

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 8

LE STRUTTURE DI ELEVAZIONE ORIZZONTALE: TRAVI E SOLAI

Valentina Puglisi

Le “strutture in elevazione orizzontale e inclinate”, secondo la norma UNI 8290 del 1981²⁰⁵, fanno parte della prima classe di unità tecnologica, denominata “struttura portante” che identifica, a sua volta, tre unità tecnologiche: strutture di fondazione, di elevazione e di contenimento. La succitata norma classifica le strutture in elevazione orizzontale in due categorie: “strutture per impalcati piani” e “strutture per coperture inclinate”.

Le strutture che realizzano impalcati piani sono elementi tecnici che trasferiscono i carichi agenti sull’edificio alle strutture di elevazione verticale. A seconda della loro collocazione nell’organismo edilizio, tali strutture svolgono la funzione di chiusura orizzontale superiore, inferiore o intermedia. Fungono, inoltre, da controventamento, ovvero collegano orizzontalmente le strutture in elevazione verticale²⁰⁶.

Gli elementi che compongono le strutture di impalcato possono essere classificate distinguendo le travi (principali e secondarie) dai solai.

In relazione alla dimensione delle luci da coprire si possono avere strutture principali (gravanti direttamente sulle strutture in elevazione verticale) o secondarie (appoggiate a loro volta sulle strutture principali).

Entrambe possono essere lineari o piane. Si avranno pertanto:

- *impalcati monodirezionali*: la trasmissione dei carichi avviene secondo un’unica direzione e comprendono impalcati a semplice o doppia orditura con travi principali e secondarie. In questi impalcati le travi principali sono disposte secondo la luce minore con solai orditi ortogonalmente ad essi. Quando la luce dei solai supera i 750 centimetri si procede nell’invertire l’orditura (travi principali disposte secondo la luce maggiore). In caso di luci ancora superiori bisognerà adottare un sistema organizzato con una orditura di travi principali e una (o più) orditure sovrapposte di travi secondarie, disposte ortogonalmente le une sulle altre e

²⁰⁵ Norma UNI 8290:1891, *Edilizia residenziale. Sistema tecnologico. Classificazione e terminologia*.

²⁰⁶ Arbizzani, E. (2008), *Tecnologia dei sistemi edilizi. Progetto e costruzione. Con disegni e particolari costruttivi, immagini di cantiere e dettagli edilizi, figure e schemi funzionali*, Maggioli Editore, Sant’Arcangelo di Romagna (RN), p. 67.

completate dal solaio disposto anch'esso ortogonalmente all'ultimo ordine di travi;

- *impalcati bidirezionali*: la trasmissione dei carichi avviene secondo entrambe le direzioni e comprendono orditure a griglie di travi oppure piastre. Tali impalcati possono insistere, a loro volta, su un sistema di travi e pareti. In questi impalcati le travi sono poste in entrambe le direzioni mentre i solai sono disposti secondo una (o entrambe) le direzioni (solaio a cassettoni).

Nelle normali condizioni di esercizio, la soluzione degli impalcati può essere realizzata con sistemi piani che utilizzano i materiali tradizionali dell'architettura (legno, laterizio, calcestruzzo e acciaio).

8.1. Le travi

Le travi sono elementi in cui una dimensione è prevalente rispetto alle altre due. Si tratta di elementi prevalentemente inflesse, soggette quindi a sforzo di taglio e momento flettente.

«Le travi sono elementi strutturali lineari sollecitati secondo la direzione ortogonale al loro sviluppo lineare. Si chiamano travi principali quando trasferiscono il carico gravante direttamente alla struttura in elevazione verticale; si chiamano travi secondarie quando trasferiscono il carico degli impalcati alle travi principali»²⁰⁷.

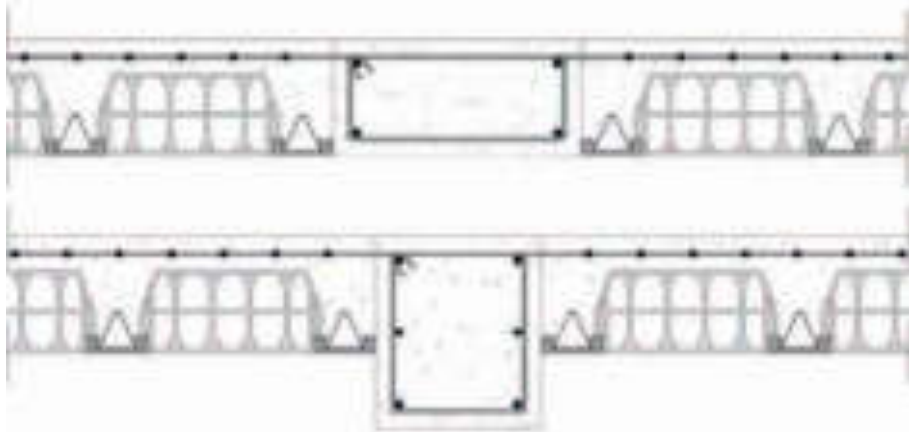


Fig. 8.1: Sezione verticale di una trave in spessore di solaio (sopra) e di una trave ribassata (sotto).

Dal punto di vista geometrico le travi possono essere definite:

²⁰⁷ Arbizzani, E. (2008), *Ibidem*, pp. 117-118.

- *in spessore*: quando la loro sagoma trasversale è contenuta nello spessore del solaio (l'altezza della trave è uguale all'altezza del solaio);
- *ribassate*: quando la trave è più alta o più bassa del solaio stesso.

Di norma per solai di tipo abitativo le travi in spessore possono avere luci sino a 4÷5 metri; oltre tale interasse le travi sono normalmente ribassate. In taluni casi, quando sono impediti i ribassi delle travi per problemi impiantistici o per vincoli architettonici, si utilizzano le travi in rialzo (cioè sporgenti rispetto all'estradosso del solaio). Questo può risultare particolarmente utile se le travi rialzate vengono posizionate in corrispondenza del perimetro dell'edificio, in modo da poter essere anche sfruttate come parapetto di terrazzi o balconi, diventando un elemento architettonico decorativo.

	Caratteristiche	Vantaggi	Svantaggi
Travi in spessore di solaio	<ul style="list-style-type: none"> - Altezza: uguale a quella del solaio; - larghezza: 60÷120 cm; - base: $b = L/6$ - lunghezza max 4÷5 m. 	<ul style="list-style-type: none"> - Riduzione dei costi della cassetatura, poiché le travi vengono gettate sullo stesso tavolato piano del solaio; - formano una superficie d'intradosso piana che non impone vincoli alla distribuzione interna delle pareti. 	<ul style="list-style-type: none"> - Maggior peso proprio della trave a causa della notevole larghezza; - maggior consumo di acciaio per l'armatura metallica; - creazione di una struttura che non raggiunge gli stessi gradi di rigidità di quella con travi ribassate.
Travi ribassate	<ul style="list-style-type: none"> - Altezza: 30 cm (dimensione più comune); - larghezza: tra 15÷400 cm; - base: è pari alla larghezza del pilastro o più stretta; - lunghezza: oltre 5 m. 	<ul style="list-style-type: none"> - Possibilità di realizzare una struttura notevolmente rigida e reticoli strutturali a grandi luci libere; - risparmio sulla sezione dell'armatura metallica necessaria. 	<ul style="list-style-type: none"> - Creazione di vincoli al posizionamento delle pareti interne; - riduzione dell'altezza libera dei locali; - elevato costo della cassetatura per il getto.

Tab. 8.1: Paragone tra travi in spessore di solaio e travi ribassate.

Le travi sono realizzate utilizzando vari materiali: legno, cemento armato e acciaio. Possono essere a sezione piena (tipica delle travi di legno o di

cemento armato) o a sezione alleggerita (tipica delle travi di acciaio). Queste sono generalmente configurate a sezione rettangolare, con la dimensione maggiore posta in senso verticale al fine di resistere ai carichi incidenti e agli sforzi di flessione.

Tutte le travi, interpretate come un tutt'uno con i pilastri, costituiscono il telaio portante longitudinale o trasversale a seconda se orditi in senso longitudinale o trasversale alla pianta dell'edificio²⁰⁸. Sia le travi che i pilastri costituiscono, quindi, l'ossatura portante dell'edificio. Sotto questo aspetto gioca un ruolo importante la connessione fra pilastri e travi per la definizione della portanza statica.

Le travi sono presenti sia sul perimetro dell'edificio ("travi di bordo") sia nella parte centrale dell'edificio ("travi di spina") e definiscono, nel loro insieme, varie tipologie di corpi di fabbrica:

- *corpo semplice*: è costituito da due elementi strutturali orizzontali e paralleli (travi di facciata) collocati ad una distanza di circa 5 metri. La modesta profondità del corpo di fabbrica permette la realizzazione di una serie di locali collegati direttamente tra di loro, senza la presenza di un disimpegno;
- *corpo semi doppio*: è costituito, come quello precedente, da due elementi strutturali orizzontali e paralleli (travi di facciata) collocati a una distanza di circa 7 metri. Questo corpo di fabbrica permette la realizzazione di una serie di locali disimpegnati con un percorso avanzato o arretrato rispetto al corpo di fabbrica che pone però problemi di illuminazione naturale.
- *corpo doppio*: è costituito da due elementi strutturali orizzontali e paralleli (travi di facciata) collocati ad una distanza di circa 13 metri e da un altro intermedio (trave di spina). Questo tipo di corpo di fabbrica consente un'aero-illuminazione trasversale in una doppia serie di locali disimpegnati da un corridoio centrale;
- *corpo triplo*: è costituito da due elementi strutturali orizzontali e paralleli (travi di facciata) che possono raggiungere una profondità complessiva di oltre 15 metri e due travi di spina. Questo tipo di corpo di fabbrica individua una doppia serie di ambienti laterali aero-illuminanti e una fascia centrale destinata ai servizi e al disimpegno. Risulta prevalentemente utilizzato per l'attività alberghiera.

Molto spesso le travi di facciata devono sopportare un carico aggiuntivo dovuto al peso delle facciate (tamponamenti, serramenti, facciate continue, balconi in aggetto, ecc.) rispetto a quelle di spina.

²⁰⁸ Rezzonico, G. (2011), *Costruire l'abitare*, Maggioli editore, Sant'Arcangelo di Romagna (RN), p. 43.

8.1.1. Le travi di calcestruzzo armato

Le travi di calcestruzzo armato sono realizzate attraverso la formazione di una gabbia di armatura composta da barre longitudinali e staffe trasversali che hanno il compito di resistere alle sollecitazioni di taglio agenti sulla struttura.

Nella maglia che costituisce l'orditura delle travi in un edificio si possono distinguere: le travi principali, le travi di bordo (o di irrigidimento o di facciata) e le travi secondarie.

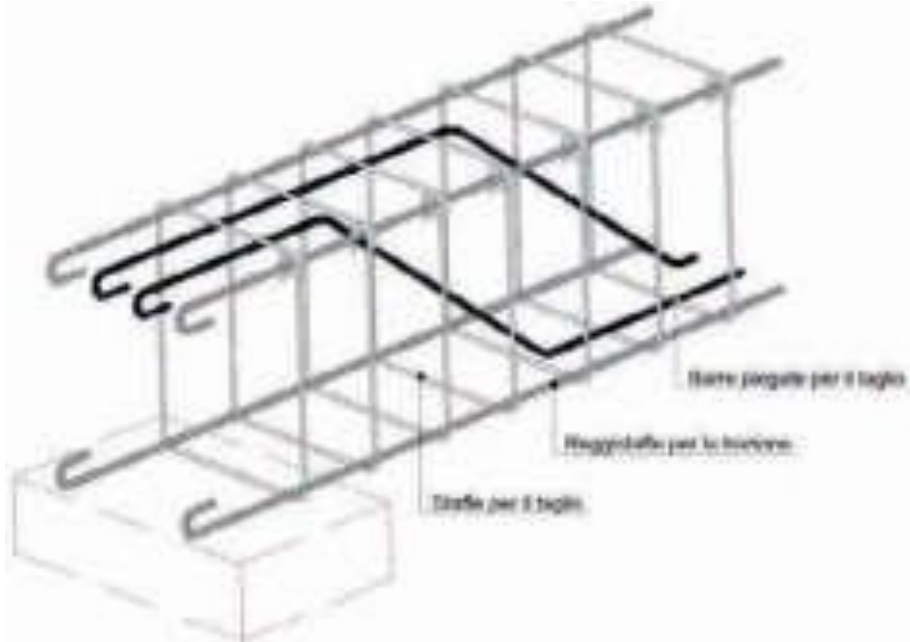


Fig. 8.2: Disposizione dei ferri di armatura in una trave di calcestruzzo.

