

Il testo è stato sottoposto al processo di valutazione double-blind peer review

Immagini e disegni in copertina:

- Colata di calcestruzzo all'interno dei blocchi Isotex, blocchi cassero di legno-cemento (*Isotex S.r.l.*)

- Solaio contro terra realizzato con casseri a perdere di plastica riciclata (igloo) (*Cazzaniga Costruzioni civili ed industriali S.r.l.*)

- Montaggio della facciata a cellule indipendenti del Solar Carve Tower, grattacielo sulla High Line a Manhattan (NY) – 40 Tenth Avenue (*Focchi S.p.A.*)

- Ferri di armatura e casseri per la realizzazione di una fondazione a trave rovescia (*Cazzaniga Costruzioni civili ed industriali S.r.l.*)

- Sezione verticale di una parete realizzata con blocchi Ytong e serramento di PVC con cassonetto. Solaio di latero-cemento con travetti prefabbricati di tipo tralicciato con fondello di laterizio, pacchetto per il riscaldamento a pavimento e pavimentazione realizzata con listelli di parquet (*Elaborazione di Valentina Puglisi*)

ISBN 978-88-916-3058-2

© **Copyright 2019 Maggioli S.p.A.**

È vietata la riproduzione, anche parziale, con qualsiasi mezzo effettuata, anche ad uso interno e didattico, non autorizzata.

Maggioli Editore è un marchio di Maggioli S.p.A.

Azienda con sistema qualità certificato ISO 9001:2008

47822 Santarcangelo di Romagna (RN) • Via del Carpino, 8

Tel. 0541/628111 • Fax 0541/622595

[www.maggiolieditore.it](http://www.maggiolieditore.it)

e-mail: [clienti.editore@maggioli.it](mailto:clienti.editore@maggioli.it)

Diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica, di riproduzione e di adattamento, totale o parziale, con qualsiasi mezzo sono riservati per tutti i Paesi.

Il catalogo completo è disponibile su [www.maggiolieditore.it](http://www.maggiolieditore.it) area università

Finito di stampare nel mese di febbraio 2019 nello stabilimento Maggioli S.p.A  
Santarcangelo di Romagna (RN)

*Valentina Puglisi*



**Fig. 5.1:** Realizzazione di palificazioni di tipo “berlinese” e di fondazioni a trave rovescia.

Le fondazioni sono elementi portanti di una costruzione posti a diretto contatto con il terreno. Esse hanno il compito di assorbire i carichi di una costruzione (permanenti e accidentali<sup>121</sup>) e di trasmetterli uniformemente al terreno. La superficie di contatto tra la base della fondazione e il terreno è detta “piano di posa”.

---

<sup>121</sup> Sono considerati carichi permanenti gli elementi strutturali come i solai, i setti, gli isolamenti, ecc. Sono definiti tali a causa del peso proprio della struttura e ai carichi che gravano sulla struttura per il suo intero periodo di vita. Per determinare il peso proprio di una struttura è necessario calcolare il volume degli elementi che compongono la stessa e moltiplicarlo per il loro peso per unità di volume (il peso per unità di volume dei principali materiali da costruzione è messo a disposizione dalla normativa). Sono considerati carichi accidentali, invece, gli elementi non strutturali come gli arredi, le persone, gli agenti atmosferici, ecc. La determinazione di questi carichi viene effettuata o tramite apposite analisi o assumendo valori imposti da regolamenti e norme.

Per garantire la funzionalità della struttura in elevazione, il sistema delle fondazioni deve soddisfare alcuni requisiti; in particolare, il carico trasmesso in fondazione non deve:

- portare a rottura il terreno sottostante;
- indurre nel terreno cedimenti eccessivi tali da compromettere la stabilità e la funzionalità dell'opera sovrastante;
- produrre fenomeni di instabilità generale (come nel caso di strutture realizzate su pendii);
- indurre stati di sollecitazione nella struttura di fondazione incompatibili con la resistenza dei materiali.

La verifica di stabilità dell'insieme terreno-fondazione consiste:

- nella determinazione di quella che viene definita capacità portante (o carico limite) e che rappresenta la pressione massima che una fondazione può trasmettere al terreno prima che questo raggiunga la rottura;
- nel confronto del carico limite con il carico di esercizio trasmesso dalla fondazione al terreno.

La scelta del tipo di fondazione viene effettuata sulla base dei seguenti parametri:

- l'entità e la distribuzione dei carichi;
- la natura del terreno rilevata mediante indagini preliminari (acquisizione di carte geologiche e osservazione del comportamento di costruzioni già esistenti), indagini di laboratorio (analisi su campioni di materiali raccolti sul sito tramite carotaggi) e indagini in sito (prove penetrometriche, prove di carico, ecc.).

Il risultato di tali indagini fornisce un dato fondamentale: la portanza del terreno, espressa in  $\text{kg/cm}^2$  che costituisce l'elemento fondamentale per il dimensionamento strutturale delle fondazioni.

La realizzazione delle fondazioni è preceduta dai seguenti lavori:

- *tracciamento*: individua il posizionamento planimetrico dell'edificio all'interno dell'area e la "quota zero" dell'edificio;
- *scavo e sbancamento*: asportazione generale del terreno all'interno dell'area individuata dalle operazioni di tracciamento, fino a raggiungere la quota che accoglierà gli elementi di fondazione previsti;
- *opere di fondazione*: interventi relativi alla realizzazione delle fondazioni vere e proprie, dei muri di sostegno, ecc.

Le fondazioni si possono distinguere in due categorie: fondazioni dirette e indirette.

La definizione della profondità a cui devono giungere le strutture di fondazione determina un'ulteriore modalità di classificazione. Si

definiscono superficiali le strutture di fondazione impostate ad una profondità non superiore agli 8 metri (due piani entro terra) e fondazioni profonde quelle impostate al di sotto, generalmente poggianti su pali. Le fondazioni non appoggiano direttamente sul terreno poiché le armature potrebbero ossidare; per questo motivo viene realizzato uno strato di calcestruzzo a basso contenuto di cemento, detto “magrone”<sup>122</sup>, di spessore variabile dai 10 ai 15 centimetri, il cui compito è quello di fornire una base livellata su cui appoggiare le strutture di fondazione, limitando le possibilità di risalita capillare dell’umidità nelle strutture sovrastanti.

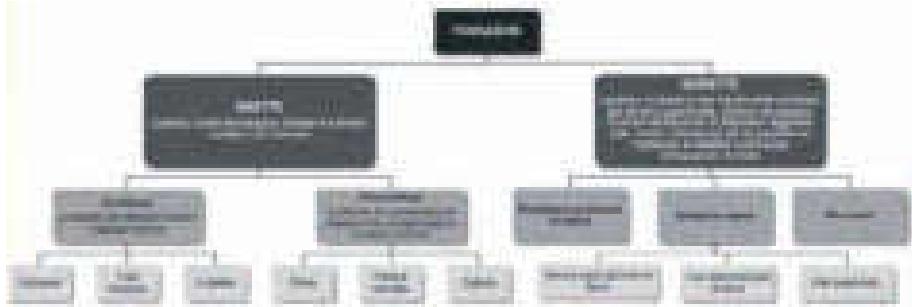


Fig. 5.2: Sistema di classificazione delle fondazioni.

### 5.1. Le fondazioni dirette

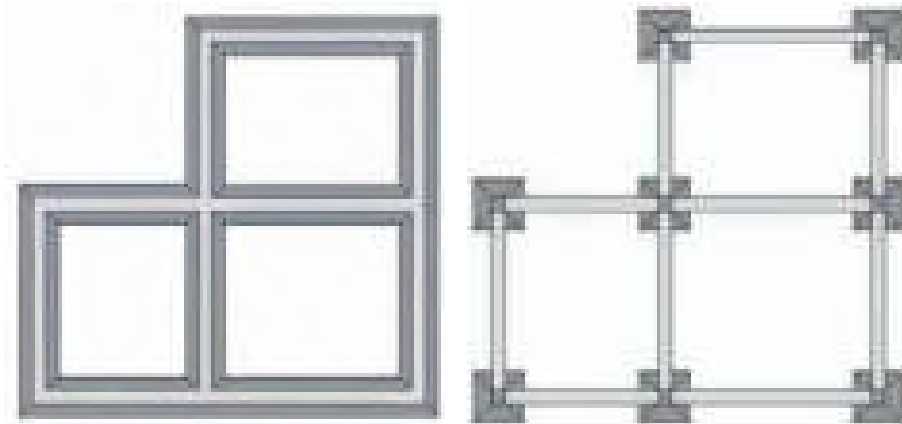
Le fondazioni dirette sono fondazioni superficiali che raggiungono il terreno portante entro 10 metri di profondità. Il piano di posa deve essere situato al di sotto della coltre di terreno vegetale e al di sotto dello strato interessato dai fenomeni di gelo e umidità<sup>123</sup>. «Devono essere direttamente difese o poste a profondità tale da risultare protette dai fenomeni di erosione del terreno superficiale»<sup>124</sup>. A seconda della

<sup>122</sup> Il magrone è un calcestruzzo “magro”, ovvero non strutturale realizzato con quantitativi ridotti di cemento (meno di 150 kg/m<sup>3</sup>) e una curva granulometrica degli inerti a dimensione abbastanza grossa. Lo scopo del magrone è quello di costituire un piano di appoggio orizzontale per il posizionamento dei ferri d’armatura delle fondazioni. Infatti, lo strato di magrone, essendo il primo elemento della fondazione, è adagiato sulla superficie (terreno) risultante dallo scavo. Altra importante funzione del magrone è quella di mantenere i ferri di fondazione distanti dalla terra nuda, evitando così contatti con l’umidità e conseguenti rischi di corrosione dei ferri.

