

MAURIZIO BRADASCHIA  
MASSIMILIANO MODENA  
ALESSANDRO ZILIO

# LA COSTRUZIONE TECNOLOGICA

ARCHITETTURA  
MATERIALI  
TECNICHE  
COSTRUZIONE  
GESTIONE  
DISMISSIONE

# DELL'ARCHITETTURA

MAURIZIO BRADASCHIA - MASSIMILIANO MODENA - ALESSANDRO ZILIO







La versione elettronica del volume è disponibile al link:  
<https://www.openstarts.units.it/handle/10077/20706>

© copyright Edizioni Università di Trieste, Trieste 2017

Proprietà letteraria riservata.  
I diritti di traduzione, memorizzazione elettronica,  
di riproduzione e di adattamento totale e parziale di questa  
pubblicazione, con qualsiasi mezzo (compresi i microfilm,  
le fotocopie e altro) sono riservati per tutti i paesi.

Consulenza redazionale  
Pietro D'Eliso

Impaginazione  
Elisa Widmar

ISBN 978-88-8303-929-4 (print)  
ISBN 978-88-8303-930-0 (online)

EUT Edizioni Università di Trieste  
Via E. Weiss, 21 – 34128 Trieste  
[eut@units.it](mailto:eut@units.it)  
<http://eut.units.it>  
<https://www.facebook.com/EUTEdizioniUniversitaTrieste>

MAURIZIO BRADASCHIA  
MASSIMILIANO MODENA  
ALESSANDRO ZILIO

# LA COSTRUZIONE TECNOLOGICA DELL'ARCHITETTURA

ARCHITETTURA  
MATERIALI  
TECNICHE  
COSTRUZIONE  
GESTIONE  
DISMISSIONE



# SOMMARIO

■ <b>PREMESSA</b>	9	■ <b>CAPITOLO 4</b>	
		<b>Elementi costruttivi</b>	159
		Fondazioni	159
		Strutture in elevazione	162
		Solai (e coperture)	163
		Pilastri	165
		Travi e solette	165
		Scale (strutture di collegamento verticali)	166
		Tamponamenti - Chiusure verticali	174
		■ <b>Partizioni interne</b>	176
		I serramenti	177
■ <b>CAPITOLO 1</b>			
<b>L'organismo edilizio</b>	13		
Sistema Ambientale e Sistema Tecnologico	15		
■ <b>CAPITOLO 2</b>		■ <b>CAPITOLO 5</b>	
<b>Principi statici</b>	21	<b>Le opere di finitura</b>	181
Vincoli e gradi di libertà nel piano	23	Intonaci	181
		Pavimenti	186
		Rivestimenti	186
		Rivestimenti in metallo	186
		Lavorazione delle lamiere	188
		Maglie metalliche e reti	188
		Laterizi	196
		■ <b>Verde verticale</b>	200
		Tinteggiature e coloriture	205
■ <b>CAPITOLO 3</b>			
<b>I materiali da costruzione</b>	41		
Il legno	48		
I materiali lapidei	56		
I laterizi	63		
I materiali ceramici	66		
I leganti	68		
Il cemento	69		
Il calcestruzzo	71		
I materiali sintetici e metallici non ferrosi	78		
Il ferro	82	■ <b>CAPITOLO 6</b>	
L'acciaio	84	<b>Tipologie costruttive</b>	211
Il calcestruzzo armato	89	Lo scheletro portante	212
Il vetro	92	Ossature portanti in cemento armato	218
Le materie plastiche	111	Ossature portanti in acciaio	224
I materiali isolanti	128	Ossature portanti in legno	234
		X-LAM	237

<b>CAPITOLO 7</b>		
<b>Murature</b>		243
<b>CAPITOLO 8</b>		
<b>Isolamenti.</b>		
<b>I problemi acustici, la protezione contro l'umidità, i problemi termici</b>		249
I problemi acustici		249
Umidità e tenuta all'aria		251
Aspetti fisici, definizioni e grandezze caratteristiche		252
Cause dell'umidità negli organismi edilizi		253
La condensazione		255
Meccanismi di trasporto dell'umidità		258
Verifica igrometrica degli elementi costruttivi		263
Verifica in regime stazionario		263
Verifica in regime dinamico		265
Verifica per condensazione superficiale e muffa		266
Conseguenza della non corretta protezione dall'umidità		270
Tenuta all'aria e al vento dell'involucro edilizio		271
Isolamento termico		277
Elementi fisici di riferimento		278
Grandezze fisiche di riferimento		280
Isolamento concentrato ed isolamento ripartito		283
Posizionamento e dimensionamento del materiale isolante		285
I ponti termici		300
<b>CAPITOLO 9</b>		
<b>Bilancio energetico dell'edificio</b>		323
<b>CAPITOLO 10</b>		
<b>Progetto, condotta dei lavori e collaudo</b>		333
L'attività di progettazione		334
Esecuzione dei lavori		338
Il collaudo		342
Il collaudo tecnico amministrativo		346
Il collaudo statico		347
Il collaudo funzionale		353
<b>CAPITOLO 11</b>		
<b>Tutela della salute e della sicurezza nei cantieri temporanei o mobili</b>		355
<b>CAPITOLO 12</b>		
<b>La prevenzione incendi</b>		371
<b>APPENDICE</b>		
<b>Definizioni</b>		395
Qualità dell'involucro edilizio		395
Sostenibilità dei prodotti da costruzione		397
Durabilità dei componenti edilizi		400
Materiali per l'edilizia		402
Involucro edilizio		402
Riciclaggio dei materiali edili		403
Assemblaggio componenti a secco		404
Costruzioni temporanee		406
Sistemi costruttivi pesanti		410
Sistemi costruttivi leggeri		411
Indicatori di sostenibilità ambientale		413
Qualità d'uso		415
L'involucro edilizio a secco		416
Comfort ambientale		417
Recupero delle tecnologie del XX secolo		426
Progettazione modulare		433
Evidence based design		435
Conseil International du Bâtiment		435
Prefabbricazione		436
Riuso di edifici		439
Gestione del processo costruttivo		441
BIM		444
<b>BIBLIOGRAFIA</b>		447



*Quando ero giovane iniziammo a chiedere a noi stessi: "Cosa è architettura?". Lo chiedemmo a chiunque. Essi dicevano: "Quello che noi costruiamo è architettura". Ma non eravamo soddisfatti di questa risposta. Finché capimmo che era una domanda inerente la verità: cercammo di scoprire che cosa realmente fosse la verità. Rimanemmo incantati trovando una definizione di verità di Tommaso d'Aquino: "Adequatio rei et intellectus". Non l'ho mai dimenticato.*

Ludwig Mies van der Rohe



# PREMESSA<sup>1</sup>

L'architettura tecnica è la disciplina che si occupa di studiare le tecniche di costruzione e la loro applicazione nelle opere di ingegneria e di architettura. L'architettura tecnica è materia di competenza concorrente tra ingegneri ed architetti. Una sua definizione burocratica è stata fatta dal CUN (Consiglio Universitario Nazionale) nel 2000 limitando a questo settore lo studio di tecniche tradizionali e consolidate, assegnando la competenza di studio delle tecniche innovative al settore Tecnologia dell'architettura. Si trattava di una artificiosa divisione fatta al fine di dividere nei concorsi universitari gli architetti dagli ingegneri. Con la creazione dei Macrosettori la disciplina è confluita nel settore **08/C1: Design e progettazione tecnologica dell'architettura** riportando così la situazione concorsuale a quella pregressa, quando i docenti di Architettura Tecnica (ingegneria) si misuravano nei concorsi con quelli di Elementi Costruttivi (architettura).

L'evoluzione dell'Architettura per l'aumento delle conoscenze scientifiche usate ha profondamente modificato il modus operandi del progettista aumentando enormemente l'interesse per gli aspetti tecnici del costruire. Non poteva essere diversamente, dato che l'Architetto assieme al Medico, le professioni più antiche, devono affrontare le esigenze di un agire nel mondo moderno. Così come la professione del medico sta subendo trasformazioni radicali, per le stesse ragioni la professione dell'architetto ha sempre più bisogno di conoscenze tecniche.

Pur permanendo la validità degli aspetti umanistici presenti in queste due antiche professioni che portano alcuni autori a definirle attività non scientifiche, l'impor-

---

<sup>1</sup> Testo di Maurizio Bradaschia.

tanza sempre maggiore della fase detta di ingegnerizzazione nella progettazione fa pensare che gli apporti di questa disciplina alla formazione dell'Architetto e dell'Ingegnere civile aumenteranno.

Il testo che segue è articolato in capitoli che seguono un percorso logico di affinamento dei saperi tecnologici. Alcuni di essi sono strutturati riprendendo concetti e "pezzi" di normative vigenti e/o di schede presenti in letteratura per legare, in qualche modo, il libro alla concretezza del costruire.

La "tecnica", le "tecniche", in architettura, costituiscono il modus operandi, la base realizzativa e applicativa della tecnologia, che va vista non solo come innovazione, ma spesso anche come ripresa della "tradizione" di un luogo, di un contesto, di una determinata civiltà e storia.

Ciò che appare utile sottolineare è l'importanza dell'utilizzo della tecnologia e delle tecniche più appropriate, in riferimento alla storia, alla cultura di un luogo, alla sua tradizione, alla capacità realizzativa delle maestranze di un determinato contesto, come all'utilizzo di risorse locali, di agevole ed economica reperibilità, alle condizioni climatiche, allo sfruttamento delle risorse, al riutilizzo dei materiali e alla loro riciclabilità ecc.

Questo libro non vuole essere un manuale. È tuttavia nostra intenzione fornire un quadro, per quanto possibile, completo e aggiornato delle conoscenze in essere, per poter contribuire alla costruzione dell'architettura, di architetture coerenti e congruenti con il "costruire" e con il nostro tempo<sup>2</sup>, e alla loro futura gestione e manutenzione.

Nella consapevolezza che progettare e costruire senza adeguate conoscenze tecnico-tecnologiche non è possibile e che, al di là della rispondenza o meno alle aspettative prestazionali degli edifici, sono innanzitutto gli esisti formali, l'architettura a risentire della preparazione e delle conoscenze di un progettista.

Il progetto è sintesi di un problema complesso, messa in forma di aspetti molteplici di ordine sociale, culturale, storico, ambientale, mediante l'utilizzo delle tecniche<sup>3</sup>. È soluzione di problemi richiesti e inespressi, terreno di confronto di vincoli di diversa natura: culturali e paesaggistici, urbanistici (il confronto con gli strumenti

---

2 Cfr. Ludwig Mies van der Rohe sulla verità in architettura: «L'architettura è sempre legata al proprio tempo. Il nostro tempo non è per noi una strada estranea su cui corriamo. Ci è stato affidato come un compito che dobbiamo assolvere. Da quando l'ho capito, ho deciso che non avrei mai considerato con favore le mode in architettura e che dovevo cercare principi più profondi. L'essenza dell'epoca è l'unica cosa che possiamo esprimere davvero».

3 Cfr. Purini F., *Comporre l'Architettura*, Laterza, Roma-Bari 2000: "il valore di un'architettura risiede in prima istanza nel suo progetto inteso come costruzione meditata di azioni destinate a dare una risposta convincente a questioni formali, funzionali, tecnologiche".

pianificatori), edilizi (il confronto con i regolamenti edilizi, igienico sanitari ecc.), di prevenzione sismica, anti incendio, acustici (d.P.C.M. 5/12/1997 ecc.), di comfort e risparmio energetico ecc.

È soluzione tecnologica a un determinato problema. È l'esito, il risultato del rapporto, della combinazione tra il sistema spaziale, volumetrico, il "sistema ambientale" e le scelte tecnico costruttive, il "sistema tecnologico"<sup>4</sup>.

Un edificio, ogni edificio, è composto da parti, da elementi correlati tra loro e rispondenti, ognuno, a determinate funzioni e/o requisiti. Il "lavoro" congiunto delle singole parti ne garantisce il funzionamento.

Nella congruenza del comportamento delle singole parti, l'edificio si risolve o meno, nel suo funzionamento e nella sua efficienza, in uno, nella rispondenza alle prestazioni prestabilite e richieste.

Ma l'edificio, quale esito di un progetto è, anche e soprattutto, atto creativo.

---

<sup>4</sup> Il progetto si confronta sempre con la necessità di relazionare scelte spaziali e volumetriche con questioni tecnico costruttive. È il Novecento, con l'introduzione del cemento armato, a instaurare nuovi rapporti tra spazialità e tecnologia.



01



# L'ORGANISMO EDILIZIO<sup>1</sup>

L'edificio, ogni edificio, al di là delle sue qualità architettoniche, non può semplicemente essere ricondotto ad una sommatoria di spazi, di elementi tecnici, di materiali e di impianti, ma costituisce un sistema complesso di elementi, nel quale ognuno di essi si relaziona all'altro secondo logiche e gerarchie complesse per soddisfare principalmente i bisogni dell'utenza.

L'organismo edilizio è, cioè, un insieme strutturato di elementi spaziali e di elementi tecnici, interni ed esterni, anche pertinenti all'edificio, caratterizzati dalle loro funzioni e dalle loro relazioni reciproche, atte al soddisfacimento delle esigenze abitative e d'uso.

L'organismo edilizio è definito dalla norma UNI 10838:1999, Edilizia.

La terminologia è riferita all'utenza<sup>2</sup>, alle prestazioni<sup>3</sup>, al processo edilizio<sup>4</sup> e alla qualità edilizia.

---

1 Testo di Maurizio Bradaschia.

2 L'utenza è un gruppo (meglio, una classe) in cui è possibile riscontrare delle condizioni di omogeneità (di tipo demografico, comportamentale, fisico, sociale, economico, giuridico) che usa un bene, e cioè da esso ne trae beneficio.

Può essere necessario, nell'analisi esigenziale-prestazionale, stabilire più criteri di definizione, ottenendo così diverse classi di utenti su cui svolgere lo studio e la definizione dei requisiti.

3 Comportamento reale dell'organismo edilizio e/o delle sue parti nelle effettive condizioni di uso e di sollecitazione. Le prestazioni edilizie vengono normalmente classificate in: prestazioni ambientali e prestazioni tecnologiche.

4 Sequenza organizzata di fasi che portano dal rilevamento delle esigenze della committenza-utenza di un bene edilizio al loro soddisfacimento attraverso la progettazione, la produzione, la costruzione e la gestione del bene stesso.

Il processo edilizio si può riferire ad interventi di nuova costruzione o a interventi sul costruito.

Il processo edilizio per interventi di nuova costruzione riguarda la realizzazione di beni edilizi non ancora esistenti e consiste nella sequenza organizzata di fasi che portano dal rilevamento delle esigenze della committenza-utenza al loro soddisfacimento attraverso la progettazione, la produzione,

Si occupa delle attività e delle opere dell'uomo finalizzate a rendere il territorio agibile a fini insediativi.

L'edilizia, intesa come attività, investe la complessa sfera di interessi (politici, economici, giuridici, tecnici, scientifici, artistici, sociali ecc.), ed è rivolta alla determinazione dell'assetto territoriale e ha, per oggetto, la costruzione.

L'edificio, inteso come "sistema edilizio", è l'insieme strutturato delle caratteristiche che esso deve avere (a livello di **progetto**, di **esecuzione**, e di **uso**) per poter soddisfare gli obiettivi che sono alla base del **programma di intervento**.

L'edificio, in tale ottica, non è quindi, come già richiamato, una semplice sommatoria di spazi, elementi tecnici, materiali e impianti, ma è necessariamente un sistema in cui ogni elemento si relaziona all'altro in modo complesso per soddisfare i bisogni dell'utenza.

Definiamo **organismo edilizio** l'insieme strutturato di elementi spaziali e di elementi tecnici, interni ed esterni, pertinenti all'edificio, caratterizzati dalle loro funzioni e dalle loro relazioni reciproche, atte al soddisfacimento delle esigenze abitative.

Per **sistema edilizio** intendiamo l'insieme delle parti che compongono un'opera edilizia. Si tratta dell'insieme strutturato di unità ambientali/elementi spaziali (sistema ambientale o sub sistema ambientale) e di unità tecnologiche/elementi tecnici corrispondenti (sistema tecnologico o sub sistema tecnologico).

Il sistema edilizio, è un modo di/per materializzare una certa forma, precisando il ruolo delle diverse parti al fine di:

- delimitare, definire e classificare lo spazio;
- garantire le condizioni di sicurezza;
- assicurare il benessere abitativo.

---

la costruzione di un nuovo bene e la sua gestione necessaria per la conservazione della sua qualità. Il processo edilizio per interventi sul costruito riguarda la realizzazione/trasformazione di beni edilizi già esistenti e consiste nella sequenza organizzata di fasi che portano dal rilevamento delle esigenze della committenza-utenza al loro soddisfacimento attraverso il rilievo delle prestazioni e dei valori di un bene esistente, la progettazione e la trasformazione (demolizione, costruzione, ricostruzione) per la qualificazione o il recupero del bene stesso e la gestione del bene rinnovato per la conservazione della sua nuova qualità.

## SISTEMA AMBIENTALE E SISTEMA TECNOLOGICO

Il **sistema ambientale dell'organismo edilizio** (tipologico-ambientale) è l'insieme strutturato delle unità ambientali e degli elementi spaziali, definiti nelle loro prestazioni e nelle loro relazioni secondo la fase operativa metaprogettuale o progettuale del processo edilizio alla quale ci si riferisce.

Il **sistema tecnologico<sup>5</sup> dell'organismo edilizio** è l'insieme strutturato delle unità tecnologiche e/o di elementi tecnici, definiti nei loro requisiti tecnologici e nelle loro specificazioni di prestazione tecnologica secondo la fase operativa metaprogettuale o progettuale del processo edilizio alla quale ci si riferisce.

L'attività edilizia è caratterizzata da una serie di norme e regole (Normativa tecnica) relative al processo edilizio (Normativa procedurale) e al sistema edilizio (Normativa di qualità o esigenziale-prestazionale o Normativa tecnica).

### NORMATIVA ESIGENZIALE – PRESTAZIONALE

La normativa esigenziale-prestazionale controlla la qualità edilizia stabilendo un rapporto tra le prestazioni di un bene edilizio e le esigenze dell'utenza alla quale è destinato.

### ESIGENZA

L'esigenza è ciò che, di necessità, si richiede per il normale svolgimento di una attività (UNI 8290):

Benessere, Sicurezza, Fruibilità, Gestione, Integrabilità, Aspetto, Salvaguardia dell'ambiente.

### REQUISITO

Il requisito è la trasposizione di un'esigenza in un insieme di caratteri che la connotano. È la richiesta rivolta ad un determinato elemento edilizio di possedere caratteristiche di funzionamento tali da soddisfare determinate esigenze. Tali ca-

---

<sup>5</sup> La norma UNI 8290-1:1981 *Edilizia residenziale, Sistema tecnologico. Classificazione e terminologia* illustra l'articolazione delle unità tecnologiche e degli elementi tecnici in cui è scomposto il sistema tecnologico.

ratteristiche sono “funzionali” quindi devono essere realizzate indipendentemente dal materiale con cui quell'elemento edilizio è realizzato.

## PRESTAZIONE

La prestazione è il comportamento nell'uso di un elemento edilizio, riferito ai caratteri che connotano un requisito.

Descrivono cioè il comportamento di un determinato componente e elemento edilizio all'atto dell'impiego.

L'azione normativa potrà avvenire secondo una sequenza così classificabile:

### A. SOTTOSISTEMA TECNOLOGICO

1. Composizione dell'involucro edilizio in unità tecnologiche;
2. Lista dei requisiti di comportamento tecnologico.

Oggetto di normazione sono:

1. L'organismo costruttivo;
2. L'elemento di fabbrica;
3. Il componente edilizio.

### B. SOTTOSISTEMA AMBIENTALE

1. Lista delle attività;
2. Raggruppamento delle attività compatibili;
3. Lista dei requisiti di comportamento ambientale.

Oggetto di normazione sono:

1. Il complesso insediativo di appartenenza;
2. L'organismo edilizio;
3. Le unità ambientali.

## **SISTEMA TECNOLOGICO E CLASSIFICAZIONE UNI 8290**

La norma UNI 8290 fornisce la classificazione e l'articolazione delle unità tecnologiche e degli elementi tecnici che compongono il sistema tecnologico.

La scomposizione definisce tre livelli e dà luogo a tre insiemi denominati:

1. Classi di unità tecnologiche (elementi di fabbrica);
2. Unità tecnologiche: raggruppamento di funzioni compatibili tecnologicamente, necessarie per l'ottenimento di prestazioni prestabilite;

3. Classi elementi tecnici: elementi capaci di svolgere, completamente o parzialmente, funzioni proprie di una o più unità tecnologiche.

### **NORMA UNI 8290: CLASSIFICAZIONE**

LE CLASSI DI UNITÀ TECNOLOGICHE INDIVIDUATE SONO:

- La struttura portante
- La chiusura
- La partizione interna
- La partizione esterna
- L'impianto di fornitura servizi
- L'impianto di sicurezza
- L'attrezzatura interna
- L'attrezzatura esterna

LE UNITÀ TECNOLOGICHE SI SUDDIVIDONO IN:

- Struttura di fondazione
- Struttura di elevazione
- Struttura di contenimento
- Chiusura verticale
- Chiusura orizzontale inferiore
- Chiusura orizzontale su spazi esterni
- Chiusura superiore
- Partizione interna verticale
- Partizione interna orizzontale
- Partizione interna inclinata
- Partizione esterna verticale
- Partizione esterna orizzontale
- Partizione esterna inclinata

LE CLASSI DI ELEMENTI TECNICI SONO RIASSUMIBILI IN:

- Strutture di fondazione dirette
- Strutture di fondazione indirette
- Strutture di elevazione verticali
- Strutture di elevazione orizzontali e inclinate
- Strutture di elevazione spaziali

- Strutture di contenimento verticali
- Strutture di contenimento orizzontali
- Pareti perimetrali verticali
- Infissi esterni verticali
- Solai a terra
- Infissi orizzontali
- Solai su spazi esterni
- Coperture infissi esterni orizzontali
- Pareti interne verticali
- Infissi interni verticali
- Elementi di protezione
- Solai
- Soppalchi
- Infissi interni orizzontali
- Scale interne
- Rampe interne
- Elementi di protezione
- Elementi di separazione
- Balconi e logge
- Passerelle
- Scale esterne
- Rampe esterne

I REQUISITI DEGLI ELEMENTI TECNICI SONO RICONDUCIBILI A:

- Affidabilità
- Asetticità
- Assorbimento acustico
- Attitudine all'integrazione
- Impiantistica
- Attrezzabilità
- Comodità d'uso e manovra
- Comprensibilità delle manovre
- Controllo facilità d'intervento
- Idrorepellenza
- Impermeabilità ai fluidi aeriformi
- Impermeabilità ai liquidi
- Isolamento acustico

- Isolamento termico
- Limitazione dei rischi di esplosione
- Manutenibilità
- Pulibilità
- Reazione al fuoco
- Recuperabilità
- Regolabilità
- Resistenza
- Riparabilità
- Smaltimento dei gas nocivi
- Sostituibilità
- Stabilità
- Tenuta
- Ventilazione



02

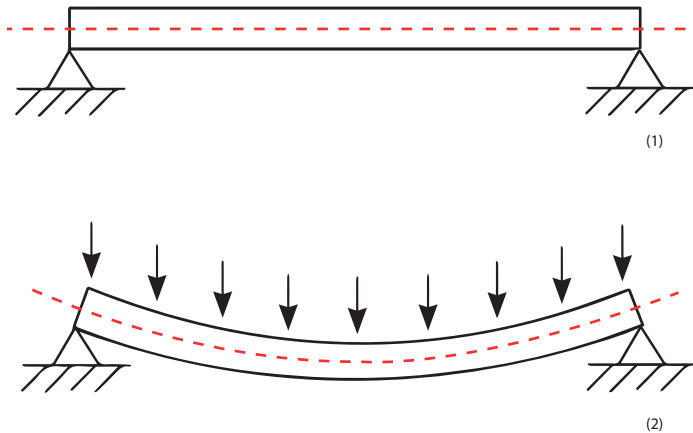


# PRINCIPI STATICI<sup>1</sup>

Con il termine trave o struttura monodimensionale si indica un solido in cui la dimensione longitudinale predomina su quelle trasversali.

La trave è un solido generato da una figura piana  $\Omega$  la quale si sposta mantenendosi normale alla traiettoria del suo baricentro  $G$ , variando anche di forma gradualmente, mantenendo dimensioni ridotte rispetto al raggio di curvatura  $r$  e allo sviluppo della traiettoria.

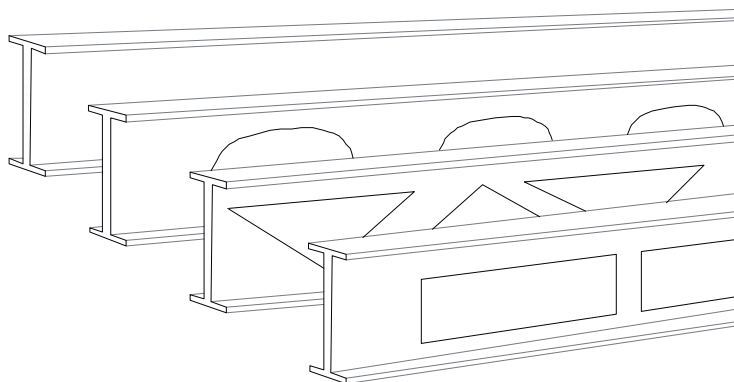
Le successive posizioni della figura generatrice sono chiamate sezioni, il luogo dei loro baricentri linea d'asse della trave.



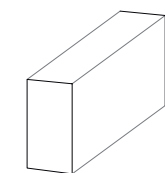
**1** Tipico esempio di trave appoggiata (con corretta rappresentazione) (1) sollecitata da un carico. In rosso viene evidenziato l'insieme dei vari baricentri della trave (2) che cambiano posizione a seconda della deformazione sulla trave.

<sup>1</sup> Testo di Maurizio Bradaschia.

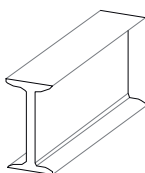
La trave costituisce l'elemento fondamentale della struttura, di ogni struttura, intendendo con questo termine una costruzione destinata a sopportare uno o più sistemi di azioni, sia essa vincolata al suolo o mobile.



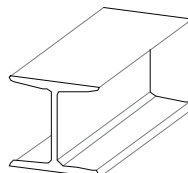
(1)



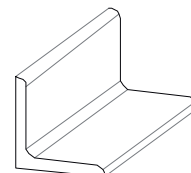
Profilo Rettangolare Pieno



Profilo IPN

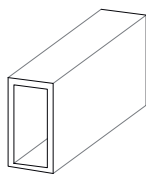


Profilo HEA

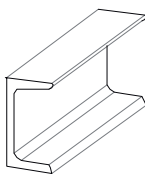


Profilo a L

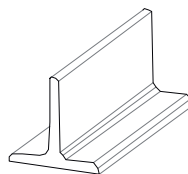
(2)



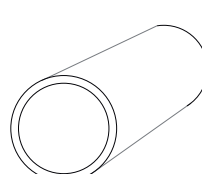
Profilo Scatolare Rettangolare



Profilo a C



Profilo a T



Profilo Tubolare Circolare

**2** A seconda della entità e della tipologia di carichi che gravano su una trave, il progettista può decidere di ottimizzare il design e la forma dei profili, sia in sezione (2) che in alzata (1) risparmiando materiale ed efficientando la trave.

Nella pratica costruttiva può accadere che non tutte le condizioni sopra riportate vengano rispettate: il raggio di curvatura della linea d'asse potrebbe non essere adeguatamente grande rispetto alle dimensioni della sezione nel punto d'angolo ecc. Decidere pertanto se un elemento possa o meno definirsi "trave" significa accettare delle approssimazioni più o meno grandi nell'applicazione di formule e metodi della "teoria delle travi".

La scelta dipende dal grado di approssimazione voluta.

## VINCOLI E GRADI DI LIBERTÀ NEL PIANO

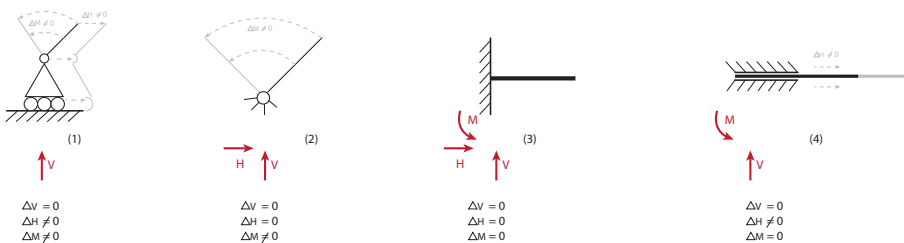
Un corpo piano ha tre gradi di libertà. I gradi di libertà sono le tre possibilità di movimento: due traslazioni secondo due direzioni e una rotazione:

- una traslazione rispetto all'asse  $x$ ;
- una traslazione rispetto all'asse  $y$ ;
- una rotazione  $\alpha$ .

I vincoli sono legami atti ad eliminare gradi di libertà. Un vincolo si dice semplice, doppio o triplo quando è in grado di sottrarre una, due, o tre possibilità di movimento al corpo cui è applicato.

L'immobilità di un corpo può essere ottenuta anche mediante la combinazione di vincoli diversi opportunamente disposti.

I **vincoli** più comunemente considerati sono i seguenti:



**3** I più conosciuti vincoli della statica, con le loro reazioni vincolari, la loro corretta rappresentazione e i loro possibili movimenti, graficizzati ed espressi matematicamente: l'appoggio (1), la cerniera (2), l'incastro (3) e coppia prismatica (4).

- **appoggio semplice** (elimina un grado di libertà);
- **cerniera** (elimina due gradi di libertà);
- **incastro** (elimina tre gradi di libertà);
- **coppia prismatica** o incastro scorrevole (elimina due gradi di libertà).

In relazione al tipo e al numero dei vincoli imposti alla struttura questa si distingue in labile, isostatica (o staticamente determinata) e iperstatica (o staticamente indeterminata).

Se i vincoli non sono in numero sufficiente ad assicurare l'equilibrio una struttura è detta labile.

Se i vincoli sono in numero sufficiente ad assicurare l'equilibrio della struttura, la stessa è detta isostatica.

Se i vincoli sono sovrabbondanti la struttura è iperstatica. In questo caso l'equilibrio è assicurato anche nel caso del cedimento di un vincolo.

L'analisi strutturale consiste nel conteggio dei vincoli da eliminare per ridurre una struttura a "corpi semplici isolati".



4 Ensemble Studio, Hemeroscopium House, Las Rozas, 2009.



5 MVRDV, WoZoCo, Amstrerdam, 1997.

Possiamo definire “**corpo semplice**” il costituente della struttura con linea d’asse “semplicemente connessa”, ossia tale che si può percorrerla da un punto all’altro senza interruzione, senza alternative di percorso<sup>2</sup>.

Una struttura è isostatica quando:

il numero dei vincoli è = ai gradi di libertà.

Una struttura è labile quando:

il numero dei vincoli è < dei gradi di libertà.

Una struttura è iperstatica quando:

il numero dei vincoli è > dei gradi di libertà.

È necessario che i vincoli, oltre ad essere in numero sufficiente, siano disposti correttamente, in modo da impedire movimenti “rigidi”.

Come già detto, un corpo libero nel piano ha tre possibilità di movimento. Suppo-

---

<sup>2</sup> Nella definizione di corpo semplice è posta la condizione che la linea d’asse non si chiuda mai su se stessa.

nendo che al corpo libero sia applicata una forza, volendo fermare la struttura è necessario impedire le due traslazioni e la rotazione. Ciò si ottiene con l'applicazione di forze e coppie corrispondenti. I vincoli, opponendosi ad alcuni di questi movimenti, trasmettono delle reazioni tali da equilibrare le azioni agenti sulla struttura.

L'appoggio semplice, opponendosi allo spostamento normale alla direzione di scorrimento è perciò in grado di reagire con una forza  $Va$  avente la direzione dello spostamento eliminato.

La cerniera si oppone allo spostamento, in una direzione qualsiasi del punto vincolato; è perciò in grado di reagire con una forza passante per il punto di cerniera comunque orientata nel piano e suscettibile di scomporsi in due componenti  $Ha$  e  $Va$  secondo due assi cartesiani.

L'incastro si oppone ai tre possibili movimenti del corpo ed è pertanto in grado di reagire alle due traslazioni impedito con due forze  $Ha$ ,  $Va$  e alla rotazione con una coppia di incastro  $Ma$ .

In generale i vincoli trasmettono le reazioni corrispondenti agli impedimenti che essi pongono al corpo.

Immaginando una struttura vincolata al terreno sottoposta a forze, essa è ferma e quindi in equilibrio come le varie porzioni che la compongono.

L'equilibrio fra le forze note e le reazioni incognite, che si immagina sostituiscano i vincoli per tenere fissa la struttura, si traduce in un certo numero di equazioni che legano queste quantità.

Nel caso più generale di un corpo nello spazio le condizioni di equilibrio rigido di un sistema di forze si traducono in sei equazioni scalari, delle quali tre possono iscriversi come equazioni di *proiezione* o *traslazione* e tre di *momento*, in genere assumendosi come direzioni di proiezione e come assi di momento quelli di una terna ortogonale. Ogni altra equazione di equilibrio rigido per il sistema sarebbe dipendente dalle prime sei, sarebbe cioè deducibile dalla loro combinazione.

Si ha pertanto:

$$\begin{array}{lll} \sum X = 0 & \sum Y = 0 & \sum Z = 0 \\ \sum M_x = 0 & \sum M_y = 0 & \sum M_z = 0 \end{array}$$

Essendo  $X, Y, Z$  le componenti secondo tre assi di tutte le forze note e incognite e  $M_x, M_y, M_z$  i loro momenti rispetto agli assi stessi.

Nel piano le equazioni indipendenti si riducono a tre; esse si scrivono come equazioni di proiezione su direzioni del piano o di momento intorno ad assi normali al piano delle forze.

Nello spazio i vincoli più noti sono:

L'**incastrato**, vincolo capace di esercitare tutte le reazioni. Nello spazio l'incastrato è un vincolo sestuplo, se le sollecitazioni presenti sono tre come nel caso piano o nel caso antisimmetrico il vincolo è triplo.

La **cerniera cilindrica**, vincolo che consente una rotazione relativa delle parti collegate intorno ad un determinato asse  $AB$  e quindi annulla i momenti rispetto a tale asse. Se questo è disposto, ad esempio, parallelamente a  $x$ , per il baricentro di una determinata sezione, vi annullerà  $M_x$ ; se esso è tangente all'asse della trave annullerà  $M_z$  nella posizione in cui è posta la cerniera.

La cerniera cilindrica esercita quindi tutte le azioni meno due. Nel caso di traslazione possibile lungo l'asse della cerniera i gradi di libertà sono cinque. Ove non ci sia il vincolo è quintuplo. Nello spazio la cerniera è perciò un vincolo quadruplo, nel caso piano o nel caso antisimmetrico è un vincolo doppio.

La **coppia prismatica**, vincolo che consente una traslazione relativa delle parti collegate in una data direzione. Se questa viene disposta secondo l'asse  $x$  di una certa sezione, vi sarà  $T_x = 0$ .

Come nel caso precedente la coppia prismatica è un vincolo quadruplo (quintuplo se consente solo una traslazione), nel caso piano o nel caso antisimmetrico è un vincolo doppio.

Coppia prismatica e cerniera si possono collegare in serie realizzando dei vincoli di ordine inferiore.

Nel caso di carichi trasversali (antisimmetrici) la cerniera sferica è un vincolo semplice. Il grado di iperstaticità di una struttura spaziale è data da:

$h = v - 6n$ , dove  $n$  è il numero dei corpi semplici in cui è smembrata la struttura,  $6$  è il numero di equazioni di equilibrio a disposizione per ogni corpo,  $V$  è il numero dei vincoli.

$V = 6i * 5 \text{ x cerniere cilindriche} + 5 \text{ x coppie prismatiche} * 3 \text{ x cerniera sferica}$ .

Tutti gli organismi edilizi devono essere in grado di resistere ai carichi propri e accidentali ed alle spinte orizzontali.

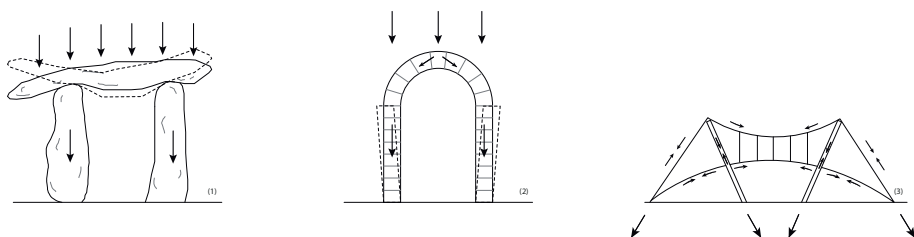
Devono cioè sopportare i carichi derivanti dalla gravità e resistere a tutte le azioni esterne possibili e probabili non dipendenti dalla forza di gravità.

Ogni struttura si basa su tre principi elementari riconducibili al trilitte, all'arco e alla fune.

Un sistema trilitico o trilitte (dal greco tri = tre + lithos = pietra) è una struttura formata da due elementi disposti in verticale (piedritti) e un terzo appoggiato oriz-



zionalmente sopra di essi (architrave), a formare una sorta di portale. Si tratta di una struttura in grado di coprire luci di limitata estensione.



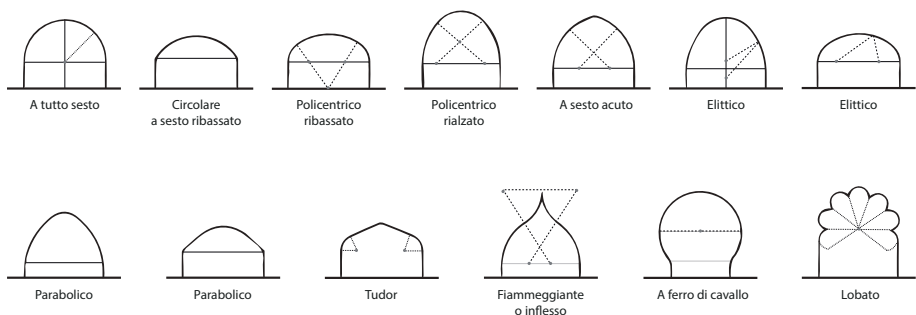
**6** I tre principi statici elementari delle strutture: il trilitte (1), l'arco (2) e la fune (3). A queste tre figure si possono ricondurre la maggior parte degli edifici.

Il trilitte è una struttura architettonica semplice, piuttosto comune in antico, il cui vantaggio è quello di generare forze spingenti solo verso il basso e quindi di non essere soggette a spinte laterali; gli svantaggi sono legati alla limitatezza della distanza tra i megaliti. L'architrave spinge il suo peso sui piedritti ed essi per sostenerlo lo scaricano sul suolo.

Fra gli esempi preistorici più celebri e noti si possono citare Stonehenge e i templi di Malta.

I Greci antichi usavano il sistema trilitico (lo preferivano all'arco, anche se talvolta utilizzavano anche quest'ultimo), per cui esso è alla base degli ordini architettonici classici, dove i sostegni verticali sono rappresentati dalla colonna (composta di base, fusto e capitello) e quello orizzontale dall'architrave.

Il sistema trilitico (o architravato) è uno dei sistemi costruttivi più antichi della storia. L'arco, in architettura, è un elemento strutturale a forma curva che si appoggia su due piedritti e generalmente (ma non necessariamente) è sospeso su uno spazio vuoto.



**7** Nel corso della storia sono state codificate diverse tipologie di archi, più o meno complessi. Tutti hanno però il medesimo funzionamento statico.

È costituito normalmente da conci, cioè pietre tagliate, o da mattoni in laterizio, i cui giunti sono disposti in maniera radiale verso un ipotetico centro: per questo hanno forma trapezoidale e sono più propriamente detti cunei; nel caso di una forma rettangolare (tipica dei mattoni) hanno bisogno di essere uniti da legante che riempia gli interstizi; essenzialmente l'arco con cunei non ha necessariamente bisogno di essere sostenuto da malta, stando perfettamente in piedi anche a secco, grazie alle spinte di contrasto che si annullano tra concio e concio. Il cuneo fondamentale che chiude l'arco e mette in atto le spinte di contrasto è quello centrale: la chiave d'arco, o, più comunemente detta, chiave di volta. L'arco è una struttura bidimensionale e viene spesso utilizzato per sovrastare aperture. Per costruire un arco si ricorre tradizionalmente a una particolare impalcatura lignea, chiamata centina. L'arco è anche alla base di strutture tridimensionali come la volta, che è ottenuta geometricamente dalla traslazione o dalla rotazione di archi. Nel caso di volte complesse come le volte a crociera, gli archi costitutivi vengono distinti in base alla loro posizione (archi trasversali, longitudinali ecc.).



**8** Henri Labrouste, Sainte-Geneviève, Parigi, 1838-1850.



9 10 MVRDV, Markthal, Rotterdam, Olanda, 2014.



Una tensostruttura è un manufatto realizzato con materiali mantenuti in posizione stabile tramite tensione. Si tratta di opere “leggere” che sfruttano le caratteristiche dell'acciaio per realizzare coperture di grandi luci – è il caso del Villaggio Olimpico di Monaco 1972 progettato da Frei Otto – o, più spesso, per realizzare costruzioni temporanee. Generalmente le tensostrutture sono composte da cavi e tiranti che sorreggono coperture in tela o materiali leggeri simili, ma ne esistono anche in sola tela o in altri materiali leggeri: è il caso di alcune opere in cartone di Shigeru Ban.



**11** **12** Frei Otto, Stadio Olimpico, Monaco di Baviera, 1972.



**13** **14** Shigeru Ban e Jean de Gastines, Centre Pompidou-Metz, Metz, 2006-2010.







**15** Nicholas Grimshaw, Eden Project, St. Blazey, 2001.

Opere esemplari sono state realizzate, dall'inizio degli anni '90, da autori "high-tech" come Nicholas Grimshaw o Michael Hopkins. I materiali leggeri utilizzati dalla scuola inglese hanno consentito la realizzazioni di opere apparentemente semplici, certamente economiche, di rapida realizzazione grazie alla loro provenienza dal settore industriale.

Tra le opere recenti più note: il Millennium Dome di Londra, il Pontiac Silverdome, l'Aeroporto internazionale di Denver e l'Aeroporto della Mecca.

Dallo schema originario del trilito si sono evoluti i solai appoggiati su murature parallele, i solai a sbalzo, i portali, i telai e le strutture a gabbia.

Da quello ad arco si sono evolute le volte, le capriate, le cupole (da quella quattrocentesca di Brunelleschi di Santa Maria del Fiore) e le travi reticolari.

Dallo schema a fune, oltre ai ponti sospesi, derivano le strutture strallate e sospese di grande effetto, come ad esempio le molte realizzazioni di Santiago Calatrava.





**16** Michael Hopkins, Dynamic Heart, Edinburgh, 1999.





**17** Richard Rogers e Mike Davies, Millennium Dome, Londra, 2000.

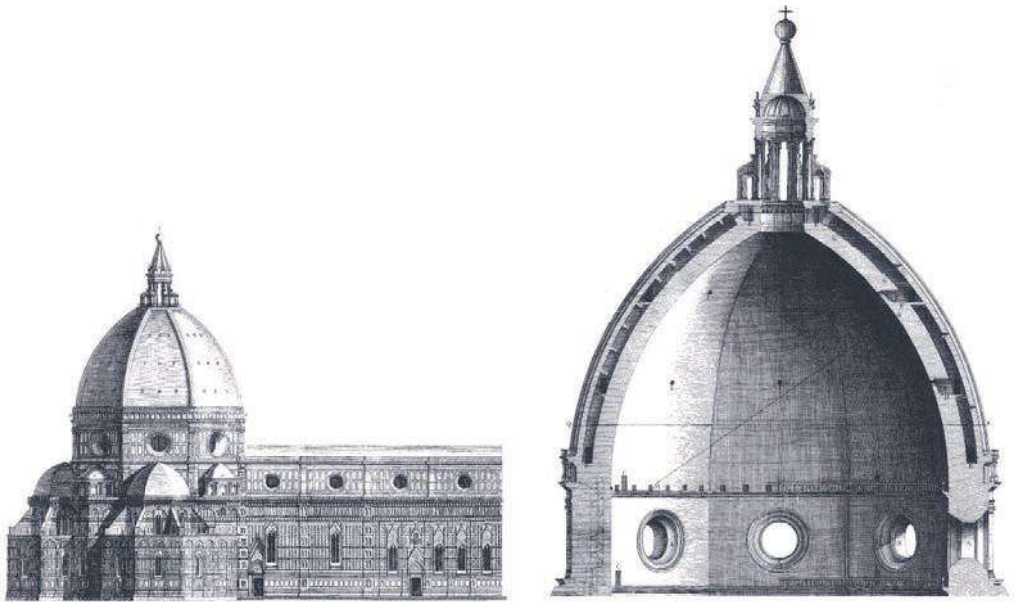
Una compiuta e attenta analisi della tipologia dei carichi da sopportare sta alla base di una corretta scelta tipologica, di un corretto dimensionamento e della scelta più appropriata rispetto al tema indagato in termini costruttivi ed economici.

I carichi sono generalmente distinti in:

- permanenti (il peso proprio di ogni struttura);
- semipermanenti (si tratta delle opere di finitura di una struttura che possono, nel tempo, subire variazioni);
- accidentali (variabili in ragione di condizioni esterne: agenti atmosferici, principalmente vento e neve, sismi, presenza di persone, mezzi di trasporto ecc.);
- distorsivi (più propriamente detti “distorsioni”, quali il carico termico, i cedimenti fondazionali e le variazioni igrometriche per quei materiali che ne risentono).

Per il calcolo e la determinazione dei carichi permanenti è necessario conoscere le geometrie della struttura e i pesi specifici dei singoli materiali che la compongono. Per i carichi semipermanenti, essendo gli stessi variabili, si ricorre a “carichi equivalenti”, in grado di simulare lo stesso effetto sulle strutture.

Per i carichi accidentali ci si riferisce, caso per caso, a regolamenti e norme che variano da località a località.



**18** **19** Filippo Brunelleschi, Santa Maria del Fiore, Firenze, 1294-1315.



**20** **21** Santiago Calatrava, ponti sull'Autostrada A1, Reggio Emilia, 2007.



03





# I MATERIALI DA COSTRUZIONE<sup>1</sup>

I materiali da costruzione costituiscono uno degli aspetti principali dell'attività edilizia. La loro scelta condiziona sin dall'inizio le scelte progettuali. Risulta difficile, infatti, concepire un organismo edilizio avulso dalla sua matericità.

E oggi, più che mai, forma architettonica, materiali e tecniche costruttive sono interrelati:

per classificare gli elementi costruttivi di una fabbrica e per studiare le forme che essi assumono in dipendenza delle dimensioni che per la loro funzione ad essi si assegnano, è necessario conoscere i materiali con i quali vengono costituiti, che comunemente chiamansi materiali da costruzione.

Così si apre il secondo capitolo dell'attualissimo libro *Architettura Tecnica* di Camillo Guerra<sup>2</sup>.

Generalmente, i materiali da costruzione possono essere classificati nei seguenti gruppi:

- il legno;
- i materiali lapidei;
- i laterizi e i materiali ceramici;
- i leganti;
- i materiali sintetici e metallici non ferrosi;
- il ferro;
- il calcestruzzo armato e il calcestruzzo armato precompresso.

---

<sup>1</sup> Testo di Maurizio Bradaschia.

<sup>2</sup> Guerra C., *Architettura Tecnica*, Casa Editrice Raffaele Pironti e Figli, Napoli 1952.



**1** **2** Valentin Bontjes van Beek, modello della Maison Dom-ino di Le Corbusier, Giardini alla Biennale di Architettura di Venezia, 2014.









