

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

Immagini e disegni in copertina:

- Colata di calcestruzzo all'interno dei blocchi Isotex, blocchi cassero di legno-cemento (*Isotex S.r.l.*)
- Solaio contro terra realizzato con casseri a perdere di plastica riciclata (igloo) (*Cazzaniga Costruzioni civili ed industriali S.r.l.*)
- Montaggio della facciata a cellule indipendenti del Solar Carve Tower, grattacielo sulla High Line a Manhattan (NY) – 40 Tenth Avenue (*Focchi S.p.A.*)
- Ferri di armatura e casseri per la realizzazione di una fondazione a trave rovescia (*Cazzaniga Costruzioni civili ed industriali S.r.l.*)
- Sezione verticale di una parete realizzata con blocchi Ytong e serramento di PVC con cassonetto. Solaio di latero-cemento con travetti prefabbricati di tipo tralicciato con fondello di laterizio, pacchetto per il riscaldamento a pavimento e pavimentazione realizzata con listelli di parquet (*Elaborazione di Valentina Puglisi*)

ISBN 978-88-916-3058-2

© **Copyright 2019 Maggioli S.p.A.**

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

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

Azienda con sistema qualità certificato ISO 9001:2008

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

Tel. 0541/628111 • Fax 0541/622595

www.maggiolieditore.it

e-mail: clienti.editore@maggioli.it

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

Il catalogo completo è disponibile su www.maggiolieditore.it area università

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

Capitolo 6

LE STRUTTURE DI ELEVAZIONE VERTICALE PORTANTI E PORTATE

Valentina Puglisi

Si definisce “struttura di elevazione” l’insieme degli elementi tecnici del sistema edilizio che hanno il compito di sostenere i carichi verticali e orizzontali, trasmettendoli alle sottostanti strutture di fondazione.

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

Il corretto dimensionamento delle strutture resistenti, rapportato ad un’attenta valutazione sulla consistenza e sulla distribuzione dei carichi, rappresenta il primo fattore di sicurezza e di durabilità nel tempo dell’edificio nel suo complesso.

Anche se è possibile definire vari criteri per la classificazione delle strutture in elevazione (in base ai procedimenti costruttivi, al principio statico, alla stabilità, alla traccia della struttura sul piano di appoggio, alle caratteristiche geometriche degli elementi costitutivi, ecc.), la norma UNI 8290¹⁵¹, sulla classificazione del sistema tecnologico, articola la struttura in elevazione in:

- strutture di elevazione verticali;
- strutture di elevazione orizzontali ed inclinate (travi e solai);
- strutture di elevazione spaziali (scale, elementi prefabbricati tridimensionali, ecc.).

Tale norma classifica poi le strutture in elevazione verticale per morfologia e caratteristiche costruttive nei seguenti elementi tecnici:

- struttura a telaio (travi e pilastri);
- struttura continua (muratura portante);
- struttura ad arco.

6.1. I requisiti delle strutture di elevazione verticale

I requisiti connotanti delle strutture in elevazione verticale sono relativi sia alla scelta dei materiali costituenti, sia alla sua concezione strutturale (conformazione della struttura, dimensionamento e procedimento costruttivo).

¹⁵¹ Norma UNI 8290:1891, *Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Classificazione e terminologia.*

I requisiti che devono essere rispettati quando si progetta una struttura in elevazione verticale sono: la resistenza meccanica e al fuoco, il benessere termo-igrometrico ed acustico, la durabilità, la protezione dagli agenti esterni, l'integrabilità degli elementi tecnici e la conformabilità degli spazi.

6.1.1. La resistenza meccanica

La resistenza meccanica di una struttura in elevazione verticale è la capacità di mantenere la sua integrità fisica in rapporto alle azioni di carattere sia statico che dinamico. Le azioni possono riguardare:

- i carichi permanenti (peso proprio degli elementi della struttura e di completamento), i carichi di esercizio differenti a seconda della destinazione d'uso (pubblico, privato) e i sovraccarichi derivanti dagli agenti atmosferici (vento, acqua, neve);
- i movimenti di assestamento del terreno, le azioni sismiche e gli urti;
- il fuoco che può generare sia il collasso della struttura che l'emissione di sostanze nocive;
- gli agenti esterni (azioni termiche e chimiche) che possono modificare il comportamento della struttura.

Oltre all'entità e alla qualità dei carichi agenti sulla struttura, devono essere prese in considerazione le caratteristiche dei materiali strutturali e le modalità di collegamento delle varie parti della struttura.

6.1.2. La sicurezza al fuoco

La sicurezza al fuoco di un edificio è stabilita in funzione della sua destinazione d'uso e delle esigenze che si intendono salvaguardare in caso d'incendio. La sicurezza dipende dagli accorgimenti di carattere distributivo presi in fase di progetto e dai sistemi di sicurezza utilizzati, ma anche dai materiali strutturali impiegati e dalla concezione strutturale dell'edificio stesso.

La resistenza al fuoco della struttura è intesa come il tempo necessario a raggiungere uno dei due stati limite: stabilità e integrità. La stabilità è la capacità di reagire ai carichi, mentre l'integrità è la capacità di impedire la propagazione dell'incendio.

Un elemento strutturale è stabile se non raggiunge il limite di stabilità, tagliafiamme se non raggiunge il limite di integrità, tagliafuoco se non raggiunge entrambi i limiti.

Le norme UNI 9502¹⁵², 9503¹⁵³, 9504¹⁵⁴ consentono di valutare per via analitica la resistenza al fuoco degli elementi strutturali: le fasi del calcolo riguardano la determinazione della temperatura internamente all'elemento strutturale, le caratteristiche meccaniche in funzione della temperatura, la verifica della capacità portante e della resistenza a rottura in presenza di un carico d'incendio di intensità e durata prestabilite.

Per avere una buona resistenza al fuoco si possono limitare le luci delle strutture, inserire dei giunti efficienti sotto l'aspetto termico e disporre gli elementi rigidi di controventamento al centro della struttura per non avere un ostacolo alla dilatazione termica degli impalcati.

L'iperstaticità rappresenta un fattore positivo nella resistenza al fuoco.

In generale la resistenza al fuoco può essere migliorata con:

- *l'ignifugazione*: consiste nell'impregnare i materiali infiammabili (legno, materiali tessili, ecc.) con sostanze chimiche in grado di impedire lo sviluppo delle fiamme (il materiale si consuma più lentamente senza emettere fiamme o calore);
- *la protezione degli elementi*: si ottiene con l'adozione di sistemi passivi. I materiali di protezione applicati sull'elemento strutturale (gesso, cemento, lana di vetro e di roccia, vermiculite, perlite, argilla espansa, ecc.) associano all'incombustibilità la proprietà di non emettere prodotti volatili infiammabili o tossici.




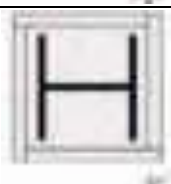


Nelle strutture di cemento armato le dilatazioni termiche possono determinare sforzi di trazione che implicano lo sfilamento delle armature, con conseguente collasso per effetto dei carichi applicati. Il comportamento al fuoco del cemento armato può essere migliorato attraverso l'adozione di inerti e leganti meno sensibili all'aumento di temperatura e incrementando lo spessore del copriferro.

Essendo l'acciaio molto sensibile alle variazioni di temperatura, deve essere posta particolare attenzione alla protezione antincendio della struttura, di norma ottenuta mediante vernici o rivestimenti. La temperatura di un elemento di acciaio aumenta tanto più velocemente quanto maggiore è il rapporto fra la superficie laterale esposta al fuoco e la dimensione della sezione.

¹⁵² Norma UNI 9502:2001, *Procedimento analitico per valutare la resistenza al fuoco degli elementi costruttivi di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso.*

¹⁵³ Norma UNI 9503:2007, *Procedimento analitico per valutare la resistenza al fuoco degli elementi costruttivi di acciaio.*

¹⁵⁴ Norma UNI 9504:1989, *Procedimento analitico per valutare la resistenza al fuoco degli elementi costruttivi di legno.*

Tipo di struttura		Classe di resistenza al fuoco		
		≥ REI 90	REI 60	REI 30
	Cemento armato	$b \geq h \geq 24 \text{ cm}$	$b = h \geq 15 \text{ cm}$	-
	Mattoni pieni	$b \geq 36,5 \text{ cm}$	$b \geq 24 \text{ cm}$	-
	Profilato metallico rivestito con conglomerato cementizio	$s \geq 5 \text{ cm}$	$s \geq 3,5 \text{ cm}$	$s \geq 2 \text{ cm}$
	Profilato metallico rivestito con: - pannelli di gesso - pannelli di cartongesso - muratura	$s \geq 5 \text{ cm}$ $s \geq 4,5 \text{ cm}$ $s \geq 7 \text{ cm}$	$s \geq 3 \text{ cm}$ $s \geq 1,2 \text{ cm}$ $s \geq 5 \text{ cm}$	$s \geq 1 \text{ cm}$ - -
	Profilato metallico rivestito con: - intonaco di gesso - intonaco di fibrocemento con proprietà isolanti	$s \geq 5 \text{ cm}$ $s \geq 3 \text{ cm}$	$s \geq 3,5 \text{ cm}$ $s \geq 2 \text{ cm}$	$s \geq 2 \text{ cm}$ $s \geq 0,5 \text{ cm}$
	Trave di legno rivestita da pannelli di cartongesso	-	$s \geq 1,5 \text{ cm}$	-

Tab. 6.1: Protezione antincendio di elementi strutturali monodimensionali.

Fonte: Callocchia, V. (1989)¹⁵⁵.

¹⁵⁵ Callocchia, V. (1989), *Manuale di norme e procedure antincendio*, NIS, Firenze.

Le murature portanti di pietra (sia naturale che artificiale) hanno un buon comportamento in caso d'incendio che aumenta in modo lineare con l'aumento dello spessore degli elementi strutturali. Il maggior problema è derivato dalla differenza di temperatura da una parete all'altra del muro che può causare fenomeni d'inflessione;

Gli elementi di legno, infine, carbonizzano alla fiamma superficialmente. La carbonatazione superficiale, pur riducendo la sezione resistente in modo progressivo, ha un forte potere isolante. L'interno della struttura può quindi rimanere integra e il danno può essere valutato in funzione del tempo di esposizione.

Tipo di parete	Spessore minimo *	Tipo di solaio	Spessore minimo **
Laterizi pieni:		Solaio di laterizio armato:	
- con intonaco normale - con intonaco isolante	26 cm 26 cm	- con intonaco normale - con intonaco isolante - con soffitto sospeso	30 cm 24 cm 22 cm
Laterizi forati:		Elementi di cls armato precompresso:	
- con intonaco normale - con intonaco isolante	30 cm 14 cm	- con intonaco normale - con intonaco isolante - con soffitto sospeso	30 cm 24 cm 22 cm
Calcestruzzo:		Soletta di cls armato:	
- normale - leggero (con isolante)	30 cm 14 cm	- con intonaco normale - con intonaco isolante	20 cm 16 cm
Muratura di pietrame	40 cm	- con soffitto sospeso	14 cm
* Escluso l'intonaco.			
** Comprensivo di caldaia e copriferro.			

Tab. 6.2: Materiali e spessori di pareti e solai per avere una resistenza al fuoco pari a REI 120.

6.1.3. Il benessere termo-igrometrico

Il benessere termo-igrometrico deve essere considerato nella progettazione delle strutture portanti che fungono da chiusura dell'edificio, quali le pareti portanti verticali, i solai contro terra e di copertura.

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

I materiali che costituiscono le strutture di elevazione, quali il calcestruzzo e l'acciaio, possiedono caratteristiche di elevata conducibilità termica e possono rappresentare, quando inseriti in

elementi costruttivi di separazione fra interno ed esterno, punti di criticità per quanto riguarda le prestazioni, generando ponti termici (flussi termici fra esterno e interno) e temperature interne all'elemento sensibilmente inferiori, tali da provocare diminuzioni del livello di prestazione e, a volte, la formazione di condense superficiali o interstiziali. In questo caso occorre progettare le soluzioni costruttive con l'approntamento di corretti dispositivi di isolamento mediante l'applicazione di materiali e di strati isolanti.

