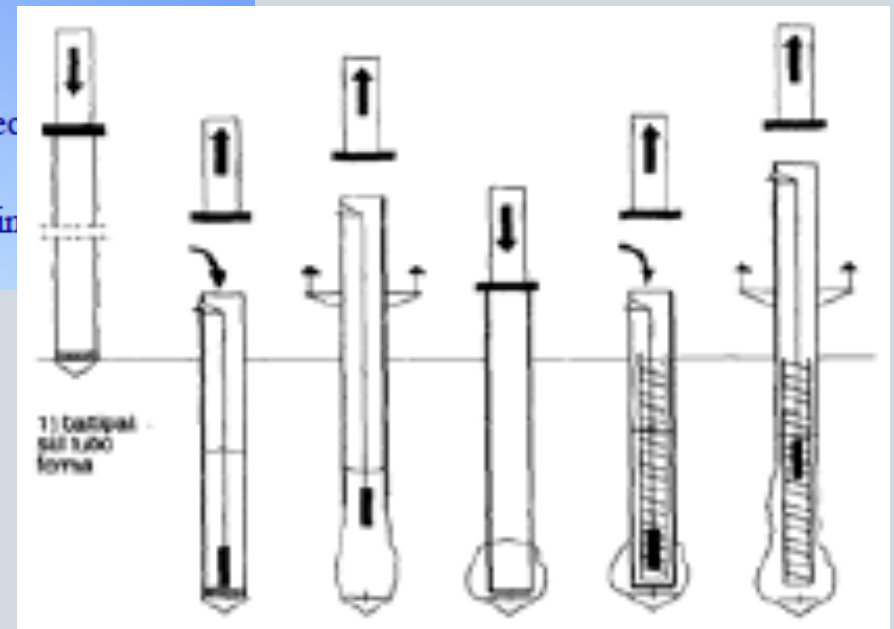
- pali in c.a.: hanno sostituito quasi totalmente i pali in legno poiché presentano numerosi vantaggi (maggiore durevolezza, più elevata resistenza, realizzazione delle lunghezze volute, costo minore e maggiore reperibilità sul mercato perché prodotti industrialmente); armatura metallica, longitudinale e trasversale, necessaria per evitare rotture durante il trasporto, l'infissione e l'esercizio (aumentando la resistenza a compressione del palo) + staffe elicoidali più ravvicinate alla punta e alla testa; sezione trasversale di varie forme (quadrata, poligonale, circolare, sia piena che cava); impiego cemento ad alta resistenza e rapido indurimento o cemento fuso per abbreviare il tempo di stagionatura;





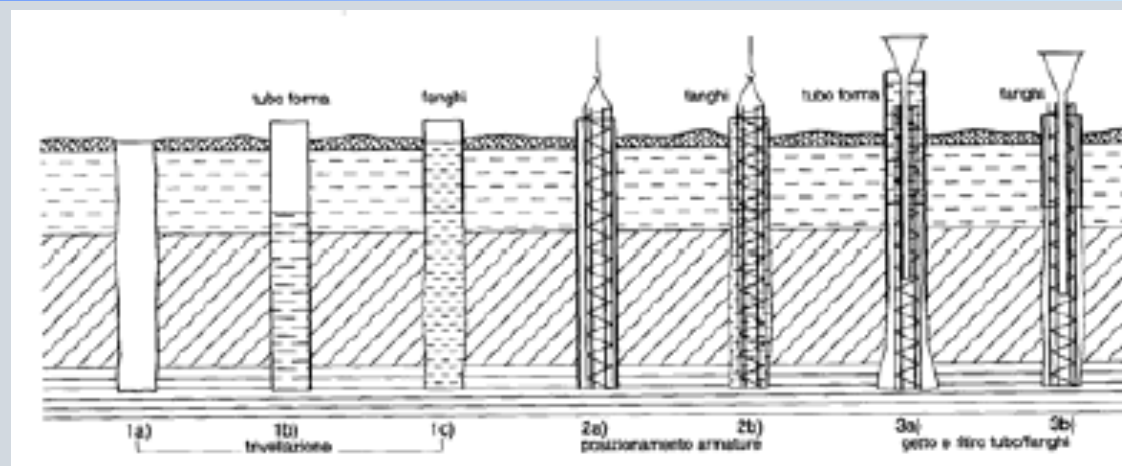
# Fondazioni indirette: pali gettati in opera

- pali in calcestruzzo semplice o armato, realizzati con l'ausilio di un tubo-forma (composto di un unico pezzo o di più pezzi riuniti per avvvitamento o saldatura) infisso per battitura fino a rifiuto;
- infissione senza asportazione del terreno essendo il palo chiuso alla punta (mediante una puntazza metallica a forma di doppia ventola apribile o tramite un tappo in calcestruzzo → pali Simplex o Francki);
- esecuzione del palo gettando piccoli strati di calcestruzzo a consistenza asciutta nel tubo-forma dopo aver aperto la puntazza o distaccato la punta in calcestruzzo che rimane nel terreno e costituisce la base del palo;
- strati di calcestruzzo fortemente costipati;
- graduale sollevamento del tubo-forma (se il tubo-forma non viene receduto viene detto tubato);
- possibile introduzione di una gabbia metallica ad armature longitudinali ed elicoidali prima del getto.