La trave di calcestruzzo armato, generalmente caratterizzata da una sezione trasversale rettangolare, sfrutta le caratteristiche meccaniche del materiale in modo ottimale resistendo alle azioni di compressione e di trazione.

A seconda dei carichi gravanti, il progetto della trave può prevedere una quantità maggiore di ferri e/o ferri di armatura aventi un diametro maggiore nella parte inferiore (sezione tesa) della trave rispetto a quella superiore (sezione compressa).

Tipo di trave	Altezza trave	Larghezza trave
Appoggiata	1/20 della luce del solaio	0,4÷0,5 cm dell'altezza
In spessore	Stessa altezza del solaio	1/8-1/10 della luce del solaio
Continua o incastrata	1/26 della luce del solaio	0,4÷0,5 cm dell'altezza
A sbalzo	1/7 della luce del solaio	

Tab. 8.2: Predimensionamento delle travi di calcestruzzo armato in edifici ad uso abitativo.

Fonte: D.M. 9 gennaio 1996²⁰⁹, paragrafo 4.3.3.3.

8.1.2. Le travi di calcestruzzo armato precompresso

La precompressione è una tecnica industriale consistente nel produrre artificialmente una tensione nella struttura dei materiali da costruzione e, in special modo nel calcestruzzo armato, con lo scopo di migliorarne le caratteristiche di resistenza della trave.

Nel calcestruzzo armato precompresso la precompressione viene utilizzata per sopperire alla scarsa resistenza a trazione del conglomerato cementizio.

I processi industriali per realizzare la precompressione sono di due tipi:

- *a cavi pre-tesi*: una volta disposta la cassaforma e l'eventuale armatura lenta, prima che venga eseguito il getto di calcestruzzo, i cavi di precompressione vengono tesi fra due supporti fissi ed esterni. Successivamente viene effettuato il getto di calcestruzzo che avvolge i cavi pretesi. Avvenuta la maturazione del conglomerato, il cavo viene svincolato dagli ancoraggi fissi. Il conseguente accorciamento elastico del cavo viene contrastato dal calcestruzzo, oramai indurito, al quale viene trasferito, per aderenza, lo sforzo di compressione. In corrispondenza della testata della trave, le estremità delle armature tagliate vengono protette contro il pericolo della corrosione mediante l'applicazione di opportuni materiali protettivi o tramite un getto di calcestruzzo in opera. Questo sistema trova generalmente applicazione nel campo della prefabbricazione di piccoli elementi strutturali quali travi per impalcati di luce modesta, travetti per solai di laterocemento, ecc. La realizzazione di elementi pretesi in cantiere risulta invece più difficile e costosa;
- *a cavi post-tesi*: vengono predisposti l'armatura lenta e gli alloggiamenti (guaine) che dovranno accogliere i cavi di

²⁰⁹ 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*.

precompressione i quali portano, alle estremità, degli speciali ancoraggi. Il getto viene costipato per mezzo di vibratori ad ago o a lamina oppure mediante vibratori esterni. Avvenuta la maturazione del calcestruzzo si infilano i cavi nelle guaine e si effettua la tesatura mediante martinetti idraulici, prendendo contrasto in corrispondenza delle testate della trave. In questo modo lo stato di precompressione si stabilisce all'atto stesso dell'operazione di messa in tensione dei cavi. Infine si provvede a riempire i fori di alloggiamento dei cavi mediante iniezione con malta sotto pressione. L'iniezione dei cavi scorrevoli ha lo scopo di proteggere l'acciaio di precompressione dalla corrosione indotta dagli agenti atmosferici. Questo sistema viene utilizzato principalmente per la realizzazione di travi di grande luce (da 15 fino a 50 metri) quali ad esempio gli impalcati da ponte.

Il calcestruzzo armato precompresso si realizza quasi esclusivamente in stabilimento: la sua produzione è pertanto piuttosto costosa ed è resa conveniente per travi con luci superiori ai 9 metri. Questo permette di controllare la composizione del calcestruzzo, la sua omogeneità e la sua qualità, in modo da ottenere manufatti rispondenti agli standard qualitativi attualmente richiesti dall'edilizia. Le strutture di calcestruzzo armato precompresso hanno, inoltre, degli intervalli di manutenzione

molto distanziati, riducendo i costi di gestione dei complessi edilizi. Una trave di calcestruzzo armato precompresso è più leggera di una trave di cemento armato o di acciaio che deve reggere lo stesso peso.



Fig. 8.3: Travetto prefabbricato precompresso.

Fonte: Tommaso Verazzo S.r.l. Costruzioni e prefabbricati in cemento.

Rispetto alle travi reticolari di acciaio, ha una migliore resistenza al fuoco, agli urti, agli eventi straordinari e agli agenti atmosferici, ed ha una minore flessibilità.

La trave di calcestruzzo armato precompresso di contro ha bisogno di essere trasportata in opera aumentando notevolmente i costi di cantiere: questo può creare dei seri problemi di logistica del cantiere, perché le travi possono essere lunghe anche 30 metri e pesare diverse decine di tonnellate.

8.1.3. Le travi di acciaio

Negli impalcati degli edifici di acciaio solitamente si dispone una orditura costituita da travi secondarie, su cui è appoggiato il solaio, e da travi principali che sopportano i carichi trasmessi dalle travi secondarie e li trasferiscono alle colonne²¹⁰.

Le travi di acciaio prevedono l'utilizzo di profilati di sezione e dimensione standardizzata, ottenuti per laminazione. Le sezioni più comuni sono a "T", a "doppio T", a "L" e a "C". I profili commerciali più diffusi per la realizzazione delle travi (e anche delle colonne), sono quelli a "doppia T", in cui l'elemento verticale prende la denominazione di "anima" mentre le parti orizzontali sono chiamate "ali". Questi si distinguono in:

- *profili IPE*: sono profili a "doppia T" ad ali parallele in cui l'altezza della sezione è circa il doppio della base. Questo profilo è efficiente per sopportare sollecitazioni di tipo flessionale agenti marcatamente in una direzione, come quelle a cui sono soggette le travi. I profili IPE vengono prodotti con lunghezze fino a 15 metri con sezioni variabili da 80 a 600 millimetri²¹¹; per coprire luci maggiori è necessario realizzare profili composti le cui dimensioni e caratteristiche inerziali sono definite caso per caso;
- *profili HE*: sono profili a doppia T in cui le misure dell'altezza e della base sono molto simili. Queste sezioni presentano un buon comportamento nei confronti dei fenomeni di instabilità poiché posseggono caratteristiche inerziali simili nelle due direzioni; per questo motivo sono spesso utilizzate per realizzare le colonne o per coprire luci di solai importanti. Esistono, in ordine decrescente di resistenza, tre differenti classi di profili HE: tipo pesante M, normale B, leggero A.

²¹⁰ Arangio, S., Bucchi, F., Bontempi, F. (2010), *Componenti strutturali in acciaio. Progettare componenti e connessioni secondo eurocodici e norme tecniche per le costruzioni*, Dario Flaccovio Editore.

²¹¹ Esistono profili IPE 100 (ali di 55 millimetri), IPE 200 (ali di 100 millimetri), IPE 300 (ali da 150 millimetri), IPE 600 (ali da 220 millimetri), ecc.

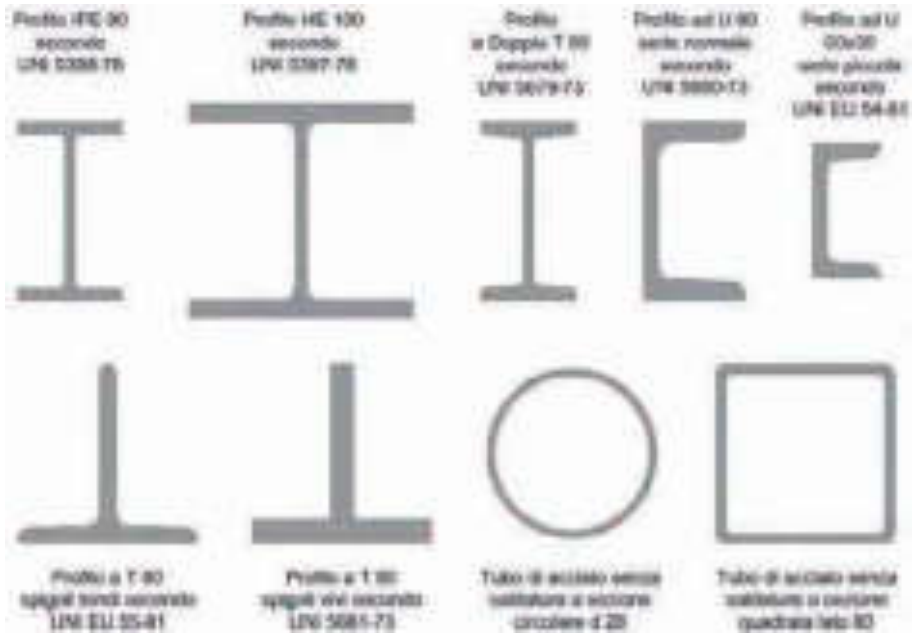


Fig. 8.4: Alcuni profili di travi in acciaio.
 Fonte: Furiozzi, B., Messina, C., Paolini, L. (2010)²¹².

Esistono inoltre profili a sezione scatolare: quadrata, rettangolare e circolare, particolarmente indicati per gli elementi strutturali a sviluppo verticale (pilastri e colonne). La resistenza di un profilo aumenta in maniera proporzionale allo spessore dei suoi elementi (anima e ali).



Fig. 8.5: Tipiche sezioni di travi semplici e composte.

Invece, l'uso combinato di profili a "T", a "L" e a "C" può dare origine a elementi strutturali a sezione composta, realizzati per raggiungere

²¹² Furiozzi, B., Messina, C., Paolini, L. (2010), *Prontuario per il calcolo di elementi strutturali*, Le Monnier, Milano, pp. 196-211.

determinate prestazioni. Le travi vengono collegate ai pilastri mediante tre tipologie di connessioni:

- *chiodatura*: le unioni chiodate si realizzano inserendo i chiodi a una testa riscaldati nei fori praticati nei pezzi da collegare attraverso l'utilizzo di un'apposita macchina chiodatrice. Il chiodo, raffreddandosi, tende ad accorciarsi esercitando una pressione tra le superfici dei pezzi posti a contatto e uniti dal chiodo. Si tratta di una tecnica oggi non più utilizzata²¹³;
- *bullonatura*: le connessioni avvengono attraverso l'uso di viti, rondelle e dadi di acciaio filettati con l'interposizione di elementi (quali piastre, angolari, flange, ecc.) che consentono la sovrapposizione fra gli elementi da unire oppure realizzano un accostamento di testa fra gli elementi attraverso piastre coprigiunti;
- *saldatura*: consente di creare strutture intelaiate rigidamente. È eseguita fondendo le parti da unire ed aggiungendo ulteriore materiale fino a realizzare le cordonature visibili nelle strutture saldate. Le giunzioni saldate possono essere realizzate sia di testa che per sovrapposizione e, generalmente, non richiedono piastre o angolari di irrigidimento. La realizzazione di strutture saldate richiede tempi di montaggio maggiori e, poiché le condizioni atmosferiche influenzano le operazioni di saldatura, queste vengono generalmente effettuate in officina. I processi di saldatura si distinguono in: saldatura autogena (che può essere realizzata per fusione o per pressione) e brasatura²¹⁴.

8.1.4. Le travi reticolari




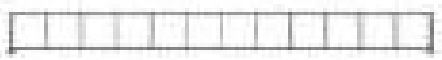
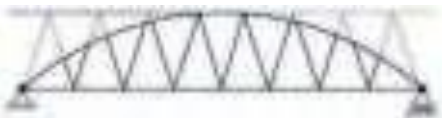
La travatura reticolare è una struttura composta da un insieme di travi complanari vincolate ai nodi in modo da costituire un elemento resistente e indeformabile. È soggetta prevalentemente a forze di tipo assiale²¹⁵.

La travatura reticolare ha tratto la propria origine dalla necessità di impiegare strutture sempre più leggere per superare luci sempre più grandi. È formata da due elementi continui (correnti) e da un'anima scomposta in elementi lineari. Di questi ultimi, alcuni sono disposti in verticale (montanti) e altri sono inclinati (diagonali).