<sup>123</sup> La linea di gelo in Italia può andare da una quota minima di 50 centimetri fino a un massimo di 150 centimetri sotto il piano di campagna.

<sup>124</sup> Tronconi, O. (2008), *Tecnologia dell’architettura*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), p. 170.

tipologia di struttura di elevazione e del valore di portanza del terreno<sup>125</sup>, si possono realizzare strutture di fondazione continue o discontinue.



**Fig. 5.3:** Fondazione continua (a sinistra) e discontinua (a destra).

### **5.1.1. Le fondazioni dirette continue**

Nel caso di una fondazione diretta continua l'edificio insiste su una superficie continua in grado di ripartire omogeneamente il carico sul terreno. Esse sono caratterizzate da una doppia funzionalità: da una parte aumentano la superficie resistente sul terreno, dall'altra collegano le strutture di elevazione sovrastanti.

Tali fondazioni sono realizzate attraverso l'utilizzo di due o più elementi portanti, collegati al piede da un'unica struttura di fondazione. Sono fondazioni tipiche delle opere di muratura ma possono essere utilizzate anche per strutture portanti a telaio.

A seconda delle caratteristiche portanti del terreno, possono essere utilizzate diverse tipologie di fondazioni dirette continue, quali: le fondazioni ordinarie, le travi rovesce e le fondazioni a platea.

---

<sup>125</sup> La portanza è la capacità di un terreno di sopportare le sollecitazioni di compressione verticale dovute ad un carico sovrastante. Il calcolo della capacità portante è frutto di un complesso procedimento di valutazione, su cui influiscono molteplici fattori, fra cui: resistenza meccanica del terreno, storia tensionale del terreno, intensità dei carichi, eccentricità dei carichi, forma della sovrastruttura e della fondazione, approfondimento del piano di posa e presenza di carichi adiacenti alla zona in esame.



**Fig. 5.4:** Fondazione ordinaria (a sinistra), trave rovescia (al centro) e a platea (a destra).

Le *travi rovesce*<sup>126</sup> vengono utilizzate per terreni di media e buona portanza con possibilità di cedimenti. Tale fondazione ripartisce sulla superficie di appoggio i carichi trasmessi dalle strutture sovrastanti. Le fondazioni a travi rovesce si chiamano così perché, a differenza delle comuni travi che trasmettono sui pilastri i carichi che ricevono dall'alto, il comportamento di queste travi di fondazione è simile ad una trave rovesciata caricata dalla reazione del terreno che agisce dal basso verso l'alto.

Le fondazioni a travi rovesce sono configurate in modo da formare un reticolo ortogonale di travi ugualmente ordite.



**Fig. 5.5:** Casserature per la realizzazione delle travi rovesce.

<sup>126</sup> Per maggiori informazioni sulle fondazioni realizzate con travi rovesce, si vedano i dettagli tecnologici n. 1 e n. 2 riportati alla fine del presente capitolo.



**Fig. 5.6:** Fasi per la realizzazione di una fondazione a trave rovescia. Fase 1 (in alto): esecuzione dello scavo di sbancamento, realizzazione del magrone e posizionamento dei ferri di armatura. Fase 2 (in basso): posizionamento dei ferri di ripresa per la realizzazione dei pilastri.



**Fig. 5.7:** Fase 3 per la realizzazione di una fondazione a trave rovescia: posizionamento delle casserature<sup>127</sup> per la successiva gettata del calcestruzzo.

Le *fondazioni ordinarie* vengono utilizzate per terreni caratterizzati da buona portanza il cui terreno portante è raggiungibile entro 4 metri di profondità.

Le *fondazioni a platea* vengono utilizzate per terreni di scarsa portanza o quando devono essere realizzate strutture in elevazione aventi carichi rilevanti. Si tratta di una fondazione estesa su una superficie continua e uniforme che occupa circa il 60% della pianta dell'edificio. È la fondazione maggiormente utilizzata in quanto permette di avere maggiori garanzie di omogeneità di comportamento della fondazione limitando il rischio di cedimenti differenziali nelle strutture.

Un ulteriore elemento di preferenza di tale soluzione è dato dalla facilità di messa in opera dato che non necessita di alcuna operazione di carpenteria. Le platee hanno generalmente uno spessore variabile fra i 40 e gli 80 centimetri; per ovviare ad un eccessivo spessore è opportuno predisporre delle nervature di calcestruzzo armato 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.

---

<sup>127</sup> I casseri sono elementi (prefabbricati o realizzati in opera) predisposti per il getto di calcestruzzo semplice o armato.



**Fig. 5.8:** Realizzazione di una fondazione a platea.

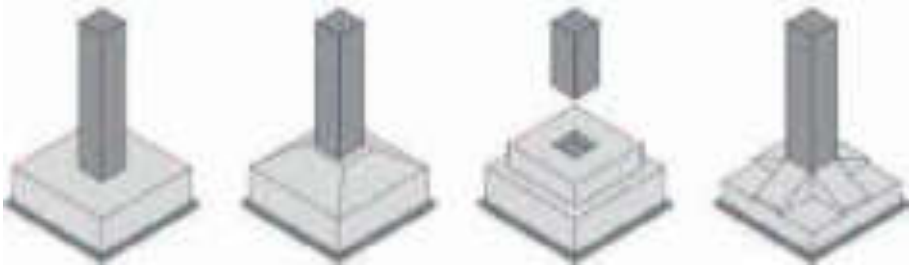
### **5.1.2. Le fondazioni dirette discontinue**

Le fondazioni dirette discontinue vengono realizzate con elementi portanti verticali fondati separatamente gli uni dagli altri e collegati da cordoli (secondo quanto previsto dalla normativa antisismica). Esse vengono utilizzate quando le strutture in elevazione sovrastanti sono di tipo a telaio.

Esistono diverse tipologie di fondazioni dirette discontinue, quali: il plinto, la piastra nervata e la zattera.

Il *plinto*: viene utilizzato per terreni aventi discreta portanza. È un elemento strutturale di forma generalmente quadrata, rettangolare o trapezoidale, disposto al piede del pilastro in modo tale da diffonderne adeguatamente il carico sul terreno di fondazione. La morfologia del plinto utilizzato con più frequenza deriva dalla maggiore semplicità e rapidità esecutiva e può essere riferita essenzialmente a due tipologie:

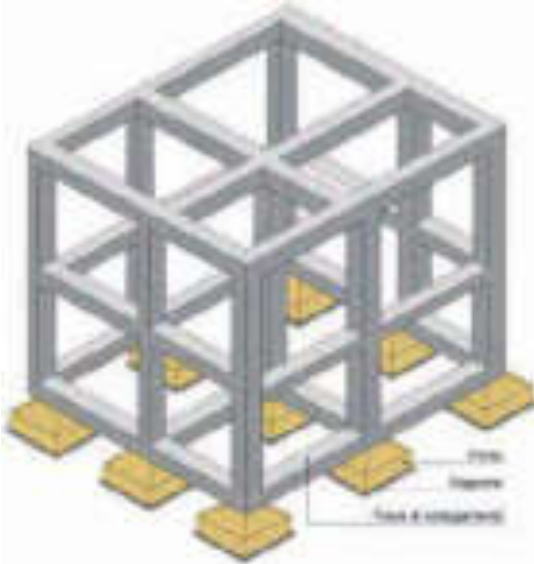
- *plinto parallelepipedo*: di grande rapidità esecutiva nella formazione delle carpenterie e nell'esecuzione dei getti ma con un maggiore utilizzo di armature;
- *plinto tronco-piramidale*: di minore rapidità costruttiva ma con minore impiego di armature.



**Fig. 5.9:** Da sinistra verso destra: plinto parallelepipedo, tronco-piramidale, prefabbricato (con evidenza del “bicchiere”) e nervato.

In funzione della loro altezza, il plinto può essere suddiviso in:

- *plinto alto*: la sua altezza è maggiore dell’oggetto rispetto al pilastro. Il plinto alto di cemento armato risulta il più rigido e anche il più economico per via della ridotta presenza di armatura;
- *plinto basso*: la sua altezza è inferiore all’oggetto rispetto al pilastro. Tale soluzione permette di minimizzare le operazioni di sbancamento;
- *plinto zoppo*: presenta allargamenti pronunciati su uno dei lati<sup>128</sup>. Viene utilizzato quando occorre fondare pilastri in aderenza a costruzioni preesistenti.



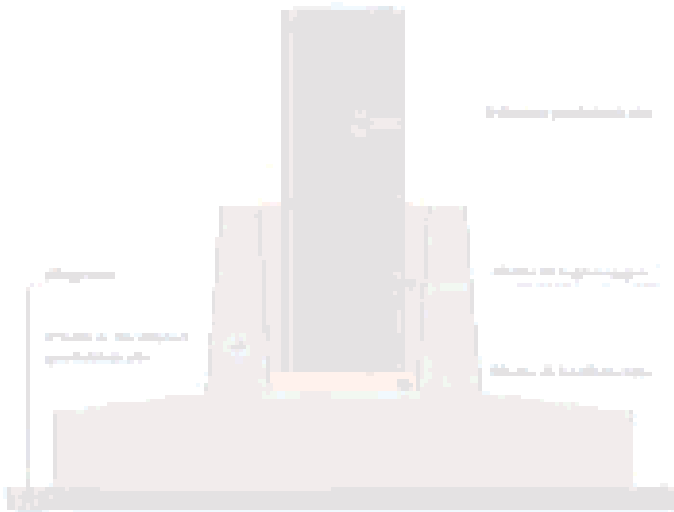
**Fig. 5.10:** Gli elementi di una struttura portante a telaio: i plinti di fondazione, poggianti su uno strato di magrone di calcestruzzo alleggerito, secondo quanto previsto dalla normativa antisismica, vengono connessi gli uni agli altri da delle travi di collegamento. Sopra i plinti vengono realizzati i pilastri.

