

ARCHITETTURA TECNICA

per gli allievi ingegneri junior

a cura di GIOVANNI TORTORICI

presentazione di Giuseppe Turchini



UN APPROCCIO METODOLOGICO PER OSSERVARE E COMPRENDERE
IL RUOLO DELLA TECNOLOGIA NEL PROCESSO EDILIZIO

© copyright ALINEA editrice s.r.l. - Firenze 2005
50144 Firenze, via Pierluigi da Palestrina, 17/19 rosso
Tel. 39 (0)55 333428 - Fax 39 (0)55 331013

*Tutti i diritti sono riservati:
nessuna parte può essere riprodotta in alcun modo
(compreso fotocopie e microfilms) senza il permesso
scritto della Casa Editrice*

ISBN 88-8125-932-X

e-mail: ordini@alinea.it
info@alinea.it
www.alinea.it

finito di stampare nel maggio 2005

stampa: Genesi Gruppo editoriale - Città di Castello (PG)

6. LA STRUTTURA PORTANTE

Luigi Mollo

La struttura è l'insieme delle unità tecnologiche e degli elementi tecnici appartenenti al sistema edilizio aventi funzione di sostenere i carichi del sistema edilizio stesso e di collegare staticamente le sue parti [UNI 8290 parte I].

Un edificio è costituito da *elementi costruttivi* che hanno il compito di proteggere l'uomo dall'azione degli agenti esterni (chiusure verticali ed orizzontali, infissi) e di suddividere l'ambiente interno in spazi articolati in funzione della destinazione d'uso (partizioni interne, infissi interni) a cui ovviamente si aggiungono gli elementi di finitura e di servizio. La sicurezza statica di questi elementi è garantita dai **componenti strutturali** che costituiscono l'ossatura portante dell'edificio. Alcuni elementi costruttivi possono anche svolgere la funzione di componente strutturale. L'esempio più intuitivo è costituito dalle pareti perimetrali di un edificio in muratura portante. In questo caso le murature sono certamente un componente strutturale ma sono anche un elemento costruttivo cui è affidato il compito di isolare l'ambiente interno rispetto a quello esterno garantendo benessere termoigrometrico e sicurezza.

Fig. 6.1 - Ossatura portante di un edificio per civili abitazioni realizzata in c.a. Sullo sfondo vi è un altro edificio con struttura in c.a. già tamponato

Il termine ossatura portante (scheletro) fa riferimento all'anatomia umana poiché la struttura rappresenta per l'edificio ciò che lo scheletro rappresenta per il corpo umano cioè il soste-



gno che permette all'organismo di reggersi.

Ovviamente, come nello scheletro, non tutte le ossa hanno la stessa funzione e quindi le stesse caratteristiche, così nell'ambito della struttura i vari componenti strutturali sono differenziati, sia nelle caratteristiche geometriche sia in quelle meccaniche, in base alla funzione cui devono assolvere.

Questo concetto diviene immediatamente comprensibile se si fa riferimento ad una struttura semplice quale una insegna sospesa realizzata con un piedritto in legno o ferro, una trave orizzontale, anch'essa in legno o ferro, che sbalza dal piedritto e alla quale sono sospese le funi o catene cui è appesa l'insegna. È intuitivo che i materiali usati per realizzare i vari elementi e le loro caratteristiche geometriche sono legati alle funzioni che devono soddisfare.

6.1 I carichi

Nell'elaborazione del progetto è importante curare gli aspetti strutturali sia perché la struttura deve garantire la stabilità dell'edificio che è sollecitato dalle molteplici azioni esterne generate dagli eventi naturali, sia perché è ormai indispensabile integrare i diversi aspetti - architettonico, strutturale, impiantistico, economico-gestionale, etc. - che intervengono nella progettazione in modo da ottenere con un approccio di natura interdisciplinare, un progetto integrale e coordinato, peraltro in linea con le attuali prescrizioni normative.

Tutte le azioni naturali - il vento che soffia, la neve che si accumula, gli sbalzi termici stagionali e giornalieri, la stessa Terra che attrae, si scuote, si innalza e sprofonda - si traducono in azioni che generano carichi sulla struttura e sollecitano in vario modo i componenti strutturali. Tali carichi sono normalmente suddivisi in:

- statici
- accidentali
- dinamici
- sismici e da vento
- da neve
- termici
- da assestamento.

6.1.1 I carichi statici

I carichi statici o carichi permanenti sono quelli che non variano nel corso del tempo. Sono tipicamente costituiti dal peso proprio della struttura e degli elementi di completamento (pavimenti, intonaci, tramezzi etc.).

Questi carichi vanno determinati calcolando il volume dei vari componenti l'edificio e moltiplicando poi ogni volume per il relativo peso specifico. In quanto detto vi è un'antinomia. Infatti, mentre il peso proprio dei compo-

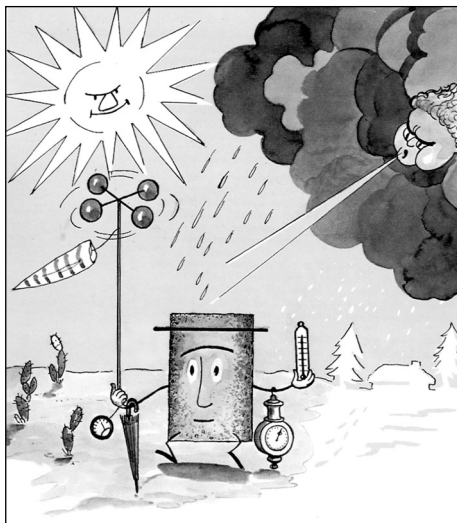


Fig. 6.2 - I fenomeni naturali (vento, neve, sisma etc.) agiscono come carichi sulla struttura. (Immagine tratta dal fascicolo A.I.T.E.C. - 1991).

nenti costruttivi portati è univocamente determinato, il peso proprio della struttura varia con le sue dimensioni che a loro volta dipendono dal peso che deve sopportare e quindi anche dal peso proprio. Non si dimentichi che spesso, come, per esempio, nel caso delle grandi coperture in muratura (cupola del Pantheon in Roma) o in cemento armato (sala Paolo VI in Vaticano), il peso proprio della struttura è quello prevalente. È evidente allora che nella fase progettuale la dimensione dei componenti strutturali va ottimizzata con un processo ciclico che prevede:

- dimensionamento di prima approssimazione
- calcolo del peso proprio
- determinazione complessiva dei carichi
- verifica
- ridimensionamento.

6.1.2 I carichi accidentali

I carichi accidentali o sovraccarichi sono i carichi aggiunti che insistono comunque sulla struttura ma che possono variare in ogni istante in entità e in distribuzione. Carichi di questo tipo sono ad esempio gli arredi, le persone, i macchinari. Data l'aleatorietà di questi carichi, la norma, a vantaggio di sicurezza, stabilisce di agire sulla base delle peggiori condizioni di carico che ci si possa aspettare durante l'intera vita dell'edificio. I valori minimi dei sovraccarichi che ogni elemento strutturale deve poter sostenere sono, quindi, stabiliti dalla normativa in funzione della destinazione d'uso dell'edificio. Ad esempio, per un edificio per civili abitazioni è stabilito che il sovraccarico debba essere di 200 daN/m^2 per i solai e 400 daN/m^2 per i balconi e le scale (il raddoppio del carico su scale e balconi è legato a considerazioni sul comportamento dinamico dei carichi). È, in vero, una ipotesi che garantisce un notevole margine di sicurezza. In definitiva, un piccolo incremento nel dimensionamento dei componenti strutturali influisce economicamente in modo praticamente trascurabile sul costo complessivo dell'edificio: per un edificio per civili abitazioni, il costo della struttura incide all'incirca del 20 - 30% sul costo complessivo.

In tale ottica vengono computati anche i carichi da neve che sono determinati in funzione della quota altimetrica e della localizzazione geografica secondo le indicazioni normative.

6.1.2 I carichi dinamici

I carichi dinamici sono quei carichi che cambiano repentinamente. In realtà non esistono carichi dinamici in sé: infatti un carico è statico ovvero dinamico in relazione alle caratteristiche dell'edificio su cui è applicato. Schematizzando l'edificio come un pendolo capovolto si può definire il *periodo* come il tempo impiegato dall'edi-

ficio per effettuare, sotto carichi orizzontali, una oscillazione completa. Per un edificio di circa 130 piani, con struttura in acciaio variamente controventata, il periodo è di circa 10 secondi, mentre per un edificio tradizionale in muratura di 10 piani il periodo è di circa 0,50 secondi. Un carico potrà essere definito dinamico se la sua azione si esaurisce in un tempo molto più breve del periodo dell'edificio. Ad esempio l'azione di una raffica di vento che esplica la sua azione in circa 2 secondi sarà dinamica per l'edificio di 130 piani in acciaio mentre sarà statica per l'edificio di 10 piani in muratura.

Un tipo particolare di carico dinamico è il fenomeno di *risonanza*. Questo fenomeno è quello che si sfrutta per riuscire a suonare, con la forza di un solo uomo, una campana di una tonnellata. Il campanaro dà uno strattone alla corda della campana. La campana per effetto di questo piccolo carico non suona ma si muove. Se il campanaro ha cura di imprimere un nuovo strattone appena è terminato il periodo di oscillazione della campana e poi continua a tirare al ritmo delle oscillazioni della campana ad un certo punto la campana dondolerà liberamente e incomincerà a suonare. Analogamente se un ponte, un edificio o qualsiasi altra struttura è sollecitata da tanti piccoli carichi statici applicati ritmicamente con identico periodo esso si deformerà fino a crollare.

6.1.3 I carichi sismici e da vento

Da quanto detto è evidente che, in dipendenza del periodo della struttura, i carichi sismici e da vento possono rientrare sia fra i carichi statici sia tra quelli dinamici. La normativa consente di determinare tali carichi e detta le modalità di applicazione di tali carichi sulla struttura. Il territorio nazionale è stato diviso in aree omogenee per ognuna delle quali vengono dettate le modalità per il calcolo sia dei carichi sismici che di quelli da vento. È superfluo notare che le zone sismicamente omogenee non coincidono con le zone considerate omogenee per effetto del vento (circ. M.LL.PP. del 04.07.1996 n. 156). Contro il vento, per edifici alti, i costruttori hanno trovato una soluzione: installare una grossa massa di cemento alla sommità dell'edificio. Ad esempio, nel caso dell'edificio Tapei 101, si tratta di una gigantesca sferra del peso di circa 800 tonnellate. In ogni caso, qualunque sia la forma tali dispositivi, funzionano come uno smorzatore gigante: quando il vento spinge, la costruzione tende ad oscillare in un senso ma la massa di cemento è così imponente ed ha quindi una tale inerzia da tendere a rimanere al suo posto. Improvvisamente essa si bilancia in controtempo con il resto della costruzione, impedendo all'edificio di oscillare o, più realisticamente, riducendo l'oscillazione del fabbricato.

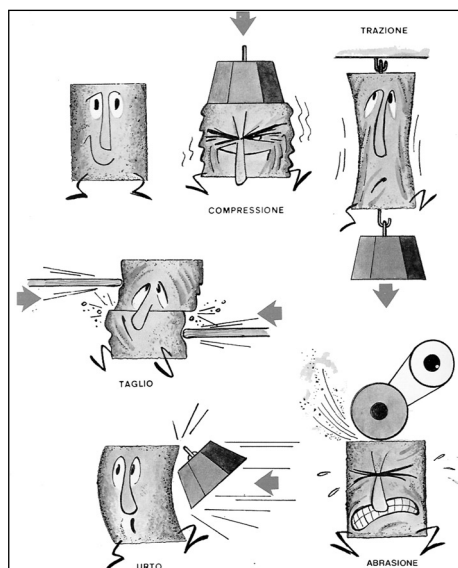


Fig.6.3 - Schema delle principali sollecitazioni cui è sottoposta la struttura (Immagine tratta dal fascicolo A.I.T.:E.C. - 1991).

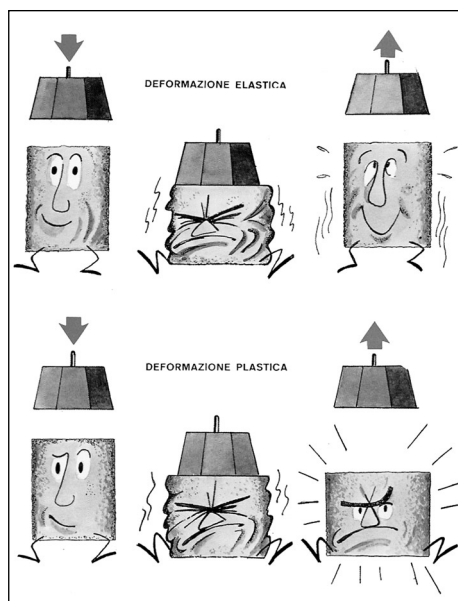


Fig. 6.4 - Fase elastica e fase plastica.

6.1.2 I carichi termici e da assestamento

I carichi termici e da assestamento, detti anche carichi indotti, sono generati dall'azione del calore o dai cedimenti differenziali della struttura. Una trave da ponte in acciaio di 100 m di luce può subire un allungamento, per effetto del riscaldamento solare, di circa 4 cm. Se la struttura non è libera di allungarsi perché, ad esempio, vincolata a piloni con un sistema di incastri, questo allungamento si trasformerà in un carico di compressione che si eserciterà sulla struttura del ponte e che finirà per impegnare oltre la metà della resistenza a compressione dell'acciaio. È evidente che si tratta di carichi non trascurabili. Analogamente su un edificio, il cedimento parziale delle fondazioni con il conseguente abbassamento di alcune pilastrate rispetto ad altre, pur non provocando danno ai pilastri, finirà per trasformarsi in un carico per le travi vincolate ai pilastri interessati dai cedimenti.

La normativa cui si è fatto riferimento in questo paragrafo sui carichi è il Decreto del Ministro dei Lavori Pubblici pubblicata sul supplemento ordinario della Gazzetta Ufficiale n° 105 dell'8 maggio 2003.

6.2 Il comportamento strutturale

I carichi, come già evidenziato, agiscono sulla struttura sollecitando in vario modo i componenti strutturali. La struttura ha il compito di convogliare, sfruttando il principio di azione e reazione, i carichi verso il suolo e per assolvere questo compito utilizza solo due **principi elementari**: la **trazione** e la **compressione**.

Quando un materiale viene tirato da due forze contrapposte si dice che è in *trazione* mentre quando le due stesse forze spingono, si dice che è in *compressione*. Ovviamente quando viene spinto si accorcia mentre quando viene tirato si allunga.

Questi due fenomeni, accorciamento e allungamento, se rapportati alla dimensione originale dell'elemento, costituiscono le **deformazioni**.

A titolo di esemplificazione, si consideri una spugna da bagno: se su di essa si appoggia il sapone (carico da compressione) si nota un abbassamento della spugna (deformazione da compressione). Analogamente se si lega un elastico ad un chiodo e vi si appende sotto un peso (carico da trazione) esso si allunga (deformazione da trazione). Ovviamente i materiali che si utilizzano in architettura sono molto più rigidi di un elastico o di una spugna ma anch'essi, seppure impercettibilmente, subiscono delle deformazioni di accorciamento o di allungamento. Ad esempio i pilastri di base di un edificio di 300 m di altezza subiscono un accorciamento per effetto della compressione di circa 2,5 cm; mentre in un ponte

sospeso i cui cavi di sospensione in acciaio abbiano una lunghezza di 100 m (10000 cm) l'allungamento dovuto alla trazione generata nelle funi dal peso dell'impalcato stradale e dei veicoli è di circa 34 cm (circa 1/300 della luce).

Ogni materiale per effetto dei carichi si deforma; fino a un certo valore dei carichi la deformazione rientra (fase elastica) dopo quel punto la deformazione diviene permanente (fase plastica). Generalmente si sfruttano le caratteristiche dei materiali in fase elastica

Se la forza di trazione o di compressione è rapportata all'area del componente sollecitato, si genera lo **sforzamento di trazione** ovvero lo **sforzamento di compressione**.

La saponetta del peso di 125 g poggiata sulla spugna avente la dimensione di 10 cm x 15 cm (superficie di $100 \times 150 = 15000 \text{ mm}^2$) ed un'altezza di 5 cm provoca nella spugna uno sforzo di compressione di $125/15000 = 0.000084 \text{ N/mm}^2$. Se la spugna si accorcia per effetto del carico di 1 cm, la deformazione sarà 1/5 dell'altezza originaria.