²¹³ Perrone, V. (2002), *I collegamenti chiodati, bullonati e saldati*, Helvelius Edizioni, Benevento (BN).

²¹⁴ Tronconi, O. (2008), *Tecnologia dell'architettura*, Maggioli Editore, Santarcangelo di Romagna (RN), p. 34.

²¹⁵ Zaccaria, D. (2016), *Travi e sistemi di travi*, Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Università di Trieste.

Travatura	Descrizione	Schema
Warren	Composta da una serie di diagonali tese e compresse, ma nessun montante (è la più comune)	
Howe	Composta da montanti tesi e diagonali compresse	
Pratt (o Mohniè)	Composta da montanti compressi e diagonali tese. In questa configurazione i montanti compressi presentano una minore lunghezza rispetto ai diagonali compressi della Travatura Howe	
Vierendeel	Composta da correnti orizzontali e aste poste in posizione verticale, collegate agli elementi inferiori e superiori attraverso incastri	
Nielsen	Composta da un arco e da una catena per l'eliminazione della spinta: nello schema tradizionale ad arco e catena gli elementi sono collegati da tiranti a "V" con inclinazione costante; nella variante proposta da G. Krall i tiranti a "V" convergono sull'asse dell'arco formando una vera e propria travatura reticolare ²¹⁶ .	

Tab. 8.3: Tipologie di travature reticolari.

Tenendo conto del meccanismo resistente della struttura reticolare è possibile ridurre il numero delle aste al minimo strettamente necessario e disporle in triangolazioni semplici, con lati e angoli simili per garantire una regolare distribuzione degli sforzi. Esistono numerosissimi esempi di

²¹⁶ Istituto dell'Enciclopedia Italiana (2017), *Enciclopedia Treccani*.

travature reticolari, differenti tra di loro per la geometria della travatura e per il conseguente regime statico che ne risulta. Le travi reticolari leggere di acciaio sono costituite da due correnti (con profilati a “L”, a “C” o a “T”). Sono utilizzate per realizzare travi sia principali sia secondarie che raggiungono luci fino a 6÷7 metri. Le travi reticolari pesanti, invece, sono realizzate con profili di acciaio di tipo aperto o scatolare. Sono utilizzate per realizzare travi che coprono grandi luci.

8.1.5. Le travi REP



Fig. 8.6: Le travi REP.

Le travi reticolari autoportanti (travi “REP”) sono travi prefabbricate componibili di acciaio che, successivamente al getto di completamento di calcestruzzo, danno luogo a strutture miste aventi caratteristiche variabili compatibili alle esigenze progettuali e ai livelli prestazionali richiesti. Le travi REP sorreggono sia il loro peso che quello del solaio che vi grava. Sono costituite da un traliccio metallico rinforzato e da una piattabanda, anch’essa di acciaio o di calcestruzzo. L’auto-portanza permette di ridurre al minimo le opere di puntellazione nelle fasi pre-getto.



Fig. 8.7: Dettaglio di travi REP.

8.1.6. Le travi di legno

La trave di legno è la prima trave ad essere stata utilizzata nel corso della storia. Si sono utilizzati legni come abete, larice, quercia, castagno.

Le travi realizzate in legno massello hanno problemi di durabilità legati al passare del tempo, dove si può intervenire con un intervento di consolidamento. Dagli anni 60 fino ad oggi è invece stata scoperta, e lentamente perfezionata, la tecnologia del legno lamellare, capace di avere le stesse resistenze e caratteristiche meccaniche di un elemento di cemento armato.

L'incollaggio in più strati di lamelle di legno tra loro ortogonali permette di ottenere sezioni resistenti molto più performanti, in grado di coprire anche grandi luci. Una caratteristica peculiare delle travi lignee è quella di avere tipicamente la sezione circolare (a meno che non siano "prefabbricate" con pannelli e allora possono essere di sezione quadrata, rettangolare, ecc.).

8.2. I solai

Si definiscono solai quelle strutture bidimensionali piane caricate ortogonalmente al proprio piano, con prevalente comportamento resistente monodirezionale. I solai costituiscono il piano di calpestio dei locali su cui vengono a gravare i carichi delle persone, dei mobili, delle attrezzature, ecc.

Nelle strutture a telaio, i solai trasmettono il carico ricevuto alle travi che, a loro volta, lo trasmettono ai pilastri e questi alle fondazioni. La struttura portante del solaio può essere realizzata di legno, di calcestruzzo armato o di acciaio con la presenza o meno di altri materiali (laterizio, polistirolo, ecc.) con funzione prevalente di alleggerimento.

Per quanto riguarda il predimensionamento strutturale, lo spessore dei solai al rustico (cioè esclusi sottofondi, pavimenti e controsoffitti)²¹⁷, per uso abitativo, è dell'ordine di 1/25 della luce: per esempio, per un solaio di 4 metri, lo stesso dovrà avere uno spessore di almeno 16÷18 centimetri; per un solaio di 6 metri, lo spessore minimo del solaio dovrà essere almeno di 24 centimetri²¹⁸. Nel caso, invece, di nervature precomprese, lo spessore del solaio è di 1/30 della luce (il predimensionamento dell'altezza della trave emergente di calcestruzzo armato può variare tra 1/10 e 1/12 della luce da coprire a seconda del tipo di vincolo col pilastro).

La soletta deve invece avere uno spessore di almeno 40 millimetri con armatura di ripartizione ben ancorata alle travi di bordo.

²¹⁷ D.M. 16 gennaio 199, *Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche*.

²¹⁸ Il dimensionamento di un solaio, avviene in considerazione dei carichi agenti su di esso (il peso del sottofondo, del pavimento, dei tavolati divisorii interni e dei sovraccarichi).

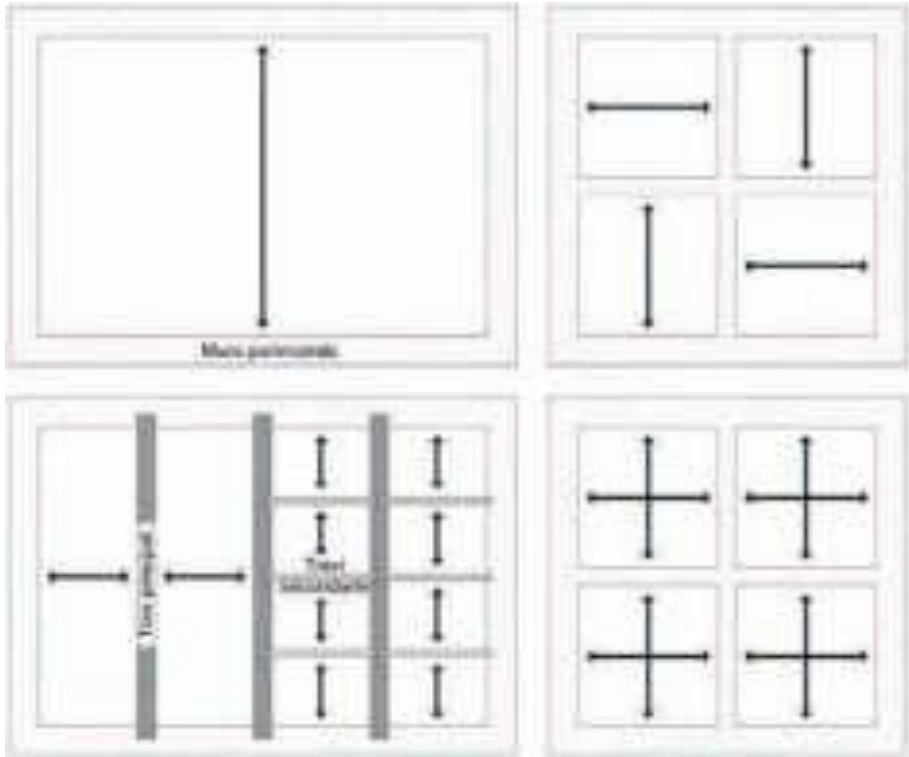


Fig. 8.8: Sezione orizzontale che riporta l'orditura di diverse tipologie di solai.

Se l'edificio è totalmente realizzato con travi a spessore è consigliabile partire con un solaio avente un'altezza pari a 25+5 centimetri in zona sismica (anche per luci non richiedenti tali prescrizioni sotto le sole azioni verticali). È importante considerare gli spessori dei solai in fase di progetto, perché in alcuni regolamenti edilizi viene indicata l'altezza massima del fabbricato, ossia l'altezza che intercorre tra il piano del marciapiede e l'intradosso della gronda. Questa altezza è costituita dalla somma delle altezze nette interne dei locali e dallo spessore dei solai con i relativi sottofondi e pavimenti. L'attuale produzione industriale di elementi e sistemi per gli impalcati piani offre una gamma estremamente diversificata di soluzioni tecniche, quali: solai di latero-cemento, di legno, di acciaio, di calcestruzzo armato e realizzati con lastre semi-prefabbricate. I solai possono costituire le seguenti parti dell'edificio:

- solaio contro-terra;
- solaio intermedio tra locali riscaldati;
- solaio verso un locale non riscaldato;

- solaio di copertura.

8.2.1. I solai di latero-cemento

È una diffusa tecnica costruttiva utilizzata nella realizzazione di solai di tipo misto in cui la struttura di calcestruzzo armato (travetti) si unisce ad elementi di alleggerimento di laterizio (pignatte, tavelle o tavelloni).

I travetti (che possono essere gettati in opera, prefabbricati o prefabbricati precompressi) vengono appoggiati su apposite armature di sostegno di legno e sono collegati alle travi. Successivamente vengono posate le pignatte. L'interasse dei travetti varia dai 40 agli 80 centimetri, normalmente cinquanta centimetri, mentre la larghezza dei travetti tra le file dei blocchi varia dai 5 ai 15 centimetri. Gli elementi di alleggerimento possono essere classificati in due categorie:

- *non collaboranti*: con funzioni prevalentemente di alleggerimento e di coibentazione;
- *collaboranti*: a cui, oltre alle menzionate funzioni di alleggerimento e di coibentazione, viene attribuito il compito di incremento della rigidità flessionale.

Di norma il solaio viene completato in opera con un getto di calcestruzzo fino a formare, al di sopra dell'estradosso dell'elemento di alleggerimento, una soletta di calcestruzzo, denominata caldana o cappa superiore, opportunamente armata con una rete elettrosaldata che ha la funzione di ripartire il carico tra le varie nervature.

La cappa superiore deve essere di almeno 5 centimetri al di sopra della faccia superiore degli elementi di alleggerimento, anche se la normativa tecnica vigente richiede un minimo di 4 centimetri.

Esistono diverse tipologie di solai di latero-cemento, in particolare:

- solaio gettato in opera;
- solaio a travetti prefabbricati di calcestruzzo normale o precompresso (solaio semi-prefabbricato);
- solaio a pannelli prefabbricati.

8.2.1.1. I solai di latero-cemento gettati in opera

Questo tipo di solaio viene costruito completamente in opera ed è costituito da travetti di calcestruzzo armato, elementi di alleggerimento di laterizio (pignatte) e caldana sempre di calcestruzzo armato.

Si tratta di una tecnica oggi poco utilizzata per questioni di velocità esecutiva. Tale solaio è realizzato assemblando in opera (sopra cassetture opportunamente progettate) sia l'armatura dei travetti che le file di pignatte. Il solaio viene completato da una gettata e da una

caldana di almeno 5 centimetri di spessore con annegata, al suo interno, una rete elettrosaldata. L'altezza della pignatta è generalmente compresa tra i 12 e i 25 centimetri, con una larghezza di 25 centimetri; mentre l'interasse fra i travetti varia dai 40 ai 60 centimetri.



Fig. 8.9: Solaio di latero-cemento gettato in opera.

Di seguito viene riportata la tabella tratta dalle norme complementari relativa i solai di latero-cemento in cui viene esplicitato lo spessore

minimo dei solai²¹⁹: «[...] a portata unidirezionale, che non siano di semplice copertura, non deve essere minore di 1/25 della luce di calcolo ed in nessun caso minore di 12 centimetri. Per solai di semplice copertura non accessibili il predetto limite può scendere a 1/30».

Spessore solaio (pignatta + caldana) [cm]	Peso proprio del solaio [kg/m ²]	Luce netta massima del solaio intermedio [m]	Luce netta massima del solaio di copertura [m]
h. 16 (12+4)	236	3,60	4,30
h. 20 (16+4)	266	4,80	5,80
h. 25 (20+5)	319	6,00	7,20
h. 30 (24+6)	378	7,20	8,20

Tab. 8.4: Spessori del solaio di latero-cemento e relative luci nette.