**3** Ludwig Mies Van der Rohe, Seagram Building, New York, 1958.



**4** **5** Giacomo Mattè-Trucco, Lingotto, Torino, 1923.



**6** Pier Luigi Nervi, Palazzo dell'Esposizione Internazionale del Lavoro, Torino, 1961.



**7** Pier Luigi Nervi, Hangar, Orvieto, 1935.





**8 9** Imre Makovecz e Tamàs Dobrosi, Stadio Felcsút, Felcsút, 2012-2014.

## IL LEGNO<sup>3</sup>

In edilizia il legno è un materiale non solo diffusissimo, ma è anche fondamentale, soprattutto in quelle aree geografiche dove può essere reperito con maggiore facilità. Utilizzato sin dall'antichità, questo materiale viene impiegato non solo per produrre componenti, prodotti o semilavorati in legno massiccio (o massello), cioè come viene ricavato dall'albero in seguito ad una prima lavorazione, ma anche in legno ricostruito (detto pure legno ricomposto o migliorato), nella realizzazione, ad esempio, di pavimenti, rivestimenti e nel settore industriale.

Il legno è un materiale solido e naturale, che, per sua natura (ossia in base all'orientamento delle fibre), reagisce alle sollecitazioni in maniera diversa in ogni direzione. È ricavato da due famiglie di piante: le latifoglie (angiosperme) e le conifere (gimnosperme, aghifoglie, resinose); categorie che si differenziano per tipologia cellulare. Le caratteristiche meccaniche del legno sono variabili e dipendono dall'essenza, dal peso specifico, dal grado d'umidità e dalla direzione delle fibre rispetto alla sollecitazione oltre che dai possibili e frequenti difetti del legno stesso (nodi ecc.). Generalmente la resistenza a trazione risulta maggiore di quella a compressione, riferita parallelamente alle fibre; rapportando il carico di rottura al peso specifico, si rileva che il legno lavora quasi meglio dell'acciaio. La resistenza a trazione è a volte parzialmente ridotta dalla presenza di nodi e irregolarità delle fibre.

Una trave sottoposta a sollecitazione di flessione si deforma elasticamente, producendo sulle fibre tensioni di compressione e di trazione, secondo il diagramma di *Navier* (andamento lineare). In flessione, dato che di solito la differenza di moduli elastici e resistenze a trazione e compressione sono modeste, si usa considerarle per semplicità uguali, con andamento delle tensioni alla *Navier* e con simmetria rispetto al baricentro geometrico.

Il legno, che si usa principalmente in flessione (travi) e più raramente a trazione o compressione (solo in alcune strutture storiche a reticolo, tipo le capriate, si usano elementi in legno) è soggetto al fenomeno della viscosità o *fluage* (lento accorciamento delle fibre soggette a compressione nel tempo, nelle strutture sotto carico, e caratteristico anche di altri materiali: il calcestruzzo, i compositi con resine ecc.), che provocano nel tempo un aumento notevole della freccia di inflessione (dopo vari mesi o anni può risultare più che raddoppiata).

---

<sup>3</sup> Testo di Maurizio Bradaschia.



**10 11** Renzo Piano, Centro culturale Jean-Marie Tjibaou, Nuova Caledonia, 1995-1998.



**12** Peter Zumthor, Copertura per gli scavi archeologici, Coira.





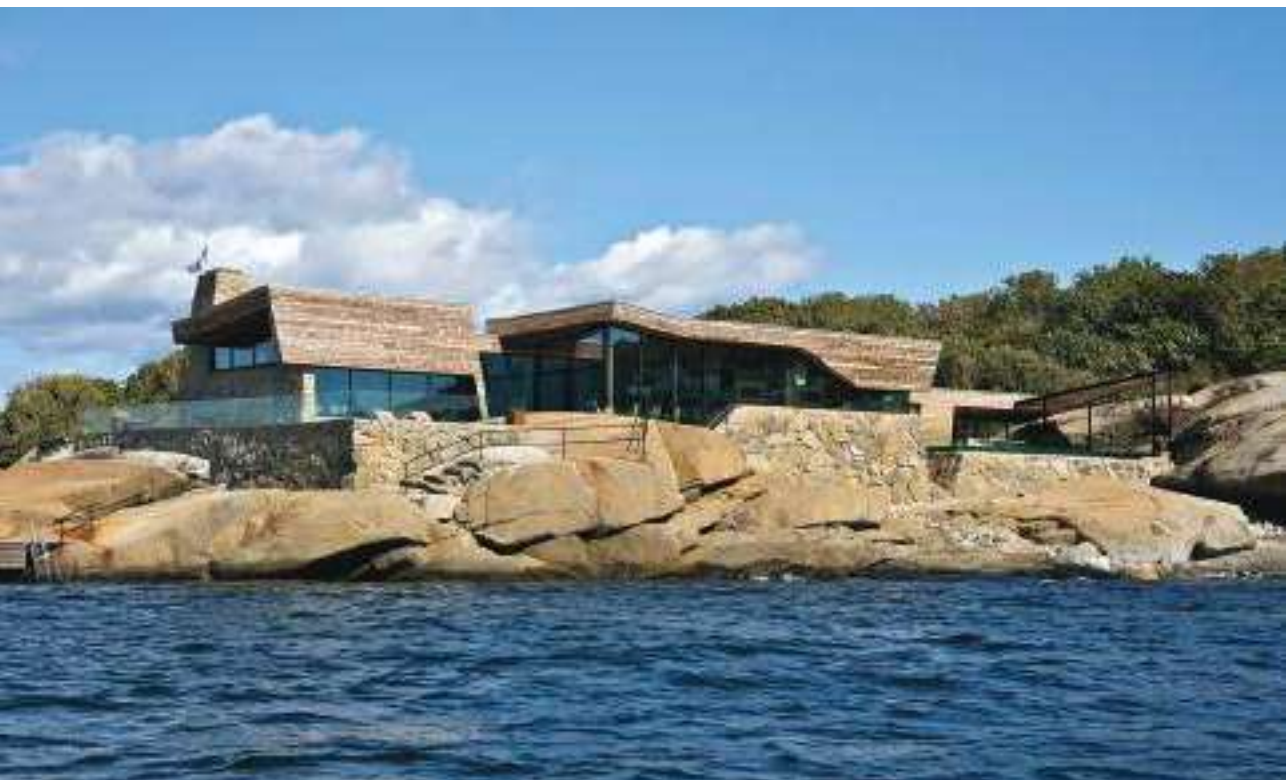


**13** **14** Rintala Eggertsson Architects and TYIN Architects, Rent out artist residency, Fleinvaer, Norway, 2017.





**15** Bergmeisterwolf , Hofstelle b, Vipiteno/Sterzing, 2011.



**16** Jarmund/Vignaes AS Architects MNAL, Summer House, Vestfold, Norway, 2009.



**17** Mumbai Studio, Palmyra House, Nandgaon, India, 2007.







**18** **19** Ravnikar Potokar Architectural Office, Osservatorio Area naturalistica Val Stagnon, Capodistria, 2016.

## I MATERIALI LAPIDEI<sup>4</sup>

La pietra rappresenta ed ha rappresentato il materiale da costruzione per eccellenza in tutte le epoche storiche; ciò grazie alla sua reperibilità, alla resistenza e alla durezza, pregi che hanno permesso di mettere in secondo piano le difficoltà di estrazione, lavorazione e trasporto del materiale stesso.

Scavata, dall'inizio, per ricavare grotte e ripari sempre più sofisticati<sup>5</sup>, è divenuta, nel tempo, vero e proprio materiale da costruzione, con il progredire di civiltà e tecnologie.

Utilizzata come materiale da costruzione, la pietra è dapprima protagonista del "principio del trilito"<sup>6</sup>, per divenire materiale costruttivo principale nella realizzazione di murature, di strutture murarie, sia in grandi blocchi, più o meno lavorati e messi in opera senza malta, sia in piccoli blocchi o conci, lavorati e messi in opera con l'ausilio di leganti, fino allo sviluppo del sistema costruttivo ad "arco".

I leganti rappresentano, sia nella realizzazione di strutture murarie sia in quella di strutture ad arco, un momento sostanziale e di fondamentale importanza nello sviluppo tecnologico del mondo delle costruzioni.

Malte aeree, idrauliche, pozzolaniche, cementizie, oltre che le malte a "coccio pesto", rivoluzionano le costruzioni in pietra, consentendo la realizzazione di strutture di più ampie dimensioni.

La pietra diviene, oltre che il principale materiale utilizzato per gli elementi edilizi di sostegno, anche il materiale fondamentale per la realizzazione di coperture<sup>7</sup>, rivestimenti, pavimentazioni ed elementi decorativi.

Gli elementi di sostegno come gli archi, le volte, le strutture a trilito, i pilastri e le colonne quali elementi di fabbrica, moltiplicano le loro capacità e possibilità di utilizzo.

---

4 Testo di Maurizio Bradaschia.

5 Esempi straordinari di "scavi nella roccia" sono riconducibili a molte civiltà geograficamente e cronologicamente distanti tra loro: come le grandi facciate scavate nella pietra arenaria a Petra, in Giordania, costituenti gli ordini sovrapposti delle tombe nabatee, o le chiese bizantine della Cappadocia realizzate in formazioni rocciose vulcaniche, le abitazioni di Sperlinga, in Sicilia, in Provincia di Enna, o i "sassi" di Matera, realizzati negli affioramenti di carbonato di calcio.

6 La matrice piana del vano agibile è determinata da tre elementi sovrapposti, collegati da un vincolo di semplice appoggio: due piedritti sorreggono un'architrave.

7 Sottili lastre di pietra vengono utilizzate per le coperture, nelle località in cui le caratteristiche geologiche consentono l'escavazione e la lavorazione del materiale lapideo in grandi e sottili lastre (ad esempio l'ardesia, o la pietra d'Istria).





**20** Stonehenge, Inghilterra.



**21** Arco di Trionfo, Parigi, 1806.

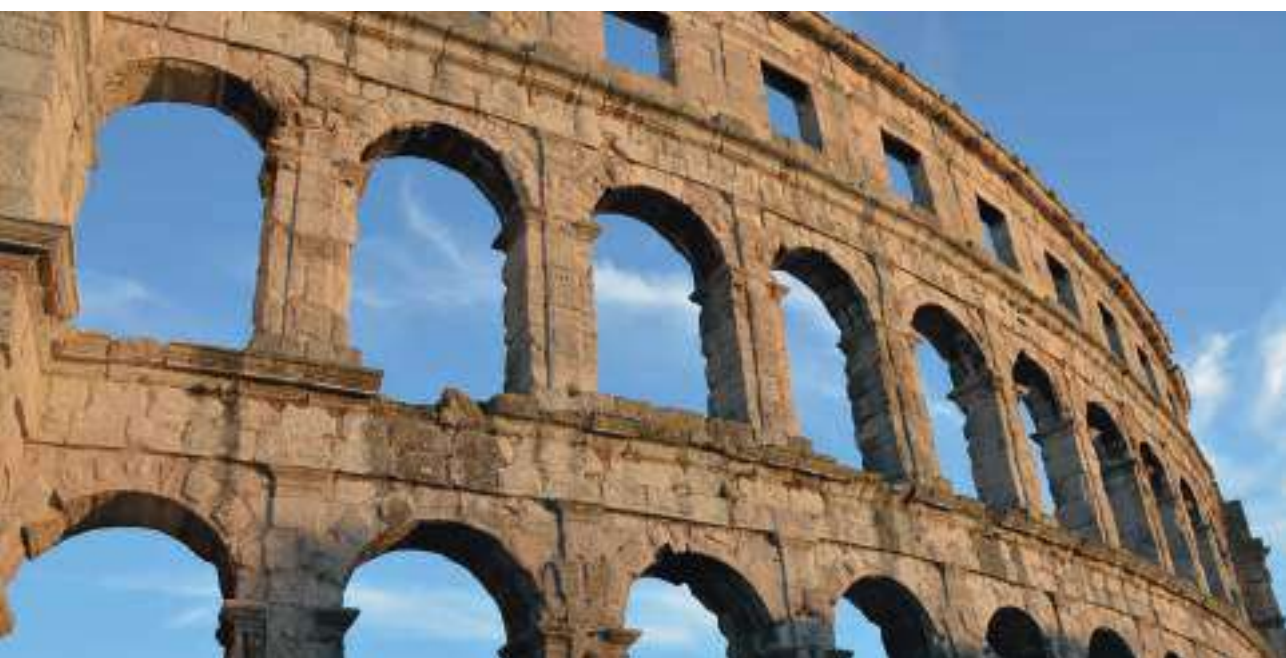


22 Arco della Pace, Milano, 1838.



23 Arco di Trionfo, Lisbona, 1755.





**24** **25** Arena di Pola, Pola, I sec. a.C.





**26** Monica Alejandra Mellace, Complesso residenziale, Polignano a Mare (BA), 2015.



La scelta, l'utilizzo e la messa in opera dei materiali lapidei derivano da molteplici questioni che hanno a che fare con l'ubicazione geografica, le caratteristiche geologiche, la cultura, i magisteri costruttivi, i costi di costruzione, le qualità estetico percettive caratterizzanti un determinato ambito. Ma non solo: imprescindibili sono le caratteristiche chimico fisiche dei singoli materiali e, conseguentemente, la loro lavorabilità, durata e prestazionalità.

In Architettura, è evidente, il materiale locale è stato da sempre alla base delle tecniche costruttive e delle caratteristiche architettoniche dei luoghi: la pietra d'Istria (carbonato di calcio) ha rappresentato il materiale maggiormente caratterizzante l'architettura storica delle regione alto adriatica (Veneto, Istria, Dalmazia) come il Travertino l'architettura romana e generalmente laziale o la pietra di Trani quella pugliese. La Norma Uni 8458/1983 classifica i Prodotti Lapedei: secondo questa norma le rocce impiegate in edilizia ad uso ornamentale o da costruzione vengono classificate commercialmente in: **marmo, granito, travertino, pietra**, a seconda della loro origine, composizione, durezza dei minerali che li compongono e la loro lucidabilità di superficie.

#### IL MARMO

Ogni roccia cristallina, compatta e lucidabile, prevalentemente costituita da minerali di durezza *Mohs* dell'ordine di 3 a 4 (quali calcite, dolomite, serpentino).

#### IL GRANITO

Ogni roccia fanero-cristallina, compatta e lucidabile, prevalentemente costituita da minerali di durezza *Mohs* dell'ordine di 6 a 7 (quali quarzo, feldspati, feldspatoidi). Appartengono a questa categoria i graniti propriamente detti (rocce magmatiche intrusive acide fanero-cristalline, costituite da quarzo, feldspati sodico-potassici e miche), altre rocce magmatiche intrusive (dioriti, granodioriti, sieniti, gabbri ecc.), le corrispondenti rocce magmatiche effusive a struttura porfirica, alcune rocce metamorfiche di analoga composizione come lo gneiss.

#### IL TRAVERTINO

Rocchia calcarea sedimentaria di deposito chimico con caratteristica struttura vacuolare, da decorazione e da costruzione; alcune varietà sono lucidabili.

#### LA PIETRA

Ogni roccia di norma non lucidabile. Appartengono a questa categoria rocce di composizione mineralogica svariata, riconducibili ad uno dei seguenti gruppi:

- rocce tenere e/o poco compatte come le rocce sedimentarie (calcareniti, arenarie a cemento calcareo ecc.);
- varie rocce piroclastiche (tufi ecc.);
- rocce dure e/o compatte come le pietre a spacco naturale (quarziti, ardesie ecc.);
- talune vulcaniti (basalti, trachiti, leuciti ecc.).

## I LATERIZI<sup>8</sup>

I laterizi sono materiali da costruzione dal costo contenuto e dall'alta prestazioni ampiamente utilizzati, caratterizzati da forme regolari e da dimensioni e pesi tali da consentirne una agevole posa manuale.



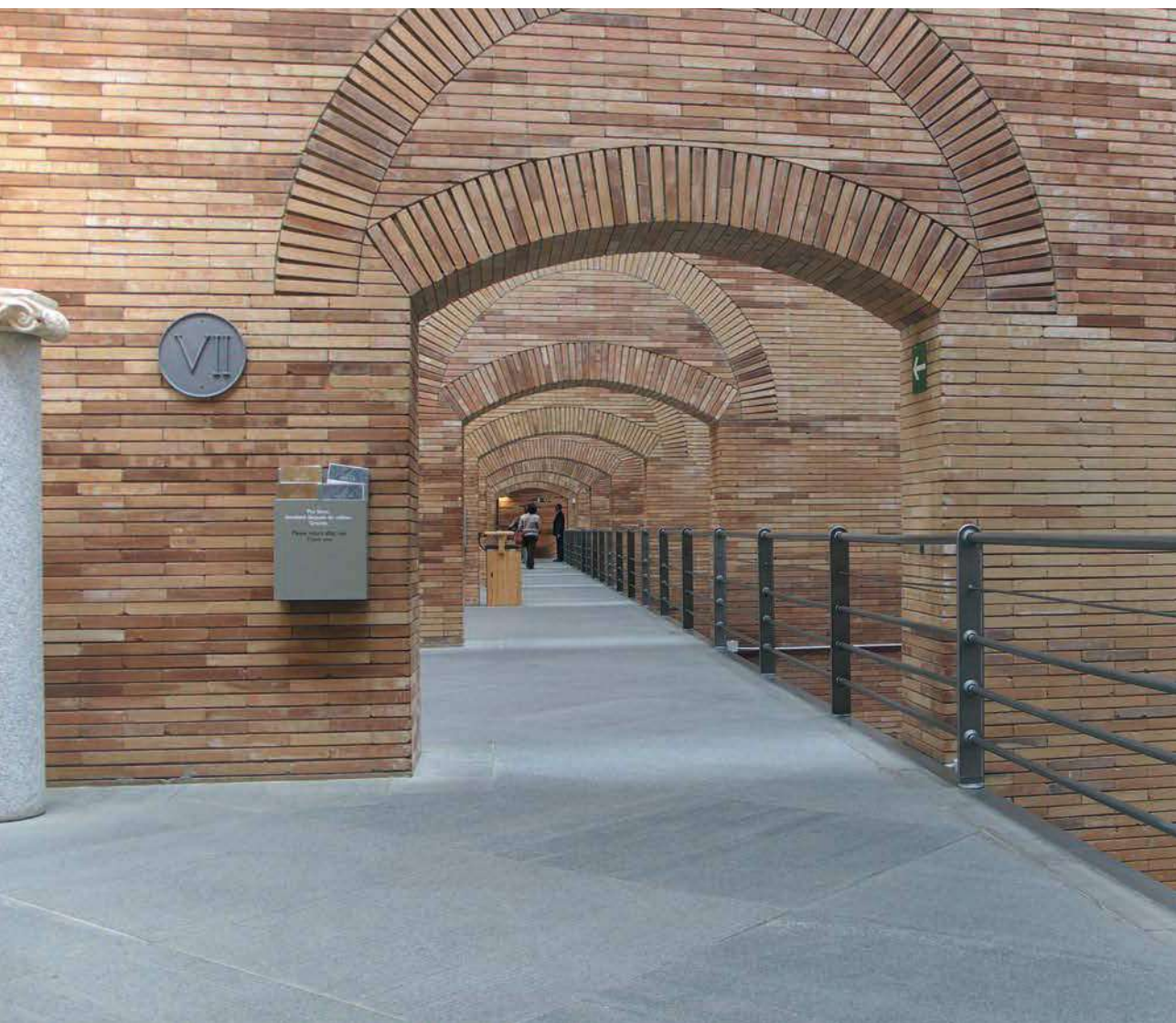
**27** **28** Herzog & De Meuron, Ampliamento della Tate Modern Gallery, Londra, 2016.

Di semplice utilizzo e grande versatilità, vengono impiegati per la realizzazione di murature, di solai (interposti a travetti in calcestruzzo armato), di coperture (sia come supporto che come rivestimento) e di rivestimenti.

<sup>8</sup> Testo di Maurizio Bradaschia.



Sono costituiti da argille, i fillosilicati, (solitamente argille impure, contenenti ossido di ferro, cui si deve la colorazione rossastra). Tra i laterizi più comunemente utilizzati vi sono i mattoni pieni, i mattoni semipieni, le tavelline, le tavelle e i tavelloni, le pianelle e le tegole di vario tipo (il coppo, l'embrice, la tegola marsigliese, la tegola portoghese, la tegola olandese).





**29** **30** Rafael Moneo, Museo Nazionale di Arte romana, Mérida, 1980-1986.



## I MATERIALI CERAMICI<sup>9</sup>

I materiali ceramici a pasta compatta sono caratterizzati da una struttura vetrosa. Rientrano in questa categoria i grès e le più pregiate porcellane.

I grès sono prodotti ceramici realizzati con argille che durante la cottura danno luogo alla graduale formazione di una fase liquida, per cui si ottiene un prodotto impermeabile con elevata resistenza meccanica. Questo fenomeno è detto *greificazione*. I grès sono utilizzati per realizzare condutture per soluzioni acide o acque di scarico e piastrelle.



**31** **32** 5+1aa, Complesso Residenziale Life, Brescia, 2012.

Le porcellane sono prodotti ceramici a pasta bianca, compatta e vetrificata, ottenuti da miscele di caolino (argilla pura), quarzo macinato finemente e feldspati. Le porcellane, a seconda della temperatura di cottura, vengono divise in porcellane tenere (che hanno traslucidità accentuata) e dure (con prevalenza della fase cristallina). Queste ultime porcellane, hanno elevata resistenza chimica, resistenza meccanica (che è maggiore all'aumentare della quantità di quarzo presente nell'impasto) e refrattarietà. Solitamente, le porcellane dure vengono utilizzate (per la loro resistenza chimica) per la produzione di crogioli per laboratori chimici e per la realizzazione di isolanti elettrici. Le porcellane tenere, invece, vengono utilizzate per ceramiche ornamentali.

<sup>9</sup> Testo di Maurizio Bradaschia.



**33** **34** Miralles-Tagliabue, Mercado di Santa Caterina, Barcellona, 2005.



## I LEGANTI<sup>10</sup>

Tra i materiali impiegati in edilizia, per le costruzioni di edifici, di opere di Architettura e di ingegneria come i ponti, le dighe, le gallerie, materiale imprescindibile è costituito dai leganti quali il cemento e il cemento armato ma anche, con diverse applicazioni e potenzialità/proprietà, il gesso e la calce.

I leganti edilizi si suddividono in:

- aerei (induriscono solo all'aria, comprendono calce, gesso e scagliola);
- idraulici (induriscono sia nell'acqua che nell'aria: la calce idraulica, il cemento e il cemento a presa rapida).

La calce si ottiene mediante cottura di rocce calcaree (carbonato di calcio) a una temperatura di 900 °C, ottenendo la calce viva (ossido di calcio), che è in grado di assorbire una grande quantità di acqua, circa tre volte il suo peso, ottenendo così il "grassello". Industrialmente si regola l'assorbimento di acqua con un procedimento di "spegnimento" controllato, ottenendo la calce idrata in polvere, preferibilmente più usata.

Il gesso è ottenuto dalla cottura della pietra da gesso che, ridotta in polvere, a seconda della temperatura raggiunta e del grado di macinazione fa ottenere diversi prodotti.

Il gesso generico, granuloso, grigiastro è un materiale che fa presa in pochi minuti; la scagliola, bianca, è molto più fine, e viene generalmente usata per intonaci, stucchi, cornici e indurisce in circa 30 minuti.

Le calci idrauliche sono ottenute dalla cottura di calcari argillosi, e costituiscono un prodotto di facile "spegnimento".

---

<sup>10</sup> Testo di Maurizio Bradaschia.

## IL CEMENTO<sup>11</sup>

Il cemento è ottenuto dalla cottura, in lunghi forni rotanti, di calcari, marne, argille, dalla quale si ottiene un prodotto chiamato “clinker” che macinato finemente e abbinato ad altri componenti dà il prodotto finale.

I cementi disponibili in commercio sono principalmente costituiti da miscele di cemento Portland con materiali pozzolanici, materiali pozzolanici a comportamento idraulico e aggiunte inerti.

Nell'ambito della Comunità europea la produzione dei cementi è basata sui requisiti compositivi, prestazionali e produttivi stabiliti dalla norma EN 197-1 recepita a livello nazionale dalla norma UNI EN 197-1. In accordo con questa normativa, i cementi possono essere prodotti utilizzando i seguenti costituenti principali:

- clinker di cemento Portland (K);
- gesso;
- pozzolane naturali (P) e naturali calcinate (Q);
- ceneri volanti di tipo silicico (V) e calcico (W);
- loppe granulate d'altoforno (S);
- microsilici o fumo di silice (D);
- calcari (L o LL);
- scisti calcinati (T).

### I TIPI DI CEMENTO

A seconda dei costituenti impiegati e della relativa percentuale di utilizzo, i cementi comuni sono costituiti da cinque tipi principali individuati da un numero romano da I a V.

I cementi di tipo II, III, IV e V, inoltre, sono suddivisi in sottotipi.

I cementi di **tipo I** sono i cementi Portland puri costituiti da una percentuale di clinker di cemento Portland pari almeno al 95%.

I cementi di **tipo II** vengono denominati Portland di miscela in quanto il costituente presente in maggior percentuale è rappresentato dal clinker di cemento Portland in combinazione con una o più aggiunte minerali.

---

<sup>11</sup> Testo di Maurizio Bradaschia.

I cementi d'altoforno (**tipo III**) sono costituiti esclusivamente da clinker di cemento Portland e loppa granulata d'altoforno aggiunta in percentuali superiori al 35% (limite che differenzia questi cementi da quelli Portland alla loppa) e sono divisibili in tre sottotipi; questi sono contrassegnati, subito dopo il numero romano, dalle lettere A, B o C che indicano la percentuale in cui la loppa è presente nel cemento, cioè rispettivamente negli intervalli 36-65%, 66-80% o 81-95%.

Il cemento pozzolanico (**tipo IV**) è ottenuto per miscela del clinker di cemento Portland con microsilice, pozzolane naturali, naturali calcinate e ceneri volanti.

Sono previsti due sottotipi che si differenziano per la percentuale di impiego delle aggiunte pozzolaniche, variabili negli intervalli 11-35% e 36-55%, individuate, rispettivamente, dalle lettere A o B (dopo il numero romano IV).

Relativamente al cemento tipo IV/B è utile notare come la percentuale massima di impiego delle aggiunte a comportamento pozzolanico sia fissata al 55%.

Oltre questo limite il quantitativo di calce proveniente dall'idratazione del clinker non sarebbe sufficiente a garantire la reazione pozzolanica, con il risultato che parte del materiale pozzolanico rimarrebbe nell'impasto in forma di materiale inerte, incapace quindi di contribuire alle prestazioni meccaniche del calcestruzzo.

Il cemento composito (**tipo V**), da non confondere con quello Portland composito (tipo II/A-M o II/B-M), è costituito da una miscela di clinker di cemento Portland, loppa d'altoforno, e pozzolane (naturali o naturali calcinate) e/o cenere volante silicica. Sono previsti due sottotipi in cui la percentuale della loppa, da una parte, e quella delle pozzolane e della cenere, dall'altra, deve essere inclusa nell'intervallo 18-30% (tipo V/A) oppure 31-50% (tipo V/B).

## **LE CLASSI DI RESISTENZA DEL CEMENTO**

Ognuno dei tipi e sottotipi di cemento previsti dalla norma UNI EN 197-1 è disponibile, almeno in teoria, in sei differenti classi di resistenza individuate dalle sigle 32.5N, 32.5R, 42.5N, 42.5R, 52.5N e 52.5R. L'appartenenza di un cemento ad una determinata classe di resistenza, tra quelle sopramenzionate, è stabilita sostanzialmente dai valori di resistenza meccanica a compressioni ottenuti su provini di malta confezionati e conservati in accordo alle procedure previste dalla norma EN 196-1.

La differenza tra due cementi N (indurimento normale) ed R (rapido indurimento) di pari resistenza meccanica a compressione a 28 giorni (ad esempio, 42.5 N/mm<sup>2</sup>) consiste nella resistenza a compressione, valutata su provini maturati per 2 giorni, che dovrà risultare maggiore di 10 N/mm<sup>2</sup> o 20 N/mm<sup>2</sup>, rispettivamente per i ce-

menti di classe 42.5N e 42.5R. Questo, ovviamente, non significa che il calcestruzzo confezionato con un cemento di classe 42.5N non possa attingere valori di resistenza a compressione a 2 giorni di 20 N/mm<sup>2</sup>.

Ad esempio, si potranno conseguire questi risultati adottando per il calcestruzzo con il cemento 42.5N rapporti a/c più bassi di 0.50 per conseguire il risultato atteso. La norma, tuttavia, vuole mettere in evidenza che – a parità di tutte le condizioni – il calcestruzzo confezionato con un cemento di classe 42.5R possiederà alle brevi stagionature (ed in particolare dopo 2 giorni) prestazioni meccaniche superiori rispetto ad un analogo impasto, di pari rapporto a/c, confezionato con un cemento di classe 42.5N.

Il cemento a presa rapida contiene una maggiore quantità di argilla rispetto a quello normale e fa presa in pochi minuti, il cemento tradizionale completa l'indurimento dopo circa 28 giorni.

Il cemento bianco è ricavato utilizzando calcare puro o caolino (è la presenza nella materia prima di ossido di ferro a conferire la caratteristica colorazione grigiastrea). Il cemento mescolato a sabbia e acqua forma la malta cementizia, mescolato alla ghiaia il calcestruzzo.

## IL CALCESTRUZZO<sup>12</sup>

Il calcestruzzo (cls.) è un conglomerato artificiale costituito da una miscela di legante, acqua e aggregati fini e grossi (sabbia e ghiaia) e con l'eventuale aggiunta di additivi e/o aggiunte minerali che influenzano le caratteristiche chimico/fisiche e le prestazioni del conglomerato sia fresco che indurito.

Il legante prevalentemente utilizzato per confezionare calcestruzzi è il cemento, ma è possibile realizzarli utilizzando anche leganti differenti come la calce aerea o idraulica. Raramente viene utilizzato anche il gesso per realizzare calcestruzzi "poveri".

---

<sup>12</sup> Testo di Maurizio Bradaschia.

Il calcestruzzo fresco viene gettato all'interno dei casseri e costipato con vibratori, ma esistono formulazioni moderne del calcestruzzo, dette autocompattanti (SCC), fondamentali nell'architettura contemporanea in quanto assicurano un faccia a vista omogeneo e uniforme, che non richiedono vibrazione ma che si costipano per forza di gravità. Il cemento, idratandosi con l'acqua, fa presa e indurisce conferendo alla miscela una resistenza meccanica tale da renderla assimilabile a una roccia. È oggi utilizzato per realizzare le parti strutturali di un edificio ed è il materiale da costruzione più impiegato al mondo.

Se all'interno del calcestruzzo vengono inserite armature di acciaio (carpenterie metalliche), esso viene definito cemento armato.





**35** **36** Tadao Ando, Casa Azuma, Osaka, 1975.





**37** Tadao Ando, Chiesa della Luce, Ibaraki, 1989.



**38** **39** Tadao Ando, Casa 4x4, Tarumi-ku, Kobe, 2003.





**40** Pier Luigi Nervi, Palazzo dello Sport EUR, Roma, 1956-1957.



**41** Peter Eisenman, Memoriale per gli Ebrei assassinati d'Europa, Berlino, 2003.





**42** **43** SANAA, Rolex Learning Center, Losanna, Svizzera, 2010.



## I MATERIALI SINTETICI E METALLICI NON FERROSI<sup>13</sup>

I metalli vengono classificati in base alle loro proprietà:

- pesanti (ad es. rame, piombo, zinco);
- leggeri (ad es. alluminio, magnesio, titanio), usati nelle leghe leggere;
- nobili (ad es. oro, argento, platino), usati in oreficeria e nelle applicazioni elettroniche;
- refrattari (ad es. tungsteno, cromo, vanadio), usati nelle leghe che devono resistere ad alte temperature;
- terre rare (ad es. lantanio, cerio, neodimio), usati per realizzare magneti;
- radioattivi (ad es. uranio, radio, plutonio), usati in medicina e per la produzione di energia elettrica nelle centrali nucleari;
- il rame e le sue leghe: il bronzo e l'ottone; il rame (simbolo Cu) presenta le seguenti caratteristiche: colore rosso salmone, alta conducibilità elettrica e termica, resistenza alla corrosione, adattabilità a formare leghe (ad es. bronzo, ottone). Si tratta di un metallo facilmente lavorabile e riciclabile. È stato, infatti, il primo metallo usato dopo l'Età della Pietra e si ottiene dai suoi minerali mediante frantumazione e fusione. In edilizia viene impiegato come conduttore per realizzare circuiti elettrici ed elettronici (ad es. cavi, avvolgimenti, circuiti stampati, contatti), negli impianti idraulici (ad es. tubature acqua e gas, scambiatori) e nella realizzazione di lattonerie grondaie e pluviali, coperture, decorazioni ecc. Inoltre, viene utilizzato in lega con altri elementi in molte altre applicazioni (rubinetteria, bulloneria ecc.). Le leghe più comuni del rame sono il bronzo (rame + stagno) e l'ottone (rame + zinco), poco usate in ambito elettronico;
- l'alluminio e le sue leghe leggere. L'alluminio (simbolo Al) presenta queste caratteristiche: è di colore bianco argento, ha buona conducibilità elettrica e termica, ha un basso peso specifico, è resistente alla corrosione ed è adatto a formare leghe. Viene comunemente utilizzato per formare leghe leggere e, in elettrotecnica, per realizzare i cavi di alta e media tensione che trasportano l'energia elettrica (dove la leggerezza porta a un minor costo delle linee);
- il magnesio e le sue leghe ultraleggere. Il magnesio è utilizzato per realizzare leghe ultraleggere;
- il cromo e il nichel. Per la loro resistenza alla corrosione e vengono utilizzati nelle leghe (ad es. acciaio inox) e per rivestire e proteggere altri metalli;

---

<sup>13</sup> Testo di Maurizio Bradaschia.



- lo stagno (simbolo Sn), che presenta le seguenti caratteristiche: è di colore bianco argento, ha una bassa temperatura di fusione ed è caratterizzato da un'alta lavorabilità. Viene comunemente usato come rivestimento del ferro nella latta e per collegare i componenti mediante saldatura;
- il piombo e le sue leghe. In campo elettrico viene utilizzato per realizzare le piastre degli accumulatori (ad es. batteria dell'auto);
- il titanio e le sue leghe. Il titanio è utilizzato per realizzare leghe ultraleggere. Particolarmente interessanti i rivestimenti in zinco titanio di molte grandi opere di architettura recenti (Museo Guggenheim di Bilbao ecc.);
- i materiali sinterizzati, prodotti polverizzando e compattando (senza fondere) materiali diversi. Si impiegano negli utensili, nei motori elettrici (spazzole) e per realizzare filtri e batterie.



**44** Daniel Libeskind, Vanke Pavilion EXPO 2015, Milano, 2015.





**45** **46** Frank O. Gehry, Museo Guggenheim, Bilbao, 1997.

## IL FERRO<sup>14</sup>

In edilizia il ferro è utilizzato, dal moderno in poi, in grande quantità, sia come elemento da costruzione singolo, per la realizzazione di travi e di altri elementi finalizzati alla realizzazione di opere architettoniche in ferro quali la Tour Eiffel, ma anche opere minori come i numerosissimi ponti e opere infrastrutturali, sia come elemento abbinato ad altri.



**47** Gangoly & Kristiner, Cultural Centre, Bad Radkersburg, Austria, 2009.

---

<sup>14</sup> Testo di Maurizio Bradaschia.





**48** Gustave Eiffel, Tour Eiffel, Parigi, 1889.



## L'ACCIAIO<sup>15</sup>

L'acciaio è una lega composta principalmente da ferro e carbonio, quest'ultimo in percentuale non superiore al 2,11%: oltre tale limite, le proprietà del materiale cambiano e la lega assume la denominazione di ghisa.

Il carbonio si presenta esclusivamente sotto forma di cementite o di carburo di ferro. In base al tasso di carbonio gli acciai si dividono in:

- extra dolci: carbonio compreso tra lo 0,05% e lo 0,15%;
- dolci: carbonio compreso tra lo 0,15% e lo 0,25%;
- semidolci: carbonio compreso tra lo 0,25% e lo 0,40%;
- semiduri: carbonio tra lo 0,40% e lo 0,60%;
- duri: carbonio tra lo 0,60% e lo 0,70%;
- durissimi: carbonio tra lo 0,70% e lo 0,80%;
- extraduri: carbonio tra lo 0,80% e lo 0,85%.

Gli acciai dolci sono i più comuni e i meno pregiati.



---

<sup>15</sup> Testo di Maurizio Bradaschia.



**49** **50** RCR Arquitectes, Soulages Museum, Rodez, 2014.





51 52 53 54 Coop Himmelb(l)au, BMW Welt, Monaco di Baviera, 2007.





**55** RCR Arquitectes, Crematorio Hofheide, Holsbeek, 2006.



**56** Bernard Khoury, B018, Beirut, Libano, 1998.



## IL CALCESTRUZZO ARMATO<sup>16</sup>

Il calcestruzzo armato o conglomerato cementizio armato (comunemente chiamato cemento armato) è un materiale usato per la costruzione di opere civili, costituito da calcestruzzo (una miscela di cemento, acqua, sabbia e aggregati, cioè elementi lapidei, come la ghiaia) e barre di acciaio (armatura) annegate al suo interno ed opportunamente sagomate ed interconnesse fra di loro.

È un materiale utilizzato sia per la realizzazione della struttura degli edifici (ossatura portante) sia per quella dei singoli manufatti come ad esempio i muri di sostegno dei terrapieni, o per la realizzazione di opere interamente costituite da pilastri, setti e solai, in assenza di orizzontamenti laterocementizi e/o di tamponamenti in altri tipi di materiali, come avviene generalmente per grandi complessi (è il caso del BMW Welt di Coop Himmelb(l)au a Monaco di Baviera), o degli edifici multipiano (grattacieli).

Come l'acciaio, anche il calcestruzzo armato può essere realizzato in stabilimento per produrre elementi prefabbricati, in genere travi e pilastri, ma è in uso anche la produzione di pannelli ed elementi con anche funzioni di tamponamento o decorative. La produzione in stabilimento permette di avere un miglior controllo sulla qualità del calcestruzzo, ma, essendo più costosa, viene utilizzata con regolarità quando le condizioni climatiche del cantiere sono proibitive (non a caso la prefabbricazione si è sviluppata moltissimo nel nord Europa), o quando gli elementi da produrre richiedono dei controlli rigorosi, come può essere il caso di alcune tecnologie con le quali viene realizzato il calcestruzzo armato precompresso, finalizzato alla copertura di luci di ampie dimensioni.

In cantiere, la tecnologia del calcestruzzo gettato in opera ha il vantaggio di creare meno problemi nei nodi tra gli elementi, cioè in quei punti in cui si uniscono travi e pilastri.

### IL CALCESTRUZZO ARMATO PRECOMPRESSO

La precompressione è una tecnica industriale che consiste nel produrre artificialmente una tensione nella struttura dei materiali da costruzione, in particolare nel calcestruzzo armato, al fine di migliorare le sue caratteristiche di resistenza meccanica.

---

<sup>16</sup> Testo di Maurizio Bradaschia.

Nel calcestruzzo armato precompresso (c.a.p.), la precompressione è finalizzata a sopperire alla scarsa resistenza a trazione del conglomerato cementizio ed è, dunque, utilizzata per sfruttare in modo più completo le resistenze dei materiali (a compressione del calcestruzzo ed a trazione dell'acciaio).

In un elemento realizzato in cemento armato, infatti, il calcestruzzo lavora solo a compressione mentre alle barre di armatura in acciaio viene affidato l'assorbimento degli sforzi di trazione.

Soprattutto negli elementi inflessi come le travi dove la zona compressa è piuttosto ridotta (circa 1/3 della sezione complessiva) dato che l'asse neutro non risulta baricentrico. Questo comporta uno spreco di materiale oltre all'inutile appesantimento della trave stessa.

L'idea si basa sul sottoporre il calcestruzzo ad una compressione in tutte quelle parti in cui i carichi esterni produrranno trazioni; in tal modo questi avranno l'effetto di attenuare le compressioni inizialmente conferite.

Si raggiunge così lo scopo di avere tutta la sezione di calcestruzzo sottoposta a compressione. Il materiale viene sfruttato integralmente nelle sua capacità di resistenza consentendo di realizzare travi molto più piccole e leggere per ottenere lo stesso risultato.





**57** **58** Eduardo Souto de Moura, Museu Paula Rego, Cascais, Portugal, 2008.

## IL VETRO<sup>17</sup>

*Nelle aperture delle mie case il vetro occupa il posto che la pietra preziosa assume tra gli altri materiali [...]. Il supermateriale vetro, come lo utilizziamo ora, è una meraviglia. Aria nell'aria, per bloccare l'aria o mantenerla all'interno. Luce nella luce, per diffondere o deviare la luce.*

Frank Lloyd Wright

Il vetro è un solido amorfo che non possiede un reticolo cristallino ordinato: si ottiene dalla solidificazione di un liquido a cui non segue la cristallizzazione. Il vetro principalmente utilizzato è detto anche "vetro siliceo", in quanto costituito quasi esclusivamente da biossido di silicio SiO<sub>2</sub>, il cui punto di fusione è di circa 1800°C: una pasta omogenea costituita da silice, sodio e calcio (nel caso delle lastre piane per l'edilizia) che portata ad una temperatura di circa 1500°C si trasforma in massa vetrosa fusa per le successive fasi di lavorazione al fine di ricavare i differenti prodotti vetrari disponibili sul mercato. Spesso, durante la sua produzione, vengono aggiunte altre sostanze (dette "fondenti") al fine di ridurre il punto di fusione anche al disotto dei 1000°C e migliorarne la sua fluidità (ossidi di sodio e potassio).

I fondenti possono essere di diversi tipi, a secondo delle caratteristiche:

- stabilizzanti (migliorano le proprietà chimiche e meccaniche del vetro prodotto);
- affinantanti (agevolano l'eliminazione di difetti);
- coloranti (modificano l'aspetto cromatico del vetro prodotto);
- decoloranti (neutralizzano il colore impartito da altre sostanze);
- opacizzanti (per la produzione del vetro opalino).

In particolare, nel settore delle costruzioni e in edilizia<sup>18</sup>, viene utilizzato il vetro

---

<sup>17</sup> Testo di Massimiliano Modena.

<sup>18</sup> Norme che regolano il vetro piano in edilizia.

Prodotti di base – Vetro per edilizia:

- UNI EN 572-1 Definizioni e proprietà generali fisiche e meccaniche;
- UNI EN 572-2 Vetro Float;
- UNI EN 572-3 Vetro lustro armato;
- UNI EN 572-4 Vetro tirato;
- UNI EN 572-5 Vetro stampato;
- UNI EN 572-6 Vetro stampato armato;
- UNI EN 572-7 Vetro profilato armato e non armato;
- UNI EN 572-8 Forniture in dimensioni fisse;
- UNI EN 572-9 Valutazione della conformità / Norma di prodotto.

Specchi:

- UNI EN 1036 Specchi di vetro float argentato per uso in interni.

Coatings / Rivestimenti:

- UNI EN 1096-1 Definizioni e classificazione;
- UNI EN 1096-2 Requisiti e metodi di prova per rivestimenti di classe A, B ed S;



- UNI EN 1096-3 Requisiti e metodi di prova per rivestimenti di classe C e D;
- UNI EN 1096-4 Valutazione della conformità / Norma di prodotto.

#### Vetri stratificati:

- UNI EN ISO 12543-1 Vetro stratificato e vetro stratificato di sicurezza. Definizioni e descrizione delle parti componenti;
- UNI EN ISO 12543-2 Vetro stratificato e vetro stratificato di sicurezza. Vetro stratificato di sicurezza;
- UNI EN ISO 12543-3 Vetro stratificato e vetro stratificato di sicurezza. Vetro stratificato;
- UNI EN ISO 12543-4 Vetro stratificato e vetro stratificato di sicurezza. Metodi di prova per la curabilità;
- UNI EN ISO 12543-5 Vetro stratificato e vetro stratificato di sicurezza. Dimensioni e finitura dei bordi;
- UNI EN ISO 12543-6 Vetro stratificato e vetro stratificato di sicurezza. Aspetto;
- UNI EN 1863-1 Vetro per edilizia indurito termicamente. Definizione e descrizione;
- UNI EN 1863-2 Vetro per edilizia indurito termicamente. Valutazione della conformità / Norma di prodotto;
- UNI EN 12150-1 Vetro per edilizia temperato termicamente. Definizione e descrizione;
- UNI EN 12150-2 Vetro per edilizia temperato termicamente. Valutazione di conformità / Norma di prodotto.

#### HST Vetri trattati termicamente:

- UNI EN 14179-1:2005 Vetro per edilizia - Vetro di sicurezza di silicato sodio calcico temprato termicamente e sottoposto a "heat soak test" - Parte 1: Definizione e descrizione;
- UNI EN 14179-2:2005 Vetro per edilizia - Vetro di sicurezza di silicato sodio calcico temprato termicamente e sottoposto a "heat soak test" - Parte 2: Valutazione della conformità/Norma di prodotto.

#### Vetri trattati chimicamente:

- UNI EN 12337-1 Vetro per edilizia indurito chimicamente. Descrizione e definizione;
- UNI EN 12337-2 Vetro per edilizia indurito chimicamente. Valutazione della conformità / Norma di prodotto.

#### Vetrate isolanti:

- UNI EN 1279-1 Generalità, tolleranze dimensionali e regole per la descrizione del sistema;
- UNI EN 1279-2 Metodo per la prova di invecchiamento e requisiti per la penetrazione del vapore d'acqua;
- UNI EN 1279-3 Prove d'invecchiamento e requisiti per la velocità di perdita di gas e per le tolleranze di concentrazione del gas;
- UNI EN 1279-4 Metodo di prova per le proprietà fisiche delle sigillature del bordo;
- UNI EN 1279-6 Controllo della produzione in fabbrica e prove periodiche.

#### Vetrate isolanti strutturali:

- UNI EN 13022-2:2006 Vetro per edilizia - Vetrate strutturali sigillate - Parte 2: Regole di posa;
- UNI EN 13022-1:2006 Vetro per edilizia - Vetrate strutturali sigillate - Parte 1: Prodotti vetrari per sistemi di vetrate strutturali sigillate per vetrate monolitiche supportate e non e vetrate multiple.

#### Sicurezza:

- UNI EN 356 Vetro di sicurezza. Prove e classificazione contro l'attacco manuale;
- UNI EN 1063 Vetrate di sicurezza. Classificazione e prove di resistenza ai proiettili;
- UNI EN 12600 Prova del pendolo. Metodo della prova di impatto e classificazione per vetro piano;
- UNI EN 13541 Vetro di sicurezza. Prove e classificazione della resistenza alla pressione causata da esplosioni.

#### Varie:

- UNI 6534-74 Vetrazioni in opere edilizie. Progettazione, materiali e posa in opera;
- UNI 7143-72 Vetri piani. Spessore dei vetri piani per detrazioni in funzione delle loro dimensioni, dell'azione del vento e del carico neve;
- UNI 7697/07 Criteri di sicurezza nelle applicazioni vetrarie;
- UNI EN 12758 Vetrazioni e isolamento acustico per via aerea. Descrizioni del prodotto e determinazione delle proprietà;
- UNI EN 12898 Determinazione dell'emissività;
- UNI EN 673 Determinazione della trasmittanza termica (valore U).