Quando si verifica che gli sforzi di trazione o di compressione superano quelli che il materiale è in grado di sopportare (**carico di rottura**) la struttura collassa. Il progettista delle strutture deve garantire non solo di non aver raggiunto il carico di rottura ma di essere anche abbastanza lontano da esso, per tutelare la struttura da variazioni impreviste dei carichi, ovvero da difetti che potrebbero generarsi in fase esecutiva. Per soddisfare questa esigenza sono stati introdotti i cosiddetti **coefficienti di sicurezza**, che in realtà sono "coefficienti di ignoranza" del reale comportamento della struttura, che arrivano fino al valore di 5. Ad esempio un calcestruzzo Rck 250 può raggiungere un carico di rottura di 250 daN/cm^2 , ma nella fase di verifica della struttura si adotta un carico ammissibile di 85 daN/cm^2 , applicando un coefficiente di sicurezza all'incirca pari a 3.

Per comprendere le altre caratteristiche di sollecitazione: **flessione**, **taglio** e **torsione** è necessario fare un breve accenno ai **vincoli**. I vincoli sono il "modo" con il quale i vari componenti strutturali sono connessi fra loro - **vincoli interni** - o con il suolo - **vincoli esterni**. La differenza fra i vincoli risiede essenzialmente nel tipo di sollecitazione che sono in grado di trasmettere. L'**incastro** è il tipo di vincolo più completo poiché è in grado di trasmettere flessione, taglio e sforzo normale (sia esso di trazione o di compressione) e di fatto crea una continuità fra i vari componenti strutturali o fra la struttura e il suolo. Vi è poi la **cerniera** che è di un "grado" inferiore all'incastro poiché non può trasmettere le sollecitazioni da flessione ed infine vi è l'**appoggio**, ovvero **pendolo** se il vincolo è interno, che è in grado di trasmettere solo sforzi normali. Nella realtà, come poi si studierà nella Scienza delle Costruzioni, i tipi di vincolo sono molto più numerosi, ma tutti riconducibili a questi tre tipi semplici.

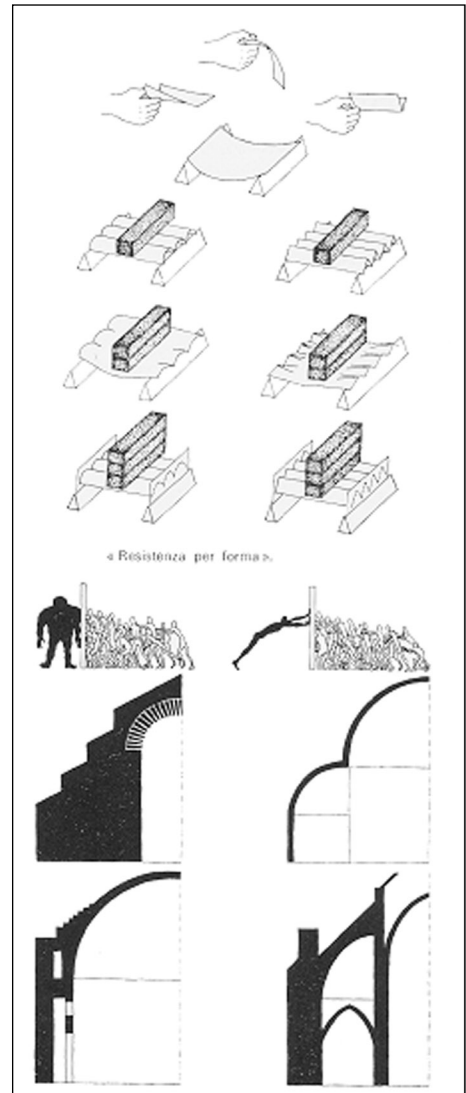


Fig. 6.5 - Resistenza per forma (Immagine tratta da E. Mandolesi, Edilizia 1, Torino 1978).

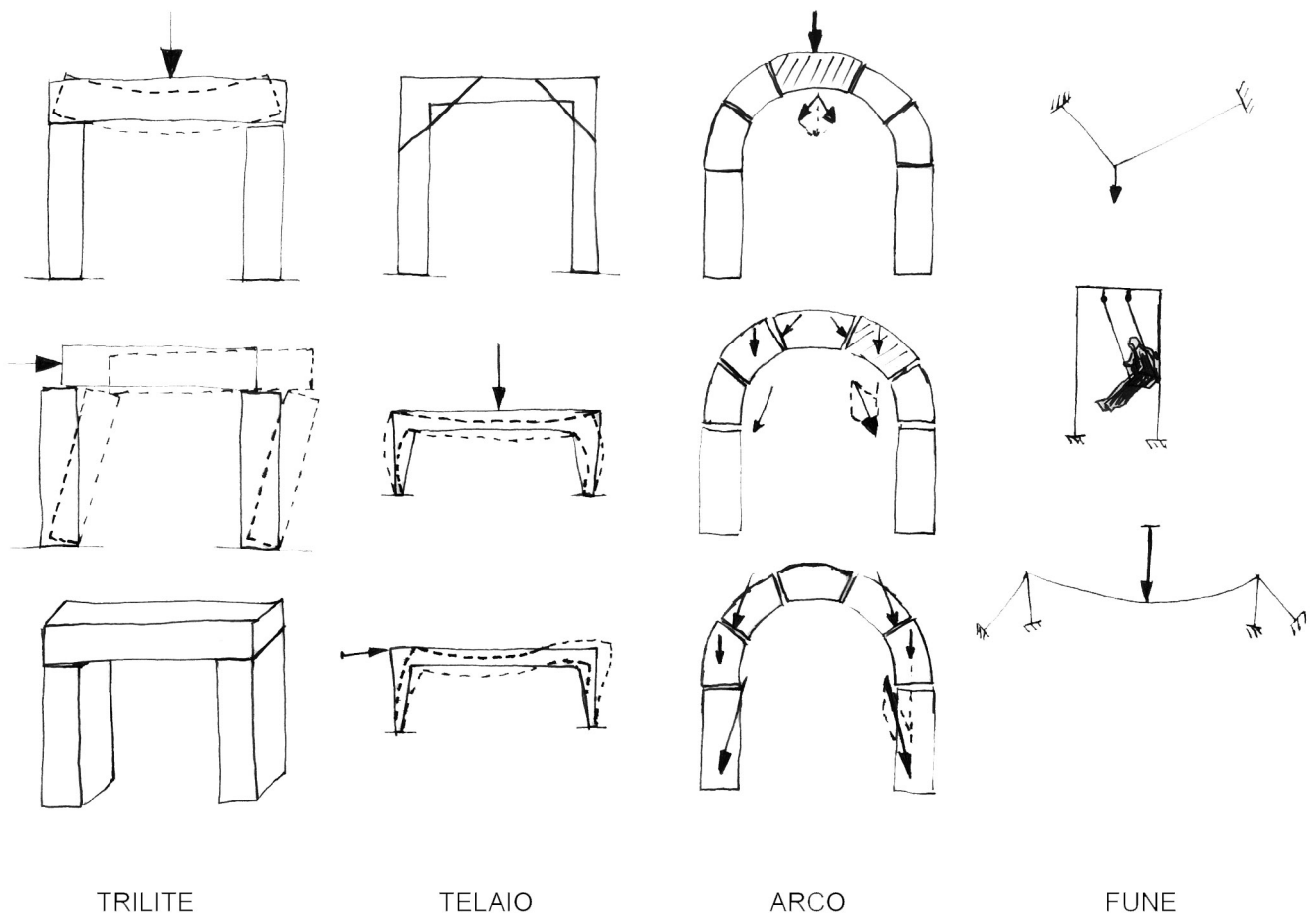
Per comprendere la **flessione** si pensi ad un trampolino per i tuffi e a come esso si infletta quando una persona raggiunge la sua estremità. Per capire come tale effetto si trasforma in trazione e compressione si pensi non alla singola trave ma ad un fabbricato costituito da travi e pilastri che sotto l'effetto del vento si inflette come un gigantesco trampolino posto in verticale. In questo caso diviene evidente che i pilastri sopravento si allungano (trazione) mentre quelli sottovento si accorciano (compressione). È evidente che l'effetto di flessione si è scomposto in uno di trazione e in uno di compressione. Analogamente nel trampolino sulla cui estremità si trova una persona ovvero, più in generale, in una mensola incastrata ad una estremità e sottoposta ad un carico concentrato sull'estremità libera, qualsiasi flessione si trasforma in trazione per le fibre superiori (**fibre tese**) e in compressione per quelle inferiori (**fibre compresse**). Se invece di considerare il trampolino si fa riferimento ad una tavola poggiata su due muretti di mattoni e al cui centro sale una persona, ovvero, più in generale, ad una trave appoggiata alle due estremità, è esperienza comune che la tavola si infletta. In questo caso, trave su due appoggi, si allungano le fibre poste nella parte inferiore (fibre tese) e si accorciano quelle nella parte superiore (fibre compressa). Nei corsi di Scienza delle Costruzioni si approfondiranno tutte le varianti strutturali a questi due schemi limite.

Per il **taglio** la comprensione intuitiva è forse più complicata ma la seguente spiegazione, estremamente approssimativa può aiutare a comprendere il concetto. Si consideri la solita mensola incastrata con un carico concentrato in estremità. Mentre l'inflessione è bilanciata, come già detto, dalla trazione delle fibre superiori e dalla compressione di quelle inferiori, la traslazione verso il basso che la trave subirebbe se non fosse vincolata viene bilanciata da una reazione verso l'alto detta appunto sollecitazione da taglio perché l'effetto generato dalla reazione e dal carico somiglia all'effetto di un taglio sulla trave. Per esempio, se, in modo approssimativo, si considera la trave costituita da una serie di fogli incollati l'uno all'altro con una colla molto elastica, è evidente che per effetto della sollecitazione di taglio e del carico questa gigantesca risma di carta incollata tenderebbe a scompaginarsi ed ogni foglio traslirebbe verso il basso rispetto al precedente. Un tipico esempio nelle strutture edilizie è costituito dai muri di sostegno. Nel punto di attacco fra muro di sostegno e fondazione le spinte del terreno si trasformano in forza tagliente che tende a tranciare l'attacco creando un punto di debolezza per la struttura. Come questa forza tagliente si riduca a una particolare combinazione di una sollecitazione di trazione e di una di compressione lo si vedrà durante i corsi del settore della Scienza delle Costruzioni.

La **torsione** è anch'essa estremamente intuitiva. Quando la mamma strizza i panni non fa altro che imprimere una coppia complanare che crea torsione nel bucato espellendo l'acqua in eccesso. Nel caso delle strutture l'esempio tipico è costituito dalle travi (travi incastro) dalle quali, ortogonalmente al loro asse, si diparte uno sbalzo. La sollecitazione di flessione che si crea nello sbalzo per effetto dei carichi applicati si trasforma in una sollecitazione di torsione per la trave incastro. Anche in questo caso la sollecitazione di torsione può essere scomposta in sollecitazione di trazione e compressione applicata però non più alle fibre superiori o inferiori bensì alle fibre laterali della trave incastro.

La **resistenza per forma** è un ulteriore importantissimo principio strutturale. La resistenza per forma si ha quando un elemento si oppone ad un carico non in virtù della sua capacità intrinseca di resistere a quel carico ma grazie ad una particolare configurazione geometrica. Da bambini quando si veniva spinti vi erano quelli che si opponevano grazie alla loro forza fisica ovvero grazie al loro peso (caratteristiche intrinseche) mentre quelli più mingherlini si opponevano alla spinta inclinandosi ad

Fig. 6.6 - Principi complessi: Trilite, telaio, arco e fune

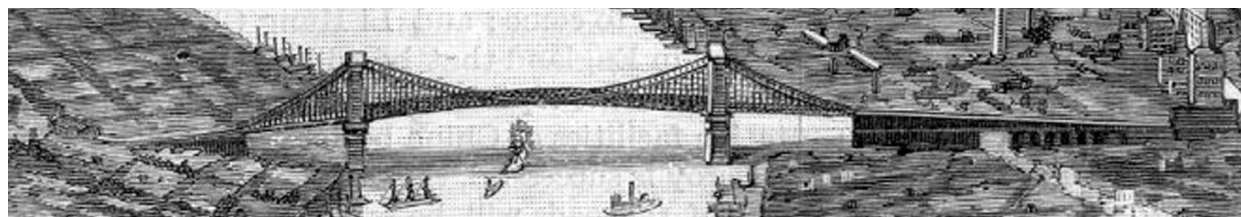


arco, puntando i piedi e spingendo con le braccia tese (resistenza per forma). In edilizia vi sono moltissimi esempi di resistenza per forma: dalle lamiere grecate ai contrafforti ad arco rampante delle cattedrali gotiche. Le lamiere grecate funzionano in un modo semplicissimo. Si immagini di avere un foglio di carta formato A4 e di appoggiarne le due estremità su due libri. Sotto l'azione del suo solo peso, il foglio si infletterà e scivolerà via dagli appoggi. Se, invece, si piega il foglio di carta in modo da conferirgli, in sezione, la forma di una greca e lo si appoggia in modo che la greca risulti ortogonale agli appoggi, è esperienza comune che il foglio non solo regge se stesso ma è in grado anche di reggere su di esso altri carichi. La lamiera grecata ha lo stesso comportamento, perché si tratta di un foglio di lamiera sagomato in modo da avere in sezione la forma di una greca e, quindi, una resistenza per forma cioè una resistenza che non avrebbe se non avesse quella particolare forma. Dalla combinazione di questi principi elementari integrati dalle condizioni di vincolo nascono quelli che Mandolesi [Edilizia, vol. 1] definisce *i principi complessi*. Essi permettono di definire l'origine dei modi utilizzati per racchiudere lo spazio. I principi complessi basilari per la comprensione delle strutture edilizie standardizzate sono: il trilito, il telaio, l'arco, il cavo e il triangolo.

Il **trilito** è costituito da un elemento orizzontale detto "architrave" - sollecitato a flessione e a taglio - appoggiato su due elementi verticali detti "piedritti" o "colonne" sollecitati solo a compressione. Questo schema è stato ed è attualmente molto utilizzato. Uno schema semplice di questo principio è dato dai vani porta o finestra nella muratura. In questo caso infatti i due piedritti in muratura che sono ai lati della porta sorreggono l'architrave in legno, ferro o cemento armato che delimita il vano agibile.

Il **telaio** è anch'esso costituito da tre elementi: uno orizzontale detto "trave" - sollecitato a flessione e taglio - e due verticali detti "pilastri". La differenza consiste nel tipo di vincolo che lega trave e pilastri. Mentre nel caso del trilito l'architrave è semplicemente appoggiato sui piedritti, nel caso del telaio, invece, la trave è incastrata solidariamente ai pilastri, per cui questi ultimi sono sollecitati oltre che a compressione anche a flessione e a taglio. Il telaio è il principio complesso che è alla base delle strut-

Fig. 6.7 - Il ponte di Brooklyn in una immagine d'epoca



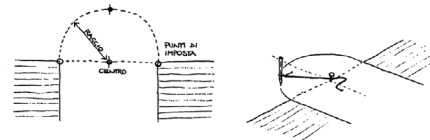
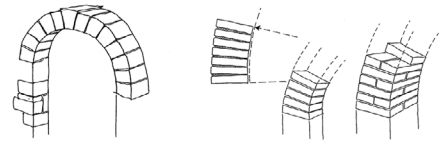
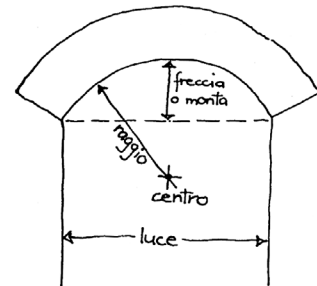
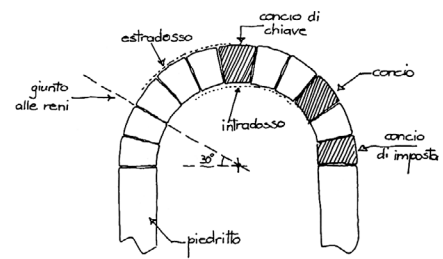
ture in cemento armato.

L'**arco** è una struttura ad asse curvilineo avente la funzione di scaricare sui piedritti il peso sovrastante. Esso deriva dal trilito nel quale all'architrave, ad asse rettilineo, si è sostituito l'arco, elemento a sviluppo curvilineo. La fondamentale differenza è però costituita dal comportamento statico, in quanto l'arco lavora esclusivamente a compressione.

