

**UNIVERSITÀ DI PISA**  
DICI - Dipartimento di Ingegneria Civile e Industriale

# **TECNOLOGIA DELLE COSTRUZIONI**

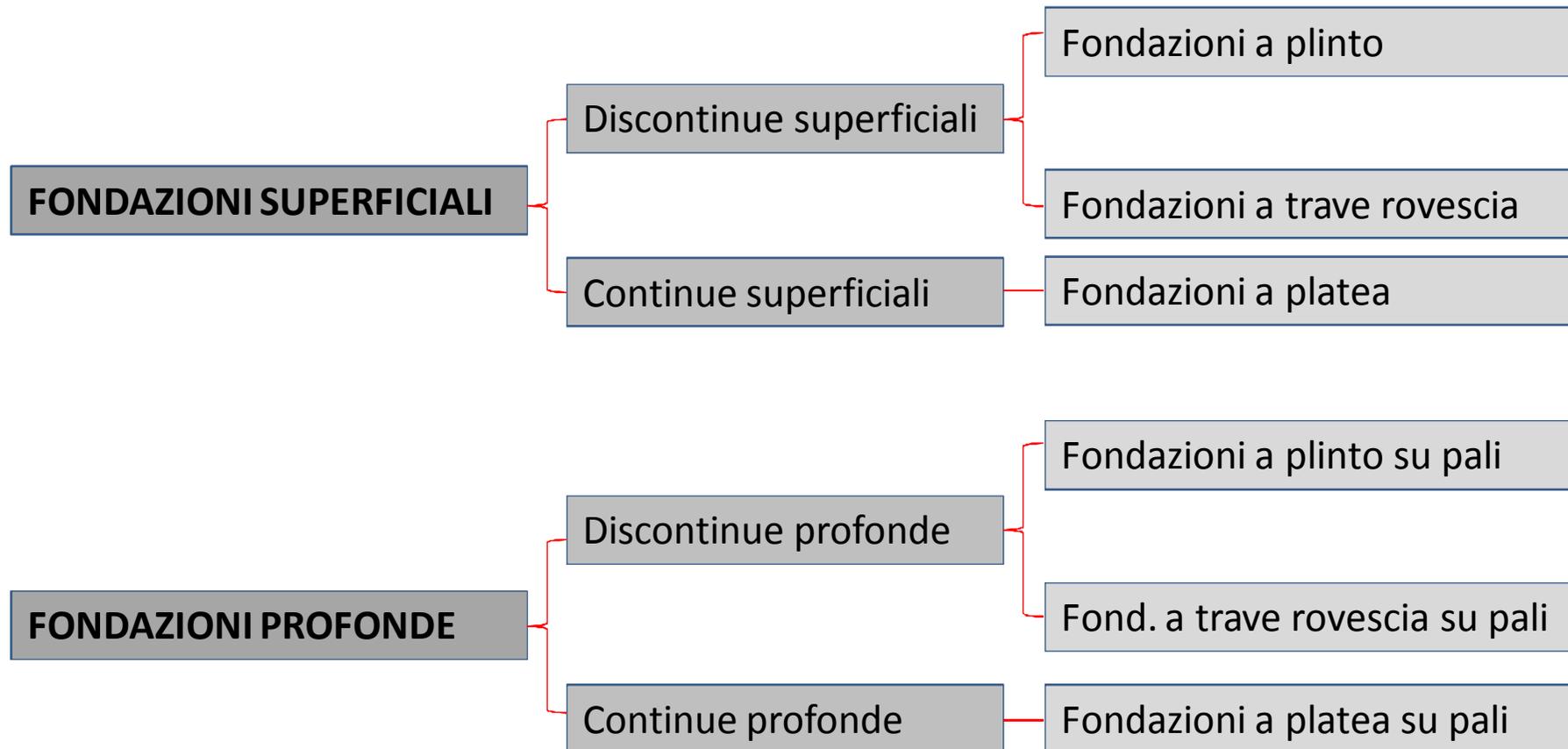
Ing. Marco Palazzuoli

# LE STRUTTURE PORTANTI DI FONDAZIONE

La **struttura di fondazione** viene definita come **l'insieme degli elementi tecnici del sistema edilizio che ha la funzione di trasmettere i carichi permanenti e i carichi accidentali dell'edificio al terreno sottostante**; essa costituisce uno dei vincoli fondamentali nel progetto dell'organismo architettonico e la sua configurazione dipende direttamente dalle caratteristiche geologiche del suolo su cui insiste.

Al tempo stesso il **comportamento del suolo** sottoposto al carico dell'organismo edilizio **dipende** dalle sue caratteristiche ma anche dalla **configurazione morfologica e dalle tecnologie costruttive dell'edificio** e delle sue **fondazioni**: collegamento statico fra edificio e terreno sottostante a formare un unico insieme mutuamente interagente.

Il **dimensionamento, la geometria e la realizzazione delle strutture di fondazione** sono stati spesso oggetto di non adeguata considerazione da parte del progettista e del costruttore. Esse sono la porzione dell'edificio non visibile e pertanto la loro realizzazione viene lasciata alla mera attenzione del calcolatore strutturale, mentre la scelta della corretta tipologia del sistema fondale, il suo dimensionamento e la progettazione degli elementi tecnici principali e di protezione si riflettono nelle prestazioni non solo di carattere statico, ma anche di comfort e di durabilità nel tempo.



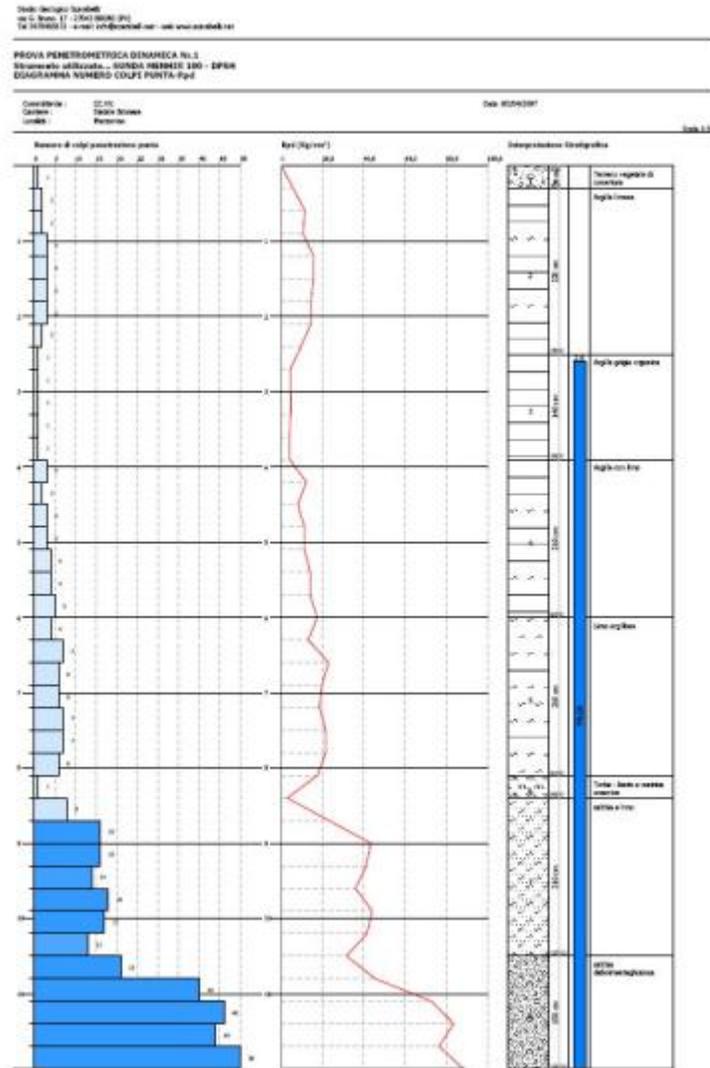
Il carico trasmesso dall'edificio sul terreno provoca movimenti nel terreno stesso; tali **CEDIMENTI** possono essere previsti attraverso il calcolo e sono tollerati dalle strutture portanti.

Ove i movimenti del terreno non avvengano in maniera omogenea, o comunque non rispettino le previsioni di progetto, si verificano azioni cosiddette di "**CEDIMENTO DIFFERENZIALE**", in grado di compromettere anche seriamente le condizioni di sicurezza statico dell'edificio. Esse sono tra le cause, principali di dissesto delle strutture di elevazione, le quali si manifestano generalmente a breve distanza di tempo dalla costruzione e la cui soluzione comporta interventi di consolidamento, sia del terreno che delle strutture, gravosi economicamente e spesso pregiudizievoli della qualità architettonica dell'edificio.



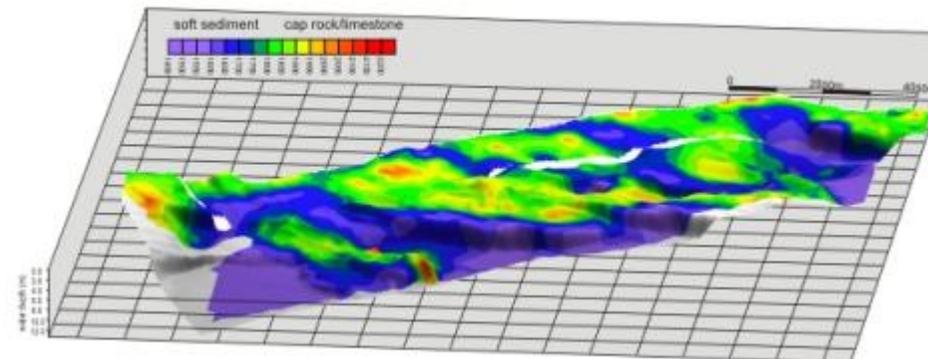
Pertanto lo studio del suolo, condotto attraverso analisi geologiche, idrologiche e idrauliche sui campioni prelevati con sondaggi geognostici o con metodi non distruttivi (quali rilevazioni georadar), è particolarmente importante e deve essere svolto fin dalle prime fasi di sviluppo del progetto per consentire corrette valutazioni sulla fattibilità dell'opera, sul costo relativo e sulla sua configurazione a terra, poiché spesso un terreno offre comportamenti differenti anche in maniera notevole a breve distanza, suggerendo informazioni utili per l'ottimizzazione della progettazione preliminare.





Una corretta indagine geognostica è determinante per la valutazione preliminare e per le successive definizioni dell'apparato fondale, e costituisce la prima fase di impostazione del calcolo di portanza del sistema strutturale. Infatti un non preventivato disequilibrio delle strutture di elevazione si può riflettere nel livello fondale con la concentrazione delle risultanti verticali dei carichi in zone non in grado di contenerle e la conseguente frattura (*punzonamento*) e *cedimento* delle strutture sovrastanti, oppure con una sua torsione sull'asse orizzontale e conseguente deformazione degli assetti di tutto l'edificio.

P-wave velocity to identify cap rock and unconsolidated sediments at sea bottom



Il sottodimensionamento delle strutture di fondazione (insufficiente area resistente) è invece frequentemente la causa di piccoli e grandi dissesti: problemi alle pavimentazioni, fessurazioni sui prospetti...

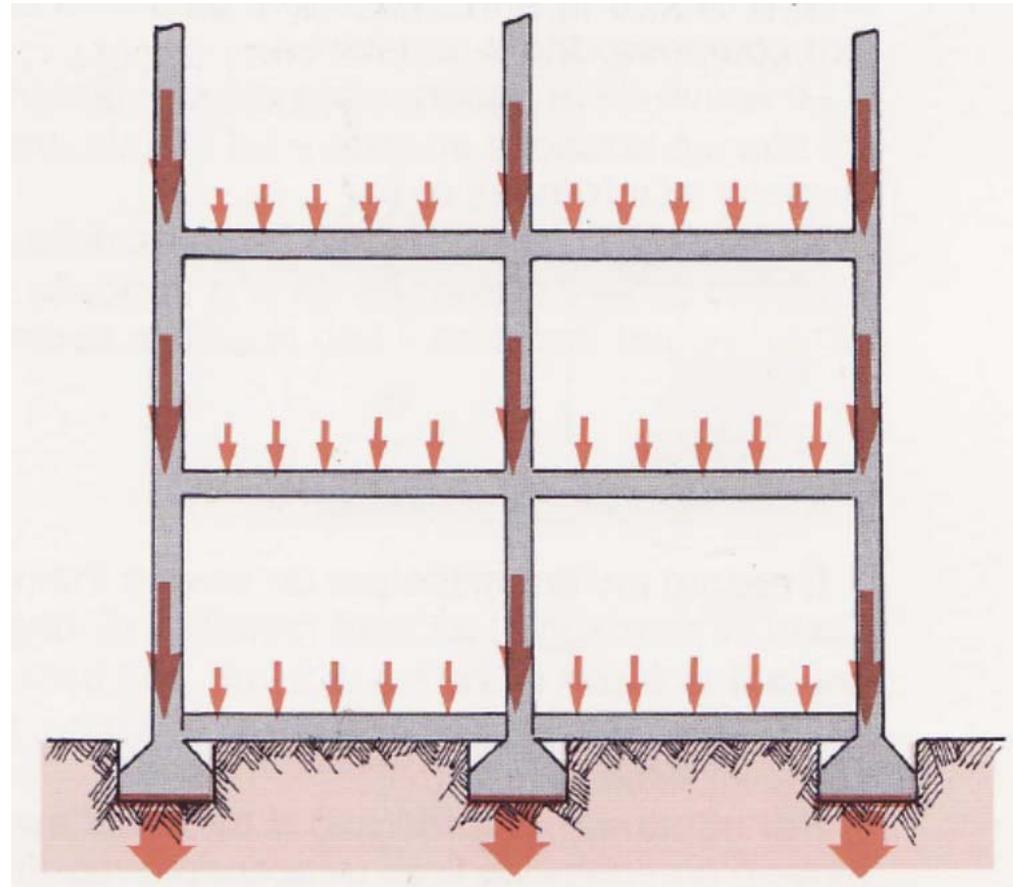
**FORMA  
DIMENSIONI**

} Sono funzione dei carichi, della natura del terreno e della struttura di elevazione

La definizione del piano di imposta delle fondazioni viene stabilita per raggiungere, se possibile, lo strato di terreno con portanza idonea: il volume ricavato entroterra consente inoltre la realizzazione di vani utili alla funzionalità del fabbricato, come autorimesse o locali impiantistici.

Gli scavi del terreno superficiale, che precedono l'esecuzione del getto del magrone, del posizionamento delle armature e del getto del calcestruzzo, spesso costituiscono la sagoma di contenimento del getto stesso.

Un'opera edilizia poggia sul terreno attraverso le fondazioni che ne costituiscono pertanto il basamento. La funzione essenziale delle fondazioni è quella di assorbire i carichi della costruzione e di trasmetterli al terreno, ripartendoli su una determinata superficie, in modo tale che il terreno stesso possa sopportarli.



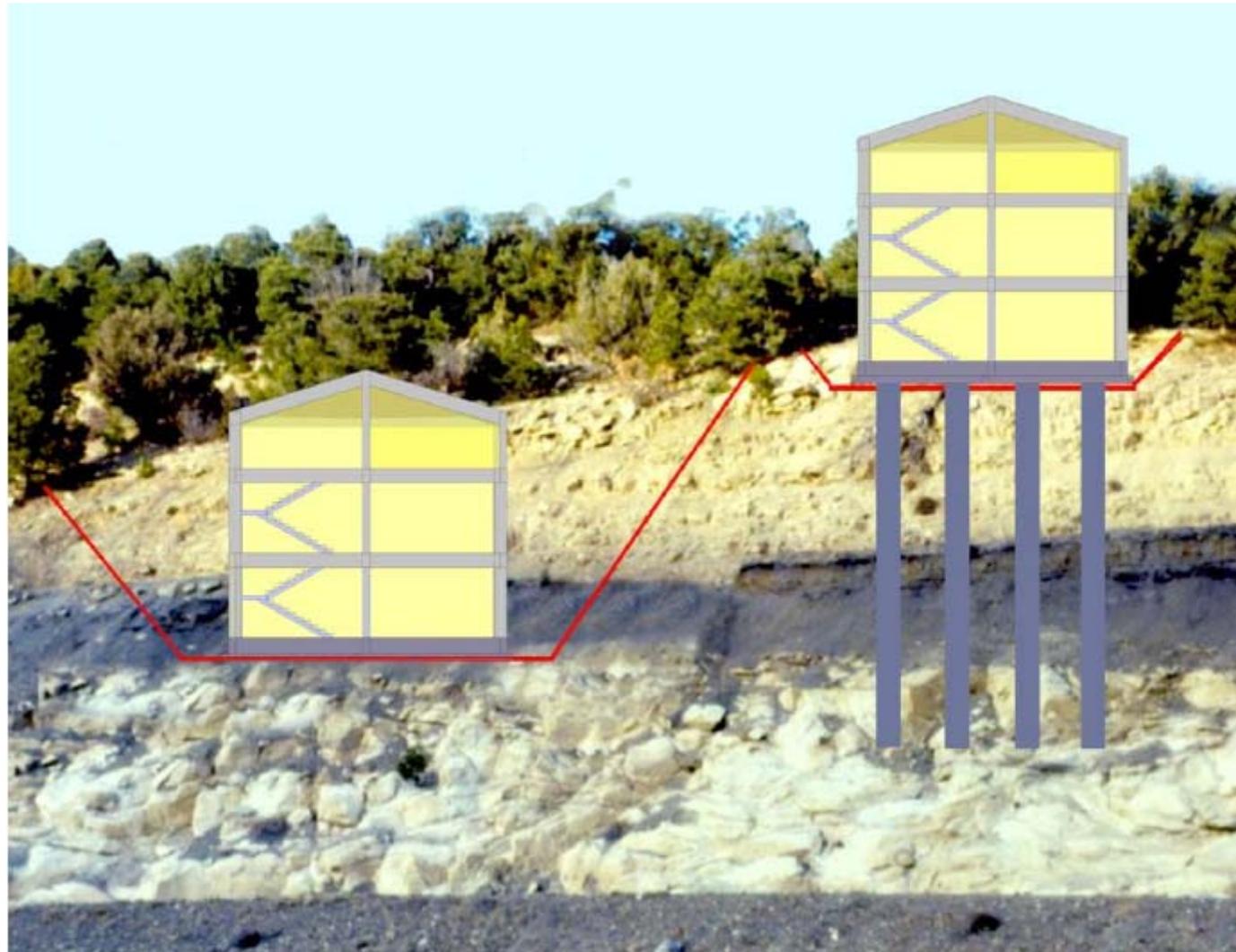
A seconda dell'interazione terreno-struttura:

- **STRUTTURE DI FONDAZIONE DIRETTE**: quando l'unità tecnologica fondale è a diretto contatto con il terreno (più magrone)
- **STRUTTURE DI FONDAZIONE INDIRETTE**: quando a causa di un'insufficiente portanza del terreno superficiale è necessario ricorrere a pali, tiranti o altro per garantire le condizioni di stabilità e sicurezza

Dal punto di vista morfologico:

- **FONDAZIONI CONTINUE**: costituite da elementi di forma lineare come travi rovesce o da un'unica superficie resistente come platea (l'edificio potrà insistere su una superficie continua in grado di ripartire omogeneamente il carico sul terreno)
- **FONDAZIONI DISCONTINUE**: costituite da parallelepipedi massicci (plinti) su cui spiccano le strutture di elevazione puntuali (terreno con valori di portanza omogenei e strutture di elevazione puntiformi)

Le fondazioni superficiali, o dirette, sono le strutture più economiche e vengono adottate ogni volta che il terreno, alla quota di imposta desiderata, presenta valori di portanza soddisfacenti.





Le fondazioni superficiali continue vengono realizzate con elementi tecnici puntuali detti **PLINTI**. Esse vengono utilizzate quanto le strutture in elevazione sono del tipo a telaio. I plinti vengono collocati con il baricentro sulla risultante verticale delle forze trasmesse dai pilastri per consentire la uniforme ripartizione dei carichi dell'edificio trasmessi al piano di posa.

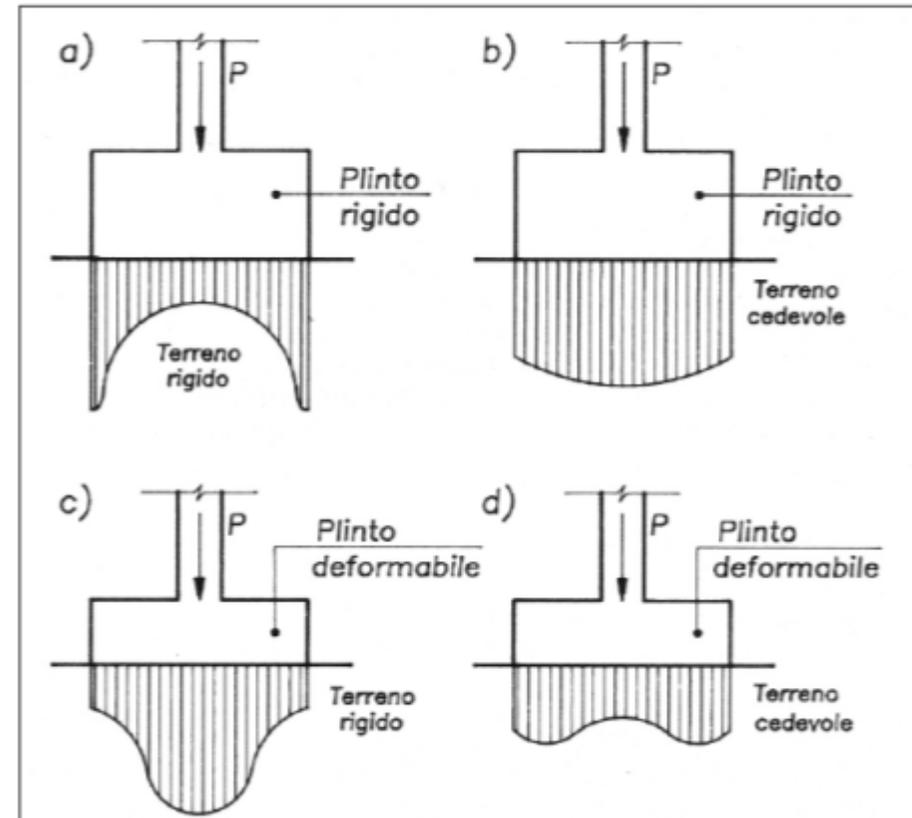
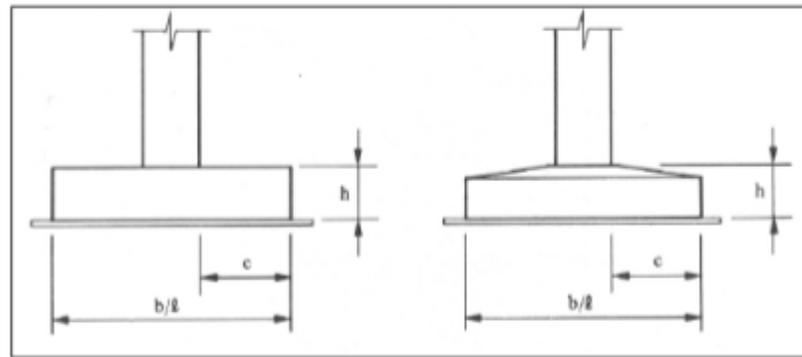
La funzione del plinto è quella di distribuire il carico su un'impronta maggiore onde evitare lo sprofondamento nel terreno dei pilastri di elevazione.

Normalmente il plinto è un elemento rigido a forma di dado, un tempo veniva fatto in muratura o a pozzo con collegamento ad arcata rovescia. Attualmente si realizza in calcestruzzo armato o non armato a seconda che sia fatto lavorare a flessione o meno.

Da un punto di vista geometrico, i plinti possono essere distinti in:

- alti
- bassi
- deformabili
- rigidi

Da un punto di vista meccanico, a seconda della scelta cambierà sia il comportamento del plinto stesso, sia la sua interazione con il terreno sottostante e quindi la distribuzione delle tensioni.

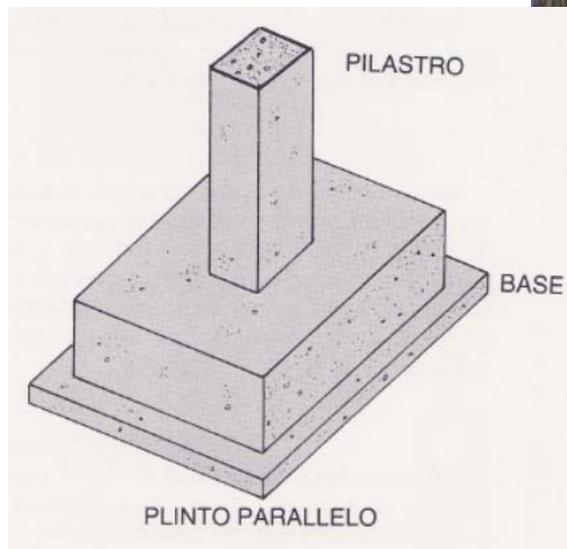


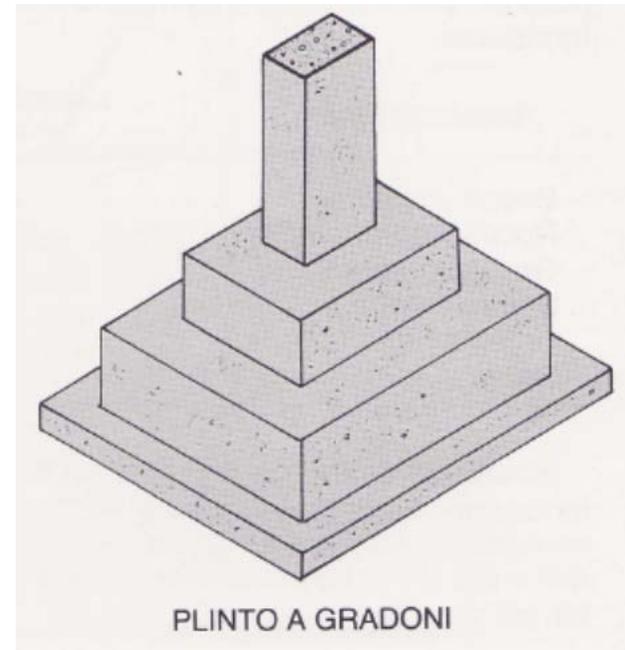
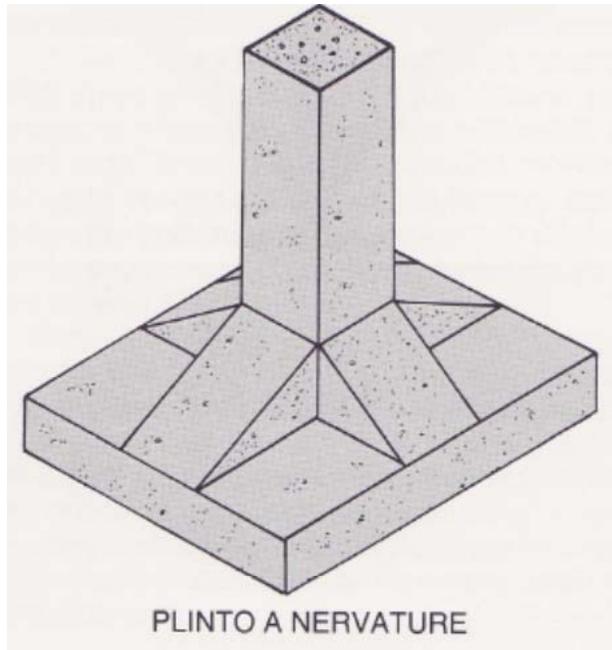
In genere, le varie categorie di plinto si distinguono:

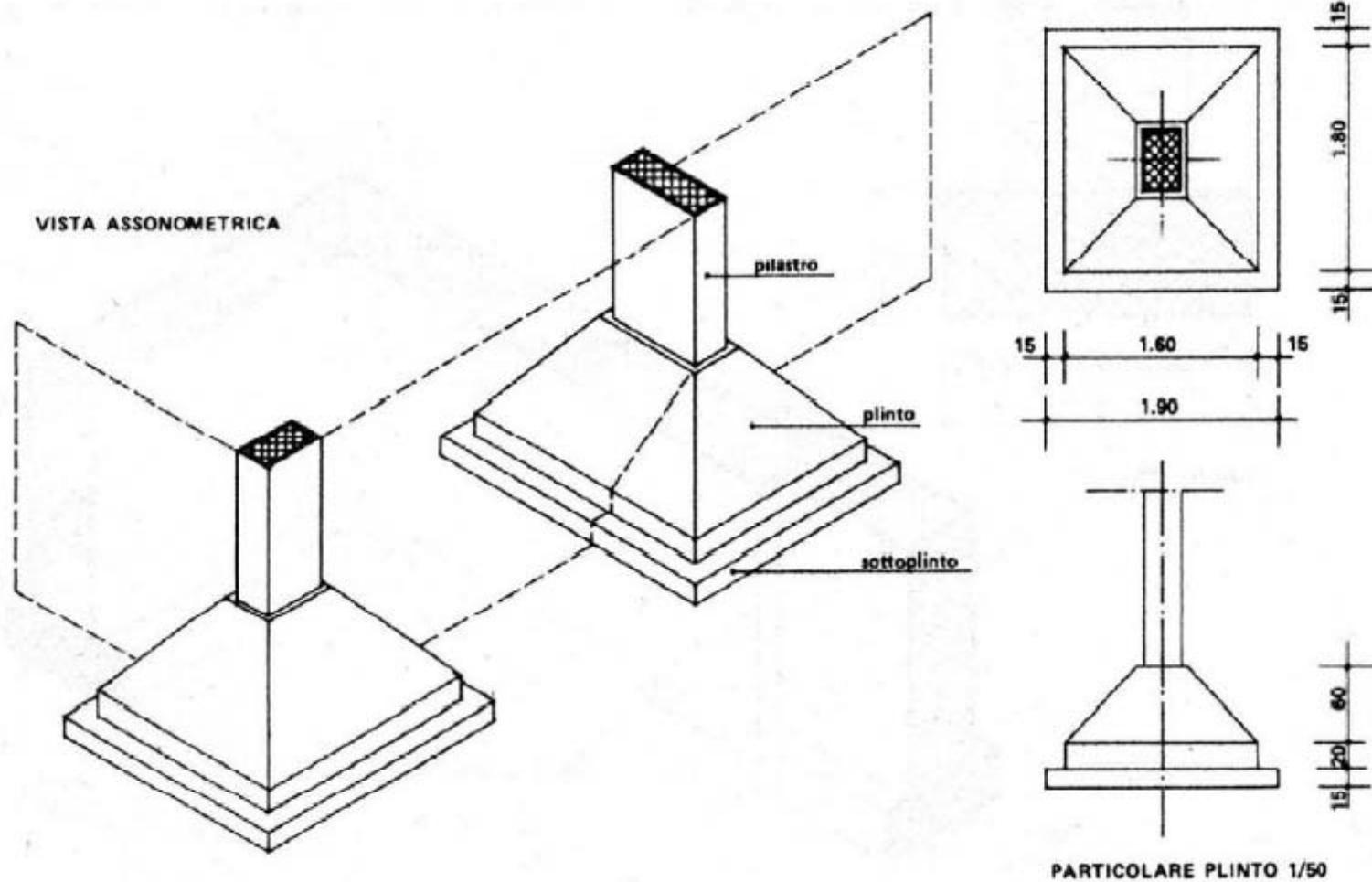
- $c \geq 4h$  *grande snellezza*
- $h/2 \leq c \leq 4h$  *media snellezza*
- $c \leq h/2$  *piccola snellezza*

**PLINTI PARALLELEPIPEDI:** di grande rapidità esecutiva nella formazione delle carpenterie e nella esecuzione dei getti ma con maggior utilizzo di armature per ovviare alle sollecitazioni di taglio che vengono a crearsi.

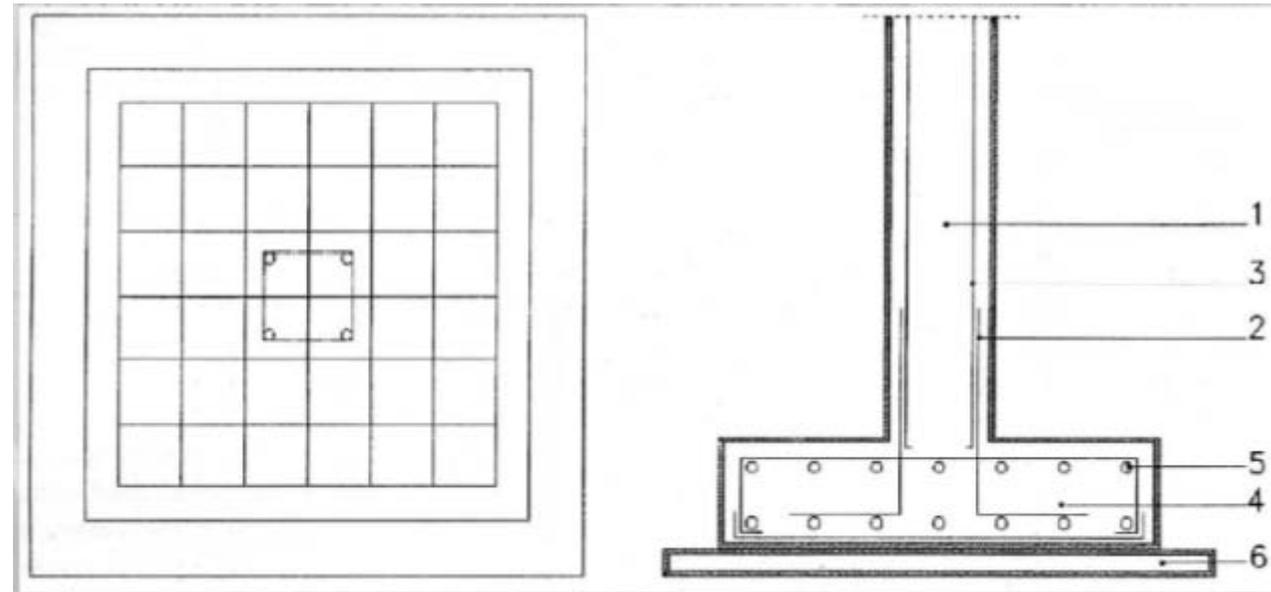
**PLINTI TRONCO-PIRAMIDALI:** di minore rapidità nell'esecuzione sia delle carpenterie che dei getti (su piano inclinato) ma con minore impiego di ferro per l'uso di una sezione ottimizzata.