#### Metodo di calcolo:

- UNI EN 674 Determinazione della trasmittanza termica (valore U). Metodo della piastra calda con anello di guardia;
- UNI EN 675 Determinazione della trasmittanza termica (valore U). Metodo dei termoflussimetri;
- UNI EN 1288-1 Determinazione della resistenza a flessione del vetro. Principi fondamentali delle prove sul vetro;
- UNI EN 1288-2 Determinazione della resistenza a flessione del vetro. Prova con doppi anelli concentrici su provini piani su grandi superfici sollecitate;
- UNI EN 1288-3 Determinazione della resistenza a flessione del vetro. Prova con provino supportato su due punti (flessione in quattro punti);
- UNI EN 1288-4 Determinazione della resistenza a flessione del vetro. Prova su vetro profilato;
- UNI EN 1288-5 Determinazione della resistenza a flessione del vetro. Prova con doppi anelli concentrici su provini piani su piccole superfici sollecitate;
- UNI EN 410 Determinazione delle caratteristiche luminose e solari delle vetrate.

silico-sodo-calcico che presenta la seguente composizione<sup>19</sup>:

- un vetrificante, la silice (SiO<sub>2</sub>), introdotta sotto forma di sabbia (dal 70 al 72%);
- un fondente, la soda (Na<sub>2</sub>O), sotto forma di carbonato o di solfato (14% circa);
- uno stabilizzante, la calce (CaO), sotto forma di calcare (10% circa);
- vari altri ossidi, come l'allumina e il magnesio che servono a migliorare le proprietà fisiche del vetro, in particolare la resistenza all'azione degli agenti atmosferici.

Le principali caratteristiche del vetro possono essere così sommariamente riassunte: trasparenza, inerzia dal punto di vista chimico e biologico, compattezza e omogeneità strutturale, impermeabilità ai liquidi, ai gas, ai vapori e ai microrganismi, inalterabilità nel tempo, sterilizzabilità e perfetta compatibilità ecologica per la possibilità di riciclo e riutilizzo per un numero "illimitato" di volte. Queste caratteristiche ne fanno un materiale duttile, ma allo stesso tempo fragile e pericoloso.

## PARAMETRI MECCANICI E TERMICI DEL VETRO

Il vetro è caratterizzato da un comportamento elastico fino al raggiungimento della rottura. Il vetro collassa a partire dai punti più sollecitati o nei punti critici (dove sono presenti difetti o piccole rotture, generalmente bordi e spigoli), da cui potrebbero innescarsi le rotture. La sua fragilità ne condiziona anche l'utilizzo, risulta dunque necessaria una piena conoscenza dei parametri che lo caratterizzano.

Nella tabella seguente sono richiamati i principali parametri meccanici e termici indicati dalla UNI EN 572-1.

PROPRIETÀ	SIMBOLO	UNITÀ DI MISURA	VALORE
Densità (a 18°)	$\rho$	[kg/m <sup>3</sup> ]	2500
Durezza (knopp)	HK <sub>0,1/20</sub>	[Gpa]	6
Modulo di elasticità (Modulo di Young)	E	[MPa]	70000
Coefficiente di Poisson	$\mu$	[-]	0,2
Resistenza a flessione caratteristica	F <sub>g,k</sub>	[MPa]	45
Capacità termica specifica	C	[J/(kg/K)]	720
Coefficiente medio di espansione lineare tra 20°C e 300°C	$\alpha$	[1/K]	9×10 <sup>-6</sup>
Resistenza contro il differenziale di temperatura e la variazione improvvisa di temperatura		[K]	40
Conducibilità termica	$\lambda$	[W/(mK)]	1
Indice di rifrazione medio alle radiazioni visibili [da 380 nm a 780 nm]	N	[-]	1,5
Emissività	$\epsilon$	[-]	0,837

<sup>19</sup> <<http://it.saint-gobain-glass.com/Proprieta-del-vetro-e-sua-fabbricazione>>.

Il vetro solido segue quindi perfettamente la legge di Hooke: la deformazione è proporzionale alla tensione fino al punto in cui si produce la rottura. Questa, per corpi dimensionalmente paragonabili al normale impiego nelle costruzioni, avviene repentinamente senza essere preceduta da una fase di deformazione plastica, comportando una rottura di tipo fragile. Il meccanismo fisico causa della fragilità del vetro viene identificato (Griffith, 1920) con la presenza di difetti o microfessure sulla superficie, risultanti direttamente dai processi di produzione o da successive manipolazioni, che agiscono da concentratori degli sforzi. La notevole differenza fra resistenza teorica del vetro (10000 N/mm<sup>2</sup>) e valori ricavati sperimentalmente (40 – 100 N/mm<sup>2</sup>) è quindi da imputarsi principalmente alla presenza di difetti superficiali che innescano un meccanismo di rottura fragile. A sua volta, la presenza dei difetti risulta funzione delle dimensioni del corpo (minore è la superficie esposta, maggiore sarà la resistenza). In seguito a prove sperimentali, inoltre, è stata certificata una notevole resistenza a compressione delle lastre in vetro (che non risente evidentemente della presenza di microfratture superficiali, attorno a 10.000 daN/cm<sup>2</sup>) ed una scarsa resistenza a trazione (indicativamente 300-400 daN/cm<sup>2</sup>).

			a compressione	a trazione		
				vetro float	vetro temperato	
Tensione di rottura	$\sigma_R$	daN/cm <sup>2</sup>	10	300-400	1200-2000	
Tensione ammissibile	$\sigma_{AMM}$	daN/cm <sup>2</sup>		160	500	lastra verticale
				100	300	lastra orizzontale
				60	200	carichi permanenti

**Normativa di prodotto:** UNI 7143 «Vetri piani – Spessore dei vetri piani per vetrature in funzione delle loro dimensioni, dell'azione del vento e del carico neve».

### LAVORAZIONE DEL VETRO

Le principali lavorazioni alle quali viene sottoposta la massa vetrosa variano notevolmente a seconda del tipo di prodotto e possono essere così riassunte: modellazione, soffiatura, stampaggio e filatura. In particolare, per quanto riguarda la realizzazione del vetro in lastre normalmente utilizzato in edilizia, l'antica tecnica della soffiatura seguita dall'appiattimento è andata sostituita dalla tiratura, dalla laminazione e dalla tecnica del vetro "float".

## LASTRE TIRATE

Attualmente risultano scarsamente utilizzate per la frequente presenza di imperfezioni e della ridotta qualità ottica. Vengono ottenute tirando la massa vetrosa verticalmente tra piccoli rulli.

## LASTRE LAMINATE

Queste lastre vengono ottenute facendo passare la massa vetrosa attraverso un laminatoio a rulli. Il loro aspetto finale può ricondursi a quello di un vetro stampato.

## LASTRE "FLOAT"

La particolarità di questa lavorazione consiste nel garantire al vetro ottime qualità ottiche senza il bisogno di alcuna lucidatura superficiale. Le lastre "float" sono il risultato di un processo continuo di trasformazione e lavorazione della massa vetrosa, costituita da materie prime e da rottami di vetro provenienti da riciclo (per una percentuale del 20-25%). L'impasto, raggiunta la giusta fluidità, viene spinto in continuo nella camera di galleggiamento dove, in atmosfera controllata, si dispone sopra un letto di stagno fuso, garantendo la perfetta planarità della superficie di contatto tra vetro e metallo. La lastra così ottenuta (spessore può variare tra 0,40 e 25 mm) viene trasportata attraverso una serie di rulli alla camera di ricottura ad una temperatura di circa 600°C permettendo così una variazione controllata delle sue tensioni interne per la successiva fasi di taglio secondo le dimensioni richieste.

## **PRODOTTI DI LAVORAZIONE DEL VETRO**

I prodotti ottenuti dalla lavorazione della massa vetrosa si possono suddividere principalmente in:

- vetri temprati o temperati;
- vetri accoppiati o stratificati;
- vetri blindati;
- vetri isolanti;
- vetri strutturali.

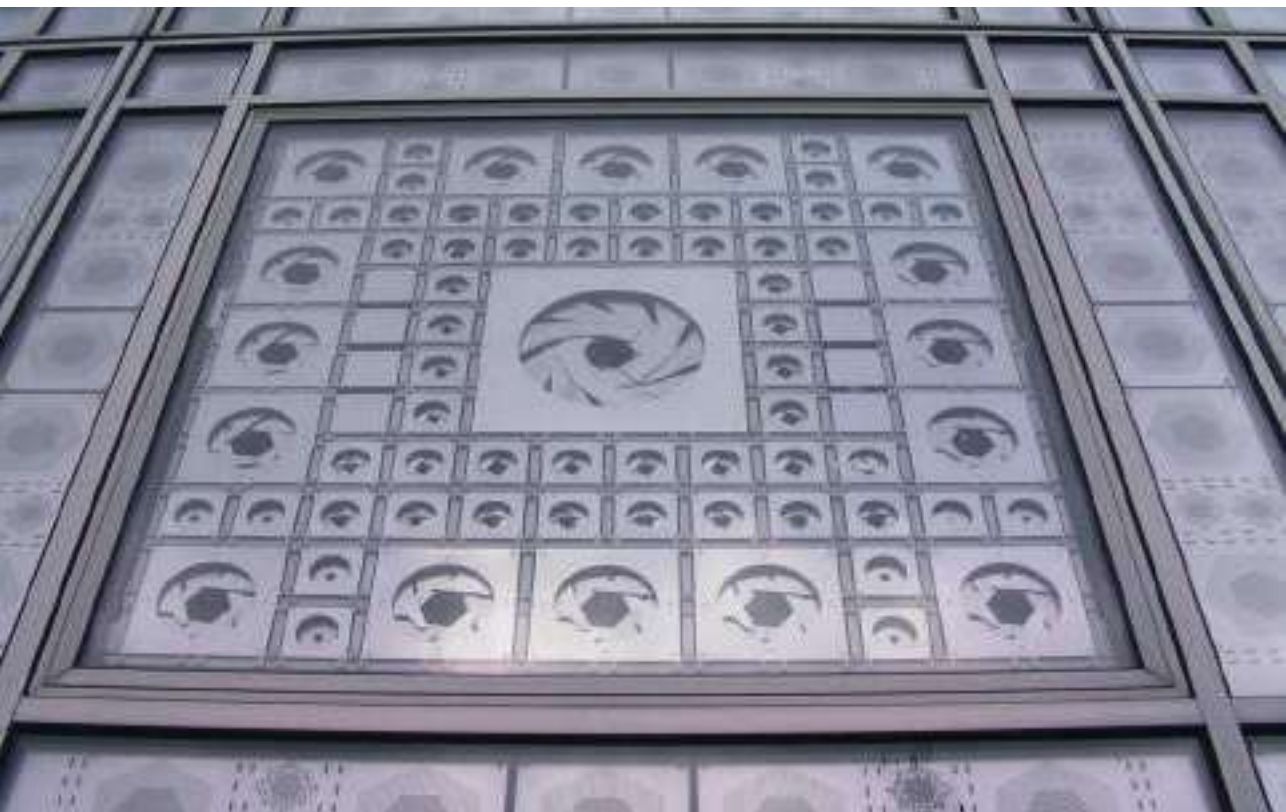
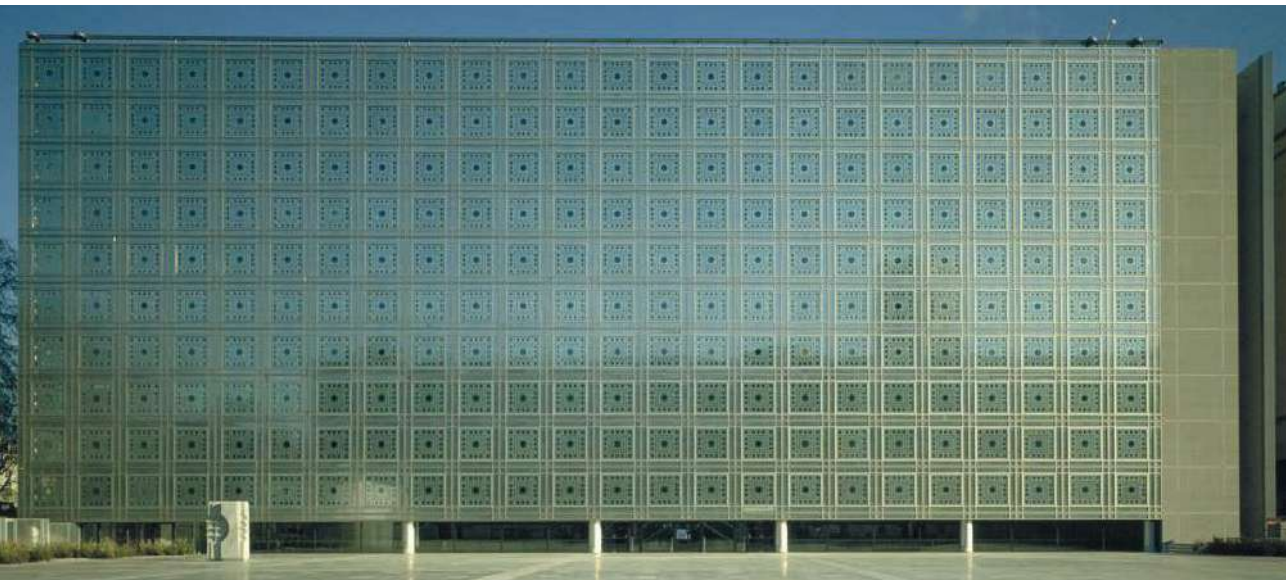




**59** Walter Gropius, Officine Fagus AEG, Alfeld (Leine), 1911.



**60** Massimiliano e Doriana Fuksas, Nardini Centro ricerche e Auditorium, Bassano del Grappa, 2002-2004.



61 62 Jean Nouvel, Istituto del Mondo Arabo (Institut du Monde Arabe), Parigi, 1987.





**63** **64** Jean Nouvel, Fondazione Cartier per l'arte contemporanea, Parigi, 1994.







65 66 MVRDV, Sede temporanea Boutique Chanel, Amsterdam, 2016.





67 68 Peter Cook, Kunsthaus, Graz, 2003.



**69** **70** Barozzi/Veiga, Philharmonic Hall, Szczecin, Polonia, 2014.

## VETRI TEMPRATI O TEMPERATI

Rientrano fra i vetri per l'edilizia i vetri temprati o temperati ottenuti tramite tempra, un trattamento termico in grado di conferire al vetro particolari caratteristiche di resistenza agli urti, agli shock termici e alla flessione.



**71** Vetro temprato.

Per questo motivo, il vetro temperato viene utilizzato in edilizia nei contesti in cui è necessario garantire sicurezza e, in particolare, dove si richiedono capacità di sopportare le sollecitazioni termiche; non è, tuttavia, idoneo come vetro anti-caduta. La sua robustezza fa del vetro temperato un materiale strutturale perfetto per realizzare elementi architettonici privi di struttura portante, come porte, separé, box doccia e “parapetti-realizzati” in solo vetro, oltre che per applicazioni nell’industria automobilistica.

## VETRI ACCOPPIATI O STRATIFICATI

I vetri accoppiati o stratificati vengono invece realizzati accoppiando due o più lastre di vetro con un foglio di adesivo plastico (PVB o polivinilbutirrale), che conferisce solidità alla lastra anche in caso di rottura, evitando la dispersione di schegge. Inoltre, il vetro stratificato presenta capacità di isolamento termico e acustico ed è usato anche per scopi estetici.

Questo vetro è particolarmente idoneo per l’edilizia residenziale, commerciale e industriale: è usato per la realizzazione delle vetrine di negozi, di finestre e serramenti antisfondamento, di porte blindate e di sportelli postali e bancari.

I cristalli stratificati sono impiegati in tutte le situazioni in cui un’eventuale caduta o rottura della lastra può causare danni a cose o persone e in tutte le situazioni

in cui è richiesta un'elevata protezione contro atti vandalici, tentativi di intrusione e sfondamento. A seconda del grado di protezione richiesto, è possibile ottenere vetri antinfortunistici, antintrusione, antisfondamento e persino antiproiettile.



**72** Vetro stratificato.

#### VETRI BLINDATI

I vetri blindati sono vetri di sicurezza di classe superiore, composti dall'accoppiamento di almeno tre lastre di vetro e due fogli di PVB adesivo e trasparente.



**73** Vetro blindato.



Tali vetri sono installati in ambienti residenziali o lavorativi, luoghi di lavoro o edifici pubblici, attività commerciali, negozi, musei, locali pubblici, banche o palazzetti sportivi, per la realizzazione di teche e vetrine, parapetti, finestre, porte blindate e vetrate a tutta altezza.

I cristalli blindati sono in grado di aumentare il grado di sicurezza attiva (la capacità del vetro di impedire intrusioni indesiderate) e la sicurezza passiva (in caso di rottura, i cristalli blindati non causano danni a cose o persone).

## VETRI ISOLANTI

È considerato vetro per edilizia anche il vetro isolante, vantaggioso sia dal punto di vista economico che da quello ecologico. Al fine di migliorare principalmente le prestazioni di isolamento termico (ma contemporaneamente quelle acustiche) due o più superfici di vetro possono essere assemblate in unità sigillate ermeticamente sul perimetro che comprendano al loro interno una camera contenente gas inerti (aria, argon, kripton ecc.) con spessore variabile generalmente fra 9 e 16 mm. I vetri utilizzati per l'assemblaggio (vetrocamera) possono essere combinati in diverse soluzioni a seconda delle esigenze di comfort termico richieste (vetro camera composto da vetri basso emissivi, riflettenti, a controllo solare, selettivi).



**74** Valori indicativi di trasmittanza termica di differenti superfici vetrate.

Le principali azioni di controllo dei flussi energetici fra ambiente esterno ed ambiente interno vengono esercitate sulla quantità di radiazione luminosa entrante (irraggiamento solare), misurata principalmente dal fattore solare  $FS^{20}$  e sulla dispersione energetica verso l'esterno, misurata dalla trasmittanza termica  $U$ . La funzione di controllo del Fattore Solare tende a ridurre la quantità di energia termica passante attraverso la superficie vetrata e può essere ottenuta sia aumentandone l'opacità (vetro colorato in pasta), sia attraverso la deposizione di un coating di ossidi metallici che rifletta verso l'esterno una maggiore quantità di energia incidente.

La caratteristica principale dei vetri selettivi è quella di trasmettere perfettamente la radiazione luminosa e di respingere invece la radiazione infrarossa, soprattutto quella a lunghezza d'onda più bassa responsabile della trasmissione del calore, contribuendo quindi a evitare il surriscaldamento degli ambienti interni soprattutto nel periodo estivo. Tuttavia, l'esigenza di evitare una dispersione del calore dagli ambienti interni verso l'esterno in particolare nella stagione invernale, suggerisce l'utilizzo di vetri basso emissivi che, come i precedenti, consentono il transito della radiazione luminosa ma evitano quella infrarossa (in questo caso quella a frequenza d'onda maggiore), limitando la dispersione del calore interno verso l'ambiente esterno. La differenza tra le due tipologie è dovuta principalmente al lato in cui viene applicato il rivestimento, oltre che alla tecnica con cui viene realizzato e alla sua composizione chimica: per la produzione di vetri basso emissivi viene normalmente utilizzato il procedimento elettromagnetico in quanto non particolarmente resistenti agli agenti atmosferici, mentre per quelli selettivi è da preferire quello pirolitico che non risente di questo tipo di esposizione e usura. In particolare, il vetro magnetronico<sup>21</sup> (*soft coating*) è ottenuto a seguito del deposito di un sottilissimo strato di metallo nobile sulla lastra di vetro, in una fase successiva alla produzione della lastra mediante reazione anodo-catodo eseguita in autoclave e trova impiego sia nella realizzazione di semplici finestre che nei più moderni e complessi sistemi di facciate, seppur utilizzato esclusivamente come assemblato in vetrata isolante. Il rivestimento pirolitico (*Hard Coating*), invece, è un trattamento di deposizione di metalli che avviene durante la manifattura stessa del vetro, mediante fusione (pirolisi), e garantisce una miglior resistenza in fase di stoccaggio e ad eventuali graffi in fase di movimentazione, senza necessitare di vetri di copertura<sup>22</sup>.

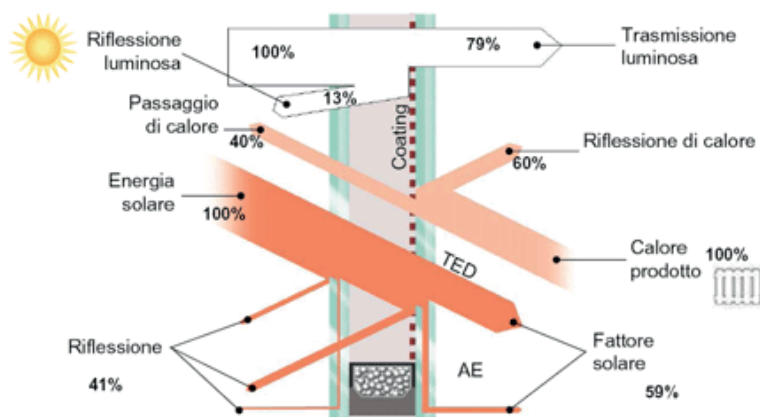
---

20 Rapporto % fra l'energia solare trasmessa all'interno e l'energia solare incidente.

21 Un coating magnetronico per la sua particolare produzione non è molto resistente agli agenti atmosferici e deve necessariamente esser posto all'interno di un vetro camera.

22 Un coating pirolitico può essere utilizzato oltre che stratificato e in vetrata isolante (vetro camera) anche come vetro monolitico indipendente.

Le vetrate basso emissive, come detto, essendo particolarmente indicate per la stagione invernale (o le facciate esposte a Nord) vanno impiegate in quelle zone climatiche in cui la problematica più pressante è quella dell'isolamento termico dal freddo e dove in estate, di contro, non si registrano particolari disagi. Si tratta di superfici che trattengono in maniera ottimale il calore prodotto dall'impianto di riscaldamento evitando inutili dispersioni mentre nei mesi estivi, non essendo in grado di opporsi all'ingresso del calore sotto forma di irraggiamento contribuiscono ad aumentare l'effetto serra a causa del trattenimento del calore interno riflesso con un inevitabile surriscaldamento dei locali interni. Superfici di questo tipo, durante le giornate più fredde, sono in grado di limitare (se non di annullare del tutto) la possibilità di formazione di condensa e di ridurre l'effetto della "parete fredda"<sup>23</sup>.



**75** Caratteristiche energetiche indicative di un vetro isolante basso emissivo.

Un'altra tipologia di vetri isolanti sempre più presente nel panorama dell'architettura contemporanea sono sicuramente i vetri riflettenti o a controllo solare,

<sup>23</sup> Il cosiddetto effetto della "parete fredda" è associabile a quella sensazione di freddo che si prova quando, in prossimità di una superficie vetrata molto ampia, la temperatura risulta più bassa della temperatura ambiente, generando dei moti convettivi di aria percepibili all'utente che si trova nelle vicinanze del serramento. Il corpo umano infatti scambia calore con l'ambiente per irraggiamento ed è proprio in virtù di questo che è possibile provare questa sensazione di freddo nelle vicinanze di una parete a bassa temperatura, anche se ci si trova in una stanza in cui la temperatura è confortevole. Questo cosiddetto effetto della "parete fredda" durante il periodo invernale può essere ridotto abbassando il valore di trasmittanza della vetrata  $U_g$ . Così facendo sarà inoltre possibile ridurre i rischi di formazione di condensa superficiale sui vetri del serramento.

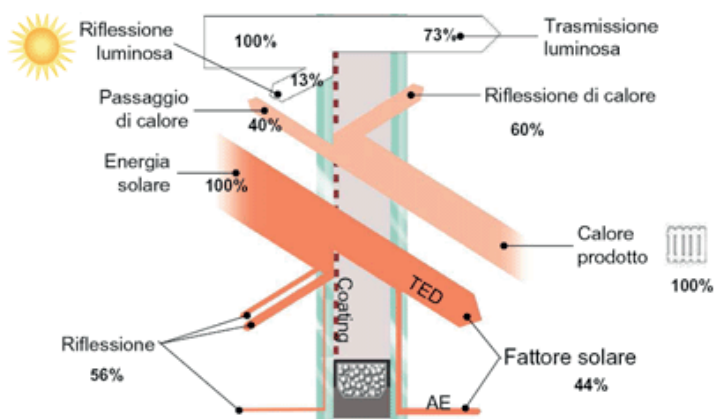
una particolare tipologia di vetro in grado di riflettere buona parte della radiazione solare incidente al fine di garantire un buon isolamento termico e soprattutto una riduzione della luminosità interna; proprio per queste loro caratteristiche sono prodotti particolarmente adatti ad essere applicati su grandi superfici vetrate continue, o semplicemente nei casi di esposizioni particolarmente sfavorevoli all'interno di locali nei quali si viene a creare un eccessivo abbagliamento e/o surriscaldamento. Un'evoluzione ulteriore di questi vetri sono i cosiddetti vetri "a controllo solare": vetri float rivestiti da sottili multistrati metallici o dielettrici che attraverso fenomeni di interferenza ottica selezionano la radiazione visibile schermando la componente ultravioletta. Anche questi vetri normalmente assumono una colorazione particolare ed un superficiale aspetto a specchio.



**76** 5+1AA, Nuovo headquarter BNL/BNP Paribas, Roma, 2012-2017.



Infine, i vetri selettivi (con prestazioni intermedie rispetto a quelli riflettenti e a quelli basso emissivi poiché consentono un buon passaggio del flusso luminoso, ma al contempo limitano gli apporti energetici provenienti dalla radiazione solare) sono particolarmente indicati per aree climatiche caratterizzate da condizioni climatiche variabili, sia in inverno che in estate (tipiche di molte zone del nostro Paese). Durante la stagione invernale infatti una vetrata selettiva è in grado di trattenere il calore generato all'interno dei locali e al contempo di limitare gli apporti solari gratuiti provenienti dall'esterno per irraggiamento, senza pregiudicare in alcun modo il comfort ambientale interno. Nel periodo estivo questa stessa sua caratteristica diventa essenziale riuscendo a minimizzare l'effetto serra che altrimenti si verrebbe a creare a causa del trattenimento del calore interno riflesso.



**77** Caratteristiche energetiche indicative di un vetro isolante selettivo.

## VETRI STRUTTURALI

Questa tipologia di vetro permette di realizzare strutture di grandi dimensioni senza dover ricorrere a complesse intelaiature.

È possibile realizzare sia i rivestimenti esterni di facciate anche molto grandi, sia vetrate per la separazione di ambienti interni nell'ambito dell'edilizia residenziale, industriale o commerciale.

## LE MATERIE PLASTICHE<sup>24</sup>

I materiali polimerici, detti anche materie plastiche o resine sintetiche, sono sostanze plasmabili<sup>25</sup> formate da molecole organiche molto grandi, macromolecole, derivanti dall'unione, mediante legami chimici, di piccole unità chiamate monomeri. Queste unità possono essere di una o più specie: alcune di queste sostanze sono naturali, altre semi sintetiche, ovvero sostanze naturali sottoposte ad azioni chimiche; altre ancora sono sintetiche, derivate dal petrolio e dal carbone, quindi di origine fossile e si basano sulla chimica del carbonio e sulla sua capacità di formare catene legate in forme diverse (polimeri).

Sono caratterizzati da basso peso specifico, da notevole inerzia chimica, in molti casi da modesto carico di snervamento e da grande allungamento a rottura; hanno come limite per le applicazioni una scarsa resistenza alle alte temperature.

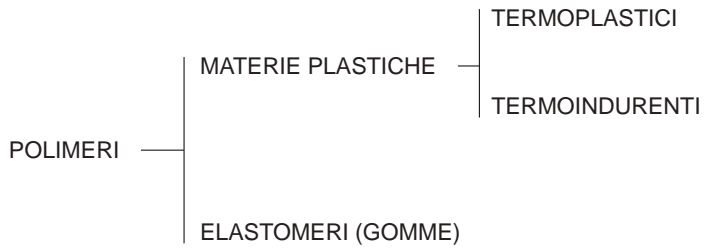
Secondo una classificazione di tipo fisico-chimica si distinguono materie plastiche con proprietà plastiche, propriamente dette termoplastiche o termoindurenti, e materie plastiche con proprietà prettamente elastiche. In base all'origine e ai metodi di preparazione si distinguono in naturali, cioè derivate da sostanze naturali già a struttura macromolecolare, e sintetiche, ottenute per poliaddizione o per policondensazione.

---

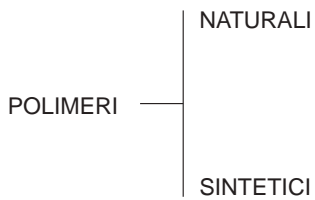
<sup>24</sup> Testo di Massimiliano Modena.

<sup>25</sup> Modificano il loro aspetto e consistenza se sottoposte a determinate variazioni di temperatura.

## CLASSIFICAZIONE IN BASE ALLE **PROPRIETÀ**



## CLASSIFICAZIONE IN BASE ALLA **DERIVAZIONE**



Nei polimeri termoplastici, l'azione di riscaldamento provoca forti decrementi di viscosità, pur conservando la proprietà di scorrere a temperature elevate per un tempo relativamente lungo; cessata l'azione del calore, per raffreddamento al di sotto del punto di rammollimento, questi riacquistano lo stato rigido e conservano la forma impartita. La trasformazione dei termoplastici può considerarsi reversibile anche se, di fatto, esiste sempre un parziale degrado che ne limita il numero di cicli. Nell'altro caso, i polimeri termoindurenti, in opportune condizioni di temperatura e/o in presenza di particolari sostanze, si trasformano in materiali rigidi, insolubili e infusibili. Questa trasformazione si verifica in seguito a reazioni di reticolazione, curing<sup>26</sup>, che avvengono fra le catene polimeriche con formazione di legami forti (covalenti o ionici). Alcuni polimeri termoindurenti vengono reticolati per mezzo del solo calore oppure attraverso combinazioni di pressione e calore, mentre altri possono essere reticolati attraverso reazioni chimiche a temperatura ambiente (reticolazione a freddo). Tali polimeri sono difficilmente riciclabili in quanto i nuovi legami formati a seguito delle operazioni di reticolazione sono definitivi: se riscaldati, a seguito del loro indurimento infatti, non ritornano più a rammollire, ma si decompongono carbonizzandosi. Infine, gli elastomeri, sostanze che, per effetto di sollecitazioni, modificano le proprie dimensioni per riacquistarle rapidamente al cessare di una sollecitazione. Sono costituiti inizialmente da lunghe catene polimeriche nelle quali esistono legami dotati di libertà di rotazione che conferiscono flessibilità alle catene; tra queste non si esercitano interazioni significative e il materiale da esse costituito è allo stato amorfo. Tale condizione di plasticità viene successivamente modificata attraverso il processo di vulcanizzazione<sup>27</sup> nel corso del quale si creano legami trasversali tra le macromolecole (reticolazione). Sollecitate a trazione, ad esempio, le molecole si srotolano disponendosi per alcuni tratti parallele le une alle altre e assumendo una disposizione relativamente ordinata; terminata la sollecitazione, ritornano rapidamente allo stato di massimo disordine facendo riacquistare la lunghezza originaria al materiale plastico.

---

26 Processo tramite il quale le catene polimeriche vanno incontro a una reazione che crea legami fra diverse catene a livello di gruppi funzionali reattivi.

27 Così l'enciclopedia Treccani definisce il processo di vulcanizzazione: operazione mediante la quale la gomma naturale perde le proprie caratteristiche essenzialmente plastiche per acquistare quelle di un materiale essenzialmente elastico e poco rigonfiabile a contatto di solventi organici. Il termine è stato usato originariamente per indicare il processo di riscaldamento della gomma con zolfo, ma oggi in senso più lato comprende ogni reazione chimica che produca effetti analoghi, non solo sulla gomma naturale, ma anche su quelle sintetiche o su qualunque altro materiale. In termini di resistenza e proprietà fisiche, il processo di vulcanizzazione aumenta il modulo elastico, la durezza, la resistenza a trazione e ad abrasione del materiale, mentre diminuisce il suo allungamento a rottura.



Ai fini applicativi, le proprietà e le caratteristiche più importanti da considerare per il tipo di applicazione delle materie plastiche, in particolar modo nel campo dell'edilizia, sono la combustibilità (il comportamento al fuoco), la resistenza meccanica, la dilatazione termica, la resistenza agli agenti chimici e atmosferici, la trasparenza e la conducibilità termica.

#### CARATTERISTICHE MECCANICHE E TECNICHE

In linea di principio le caratteristiche meccaniche e tecniche delle materie plastiche variano in relazione alla differenza tra termoindurenti e termoplastiche: nelle termoindurenti la resistenza meccanica e le caratteristiche tecniche di rigidità e fragilità sono tanto maggiori quanto più fitta è la reticolazione, mentre in quelle termoplastiche le caratteristiche meccaniche e le caratteristiche tecniche di rigidità variano con la temperatura e sono suscettibili di scorrimento sotto l'azione di sforzi applicati.

#### RESISTENZA MECCANICA

Le proprietà meccaniche delle materie plastiche non sono confrontabili con quelle della maggior parte dei materiali da costruzione, in quanto i valori dei moduli di elasticità sono sempre molto bassi. Inoltre, alcuni fattori hanno una forte influenza sul comportamento del materiale, come, per esempio, la temperatura e il tempo: aumentando la temperatura diminuisce sensibilmente la resistenza a trazione delle plastiche, mentre si riduce drasticamente nel caso di applicazioni dei carichi per lungo tempo.

#### COMBUSTIBILITÀ

In caso di incendio alcuni polimeri non propagano la fiamma ma si deteriorano anche a basse temperature, mentre altri si infiammano facilmente; una caratteristica questa da valutare attentamente quando si vogliono impiegare polimeri nei rivestimenti edilizi e negli arredi. Oltre all'infiammabilità, sono da considerare altri fattori, quali la propagazione di gas tossici, la produzione di fumi densi e la formazione di prodotti che possono deteriorare altri materiali. L'infiammabilità delle materie plastiche può comunque essere attenuata da adeguati mezzi di protezione.

#### DILATAZIONE TERMICA

Gran parte delle materie plastiche ha un coefficiente di dilatazione termica maggiore di quello dei metalli. Di conseguenza, nei casi di impieghi delle plastiche in ambienti con variazioni sensibili e frequenti di temperatura, è necessario mettere

in atto determinati accorgimenti tecnici, come ad esempio i giunti di dilatazione, per far fronte agli allungamenti delle resine.

#### RESISTENZA AGLI AGENTI CHIMICI E ATMOSFERICI

La resistenza alle aggressioni chimiche delle materie plastiche è in genere buona; il cloruro di polivinile, il PTFE e la sua variante, l'ETFE, il polietilene e il polipropilene risultano particolarmente resistenti all'attacco di acidi e di alcali. Tutte le materie plastiche sono però soggette ad invecchiamento, a un processo lento di degradazione per effetto della luce del sole, soprattutto delle radiazioni ultraviolette, del calore e dell'ossigeno.

#### PERMEABILITÀ ALLA LUCE

La permeabilità alla luce è una delle caratteristiche più rilevanti dei materiali polimerici amorfi e puri. Essi possiedono un grado di trasmissione luminosa simile a quello del vetro. Per questa proprietà, oltre che per la leggerezza, sostituiscono spesso il vetro.

#### CONDUCIBILITÀ TERMICA

Tra le caratteristiche termiche dei polimeri è da considerare soprattutto la conducibilità, il cui valore, pur variando da resina a resina in ragione della sua natura e densità, è sempre molto basso. Per questa ragione molti polimeri sono impiegati in edilizia come isolanti.

#### ADDITIVI

I polimeri termoplastici, come i termoindurenti e gli elastomeri, vengono sempre miscelati per scopi diversi con differenti materiali<sup>28</sup> al fine di renderli più resistenti alle aggressioni ambientali, alle degradazioni provocate dall'ossidazione, dall'ozono, dalla temperatura, dall'ossigeno, dalle radiazioni luminose (specialmente quelle ultraviolette), da muffe, batteri e umidità, e al tempo stesso al fine di incrementarne le caratteristiche di resistenza meccanica, termica ed elettrica.

---

<sup>28</sup> Le sostanze maggiormente impiegate sono cariche (inerti o rinforzanti), additivi plastificanti, coloranti, stabilizzanti, lubrificanti e antifiama.

## **TECNOLOGIE DI LAVORAZIONE DEI MATERIALI TERMOPLASTICI**

### **ESTRUSIONE**

È un processo continuo che consente di ottenere prodotti finiti o semilavorati. Il materiale, per lo più termoplastico, e talvolta termoindurente a consolidamento ritardato, riscaldato fino ad assumere la consistenza di un liquido viscoso viene costretto da una vite senza fine, che esercita una pressione dell'ordine di 10 MPa, a passare attraverso un bocchettone che lo conforma. Da questo, a seguito di un energetico raffreddamento, esce già rigido. I vantaggi del processo sono legati a costi di lavorazione modesti; esso è però adatto solo per produrre componenti di forma semplice e costante. Si ottengono per estrusione fili, cavi elettrici, fogli, tubi e profilati.

### **ESTRUSIONE CON SOFFIATURA**

È un processo che viene adottato per produrre corpi cavi. Da un estrusore verticale esce un elemento tubolare riscaldato alla temperatura di rammollimento che viene introdotto in uno stampo chiuso che riproduce la forma dell'oggetto; attraverso il tubo, che può essere di polietilene, PVC, poliammide, viene soffiata dell'aria che dilata il materiale polimerico fino a farlo aderire allo stampo. Con questo procedimento si possono produrre corpi cavi monoblocco, con forma anche complessa.

### **CALANDRATURA**

Con questo processo si ottengono fogli di materiale polimerico; i polimeri, mescolati con plastificanti, coloranti, pigmenti, stabilizzanti, cariche, vengono rammolliti termicamente e fatti passare tra cilindri rotanti fino a ottenere fogli spessi qualche decimo di millimetro. Si impiegano PVC plastificato, polietilene, polipropilene, ABS (copolimero Acrilonitrile, Butadiene, Stirene) per ottenere finte pelli o lastre termoformabili.

### **STAMPAGGIO PER INIEZIONE**

Stampaggio per iniezione. È un procedimento analogo alla pressofusione dei metalli ed è riservato ai materiali termoplastici. Questi materiali vengono caricati in un cilindro di plastificazione dove fondono; la massa fluida viene iniettata attraverso uno o più ugelli in uno stampo freddo dove solidifica. Quando il componente è irrigidito viene espulso dallo stampo.

## TECNOLOGIE DI LAVORAZIONE DEI MATERIALI TERMOINDURENTI

### STAMPAGGIO PER INIEZIONE

Il procedimento è analogo a quello per i materiali termoplastici salvo il ricorso a uno stampo riscaldato. Una miscela costituita da resina, rinforzanti, cariche, additivi, viene plastificata a caldo e trasferita attraverso degli ugelli sotto pressione nello stampo riscaldato; la viscosità, inizialmente modesta, aumenta progressivamente all'aumentare della reticolazione. Con cicli abbastanza veloci si ottengono, con questo processo, elementi complessi anche di grosse dimensioni.

### COMPRESSIONE

La pressa agisce su due semistampi riscaldati a 140°-180°C, uno fisso e uno mobile, fissati ciascuno a uno dei piatti della pressa. Fra i due semistampi viene interposta una stuoia impregnata di materiale plastico oppure materiale in polvere o granulato. Si ottengono materiali con buone caratteristiche meccaniche, dotati di eccellente finitura superficiale.

### INIETTO COMPRESSIONE

Si tratta di una variante della compressione attraverso la quale l'impasto di resina poliestere insatura, cariche minerali, rinforzo di fibre di vetro viene iniettato lateralmente in uno stampo, collocato in una pressa verticale, leggermente aperto e che viene successivamente chiuso. Il ciclo ha una produttività che è circa il doppio di quella dell'iniezione.

### POLTRUSIONE

Si tratta di una sorta di estrusione-trafilatura nel corso della quale un rinforzo fibroso di vetro, preimpregnato con una resina liquida termoindurente, in forma di filo continuo, di tessuto, di materassino, viene tirato attraverso uno stampo riscaldato.

### STAMPAGGIO ROTAZIONALE

Viene impiegato per realizzare corpi cavi, taniche, valigie, serbatoi anche della capacità di 10 m<sup>3</sup>. Lo stampo è diviso in due parti; viene introdotto il polimero in polvere; si chiude lo stampo, lo si pone in rotazione e lo si riscalda; il polimero rammollisce e si adagia sulla superficie senza venire centrifugato.



## MATERIALI POLIMERICI ESPANSI

Sono materiali a struttura cellulare caratterizzati da una densità apparente molto bassa usati come isolanti termici e acustici, nell'imballaggio e nell'arredamento. Vengono prodotti favorendo lo sviluppo di sostanze gassose durante la polimerizzazione a seguito della decomposizione termica di qualche costituente o dello sviluppo di prodotti di reazione volatili o dell'evaporazione di solventi. Si può anche incorporare dell'aria insufflandola sotto pressione nel polimero plastico oppure agitando quest'ultimo in presenza di agenti schiumogeni. A seconda del metodo di elaborazione le microcavità introdotte possono essere o intercomunicanti tra loro e con l'esterno oppure chiuse.

## CLASSIFICAZIONE DELLE MATERIE PLASTICHE

### POLIMERI TERMOPLASTICI

#### Polietilene (PE)

Materiale ottenuto per polimerizzazione dell'etilene: a seconda del processo di polimerizzazione, origina polietilene a bassa densità e polietilene lineare usati per la produzione di contenitori e casalinghi, oppure polietilene ad alta densità (HD PE) destinato alla produzione di serbatoi, tubazioni, guaine per l'isolamento di cavi elettrici; in grandi fogli è impiegato nell'impermeabilizzazione di bacini.



**79** Membrana alveolare doppio cuspidata in polietilene ad alta densità (HD PE) per la protezione meccanica dell'impermeabilizzazione di pavimenti o muri.

## Polipropilene (PP)

Si tratta di un polimero termoplastico ottenuto tramite un processo di polimerizzazione del propilene. In campo edile viene ampiamente utilizzato, per la sua estrema versatilità, per la realizzazione di tubazioni di scarico e condotti per impianti, elementi d'arredo, contenitori di varia forma e natura e film per imballaggi.



**80** Canaletta di raccolta acque meteoriche in polipropilene (PP).



**81** Tubi e raccordi in PP per condotte di scarico all'interno dei fabbricati.

### **Policarbonato (PC)**

Si tratta di un polimero termoplastico utilizzato, in particolare, per la realizzazione di manufatti trasparenti. Per la sua elevata resistenza meccanica e all'urto, le eccellenti proprietà elettriche, la stabilità dimensionale e l'ottima permeabilità alla luce viene normalmente impiegato per la realizzazione di lastre alveolari per vetrate e costruzioni leggere (vetrate industriali e serre) e pareti protettive trasparenti.



**82** Herzog & De Meuron, Laban Dance Centre, Londra, 2000-2003.

### **Polimetilmetacrilato (PMMA)**

Noto con il nome comune di plexiglass è tra le materie plastiche di più antica produzione e diffusione essendo stato introdotto sul mercato nel lontano 1928. Si tratta di un materiale ad alta resistenza ma incline alle rotture anche a bassi valori di allungamento, mentre, al contrario, presenta superfici molto dure e considerevolmente resistenti alle graffiature. L'elevata resistenza all'azione dei raggi UV e al deterioramento causato dall'esposizione agli agenti atmosferici uniti ad una perfetta trasparenza lo rendono adatto alla realizzazione di elementi da utilizzare in esterno. Dal punto di vista economico il materiale si propone come valida alternativa al polistirene, che costa meno ma è molto più fragile, e al policarbonato, che è più tenace e rigido ma costa molto di più.

### **Polistirene (PS)**

Polimero dello stirene; è utilizzato nell'edilizia per pavimentazioni resilienti e, nella forma estrusa (XPS) o espansa (EPS), come isolante. Il polistirene espanso EPS viene chiamato anche con il nome di polistirolo.

### **Polivinilcloruro (PVC)**

Polimero del cloruro di vinile, presente sul mercato dal 1930, La particolare resistenza e versatilità di questo materiale lo ha reso diffusissimo nelle costruzioni sotto forma di porte, piastrelle e tubazioni e, addizionato con appositi plastificanti, per la realizzazione di tubi flessibili, rivestimenti di cavi elettrici, rivestimenti murali e pavimentazioni resilienti.



**83** Tubi e raccordi in PVC per condotte di scarico all'interno dei fabbricati.

### **Polivinilacetato (PVA)**

Polimero termoplastico ottenuto attraverso la polimerizzazione dell'acetato di vinile. Le sue caratteristiche ne hanno favorito la diffusione nel campo della fabbricazione di adesivi e idropitture.

### **Politetrafluoroetilene (PTFE - Teflon)**

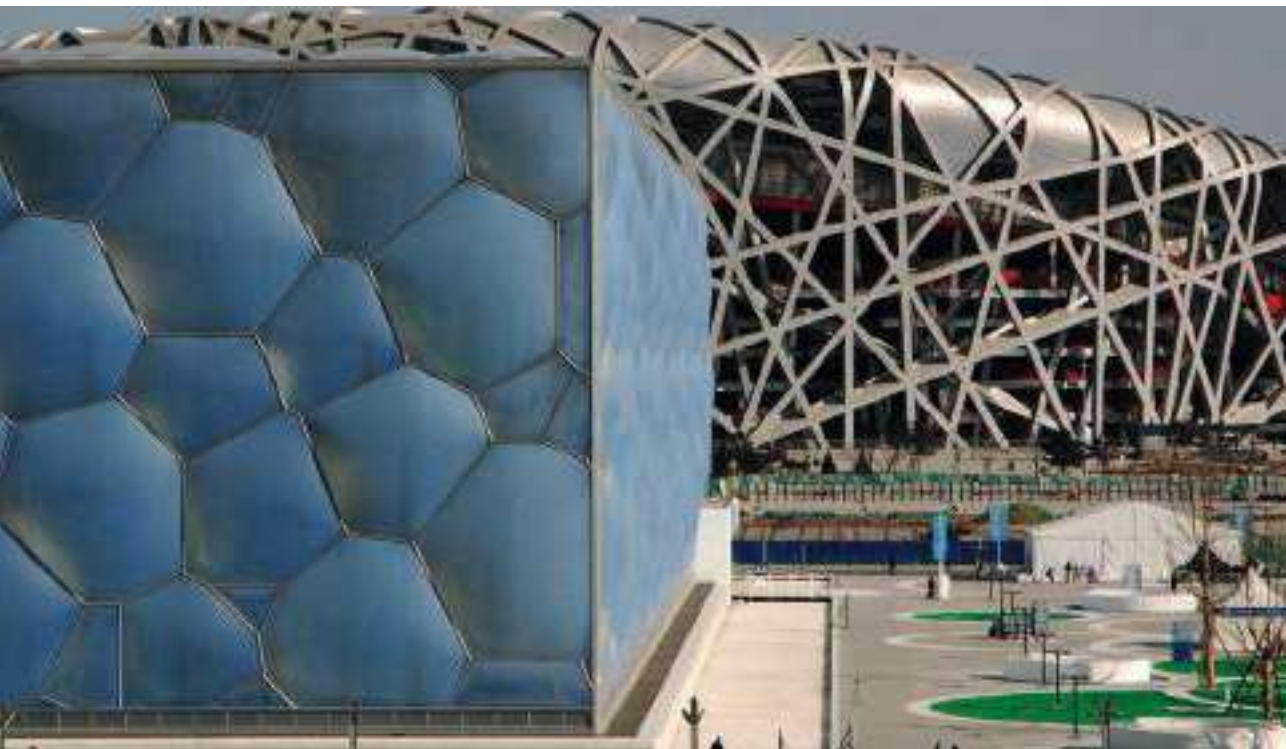
Il politetrafluoroetilene deve la sua fortuna alla Ditta Du Pont che lo ha commercializzato negli anni '40 con il nome di Teflon. Si tratta di un materiale che può avere permeabilità alla luce variabile, ma in edilizia è prevalentemente impiegato in forma traslucida, in fogli o a rivestimento di tessuti impiegati in ambienti esterni. Presenta un aspetto ceroso e liscio e un grado di trasparenza variabile, dato dalla diffusione della luce tra le zone cristalline del materiale. Può infatti presentarsi opaco bianco, traslucido e più raramente trasparente. Gli impieghi del politetrafluoroetilene sono molteplici, anche in settori diversi da quello edilizio, ove il principale impiego è nel rivestimento delle membrane con tessuto in fibra di vetro o sotto forma di film sottili, adoperate nelle strutture sottoposte a tensione (tensostrutture e strutture pneumatiche). Impiegati in strati sottili, i tessuti in fibre di vetro spalmati con politetrafluoroetilene hanno basso potere termoisolante, e pertanto devono impiegare camere interposte d'aria, eventualmente riempite di gas isolanti, per separare ambienti esterni da ambienti interni climatizzati. L'impiego in ambiente esterno risulta ottimo grazie alle caratteristiche di antiadesività, anche alle gocce di pioggia. Il copolimero etiltetrafluoroetilene (ETFE) è impiegato come pellicola protettiva per le strutture pneumatiche.