L'arco in muratura è costituito da una serie di conci lapidei posti a contrasto mediante il taglio a cuneo. Il contrasto fra gli elementi è garantito dal concio di chiave che, posto al centro dell'arco, garantisce il mutuo contrasto fra tutti gli altri. Il carico verticale si scompone in una componente orizzontale - **spinta dell'arco** - che tende a far divergere i piedritti e una componente inclinata lungo l'asse dell'arco; in tal modo, poiché l'asse dell'arco si inclina pian piano fino alla verticale la struttura è interamente compressa. Si può, comunque, risolvere il problema della spinta dell'arco annullandola con inserimento di catene (arco a spinta eliminata) ovvero da archi rampanti o da opportuni contrafforti in muratura. Ovviamente al tradizionale arco in muratura si aggiungono, nella storia dell'edilizia, le soluzioni in mattoni pieni e malta ed infine gli archi in calcestruzzo prima semplice e poi anche armato.

Il principio del **cavo** deriva anch'esso dal trilito sostituendo all'architrave una corda che, per sua natura, può resistere solo a trazione. Ovviamente, in questo caso, i piedritti risultano sollecitati a flessione. Per annullare la flessione indotta sui piedritti si può prolungare il cavo fino ad ancorarlo a terra in modo che sul piedritto scarichino solo carichi verticali. Il cavo ha bisogno di essere stabilizzato sia nel piano orizzontale che in quello verticale poiché altrimenti "dondolerebbe" dato che non ha alcuna rigidità né alcuna capacità di resistere a flessione. Questo schema è quello impiegato per costruire i ponti sospesi, come il famosissimo ponte di Brooklyn, e applicato nelle tende da campeggio.

Il **triangolo** è basato sul principio di indeformabilità dei triangoli. Esso è costituito da tre elementi rigidi disposti secondo un triangolo. Le tre aste, due inclinate e contrapposte soggette a compressione e una orizzontale soggetta a trazione, sono collegate fra loro a mezzo di cerniere o incastri. Tipica applicazione in architettura del principio del triangolo è la **capriata** usata per la copertura a tetto di edifici. Un'applicazione incompleta del principio del triangolo dà origine a strutture spingenti o a coperture inflesse.



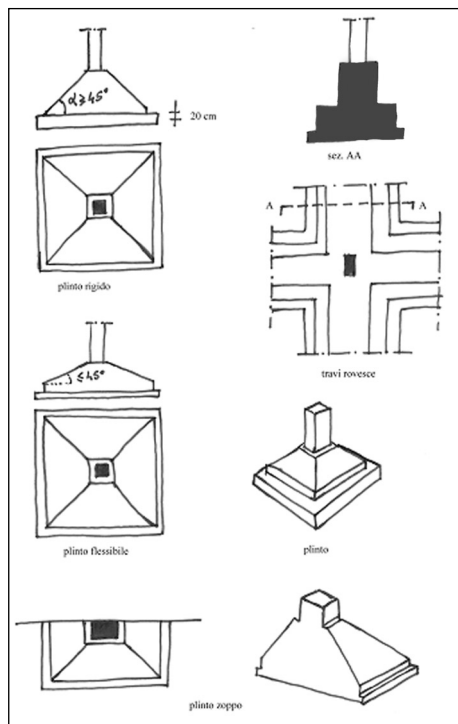


Fig. 6.8 - Fondazioni dirette. Il plinto rigido è un plinto poco armato che consente una uniforme ripartizione dei carichi sul terreno. I plinti flessibili, invece, sono armati a flessione e a taglio come una normale trave. Il plinto zoppo viene utilizzato per fondare a confine con un'altra proprietà senza invaderla. Oggi non si realizzano più plinti isolati ma tutti i plinti sono collegati fra loro tramite un reticolo di travi dette appunto di collegamento. L'evoluzione di questo sistema è il reticolo di travi rovesce con sezione a "T"; in questo schema il pilastro, in c.a. o acciaio, è normalmente posizionato nell'intersezione di due travi.

6.3 – La struttura di fondazione

Ora si esamineranno le varie componenti che compongono la struttura standardizzata di un edificio di 3 ÷ 5 piani con struttura intelaiata o in muratura da realizzarsi in zona sismica.

La fase esecutiva del processo produttivo inizia con la realizzazione delle fondamenta. **La struttura di fondazione è l'insieme degli elementi tecnici del sistema edilizio aventi funzione di trasmettere i carichi del sistema edilizio stesso al terreno** [UNI 8290 parte I]. Il terreno di fondazione è quella parte del sottosuolo interessata dalle tensioni e deformazioni indotte dalle sollecitazioni trasmesse dalla struttura. Per lo studio delle caratteristiche meccaniche del terreno di fondazione, dei metodi di indagine sui terreni e del comportamento terreno-struttura si rimanda ai corsi del settore della Geotecnica. In questa sede è opportuno puntualizzare che la scelta del tipo di fondazione dipende non solo dalle caratteristiche meccaniche del terreno di fondazione ma anche dalle sollecitazioni, e quindi, dai carichi che la struttura deve trasmettere al terreno. In altri termini uno stesso terreno di fondazione potrebbe essere adatto per la realizzazione delle fondazioni dirette di una piccola villetta a schiera ma, nel contempo, potrebbe rendere necessario l'adozione di fondazioni profonde (ad. es. su pali) se si decidesse di realizzare un edificio di pluripiano, a parità di area di sedime .

Un altro fattore essenziale da tenere presente nella progettazione delle fondazioni è costituito dai **cedimenti**. I cedimenti rappresentano in sintesi quanto si abbassa, uniformemente o parzialmente, il terreno di fondazione per effetto dei carichi trasmessi dalla struttura. Se il terreno si abbassa uniformemente il cedimento non ha effetti dannosi sulle strutture anche se rende spesso di difficile utilizzo l'edificio. Un classico caso è costituito dal teatro dell'opera di Città del Messico che pochi anni dopo la sua costruzione si abbassò, senza subire danni significativi, di circa 8 m rispetto al piano stradale rendendo necessario costruire una scala di accesso. I cedimenti devono essere valutati in fase progettuale con la possibilità di mettere in atto tutti gli accorgimenti tecnici necessari per ridurli a valori accettabili o per contrastarli mediante collegamenti irrigidenti sul piano orizzontale. Ben più gravi sono i danni arrecati alla struttura per effetto dei cedimenti di una sola parte di essa (cedimenti differenziali). In questi casi, emblematicamente rappresentati dalla Torre di Pisa, il cedimento si comporta di fatto come carico da assestamento e può sollecitare fino alla rottura la struttura.

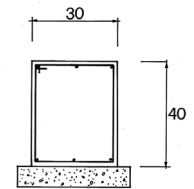
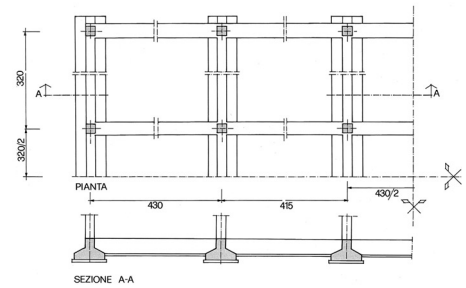
Prima di procedere alla realizzazione delle fondazioni vere e proprie bisogna eseguire delle operazioni preliminari. La più importante è il tracciamento del fabbricato.

Tralasciando i metodi strumentali più sofisticati, oggi comunque ampiamente diffusi, si fa riferimento al metodo tradizionale e normalmente applicato nella realizzazione degli edifici correnti. Per eseguirlo si dispongono, a circa 1.50 m dall'area di sedime del futuro edificio, dei paletti di legno cui si inchiodano delle tavole di abete, dette *modine*, in modo da formare un perimetro continuo. Sulle *modine*, con dei chiodi, si segnano, con l'aiuto di righe e squadri, le proiezioni degli spigoli del fabbricato. L'involuppo delle lenze o corde, tese a congiungere i chiodi corrispondenti, rappresenta il reale perimetro del fabbricato da costruire. In particolare i punti d'intersezione delle lenze disegnano gli spigoli del fabbricato che vengono poi riportati a terra con il filo a piombo. Tale semplice tecnica di tracciamento consente di mantenere fissi gli allineamenti anche durante la fase di sterro e di scavo delle fondazioni poiché tali operazioni, sconvolgendo l'orografia dei luoghi, eliminerebbero qualsiasi riferimento posto direttamente sul terreno. Come accennato, dopo il tracciamento del fabbricato, l'altra operazione preliminare da eseguire, indipendentemente dal tipo di fondazione, è lo sterro, consistente nella escavazione dell'intera area di sedime del fabbricato fino alla quota a partire dalla quale si realizzeranno gli scavi di fondazione generalmente realizzati a sezione obbligata con mezzi meccanici ovvero, ove necessario, a mano. Lo sterro è reso necessario dall'esigenza di realizzare una cantina o semplicemente un vespaio che impedisce il diretto contatto della parte abitata con il suolo e viene normalmente eseguito con mezzi meccanici (scavatrici, bulldozer etc.). Per lo sterro solitamente non vengono realizzate delle opere di sostegno provvisorie. Molto frequentemente, invece, nello scavo a sezione obbligata si rende necessaria una sbatacchiatura dello scavo di fondazione. Lungo le pareti laterali dello scavo si sistemano in verticale, ad un interasse variabile in funzione della consistenza del terreno, una fila di tavole ovvero pannelli multistrato o metallici, lunghi circa due metri, collegati fra loro mediante la chiodatura ortogonale di altre tavole più corte. Disposta su ognuna delle pareti dello scavo questa sorta di rivestimento in legno, si contrastano fra loro le contropareti corrispondenti a mezzo di idonei travi in legno dette sbadacchi. Data la lunghezza delle tavole, la sbatacchiatura deve essere eseguita ogni due metri di approfondimento dello scavo.

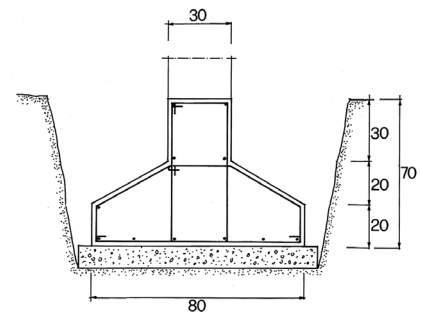
Eseguito lo sterro il lavoro procede in modo diverso secondo il tipo di fondazione che si deve realizzare.

La norma UNI 8290 parte I suddivide le strutture di fondazione in **strutture di fondazione dirette** e **strutture di fondazione indirette**.

Le **strutture di fondazione dirette** sono quelle che vengo-

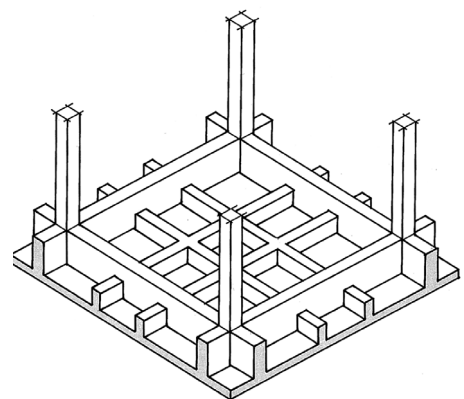


— SEZ. DEL CORDOLO DI COLLEGAMENTO



SEZ. DELLA TRAVE ROVESCIA

Planta e sezione di un sistema di travi rovesce e cordoli di collegamento.



Platea di fondazione con travi principali e secondarie di irrigidimento.

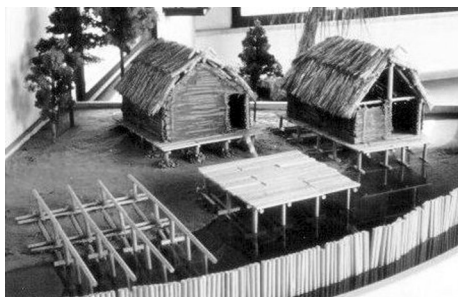
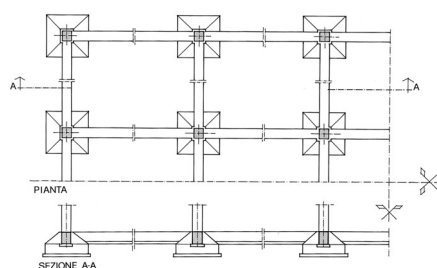
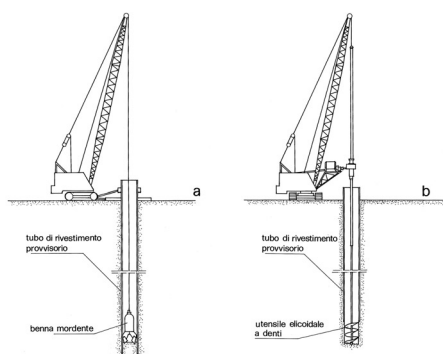


Fig. 6.9 - Procedimento costruttivo delle palafitte



Fondazione realizzata con plinti e cordoli di collegamento.



Sistemi di asportazione del terreno per la realizzazione di pali di tipo "trivellato".

- a) mediante benna mordente;
b) con utensile elicoidale a denti.

L'uso di uno dei due sistemi dipende dal terreno da attraversare. Durante lo scavo il foro realizzato deve essere protetto da frammenti mediante un tubo forma che, a seconda del tipo di terreno, precede o segue l'attrezzo usato.

no costruite appoggiandole direttamente sul piano di posa (piano di sedime). Le sollecitazioni provenienti dalla struttura agiscono quindi direttamente sul terreno a contatto con la fondazione. Le strutture di fondazione dirette si dividono in **continue** - travi rovesce e platee - e **discontinue** - plinti. In vero l'uso dei plinti isolati è quasi scomparso a seguito della D.M. LL. PP. 24 GENNAIO 1986 e succ. modificazioni e integrazioni: "Norme tecniche relative alle costruzioni sismiche", art.B.10 punto a. Il principio su cui si basano le tre soluzioni è sempre lo stesso ed è piuttosto semplice. Tutti hanno esperienza che, se si preme con una certa forza (carico), un coltello posto di taglio penetra con estrema facilità in un panetto di burro ma, sotto la stessa forza, lo stesso coltello posto di "piatto" non penetra nel burro ma, al limite, tende a schiacciarlo. Questo perché la superficie di appoggio del coltello sul burro è passata da alcuni mm² (posizione di taglio) a svariati cm² (posizione di "piatto") e quindi lo sforzo, inversamente proporzionale alla superficie, è diminuito di due ordini di grandezza (circa 100 volte) ed divenuto compatibile con il carico ammissibile, cioè sopportabile, per il burro. Nel caso dell'edificio il panetto di burro è il terreno di fondazione mentre il coltello è rappresentato dalle strutture in elevazione verticali - si pensi, ad esempio, ad un muro continuo dello spessore di 50 cm. La fondazione diretta, che si interpone fra muro e terreno, amplia la dimensione di base del muro di 3 - 4 volte in modo da rendere sopportabili per il terreno i carichi che la struttura trasmette. Si ricorda che il carico ammissibile del cls è di circa 85 daN/cm² mentre la classifica di resistenza dei terreni assegna ad una roccia compatta (ad esempio calcarenite o tufo) la resistenza di circa 5-6 daN/cm². È allora evidente che la fondazione diretta, qualunque sia il tipo, dovrà avere una sezione rettangolare, o meglio a T rovescia, in modo da garantire, a contatto con la struttura, una dimensione compatibile con quella della struttura stessa (30 - 50 cm) mentre, a contatto con il terreno, una dimensione maggiore e compatibile con le caratteristiche del terreno e con i carichi agenti (1,20 m - 2,00 m). La scelta del tipo di fondazione non è un'operazione progettuale banale ma dipende dalle caratteristiche fisiche e meccaniche del terreno, dal livello sismico dell'area e dalle peculiarità della struttura in elevazione. Il team di progettazione deve, a tal proposito produrre uno specifico elaborato tecnico, la relazione geotecnica, che, come illustrato dal D.P.R. 21 dicembre 1999 n. 554, definisce, alla luce di specifiche indagini geotecniche, il comportamento meccanico del volume di terreno influenzato, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che a sua volta influenzerà il comportamento del manufatto stesso. Illustra inoltre i calcoli geotecnici per gli aspetti che si riferiscono al rapporto del

manufatto con il terreno.

Tutte le fondazioni, per strutture intelaiate sia per strutture in muratura portante, si realizzano oggi in cemento armato sia perché tale soluzione è più economica, semplice e veloce da realizzare perché non necessita di manodopera altamente specializzata e, infine, perché le sue dimensioni sono inferiori a quelle di una corrispondente fondazione in muratura.