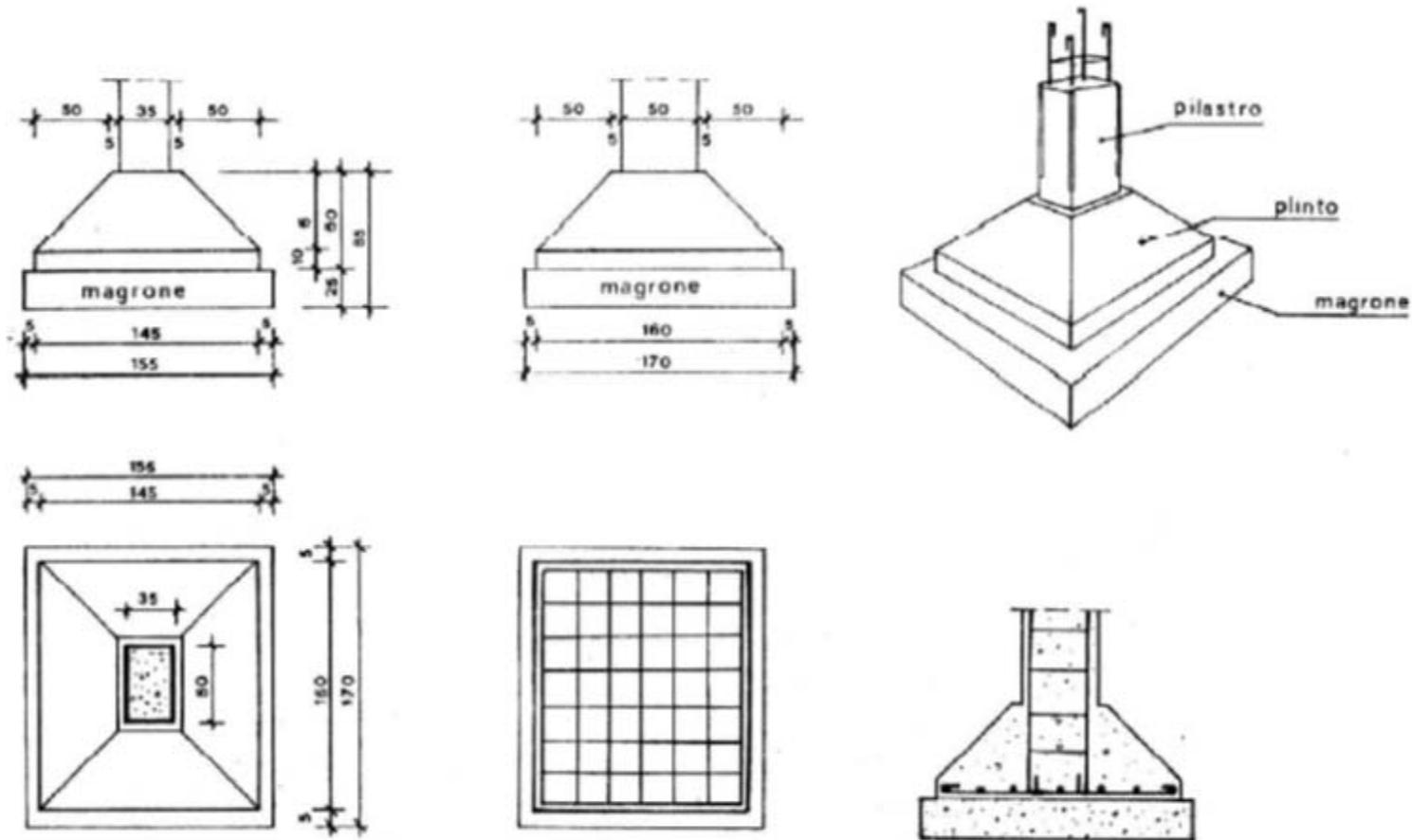




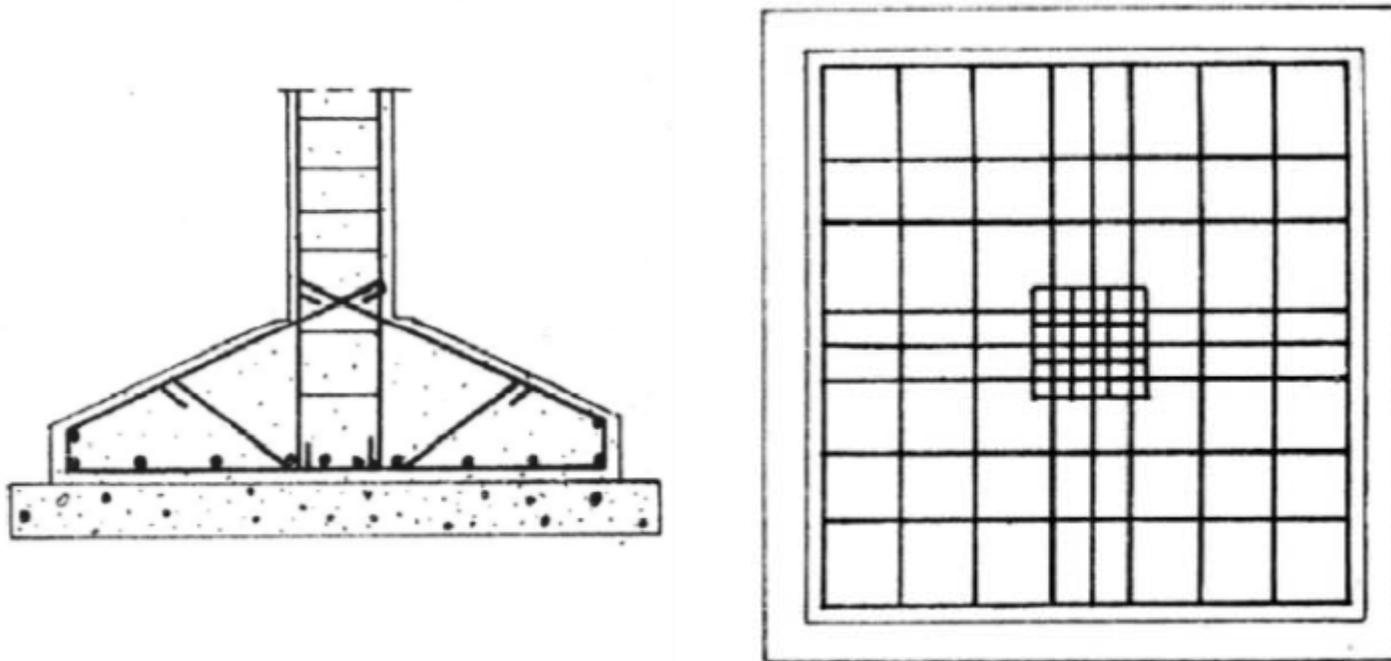
1. pilastro
2. ferri di ripresa
3. armatura del pilastro
4. plinto
5. armatura del plinto
6. magrone



Le fondazioni in genere non devono poggiare direttamente sul terreno perché le armature si potrebbero ossidare. 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 livellata di appoggio alle strutture di fondazione ed evitare il contatto diretto delle armature con il terreno, nonché la permeazione di umidità di risalita.

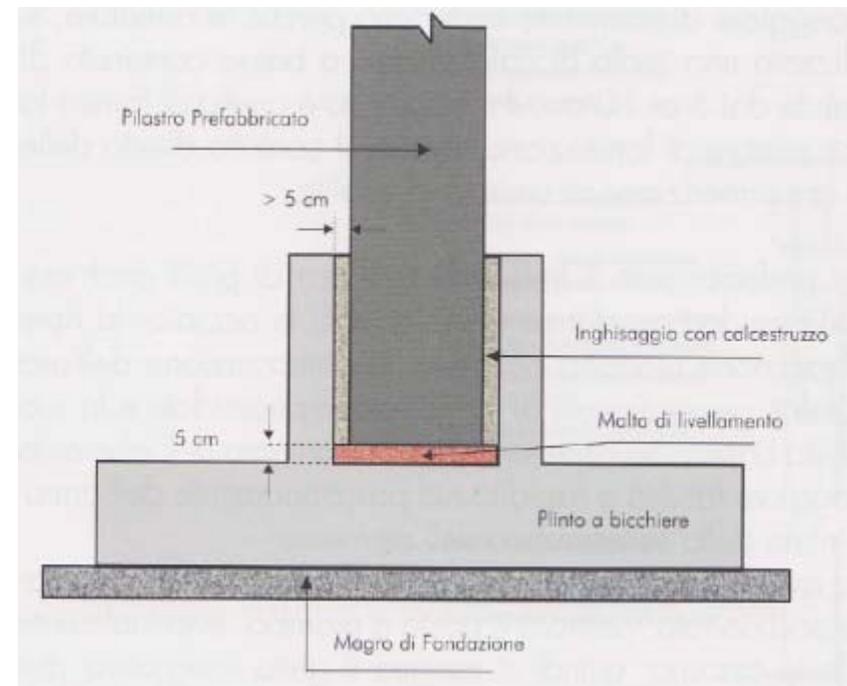


plinto alto e rigido



plinto bassi e flessibili

Nella realizzazione di strutture lineari prefabbricate è frequente l'uso di plinti prefabbricati realizzati in stabilimento con casseforme reimpiegabili in acciaio. Lo stampo è capovolto in modo da facilitare l'inserimento dell'armatura e l'esecuzione del getto, semplificando e standardizzando tutte le operazioni. Il posizionamento del pilastro sul plinto avviene mediante un apposito alloggiamento, chiamato **bicchiere**, entro il quale il pilastro viene posizionato, centrato e messo in piombo. In seguito si esegue il getto integrativo che consente la continuità strutturale.





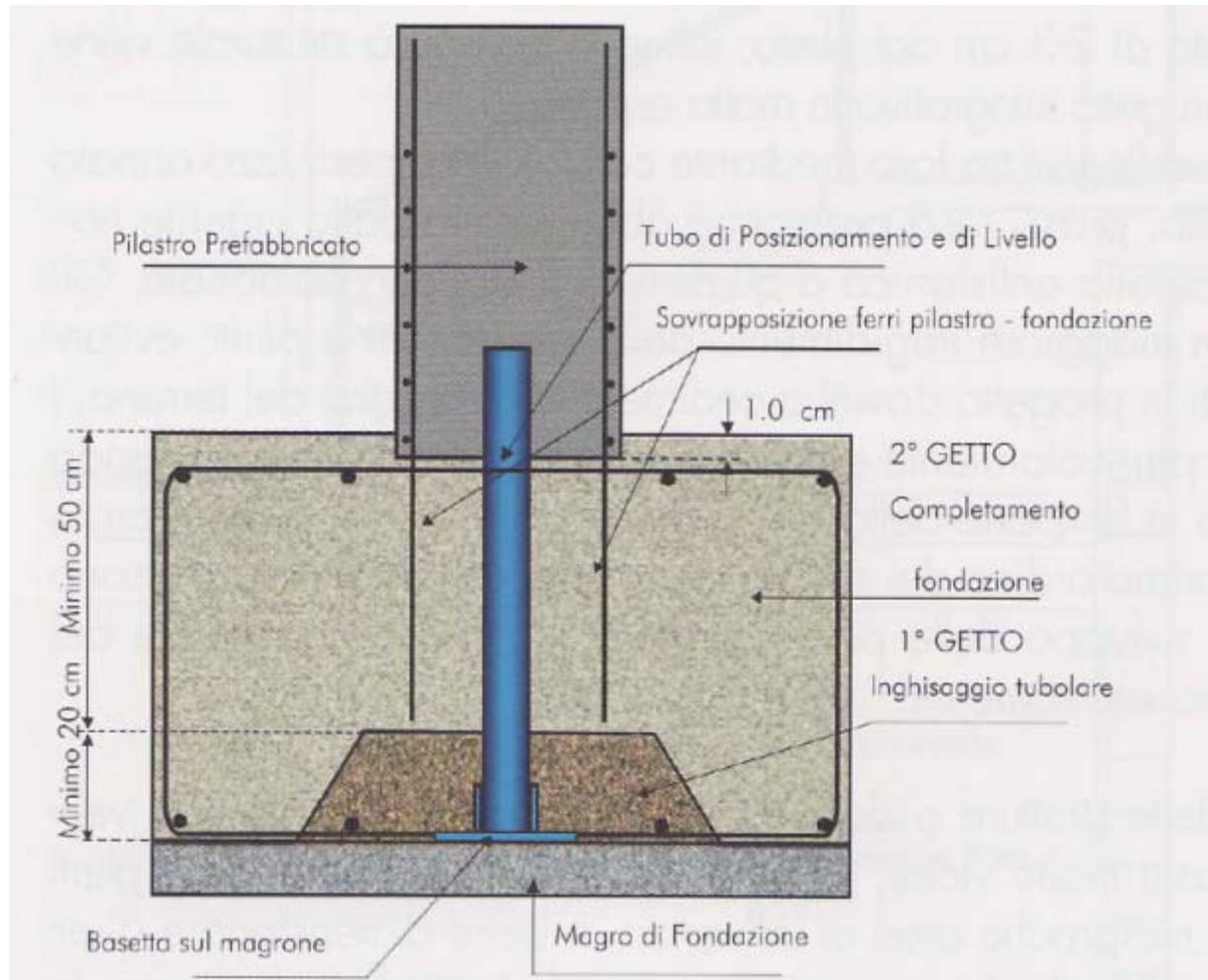
plinto in calcestruzzo gettato in opera a bicchiere



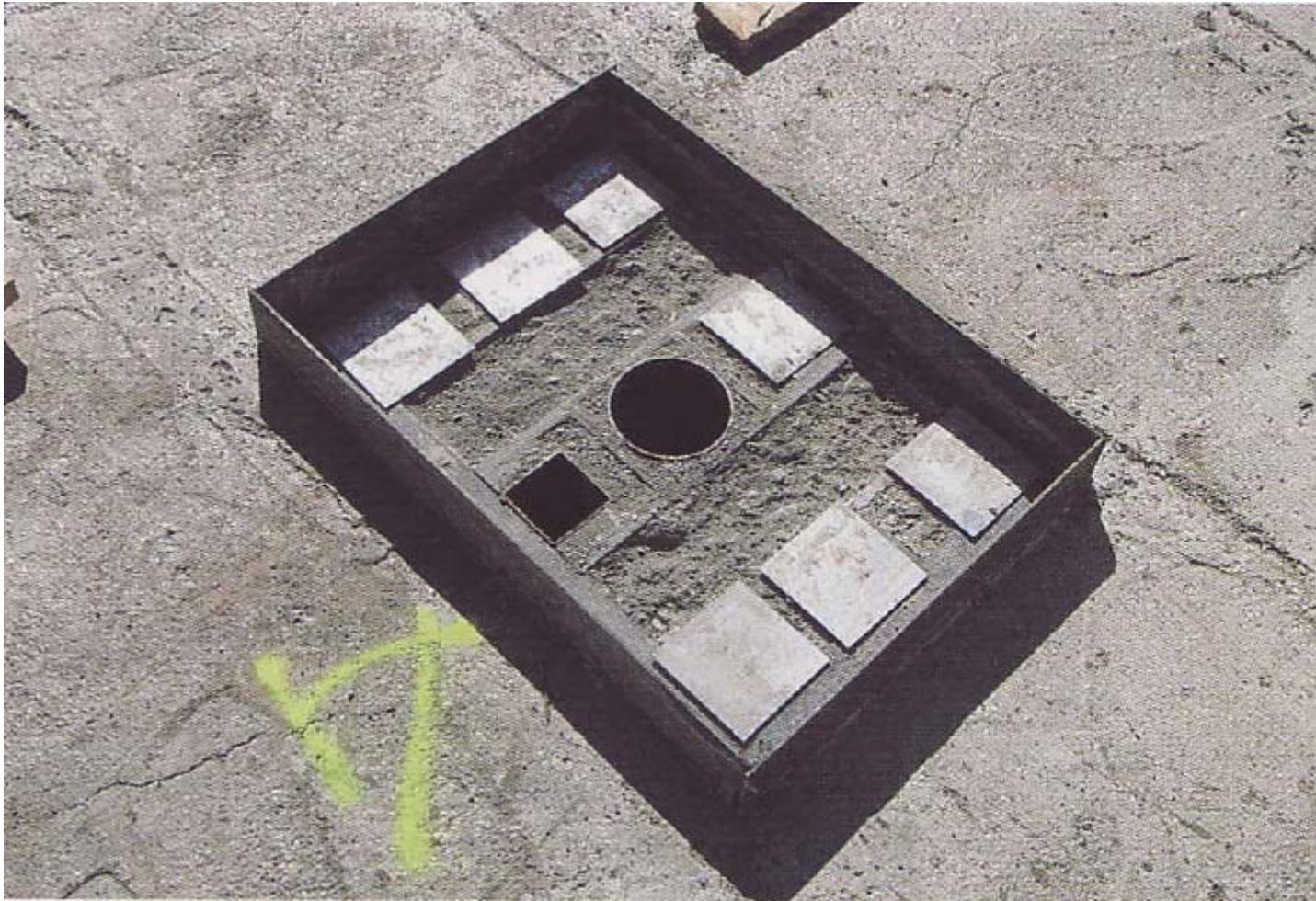
plinto in calcestruzzo prefabbricato in opera a bicchiere



I criteri di progettazione antisismica impongono che i plinti vengano collegati in testa da cordoli, vere e proprie travi di collegamento che consentono un maggior irrigidimento della fondazione evitando sforzi puntuali dovuti a cedimenti differenziali. Le travi di collegamento possono servire per l'appoggio delle pareti perimetrali (travi porta muro) e del solaio a terra.



Plinto di fondazione con integrato tubolare di piombatura per il successivo posizionamento del pilastro prefabbricato



Plinto di fondazione con integrato tubolare di piombatura per il successivo posizionamento del pilastro prefabbricato



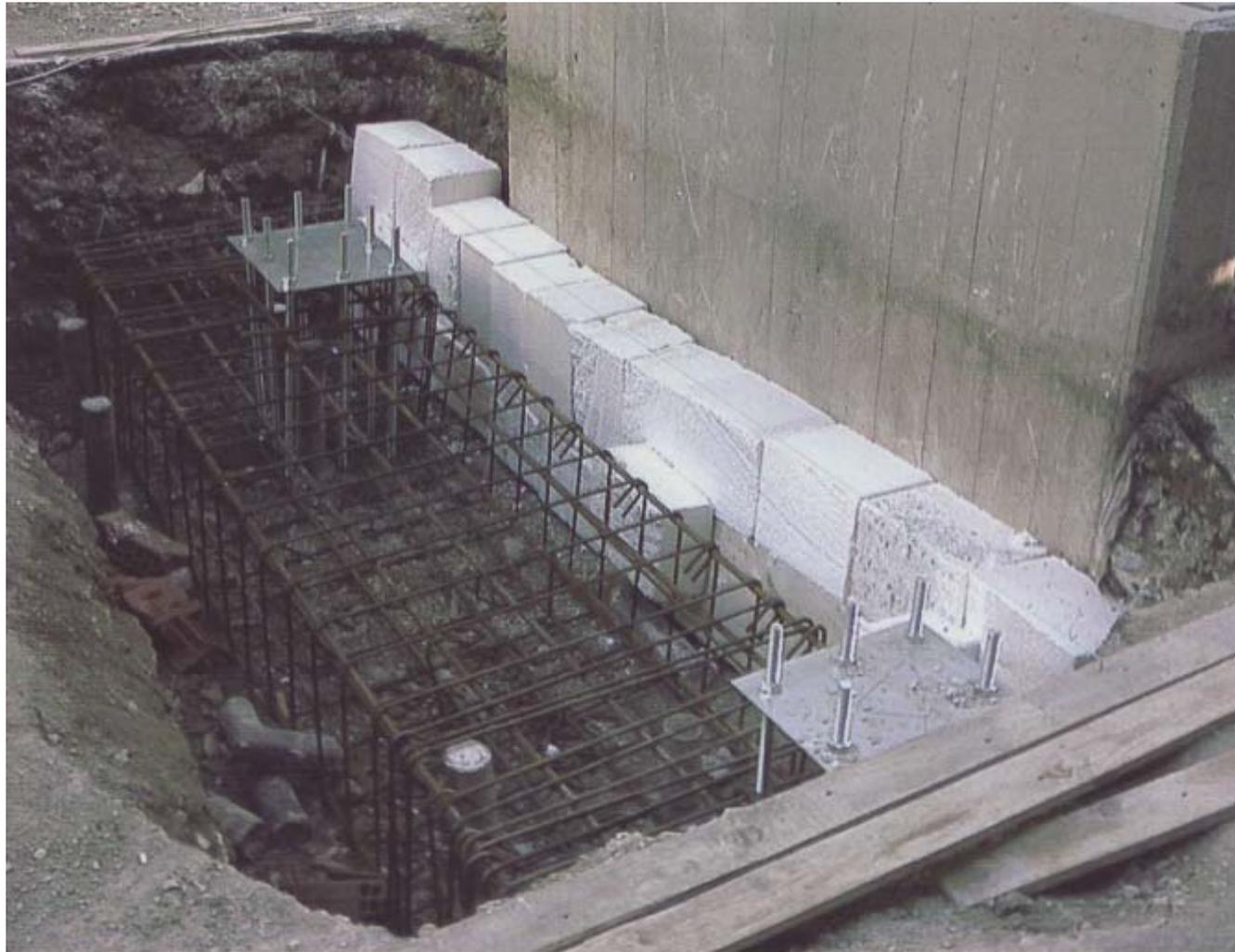
Alloggiamento del pilastro prefabbricato su trespole di fondazione annegato nella platea; centraggio del pilastro attraverso il tubolare di piombatura e posizionamento dei ferri di collegamento

Nel caso di strutture in elevazione realizzate in acciaio, il profilo nella parte inferiore di appoggio al plinto, viene saldato ad una piastra orizzontale forata che funge da piastra di ripartizione del carico che può essere irrigidita da alette laterali.

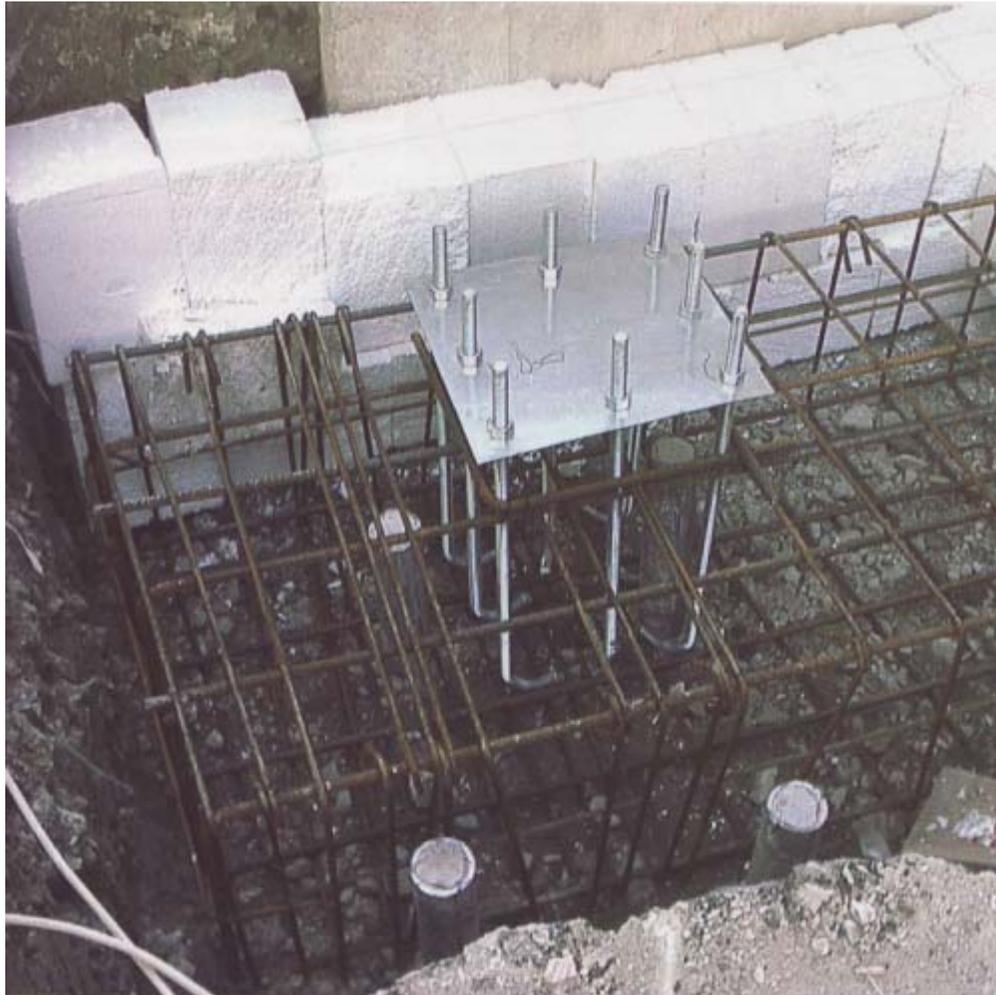
Si fissa con una serie di barre di ancoraggio o **tirafondi** che vengono annegate nel getto.

I tirafondi sono costituiti da barre piegate ad uncino nella parte inferiore e filettate nella parte superiore emergente dalla fondazione e sono posizionati con estrema precisione prima del getto mediante una **dima di posizionamento**.

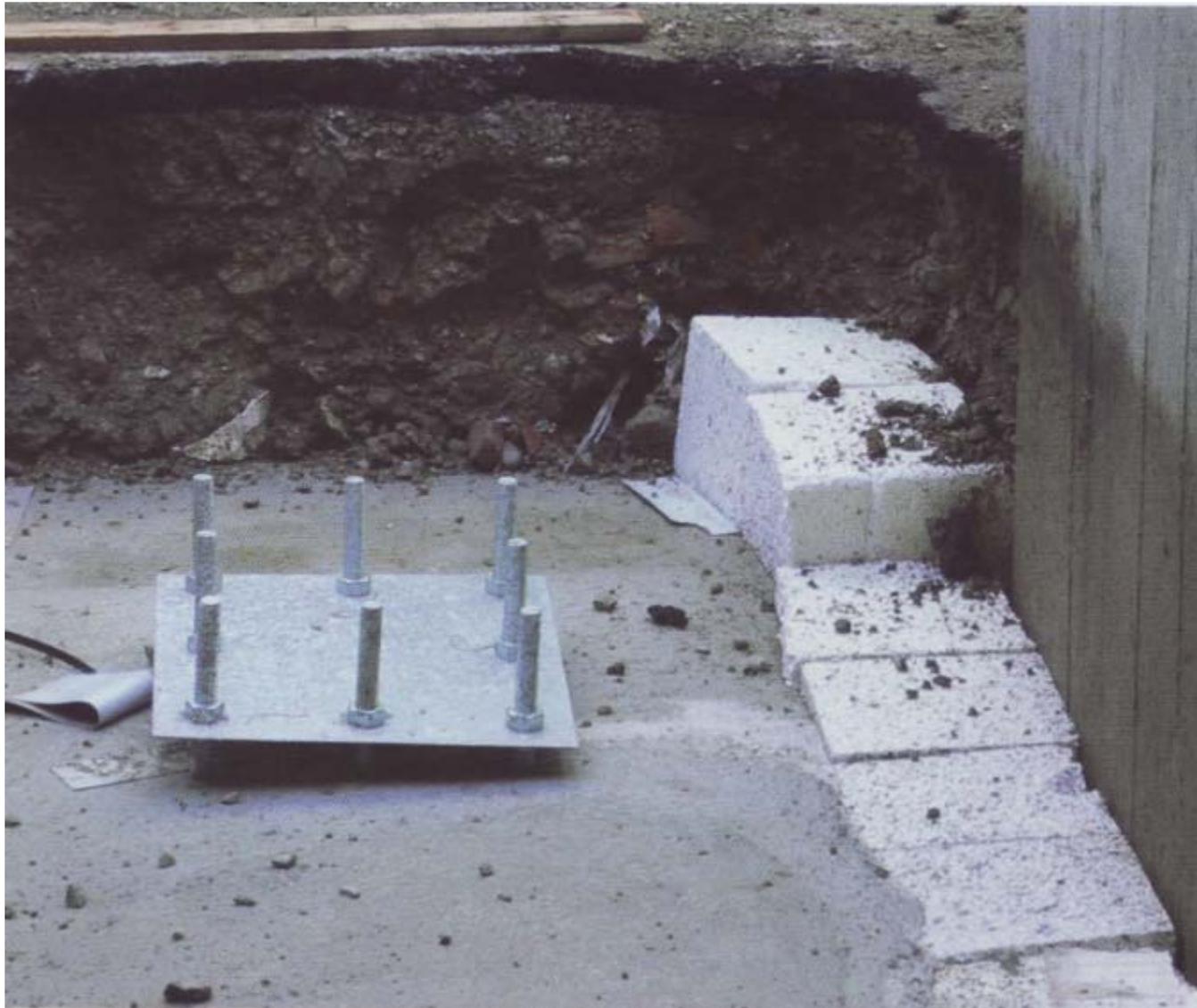
Alla fine il posizionamento del pilastro avviene tramite bulloni e rondelle che ne consentono la messa a piombo lasciando il pilastro sollevato di 6-8 cm dal plinto. La continuità strutturale viene assicurata attraverso la realizzazione di un getto integrativo con malta espansiva antiritiro.



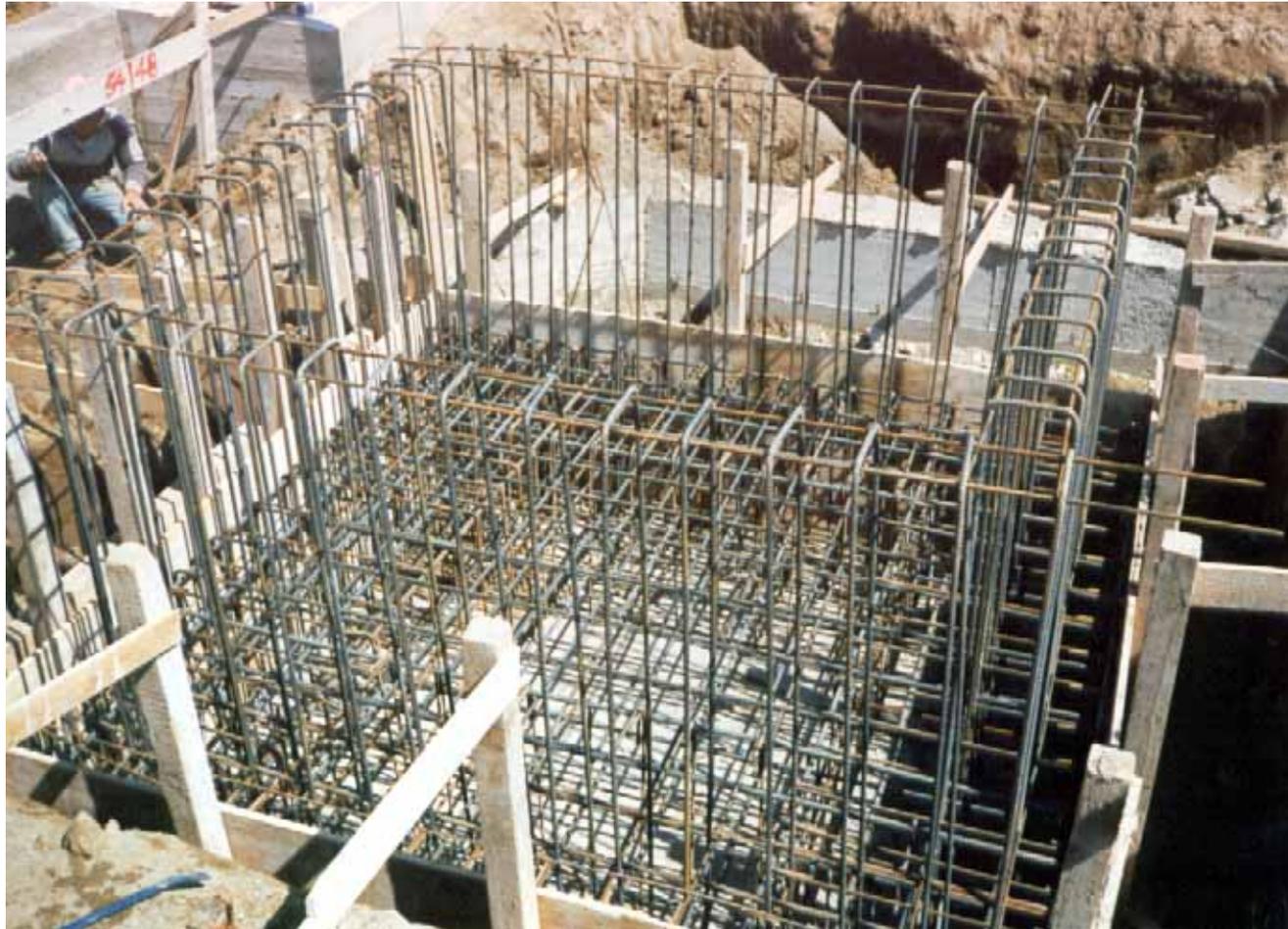
Posizionamento dei ferri di fondazione e delle piastre con tirafondi nel plinto di calcestruzzo



Dettaglio delle armature di fondazione e della piastra con tirafondi



Piastra con tirafondi nel  
plinto di calcestruzzo dopo  
il getto









Le fondazioni continue sono caratterizzate da una doppia funzionalità: aumentano la superficie resistente sul terreno e collegano le strutture di elevazione sovrastanti.