<sup>128</sup> Per maggiori informazioni sul plinto zoppo si veda il “*Dettaglio tecnologico 3*” riportato alla fine del presente capitolo.



**Fig. 5.11:** Plinto di fondazione con ferri di ripresa per la realizzazione del pilastro.

Il plinto può essere anche di tipo prefabbricato, realizzato quindi in stabilimento utilizzando casseforme di acciaio riutilizzabili. Generalmente è caratterizzato da una forma tronco-piramidale. Il posizionamento del



pilastro sul plinto di fondazione avviene mediante un apposito alloggiamento, chiamato “bicchiere”, entro il quale il pilastro viene prima centrato e poi completato con un getto di calcestruzzo.

**Fig. 5.12:** Plinto di calcestruzzo a bicchiere di tipo prefabbricato.

Nel caso, invece, di strutture in elevazione realizzate di acciaio, al plinto (di calcestruzzo) viene saldata una piastra orizzontale forata che funge da collegamento tra i due elementi. Il fissaggio del pilastro con il plinto avviene attraverso l'utilizzo di una serie di barre di ancoraggio, chiamate “tirafondi”, che fungono da armature di ripresa e sono annegate nel getto del plinto stesso. Secondo la normativa antisismica, i plinti di fondazione devono obbligatoriamente essere collegati tra di loro mediante cordoli di calcestruzzo armato o attraverso delle vere e proprie travi ordite secondo due direzioni ortogonali<sup>129</sup>.

<sup>129</sup> Per le strutture di cemento armato la normativa prevede alcuni accorgimenti tecnici per garantire migliori condizioni di stabilità, quali:

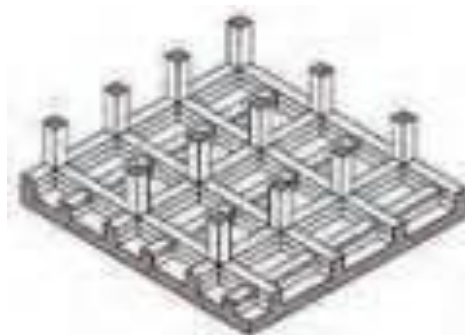
- la maggiorazione delle sezioni del 25% rispetto alle dimensioni ricavate dai calcoli, sia per le strutture di elevazione che per le fondazioni;
- interposizione dei giunti ogni 20 m di lunghezza del fabbricato;
- cordoli di cemento armato di collegamento dei plinti da realizzarsi nel punto di innesto pilastro-plinto;
- cordoli di cemento armato da realizzarsi a livello di ogni solaio in corrispondenza del nodo pilastro-trave-solaio, estesi a tutto il perimetro del fabbricato. Il cordolo deve essere anche a livello del solaio di gronda, ecc.



**Fig. 5.13:** A sinistra alloggiamento del pilastro prefabbricato su trespole di fondazione annesso nella platea; centraggio del pilastro attraverso il tubolare di piombatura e posizionamento dei ferri di collegamento; a destra dettaglio delle armature di fondazione e della piastra con tirafondi.

Fonte: Corso di tecnologia dell'architettura dell'Ing. Marco Palazzuoli, lezione "Le Strutture Portanti: strutture di fondazione – plinti".

La **piastra nervata**: per necessità derivate dal calcolo delle strutture o da vincoli di natura progettuale può verificarsi la necessità di avere pilastri molti vicini; in tal caso è bene fondare insieme i due o più pilastri collocati a distanza ravvicinata.



**Fig. 5.14:** La piastra nervata.

La **zattera**: i plinti sono collegati tra loro da cordoli.

## 5.2. Le fondazioni indirette

«Non sempre il terreno fornisce valori di portanza sufficienti a garantire la stabilità dell'apparato fondale, ciò sia per le caratteristiche geologiche del terreno stesso (fondi sabbiosi, acquitrinosi, ecc.) sia per il carico notevole dovuto ad edifici alti»<sup>130</sup>.

Le fondazioni indirette raggiungono profondità rilevanti (dai 6 metri fino ai 30 metri e oltre) e vengono realizzate attraverso la costruzione di pali.

<sup>130</sup> Arbizzani, E. (2008), *Tecnologia dei sistemi edilizi. Progetto e costruzione. Con disegni e particolari costruttivi, immagini di cantiere e dettagli edilizi, figure e schemi funzionali*, Maggioli Editore, Sant'Arcangelo di Romagna (RN), pag. 67.

Formalmente, con le palificazioni si ovvia alla scarsa portanza degli strati superficiali del terreno, realizzando degli elementi verticali (infissi o gettati) che raggiungono gli strati più compatti.

I pali possono essere gettati in opera o prefabbricati. La loro capacità portante è data dal diametro del fusto (da un minimo di 200 millimetri fino a un massimo di 1.000 millimetri) e dal materiale che lo costituisce.

Essi vengono posizionati al di sotto delle strutture di fondazione superficiali (plinti, travi rovesce, platee, ecc.) al fine di creare un solido piano di appoggio per la fondazione. Devono essere collegati da cordoli o travi di collegamento in modo da ripartire uniformemente sul terreno il carico dell'edificio sovrastante.

Le fondazioni indirette vengono spesso utilizzate anche come paratie di contenimento per effettuare lavori di sbancamento (parcheggi interrati, muri di contenimento, ecc.).

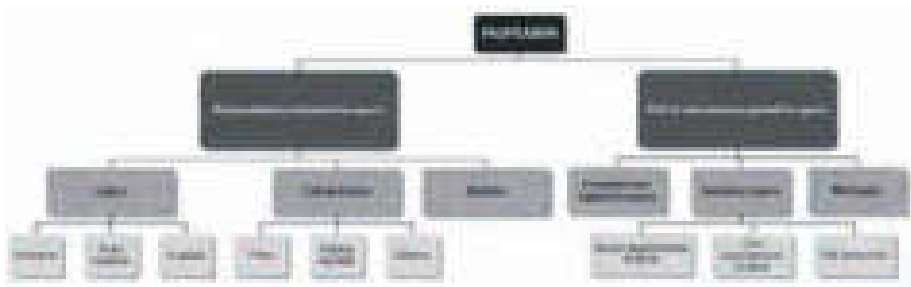


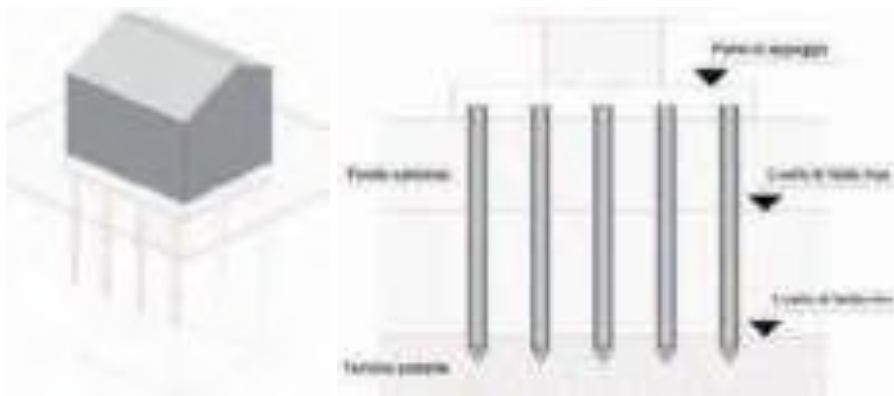
Fig. 5.15: Classificazione delle palificazioni.

### 5.2.1. I pali prefabbricati battuti in opera

I pali prefabbricati battuti in opera vengono infissi nel terreno attraverso l'utilizzo di una macchina battipalo o "berta" costituita da un "maglio" o "mazzapicchio"<sup>131</sup> e da un palo dotato di punta metallica di tipo conico che agevola il processo di battitura.

Questo sistema consente di raggiungere profondità modeste che arrivano fino a un massimo di 20 metri sotto il livello di campagna.

<sup>131</sup> Il "maglio" o "mazzapicchio" è un corpo pesante e rigido che viene fatto battere ripetutamente in cima al palo posto verticalmente sul terreno, sfruttando la forza di gravità, in modo da conficcarlo nel terreno così come un martello pianta un chiodo. Generalmente è presente una solida struttura di sostegno detta incastellatura che fa da guida di scorrimento per il palo e per il maglio, e un dispositivo di sollevamento e rilascio del maglio.



**Fig. 5.16:** Schema di funzionamento dei pali prefabbricati battuti in opera. I pali hanno la funzione di raggiungere il terreno portante e creare un piano di appoggio solido per la realizzazione dell'edificio.