**84** **85** Herzog & De Meuron, Allianz Arena, Monaco, 2002-2005.



86 87 PTW Architects, National Aquatics Center (Water Cube) for Beijing Olympics 2008, Pechino, 2003-2008.

### **Poliuretani (PU)**

Ottenuti per reazione tra isocianati e alcoli, presentano buone proprietà meccaniche, buona resistenza chimica, basso ritiro, buona adesività. Nella versione espansa (poliuretano espanso o PUR), determinando un'elevata coibentazione, sono utilizzate come sigillanti, rivestimenti, per rinzaffi resistenti agli agenti chimici, come impregnanti, collanti e manti per pavimentazioni. Possono essere suddivisi in poliuretani espansi flessibili (schiume speciali e ignifughe che permettono il fissaggio di tubi del camino e porte antincendio), poliuretani espansi rigidi (schiume rigide leggere utilizzate per produrre lastre di materiale termoisolante, nel confezionamento di pannelli isolanti), poliuretani rigidi compatti e poliuretani elastici compatti.

### **Poliesteri (PET e PBT)**

Il polietilentereftalato (PET) e il polibutilentereftalato (PBT) derivano dalla condensazione di un acido organico e di un alcol. In edilizia trovano impiego nella produzione di colle e vernici protettive per metalli e, soprattutto, di materiali compositi.

### **Resine epossidiche (EP o epoxy)**

Si ottengono per reazione tra bisfenolo ed epicloridrina. Stabili e durevoli, sono impiegate nella produzione di vernici e collanti, materiali compositi, pavimenti resilienti, malte per iniezioni nel recupero di murature danneggiate e degradate.

### **Resine fenoliche (PF)**

Copolimeri di fenolo e aldeide formica (formaldeide); possono essere termoplastiche o termoindurenti in funzione delle cariche aggiunte. Nella forma espansa sono usate come isolanti. Solide o liquide a temperatura ambiente, si usano per produrre prese e interruttori elettrici, laminati plastici e vernici.

### **Resine melamminiche (MF) e resine ureiche (UF)**

Copolimeri di formaldeide e, rispettivamente, di melammina e urea; trovano impiego nei laminati plastici (fòrmica) e nei collanti.

## ELASTOMERI

### **Gomme naturali**

La più nota gomma naturale è il caucciù, che si ricava dal lattice di un albero tropicale (*hevea brasiliensis*). L'elevata impermeabilità ai gas lo rende adatto – previa vulcanizzazione – alla produzione di pneumatici e di camere d'aria. Con elevate aggiunte di zolfo si ottiene l'ebanite, gomma dura con cui si producono tubi, lastre e profilati. Con l'aggiunta di cariche di cloro (clorocaucciù), è impiegato per produrre vernici impermeabilizzanti e ignifughe per la protezione del calcestruzzo e dell'acciaio.

### **Gomme sintetiche**

Derivano dalla mescolanza di vari polimeri e hanno proprietà analoghe a quelle della gomma naturale, con migliore resistenza e ritorno elastico.

### **Neoprene (policloroprene) e SBR (stirene butadiene rubber)**

Sono tra le più note; piastre di neoprene sono utilizzate negli apparecchi di appoggio di grandi travi e nei dispositivi di isolamento sismico.

Altre gomme sintetiche sono impiegate nella produzione di manti impermeabilizzanti, pavimenti resilienti, giunti e guarnizioni di serramenti.

### **Gomme silossaniche o siliconi**

Sono dei particolari elastomeri nei quali il monomero di partenza non è derivato dal petrolio, ma dalla silice; il legame tra gruppi molecolari non è carbonio-carbonio ( $-C-C-$ ), ma silicio-ossigeno ( $-Si-O-$ ). Sono commercializzati in forma fluida (con funzione lubrificante), semifluida (con funzione sigillante) e solida.





**88** Giunto di dilatazione in neoprene.



**89** Isolatore sismico viscoso in neoprene.



## I MATERIALI ISOLANTI<sup>29</sup>

In linea con quanto previsto dalla norma DIN 4108 si possono definire come termicamente isolanti quei materiali dotati di conducibilità termica  $\lambda$  (lambda) inferiore a 0,1 W/mk. Tale coefficiente indica la quantità di calore che fluisce ogni secondo attraverso 1 m<sup>2</sup> di materiale da costruzione dello spessore di 1 m con una differenza di temperatura tra le due facce del materiale pari a 1K. Quanto minore è la conducibilità termica di un materiale tanto maggiore è la sua capacità isolante. Sulla base di questa definizione si possono quindi distinguere tre tipologie di materiali:

- materiali non isolanti  $\lambda > 0,1$  W/mk;
- materiali debolmente isolanti  $0,65$  W/mk  $< \lambda < 0,1$  W/mk;
- materiali isolanti  $\lambda < 0,65$  W/mk.

La classificazione dei materiali isolanti può avvenire attraverso l'individuazione di tre criteri:

- struttura del materiale (fibrosi, compatta, granulosa);
- processo di trasformazione/lavorazione (naturali, sintetici);
- tipologia delle materie prime da cui derivano (organici, inorganici o minerali).

Il primo permette di catalogare i diversi materiali in relazione alla struttura fisica degli stessi e, in particolare, definisce il modo in cui essi imprigionano al loro interno particelle di aria ferma. In linea di principio la capacità termoisolante di un materiale è tanto maggiore quanto sono piccole, omogenee e numerose le sacche di aria ferma contenute al suo interno. L'aria ferma infatti conduce il calore in modo peggiore di qualsiasi materiale la racchiuda. Questo permette di identificare tre famiglie principali di materiali: fibrosi, compatti o cellulari, granulosi o porosi. I materiali cellulari imprigionano l'aria al loro interno in bolle di materiale mentre quelli fibrosi all'interno di una rete di filamenti.

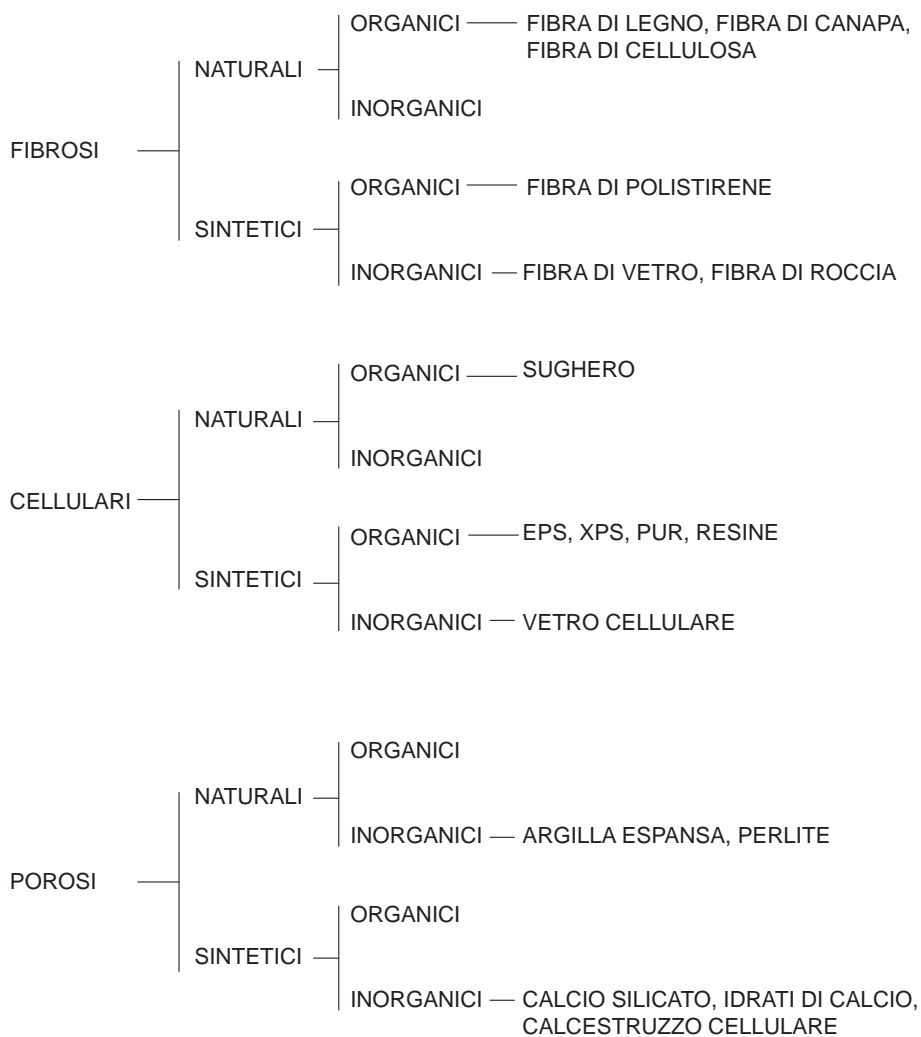
Il processo di trasformazione che permette il passaggio dalle materie prime ai prodotti finiti, a seconda del suo grado di complessità e della sua tipologia, permette di distinguere tra prodotti naturali e sintetici.

La classificazione dei materiali isolanti in relazione alle materie prime di base permette di individuare due macro famiglie: i materiali isolanti organici ed i materiali

---

<sup>29</sup> Testo di Alessandro Zilio.

isolanti inorganici o minerali. Sia i primi sia i secondi possono essere composti da materie prime naturali o sintetiche.



**90** Classificazione dei materiali isolanti.

## FUNZIONE DEI MATERIALI ISOLANTI

Quando si parla di isolamento termico di un edificio si fa riferimento alle capacità dell'involucro che delimita il volume climatizzato di limitare il flusso termico tra interno ed esterno. La funzione principale dei materiali isolanti è quella di permettere all'involucro di ridurre tale flusso.

L'involucro edilizio ha il compito sia di contenere le dispersioni energetiche nel periodo invernale sia di prevenire i fenomeni di surriscaldamento in quello estivo. Nelle stagioni fredde il flusso termico è monodirezionale dall'interno verso l'esterno in ragione del fatto che la temperatura esterna è sempre minore della temperatura interna desiderata. Questa condizione è descrivibile, con buona approssimazione, con un modello di regime stazionario. In queste condizioni la trasmittanza termica  $U$  è il parametro che definisce in modo efficace il comportamento di un materiale o di un pacchetto di materiali. Nelle stagioni calde invece la fluttuazione della temperatura esterna è così marcata da non permettere una corretta approssimazione del comportamento termico di un edificio applicando l'ipotesi di regime stazionario pertanto risulta necessario analizzare la struttura ricorrendo a modelli di tipo dinamico. Questo comporta che la sola trasmittanza termica  $U$  non è più sufficiente per capire l'efficacia degli elementi che costituiscono l'involucro opaco ma è necessario considerare anche le loro capacità inerziali.

## PARAMETRI FISICI DI RIFERIMENTO

### - PARAMETRI INVERNALI

**Conducibilità termica ( $\lambda$ ):** è il flusso di calore che in condizioni di regime stazionario attraversa la superficie di un  $m^2$  di un cubo di materiale omogeneo avente lo spessore di 1 m con differenza di temperature tra le due facce pari a  $1^\circ\text{C}$ .

Essa viene calcolata in conformità alla norma UNI EN ISO 10456.

**Trasmittanza ( $U$ ):** rappresenta la quantità di potenza termica scambiata da un materiale per unità di superficie e unità di differenza di temperatura.

È la grandezza fisica che definisce la capacità di un elemento a scambiare energia.

**Resistenza ( $R$ ):** è il rapporto tra lo spessore di un materiale ( $s$ ) e la sua conducibilità termica. È la grandezza reciproca della conducibilità termica.

In fisica essa è definita come la difficoltà del calore nell'attraversare un mezzo solido, liquido o gassoso.

$$R := s/\lambda.$$

$s$  := è lo spessore dello strato di materiale.

$\lambda$  := è la conducibilità termica di progetto del materiale.

La norma di riferimento per la determinazione di questo parametro è la norma UNI EN ISO 6946 «Componenti ed elementi per edilizia – Resistenza Termica e Trasmittanza Termica – Metodo di calcolo».

▪ **PARAMETRI ESTIVI:**

**Trasmittanza termica periodica o dinamica (Yie):** è il rapporto tra il flusso termico periodico che attraversa l'unità di superficie su un lato del componente e la sollecitazione termica periodica sull'altro lato nell'ipotesi di temperatura costante sul primo lato del componente.

**Ammettenza:** è il rapporto tra il flusso termico periodico che attraversa l'unità di superficie su un lato del componente e la sollecitazione termica periodica sullo stesso lato nell'ipotesi che la temperatura ambiente sull'altro lato del componente sia costante.

Tale definizione implica che ci siano due ammettenze differenti per i due lati di ciascun componente.

In definitiva la trasmittanza termica periodica è il parametro che indica la capacità dell'elemento di rispondere alle sollecitazioni climatiche esterne.

**Fattore di attenuazione:** è il rapporto tra trasmittanza termica periodica e stazionaria di uno stesso componente.

I tre parametri elencati descrivono le variazioni di ampiezza dei flussi di temperatura mentre per descrivere il ritardo di risposta della struttura alle sollecitazioni.

**Sfasamento:** è il periodo di tempo che intercorre tra il valore massimo della sollecitazione termica e il massimo del suo effetto.

Capacità termica areica: è il rapporto tra la variazione di energia accumulata per unità di superficie in un componente nel periodo di tempo e la sollecitazione termica periodica su un lato nell'ipotesi che la temperatura ambiente sull'altro lato sia costante. La UNI/TS 11300-1 utilizza tale parametro per valutare il comportamento dei componenti dell'involucro opaco in regime semi-stazionario.

Trasmittanza termica periodica, ammettenza e fattore di attenuazione descrivono le variazioni di ampiezza dei flussi di temperatura.

Sfasamento e capacità termica areica descrivono il ritardo con cui la struttura risponde alle sollecitazioni.

## SCHEDE DEI MATERIALI

### POLISTIRENE ESPANSO ESTRUSO (XPS)

Si tratta di un materiale polimerico rigido prodotto con granuli di polistirene additivati con coloranti e talchi utilizzati per incrementare le proprietà termiche e meccaniche del prodotto, agenti espandenti e ritardanti di fiamma.

Esso è caratterizzato da bassa conducibilità termica, elevata resistenza alla compressione e all'umidità ma con scarse capacità di isolamento acustico. Trattandosi di un materiale caratterizzato da peso ridotto, presenta scarse capacità di sfasamento ed attenuazione. Risulta quindi molto efficace nel comportamento invernale ma poco adatto a quello estivo. Si tratta di un materiale impermeabile che può rimanere a contatto con l'acqua senza bisogno di strati protettivi supplementari.



**91** Polistirene espanso estruso (XPS).

**Processo produttivo:** I granuli vengono ottenuti al termine della prima fase di produzione, attraverso un processo di polimerizzazione aggiungendo allo stirene un agente schiumogeno.

I granuli così ottenuti vengono, previa miscelatura, fusi in forni a temperatura intorno ai 200°C. Il composto ottenuto, ancora in forma liquida viene additivato con opportuni agenti espandenti in viti senza fondo. Il composto è poi spinto attraverso una testa di estrusione piana e portato su un nastro trasportatore. A contatto con la pressione atmosferica la massa fusa si espande assumendo una struttura omogenea a celle chiuse che costituiscono circa il 95% del prodotto.

Una volta completato il processo di raffreddamento il materiale è pronto per la



“wafferizzazione” o all’incollaggio di pellicole. Terminata questa fase si procede con il taglio delle lastre nelle dimensioni volute e la profilatura degli spigoli.

**Tipologie di prodotto:** lastre con dimensioni variabili e spessore compreso tra 2 e 25 cm.

**Utilizzo in edilizia:** coibentazione fondazioni, pareti controterra, tetti piani ecc.

**Caratteristiche tecniche:**

	DESCRIZIONE		UNITÀ DI MISURA	DATI RICAVATI DA ELEMENTI PRESENTI NEL MERCATO	UNI EN ISO 10565	UNI 10351
<b>COMPORAMENTO MECCANICO</b>	Resistenza a compressione	Rc	KPa	150-700		
<b>PRESTAZIONI INVERNALI</b>	Conduttività termica	$\lambda D$	W/mK	0,030-0,041		0,034-0,041
	Coeff. di conversione per effetto della temperatura	$f_t$	1/K		0,0035-0,0046	
	Coeff. di conversione per effetto dell’umidità	$f_\psi$			2,5 <sup>2</sup>	
<b>PRESTAZIONI ESTIVE</b>	Densità	$\rho$	Kg/m <sup>3</sup>	30-50	20-65	
	Calore specifico	Cp	J/kgK	1400-1500	1450	
	Cm per 12 ore di sfasamento		cm	49-54		
<b>PRESTAZIONI IGROMETRICHE</b>	Resistenza al vapore	$\mu$		70-200	150/150	83-303
<b>COMPORAMENTO AL FUOCO</b>	Classe di resistenza al fuoco			CLASSE E		

**Normativa di prodotto:** UNI EN 13164 «Isolanti termici per edilizia – Prodotti di polistirene espanso estruso ottenuti in fabbrica – Specificazione», 2009.

## POLISITRENE ESPANSO SINTETIZZATO (EPS)

Si tratta di un materiale polimerico rigido dal peso contenuto formato da carbonio, idrogeno e da aria chiusa (per circa il 95-99%) in celle di dimensioni sufficientemente piccole da impedire l'instaurarsi di moti convettivi.

Esso è caratterizzato da bassa conducibilità termica quindi buone caratteristiche isolanti, ma scarsa resistenza alla compressione. Trattandosi di un materiale caratterizzato da peso ridotto presenta scarse capacità di sfasamento ed attenuazione. Risulta quindi molto efficace nel comportamento invernale ma poco adatto a quello estivo.



**92** Polistirene espanso sintetizzato (EPS).

**Processo produttivo:** I granuli di polistirene vengono ottenuti al termine della prima fase di produzione, attraverso un processo di polimerizzazione aggiungendo allo stirene (monomero ricavato dal petrolio) un agente schiumogeno.

La seconda fase della lavorazione consiste nell'espansione, attraverso l'utilizzo di una miscela di gas propano e pentano, del granulato di perle con diametro fino a 3 mm ottenuto dalla lavorazione iniziale. L'aumento volumetrico arriva fino a 50 volte il volume iniziale. Il processo è reso possibile attraverso un trattamento a base di vapore acqueo (con temperatura attorno ai 90°C) durante il quale si verifica l'evaporazione dell'agente schiumogeno e la conseguente formazione di una struttura a celle chiuse che trattengono aria al loro interno.

Durante la fase di raffreddamento il composto ottenuto viene sottoposto ad un'ulteriore trattamento di presso-fusione mediante l'utilizzo di vapore acqueo a 120°C. Infine al termine di un processo di essiccazione i blocchi di grande formato così ottenuti vengono tagliati in lastre.

**Tipologie di prodotto:** lastre con dimensioni variabili e spessore compreso tra 1 e 25 cm.

**Utilizzo in edilizia:** coibentazione pareti perimetrali esterne, solai intermedi, ultimo solaio ecc.

**Caratteristiche tecniche:**

	DESCRIZIONE		UNITÀ DI MISURA	DATI RICAVATI DA ELEMENTI PRESENTI NEL MERCATO	UNI EN ISO 10565	UNI 10351
<b>COMPORAMENTO MECCANICO</b>	Resistenza a compressione	R <sub>c</sub>	KPa	60-200		
<b>PRESTAZIONI INVERNALI</b>	Conduttività termica	λD	W/mK	0,034-0,040		0,039-0,059
	Coeff. di conversione per effetto della temperatura	f <sub>t</sub>	1/K		0,0030-0,0041	
	Coeff. di conversione per effetto dell'umidità	f <sub>ψ</sub>			4 <sup>4</sup>	
<b>PRESTAZIONI ESTIVE</b>	Densità	ρ	Kg/m <sup>3</sup>	10-50	10-50	15-30
	Calore specifico	C <sub>p</sub>	J/kgK	1250-1500	1450	
	Cm per 12 ore di sfasamento		cm	58-99		
<b>PRESTAZIONI IGROMETRICHE</b>	Resistenza al vapore	μ		20-100	60/60	20-101
<b>COMPORAMENTO AL FUOCO</b>	Classe di resistenza al fuoco			CLASSE E		

**Normativa di prodotto:** UNI EN 13163 «Isolanti termici per edilizia – Prodotti di polistirene espanso ottenuti in fabbrica – Specificazione», 2009.

## POLIURETANO ESPANSO RIGIDO (PUR)

Si tratta di un materiale (o meglio di una famiglia di materiali) polimerico rigido, flessibile o compatto a seconda della tipologia di produzione e della necessità di impegno, basato sulla catena polimerica costituita di legami uretanici  $-NH-(CO)-O-$ . Esso è caratterizzato da conducibilità termica molto bassa e di conseguenza elevate capacità isolanti. Trattandosi di un materiale caratterizzato da peso ridotto presenta scarse capacità di sfasamento ed attenuazione. Risulta quindi molto efficace nel comportamento invernale ma poco adatto a quello estivo. Il materiale è permeabile ma l'aggiunta, nella maggior parte dei prodotti presenti sul mercato, di pellicole ne aumenta la resistenza alla diffusione del vapore.



**93** Poliuretano espanso rigido (PUR).

**Processo produttivo:** polioli e polisocianati sono i composti chimici principali alla base della produzione del poliuretano in combinazione con agenti espandenti e talvolta con TCPP (tricloropolifosfato) utilizzato come ritardante di fiamma. Tutti i materiali di questa famiglia sono il risultato di una reazione esotermica di poliaddizione tra isocianato polimerico (PMDI) e composti polimerici (POLIOLO) che presentano ossidi liberi.

La produzione dei pannelli avviene attraverso un processo di laminazione. La schiuma formata dal composto passa da una testa di miscelazione ad una vasca e successivamente la miscela dei componenti viene spruzzata attraverso degli ugelli su un nastro trasportatore dove ha modo di espandersi e, qualora il prodotto finale lo richieda, di incollarsi a strati di materiale aggiuntivi. Al termine della catena si procede al taglio dei pannelli.

**Tipologie di prodotto:** lastre di dimensioni variabili e spessore compreso tra 2 e 25 cm.

Bombolette di schiuma autoespandente per sigillature e coibentazioni puntali.

Bidoni con materiale allo stato liquido per applicazioni a spruzzo sulle pareti.

**Utilizzo in edilizia:** coibentazione pareti perimetrali esterne, solai intermedi, ultimo solaio, coperture.

### Caratteristiche tecniche:

	DESCRIZIONE		UNITÀ DI MISURA	DATI RICAVATI DA ELEMENTI PRESENTI NEL MERCATO	UNI EN ISO 10565	UNI 10351
<b>COMPORAMENTO MECCANICO</b>	Resistenza a compressione	R <sub>c</sub>	KPa	50-400		
<b>PRESTAZIONI INVERNALI</b>	Conduttività termica	λD	W/mK	0,021-0,028		0,032-0,034
	Coeff. di conversione per effetto della temperatura	f <sub>t</sub>	1/K		0,0050- 0,0055	
	Coeff. di conversione per effetto dell'umidità	f <sub>ψ</sub>			6 <sup>25</sup>	
<b>PRESTAZIONI ESTIVE</b>	Densità	ρ	Kg/m <sup>3</sup>	25-60	28-55	25-50
	Calore specifico	C <sub>p</sub>	J/kgK	1400-1500	1400	
	Cm per 12 ore di sfasamento		cm	31-53		
<b>PRESTAZIONI IGROMETRICHE</b>	Resistenza al vapore	μ		30-200	60/60	
<b>COMPORAMENTO AL FUOCO</b>	Classe di resistenza al fuoco			CLASSE B-s2 da d0 a C-s3, d0		

**Normativa di prodotto:** UNI EN 13165 «Isolanti termici per edilizia – Prodotti in poliuretano rigido ottenuti in fabbrica – Specificazione», 2009.

UNI EN 13165 (normativa di prodotto per pannelli isolanti autoportanti con doppia faccia metallica).



## LANA DI ROCCIA

Si tratta di un materiale inorganico a base di fibre prodotto da diverse tipologie di rocce, generalmente di origine vulcanica o sedimentaria, come calcare, dolomia e diabase.

Esso è caratterizzato da una conducibilità termica abbastanza bassa, ottime caratteristiche di resistenza al fuoco e proprietà fonoassorbenti elevate ma scarse caratteristiche di resistenza a compressione. Trattandosi di un materiale caratterizzato da un peso abbastanza ridotto non presenta buone capacità di sfasamento ed attenuazione. Risulta quindi abbastanza efficace nel comportamento invernale ma poco adatto in quello estivo. Si tratta di un materiale non impermeabile che non può essere posto a contatto con l'acqua.



94 Lana di roccia.

**Processo produttivo:** La produzione avviene per fusione in bacini con temperature che arrivano fino a 1500°C e successivamente lavorate in una macchina sfibratrice. La miscela viene poi separata dai liquidi attraverso un processo di centrifuga o di soffiaggio. Durante questa fase vengono aggiunti leganti sciolti in acqua. L'acqua evapora e le fibre, grazie ad un veloce processo di raffreddamento vetrificano.

Il materiale ormai allo stato solido viene disposto su un nastro trasportatore ed attraversa dei forni a tunnel alla temperatura di 250°C in modo che il legante possa indurire permettendo in questo modo la stabilizzazione del prodotto.

Come ultima fase gli elementi vengono tagliati e sagomati ed ove necessario rivestiti con pellicole o bitume.

**Tipologie di prodotto:** lastre di dimensioni variabili e spessore compreso tra 1 e 20 cm.

Stuoie con dimensioni variabili e spessore compreso tra 1 e 7 cm.  
 Fibre sfuse per imbottiture ed insuflaggio.

**Utilizzo in edilizia:** coibentazione pareti perimetrali esterne, coperture.

**Caratteristiche tecniche:**

	DESCRIZIONE		UNITÀ DI MISURA	DATI RICAVATI DA ELEMENTI PRESENTI NEL MERCATO	UNI EN ISO 10565	UNI 10351
<b>COMPORTAMENTO MECCANICO</b>	Resistenza a compressione	Rc	KPa	0,5-30		
<b>PRESTAZIONI INVERNALI</b>	Conduttività termica	$\lambda D$	W/mK	0,032-0,053		0,038-0,054
	Coeff. di conversione per effetto della temperatura	$f_t$	1/K		0,0035-0,0069	
	Coeff. di conversione per effetto dell'umidità	$f_\psi$			4 <sup>8</sup>	
<b>PRESTAZIONI ESTIVE</b>	Densità	$\rho$	Kg/m <sup>3</sup>	10-70	10-200	30-150
	Calore specifico	Cp	J/kgK	840-1030	1030	
	Cm per 12 ore di sfasamento		cm	58-120		
<b>PRESTAZIONI IGROMETRICHE</b>	Resistenza al vapore	$\mu$		1-2	1/1	1
<b>COMPORTAMENTO AL FUOCO</b>	Classe di resistenza al fuoco			CLASSE A1-A2		

**Normativa di prodotto:** UNI EN 13162 «Isolanti termici per edilizia – Prodotti in lana minerale ottenuti in fabbrica – Specificazione», 2009.

## LANA DI VETRO

Si tratta di un materiale fibroso sintetico inorganico a base di fibre composto da sabbia quarzosa, calcare, verro riciclato per una percentuale attorno al 60% e resine fenolo-formaldeide impiegate come legante.

Esso è un materiale con discrete capacità isolanti e fonoassorbenti. Trattandosi di un materiale caratterizzato da densità ridotta non presenta buone capacità di sfasamento ed attenuazione. Risulta quindi abbastanza efficace nel comportamento invernale ma poco adatto in quello estivo. Le sue capacità di resistenza al fuoco, tendenzialmente buone, sono significativamente influenzate dalla tipologia e dalla quantità di leganti impiegati nella sua produzione.



**95** Lana di vetro.

**Processo produttivo:** La produzione avviene per fusione delle materie prime in bacini con temperature che arrivano fino a 1500°C e successivamente lavorate in una macchina sfibratrice.

La miscela viene poi separata dai liquidi attraverso un processo di centrifuga o di soffiaggio. Durante questa fase vengono aggiunti leganti sciolti in acqua. L'acqua evapora e le fibre, grazie ad un veloce processo di raffreddamento, vetrificano.

Il materiale ormai allo stato solido viene disposto su un nastro trasportatore ed attraversa dei forni a tunnel alla temperatura di 250°C in modo che il legante possa indurire permettendo in questo modo la stabilizzazione del prodotto.

**Tipologie di prodotto:** lastre di dimensioni variabili e spessore compreso tra 1,5 e 20 cm.

Rotoli di dimensioni variabili e spessore compreso tra 7 e 24 cm.  
 Stuoie di dimensioni variabili e spessore compreso tra 1 e 7 cm.  
 Fibre sfuse per imbottiture.

**Utilizzo in edilizia:** riempimento strutture in metallo, solai intermedi, ultimo solaio.

**Caratteristiche tecniche:**

	DESCRIZIONE		UNITÀ DI MISURA	DATI RICAVATI DA ELEMENTI PRESENTI NEL MERCATO	UNI EN ISO 10565	UNI 10351
<b>COMPORAMENTO MECCANICO</b>	Resistenza a compressione	Rc	KPa	0,5-40		
<b>PRESTAZIONI INVERNALI</b>	Conduttività termica	$\lambda D$	W/mK	0,031-0,050		0,038-0,053
	Coeff. di conversione per effetto della temperatura	$f_t$	1/K		0,0035-0,0069	
	Coeff. di conversione per effetto dell'umidità	$f_\psi$			4 <sup>11</sup>	
<b>PRESTAZIONI ESTIVE</b>	Densità	$\rho$	Kg/m <sup>3</sup>	10-70	10-200	11-100
	Calore specifico	Cp	J/kgK	840-1030	1030	
	Cm per 12 ore di sfasamento		cm	58-120		
<b>PRESTAZIONI IGROMETRICHE</b>	Resistenza al vapore	$\mu$		1-2	1/1	1
<b>COMPORAMENTO AL FUOCO</b>	Classe di resistenza al fuoco			CLASSE A1-A2		

**Normativa di prodotto:** UNI EN 13162 «Isolanti termici per edilizia – Prodotti in lana minerale ottenuti in fabbrica – Specificazione», 2009.

## FIBRA DI LEGNO

Si tratta di un materiale prodotto principalmente con scarti di segherie, materiali provenienti dallo sfoltimento dei boschi e da silvicoltura sostenibile. Il marchio FSC, ove presente, garantisce che la materia prima impiegata proviene da boschi tutelati. Esso è caratterizzato da conducibilità termica discreta abbinata ad elevate capacità di sfasamento ed accumulo che lo rendono particolarmente indicato per la regolazione termica estiva. È in grado di garantire elevata resistenza al fuoco, un ottimo comportamento dal punto di vista acustico. Il comportamento igrometrico è legato alla densità del materiale: più è leggero il prodotto più è rapido l'assorbimento e il rilascio dell'umidità e maggiore è il rischio di rigonfiamento dello stesso.



**96** Fibra di legno.

**Processo produttivo:** la produzione di pannelli avviene principalmente attraverso un procedimento ad umido o a secco.

La fase iniziale in cui la materia prima subisce i processi di taglio, macinatura e sfibratura è comune ad entrambi i processi.

Nel processo di produzione ad umido le fibre vengono impastate con acqua calda, emulsioni idrorepellenti e solfato di alluminio. Il processo garantisce da un lato le prestazioni leganti della resina del legno, dall'altro la resistenza del prodotto alle tarme ed ai parassiti. La resistenza all'acqua è garantita dall'aggiunta di sostanze idrofobizzanti, generalmente nella misura del 10% dell'impasto, come resine naturali, cera e lattice. Una volta estratta l'acqua dall'impasto, questo viene posto in appositi stampi dove è sottoposto ad un processo di compressione, alla temperatura di circa 180°C, calibrato a seconda della densità desiderata per il pannello.

Questo processo consente di ottenere pannelli con densità elevate, fino a 300 kg/m<sup>3</sup>. Nel processo a secco l'acqua e il vapore vengono sostituiti da diversi leganti e l'impasto viene cotto in forno.



Generalmente si aggiungono alla miscela il 4% di legante poliuretano (PMID) nella fase precedente alla compressione ed una percentuale variabile di legante a base di formaldeide. Con questo procedimento si ottengono pannelli con densità minore, generalmente non superiore ai 100 kg/m<sup>3</sup>.

**Tipologie di prodotto:** lastre di dimensioni variabili e spessore compreso tra 2 e 25 cm.

Fibre sfuse per insufflaggio.

**Utilizzo in edilizia:** coibentazione pareti perimetrali esterne, coperture, isolamento pareti con sistema costruttivo a telaio.

### Caratteristiche tecniche:

	DESCRIZIONE		UNITÀ DI MISURA	DATI RICAVATI DA ELEMENTI PRESENTI NEL MERCATO	UNI EN ISO 10565	UNI 10351
<b>COMPORAMENTO MECCANICO</b>	Resistenza a compressione	R <sub>c</sub>	KPa	40-200		
<b>PRESTAZIONI INVERNALI</b>	Conduttività termica	λD	W/mK	0,038-0,080		
	Coeff. di conversione per effetto della temperatura	f <sub>t</sub>	1/K			
	Coeff. di conversione per effetto dell'umidità	f <sub>ψ</sub>			1,4 <sup>19</sup>	
<b>PRESTAZIONI ESTIVE</b>	Densità	ρ	Kg/m <sup>3</sup>	30-300	40-250	
	Calore specifico	C <sub>p</sub>	J/kgK	1600-2400	2000	
	C <sub>m</sub> per 12 ore di sfasamento		cm	23-52		
<b>PRESTAZIONI IGROMETRICHE</b>	Resistenza al vapore	μ		2-10	5/3	
<b>COMPORAMENTO AL FUOCO</b>	Classe di resistenza al fuoco			CLASSE E		

**Normativa di prodotto:** UNI EN 13168 «Isolanti termici per edilizia – Prodotti in lana di legno WW ottenuti in fabbrica – Specificazione», 2009.

## FIBRA DI LEGNO MINERALIZZATA

Si tratta di un materiale prodotto principalmente con legname di pioppo o di abete rosso.

Esso è caratterizzato da conducibilità termica mediocre per un materiale isolante, ma presenta elevata capacità di sfasamento ed accumulo che lo rendono particolarmente indicato per la regolazione termica estiva. È in grado di garantire elevata resistenza al fuoco, un ottimo comportamento dal punto di vista acustico, è traspirante ed igroscopico.



**97** Fibra di legno mineralizzata.

**Processo produttivo:** il processo produttivo differisce a seconda che la materia prima impiegata sia legno di abete rosso o di pioppo. I due processi sono caratterizzati dall'utilizzo di due leganti differenti: nel primo caso le fibre sono legate con cemento, nel secondo con magnesite.

Il legno di pioppo, una volta tagliato, viene macinato e sfibrato meccanicamente per ottenere la fibra di legno.

La materia di base così ottenuta viene mescolata con magnesite caustica. Si tratta del risultato della calcinazione di magnesite materiale ad alto contenuto di carbonato di magnesio con ossisolfato di magnesio e acqua. Il risultato è un legante cristallino che al contempo impregna il legno e mineralizza le fibre.

L'impasto viene poi versato in stampi, dove subisce un processo di pressione ad una temperatura di circa 450°C che permette la formazione dei singoli pannelli. Successivamente gli stessi sono sottoposti ad essiccazione. La rasatura superficiale dei pannelli, che avviene durante la fase di formatura, è costituita dalla mineralizzazione a caldo con ossifosfato di magnesio di un impasto di fibre di legno molto corte.

Il legno di abete rosso, una volta lavorato e ridotto in fibre viene miscelato con ce-

mento portland. Questo permette di creare una miscela che, una volta addizionata con polveri minerali di miscrosilicio amorfo e silicati di sodio, viene stesa in appositi stampi dove deve rimanere dalle 24 alle 48 ore a temperatura ambiente. Successivamente si procede con il processo di essiccazione ad alta temperatura (circa 350°C) in appositi forni.

**Tipologie di prodotto:** lastre di dimensioni variabili e spessore compreso tra 1,5 e 15 cm.

**Utilizzo in edilizia:** correzione ponti termici, travi e pilastri, integrazione ad altri materiali isolanti per aumentare la massa superficiale ove necessario, casseri a perdere, controsoffitti fonoassorbenti.

### Caratteristiche tecniche:

	DESCRIZIONE		UNITÀ DI MISURA	DATI RICAVATI DA ELEMENTI PRESENTI NEL MERCATO	UNI EN ISO 10565	UNI 10351
<b>COMPOR-TAMENTO MECCANICO</b>	Resistenza a compressione	Rc	KPa	150-300		
<b>PRESTAZIONI INVERNALI</b>	Condu-ttività termica	$\lambda D$	W/mK	0,075-0,120		0,085-0,110
	Coeff. di conversione per effetto della temperatura	$f_t$	1/K		0,0040-0,0046	
	Coeff. di conversione per effetto dell'umidità	$f_\psi$			1,8 <sup>14</sup>	
<b>PRESTAZIONI ESTIVE</b>	Densità	$\rho$	Kg/m <sup>3</sup>	250-600	250-400	300-500
	Calore specifico	Cp	J/kgK	1600-2100	1470	
	Cm per 12 ore di sfasamento		cm	20-26		
<b>PRESTAZIONI IGROMETRICHE</b>	Resistenza al vapore	$\mu$		5-10	5/3	
<b>COMPOR-TAMENTO AL FUOCO</b>	Classe di resistenza al fuoco			CLASSE B-s1, d0		

**Normativa di prodotto:** UNI EN 13168 «Isolanti termici per edilizia – Prodotti in lana di legno WW ottenuti in fabbrica – Specificazione», 2009.

## FIBRA DI CANAPA

Si tratta di un materiale prodotto utilizzando la *Cannabis sativa*, pianta della famiglia della canapacee. Si tratta di una coltura, presente soprattutto in Germania, che presenta elevata resa di coltivazione e capacità di adattamento a differenti condizioni climatiche.

Il materiale è caratterizzato da conducibilità termica discreta e buone proprietà di isolamento termoacustico e di regolazione dell'umidità.



98 Fibra di canapa.

**Processo produttivo:** per la produzione delle fibre necessarie alla realizzazione del materiale isolante si utilizzano preferibilmente la corteccia e lo stelo.

Il materiale, una volta ridotto a fibre, viene additivato con elementi diversi a seconda delle caratteristiche che si vogliono ottenere. Tendenzialmente, per la produzione di pannelli, si ricorre, nel caso della realizzazione di materiali per l'isolamento termico, a fibre di polistirene o vetro solubile e prodotti naturali ignifughi. Il processo di macerazione avviene in modo automatico tramite enzimi mentre la successiva fase di essiccazione avviene in appositi forni dove le fibre aggiuntive si saldano a quelle di canapa. Le fibre aggiuntive (come ad esempio le fibre di lino e di polistirene) tendenzialmente non superano il 10% della miscela.

**Tipologie di prodotto:** pannelli di dimensioni variabili e spessore compreso tra 1 e 20 cm.

Rotoli di dimensioni variabili e spessore compreso tra 2 e 8 cm.

Fibre sfuse per insufflaggio o imbottiture.

**Utilizzo in edilizia:** riempimento intercapedini interne delle strutture in legno.

## Caratteristiche tecniche:

	DESCRIZIONE		UNITÀ DI MISURA	DATI RICAVATI DA ELEMENTI PRESENTI NEL MERCATO	UNI EN ISO 10565	UNI 10351
<b>COMPORTAMENTO MECCANICO</b>	Resistenza a compressione	R <sub>c</sub>	KPa			
<b>PRESTAZIONI INVERNALI</b>	Conduttività termica	λD	W/mK	0,038-0,045		
	Coeff. di conversione per effetto della temperatura	f <sub>t</sub>	1/K			
	Coeff. di conversione per effetto dell'umidità	f <sub>ψ</sub>				
<b>PRESTAZIONI ESTIVE</b>	Densità	ρ	Kg/m <sup>3</sup>	20-190		
	Calore specifico	C <sub>p</sub>	J/kgK	1500-2200		
	Cm per 12 ore di sfasamento		cm	24-68		
<b>PRESTAZIONI IGROMETRICHE</b>	Resistenza al vapore	μ		1-2		
<b>COMPORTAMENTO AL FUOCO</b>	Classe di resistenza al fuoco			CLASSE E		

**Normativa di prodotto:** è possibile dotare il prodotto di marcatura CE volontaria tramite ETA.



## FIBRA DI CELLULOSA

Si tratta di un materiale fibroso, naturale e organico.

Esso è caratterizzato da una discreta conducibilità termica ma al contempo da bassi valori di densità e capacità termica specifica; caratteristiche queste che lo rendono più adatto al contenimento dei consumi energetici dal punto di vista invernale rispetto a quelli estivi.



**99** Fibra di cellulosa.

**Processo produttivo:** il prodotto è ottenuto attraverso lo sminuzzamento meccanico di carta da macero, con la successiva aggiunta di agenti ignifughi (generalmente sali di Boro).

I fiocchi prodotti al termine di questa prima fase vengono pressati e insaccati. Il materiale può essere anche prodotto in pannelli mediante l'aggiunta di un 15% di fibra di polistirene durante la lavorazione che ha il compito di irrigidire il materiale.

**Tipologie di prodotto:** pannelli di dimensioni variabili e spessore compreso tra 1 e 8 cm.

Sacchi contenenti fiocchi sfusi.

**Utilizzo in edilizia:** riempimento intercapedini interne delle strutture in legno.

## Caratteristiche tecniche:

	DESCRIZIONE		UNITÀ DI MISURA	DATI RICAVATI DA ELEMENTI PRESENTI NEL MERCATO	UNI EN ISO 10565	UNI 10351
<b>COMPORTAMENTO MECCANICO</b>	Resistenza a compressione	R <sub>c</sub>	KPa	-		
<b>PRESTAZIONI INVERNALI</b>	Conduttività termica	λD	W/mK	0,039-0,042		0,058
	Coeff. di conversione per effetto della temperatura	f <sub>t</sub>	1/K			
	Coeff. di conversione per effetto dell'umidità	f <sub>ψ</sub>		0,47-0,58		
<b>PRESTAZIONI ESTIVE</b>	Densità	ρ	Kg/m <sup>3</sup>	28-65	20-60	32
	Calore specifico	C <sub>p</sub>	J/kgK		1600	
	Cm per 12 ore di sfasamento		cm	35-70		
<b>PRESTAZIONI IGROMETRICHE</b>	Resistenza al vapore	μ			2/2	
<b>COMPORTAMENTO AL FUOCO</b>	Classe di resistenza al fuoco			CLASSE E		

**Normativa di prodotto:** è possibile dotare il prodotto di marcatura CE volontaria tramite ETA.

## SUGHERO

Si tratta di un materiale cellulare, naturale e organico.

Esso è caratterizzato da notevole resistenza alle sollecitazioni fisiche e discrete caratteristiche di isolamento termico; ha inoltre buone capacità di accumulo termico che lo rendono indicato per il contenimento dei consumi energetici estivi. È un materiale traspirante e permeabile al vapore ma impermeabile ai liquidi. Presenta buone caratteristiche di resistenza al fuoco in quanto brucia lentamente non propaga la fiamma ed è autoestinguento.



100 Sughero.

**Processo produttivo:** il prodotto è ottenuto attraverso la lavorazione della corteccia del sughero, attorno al ventesimo anno di età della pianta, nel momento in cui il tronco presenta una circonferenza minima di 30 cm. Generalmente la prima decortica della pianta fornisce materiale adatto alla realizzazione di prodotti per l'edilizia (generalmente meno pregiato) mentre la parte pregiata, estratta nelle decortiche successive è destinata ad altri usi.

Le cortecce destinate all'uso in edilizia vengono riposte, dopo la raccolta, in centri per la stagionatura che dura non meno di due anni.

Terminata questa fase le cortecce vengono immerse in acqua bollente per circa un paio d'ore e successivamente lasciate due giorni a temperatura ambiente. Questa ultima fase prende il nome di asciugatura.

Una volta asciugate le cortecce vengono frantumate in appositi macchinari da cui si ottiene il sughero granulare sfuso.

Effettuata la selezione del materiale con adeguata granulometria esso viene immerso in autoclavi con temperatura attorno ai 350°C.

In questa fase si verifica la liquefazione della suberina che è una resina naturale della pianta. Essa funge da colante naturale attraverso la produzione del fenolo.

Il risultato del processo, in seguito al raffreddamento, sono pannelli di sughero agglomerato auto-incollato che vengono opportunamente tagliati in lastre dello spessore desiderato.

È possibile incrementare la densità dei pannelli, ove richiesto, attraverso dei processi di compressione meccanica e l'aggiunta di collanti.

**Tipologie di prodotto:** pannelli di dimensioni variabili e spessore compreso tra 1 e 15 cm.

Rotoli di dimensioni variabili e spessore compreso tra 0,2 e 0,8 cm.

**Utilizzo in edilizia:** coibentazione pareti perimetrali esterne, coibentazione copertura, correzione ponti termici delle coperture lignee.

### Caratteristiche tecniche:

	DESCRIZIONE		UNITÀ DI MISURA	DATI RICAVATI DA ELEMENTI PRESENTI NEL MERCATO	UNI EN ISO 10565	UNI 10351
<b>COMPORAMENTO MECCANICO</b>	Resistenza a compressione	Rc	KPa	150-200		
<b>PRESTAZIONI INVERNALI</b>	Conduttività termica	$\lambda D$	W/mK	0,036-0,050		0,043-0,052
	Coeff. di conversione per effetto della temperatura	$f_t$	1/K		0,27	
	Coeff. di conversione per effetto dell'umidità	$f_\psi$			6 <sup>17</sup>	
<b>PRESTAZIONI ESTIVE</b>	Densità	$\rho$	Kg/m <sup>3</sup>	100-220	90-140	90-130
	Calore specifico	Cp	J/kgK	1560-1800	1560	
	Cm per 12 ore di sfasamento		cm	26-30		
<b>PRESTAZIONI IGROMETRICHE</b>	Resistenza al vapore	$\mu$		5-20	10/5	
<b>COMPORAMENTO AL FUOCO</b>	Classe di resistenza al fuoco			CLASSE B2 (infiammabilità)		

**Normativa di prodotto:** UNI EN 13170 «Isolanti termici per edilizia – Prodotti di sughero espanso ottenuti in fabbrica – Specificazione», 2009.

## VETRO CELLULARE

Si tratta di un materiale cellulare, sintetico, inorganico composto principalmente da sabbia quarzifera (silice pura), dolomia, carbonato di calcio e di azoto e vetro riciclato.

Esso è caratterizzato discrete proprietà termoisolanti, impermeabile all'acqua, al gas radon ed al vapore. Il materiale presenta inoltre, dal punto di vista meccanico, elevata resistenza alla compressione e durezza accompagnate da un comportamento di tipo fragile. Dal punto di vista del comportamento al fuoco è incombustibile e resistente ad elevate variazioni di temperatura.



**101** Vetro cellulare.

**Processo produttivo:** le materie prime (sabbia quarzifera, dolomia, carbonato di calcio e di azoto e vetro riciclato) vengono fuse a 1400°C e si trasformano in vetro. Successivamente il materiale così ottenuto viene raffreddato e sminuzzato e macinato fino a diventare polvere di vetro.

La polvere così ottenuta addizionata con l'aggiunta di carbonio come agente schiumogeno viene riscaldata nuovamente in forni di espansione, alla temperatura di 1000°C. In questa fase il gas che si sviluppa internamente al composto espande il volume originale fino a 15 volte.

Una volta avvenuta l'espansione volumetrica, la temperatura del composto viene gradualmente abbassata. La gradualità del processo di raffreddamento è essenziale per evitare tensioni interne che renderebbero il materiale eccessivamente fragile.