Fonte: D.M. 14 febbraio 1992, punto 7.1.4.2²²⁰.

8.2.1.2. I solai a travetti prefabbricati di calcestruzzo normale o precompresso

I solai a travetti prefabbricati di calcestruzzo normale o precompresso sono costituiti da travetti semi-prefabbricati di calcestruzzo armato normale (travetti tralicciati tipo Bausta o tralicciati con fondello di laterizio) o prefabbricati precompressi (travetti a “T rovesciata” con anima a coda di rondine) nei quali è incorporata l’armatura. I solai sono completati in opera con:

- la posa di elementi di alleggerimento di laterizio (pignatte);
- la posa dell’armatura integrativa e dell’eventuale armatura di ripartizione dei carichi (rete elettrosaldata);
- il getto di calcestruzzo di completamento fino alla realizzazione di una caldana di idoneo spessore.

I travetti semi-prefabbricati, da completare in opera con un getto di calcestruzzo, sono costituiti da un fondello di calcestruzzo o di laterizio a forma di “U” nel quale viene annegato il traliccio dei ferri di armatura (generalmente costituito da due ferri inferiori, un ferro superiore ed una staffa di collegamento). Le pignatte, in questo caso, avranno una sezione dotata di alette per essere appoggiate sui travetti.

²¹⁹ D.M. 14 febbraio 1992, *Norme tecniche per l’esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche*, punto 7.1.4.2, *Spessore minimo dei solai*.

²²⁰ D.M. 14 febbraio 1992, punto 7.1.4.2, *Op. cit.*

I solai con travetti prefabbricati di calcestruzzo armato precompresso impiegano elementi tecnici completamente finiti in stabilimento; questi sono caratterizzati da una sezione a “T rovesciata” sulle cui ali vengono appoggiate le pignatte. I travetti di calcestruzzo armato precompresso hanno una portata maggiore rispetto agli omologhi semi-prefabbricati. Questi vengono appoggiati (con una sovrapposizione minima di 5 centimetri) sulle strutture portanti verticali. Utilizzando i travetti prefabbricati precompressi tipo “Varese” si possono realizzare dei solai ad intercapedine che garantiscono una migliore coibenza termo-acustica.

La formazione dell’intercapedine è possibile grazie alla particolare forma di questo travetto che presenta, rispetto ai travetti a “T”, un’ulteriore ala superiore (anch’essa a coda di rondine) quasi a metà dell’anima. In corrispondenza delle due ali, quella inferiore e quella superiore, vengono poggiati, come elementi di alleggerimento, tavelle o tavelloni. Il solaio viene poi completato come sopra descritto.



Fig. 8.10: Solaio di latero-cemento gettato in opera con travetti tralicciati e fondello di laterizio.

8.2.1.3. Un solaio tipico dei solai a travetti: lo sfondellamento

Un problema ricorrente nei solai realizzati con travetti e pignatte in laterizio è lo “sfondellamento”.



Fig. 8.11: Sfondellamento di un solaio realizzato con pignatte e travetti.

Esso consiste nel distacco della parte inferiore degli elementi di alleggerimento di laterizio, con il relativo strato di intonaco di protezione; a volte il distacco coinvolge anche i fondelli in cotto dei travetti. Ciò causa un indebolimento strutturale del solaio che necessita di interventi

di consolidamento mediante la posa di reti di armatura all'estradosso, ripristini con apposite malte strutturali o addirittura fasciature con elementi in fibra di carbonio.

Le cause possono essere di varia natura:

- la presenza di partite difettose degli elementi di laterizio la cui cottura effettuata in fornace non risulta adeguata (problema riscontrato specialmente in edifici degli anni 60/70);
- le infiltrazioni d'acqua penetrate nello spessore del solaio, danneggiandone gli elementi;
- i forti sbalzi termici all'interno dei locali;
- l'imperizia nella posa delle armature dei travetti (nel caso di solai completamente gettati in opera), posizionati senza l'adeguato copriferro rispetto all'estradosso;
- i sovraccarichi eccessivi sul piano di calpestio del solaio.

8.2.2. I solai a pannelli prefabbricati



Fig. 8.12: Assemblaggio in cantiere di un pannello prefabbricato di tipo alveolare.

I solai a pannelli prefabbricati sono costituiti da porzioni di solaio strutturalmente finite (prodotte industrialmente) che vengono accostate in cantiere e sigillate fra loro. Nel caso di edifici a pianta regolare, in cantieri edili che dispongono di adeguati mezzi di sollevamento, essi garantiscono una grande celerità di montaggio e rapidità di costruzione.



Fig. 8.13: Solaio realizzato con pannelli prefabbricati di tipo alveolare.

Questi solai necessitano di adeguati mezzi di sollevamento; i tiranti devono formare con il piano del pannello un angolo superiore ai 75° .

Durante le operazioni di trasporto e di posizionamento, si deve prestare particolare attenzione a eventuali urti ed evitare bruschi movimenti. Lo stoccaggio deve essere fatto su traversi di legno tenero, complanari tra di loro, a interasse inferiore a 1,5 metri. Non si devono sovrapporre più di 6 pannelli e, se non è dichiarata l'autoportanza del pannello, occorre impiegare una trave rompi-tratta per luci inferiori a 6 metri e più di una per luci superiori a 6 metri.

8.2.3. I solai con lastre semi-prefabbricate

Il solaio predalles è un tipo di solaio semi prefabbricato costituito, all'intradosso, da lastre larghe generalmente 120 centimetri di calcestruzzo armato normale, ma possono arrivare anche a 250 centimetri. Le luci strutturali variano dai 6 ai 9 metri mentre l'altezza è compresa tra i 12 e i 25 centimetri. Lo spessore delle lastre è nell'ordine dei 5/6 centimetri di calcestruzzo, da cui fuoriescono dei tralicci di armatura e su cui sono posizionati in stabilimento gli elementi di alleggerimento di polistirolo.



Fig. 8.14: Solaio predalles.

Fonte: Tommaso Verazzo S.r.l. Costruzioni e prefabbricati in cemento.

Il solaio viene completato in opera con:

- la posa dell'armatura integrativa;
- la posa dell'armatura di ripartizione dei carichi (normalmente rete elettrosaldata);
- getto di calcestruzzo di completamento fino alla formazione di una caldana di idoneo spessore.

Generalmente i solai predalles (alleggeriti con blocchi di polistirolo) vengono utilizzati per la copertura di box interrati o cantine.



Fig. 8.15: Solaio predalles.

I vantaggi dell'utilizzo di questo tipo di solaio sono molteplici.

In primo luogo, le armature di sostegno provvisorio sono realizzate di legno, con travetti rompi-tratta di semplice esecuzione.

In secondo luogo le lastre, che hanno una larghezza di circa 1,2 metri, vengono fornite con la base sottostante già finita, ottenendo un notevole risparmio di tempo rispetto alla necessità di un'ulteriore finitura ad intonaco.

Il terzo vantaggio è rappresentato dal fatto che i tralicci di armatura metallica sono già inseriti all'interno delle lastre.

L'armatura andrà successivamente completata con ulteriori ferri, secondo i calcoli dello strutturista.

Le lastre predalles presentano un REI (indice di resistenza al fuoco) pari a 120 (minuti di esposizione al fuoco senza la perdita delle proprietà di resistenza) che le rende idonee alla realizzazione di coperture per autorimesse²²¹. Dopo che è effettuato il getto del solaio a copertura dell'interrato, non esiste più il pericolo che i muri laterali, spinti dalla terra, vadano ad inclinarsi. I muri controterra possono quindi essere impermeabilizzati ed è possibile procedere a reinterrare lo scavo effettuato vicino ad essi, in modo da creare lo spazio per la successiva posa dei ponteggi e permettere le lavorazioni ai piani superiori.

8.2.4. I solai di acciaio

I solai di acciaio impiegano travi in profilati o di tipo reticolare e strutture orizzontali a lamiera grecata. Sono costituiti da una lamiera grecata di acciaio, collegata alla trave principale (a doppia "T") per saldatura o chiodatura, su cui viene eseguito un getto di calcestruzzo normale o alleggerito. La lamiera ha la funzione di cassero durante la costruzione e costituisce parte o tutta l'armatura longitudinale dopo l'indurimento del calcestruzzo. Poiché non è sufficiente la semplice adesione chimica fra la lamiera e il calcestruzzo, sono previste opportune lavorazioni superficiali o particolari sagome per garantire l'aderenza fra acciaio e calcestruzzo.

Gli spessori della lamiera, in relazione alle luci e ai carichi di esercizio, variano tra i 0,7 e gli 1,5 millimetri mentre le altezze tra i 40 e gli 80 millimetri. Le lamiere grecate possono essere appoggiate superiormente all'estradosso delle travi oppure, per limitare lo spessore complessivo dell'impalcato, alloggiare all'interno della loro altezza.

L'impiego delle lamiere grecate nella costruzione dei solai, ha rappresentato una profonda innovazione che ha reso possibile razionalizzare ed accelerare i tempi di realizzazione con un conseguente importante beneficio economico.

La funzione della lamiera grecata ha seguito la seguente evoluzione nel mondo delle costruzioni:

- *cassaforma a perdere*: la lamiera grecata viene usata come semplice cassaforma a perdere rimpiazzando le tradizionali cassetture ed evitando totalmente o in parte la puntellatura; la sua capacità di portata è limitata al peso del getto, mentre la capacità portante finale è riservata al solaio che verrà costruito sulla lamiera stessa. Questa soluzione offre un piano di lavoro rapidamente transitabile;

²²¹ Rezzonico, G. (2011), *Op. cit.*

- *lamiera portante*: la lamiera grecata assume forma e spessori tali da conferire capacità portanti del getto e del sovraccarico. È il sistema più veloce per costruire un solaio in quanto basta posare la lamiera e fare un riempimento con inerti. I limiti sono dati dal peso elevato dell'acciaio e dal non poter coprire grandi luci;
- *lamiera parzialmente collaborante*: la lamiera grecata viene resa collaborante con il getto tramite una rete (tondini di acciaio elettrosaldati) saldata all'estradosso della lamiera grecata. Questo sistema è stato largamente impiegato fino all'introduzione di sistemi più evoluti ed è stato il primo tentativo per la costruzione di un vero solaio collaborante misto lamiera-calcestruzzo. Presenta l'inconveniente di dover fissare in opera la rete, che richiede un elevato numero di saldature, causando il rallentamento del processo di montaggio.

8.2.5. I solai di legno

I solai di legno hanno rappresentato in passato la soluzione costruttiva maggiormente impiegata nell'edilizia tradizionale anche se oggi sono stati sostituiti da solai di latero-cemento, acciaio, ecc.

Sono costituiti da travi principali e secondarie di legno (a sezione piena o lamellare) e orizzontamenti realizzati con differenti soluzioni tecniche. Sono caratterizzati da spessori considerevoli e necessitano di travi con sezioni ragguardevoli per sostenere il loro peso. Esistono di due tipologie:

- *solai con orditura semplice*: la struttura principale è costituita da travetti che coprono una luce non superiore ai 5 metri e sono posti a un interasse di 60÷80 centimetri gli uni dagli altri. Il solaio è completato da un assito di tavole o pannelli di legno appoggiati o incastrati;
- *solai con orditura composta*: impiegano due o più ordini di travi posti ortogonalmente gli uni sugli altri al fine di coprire luci maggiori rispetto ai solai con orditura semplice (luci di 8÷9 metri per solai con orditura doppia e 18÷20 per orditure multiple). In questo caso le travi principali coprono la luce minore del vano e gli elementi secondari vengono sovrapposti o collegati a quelli principali.

I solai misti legno-calcestruzzo sono costituiti da travetti di legno (anche lamellare) a sezione rettangolare con interposti elementi di alleggerimento di laterizio (tavella o tavellone) appoggiati in corrispondenza dell'estradosso delle travi.

Sull'estradosso dei travetti di legno sono realizzati dei connettori metallici, per garantire la solidarizzazione tra i travetti e il successivo getto di completamento di calcestruzzo, fino alla realizzazione della caldana opportunamente armata.



Fig. 8.16: Consolidamento di un solaio di legno con carpenterie metalliche e fibre di carbonio: posa in opera della rete elettrosaldata e dei connettori metallici. Seguirà la gettata di calcestruzzo alleggerito.



Fig. 8.17: Consolidamento di un solaio di legno con carpenterie metalliche e fibre di carbonio: posa della pavimentazione di legno.