I pali possono essere realizzati con i seguenti materiali<sup>132</sup>:

- **legno**: è utilizzato per modeste profondità. I pali hanno generalmente un diametro di circa 20÷25 centimetri, una lunghezza che va dai 6 ai 15 metri e sopportano un carico massimo di circa 10÷20 tonnellate<sup>133</sup>;
- **calcestruzzo**<sup>134</sup>: è utilizzato per carichi e profondità elevati (fino a 30 metri). I pali possono essere realizzati in officina o direttamente in cantiere (gettati in opera) e possono essere infissi nel terreno per battitura o per mezzo di trivelle<sup>135</sup>. Hanno sezione quadrata o poligonale dell'ordine di 25x25 cm<sup>2</sup> o 50x50 cm<sup>2</sup>, con lunghezze variabili dai 12 ai 25 metri.
- **metallo**: è utilizzato per carichi molto elevati. I pali sono di svariate tipologie e geometrie e vengono messi in opera attraverso l'uso di svariate tecnologie di battitura. Hanno notevoli doti di resistenza a compressione, trazione e flessione, facilità di trasporto, possibilità di sopportare elevati sforzi di infissione e facilità di giunzione per saldatura.

<sup>132</sup> Bellagamba Allegretti, G., *Quaderno 2*.

<sup>133</sup> CNR – Consiglio Nazionale delle Ricerche (2010), *Il manuale dell'architetto*, Sapere 2000 Edizioni Multimediali, Roma (RM).

<sup>134</sup> Per maggiori informazioni sui pali di fondazione di cemento si veda il "*Dettaglio tecnologico 3*" riportato alla fine del presente capitolo.

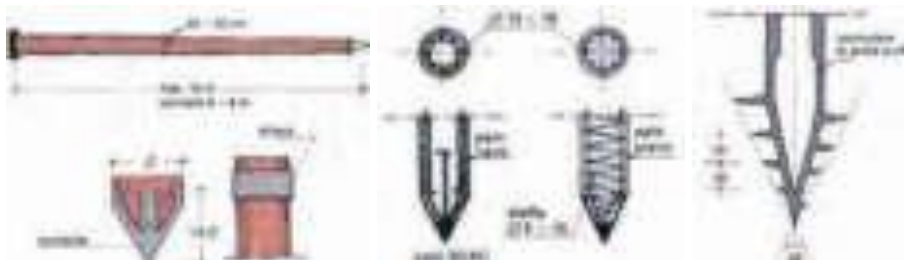
<sup>135</sup> La trivella è uno strumento utilizzato per perforare (trivellare) del materiale solido (o semi-solido) per mezzo di un elicoide che ruota sul suo asse ed in questo modo estrae il materiale creando una perforazione nel corpo in questione.



**Fig. 5.17:** Macchina battipalo o "berta". Cantiere: Campus di Architettura di via Bonardi, Politecnico di Milano.

*Fonte: Foto di Valentina Puglisi.*

I pali di legno e di calcestruzzo sono prodotti generalmente con una sezione circolare o quadrata ad angoli smussati; vengono dotati di puntazza metallica e sono caratterizzati da una sezione rastremata verso il bordo inferiore in modo da realizzare un maggiore effetto “costipamento”.



**Fig. 5.18:** I materiali (legno, calcestruzzo e acciaio) per la realizzazione dei pali.

Fonte: Tronconi, O. (2008)<sup>136</sup>.

I pali sono battuti nel terreno senza asportazione di terra. La sede è ricavata attraverso l’infissione per battitura nel terreno, tramite una macchina battipalo, di un tubo di acciaio denominato “camicia” (dal diametro di 30-40 centimetri) munito di puntazza metallica. Mano a mano che si procede all’infissione del palo si estrae la camicia.

### **5.2.2. I pali di calcestruzzo gettati in opera**

I pali di calcestruzzo gettati in opera vengono utilizzati generalmente per fondazioni gravanti direttamente su uno strato resistente. Hanno un costo di realizzazione inferiore ai pali prefabbricati ma la loro messa in opera richiede tempi più lunghi a causa delle varie fasi di lavorazione che devono essere eseguite direttamente in cantiere.

I pali sono trivellati con asportazione di terra. Sono i pali più diffusi e possono essere messi in opera in qualunque tipologia di terreno, raggiungendo elevate profondità (oltre i 20 metri). I pali trivellati possono essere realizzati tramite due modalità:

- il foro viene ricavato con l’utilizzo di una trivella a sezione cava e profilo esterno elicoidale che, una volta posizionata in verticale, viene fatta ruotare spingendola fino alla profondità richiesta; successivamente, mentre viene pompato il calcestruzzo ad impasto fluido (opportunamente vibrato e compattato), viene estratta la trivella (invertendo il senso di rotazione) e inseriti i ferri

<sup>136</sup> Tronconi, O. (2008), *Op. cit.*

- di armatura. Tale sistema è utilizzato per terreni aventi sufficienti caratteristiche di coesione;
- la sede è ricavata con un tubo di acciaio (generalmente reimpiegabile) che viene infisso nel terreno per mezzo di trivelle che consentono l'asportazione del terreno.



**Fig. 5.19:** Inserimento del calcestruzzo ad impasto fluido (vibrato e compattato) nel foro praticato dalla trivella dove sono stati collocati preventivamente i ferri d'armatura. Cantiere: Campus di Architettura di via Bonardi, Politecnico di Milano.

*Fonte: Foto di Valentina Puglisi.*

I *pali bentonitici* sono pali caratterizzati da un elevato diametro (fino a 1,5 metri) e vengono utilizzati per raggiungere profondità elevate (superiori a 50 metri).

Mentre si procede allo scavo con speciali trivelle, viene inserito nel foro del fango bentonitico<sup>137</sup> che possiede caratteristiche meccaniche simili a quelle del terreno.

---

<sup>137</sup> Il fango bentonitico è composto da acqua e argilla. Si tratta di un fango di perforazione, ossia di un fluido impiegato durante la perforazione del terreno avente alte probabilità di cedimento.



**Fig. 5.20:** Trivella a sezione cava e profilo esterno elicoidale: la macchina, dopo aver praticato il foro nel terreno, inserisce i ferri di armatura pre-assemblati. Cantiere: Campus di Architettura di via Bonardi, Politecnico di Milano.

*Fonte: Foto di Valentina Puglisi.*

### 5.2.3. I micropali

«I micropali vengono utilizzati quando si deve consolidare uno strato relativamente superficiale di terreno di sottofondazione o, come spesso accade nei restauri strutturali dei livelli fondali delle murature storiche, quando si deve realizzare una concatenazione tra le pareti in elevazione e il terreno. In questi casi vengono praticati dei fori ravvicinati nel terreno (dell'ordine di pochi centimetri di diametro) [...] e viene iniettata al loro interno, fino a rifiuto, della malta cementizia molto fluida, additivata con resine e fibre sintetiche ad alto tasso di resistenza»<sup>138</sup>.

Le tipologie più diffuse di micropali sono:

- *“berlinese”*: è utilizzata nella realizzazione di piani interrati e strutture controterra. Consiste nella realizzazione di una parete continua di pali metallici ravvicinati tra di loro che permettono di sostenere il terreno o strutture esistenti in prossimità delle quali è previsto di scavare in profondità. Il processo realizzativo prevede l'infissione di tubi metallici di diametro variabile (mediamente intorno ai 200 millimetri) che, una volta asportato il terreno, vengono riempiti con un impasto fluido di cemento. La loro profondità di infissione, tipicamente, è almeno pari al doppio della profondità di scavo prevista. Essi sono poi collegati in sommità mediante un cordolo armato di calcestruzzo o una “C” metallica saldata. Una volta completata la “berlinese” è possibile procedere allo scavo generale in sicurezza;
- *“pali radice”*: chiamati pali IGU (*Injection Globale Unique*), si realizzano nel caso di una struttura di fondazione a plinti isolati. Sono dei singoli elementi verticali (tubi metallici cavi riempiti con impasto cementizio liquido) su cui vengono realizzati i plinti, incrementando la portata localizzata del terreno. I pali radici sono dei veri e propri pali di cemento armato a fusto continuo dotati di numerosi corrugamenti ed espansioni, costituiti da un conglomerato di sabbia e cemento opportunamente additivato e dotato di armatura metallica per l'intera lunghezza. Tra i vantaggi di questo tipo di palo si possono citare: la possibilità di operare con attrezzature di ingombro e peso molto ridotti, di realizzare pali con forte inclinazione sulla verticale, di garantire un'elevata resistenza a trazione e di poter essere eseguiti in qualsiasi terreno ed in qualsiasi condizione ambientale. Questi pali basano infatti la loro portanza sulla resistenza per attrito laterale che anche un terreno di pessime caratteristiche è in grado di fornire.

<sup>138</sup> Rezzonico, G. (2011), *Costruire l'abitare*, Maggioli editore, Sant'Arcangelo di Romagna (RN).



**Fig. 5.21:** Palificazione di tipo “berlinese”.



**Fig. 5.22:** Applicazione dello SpritzBetón sui micropali. La tecnica dello SpritzBetón (o calcestruzzo spruzzato) consiste nello spruzzo, mediante una lancia ad aria compressa, di una miscela cementizia additivata con prodotti acceleranti di presa. Questi ultimi consentono l'aggrappo istantaneo del conglomerato nel momento in cui raggiunge la superficie di applicazione garantendo una massa compatta e omogenea.



**Fig. 5.23:** Dettaglio dell'applicazione dello SpritzBeton sui micropali.



**Fig. 5.24:** Trave di coronamento dei micropali realizzata mediante un cordolo armato.



**Fig. 5.25:** Collegamento dei micropali attraverso una "C" metallica saldata.



**Fig. 5.26:** Vista generale del cantiere con a lato i micropali.

### **5.3. Le sottomurazioni**

Laddove si devono realizzare delle operazioni di scavo al di sotto del piano di fondazione di edifici esistenti, è necessario intervenire mediante un consolidamento delle stesse, al fine di non indebolire la struttura portante dell'edificio.