6.1.4. Il benessere acustico

Nella progettazione delle strutture in elevazione verticale deve essere posta particolare attenzione al rumore trasmesso per via impattiva (urti, rumori di calpestio, percussioni, ecc.). Per questo motivo è utile inserire degli elementi di discontinuità fra le strutture e gli elementi di finitura superficiale, quali guaine o strati di materiale fonoassorbente o fonoisolante, tali da interrompere la propagazione del rumore attraverso tali strati.

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

6.1.5. La durabilità e la protezione dagli agenti esterni

La durabilità di una struttura in elevazione verticale viene definita come l'attitudine del sistema strutturale a mantenere nel tempo inalterate le proprie caratteristiche di resistenza meccanica e al fuoco, di benessere termo-igrometrico e acustico. Il soddisfacimento di tale requisito è dipendente dalle condizioni esterne: dall'aggressività degli agenti atmosferici e dalle caratteristiche di prevedibilità degli eventi sismici del territorio interessato dall'intervento.

La progettazione degli elementi di struttura di elevazione, in relazione alla loro durabilità, deve quindi considerare le caratteristiche dei materiali utilizzati, il loro corretto dimensionamento e la configurazione morfologica.

Altrettanta attenzione deve essere poi offerta alla protezione dagli agenti esterni, climatici ed atmosferici e dai fattori di impatto (carichi accidentali).

6.1.6. L'integrabilità degli elementi tecnici

L'integrabilità degli elementi tecnici gioca un ruolo fondamentale nelle prestazioni del sistema strutturale: all'integrazione fra i vari elementi è infatti demandata la capacità di trasmissione dei carichi verticali verso il terreno sottostante.

Il tipo di collegamento realizzato fra gli elementi tecnici della struttura contribuisce alla definizione dello schema statico posto alla base del calcolo strutturale, trasferendo in diversa misura le azioni derivanti dai carichi da un elemento all'altro. Le tecnologie di realizzazione dei collegamenti assumono pertanto un'importanza fondamentale nella garanzia della sicurezza statica:

- nelle strutture in muratura il collegamento fra gli elementi è assicurato dalle malte inserite fra i vari elementi e dagli incastri;
- nelle strutture di legno i collegamenti sono realizzati da incastri, chiodature o elementi metallici di interposizione;
- nelle strutture di calcestruzzo armato i collegamenti sono garantiti dalla continuità dei ferri di armatura e dai getti;
- nelle strutture prefabbricate i collegamenti avvengono tramite getti integrativi fra armature fuoriuscenti dai componenti prefabbricati (ferri di attesa, ferri di ripresa e ferri di integrazione) oppure possono essere realizzate saldature o bullonature fra elementi di acciaio annegati nei getti di prefabbricazione;
- nelle strutture di acciaio i collegamenti avvengono tramite chiodature, bullonature o saldature con l'interposizione o meno di piastre di rinforzo e di ripartizione dei carichi.

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

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

progetto e devono trovare adeguate soluzioni di integrazione con le strutture di elevazione.

Un corretto approccio alla progettazione integrata deve considerare, sin dalle prime fasi, il sistema strutturale, edilizio ed impiantistico delle entità funzionalmente autonome ma strettamente interconnesse.

6.1.7. La conformabilità degli spazi

Nelle strutture in elevazione verticale, la conformabilità degli spazi è un'altra prestazione fondamentale da tenere in considerazione. L'obiettivo è quello di garantire non solo una fruibilità adeguata agli spazi (attraverso il dimensionamento degli elementi strutturali e la scelta delle soluzioni tecnologiche appropriate per ciascuna tipologia edilizia), ma anche di fornire risposte alle esigenze di rispetto dell'ambiente e di uso virtuoso delle risorse (scegliendo i materiali, definendo morfologia, posizioni e dimensioni degli elementi, accogliendo e integrando componenti edilizie e impiantistiche, adottando strategie di interazione con gli agenti esterni, ecc.).

6.2. Le strutture di elevazione verticale a telaio

Una struttura di elevazione verticale a telaio (o anche detta "struttura puntiforme") è caratterizzata da elementi verticali lineari (pilastri) e da elementi orizzontali (travi).

I pilastri hanno come unica funzione quella di sostenere l'edificio, mentre le funzioni di contenimento e di involucro vengono lasciate agli elementi tecnici non portanti ad essi connessi (pareti perimetrali).

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

Il primo periodo risale agli anni successivi all'incendio di Chicago, quando a partire dal 1880 si diffuse la tecnica di realizzazione delle strutture a telaio di acciaio.

Il secondo periodo è di poco successivo e risale agli inizi dello scorso secolo, quando la nuova tecnica del "béton armé", fu portata a maturazione e fu utilizzata nelle costruzioni di civile abitazione. Fu Auguste Perret che realizzò nel 1903 la casa di abitazione al n. 25 di rue Franklin, costruita con una struttura a telaio di cemento armato caratterizzata da ampie vetrate poste da tra pilastro e pilastro.



Fig. 6.1: Cantiere di un edificio con struttura in elevazione verticale a telaio.

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

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

Dal punto di vista della produzione, i tipi intelaiati possono essere ottenuti, attraverso l'utilizzo di diversi materiali (calcestruzzo armato, acciaio, legno, ecc.), utilizzando una delle seguenti tecniche costruttive:

- completamente in opera mediante il posizionamento delle armature ed il getto del calcestruzzo in casseri;
- in opera mediante elementi semi-prefabbricati e getti di completamento;
- prefabbricate in stabilimento e montate in opera con getti di integrazione.

I **pilastr**i sono realizzati mediante la predisposizione di armature costituite da:

- *barre di acciaio*: poste longitudinalmente all'asse del pilastro, disposte agli angoli e, in alcuni casi, lungo i lati della sezione secondo la distribuzione delle sollecitazioni di trazione nell'elemento, in relazione alle condizioni di carico e di vincolo.
- *staffe trasversali*: collocate in modo da realizzare una gabbia rigida che viene successivamente annegata nel calcestruzzo, gettato in opera in apposite casseforme (carpenterie) predisposte secondo il disegno e le dimensioni di progetto. Le staffe non partecipano direttamente alla resistenza dei pilastr*i* ma hanno importanti funzioni ausiliarie, quali:
 - o sono indispensabili per il posizionamento ed assemblaggio dell'armatura longitudinale;
 - o esercitano un'azione di contenimento trasversale che migliora il comportamento a compressione del calcestruzzo e limita la fessurazione longitudinale nel caso di valori di tensioni elevate;
 - o vincolano lateralmente le barre longitudinali compresse riducendo la loro luce libera d'inflessione e quindi l'instabilità flessionale locale.

Per garantire il loro funzionamento le staffe devono essere chiuse (solitamente con ganci a 135°), ancorate nel calcestruzzo e conformate in modo da contrastare efficacemente, lavorando a trazione, gli spostamenti delle barre longitudinali verso l'esterno. Affinché questo meccanismo sia efficace, è necessario che il ricoprimento del calcestruzzo sia di spessore adeguato. Il copriferro non deve essere inferiore a 2 centimetri e deve essere portato a 4 centimetri se la costruzione è realizzata in presenza di agenti atmosferici aggressivi.

I pilastr*i*, nelle strutture a telaio, sono soggetti a sforzi di pressoflessione e hanno generalmente sezioni quadrate; per meglio rispondere alle

sollecitazioni eventualmente orientate in una delle due direzioni, o per minimizzare il loro ingombro all'interno delle pareti di chiusura verticale o delle partizioni, possono assumere sezioni a forma rettangolare o circolare.

I pilastri degli ultimi piani, riducendosi i carichi agenti, possono essere di dimensioni minori rispetto a quelli posti inferiormente ma devono avere una maggiore percentuale di ferro, necessaria per contrastare la spinta del vento e altre sollecitazioni di flessione. Le riduzioni di sezione (riseghe) nei pilastri interni si effettuano facendo in modo che la risultante dei carichi in ogni sezione sia baricentrica.

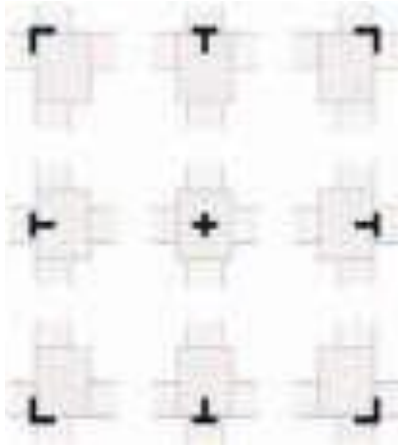


Fig. 6.2: I filari fissi sono le facce di pareti o di pilastri che per tutta l'altezza di una struttura non hanno nessun cambiamento planimetrico.

Le **travi** sono elementi costruttivi fondamentali per la loro complementarità con i pilastri nella formazione dei telai che sostengono gli orizzontamenti. Normalmente svolgono una doppia funzione: quella portante e quella secondaria di collegamento e di irrigidimento dei telai in successione.

Come i pilastri, possono essere gettate in opera, con diversi sistemi di cassaforma, o essere prefabbricate. La loro sezione, per ragioni di economicità applicate al calcolo, ha uno spessore superiore a quello del solaio; spesso per minimizzarne l'impatto dimensionale si ricorre a travi-soletta, cioè a travi che hanno lo stesso spessore del solaio. Le travi hanno generalmente sezioni rettangolari con la dimensione maggiore in senso verticale per resistere ai carichi incidenti e agli sforzi di flessione; generalmente sporgono al di sotto dell'intradosso del solaio (travi alte). Per ottimizzare l'efficienza della sezione resistente, le travi possono assumere sezioni a "T" oppure a "L rovesciata" in corrispondenza del bordo degli edifici (travi di bordo). Quando sia necessario non ingombrare lo spazio sotto l'intradosso (ad esempio per facilitare il passaggio delle canalizzazioni impiantistiche) le travi possono essere formate da sezioni rettangolari con maggiore sviluppo in senso orizzontale in modo tale da essere contenute all'interno dello spessore

del solaio (travi in spessore); in questo caso si avrà una minore efficienza della sezione e le dimensioni dovranno essere pertanto maggiorate.



Fig. 6.3: Barre di acciaio e staffe di travi e pilastri.

Queste travi presentano il vantaggio di risultare non visibili e di ridurre i costi della carpenteria. Per contro, sono molto meno rigide rispetto alle travi alte e richiedono molte armature in più; per cui il loro costo complessivo è, a parità di condizioni, più elevato.

Le travi di calcestruzzo armato, data la rigidità dei nodi, sono soggette a sollecitazioni di momento flettente che si invertono quando gli sforzi di trazione passano dalla zona di estradosso (in prossimità dell'incastro) alla zona di intradosso (avvicinandosi alla mezzera della trave). Per tale motivo le travi di calcestruzzo armato sono armate con ferri longitudinali posti all'estradosso nel tratto centrale e ripiegate verso l'intradosso in corrispondenza della zona di inversione dei momenti e staffe trasversali e ferri piegati per resistere alle sollecitazioni di taglio.

Di rado le travi sono sollecitate a sola flessione o presso-flessione: normalmente queste azioni sono accompagnate dal taglio, sollecitazione che produce tensioni tangenziali.

La presenza della sollecitazione di taglio è legata alla variazione lungo l'asse della trave del momento flettente. L'armatura a taglio consiste essenzialmente in staffe verticali ed eventualmente barre disposte per la flessione piegate a 45°.