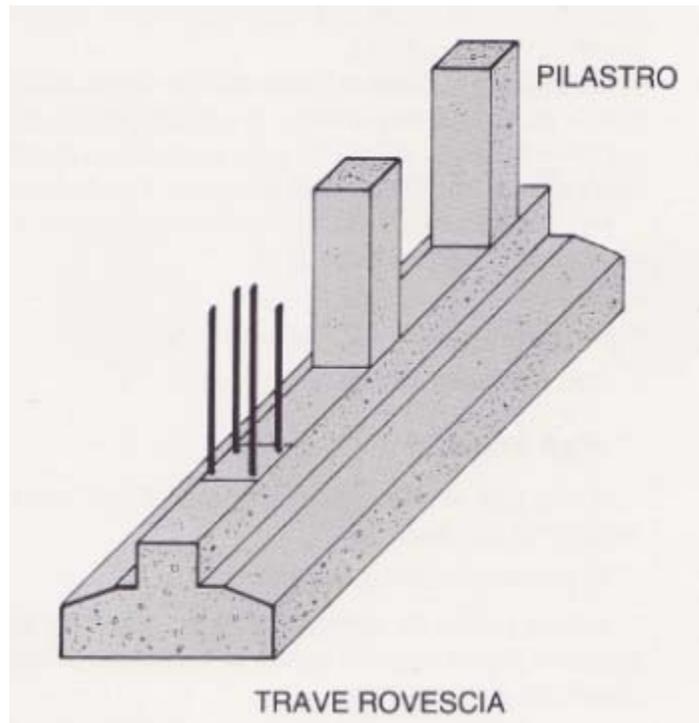
Sono utilizzate sia con strutture portanti puntiformi che con strutture di elevazione a pareti portanti.

Le fondazioni a cordoli o a travi rovesce sono caratterizzate dall'essere un vero e proprio allargamento della sezione trasversale terminale della struttura, dimensionata in base ai carichi da ripartire sul terreno, alle sue caratteristiche meccaniche.

I cordoli di fondazione si usano prevalentemente per murature portanti: hanno la funzione di ripartire i carichi in maniera omogenea sul terreno, essendo trascurabili le sollecitazioni a flessione ed essendo invece determinanti quelle di compressione reciproche tra fondazione e terreno.

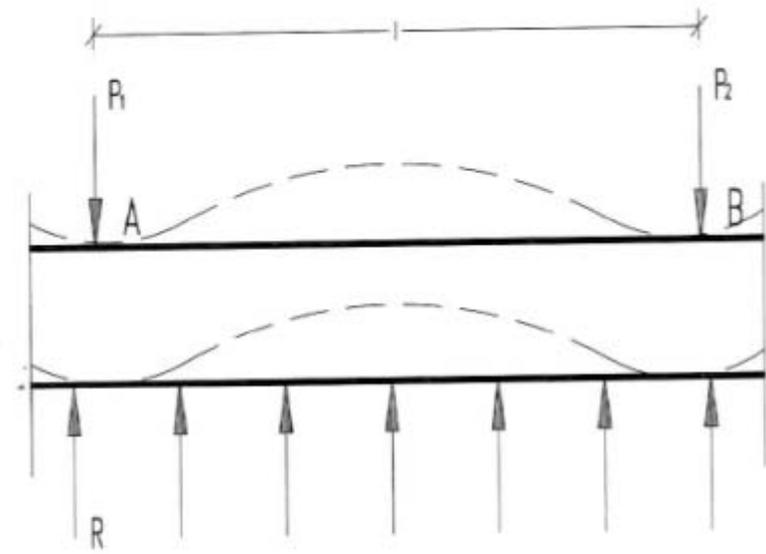
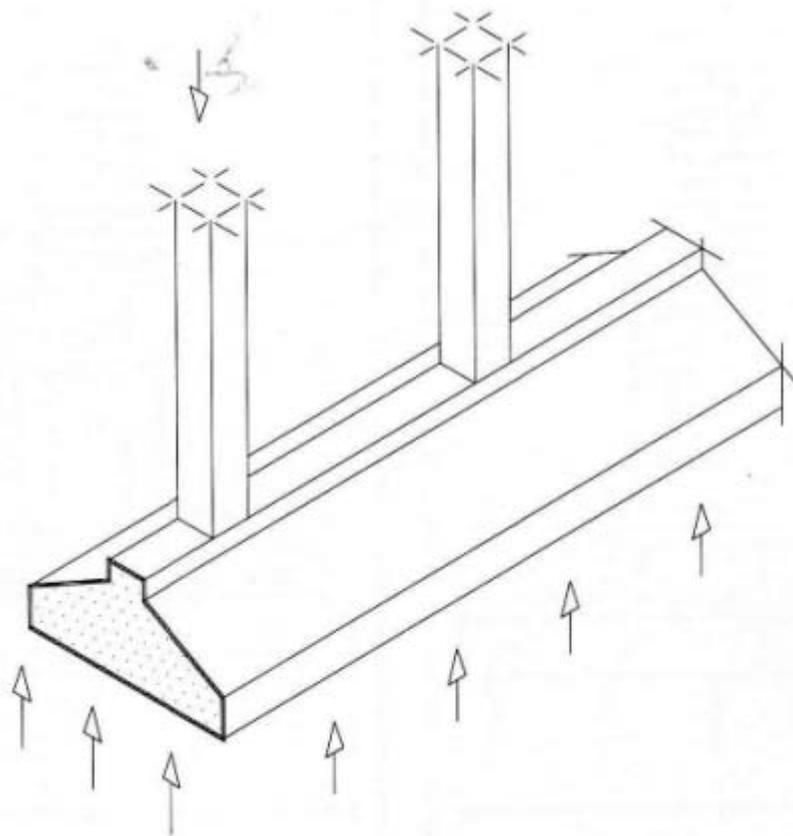
Le fondazioni a trave rovescia ripartiscono sulla superficie di appoggio i carichi trasmessi dalle strutture sovrastanti ribaltando la distribuzione delle tensioni al suo interno rispetto a quanto succede nelle travi in elevazione.

In funzione delle sollecitazioni e delle eventuali eccentricità dei pilastri o dei setti superiori si possono avere sezioni semplici a parallelepipedo, a T rovesciata o a L.



La fondazione a trave rovescia è un altro tipo di fondazione continua, realizzata però in costruzioni a pilastri. Si tratta in pratica di un allungamento dei plinti fino a congiungerli tra loro. Questo avviene quando i pilastri trasmettono carichi notevoli e si trovano a distanza ravvicinata, in presenza di terreni non sufficientemente resistenti: la fondazione continua offre una superficie di appoggio maggiore ed assicura una più uniforme resistenza della base.

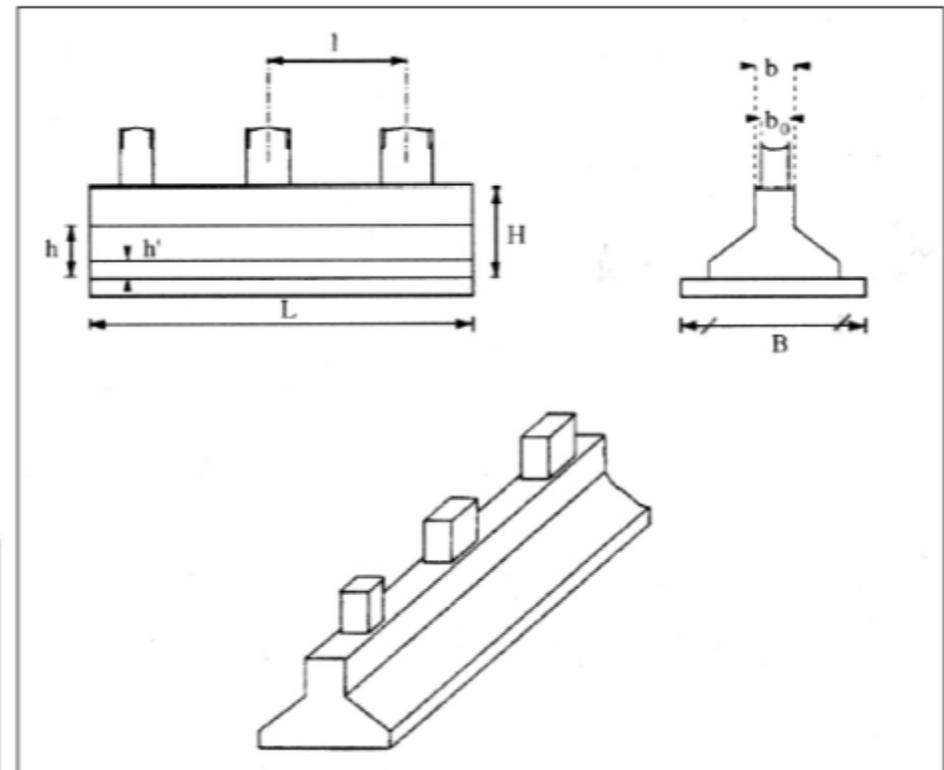
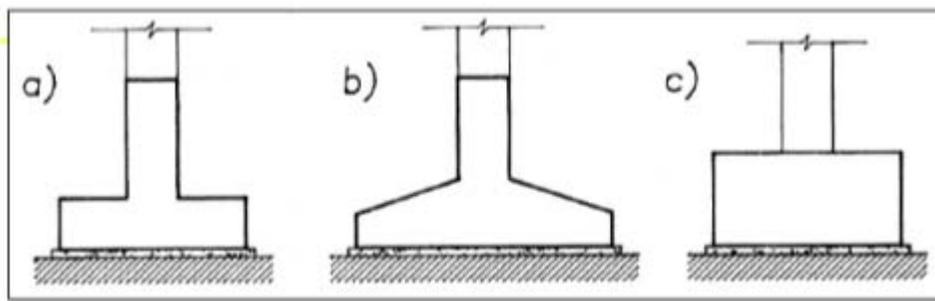
In questo tipo di fondazione si realizza così una specie di trave armata, che viene detta rovescia perché funziona al contrario di una comune trave della costruzione; nella fondazione infatti i carichi vengono dal basso, per effetto della reazione del terreno. La forma della sezione può essere in questo caso troncopiramidale, o a T, o una combinazione delle due.



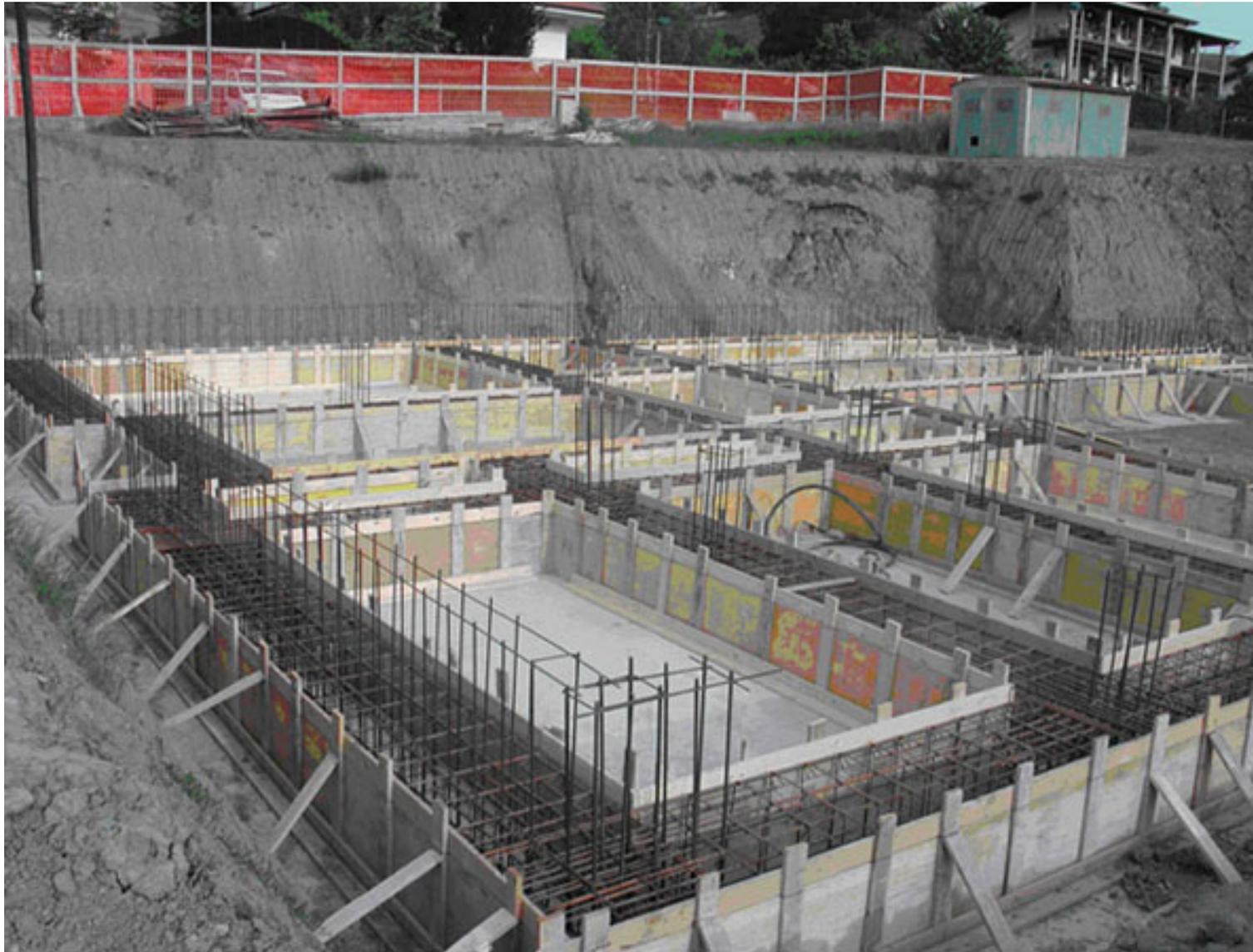
Schema statico

Predimensionamento geometrico:

- $H \geq L/4$                       L interasse tra i pilastri
- $h = m (B-b)$                       con  $m \approx 0,25$
- $h' \geq h/3$

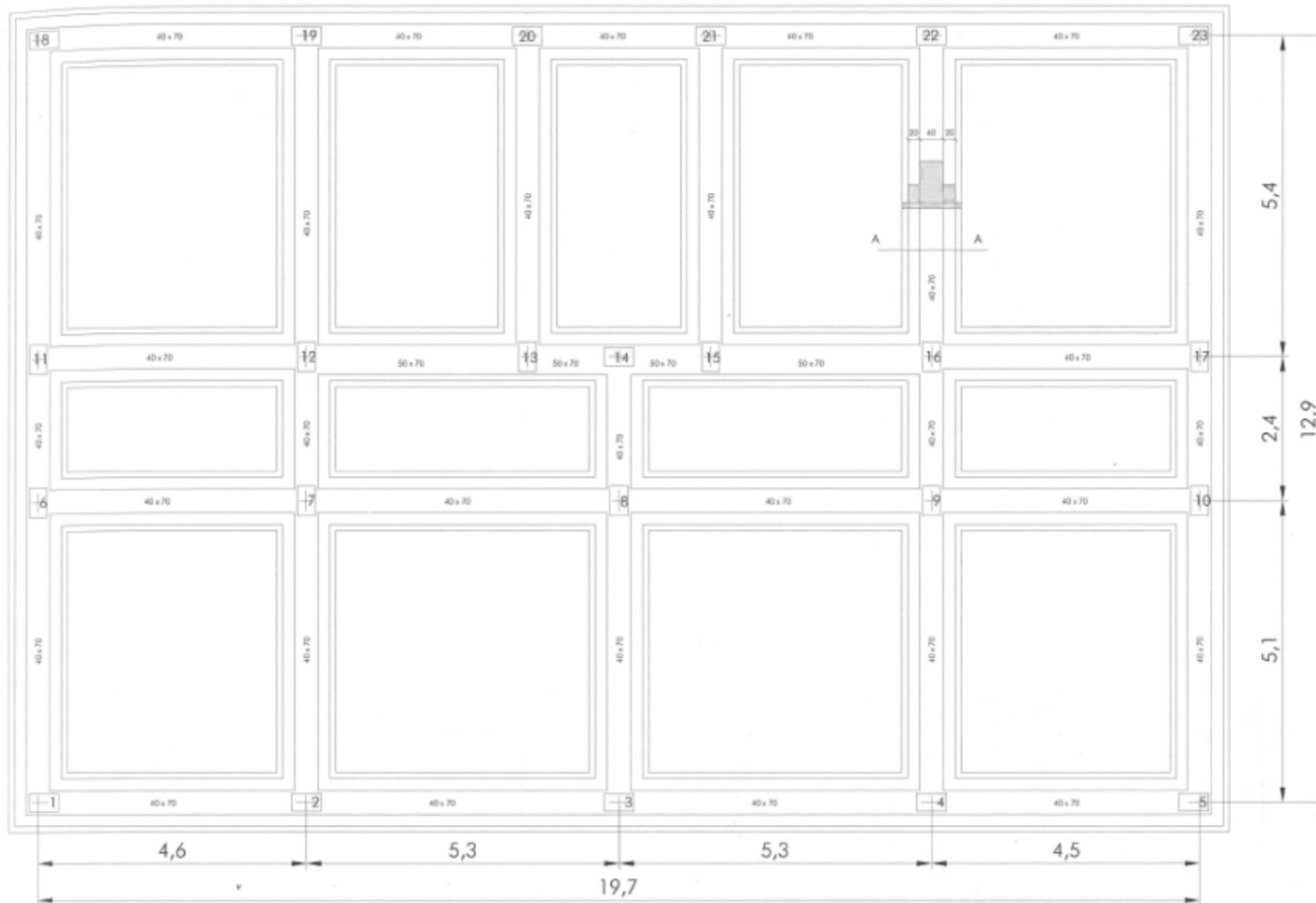


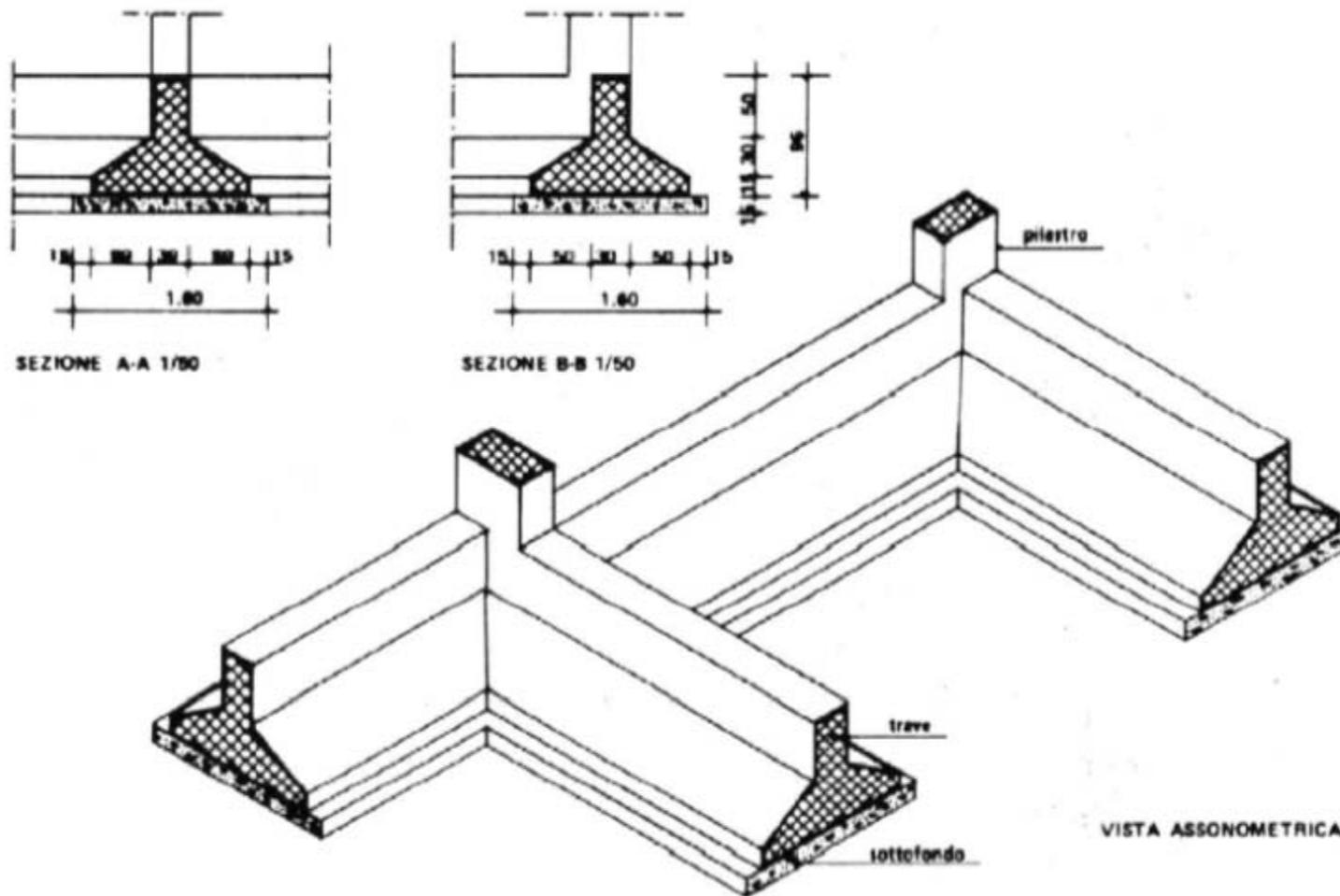


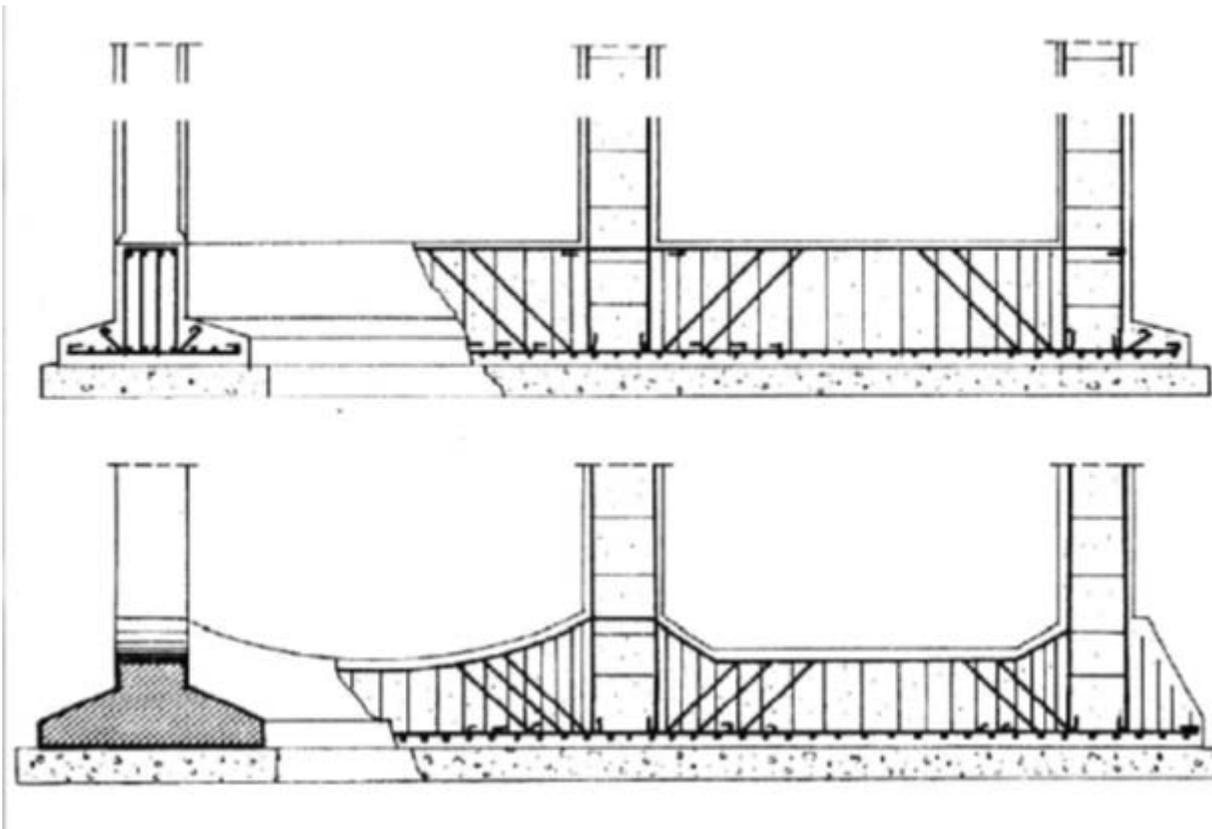












Come per i plinti si deve preparare con cura il livello fondale. Sia le travi rovesce che i cordoli di fondazione non poggiano direttamente sul terreno ma su uno strato di calcestruzzo a basso contenuto di cemento (circa 150 kg per m<sup>3</sup> di impasto) detto **magrone**

il cui compito è quello di fornire la base livellata di appoggio alle sovrastanti strutture di fondazione, evitando il contatto diretto delle armature con il terreno e limitare anche la permeazione di umidità di risalita.

La costruzione di un solaio contro terra avverrà, semplicemente mediante la costipazione dello strato superficiale del vespaio realizzato nelle aree ricavate all'interno delle maglie di travi, la successiva impermeabilizzazione della superficie risultante e il getto di calcestruzzo eventualmente armato con una rete elettrosaldata.

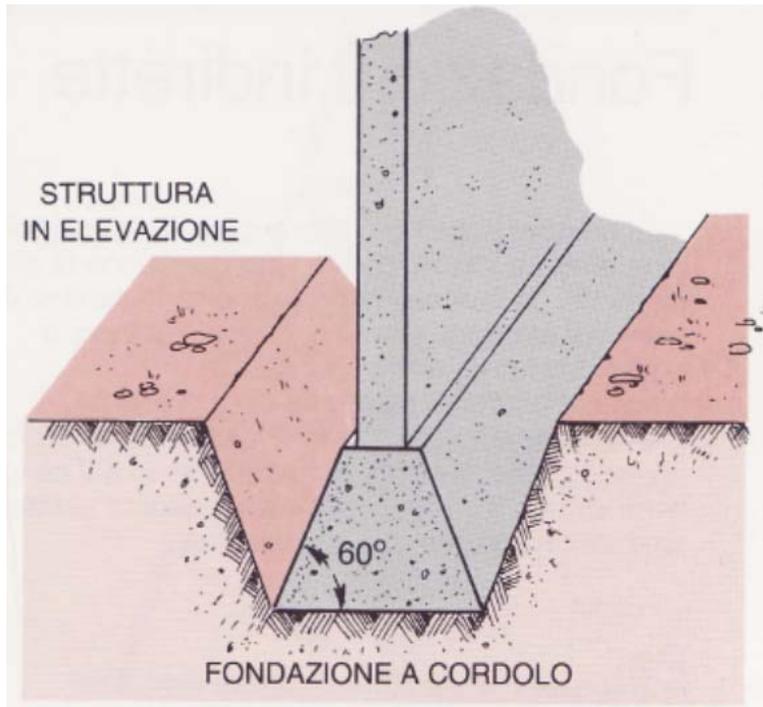
Le fondazioni dirette possono giungere ad una profondità di 6-8 metri, ma quando per la portanza del terreno si possono realizzare in prossimità della superficie è comunque necessario **verificare la profondità fino alla quale il terreno può giungere ad una temperatura tale da ghiacciare.**

Occorre collocare il piano di posa delle fondazioni al di sotto di tale quota per evitare che il terreno, ghiacciando, produca una spinta verso l'alto della fondazione provocando tensioni non adeguatamente sopportate dalla struttura portante e cedimenti differenziali. La linea del gelo dipende dall'ubicazione geografica dell'edificio: può andare da una quota di 50 cm, nel qual caso sarà sufficiente la decorticazione superficiale sempre necessaria, fino a 150 cm sotto il piano di campagna nei climi più freddi e umidi.



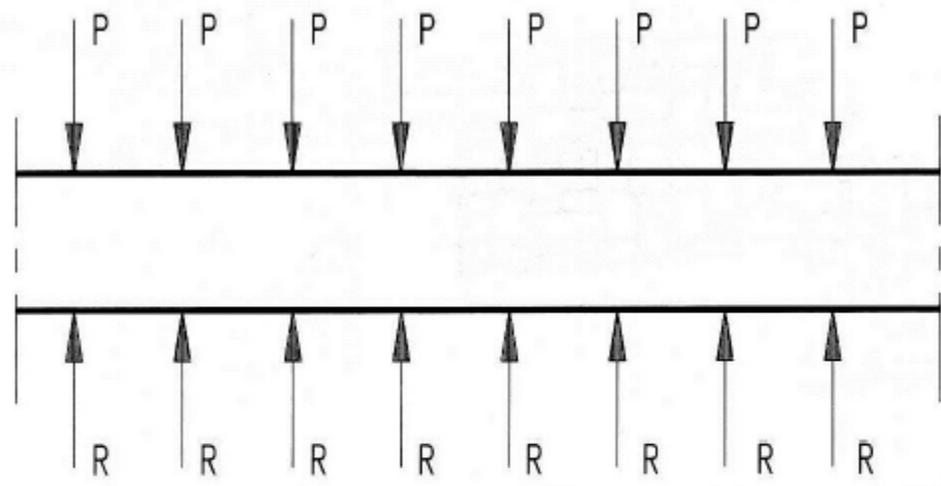
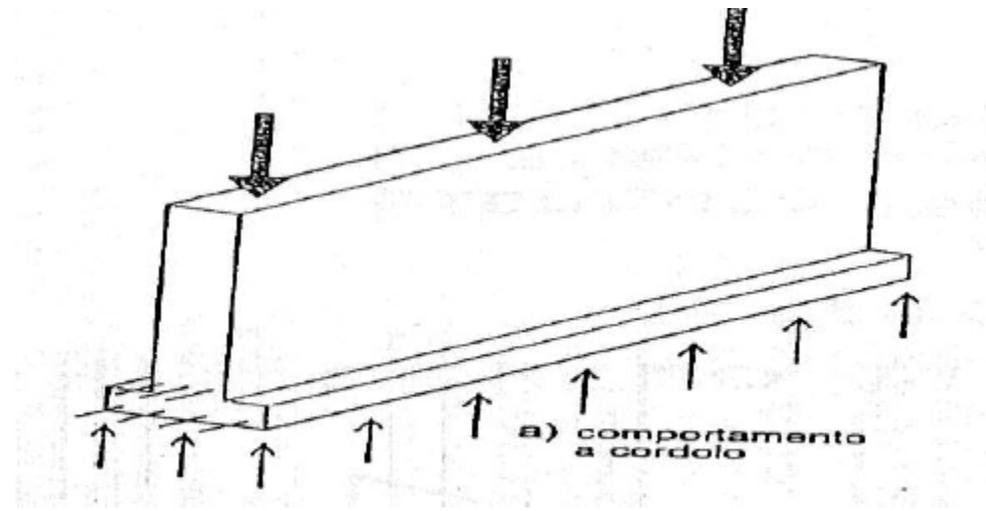






La **FONDAZIONE A CORDOLO** è una fondazione continua, che si realizza quando anche la struttura verticale che trasmette i carichi è continua, come ad esempio una muratura. Il cordolo ha in genere una sezione rettangolare, con larghezza leggermente maggiore della muratura sovrastante; in questo caso è possibile usare calcestruzzo non armato. Se occorre allargare maggiormente la base, si può usare una sezione trapezoidale, con angolo di base di almeno  $60^\circ$ .

In questo modo il calcestruzzo non armato è sollecitato quasi esclusivamente a compressione, come nel caso della sezione rettangolare. La fondazione a cordolo si estende naturalmente per tutta la lunghezza dei muri in elevazione, dei quali costituisce l'appoggio.