Questo accade, per esempio, quando si vuole ricavare un piano interrato in un fabbricato esistente. La prima operazione da effettuare prevede la realizzazione di uno scavo al di sotto del livello delle fondazioni. Quest'ultime devono poi essere prolungate fino al nuovo piano di imposta e devono essere collegate tra di loro.

Le sottomurazioni sono operazioni molto delicate e, per questo motivo, devono essere eseguite con particolare perizia e secondo uno specifico metodo: i "setti alterni". Per sottomurare un edificio o una porzione di esso non è possibile intervenire in un'unica soluzione temporale, in quanto si provocherebbero dei seri danni alla struttura esistente. È perciò necessario intervenire in più fasi sui singoli setti, su lunghezze massime di 3 metri e non agendo su setti tra loro adiacenti. In questo modo le sollecitazioni all'edificio esistente saranno ridotte in quanto gli scavi saranno eseguiti in maniera parziale.

I singoli setti devono poi essere collegati tra di loro in modo da ottenere il nuovo piano di fondazione dell'edificio.

Le sottomurazioni sono delle operazioni laboriose e costosa in quanto si svolgono quasi sempre in ambienti confinati e scarsamente accessibili. Di contro costituiscono una valida soluzione per ricavare nuovi spazi sfruttabili all'interno degli edifici esistenti oppure per realizzare nuove costruzioni in aderenza a fabbricati confinanti.

### **5.4. Le fasi per la realizzazione delle fondazioni**

Le fasi per la realizzazione delle fondazioni, descritte nei paragrafi successivi, sono le seguenti:

- l'esecuzione del tracciamento;
- la realizzazione dello scavo di fondazione (sbancamento);
- la realizzazione vera e propria dell'elemento di fondazione (diretto o indiretto);
- realizzazione del vespajo (areato o a secco) e posa in opera dell'impermeabilizzazione.



**Fig. 5.27:** Le fasi per la realizzazione delle fondazioni di un edificio: 1. tracciamento; 2. scarpa di scavo; 3. scavi parziali; 4. casseri; 5. getto di calcestruzzo; 6. ferri di ripresa.  
*Fonte: Rezzonico, G. (2011)<sup>139</sup>.*

#### **5.4.1. Il tracciamento**

L'operazione di tracciamento per la realizzazione dell'edificio si compone di diverse fasi:

- la prima individua il posizionamento planimetrico dell'edificio all'interno dell'area e deve corrispondere a quello indicato nei disegni di progetto rispetto alle distanze dai confini e dagli edifici circostanti;
- la seconda individua il posizionamento altimetrico e la "quota zero" dell'edificio in relazione a quella stabilita nel progetto.

La "quota zero" corrisponde a quella del marciapiede antistante l'edificio o, in mancanza di questo, a quella stradale aumentata di 15 centimetri. La quota zero dell'edificio costituisce il punto di riferimento per l'indicazione delle altezze dei vari punti dell'edificio (quote altimetriche).

Il tracciamento ai fini cantieristici, invece, consiste nell'individuazione dei punti di accesso al cantiere dei mezzi d'opera per il trasporto e lo smaltimento dei materiali.

Operativamente il tracciamento consiste nell'utilizzo di uno strumento (tacheometro<sup>140</sup>) posizionato in modo che possa "leggere" i punti fissi indicati nel progetto e quelli desunti dalla cartografia regionale.

---

<sup>139</sup> Rezzonico, G. (2011), *Op. cit.*

Prima delle operazioni di scavo è necessario effettuare il tracciamento esterno che consiste nella realizzazione di strutture di legno (“gabaret”) tra le quali vengono tirati i fili di ferro in corrispondenza dei fili posizionati con il tracciamento planimetrico già effettuato. L’incrocio dei fili, individuerà gli spigoli del fabbricato.

#### **5.4.2. Lo scavo di fondazione**

Lo scavo di fondazione per la realizzazione dell’edificio viene stabilito tenendo in considerazione le dimensioni del fabbricato, comprese le fondazioni, a cui deve essere aggiunto uno spazio di circa 1,5 metri per la realizzazione dei lavori e della scarpa di scavo. Quest’ultima evita che il terreno intorno allo scavo frani all’interno dello stesso.

L’inclinazione della scarpa dipende dalla profondità dello scavo e, soprattutto, dalla natura del terreno. In presenza di terreno sciolto (sabbie e ghiaie) l’inclinazione deve essere di circa 135 gradi<sup>141</sup>; per uno scavo in roccia l’inclinazione della scarpa potrà essere verticale, cioè vicino a 90 gradi. Per un fabbricato realizzato su un terreno sciolto, il cui scavo è effettuato ad una profondità di 3 metri dal piano di campagna, la dimensione della scarpa potrà essere contenuta in 2 metri in aggiunta all’area di scavo; questa misura si ottiene dal rapporto 3 su 2, dove 3 corrisponde all’altezza in metri dello scavo e 2 alla larghezza della scarpa.

Quando si opera in contesti urbani edificati, ossia in prossimità di edifici esistenti (e non in aree libere), non è possibile eseguire uno scavo con scarpe laterali. Può anche capitare di trovare fondazioni che occupino una piccola porzione del terreno confinante; in questi casi è necessario realizzare opere di protezione dello scavo e degli edifici circostanti.

È possibile realizzare opere di protezione diverse in funzione della profondità dello scavo: palancole di acciaio, diaframmi di calcestruzzo armato e pali affiancati che assolvono la funzione di sostegno del terreno intorno allo scavo.

*Palancole*<sup>142</sup> e *pali affiancati* vengono utilizzati per profondità di scavo entro i 5 metri<sup>143</sup>.

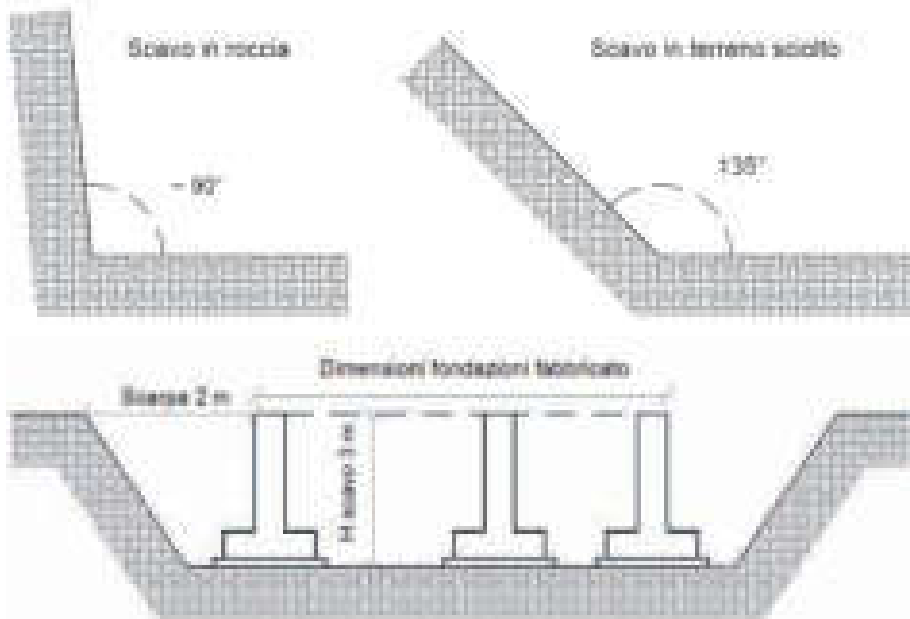
---

<sup>140</sup> Il tacheometro è uno strumento topografico atto alla misurazione di angoli azimutali e zenitali e alla determinazione di distanze e dislivelli, munito di distanziometro e declinometro magnetico.

<sup>141</sup> Per maggiori informazioni sullo scavo di fondazione realizzato con inclinazione di 135° si vedano i dettagli tecnologici n. 1 e n. 2 riportati alla fine del presente capitolo.

<sup>142</sup> Le palancole sono componenti strutturali che una volta infisse nel terreno fino ad una idonea profondità al di sotto del piano di scavo, e connesse fra di loro formano una parete verticale continua che viene definita “palancolato”. I palancolati vengono utilizzati

I *diaframmi*<sup>144</sup>, invece, consentono il sostegno di profondità di scavo molto superiori.



**Fig. 5.28:** Inclinazioni della scarpa in relazione al terreno.

con funzione idraulica e/o di sostegno del terreno e possono essere permanenti o provvisori; in quest'ultimo caso, terminato l'impiego, vengono estratte dal terreno per essere riutilizzate. Le palancole sono realizzate in diverse materiali, quali il calcestruzzo armato, il PVC (cloruro di polivinile, noto anche come polivinilcloruro), l'FRP (*Fiber Reinforced Polymers* o materiali fibrorinforzati a matrice polimerica); ma quelle più utilizzate sono quelle di acciaio sotto forma di profilati laminati a caldo o a freddo.

<sup>143</sup> Per maggiori informazioni sui pali affiancati si veda il "*Dettaglio tecnologico 3*" riportato alla fine del presente capitolo.