A questo punto è possibile operare il taglio dei pannelli con le dimensioni e gli spessori desiderati.



I pannelli sono solitamente allettati in bitume fuso per creare una superficie di appoggio uniforme.

**Tipologie di prodotto:** lastre di dimensioni variabili e spessore compreso tra 4 e 20 cm.

Blocchi di dimensioni variabili.

Granuli sfusi per riempimento.

**Utilizzo in edilizia:** coibentazione pareti controterra, coibentazione solai a platea di fondazione, realizzazione di tagli termici in muratura non portante.

### Caratteristiche tecniche:

	DESCRIZIONE		UNITÀ DI MISURA	DATI RICAVATI DA ELEMENTI PRESENTI NEL MERCATO	UNI EN ISO 10565	UNI 10351
<b>COMPORAMENTO MECCANICO</b>	Resistenza a compressione	R <sub>c</sub>	KPa	200-1700		
<b>PRESTAZIONI INVERNALI</b>	Conduttività termica	λD	W/mK	0,040-0,066		0,055-0,066
	Coeff. di conversione per effetto della temperatura	f <sub>t</sub>	1/K		0,0027-0,0043	
	Coeff. di conversione per effetto dell'umidità	f <sub>ψ</sub>			0	
<b>PRESTAZIONI ESTIVE</b>	Densità	ρ	Kg/m <sup>3</sup>	100-220	100-150	130-180
	Calore specifico	C <sub>p</sub>	J/kgK	800-1000	1000	
	C <sub>m</sub> per 12 ore di sfasamento		cm	39-43		
<b>PRESTAZIONI IGROMETRICHE</b>	Resistenza al vapore	μ		∞	∞	
<b>COMPORAMENTO AL FUOCO</b>	Classe di resistenza al fuoco			CLASSE A1		

**Normativa di prodotto:** UNI EN 13167 «Isolanti termici per edilizia – Prodotti di vetro cellulare ottenuti in fabbrica – Specificazione», 2009.

## IDRATI DI CALCIO

Si tratta di un materiale prodotto a partire principalmente da materie prime minerali quali idrato di calcio, sabbia quarzosa e polveri di marmo. Esso possiede sufficienti proprietà termoisolanti, ottima resistenza al fuoco ma soprattutto eccellenti capacità nella gestione dei flussi di vapore acqueo che lo rendono idoneo a realizzare coibentazioni interne senza barriera al vapore.



102 Idrati di calcio.

**Processo produttivo:** le materie prime vengono in un primo stadio mescolate e successivamente impastate con acqua. Una volta ottenuta una miscela omogenea essa viene fatta espandere a pressione in appositi stampi.

Una volta terminata l'operazione si passa alla fase di indurimento in apposite autoclavi.

Una volta induriti i pannelli vengono tagliati nei formati desiderati per passare alla fase finale di essiccazione.

**Tipologie di prodotto:** lastre di dimensioni variabili e spessore compreso tra 4 e 25 cm.

Blocchi di dimensioni variabili.

**Utilizzo in edilizia:** coibentazione pareti perimetrali; realizzazione di coibentazione interna senza barriera al vapore.

## Caratteristiche tecniche:

	DESCRIZIONE		UNITÀ DI MISURA	DATI RICAVATI DA ELEMENTI PRESENTI NEL MERCATO	UNI EN ISO 10565	UNI 10351
<b>COMPORTAMENTO MECCANICO</b>	Resistenza a compressione	R <sub>c</sub>	KPa	300		
<b>PRESTAZIONI INVERNALI</b>	Conduttività termica	λD	W/mK	0,042-0,050		
	Coeff. di conversione per effetto della temperatura	f <sub>t</sub>	1/K			
	Coeff. di conversione per effetto dell'umidità	f <sub>ψ</sub>				
<b>PRESTAZIONI ESTIVE</b>	Densità	ρ	Kg/m <sup>3</sup>	100-115	100-110	
	Calore specifico	C <sub>p</sub>	J/kgK	1100-1300	1100	
	Cm per 12 ore di sfasamento		cm	40		
<b>PRESTAZIONI IGROMETRICHE</b>	Resistenza al vapore	μ		3		
<b>COMPORTAMENTO AL FUOCO</b>	Classe di resistenza al fuoco			CLASSE A1		

## SILICATO DI CALCIO (CALCIO SILICATO)

Si tratta di un materiale prodotto a partire da materie prime minerali quali sabbia quarzosa, calce e cemento. Esso è caratterizzato mediocri proprietà termoisolanti, ottima resistenza al fuoco ma soprattutto eccellenti capacità nella gestione dei flussi di vapore acqueo che lo rendono idoneo a realizzare coibentazioni interne. Il suo principale campo di impiego è legato al risanamento di murature umide a causa della condensa.

Particolarmente interessante il fatto che sulla sua superficie non si verifica mai la formazione di muffa grazie al suo pH 10.



**103** Silicato di calcio (calcio silicato).

**Processo produttivo:** la decantazione in acqua di anidride silicica e ossido di calcio genera lo stadio iniziale del silicato di calcio. I cristalli ottenuti vengono lavorati in autoclavi con vapore acqueo ad alte temperature e pressioni. Una volta formati i blocchi questi vengono sagomati ed essiccati.

**Tipologie di prodotto:** lastre di dimensioni variabili e spessore compreso tra 2 e 20 cm.

**Utilizzo in edilizia:** coibentazione interna senza barriera al vapore, impiego in aree soggette a formazione di muffe, realizzazione di divisori con alta resistenza al fuoco.

## Caratteristiche tecniche:

	DESCRIZIONE		UNITÀ DI MISURA	DATI RICAVATI DA ELEMENTI PRESENTI NEL MERCATO	UNI EN ISO 10565	UNI 10351
<b>COMPORTAMENTO MECCANICO</b>	Resistenza a compressione	R <sub>c</sub>	KPa	350		
<b>PRESTAZIONI INVERNALI</b>	Conduttività termica	λD	W/mK	0,06-0,07		
	Coeff. di conversione per effetto della temperatura	f <sub>t</sub>	1/K			
	Coeff. di conversione per effetto dell'umidità	f <sub>ψ</sub>				
<b>PRESTAZIONI ESTIVE</b>	Densità	ρ	Kg/m <sup>3</sup>	115		
	Calore specifico	C <sub>p</sub>	J/kgK	1300		
	C <sub>m</sub> per 12 ore di sfasamento		cm	40		
<b>PRESTAZIONI IGROMETRICHE</b>	Resistenza al vapore	μ		6		
<b>COMPORTAMENTO AL FUOCO</b>	Classe di resistenza al fuoco			CLASSE A1		

Oltre a conoscere le caratteristiche dei diversi materiali isolanti è importante conoscere gli ambiti in cui essi sono preferibilmente impiegati. Fermo restando che si tratta di un campo in continua evoluzione un utile indirizzo è dato dalla seguente tabella.

<b>IMPIEGO DEI MATERIALI ISOLANTI</b>	
<b>PLATEA E FONDAZIONI IN GENERALE</b>	Vetro cellulare (pannelli o granuli), XPS ad alta resistenza meccanica
<b>PAVIMENTO CONTROTERRA</b>	Vetro cellulare (pannelli o granuli), XPS
<b>PARETI CONTROTERRA</b>	Vetro cellulare, XPS, EPS idrofobizzato
<b>PARETI PERIMETRALI ESTERNE (ISOLAMENTO A CAPPOTTO)</b>	EPS, sughero, idrati di calcio, fibra di legno, fibre minerali, PUR
<b>PARETI PERIMETRALI ESTERNE (ISOLAMENTO INTERNO CON BARRIERA AL VAPORE)</b>	EPS, fibra di legno, fibre minerali, PUR
<b>PARETI PERIMETRALI ESTERNE (ISOLAMENTO INTERNO SENZA BARRIERA AL VAPORE)</b>	idrati di calcio, calcio silicato
<b>PARETI PERIMETRALI ESTERNE STRUTTURE A TELAIO IN LEGNO</b>	Fibra di legno, fibra di canapa, cellulosa
<b>SOLAI INTERMEDI</b>	EPS, fibre minerali, fibra di canapa
<b>TETTO</b>	EPS, sughero fibre di legno, PUR
<b>TERRAZZE PIANE</b>	XPS, PUR, vetro cellulare



04



# ELEMENTI COSTRUTTIVI<sup>1</sup>

## FONDAZIONI

In edilizia le fondazioni costituiscono quella parte dell'organismo edilizio a diretto contatto con il terreno, su cui vengono trasmessi i carichi della struttura soprastante.

Lo studio delle fondazioni implica conoscenze di natura geotecnica, oltre che conoscenze e competenze nelle discipline della scienza delle costruzioni e della tecnica delle costruzioni.

Il tipo di fondazione è indotto dalla tipologia del terreno su cui va realizzato l'organismo edilizio oltre che dalle sue caratteristiche intrinseche.

Le fondazioni sono suddivise in due tipologie o famiglie:

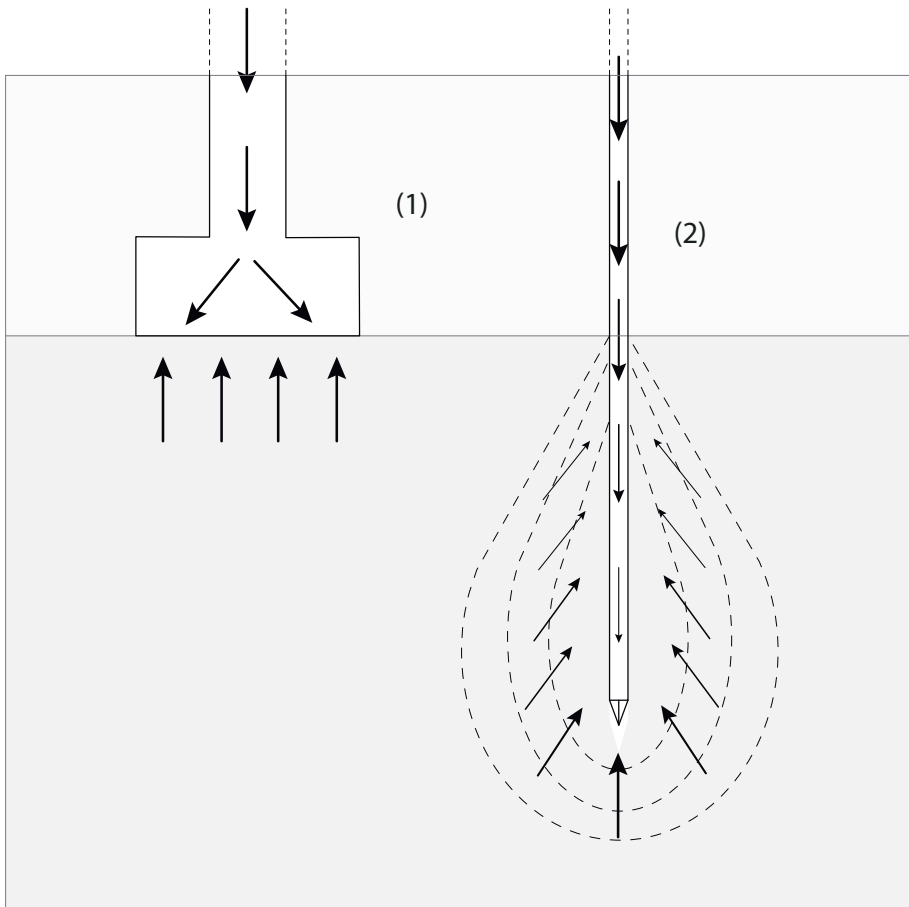
- le fondazioni dirette;
- le fondazioni indirette.

Le fondazioni dirette poggiano su strati di terreno raggiungibili con semplici operazioni di scavo e di distinguono in:

- continue:
  - a travi rovesce;
  - a platea.
- discontinue:
  - a plinto.

---

<sup>1</sup> Testo di Maurizio Bradaschia.

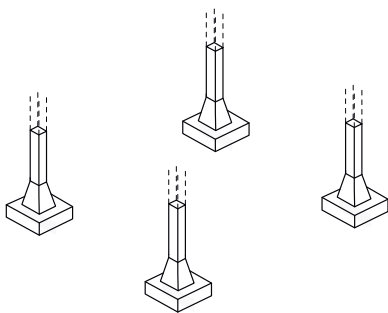


**1 Fondazioni dirette e indirette**

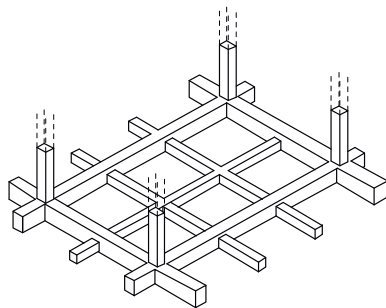
La principale differenza tra fondazioni dirette e indirette è basata sul loro funzionamento: le prime (1) lavorano scaricando lo sforzo nel terreno rigido direttamente, le seconde (2) lavorano più in profondità sfruttando la reazione del suolo profondo, contraria a quella delle fondamenta, facilitando lo scarico del peso dalla struttura al suolo.

Le fondazioni indirette trasmettono i carichi agli strati più profondi del terreno e possono essere:

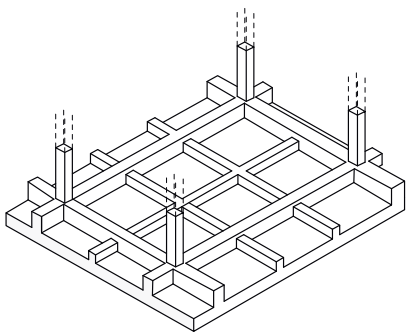
- a pozzi (adatte prevalentemente quando il terreno resistente è abbastanza vicino alla superficie e risulterebbe antieconomico eseguire palificate);
- su pali (infissi o trivellati);
- a diaframmi (costituiscono una tipologia del tutto particolare di fondazione, generalmente utilizzata per opere di contenimento in caso di scavi in adiacenza a edifici preesistenti).



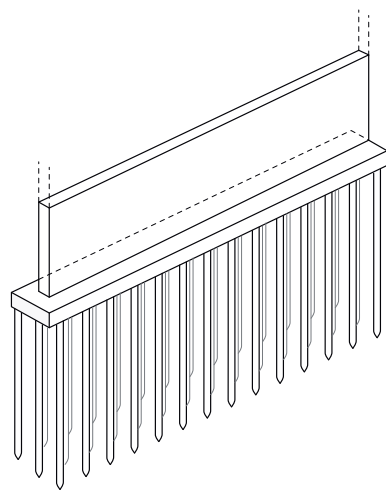
(1)



(2)



(3)



(4)

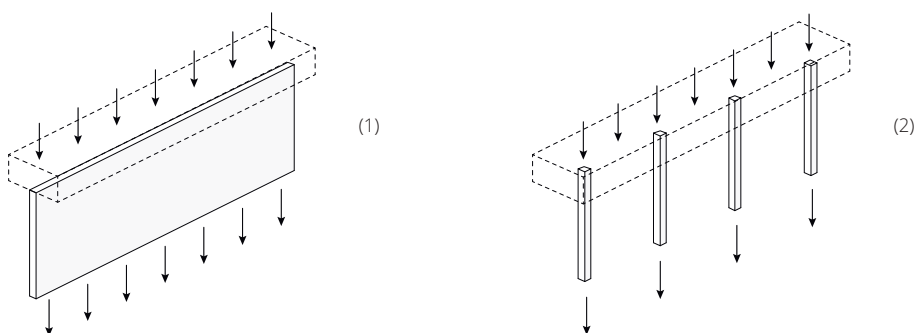
**2** Differenti metodi di trasmissione degli sforzi dalle strutture al suolo: tramite plinti (1) che sono elementi puntuali; tramite travi rovesce (2), o platee (3), strutture collegate tra di loro in modo più o meno complesso. Altre soluzioni possono essere l'utilizzo di palificazioni (4), elementi profondi che vanno a scaricare lo sforzo in parti del suolo più resistenti, soluzione attuata in contesti con suoli con poca portanza.

## STRUTTURE IN ELEVAZIONE

Con il termine “struttura in elevazione” si identifica l'unità tecnologica (facente parte della classe di unità tecnologica “struttura portante”) riferita all'insieme degli elementi costruttivi<sup>2</sup> che, insieme alle strutture di fondazione, costituiscono l'ossatura portante dell'organismo edilizio.

Le strutture in elevazione possono essere realizzate secondo due sistemi strutturali distinti:

- **sistemi continui**, caratterizzati dalla presenza di elementi verticali che, oltre ad assolvere alla funzione statica principale, contribuiscono alla delimitazione separazione degli spazi;
- **sistemi puntiformi**, caratterizzati da elementi verticali lineari (pilastri) con esclusiva funzione statica.



### 3 Strutture continue e puntiformi

Approcci differenti e strutture differenti regolano i sistemi continui e i sistemi puntiformi. I sistemi continui (1) trasmettono gli sforzi verticalmente tramite muri portanti, che scaricano in maniera uniforme lungo la muratura i pesi. Al contrario sistemi puntiformi,(2) tramite pilastri o colonne, trasmettono puntualmente gli sforzi.

<sup>2</sup> Strutture di elevazione verticali, Strutture di elevazione orizzontali e inclinate, Strutture di elevazione spaziali, come definite dalla Norma UNI 8290.

La Norma UNI 8290 - Classificazione del sistema tecnologico, riguarda gli elementi fisici di cui si compone l'organismo edilizio e può essere considerata basilare per individuare i requisiti tecnologici che derivano da esigenze di sicurezza, di benessere, di fruibilità, di aspetto, di integrabilità, di costruzione, di gestione e di economicità.

La classificazione del sistema tecnologico scompone l'organismo edilizio in parti funzionali e le raggruppa in: Classi di unità tecnologiche; Unità tecnologiche; Classi di elementi tecnici.

Tale classificazione permette di suddividere l'opera, articolata in classi di Unità tecnologiche, raggruppandole per funzioni, compatibili tecnologicamente, necessarie per l'ottenimento di prestazioni prestabilite.



## SOLAI (E COPERTURE)

Solai e coperture appartengono alla categoria delle **chiusure orizzontali**. Le chiusure orizzontali hanno il compito di:

- garantire condizioni di comfort per lo svolgimento delle attività;
- realizzare piani per lo svolgimento delle attività, a quote diverse;
- costituire, sul piano verticale, l'elemento di confine esterno/interno.

Dal punto di vista della funzionalità, le chiusure orizzontali hanno il compito di:

- sostenere i carichi;
- essere poco deformabili sotto carico;
- resistere al fuoco;
- essere leggere;
- isolare termicamente;
- isolare acusticamente;
- proteggere dagli agenti atmosferici;
- consentire l'integrazione impiantistica.

In base ai materiali i solai possono essere così classificati:

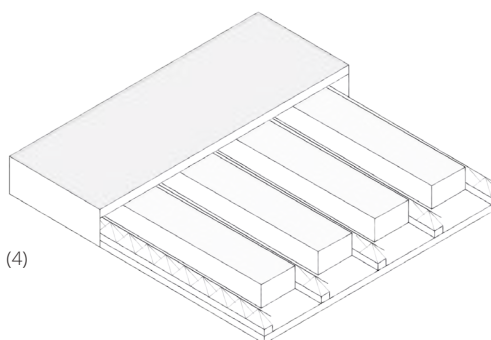
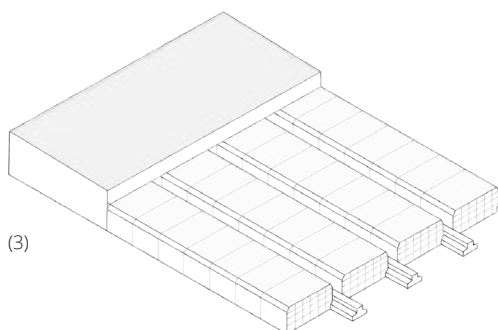
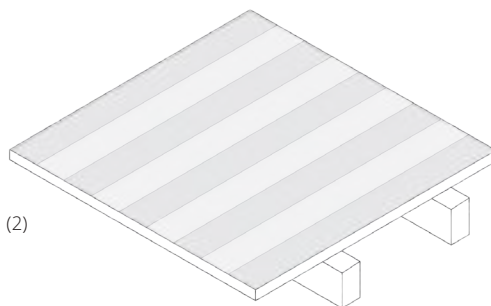
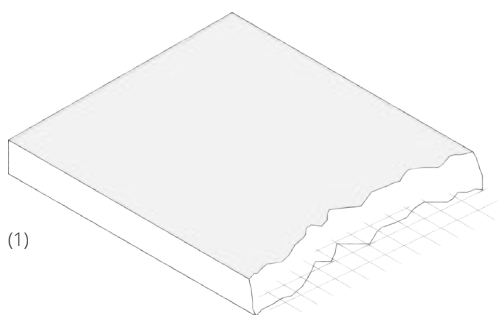
- solai in legno;
- solai in acciaio;
- solai in calcestruzzo;
- solai in laterizio armato.

I solai in legno possono essere realizzati interamente in legno (o materiali a base di legno) o a ordito in legno e impalcato in laterizio.

I solai in acciaio possono essere realizzati interamente in acciaio, a ordito in acciaio e impalcato in laterizio, a ordito in acciaio e impalcato in legno, a ordito in acciaio e impalcato in vetro, a ordito in acciaio e impalcato misto acciaio – calcestruzzo.

I solai in calcestruzzo o in laterizio armato si distinguono in:

- a soletta piena o nervata in solo calcestruzzo;
- a ordito in calcestruzzo e laterizio:
  - travetti in opera e pignatte;
  - travetti prefabbricati e pignatte;
  - predalles e pignatte o alleggerimenti in diverso materiale.



**4** Tipologie di elementi orizzontali: solai "pieni" (1), solai "misti" come quelli in laterocemento (3) o solai "predalle" (4), solai in legno (2).

## PILASTRI

Il pilastro<sup>3</sup> è un piedritto, un elemento architettonico verticale portante, che ha il compito di trasferire i carichi della sovrastruttura alle strutture sottostanti preposte a riceverli.

## TRAVI E SOLETTE

La trave è definita come un elemento strutturale con una dimensione predominante, elemento atto a trasferire una sollecitazione tendenzialmente trasversale al proprio asse geometrico lungo tale asse, dalle sezioni investite dal carico fino ai vincoli, che garantiscono l'equilibrio esterno della trave assicurandola al contesto circostante.

L'Enciclopedia Treccani così definisce una trave:

Nella scienza e nella tecnica delle costruzioni, struttura portante elementare orizzontale o inclinata, rettilinea o a piccola curvatura, avente sezione trasversale piena (t. piena), cava (t. a cassone, a tubo), profilata (t. a T, a U, a I ecc.). In partic., t. armata, provvista di uno o più sostegni intermedi (contraffissi) appoggiati a un tirante metallico ancorato alle due estremità della trave; t. di colmo, trave che corre lungo il colmo di un tetto, detta a volte anche colmareccio; t. composta, formata da più parti (se in legno, è costituita da due o più travi normali sovrapposte e unite da bulloni o biette; se in acciaio, a parete piena, è costituita dall'unione di lamiere saldate o chiodate in modo da conferire alla sezione trasversale la forma a doppio T); t. di gronda, trave di appoggio che sorregge il tetto a livello della gronda; t. maestra, la trave principale, nei ponti a travata e nei solai composti; t. parete, struttura portante formata da una lastra piana di piccolo spessore, disposta in modo che le forze esterne siano contenute nel suo piano; t. reticolare, lo stesso che travatura reticolare; t. rinforzata, sostenuta al centro da puntoni inclinati appoggiati al disotto degli appoggi della trave stessa; t. a sbalzo, ancorata a un'estremità alla struttura di cui fa parte, e aggettante nel vuoto, in genere di acciaio o di cemento armato, utilizzata per sostenere

---

<sup>3</sup> La normativa (d.m. 09/01/96, par.5.3.4) fornisce alcune indicazioni sul pre-dimensionamento minimo delle armature di un pilastro.

terrazze, scale, pensiline, ponti; t. stirata, trave con sezione a doppio T, con l'anima di fori triangolari ottenuti intagliandola e stirandola a caldo.

La soletta, nella tecnica delle costruzioni, è un elemento strutturale in cemento armato a forma di lastra, generalmente piana, impiegata soprattutto per solai o strutture a sbalzo, ma anche per pareti verticali.

La soletta può essere classificata/suddivisa in:

- soletta alleggerita, realizzata in cemento armato, ma resa maggiormente leggera grazie all'inclusione di laterizi forati o materiali simili;
- soletta piena, costituita, cioè, interamente di calcestruzzo;
- soletta con nervature (o soletta nervata), si tratta di una soletta orizzontale in cemento armato rinforzata con costole parallele sporgenti verso il basso, che si estendono per tutta la luce, o incrociate quando la soletta viene appoggiata o incastrata su tutti i lati.

## SCALE (STRUTTURE DI COLLEGAMENTO VERTICALI)

Gli elementi di comunicazione verticale costituiscono quegli elementi costruttivi che consentono di superare un dislivello limitando il dispendio di energia necessaria per svolgere il lavoro (il consumo può infatti essere dalle 10 alle 30 volte superiore rispetto al camminare in piano).

Esistono molteplici modi: dal ricorso al piano inclinato, alla scomposizione del dislivello in dislivelli minori, al ricorso all'azione meccanica per lo svolgimento del lavoro. Relativamente agli elementi di comunicazione verticale, i vincoli normativi primari sono i seguenti:

- **DM 14.01.2008 (Norme tecniche per le costruzioni)**

Resistenza ai carichi verticali distribuiti: per scale di un edificio residenziale  $4,0 \text{ kN/m}^2$ .

Resistenza ai carichi orizzontali distribuiti: per parapetti di scale  $2,0 \text{ kN/m}^2$ .

- **Normative prevenzione incendi**

Geometria, larghezza della pedata (non inferiore a 30 cm), altezzaalzata (max 17 cm), resistenza al fuoco.

▪ **DM 236/1989 (abbattimento barriere architettoniche)**

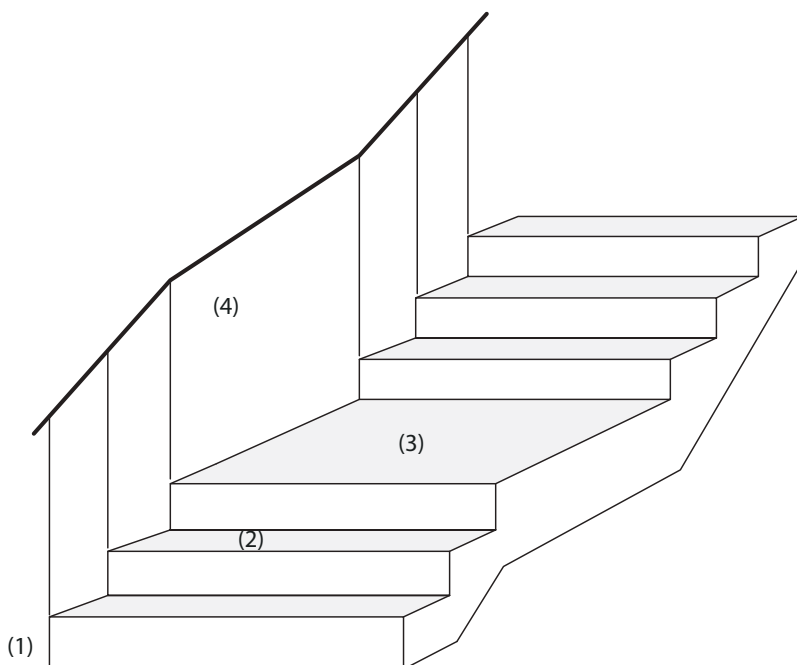
▪ **Norma empirica (recepita in regolamenti locali di igiene)**

Geometria, somma di due volte l'altezza dell'alzata (a) e della larghezza della pedata (p), detto anche ( $2^\circ + p$ ), compreso tra 62 e 64 cm.

Relativamente agli elementi di comunicazione verticale, i vincoli normativi secondari sono i seguenti:

- UNI EN 131-1. «Scale. Parte 1: Termini, tipi, dimensioni funzionali»;
- UNI EN 131-2. «Scale. Parte 2: Requisiti, prove, marcatura»;
- UNI EN 131-2. «Scale. Parte 3: Istruzioni per l'utilizzatore»;
- UNI EN 14041: «Rivestimenti resilienti, tessili e laminati per pavimentazioni. Caratteristiche essenziali», 2004;
- Norme particolari UNI: scale prefabbricate, ringhiere, balaustre e parapetti – ruoli, compiti e responsabilità nella posa in opera.

## TERMINOLOGIA



**5** Elementi basilari che compongono una scala: Alzata (1), pedata (2), pianerottolo (3), elementi per la sicurezza (ad es. parapetti) (4).



I termini per definire i componenti di una scala sono:

- Alzata
- Pedata
- Gradini
- Rampa
- Pianerottolo
- Larghezza
- Lunghezza
- Spessore
- Soletta
- Anima
- Vano
- Struttura

Gli elementi per la rappresentazione sono:

La **freccia di direzione**: segno convenzionale posto nella mezzeria delle rampe e dei pianerottoli che indica la partenza, l'arrivo e il senso della salita.

**Linea di interruzione**: due linee inclinate di 45° del tipo tratto punto.

**Numero del gradino** (alzata).

Oltre alle dimensioni: **larghezza** e **lunghezza rampa** e **pianerottolo**.

Elementi costruttivi funzionali:

Il **gradino**, composto da un tratto piano orizzontale, la "pedata" e da uno verticale, "l'alzata".

La **rampa**, composta da una serie continua di gradini.

Il **pianerottolo**, costituito da una superficie piana che interrompe una serie continua di gradini.

Gli **elementi di completamento**.

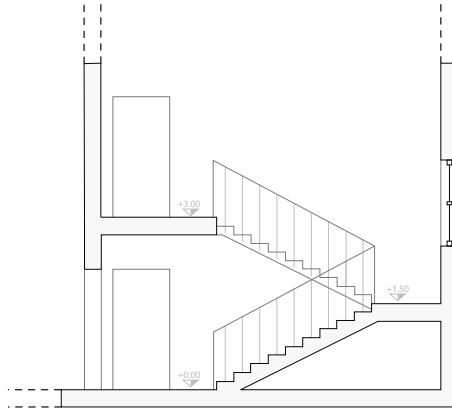
Gli **elementi di sicurezza**.

Il **vano**, la **tromba** scale.

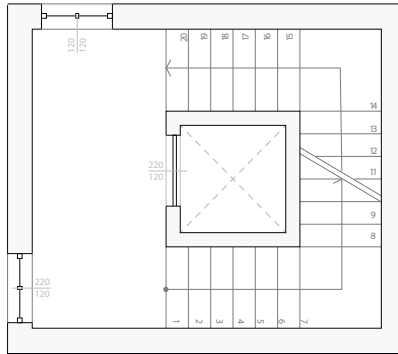
La rampa è caratterizzata da una geometria che definisce un andamento regolare e omogeneo. Deve contenere lo stesso numero di gradini, caratterizzati da un corretto rapporto alzata e pedata.

Per ogni rampa i gradini devono avere la stessa alzata e pedata. La lunghezza della rampa deve essere contenuta, in caso ciò non sia possibile va interposto un ripiano. È buona norma segnalarne l'inizio e la fine a pavimento (con una fascia di colore diverso o comunque percepibile anche da persone cieche). La larghezza

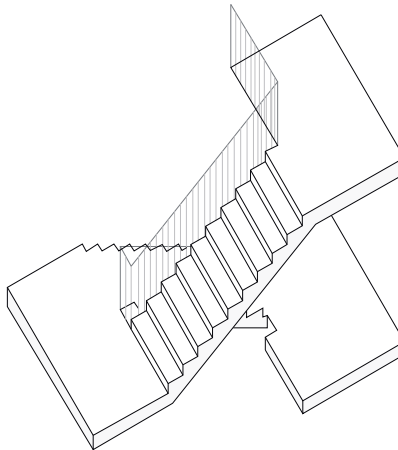
(1)



(2)



(3)



**6** Tutti gli elementi delle connessioni verticali devono essere visibili all'interno degli elaborati grafici, sia in planimetria (1), sia in alzato (2). Elaborati 3d (3) risultano migliori e più diretti per una visione di insieme immediata seppur semplificativa e riduttiva.

minima è di 120 cm per le scale che costituiscono parte comune o di uso pubblico. 80 cm per scale che non costituiscono parte comune o di uso pubblico.

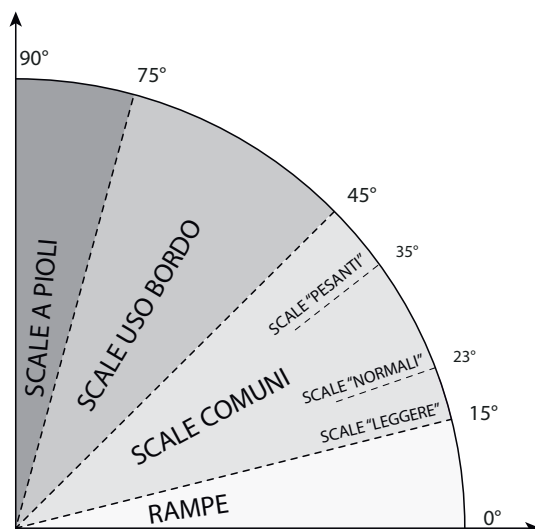
Il **parapetto** costituisce l'elemento di protezione posto sul lato libero delle scale. Lo stesso è costituito da una struttura piena o da una ringhiera. In alcuni casi assume funzione portante. Il parapetto costituisce una difesa contro il vuoto, deve avere 100 cm di altezza minima.

Il **corrimano** è un elemento fissato a lato della scala per dare sicurezza a chi percorre le scale. Il corrimano può essere fissato al muro o integrato nel parapetto. Il corrimano deve essere di facile prendibilità, deve essere realizzato con materiale resistente e non tagliente. L'altezza varia tra i 90 e i 100 cm per gli adulti, 75 cm per i bambini. Il corrimano su parapetto o su parete piena deve essere distante da essi almeno 4 cm. Nelle scale comuni e pubbliche il corrimano deve integrarsi con altri sistemi di sicurezza.

Le scale vengono così classificate sulla base della pendenza:

- da 0° a 15° rampe;
- da 15° a 45° scale comuni;
- da 45° a 75° scale uso bordo;
- da 75° a 90° scale a piolo.

Da 15° a 23° parliamo di "scale leggere", da 23° a 35° di "scale normali", da 35° a 45° di "scale pesanti".

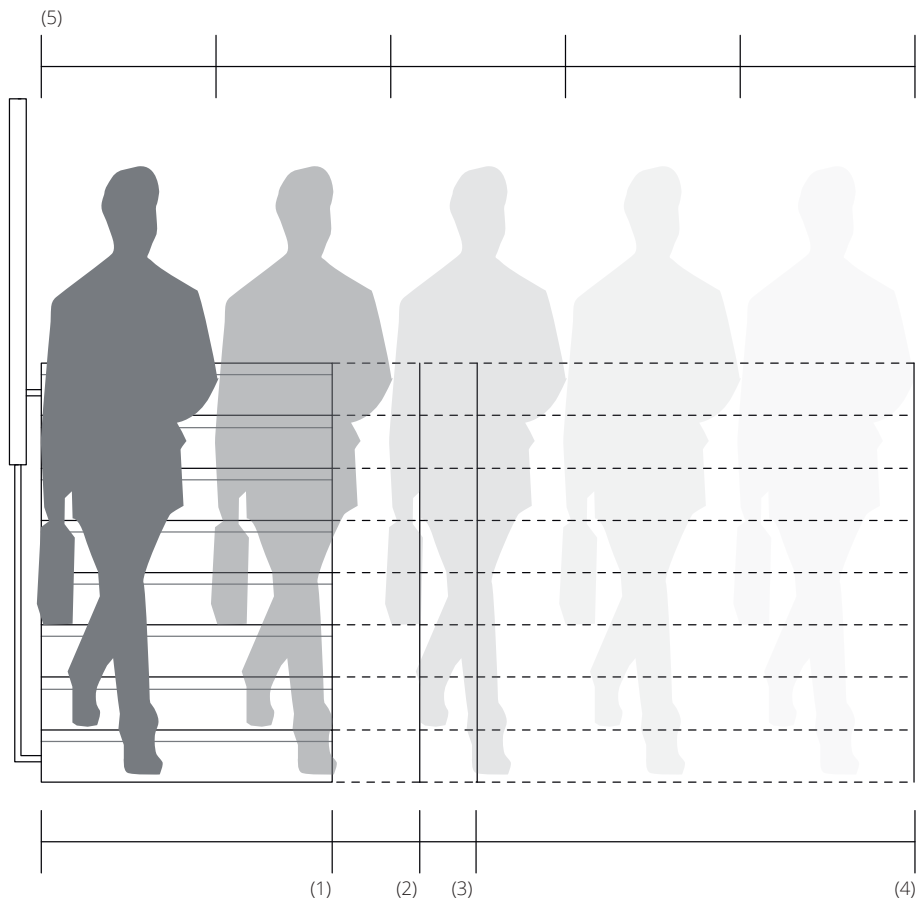


**7** Suddivisione delle connessioni verticali tramite il criterio della pendenza.

Vengono inoltre così classificate sulla base della larghezza:

- scale di servizio 80 – 100 cm;
- scale comuni 100 – 130 cm;
- scale “signorili” 130 – 150 cm;
- scaloni d’onore 150 – 300 cm.

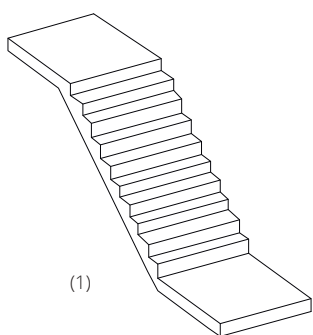
Per edifici con particolari destinazioni (locali per lo spettacolo, grandi magazzini, edifici per lo sport) le larghezze vanno calcolate in base al numero delle persone da sfollare.



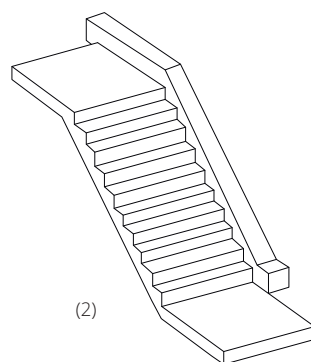
**8** Una volta la larghezza delle scale era definita dello status sociale degli utenti che ne usufruivano: le scale di servizio, le più strette, arrivano a 100cm di larghezza (1). Poi esistevano le scale comuni, larghe fino a 130cm (2), le signorili fino a 150cm (3) e infine gli scaloni d’onore, larghi anche 300cm (4). Queste suddivisioni, oggi sono soppiantate dal dimensionamento delle connessioni verticali rispetto alla frequentazione e alle conseguenti norme antincendio. Il dimensionamento perciò si basa sul modulo di 60cm (5) (larghezza persona umana) e i suoi multipli.

Le scale possono inoltre essere così classificate in base al funzionamento statico del gradino/rampa:

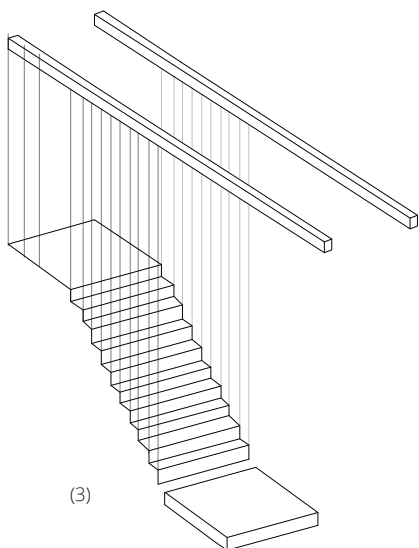
- scale appoggiate, dove il gradino trasferisce il carico ad un elemento strutturale proprio della scala, che lavora secondo lo schema statico di una “trave appoggiata”, il quale a sua volta lo trasferisce direttamente o indirettamente (attraverso i solai) alla struttura dell’edificio;
- scale incastrate, dove il gradino trasferisce il carico ad un elemento strutturale proprio della scala, che trasferisce i carichi a terra, o ad un elemento strutturale principale dell’edificio (trave o pilastro);
- scale appese.



(1)



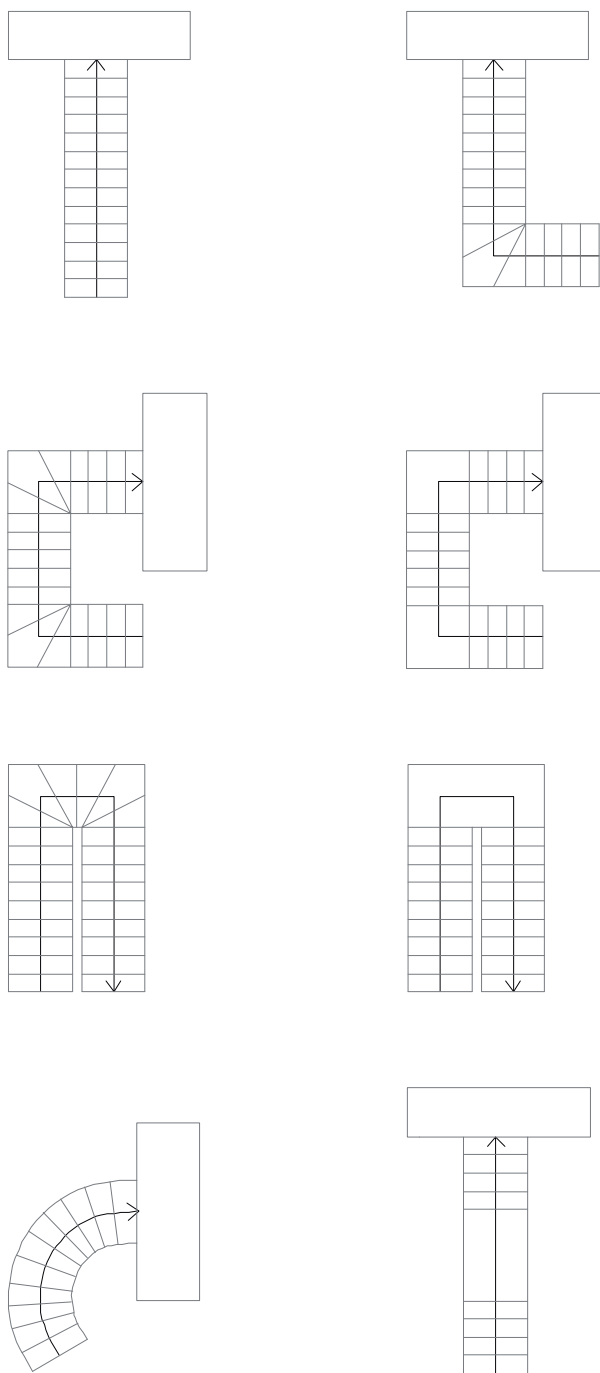
(2)



(3)

**9** Differenti tipologie di connessioni verticali: scale appoggiate (1), scale incastrate (2), scale appese (3). La loro differenza risiede nel loro funzionamento statico, riconducibile all'appoggio, all'incastrato e all'elemento appeso.





- 10** Combinando gli elementi essenziali delle scale come geometria della scala e degli scalini, posizionamento dei pianerottoli, si possono ottenere una grande varietà di tipologie di scale, più o meno complesse, più o meno fruibili e funzionali.

## TAMPONAMENTI – CHIUSURE VERTICALI

L'Elemento Tecnico Parete Perimetrale Verticale ha funzione principale di impedire il passaggio di persone, animali, oggetti e materiali solidi, liquidi, gassosi e di regolare il passaggio di energia tra spazi esterni e spazi interni all'organismo edilizio.

L'unità tecnologica **chiusura** deve essere caratterizzata dai seguenti requisiti:

- Affidabilità
- Asetticità
- Assorbimento acustico
- Attitudine all'integrazione impiantistica
- Attrezzabilità
- Comodità d'uso e di manovra
- Comprensibilità delle manovre
- Controllo facilità intervento
- Idrorepellenza
- Impermeabilità ai fluidi aeriformi
- Impermeabilità ai liquidi
- Isolamento termico
- Isolamento elettrico
- Isolamento acustico
- Limitazione dei rischi di esplosione
- Manutenibilità
- Pulibilità
- Reazione al fuoco
- Recuperabilità
- Regolabilità
- Resistenza
- Riparabilità
- Smaltimento gas nocivi
- Sostituibilità
- Stabilità
- Tenuta
- Ventilazione

L'Elemento Tecnico Parete Perimetrale Verticale può essere classificato in base alla sua tipologia funzionale in:

- **parete portante**, quando si caratterizza come elemento portante della struttura dell'edificio; in presenza, cioè, di un'ossatura muraria;
- **parete portata**, quando la stessa è priva di caratteristiche strutturali ma con funzione di chiusura verticale di uno scheletro portante.

Sempre in base alla tipologia funzionale può altresì essere classificato nel modo seguente:

- **parete opaca**, impedisce la trasmissione di energia radiante nello spettro solare;
- **parete trasparente**, consente la trasmissione di energia radiante nello spettro solare;
- **parete ad intercapedine (doppia parete)**, caratterizzata dalla presenza di una camera d'aria con funzione di separazione degli strati interni ed esterni;
- **parete ventilata**, caratterizzata da uno strato di ventilazione;
- **parete termoisolata**, caratterizzata dalla presenza di uno strato di isolamento termico;
- **parete integrata**, inglobante, in forma fisica non scindibile, predisposizioni impiantistiche o elementi di impianto;
- **parete captatrice**, finalizzata a massimizzare gli apporti solari.

## PARTIZIONI INTERNE

Le partizioni interne sono quell'insieme di unità tecnologiche e degli elementi tecnici del sistema edilizio aventi funzione di separare e di conformare gli spazi interni del sistema edilizio.

Le partizioni interne classificano lo spazio interno sul piano orizzontale, individuando un "di qua" e un "di là". Garantiscono il comfort ambientale in termini di acustica e benessere termoigrometrico.

Possono essere suddivise in **pareti portanti**, che contribuiscono alla stabilità dell'insieme riportando a terra i carichi dei solai che gravano su di loro e **pareti portate** che costituiscono un carico permanente sul solaio.



**11** I carichi all'interno di un'organismo edilizio vengono assorbiti in prima battuta da elementi orizzontali quali i solai o i tetti (1). Poi vengono trasmessi verso il suolo da pareti portanti (2), le quali sono adeguatamente dimensionate ai fini statici. Al contrario le pareti portate, (3) sono esili, poiché non vengono gravate da sforzi, quindi il loro abbattimento o cambiamento non inficia le prestazioni statiche dell'edificio.

## I SERRAMENTI

Gli **infissi esterni verticali** sono quegli elementi tecnici con funzione di regolare il passaggio di persone, animali, oggetti, energia, materiali solidi, liquidi o gassosi tra gli spazi interni ed esterni ed in generale di completare l'attrezzatura della chiusura verticale.

Il **serramento esterno** è un elemento tecnico con funzione principale di regolare in modo specifico il passaggio di persone, animali, oggetti, energia, aria e/o altri elementi fisici.

Lo **schermo** è un elemento tecnico con funzione di controllare in modo specifico l'energia radiante, l'illuminazione, il flusso termico e la visibilità tra gli spazi interni e gli spazi esterni.