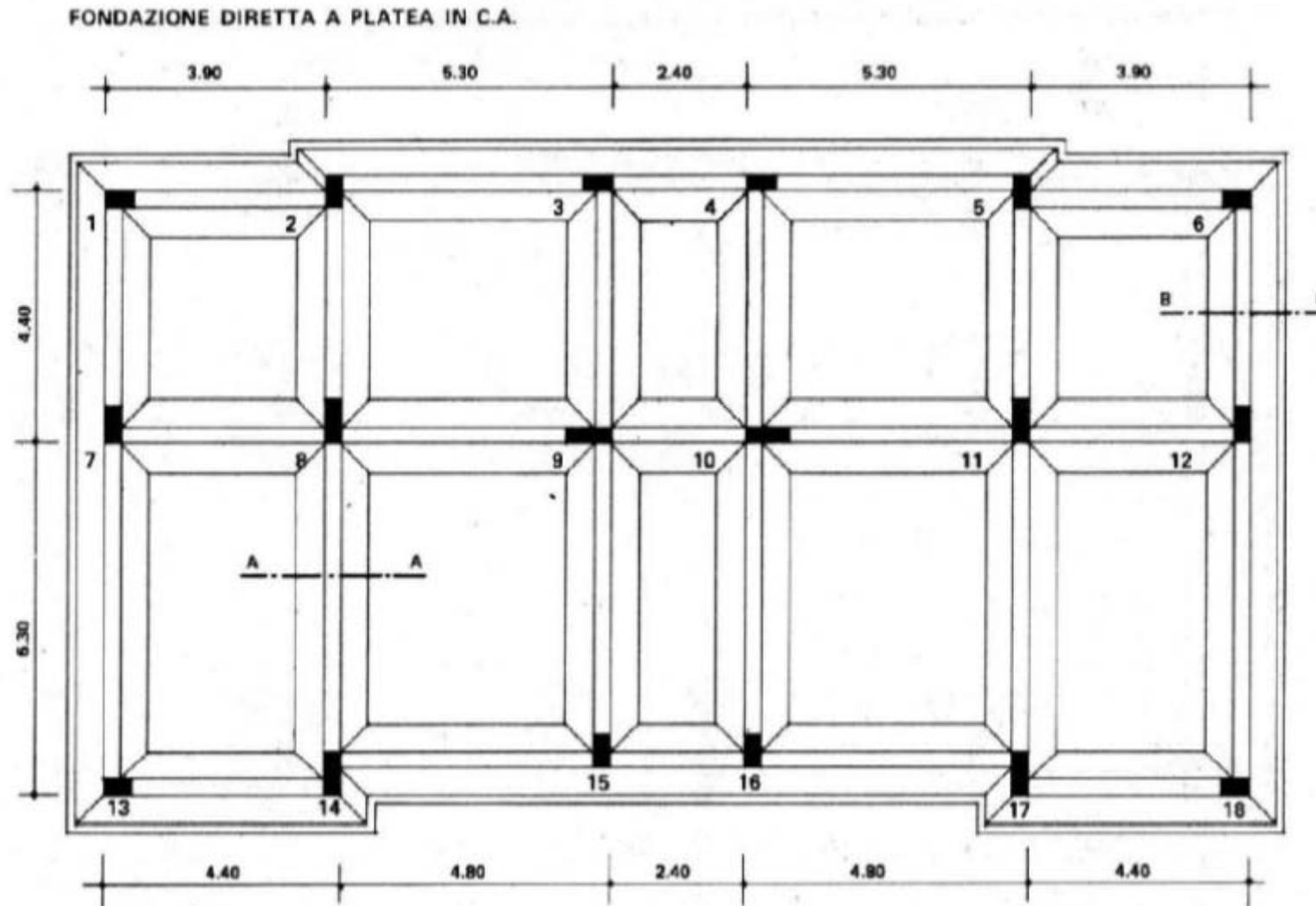
**Schema statico**

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 unitari sul terreno diminuiscono di molto.

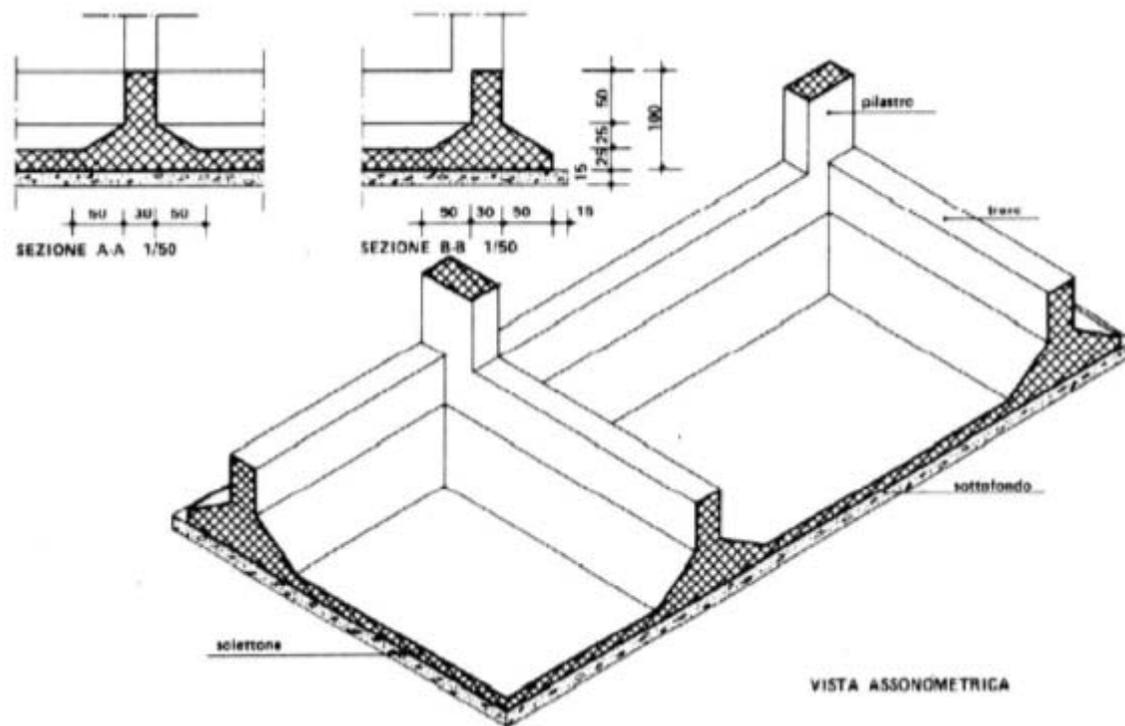
La platea è generalmente costruita in cemento armato; si può utilizzare un'armatura ridotta solo se lo spessore è molto elevato. Al contrario, diminuendo lo spessore della base, è necessario costruire delle nervature di rinforzo alla base dei pilastri o dei muri della costruzione.

Ormai è per lo più prassi degli strutturisti preferire fondazioni a platea per le maggiori garanzie di omogeneità di comportamento della fondazione evitando così cedimenti differenziali nelle strutture di elevazione.

In più si deve considerare la facilità della messa in opera della platea che non necessita di alcuna operazione di carpenteria (non ci sono da formare ali o parti inclinate), e questo anche se il consumo di calcestruzzo e di ferro è notevolmente superiore.



Le platee di fondazione hanno uno spessore tra i 30 e gli 80 cm. Se si vuole evitare uno spessore consistente o nel caso in cui si avessero carichi particolarmente elevati, si possono predisporre delle nervature di irrigidimento in corrispondenza delle strutture portanti.



Le platee nervate costituiscono un vero e proprio reticolo di travi rovesce e consentono di diminuire lo spessore della soletta. Saranno realizzate o all'estradosso della soletta (predisponendo scavi obbligati per le trincee) o all'intradosso tramite uso di casseri per i getti.



Nella fase iniziale di preparazione del piano di posa si esegue lo sbancamento e il livellamento del terreno mediante l'uso di mezzi meccanici di movimentazione delle terre, come *bulldozer*, *pale meccaniche* o *bobcat*.



Spianato il terreno ed eseguita la profilatura dei bordi di scavo si realizza il primo getto del magrone per rendere regolare il piano di posa realizzando lo strato di interposizione tra terreno ed armature prima dei getti.



Solo dopo la maturazione del magrone si provvede al posizionamento delle carpenterie e delle armature utilizzando reti elettrosaldate e gabbie di barre di acciaio.



Si provvede al posizionamento degli scarichi dei bagni e delle cucine e tutte le canalizzazioni passanti per le utilità impiantistiche.



Alla fine si procede con il getto della platea e la sua costipazione attraverso la vibratura.



Si tolgono i casseri di sponda, si posiziona il tessuto non tessuto eseguendo le opere di drenaggio con ghiaia di fiume di varia granulometria.





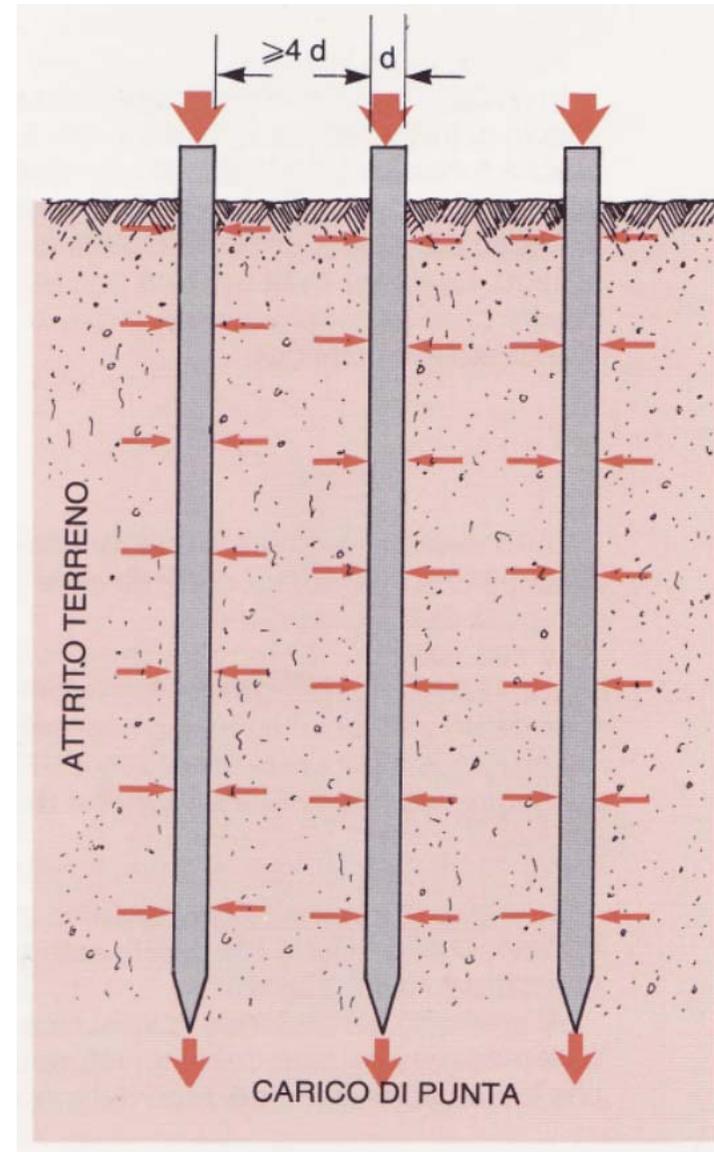
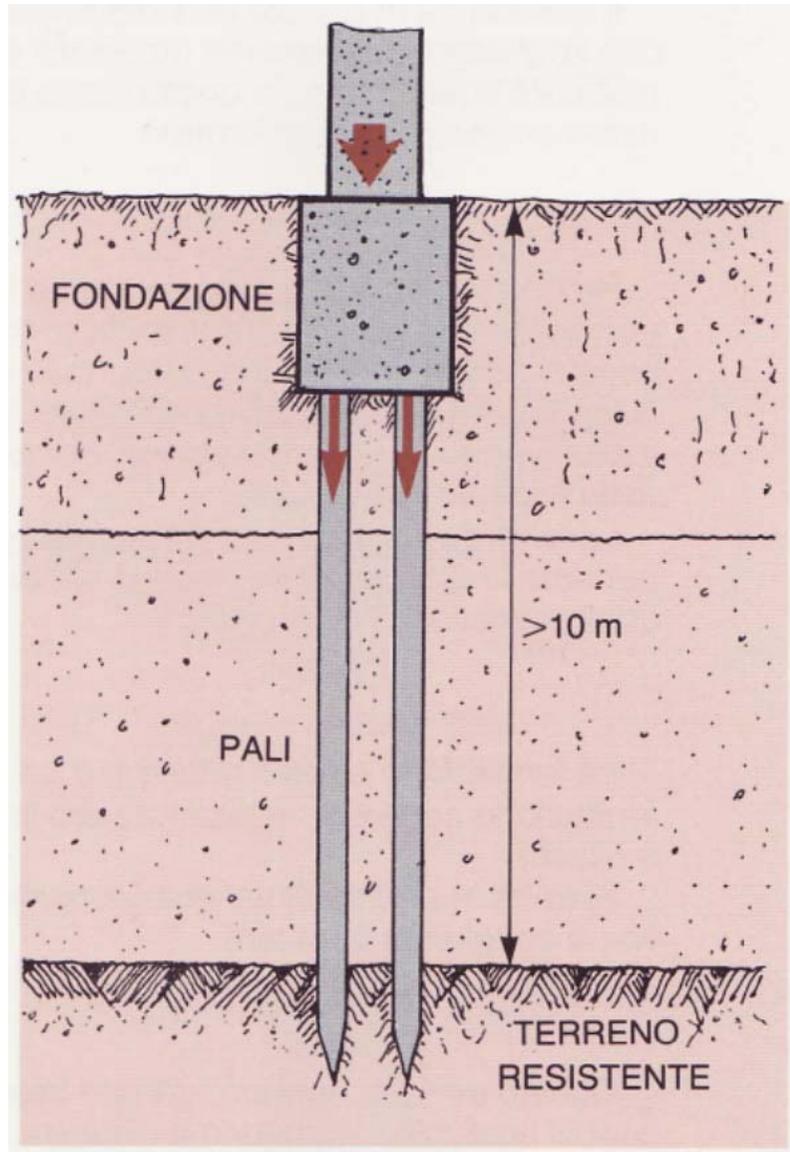
Grazie alle proprietà del calcestruzzo si può procedere ai getti sia delle fondazioni che delle strutture in elevazione in momenti successive, garantendo attraverso i **ferri di ripresa** che vengono lasciati in attesa, la continuità strutturale finale.

**FONDAZIONI INDIRETTE:** sono quelle che non raggiungono il terreno con buone caratteristiche meccaniche direttamente, ma mediante l'interposizione di altri elementi: ciò avviene quando il terreno capace di resistere ai carichi della costruzione si trova a profondità tali da non potere essere convenientemente raggiunto con gli scavi.

In queste condizioni la fondazione viene appoggiata su strutture di trasferimento dei carichi negli strati più profondi di terreno; queste strutture sono normalmente costituite da **PALI**.

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. Per quanto riguarda la tecnica esecutiva, i pali possono essere suddivisi in:

- **PALI INFISSI**
- **PALI GETTATI IN OPERA.**



**PALI INFISSI:**

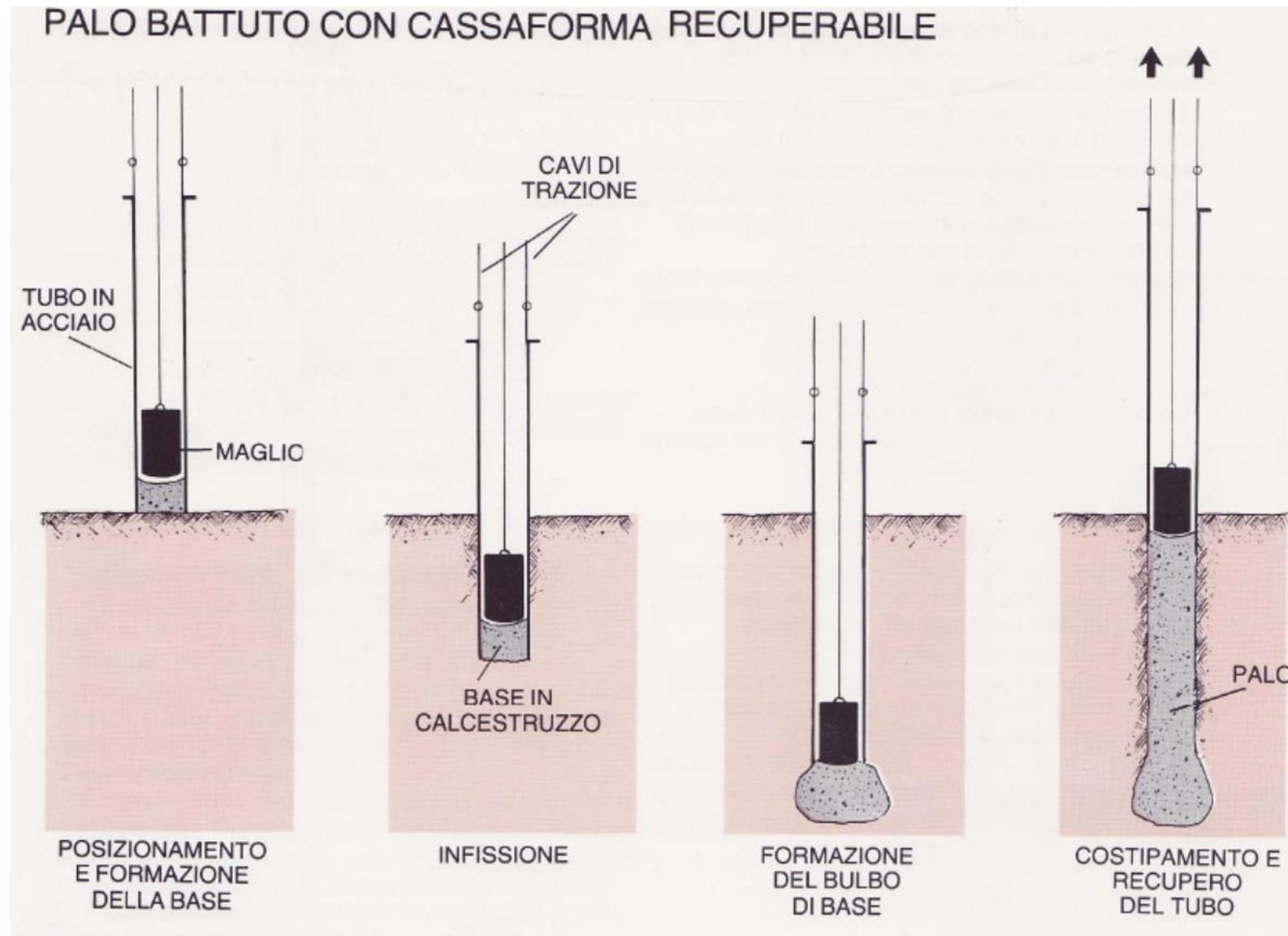
Sono pali prefabbricati e quindi infissi nel terreno mediante battitura.

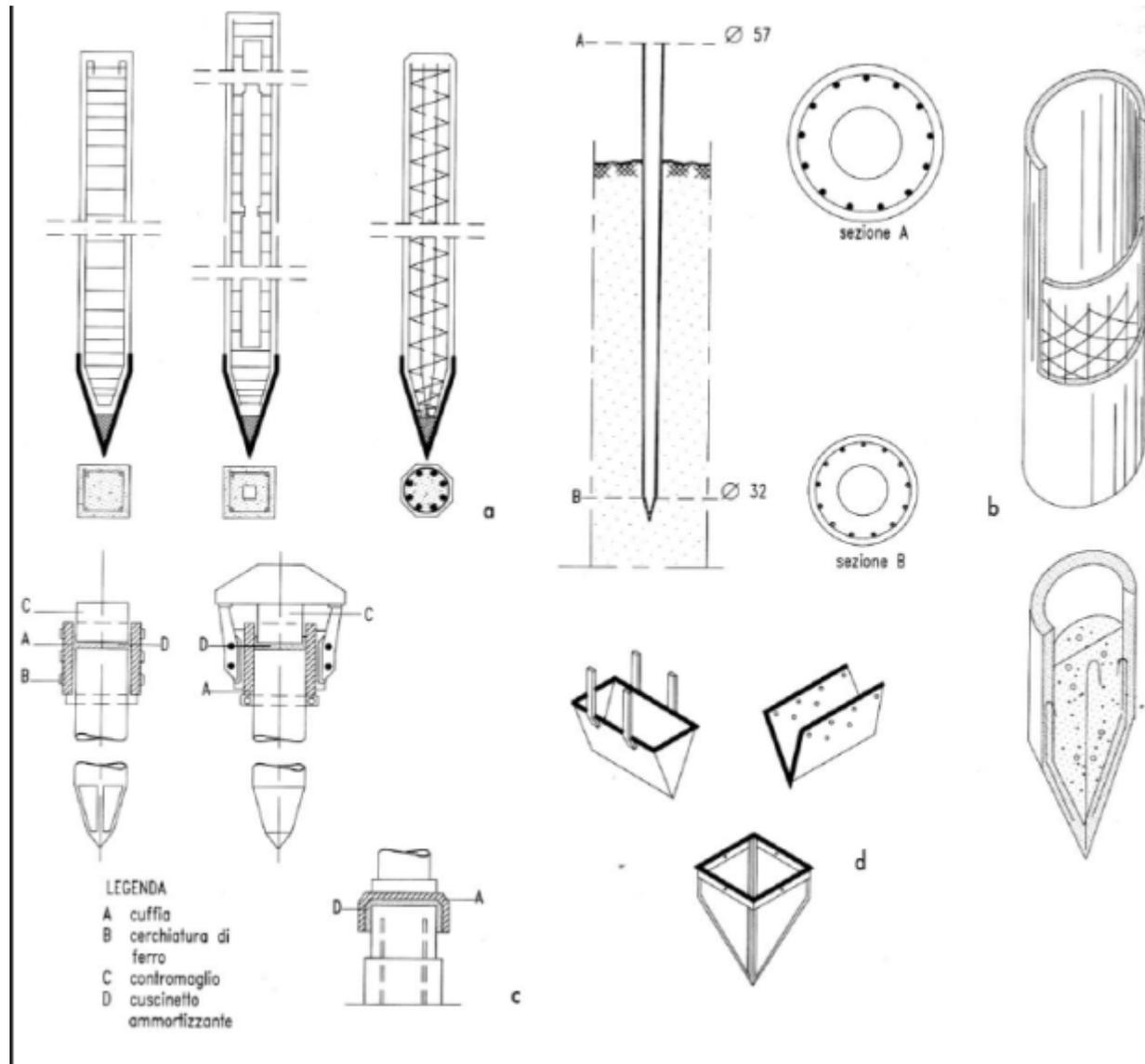
Si possono distinguere in:

- **pali in cemento armato vibrato:** possono avere sezione piena oppure cava, di forma circolare, quadrata o poligonale;
- **pali in cemento armato centrifugato,** con sezione circolare cava, e diametro costante oppure variabile lungo l'asse longitudinale;
- **pali in cemento armato precompresso:** hanno sezione e forma come i precedenti; il calcestruzzo può essere vibrato o centrifugato;
- **pali giuntati,** costruiti in due o più elementi da unire in opera

**PALI GETTATI IN OPERA**

Questi pali possono essere eseguiti con sistemi diversi, che si distinguono fra loro per il tipo di attrezzature usate e per i procedimenti in esecuzione. Pali a cassaforma recuperabile: sono caratterizzati dall'impiego di un tubo-forma metallico entro il quale si getta il calcestruzzo. Il tubo, che viene in seguito recuperato, si infigge nel terreno a mezzo di un vibratore applicato alla sommità del tubo, oppure con altri mezzi, come battipalo, morsa giratubi, etc... Dopo l'infissione, si asporta il terreno che riempie il tubo, mediante utensili appropriati, come benne, sonde. Quindi si inserisce l'armatura metallica e poi si procede alla immissione del calcestruzzo a mezzo di un tubo di getto.

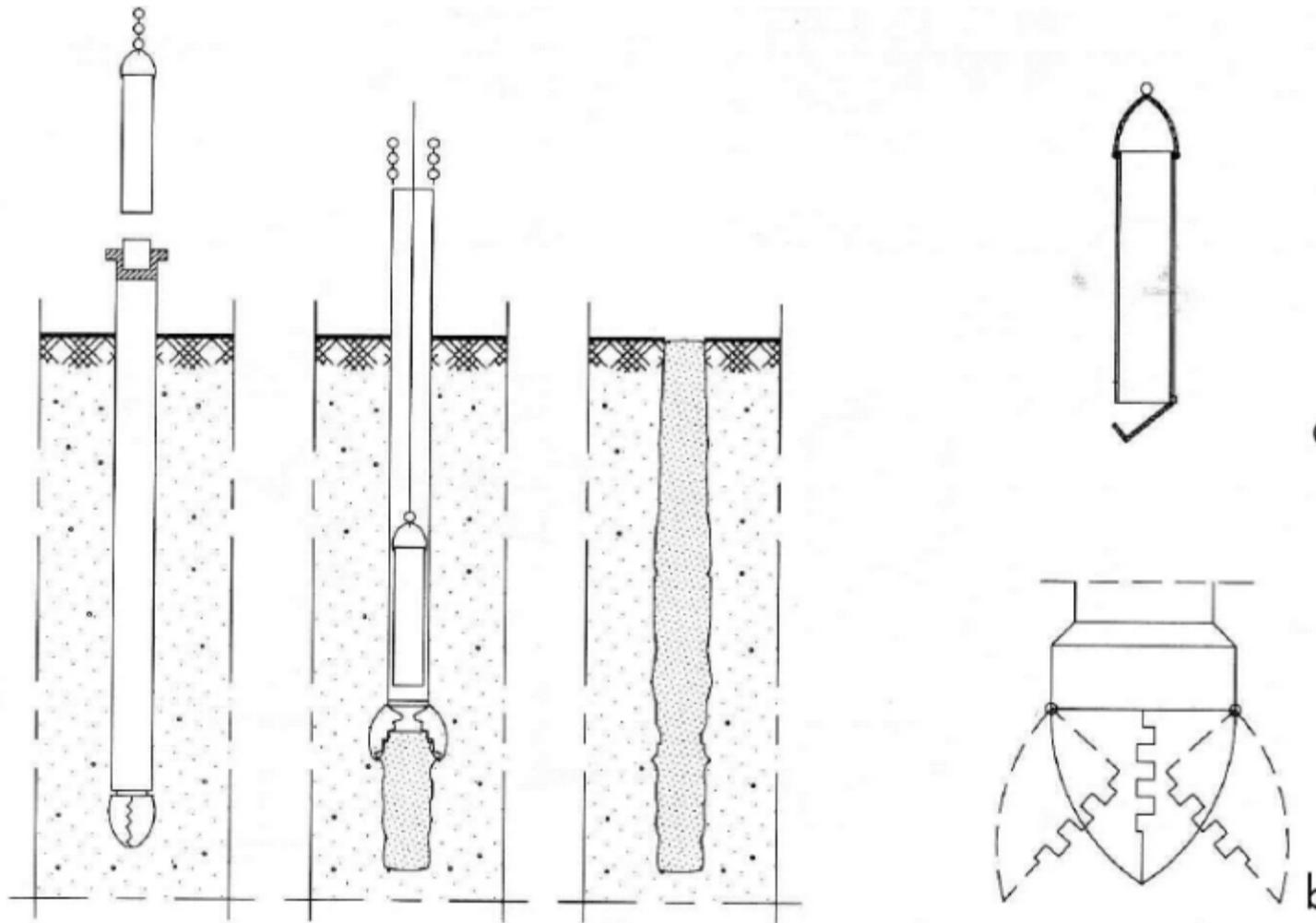




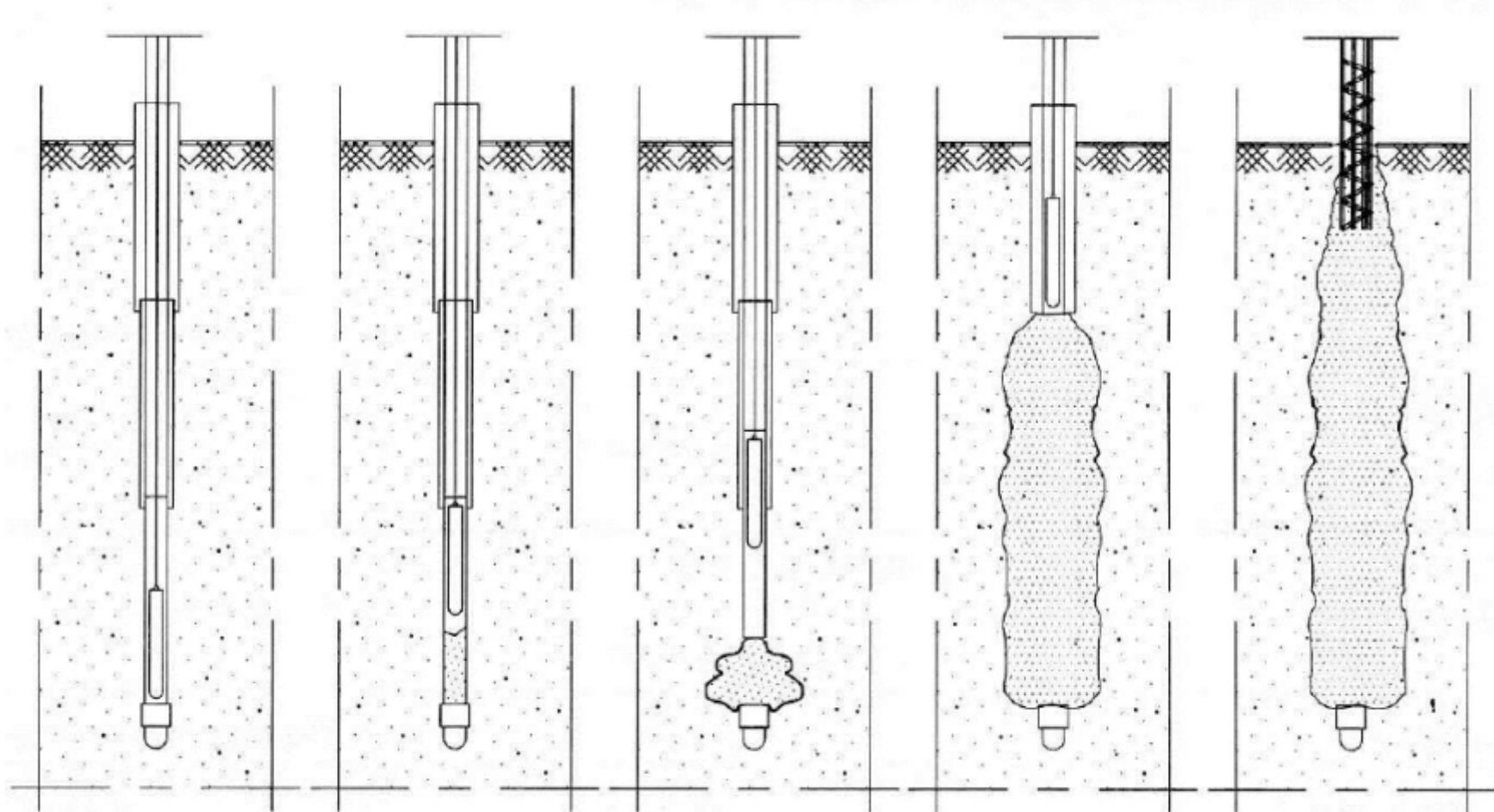
### FONDAZIONI SU PALI INFISSI

Pali in c.a. (anche 25m in un solo pezzo di diametro oltre i 60cm, ne sono stati realizzati con sezione cava):

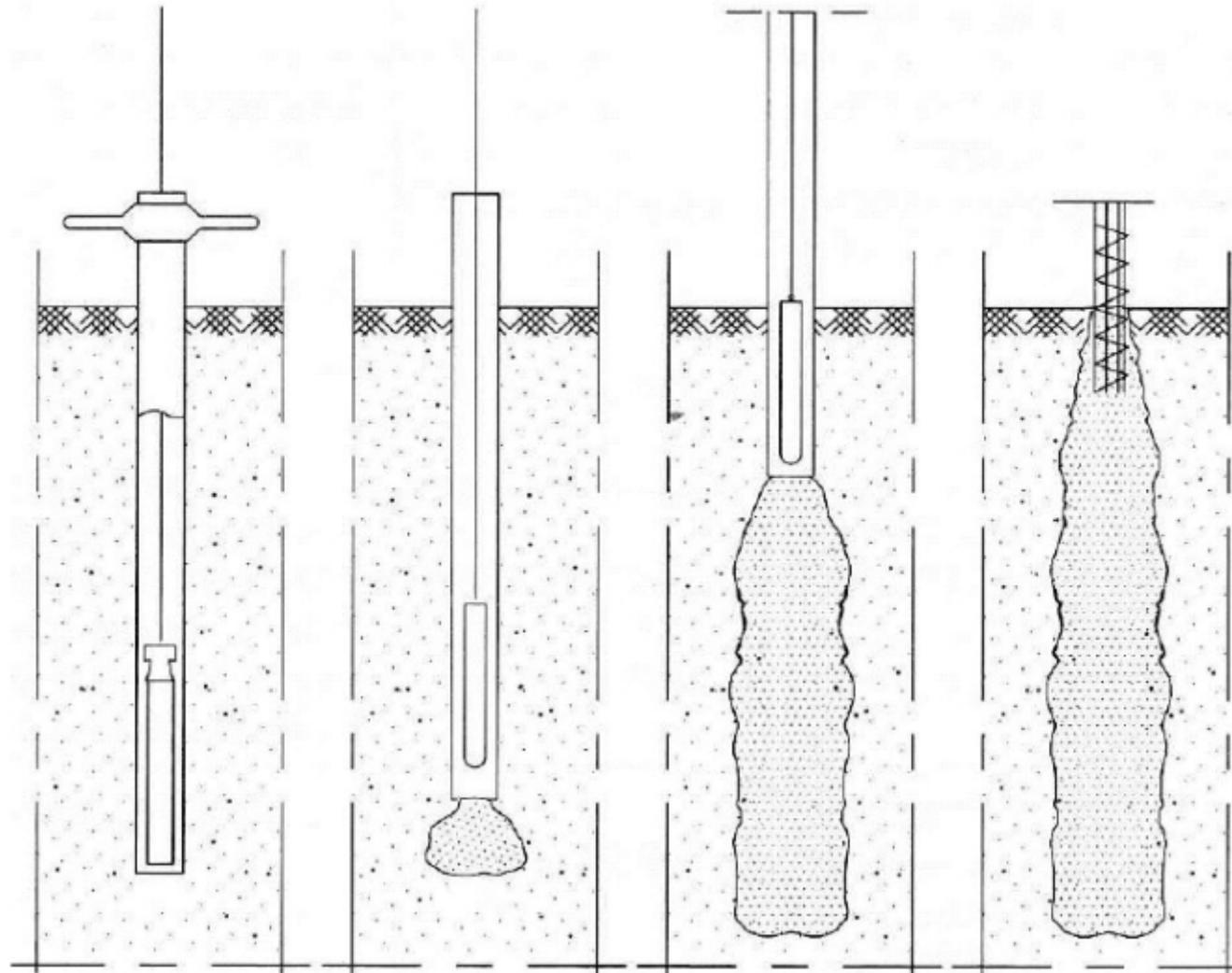
- a), b) tipologie di pali
- c) elementi di protezione delle testate
- d) puntazze per la protezione delle punte