Normalmente non si usa più effettuare scavi a sezione obbligata per realizzare le fondazioni ma, salvo casi particolari, per ovvie motivazioni economiche si porta lo sterro fino al piano di posa delle fondazioni cercando, per quanto possibile, di livellare, senza riporti, il piano di posa. Sul piano di posa si effettua il getto di un massetto di circa 10 cm di spessore medio in calcestruzzo magro detto *magrone*¹. Il *magrone* ha, da una parte, lo scopo di livellare il piano di posa per consentire un più semplice montaggio delle armature e delle cassette, e dall'altra, ha la funzione di un copriferro. Infatti le armature delle fondazioni si troverebbero di fatto a contatto con il terreno e quindi maggiormente esposte ai fenomeni di ossidazione. Il *magrone* le isola racchiudendole in un ambiente basico nel quale l'ossidazione è teoricamente impedita e comunque, nella realtà, molto ritardata e limitata. Realizzato il *magrone* si procede con la costruzione. La prima operazione da fare è quella di realizzare i casseri (detti anche casseforme o cassette). Dato che il calcestruzzo allo stato fresco è un fluido cui si può conferire la forma voluta e che esso, una volta fatto presa ed indurito, manterrà quella forma, per costruire le strutture in cemento armato è necessario realizzare dei casseri che avranno la forma "al negativo" dell'elemento strutturale da realizzare. È lo stesso principio che usa la mamma per fare le torte. In quel caso il calcestruzzo è rappresentato dall'impasto della torta mentre le cassette si identificano con la teglia. Come con la teglia si può conferire al dolce una forma specifica - tonda, quadra, a stella, con il foro al centro, etc. - così con la cassaforma si può dare alla struttura la forma voluta o anche un predeterminato livello di finitura superficiale (liscia, scabra, con particolari disegni o tessiture, etc.).

I casseri sono realizzati in molteplici materiali, dal compensato al cartone, dal metallo alle plastiche ma il materiale tradizionalmente più diffuso resta il legno. Questo perché mentre i casseri in altro materiale devono essere prodotti in stabilimento e sono scarsamente adattabili alle specifiche esigenze costruttive, i casseri in legno, invece, possono essere realizzati in cantiere dai carpentieri ed adattati alle esigenze di quella specifica struttura. Anche per realizzare il *magrone* o le strutture tutte o in parte entro terra è necessario utilizzare dei casseri. In questi casi però la casseforma è costituita, interamente o in parte, dalle stesse pareti dello scavo (casseri naturali). Una volta realizzati i casseri si dispone l'armatura metallica, costituita da barre di ferro

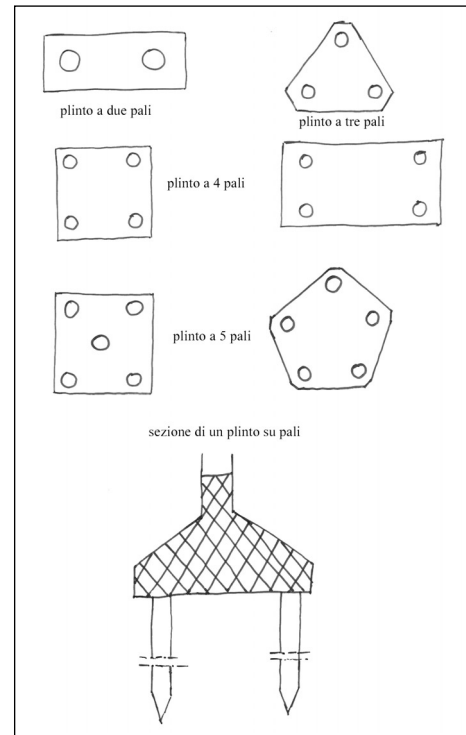


Fig. 6.10 - Disposizione dei pali per vari tipi di plinti isolati

¹ Il calcestruzzo magro o *magrone* è un calcestruzzo dosato con una quantità minima di cemento. Salvo i necessari calcoli di dettaglio, legati alla composizione granulometrica del calcestruzzo in funzione delle prestazioni richieste, normalmente un metro cubo di calcestruzzo è realizzato usando 0,8 m³ di sabbia, 0,4 m³ di pietrisco, 300 kg di cemento 325 e 180 litri di acqua. Il *magrone* ha la stessa composizione ma il cemento è in quantità inferiori a 200 kg/m³.

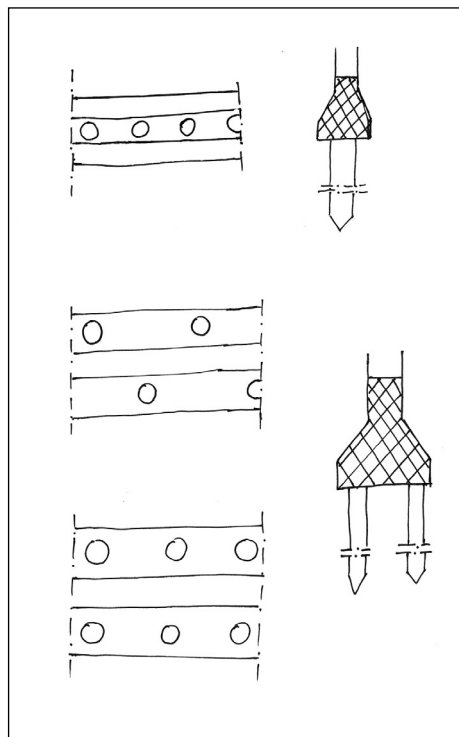


Fig. 6.11 - Disposizione dei pali per vari tipi di trave rovescia

acciaioso ad aderenza migliorata, e, dopo avere abbondantemente bagnato il tutto, si fa il getto di calcestruzzo. È necessario bagnare prima del getto perché la reazione esotermica di idratazione del calcestruzzo potrebbe essere compromessa dalla quantità d'acqua assorbita dalle casseforme asciutte. Prima del montaggio delle armature i casseri vanno trattati con un disarmante (si tratta di un prodotto chimico anche molto semplice come il latte di calce) che, come il burro sul fondo della teglia, impedisce al calcestruzzo di aderire alle casseforme. Attenzione: il disarmo può avvenire dopo alcuni giorni al raggiungimento di una percentuale sufficiente di resistenza perché l'elemento strutturale realizzato possa autoportarsi. Nella realizzazione dei plinti o delle travi rovesce, la cui sezione ha una forma diversa da quella rettangolare (tronco piramidale o a T rovescia), il getto viene fatto in due fasi. Prima si getta la suola a contatto con il magrone facendo in modo che dal getto emergano, per la lunghezza prevista nel regolamento, i ferri di attesa a cui saranno collegate le armature dell'anima. Successivamente, dopo alcuni giorni, si arma - si dispongono cioè i casseri e l'armatura metallica - e si getta l'anima della trave.

Le **strutture di fondazione indiretta** sono quelle che scaricano sul terreno di fondazione, non solo attraverso il contatto diretto, ma principalmente tramite degli elementi che, come prolunghe, le collegano agli strati portanti del sottosuolo. Questi elementi sono detti pali poiché, in origine, erano dei semplici pali di legno infissi nel suolo. Per comprendere il funzionamento dei pali si pensi alle palafitte preistoriche così come sono normalmente raffigurate sui libri di scuola. In quel caso è evidente che nelle aree lacustri dove sorgevano le palafitte non era possibile utilizzare le fondazioni dirette ma era indispensabile superare lo strato di limo ed acqua per attestare le fondazioni su uno strato solido che normalmente era posto ad alcuni metri di profondità. Per fare questo i nostri antenati utilizzavano dei pali di legno che infiggevano nel fondo della laguna. Sui pali costruivano poi la piattaforma, corrispondente alla nostra platea, sulla quale edificavano la capanna. Tale tecnica è stata utilizzata inalterata per migliaia di anni e tutt'ora garantisce la stabilità dei centri storici delle maggiori città sorte in aree lacustri o paludosi, prima fra tutte Venezia.

Come nel caso delle fondazioni dirette si possono avere fondazioni continue su pali (travi rovesce su pali e platee su pali) e fondazioni discontinue su pali (plinti su pali).

I pali, dal punto di vista statico possono lavorare **di punta** o **per attrito**. Nel primo caso il palo viene infisso nel terreno fino a raggiungere uno strato portante. In questo caso il palo trasmette il carico al terreno di fondazione tramite il contatto fra l'area della punta e il suolo ovvero lavora di punta. Nel caso del palo che lavora per attrito, invece, il carico viene trasmesso al terreno lungo le pareti laterali del palo grazie all'attrito fra il suolo e il palo. Tale soluzione si

adotta quando non vi sono, a profondità ragionevoli, strati di materiale con buone capacità portanti. Nella realtà i pali hanno un comportamento sempre intermedio ma, a vantaggio di sicurezza, normalmente si trascura il contributo minoritario.

I pali, dal punto di vista costruttivo, indipendentemente dal materiale utilizzato – legno, c.a. o acciaio etc. – si suddividono in pali battuti e pali trivellati. I pali battuti, il cui prototipo è il tronco d'albero infisso nella laguna, sono realizzati in massima parte in c.a. prefabbricato, legno e acciaio, hanno normalmente forma tronco conica (la differenza fra i diametri di base e di sommità è in realtà minima) e sono dotati di una punta metallica (puntazza) che ne favorisce l'infissione nel terreno. Essi vengono infissi nel terreno come un gigantesco chiodo. La punta viene posta a contatto con il terreno mentre l'altra estremità è battuta con un maglio facente parte di un'attrezzatura meccanica detta battipalo. Il palo viene infisso fino al rifiuto, cioè finché sotto i colpi del maglio non penetra più nel terreno. Il palo trivellato è realizzato forando il terreno con una trivella di adeguato diametro e un idoneo sistema di contenimento del foro (camicie metalliche o fanghi bentonitici). In questo foro viene calata l'armatura metallica, generalmente limitata a pochi metri di profondità dal piano di campagna, e, infine, viene fatta la gettata di calcestruzzo ritirando o espellendo la struttura di contenimento del foro.

In conclusione, sia che si tratti di fondazioni dirette sia che si parli di fondazioni indirette, i passi progettuali sono:

1. Esecuzione di un'appropriata campagna di indagini geotecniche volte a determinare le caratteristiche fisiche e meccaniche del terreno;
2. Scelta del più adeguato sistema di fondazione;
3. Analisi delle interazioni fondazione-terreno;
4. Verifica della stabilità dell'opera;
5. Calcolo dei cedimenti.

Ovviamente le fondazioni descritte sono state riferite alla struttura di un edificio, ma esse sono utilizzate anche per fondare qualsiasi struttura civile: una diga, un serbatoio, un muro di sostegno, etc..

6.4 La struttura in elevazione

Le strutture in elevazione per gli edifici sono realizzate sostanzialmente in due modi: a telaio o a setti portanti. In realtà piuttosto che a telaio si dovrebbe parlare, in zona sismica, di struttura a gabbia o ad intelaiatura spaziale poiché si tratta di più telai che si intersecano ortogonalmente formando una vera e propria gabbia strutturale.

Le **strutture a setti portanti** in muratura sono molto antiche e ancora oggi ampiamente realizzate in tutto il mondo sia utilizzando la muratura che il c.a.. Questo sistema di costruzione della struttura verticale sfrutta il

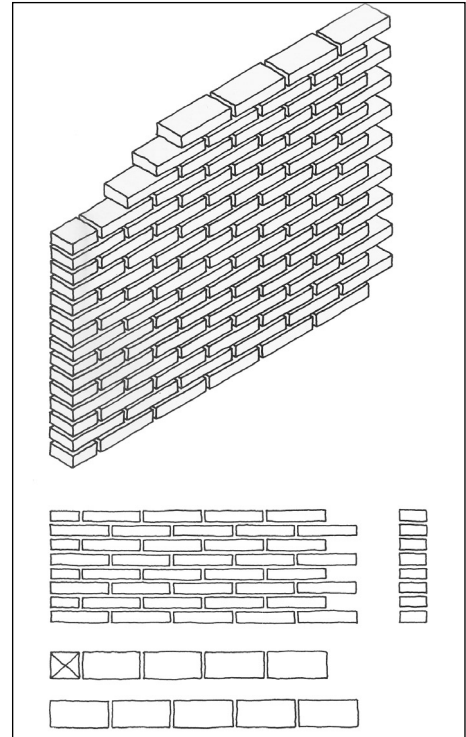


Fig. 6.12 - Muro ad una testa concatenato a cortina. Veduta assonometrica, prospetto, sezione e pianta dei corsi di mattoni (Immagine tratta da A. Acocella, *L'Architettura del Mattone faccia a vista*, Roma 1989.)

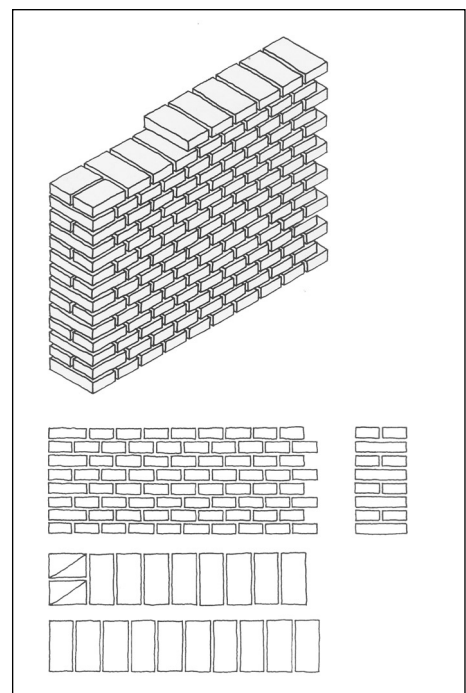


Fig. 6.13 - Muro a due teste concatenato di testa. Veduta assonometrica, prospetto, sezione e pianta dei corsi di mattoni (Immagine tratta da A. Acocella, *L'Architettura del Mattone faccia a vista*, Roma 1989.)

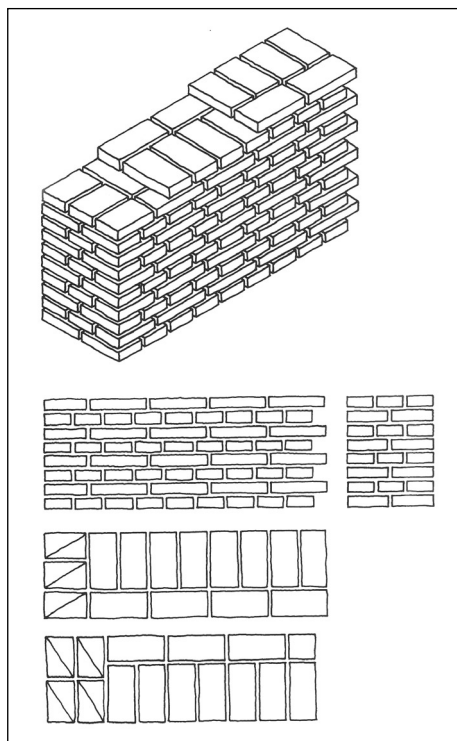


Fig. 6.14- Muro a tre teste concatenato a blocco. Veduta assonometrica, prospetto, sezione e pianta dei corsi di mattoni (Immagine tratta da A. Acocella, *L'Architettura del Mattone faccia a vista*, Roma 1989.)

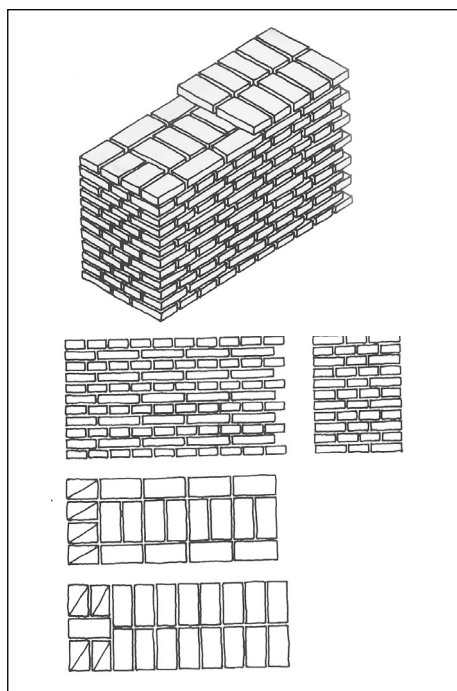


Fig. 6.15 - Muro a quattro teste concatenato a blocco. Veduta assonometrica, prospetto, sezione e pianta dei corsi di mattoni (Immagine tratta da A. Acocella, *L'Architettura del Mattone faccia a vista*, Roma 1989.)

principio della compressione. La struttura dell'edificio, o più in generale dell'opera di ingegneria civile, viene realizzata costruendo dei setti o sostegni verticali continui: i muri. Questi vengono formati "dalla unione di pietre sovrapposte ed affiancate ad altre, aderenti per contatto semplice o mediante un materiale legante, disposte in modo che il concatenamento fra di esse sia reciproco e renda il manufatto che esse costituiscono di unica consistenza, per resistere alle sollecitazioni da cui è cimentato. Perciò si distinguono due grandi categorie di sostegni verticali continui: muri a struttura a secco e muri a struttura con malta." [C. Guerra *Architettura Tecnica*, Napoli 1952, pag. 75]. A questa soluzione tradizionale si sono andate affiancando negli anni soluzioni innovative quali quelle in c.a. in opera o prefabbricato, in cls alleggerito con o senza isolamento termico o acustico, FRP (acronimo dell'espressione inglese traducibile in Plastiche Fibro Rinforzate), etc.