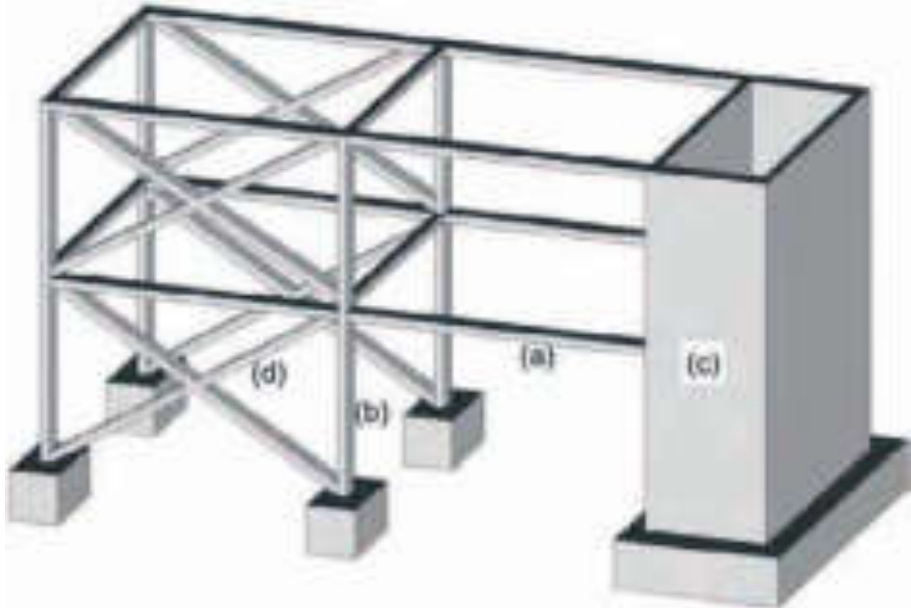


Fig. 6.4: Struttura in elevazione verticale a telaio: travi (a), pilastri (b), nucleo controventante (c), irrigidimento/controventamento (d).

Fonte: AA.VV. (1995)¹⁵⁶.

Nelle strutture in elevazione verticale a telaio assume particolare importanza la **funzione di irrigidimento** dell'intero schema strutturale, necessario per contrastare le forze orizzontali agenti sull'edificio. A questo fine si agisce sui singoli telai dotandoli di connessioni rigide, oppure affidando il contrasto a strutture di irrigidimento o di controventamento. Queste ultime sono realizzate mediante aste incrociate e interconnesse ai nodi strutturali o mediante pareti portanti (poste in senso ortogonale ai telai) che irrigidiscono i telai.

Pareti portanti e nuclei di irrigidimento, formati da insiemi di pareti interconnesse, rappresentano degli elementi di notevole importanza nella fase iniziale della progettazione degli edifici poiché il loro

¹⁵⁶ AA.VV. (1995), *Manuale di progettazione edilizia, Volume 4, Tecnologia: requisiti, soluzioni, esecuzione, prestazioni*, Hoepli, Milano (MI).

dimensionamento e posizionamento costituisce un vincolo notevole per la distribuzione degli spazi interni.

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

6.2.1. Le strutture di elevazione verticale a telaio di calcestruzzo armato gettato in opera

Una struttura in elevazione verticale a telaio realizzata con il calcestruzzo armato gettato in opera è il sistema costruttivo più diffuso nell'edilizia corrente grazie alla relativa semplicità esecutiva, unita ad un costo di produzione relativamente basso.

I criteri per il calcolo si basano sulle differenti specificità dei materiali costituenti il calcestruzzo armato: l'ottima resistenza a compressione del conglomerato cementizio e di quella a trazione dell'acciaio. Tali strutture sono realizzate da elementi lineari (travi e pilastri) connessi rigidamente tra loro attraverso la continuità delle armature di acciaio (ferri di ripresa) e dei getti del calcestruzzo che, seppure gettato in momenti successivi (riprese di getto), riesce a realizzare un comportamento omogeneo agli sforzi incidenti.

Le strutture di calcestruzzo armato sono spesso impropriamente chiamate strutture di cemento armato, mentre - essendo il materiale costituente sempre un impasto di inerti di diversa granulometria (cemento e acqua) - la dizione corretta è "calcestruzzo cementizio armato", abbreviata con la sigla "c.a."

Le fasi costruttive di una struttura a telaio di calcestruzzo armato completamente in opera sono:

- costruzione delle casseforme per la realizzazione dei pilastri;
- preparazione e posa in opera delle armature metalliche;
- getto del calcestruzzo dei pilastri fino al piano di intradosso delle travi, con ferri di ripresa fuoriuscenti dal getto che serviranno per creare il nodo pilastro-trave;
- disarmo delle casseforme dei pilastri;
- costruzione delle casseforme per la realizzazione delle travi e del solaio;
- posizionamento degli elementi del solaio;
- preparazione e posa in opera delle armature metalliche;
- getto del calcestruzzo delle travi e completamento dei solai;
- disarmo delle casseforme.

6.2.2. Le strutture di elevazione a telaio semi-prefabbricate

Le strutture in elevazione verticale a telaio semi-prefabbricate vengono realizzate secondo le medesime operazioni svolte nel ciclo tradizionale ma impiegano elementi costruttivi già parzialmente formati in stabilimento: pilastri cavi e travi semi-prefabbricati con solette di contenimento e armatura.

Lo scopo di tale metodo di costruzione è quello di mantenere le stesse caratteristiche di produzione in cantiere, velocizzando però i cicli di lavorazione (evitando la realizzazione delle casseforme).

I componenti semi-prefabbricati sono molto più leggeri e consentono risparmi nei costi di trasporto.

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

Una volta posizionati gli elementi di calcestruzzo verticali, a questi si appoggiano gli elementi di trave e si predispongono le armature verticali integrandole con quelle già alloggiare negli elementi di trave semi prefabbricati.

Il collegamento è assicurato da asole o da distanziatori e sono inoltre previsti dispositivi per agevolare le operazioni di centraggio, regolazione e messa in piombo, come spinotti e piastre bullonate.

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

6.2.3. Le strutture di elevazione a telaio prefabbricate

Le strutture in elevazione a telaio di tipo prefabbricato (generalmente di acciaio) sono montate in opera con getti di integrazione e vengono realizzate attraverso l'impiego di componenti prefabbricati in grado di assolvere completamente tutte le funzioni statiche richieste; l'assemblaggio fra i diversi elementi avviene tramite particolari configurazioni degli elementi di testata e la predisposizione di alloggiamenti e di ferri di attesa e di ripresa caratteristici di ciascun sistema costruttivo. La continuità nella trasmissione dei carichi viene assicurata attraverso le connessioni fra i diversi elementi, attuata a secco con saldature e bullonature fra piastre di fissaggio, con interposizione di malte o strati di materiali plastici; oppure a umido, mediante getto di calcestruzzo che in questo caso sarà chiamato getto

integrativo. Nelle strutture di legno la connessione è invece garantita da incastri, incollaggi e chiodature.

Tutte le modalità, eccetto la saldatura, consentono lo smontaggio ed il recupero degli elementi. Inoltre le strutture di acciaio saldate esigono un tempo di montaggio superiore ed è sensibile alle condizioni atmosferiche del cantiere. In compenso consentono di realizzare una struttura più leggera e pertanto potenzialmente più economica. I pilastri possono essere di tipo monopiano oppure pluriplano fino a realizzare tre elevazioni per ciascun elemento. Ai pilastri vengono appoggiate le travi, anch'esse prefabbricate, a cui segue la predisposizione dei componenti di solaio, il posizionamento dei ferri integrativi e delle reti elettrosaldate, quindi viene eseguito il getto di integrazione degli elementi strutturali ed eventualmente il getto di completamento dei solai quando questi non siano già completamente prefabbricati in piastre.

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

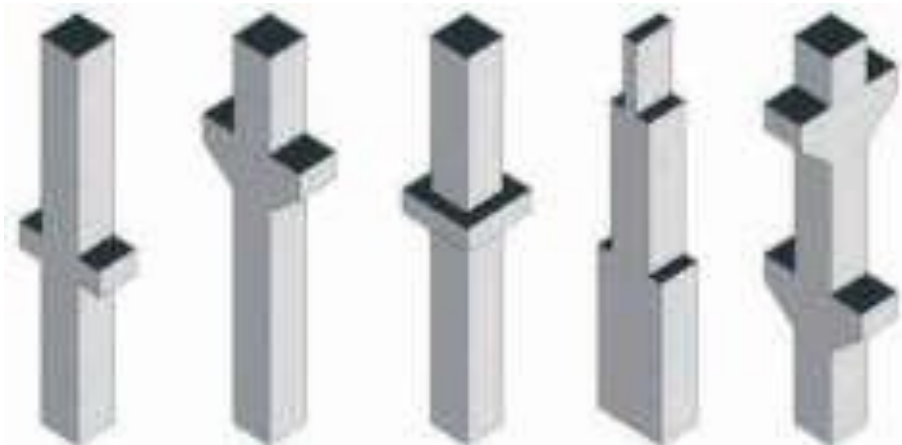


Fig. 6.5: Alcuni tipi di mensola per le strutture in elevazione verticale prefabbricate.

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

6.3. Le strutture di elevazione verticale continua

6.3.1. Le murature portanti

Le strutture portanti di elevazione di tipo continuo (muratura portante) sono composte da una serie di setti murari paralleli (di pietra, laterizio, calcestruzzo, ecc.) che sostengono i solai orizzontali e sono in grado di trasferire i carichi uniformemente alle strutture verticali e agli impalcati sottostanti.

Relativamente allo spessore della parete portante, le NTC del 2008, al punto "7.4.6.1.4 Pareti" prescrivono che «lo spessore delle pareti deve essere non inferiore al valore massimo di 15° millimetri, [...] e 1/20 dell'altezza libera di interpiano»¹⁵⁷.



Fig. 6.6: Blocco pieno per murature portanti (manufatto vibrocompresso di calcestruzzo).
Fonte: Tommaso Verazzo S.r.l. Costruzioni e prefabbricati in cemento.

I sistemi costruttivi in muratura ordinaria, noti anche con il nome di "costruzioni tradizionali", sono basati sullo schema statico "non spingente" del trilito o su quello "spingente" dell'arco o della volta.

L'edificio in muratura portante deve essere concepito come una struttura tridimensionale. I sistemi resistenti di pareti in muratura, gli orizzontamenti e le fondazioni devono essere collegati tra di loro in modo da resistere alle azioni verticali e orizzontali ed assumere un comportamento d'insieme "scatolare". Per garantire questo tipo di comportamento i muri e gli orizzontamenti devono essere opportunamente collegati fra di loro. In particolare tutte le pareti devono essere collegate al livello dei solai mediante cordoli di piano di calcestruzzo armato e, tra di loro, mediante ammorsamenti lungo le intersezioni verticali. Devono inoltre essere previsti opportuni incatenamenti al livello dei solai, aventi lo scopo di collegare tra loro i muri paralleli della scatola muraria.

I setti murari possono essere interrotti (da bucatore, vani tecnici, ecc.) ma devono essere collegati da cordoli (normalmente di cemento armato)

¹⁵⁷ D.M. 14 gennaio 2008, NTC 2008 - Norme tecniche per le costruzioni.

per fornire un appoggio continuo ed ininterrotto ai solai. Tali cordoli devono essere continui lungo tutta la muratura all'altezza dei solai di piano e di copertura. Considerazioni di ordine statico, legate alla necessità di opporsi alle spinte orizzontali (soprattutto a quelle sismiche), chiedono che altri setti murari siano disposti ortogonalmente a quelli portanti per fornire un irrigidimento alle strutture; queste murature, che non hanno la funzione di portare i solai, si chiamano di controventamento. Tutti gli altri muri di un edificio in muratura portante (cioè i tamponamenti e i tramezzi) non hanno alcuna funzione statica.

I criteri di verifica strutturale delle strutture continue in muratura portante si basano solo sulle effettive capacità di resistenza a compressione, essendo pressoché nulla la resistenza a trazione e a flessione. Per questo motivo, sia in caso di ristrutturazioni di edifici esistenti che in edifici di nuova costruzione in muratura portante, si realizzano delle cordolature perimetrali di calcestruzzo armato o tiranti metallici di concatenamento e controventamento. Ad una buona capacità strutturale, anche se piuttosto vincolante per la libertà compositiva, si affianca un ottimo comportamento al fuoco, posto in diretta relazione con le dimensioni della sezione della muratura. Le strutture orizzontali che insistono sugli apparati murari possono essere ricondotte a due tipologie:

- solai direttamente poggiati alle pareti;
- strutture voltate solidali con gli appoggi alle pareti sulle quali vengono realizzati i solai.