8.2.6. I solai di calcestruzzo armato

I solai realizzati in getto pieno di calcestruzzo armato sono elementi costruttivi monolitici molto pesanti, completamente integrati nelle strutture di elevazione verticale attraverso l'utilizzo di apposite cassetture. Esistono di diverse tipologie²²²:

- *solaio a piastra*: costituito con orditura incrociata, ripartisce i carichi in modo perfettamente uniforme su tutte le murature perimetrali;
- *soletta semplice*: struttura massiccia appoggiata o incastrata alle travi portanti o ai cordoli; per una luce di due o tre metri ha uno spessore che può andare dagli 8 ai 20 centimetri. Lo spessore minimo deve essere 1/30 della luce ed è consigliato non inferiore a 8 centimetri. Le armature principali devono essere disposte parallele (nel senso della luce) e distribuite il più possibile in modo uniforme; occorre inserire anche un'armatura di ripartizione dei carichi (pari al 20% dell'armatura principale) disposta, invece, in senso ortogonale all'andamento del solaio;
- *soletta nervata*: per luci superiori a 3 metri e fino a 6 metri, occorre costituire delle nervature che devono essere disposte a

²²² Tronconi, O. (2008), *Op. cit.*

2-3 metri di interasse. La soletta armata deve essere invece disposta perpendicolarmente alle nervature.

Tali solai possono essere realizzati anche con lastre prefabbricate che costituiscono una soluzione particolarmente efficace per la realizzazione di solai di grandi luci ed elevata portanza.

I componenti sono prodotti secondo dimensioni modulari, con altezze variabili dai 12 ai 45 centimetri, larghezze comprese tra i 60 e i 120 centimetri e luci strutturali fino a 15÷20 metri.

8.3. Gli strati di finitura del solaio

Sopra la struttura portante del solaio vengono collocati una serie di strati di finitura, quali:

- la pavimentazione interna comprensiva del massetto di finitura;
- l'impianto di riscaldamento a pannelli radianti (opzionale);
- il massetto degli impianti;
- l'isolante acustico al calpestio;
- l'isolante termico;
- il controsoffitto (opzionale).

8.3.1. La pavimentazione interna

La pavimentazione interna nell'edilizia ha la funzione di conferire alle superfici di calpestio il grado di finitura richiesto e di trasmettere i carichi di servizio alle strutture orizzontali degli edifici o, in determinati casi, al terreno.

Le pavimentazioni interne hanno, inoltre, un'importante funzione nel definire e determinare l'estetica degli spazi, oltre a poter contribuire all'isolamento acustico degli ambienti e, quando è necessario, anche all'isolamento termico.

Le pavimentazioni possono essere classificate secondo due tipologie²²³:

- *monostrato*: vengono realizzate senza ulteriori strati di interposizione ed hanno la caratteristica di mostrare immediatamente la resa finale della superficie. Richiedono una particolare attenzione nel predisporre opportuni giunti di dilatazione termica (pavimentazioni in getto di calcestruzzo o resine);
- *pluristrato*: vengono costruite con differenti sequenze di strati di interposizione a seconda delle prestazioni da offrire e del materiale costituente lo strato di finitura superficiale

²²³ Arbizzani, E. (2008), *Op. cit.*, pp. 291-292.

(pavimentazioni posate a secco appoggiate o con fissaggio meccanico, posante a collante e sopraelevate).

Gli strati che costituiscono una pavimentazione sono i seguenti:

- il *rivestimento*: è rappresentato dallo strato superficiale del pavimento avente la funzione di resistere alle sollecitazioni meccaniche, ai fenomeni fisici e alle aggressioni chimiche e di creare le condizioni di benessere e di sicurezza dell'utenza. È realizzabile con piastrelle di ceramica, lastre lapidee o di legno, oppure con piastre o teli di materiale vinilico, gomma, linoleum o moquette. Solitamente il raccordo tra il rivestimento del pavimento e la parete viene realizzato con uno zoccolino (battiscopa);
- il *supporto o massetto di finitura*: è l'insieme degli strati sottostanti il rivestimento che concorrono a formare la pavimentazione. Hanno la funzione di ancorare il rivestimento, compensare le quote e le pendenze, conferire un determinato grado di isolamento, incorporare le canalizzazioni degli impianti, ecc. La composizione e le caratteristiche degli strati del supporto variano a seconda del tipo di rivestimento e delle prestazioni che devono essere svolte dalla pavimentazione. Nel caso in cui il supporto delle pavimentazioni appoggi sul terreno, bisogna creare altri strati di pavimentazione, quali un vespaio in ciottolato costipato ed un vespaio ventilato formato da gambette di muratura, sulle quali vengono poggiati tavelloni o altri elementi adatti a formare un'intercapedine d'aria tra il terreno e il pavimento.

La normativa riguardante l'eliminazione delle barriere architettoniche indica i criteri di progettazione atti a garantire l'accessibilità agli edifici privati e all'Edilizia Residenziale Pubblica Sovvenzionata (ERPS). Di seguito è riportato un sunto delle prescrizioni ivi contenute:

- i pavimenti delle parti comuni degli edifici e quelli esterni devono essere antisdrucciolevoli, cioè con un coefficiente d'attrito superiore ad un valore di 0,40;
- i dislivelli tra pavimenti diversi devono essere inferiori a 2,5 centimetri;
- gli zerbini devono essere incassati e le guide a pavimento devono essere solidamente ancorate;
- i grigliati utilizzati nei piani di calpestio devono avere maglie con vuoti che non costituiscano ostacolo o pericolo, rispetto a ruote, bastoni di sostegno e simili;

- eventuali differenze di dislivello devono essere contenute, ovvero superate tramite rampe con pendenza adeguata in modo da non costituire ostacolo al transito di una persona su sedia a rotelle;
- nelle parti comunicanti dell'edificio si deve provvedere ad una chiara individuazione dei percorsi, eventualmente mediante un'adeguata differenziazione dei materiali e del colore della pavimentazione.

8.3.1.1. Il pavimento realizzato con semilavorati

Le pavimentazioni interne realizzate con semilavorati vengono principalmente posate su un allettamento di malta o per incollaggio.

Nel caso in cui si opti per una posa su un letto di malta, è sufficiente formare uno strato di malta di almeno 2 centimetri e poi posare ad uno ad uno tutti gli elementi del pavimento ed assestarli. Se invece si vogliono incollare le piastrelle, bisogna innanzitutto avere uno strato di massetto orizzontale su cui verrà steso uno strato di collante.

Questi pavimenti hanno la caratteristica di essere costituiti da più elementi accostati con una forma regolare: tra un elemento e l'altro vengono realizzati, con appositi leganti, degli spazi vuoti (fughe).

La posa può essere fatta a giunto chiuso (con gli elementi del pavimento accostati uno all'altro) o a giunto aperto (in questo caso vi è un distanziamento di qualche millimetro tra un elemento della pavimentazione ed un altro). Se il pavimento è a giunto chiuso, la superficie risulta più uniforme, mentre quello a giunto aperto è più indicato in presenza di mattonelle scalibrate (ossia con profili non regolari).

Le fughe tra le piastrelle, oggi disponibili in una grande varietà di colorazioni, costituiscono un ulteriore elemento estetico di finitura: la posa fugata è pertanto oggi quella più utilizzata nelle pavimentazioni di ceramica.

Per i pavimenti di legno (parquet) o PVC (policloruro di vinile), invece, si utilizza spesso la posa unita (posa a secco su un apposito materassino desolidarizzante), in quanto i singoli elementi sono spesso dotati di giunzioni ad incastro maschio-femmina (parquet prefinito).

8.3.1.2. Il pavimento realizzato con tecniche tradizionali

Le tecniche tradizionali per la realizzazione delle pavimentazioni interne sono molteplici e si possono distinguere in: pavimenti alla veneziana, alla genovese, a mosaico, palladiane, ecc.

I *pavimenti alla veneziana* sono detti anche pavimenti a terrazzo. Si ottengono da granulati di marmo, con granulometria variabile intorno ai 20 millimetri, sparsi su strati di supporto ancora fresco sul quale vi sono degli appositi leganti. Dopo la fase detta di cilindrazione, nella quale il marmo viene inglobato, si effettua la cosiddetta molatura, per la quale viene rasato il pavimento in maniera tale da renderlo piano. Questo tipo di pavimento solitamente è utilizzato quando bisogna ricoprire ampie superfici.

I *pavimenti alla genovese*, molto simili a quelli alla veneziana, si differenziano solo per l'impiego di granulati di dimensioni più piccoli, impastati con leganti e pigmenti a base di ossidi prima di eseguire il getto in opera del pavimento.

Le *palladiane* sono pavimenti costituiti da frammenti di lastre, lavorati a piano di sega, con dimensioni comprese tra i 10 e i 20 centimetri, che vengono applicati su uno strato di allettamento accostandoli in opera senza un ordine geometrico. La posa viene conclusa con una stuccatura dei giunti e una levigatura/lucidatura superficiale.

I *pavimenti a mosaico* sono costituiti da piccoli elementi lapidei di diverso colore e forma variabile dagli 8 ai 20 millimetri, posati in maniera da ottenere diversi disegni. Questa tipologia di pavimentazione è antichissima e tuttora molto pregiata. La posa avviene sfruttando il cosiddetto metodo "al rovescio" per il quale viene prima disegnato il disegno su cartoni (con casellatura e numerazione) e poi incollate le tessere su di esso. La prima fase di realizzazione del mosaico avviene accostando e mettendo in opera i vari cartoni. Successivamente vengono tolti tutti gli strati di carta e, una volta murato il getto, si effettua una levigatura e lucidatura che consentirà di far apparire il disegno "al dritto".

8.3.1.3. Il pavimento gettato in opera

Il più comune pavimento gettato in opera è quello formato dal semplice calcestruzzo contenente una leggera armatura metallica atta ad evitare possibili crepe. Attualmente trova maggior applicazione in ambito industriale, laddove le portate richieste sono spesso rilevanti e pertanto è necessario effettuare piastre di calcestruzzo dello spessore variabile dai 12 ai 25 centimetri, con singola o doppia armatura distanziata costituita da rete elettrosaldata avente un diametro di 6/8 millimetri e maglia 20x20 centimetri oppure da fibre metalliche mescolate nell'impasto di calcestruzzo prima della posa.

Il calcestruzzo, con miscela specifica per pavimenti e granulometria ridotta, viene steso su una massicciata opportunamente "rullata",

“costipata” e “tirata” mediante staffe metalliche in maniera manuale o meccanizzata.

Durante la progressiva asciugatura del calcestruzzo si procede alla stesura di uno spolvero superficiale di cemento e quarzo, e alla lisciatura del piano di pavimento mediante una macchina dotata di pale metalliche rotanti (chiamata comunemente “elicottero”). Lo strato di quarzo conferisce resistenza meccanica all’usura e all’abrasione, particolarmente utile in ambito industriale.

In casi di forti sbalzi termici vengono usati dei giunti di dilatazione per assorbire le dilatazioni del cemento; a seconda delle specifiche necessità essitono vari ed innumerevoli tipi di giunti.

In alcuni casi la pavimentazione viene realizzata rivestendo il basamento di calcestruzzo con vari tipi di materiali che possono andare da pellicole a rivestimenti autolivellanti a particolari resine o malte resinose. È il caso di alcune tipologie di pavimenti in resina.



Fig. 8.18: Fasi per la realizzazione di un pavimento di calcestruzzo gettato in opera: posa della rete elettrosaldata e gettata di calcestruzzo opportunamente rullata.

8.3.1.4. Il pavimento sopraelevato

Il pavimento sopraelevato (detto anche pavimento galleggiante o pavimento flottante) è un supporto composto da pannelli di dimensione modulare (60x60, 60x120 centimetri, ecc.) e da un telaio metallico di sopraelevazione. I telai di sopraelevazione possono avere colonne e traversi di vari tipi al fine di sostenere carichi più o meno elevati, anche se il carico minimo che un pavimento sopraelevato può sostenere è generalmente il triplo di quello del solaio sottostante. I telai sono regolabili in altezza per raggiungere quote del pavimento finito che vanno anche oltre un metro di altezza. Questo tipo di pavimentazione consente di avere un migliore isolamento acustico tra gli ambienti

separati dal solaio e di alloggiare tutti gli impianti nello spazio che si viene a creare nel sottopavimento (“plenum”). Consente, inoltre, di avere una perfetta modularità e intercambiabilità degli elementi, permettendo all’ambiente di essere ispezionato fin sotto il pavimento stesso e manutenzionato facilmente nel tempo.