La muratura portante costituisce uno dei capitoli più affascinanti della tecnologia delle strutture architettoniche e di ingegneria civile, investendo vari aspetti dell'edilizia dalla costruzione degli edifici alla realizzazione delle strutture di contenimento fino a giungere alla riscoperta, nell'ingegneria naturalistica, delle murature a secco. Ma, per le finalità di questo testo, l'attenzione verrà posta solo sulla costruzione delle murature portanti in laterizio con l'uso dei mattoni pieni del tipo UNI (25 cm x 12 cm x 5,5 cm) che costituiscono una soluzione standardizzata di larga e semplice applicazione su tutto il territorio nazionale.

Nelle figure 6.12, 6.13, 6.14, 6.15 sono indicate le principali caratteristiche costruttive riguardanti la disposizione dei mattoni in murature a due, tre e quattro teste. La testa è la larghezza del mattone; nel caso del mattone UNI è pari a 12 cm. Per cui una muratura a una testa ha uno spessore di 12 cm, una a due teste ha uno spessore di circa 25 cm - (2 x 12 cm) + 1 cm di malta (comento) - una a tre teste uno spessore di circa 38 cm ed infine una muratura a quattro teste ha uno spessore di circa 50 cm (vedi capitolo sui materiali). Dalle figure emerge in modo evidente che, qualunque sia l'apparecchiatura muraria utilizzata, si deve evitare l'allineamento in orizzontale ed in verticale delle commessure - giunti - di due filari adiacenti. La **malta** (costituente una sorta di guarnizione per ripartire uniformemente i carichi da un concio murario agli altri) oggi utilizzata è quasi sempre una malta bastarda ottenuta dall'impasto, in diverse percentuali, di grassello di calce, cemento, sabbia ed acqua (vedi capitolo sui materiali).

La struttura in elevazione viene realizzata **a cassa chiusa**, ossia con murature continue perimetrali collegate con murature trasversali in modo che gli spazi liberi interni fra le murature vengano a costituire in pianta un insieme di rettangoli o quadrati allineati nelle due direzioni (*maglie*). Il lato maggiore di ogni rettangolo deve essere

di lunghezza non superiore a 7,00 m. Ovviamente si deve fare in modo che gli spazi liberi interni siano accessibili, illuminabili, aerabili. Per fare questo è necessario creare dei vani di passaggio: porte, finestre e porte-finestra. La realizzazione di questi vuoti avviene con l'inserimento di elementi a trilitte con la piattabanda usualmente realizzata in c.a.. Per realizzare una piattabanda in c.a. si costruiscono prima le murature fino all'altezza di imposta della piattabanda stessa (altezza all'intradosso), poi si appronta la cassaforma opportunamente fissata alle pareti laterali e sostenuta da almeno un sostegno a T centrale, si dispongono le armature metalliche e si effettua il getto di cls dopo aver abbondantemente bagnato il tutto. La piattabanda può anche essere realizzata in acciaio o in legno.

I muri sui quali poggiano le strutture in elevazione orizzontali sono detti **muri maestri** mentre gli altri sono definiti **muri di spina**. Particolarissima cura deve essere posta nella progettazione e realizzazione dei cantonali di collegamento fra i vari setti murari in modo che essi costituiscano il punto di forza e non un elemento di frattura dell'edificio. Le murature di un edificio multipiano avranno spessori decrescenti a partire dalla base dell'edificio per arrivare al tetto in funzione della diminuzione dei carichi verticali man mano che si procede verso l'alto. In linea teorica sarebbe opportuno avere delle murature a sezione trapezoidale del tipo di quella normalmente utilizzata per i muri di sostegno. Ciò comporterebbe una mancanza di verticalità delle pareti dell'edificio con tutta una serie di problemi funzionali e estetici. Per ovviare a questo problema si risegano le murature. La **risega** è una riduzione dello spessore murario dal basso verso

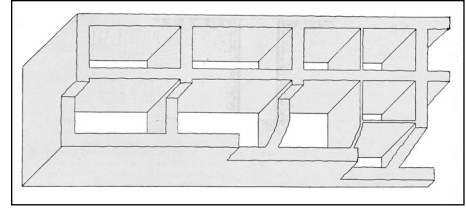


Fig. 6.16 - Struttura a cassa chiusa. Nell'immagine sono visibili i muri maestri, i muri di spina e i tramezzi interni (Immagine tratta da C. Guerra, Architettura Tecnica, 1952).

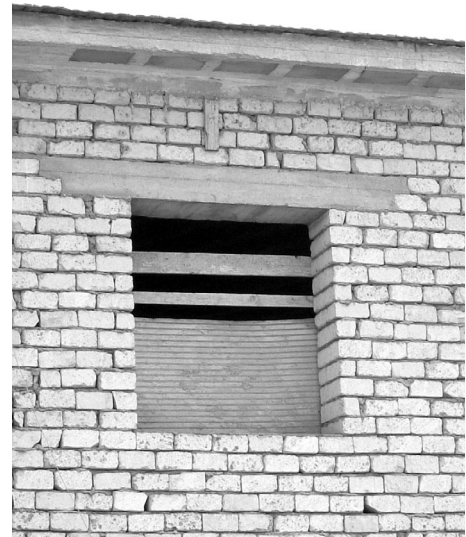


Fig. 6.17- Piattabanda in c.a. inserita in una muratura di tufo giallo napoletano. Si noti il cordolo al di sotto del solaio di copertura.



Fig. 6.18- Piattabanda in ferro. Essa è realizzata con una coppia di profilati in metallici tipo IPE trattenuti insieme da tiranti metallici trasversali. Il vuoto fra i profilati viene colmato con una gettata di cls non armato. I tiranti sono realizzati con barre filettate in modo da consentirne il serraggio con bulloni autobloccanti. È opportuno, nelle costruzioni in pietra sbazzata, porre al di sotto delle sole delle travi in ferro dei mattoni pieni che assicurano un corretto appoggio dei profilati e una migliore distribuzione dei carichi a tutta la sezione del muro. Questi appoggi sono detti **cuscineti**.

Si noti in cordolo al di sotto del solaio di copertura nel quale sono annegate le travi in legno del solaio.



Fig. 6.19 - Armatura di pilastri in c.a. gettati in opera prima della disposizione dei casseri.

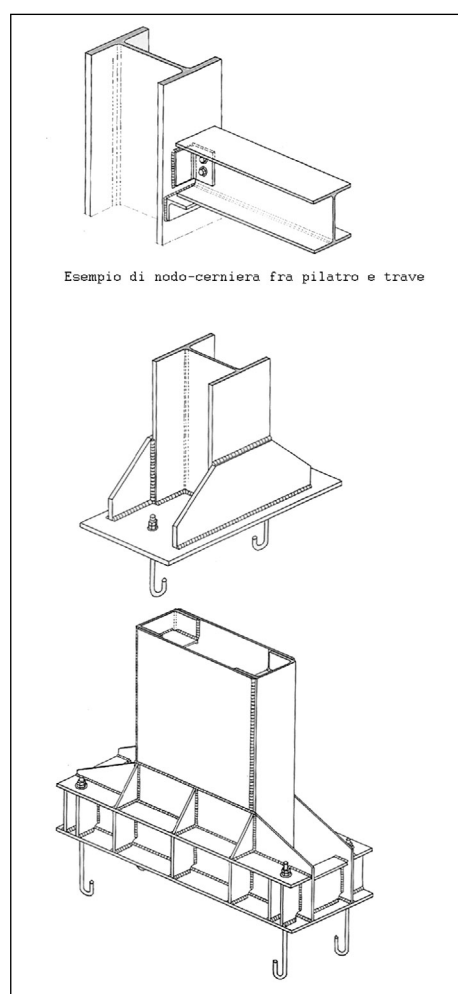


Fig. 6.20- Esempi di giunti a secco per strutture in acciaio. In quest'immagine vengono evidenziati da una parte un tipico nodo-cerniera per una struttura in acciaio e un esempio di attacco di collegamento pilastro-fondazione (Chiostrì Furiozzi, Pilati, Sestini, Tecnologia dell'architettura, Alinea editrice, Firenze 1998).

l'alto in corrispondenza del solaio di interpiano. Di solito tale risega viene fatta sulla faccia interna del muro. Tale soluzione consente di ridurre gli spessori con l'altezza e, nel contempo, garantisce sempre che la faccia esterna dei paramenti murari sia verticale e continua. In corrispondenza dei solai, e comunque non oltre i 3 m di altezza della muratura, è necessario costruire un **cordolo** in c.a.. Il cordolo è, nei fatti, una trave in c.a. appoggiata in ogni punto alla muratura sottostante di spessore pari alla larghezza della muratura, di altezza pari almeno alla metà della larghezza del muro ed armata convenientemente. Esso ha il compito di solidarizzare la struttura permettendole di resistere meglio alle azioni sismiche. La struttura è completata dalla costruzione dei solai che saranno realizzati con le stesse tecnologie descritte per le strutture intelaiate.

Le **strutture a telaio**, o intelaiate, sono oggi lo schema strutturale più diffuso soprattutto per gli edifici alti. Lo schema della struttura è dato da una serie di telai paralleli collegati, ad ogni piano, da travi trasversali in modo che gli spazi liberi interni fra le travi vengano a costituire in pianta un insieme di rettangoli o quadrati allineati nelle due direzioni. Tale schema, come già quello della muratura a cassa chiusa, consente di garantire una elevata stabilità sotto tutti i carichi (specialmente quelli che hanno una componente di azione orizzontale come i carichi sismici e da vento). I materiali utilizzati per realizzare le strutture a gabbia sono sostanzialmente l'acciaio, il legno e il c.a. ordinario o prefabbricato. Recentemente a questi materiali tradizionali si è aggiunta la plastica fibro-rinforzata (FRP) e l'alluminio. Per la funzione di questo testo, l'attenzione verrà posta solo sui materiali tradizionali. La struttura a gabbia, così come quella in muratura, viene realizzata a partire dalle fondazioni. La prima operazione è realizzare i pilastri. Nel caso degli elementi prefabbricati (acciaio e c.a. prefabbricato) i pilastri, realizzati in stabilimento, ossia fuori opera, vengono solidarizzati alla fondazione (in opera o anch'essa prefabbricata) con la creazione di un **giunto di forza** che potrà essere **umido**, cioè con un getto di completamento in cls ovvero a **secco**, cioè con saldatura o bullonatura di una piastra metallica fissata in stabilimento alla base del pilastro con un'analogia piastra predisposta sulle fondazioni durante il getto. La prima soluzione si adopererà principalmente per i pilastri prefabbricati mentre la seconda per i pilastri realizzati con profilati metallici.

Nel caso, invece, della struttura in c.a. ordinario gettato in opera è necessario prima di tutto disporre l'armatura metallica costituita da barre di ferro acciaiato ad aderenza migliorata e staffe perimetrali e poi realizzare i casseri dei pilastri avendo cura di trattarli con il disarmante. Una volta realizzati i casseri e dopo avere abbondantemente bagnato il tutto, si getta di calcestruz-

zo. I ferri di armatura dei pilastri vanno prolungati, secondo le indicazioni progettuali, oltre l'estradosso del solaio per garantire la continuità verticale della struttura (ferri di attesa).

Una volta realizzati i pilastri è necessario, per avere il telaio, costruire le travi di piano. Esse si distinguono in **travi emergenti** dette anche travi alte, e **travi a spessore** o basse. Le travi emergenti, cosiddette perché emergono dallo spessore del solaio, generalmente dall'intradosso, sono caratterizzate da una maggiore inerzia ed hanno, quindi, a parità di sezione, una maggiore rigidità rispetto ad una trave a spessore, che è una trave avente altezza pari all'altezza strutturale del solaio. Le travi emergenti presentano lo svantaggio di creare un ingombro all'intradosso del solaio; tale ingombro può creare dei fastidi estetici ma anche costituire un ostacolo per la corretta distribuzione della rete impiantistica. Normalmente, per rendere meno deformabile la struttura, si dispongono le travi emergenti lungo il perimetro del fabbricato - avendo cura di far coincidere la larghezza delle travi con lo spessore delle murature - e si limita l'uso delle travi a spessore alle parti poste all'interno dell'edificio per conferire maggiore flessibilità all'organizzazione distributiva dell'alloggio. Anche per le travi deve essere distinto il caso degli elementi prefabbricati in acciaio o c.a. da quello degli elementi in c.a. gettato in opera. Nel primo caso il collegamento fra le travi, i pilastri e le altre travi avviene con la realizzazione di giunti di forza umidi o secchi predisponendo ove necessario idonee strutture di controvento. Le caratteristiche di tali strutture saranno ampiamente trattate nei corsi afferenti alla Tecnica delle Costruzioni. Nel caso invece della struttura in c.a. ordinario è necessario costruire la cassaforma. In questo caso però è opportuno gettare le travi insieme al solaio. Il **solaio** è "la **frontiera di separazione tra gli elementi spaziali di un piano e quelli del piano successivo, frontiera intesa sia come supporto, sia come delimitazione degli elementi spaziali stessi**" [Manuale di Progettazione Edilizia, vol. IV pag. 540]. Le soluzioni tecnologiche e strutturali oggi disponibili per realizzare i solai sono innumerevoli ma, nella pratica corrente, i solai utilizzati sono sostanzialmente di due tipi: latero-cementizio gettato in opera ovvero prefabbricato - semplice e precompresso - e in acciaio.

I **solai latero-cementizi** sono quelli oggi più diffusi: sono caratterizzati dall'aver degli elementi portanti, i travetti e la soletta, e degli elementi portati, i laterizi di alleggerimento, detti pignatte. I travetti hanno una dimensione minima in pianta da regolamento pari a 10 cm e sono posti ad un interasse di circa 50 cm per cui la pignatta ha una lunghezza di 40 cm; la larghezza è di 25 cm. L'altezza del solaio sarà posta pari, in prima approssi-



Fig. 6.21- Casserature di un pilastro di un vano scala in corso di realizzazione



Fig. 6.22- Cassero di una trave alta in corso di realizzazione. Si notino i ferri di attesa dei pilastri e le staffe dei pilastri all'interno della trave.



Fig. 6.23- Cassaforma continua per un solaio latero-cementizio gettato in opera in corso di realizzazione. Si notino i sostegni provvisoria T in ferro detti in gergo "cristi".



Fig. 6.24- La stessa cassaforma di Fig. 6.20 vista da diversa angolazione. La foto è stata scattata dopo l'ultimazione della e il getto di cls.

mazione, a s [cm] = $1/25 L_{max}$ dove L_{max} è la luce massima ovvero la massima distanza fra gli appoggi espressa in centimetri. Siccome la soletta ha uno spessore, salvo indicazioni normative specifiche, di 4 cm significa che la pignatta dovrà avere una altezza pari a k [cm] = $(s - 4)$. Per solai di forma irregolare o di luce superiore a 5 m è necessario disporre, ortogonalmente all'orditura degli altri travetti, un **travetto rompitratta** in c.a. (realizzato tradizionalmente eliminando una pignatta per ogni interas-



Fig. 6.25- Disposizione delle pignatte prima del getto di cls. Nello specifico la foto si riferisce ad un solaio latero-cementizio inclinato di copertura.