Il modello strutturale prevede sempre che gli impalcati siano appoggiati alle pareti portanti. Le strutture di elevazione verticale di tipo continuo possono essere realizzate: di mattoni o blocchi, di calcestruzzo gettato in opera, con pannelli di cemento armato prefabbricati o gettati in opera o con pannelli di legno.

6.3.1.1. I requisiti geometrici delle costruzioni in muratura portante

Le pareti portanti sono considerate resistenti anche alle azioni orizzontali quando hanno una lunghezza non inferiore a 0,3 volte l'altezza di interpiano e devono avere determinati spessori.

Tipologia di muratura	Spessore [mm]	Tipologia di muratura	Spessore [mm]
Laterizio pieno	150	Pietra squadrata	240
Laterizio semi-pieno	200	Pietra listata	400
Laterizio forato	240	Pietra non squadrata	500

Tab. 6.3: Spessori minimi delle murature portanti.

Fonte: NTC 2008.

Secondo il D.M. 16 gennaio 1996¹⁵⁸ la dimensione delle celle murarie deve rispondere a vincoli strutturali e a esigenze funzionali e di distribuzione dello spazio in cui si articola l'edificio. In particolare:

- la distanza di interasse fra i muri di sostegno verticale nel caso di solai orditi in una sola direzione non deve superare i 4,5 metri;
- la distanza di interasse fra le murature per assicurare la rigidità delle pareti è pari a 7 metri;
- la massima distanza di interpiano per le murature ordinarie è pari a 5 metri;
- le masse sull'altezza dell'edificio devono ridursi gradualmente;
- la maglia strutturale, sia in pianta che in alzato, deve risultare regolare.

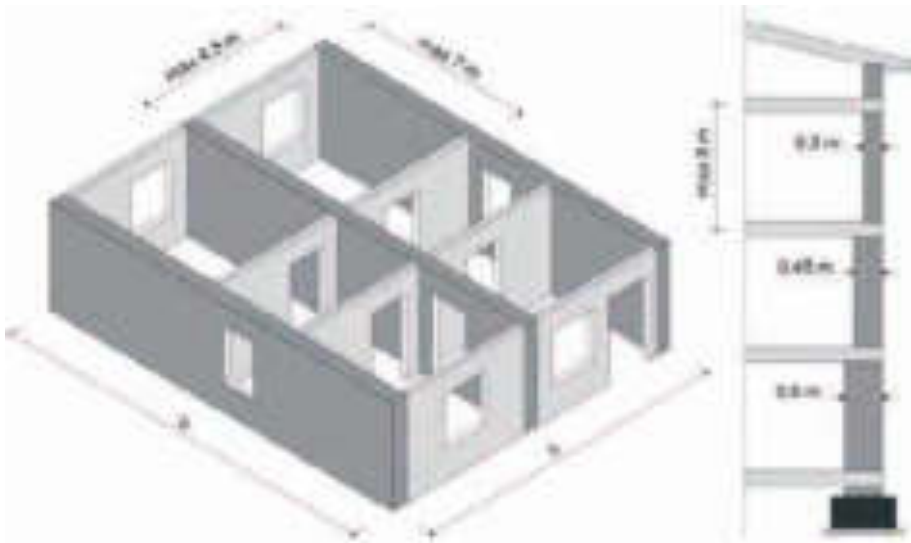


Fig. 6.7: A sinistra assonometria con indicata la distanza massima fra le murature - $c/b \geq 1/3$ (in grigio scuro le murature portanti, in grigio chiaro i muri di tamponamento e i tramezzi); a destra spessore delle murature che si riduce gradualmente man mano che l'edificio si alza e altezza massima di interpiano.

Fonte: Elaborazione dell'autore su dati D.M. 16 gennaio 1996¹⁵⁹.

Sempre il D.M. 16 gennaio 1996 fornisce delle indicazioni sulla progettazione delle aperture:

- la posizione delle aperture deve garantire la simmetria strutturale;
- l'architrave deve essere di cemento armato o metallo;

¹⁵⁸ D.M. 9 gennaio 1996, *Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche.*

¹⁵⁹ D.M. 16 gennaio 1996, *Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche.*

- le aperture devono essere allineate verticalmente;
- la distanza tra due bucatore deve essere maggiore di 50 centimetri.

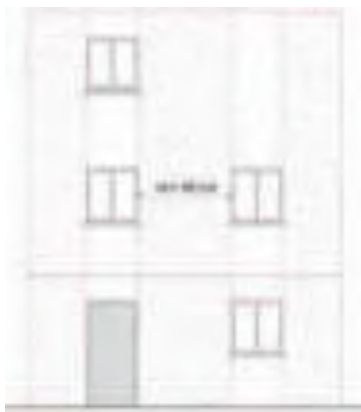


Fig. 6.8: Distanza massima delle aperture in una muratura portante e loro allineamento.

Fonte: Elaborazione dell'autore su dati D.M. 16 gennaio 1996.

Vengono poste anche delle limitazioni sulle distanze minime, sull'altezza in funzione della larghezza stradale e, in generale, sull'altezza massima dei nuovi edifici.

Per le costruzioni in muratura non armata, che non accedono alle riserve anelastiche delle strutture ricadenti in zona 1, è fissata un'altezza massima pari a 2 piani dal piano di campagna. Il solaio di copertura del secondo piano non può essere calpestio di volume abitabile.

Per le altre zone, l'altezza massima degli edifici deve essere opportunamente limitata, in funzione delle capacità deformative e dissipative dell'edificio e della classificazione sismica del territorio.

Zona sismica	4	3	2	1
Sistema costruttivo	Altezza massima consentita [m]			
Edifici con struttura in calcestruzzo armato	Nessuna limitazione	Nessuna limitazione		
Edifici con struttura in acciaio				
Edifici con struttura mista in acciaio e calcestruzzo				
Edifici con struttura in muratura portante ordinaria		16,0	11,0	7,5
Edifici con struttura in muratura portante armata		25,0	19,0	13,0
Edifici con struttura in legno	10,0	7,0	7,0	

Tab. 6.4: Altezza massima degli edifici a seconda del sistema costruttivo e della zona sismica¹⁶⁰.

Fonte: O.P.C.M. 3 maggio 2005, n. 3431¹⁶¹.

¹⁶⁰ O.P.C.M. 2 aprile 2006, n. 3519, *Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle stesse zone.*

¹⁶¹ O.P.C.M. 3 maggio 2005, n. 3431. *Ulteriori modifiche ed integrazioni all'O.P.C.M. 20 marzo 2003 n. 3274, recante «Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica» (Ordinanza n. 3431).*

A titolo di esempio, l'O.P.C.M. 3 maggio 2005, n. 3431 prevede che in zona sismica 4 (livello di pericolosità molto basso) è possibile usare le seguenti regole/prescrizioni:

- percentuale di foratura dei blocchi:
- spessore minimo della muratura portante:

Elementi	% di foratura ϕ	Area f della sezione normale del foro	Spessore minimo della muratura portante
Pieni	$\phi \leq 15\%$	$f \leq 9 \text{ cm}^2$	150 mm
Semi-pieni	$15\% < \phi \leq 45\%$	$f \leq 12 \text{ cm}^2$	200 mm
Forati	$45\% < \phi \leq 55\%$	$f \leq 15 \text{ cm}^2$	240 mm

Tab. 6.5: Caratteristiche geometriche degli elementi in zona sismica 4.

Fonte: O.P.C.M. 3 maggio 2005, n. 3431 e NTC 2008¹⁶².

- comportamento scatolare della struttura;
- le pareti resistenti alle azioni orizzontali devono avere larghezza $L \geq 0,3 \cdot H$.

Altre prescrizioni fondamentali in merito alla geometria delle costruzioni riguardano:

- la regolarità in pianta, in particolare:
 - o le piante degli edifici dovranno essere quanto più possibile compatte e simmetriche rispetto ai due assi ortogonali;
 - o il rapporto tra i lati di un rettangolo in cui la costruzione risulta inscritta deve essere inferiore a 4;
 - o nessuna dimensione di eventuali rientri o sporgenze deve superare il 25% della dimensione totale della costruzione nella corrispondente direzione;
- la regolarità in elevazione, in particolare:
 - o tutti i sistemi resistenti verticali (quali telai e pareti) si devono estendere per tutta l'altezza della costruzione;
 - o le pareti strutturali, al lordo delle aperture, devono avere continuità in elevazione fino alla fondazione, evitando pareti in falso;
 - o i solai devono assolvere la funzione di ripartizione delle azioni orizzontali tra le pareti strutturali, pertanto devono essere ben collegati ai muri e garantire un adeguato funzionamento a diaframma. La distanza massima tra due solai successivi deve essere ≤ 5 metri;

¹⁶² D.M. 14 gennaio 2008, Op. cit., Cap. 7.8, "Progettazione per azioni sismiche: costruzioni in muratura".

- massa e rigidezza rimangono costanti o variano gradualmente, dalla base alla sommità della costruzione (variazioni di massa $\leq \pm 25\%$; $-30\% \leq$ variazioni di rigidezza $\leq +10\%$); ai fini della rigidezza si possono considerare regolari in altezza strutture dotate di pareti e nuclei in muratura di sezione costante sull'altezza;
- eventuali restringimenti della sezione orizzontale della costruzione devono avvenire in modo graduale da un orizzontamento al successivo, rispettando i seguenti limiti: ad ogni orizzontamento il rientro $\leq 30\%$ del 1° orizzontamento e rientro $\leq 20\%$ dell'orizzontamento sottostante. Fa eccezione l'ultimo orizzontamento di costruzioni di almeno quattro piani;
- in zona sismica la malta di allettamento deve avere resistenza $f_m \geq 5 \text{ N/mm}^2$ (per muratura ordinaria) e i giunti verticali dovranno essere riempiti con malta. Per muratura armata $f_m \geq 10 \text{ N/mm}^2$ (in zona non sismica la resistenza della malta deve essere $f_m \geq 2,5 \text{ N/mm}^2$).
Nelle murature tradizionali, la malta ha la funzione di collegamento tra gli elementi resistenti, di compattamento della muratura e di trasmissione e ripartizione dei carichi.

6.3.1.2. La classificazione delle murature portanti

Le NTC, e prima ancora il D.M. 16 gennaio 1996 e l'O.P.C.M. n. 3431 del 2005, distinguono due tipi di strutture in muratura: la muratura ordinaria e quella armata. Gli Eurocodici 6¹⁶³ e 8¹⁶⁴ forniscono una ulteriore distinzione, introducendo le strutture in muratura confinata.

Le strutture a pareti portanti possono essere a:

- *pareti trasversali*: se poste in successione nella direzione ortogonale allo sviluppo dell'organismo edilizio (sono utilizzate nelle tipologie edilizie a schiera o in edifici in linea, caratterizzati da una maggiore trasparenza dei prospetti);

¹⁶³ Norma UNI EN 1996-1-1:2006, *Eurocodice 6 - Progettazione delle strutture di muratura*, Parte 1-1: "Regole generali per strutture di muratura armata e non armata".

Norma UNI EN 1996-1-2:2005, *Eurocodice 6 - Design of masonry structures*, Part 1-2: "General rules - Structural fire design".

Norma UNI EN 1996-2:2006, *Eurocodice 6 - Design of masonry structures*, Part 2: "Design considerations, selection of materials and execution of masonry".

Norma UNI EN 1996-3:2006, *Eurocodice 6 - Design of masonry structures*, Part 3: "Simplified calculation methods for unreinforced masonry structures".

¹⁶⁴ Norma UNI EN 1998-1:2005, *Eurocodice 8 - Progettazione delle strutture per la resistenza sismica*, Parte 1: "Regole generali, azioni sismiche e regole per gli edifici".