Si tratta di una tipologia di pavimento ideale per essere installato in ambienti direzionali, commerciali, data center, ristoranti, padiglioni, ecc.



Fig. 8.19: Schematizzazione di un pavimento sopraelevato.

Esistono tre tipologie di pavimenti sopraelevati caratterizzati da una struttura differente in funzione dei carichi da sostenere:

- *struttura costituita da colonne*: è la struttura più semplice in quanto è composta solo dalle colonne. Queste ultime sono regolabili in altezza anche se, in assenza di traversi, è consigliabile mantenere un'altezza non elevata. Per aumentare la stabilità della struttura, le colonne vengono fissate al piano d'appoggio per mezzo di collanti;
- *struttura costituita da colonne e traversi*: è la struttura portante consigliata per carichi maggiori perché, grazie all'uso combinato di colonne e traversi, permette di formare una maglia regolare di supporto incrementando la portata del pavimento. I traversi possono avere profili diversi a seconda della portata che si desidera ottenere. Al di sopra dei traversi vengono inserite guarnizioni in PVC che formano uno strato continuo tra struttura

e pannello, aumentando così la tenuta dell'aria ed il potere fonoisolante del sistema;

- *struttura costituita da colonne, traversi e diagonali*: permette l'utilizzo dei carichi più elevati grazie ad un traverso diagonale di irrigidimento della struttura.



Fig. 8.20: Pavimento sopraelevato.

Il pavimento sopraelevato è caratterizzato da un sistema complesso costituito da:

- una *struttura portante*: formata da supporti metallici puntiformi regolabili in altezza, generalmente di acciaio o di acciaio/alluminio e disposta secondo una griglia modulare al fine di sostenere i pannelli del piano di calpestio. L'altezza delle colonne determina un "vano tecnico" accessibile in qualsiasi punto mediante il semplice sollevamento di uno o più pannelli, in cui possono essere inserite le canalizzazioni degli impianti;
- un'*anima interna strutturale dei pannelli modulari*: i pannelli, privi di rivestimento, hanno uno spessore che varia dai 30 ai 40 millimetri, hanno forma quadrata e sono generalmente costituiti da:
 - o un rivestimento superiore;
 - o un'anima centrale fatta di conglomerato di legno e resina ad alta densità o di materiale inerte;
 - o un bordo perimetrale in PVC o poliuretano con funzioni di protezione dell'anima centrale;

- un rivestimento inferiore con la funzione di controbilanciare l'eventuale deformazione del pannello;
- un *rivestimento di finitura superiore*: realizzabile con:
 - rivestimenti resilienti: PVC, linoleum, ecc.;
 - rivestimenti duri: laminati, legni, ceramiche e gres, pietre naturali, ecc.

I requisiti relativi ai pavimenti sopraelevati sono definiti dalla norma UNI 10465²²⁴, UNI 10466²²⁵ e UNI 10467²²⁶, che segue la Direttiva Europea sui pavimenti sopraelevati 89/106. Quest'ultima definisce alcuni tra i principali requisiti richiesti ad un pavimento flottante: resistenza elettrica, meccanica e comportamento al fuoco.

8.3.2. L'impianto di riscaldamento a pannelli radianti

La progettazione e l'installazione degli impianti radianti sono regolamentate dalla normativa Europea UNI EN 1264 «sistemi radianti alimentati ad acqua per il riscaldamento e il raffrescamento integrati nelle strutture». Il sistema di riscaldamento a pavimento impiega l'acqua (avente una temperatura di circa 30÷40°C) che circola in una rete di tubi annegati nella soletta del pavimento.

L'impianto di riscaldamento a pannelli radianti classico consiste in un sistema di tubazioni, generalmente di materiale plastico, vincolate ad uno strato d'isolante che poggia sul sottofondo grezzo, e successivamente annegate nel massetto del pavimento. Il medio scaldante viene distribuito ai circuiti tramite un sistema di collettori, dotati di valvole che consentono l'impostazione della corretta portata ad ogni anello. La diffusione del calore nell'ambiente avviene prevalentemente per irraggiamento, consentendo di ottenere una ripartizione uniforme delle temperature. Questa particolare caratteristica, oltre a garantire una sensazione di benessere fisico, permette di mantenere l'impianto ad una temperatura di gestione molto bassa, riducendo sensibilmente i consumi rispetto agli impianti tradizionali. Il sistema di riscaldamento a pavimento è compatibile con qualsiasi tipo di rivestimento: ceramica, parquet, marmo, cotto, ecc.; essendo poi invisibile, consente grande libertà

²²⁴ Norma UNI 10465:1995, *Pavimenti sopraelevati modulari. Termini e definizioni.*

²²⁵ Norma UNI 10466:1995, *Pavimenti sopraelevati modulari. Requisiti.*

²²⁶ Norma UNI 10467-2:1995, *Pavimenti sopraelevati modulari. Metodi di prova. Misurazione delle caratteristiche geometrico-dimensionali del pannello.*

Norma UNI 10467-3:1995, *Pavimenti sopraelevati modulari. Metodi di prova. Prove di carico sul modulo di pavimento.*

Norma UNI 10467-5:1995, *Pavimenti sopraelevati modulari. Metodi di prova. Misurazione della resistenza elettrica sul modulo di pavimento.*

nell'arredamento degli ambienti, con possibilità di sfruttare al meglio tutti gli spazi disponibili²²⁷. Esistono due tipologie principali di impianto:

- a *spirale o chiocciola*: assicura una distribuzione equa del calore sulla superficie complessiva del circuito; ciò è dovuto al fatto che i tubi di mandata e ritorno sono collocati l'uno a fianco dell'altro;
- a *serpentina*: è più facile da installare ed è usato fondamentalmente per le applicazioni industriali.



Fig. 8.21: Particolare di un impianto di riscaldamento a pannelli radianti posato a spirale. A destra il collettore.

8.3.3. Il massetto per gli impianti

Il massetto è un elemento costruttivo di spessore variabile (tra i 5 e i 10 centimetri) previsto al fine di raggiungere le quote di progetto e fornire un piano di posa idoneo al tipo di pavimentazione previsto. Esso deve essere scelto in funzione delle caratteristiche e delle prestazioni richieste dal tipo di pavimento da porre in opera. Il massetto viene normalmente realizzato con materiale alleggerito per non gravare eccessivamente sul solaio sottostante. Le modalità più comuni per la sua realizzazione sono:

²²⁷ Doninelli, M., *Gli impianti a pannelli radianti*, Quaderni Caleffi, Fontaneto d'Agogna (NO).

- calcestruzzo cellulare (impasto a base di anidrite, minerale formato da solfato di calcio anidro);
- impasto di cemento e materiale sfuso alleggerito (perle di polistirolo alleggerito, perlite o argilla) con un piccolo quantitativo di sabbia;
- lastre prefabbricate di anidrite, da posarsi a secco.

A seconda che venga posato in aderenza ad un sottofondo portante (ad esempio un solaio di calcestruzzo armato), su uno strato di desolidarizzazione (ad esempio una barriera al vapore) o su uno strato di isolamento termico e/o acustico, viene denominato rispettivamente “aderente”, “desolidarizzato” o “galleggiante”.

8.3.4. L'isolante acustico al calpestio

L'isolante acustico al calpestio è regolato dalla Legge Quadro n. 447 del 26 ottobre 1995. In particolare, la disposizione che riveste primaria importanza per i requisiti acustici passivi degli edifici è il D.P.C.M. del 5 dicembre 1997²²⁸.

Categorie		Classificazione degli ambienti abitativi	Valori massimi del livello di rumore di calpestio trasmesso [L _{n,w}]
1.	A	Edifici adibiti a residenza o assimilabili	63
	C	Edifici adibiti ad alberghi, pensioni e attività assimilabili	
2.	D	Edifici adibiti a ospedali, cliniche, case di cura o assimilabili	58
	E	Edifici adibiti ad attività scolastiche a tutti i livelli o assimilabili	
3.	B	Edifici adibiti a uffici o assimilabili	55
	F	Edifici adibiti ad attività ricreative o di culto o assimilabili	
	G	Edifici adibiti ad attività commerciali o assimilabili	

Tab. 8.5: I requisiti acustici passivi degli edifici e degli impianti tecnologici.

Fonte: D.P.C.M. del 5 dicembre 1997²²⁹.

Per le partizioni orizzontali sono prescritti sia il rispetto delle caratteristiche di “potere fonoisolante apparente” al rumore trasmesso

²²⁸ D.P.C.M. 5 dicembre 1997, *Requisiti acustici passivi degli edifici*.

²²⁹ D.P.C.M. 5 dicembre 1997, *Op. cit.*

per via aerea (quando il solaio separa diverse unità abitative), sia il "livello di rumore di calpestio normalizzato" per i rumori trasmessi per via strutturale. Il sottofondo, nei confronti del rumore trasmesso per via aerea, ha un'importanza relativa poiché la maggior parte dell'isolamento acustico è dato dalla massa del solaio.

Nel caso del rumore trasmesso per via strutturale, invece, il sottofondo gioca un ruolo fondamentale poiché deve attenuare il rumore di calpestio prima che esso arrivi al solaio. Un solaio senza sottofondo trasmette il rumore in funzione del suo peso a metro quadro (quanto maggiore è il peso del solaio tanto minore sarà il rumore trasmesso). L'isolante acustico è generalmente rappresentato da un materassino elastico (di polietilene espanso reticolato, sughero o lana minerale) fornito in rotoli che, posto al di sotto del massetto, consente di assorbire e smorzare le vibrazioni prodotte per impatto sulla pavimentazione. Tali rumori viaggiano nei materiali tanto più facilmente quanto più questi sono rigidi.



Fig. 8.22: La posa dell'isolamento acustico in un'abitazione.

Mentre nei sottofondi monostrato lo strato di isolamento acustico deve essere posto sotto il massetto, in quelli bistrato deve essere inserito tra il massetto e lo strato di isolamento e/o alleggerimento e/o di compensazione nel quale saranno installati gli impianti (pavimento sopraelevato). È importante prevedere anche la posa di specifiche fasce di isolamento acustico sotto le murature di interpiano dell'edificio, in particolare sotto le tramezzature interne e i divisori tra gli appartamenti,

al fine di evitare la trasmissione del rumore al piede delle murature stesse.

8.3.5. L'isolante termico

Il Decreto Legislativo n. 311 del 2006²³⁰ ha introdotto una novità che riguarda l'inserimento dell'isolamento termico in tutti i solai interpiano. Il Decreto impone infatti che i divisori orizzontali interpiano rispettino il valore di trasmittanza termica $U \leq 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ (i nuovi impianti di riscaldamento a pavimento rispettano tale vincolo). Quando, invece, il divisorio orizzontale è posizionato su un locale o un ambiente non riscaldato (taverna, box, cantina, porticato, ecc.) bisognerà installare appositi pannelli isolanti che garantiscano il soddisfacimento del requisito imposto dalla norma.

8.3.6. Il controsoffitto

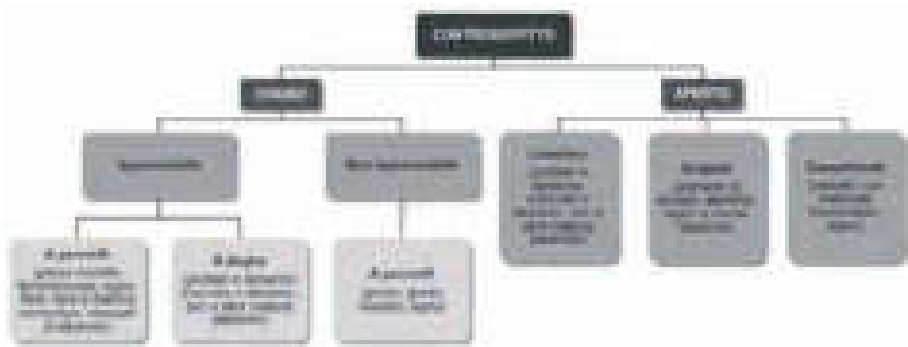


Fig. 8.23: Classificazione del controsoffitto.

Il controsoffitto è un soffitto sospeso mediante una sospensione o una sottostruttura o cornice perimetrale direttamente fissata alla struttura portante (pavimento, tetto, trave o pareti) a una distanza dal tetto sovrastante²³¹. La scelta di utilizzare un controsoffitto può essere dettata da ragioni di tipo estetico, funzionale (consente di ospitare nel vano che si viene a creare tra lo stesso e il soffitto, uno o più impianti) e

²³⁰ D.Lgs. 29 dicembre 2006, n. 311, *Disposizioni correttive e integrative al D.Lgs. 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia.*

²³¹ Norma UNI EN 13964:2007, *Controsoffitti. Requisiti e metodi di prova.*

prestazionale (consente di migliorare le prestazioni termo-acustiche del solaio e migliorare la resistenza al fuoco).