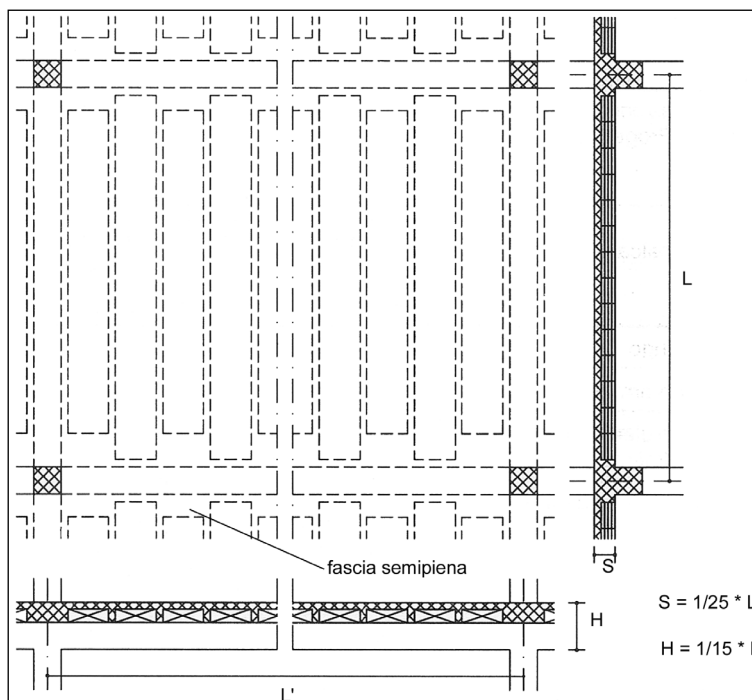


Fig. 6.26- Carpenteria di un solaio latero-cementizio gettato in opera

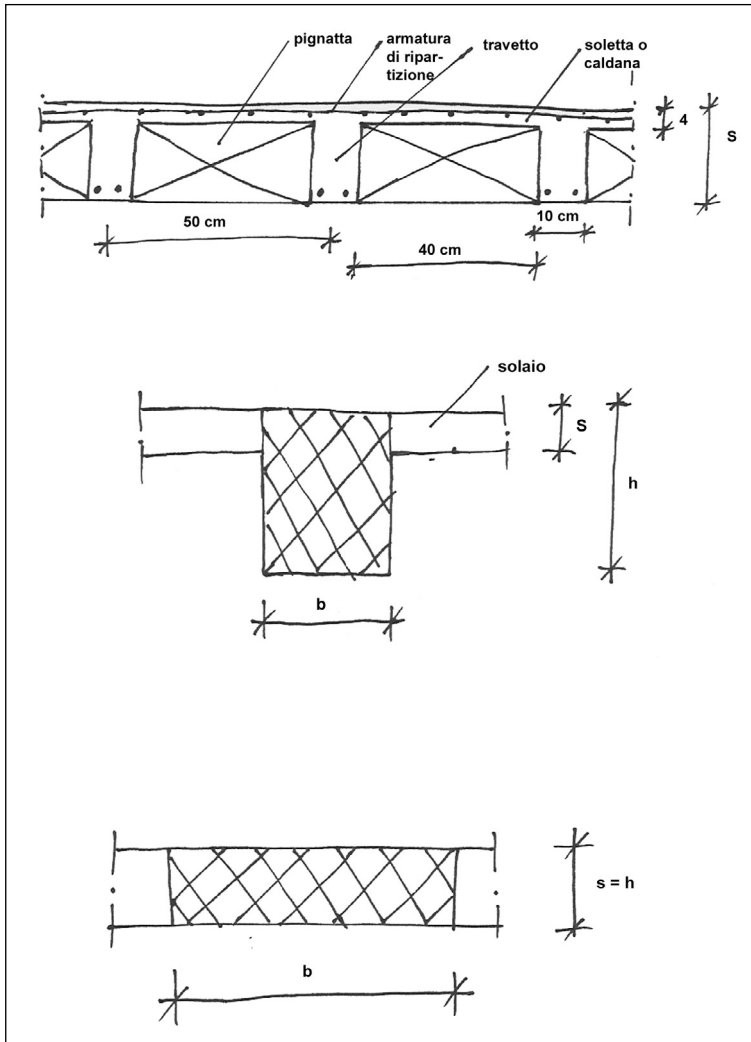


Fig. 6.27- Sezione schematica di un solaio latero-cementizio gettato in opera.

$$S = 1/25 L_{max}$$

La soletta è di 4 cm salvo diverse disposizioni di legge.

La pignatta ha dimensioni

$$40 \text{ cm} \times 25 \text{ cm} \times (S-4) \text{ cm}$$

Nella parte inferiore della figura sono rappresentate le sezioni schematiche di una trave alta e di una trave ea spessore.

Nel primo caso il rapporto $h/b \gg 1$.

Nel secondo caso $h=s$ dove s è lo spessore del solaio e $b \gg h$

se e ponendo una armatura di ripartizione). Inoltre, come si vedrà durante i corsi di Tecnica delle Costruzioni, in corrispondenza degli appoggi intermedi del solaio costituiti da travi emergenti, per contrastare il fenomeno di inversione del momento flettente, è necessario eliminare alcune pignatte realizzando così una fascia continua (*fascia piena*) o discontinua (*fascia semipiena*) atta a garantire un aumento della resistenza a compressione della parte inferiore del solaio.

Per realizzare i solai latero-cementizi gettati in opera è necessario costruire una cassaforma continua che ingloba anche le casseforme delle travi o dei cordoli. Poiché questa cassaforma è posta almeno a 3 metri dal piano di lavoro è necessario prevedere dei sostegni verticali provvisori in legno o in ferro. Sulla cassaforma così ottenuta, con l'aiuto di una dima (sagoma per il controllo delle dimensioni nella tracciatura) di legno di larghezza pari a quella del travetto si sistemano le pignatte in file ortogonali all'appoggio e parallele fra loro. Ove previ-

Fig. 6.28 - Fase di getto di un solaio latero-cementizio in opera. Si noti come si gettano prima le travi fino al livello delle pignatte e poi si realizza il getto finale dello spessore della caldana. Si notino ancora i ferri di attesa dei pilastri.



sto si crea la fascia piena ovvero una zona senza pignatte a ridosso delle travi che, come già accennato, essendo di calcestruzzo armato, ha funzione di aumentare la resistenza del solaio nelle zone di inversione del momento flettente. Sistemate le pignatte, si dispone l'armatura metallica dei travetti e delle travi, si bagna abbondantemente il tutto e si effettua la gettata di calcestruzzo. Nel caso di un solaio latero-cementizio prefabbricato al posto dei travetti gettati in opera si utilizzano travetti prefabbricati semplici o precompressi. Questo vuol dire che non è necessario costruire una cassaforma continua ma, realizzata la cassaforma delle travi o dei cordoli, su di essa si appoggiano i travetti prefabbricati o precompressi, avendo cura di prevedere solo alcuni sostegni verticali intermedi. Sui travetti si appoggiano le pignatte appositamente sagomate in stabilimento, si dispongono le armature di completamento ed infine, dopo aver abbondantemente bagnato, si effettua il getto di calcestruzzo. Una volta che il calcestruzzo è maturato si disarmo. I tempi di maturazione minima sono legati al tipo di calcestruzzo usato e alla natura dell'opera.

I solai in acciaio sono invece realizzati con l'uso di profilati in ferro (IPE o HE), lamiera grecata e soletta collaborante in c.a.. Sulle travi o sui cordoli si vincolano i profilati di ferro posti ad un interasse di circa 3 m, su di essi si appoggiano le lamiere grecate creando, se necessario, degli appoggi verticali intermedi sotto le lamiere, poi si saldano alle lamiere, tramite distanziatori o connettori metallici, i pannelli di rete elettrosaldata; quindi si bagna e si fa getto il calcestruzzo.

Per i soli edifici in muratura si usa ancora la soluzione a *putrelle e tavelloni*. In questo caso i profilati metallici (IPE o NP), detti putrelle, vengono poggiati in appositi riquadri sulla cassaforma dei cordoli ad interasse di circa 80



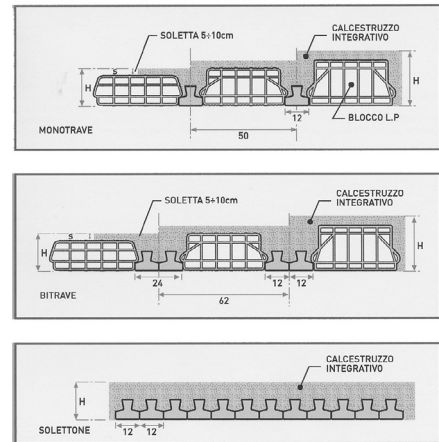
Fig. 6.29 - Travetto rompitratta

cm. Fra i profilati vengono sistemati i tavelloni aventi le dimensioni di 80cm x 25 cm x 6 cm sui quali si fa il getto di calcestruzzo alleggerito fino a raggiungere l'ala superiore del profilato. Sull'ala superiore del profilato si saldano, tramite distanziatori - connettori metallici - i pannelli di rete elettrosaldata; si bagna e si getta il calcestruzzo.

I solai controterra o di primo calpestio vanno realizzati sempre con strutture prefabbricate o in acciaio, poiché è impossibile l'operazione di disarmo all'intradosso. Prima del getto del solaio è necessario prevedere dei fori di attraversamento per le tubazioni impiantistiche. Queste bucaure sono realizzabili senza intaccare la struttura portante principale del solaio (travetti) *eliminando una o più pignatte*.

Ovviamente l'operazione ricomincia al piano superiore con la costruzione prima dei pilastri, poi delle travi e quindi dei solai. Arrivati al tetto le opzioni sono due: per il tetto piano si procede come per i solai intermedi, salvo variare le armature metalliche secondo i calcoli, mentre nel caso di tetti inclinati si possono scegliere due alternative. La prima prevede la realizzazione di uno o più solai latero-cementizi inclinati realizzati con le stesse modalità di un solaio piano, mentre la seconda prevede la realizzazione di **capriate** lignee, metalliche o in c.a.

La capriata lignea "è a forma di triangolo di cui il lato orizzontale detto catena, corda, tirante, è appoggiato colle estremità ai muri di gronda e su di esso, con opportuni intagli, vengono poggiati i due lati inclinati del triangolo che si chiamano puntoni. L'unione della catena con ciascuno dei puntoni si fa ad incastro marginale e spesso con denti cuneiformi. L'unione dei puntoni al vertice può farsi a semplice contatto, tagliando i puntoni secondo un piano diagonale, oppure a mezza grossezza o anche a tenaglia con pezzo di riporto. (...). Il tipo di incavallatura testè descritta è applicabile a piccole portate, ossia quando la distanza fra i muri di gronda non supera i 4 - 5 m." [C. Guerra op.cit. pagg. 316 e segg.]. Per luci maggiori si devono adottare soluzioni costruttive atte a ridurre, o meglio, ad impedire l'inflessione della catena e dei puntoni. La soluzione classica è costituita dalla capriata palladiana semplice. Essa si ottiene dalla capriata triangolare semplice cui "si aggiungono altre membrature, e precisamente un elemento verticale detto monaco e due razze inclinate chiamate saette e saettoni. (...). Il monaco serve a sorreggere la catena nel suo punto medio, serve altresì a riunire la testa dei puntoni, e serve, infine, a sorreggere la trave orizzontale che costituisce il colmo del tetto. L'unione dei puntoni al monaco si fa ad incastro marginale e per 1/6 della grossezza del monaco; e la testa del monaco si sovr alza sui puntoni per circa 1/3 o 1/2 della grossezza del monaco



www.laterificiopugliese.it

Fig. 6.30- Vari tipi di solai con travetti precompressi



Fig. 6.31 - Sistemata la pignatta sui travetti precompressi si dispone l'armatura a momento negativo e l'armatura di ripartizione e poi si effettua la gettata di calcestruzzo.

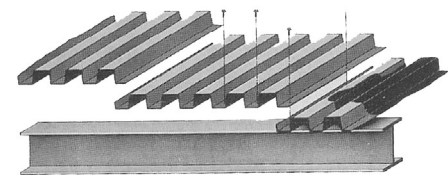


Fig. 6.32- Corretta disposizione delle lamiere grecate sui profilati di appoggio. Sistemate le lamiere si dispone l'armatura di ripartizione e poi si effettua la gettata della soletta in cls ($s \leq 4$ cm).

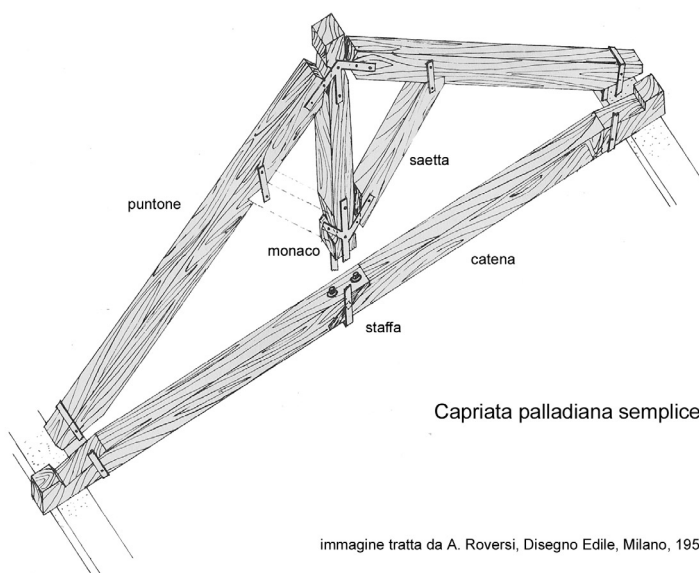
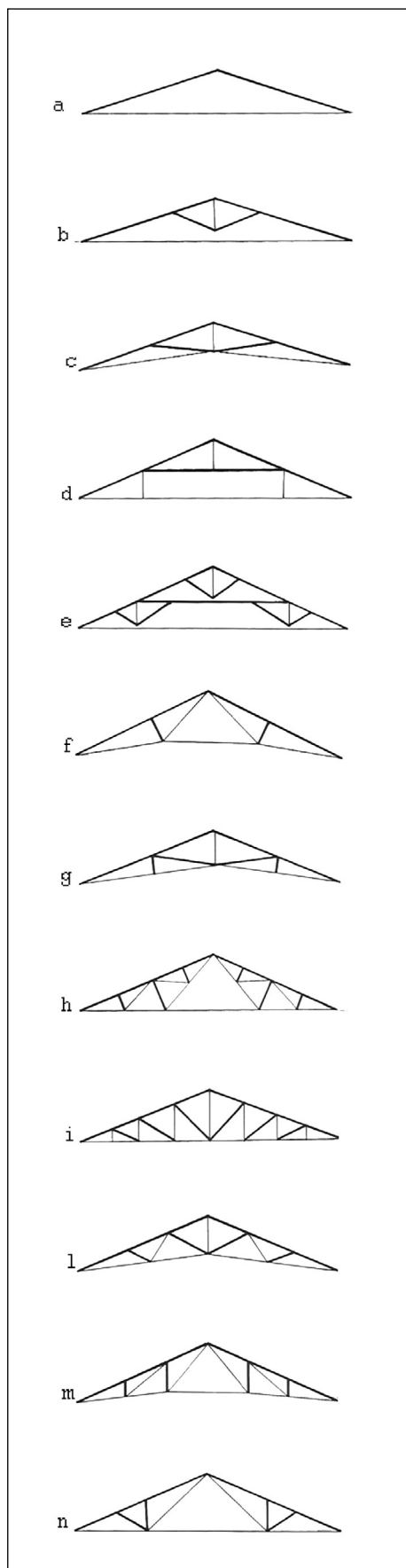


Fig. 6.33 - Elementi costitutivi di una capriata palladiana semplice. Si noti come il monaco non deve poggiare sulla catena ma è ad essa vincolato tramite una staffa che garantisce la complanarità della struttura (Immagine tratta da A. Roversi, Disegno edile, Milano, 1954).

(...). L'attacco della catena al monaco si fa a mezzo di una staffa di sospensione in ferro" [C. Guerra op.cit. pagg. 316 e segg.]. La staffa di sospensione in ferro ha la semplice funzione di garantire la planarità della struttura riducendo, nel contempo, eventuali effetti di catenaria. Sulle capriate si dispone poi l'armatura secondaria, la piccola armatura e il manto di copertura.

Le **capriate metalliche** realizzate in ferro, acciaio o alluminio, rispecchiano sostanzialmente le tipologie tipiche delle capriate lignee. Il grande progresso è avvenuto nella realizzazione dei giunti. Svincolati, infatti, dalle limitazioni costruttive imposte nelle giunzioni dall'uso del legno, si sono potuti realizzare dei collegamenti molto

Fig. 6.34 - Nello schema sono riportati le più frequenti tipologie di capriate. Con tratto sottile sono indicate le parti tese.

- a. capriata triangolare
- b. capriata palladiana semplice
- c. capriata a forbice
- d. capriata palladiana
- e. capriata palladiana composta
- f. capriata Polonceau semplice
- g. capriata con saette e contraffissi
- h. capriata Polonceau composta
- i. capriata inglese
- l. capriata belga
- m. capriata a doppio contraffisso
- n. capriata con saette e contraffissi a V

solidi tramite chiodature, bullonature o saldature che hanno consentito di trasformare il comportamento della capriata in quello di una vera struttura reticolare piana. Questo ha permesso di allontanarsi dallo schema triangolare semplice per originare sistemi costruttivi maggiormente articolati e complessi fino a giungere a realizzare vere strutture reticolari piane. Tali capriate hanno generalmente preso in nome dal progettista o dalla nazione o località ove erano maggiormente diffuse (capriata Polonceau, capriata inglese, capriata belga, etc.).