- *pareti longitudinali*: se poste lungo le linee di sviluppo di facciata degli edifici e consentono di massimizzare la resistenza termica dell'organismo edilizio.

Anche nel caso di strutture lineari a setti vengono abitualmente realizzati dei nuclei di irrigidimento formati da setti posti ortogonalmente e concatenati fra di loro.

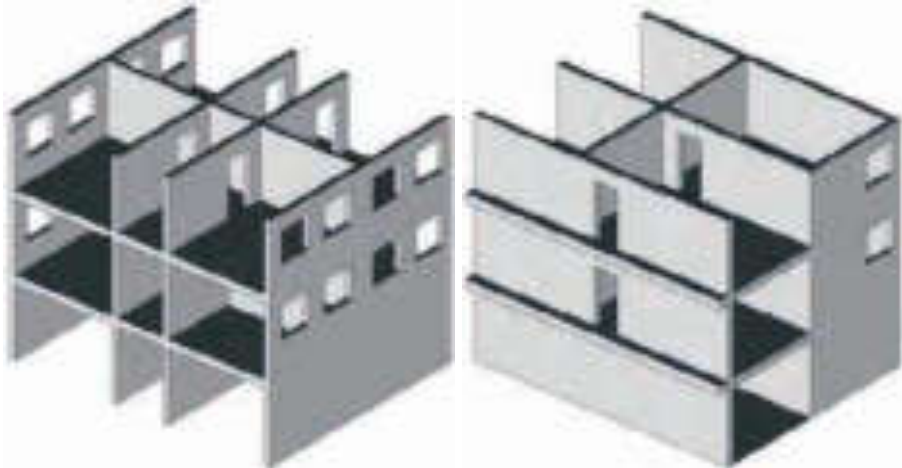


Fig. 6.9: A sinistra struttura a pareti portanti longitudinali; a destra strutture a pareti portanti trasversali.

La *muratura monostrato* è una muratura realizzata o con mattoni tradizionali in opera a una o più teste, o con blocchi a tutto spessore di muro. Nella muratura portante in mattoni o blocchi, gli elementi di laterizio assumono funzioni sia statiche che termoisolanti.

Gli spessori dei muri di laterizio sono ottenuti e misurati come multipli della larghezza o “testa” del mattone utilizzato. La “testa” è perciò il modulo base di riferimento:

- *muro “a una testa”*: muro il cui spessore è uguale alla larghezza di un mattone (12 centimetri). Viene utilizzato solitamente come partizione interna verticale per dividere gli spazi funzionali di un edificio (non ha funzione portante). Non è progettato per assolvere a funzioni protettive e isolanti, per cui il suo spessore è contenuto;
- *muro “a due teste”*: muro il cui spessore è uguale alla lunghezza (o a due volte la larghezza) di un mattone (25 centimetri). Serve normalmente a separare due ambienti funzionalmente diversi (ad esempio due appartamenti) per cui è richiesto un sistema di isolamento acustico. Non ha funzione portante, ma può includere

elementi portanti (pilastri di cemento armato). È utilizzato anche per la realizzazione delle pareti dei bagni che devono contenere le condutture di scarico o sostenere i sanitari sospesi. Questo tipo di pareti si chiamano tecnicamente “pareti bagnate” perché al loro interno accolgono l'impianto idrico e fognario.

- *muro “a tre teste”*: muro il cui spessore è uguale ad una lunghezza e mezzo (o a tre volte la larghezza) di un mattone. Viene generalmente usato come chiusura esterna perché realizza una difesa efficace contro gli agenti atmosferici e il rumore proveniente dall'esterno;
- ecc.

Normalmente il mattone pieno (quello unificato) misura 5,5 x 12 centimetri (la testa) x 25 centimetri.

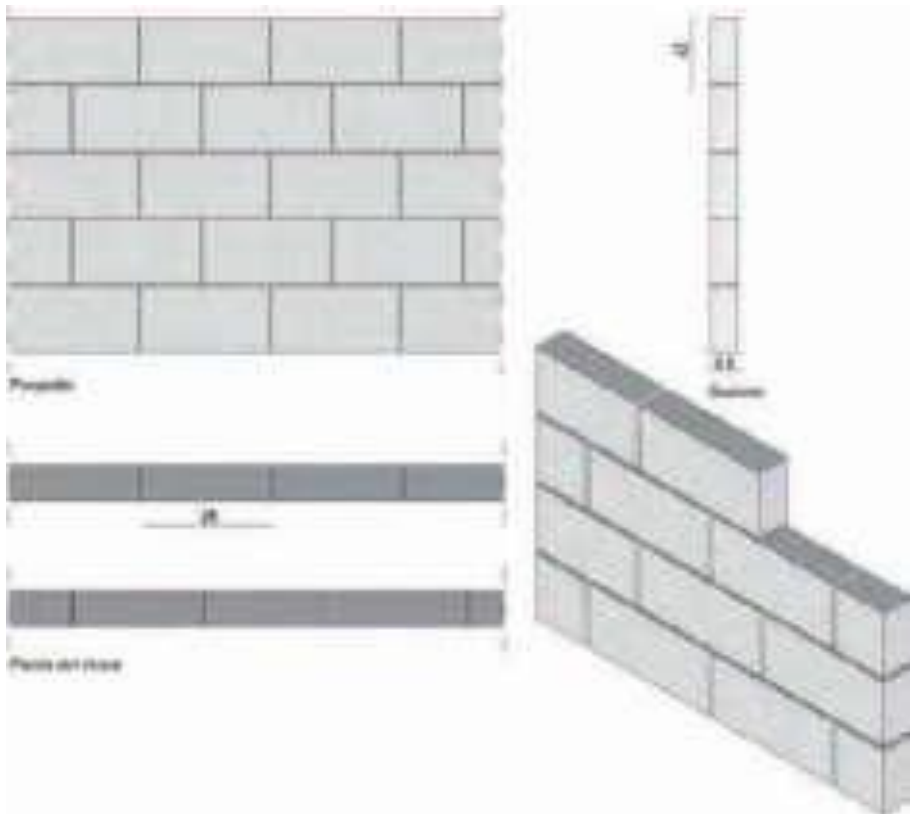


Fig. 6.10: Muratura a 1 testa, muratura in foglio.

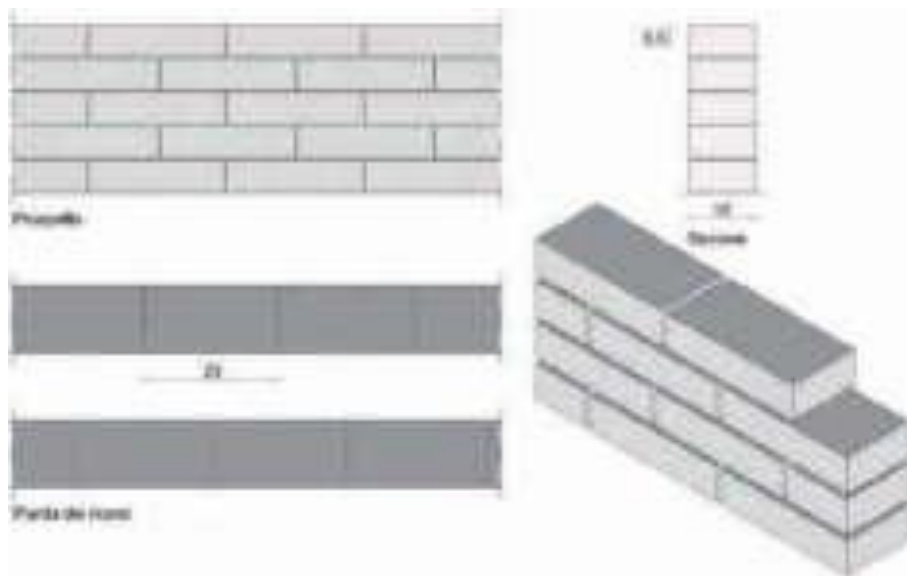


Fig. 6.11: Muratura a 1 testa, muratura in chiave.

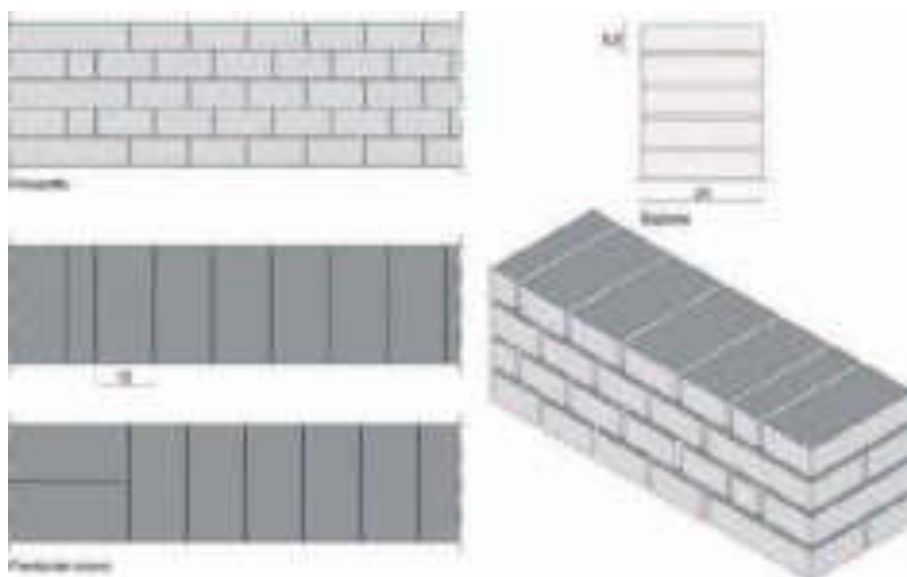


Fig. 6.12: Muratura a 2 teste, muratura in chiave.

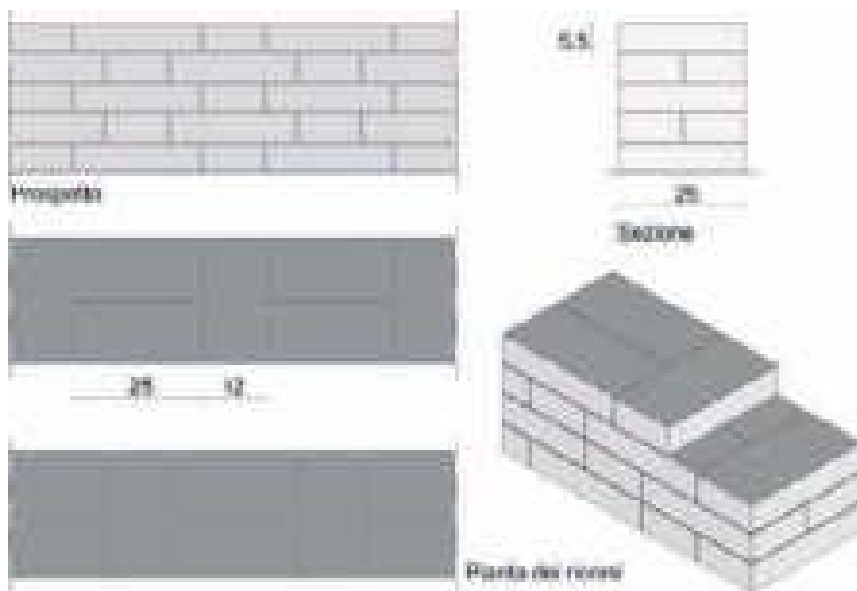


Fig. 6.13: Muratura a 2 teste, muratura gotica.