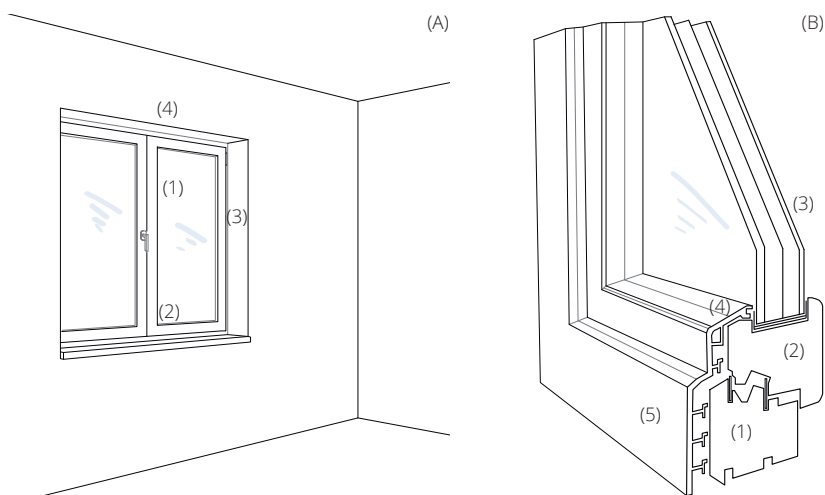
I componenti del serramento sono:

- gli stipiti;
- il contro telaio a muro;
- il contro telaio fisso;
- il telaio fisso o apribile;
- l'anta;
- i montanti;
- il montante di battuta;
- le traverse;
- la traversa inferiore;
- il gocciolatoio;
- il listello rompi tratta;
- il ferma vetro;
- il cassonetto;

a cui si aggiungono la ferramenta e i giunti di tenuta.

Per il controllo dei flussi energetici è possibile realizzare:

- facciate finestrate;
- facciate a componenti modulari;
- facciate con box finestrati;
- facciate a corridoio;
- doppie facciate continue;
- doppie facciate a sezioni controllate.



**12** Elementi costruttivi di una finestra (A): le ante, (1) in questo caso due, il telaio (2), i montanti (3) e il cassonetto (4) presente nel muro nella parte superiore della finestra.

Elementi costruttivi di una finestra (B): controtelaio (1) e telaio (2), il vetro (3) con i suoi vari strati con funzioni di schermo e riduzione della dispersione del calore, il gocciolatoio e le varie componenti di guarnizione e zone di taglio termico (4), il rivestimento esterno o finitura (5).

**Facciata finestrata:** massiccia, generalmente con funzione portante, ammette l'ingresso limitato della radiazione solare, l'abbattimento del rumore è affidato alla massa che garantisce, se elevata, anche la possibilità di accumulo termico. Impiego ricorrente: edilizia residenziale.

**Facciata a componenti modulari:** leggera, a montanti e traversi (*curtain wall*) non portante, generalmente a superficie trasparente elevata, consente l'ingresso di elevati flussi luminosi e termici e presenta una scarsa capacità di coibenza termica ed acustica. Consente una configurazione flessibile della facciata e un elevato grado di prefabbricazione. Se non adeguatamente schermata, genera condizioni di discomfort; non consente l'accumulo termico e in condizioni di elevata velocità del vento non consente la ventilazione naturale.

Impiego ricorrente: edifici per uffici e negli edifici alti.

**Facciata con box finestrati:** leggera, a montanti e traversi, consente l'ingresso di elevati flussi luminosi e termici che si accumulano in prossimità dello spazio del box, con surriscaldamento dello spazio immediatamente adiacente l'apertura.



ra, consente una riduzione dell'onda sonora in ingresso. Limitato ricambio d'aria.  
Impiego ricorrente: edifici per uffici, edifici con condizionamento notturno.

**Facciata a corridoio:** leggera, a montanti e traversi, non portante, a superficie trasparente elevata, ad elevato contenuto tecnologico. Consente l'ingresso di elevati flussi luminosi e termici, con conseguente surriscaldamento della zona corridoio, in cui la pressione dell'aria può essere controllata.

Impiego ricorrente: edifici per uffici, edifici alti.

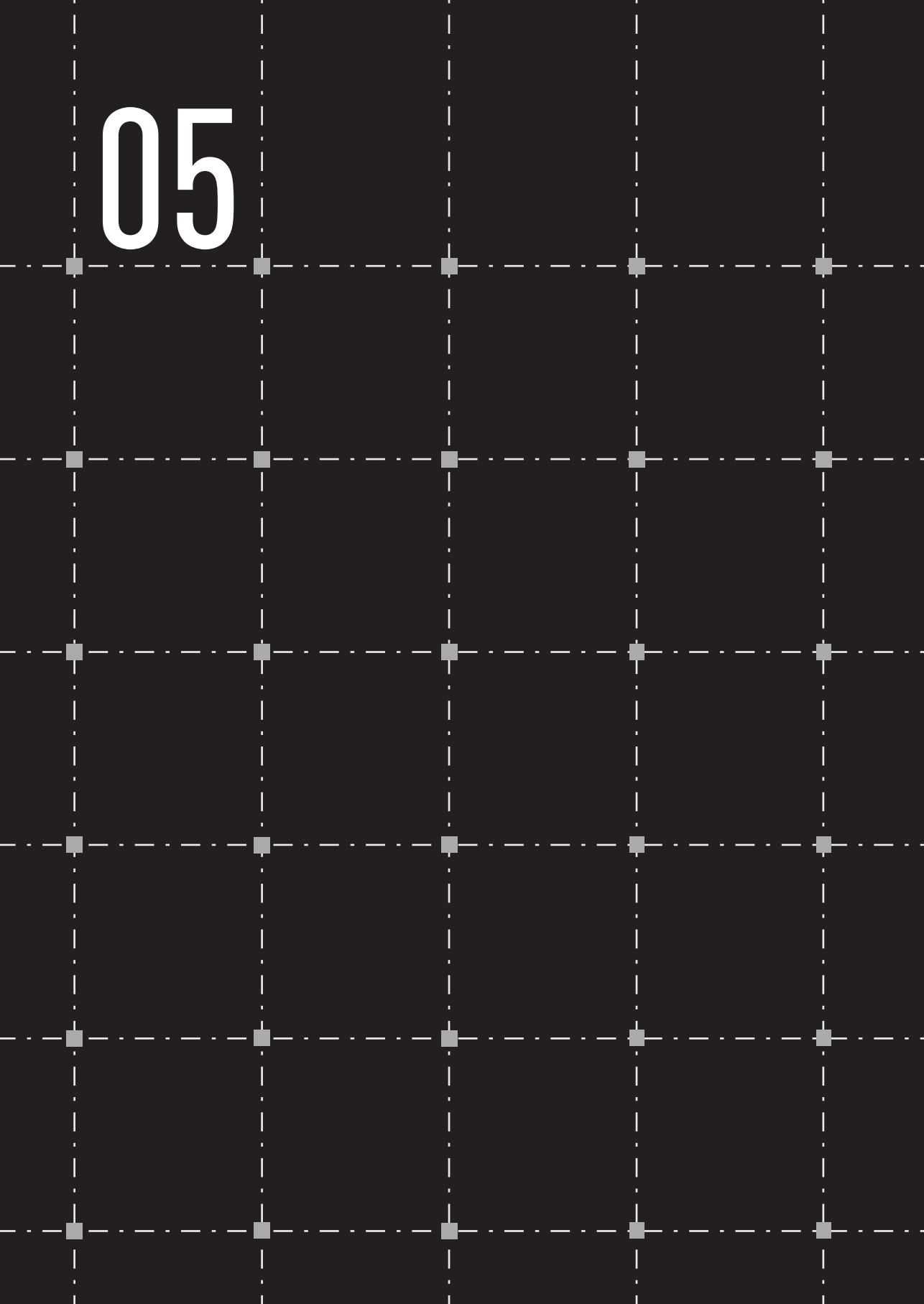
**Doppia facciata continua:** leggera, non portante, a superficie trasparente elevata, consente l'ingresso di elevati flussi luminosi e termici e conseguente surriscaldamento della zona di separazione delle due pelli, in cui la pressione dell'aria non può essere controllata.

Impiego ricorrente: edifici per uffici.

**Doppia facciata a sezioni controllate:** leggera, portante, consente l'ingresso di elevati flussi luminosi e termici. Non presenta condizioni di surriscaldamento dello spazio immediatamente adiacente l'apertura e consente una riduzione dell'onda termica in ingresso, che può essere modulata così come il flusso luminoso da sistemi di schermature.

Impiego ricorrente: edifici per uffici, negli interventi di riqualificazione energetica di edifici esistenti.

05



# LE OPERE DI FINITURA<sup>1</sup>

## INTONACI

L'intonaco è uno strato in malta di rivestimento protettivo delle murature con funzione prevalentemente protettiva, che può anche assumere una funzione estetica. Così lo definisce l'Enciclopedia Treccani:

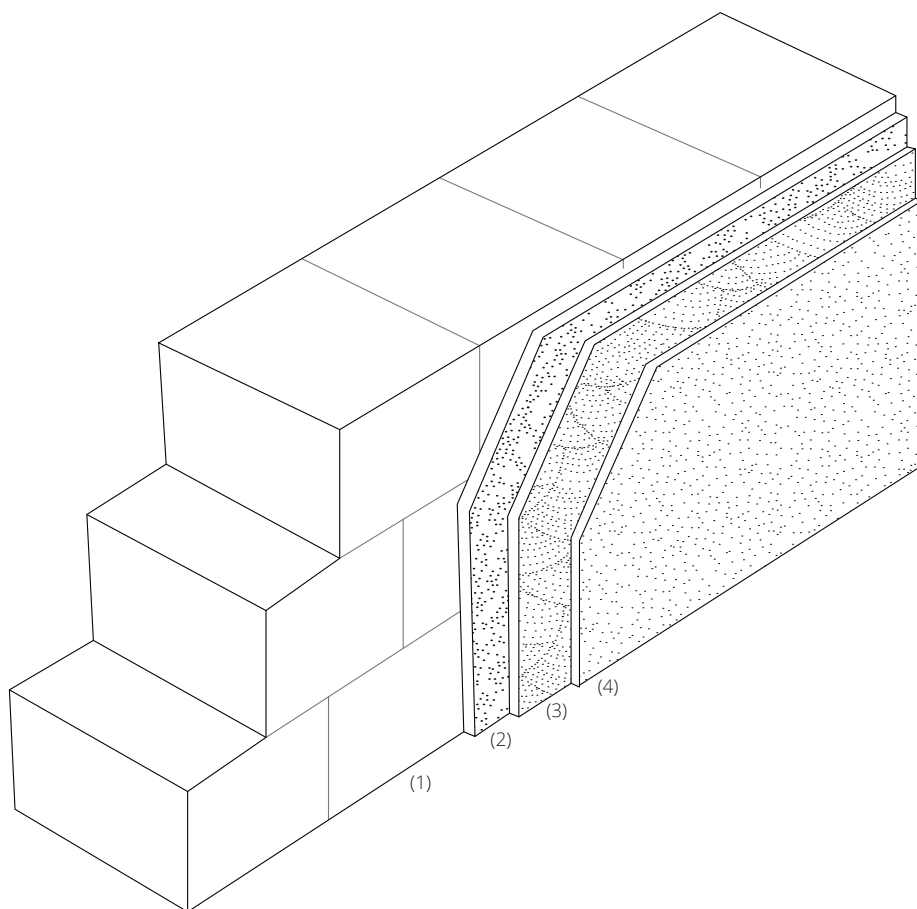
*Intonaco (fr. enduit; sp. revoque; ted. Putz; ingl. plastering). - Si chiama col nome generico d'intonaco lo strato di malta dello spessore di 1,5 - 2,5 cm. che si esegue sulle superficie dei muri esterni, pareti interne, soffitti ecc., per proteggere le murature dall'azione degli agenti fisici e chimici atmosferici. Le malte sono costituite da sabbia viva con grani convenientemente fini e da un agglomerante, o calce comune o calce idraulica o cemento, con proporzione in generale di 1 di agglomerante e 3 di sabbia, e sono più o meno ricche secondo le diverse applicazioni. L'intonaco riesce tanto più fine, quanto minore è la grossezza dei grani di sabbia; in generale gli intonaci sono eseguiti a strati e solo l'ultimo viene preparato con sabbia più fine.*

Non è conveniente eseguire l'intonaco quando il muro non è perfettamente asciugato. L'intonaco aderisce meglio sulle superfici ruvide anziché su quelle lisce; prima della spalmatura della malta devono essere quindi presi specifici accorgimenti volti a predisporre le superfici all'adesione dell'intonaco. Se la superficie non è piana conviene anche correggerla con malta di cemento per evitare che in corrispondenza delle rientranze vengano a crearsi degli strati d'intonaco troppo spessi. Gli intonaci si distinguono in esterni e interni. Per le superficie esterne, esposte

---

<sup>1</sup> Testo di Maurizio Bradaschia.

alle intemperie, si adottano generalmente le malte più durevoli e resistenti, di calce idraulica o di cemento, con un'esecuzione più accurata e impedendone un rapido prosciugamento. Per le superfici interne si usano malte di calce comune o qualche volta anche di gesso, sempre però che le pareti non siano esposte all'umidità. A seconda della modalità di esecuzione o di rifinitura, gli intonaci si distinguono in: stuccatura delle commessure, rabboccatura, rinzafo o intonaco rustico, intonaco a superficie picchiettata, arricciatura, intonaco civile, stucco.



- 1** L'intonaco e la sua differente stratigrafia: a partire dalla muratura (1), i vari strati di intonaco si fanno sempre meno grezzi e più lavorati. Troviamo in primis la stuccatura delle commessure (2), strato molto grezzo e poco lavorato, poi l'arriccio, rinzafo o rabboccatura chiamato anche intonaco rustico (3), strato che va a mediare e spianare, infine l'intonachino o intonaco civile (4) ovvero la finitura.

La stuccatura delle commessure si applica alle pareti esterne e consiste in un intonaco parziale, limitato solamente allo strato di malta fra i corsi di laterizio o i blocchi di pietra. Si esegue nelle facciate con materiali in vista. La rabboccatura consiste nello spianamento di superficie irregolari delle pareti. Il rinzafo o intonaco rustico si esegue per lo più nelle cantine, nei camini, nei soffitti, nei magazzini, e in genere in tutti quei casi in cui l'intonaco ha solo lo scopo di preservare il muro e non necessita una levigatura. Si esegue con la cazzuola e spesso viene picchiettato con una scopa o strofinato con un legno chiamato frattazzo per rendere la superficie uniforme. L'arriciatura ha un significato diverso secondo le varie regioni d'Italia, ma in generale è un intonaco rustico. L'intonaco civile è quello più curato nella rifinitura. Consta di più strati, generalmente di tre, ciascuno dei quali è posto in opera quando comincia l'essiccamento del precedente. Il primo strato è costituito dall'intonaco rustico, gli altri sono eseguiti con malte sempre più fini. Conviene che lo spessore complessivo non superi i 2,5 cm. Per rendere la superficie liscia si strofina la malta, opportunamente inumidita, con un regolo di legno, detto sparviero, con la superficie inferiore foderata di feltro bianco. Per ottenere superfici piane vengono predisposte opportune strisce verticali di malta, distanziate di  $1 \div 1,5$  m, che servono da guide e che vengono chiamate poste. Opportuni accorgimenti vengono adottati per le superficie curve. Sull'intonaco civile, se bene eseguito, non si deposita la polvere e l'acqua defluisce meglio. L'esperienza però ha dimostrato che esso dura meno di un intonaco rustico, specie quando è esposto alle intemperie.

Lo stucco è l'intonaco fine di malta di calce che si adotta per i soffitti e le pareti e che spesso ha scopo decorativo.

I lavori eseguiti con malte costituite da miscele di calce o gesso con polvere di carbone fossile, limatura di ferro, o con frammenti minuti di pietre decorative colorate, intese a imitare pietre ornamentali naturali, vengono chiamati lavori in stucco. Queste malte si adottano tanto per intonaci lisci ben levigati, quanto per la formatura di pezzi ornamentali. Di questi si tratterà alla voce "Stucco".



**2** **3** Aleberto Campo Baeza, Cala House, Madrid, 2015.





**4** **5** Aires Mateus, Casa a Leiria, Leiria, 2010.

## PAVIMENTI

Dal lat. *pavimēntu(m)*, deriv. di *pavīre* "spianare, livellare".

Il pavimento è lo strato di rivestimento, di materiali vari, che ricopre il piano di sostegno e di passaggio degli ambienti interni ed esterni degli edifici. Si tratta di un elemento costruttivo orizzontale che delimita inferiormente un ambiente, ma che può rivestire qualunque manufatto anche esterno: ad esempio il pavimento stradale, un lastricato, l'asfalto ecc.

## RIVESTIMENTI

### RIVESTIMENTI IN METALLO

I rivestimenti in metallo sono generalmente realizzati in lamiera di acciaio, alluminio, zinco-titanio, rame, bronzo. Necessitano di protezione o di trattamento per aumentare la resistenza agli agenti atmosferici e alla corrosione, quando non resistenti naturalmente.



**6** Norman Foster, Sainsbury Centre of Visual Arts, Norwich, 1978.



**7** Renzo Piano, Auditorium Parco della Musica, Roma, 2002.



**8** Renzo Piano, NeMo, Amsterdam, 1997.

## LAVORAZIONE DELLE LAMIERE

Fusione e foggatura: colata in stampi, sinterizzazione, foggatura per pressione/trazione (trafilatura, imbutitura, slabbratura, piegatura dolce, laminazione, fucinatura a stampo, estrusione, piegatura a stampo o a rulli, curvatura), foggatura per piegatura/spinta (stiro-imbutitura).

Taglio: frazionamento (troncatura), truciolatura con tagli geometrici (tornitura, foratura, alesatura, fresatura, piallatura, taglio alla sega, limatura, spazzolatura, rifilatura), smerigliatura, truciolatura con getti d'acqua abrasivi), asportazione termica (raggio laser, elettroerosione), asportazione chimica (acidatura).

## MAGLIE METALLICHE E RETI

Di origine industriale (filtri), offrono un rivestimento permeabile. L'effetto varia dalla distanza di osservazione, e dipende dalla larghezza delle maglie, dallo spessore e dalla struttura del materiale. Questi fattori influenzano anche la trasparenza e la protezione da agenti atmosferici.

Possono essere applicati in uno stato di pretensionamento e stabilizzati nel piano; possono essere montati con un sistema di molle che permettono il movimento in presenza di variazioni dimensionali per variazioni di temperatura. La larghezza massima dei tessuti a maglia è di circa 8 m e il peso variabile dai 4 ai 7 kg/m<sup>2</sup>. Vengono realizzate con diversi metalli o accoppiamenti di metalli e materiali sintetici (inserimento di fibre ottiche, di immagini e testi), a permeabilità visiva variabile.







**9** **10** Dominique Perrault, caja Mágica, Madrid, 2009.







11 12 COBE, The Library, Copenhagen, 2011.





**13** **14** Gangoly & Kristiner, Montan University Leoben, Leoben, Austria, 2009.







**15** **16** Rintala Eggertsson Architects, Høse Bridge, Suldal, Norway, 2013.

## LATERIZI

Il laterizio è un materiale artificiale da costruzione ottenuto dalla cottura di argille con quantità variabili di sabbia, ossido di ferro e carbonato di calcio.

Il suo utilizzo, in edilizia, è ampio e variegato. I laterizi vengono infatti utilizzati nella realizzazione di:

- camini e canne fumarie;
- coperture in "tegole curve" o coppi e "tegole piane";
- elementi divisorii: elementi in laterizio di tipo leggero e forati che vengono posati sia in orizzontale che in verticale;
- rivestimenti faccia a vista: il mattone faccia a vista permette la costruzione di muri e viene utilizzato soprattutto per la finitura esterna delle pareti;
- murature: elementi che vengono usati per la realizzazione di murature portanti;
- pavimenti in "pianelle" e "mattoni";
- solai;
- tavelle e tavelloni: si tratta di laterizi piani forati e di forma parallelepipedica, per la realizzazione di pareti e setti sottili (tra 4, 6 e 8 cm) che le rendono leggere, maneggevoli e piuttosto resistenti a flessione.







**17** **18** Foster + Partners, Nuovo padiglione per il vino Chateau Margaux Bordeaux, Margaux, 2015.



19 20 Gehry Partners, Dr Chau Chak Wing Building UTS Business School, Sydney, 2015.





21 22 5+1 AA, IULM Knowledge Transfer Centre, Milano, 2014.

## VERDE VERTICALE

Il tema del verde verticale è divenuto, negli anni più recenti, un elemento architettonico costante nei progetti edilizi, sia nel caso di edifici di nuova costruzione che nelle ristrutturazioni.

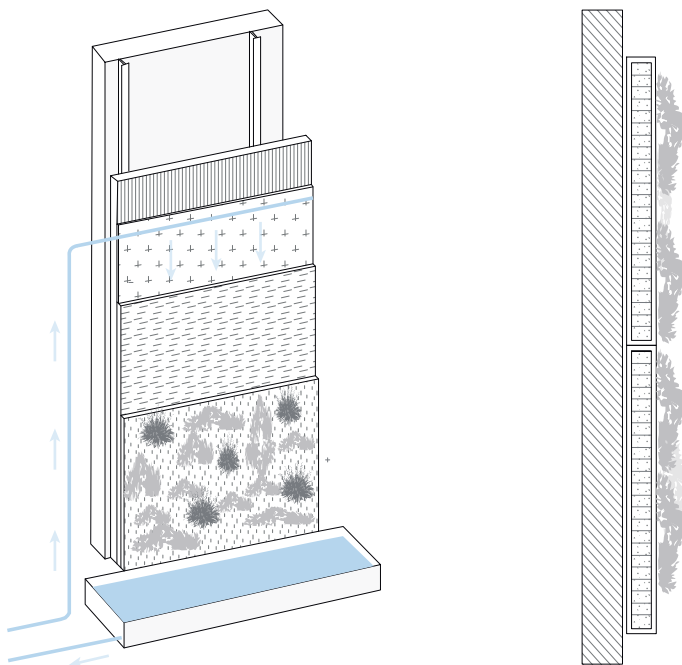
Oltre a costituire un elemento distintivo dell'architettura verde, la realizzazione di una parete verde porta con sé alcuni vantaggi, andando a costituire una "seconda pelle" degli edifici. I principali vantaggi sono:

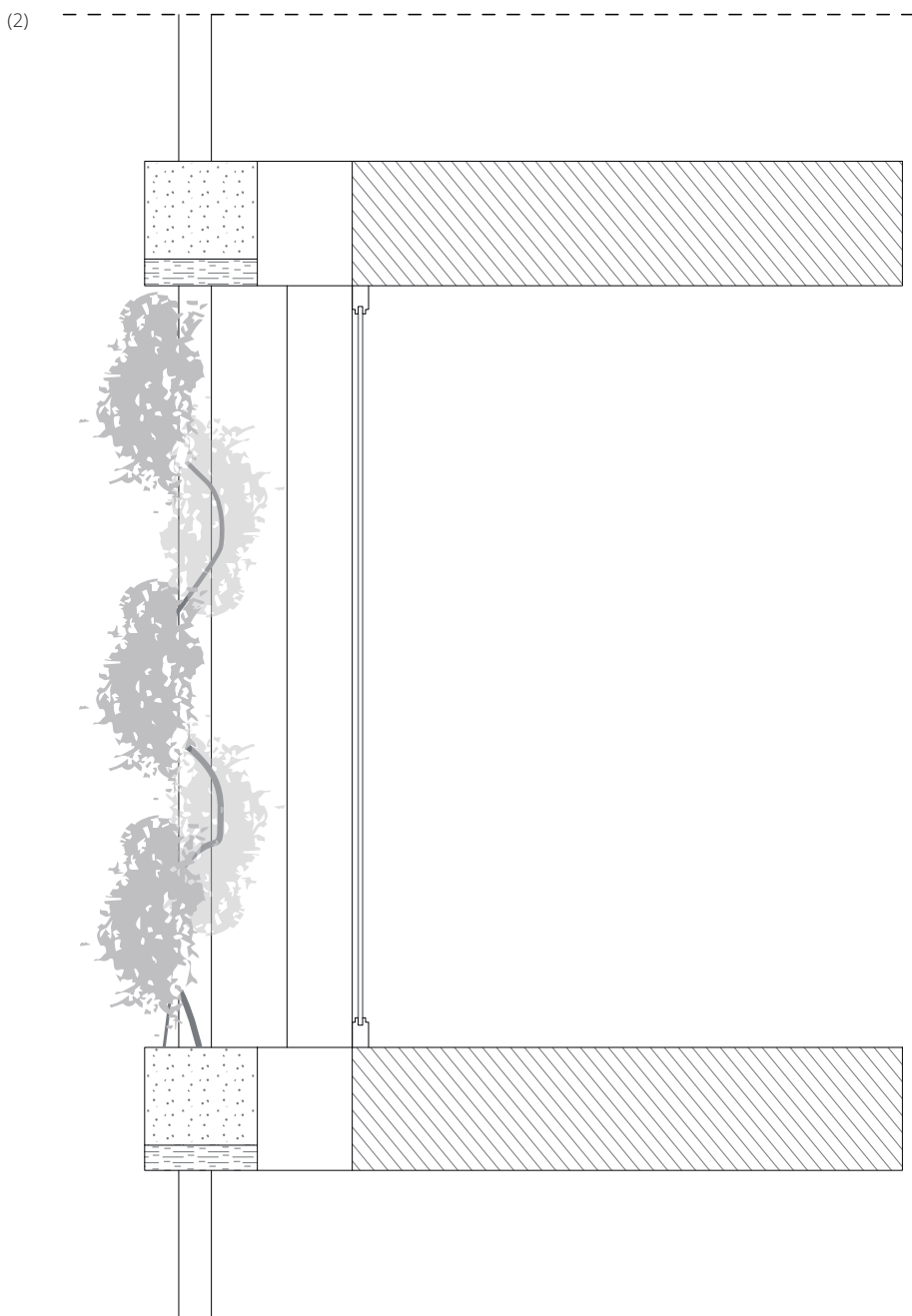
- miglioramento dell'isolamento termico degli edifici, evitando l'irraggiamento diretto dei raggi solari sulla parete, che non si scalda e non irradia il calore all'interno;
- contribuisce a catturare le polveri sottili (il particolato totale sospeso - PM10) in ambiente urbano.

La realizzazione di una parete verde parte innanzitutto dalla scelta della tipologia di sistema.

Esiste infatti da molti anni un verde verticale "tradizionale": il verde verticale rampicante. Esso sfrutta la capacità delle piante rampicanti di aggrapparsi a strutture di sostegno adeguate per costituire quella che è a tutti gli effetti una tenda verde. La seconda tipologia, molto più recente, è quella che permette di realizzare veri e propri Giardini Verticali. Questa tipologia consente di inserire in parete piante che si trovano generalmente nei giardini.

(1)





**23** Verde verticale e verde rampicante sono due tipologie differenti dell'uso delle piante sulla facciata degli edifici. Il primo (1) utilizza le piante sulla facciata propria, mettendole a dimora e utilizzando specifici materiali e spazi per la loro crescita, il passaggio delle acque e predisponendo strategie che non vadano a rovinare l'involucro. Il secondo metodo invece non considera le piante come un layer funzionale, ma solo come un parte esterna a corredo della facciata (2).



**24** Herzog & de Meuron, Caixa Forum, Madrid, 2008.



**25** **26** Jean Nouvel, Musée de quai Branly, Parigi, 2006.







**27** Stefano Boeri, Bosco verticale, Milano, 2014.



28 29 Edouard François, Tower Flower, Parigi, 2004.

## TINTEGGIATURE E COLORITURE

I prodotti murali per l'edilizia possono essere ricondotti alle seguenti tipologie:

- prodotti murali per interni;
- effetti decorativi per interni;
- prodotti murali per esterni;
- prodotti per rivestimento termico a cappotto;
- smalti a base d'acqua;
- smalti a base solvente;
- prodotti per il legno;
- fondi (murali, per il legno, per il metallo);
- prodotti e resine per pavimenti;
- prodotti speciali diluenti;
- prodotti ecosostenibili.

Le pitture per interni possono essere di varia tipologia:

### PITTURE AI SILICATI

Pitture traspiranti e minerali a base di silicati di potassio. Fisiologicamente innocue, prive di conservanti e quindi molto idonee per persone allergiche.

Utilizzo: idonee per tutte le normali superfici interne di pareti e soffitti, ad esempio in uffici, stanze di abitazione e da letto, cucine, bagni e cantine. Grazie alle loro caratteristiche ecologiche, sono idonee per ambienti e persone sensibili, come nel caso di cliniche, ospedali, scuole materne o nel settore alimentare. Particolarmente idonee su intonaci minerali, non pitturati, dei gruppi malte PI, II e III, vecchie pitture ai silicati e tappezzerie in fibra ruvida.

Materiale di base:

- legante: silicato di potassio ("silicato") con additivi organici inferiori al 5% in conformità alla norma DIN 18363 2.4.1;
- pigmenti: ossido di titanio, mica, carbonato di calcio, silicato di alluminio;
- materiali riempitivi: carbonato di calcio, silicati, polvere di marmo;
- additivi: reticolante, antischiumogeno.

### PITTURE LAVABILI

Pitture altamente coprenti e lisce, esenti da emissioni e solventi, opache, per pareti e soffitti di interni, a base di dispersione, con caratteristiche ottimali di elevata resistenza all'abrasione.

Utilizzo: ideali per la tinteggiatura e decorazione di rivestimenti minerali in polvere (a base di calce, calce/cemento e calce/gesso) e superfici organiche (ad es. vecchie pitture in dispersione) in interni. Idonee in particolare per supporti più problematici, quali pannelli in cartongesso, pannelli in genere o vecchie pitture fortemente colorate.

Ideali per tinteggiature di altissima qualità su supporti lisci. La pittura lavabile è utilizzata in modo particolare per supporti problematici di diverso tipo e quindi per il risanamento o come prodotto di alta fascia nel campo delle nuove costruzioni.

Pittura mono strato con classe di resistenza all'abrasione 1 e rapporto di contrasto (capacità coprente) di classe 1 secondo la norma EN 13300.

Materiali di base:

- legante: polimeri in dispersione acquosa;
- additivi: reticolante, antischiumogeno;
- materiali riempitivi (minerali).

#### PITTURE LAVABILI TRASPIRANTI

Pitture per interni a base di copolimeri acrilici in dispersione con buon potere coprente, ottima distensione, a basse emissioni, opaca per pareti e soffitti. Pitture universali per interni per impiego in costruzioni vecchie e nuove.

Utilizzo: ideali per la tinteggiatura di rivestimenti minerali secchi (a base di calce, calce/cemento, calce/gesso) e superfici organiche (ad es. vecchie pitture a base di dispersione) in interni.

Sono caratterizzate da un potere coprente di classe 2 e resistenza all'abrasione di classe 3 in conformità alla norma EN 13300. Non idonee per superfici soggette a sollecitazioni meccaniche.

Materiali di base:

- legante: polimeri in dispersione acquosa;
- additivi: reticolante, antischiumogeno;
- materiali riempitivi (minerali).

#### PITTURE ACRILICHE

Pitture universali, per interni di edifici ad uso pubblico, sia vecchi che nuovi.

Utilizzo: adatti al rivestimento di intonaci minerali asciutti (a base di calce, calce/cemento e calce/gesso) e superfici organiche (ad es. vecchie pitture in dispersione) in interni. Permettono di raggiungere un rapporto di contrasto, ovvero una capacità coprente di classe 2 secondo la norma EN 13300.



Materiali di base:

- additivi: reticolante, antischiumogeno;
- pigmenti: ossido di titanio, mica, carbonato di calcio, silicato di alluminio;
- legante: polimeri in dispersione acquosa.

#### PITTURE AI SILOSSANI

Pitture per interni opache, altamente coprenti, resistenti all'abrasione, a base di resina silossanica.

Utilizzo: essendo molto elastiche e fluide, le pitture ai silossani si prestano in modo particolare per l'uniformazione di superfici interne e sono particolarmente idonee su intonaci a base di calce gesso levigati o lisciati. Si tratta di un rivestimento finale colorato di alta qualità particolarmente idoneo su rivestimenti pregiati e stabili.

Materiali di base:

- legante: resina silossanica/dispersione;
- pigmenti: ossido di titanio, mica, carbonato di calcio, silicato di alluminio;
- materiali riempitivi: carbonato di calcio, silicati, polvere di marmo;
- additivi: reticolante, antischiumogeno.

#### PITTURE AL LATTICE (ASPETTO SEMI LUCIDO)

Pitture a base di dispersione altamente coprente e diluibile in acqua, al lattice e resistente all'usura.

Utilizzo: particolarmente idonee per scale e corridoi di scuole, locali di negozi, sale di sportelli, ristoranti ed edifici pubblici. Grazie alla struttura liscia-setosa e compatta della superficie, queste risultano permanentemente lavabili e poco sporchevoli.

Materiali di base:

- legante: polimeri in dispersione acquosa;
- additivi: reticolante, antischiumogeno, conservanti;
- pigmenti: ossido di titanio, mica, carbonato di calcio, silicato di alluminio.

Si tratta, in tutte le tipologie sopra riportate, di pitture additivabili per prevenire muffe e/o per realizzare effetti di diverso aspetto.

Anche le pitture per esterni possono essere di varia tipologia, tra le più diffuse:

#### PITTURE MINERALI AI SILICATI

Pitture al sol di silicato conformi alla norma DIN 18363, altamente coprenti, altamente permeabili al vapore, idrorepellenti e resistenti agli agenti atmosferici. A base di silicato di sodio e di silice colloidale.



Utilizzo: idonee per il rivestimento di rivestimenti induriti e asciutti a base di calce e cemento, nonché di calcestruzzo, vecchi supporti silicatici e organici e per il rivestimento e uniformazione di superfici minerali o di intonaci alla calce, vecchi e nuovi, con elevate esigenze di scambio d'aria con i dintorni.

Non idonea per rasanti e lisciate a base di gesso e supporti in gesso.

#### PITTURE ACRIL-SILOSSANICHE

Pitture pregiate idrorepellenti per facciate intonacate e su rivestimenti di sistemi di isolamento termico. Pitture per facciate a base di resine acriliche e silossaniche con caratteristiche di ottima resistenza all'intemperie, allo sfarinamento e elevata stabilità del colore.

Utilizzo: adatte per rinnovare e uniformare superfici con rivestimenti murali, anche su sistemi d'isolamento termico esistenti. Sono inoltre impiegate in condizioni estremamente esposte (mancanza di tettoie, esposizione diretta alle intemperie ecc.).

Sono generalmente additivate con un film protettivo.

#### PITTURE ACRILICHE

Pitture per superfici di facciate intonacate, a base di pregiati polimeri-acrilati con caratteristiche di elevata resa e di facile applicazione.

Materiali di base:

- pigmenti: ossido di titanio, mica, carbonato di calcio, silicato di alluminio;
- legante: polimeri in dispersione acquosa;
- additivi: reticolante, antischiumogeno.

#### IDROPITTURE ACRILICHE

Pitture additivate con un film protettivo per superfici di facciate intonacate e di sistemi di isolamento termico. Rivestimento per facciate a base di pregiati polimeri-acrilati con caratteristiche di massima stabilità di colore e resistenza allo sfarinamento.

Utilizzo: impiegate in condizioni estremamente esposte (mancanza di tettoie, esposizione diretta alle intemperie ecc.).

Materiali di base:

- pigmenti: ossido di titanio;
- legante: polimero compresso;
- additivi: reticolante, antischiumogeno;
- film protettivo: additivazione resistente alle alghe e ai funghi.

#### PITTURE AI SILOSSANI

Pitture idrorepellenti, additate con un film protettivo, per rinnovo e uniformazione di facciate intonacate e rivestite con sistemi di isolamento termico. Applicabili su supporti minerali e organici (come ad es. intonaci a base di calce/cemento, pitture minerali e in dispersione, arenaria, calcestruzzo ecc.).

Utilizzo: ideali come migliorativo della struttura di rivestimenti, sotto il profilo dell'aumento dell'idrorepellenza e di uniformazione della superficie di supporti prevalentemente minerali.

#### PITTURE CON TECNOLOGIE SISI

Pitture permeabili al vapore per facciate intonacate e rivestite con sistemi di isolamento termico. Pitture ibride basate sulla tecnologia SiSi con una combinazione ottimizzata delle caratteristiche dei suoi componenti organici e inorganici. La tecnologia SiSi è basata su una nuova struttura elastica polimero-stabilizzata di silicato/silossano.

Utilizzo: applicabili su supporti minerali e organici (ad es. pitture in dispersione e a base di lattice, pitture alla calce e minerali, intonaci a base di calce/cemento e resina sintetica, arenarie calcaree e superfici in calcestruzzo). Si tratta di pitture elastiche ideali per il risanamento di sistemi di isolamento termico vecchi ma ancora intatti.

#### PITTURE ECOLOGICHE ALLA CALCE

Pitture alla calce pregiata, ecologica, per un campo d'impiego vasto sia in interni che in esterni.

Utilizzo: particolarmente indicate per supporti ecologici come intonaci alla calce. La natura del prodotto ed il valore pH elevato, rendono le superfici trattate difficilmente attaccabili da muffe o batteri.

Consentono un'ampia possibilità di colorazione.

06



# TIPOLOGIE COSTRUTTIVE<sup>1</sup>

Un'**apparecchiatura costruttiva** costituisce, equivale a un sistema, che va generalmente costruito, fatto funzionare, gestito ed eventualmente dismesso.

Ed è anche, sia insieme strutturato di unità ed elementi spaziali che insieme strutturato di unità tecnologiche ed elementi tecnici.

L'apparecchiatura costruttiva costituisce una "lettura" in chiave tecnico costruttiva dell'organismo edilizio in termini di "sistema" di parti e di relazione tra le parti stesse.

Tali parti sono riconducibili/riassumibili in:

- chiusure verticali;
- chiusure orizzontali;
- partizioni interne;
- elementi di comunicazione verticale;
- blocchi funzionali;
- scheletro portante;
- involucro globale.

Con queste si rapporta, si relaziona in maniera imprescindibile il **sistema tecnologico**, quell'insieme, cioè, strutturato di unità tecnologiche e di elementi tecnici sintetizzabili in:

- strutture (di fondazione, elevazione e contenimento);
- chiusure (verticali, di ordine inferiore, su spazi aperti e di ordine superiore);
- partizioni interne (verticali, orizzontali e inclinate);
- partizioni esterne (verticali, orizzontali e inclinate);
- attrezzature interne ed esterne;

---

<sup>1</sup> Testo di Maurizio Bradaschia.

- impianti di fornitura;
- servizi;
- impianti di sicurezza.

La lettura in chiave tecnico-costruttiva ci delinea e definisce l'**apparecchiatura costruttiva** pertanto come insieme di parti, di **elementi di fabbrica** tra loro correlati e integrati.

Funzione degli elementi di fabbrica è quella di:

- delimitare e classificare lo spazio;
- assicurare condizioni di comfort;
- garantire la sicurezza statica.

Gli **elementi costruttivi funzionali** sono le parti che costituiscono gli elementi di fabbrica all'interno dei quali hanno un ruolo preciso ai fini del comfort e/o della sicurezza statica oltre che ai fini della costruibilità dell'elemento di fabbrica.

Gli **elementi costruttivi base** sono le parti costituenti gli elementi costruttivi funzionali. Hanno un ruolo specifico ai fini della costruibilità e delle capacità prestazionali richieste agli Elementi Costruttivi Funzionali; possono essere monovalenti o polivalenti.

I **materiali di base** sono invece gli impasti, le miscele e similari; possiedono attributi potenziali di forma e capacità potenziali costruttive e prestazionali. Possono essere prodotti:

- a piè d'opera (manualmente e a macchina);
- fuori opera (artigianalmente o industrialmente).

## LO SCHELETRO PORTANTE

Lo **scheletro portante** di un organismo edilizio è generalmente costituito dai seguenti elementi sistemi:

- sistema di fondazione;
- travi;
- pilastri;
- controventi;
- solai.



Le **travi** collegano i pilastri e forniscono appoggio ai solai; sostengono i carichi e li trasferiscono ai pilastri superando la discontinuità degli appoggi. Si distinguono in principali e secondarie.

I **pilastri** convogliano i carichi gravanti sui solai e trasferiti dalle travi al sistema di fondazione in modo concentrato.

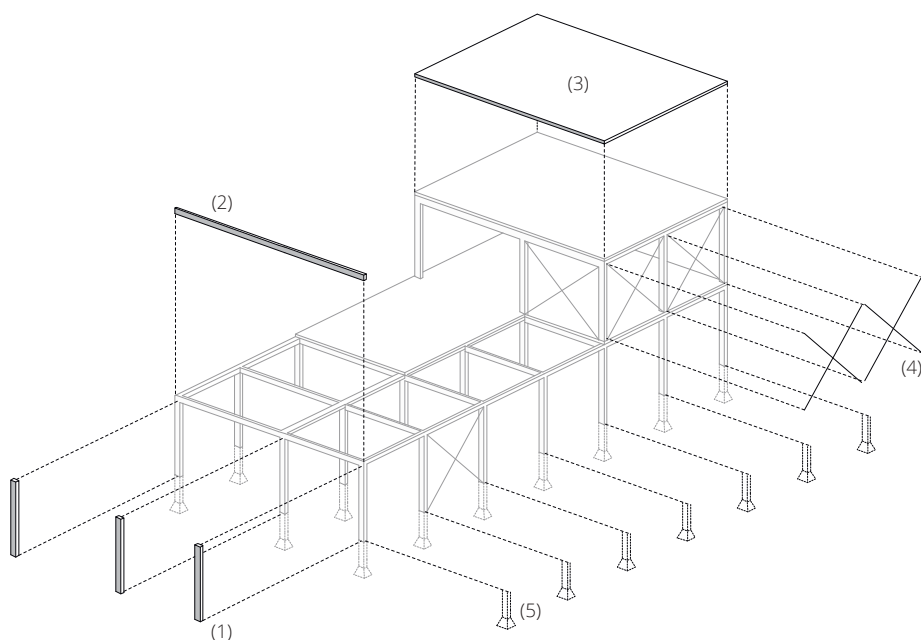
I **controventi** collegano gli elementi lineari tra di loro rendendoli collaboranti di piano (elementi bidimensionali) e di parete (elementi lineari).

Le **fondazioni** trasmettono al terreno il peso globale della costruzione ed evitano le conseguenze di cedimenti differenziali.

Si distinguono in:

- fondazioni continue:
  - a trave rovescia;
  - a platea (diretta/superficiali) e a platea su pali (indiretta/profonde).
- fondazioni discontinue:
  - plinti (superficiali) e plinti su pali (profonde).

La scelta della **maglia strutturale** costituisce l'elemento base per il progetto.



**1** Elementi base che compongono lo scheletro base di un edificio: i pilastri (1), le travi (2), i solai (3), i controventi (4), le fondazioni (5).

Un telaio (anche struttura intelaiata, ossatura<sup>2</sup> portante o struttura a scheletro) è, come abbiamo visto, per molte costruzioni, la struttura portante costituita da

---

2 Da: *Ossatura dei fabbricati*, Enciclopedia Italiana (1935), di Luigi Santarella.

Ossatura dei fabbricati (fr. charpente, ossature; sp. armazón; ted. Gerippe; ingl. skeleton). - Si chiama ossatura di un edificio la struttura costituita da pilastri e travi fra loro solidali, cioè lo scheletro portante le membrature orizzontali, o solai, destinate a sostenere i carichi permanenti e accidentali, i quali vengono trasmessi al terreno di fondazione attraverso le travature principali orizzontali e le pilastrate verticali.

L'ossatura solidale mancava nei fabbricati antichi, nei quali generalmente i solai con travi di legno o di ferro, oppure le volte di muratura, venivano portati da solidi muri longitudinali e trasversali in mattoni pieni o in pietra naturale sbazzata. La concezione di sostituire agli ingombranti muri portanti un'intelaiatura di pilastri e travi di materiali più resistenti, che consentissero quindi notevole riduzione di peso e sezioni limitate, fu determinata anzitutto dal notevole sviluppo dell'urbanesimo, che, facendo aumentare il valore delle aree fabbricabili, portò al problema della massima utilizzazione di esse, specialmente nei centri industriali e commerciali più importanti. Problema economico perciò, la cui naturale soluzione conduceva ad aumentare sempre più l'altezza dei fabbricati. È evidente che, seguendo i sistemi costruttivi adottati dai nostri antenati, il beneficio della maggiore altezza sarebbe stato frustrato dal maggiore ingombro delle murature, specie in quelle parti, come nei piani inferiori degli edifici, nelle quali le necessità commerciali della vita cittadina richiedono maggiore utilizzazione dello spazio, per esposizione di negozi ecc. Con quei sistemi cioè, ad edifici più alti, anche sfruttando al massimo le caratteristiche di resistenza delle murature, avrebbero fatto riscontro ingombri sproporzionati di muri, locali stretti e aperture limitate nei piani inferiori, assolutamente inadatti per negozi e vetrine di esposizione. Il reddito di questi locali sarebbe diminuito col diminuire dell'area libera, cioè con l'aumentare dell'altezza dell'edificio, fino ad annullare, oltre un certo limite, la convenienza economica della costruzione di altri piani.

Nei tempi antichi, se pure sorsero dei fabbricati di notevole altezza, come attestano molti avanzi, essi avevano un puro scopo monumentale esteriore e venivano adibiti per fini da cui esulava o era trascurabile o di secondaria importanza lo sfruttamento degli spazi liberi. D'altro canto anche se allora si fosse voluto mirare ai due scopi, difficilmente si sarebbero potuti conciliare, perché difettavano i materiali resistenti adatti, come il ferro, mentre s'ignorava completamente il cemento armato. Il primo si usava quasi esclusivamente per chiavi e per contrastare l'azione di elementi spingenti, quando questo contrasto non si voleva affidare all'attrito, come spesso succedeva.

Ai criteri di sfruttamento delle aree fabbricabili si debbono quindi le prime manifestazioni delle concezioni moderne della struttura di un edificio. In breve tempo però l'applicazione di questi concetti si diffuse, progredì e si generalizzò in vista dei nuovi criteri d'igiene, che richiedono soprattutto locali vasti con ampie aperture.

Nei fabbricati moderni si costituisce perciò un'intelaiatura principale di elementi verticali e orizzontali, solidali fra loro, di minimo ingombro, alla quale è affidata la funzione portante di tutti i carichi, mentre le murature, spesso costituite da semplici laterizi forati, servono da chiusura e divisione dei locali. Questi muri alle volte vengono addirittura portati dalla struttura principale e possono così essere ridotti notevolmente di spessore fino al limite strettamente necessario per realizzare un discreto isolamento termico e acustico. È appunto per queste necessità che qualche volta negli edifici di limitata altezza si adotta il solito sistema dei muri portanti, quando assegnando a questi gli spessori minimi ai fini dell'isolamento essi offrono una resistenza sufficiente per la stabilità dell'edificio. In ogni caso si tende a eliminare le pesanti murature interne, costruendo delle pilastrate in ferro o in cemento armato e affidando la funzione di collegamento trasversale alle travature longitudinali e trasversali dello stesso materiale ed ai solai, quasi sempre in cemento armato. Lo scheletro completo per tutto l'edificio, di pilastri e travi, e solai in cemento armato, consente la costituzione di un'ossatura solidale, molto apprezzata per contrastare l'azione di forze orizzontali, come il vento, gli effetti dinamici di macchine in movimento e soprattutto l'azione delle scosse sismiche. Nelle zone soggette a terremoti tale ossatura è la meglio indicata, ed è prescritta da vari regolamenti. L'azione delle scosse può causare allora tutt'al più il rovesciamento di qualche parete di chiusura. Lo stesso effetto possono avere gli attacchi aerei con bombe in caso di guerra. Queste, dopo avere perforato un certo numero di pia-

ni, scoppiano; le pressioni esercitate dallo scoppio abbattano facilmente i muri di chiusura non portanti, senza arrecare danni rilevanti alla struttura principale, che rimane sempre efficiente. Come si è detto, costituendo un'ossatura principale i muri si possono fare in elementi forati, o meglio con materiali dotati di più alto potere isolante termico e acustico.

Lo scheletro in cemento armato è in genere da preferirsi perché il più economico, almeno fino a determinate altezze. In Italia il ferro, materiale d'importazione, costa molto più che nei paesi d'origine e quindi si tende a economizzarlo, mentre il cemento, preparato con materiali locali, costa meno e in unione col ferro può consentire anch'esso minimi ingombri. Certo che, oltre una certa altezza, oltre un certo numero di piani, che in Italia per ragioni diverse non è conveniente, sorgerebbe di nuovo il problema dell'utilizzazione delle aree, e allora è giocoforza ricorrere, almeno per gli elementi verticali, al ferro.