**FONDAZIONI SU PALI GETTATI**

Pali in c.a. realizzati in opera con tubo-forma (detto camicia) infisso per battitura senza asportazione di terra \_ Pali "Simplex" con puntazza recuperabile

**FONDAZIONI SU PALI GETTATI**

Pali in c.a. realizzati in opera con tubo-forma (detto camicia) infisso per battitura senza asportazione di terra \_ Pali "Franki" con puntazza a perdere



FONDAZIONI SU PALI GETTATI

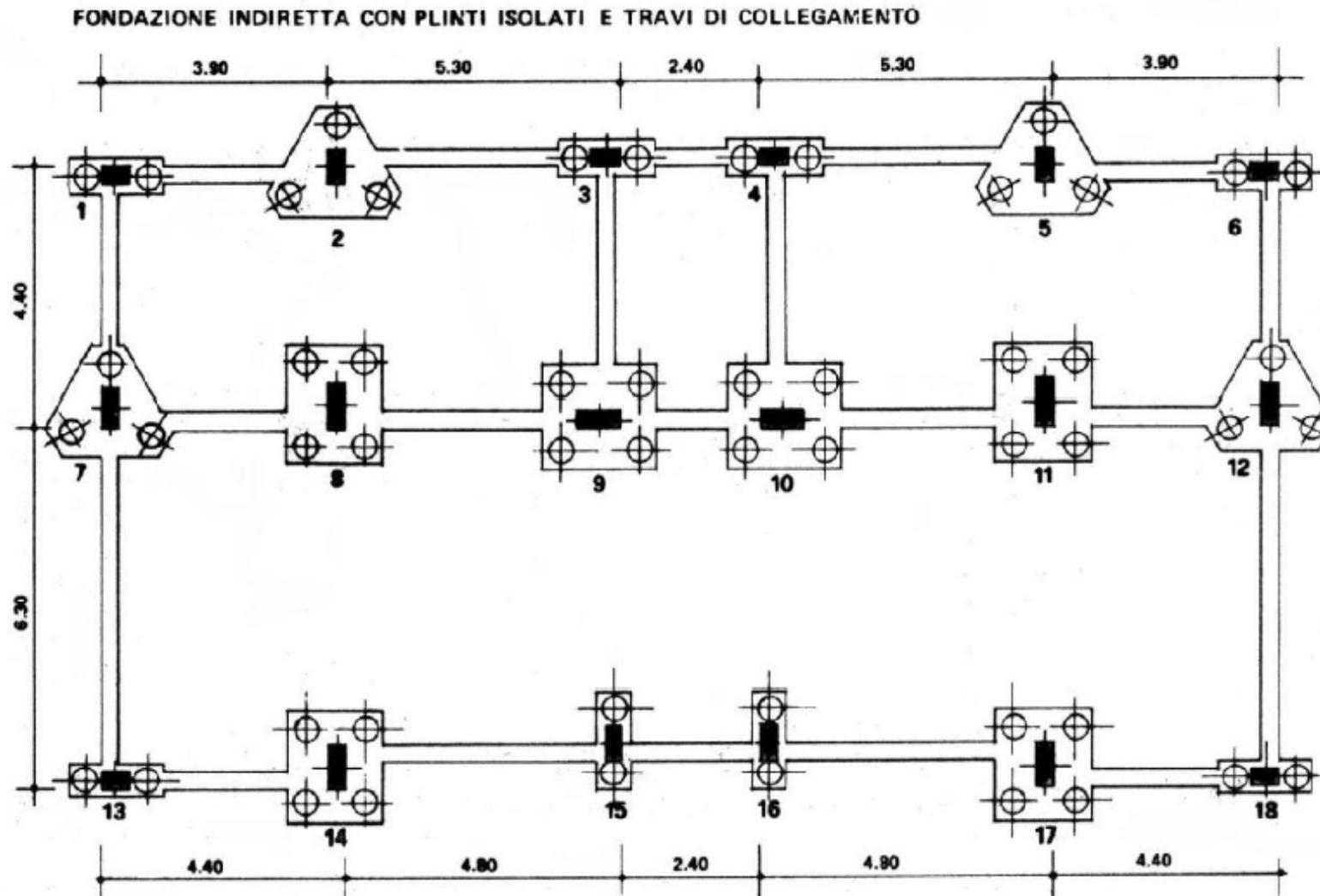
Pali in c.a. trivellati, realizzati in opera con tubo-forma infisso mediante trivellazione con asportazione di terra

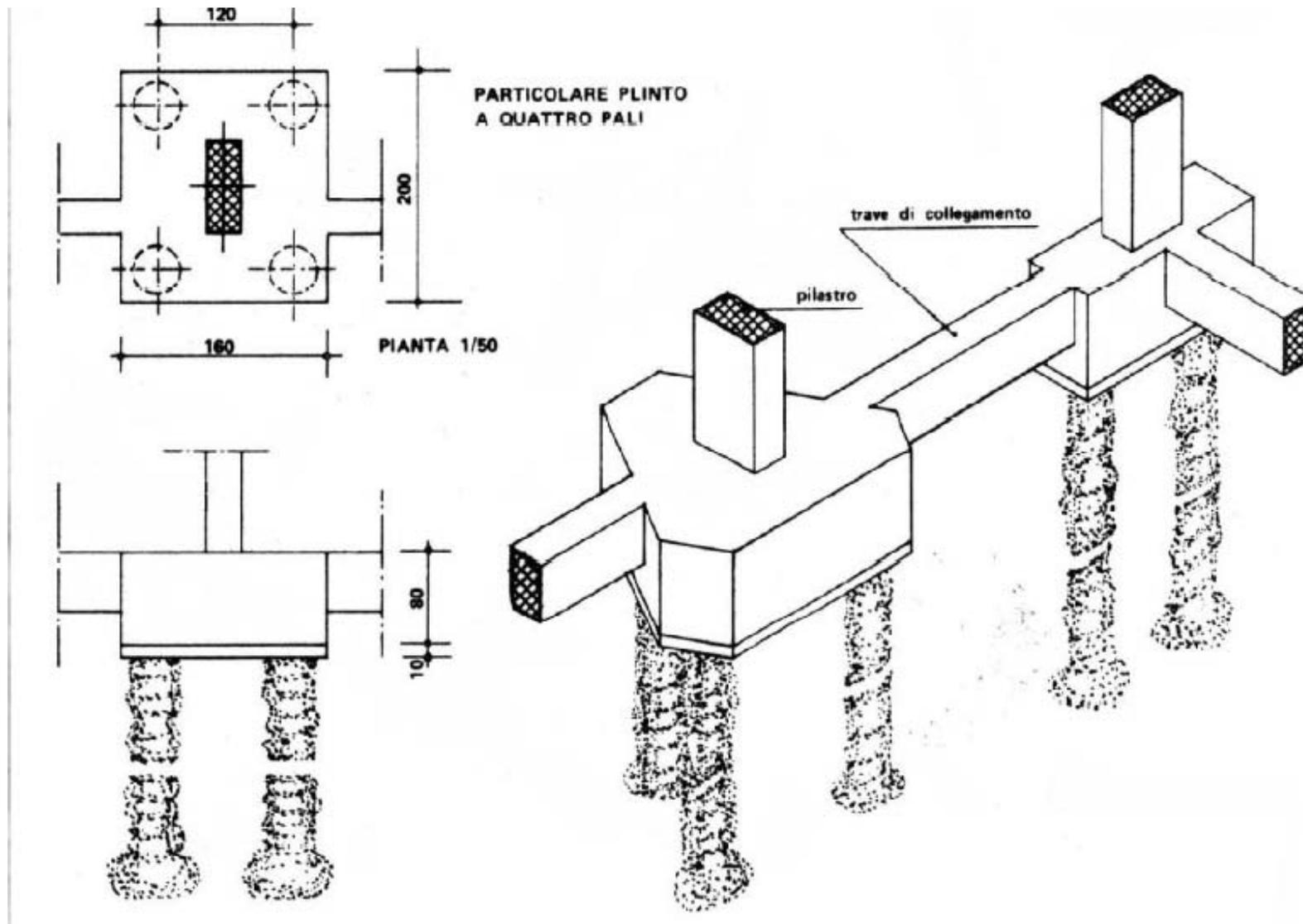


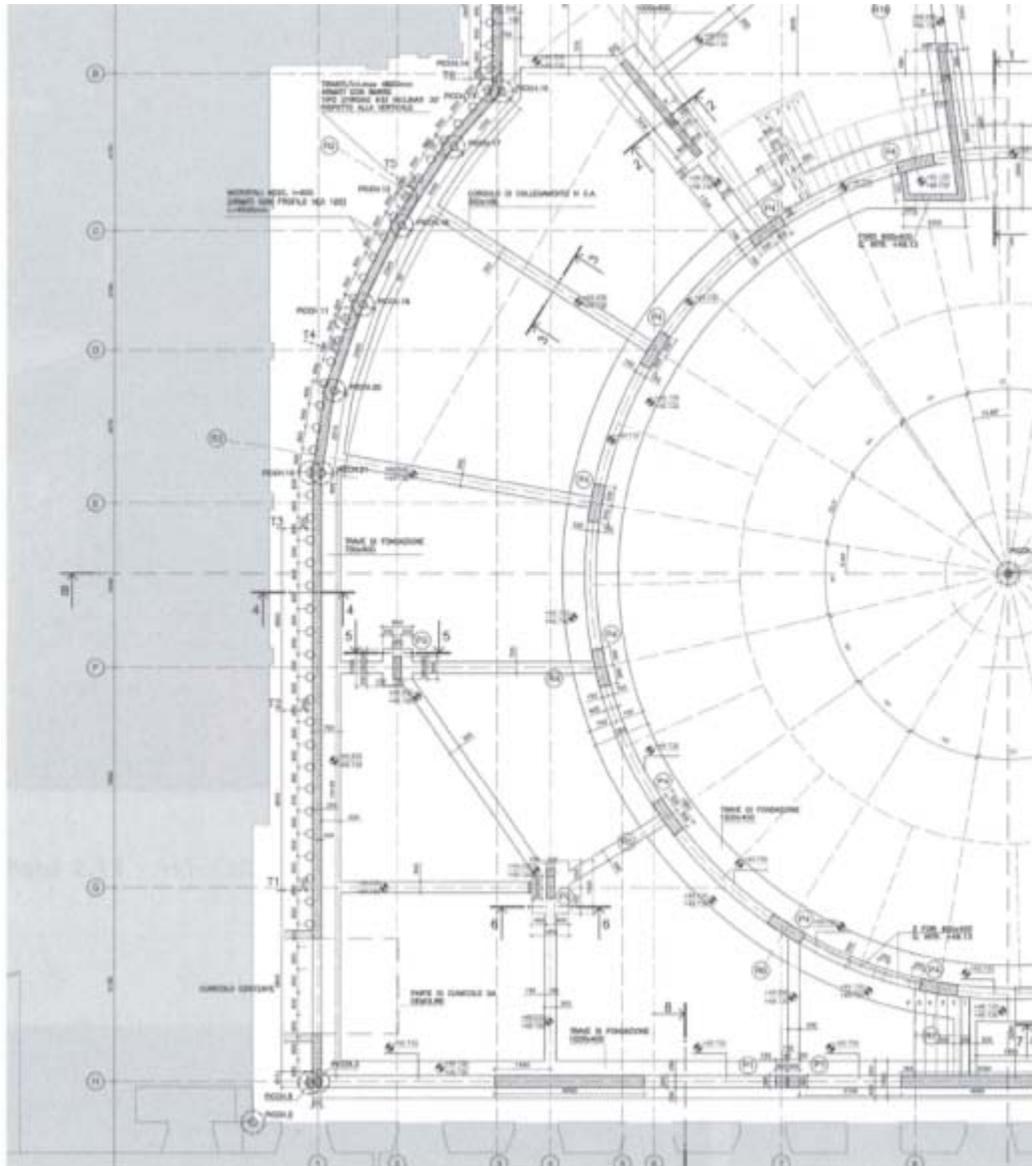


vista delle teste dei pali prima e dopo la scapitozzatura













# LE STRUTTURE PORTANTI DI ELEVAZIONE

L'unità tecnologica "**STRUTTURA DI ELEVAZIONE**" è l'insieme degli elementi tecnici del sistema edilizio che hanno il compito di sostenere i carichi verticali e orizzontali, trasmettendoli alle sottostanti strutture di fondazione.

I carichi gravanti sugli edifici possono essere di tipo statico, quali il peso proprio delle costruzioni e i carichi di esercizio, o dinamico, quali le sollecitazioni da agenti atmosferici o da eventi sismici.

Il corretto dimensionamento delle strutture resistenti, rapportato ad una attenta valutazione sulla consistenza e sulla distribuzione dei carichi, rappresenta il primo fattore di sicurezza e di durabilità nel tempo dell'edificio nel suo complesso, poiché la lunghezza del ciclo di vita dell'edificio è sempre rapportata alla durata massima del suo sistema strutturale.

Strutture di elevazione

Strutture Puntiformi

Pilastrini tozzi

Pilastrini snelli

Strutture Lineari

Travi

Cordoli

Strutture Piane

Solai

Pareti/pannelli/setti portanti

Strutture Spaziali

Elementi tridimensionali

Reticolari / geometriche

La progettazione delle strutture di elevazione deve rispondere ai seguenti **requisiti**:

1. - RESISTENZA MECCANICA;
2. - SICUREZZA AL FUOCO;
3. - BENESSERE TERMO-IGROMETRICO;
4. - BENESSERE ACUSTICO;
5. - DURABILITÀ;
6. - PROTEZIONE DAGLI AGENTI ESTERNI;
7. - INTEGRABILITÀ DEGLI ELEMENTI TECNICI;
8. - CONFORMABILITÀ DEGLI SPAZI.

**RESISTENZA MECCANICA:** esse devono sostenere le risultanti verticali ed orizzontali dei carichi d'esercizio e di quelli accidentali, trasmettendole agli elementi della struttura di fondazione.

Al fine di garantire il requisito di resistenza meccanica devono essere considerate sia le caratteristiche dei materiali impiegati, sia le modalità di collegamento fra i vari elementi costituenti la struttura portante.

La progettazione della loro morfologia e il loro dimensionamento devono evitare, in fase di esercizio, l'affaticamento delle sezioni resistenti, che può divenire cedimento strutturale e successivamente collasso quando l'area o il materiale sottoposto a sollecitazione non abbiano caratteristiche costruttive o dimensioni adeguate. Questo può determinare eventi traumatici quali lo schacciamento, oppure, nel caso di una *snellezza* (rapporto altezza/area di base) eccessiva della componente strutturale, che entrerà in crisi con un carico verticale eccentrico determinato dal *carico di punta*, l'oscillazione su se stessa con una flessione o uno svergolamento (più caratteristico nelle travi).

Le travi, inoltre, se non correttamente progettate, quando sono sottoposte a carichi per loro eccessivi, possono dar luogo a fenomeni di deformazione elasto-plastica tale da compromettere l'integrità delle tamponature e dei rivestimenti, fino a pregiudicare la sicurezza stessa dell'edificio.

**SICUREZZA AL FUOCO:** in relazione alla loro destinazione d'uso, cioè al fine di garantire l'integrità degli occupanti e dei beni in essi contenuti. Tali condizioni vengono salvaguardate in primo luogo attraverso l'organizzazione degli spazi e degli elementi di distribuzione e di articolazione degli ambienti; i sistemi impiantistici di protezione antincendio forniscono oggi un quadro complesso e articolato di condizioni di sicurezza offerte sia dalla tempestività delle informazioni di allarme, sia dai dispositivi di contrasto e di protezione in caso di incendio.

Per quanto attiene alla tecnologia dei sistemi costruttivi nelle strutture di elevazione il requisito di sicurezza al fuoco deve essere soddisfatto agendo sia sulle caratteristiche e sulle dimensioni dei materiali, sia sulla configurazione degli elementi costruttivi e degli spazi da essi delimitati e deve essere posta in essere con espreso riferimento ai carichi di incendio potenziali caratteristici di ogni ambiente e alla collocazione degli ambienti all'interno degli edifici (es. depositi, cucine, sale cinematografiche, ambienti accessibili a disabili in quanto pubblici).

Le prestazioni degli elementi costruttivi rispetto alle azioni dell'incendio dipendono dalle loro caratteristiche di reazione al fuoco e di resistenza al fuoco.

La **reazione al fuoco** è una caratteristica intrinseca del materiale, definita come il grado di partecipazione alla combustione ed è classificata con valori da 0 (materiali non combustibili) fino a 5 (materiali altamente combustibili).

La **resistenza al fuoco** è invece una caratteristica complessiva assegnata ad un elemento costruttivo per definire la sua attitudine a conservare

stabilità (R)

tenuta (E)

isolamento termico (I)

per un tempo determinato e in condizioni prestabilite; pertanto **con la sigla REI**, unita al valore in minuti primi ( 15, 30, 45, 60, 90, 120, 180), **si esprime la capacità di un elemento costruttivo** (Un pilastro, una parete, una porta, un infisso, un controsoffitto, ecc.) **di mantenere la propria integrità fisica e funzionale**, in modo tale da permettere agli occupanti di adottare le misure necessarie per la salvaguardia della propria incolumità o per salvaguardare l'integrità dei beni contenuti

**BENESSERE TERMO-IGROMETRICO:** deve essere considerato principalmente nella progettazione delle strutture portanti che fungano anche da chiusura dell'edificio, quali le pareti portanti verticali e i solai di copertura piani o inclinati.

Le prestazioni di benessere termo-igrometrico vengono raggiunte con la realizzazione di elementi costruttivi pluristratificati, affidando agli strati isolanti e a quelli di protezione la caratterizzazione della prestazione complessiva dell'elemento costruttivo.

**I materiali che costituiscono in prevalenza le strutture di elevazione**, quali il calcestruzzo e l'acciaio, possiedono caratteristiche di elevata conducibilità termica e possono rappresentare, quando inseriti in elementi costruttivi di separazione fra interno ed esterno, **punti di criticità della prestazione, generando ponti termici** (flussi termici fra esterno e interno) e temperature interne all'elemento sensibilmente inferiori, tali da provocare diminuzioni del livello di prestazione e, a volte, la formazione di condense superficiali o interstiziali. Anche in questo caso occorre progettare le soluzioni costruttive con l'approntamento di corretti dispositivi di isolamento mediante applicazione di materiali e strati isolanti.

**BENESSERE ACUSTICO:** nella progettazione delle strutture considera principalmente il rumore trasmesso per via impattiva (urti, rumori di calpestio, percussioni, ecc.) e richiede la realizzazione di elementi di discontinuità fra le strutture e gli elementi di finitura superficiale, quali guaine o strati di materiali fonoassorbenti o fonoisolanti, tali da interrompere la propagazione del rumore attraverso materiali rigidi.

Quando le strutture di elevazione configurino elementi piani che fungono anche da partizione fra ambienti diversi occorre considerare pure la propagazione del suono per via aerea, ricorrendo alla creazione di camere d'aria o ancora a stratificazioni di più materiali isolanti con diverso peso specifico.

**DURABILITÀ:** di una struttura di elevazione viene definita come l'attitudine del sistema strutturale a mantenere nel tempo inalterate le proprie caratteristiche di resistenza meccanica e in genere tutte le prestazioni sopra descritte. Il soddisfacimento di tale requisito è fortemente dipendente dalle condizioni esterne: dalla aggressività degli agenti atmosferici e dalle caratteristiche di prevedibilità degli eventi sismici del territorio interessato dall'intervento. La progettazione degli elementi di struttura di elevazione in relazione alla loro durabilità dovrà considerare le caratteristiche dei materiali utilizzati, il loro corretto dimensionamento e la configurazione morfologica. Altrettanto particolare attenzione dovrà essere poi offerta alla protezione dagli agenti esterni, climatici ed atmosferici, e dai fattori di impatto quali carichi accidentali particolarmente gravosi.

**INTEGRABILITÀ DEGLI ELEMENTI TECNICI:** gioca un ruolo fondamentale nelle prestazioni del sistema strutturale: **all'integrazione fra i vari elementi è infatti demandata la capacità di trasmissione dei carichi verticali verso il terreno sottostante.**

Il tipo di collegamento realizzato fra gli elementi tecnici della struttura contribuisce alla definizione dello schema statico posto alla base del calcolo strutturale, trasferendo in diversa misura le azioni derivanti dai carichi da un elemento all'altro. **Le tecnologie di realizzazione dei collegamenti assumono pertanto un'importanza fondamentale nella garanzia di sicurezza statica:** nelle strutture in muratura il collegamento fra gli elementi è assicurato dalle malte fra i ricorsi degli elementi e dagli incastri tra elementi; nelle strutture in legno i collegamenti sono realizzati da incastri, chiodature o elementi metallici di interposizione; nelle strutture in calcestruzzo armato i collegamenti sono garantiti dalla continuità dei ferri di armatura e dei getti (aderenza dei ferri di ripresa e getti di completamento).

Quando queste sono prefabbricate, i collegamenti avvengono tramite getti integrativi fra armature fuoriuscenti dai componenti prefabbricati (ferri di attesa, ferri di ripresa e ferri di integrazione) oppure possono essere realizzate saldature o bullonature fra elementi di acciaio annegati nei getti di prefabbricazione. Infine nelle strutture in acciaio i collegamenti avvengono tramite chiodature, bullonature o saldature con l'interposizione o meno di piastre di rinforzo e di ripartizione dei carichi.

Una seconda problematica relativa alla integrabilità fra elementi tecnici riguarda il **coordinamento dimensionale e la configurazione della interfaccia fra elementi di produzione industriale**. Tali aspetti sono stati particolarmente approfonditi negli anni di sviluppo della prefabbricazione, con l'intento di giungere alla definizione di regole comuni che consentissero di utilizzare componenti strutturali e di chiusura di diversa provenienza produttiva.

Per l'architetto il **requisito di integrabilità degli elementi tecnici** riguarda oggi prevalentemente la **necessità di sviluppare la progettazione considerando che il sistema impiantistico riveste un ruolo fondamentale nel soddisfacimento dei requisiti di sicurezza e di benessere**. Locali per centrali, sottocentrali e quadri elettrici, cavedi verticali e reti orizzontali di distribuzione ai piani, canalizzazioni per gli impianti idrico-sanitari, sistemi di sensori ed attuatori degli impianti di climatizzazione, elettrici, informatici e di telecomunicazioni, occupano intercapedini e spazi tecnici, forano solai, travi e pareti, che devono essere progettati fin dalle prime fasi del progetto e devono trovare adeguate soluzioni di integrazione innanzitutto con le strutture di elevazione.

Un corretto approccio alla progettazione integrata ha considerato

**sistema strutturale**

**sistema edilizio**

entità funzionalmente autonome ma strettamente interconnesse

**sistema impiantistico**

Il dettaglio esecutivo del progetto si sviluppa come soluzione finale delle diverse esigenze espresse da ciascuna componente estetica, funzionale e tecnologica.

Ma già oggi la concezione dell'edificio muta la propria natura: componenti edilizie, strutturali e impiantistiche tendono a integrarsi fino a fondersi, il funzionamento dell'edificio avviene attraverso la forma degli spazi prima ancora che in funzione degli apparati impiantistici; l'involucro integra funzionalità proprie dei sistemi attivi di climatizzazione; la dimensione delle strutture, la loro forma e i materiali costituenti partecipano delle proprietà di efficienza energetica dell'organismo edilizio nel suo complesso

**CONFORMABILITÀ DEGLI SPAZI:** per le strutture di elevazione assume nuovi significati progettuali in relazione agli obiettivi di garantire non solo fruibilità adeguata agli spazi, attraverso il dimensionamento degli elementi strutturali e la scelta delle soluzioni tecnologiche appropriate per ciascuna tipologia edilizia, ma anche di fornire risposte alle esigenze di rispetto dell'ambiente e di uso virtuoso delle risorse: scegliendo i materiali, definendo morfologia, posizioni e dimensioni degli elementi, accogliendo e integrando componenti edilizie e impiantistiche, adottando strategie di interazione (protezione/utilizzazione) con gli agenti esterni.

**STRUTTURE DI ELEVAZIONE:** quelle strutture che sono in grado di ricevere, sopportare e trasferire i carichi verticali e orizzontali derivanti dai pesi propri e dai pesi di esercizio alle fondazioni.

Tali funzioni possono essere svolte da insiemi di elementi tecnici configurati o formare un "**sistema puntiforme**" caratterizzato da elementi verticali lineari (i **pilastri**) aventi come unica funzione quello di sostenere l'edificio, mentre le funzioni di contenimento e di involucro vengono lasciate ad elementi tecnici non portanti od essi connessi.

La separazione delle funzioni portanti da quelle di involucro e delimitazione degli spazi è una conquista relativamente recente: esso si può far risalire a due periodi importanti e fecondi per la storia dell'architettura, conseguenza diretta delle innovazioni tecnologiche che le hanno determinate.

Il **PRIMO PERIODO** risale agli anni successivi all'incendio di Chicago, quando o partire dal 1880 si diffuse la **tecnica di realizzazione delle strutture a telaio in acciaio** (entusiasmanti sono gli scritti su quell'epoca di un suo pioniere: Louis Sullivan).

Il **SECONDO PERIODO** è di poco successivo e risale agli inizi dello scorso secolo, quando la nuova tecnica del "*béton armé*", utilizzata già dalla fine del secolo e resa nota dall'impresa **Hennebique** nelle sue realizzazioni parigine fu portata a maturazione e fu utilizzata nelle costruzioni di civile abitazione; fu poi **Auguste Perret** che, lasciando l'accademia, iniziò la sua attività di progettista e costruttore nell'impresa del padre, realizzando nel 1903 lo caso di abitazione al n. 25 di rue Franklin, costruita con una struttura a telaio in cemento armato che enfatizzava la verticalità dell'edificio, la sua articolazione planimetrica e la luminosità degli spazi serviti da ampie vetrate poste tra pilastro e pilastro.

Le strutture di elevazione "a telaio" prendono questo nome dallo schema semplificato che le caratterizza: un insieme composto da due pilastri e una trave connessi rigidamente. L'aggregazione di più telai disposti orizzontalmente, connessi con elementi piani di solaio e sovrapposti su più piani, origina lo schema strutturale di un edificio a struttura puntiforme.

Operando una semplificazione ed una generalizzazione per offrire un'immediata comprensione, una struttura intelaiata è composta da uno schema a maglie rettangolari dove le travi sono poste lungo un'unica direzione secondo la luce inferiore della maglia, mentre i solai sono orditi ortogonalmente alle travi e coprono la luce maggiore. Da questo schema semplificato possono però originare molte diverse configurazioni derivanti da esigenze specifiche della costruzione: le travi sono generalmente poste longitudinalmente allo sviluppo dell'edificio e quindi i solai sono orditi in senso trasversale, ma dove siano richieste luci superiori alla norma (oltre 5 m nel caso di strutture in calcestruzzo armato) è opportuno che queste siano poste in senso trasversale per non occupare eccessivamente la facciata con strutture ricalate.

Nelle strutture di elevazione a telaio assume particolare importanza la funzione di rigidità dell'intero schema strutturale, necessario per contrastare le forze orizzontali agenti sull'edificio; a questo fine si agisce sui singoli telai dotandone gli elementi di connessioni rigide, oppure affidando il contrasto a strutture di irrigidimento o di controventamento.

Tali funzioni possono essere svolte ancora da aste incrociate e interconnesse ai nodi strutturali, oppure possono essere realizzate pareti portanti posizionate in modo tale, sia da irrigidire i telai, sia da offrire contrasto in senso ortogonale a questi. Pareti portanti e nuclei di irrigidimento formati da insiemi di pareti interconnesse rappresentano elementi di notevole importanza nella fase iniziale della progettazione degli edifici, poiché il loro dimensionamento e posizionamento costituisce un vincolo notevole alla distribuzione degli spazi. Ma al tempo stesso l'ottimizzazione di questa fase progettuale, attraverso una stretta interazione fra le esigenze dell'architetto e i vincoli posti dal progettista delle strutture, conduce ad una chiara ed efficace definizione dello schema distributivo, consentendo economie di materiali e maggiori libertà progettuali.

Nel caso di strutture caratterizzate da luci differenti o quando si sia in presenza di luci notevoli o di carichi particolarmente gravosi, i telai possono essere posizionati secondo entrambe le direzioni attraverso travi poste sia nel senso longitudinale che trasversale dell'edificio, consentendo una maggiore libertà nell'orditura dei solai.

Le strutture di elevazione a telaio in calcestruzzo armato sono realizzate da elementi lineari -**PILASTRI E TRAVI**- connessi rigidamente tra loro attraverso la continuità delle armature in acciaio e del calcestruzzo che, seppure gettato in momenti successivi (riprese di getto), riesce a realizzare un comportamento omogeneo agli sforzi incidenti . Le strutture in calcestruzzo armato sono spesso impropriamente chiamate strutture in "cemento armato", mentre- essendo il materiale costituente sempre un impasto di inerti di diversa granulometria, cemento e acqua - la dizione corretta è "calcestruzzo cementizio armato", correttamente abbreviata con la sigla c.a.

I **PILASTRI** sono realizzati mediante la predisposizione di armature costituite da barre di acciaio poste longitudinalmente all'asse del pilastro, lungo il perimetro della pianta in corrispondenza delle fibre tese e da staffe trasversali, collocate a realizzare una gabbia rigida che viene successivamente annegata nel getto di calcestruzzo realizzato all'interno di casseforme (carpenterie) predisposte secondo il disegno e le dimensioni di progetto. I pilastri, nelle strutture a telaio, sono generalmente soggetti a sforzi di pressoflessione, mentre le travi -data la rigidità dei nodi -vengono sottoposte a sollecitazioni di momento flettente che si invertono quando gli sforzi di trazione passano dalla zona di estradosso in prossimità dell'incastro alla zona di intradosso avvicinandosi alla mezzera della trave.

I pilastri hanno generalmente sezioni quadrate; per meglio rispondere alle sollecitazioni eventualmente orientate in una delle due direzioni, o per minimizzare il loro ingombro all'interno delle pareti di chiusura verticale o delle partizioni, possono assumere sezioni a forma rettangolare, oppure ancora, per particolari esigenze architettoniche, possono assumere sezioni circolari. L'uso di queste ultime è stato molto facilitato dalla recente disponibilità di casseforme a perdere a basso costo.

Le **TRAVI** in calcestruzzo armato sono realizzate sempre attraverso la formazione di una gabbia di armatura con barre longitudinali e staffe trasversali, ma una parte delle barre longitudinali poste all'intradosso nel tratto mediano della trave vengono piegate in corrispondenza della zona di inversione dei momenti per raggiungere la superficie di estradosso, ottimizzando in tal modo l'impiego di acciaio (il materiale più costoso del manufatto) e la quantità di calcestruzzo, e al tempo stesso offrendo le maggiori doti di snellezza alla struttura portante. Alle staffe e ai ferri piegati sono affidate le prestazioni di resistenza alle sollecitazioni di taglio.

Le travi sono generalmente configurate a sezione rettangolare, con la dimensione maggiore in senso verticale per resistere ai carichi incidenti e agli sforzi di flessione; esse generalmente sporgono al di sotto dell'intradosso del solaio (travi ricalate); per ottimizzare l'efficienza della sezione resistente le travi possono assumere sezioni a T oppure a L rovesciata in corrispondenza del bordo degli edifici (travi di bordo) Quando sia necessario non ingombrare lo spazio sotto l'intradosso- ad esempio per facilitare il passaggio delle canalizzazioni impiantistiche- le travi possono essere formate da sezioni rettangolari con maggiore sviluppo in senso orizzontale, in modo tale da essere contenute all'interno dello spessore del solaio (travi in spessore); in questo caso si avrà una minore efficienza della sezione e le dimensioni dovranno essere pertanto maggiorate.

La costruzione della struttura di elevazione a travi e pilastri si sviluppa realizzando i telai portanti, quindi le pareti di controventamento e poi gli impalcati che completano l'assetto strutturale del piano, per procedere successivamente al piano superiore secondo le medesime fasi di lavorazione.