Vi sono diverse tipologie di controsoffitti²³²:

- *controsoffitti aperti*: non presentano una superficie piana ed agiscono sulla propagazione per riflessione del suono senza assorbirlo, accorciando i tempi di riverbero e riducendo la risonanza acustica. Gli impianti sono normalmente alloggiati sopra al piano di posa, incluse le fonti luminose. Possono essere classificati in base al tipo di elemento di chiusura adottato:
 - *grigliati*: elementi discontinui, posti in opera a giacitura verticale; l'orditura è rappresentata da una maglia a lamelle ortogonali o alveolari. I pannelli, delle dimensioni massime di 200x200 centimetri, sono appesi ad una struttura di supporto o direttamente al solaio e collegati tramite incastro o attraverso graffette a cavaliere;
 - *lamellari*: elementi discontinui, posti in opera a giacitura verticale; l'orditura è costituita da elementi lamellari paralleli che presentano delle nervature d'irrigidimento con la funzione di ancoraggio, tramite incastro a scatto alla struttura di sostegno. Quest'ultima è sospesa mediante pendini direttamente al solaio sovrastante ed è costituita da profili speciali, disposti trasversalmente alle lamelle, posti ad una distanza di circa 150 centimetri;
 - *cassettonati*: costituiti da elementi a centina e orditi ortogonalmente. Gli elementi che costituiscono la maglia hanno lunghezze che arrivano fino a 200 centimetri e altezze oltre i 20 centimetri. L'elevata rigidità dei pannelli permette l'ancoraggio direttamente al solaio tramite un numero limitato di pendini.
- *controsoffitti chiusi*: possono essere a loro volta classificati in:
 - *ispezionabili*: per questa categoria di controsoffitto è disponibile una vasta varietà di soluzioni tecniche. Sono classificabili in base alla tipologia del tamponamento (pannelli o doghe) o in base al materiale costituente tale elemento (gesso rivestito, gesso fibro-rinforzato, fibra minerale rinforzata e metallici);
 - *non ispezionabili*: prevedono la non accessibilità al vano tecnico e possono classificarsi in base al materiale costituente i pannelli: gesso, gesso rivestito o legno.

²³² Tronconi, O. (2008), *Op. cit.*, pp. 284-297.

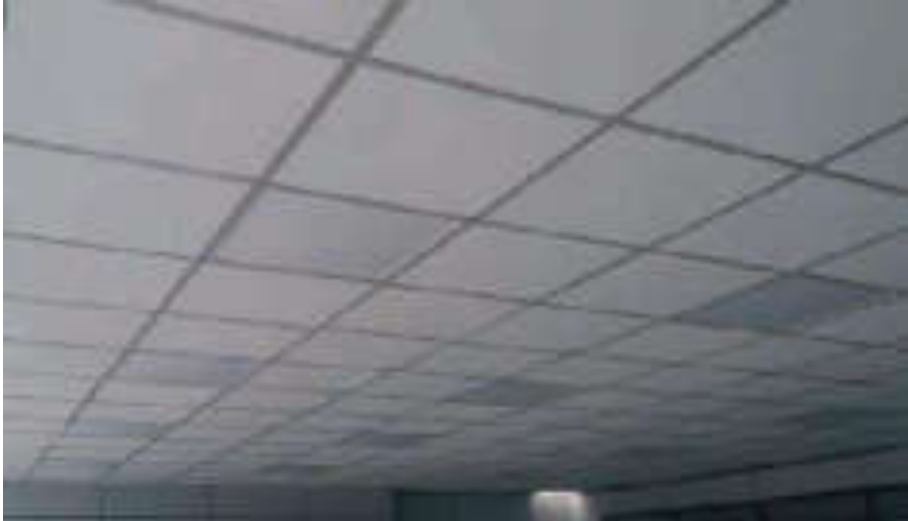


Fig. 8.24: Il controsoffitto.

Gli elementi che compongono il controsoffitto sono i seguenti:

- *struttura primaria di sostegno*: è formata da elementi che connettono la struttura secondaria di distribuzione e gli elementi dello strato di chiusura orizzontale assicurando la trasmissione delle sollecitazioni meccaniche fra le parti. L'elemento principale, attraverso cui si realizza la sospensione delle strutture, è il pendino, regolabile in altezza al fine di garantire la planarità dell'opera. Il pendino è composto dal dispositivo di ancoraggio (nella parte superiore) e dal dispositivo di connessione (nella parte inferiore), entrambi variabili per morfologia e materiali in funzione della tipologia e del materiale di cui sono composti il solaio e gli elementi di chiusura del controsoffitto;
- *struttura secondaria di sostegno*: coincide con l'orditura strutturale secondaria formata da elementi che connettono gli elementi di chiusura con la struttura portante. La struttura di distribuzione ha come elemento principale il traverso che si differenzia per morfologia e dimensioni in relazione alla tipologia dell'elemento di chiusura orizzontale del controsoffitto (incastrato, agganciato o poggiato). Il dispositivo di fissaggio garantisce la continuità tra gli elementi verticali e quelli orizzontali;
- *elementi di chiusura orizzontale del controsoffitto*: costituiscono il piano orizzontale di chiusura del sistema di controsoffittatura formato da elementi modulari e rimovibili.



Fig. 8.25: Messa in opera di un controsoffitto.

8.4. Particolari costruttivi di strutture in elevazione orizzontale

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

- *dettaglio tecnologico 1*: solaio di latero-cemento gettato in opera con pacchetto per il riscaldamento a pavimento;
- *dettaglio tecnologico 2*: solaio di latero-cemento con travetti prefabbricati di tipo tralicciato con fondello di laterizio e isolamento termico a cappotto collocato sull'intradosso del solaio;
- *dettaglio tecnologico 3*: solaio di latero-cemento gettato in opera con pacchetto per il riscaldamento a pavimento;
- *dettaglio tecnologico 4*: solaio prefabbricato con lastre alveolari con controsoffitto per il passaggio degli impianti e collocazione del sistema di isolamento termico sull'intradosso del solaio;
- *dettaglio tecnologico 5*: solaio di cemento armato gettato in opera con pavimento sopraelevato;
- *dettaglio tecnologico 6*: solaio di legno a doppia orditura;
- *dettaglio tecnologico 7*: solaio di legno lamellare a doppia orditura con trave di bordo di calcestruzzo armato gettato in opera e pavimentazione realizzata con parquet chiodato;
- *dettaglio tecnologico 8*: solaio realizzato con lamiera grecata;
- *dettaglio tecnologico 9*: solaio di cemento armato a sbalzo e solaio interpiano sezionato lungo la direzione dei travetti.

Dettaglio tecnologico 1	
1	Pavimentazione con listelli di parquet, dimensione listelli 4x100x1,5 cm
2	Massetto di calcestruzzo alleggerito - sp. 3,0 cm
3	Pacchetto riscaldamento a pavimento (composto da pannelli isolanti e tubazioni d'acqua di polietilene) - sp. 5,0 cm
4	Massetto porta impianti di argilla espansa - sp. 8,0 cm
5	Isolante acustico di poliuretano espanso a base poliestere - sp. 1,0 cm
6	Caldana a base cementizia, sp. 5 cm (2,5+2,5 cm) con rete elettrosaldata Ø5 mm, maglia 20x20 cm
7	Gettata di calcestruzzo alleggerito per il riempimento del solaio
8	Travetto (formato da n. 3 ferri Ø12 mm e n. 1 staffa Ø8 mm)
9	Pignatta di laterizio, dimensione 30x30x20 cm
10	Intonaco interno - sp. 2,0 cm

Tab. 8.6: Solaio di latero-cemento gettato in opera con pacchetto riscaldamento a pavimento.

Dettaglio tecnologico 2	
11	Pavimentazione di resina epossidica effetto lucido - sp. 1,5 cm
12	Massetto porta impianti di argilla espansa - sp. 8,0 cm
13	Isolante acustico di poliuretano espanso a base poliestere - sp. 1,0 cm
14	Caldana sp. 5,0 cm (2,5+2,5 cm) con rete elettrosaldata Ø5 mm, 20x20 cm
15	Gettata di calcestruzzo alleggerito per il riempimento del solaio
16	Pignatta di laterizio, dimensione 40x38x20 cm
17	Travetto tralicciato con fondello di laterizio (3 ferri Ø10 mm + 2 staffe Ø6 mm)
18	Isolante termico a cappotto incollato con rasante/collante <i>coatbond</i> sull'intradosso del solaio in lana di roccia - sp. 6,0 cm
19	Intonaco interno - sp. 2,0 cm

Tab. 8.7: Solaio di latero-cemento con travetti prefabbricati di tipo tralicciato con fondello di laterizio e isolamento termico a cappotto collocato sull'intradosso del solaio.

Dettaglio tecnologico 3	
20	Pavimentazione realizzata con piastrelle di gres 10x10x1 cm
21	Massetto porta impianti di argilla espansa - sp. 8,0 cm
22	Isolante acustico di poliuretano espanso a base poliestere - sp. 1,0 cm
23	Caldana sp. 5,0 cm (2,5+2,5 cm) con rete elettrosaldata Ø5 mm 20x20 cm
24	Blocco di alleggerimento di polistirene espanso 38x15 cm
25	Traliccio (formato da n. 3 ferri Ø8 mm e n. 1 staffa Ø4 mm)
26	Lastra prefabbricata con rete elettrosaldata di distribuzione Ø5 mm, 20x20 cm
27	Intonaco interno - sp. 2,0 cm

Tab. 8.8: Solaio di latero-cemento gettato in opera con pacchetto riscaldamento a pavimento.

Fig. 8.26: Dettaglio tecnologico 1.

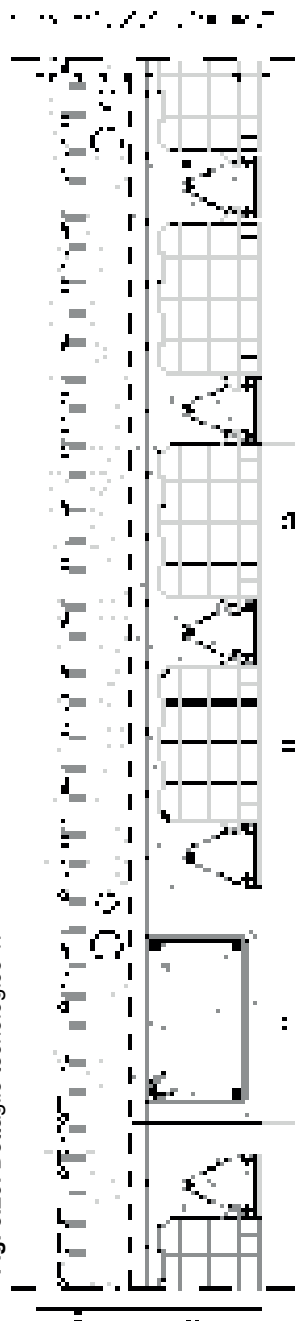


Fig. 8.27: Dettaglio tecnologico 2.

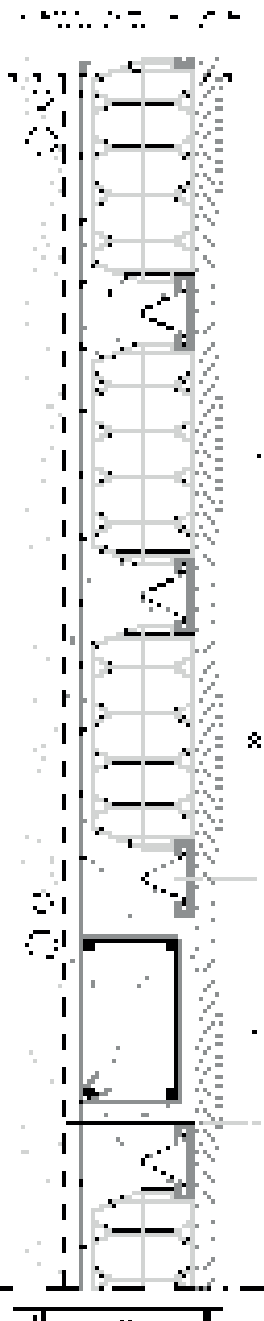


Fig. 8.28: Dettaglio tecnologico 3.