# Fondazioni indirette: pali trivellati

- pali in cui il calcestruzzo è gettato all'interno di un tubo-forma affondato nel terreno durante l'asportazione del terreno stesso con una sonda munita di valvola di fondo o tramite benna o trivella;
- maggiore espansione del calcestruzzo nel terreno circostante durante la costipazione (poiché questa tecnica esecutiva permette di non costipare il terreno esterno al tubo-forma);
- vantaggi: esecuzione di pali di qualsiasi lunghezza (fino a 50 m), possibilità di esame diretto del terreno attraversato, attraversamento di eventuali banchi di terreno più resistenti mediante utensili a rotazione, trasferimento al terreno di vibrazioni modeste tali da non danneggiare edifici e opere adiacenti;



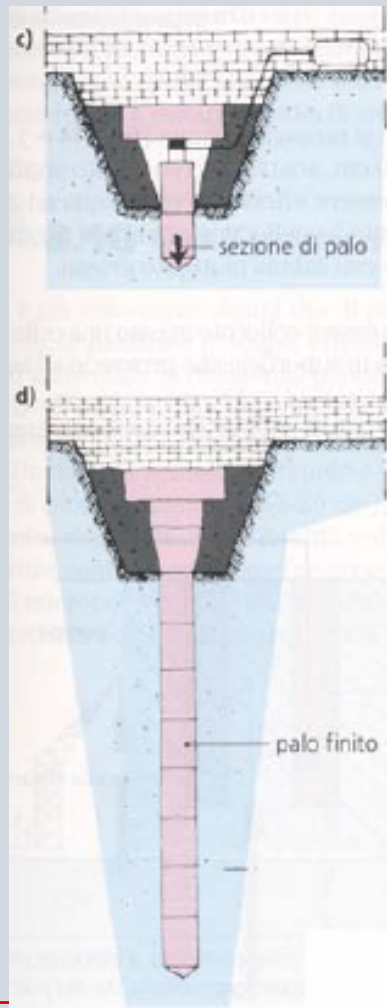
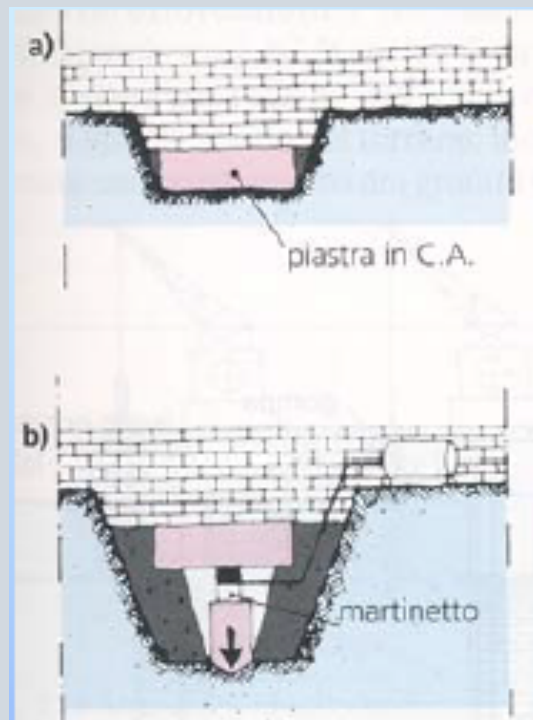


# Sottofondazioni di edifici esistenti

- opere di sottofondazione, onerose, necessarie nel caso in cui un edificio esistente mostri danneggiamenti conseguenti a cedimenti del terreno o quando operazioni di recupero e rifunzionalizzazione di un edificio comportano maggiori carichi sulle fondazioni;
- opere condotte dopo una specifica analisi delle condizioni del terreno e dei carichi;
- consistono in opere di allargamento delle fondazioni preesistenti o nella creazione di fondazioni indirette per raggiungere strati profondi di terreno più resistente;
- si può procedere anche al consolidamento del terreno per costipamento.



# Sottofondazioni di edifici esistenti



- a) *Scavo e applicazione di una piastra di ripartizione in acciaio o c.a. alla struttura muraria da sottofondare;*
- b) *Inserimento di un martinetto e della prima porzione di palo, a punta;*
- c) *Affondamento del palo nel terreno mediante pressione con il martinetto;*
- d) *Ripetizione dell'operazione con le successive sezioni di palo, fino a raggiungere la profondità necessaria.*