<sup>144</sup> Un diaframma è una struttura prefabbricata o gettata in opera che viene utilizzata per sostenere scavi artificiali di natura provvisoria o definitiva impedendo lo scivolamento del terreno all'interno dello scavo. Talvolta il solo diaframma non è in grado di reggere la spinta del terreno e si rende necessario l'inserimento al suo interno di tiranti: queste opere sono dette "*paratie tirantate*". Un diaframma è realizzato con apposite macchine provviste di ganasce o frese che, calate nel terreno attraverso dei cordoli guida, scavano una sezione verticale: per evitare crolli di materiale della parete cui viene a mancare il sostegno, lo scavo è realizzato tramite impiego di fanghi bentonitici. Eseguito lo scavo, il diaframma prefabbricato è collocato nella sede; se invece il manufatto è gettato in opera, il diaframma viene realizzato in calcestruzzo armato (l'armatura è solitamente costituita da una gabbia d'acciaio) oppure con un composto detto "plastico", costituito da bentonite e calcestruzzo.



**Fig. 5.29:** Realizzazione dello scavo di fondazione in terreno sciolto (inclinazione di 135°) e muro contro terra di calcestruzzo armato.

Terminato lo scavo di sbancamento eseguito fino alla quota delle fondazioni perimetrali, si procede con lo scavo per le fondazioni della pilastriata centrale, che presenta maggiori dimensioni rispetto a quelle perimetrali. Gli scavi parziali, eseguiti cioè sotto il piano generale di scavo, vengono effettuate con piccoli mezzi d'opera.

#### **5.4.3. La gettata del magrone e delle fondazioni**

Le operazioni per la realizzazione delle fondazioni sono di tipo ripetitivo e scadenze in modo tale da riutilizzare le attrezzature e i casseri, tenendo in considerazione i tempi di maturazione del getto di calcestruzzo<sup>145</sup>.

<sup>145</sup> La stagionatura (detta anche maturazione dei getti o post-trattamento) è l'insieme degli accorgimenti protettivi a cui deve essere sottoposto il calcestruzzo "giovane" (calcestruzzo indurito, il cui indurimento ha appena avuto inizio), al fine di mantenerlo caldo e umido, impedendo l'evaporazione dell'acqua del calcestruzzo e proteggendolo dal calore esterno, dal vento, dal gelo, dalla grandine e dalla forte pioggia. La norma UNI EN 13670-1 indica i tempi minimi di stagionatura protetta raccomandati per impedire la formazione di fessure indotte dal ritiro igrometrico. Essa stabilisce 4 classi di stagionatura

Prima della realizzazione delle fondazioni viene gettato il magrone, ovvero uno strato di calcestruzzo di circa 10-15 centimetri, che serve a rendere omogeneo il piano su cui verranno poggiate le fondazioni. Il tempo di maturazione del magrone è di circa un giorno.

Successivamente vengono posate le armature delle fondazioni, le cassature per il contenimento del calcestruzzo e viene effettuato il getto di calcestruzzo di fondazione. Trascorso un giorno, il calcestruzzo è sufficientemente maturo per il disarmo e i casseri possono essere reimpiegati nella cassatura di altre parti di fondazione.

La maturazione finale del calcestruzzo avviene dopo ventotto giorni circa, ovvero il tempo necessario perché il materiale acquisisca le proprietà di resistenza meccanica prestabilite.

Il calcestruzzo viene confezionato dall'autobetoniera o dall'impianto fisso di cantiere: attraverso una pompa o a gravità, con benne, è introdotto e vibrato nei casseri di legno. Dal getto vengono poi lasciati fuoriuscire i ferri di ripresa che servono a collegare le armature.

#### **5.4.4. La realizzazione del solaio contro terra: il contrasto dell'umidità di risalita**

L'attacco a terra di un edificio rappresenta l'insieme delle opere strutturali, di tenuta all'acqua, di isolamento e protezione, di chiusura e di predisposizione dei piani di calpestio che permettono di fruire degli spazi in prossimità del terreno, secondo le esigenze di progetto, in condizioni di sicurezza e di comfort, assicurando la durata nel tempo delle opere.

A terra, il piano di calpestio a supporto costituisce anche chiusura di separazione degli spazi interni dal terreno e dalle strutture di

---

alle quali corrispondono dei tempi minimi di stagionatura del calcestruzzo gettato, in funzione della temperatura superficiale e dello sviluppo di resistenza a 20 °C:

- classe di stagionatura 1: è previsto un tempo di stagionatura pari a 12 ore;
- classe di stagionatura 2: garantisce una resistenza meccanica della superficie del calcestruzzo pari al 35% Rck (resistenza): in funzione della temperatura superficiale il tempo di stagionatura può variare da 1÷2,5 giorni per 25 °C a 2÷11 giorni per temperature pari a 5 °C;
- classe di stagionatura 3: garantisce una resistenza meccanica della superficie del calcestruzzo pari al 50% Rck: in funzione della temperatura superficiale il tempo di stagionatura può variare da 1,5÷3,5 giorni per 25 °C a 3,5÷18 giorni per temperature pari a 5 °C;
- classe di stagionatura 4: garantisce una resistenza meccanica della superficie del calcestruzzo pari al 70% Rck: in funzione della temperatura superficiale il tempo di stagionatura può variare da 3÷6 giorni per 25 °C a 9÷30 giorni per temperature pari a 5 °C.

fondazione<sup>146</sup>. La vicinanza o contiguità con il terreno pone problemi di protezione dell'umidità. Affinché l'acqua che filtra attraverso il terreno non raggiunga la muratura ed i solai interrati, è buona norma che questi vengano isolati mediante la realizzazione di un massetto opportunamente drenato e impermeabilizzato o attraverso la creazione di intercapedini e vespai aerati.

#### 5.4.4.1. Il vespaio

Quando in un edificio non si vuole realizzare il piano cantina (le motivazioni possono essere di varia natura, dalla presenza d'acqua nel sottosuolo, ai problemi economici di contenimento dei costi) diventa indispensabile, ai fini igienici, realizzare il piano terra poggiante su un vespaio ventilato. Quest'ultimo costituisce una barriera fisica tra il terreno ed il fabbricato e, se opportunamente ventilato, permette l'eliminazione dell'umidità di risalita.

Fino a qualche anno fa i vespai venivano realizzati a secco con muretti in mattoni pieni o semi-pieni, sui quali venivano appoggiati dei tavelloni di cotto e dei travetti prefabbricati, completati da un getto armato di calcestruzzo<sup>147</sup>.

Oggi si realizzano con gli igloo, ossia con dei casseri a perdere di plastica riciclata. L'altezza dell'igloo è compresa tra i 25 e i 70 centimetri a seconda del produttore. Questi elementi vengono collegati, mediante delle apposite tubazioni, con l'ambiente esterno per permetterne l'aerazione del vespaio.

Una volta posizionati i casseri e la rete elettrosaldata, viene gettato il calcestruzzo negli spazi tra un cassero e l'altro. Il solaio viene poi completato dalla gettata del sottofondo e dalla posa della pavimentazione<sup>148</sup>.

Per realizzare i piani cantinati adibiti a box, archivi, depositi, ecc. (dove non è prevista permanenza di persone per molte ore), si possono realizzare vespai a camera d'aria. In questo caso la soletta è appoggiata su uno strato di ghiaia (ghiaione) rullata<sup>149</sup>. Sui bordi vengono successivamente realizzati dei canali di ventilazione per areare lo strato

---

<sup>146</sup> Torricelli, M.C., Del Nord, R., Felli, P (2010), *Materiali e tecnologie dell'architettura*, Editori Laterza, Bari, pag. 270.

<sup>147</sup> Per maggiori informazioni sui vespai realizzati con muretti e tavelloni si veda il "Dettaglio tecnologico 3" riportato alla fine del presente capitolo.

<sup>148</sup> Per maggiori informazioni sui vespai realizzati con igloo si veda il "Dettaglio tecnologico 2" riportato alla fine del presente capitolo.

<sup>149</sup> Per maggiori informazioni sui vespai a secco si veda il "Dettaglio tecnologico 1" riportato alla fine del presente capitolo.

di ghiaia (vespaio a secco), permettendo l'eliminazione dell'umidità di risalita.



**Fig. 5.30:** Vespaio a secco: posa dei mattoni semi-pieni per la realizzazione dei muretti.



**Fig. 5.31:** Vespaio a secco: messa in opera (sopra i muretti precedentemente realizzati) dei tavelloni di cotto e dei travetti precompressi.



**Fig. 5.32:** Solaio contro terra realizzato con casseri a perdere di plastica riciclata (igloo).



**Fig. 5.33:** Dettaglio del posizionamento degli igloo.



**Fig. 5.34:** Gettata di calcestruzzo per il completamento del vespaio, sormontato dalla rete elettrosaldata.

#### 5.4.4.2. L'impermeabilizzazione

Quando non viene realizzato un vespaio areato, risulta necessario impermeabilizzare le superfici dei manufatti a contatto con il terreno e drenare quest'ultimo con pietrame a secco in modo che l'acqua affluente trovi naturalmente la via per allontanarsi.

Per impedire che l'umidità del terreno risalga per capillarità lungo i muri in elevazione è sufficiente predisporre uno strato impermeabile che li separi orizzontalmente da quelli del cantinato. Lo strato può essere costituito da un centimetro di asfalto oppure da due centimetri di malta resa impermeabile con l'aggiunta di un idrofugo.