È per questa ragione che nei grattacieli americani lo scheletro è quasi esclusivamente in acciaio, rivestito da materiali che lo proteggono contro l'azione degli agenti atmosferici.

Un sistema adottato è quello della struttura mista, cioè costituita da ferri profilati annegati nel calcestruzzo. Queste strutture, al pari di quelle in cemento armato, presentano anche una notevole resistenza all'azione del fuoco, mentre la struttura nuda in ferro andrebbe soggetta a essere distrutta alle alte temperature. Molto comune è anche l'adozione di elementi in ferro per le pilastrate e le travi principali, e del cemento armato, anche con elementi forati di laterizio, per i solai. Non appena è possibile conviene però sempre l'adozione del cemento armato per tutti gli elementi, specialmente in presenza di terreni buoni, in cui non necessita ridurre eccessivamente i pesi della costruzione, e sempre che non si ottengano ingombri esagerati nei piani inferiori.

Tale convenienza è sentita anche nei paesi produttori di ferro. Non deve indurre in errore il fatto che in alcuni di questi, come ad es. in America, anche nei fabbricati di minore altezza si adotta qualche volta l'ossatura in ferro.

La ragione consiste nel fatto che, disponendo di elementi unificati, il montaggio di questi risulta rapido, e inoltre, cessato lo scopo per cui gli edifici furono costruiti, scopo spesso pubblicitario e di concorrenza, i medesimi possono essere facilmente demoliti. Tali fabbricati sono infatti caratteristici di quelle zone che subiscono continue trasformazioni.

Ma oltre che per la convenienza economica l'ossatura in cemento armato è da preferirsi per altre ragioni. Innanzi tutto essa è particolarmente adatta nelle zone sismiche in cui le strutture in ferro avrebbero l'inconveniente di essere molto più deformabili. È notorio che in queste zone, se nuoce un'eccessiva rigidità della struttura, nuoce altresì una marcata deformabilità. Col cemento armato si realizzano ossature solidali sufficientemente elastiche e che possono vibrare, sotto l'azione delle scosse, senza sconnettersi. Si è rilevato che in queste zone hanno resistito ossature in cemento armato, anche se non calcolate per le particolari sollecitazioni prodotte dai movimenti sismici. Una struttura in ferro, se anche resiste alle azioni delle scosse, va soggetta a essere distrutta dal fuoco, che fatalmente segue i moti tellurici per la rottura di condotte di gas, corti circuiti ecc.

Per la stessa ragione le ossature in cemento armato sono le più adatte contro le offese aeree in caso di guerra.

Le bombe, contenendo delle sostanze incendiarie, tendono a provocare, oltre l'accennato rovesciamento dei muri, incendi, ai quali il cemento armato è notevolmente resistente. Anche una temperatura molto elevata può provocare tutt'al più lo scrostamento delle parti superficiali degli elementi in cemento armato, al quale si può rimediare successivamente con buoni intonaci. Inoltre le bombe trovano una maggiore resistenza a perforare solai in cemento armato rispetto ad altri tipi, e quindi minore risulterà il numero dei piani attraversati prima dello scoppio.

Bastano questi due ultimi accenni per far rilevare la convenienza di preferire negli edifici ossature in cemento armato, specialmente in Italia ove le zone sismiche hanno un'estensione notevole.

Ossature in cemento armato. - Sono costituite dai pilastri e dalle travi portanti di collegamento ai vari piani. Molto spesso i pilastri s'incastano in plinti isolati di fondazione; se i carichi sono notevoli e la natura del terreno non consente un'elevata pressione, i plinti si collegano con travi rovesce continue o con platee.

La disposizione dei pilastri è in relazione alla pianta del fabbricato. In generale essi vengono ubicati in modo da dividere l'area in riquadri pressoché quadrati o rettangolari.

L'interasse è arbitrario e in relazione alla forma dell'area e alla divisione dell'edificio.

I pilastri si fanno corrispondere all'incrocio di pareti divisorie.

Le travi di collegamento ai vari piani, le quali sono anche membrature principali portanti i solai, si possono disporre tutte in un senso, ma appena si prevedono forti carichi, specialmente orizzontali, è buona norma disporre le travi in tutti e due i sensi, longitudinale e trasversale. In queste travi vanno a incastrarsi i solai e le nervature di questi.

[...]

I pilastri dividono la pianta in riquadri rettangolari [...], e portano le travi maestre disposte longitudinalmente al fabbricato; i solai sono costituiti da solette e nervature secondarie per-

pendicolari alle travi maestre. In genere si dispongono le travi principali secondo la minore luce, quelle secondarie secondo la luce maggiore per non ottenere travi di altezze eccessive. Se la pianta si può dividere in riquadri quadrati, o rettangolari molto vicini al quadrato, è preferibile eseguire i solai con armatura incrociata, con solette e nervature; le travi maestre si dispongono nei due sensi.

Nei fabbricati civili le travi maestre si dispongono preferibilmente lungo i muri longitudinali, esterni e di colmo, e i solai si eseguono a spessore costante, con laterizi forati, senza nervature in vista. Ciò per poter disporre i tramezzi di divisione fra i locali dove più si crede opportuno successivamente, senza essere obbligati dalla posizione delle travi.

I muri interni di divisione si eseguono con uno o due tavolati di mattoni forati dello spessore di  $6 \div 12$  cm.; in genere si eseguono con due tavolati solo quelli di divisione degli appartamenti. I muri perimetrali di chiusura si eseguono in comune muratura fra i pilastri e le travi, meglio se avviluppano i pilastri.

Nella maggior parte dei casi questi muri si eseguono in mattoni pieni o anche in mattoni forati o di materiale leggero, data la loro funzione che è soltanto quella di chiusura. Spesso, allo scopo di alleggerire al massimo i pesi, si costruiscono in mattoni pieni le murature del piano terreno, con uno o due tavolati di mattoni forati quelli dei piani superiori. Di solito quando si adottano i due tavolati di mattoni forati nei muri perimetrali, quello interno si dispone a filo pilastro, quello esterno al di fuori, sovrapponendolo al pilastro, e ciò per impedire eventuali incrinature, che col tempo si possono produrre nell'intonaco lungo la linea di distacco fra il pilastro e il muro, per l'assettamento elastico della struttura sotto i carichi e per le dilatazioni termiche.

[...]

L'irrigidimento trasversale è ottenuto con i solai in laterizi forati e sovrastante soletta di cemento armato.

I pilastri hanno sezione rettangolare. Difficilmente in questi edifici si ricorre ad altre forme; solo qualche volta quella circolare o poligonale, quando i pilastri debbono presentare l'aspetto di colonne. La sezione varia da piano a piano restringendosi verso l'alto, col diminuire del carico.

Le travi hanno in genere forma rettangolare, [...]. I solai possono essere di cemento armato, con semplice o doppia soletta e nervature, ma più comunemente sono in cemento armato e laterizi forati; in questo caso, in prossimità delle travi, si sopprimono i laterizi per avere una sezione piena di calcestruzzo, la quale costituisce l'ala della trave. [...].

Quando nelle travi di perimetro occorre far posto, in corrispondenza delle aperture, a rulli per gelosie avvolgibili, le travi possono farsi anche trapezie. Il tetto può essere costituito da un solaietto di elementi forati, ordito fra i puntoni, o con la solita orditura di terzere e travicelli in legno, il tutto portato dai puntoni.

[...]

La costruzione di queste ossature procede per piani. Dopo avere gettati i pilastri di un piano fino al livello inferiore delle travi del piano sovrastante, si procede ad armare le travi e il solaio di questo piano e successivamente al getto di esso. Ultimato questo, si armano i pilastri sovrastanti. Per assicurare la continuità tra i pilastri dei vari piani, si fanno sporgere da quelli del piano sottostante i ferri per  $\sim 30$  diametri oltre il piano del solaio, per poterli legare all'armatura dei pilastri superiori [...].

Se il fabbricato è a un unico piano come nei capannoni, l'ossatura principale è costituita da telai semplici o multipli a un piano, in genere di forti luci.

Ossature in ferro. - Per quanto riguarda l'ubicazione dei pilastri e la disposizione delle travi, esse sono del tutto analoghe a quelle che si hanno di solito nelle ossature in cemento armato.

Variano naturalmente le forme dei pilastri e delle travi, che sono in genere costituiti da profilati o da elementi composti di lamiere e cantonali. Variano anche gli attacchi fra i vari elementi. Mentre nelle strutture in cemento armato la solidarietà è assicurata dai ferri degli elementi adiacenti, che si sovrappongono a vicenda, e dalla monoliticità del getto, nelle strutture in ferro essa viene realizzata con piastre e cantonali di attacco con robuste chiodature o saldature.

[...]

I solai di queste strutture, come è già stato detto, possono essere eseguiti in cemento armato o anche con laterizi compresi fra i travetti secondari e soprastante caldana.

Calcolo. - Il calcolo di queste strutture procede con i metodi della scienza delle costruzioni. I solai vengono considerati nelle condizioni di totale o parziale incastro, secondo le condizioni che s'intendono realizzare. Anche i travetti secondari vengono calcolati in modo analogo.

Per quanto riguarda l'ossatura vera e propria, cioè i pilastri e le travi principali, è da considerare la solidarietà di tutte le membrature, cioè lo schema statico nel complesso. Per le disposizioni che si seguono normalmente, la struttura principale si riduce a serie di telai semplici o multipli, a un piano o a diversi piani, in senso trasversale o longitudinale.

Qualche volta, specie quando le campate ed i piani sono numerosi, questi schemi statici risultano molto complessi, o almeno laboriosi per lo sviluppo dei calcoli. Allora gli schemi principali si

travi, pilastri e solai, con il compito di sostenere il peso dell'edificio e dei carichi da esso portati e di scaricarlo a terra.

Lo scheletro portante, il telaio, è costituito da un insieme di elementi orizzontali e verticali, le travi e i pilastri: sulle travi gravano i carichi in maniera diretta, le quali si inflettono sotto la loro azione; i carichi sono trasferiti alle estremità e ripartiti tra i pilastri, che hanno il compito di scaricarli sulle fondazioni e quindi sul terreno.

È spesso presente un sistema di controventamento del telaio per conferirgli maggiore rigidità in particolare nei confronti delle forze orizzontali (come la spinta del vento o le azioni sismiche).

I telai possono essere ricondotti alle seguenti tipologie dal punto di vista dell'analisi strutturale:

- telai isostatici;
- telai iperstatici;
- telai a nodi fissi;
- telai a nodi mobili.

Possono inoltre essere ricondotti a diverse tipologie anche sulla base della loro disposizione spaziale.

Possono inoltre essere ricondotti a diverse tipologie anche sulla base del materiale impiegato: un telaio può infatti venire realizzato con diversi materiali a seconda degli scopi, delle tecnologie a disposizione e della disponibilità di risorse.

Tra i materiali più comuni in campo civile certamente compaiono il calcestruzzo armato, l'acciaio e il legno, utilizzati, per loro natura, evidentemente con diverse tecnologie e tecniche costruttive.

---

dividono opportunamente in altri più semplici, oppure, come spesso è consentito, si considerano le varie membrature in condizioni di totale o parziale incastro, secondo il giusto criterio del progettista, al quale è dato apprezzare il reale comportamento statico della struttura. Quest'ultima semplificazione è anche giustificata dal fatto che è difficile in pratica realizzare la completa solidarietà fra i vari elementi; nelle strutture in cemento armato per le discontinuità dei getti, in quelle in ferro perché per quanto bene possano essere eseguite le chiodature, in pratica gli attacchi non risultano mai perfettamente rigidi per inevitabili giuochi nei fori.

È invalso l'uso, specialmente nei fabbricati a più piani, di considerare le membrature orizzontali come perfettamente incastrate agli estremi per il calcolo degli attacchi, semincastrate invece per quello delle sezioni mediane. Nei pilastri intermedi le sollecitazioni di flessione sono generalmente trascurate, ma in compenso si adottano carichi di sicurezza più bassi di quelli normali. Per i pilastri perimetrali, che risentono maggiormente l'effetto d'inflessione dei solai, si ammettono in generale sforzi d'inflessione determinati usando il seguente metodo sufficientemente approssimato nei casi più comuni della pratica.

[...]

Bibl.: A. Hawranek, *Der Stahlskelettbau*, Berlino 1931; F. Bleich, *Stahlhochbauten*, ivi 1932; F. Masi, *Case in acciaio*, Milano 1933; L. Santarella, *Il cemento armato*, II, ivi 1933.

## OSSATURE PORTANTI IN CEMENTO ARMATO

L'ossatura di un edificio è definibile come la struttura costituita da pilastri e travi fra loro solidali. Semplificando, è lo scheletro portante i solai, destinati a sostenere i carichi permanenti e accidentali, i quali vengono trasmessi al terreno di fondazione attraverso le travature principali orizzontali e i pilastri verticali.

L'ossatura solidale è di relativa recente introduzione nel mondo delle costruzioni nonostante il suo diffuso utilizzo e sviluppo: nasce con il moderno, alla fine dell'ottocento e sostituisce, dai primi anni del novecento, le strutture in muratura portante. Si tratta di un'intuizione straordinaria che ha radicalmente cambiato il settore delle costruzioni, consentendo di realizzare edifici in altezza con piante e prospetti liberi, grazie alla invenzione – su tutti il prototipo *corbusiano* della *Maison Dom-ino* - di un'intelaiatura principale di elementi verticali e orizzontali, solidali fra loro, di minimo ingombro, capace di sostenere diverse tipologie di carichi, appese o portate. Al telaio è affidata la funzione portante di tutti i carichi, mentre alle murature (di tamponamento e/o distributive), caratterizzate da dimensioni e spessori ridotti (costituite nell'edilizia corrente da laterizi forati, ma anche da altri, numerosi, possibili elementi/materiali), è riservato il compito di fungere da chiusure verticali.



**2** **3** Le Corbusier, Villa Savoye, Poissy, 1928-1931.



Si tratta di murature frequentemente e prevalentemente portate dalla struttura principale, necessariamente di esiguo peso e spessore, con funzioni possibilmente anche isolanti sia dal punto di vista termico sia da quello acustico.

Lo scheletro portante consente la costituzione di un'ossatura solidale<sup>3</sup>, idonea per contrastare l'azione di forze orizzontali, come il vento, gli effetti dinamici di macchine in movimento e soprattutto l'azione delle scosse sismiche.

L'ossatura portante in cemento armato, per lo meno nel nostro paese, è tra l'altro quella di gran lunga più economica. Oltre che per la convenienza economica, tuttavia, l'ossatura in cemento armato è da preferirsi per altre ragioni: è particolarmente adatta come sopra riportato, nelle zone ad alta sismicità, in cui le strutture in ferro avrebbero l'inconveniente di essere molto più deformabili. Con l'utilizzo del cemento armato si è infatti in grado di realizzare ossature solidali sufficientemente elastiche e che possono vibrare, sotto l'azione delle scosse, senza sconnettersi.

Per la stessa ragione le ossature in cemento armato sono le più adatte contro le offese aeree in caso di guerra<sup>4</sup> o di attacchi terroristici.

Le bombe, contenendo delle sostanze incendiarie, tendono a provocare, oltre al rovesciamento delle murature, anche incendi, ai quali il cemento armato è maggiormente resistente.

Le ossature in cemento armato sono costituite dai pilastri e dalle travi portanti di collegamento ai vari livelli. I pilastri generalmente sono incastrati in plinti isolati di fondazione; se i carichi sono notevoli e la natura del terreno non consente un'elevata pressione, i plinti vengono collegati con travi rovesce continue o, eventualmente, con fondazioni a platea.

La disposizione dei pilastri è in relazione alla pianta del fabbricato. In generale i pilastri vengono disposti secondo schemi geometrici che dividono la superficie in riquadri quadrangolari o rettangolari.

L'interasse è arbitrario e soggettivo, ed è in relazione alla forma dell'area e alla divisione dell'edificio.

I pilastri generalmente vengono disposti all'incrocio di pareti divisorie.

---

<sup>3</sup> Un sistema frequentemente adottato è anche quello della struttura mista, costituita da ferri profilati annegati nel calcestruzzo. Si tratta di strutture che, al pari di quelle in cemento armato, presentano anche una notevole resistenza all'azione del fuoco, a differenza di strutture nude in ferro che andrebbero soggette a essere distrutte alle alte temperature. Molto comune è anche l'adozione di elementi in ferro per le pilastrate e le travi principali, e del cemento armato, anche con elementi forati di laterizio, per i solai.

<sup>4</sup> Cfr. quanto accaduto a New York l'11 settembre 2001 alle torri gemelle del World Trade Center, collassate a seguito dell'alta temperatura provocata dall'incendio innescatosi dopo l'attentato.

Le travi di collegamento ai vari piani, che fungono da membrature principali portanti i solai, si possono disporre tutte in un senso, anche se in presenza di forti carichi, specialmente orizzontali, è opportuno disporle in tutti e due i sensi, sia longitudinale che trasversale.

Nei fabbricati civili le travi principali si dispongono preferibilmente lungo i muri longitudinali, esterni e di colmo, e i solai si realizzano a spessore costante, con laterizi forati, senza nervature in vista. Ciò per poter disporre i tramezzi di divisione fra i locali con maggiore libertà, secondo la migliore distribuzione ricercata.

Le murature divisorie interne si eseguono con uno o due tavolati (tramezzi) di mattoni forati dello spessore compreso tra i 6 e i 12 cm (generalmente 8); in genere si eseguono con due tavolati le pareti di separazione tra distinti alloggi. Per le contropareti interne si utilizzano anche tavolati dello spessore di 8 cm. Le murature perimetrali di chiusura si realizzano in comune muratura (generalmente in termo laterizio) fra i pilastri e le travi, meglio se avvolgenti, avviluppanti i pilastri per evitare ponti termici. Queste murature, a seconda dei casi, possono venire realizzate in mattoni pieni o anche in mattoni forati o di materiale leggero, data la loro funzione che è soltanto quella di tamponamento/chiusura.

I pilastri generalmente hanno sezione rettangolare. La sezione varia da piano a piano restringendosi verso l'alto al diminuire del carico.

Le travi hanno in genere forma rettangolare. I solai possono essere di cemento armato, con semplice o doppia soletta e nervature, ma più comunemente sono in laterocemento (cemento armato e pignatte di laterizio forate); in questo caso, in prossimità delle travi, si sopprimono i laterizi per avere una sezione piena di calcestruzzo, che costituisce l'ala della trave.

In cantiere, la costruzione di questa tipologia di ossature procede per piani, dal basso verso l'alto. Dopo avere gettato i pilastri di un piano fino al livello inferiore delle travi del piano sovrastante, si procede armando le travi e il solaio di questo piano e successivamente al getto dello stesso. Ultimato il solaio, si armano i pilastri sovrastanti. Per assicurare la continuità tra i pilastri dei vari piani, si fanno sporgere da quelli del piano sottostante i ferri di armatura per circa 30 centimetri oltre il piano del solaio, per poterli legare all'armatura dei pilastri soprastanti.

Se il fabbricato è a un unico piano come nei capannoni, l'ossatura principale è costituita da telai semplici o multipli a un piano, in genere di grande luce.

Il calcolo delle strutture sopra descritte procede con i metodi della scienza delle costruzioni. I solai vengono considerati nelle condizioni di totale o parziale incastro, secondo le condizioni che si intendono realizzare. Anche i travetti secondari vengono calcolati allo stesso modo.



**4** Herzog & de Meuron, New Tate Modern, Londra, 1998-2000.



**5** Herzog & de Meuron, Fondazione Feltrinelli, Milano, 2014-2016.



**6** Auguste Perret, Casa in Rue Franklin, Parigi, 1903.





**7** Jo Coenen e Archisquare, S12, Parma, 2014.

## OSSATURE PORTANTI IN ACCIAIO

Con la produzione a scala industriale dell'acciaio si sono aperte nuove frontiere in edilizia e nuove possibilità espressive per la forma architettonica.

Dal rovinoso incendio di Chicago, durato dall'8 ottobre al 10 ottobre 1871, che distrusse completamente la città, ebbe origine una fortissima promozione delle strutture in acciaio per la ricostruzione della città stessa.

Nacque, infatti, grazie alla cosiddetta "Scuola di Chicago", un nuovo modo di concepire il progetto architettonico, in un clima influenzato dall'evolversi delle avanguardie architettoniche in Europa, antecedenti al Movimento Moderno.

Furono l'utilizzo della struttura in acciaio come elemento portante degli edifici con murature di rivestimento in laterizio, larghe ripetitive aree finestrate e un utilizzo limitato della decorazione esterna i caratteri dominanti della "scuola" avviata da Daniel Burnham, Dankmar Adler, John Root, William Holabird, Martin Roche, William LeBaron Jenney e Louis Sullivan. L'Home Insurance Building<sup>5</sup> è unanimemente riconosciuto come il primo grattacielo della storia, costruito a Chicago nel 1885 e demolito nel 1931.

Come per le ossature in cemento armato, anche per quelle in acciaio, le forze fino a quel momento scaricate attraverso muri pieni in pietra si poterono concentrare in una sottile ossatura ad appoggi puntiformi, rendendo "libero" lo spazio interno. La pianta libera, oltre a costituire uno dei cinque punti dell'architettura codificati da Le Corbusier, costituisce una delle principali conquiste funzionaliste del movimento moderno.

Dalla pianta alla sezione, la "struttura intelaiata", uno scheletro portante costituito da un reticolo tridimensionale di pilastri connessi a travi, ha consentito nuove forme espressive e la costruzione/invenzione di nuove spazialità.

Nonostante la rigidità della maglia - per quanto riguarda l'ubicazione dei pilastri e la disposizione delle travi, esse sono del tutto analoghe a quelle che si hanno di solito nelle ossature in cemento armato - si sono aperte nuove frontiere nell'architettura contemporanea.

Rispetto ai telai in cemento armato, nelle strutture metalliche variano le forme dei

---

<sup>5</sup> Altri importanti progetti della Scuola di Chicago sono: l'Auditorium Building, il Carson, Pirie, Scott and Company Building di Louis Sullivan, il Bayard-Condict Building, il Reliance Building, il Gage Group Buildings, il Chicago Building, il Brooks Building, l'Heyworth Building, il Leiter I Building, il Leiter II Building, il Marquette Building, il Monadnock Building, il Montauk Building, il Rookery Building, il Wainwright Building.





8 Louis Sullivan, Home Insurance Building, Chicago, 1885.

pilastri e delle travi, che sono in genere costituiti da profilati o da elementi composti di lamiere e cantonali; variano inoltre gli attacchi fra i vari elementi.

Mentre nelle strutture in cemento armato la solidarietà è assicurata dai ferri degli elementi adiacenti, che si sovrappongono a vicenda, e dalla monoliticità del getto, nelle strutture in ferro essa viene realizzata con piastre e cantonali di attacco con robuste chiodature, saldature o bullonature.

Si tratta di strutture che, per loro natura (sono usualmente realizzate con elementi modulari unificati), consentono un rapido montaggio degli elementi e un eventuale rapido smontaggio.

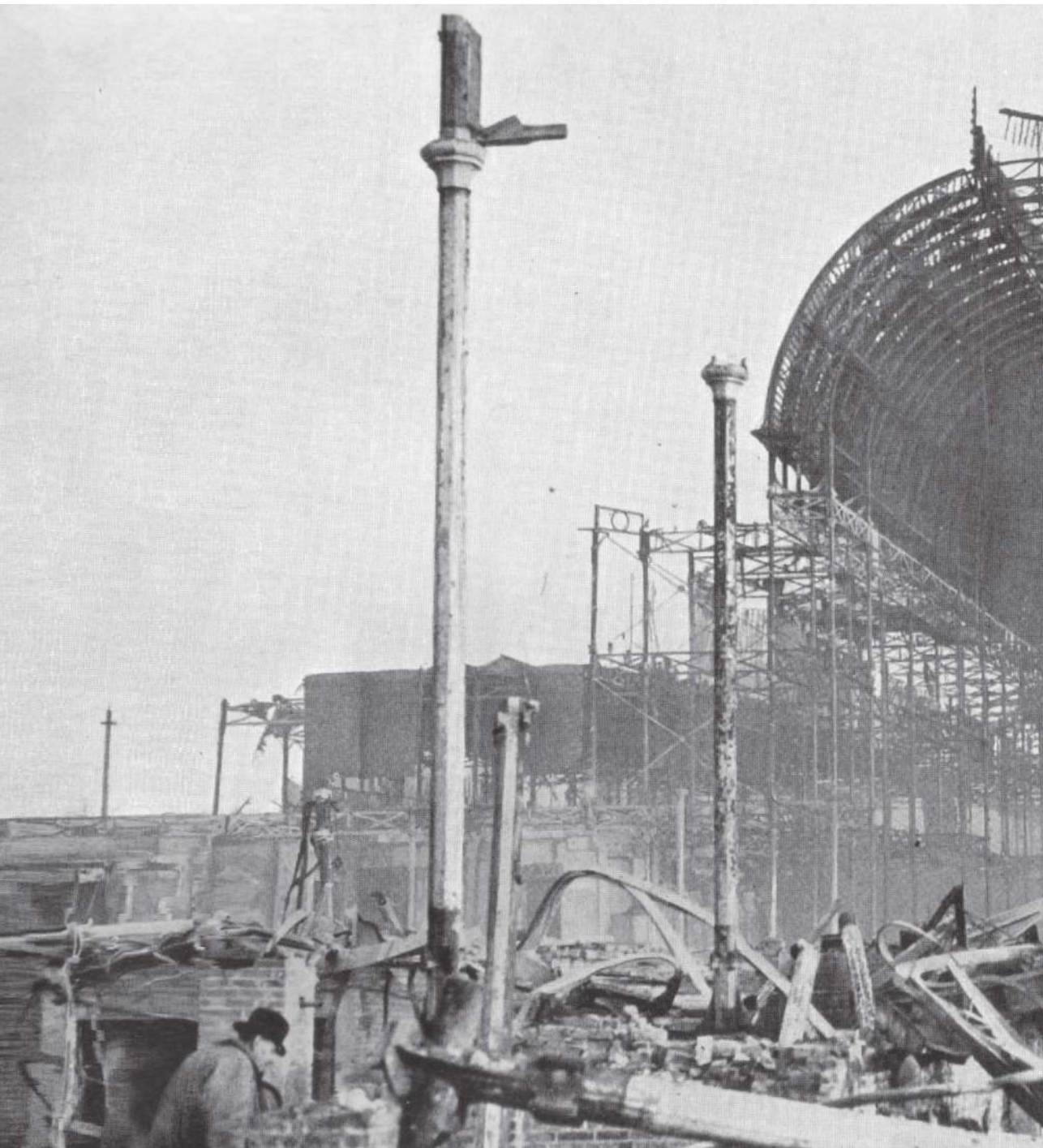


9 Louis Sullivan, Carson, Pirie, Scott and Company Building, Chicago, 1899-1904.





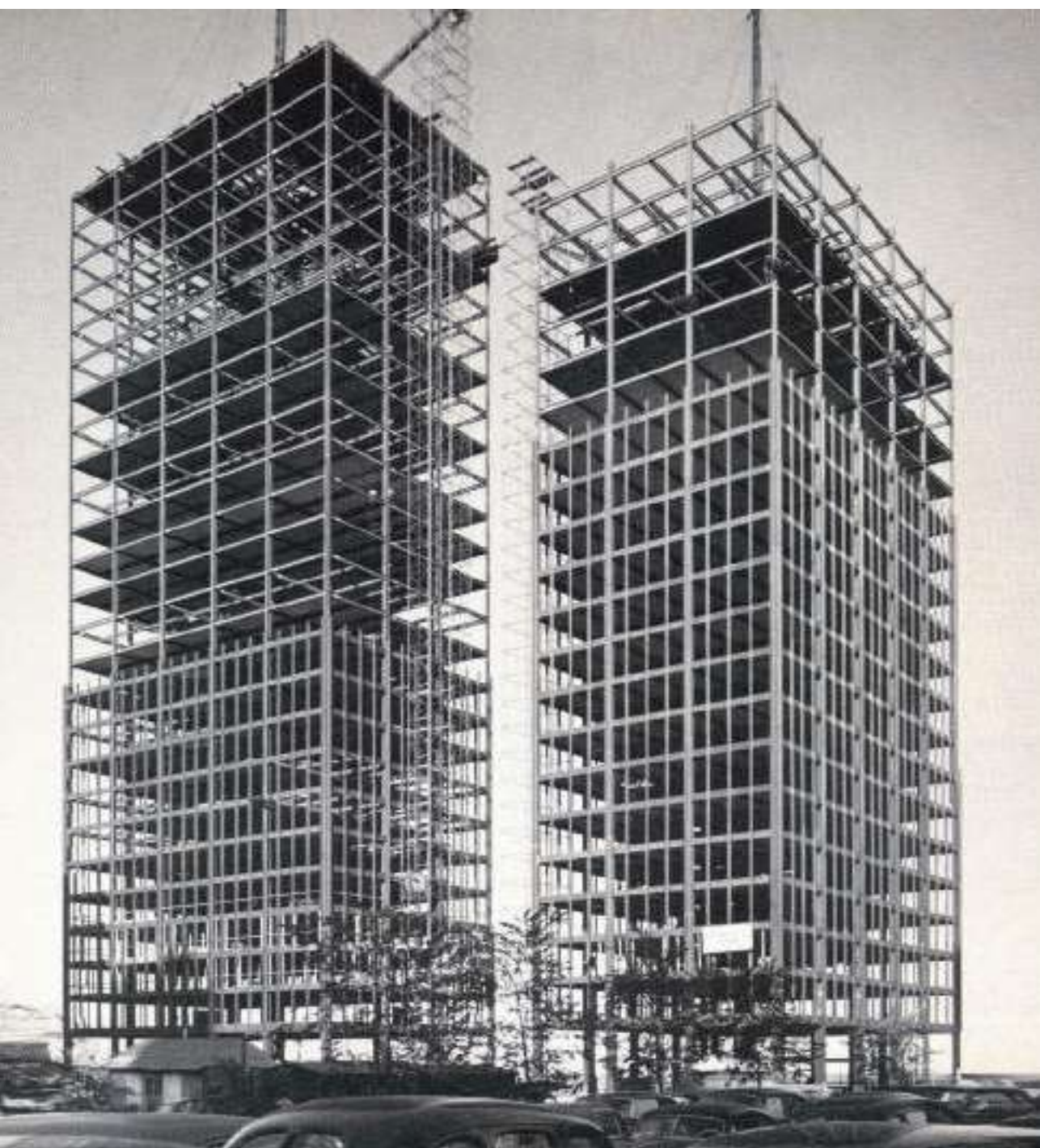
**10** Burnham and Root, Modanock Building, Chicago, 1889-1891 (ristrutturato nel 1938).



**11** Joseph Paxton, Crystal Palace, Hide Park Londra, 1850-1851.











**12** **13** Ludwig Mies van der Rohe, Lake Shore Drive Apartments, Chicago, 1949-1951.



**14** Ludwig Mies van der Rohe, Seagram Building, New York, 1958.



**15** Ludwig Mies van der Rohe, Illinois Institute of Technology, Chicago, 1958.





**16** **17** Herzog & de Meuron, Beijing National Stadium, Pechino, 2003-2008.

## OSSATURE PORTANTI IN LEGNO

Tra le costruzioni ad ossatura portante, uno spazio sempre più ampio è riservato alle costruzioni in legno.

Con lo sviluppo del legno lamellare incollato si sono aperte, grazie all'aumento dei possibili interassi di travi e pilastri, ampie possibilità spaziali in grado di rispondere a nuove molteplici esigenze.

Nelle ossature portanti in legno, travi e pilastri possono essere disposti a grande interasse per poter inserire facciate e pareti divisorie realizzate secondo infinite possibilità.

Sopra o in mezzo alla struttura portante principale vengono usualmente inseriti gli elementi portanti secondari: travi e puntoni (per luci ridotte anche tavoloni) o elementi di tipo piano in legno.

Nelle costruzioni ad ossatura portante in legno, le facciate e le pareti divisorie non assorbono in genere alcuna forza verticale ma possono svolgere un importante ruolo di irrigidimento.

I tamponamenti possono essere realizzati con svariati sistemi costruttivi quali elementi intelaiati, elementi di legno compensato di tavole, costruzioni con vetro ma anche murature tradizionali.

Le caratteristiche del sistema costruttivo ad ossatura portante in legno sono:

- una distribuzione planimetrica delle pareti caratterizzata da forte intercambiabilità (le pareti sono facilmente spostabili);
- una libertà di organizzazione dello spazio basata sulla base di reticoli e moduli variabili;
- una ossatura portante abbinata a pareti divisorie non portanti indipendenti da essa;
- una struttura portante per lo più immediatamente riconoscibile;
- un elevato grado di prefabbricazione.





**18** **19** Shigeru Ban, The New Tamedia Building, Zurigo, 2013.





20 Imre Makovec, Hagymatikum Thermal Bath of Makó, Makó, 2012.

## X-LAM

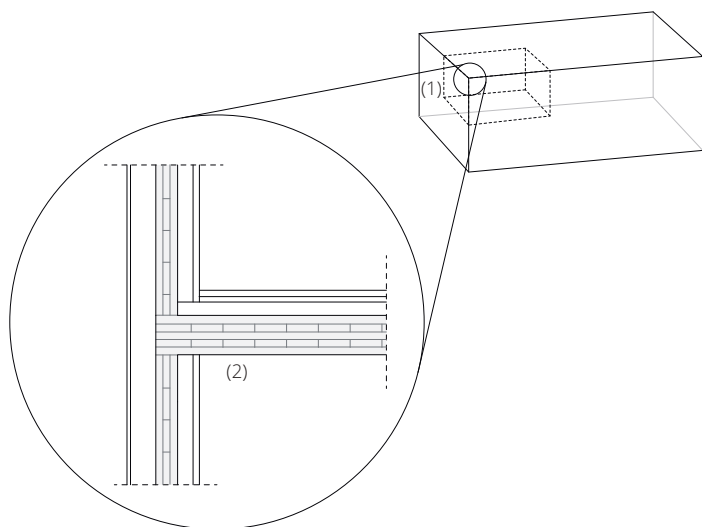
Il sistema costruttivo per gli edifici e case in legno X-Lam o Cross-Lam è un sistema a pannelli massicci la cui sperimentazione e commercializzazione inizia nel mercato austriaco e tedesco alla fine degli anni '90.

In Italia la diffusione di questo prodotto è avvenuta negli ultimi dieci anni, inizialmente impiegandolo come impalcato per solai di copertura e solai di piano, poi in qualche sporadico caso di costruzione interamente realizzata in legno; un utilizzo più consistente è avvenuto a seguito del terremoto dell'Aquila del 2009.

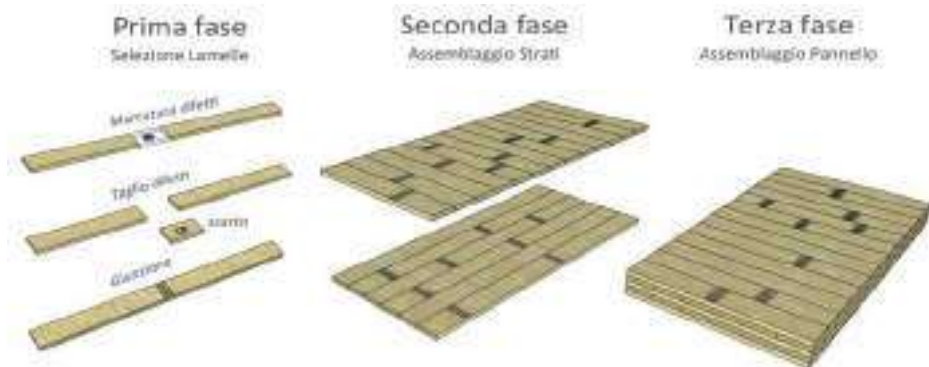
L'X-lam è un sistema costruttivo costituito da pannelli di legno a strati incrociati ed incollati (minimo 3 strati), di spessore e dimensioni molto variabili le cui caratteristiche geometriche dipendono in generale dalle tecnologie delle aziende produttrici ed anche dal dimensionamento statico.

Lo spessore minimo di un pannello-parete (portante) utilizzato è generalmente di 120 mm.

Il numero degli strati è variabile, ma deve essere sempre dispari a partire da 3 (3-5-7 ecc.), generalmente il numero minimo è di 5 strati. In linea di massima maggiore è il numero degli strati e maggiore è la portata e la stabilità del pannello.



**21** L'X-LAM è un sistema costruttivo scatolare (1). Non c'è una gerarchia nelle componenti statiche. Elementi verticali e elementi orizzontali sono composti dallo stesso materiale, varia solamente la disposizione e il numero degli strati delle fibre del legno (2).



**22** Produzione pannelli X-LAM, selezione lamelle e assemblaggio strati e pannello.

I pannelli portanti in legno vengono poi rivestiti sia internamente che esternamente per realizzare la parete finita. Internamente, la struttura viene completata con un pannello in ERACLIT cemento/legno per consentire uno spazio tecnico per il passaggio degli impianti (cavedio), e successivamente con il pannello di finitura interna in cartongesso o gesso/fibra.

All'esterno viene usualmente installato un "cappotto" di idoneo spessore dell'isolante; la parete è opportunamente protetta attraverso l'installazione di adeguati freni vapore e membrane traspiranti.

Il solaio di interpiano è realizzato con un pannello, di opportuno spessore, oppure con travi lamellari e perlinato (il tutto sempre dimensionato in base al calcolo strutturale); identica tecnologia viene usata anche per i solai di copertura. Le parti in legno possono essere realizzate sia a vista che rivestite con pannelli in cartongesso o gessofibra.

Sopra le strutture portanti in legno dei solai di copertura viene poi realizzato il pacchetto di coibentazione, l'eventuale ventilazione, il manto di impermeabilizzazione, le lattonerie ed infine il manto finale di copertura.

Da un punto di vista strettamente tecnico i pannelli X-LAM, secondo quanto previsto dagli studi effettuati nei vari laboratori di ricerca abilitati e dalla letteratura scientifica attualmente disponibile in materia, non sono ammessi in Classe di Servizio 3 (ambiente umido caratterizzato da un valore di umidità relativa dell'aria > 85% e valori di umidità del legno > 20%).

Il comportamento sismico di un edificio in legno realizzato con pannelli X-LAM è quello di una struttura scatolare con diaframmi di piano e pareti collegati mediante elementi meccanici. In questo caso le pareti hanno il compito di assorbire le solle-



citazioni verticali e orizzontali (carichi verticali, sisma e vento). Il collegamento fra la struttura in legno e le fondazioni in c.a. viene assicurato mediante opportune piastre e barre filettate in acciaio o tasselli a pressione. Il fattore di struttura è molto basso ( $q_0 = 2.0$ ) e la struttura è considerata a bassa duttilità.

A causa della sua recente diffusione sul mercato delle strutture in legno, mancano ad oggi esaustivi riferimenti normativi specifici, tanto che il calcolo di tale tipo strutture viene condotto sulla base della letteratura scientifica e di studi a riguardo. Il pannello X-LAM, non essendo contemplato né come legno lamellare, né come legno massiccio, rientra nella categoria "Altri prodotti derivati dal legno per uso strutturale" come riportato nel paragrafo 11.7.6 del d.m. 14.01.2008 (NTC 2008) e per il quale le aziende produttrici devono essere in possesso della **marcatatura CE** o di un **Certificato di idoneità tecnica all'impiego** rilasciato dal **Servizio Tecnico Centrale** sulla base di **Linee Guida** approvate dal **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici**. La diffusione storica è limitatissima data la sua recente introduzione sul mercato delle costruzioni in legno.

La capacità dissipativa è molto bassa ( $q_0 = 2.0$ ).



**23** Renzo Piano Building Workshop, Auditorium Parco della Musica, Aquila, 2012.







**24** **25** Mario Cucinella, Nido d'infanzia Guastella, Guastella, 2014-2015.

07



# MURATURE<sup>1</sup>

Le chiusure degli edifici costituiscono quell'insieme di unità tecnologiche ed elementi tecnici che delimitano e circoscrivono uno spazio definendo un dentro e un fuori.

Le chiusure si suddividono in opache e trasparenti, oltre che in parti fisse e in parti mobili.

Le chiusure, inoltre, sono riconducibili a/classificabili come:

- chiusure verticali;
- chiusure superiori;
- chiusure inferiori.

Le chiusure verticali costituiscono l'involucro di un edificio, quelle superiori la sua copertura, quelle inferiori la delimitazione inferiore dell'edificio.

Insieme, le chiusure definiscono l'involucro edilizio, che, nel passaggio dall'uso di strutture portanti continue in muratura all'utilizzo di strutture portanti puntiformi, ha completamente modificato e ampliato le potenzialità dell'involucro.

Grazie all'introduzione del telaio, della struttura puntiforme, infatti, l'involucro, divenuto anche solo tamponamento, ha potuto caratterizzarsi in infinite possibili nuove declinazioni: da parete completamente riconducibile a serramento (il *curtain wall*) a parete composta da chiusure verticali opache o lucide a grandezza variabile.

---

<sup>1</sup> Testo di Maurizio Bradaschia.

## LE CHIUSURE VERTICALI OPACHE

L'unità tecnologica di separazione tra l'interno e l'esterno di un edificio è definita verticale.

Le chiusure verticali opache sono suddivise in:

- pareti verticali a massa;
- pareti verticali leggere.

Le chiusure verticali devono soddisfare i seguenti requisiti:

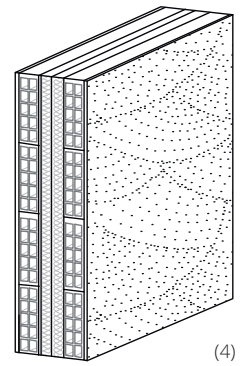
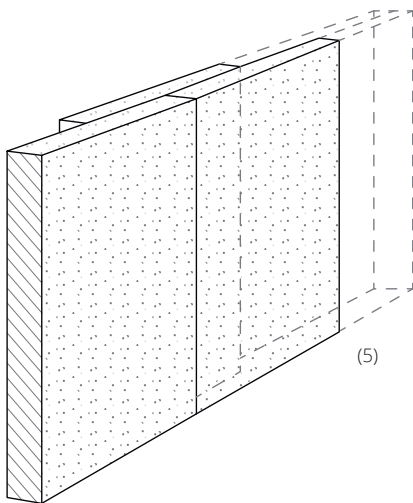
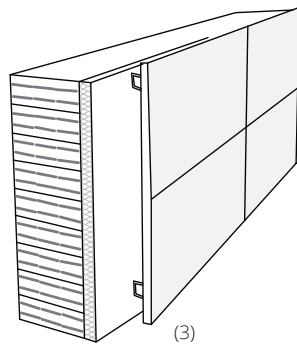
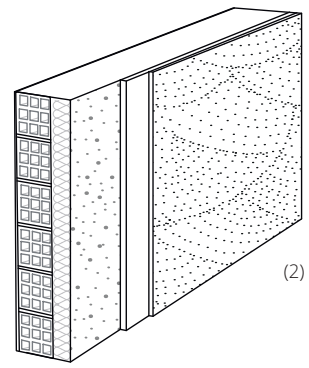
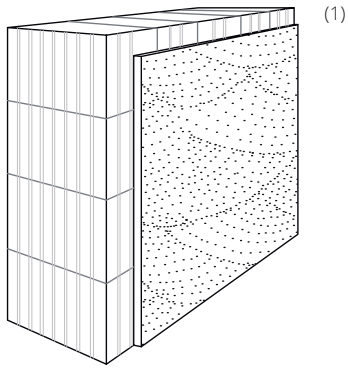
- isolamento termico;
- inerzia termica;
- isolamento acustico;
- controllo della condensa interstiziale;
- controllo della condensa superficiale;
- resistenza meccanica ai carichi verticali e alle sollecitazioni orizzontali;
- resistenza al fuoco.

Per soddisfare i requisiti sopra riportati, le chiusure verticali vengono suddivise, scomposte in strati funzionali, a ognuno dei quali viene affidata la soluzione di un problema distinto.

Gli strati sono generalmente suddivisi in:

- strati di tenuta (al vapore, all'acqua, all'aria) – la barriera al vapore controlla e cerca di impedire la formazione di condensa, la barriera all'acqua rende impermeabile la parete;
- strati di isolamento (termico, acustico);
- strati di ventilazione;
- strati di rivestimento (sia interno sia esterno);
- strati resistenti – hanno la funzione di sopportare i carichi sia propri che dovuti a sollecitazioni esterne;
- strati di collegamento e regolarizzazione;
- strati di protezione e resistenza al fuoco.

Si tratta di strati non sempre tutti compresenti, ma assemblati in base alle necessità. Grazie all'ampia possibilità di aggregare diversi materiali, diversi strati e spessori, si sono ampliate le possibilità "progettuali", architettoniche e le possibilità di relazionare gli edifici e le architetture ai singoli contesti socio culturali e ambientali.



**1** Stratigrafia delle differenti tipologie di murature: monostrato (1), con rivestimento a cappotto (2), con isolamento esterno e parete ventilata (3), a doppia parete (4) e murature a pannello (5).



## **PARETI PERIMETRALI OPACHE A MASSA**

Le pareti perimetrali opache a massa sono quelle pareti realizzate con elementi “massivi”, caratterizzati da alto peso specifico come la pietra, il calcestruzzo o il laterizio.

Sono riconducibili alle seguenti tipologie:

- le murature monostrato;
- le murature con rivestimento a cappotto;
- le murature con isolamento esterno e rivestimento a parete ventilata;
- le murature a doppia parete;
- le pareti a pannello.

Le murature monostrato sono composte da un unico strato di muratura cui è delegato il compito di soddisfare tutti i requisiti richiesti. Per tale motivo devono essere realizzate con materiali (blocchi) di un certo spessore che generalmente è superiore ai 25 cm. Sono generalmente realizzate in blocchi di laterizio, di calcestruzzo alleggerito, di calcestruzzo cellulare.

Queste murature possono coincidere con la struttura dell'organismo edilizio o fungere da semplice tamponamento.

Le murature con rivestimento a cappotto sono caratterizzate dalla presenza di uno strato isolante di rivestimento esterno che copre la totalità delle chiusure verticali opache.

Composte da due strati, queste murature sono caratterizzate da uno strato resistente interno generalmente in blocchi di laterizio o calcestruzzo e da un isolamento termico esterno.

Lo strato interno costituito dai blocchi ha generalmente uno spessore variabile tra i 20 e i 30 cm.

L'isolamento esterno, il cappotto, generalmente compreso tra i 3 e i 5 cm, può arrivare a spessori di 15-20 cm. Il fissaggio dei pannelli isolanti alla muratura è molto semplice: dall'incollaggio al fissaggio con viti e tasselli. La finitura dei pannelli avviene tramite rete a maglia sottile (in materiale vetroso o plastico) e leggera intonacatura.

Le murature a doppia parete sono costituite da due strati di muratura separati da un'intercapedine d'aria.

Sono anche possibili altre soluzioni che possono prevedere:

- la doppia parte con intercapedine d'aria e isolamento interno;
- la doppia parete con isolamento interno senza intercapedine d'aria.

Queste pareti, come le murature monostrato, sono realizzate generalmente in blocchi di laterizio o calcestruzzo alleggerito di spessore diverso.

È buona norma collocare lo strato resistente (di maggiore spessore) all'interno.

Le murature con isolamento esterno e rivestimento a parete ventilata sono quelle murature costituite da uno strato resistente interno in muratura, da uno strato isolante esterno e da una sottostruttura che "stacca" il rivestimento esterno dagli altri due strati consentendo il passaggio dell'aria.

Le murature con isolamento interno sono invece quelle murature costituite da uno strato resistente esterno e da un isolamento interno. Lo strato esterno è generalmente realizzato in blocchi di laterizio o calcestruzzo. Lo strato interno da materiale coibente e cartongesso come finitura. Generalmente queste pareti sono dotate di barriera al vapore per scongiurare la formazione di condensa.

Le pareti a pannello sono generalmente realizzate industrialmente fuori opera per essere montate in opera; prefabbricate, sono per lo più in calcestruzzo.

Per isolarle vengono realizzate in doppio strato di calcestruzzo con interposto uno strato isolante.