Per quanto riguarda i modi di produzione le strutture di elevazione a telaio in c.a. possono essere realizzate secondo tre diverse opzioni:

- **REALIZZATE COMPLETAMENTE IN OPERA MEDIANTE POSO DELLE ARMATURE E GETTO IN CASSERI;**
- **REALIZZATE IN OPERA MEDIANTE ELEMENTI SEMIPREFABBRICATI E GETTI DI COMPLETAMENTO;**
- **PREFABBRICATE IN STABILIMENTO E MONTATE IN OPERO CON GETTI DI INTEGRAZIONE.**

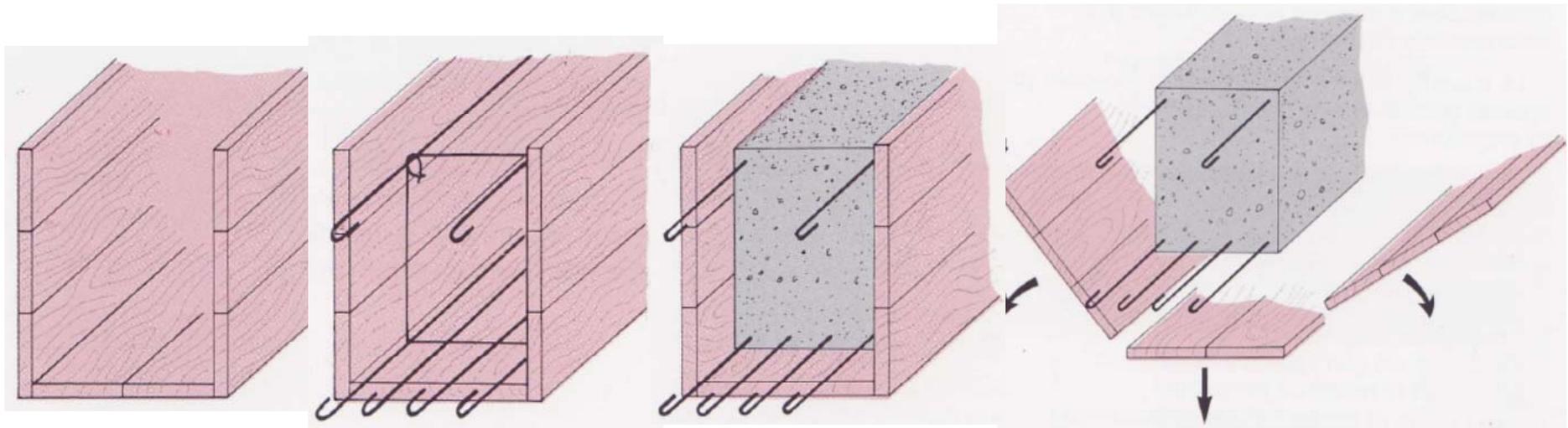
L'esecuzione di una struttura in cemento armato passa attraverso 4 fasi principali:

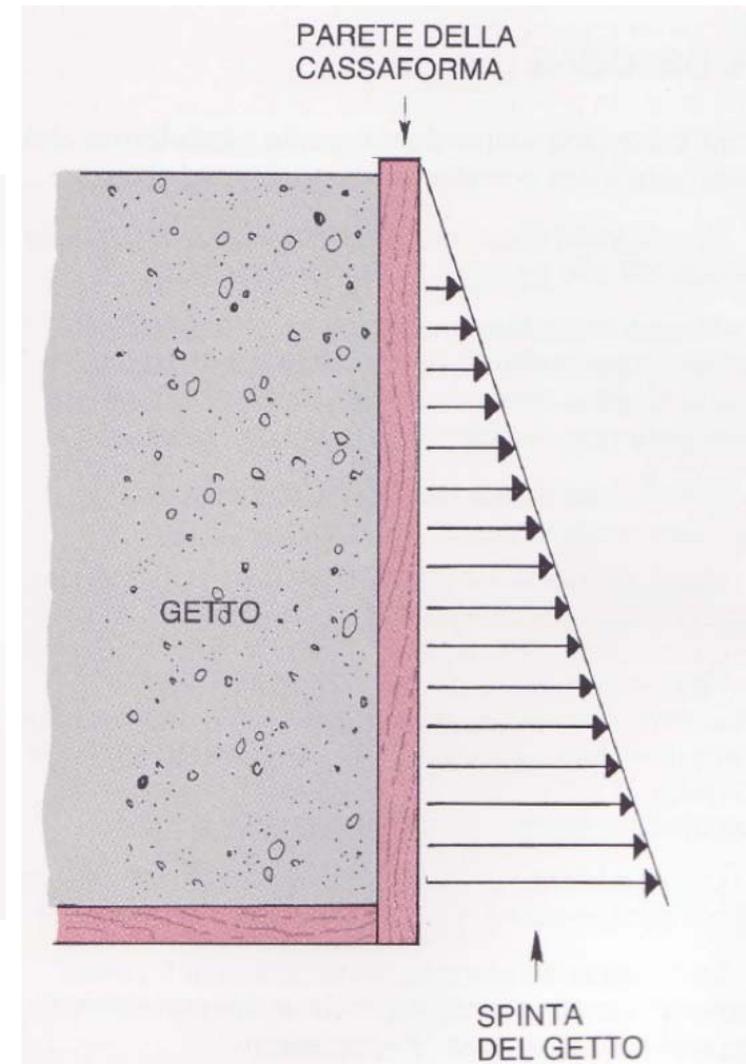
1. **Costruzione delle casseforme**
2. **Preparazione e posa in opera delle armature metalliche**
3. **Getto del calcestruzzo**
4. **Disarmo delle casseforme**

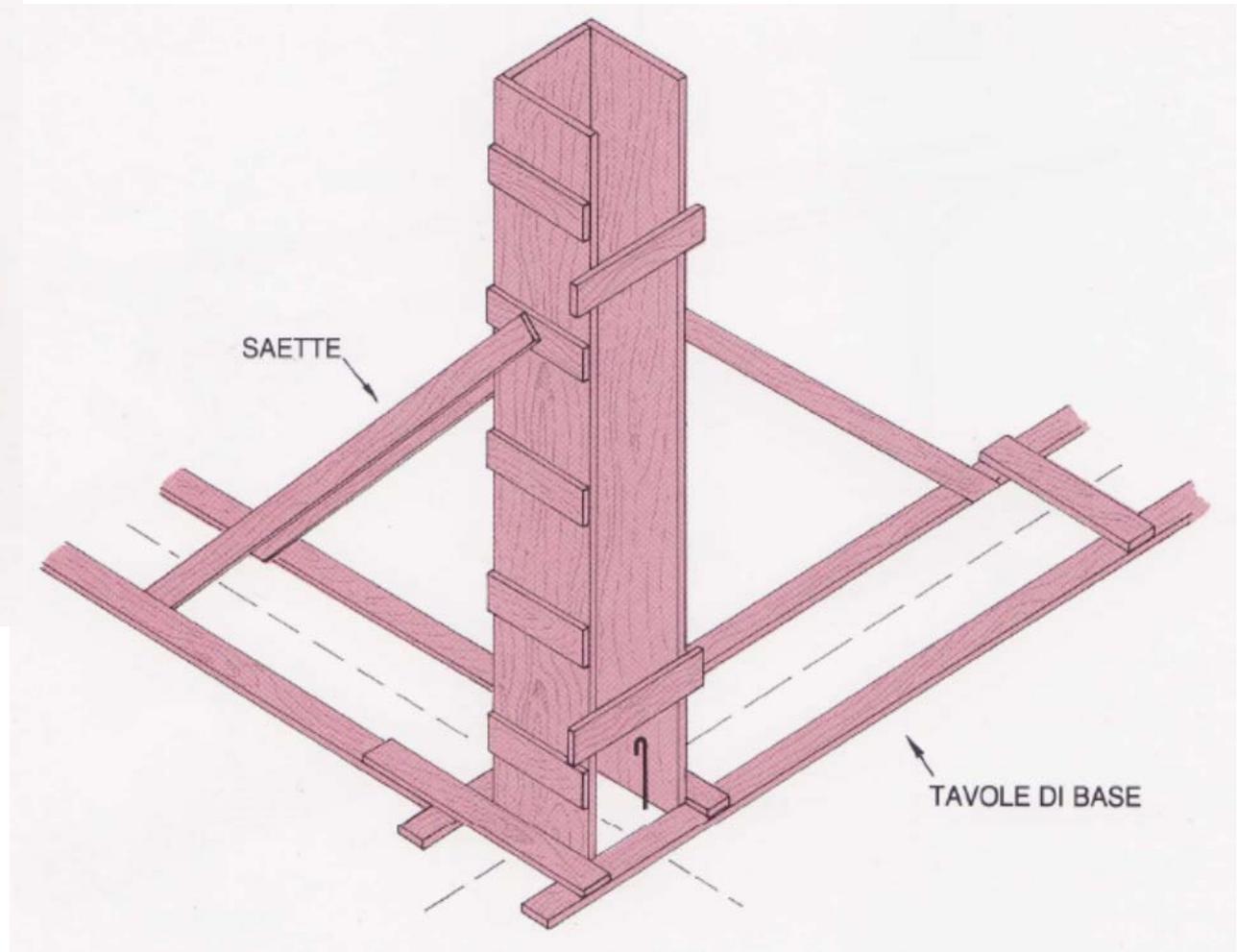
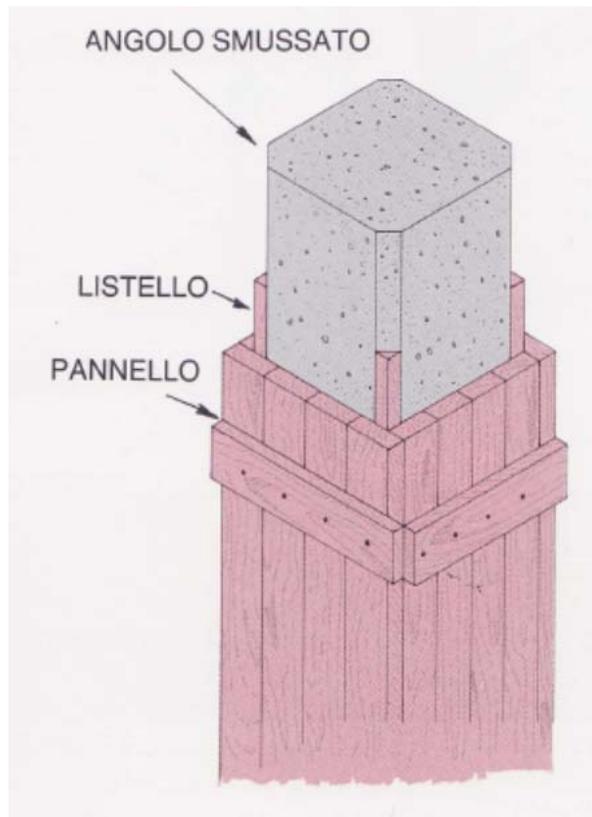
La preparazione dei casseri è un'operazione lunga e importante. La loro funzione è quella di conformare il getto secondo la dimensione e forma prevista e di controllarne la stabilità nella posizione corretta. La cassaforma non è solo uno stampo, ma anche una struttura provvisoria che deve sopportare il proprio peso, quello del getto ed altri carichi accidentali durante il lavoro (persone, materiali...). Devono quindi essere rigide e resistenti ai carichi costruttivi, stabili per mantenere la loro posizione fino al disarmo e possibilmente recuperabili. Tradizionalmente le casseforme vengono realizzate in legno, ma per un affinamento delle tecniche costruttive ed una richiesta di rilievo sempre maggiore per una finitura a vista delle strutture, sono stati affiancati altri materiali come il metallo e la plastica.

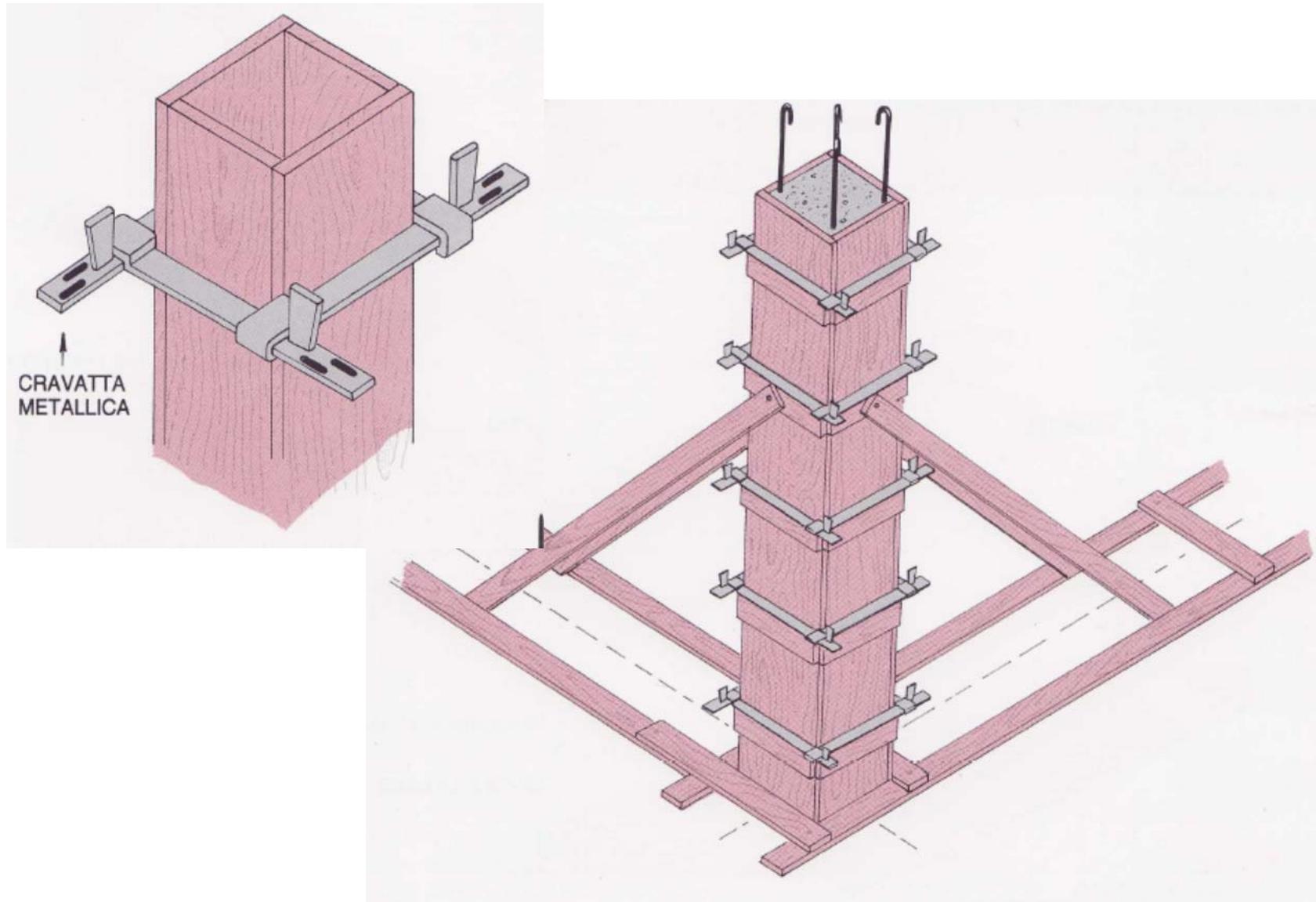
Entro le cassature vengono alloggiate e posizionate le armature verticali e orizzontali, opportunamente vincolate ai ferri di atteso delle strutture precedentemente realizzate e, successivamente, viene fatto il getto di calcestruzzo a completare l'elemento costruttivo.

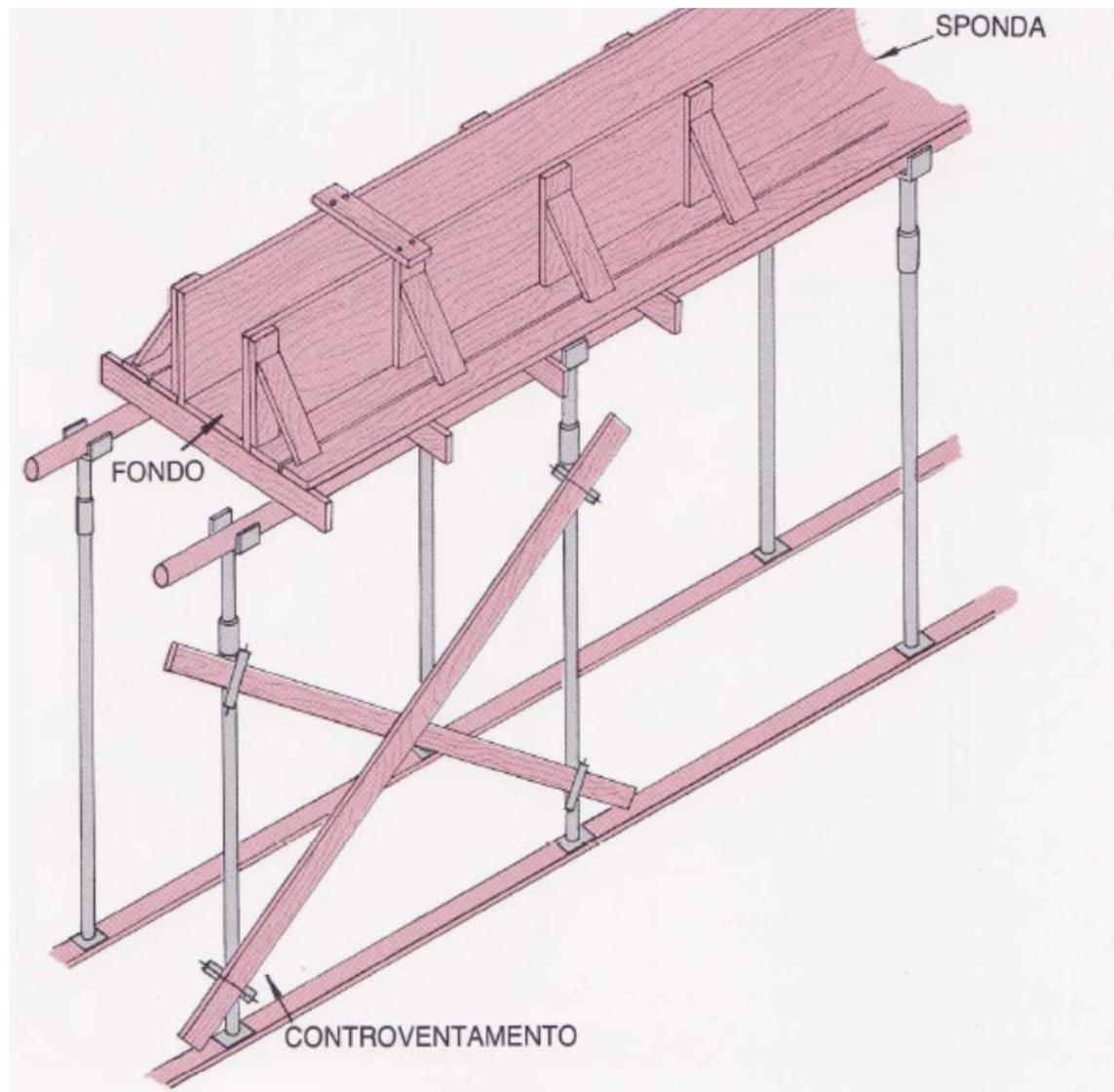
La formazione delle cassature, viene eseguita prima per le strutture verticali e poi per le orizzontali a costituire un'unica forma per i telai da realizzare e successivamente vengono posati gli elementi tecnici dei solai. Il getto viene poi eseguito generalmente in due momenti: il primo getto viene eseguito per realizzare tutti i pilastri collegando in tal modo le armature del piano inferiore a quelle del piano in formazione fino all'intradosso delle travi; secondariamente viene effettuato il getto delle travi con il getto di completamento dei solai. Per realizzare una maggiore garanzia di resa struttura le degli elementi tecnici realizzati in opera occorre procedere al costipamento del getto attraverso vibratura; quando la maturazione del getto sarà realizzata si procede alla scasseratura delle carpenterie iniziando un nuovo ciclo di lavorazione.

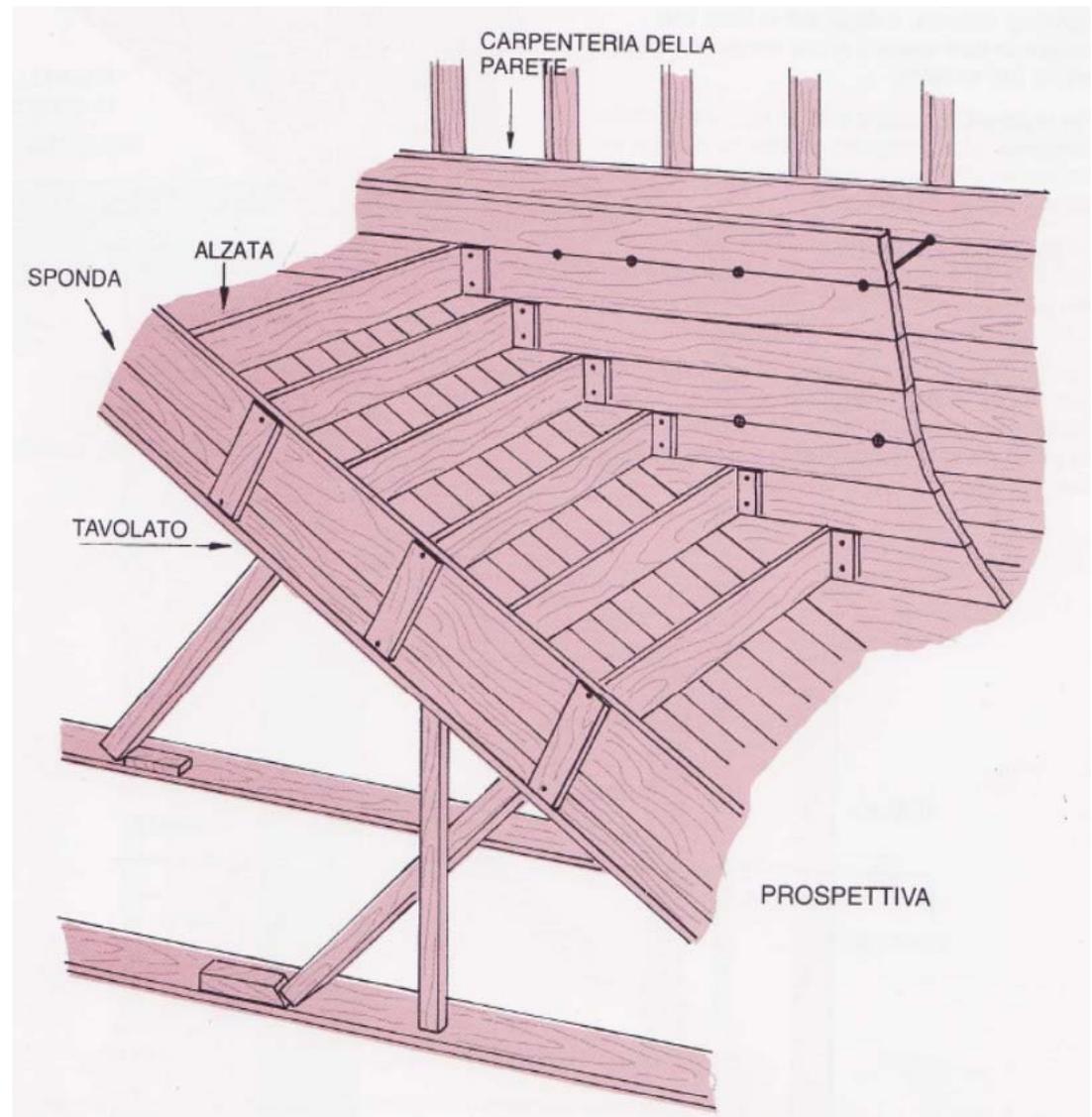
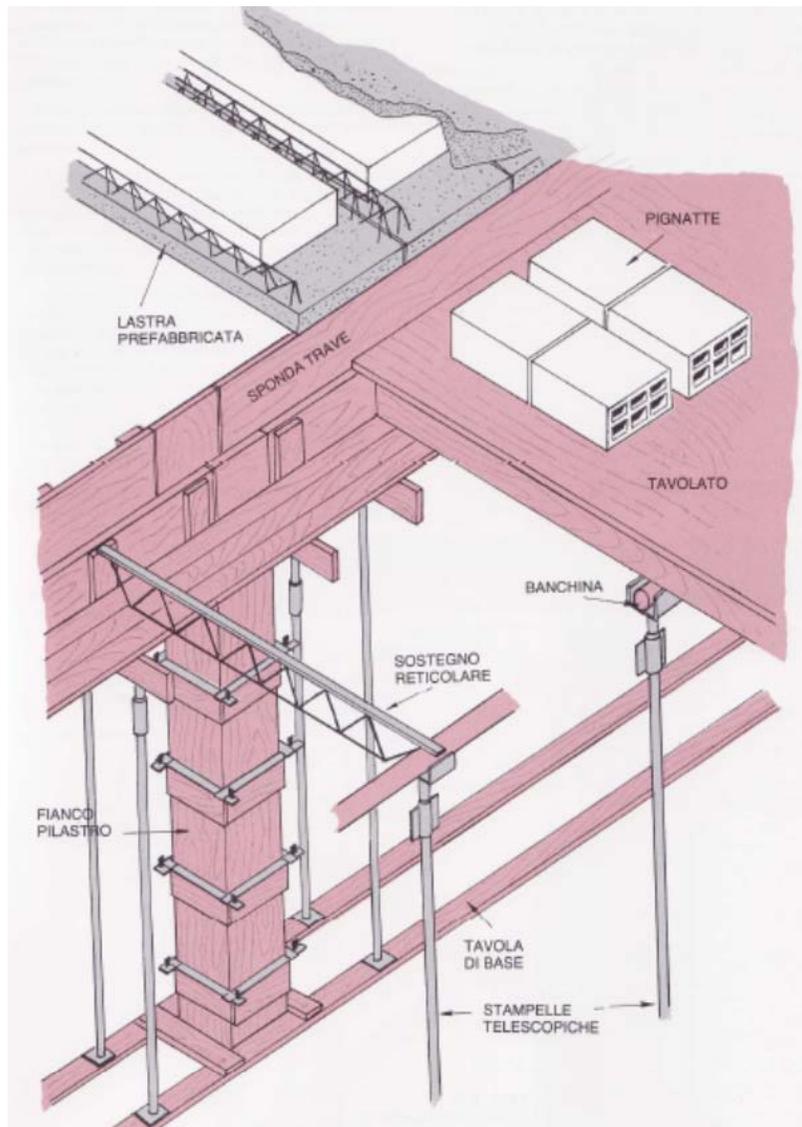












Esse si possono classificare secondo due tipologie principali:

1. **CASSEFORME REIMPIEGABILI**, quando siano progettate e realizzate per essere utilizzate per diversi cicli produttivi;
2. **CASSEFORME A PERDERE**, quando queste vengono utilizzate un'unica volta durante il getto e poi vengono eliminate oppure restano a formare parte integrante dell'elemento realizzato.



Le casseforme reimpiegabili sono quelle che tradizionalmente hanno trovato impiego nei cantieri edili e sono costituite generalmente da pareti, elementi distanziatori e strutture esterne di contenimento delle pareti; possono inoltre prevedere dispositivi di centratura e messa a piombo e dispositivi provvisori per la fase di getto. Le superfici delle casseforme vengono fissate tra loro per mezzo delle staffe distanziatrici che passano da parte a parte le pareti opposte della cassaforma e vengono immobilizzate dall'esterno per mezzo di cunei.

La tipologia più tradizionale di **CASSEFORME REIMPIEGABILI** è realizzata con assi e tavole di legno di abete che vengono inchiodate fra loro e puntellate per mantenere la geometria richiesta durante le fasi del getto, evitando spanciate o disassamenti.

I distanziatori, costituiti da staffe di acciaio forate, vengono posti fra una tavola e l'altra, mentre all'esterno dei paramenti vengono predisposti montanti e traversi ed elementi di fissaggio; nel caso della formatura di pilastri gli elementi esterni sono posti a formare un "incamiciamento" delle sezioni a distanze che vanno ravvicinandosi verso il bordo inferiore del pilastro per contrastare il peso crescente del getto.



Le superfici dei casseri possono essere però realizzate anche con pannelli a formare piccoli elementi modulari e componibili in multistrato di legno; con l'incremento dei carichi e delle dimensioni i pannelli sono irrigiditi da un telaio in legno o in profili di acciaio, nel caso di grandi pannelli anche i paramenti possono essere realizzati con lastre di lamiera di acciaio zincata.

Gli elementi componibili sono dotati di sistemi di fissaggio rapido a passo modulare attraverso bullonature e incastrì e contengono già gli alloggiamenti per i distanziatori, ciò per garantire movimentazioni e operazioni facilitate ai fini di accelerare i tempi e migliorare la produttività del cantiere.



Tutte le superfici di contenimento devono essere trattate per garantire impermeabilizzazione, durabilità e facilità di montaggio e smontaggio. La preparazione del getto prevede la bagnatura delle tavole grezze per evitare l'assorbimento dell'acqua contenuta nel getto, oppure nel caso di tavole già trattate con vernici impermeabilizzanti, la spalmatura delle superfici con liquidi che facilitano il disarmo; ad ogni ciclo di lavorazione le tavole vengono pulite da eventuali residui di calcestruzzo e ricondizionate.

Le **CASSEFORME A PERDERE** sono costituite da elementi che svolgono la funzione di contenimento del getto di calcestruzzo per un unico ciclo di lavorazione, dopo il quale o vengono dismesse oppure restano a costituire parte integrante dell'elemento costruttivo realizzato.

Si hanno due principali tipologie di soluzioni tecnologiche:

1. **casseforme costituite da blocchi cavi e casseforme costituite da pannelli a perdere.** Le casseforme costituite da blocchi cavi utilizzano materiali leggeri quali polistirene espanso o fibre di legno mineralizzato in impasto cementizio, realizzando pareti o pilastri cavi entro i quali possono essere poste le armature e successivamente eseguito il getto di calcestruzzo. La modularità degli elementi e la conformazione degli incastri permette velocità di posa, mentre i materiali costituenti, una volta protetti dagli strati di intonaco superficiale, garantiscono l'eliminazione dei ponti termici e prestazioni di isolamento termico e acustico.



1. casseforme costituite da pannelli di materiali isolanti, fibre di legno mineralizzato, polistirene espanso o schiume poliurettoniche, i pannelli impiegati per il contenimento del getto restano successivamente a costituire gli strati di isolamento degli elementi costruttivi realizzati.

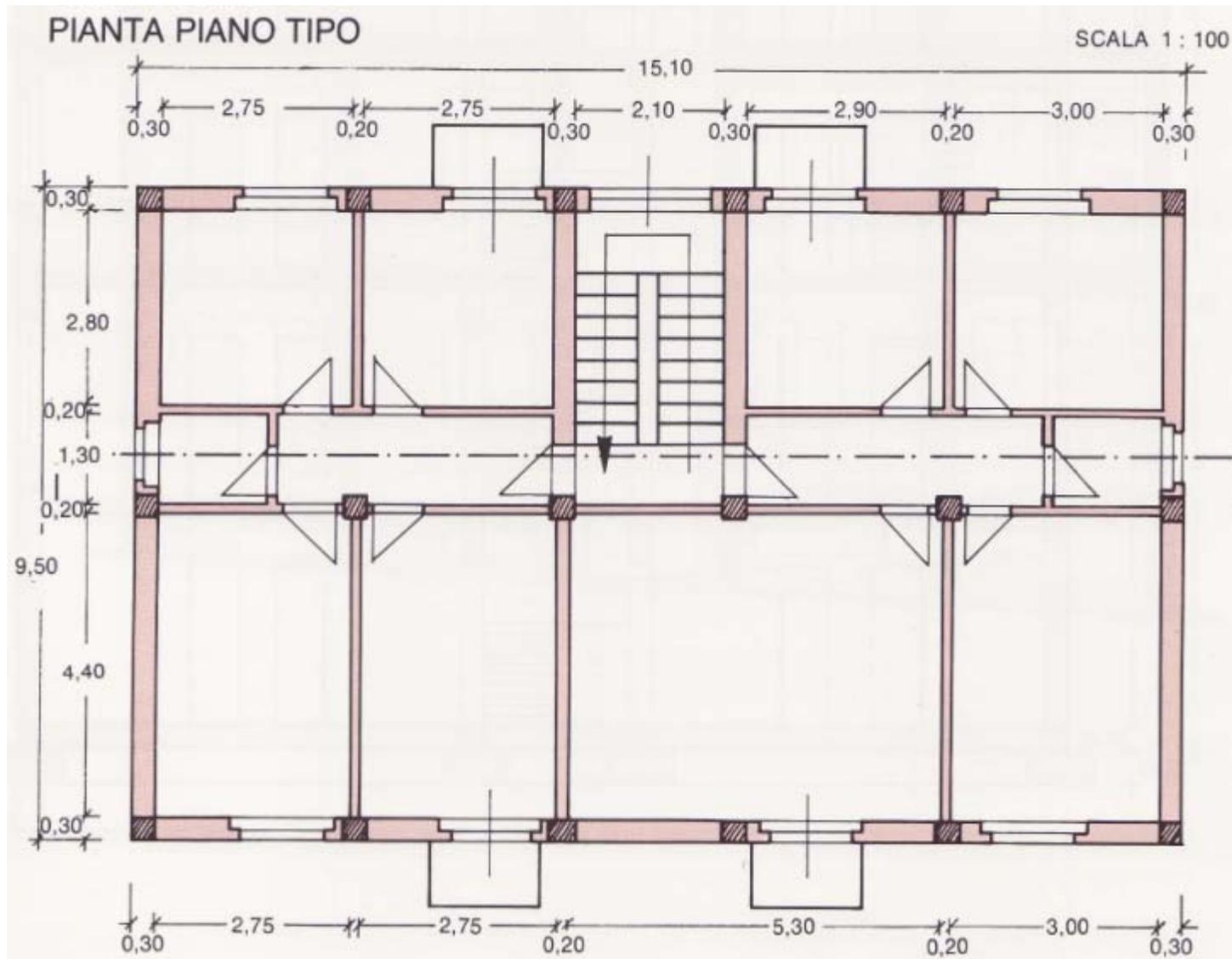


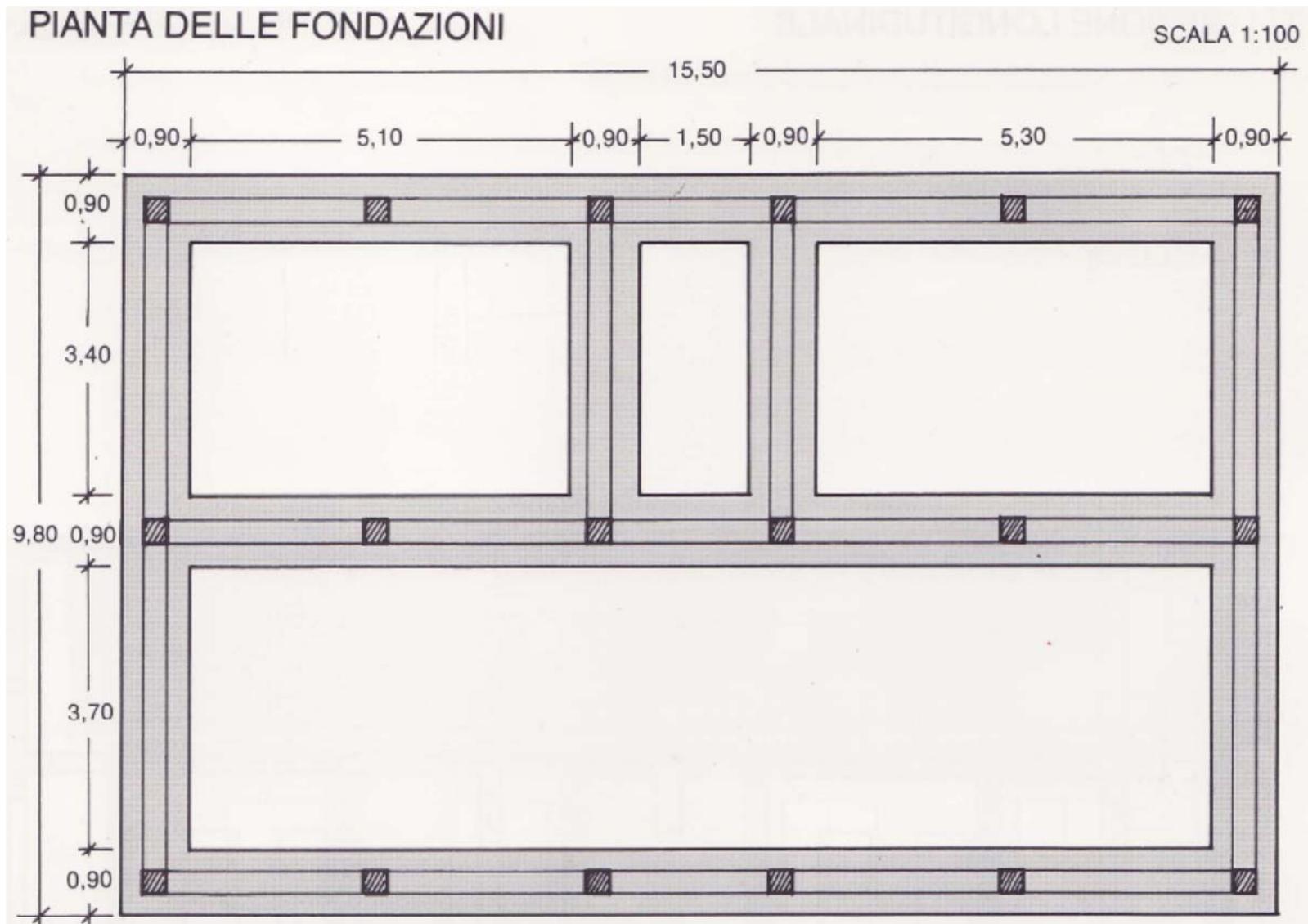
Evoluzioni recenti di questa tecnologia riguardano la realizzazione di sistemi costruttivi che utilizzano pannelli costituiti da due lastre di polistirene distanziate da un'intralicciatura metallica sia interna che esterna al pannello.