La prassi migliore consiste nell'impiegare della malta comune e sovrapporvi un feltro bituminato trattato con cemento plastico<sup>150</sup>. Qualora venisse utilizzata una guaina bentonitica impermeabilizzante, questa deve essere "protetta" da eventuali danni provocati dal terreno di riporto

---

<sup>150</sup> CNR – Consiglio Nazionale delle Ricerche (2010), *Op. cit.*

(di tipo ghiaioso), attraverso la collocazione di un pannello di polistirolo a perdere.



**Fig. 5.35:** Particolari della posa delle impermeabilizzazioni (guaina bentonitica impermeabilizzante color nero) sui muri contro terra e dei drenaggi.

### 5.5. Particolari costruttivi di fondazioni

In base alle soluzioni tecnologiche spiegate nel presente capitolo, di seguito vengono riportati tre disegni riepilogativi in cui sono rappresentate le seguenti combinazioni:

- *dettaglio tecnologico 1*: fondazione a trave rovescia realizzata con uno scavo inclinato di  $135^\circ$ , pilastro e soletta di cemento armato gettati in opera e vespaio a secco;
- *dettaglio tecnologico 2*: fondazione a trave rovescia realizzata con uno scavo inclinato di  $135^\circ$ , pilastro di cemento armato gettato in opera e vespaio areato realizzato con casseri a perdere (igloo);
- *dettaglio tecnologico 3*: fondazione a plinto realizzata su pali di cemento armato trivellati con asportazione di terra. Vespaio areato realizzato con muretti di mattoni pieni e tavelloni di cotto. Bocca di lupo su plinto di fondazione zoppo poggiate su un palo

di fondazione di cemento armato, realizzato con un sistema di paratie sempre di cemento armato.

Dettaglio tecnologico 1	
1	Pavimentazione per box realizzata con spolvero di quarzo - sp. 3,0 cm
2	Sottofondo di calcestruzzo - sp. 2,5 cm
3 - 12	Guaina bentonitica impermeabilizzante per strutture interrato - sp. 0,6 cm - tipo Mapeproof di Mapei
4	Soletta di calcestruzzo armato - sp. 30,0 cm
5	Rete elettrosaldata Ø5 mm, maglia 20x20 cm
6	Trave rovescia di cemento armato gettata in opera
7	Ferri d'armatura e staffe della trave rovescia Ø20 mm e staffe Ø12 mm
8	Vespai a secco realizzato con ghiaia drenante - sp. 45 cm
9	Magrone di sottofondazione di calcestruzzo magro - sp. 15,0 cm
10	Tubo corrugato per la raccolta delle acque protetto da una guaina bituminosa impermeabilizzante Ø20 cm
11	Pannello di polistirolo a perdere di protezione della guaina impermeabile - sp. 4,0 cm
13	Ferri di ripresa posizionati tra la trave rovescia e il pilastro (n. 2 ferri Ø20 + n. 2 ferri Ø12 mm)
14	Pilastro di cemento armato a sezione quadrata gettato in opera, dimensioni 45x45 cm
15	Intonaco interno - sp. 2,0 cm
16	Terreno di fondazione

**Tab. 5.1:** Fondazione a trave rovescia realizzata con uno scavo inclinato di 135°, pilastro e soletta di cemento armato gettati in opera e vespai a secco.

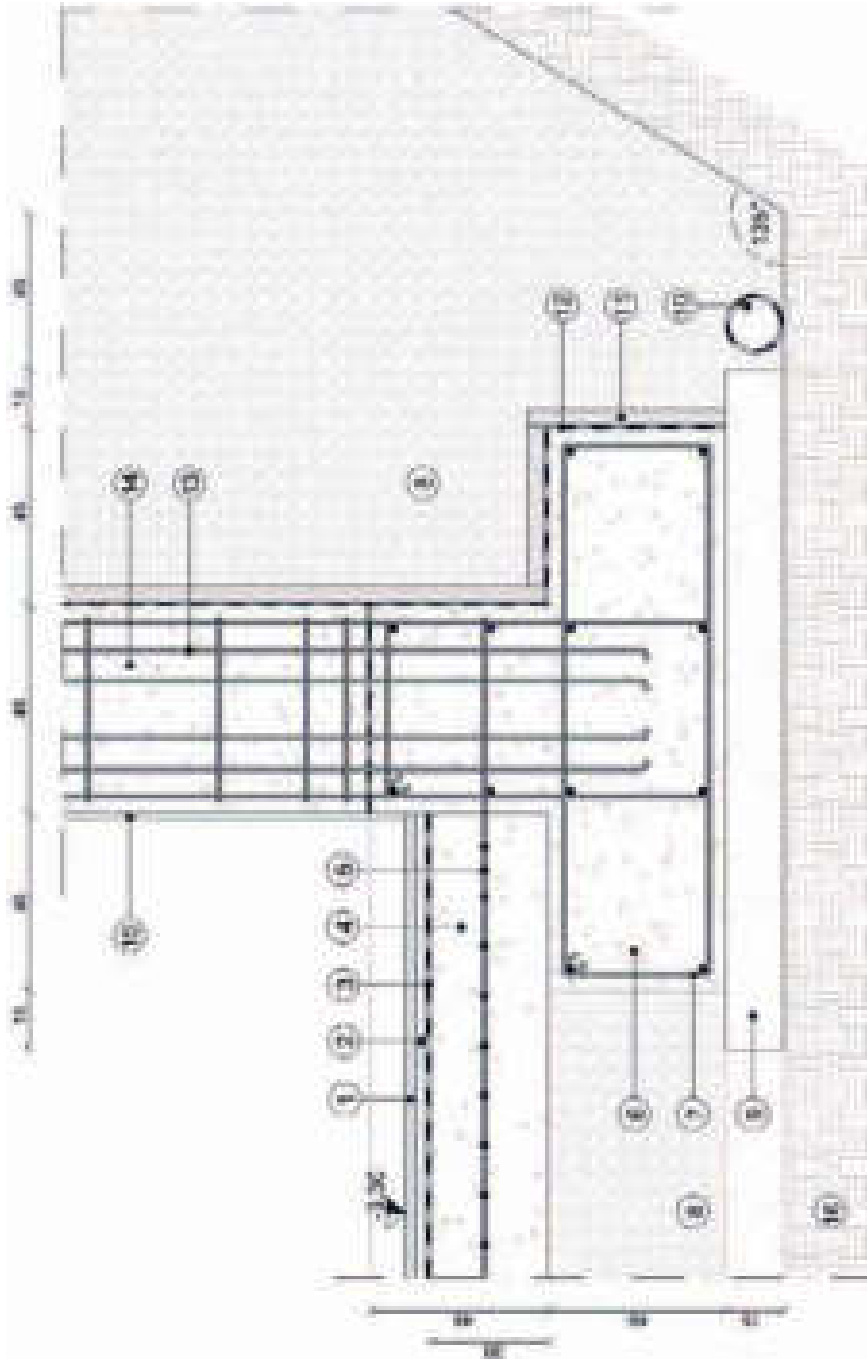


Fig. 5.36: Dettaglio tecnologico 1.

Dettaglio tecnologico 2	
1	Pavimentazione autolivellante realizzata con resine poliuretaniche - sp. 1,0 cm
2	Massetto di calcestruzzo alleggerito - sp. 6,0 cm
3	Rete elettrosaldata Ø5 mm, maglia 20x20 cm
4	Caldana a base cementizia - sp. 10,0 cm
5	Vespaio areato realizzato con elementi modulari "Cupolex" (igloo) - dimensioni 45x45x45 cm
6 - 9	Magrone di sottofondazione di calcestruzzo magro - sp. 15,0 cm
7	Trave rovescia di cemento armato gettata in opera
8	Ferri d'armatura e staffe della trave rovescia Ø20 mm e staffe Ø12 mm
10	Ghiaia drenante - sp. 45,0 cm
11	Tubo corrugato per la raccolta delle acque protetto da una guaina bituminosa impermeabilizzante - Ø20 cm
12	Pannello di polistirolo a perdere di protezione della guaina impermeabile - sp. 4,0 cm
13	Guaina bentonitica impermeabilizzante per strutture interrato - sp. 0,6 cm - tipo Mapeproof di Mapei
14	Pilastro di cemento armato a sezione quadrata gettato in opera, dimensioni 45x45 cm
15	Ferri di ripresa posizionati tra la trave rovescia e il pilastro (n. 2 ferri Ø20 + n. 2 ferri Ø12 mm)
16	Tubo di sfiato Ø10 posizionato ogni 4,0 m e rosette di aereazione
17	Intonaco interno - sp. 2,0 cm
18	Terreno di fondazione

**Tab. 5.2:** Fondazione a trave rovescia realizzata con uno scavo inclinato di 135°, pilastro di cemento armato gettato in opera e vespaio areato realizzato con casseri a perdere (igloo).