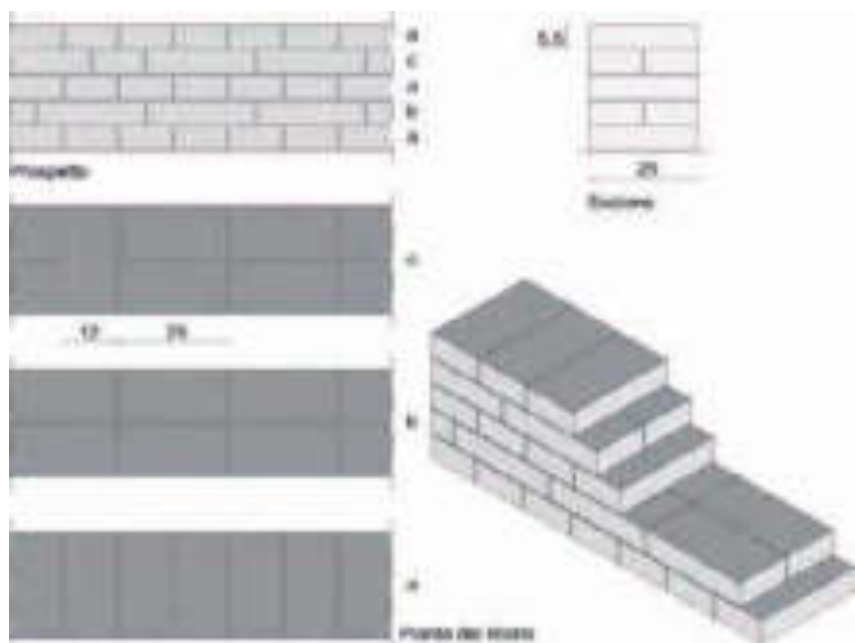


Fig. 6.14: Muratura a 2 teste, muratura a croce.

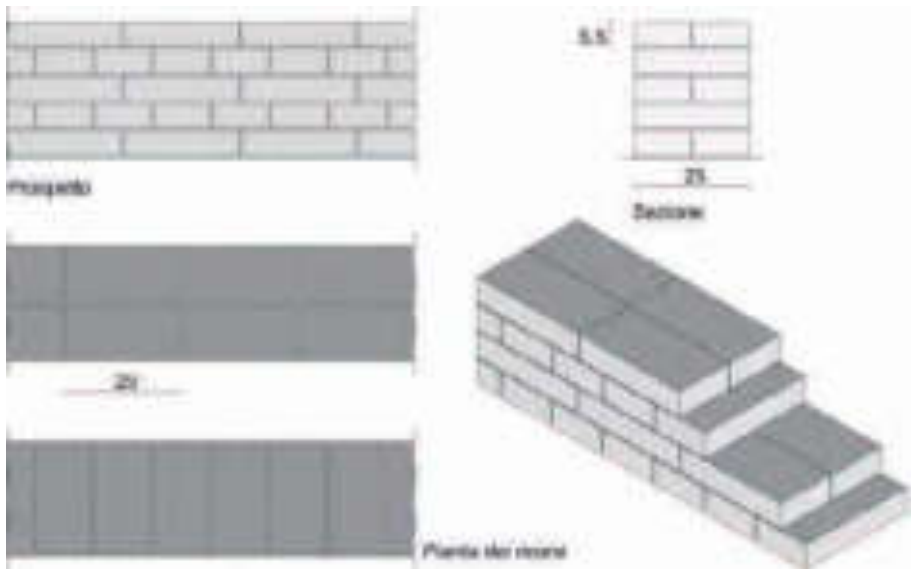


Fig. 6.15: Muratura a 2 teste, muratura a blocco.

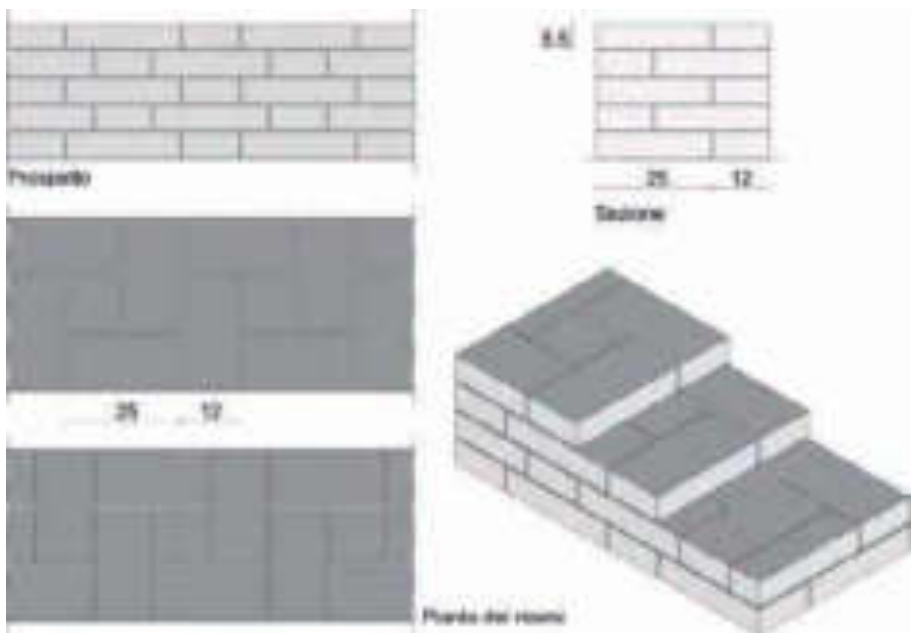


Fig. 6.16: Muratura a 3 teste, muratura gotica.

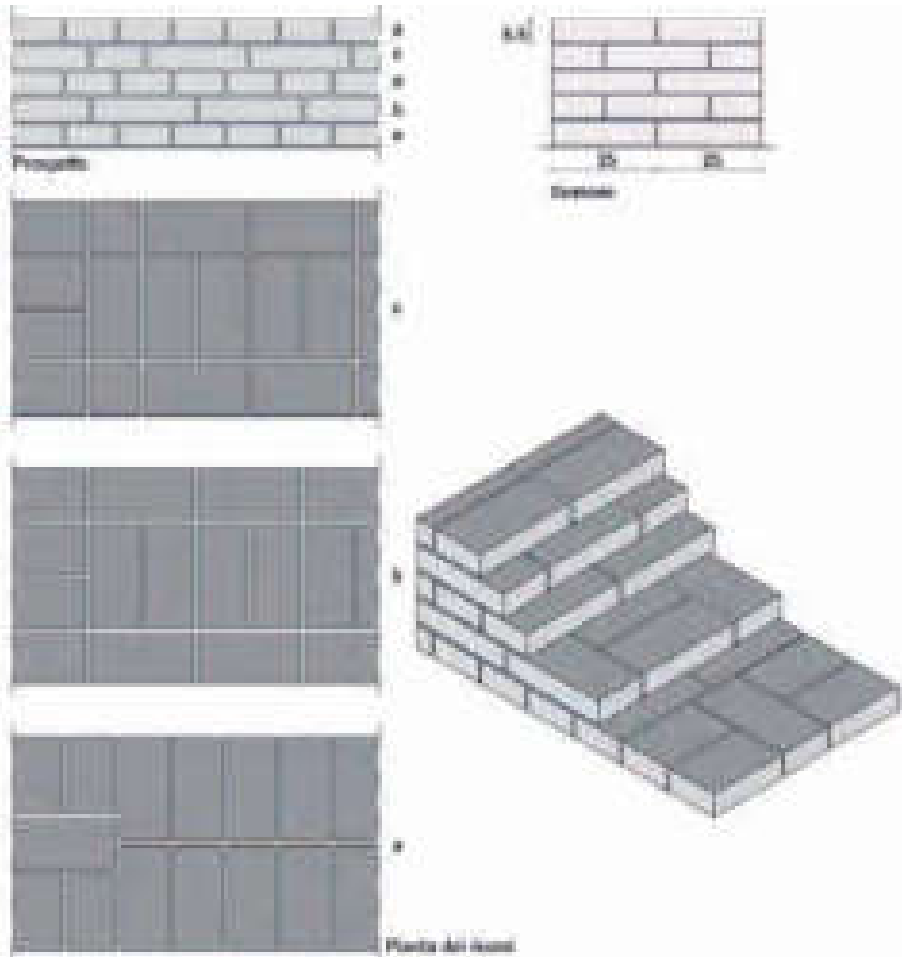


Fig. 6.17: Muratura a 4 teste, muratura a croce.

I muri possono essere classificati in vari modi a seconda della loro funzione o posizione, dei materiali impiegati o della tecnica di costruzione.

In base alla *funzione* possono essere:

- *muri maestri o portanti*: assolvono a compiti statici (muri perimetrali e di spina degli edifici in muratura ordinaria);
- *muri di tamponamento*: servono a chiudere i vuoti fra le travi e i pilastri nelle strutture intelaiate;
- *muri divisori o tramezzi*: servono a separare i vani interni di un edificio.

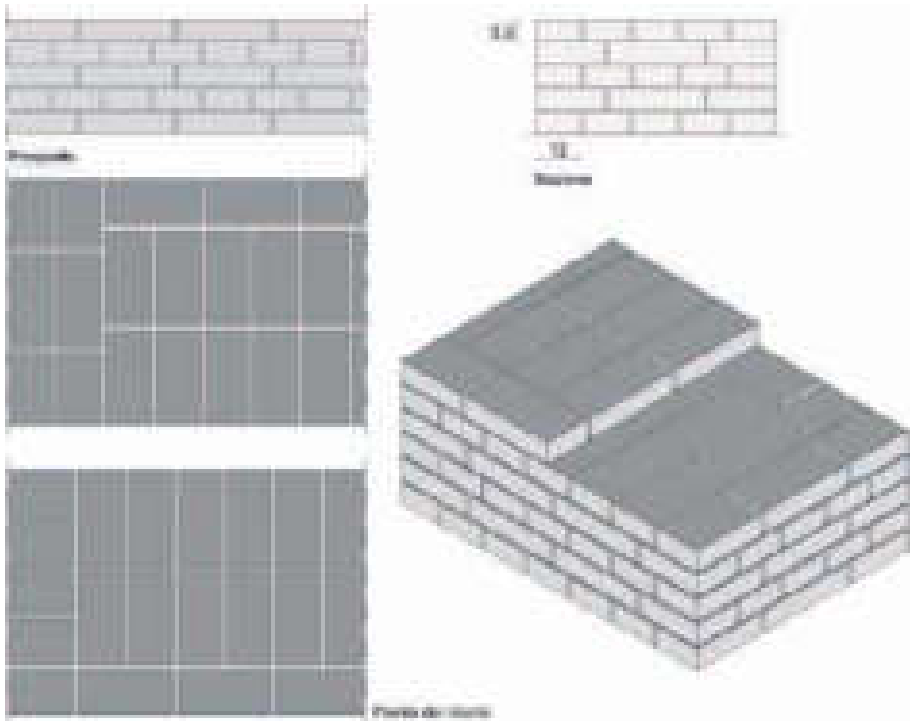


Fig. 6.18: Muratura a 4 teste, muratura a blocco.

In base alla *posizione* i muri si possono distinguere in:

- *muri di fondazione*: posti sotto il piano di campagna;
- *muri in elevazione*: posti al di fuori del piano di campagna;

In base ai *materiali* impiegati possono essere sintetizzati come segue:

- *muratura portante di pietra o laterizio (pieno o forato)*: rappresenta la tecnica costruttiva più antica e diffusa data la sua semplicità di esecuzione, le ottime risposte prestazionali e la versatilità di utilizzo. Questa struttura si realizza con blocchi di piccole dimensioni posati l'uno sull'altro con interposto uno strato di legante (malta o collante) cui viene demandato il compito di rendere solidale una struttura composta da elementi discreti.
 - o *monostrato*: costituita da piccoli elementi in conci lapidei irregolari o regolari. Lo spessore del muro coincide con lo spessore dell'elemento impiegato;
 - o *a più strati*: costituita da piccoli elementi. Lo spessore della parete è ottenuto mediante due o più strati di laterizio, contigui o distanziati fra loro;

- *muratura portante prefabbricata*: è realizzata di calcestruzzo armato, legno strutturale o metallo con elementi prefabbricati direttamente assemblati in cantiere. Questo sistema consente di ottenere tempi rapidi di realizzazione; di contro porta notevoli svantaggi a causa della rigidità della distribuzione degli spazi interni. Le pareti portanti di calcestruzzo armato sono realizzate con le medesime tecniche delle strutture intelate. Esse possono essere realizzate in casseforme a perdere o reimpiegabili. Esistono diverse tipologie di murature portanti prefabbricate:
 - o *monostrato o monoblocco*: quando (ad esempio nel caso di blocchi di grandi dimensioni) lo spessore del muro coincide con lo spessore dell'elemento impiegato;
 - o *elementi bidimensionali a singolo strato*.