Le **capriate in c.a.** sono meno diffuse poiché molto più pesanti di quelle in legno o acciaio e anche molto complesse da realizzare e da porre in opera, quando costruite fuori opera. Presentano l'indubbio vantaggio di non necessitare della stessa manutenzione delle capriate metalliche e sono quindi da preferire nei luoghi nei quali siano presenti sostanze in grado di degradare il ferro (ad esempio in prossimità del mare).

Le **scale** in edilizia possono essere realizzate in acciaio, legno e c.a. ordinario o prefabbricato. La tipologia strutturale è varia ma sempre riconducibile ad uno dei seguenti tipi:

- **scale a gabbia intelaiata;** la struttura è costituita da pilastri posti in corrispondenza dei vertici del vano scala; essa può essere separata dalla struttura dell'edificio mediante idonei giunti ovvero essere tutt'uno con la struttura dell'edificio. I pilastri perimetrali sono collegati fra loro con le travi di pianerottolo disposte ortogonalmente alle rampe in corrispondenza dei pianerottoli e con le travi di rampa disposte parallelamente alle rampe. Le travi, realizzate in corrispondenza dei pianerottoli di riposo (vedi capitolo sulle partizioni interne), risultano sfalsate rispetto alle travi di piano della metà dell'altezza di interpiano (quota di interpiano). Le altre travi sono invece poste allo stesso livello delle travi di piano. Fanno eccezione le travi a ginocchio che, essendo travi ad asse spezzato collegati le travi di pianerottolo, non appartengono totalmente né alla quota di piano né alla quota di interpiano.
- **scale con struttura a setti portanti perimetrali;** la struttura è costituita da setti portanti posti lungo il perimetro del vano scala collegati fra loro in modo da formare uno scatolare che avrà anche il compito di irrigidire la struttura per gli effetti dei carichi orizzontali (nucleo irrigidente).
- **scale con setto anima;** la struttura è costituita da un setto in c.a. posto nel trombino (vedi capitolo sulle partizioni interne) della scala. Tale soluzione permette la creazione di scale aperte al contorno esterno. Il setto non può essere sfruttato come irrigidimento a carichi orizzontali dell'intera struttura perché non è



Fig. 6.35 - Trave a ginocchio nella quale sono incastrati i gradini a sbalzo



Fig. 6.36 - Scala realizzata con soletta rampante e gradini riportati. Nello specifico i gradini sono stati realizzati in cls e gettati contemporaneamente alla soletta. Si noti come l'assenza dello sfalsamento crei un antiestetico risalto all'intradosso del pianerottolo.



Fig. 6.37 - Scala realizzata con solaio rampante e gradini riportati. Anche in questo caso i gradini sono stati realizzati in cls e gettati contemporaneamente alla caldana del solaio. Si noti come un corretto sfalsamento permetta un perfetto allineamento degli intradossi di rampe e pianerottolo.



Fig. 6.38 - Scala di sicurezza esterna in acciaio



Fig. 6.39 - Scala interna in acciaio. La struttura è realizzata con uno scatolare centrale sul quale sono fissate a "bilancino" i gradini in lamiera sagomata.

collegato alla struttura dell'edificio.

- **scale con pilastri anima**; la struttura è costituita da due o più pilastri posti nel trombino della scala.

In questo testo l'analisi è limitata alla scala con struttura a gabbia intelaiata in c.a.. I tipi normalmente utilizzati per la costruzione delle rampe in una struttura a gabbia intelaiata in c.a. sono riconducibili ai seguenti schemi:

- trave a ginocchio con gradini a sbalzo isolati o con soletta collaborante
- soletta piena rampante
- solaio ad asse spezzato

La **scala con trave a ginocchio** prevede la realizzazione di ogni rampa mediante una trave ad asse spezzato, incastrata alle estremità alle strutture verticali e stabilizzata alla rotazione dalle travi di pianerottolo, dalla quale si dipartono i gradini a sbalzo. I gradini sono delle mensole incastrate nella trave a ginocchio che, per i carichi accidentali derivanti dall'uso della scala, tendono ad inflettersi creando nei punti di contatto con l'altro gradino una lesione che non ha, peraltro, alcuna rilevanza statica ma può creare un disagio estetico e ingenerare nell'utente una ingiustificata paura di crollo o danno

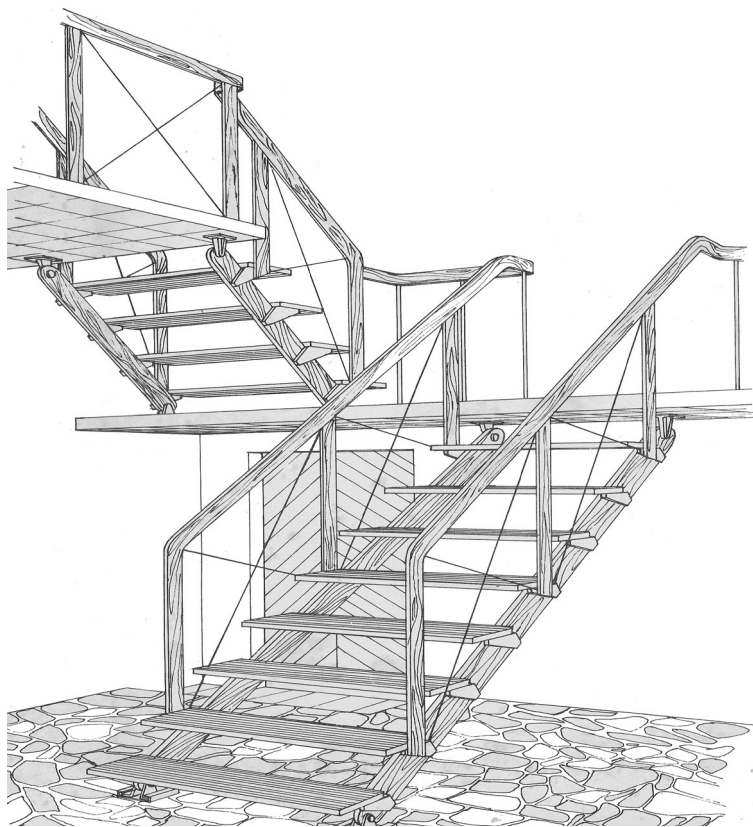


Fig. 6.40 - Scala interna in legno. Si noti l'attacco al pavimento e al pianerottolo realizzato con cerniere metalliche (Immagine tratta da A. Roversi, Disegno edile, Milano, 1954)

strutturale. Per ovviare a questo inconveniente si può isolare ogni singolo gradino ovvero si può realizzare una soletta collaborante dello spessore di circa 4 cm con l'armatura disposta ortogonalmente ai gradini stessi. La **scala a soletta rampante** è realizzata con solette piene in c.a. dello spessore di 10 - 12 cm. La soletta rampante forma un tutt'uno con le solette dei pianerottoli risultando solidale con esse e vincolata alle estremità. Si configura come un soletta piena in cls armato ad asse spezzato poggiata sulle strutture perimetrali del vano scala, nello specifico costituite dalle travi di pianerottolo. I gradini sono riportati sull'estradosso della soletta. La **scala con solaio ad asse spezzato** funziona allo stesso modo dello schema a soletta rampante con la sola differenza che non si tratta di una soletta piena ma di un solaio latero-cementizio gettato in opera. Per esso vale tutto quanto detto per i solai latero-cementizi piani.

Gli schemi strutturali delle rampe di scale in acciaio e legno, in una struttura a gabbia intelaia, sono tutte sostanzialmente riconducibili a due schemi:

- trave a ginocchio centrale o trave anima;
- doppia trave a ginocchio.

La scala con trave anima prevede la realizzazione della struttura con una sola trave a ginocchio in legno o acciaio posta al centro della rampa e sulla quale poggiano a bilanciere i gradini. Per la scala con doppia trave a ginocchio la struttura è eseguita con due travi a ginocchio poste sui lati della rampa e sulle quali poggiano i gradini.

Gli ascensori e i montacarichi presentano una sensibile interazione con la struttura dell'edificio. Il vano corsa di un ascensore ha una dimensione in pianta non trascurabile ($> 2 \text{ m}^2$) e richiede una struttura perimetrale che riquadri il foro da praticare in ogni solaio. Nel caso invece in cui il gruppo elevatori sia inserito in una struttura autonoma, questa sarà costituita da uno scatolare in c.a. che, oltre ad ospitare il gruppo ascensori e montacarichi ed eventualmente il corpo scale, avrà anche il compito di irrigidire la struttura per gli effetti dei carichi orizzontali (nucleo irrigidente). Tale soluzione è ampiamente utilizzata nella costruzione di edifici alti (azioni orizzontali da vento) e di edifici in zona sismica (azioni orizzontali dovute a movimenti tellurici).

6.5 Controlli di accettazione dei calcestruzzi e degli acciai

Come illustrato nel capitolo riguardante il processo edilizio, il Direttore dei Lavori, fra le altre sue mansioni, ha quella di verificare che l'esecuzione dell'opera rispetti le prescrizioni progettuali. Per opere strutturali standardiz-



Fig. 6.41 - Attrezzatura di getto. In primo piano la pompa mentre dietro è visibile la betoniera che scarica nella vasca della pompa.

zate in cemento armato si possono definire alcuni punti di verifica delle principali fasi di lavorazione. In particolare si dovrà verificare che le caratteristiche geotecniche del terreno di posa delle fondazioni corrispondano a quelle utilizzate in fase di progetto e, nel caso di fondazioni su pali, si dovranno eseguire delle prove di carico volte a determinare l'effettiva portata degli stessi. Si dovrà verificare la corretta esecuzione dei casseri perché questo consente di avere una ragionevole certezza sulle dimensioni degli elementi strutturali e, nel caso di getti faccia a vista, si dovrà verificare che le superfici e le giunzioni dei casseri siano state correttamente eseguite da personale qualificato. Il disarmo dei casseri deve avvenire gradualmente in modo da evitare eventuali sollecitazioni dinamiche. La decisione sui tempi di disarmo, comunque mai inferiore a 28 giorni computati dalla gettata, è indicata nelle prescrizioni del progettista strutturale anche se il Direttore dei Lavori gode di una certa autonomia decisionale. Prima di ogni getto di cls è necessario verificare che i ferri di armatura abbiano le caratteristiche prescritte dal progettista delle strutture, che siano posizionati correttamente e che il copriferro predefinito sia rispettato mediante l'uso di idonei distanziatori. Infine, è opportuno che il Direttore dei Lavori verifichi, durante tutte le fasi di getto delle strutture, che il cls abbia il rapporto acqua/cemento e la lavorabilità prescritti o, comunque, dettati dalle regole dell'arte.

Durante l'esecuzione delle strutture il Direttore dei Lavori ha l'**obbligo** di far prelevare campioni di calcestruzzo e acciaio per armature redigendo, in contraddittorio con l'impresa, l'apposito verbale. I provini dovranno essere contrassegnati con sigle o etichettature indelebili in modo che non possano sorgere dubbi che quelli inviati per le prove ai laboratori ufficiali siano i provini effettivamente prelevati in cantiere. I provini, a maturazione avvenuta, saranno inviati ad un laboratorio ufficiale di prove accompagnati da un documento, detto domanda di prove, firmato dal Direttore dei Lavori. La domanda di prove dovrà contenere anche precise indicazioni utili ad individuare senza ombra di dubbio la posizione delle strutture interessate da ciascun prelievo. I risultati dei controlli di accettazione dovranno essere trasmessi al Collaudatore statico che ne accerta la validità. Se i controlli di accettazione risultassero negativi (una delle prescrizioni non risulti verificata), è necessario procedere ad un controllo teorico e/o sperimentale della sicurezza della struttura realizzata sulla base della resistenza ridotta del conglomerato emersa dalle prove sperimentali, ovvero avviare una campagna di indagini avente lo scopo di verificare le caratteristiche del conglomerato posto in opera. Si farà uso preferibilmente di metodologie di prove non distruttive e, ove necessario, si procederà, avendo cura di non intaccare l'armatura metallica, al



Fig. 6.42 - Provino di calcestruzzo pronto per essere inviato al laboratorio di prova. Si noti la targhetta identificativa del provino.



Fig. 6.43 - Fascio di tondini in ferro per le armature delle strutture in c.a. Si noti in sigillo con il marchio indicante la fabbrica e il lotto di produzione.

prelievo di carote di calcestruzzo indurito da sottoporre a prove di laboratorio. Se tutto ciò non fosse possibile, ovvero i risultati della verifica e della campagna di prova non risultassero tranquillizzanti, si potrà declassare l'opera ovvero eseguire lavori di consolidamento o, in ultima istanza, demolire il manufatto. La normativa non consente l'uso di acciai per cemento armato e da carpenteria non controllati in stabilimento. La fornitura delle barre di acciaio in cantiere deve essere quindi accompagnata dai certificati di origine controllata degli stabilimenti da cui provengono; la provenienza dei ferri può essere controllata dal Direttore dei Lavori verificando la corrispondenza del marchio posto su tutte le barre di ferro con quello del certificato di accompagnamento e di origine. Il Direttore dei Lavori non può apportare varianti al progetto originario, anche se le ritiene indispensabili, senza avvertire con una relazione tecnica il Committente, il progettista architettonico e quello strutturale. Questi ultimi dovranno provvedere a fornire le necessarie indicazioni progettuali per la corretta esecuzione dell'opera. Il Direttore dei Lavori, se stabilisce che un manufatto è stato eseguito in difformità al progetto, può imporre, senza alcun maggior compenso per l'impresa, la demolizione ed il rifacimento. Se le carenze riscontrate non pregiudicano in modo grave l'opera, il Direttore dei Lavori può disporre l'accettazione, previo opportuno declassamento strutturale.

6.5.1 Controlli di accettazione dei calcestruzzi

Il Direttore dei Lavori dovrà disporre per i calcestruzzi un controllo di accettazione di tre prelievi, ognuno formato da due cubetti, per ogni getto che non superi 300 m³ cioè ogni prelievo interesserà 100 m³ al massimo di calcestruzzo omogeneo (dello stesso tipo) gettato. Se il getto si articolerà in più di un giorno sarà necessario un prelievo per giorno di getto. Per getti complessivi sotto i 100 m³ si potrà fare un solo controllo di accettazione di tre prelievi derogando dall'obbligo del prelievo giornaliero.

La rispondenza delle caratteristiche del conglomerato gettato alle prescrizioni di progetto verrà determinata, per ogni controllo di accettazione, nel seguente modo. Per ognuno dei tre prelievi si eseguirà la media del valore di rottura dei due cubetti (resistenza di prelievo) ottenendo i tre valori di resistenza R_1 , R_2 ed R_3 con $R_1 < R_2 < R_3$: la resistenza media del controllo di accettazione sarà $R_m = (R_1 + R_2 + R_3)/3$. Il controllo di accettazione sarà positivo se risultano contemporaneamente verificate le seguenti disuguaglianze:

$$\begin{aligned} R_m &\geq R_{ck} + 3,5 \\ R_1 &\geq R_{ck} - 3,5 \end{aligned}$$

dove R_{ck} è la resistenza caratteristica media di progetto (tutti i dati saranno espressi in N/mm²)

Per edifici con getti di calcestruzzo omogeneo superiori ai 1.500 m³ è prevista la possibilità di fare un controllo di accettazione di tipo statistico. In tal caso si eseguirà un prelievo per ogni giorno di getto per un totale di n prelievi con $n \geq 15$. Si calcolerà poi la resistenza di prelievo (R_n) e si determinerà la resistenza media del controllo di accettazione $R_m = \sum_n R_n/n$. Il controllo sarà positivo se si verificano entrambe le disuguaglianze:

$$\begin{aligned} R_m &\geq R_{ck} + 1,4s \\ R_1 &\geq R_{ck} - 3,5 \end{aligned}$$

dove R_{ck} è la resistenza caratteristica media di progetto; s è lo scarto quadratico medio ed R_1 è il valore minimo della resistenza di prelievo tra gli n prelievi (tutti di dati vanno espressi in N/mm²).

Per l'acciaio d'armatura il Direttore dei lavori dovrà verificare che:

- tutto l'acciaio per C.A. sia di origine controllata e qualificata, con produzione sottoposta a prove di tipo statistico;
- le forniture siano accompagnate dal certificato di origine controllata e qualificata;
- il certificato sia valido (la validità è di sei mesi dalla spedizione)
- i fasci siano sigillati ed abbiano il marchio indi-

- cante la fabbrica e il lotto di produzione;
- le barre poste in opera siano effettivamente tratte dai fasci sigillati.