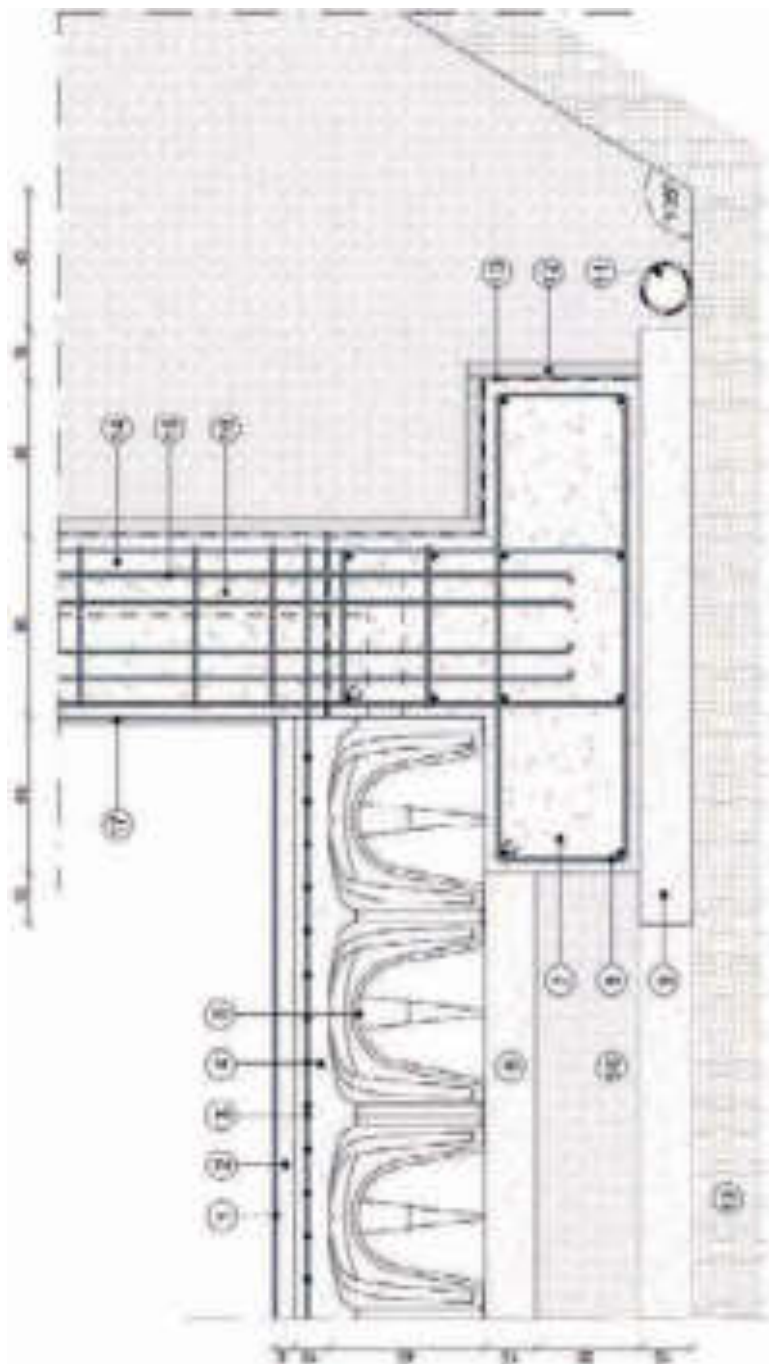


Fig. 5.37: Dettaglio tecnologico 2.

Dettaglio tecnologico 3	
1 - 28	Intonaco esterno - sp. 2,0 cm
2	Pignatta di laterizio, dimensioni 40x40x20 cm
3 - 15	Caldana a base cementizia - sp. 4,0 cm
4 - 17	Rete elettrosaldata Ø5 mm, maglia 20x20 cm
5 - 10	Massetto di calcestruzzo alleggerito - sp. 3,0 cm
6	Isolante acustico di poliuretano espanso a base poliestere - sp. 1,0 cm
7	Massetto porta impianti di argilla espansa - sp. 8,0 cm
8	Travetto tralicciato con fondello di laterizio
9	Pacchetto riscaldamento a pavimento (composto da pannelli isolanti e tubazioni d'acqua di polietilene) - sp. 5,0 cm
11	Pavimentazione di legno - sp. 1,5 cm
12	Vano tecnico per l'ispezione degli impianti
13	Pavimentazione per box realizzata con spolvero di quarzo - sp. 3,0 cm
14	Getto di completamento di calcestruzzo alleggerito - sp. 6,0 cm
16	Tavellone rigato di cotto, dimensioni 70x25x6 cm
18	Mattone pieno tipo UNI, dimensioni 12x12x25 cm
19 - 34 - 40	Guaina bentonitica impermeabilizzante per strutture interrato - sp. 0,6 cm
20 - 35 - 44	Malta bastarda - sp. 0,6 cm
21 - 25	Magrone di sottofondazione di calcestruzzo magro - sp. 15,0 cm
22 - 38	Ghiaia drenante - sp. 45,0 cm
23	Plinto di fondazione di cemento armato, dimensioni 120x120x45 cm
24	Ferri d'armatura e staffe del plinto di fondazione - Ø20 mm
26	Terreno di fondazione
27	Palo di fondazione di cemento armato trivellato Ø30 cm
29	Isolante termico per cappotto esterno di poliuretano espanso - sp. 6,0 cm
30	Malta cementizia per l'incollaggio dell'isolante a cappotto - sp. 0,3 cm
31	Rinzaffo - sp. 1,0 cm
32	Serramento di alluminio a taglio termico con doppio vetro
33 - 45	Copertina di pietra naturale - sp. 2,0 cm
36	Blocco Poroton P800, dimensioni 25x40x19 cm
37	Tubo corrugato per la raccolta delle acque Ø20 cm, protetto da guaina bituminosa impermeabilizzante
39	Plinto di fondazione zoppo di cemento armato gettato in opera
41	Griglia di areazione di ferro zincato per la copertura della bocca di lupo
42	Zanca di ancoraggio della griglia di areazione di acciaio e tasselli
43	Muro contro terra di cemento armato gettato in opera

**Tab. 5.3:** Fondazione a plinto realizzata su pali di cemento armato trivellati con asportazione di terra. Vespaio areato realizzato con muretti di mattoni pieni e tavelloni di cotto. Bocca di lupo su plinto di fondazione zoppo poggiante su un palo di fondazione di cemento armato, realizzato con un sistema di paratie sempre di cemento armato.

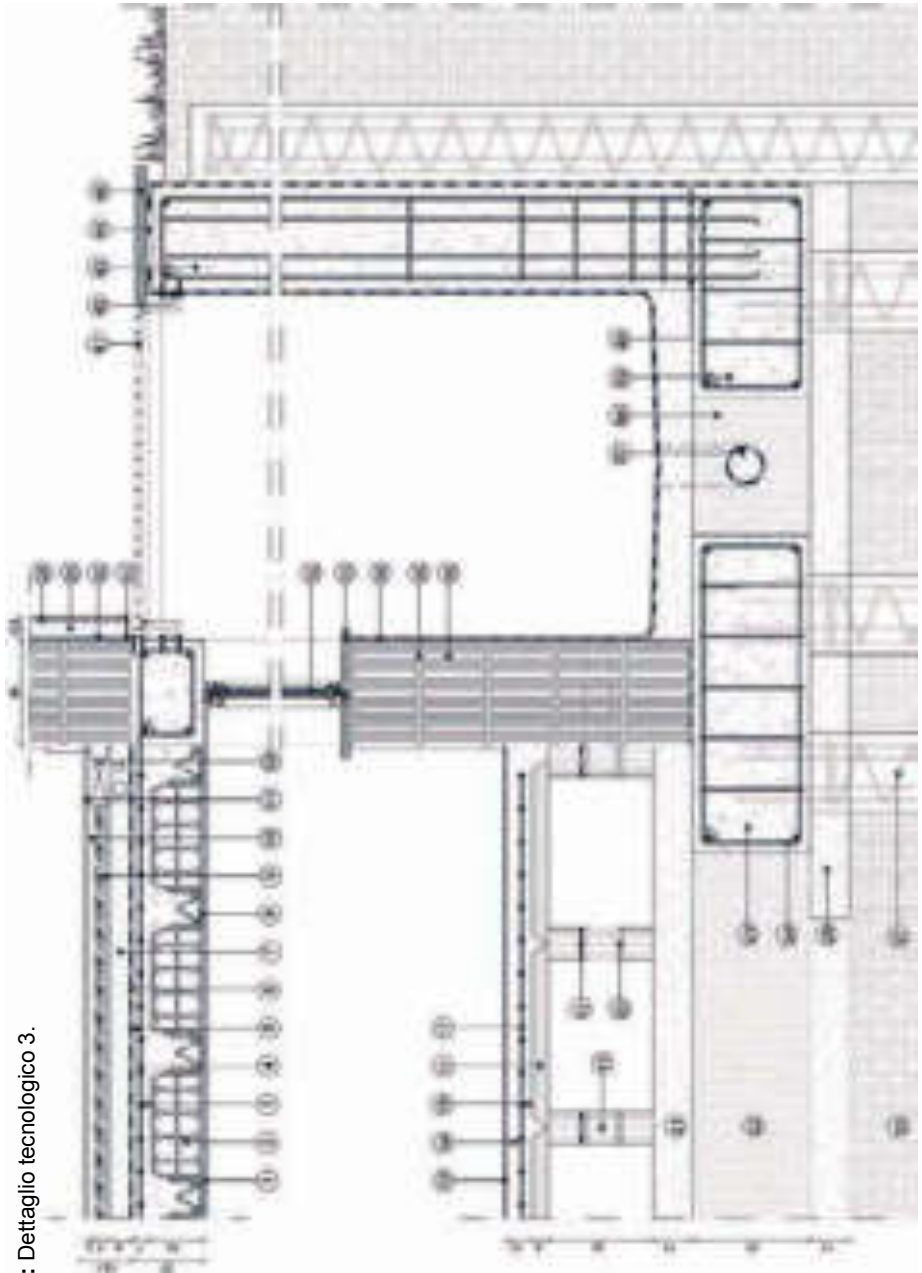


Fig. 5.38: Dettaglio tecnologico 3.