In base alla *tecnica di esecuzione*, invece, si possono avere:

- *muri a secco*: quando non vengono impiegate malte per cementare i vari elementi;
- *muri con malte*;
- *muri di getto*: realizzati con conglomerati vari entro cavità del terreno o con casseforme.

6.3.1.3. Le tipologie di murature portanti

Le murature si possono raggruppare nelle seguenti tipologie.

Le *murature di pietra squadrata* sono di grande resistenza, utilizzate soprattutto dall'antichità classica fino ai primi del 900. Sono formate da conci disposti uno accanto all'altro, collegati con zanche o perni metallici.

Le *murature con paramento di pietra squadrata* nell'aspetto sono molto simili alle murature di pietra squadrata poiché prevedono l'impiego dei conci squadrati solo parte esterna della muratura (quella visibile), mentre la parte interna è realizzata con materiali meno pregiati (pietrame grossolanamente squadrato, mattoni o calcestruzzo).

La *muratura di pietrame a faccia vista* è utilizzata nelle zone di produzione di buon pietrame e può essere eseguita nei seguenti modi:

- *a corsi regolari o filaretto*: si può realizzare con facilità con conci calcarei di forma quasi regolare e di altezza uniforme. Lo spessore minimo della muratura è di 40 centimetri e può essere realizzata anche a paramento, disponendo le pietre nella parte a vista, con ossatura interna di mattoni pieni o di calcestruzzo;
- *ad opus incertum*: sono impiegati scapoli di pietra anche irregolari fatti combaciare ad arte con colpi di scalpello;

- *a corsi interrotti*: la muratura è simile a quella a corsi regolari con la differenza che ogni tanto dei conci di pietra più grandi o disposti per ritto interrompono il ritmo dei corsi, con un notevole effetto estetico;
- *ciclopica*: si impiegano conci molto grandi, di forma irregolare e i grossi vuoti sono chiusi da scaglie e scapole di pietrame;
- *muratura con blocchi di tufo*: pratiche ed economiche, si prestano abbastanza bene per piccoli edifici (al massimo 3 piani) o per sopraelevazioni. I blocchi hanno dimensioni commerciali di circa 30x40x13 centimetri e permettono di realizzare murature a corsi regolari o filaretto, a opus incertum, a corsi interrotti e mura ciclopiche, quindi murature di 30-40 centimetri che possono essere combinati con il mattone. All'aria induriscono perdendo l'acqua di cava e, quindi, è sconsigliabile ricoprirli subito di intonaco.

Le *murature ordinarie di pietrame* sono eseguite con scapoli irregolari o scheggioni di pietra, senza particolare cura dal punto di vista estetico e destinate ad essere intonacate sui due lati. Di spessore non inferiore ai 40 centimetri per non perdere la resistenza, esse si realizzano con conci di pietra posizionati per piano evitando il posizionamento per ritto. In queste murature si deve aver cura di ridurre al minimo degli spazi vuoti fra concio e concio e, quando presenti, i grossi vuoti devono essere riempiti di scaglie di pietra (zeppe) in modo che la tessitura del muro sia ben serrata. I conci, opportunamente ripuliti da terra e polvere, dopo essere bagnati devono essere allettati su malta (idraulica o idraulico-cementizia). Sono da considerarsi difetti della muratura l'impiego di tipi diversi di pietrame (quelli poco resistenti devono essere scartati) e l'esecuzione a piramide o a sacco del muro (invece che a ricorsi paralleli e orizzontali). La realizzazione di un muro a sacco risulta estremamente pericolosa per la stabilità del muro nel caso lo stesso venga mal eseguito mediante riempimento della parte centrale con avanzi e residui di lavorazione piuttosto che con malta o calcestruzzo. La muratura a sacco può essere una tecnica ammissibile solo per spessori superiori o uguali agli 80-100 centimetri.

Nella *muratura ordinaria mista di pietrame e mattoni* i mattoni possono essere impiegati per chiudere i vuoti fra gli elementi di pietra o di aggiustaggio dei piani della muratura o per la costruzione dei ricorsi orizzontali, da interporre alla muratura di pietrame.

I *muri e le pareti di calcestruzzo armato* sono una tecnica costruttiva economica e versatile che si basa sull'uso del conglomerato cementizio, utilizzato oltre che per i pilastri e le travi anche per i muri, sia portanti che divisorii o di tamponamento. Nella realizzazione dei muri bisogna tener

presente le particolari caratteristiche del materiale, in particolare: la notevole dilatazione, il ritiro e la permeabilità. Il calcestruzzo è un ottimo materiale per la realizzazione dei muri di sostegno di grandi spessori, potendosi gettare in casseforme modulari recuperabili, e per le murature di fondazione. Nell'uso del calcestruzzo è sempre opportuna la posa in opera di barre d'armatura del tipo ad aderenza migliorata, aventi un diametro minimo di 8 millimetri e di 5 millimetri per le reti elettrosaldate. La malta o il conglomerato di riempimento deve avvolgere completamente l'armatura. Lo spessore di ricoprimento deve essere tale da garantire la trasmissione degli sforzi e tale da costituire un idoneo copriferro.



Fig. 6.19: Muratura armata.

Le *murature di blocchi di laterizio e di calcestruzzi leggeri* sono murature adatte a tamponamenti o divisori interni in quanto leggere, coibenti ma poco resistenti dal punto di vista statico. Con blocchi di spessore di almeno 25 centimetri è possibile realizzare muri portanti di piccoli edifici (2 piani) o di sopraelevazioni. Per le murature con blocchi di laterizio (foratoni) gli angoli e gli stipiti di porte e finestre sono realizzati con i mattoni pieni, mentre nel caso di blocchi di cemento, si possono usare

indistintamente mattoni o parti dei blocchi stessi. Gli spessori variano dai 15 centimetri per i tramezzi a 30 centimetri per i muri portanti di edifici industriali ed abitazioni.

Le *murature di mattoni* possono essere utilizzati per la realizzazione delle fondazioni, dei muri portanti, dei tramezzi, dei muretti di recinzione e per le sistemazioni esterne. Ciò in considerazione:

- dell'estrema versatilità del mattone che permette di risolvere problemi strutturali sia semplici che complessi;
- dell'ottima resistenza statica;
- della buona coibenza termica e acustica;
- dei suoi pregi estetici;
- dei costi abbastanza contenuti, dovuti anche alla facilità di trasporto e messa in opera.

6.3.2. Le murature portate

Per murature portate si intende «l'insieme degli elementi tecnici verticali del sistema edilizio aventi la funzione di dividere ed articolare gli spazi interni del sistema stesso»¹⁶⁵. Tali elementi non svolgono alcuna funzione portante e possono essere classificate in: pareti interne verticali a massa, leggere oppure mobili. Nella classificazione rientrano anche le porte e le strutture ad arco.

Le pareti interne determinano la separazione fisica tra gli ambienti, delimitando gli spazi interni in funzione delle esigenze dell'utenza. In alcuni casi, esse assolvono anche la funzione di isolamento acustico (pareti che dividono due appartamenti) e termico (pareti che dividono un vano scala da un appartamento). La loro corretta progettazione deve consentire la disposizione dei mobili, l'installazione degli impianti e degli infissi interni verticali. Il criterio fondamentale per la progettazione di ogni elemento verticale deve rispondere ai requisiti propri del sistema ambientale che caratterizza l'edificio. Le classi di esigenza attraverso cui si progetta una partizione verticale sono:

- la *sicurezza*: comprende elementi quali la stabilità statica, la resistenza al fuoco e agli urti, la protezione dalle intrusioni, la resistenza ai carichi sospesi ed agli agenti esterni, ecc.;
- la *gestione*: comprende elementi quali il contenimento dei consumi energetici, la durabilità, la manutenibilità, l'integrazione tra elementi di diversa produzione, ecc.;

¹⁶⁵ Norma UNI 8290:1891, *Op. cit.*

- l'*aspetto*: comprende elementi quali l'assenza di difetti superficiali, la regolarità di aspetto, la gradevolezza al tatto e alla vista, ecc.;
- il *benessere*: comprende elementi quali l'isolamento acustico e termico, la resistenza all'acqua, il controllo della condensazione interstiziale e superficiale, la resistenza al calore, ecc.;
- la *fruibilità*: comprende elementi quali l'attrezzabilità, la spostabilità e la ricollocabilità (caratteristiche proprie delle pareti mobili e leggere).

6.3.2.1. Le pareti interne verticali a massa

Gli elementi utilizzati per la realizzazione delle pareti interne verticali a massa sono i mattoni e i blocchi (pieni, semipieni o forati), di varie dimensioni e materiali (laterizio, calcestruzzo, calcestruzzo alleggerito, lapillo, ecc.). Questi sono quindi caratterizzati da un peso proprio variabile dai 70 e i 150 kg/m². Essendo murature piene garantiscono una tenuta al fuoco molto alta.



Fig. 6.20: A sinistra: blocco forato di calcestruzzo; a destra: blocco forato di lapillo.
Fonte: Tommaso Verazzo S.r.l. Costruzioni e prefabbricati in cemento.

Esistono due tipologie di mattoni che possono essere utilizzati per la costruzione delle partizioni verticali o dei tamponamenti:

- la *muratura realizzata con i mattoni pieni* è caratterizzata da un alto potere fonoassorbente e, di conseguenza, garantisce un elevato comfort acustico. A causa della sua massività e, quindi del suo peso proprio, grava notevolmente sul solaio ed è per

questo scarsamente utilizzata nell'edilizia corrente, anche per l'elevato costo d'incidenza della manodopera nella sua realizzazione. La costruzione avviene normalmente ad una testa e con uno spessore di 12 centimetri al rustico (14 centimetri al finito), con un peso di circa 300 kg/m²;

- la *muratura realizzata con i mattoni forati* è più consueta di quella ad elementi pieni in quanto di più facile e rapida messa in opera, ma offre un minore potere isolante. I blocchi impiegati possono essere a tre fori (con dimensioni di 4,5x15x30 centimetri), a quattro fori (con dimensioni di 8x24x24/30 centimetri) oppure a sei fori (12x24x24/30 centimetri). L'alleggerimento del blocco dovuto ai fori interni permette il passaggio delle tubazioni impiantistiche in traccia.



Fig. 6.21: Pareti divisorie interne realizzate con mattoni forati.

Per entrambe le tipologie la messa in opera avviene a “umido”, cioè attraverso la stesura di un letto di malta tra uno strato e l'altro di blocchi. Dopo l'asciugatura si procede a stendere uno strato di finitura ad

intonaco o gesso con successiva rasatura e tinteggiatura. La loro conformazione rende impossibile lo smontaggio dei blocchi al fine di reimpiegarli e la loro dismissione può avvenire solo attraverso la demolizione.

6.3.2.2. Le pareti interne verticali leggere

Le pareti interne verticali leggere sono caratterizzate da una serie di profili, montanti e traversi che formano un'orditura (semplice o doppia) e da pannelli modulari prefabbricati che vengono assemblati in cantiere meccanicamente a secco. Nell'intercapedine tra i pannelli è possibile inserire del materiale isolante (lana minerale) al fine di assolvere al compito di isolamento acustico.

Il pregio di questa tipologia di muratura è che, essendo autonoma dagli altri elementi costruttivi dell'edificio (pilastri, solai, ecc.), ha una caratteristica di reversibilità, ossia ha la possibilità di smontaggio e rimontaggio in tempi veloci.

La flessibilità e la libera collocazione degli elementi divisorii all'interno delle abitazioni è un grande valore aggiunto in termini di personalizzazione e comfort.