La Direzione dei Lavori dovrà prelevare e far rompere a trazione nei Laboratori Ufficiali tre spezzoni marchiati di uno stesso diametro scelti entro ciascun gruppo di diametri (da 5 a 10 mm, da 12 a 18 mm e da 20 mm in poi) per ciascuna partita prescelta proveniente dallo stesso stabilimento. Il valore caratteristico di f_y , $f_{(0,2)}$ e f_t sarà valutato detrando alla media dei valori di prova 10 N/mm² per f_y e $f_{(0,2)}$ e 20 N/mm² per f_t . Se queste prove dessero risultati negativi occorrerà ripetere la prova di rottura su altri sei campioni dello stesso diametro e partita (si detrarrà dalla media dei 9 provini (3 + 6) rispettivamente 20 N/mm² per f_y e $f_{(0,2)}$ e 30 N/mm² per f_t). Se i risultati fossero ancora negativi, si ripeterà, dopo aver dato ampio preavviso allo stabilimento di produzione, la prova su ulteriori venticinque campioni, valutando il valore caratteristico di f_y , $f_{(0,2)}$ e f_t con le modalità che si usano per il controllo di accettazione in stabilimento. In caso di esito negativo queste prove verranno mandate al Servizio Tecnico Centrale del Ministero dei Lavori Pubblici e il produttore sarà tenuto ad inserirle tra i risultati dei controlli statistici della sua produzione. La partita risulterà quindi non idonea all'uso e dequalificata.

BIBLIOGRAFIA

Bibliografia generale

- "Manuale dell'Architetto"*, C.N.R., Roma, 1962
- "Il Manuale dell'Ingegnere"*, Edizioni Cremonese, Roma, 1985
- "Manuale di Progettazione Edilizia"*, Hoepli, Milano, 1995
- "Manuale dei materiali per l'ingegneria"*, Mc-Graw-Hill, Milano, 1996
- E. Allen, *"I fondamenti del costruire"*, Mcgraw&Hill, Milano, 1997
- E. Allen, *"Come funzionano gli edifici"*, Edizioni Dedalo, Bari, 1983
- G. Bo, I. Daddi, M. L. Vicentini, *"Tecnologia delle costruzioni"*, Tamburini editore, Milano, 1973
- L. Caleca, *"Architettura Tecnica"*, Dario Flaccovio Editore, Palermo 1987
- P. Carbonara, *"Architettura pratica"*, UTET, Torino, 1954-62
- A. Carotenuto, F. Cascetta, A. Cesarano e O. Manca, *"Fondamenti di termofisica dell'edificio"* vol. 1, E.DI.S.U. "NA1", Napoli, 1995
- F. Chiostrì, B. Furiozzi, D. Pilati, V. Sestini, *"Tecnologia dell'architettura"*, Alinea editrice, Firenze 1998
- M. Corrado, *"Architettura bio-ecologica"*, De Vecchi editore, Milano, 1999
- B. De Sivo, G. Giordano, R. Iovino, A. Irace, *"Appunti di architettura tecnica"*, CUEN, Napoli, 1995
- C. R. Fantone, *"Introduzione alla tecnologia delle costruzioni"*, Alinea editrice, Firenze, 1998
- G. Ferracuti, *"Corso di tecnologia I"*, Alinea editrice, Firenze, 1987
- A. Frattari, Flavio Scenico, *"Il porfido, architettura e tecnica"*, Gruppo Editoriale Faenza, Faenza (RA) 2001
- M. Gennari, G. Dallai, *"Introduzione alla tecnologia dell'architettura"*, Alinea editrice, Firenze, 1984
- M. Grisotti, *"Architettura Tecnica"*, in *"Enciclopedia dell'Ingegneria"*, vol. VII, Mondadori, Milano, 1974
- C. Guerra, *"Architettura Tecnica"*, Napoli 1952
- E. Mandolesi, *"Edilizia"*, UTET, Torino, 1978 - 1991
- L. Mollo, *Tipologie costruttive aversane* – CUEN, Napoli, 2004
- E. Neufert, *"Enciclopedia pratica per progettare e costruire"*, Hoepli, Milano, 1978
- P.L. Nervi, *"Costruire correttamente"*, Hoepli, Milano, 1955
- A. Petri, *"Tecnologie dell'architettura"*, Görlich – Istituto Geografico De Agostini, Roma, 1981
- L. Quaroni, *"Progettare un edificio: otto lezioni di architettura"*, Mazzotta, Milano 1977
- G. Rossini, D. Segré, *"Tecnologia edilizia"*, Hoepli Milano, 1981
- J. Summerson, *"Il linguaggio classico dell'architettura"*, Einaudi, Torino 1970.
- G. Tagliaventi, *"Morfologia strutturale dell'architettura"*, Gangemi Editore, Roma 1996
- I. Tagliaventi, *"L'organismo architettonico"*, Clueb, Bologna, 1998
- B. Zevi (a cura di), *"Il Nuovo Manuale dell'Architetto"*, Mancosu Editore, Roma, 1997

Bibliografia specifica

La bibliografia specifica integra, per i singoli argomenti, la bibliografia generale e, pertanto, è stata suddivisa per capitoli.

Capitoli 1, 2, 3 e 4

- A. Cianflone, *"L'appalto di opere pubbliche"*, Giuffrè, Milano, 1985
- G. Cianciulli, *"Computo, contabilità, costi della sicurezza, cronoprogramma"*, ACCA software s.r.l., Montella (AV), 2000
- G. Condarelli, *"Vademecum per gli appalti"* – EPC Libri, Roma 2002

- G. Cisani, *"La pratica amministrativa e contabile nella condotta delle opere pubbliche"*, Società Editrice Vannini, Gussago (Bs), 1996
- P. N. Maggi *"Il processo edilizio: metodi e strumenti di progettazione edilizia"* (vol.I) CittàStudi, Milano, 1994.
- P. N. Maggi *"Il processo edilizio: metodi e strumenti di ergotecnica edilizia"* (vol.II) CittàStudi, Milano, 1994.
- S. Mecca *"Il progetto edilizio esecutivo"* NIS, Roma, 1991
- A. Tabarrini, L. Tabarrini, *"L'esecuzione di opere pubbliche"*, Maggioli Editore, Dogana (Repubblica di S. Marino) 2003
- A. Valentineti, *"La pratica amministrativa e contabile nella condotta di opere pubbliche"*, Società Editrice Tannini, Gussago (Bs), 1997

Capitolo 5

- G. Aliprandi, *"Principi di ceramurgia e tecnologia ceramica"* – 2a ed., E.C.I.G., Genova, 1975
- G: Blanco, *"Pavimenti e rivestimenti lapidei"*, Nuova Italia Scientifica, Milano 1991
- R.S. Boyton, *"Chemistry and technology of lime and limestone"* – Interscience, New York, 1966
- M. Collepari, V. S. Ramachandran, *"Effect of admixtures"*, Proceedings 9th International Congress on the Chemistry of Cement, New Delhi, 1992
- M. Collepari, L. Coppola, *"Materiali innovativi per calcestruzzi speciali"* – Enco, Spregiano, 1990
- F. Chiromante, *"I materiali nelle costruzioni edilizie"* – Casa editrice dott. L. Macri, Firenze, 1950
- T. Emiliani, E. Emiliani, *"Tecnologia dei processi ceramici"* – Ceramurgica srl, Faenza, 1982
- L. Guarnirei, *"Conoscere i materiali da costruzione: materiali cellulari minerali e vegetali"* – Gorlich editore, Milano, 1966
- G. Giordano, *"La moderna tecnica delle costruzioni in legno"*, Hoepli, Milano, 1964
- G. Peco, *"I prodotti ceramici: dalla tradizione all'alta tecnologia"*, Marzorati, Milano, 1991
- A. Short, W. Kinniburgh, *"Lightweight concrete"*, Applied Science Publishers, London, 1978
- F. Singer, S.S. Singer, *"Industrial ceramics"* – Chapman & Hall, London, 1979
- M. Toni, *"Interventi, materiali e strumenti per l'isolamento acustico degli edifici"* – Maggioli editore, 1997
- T. Turco, *"Il gesso : lavorazioni, trasformazioni, impieghi"* – Hoepli, Milano, 1961
- R. Turriziani, *"Aspect on the Chemistry of pozzolans"* – H.F.W.Taylor. vol.II, Academic Press, London, 1960

Capitolo 6

- A. Acocella, *"L'architettura del mattone faccia a vista"* – Edizioni Laterconsult, Roma, 1989
- A.A.VV. *"L'acciaio nell'edilizia moderna"* – Italsider, Genova, 1966
- I. Consonni, *"Scale: elementi progettuali e costruttivi"* – Hoepli, Milano, 1990S.
- Di Pasquale, *"Elementi di statica delle Costruzioni"* – in S. Di Pasquale, C. Messina, L. Paolini B. Furiozzi, *"Costruzioni"*, Le Monnier, Firenze, 1999
- K. Frampton, *Tettonica e Architettura, Poetica nella forma architettonica nel XIX e XX secolo*, SKIRA, Milano 1999
- V. Franciosi, *"Scienza delle Costruzioni "*, Liguori editore, Napoli, 1984A.
- Migliacci, *"Progetti di strutture"*, Masson, Milano, 1991
- M. Salvatori, R. Haller, *"Le strutture in architettura"*, ETAS libri, Milano 1992
- N. Sinopoli, V. Tatano, *Sulle tracce dell'innovazione tra tecniche e architettura*, Franco Angeli, Milano, 2000
- A. Sollazzo, S. Marzano, *"Scienza delle costruzioni 2"*, UTET, Torino, 1988
- G. Ciscato, *"La grafica strutturale esecutiva dei cementi armati"*, Alinea editrice, Firenze, 2002
- E. Torroja, *"Razòn y ser de los tipos estructurales"*, ITCC, Madrid, 1964

Capitoli 7, 8, 9 e 10

- C. Agheno e C. Azzolino, *"Il progetto dell'elemento di involucro opaco"* – Celid, Torino, 1996
- AA. VV., *"Le chiusure verticali – Quaderni del manuale di progettazione edilizia"* – Edizione HOEPLI, Milano, 2002
- F. Bazzocchi, *"Facciate ventilate – Architettura, prestazioni e tecnologia"* – Alinea editrice, Firenze 2002
- H. E. Beket, J. A. Godfrey, *"Windows: performance, design and installation"* – Londra, 1974
- A. Boeri, F. Conato, E. Mancini, *"Elementi di tecnologia"* – Pitagora Editrice Bologna, 1996
- P. Boltri, R. Vinci, *"Le chiusure trasparenti"* – BE.MA. Editrice, 1989;
- G.C. Casanova, *"Costruzioni prefabbricate a pannelli di grandi dimensioni. Quaderno 6"*, Quaderni Istituto di Architettura e Urbanistica, Facoltà di Ingegneria Bari, Bari, 1983
- C. Cecere, S. Mornati, M. Cuoiani, C. Vittori, *"Murature e pannelli. Le pareti esterne"*, La Nuova Italia Scientifica, Roma, 1994
- R. Ciottoli, C.F. Guerrieri, *"Finestre"* – Maggioli edit., Roma, 1992
- G. Del Piero, *"Le costruzioni in muratura"* – Udine, CISM, 1984
- G. Di Cesare, *"Laterizi per murature portanti: nuove specifiche CNR"* – In *Laterizio*", BE-MA, Milano, n. 4 (1985)
- Frames – *"Architettura dei serramenti"* – Ottobre-Novembre 1997, n. 70;
- M. Giua, *"La nuova normativa UNI per gli elementi in laterizio per murature"* – In *Laterizio*, ", BE-MA, Milano, n. 2 (1987)
- F. Landini, R. Roda, *Costruire a regola d'arte - Vol.3 Chiusure Orizzontali*, Be-Ma editrice, Milano 1990
- C. Latina, *"Muratura portante in laterizio – Tecnologia, progetto, architettura"* – Edizioni Laterconsult, Roma, 1994
- Oesterle, Lieb, Lutz, Heusler, *"Double – Skin Facades"*, Prestel Verlag, Munich, 2001
- A. Perago *"Progettare tetti e coperture- dalla tegola al fotovoltaico"* Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna, 2004
- G. Peretti, *"Finestre"* – Quaderni SAIE 2, Bologna, 1984
- G. Righetti, *"Il laterizio alveolato"* – In *Laterizio*, BE-MA, Milano, n. 4 (1984) e n. 1 (1985)
- P. Rice, H. Dutton, *"Il vetro strutturale"*, Tecniche Nuove, Milano, 1991
- SAINT GOBAIN, *"Manuale tecnico del vetro"* – Fabbrica Pisana SAINT GOBAIN, Milano 1993;
- N. Tubi, S. Zanarini, *"Costruire in laterizio alveolato"* – Edizioni Consorzio Alveolater, Bologna 1989
- N. Tubi, S. Zanarini, *"Le murature in laterizio alveolato"* – Edizioni Consorzio Alveolater, Bologna 1988
- N. Tubi, *"La realizzazione di murature in laterizio"* – Edizioni Laterconsult, Roma, 1983

Capitolo 11

- AA.VV., *"Impianti termici, sicurezza e risparmio energetico"*, Legislazione Tecnica Editrice, Roma, 2000
- AA.VV., *"Impianti tecnologici negli edifici civili"*, Legislazione Tecnica Editrice, Roma, 1992
- AA.VV., *"Ascensori e montacarichi"*, Legislazione Tecnica Editrice, Roma, 1991
- V. G. Colaianni: *"Impianti tecnici nell'edilizia"*, Franco Angeli, Milano, 2000
- G. Dall'O': *"Gli impianti tecnici"*, Be-Ma Editrice, 1990
- A. Perago, D. Laforgia, A. Ficarella *"Impianti di riscaldamento e condizionamento negli edifici residenziali"* Maggioli Editore, 2004
- V. Re, *"Impianti elettrici nelle abitazioni"*, Editoriale Delfino, Milano, 1994

Capitolo 12

- E. Arbizzani *"La manutenzione programmata"* in *Manuale di Progettazione Edilizia*, vol. III Hoepli, Milano
- M. Delmastro, N. Martinelli, L. Marsocci *"La manutenzione programmata in edilizia"*, Edizioni Il Sole Ventiquattrore, Milano 2000

R. Di Giulio, *"Manuale di manutenzione edilizia"*, Maggioli, Milano 1999

M. Di Sivo *"Il progetto di manutenzione"* Alinea, Firenze 1992

R. Lee., *"Manutenzione edilizia programmata"*, Hoepli, Milano, 1993

Capitolo 13

L. Argentin, M. Clemente, T. Empler *"Costruire le pari opportunità : quaderno tecnico per progettare e realizzare l'accessibilità"* – Comune di Roma, 2000

L. Prestinenzza Puglisi, *"Le barriere architettoniche, guida normativa aggiornata al D.P.R. 503/1996"* – NIS, Roma 1996

INAIL – Politecnico di Torino *"Progettazione e barriere architettoniche"* Tipolitografia INAIL, Milano, 1998

Regione Emilia-Romagna (a cura di L. Fantini), *" Progettare la normalità"* – La Pieve, 1992

G. Tortorici, *"Handicap minorile: contributo ad una architettura scolastica"* – F. Angeli editore, Milano, 1979

Giovanni Tortorici, ingegnere civile edile, professore ordinario di Architettura Tecnica presso il Dipartimento di Architettura ed Urbanistica del Politecnico di Bari.

Paolo Pastore, architetto, professore associato di Architettura Tecnica presso il Dipartimento di Architettura ed Urbanistica del Politecnico di Bari.

Fabio Fatiguso, ingegnere civile edile, dottore di ricerca, ricercatore di Architettura Tecnica presso il Dipartimento di Architettura ed Urbanistica del Politecnico di Bari.

Luigi Mollo, ingegnere civile edile, dottore di ricerca, ricercatore confermato di Architettura Tecnica presso il Dipartimento di Ingegneria Civile della Seconda Università degli Studi di Napoli.

Raffaella Baraldi, architetto, dottore di ricerca. Borsista post-dottorato in A.T. presso la Facoltà di Ingegneria della Seconda Università degli Studi di Napoli.

Nicola Maturo, architetto, dottore di ricerca, specializzato in Progettazione Urbana. Borsista post-dottorato in A.T. presso la Facoltà di Ingegneria della Seconda Università degli Studi di Napoli.

Angela Pinto, ingegnere edile, dottoranda di ricerca in Ingegneria Edile presso il D.A.U. del Politecnico di Bari

Carmen Benedetti, ingegnere edile, libero professionista.

Marina De Marco, architetto, libero professionista. Collabora con la cattedra di Architettura Tecnica del Politecnico di Bari

Valentina Palumbo, architetto, libero professionista. Collabora con la cattedra di Architettura Tecnica del Politecnico di Bari

€ 20,00