La prima realizza l'armatura del getto di cls della struttura portante, la seconda costituisce la struttura di supporto per gli strati superficiali di intonaco di protezione e finitura.

Esistono infine soluzioni tecniche che impiegano casseforme con materiali o perdere, quali cartone o tetrapack, o realizzare tubi-formo per pilastri a sezione interna circolare (o anche quadrata attraverso la predisposizione di profili interni di riempimento) che una volta maturato il getto di calcestruzzo, vengono facilmente dismesse.





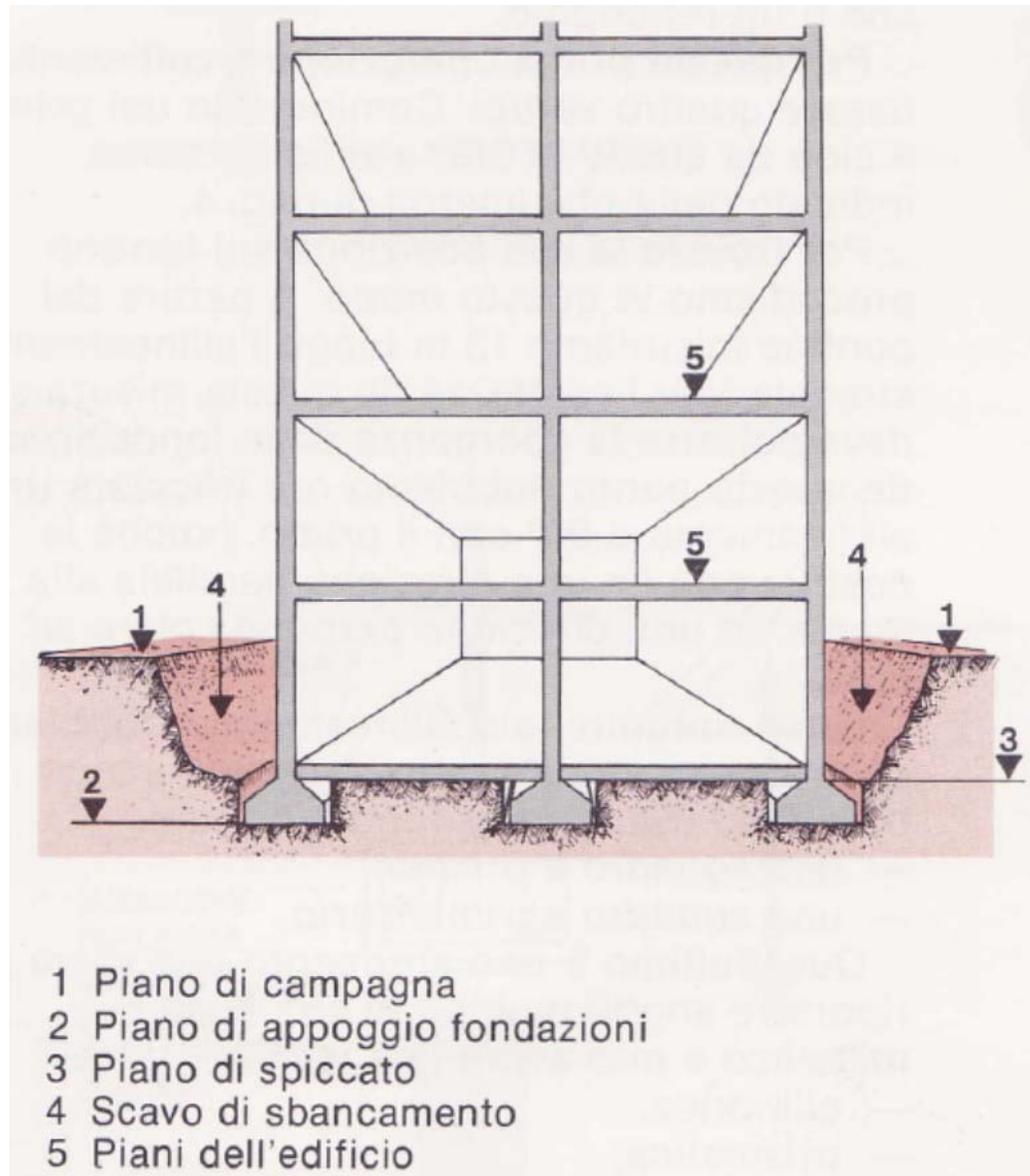


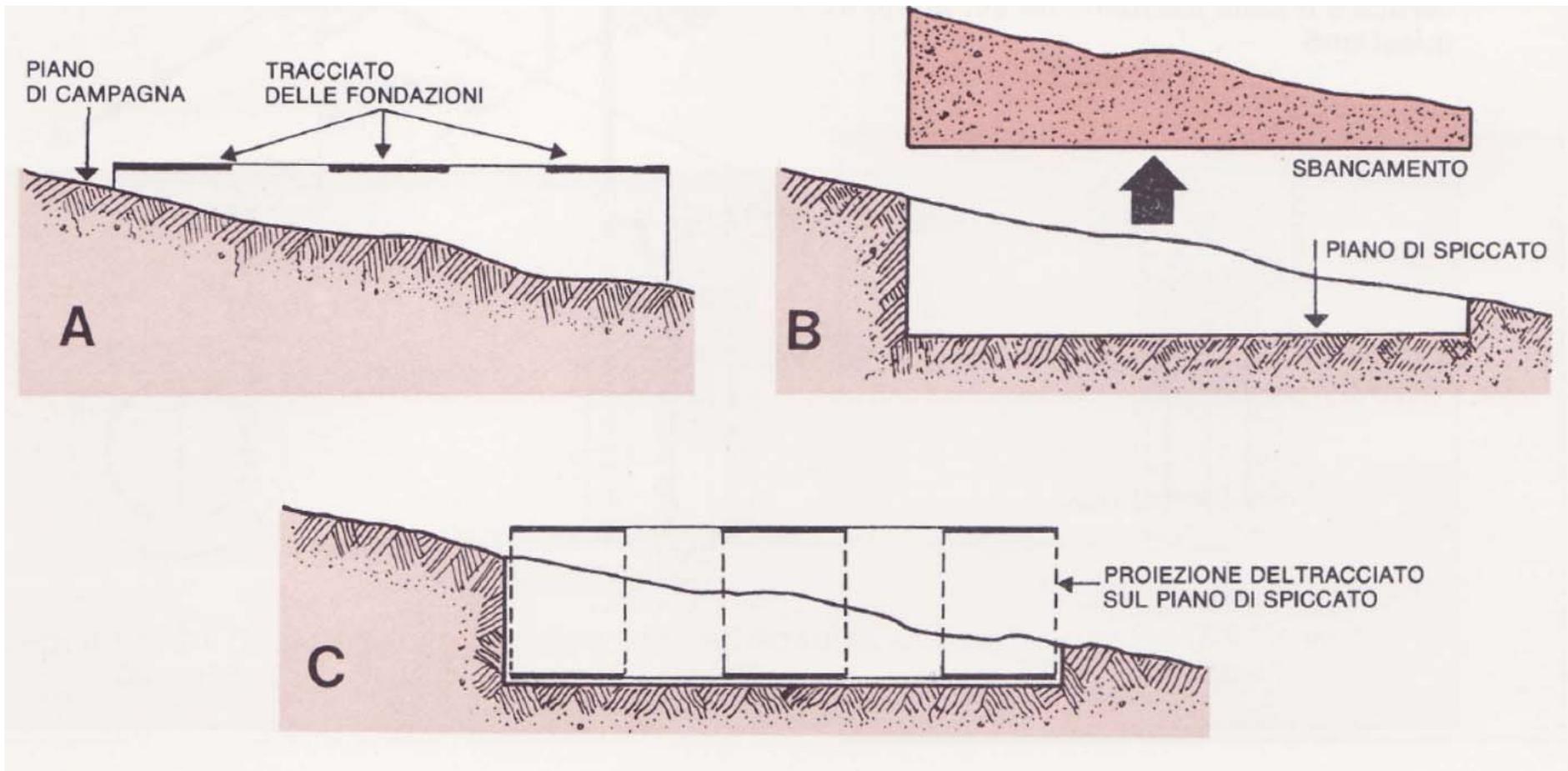


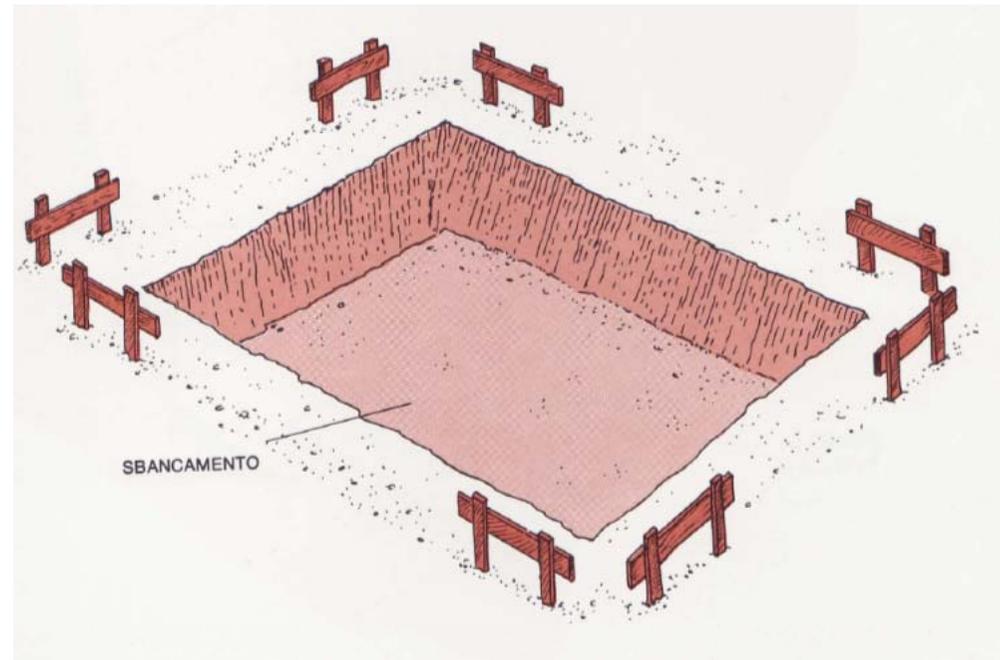
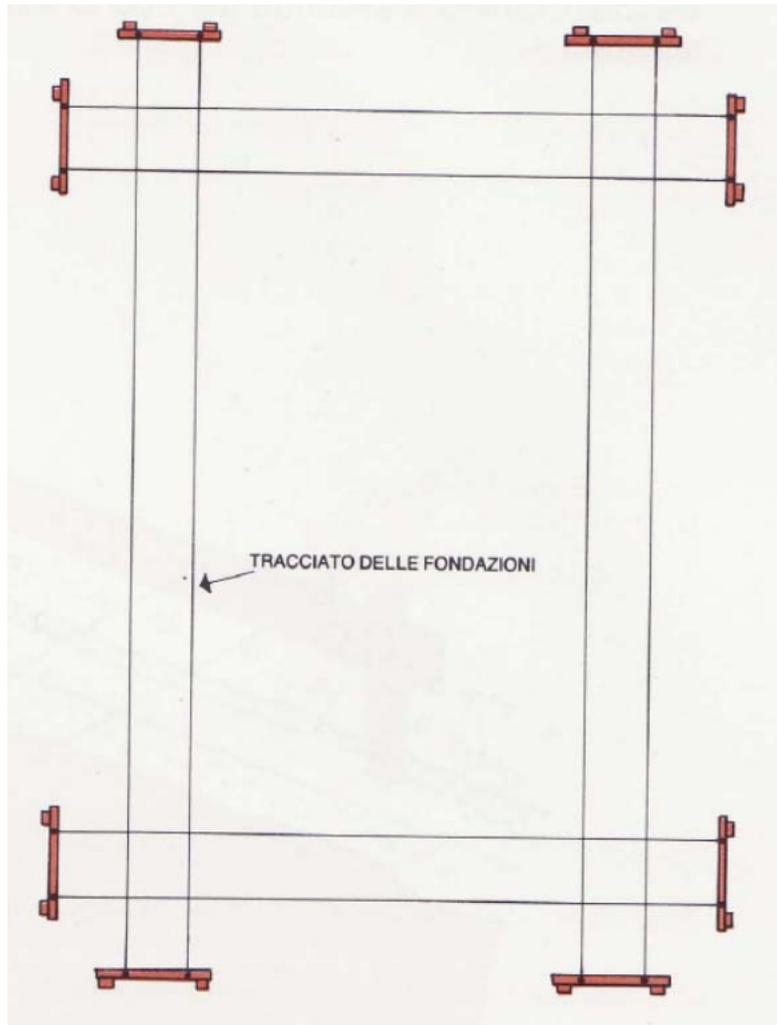
La superficie del suolo, sul quale dovrà sorgere la costruzione, è generalmente irregolare. L'edificio, invece, nasce e si sviluppa secondo piani orizzontali:

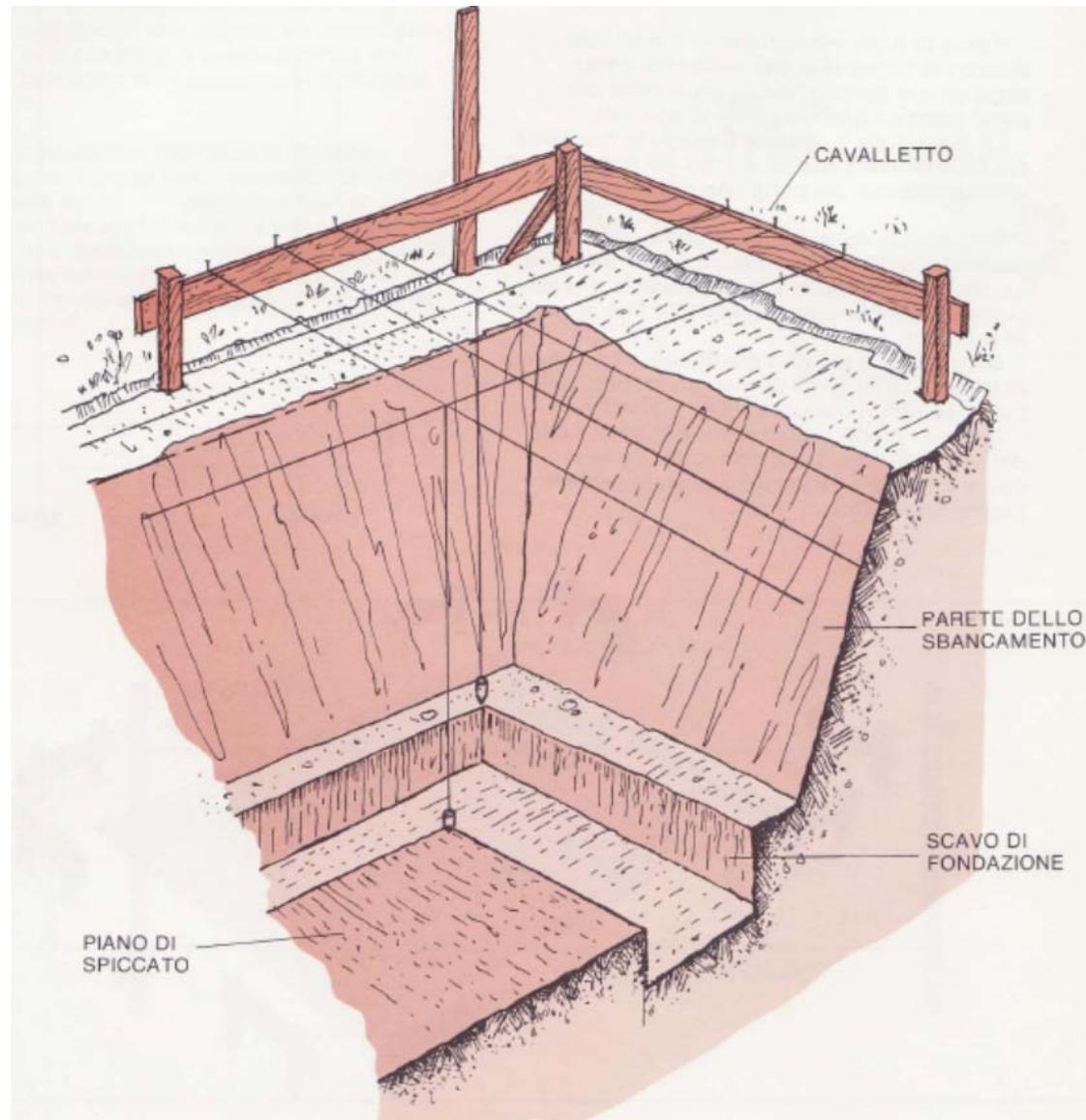
- il piano di appoggio delle fondazioni sul terreno;
- il piano di appoggio della costruzione sulle fondazioni, o piano di spiccato;
- tutti gli altri piani che dividono orizzontalmente la costruzione.

Il primo lavoro da compiere è quello del tracciamento sul terreno della pianta dell'edificio, e precisamente della pianta delle fondazioni, dato che esse costituiscono il basamento della costruzione. Si tratta quindi di riportare la pianta delle fondazioni sul terreno nella grandezza reale. Questo tracciato verrà fatto su un piano orizzontale, e, precisamente sul piano di spiccato, perché da esso si inizierà lo scavo di fondazione. Nel caso dell'edificio preso in esame, il piano di spiccato è più basso del piano di campagna, ossia del terreno originario, poiché la costruzione è parzialmente interrata. Allora bisognerà fare il tracciamento, prima sul piano di campagna, quindi, dopo aver eseguito lo scavo di sbancamento, si proietterà il tracciato sul piano di spiccato. Si avrà così, su questo piano, la pianta della fondazione e sarà possibile passare poi alla sua realizzazione.









Il **cemento armato** è un materiale nato **dall'accoppiamento tra il conglomerato e cementizio e le armature** metalliche, pertanto si dovrebbe più propriamente chiamare calcestruzzo armato.

Questo abbinamento sfrutta le prerogative dei due componenti: **l'elevata resistenza a compressione del conglomerato e la grande resistenza a trazione dell'acciaio**, le riunisce per dar luogo ad un materiale versatile con elevate caratteristiche meccaniche.

Il cemento armato ha modificato gli schemi statici ed architettonici delle costruzioni attuali: l'architettura del passato era infatti basata quasi esclusivamente sull'uso degli archi e delle volte, la cui forma geometrica era tale che i carichi creavano soltanto sollecitazioni di compressione. Quando si usavano strutture orizzontali, le possibilità erano fortemente limitate dalla scarsa resistenza alla flessione della pietra e del legno e dalle limitate dimensioni raggiungibili (si pensi alle capriate composte in legno).

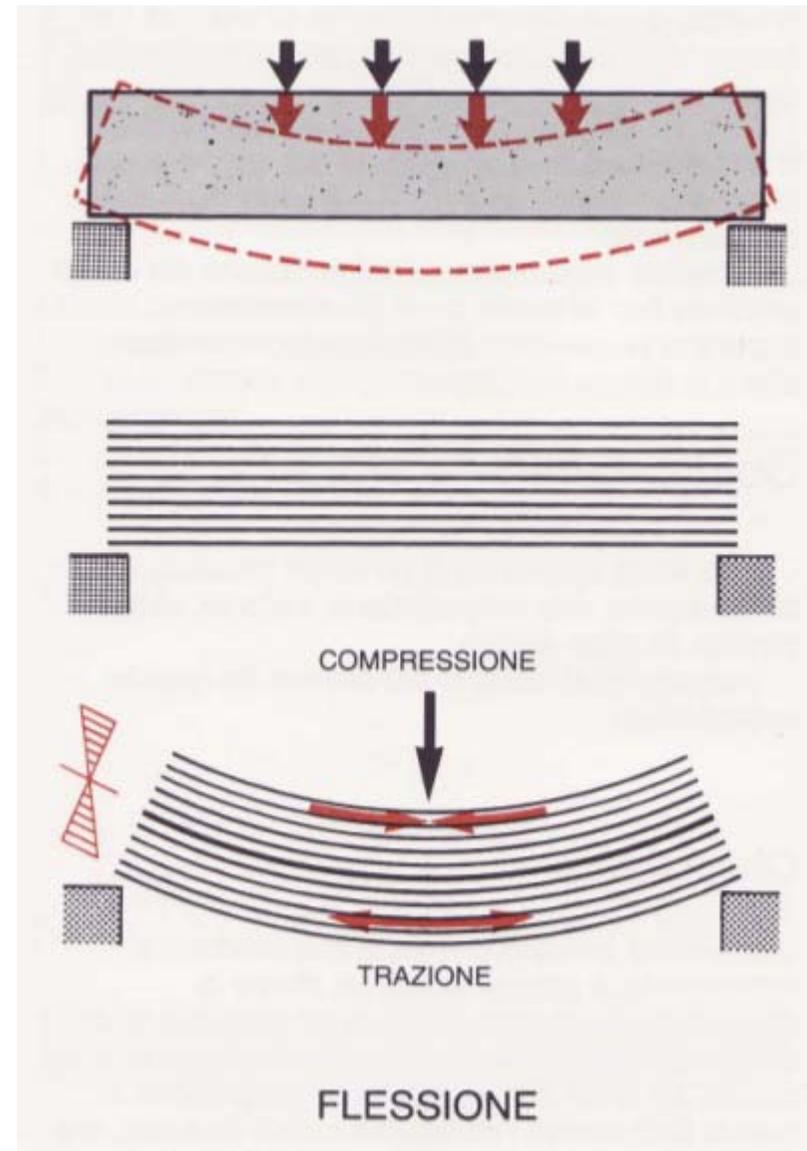
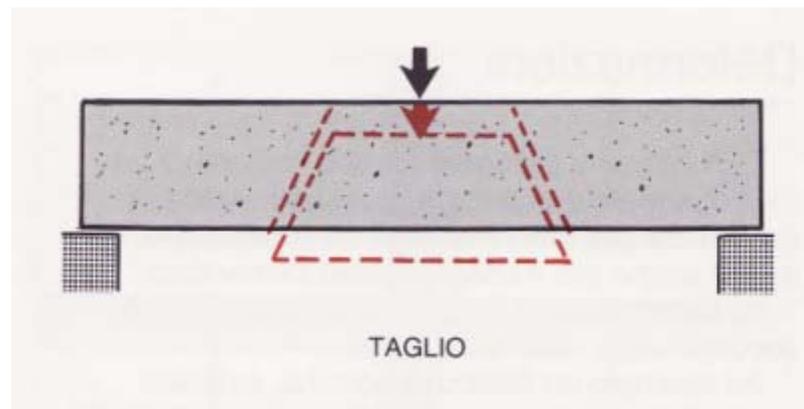
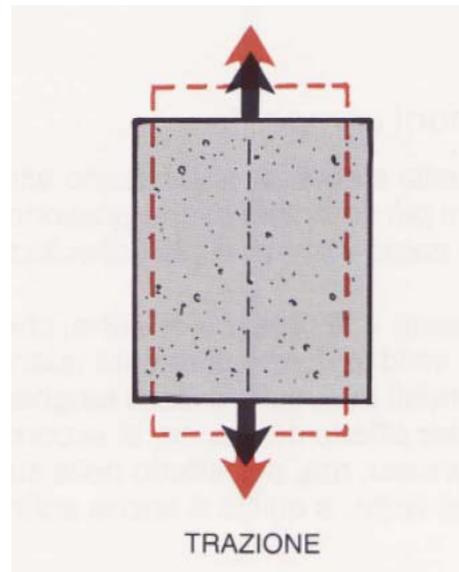
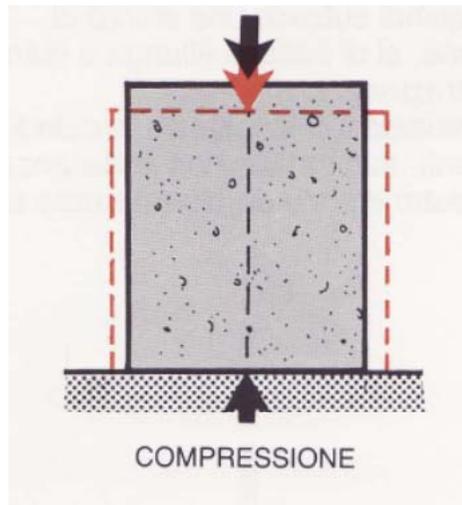
Il cemento armato ha permesso di superare questi limiti, potendo assorbire qualunque tipo di sollecitazione e consentendo quindi l'adozione di tutti gli schemi statici più originali, di conseguenza la creazione di forme architettoniche nuove.

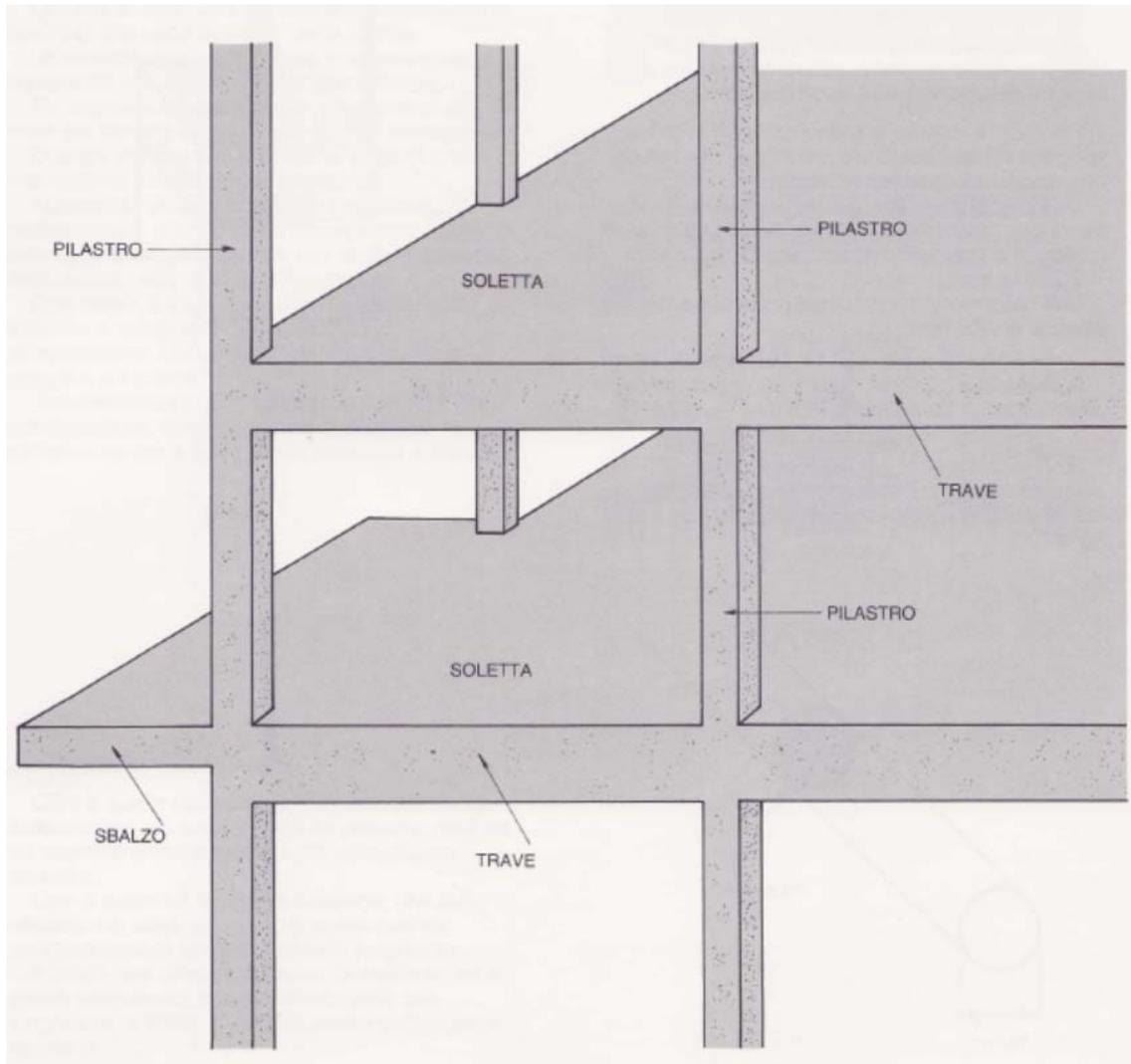
L'accoppiamento dei due materiali è reso possibile dalle seguenti circostanze:

- tra ferro e calcestruzzo esiste una adesione molto elevata;
  - al variare della temperatura i due materiali si dilatano, o si restringono, della stessa quantità (coefficiente di dilatazione termica simile);
- Il ferro immerso nel calcestruzzo non arrugginisce.

Il criterio fondamentale secondo il quale viene eseguito l'accoppiamento tra ferro e calcestruzzo, è quello di considerare le loro singole capacità di resistenza, e di affidare ad ognuno dei due un compito adatto. Il calcestruzzo resiste bene a compressione, male a trazione; il ferro invece resiste bene sia a compressione che a trazione. Ne consegue che al calcestruzzo viene affidato il compito di resistere agli sforzi di compressione, mentre al ferro è affidato quello di assorbire gli sforzi di trazione.

Il ferro pertanto non è distribuito uniformemente nella massa ma viene concentrato nelle zone tese delle zone degli elementi costruttivi.