Dettaglio tecnologico 4	
1	Pavimentazione di kinkler industriale - sp. 1,5 cm
2	Massetto porta impianti di argilla espansa - sp. 8,0 cm
3	Isolante acustico di poliuretano espanso a base poliestere - sp. 1,0 cm
4	Caldana sp. 5,0 cm (2,5+2,5 cm) con interposta rete elettrosaldata Ø5, maglia mm 20x20 cm
5	Solaio alveolare di calcestruzzo armato precompresso, dimensione lastra 120x25 cm
6	Nervatura di getto di calcestruzzo alleggerito
7	Staffa di acciaio galvanizzato (n. 2 Ø20 mm)
8	Tassello metallico (lunghezza 25,0 mm) con gancio e cavetto di acciaio galvanizzato Ø4 mm per l'ancoraggio della struttura di sostegno del controsoffitto
9	Isolante termico a cappotto di polistirene espanso incollato con rasante coatbond sull'intradosso del solaio, dimensione pannello 70x6 cm
10	Struttura metallica con profilo a "T" di acciaio galvanizzato per il sostegno del controsoffitto
11	Controsoffitto di cartongesso, dimensione pannello 600x600x19 cm

Tab. 8.9: Solaio prefabbricato con lastre alveolari con controsoffitto per il passaggio degli impianti e collocazione del sistema di isolamento termico sull'intradosso del solaio.

Dettaglio tecnologico 5	
12	Pavimento galleggiante formato da lastre di alluminio anodizzato, dimensione lastre 600x600x4 cm
13	Staffa di elevazione di acciaio regolabile in altezza
14	Isolante termico a cappotto di polistirene espanso incollato con rasante coatbond sull'intradosso del solaio, dimensione pannello 61x4 cm
15	Massetto porta impianti di argilla espansa - sp. 8,0 cm
16	Isolante acustico di poliuretano espanso a base poliestere - sp. 1,0 cm
17	Solaio di calcestruzzo armato gettato in opera (h. 30 cm) Ø30 mm
18	Intonaco interno - sp. 2,0cm

Tab. 8.10: Solaio di cemento armato gettato in opera con pavimento sopraelevato.

Fig. 8.29: Dettaglio tecnologico 4.

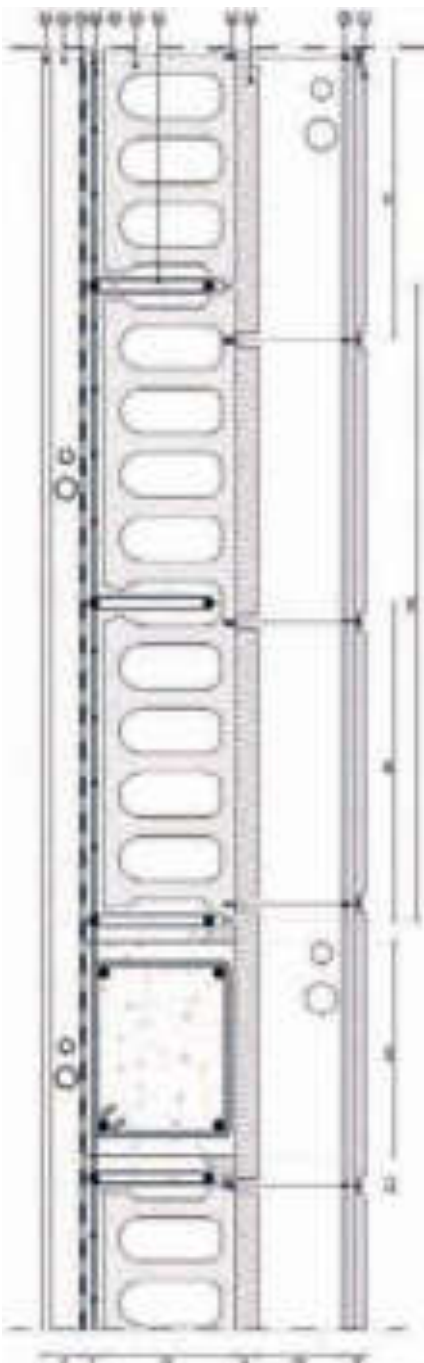


Fig. 8.30: Dettaglio tecnologico 5.



Dettaglio tecnologico 6	
1	Pavimento realizzato con doghe di legno pregiato di prima scelta color rovere scuro, incollato, dimensione doghe 600x60x25 mm
2	Massetto porta impianti di argilla espansa - sp. 8,0 cm
3	Isolante acustico di poliuretano espanso a base poliestere - sp. 1,0 cm
4	Tavolato di legno - sp. 2,5 cm
5	Travetto di legno, dimensione 8x10 cm
6	Trave di legno, dimensione 29x29 cm

Tab. 8.11: Solaio di legno a doppia orditura.

Dettaglio tecnologico 7	
7	Pavimento realizzato con doghe di legno di noce per parquet, dimensione doghe 8x60x1,5 cm
8	Listelli di sostegno per parquet - h. 4,0 cm
9	Isolante acustico di poliuretano espanso a base poliestere - sp. 1,0 cm
10	Tavolato in doghe di legno - sp. 5,0 cm
11	Isolante termico di poliuretano espanso, dimensione pannello 54x4 cm
12	Trave principale di legno lamellare, dimensione 8x20 cm
13	Travetti secondari di acciaio a doppia "T" ancorati alla trave principale tramite una piastra metallica interna
14	Piastra metallica di acciaio preforata per l'attacco della trave di legno

Tab. 8.12: Solaio di legno lamellare a doppia orditura con trave di bordo di calcestruzzo armato gettato in opera e pavimentazione realizzata con parquet chiodato.

Dettaglio tecnologico 8	
15	Telo di PVC sottostante la lamiera grecata - sp. 0,5 cm
16	Massetto porta impianti di argilla espansa - sp. 5,0 cm
17	Caldana sp. 5,0 cm (2,5+2,5 cm) con interposta rete elettrosaldata Ø5 mm, maglia 20x20 cm
18	Gettata di calcestruzzo alleggerito per il riempimento del solaio
19	Lamiera grecata collaborante 12,5/10 mm
20	Bottoni di fissaggio della lamiera grecata
21	Armatura aggiuntiva Ø8 mm
22	Trave di acciaio HEA 160

Tab. 8.13: Solaio realizzato con lamiera grecata.

Fig. 8.31: Dettaglio tecnologico 6.



Fig. 8.32: Dettaglio tecnologico 7.



Fig. 8.33: Dettaglio tecnologico 8.



Fonte: Elaborazione di Valentina Puglisi.

Dettaglio tecnologico 9	
1-10	Intonaco interno - sp. 2,0 cm
2	Malta bastarda - sp. 0,6 cm
3	Laterizio forato, dimensioni 30x25x25 cm
4	Battiscopa di legno
5	Pavimento realizzato con doghe di legno di noce per parquet, dimensione doghe 8x60x1,5 cm
6	Massetto di calcestruzzo alleggerito - sp. 2,0 cm
7	Pacchetto riscaldamento a pavimento (composto da pannelli isolanti e tubazioni d'acqua di polietilene) - sp. 3,5 cm
8	Massetto porta impianti di argilla espansa - sp. 8,0 cm
9	Isolante acustico di poliuretano espanso a base di poliestere - sp. 1,0 cm
11	Solaio di latero-cemento con travetti gettati in opera (pignatta di laterizio, dimensione 30x30x20 cm e travetto 3 Ø20 mm)
12	Ferro di ripresa per il sostegno del solaio a sbalzo
13	Caldana sp. 5 cm (2,5+2,5 cm) con interposta rete elettrosaldata Ø5 mm, maglia 20x20 cm
14	Trave di calcestruzzo armato getto in opera, dimensioni 40x25 cm (formata da n. 7 ferri Ø20 mm e n. 1 staffa Ø10 mm)
15	Elemento portante che consente l'inserimento dell'isolamento termico tra gli elementi a sbalzo - sp. 0,8 cm
16	Solaio di calcestruzzo armato gettato in opera a sbalzo (L. 1,8 m, h. 15 cm)
17-22	Intonaco esterno - sp. 2,0 cm
18	Guaina bentonitica impermeabilizzante - sp. 0,6 cm
19	Cordolo di calcestruzzo armato gettato in opera di coronamento del solaio a sbalzo, dimensioni 15x20 cm, 4 Ø10 mm
20	Ancoraggio di resina, L. 200 mm
21	Tubolare di acciaio inox, dimensioni 12x2 mm
23	Isolante termico per cappotto esterno di poliuretano espanso - sp. 6,0 cm
24	Adesivo per isolante termico a cappotto - sp. 0,3 cm e rinzafo - sp. 1 cm
25	Lastra di granito
26	Pavimentazione per balcone di gres - sp. 0,1 cm
27	Massetto di pendenza per balconi di calcestruzzo alleggerito
28	Piattina 50/5 di acciaio inox
29	Tondino di acciaio inox Ø14 mm

Tab. 8.14: Solaio di cemento armato a sbalzo e solaio interpiano sezionato lungo la direzione dei travetti.

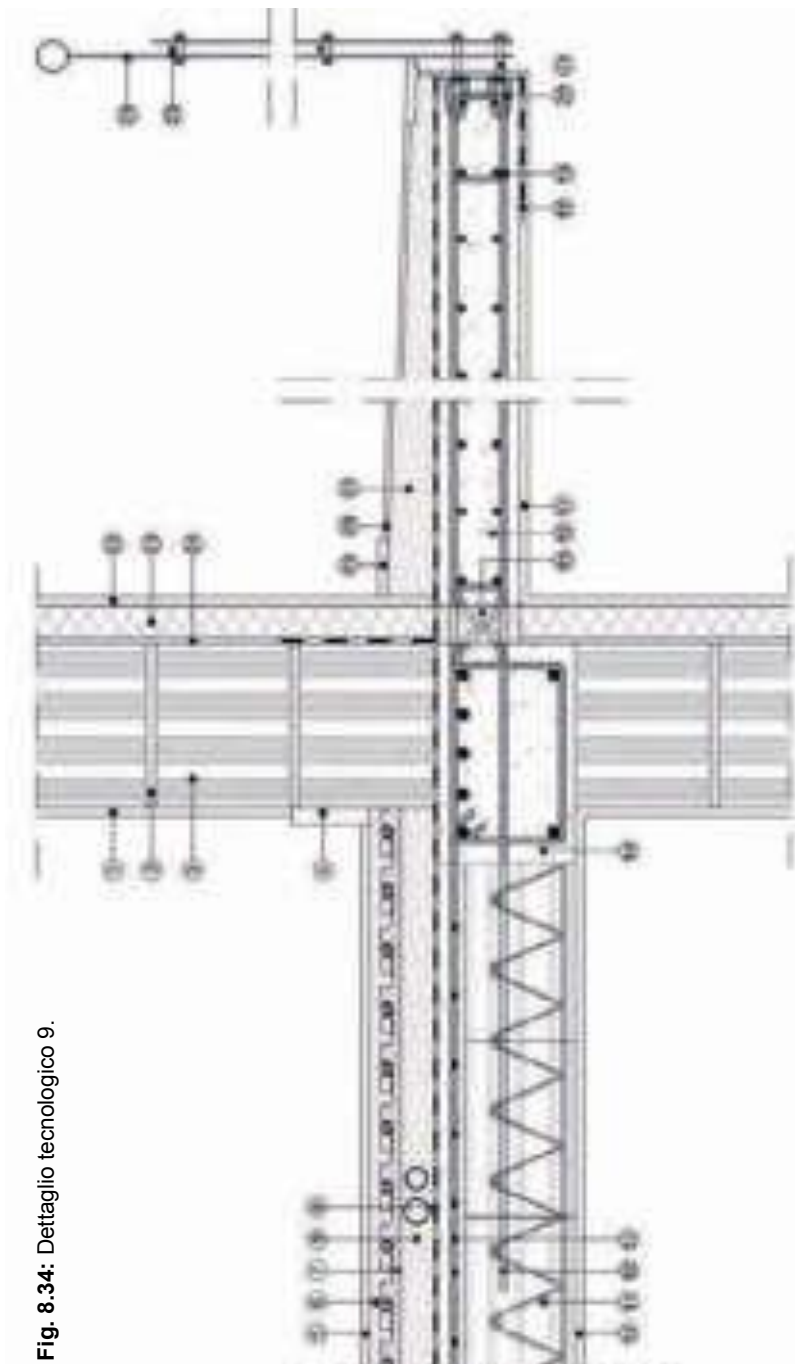


Fig. 8.34: Dettaglio tecnologico 9.