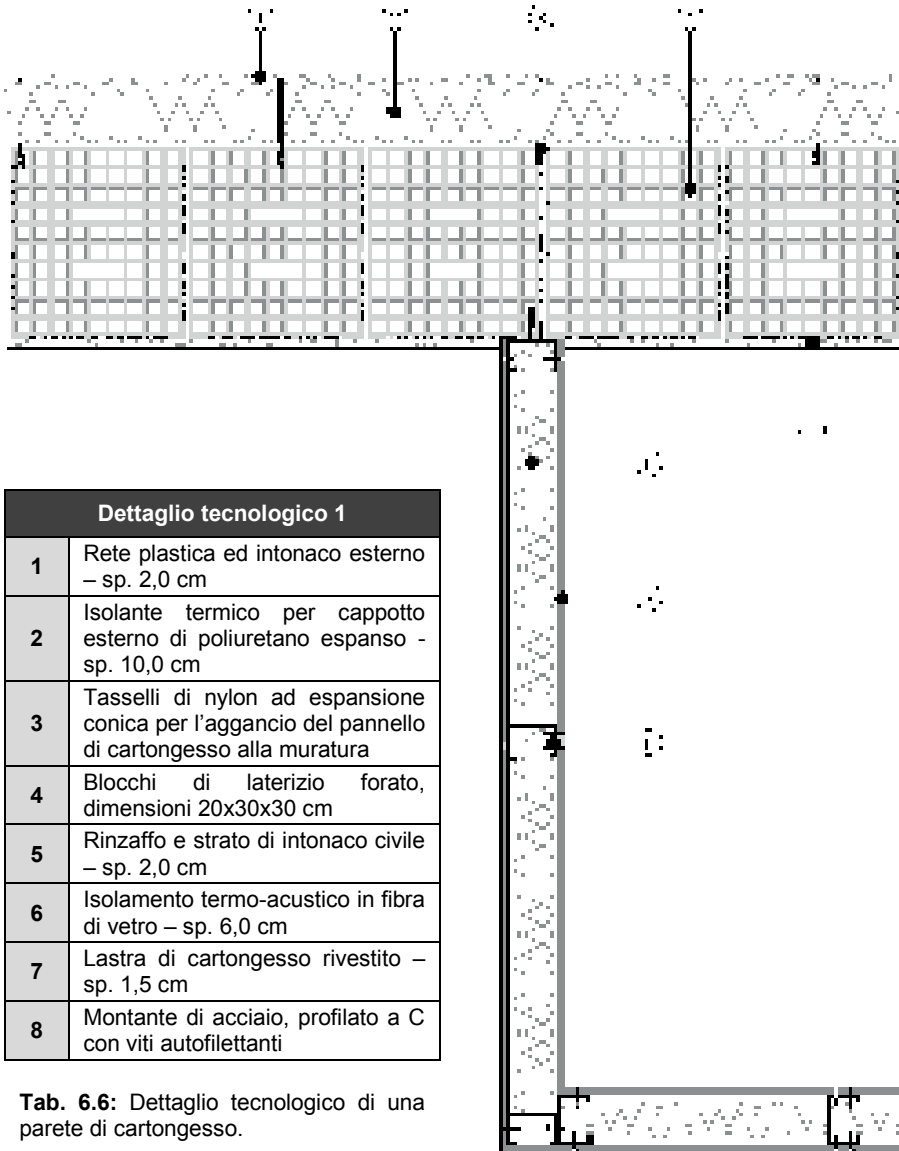
I materiali che compongono la struttura sono profili di legno oppure, più frequentemente, di acciaio zincato profilato a freddo con piegatura "a C", dello spessore di almeno 0,8 centimetri.

Lo strato superficiale è composto da lastre di cartongesso singole o doppie, dello spessore di 12,5 millimetri ciascuna, che vengono rasate sulle giunte con malta di gesso e su cui è possibile stendere uno strato di tinteggiatura oppure un rivestimento in ceramica (per bagni e cucine).

Le lastre vengono fissate ai profilati tramite viti autofilettanti ed hanno un'altezza standard compresa tra i 2 e i 4 metri.

Le pareti leggere possono essere posate sia sulla soletta al rustico che sulla pavimentazione finita. Sia all'intradosso che all'estradosso delle pareti viene collocato un traverso con sezione a U.

Al fine di consentire la dilatazione delle lastre, è necessario prevedere tra di esse una fuga perimetrale di almeno 3 millimetri. L'intercapedine che si viene a creare tra le due lastre può essere riempita con del materiale isolante oppure può essere utilizzata per il passaggio delle reti impiantistiche.



Tab. 6.6: Dettaglio tecnologico di una parete di cartongesso.

Fig. 6.22: Dettaglio tecnologico 1.

Le pareti leggere hanno prestazioni inferiori rispetto a quelle a massa per quanto riguarda la resistenza meccanica agli urti ed hanno il grande svantaggio di non permettere un'adeguata resistenza ai carichi verticali su tutta la superficie.

Proprio per questo motivo la disposizione dei pensili della cucina e degli arredi sospesi deve essere studiata in anticipo, in quanto è necessario predisporre una struttura ad hoc in grado di irrobustire localmente il telaio portante della parete.



Fig. 6.23: Parete divisoria interna di cartongesso-gesso fibrato.

Normalmente le pareti di cartongesso per uso civile prevedono l'utilizzo di una doppia lastra per lato che è in grado di fornire un buon livello stabilità meccanica. Per migliorare ulteriormente questa caratteristica sono presenti sul mercato delle alternative in lastre di gesso fibrato, dello spessore di 25 millimetri, che vengono posate in maniera analoga al cartongesso ma che hanno una rigidità maggiore, fornendo alla parete un grado di monoliticità più elevato.

6.3.2.3. Le pareti interne verticali mobili

Le pareti interne verticali mobili consentono di ottenere una forte flessibilità degli spazi senza rinunciare ad una separazione netta fra gli ambienti. La flessibilità e la temporaneità della divisione degli spazi è garantita anche dalla semplicità di spostamento da parte dell'utente. Queste pareti hanno tuttavia lo svantaggio di avere un basso isolamento acustico.



Fig. 6.24: Telai per la realizzazione di pareti verticali mobili.



Fig. 6.25: Pareti verticali mobili.

La movimentazione delle pareti può avvenire in diversi modi, compatibilmente con l'uso e con lo spazio disponibile all'interno dell'ambiente in cui sono collocate:

- *pareti scorrevoli*: sono costituite da pannelli che scorrono su guide a pavimento e/o a soffitto;
- *pareti pirotonanti*: sono formate da uno o più pannelli che ruotano sul proprio asse e determinano un'apertura parziale o totale degli spazi. I pannelli sono vincolati alla struttura attraverso cerniere cilindriche poste a soffitto e a pavimento;
- *pareti pieghevoli*: sono costituite da elementi a tutt'altezza collegati tra loro mediante cerniere che permettono la chiusura delle ante contro le pareti;
- *pareti basculanti*: si aprono attraverso la rototraslazione che permette un ripiegio sul soffitto, evitando ingombri nell'ambiente.

6.3.2.4. Le porte

Le porte sono quegli elementi mobili che permettono la separazione temporanea tra ambienti adiacenti.

Le porte possono essere realizzate con stipiti oppure senza stipiti (le cosiddette porte ad effetto filo muro). Per stipiti e coprifili si intendono tutti quegli elementi accessori intorno al pannello porta, ovvero la cornice intorno al pannello porta. Questa di solito è sporgente rispetto alla porta e si parla in questo caso di porte classiche. Se invece la cornice non è presente si parla di porte moderne e senza finiture esterne. Nel terzo

caso invece, quando tutti gli elementi esterni al pannello porta sono filo muro si parla di porte classiche contemporanee. Per ognuna di queste soluzioni è necessario adottare un controtelaio specifico. La norma UNI 7961¹⁶⁶ classifica le porte in base al movimento di apertura:

- *rotazione*: distingue le porte in:
 - *a battente*: è la porta più utilizzata e permette un'apertura variabile dai 90° ai 180°;
 - *a ventola*: la porta si muove con un'apertura a spingere ed un ritorno automatico dell'anta in posizione iniziale. È usata soprattutto in ambienti dove vi è un forte passaggio di persone con le mani ostruite, come nei ristoranti;
- *traslazione* (scorrevoli): sono utilizzate per ovviare al problema dello spazio e dell'ingombro che la porta tradizionale necessita per la sua apertura. Possono essere utilizzate per separare vani, cabine armadio, ripostigli e locali di servizio. Le versioni caratterizzate da dimensioni più grandi (porte telescopiche, porte curve, ecc.) conferiscono all'ambiente un tocco moderno e di design, trasformandolo in un ampio *open space*. Il movimento a traslazione distingue le porte in:
 - *scorrevole a scomparsa*: l'apertura della porta avviene all'interno della muratura tramite un controtelaio, ossia un cassonetto metallico che permette alla porta di scorrere e scomparire nella parete (sia essa in intonaco come in cartongesso), accogliendola al suo interno. Il controtelaio è composto da una cassa interna alla parete, da un sistema di scorrimento (binario) posta nella parte superiore che consente all'anta di scorrere all'interno del muro e da un montante verticale di battuta che riceve la porta in chiusura. Tale sistema permette di liberare la parete di scorrimento fornendo un migliore rendimento in termini di arredo;
 - *scorrevole a vista*: l'apertura della porta avviene attraverso uno scorrimento lungo la parete garantito attraverso l'installazione di guide. Tale sistema non permette l'arredabilità della parete su cui scorre;
- *mista*: (porte ripiegabili, a libro ed a soffietto) si tratta di una mediazione tra la porta battente e quella scorrevole che consente di ottenere dei vantaggi in termini di salvaguardia dello spazio.

¹⁶⁶ Norma UNI 7961:1987, *Op. cit.*

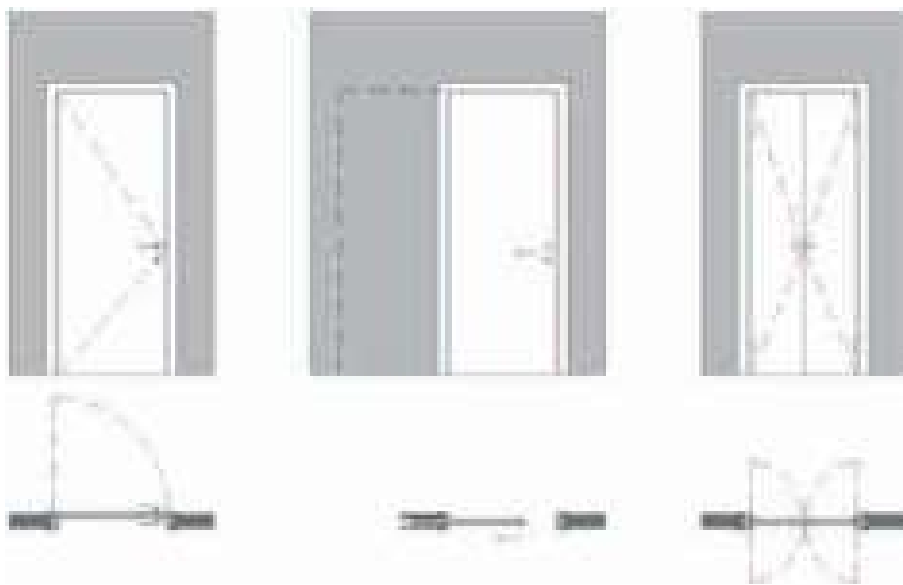


Fig. 6.26: Schematizzazione dell'apertura delle porte: porta a battente (a sinistra), porta scorrevole (al centro), porta bidirezionale (a destra) (rappresentazione grafica di Andrea Delmenico).



Fig. 6.27: Schematizzazione dell'apertura delle porte: porta a libro (a sinistra), porta a soffietto (al centro), porta pivotante (a destra) (rappresentazione grafica di Andrea Delmenico).