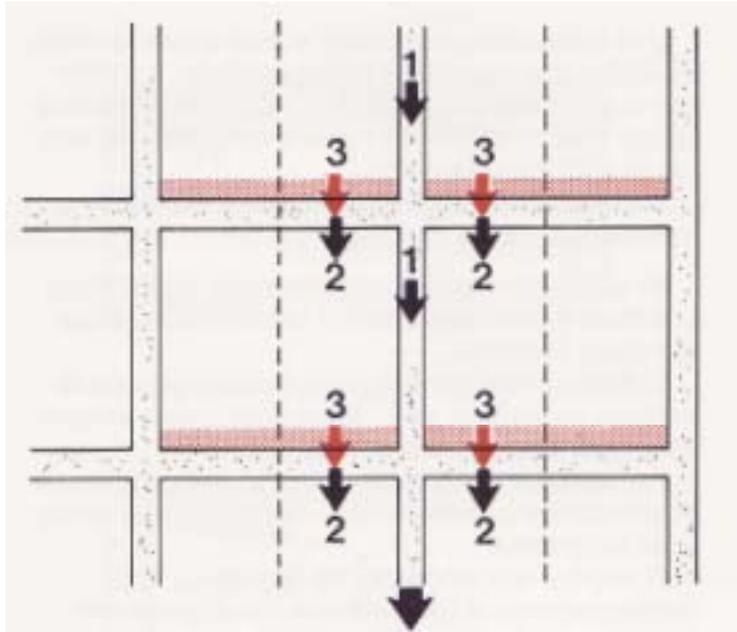




Le parti che normalmente formano una

struttura in cemento armato sono:

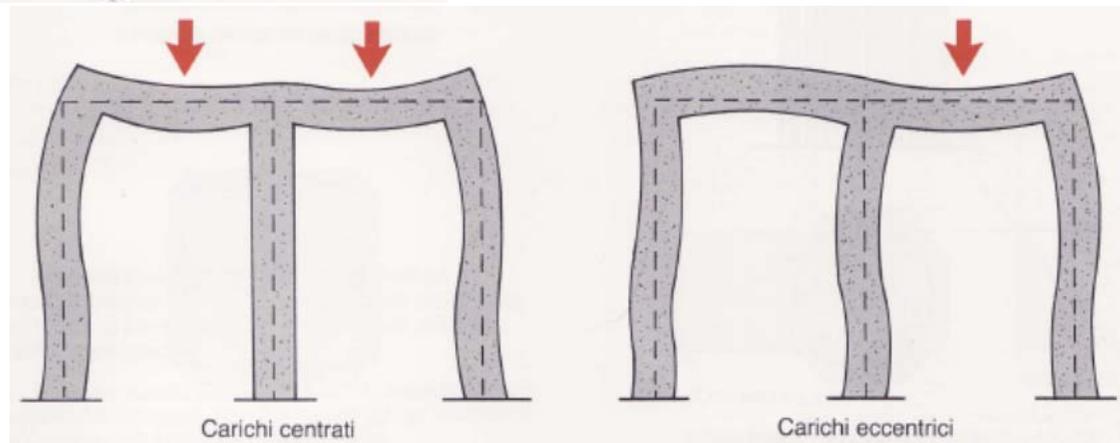
- gli elementi verticali, o pilastri
- gli elementi orizzontali, travi
- gli elementi orizzontali con grande sviluppo di superficie, solette
- gli elementi di collegamento verticale, scale

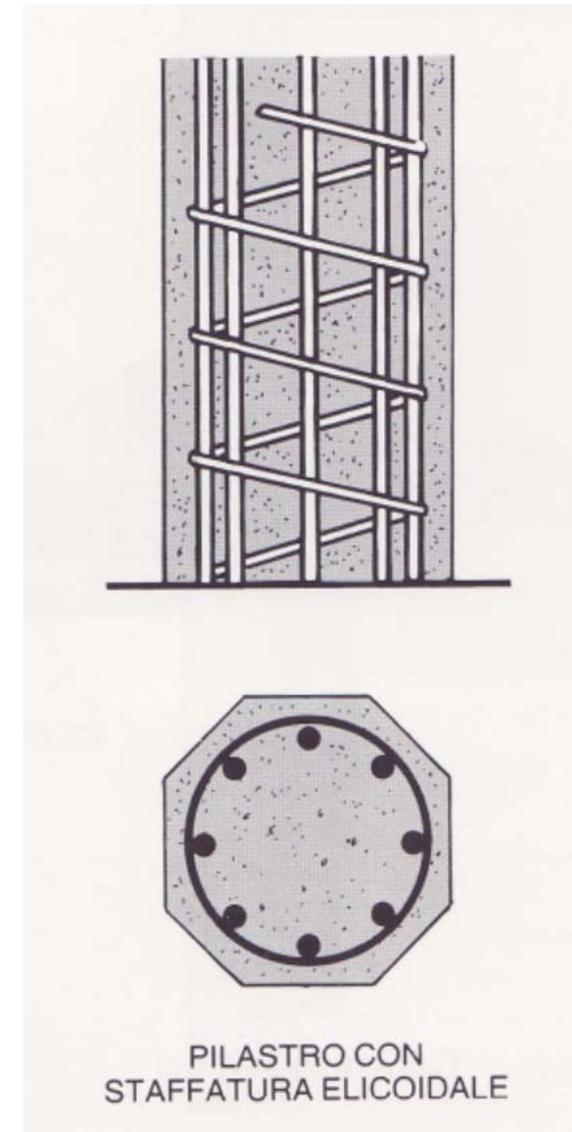
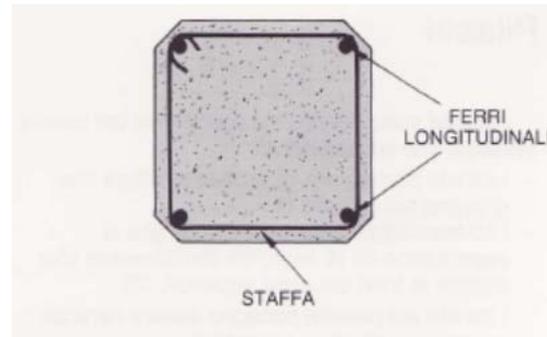
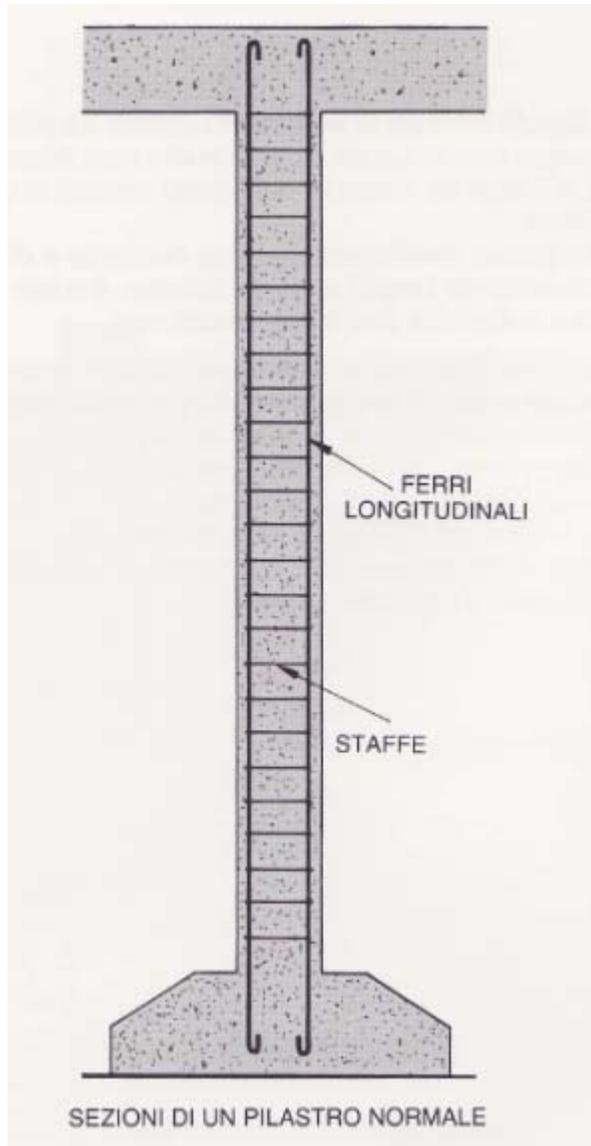
**PILASTRI**

I pilastri sono destinati a sopportare dei carichi verticali, che comprendono:

- i carichi permanenti di tutte le strutture che gravano sul pilastro (1-2),
- i sovraccarichi delle travi e solai che si appoggiano su di esso, sia direttamente che tramite le travi dei piani superiori (3).

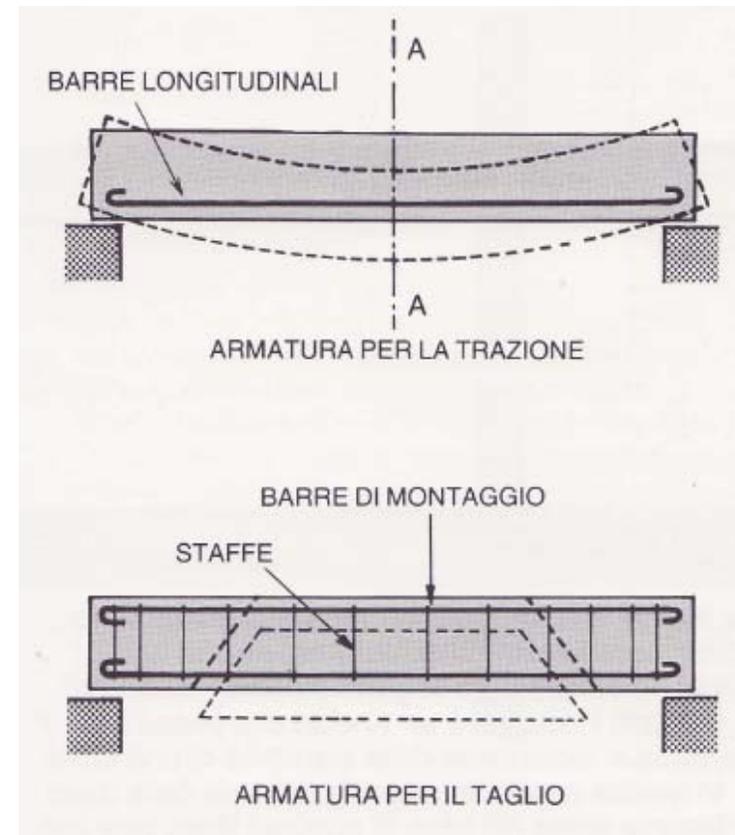
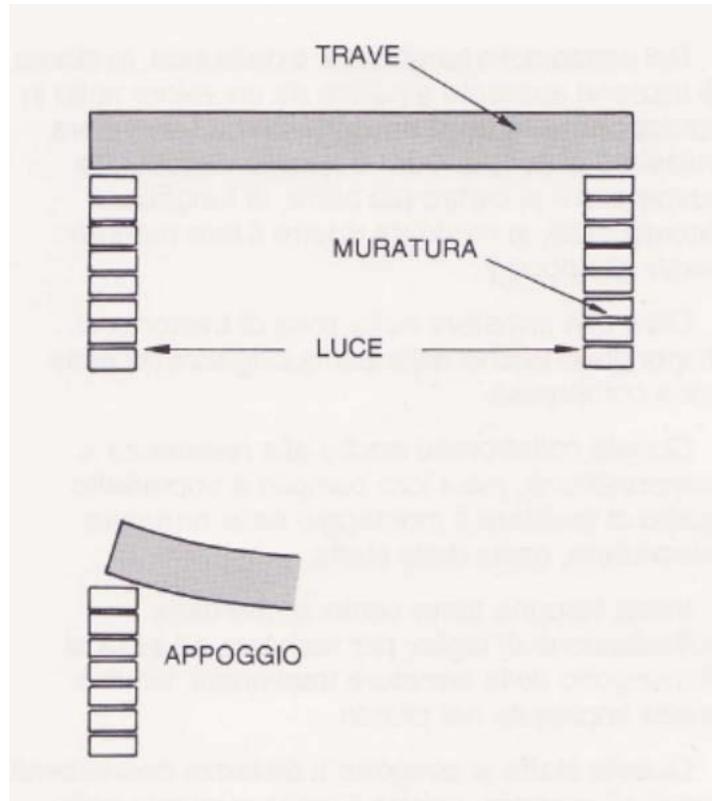
I carichi sul pilastro possono essere centrati, oppure non centrati, eccentrici.



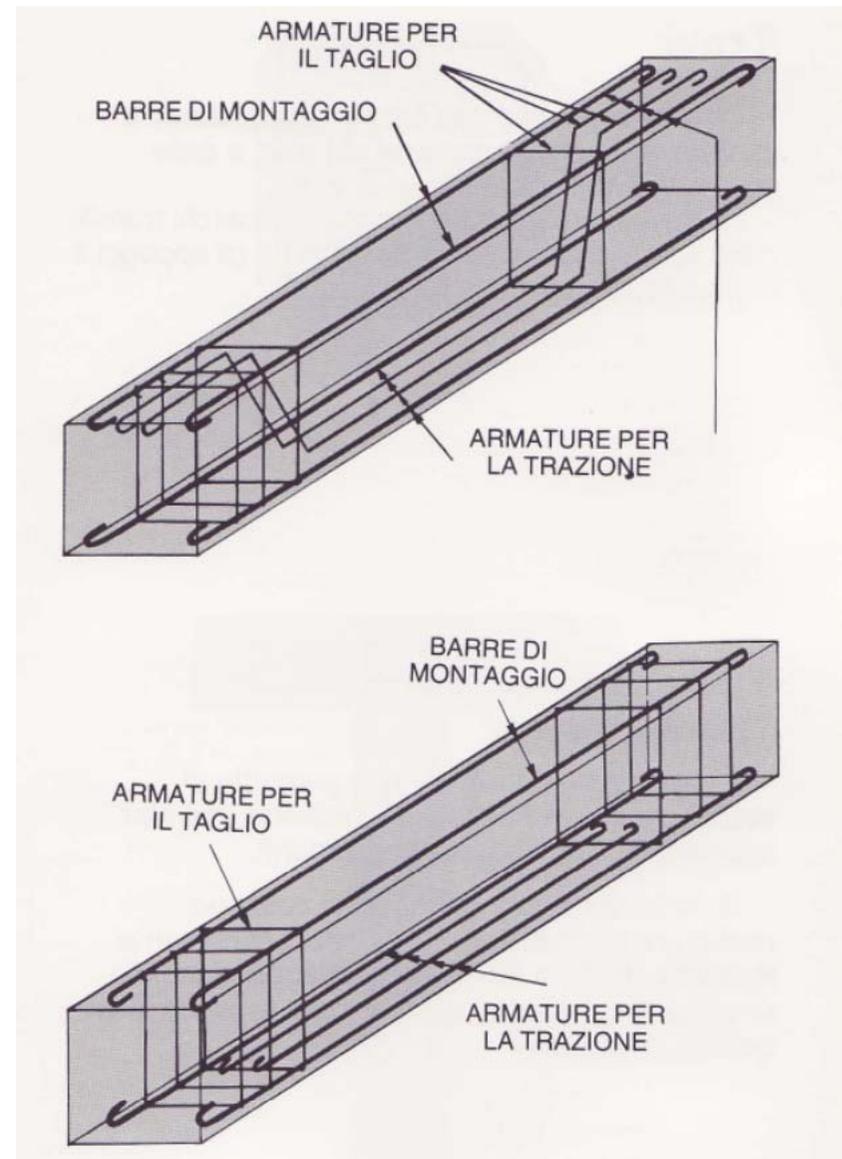
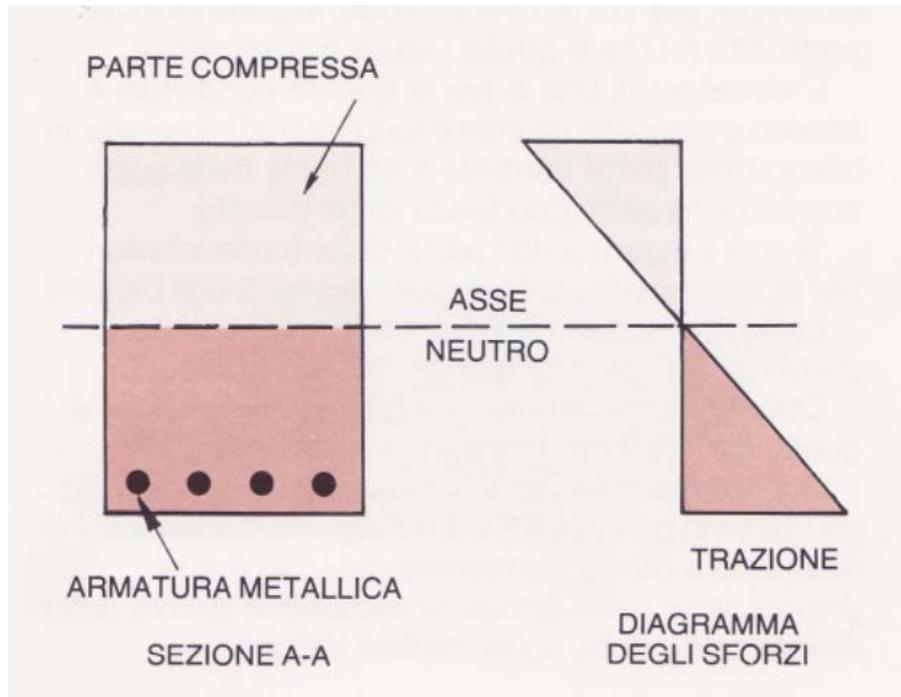


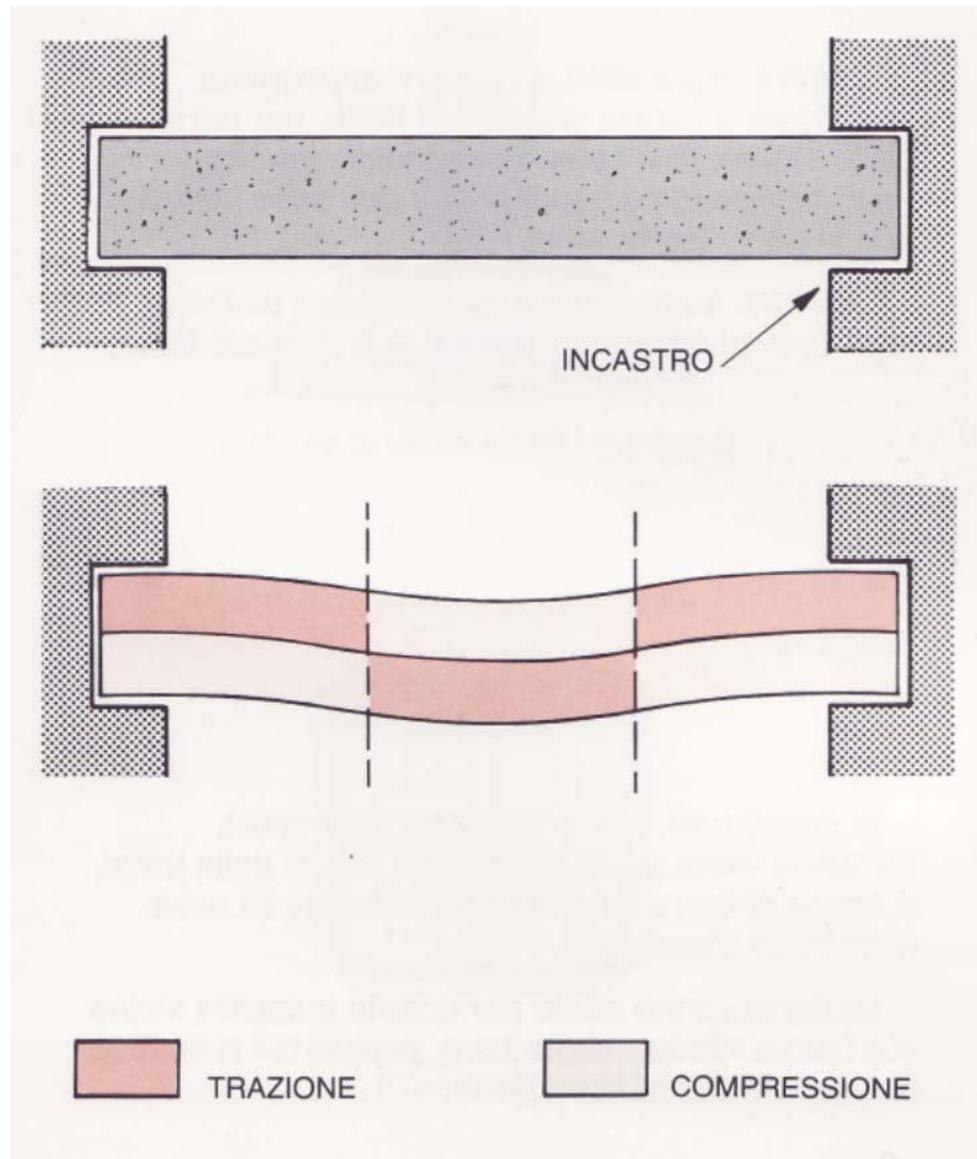


TRAVI



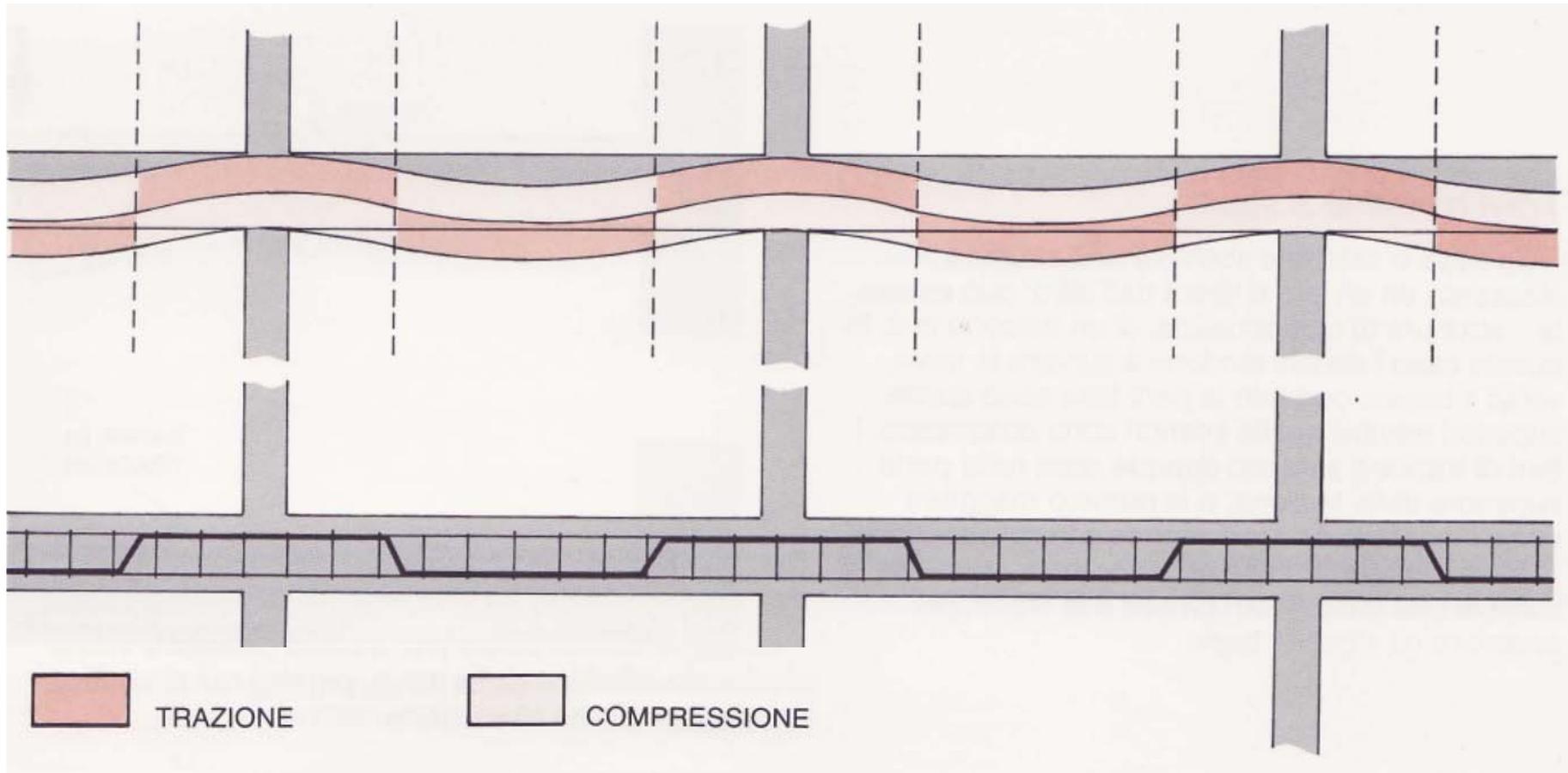
TRAVI APPOGGIATE





## TRAVI INCASTRATE

## TRAVI CONTINUE





Villa Savoye – Le Corbusier  
(Poissy-Parigi 1929/1931)







Le **STRUTTURE DI ELEVAZIONE CON GETTO IN OPERA MEDIANTE ELEMENTI SEMIPREFABBRICATI** vengono realizzate secondo le medesime operazioni svolte nel ciclo tradizionale, ma impiegano elementi costruttivi già parzialmente formati in stabilimento:

-pilastri cavi e travi semiprefabbricate con solette di contenimento e armatura.

Lo **scopo** di tale metodo di costruzione è quello di mantenere le stesse caratteristiche di produzione in cantiere, velocizzando però i cicli di lavorazione.

i componenti semiprefabbricati sono molto più leggeri e consentono risparmi nei costi di trasporto.

Gli elementi tecnici semiprefabbricati, sia travi che pilastri, realizzano una sorta di cassaforma a perdere consentendo di evitare i tempi e i costi della formazione in opera dei casseri.

Una volta posizionati gli elementi in calcestruzzo verticali, a questi si appoggiano gli elementi di trave e si predispongono le armature verticali integrandole con quelle già alloggiare negli elementi di trave semiprefabbricati. Il collegamento è assicurato da asole o da distanziatori e sono inoltre previsti dispositivi per agevolare le operazioni di centraggio, regolazione e messa in piombo, come spinotti e piastre bullonate.

Dopo il posizionamento dei solai, si procede al getto del calcestruzzo che ha la funzione di completare gli elementi costruttivi oltre che di realizzare l'integrazione strutturale fra gli elementi stessi (**un getto di completamento**).

**Le strutture di elevazione prefabbricate** in stabilimento consentono:

- risparmio economico
- migliore qualità dei manufatti prodotti (qualità dei materiali, degli impasti, precisione del posizionamento delle armature, dimensionamenti e tolleranze dei manufatti)

A differenza delle strutture prefabbricate a grandi elementi (pannelli portanti ed elementi tridimensionali) l'impiego di elementi strutturali quali pilastri e travi consente di mantenere soddisfacenti gradi di flessibilità nel progetto, richiedendo unicamente al progettista di attenersi a regole di coordinazione modulare e a tolleranze fissate dai diversi sistemi, senza particolari aggravii per la qualità del progetto.

Le strutture di elevazione prefabbricate sono montate in opera con getti di integrazione e vengono realizzate attraverso l'impiego di componenti prefabbricati in grado di assolvere completamente tutte le funzioni statiche richieste; l'assemblaggio fra i diversi elementi avviene tramite particolari configurazioni degli elementi di testata e la predisposizione di alloggiamenti e di ferri di attesa e di ripresa caratteristici di ciascun sistema costruttivo.

La continuità nella trasmissione dei carichi viene assicurata attraverso le connessioni fra i diversi elementi, attuata a secco con saldature e bullonature fra piastre di fissaggio, con interposizione di malte o strati di materiali plastici; oppure a umido, mediante getto di calcestruzzo che in questo caso sarà chiamato getto integrativo.



Trave reticolare autoportante  
intralicciata in acciaio (trave REP)

I pilastri possono essere di tipo monopiano oppure anche pluriplano fino a realizzare tre elevazioni per ciascun elemento.

Ai pilastri vengono appoggiate le travi, pure prefabbricate, a cui segue la predisposizione dei componenti di solaio, il posizionamento dei ferri integrativi e delle reti elettrosaldate, quindi viene eseguito il getto di integrazione degli elementi strutturali ed eventualmente il getto di completamento dei solai quando questi non siano già completamente prefabbricati in piastre.

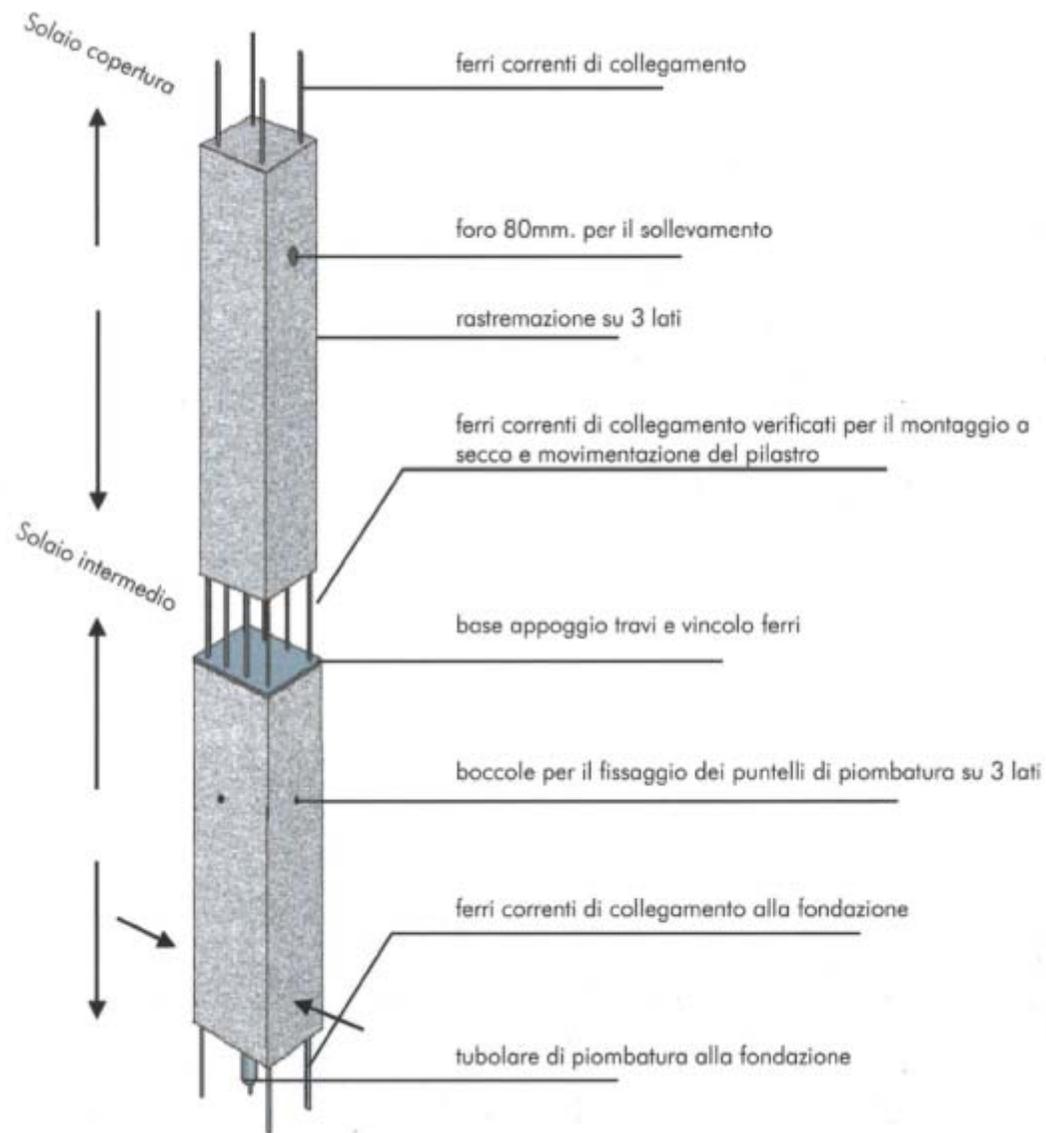
I pilastri pluriplano possono essere caratterizzati da mensole sporgenti per l'appoggio delle travi oppure presentare le sezioni con i ferri scoperti in corrispondenza delle travi, utilizzando le superfici in calcestruzzo delle sezioni sottostanti come appoggio provvisorio delle travi e prevedendo un getto integrativo per la connessione rigida del nodo.

Le fondazioni delle strutture a telaio prefabbricate possono essere realizzate pure con plinti prefabbricati, in questo caso sono previsti alloggiamenti a bicchiere nei quali il pilastro viene posizionato, oppure elementi tubolari in acciaio di centraggio; successivamente il componente verticale viene fissato con getto integrativo di malta espansiva.





Pilastri pluriplano prefabbricati durante la loro movimentazione e messa a piombo in cantiere

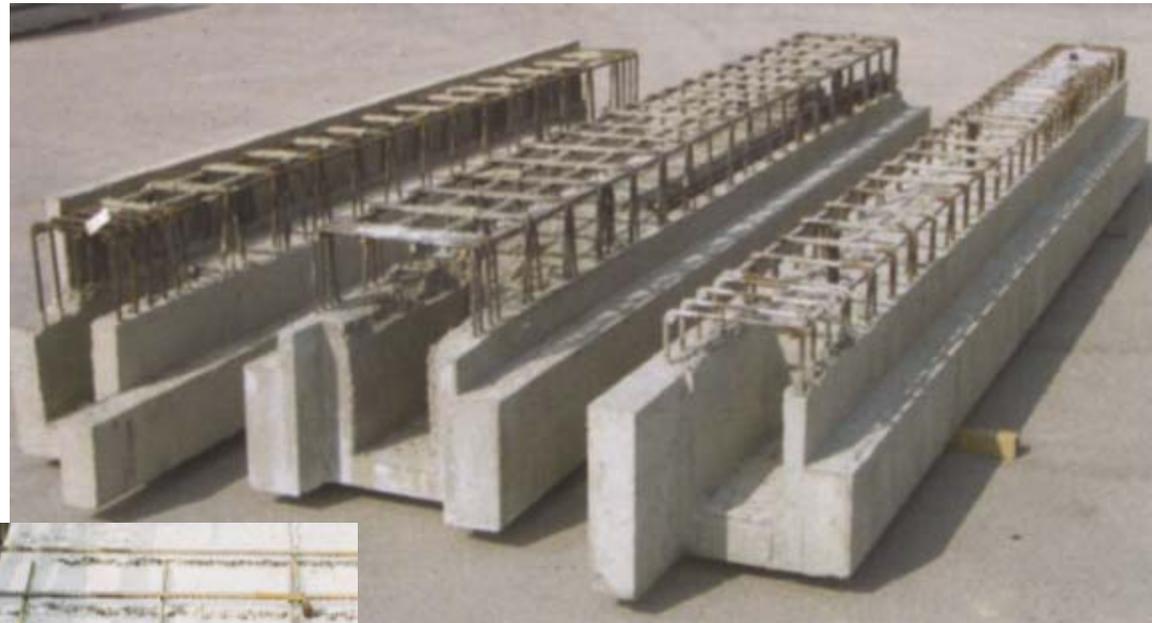




Stoccaggio di pilastri prefabbricati prima del loro montaggio



Pilastri prefabbricati monopiano e pluripiano



Travi prefabbricate prima e dopo la posa in opera



Movimentazione e posizionamento delle travi prefabbricate