Si tratta di una tipologia costruttiva che accusa qualche criticità per la possibile formazione di ponti termici e che tuttavia ha il suo punto di forza nella rapidità di montaggio.

### **PARETI OPACHE LEGGERE**

Si tratta di quelle pareti il cui montaggio, completamente a secco, avviene su una sottostruttura autoportante (generalmente metallica o lignea) utilizzate per costruzioni temporanee o per edifici per il terziario.

Lo strato resistente viene, in queste pareti, sostituito dall'intelaiatura costituita da montanti (gli elementi verticali) interposti ai solai, e da traversi (gli elementi orizzontali).

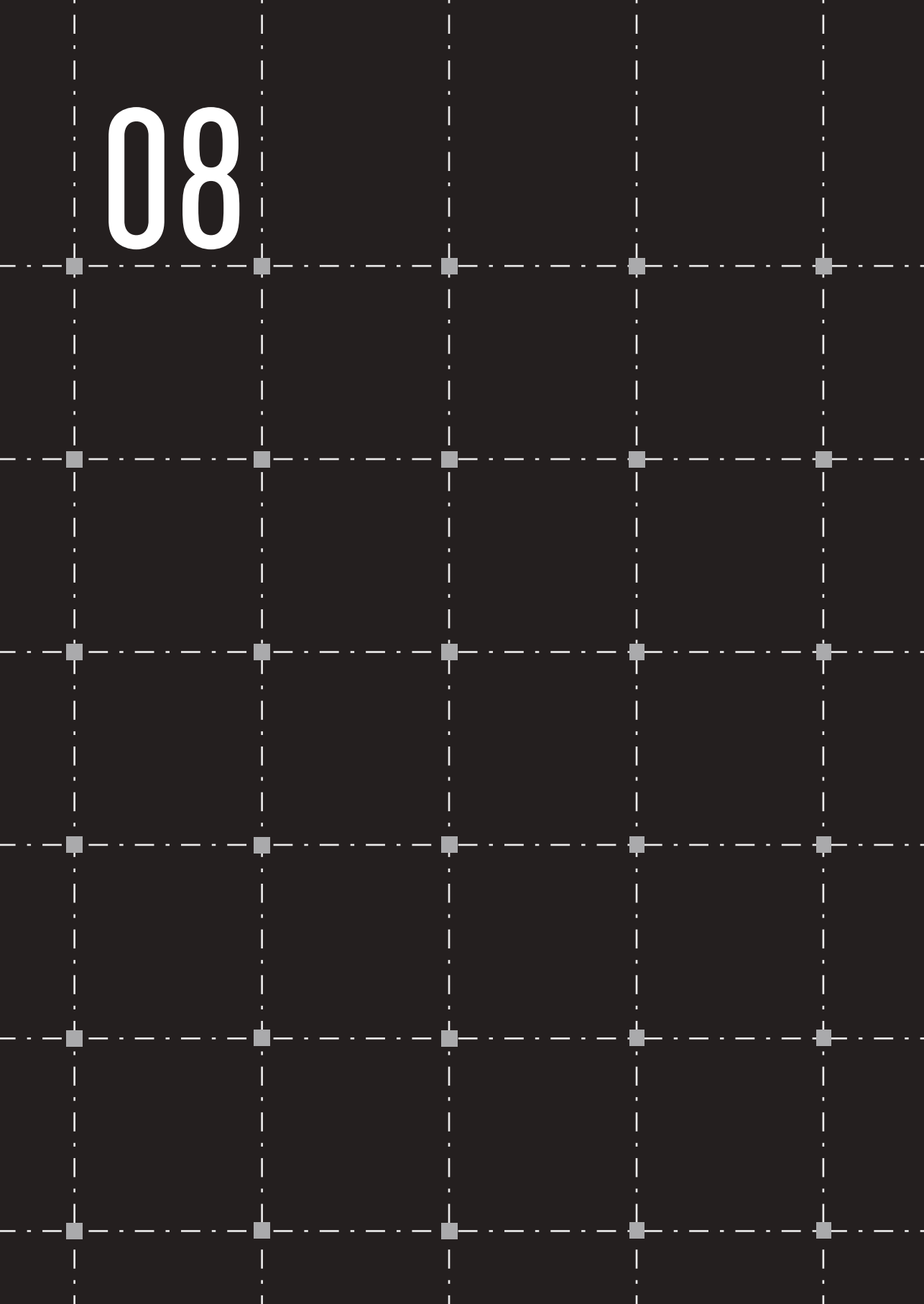
Nel caso di intelaiature metalliche (costituite da montanti e traversi), le chiusure leggere non sono quasi mai portanti. Si tratta di elementi leggeri fissati su profili metallici generalmente a C.

Anche nel caso del legno le pareti sono generalmente non portanti. Con il legno la tendenza è quella di utilizzare lo stesso materiale sia per l'intelaiatura che per il rivestimento.

Nel caso di utilizzo di pareti composte da pannelli a sandwich, gli stessi vengono realizzati fuori opera per essere poi assemblati in opera.

I pannelli sandwich sono composti da una doppia pannellatura metallica innervata separata da uno strato di schiuma espansa. Non sono mai, per le loro caratteristiche intrinseche, portanti. Vengono assemblati a incastro (maschio e femmina).

08



# ISOLAMENTI

## I PROBLEMI ACUSTICI, LA PROTEZIONE CONTRO L'UMIDITÀ, I PROBLEMI TERMICI

Progettare un edificio costituisce oggi, più che mai, una sfida in termini di sostenibilità ambientale.

Oltre a ciò, significa porsi il problema dell'intero ciclo di vita dell'edificio, prevederne il comportamento durante l'uso cercando di garantire il benessere dei fruitori, ottimizzando l'utilizzo delle risorse.

Ed è principalmente il progetto il luogo in cui si concentra la sfida. È infatti nell'elaborazione progettuale che scelte oculate e consapevoli, orientate a selezionare materiali e tecnologie congruenti con il contesto e l'impostazione del progetto, possono garantire lunga durata e stabili e coerenti capacità prestazionali agli edifici.

### I PROBLEMI ACUSTICI<sup>1</sup>

L'obiettivo primario per l'edilizia contemporanea è l'ecosostenibilità: termini quali bio-edilizia, bioarchitettura, *green energy* e green building sono divenuti correnti nella prassi edificatoria, essenziali quando si affronta il tema dell'ecosostenibilità. In termini generali si è compresa la necessità di effettuare, preliminarmente all'edificazione, una attenta valutazione ambientale, ossia una compiuta analisi

---

<sup>1</sup> Testo di Maurizio Bradaschia.

del rapporto intercorrente tra la casa e l'ambiente che la circonda, stimando il clima del luogo, i venti che lo investono, le caratteristiche geotermiche del territorio, l'esposizione al sole.

## **L'ISOLAMENTO ACUSTICO**

L'isolamento acustico si occupa della limitazione della diffusione del suono.

Nel campo dell'isolamento acustico in edilizia vale la legge di massa.

La legge di massa enuncia che il coefficiente di trasmissione della potenza sonora aumenta al diminuire della massa della parete per unità di area e frequenza del suono; si tratta, evidentemente, di una condizione ordinaria, caratterizzata da pareti omogenee, di separazione tra ambienti pieni d'aria, con frequenze inferiori ai 3000 Hz e per onde con incidenza normale.

I "Requisiti Acustici Passivi degli Edifici" sono disciplinati dal d.P.C.M. 05/12/1997, e dalla norma UNI 11367 sulla classificazione acustica degli edifici.

Il decreto determina i requisiti acustici delle sorgenti sonore interne agli edifici ed i requisiti acustici passivi degli edifici e dei loro componenti in opera, al fine di ridurre l'esposizione umana al rumore.

In edilizia si parla di materiali fonoassorbenti, più diffusamente di strutture con elevato potere fonoisolante.

Nel momento in cui risulti necessario creare un isolamento acustico tra due ambienti, è possibile aumentare la massa superficiale della parete sfruttando la legge di massa.

Generalmente l'isolamento acustico avviene mediante la posa in opera di pannelli, prodotti o sistemi riconducibili a:

- pannelli fonoisolanti e fonoassorbenti da inserire nelle intercapedini delle pareti divisorie tra due unità abitative, nelle strutture e controsoffitti in cartongesso;
- pannelli fonoisolanti e fonoassorbenti per pareti e controsoffitti in cartongesso;
- prodotti resilienti per la realizzazione di pavimenti galleggianti per l'attenuazione del rumore da calpestio e rumori impattivi o strutturali;
- sistemi isolanti per rumori da calpestio sotto parquet;
- sistemi termoacustici ventilati per coperture.

Per migliorare l'isolamento senza appesantire eccessivamente le strutture, si realizzano pareti multistrato, con interposto uno strato d'aria. Le due superfici non devono essere rigidamente collegate e l'intercapedine deve essere maggiore o per lo meno uguale a 4 cm, così da generare un sistema massa in cui il potere fonoisolante tenda alla somma dei poteri delle due partizioni considerate separatamente.



## UMIDITÀ E TENUTA ALL'ARIA<sup>2</sup>

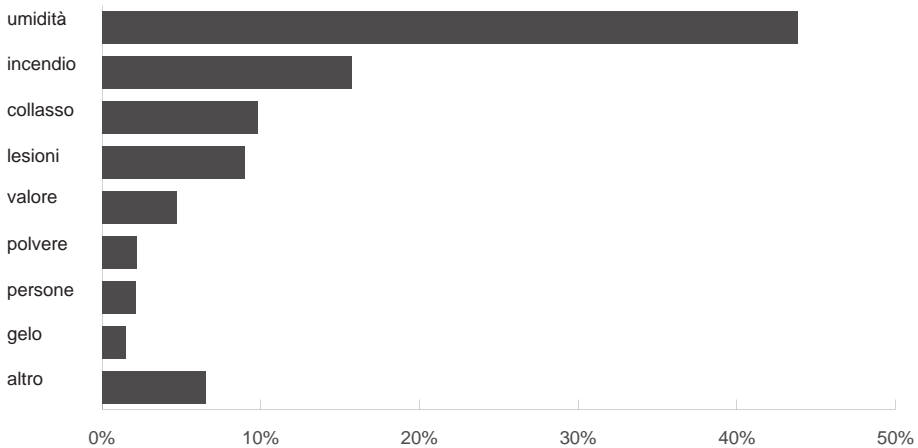
Gli edifici operano sempre in condizioni termo-igrometriche variabili a causa delle mutazioni delle condizioni climatiche esterne ed interne.

L'umidità è la misura del vapore acqueo contenuta in una massa d'aria.

L'aria umida può essere definita come una miscela di aria secca e vapore acqueo mentre l'aria secca è costituita da una serie di gas che non possono condensare in condizioni ambientali standard. Il vapore acqueo può essere presente in quantità variabili nella miscela e può condensare.

L'umidità oltre ad influire in modo rilevante sulle condizioni di comfort degli ambienti, costituisce uno dei maggiori rischi per le strutture che compongono l'organismo edilizio.

È evidente che il livello di coibentazione dell'involucro non è sufficiente da solo a garantire una condizione di comfort termoigrometrico. Il controllo del grado di umidità negli ambienti confinati è fondamentale sia per garantire adeguati livelli di comfort per gli occupanti sia per garantire una corretta funzionalità e durabilità delle strutture edilizie.



**1** Incidenza statistica delle cause di degrado degli edifici 8 (Elaborazione da dati Rizkallah, Achmus, Kaiser, 2003).

<sup>2</sup> Testo di Alessandro Zilio.

Il controllo dell'umidità pertanto è un aspetto che deve essere tenuto in adeguata considerazione sia nella fase di progettazione sia in quella esecutiva. In particolare esso assume un ruolo fondamentale negli edifici ad alta efficienza energetica a causa degli elevati strati coibenti e dell'ermeticità delle strutture.

## ASPETTI FISICI, DEFINIZIONI E GRANDEZZE, CARATTERISTICHE<sup>3</sup>

Dal punto di vista fisico i parametri che misurano l'umidità dell'aria sono:

- **umidità assoluta ( $v$ ):** è la quantità di acqua (in grammi) contenuta in un m<sup>3</sup> di aria a specifiche condizioni di temperatura e pressione;
- **umidità di saturazione ( $v_{\text{sat}}$ ):** è la quantità massima di vapore acqueo che può essere contenuta in un m<sup>3</sup> d'aria a specifiche condizioni di temperatura e pressione;
- l'aria è satura quando a determinate temperatura e pressione non può più contenere altro vapore acqueo. La quantità massima di vapore acqueo accumulabile dall'aria dipende dalla temperatura;
- **umidità relativa ( $\varphi$ ):** è il rapporto, a specifiche condizioni di temperatura e pressione, tra la quantità d'acqua contenuta effettivamente nell'aria e la quantità massima che la stessa massa d'aria può contenere nelle medesime condizioni di temperatura e pressione.

$$\varphi = (v/v_{\text{sat}})100 = (p/p_{\text{sat}})100$$

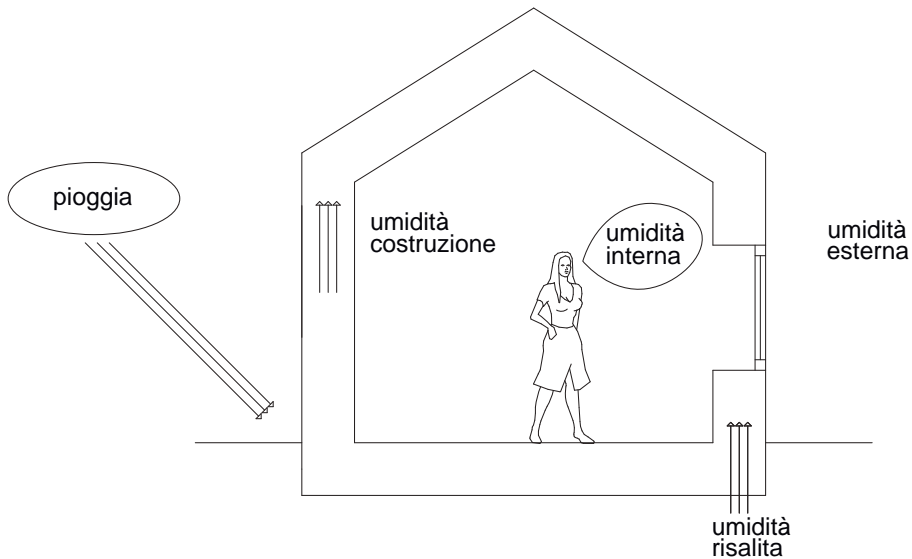
---

<sup>3</sup> Testo di Alessandro Zilio.

## CAUSE DELL'UMIDITÀ NEGLI ORGANISMI EDILIZI<sup>4</sup>

Le cause dell'umidità negli edifici sono molteplici e non sono legate ad un unico meccanismo. A seconda della sua origine l'umidità può essere classificata in:

- umidità di costruzione o umidità residua;
- umidità esterna;
- umidità interna;
- umidità di risalita capillare dal terreno;
- umidità da infiltrazione diretta.



**2** Fonti di umidità negli edifici.

L'**umidità di costruzione**, propria delle tipologie costruttive "umide", è quella contenuta nei getti di calcestruzzo, nelle malte delle murature, negli intonaci, nei massetti o nel legno non correttamente essiccato. È importante che essa abbia la possibilità di defluire verso l'esterno, ovvero che la parete possa garantire la diffusione al vapore verso l'esterno.

<sup>4</sup> Testo di Alessandro Zilio.

È buona prassi garantire, prima della posa in opera della coibentazione esterna un sufficiente grado di asciugatura delle chiusure verticali ed orizzontali opache. Qualora si vogliano accelerare i tempi è possibile ricorrere a sistemi di essiccazione meccanica. L'**umidità esterna** è generata dalla composizione dell'aria e dei fenomeni meteorologici.

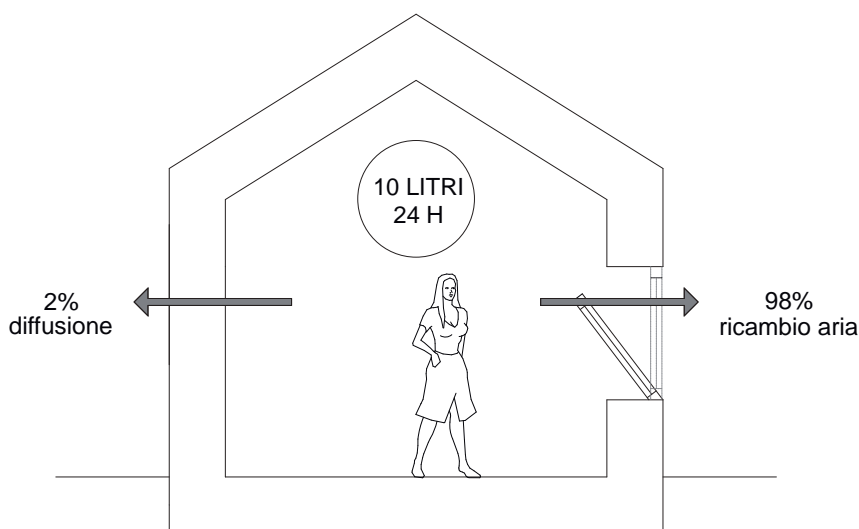
È legata, nella maggior parte dei casi, a spruzzi d'acqua, infiltrazioni, acqua di falda e pioggia battente.

L'**umidità interna** è legata alle attività che vengono svolte all'interno degli ambienti e quindi indirettamente alla loro destinazione d'uso e frequenza di utilizzo. Per garantire adeguati standard di salubrità e comfort l'umidità interna prodotta in eccesso deve essere smaltita.

In generale l'involucro edilizio, anche se realizzato con materiali traspiranti, smaltisce per diffusione una percentuale estremamente bassa dell'umidità prodotta al suo interno la maggior parte deve essere smaltita con ricambi d'aria garantiti da ventilazione naturale o meccanica.

In ambito residenziale la quantità di umidità giornalmente prodotta varia tendenzialmente tra il 2% e il 3% e ne consegue che quella che deve essere smaltita attraverso la ventilazione si aggira tra il 97% e il 98%.

Questo deve far capire che nessun involucro, qualsiasi siano i materiali che lo compongono, è in grado di smaltire autonomamente per diffusione l'umidità prodotta al suo interno, ma deve essere sempre garantito un adeguato livello di ricambio d'aria.



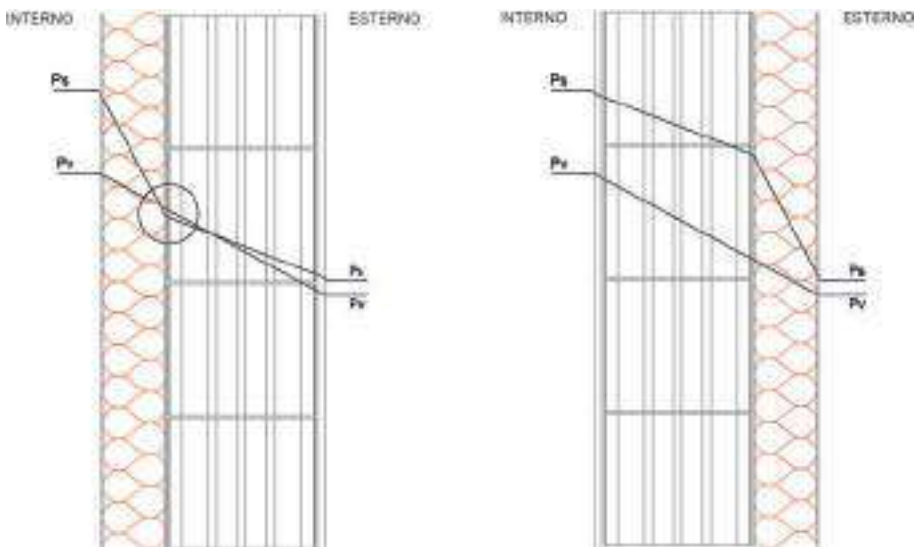
**3** Confronto dell'umidità smaltita per diffusione e per ricambio d'aria.

## LA CONDENSAZIONE<sup>5</sup>

La capacità dell'aria di contenere umidità è limitata e diminuisce al diminuire della temperatura.

Se durante il processo di migrazione attraverso un elemento costruttivo la pressione parziale di vapore supera la pressione di saturazione si verifica il fenomeno della condensazione.

La pressione parziale di vapore dipende dalle temperature interna ed esterna e dalla resistenza al passaggio del vapore dei materiali che compongono l'elemento costruttivo.



**4** Andamento della pressione parziale di vapore, della pressione di saturazione e formazione di condensa.

Esistono due “tipologie” di condensazione legate agli elementi che costituiscono l’involucro edilizio: condensazione interstiziale e condensazione superficiale.

Come evidenziato nella figura, se vi è un punto all’interno dell’elemento costruttivo attraverso cui il vapore sta migrando in cui  $p_v > p_{sat}$  si verificherà la formazione

<sup>5</sup> Testo di Alessandro Zilio.



di condensa. I grammi di umidità in eccesso rispetto alla pressione di saturazione verranno smaltiti attraverso il passaggio dallo stato gassoso a quello liquido.

La normativa italiana prevede (d.P.R. 59/2009) per tutte le strutture opache che contengono l'involucro la verifica di fenomeni di formazione di condensa sia superficiale sia interstiziale. In particolare si deve verificare:

- l'assenza di fenomeni di condensazione superficiale;
- la formazione di condensa interstiziale in quantità limitate.

Lo stesso d.P.R. 59/2009 prevede che il calcolo sia effettuato in conformità a quanto previsto dalla norma UNI EN ISO 13788:2003 che definisce gli algoritmi per la determinazione delle condizioni climatiche interne di temperatura ed umidità relativa in funzione dell'uso dell'edificio e delle condizioni climatiche esterne. Si tratta di una verifica igrometrica in regime stazionario che utilizza i valori medi mensili.

I fenomeni di **condensazione interstiziale** riguardano prevalentemente gli edifici coibentati. In essi la presenza dello strato coibente assicura temperature superficiali interne più elevate e sposta l'eventuale punto di condensa all'interno dell'elemento edilizio che costituisce l'involucro. Nella maggior parte dei casi la condensazione interstiziale avviene all'interfaccia di due strati che presentano caratteristiche termoigrometriche differenti.

In quest'ottica il posizionamento del materiale isolante all'interno della stratigrafia che compone l'elemento costruttivo è l'elemento più critico.

In linea di principio, più il materiale isolante è spostato verso l'ambiente interno maggiori sono le possibilità che si verifichino fenomeni di condensa interstiziale, viceversa l'utilizzo di coibentazioni esterne mette quasi del tutto al riparo da questi fenomeni. La norma UNI EN ISO 13788:2003 individua i criteri di calcolo per la verifica in regime stazionario mentre la norma UNI EN 15026:2008 i criteri di calcolo per la verifica in regime dinamico.

I fenomeni di **condensazione superficiale** sono tipici degli involucri edilizi poco prestazionali dal punto di vista energetico o che presentano ponti termici non corretti.

Soprattutto negli organismi edilizi a destinazione residenziali si presenta spesso la concomitanza di basse temperature superficiali e elevati tassi di umidità relativa che rappresentano le condizioni privilegiate per la formazione della condensa superficiale.

Secondo la verifica imposta dal d.P.R. 59/2009, che impone condizioni climatiche interne pari a  $T_i = 20\text{ °C}$  e  $UR = 65\%$ , la temperatura superficiale interna dovrebbe sempre essere superiore a  $13,2\text{ °C}$  per evitare la formazione di condensa superficiale.

UMIDITÀ RELATIVA	TEMPERATURA DI SATURAZIONE
40%	6,0
50%	9,3
60%	12,0
65%(verifica d.P.R. 59/2009)	13,2 - condensazione
70%	14,0
80%	16,7 - crescita muffe
90%	18,3

**5** Tabella della temperatura di rugiada per diverse condizioni di umidità relativa con temperatura interna costante pari a 20°C.

La formazione di muffa nei componenti edilizi è causata da:

- isolamento termico insufficiente e presenza di ponti termici;
- eccessiva produzione di umidità;
- scarsa ventilazione.

Il processo di formazione della muffa è ciclico: i funghi sotto forma di spora assorbono umidità dall'aria e sviluppando successivamente i miceli e si depositano sulle superfici degli elementi costruttivi da cui ricavano le sostanze nutritive. I funghi producono in continuazione spore garantendo così il ripetersi ciclico del fenomeno.

Le condizioni per la formazione della muffa sono:

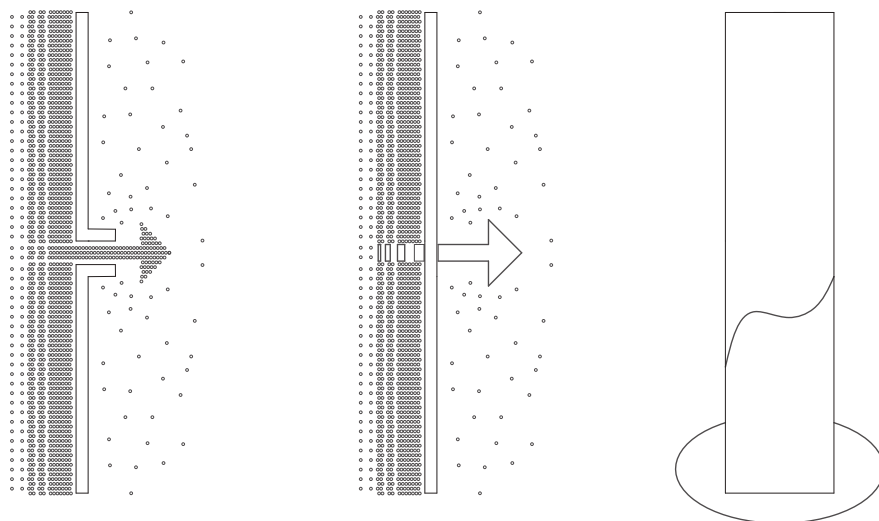
- temperatura interna  $T_i$  compresa tra i 10 °C ed i 35°C;
- umidità relativa (UR) interna superficiale superiore all'80% per almeno 12 ore giornaliere per 5 giorni consecutivi;
- pH delle superfici compreso tra 4,5 e 6,5.

La verifica per la formazione di muffa, con le condizioni al contorno indicate dalla norma UNI EN ISO 13788:2003, che impone condizioni climatiche interne pari a  $T_i = 20$  °C e UR = 80% impone temperature superficiali interne pari a 16.7 °C.

Risulta evidente che garantire il secondo requisito di temperatura superficiale interna significa automaticamente garantire anche le condizioni che impediscono la formazione di condensa superficiale.

## MECCANISMI DI TRASPORTO DELL'UMIDITÀ<sup>6</sup>

Negli edifici il movimento del vapore è innescato dalla differenza di pressione tra l'ambiente interno e quello esterno. La direzione del moto è quella dall'ambiente a pressione parziale minore a quello a pressione parziale maggiore.



Convezione

Diffusione

Capillarità

**6** Meccanismi di trasmissione del vapore.

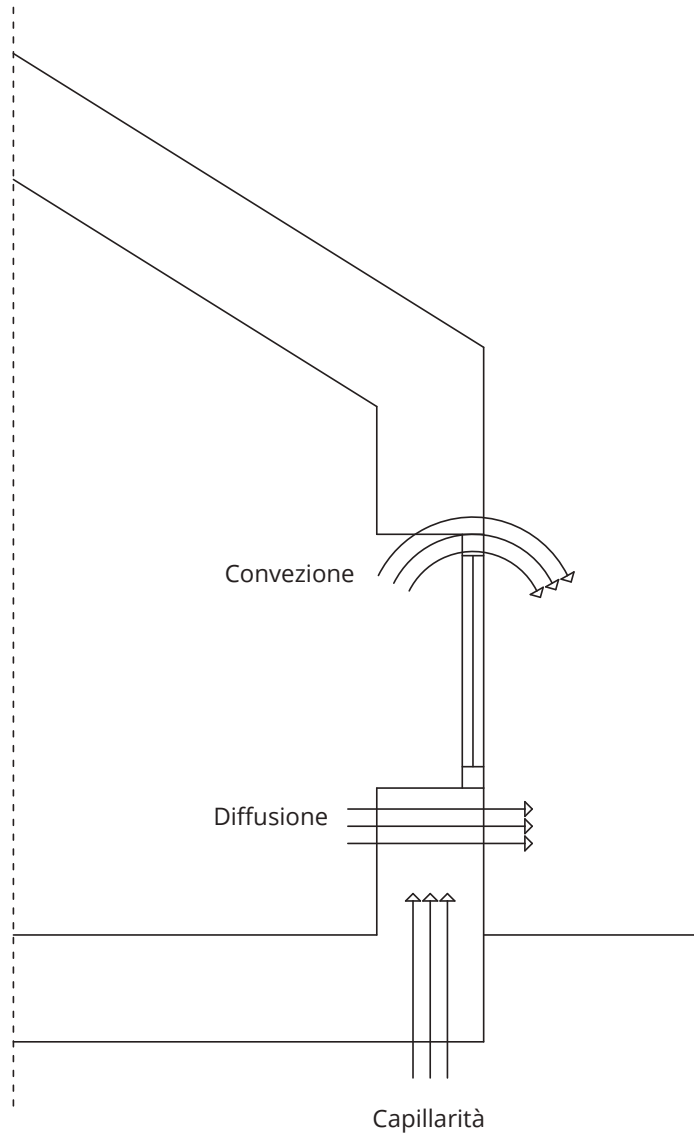
Esistono delle evidenti analogie tra i meccanismi di trasmissione di vapore e calore. La trasmissione del calore è causata da una differenza di temperatura tra la parte interna e quella esterna dell'involucro edilizio, analogamente la trasmissione del vapore è causata da una differenza di pressione tra l'interno e l'esterno dell'involucro edilizio.

Sempre secondo questa analogia, se la grandezza che qualifica il trasporto di calore in funzione del delta di temperatura è la resistenza alla trasmissione del calore quella che quantifica il trasporto di vapore in funzione del delta di pressione è la resistenza alla trasmissione del calore.

<sup>6</sup> Testo di Alessandro Zilio.

In edilizia i meccanismi di trasporto di umidità significativi sono:

- trasporto di vapore per convezione;
- trasporto di vapore per diffusione;
- trasporto di acqua per diffusione;
- trasporto di acqua per capillarità.



**7** Meccanismi di trasporto dell'umidità.

## TRASPORTO DI VAPORE PER DIFFUSIONE

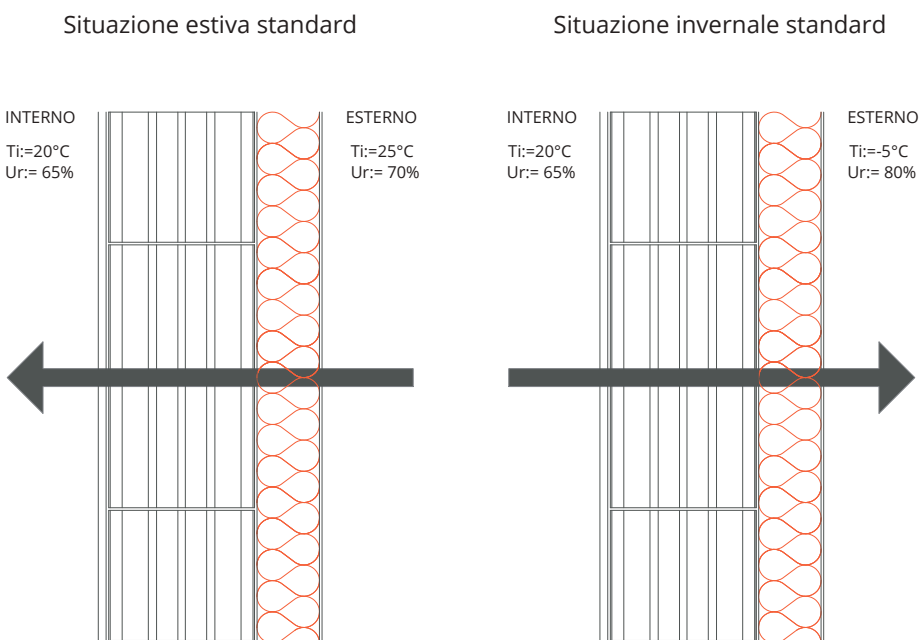
Il trasporto di umidità per diffusione è causato dal gradiente di pressione parziale di vapore tra le due facce di un elemento costruttivo. L'umidità si sposta sempre tra l'ambiente a pressione parziale di vapore maggiore all'ambiente a pressione parziale di vapore minore.

La direzione del flusso di vapore è funzione del contenuto di umidità assoluta dell'aria ed essa tende ad equilibrarsi spostandosi dall'ambiente con maggiore umidità assoluta a quello con umidità assoluta minore.

Bisogna osservare che nel corso dell'anno il flusso di vapore, a seconda delle condizioni climatiche e dell'uso dell'edificio, può assumere direzioni diverse.

Nella tipologia residenziale, nei climi temperati, questo flusso generalmente ha direzione interno esterno nei mesi invernali mentre ha direzione esterno interno nei mesi estivi.

La norma UNI EN ISO 13788:2003 indica le metodologie di calcolo per la quantificazione della diffusione di umidità attraverso i componenti edilizi.





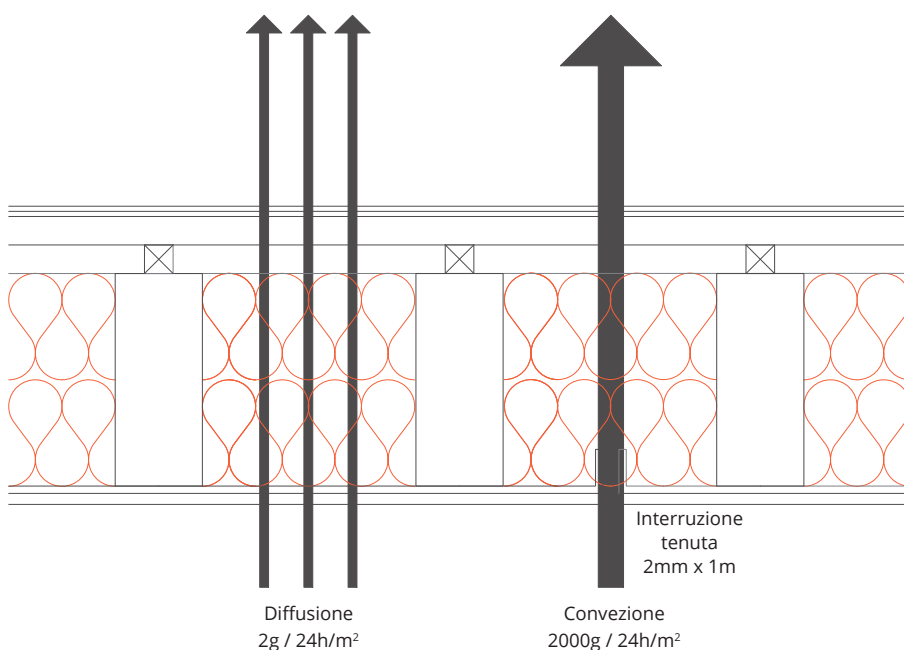
## TRASPORTO DI VAPORE PER CONVEZIONE

Il trasporto di umidità per convezione avviene in relazione ai moti convettivi dell'aria generati da errori di progettazione e/o realizzazione degli elementi costruttivi. In questi casi le differenze di pressione tra ambiente interno ed ambiente esterno generano flussi di aria in grado di trasportare l'umidità.

La quantità di umidità trasportata per convezione è determinabile, una volta individuate le caratteristiche dell'elemento costruttivo e le condizioni climatiche esterne ed interne, attraverso l'utilizzo di algoritmi di calcolo o normogrammi.

Sebbene difficilmente determinabile con precisione la quantità di vapore acqueo trasportato per convezione è generalmente molto superiore a quella trasportata per diffusione.

Nell'esempio in figura, ipotizzando un'interruzione dello strato di tenuta all'aria di 2 mm per la lunghezza di 1 m, la quantità di umidità trasportata per convezione è circa 1000 volte la quantità di umidità trasportata per diffusione.



**9** Confronto dell'umidità trasportata per convezione e per diffusione.

Da questo esempio risulta evidente che la tenuta all'aria di un organismo edilizio è un elemento imprescindibile per garantirne il corretto funzionamento.

## TRASPORTO DI ACQUA PER CAPILLARITÀ

All'interno dei materiali igroscopici l'umidità allo stato liquido viene trasportata attraverso due meccanismi:

- il trasporto per capillarità;
- la diffusione superficiale.

Il cambio di stato, da gassoso a liquido, nei materiali da costruzione è causata dalla riduzione della pressione parziale di vapore all'interno dei pori, che causa la condensazione del vapore sulle pareti degli stessi.

La **diffusione superficiale**, che avviene nella regione capillare ( $UR < 95\%$ ), è definibile come il trasporto di molecole di umidità allo stato liquido che avviene nello strato superficiale di acqua formatosi in precedenza sulle pareti dei pori capillari a causa della condensazione di vapore interna agli stessi.

Essa, diversamente a quanto avviene nel caso di trasporto di vapore per diffusione, è legata al gradiente di umidità relativa e non a un gradiente di pressione parziale di vapore. Si tratta di una differenza significativa in quanto ad esempio, in una situazione in cui l'umidità relativa è maggiore all'esterno rispetto all'interno ossia il tipico caso invernale, il moto per diffusione superficiale avrà direzione opposta a quello per diffusione del vapore.

Il trasporto dei liquidi per diffusione superficiale aumenta all'aumentare della temperatura come conseguenza della diminuzione della viscosità dei liquidi stessi. Il trasporto per **diffusione capillare** avviene nella regione igroscopica ( $UR > 95\%$ ). All'aumentare del tenore di umidità relativa lo spessore dello strato di molecole d'acqua assorbito dalle pareti aumenta fino a saturare i pori microcapillari. A quel punto, per un fenomeno di saturazione capillare il liquido viene risucchiato dai pori per trasporto capillare.

Questo, come la diffusione superficiale, ha direzione opposta al moto del vapore per diffusione. Ciò avviene in ragione del fatto che la diffusione capillare è associata non al gradiente di pressione parziale di vapore, ma alle forze capillari che vengono innescate all'interno dei pori e al gradiente di umidità relativa.

Questo meccanismo di trasporto dei liquidi è influenzato in modo significativo dalla natura fisica del materiale in cui va ad instaurarsi. In alcuni materiali, nei pori più piccoli, si può avere trasporto per capillarità anche con tenori di umidità relativa de 50%.

## VERIFICA IGROMETRICA DEGLI ELEMENTI COSTRUTTIVI<sup>7</sup>

La verifica igrometrica serve a valutare il comportamento di una determinata stratigrafia in determinate condizioni climatiche simulando l'andamento teorico delle pressioni parziali di vapore e delle temperature al fine di verificare la presenza di eventuali fenomeni di condensazione superficiale o interstiziale.

Le metodologie di verifica proposte dalla normativa sono due:

- verifica in regime stazionario, normata dalla UNI EN ISO 13788:2003 (prevista dal d.P.R. 59/09 all. B);
- verifica in regime dinamico, normata dalla UNI EN ISO 15026:2008.

### VERIFICA IN REGIME STAZIONARIO<sup>8</sup>

Le condizioni e le modalità per la verifica in regime stazionario sono indicate nella norma UNI EN ISO 13788:2003.

Il metodo prevede un bilancio igrometrico annuale volto a determinare su base mensile la quantità di umidità che condensa o rievapora.

La norma individua le condizioni al contorno da considerare e le differenti classi di umidità interna in funzione della tipologia dell'edificio.

VERIFICA IN REGIME STAZIONARIO - UNI EN ISO 13788:2003		DESTINAZIONE USO EDIFICIO UNI EN ISO 13788:2003 (*)
Condizioni climatiche esterne (T e UR)	Valori medi mensili	Magazzini
Condizioni climatiche esterne (T e UR)	Valori riferiti alla destinazione d'uso dell'edificio (*)	Uffici e negozi
Periodo di condensazione	12 mesi	Alloggi con basso indice di affollamento
Periodo di evaporazione	12 mesi	Alloggi con basso indice di affollamento, palestre, cucine, cantine ecc.
Meccanismi di trasporto dell'umidità	Diffusione	Edifici speciali (lavanderie, distillerie, piscine ecc.)

**10** Tabella delle condizioni per la verifica igrometrica in regime stazionario.

<sup>7</sup> Testo di Alessandro Zilio.

<sup>8</sup> Testo di Alessandro Zilio.

Si tratta di una metodologia di verifica semplificata i quanto:

- prende in considerazione esclusivamente l'umidità per diffusione trascurando gli altri meccanismi;
- trascura la relazione tra caratteristica dei materiali e contenuto di umidità;
- trascura la variazione delle condizioni climatiche mensili;
- non tiene in considerazione la capacità igroscopica dei materiali;
- non tiene in considerazione i fenomeni di trasporto dell'umidità allo stato liquido;
- non tiene in considerazione il contributo dello scambio di calore latente;
- non tiene in considerazione il contributo derivante dal moto dell'aria attraverso fessure ed intercapedini;
- non considera eventi quali sole, pioggia, vento ecc. che influenzano la migrazione del vapore nella struttura.

Per quanto concerne la verifica, la norma prevede che si rediga un bilancio tra la quantità di condensa prodotta e quella evaporata per ogni mese a partire dal primo in cui si manifesta la formazione di condensa.

Perchè la stratigrafia sia verificata occorre che siano soddisfatte entrambe le seguenti condizioni:

1.  $Q_{con} < Q_{amm}$  (nel periodo di osservazione di 12 mesi.)

$Q_{con}$  è la condensa che si genera nel pacchetto nei 12 mesi.

$Q_{amm}$  è la condensa ammissibile nel pacchetto nei 12 mesi.

2.  $Q_{con} + Q_{evap} < 0$  (nel periodo di osservazione di 12 mesi.)

$Q_{con}$  è la condensa che si genera nel pacchetto nei 12 mesi.

$Q_{evap}$  è la condensa smaltita per evaporazione nei 12 mesi.

3.  $Q_{amm} < 500 \text{ g/m}^2$

$Q_{amm}$  è la condensa ammissibile nel pacchetto nei 12 mesi.

MATERIALI	DENSITÀ [Kg/mc]	Q <sub>AMM</sub> [g/m <sup>2</sup> ]
Laterizi	600 - 200	≤ 500
Calcestruzzi	400 - 2400	≤ 500
Legnami e derivati	500 - 800	≤ 30 pd
Intonaci e malte	600 - 2000	≤ 30 pd
Fibre di natura organica collanti resistenti all'acqua	300 - 700	≤ 20 pd
Fibre di natura organica collanti non resistenti all'acqua	300 - 700	≤ 5 pd
Fibre minerali	10 - 150	≤ 5000 pd [N/(1-1,7λ)]
Materie plastiche cellulari	10 - 80	≤ 5000 pd [N/(1-1,7λ)]
Deve essere sempre verificata la condizione $Q_{amm} > 500 \text{ [g/m}^2\text{]}$		
Densità ρ [g/m <sup>3</sup> ]; spessore d [m]; conducibilità termica λ [mK]		

**11** Tabella esemplificativa della quantità ammissibile i condensa alla fine del periodo di condensazione (UNI EN ISO 13788:2003).

È importante sottolineare che i valori imposti dalla normativa per il quantitativo limite di condensa ammissibili sono estremamente restrittivi. Questo risulta estremamente problematico quando si devono valutare casi limite come quelli derivanti da isolamento interno di strutture senza barriera al vapore.

In questi casi la verifica in regime stazionario non è quasi mai verificata mentre risulta tale con il calcolo in regime dinamico.

Poiché la verifica in regime stazionario trascura alcuni fenomeni fisici sopra indicati, la stessa UNI EN ISO 13788:2003 precisa che il metodo può essere utilizzato solo per quegli elementi costruttivi in cui tali fenomeni hanno effetti trascurabili.

## VERIFICA IN REGIME DINAMICO<sup>9</sup>

Le modalità della verifica igrometrica dei pacchetti che compongono l'involucro in regime dinamico sono definite dalla UNI EN ISO 15026:2008.

Attraverso le simulazioni dinamiche, svolte con appositi software, è possibile valutare l'andamento del contenuto di umidità all'interno delle diverse stratigrafie al variare delle condizioni climatiche.

VERIFICA IN REGIME DINAMICO - UNI EN ISO 15026:2008	
Condizioni climatiche esterne (T, UR, pioggia, irradiazione)	Dati orari
Condizioni climatiche interne (T e UR)	Valori secondo uso edificio
Periodo di condensazione	365 gg x 24 ore
Periodo di evaporazione	365 gg x 24 ore
Meccanismi di trasporto dell'umidità	Diffusione e capillarità

**12** Tabella delle condizioni per la verifica igrometrica in regime dinamico.

<sup>9</sup> Testo di Alessandro Zilio.



Rispetto al calcolo in regime stazionario quello in regime dinamico considera una serie di fenomeni tra i quali:

- la formazione di condensa in periodo estivo (fenomeno della diffusione inversa);
- la formazione di condensa superficiale esterna generata dal raffreddamento superficiale;
- le perdite di calore per evaporazione e per trasmissione;
- l'asciugatura del contenuto di umidità di costruzione;
- l'infiltrazione generata dalla pioggia;
- il trasporto dell'umidità per capillarità e diffusione;
- la capacità di accumulo di umidità nei diversi materiali secondo la funzione di equilibrio igroscopico;
- La variazione della conducibilità dei materiali in funzione della temperatura e del contenuto di umidità.

La norma inoltre non prevede un periodo di valutazione prestabilito come nella verifica in regime stazionario ma questo è a discrezione del progettista. Generalmente si adottano periodi di verifica che oscillano tra i 3 e i 5 anni che garantiscono il raggiungimento di condizioni di equilibrio dinamico all'interno delle stratigrafie osservate.

La verifica in regime dinamico si rende necessaria in casi come elementi a contatto col terreno, cappotti interni, coperture piane non ventilate, in cui l'umidità per diffusione non è il solo meccanismo significativo.

## **VERIFICA PER CONDENSAZIONE SUPERFICIALE E MUFFA<sup>10</sup>**

In un punto dell'involucro interno si ha il fenomeno della condensa superficiale nel momento in cui:

$$T_p \geq T_{CRC} = T_R$$

---

<sup>10</sup> Testo di Alessandro Zilio.

$T_{CRC}$ := temperatura critica di condensazione superficiale.

$T_R$ := temperatura di rugiada.

$T_p$ := temperatura nel punto dell'involucro interno oggetto di valutazione.

In un punto dell'involucro interno si ha il fenomeno della comparsa di muffa se si verifica in modo continuativo per 2-5 giorni la condizione.

$$T_p > T_{CRM}$$

$T_{CRM}$ := temperatura critica per la formazione di muffa.

$T_p$ := temperatura nel punto dell'involucro interno oggetto di valutazione.

Per la normativa date  $T_i = 20$  °C e  $UR = 80\%$  la temperatura superficiale interna del punto oggetto di verifica deve essere superiore a 16.7 °C.

La temperatura di rugiada, corrispondente alla temperatura critica superficiale per cui si avrà il fenomeno della condensa si verificherà quando l'altezza del bicchiere sarà uguale all'altezza dell'acqua.

É importante sottolineare che la temperatura critica per la formazione di muffa è maggiore di quella per la formazione di condensa superficiale che coincide con la temperatura di rugiada.

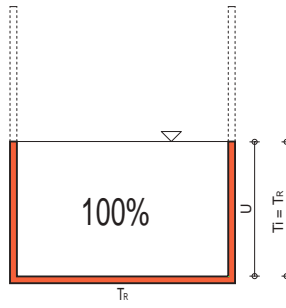
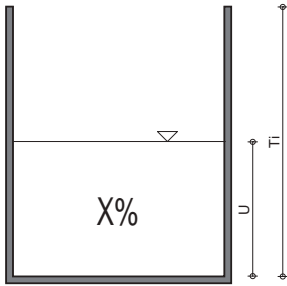
$$T_{CRM} \geq T_{CRC} = T_R$$

Per capire meglio il fenomeni si può ricorrere alla similitudine del bicchiere d'acqua. La situazione di partenza di un ambiente con  $UR:=X\%$  potrebbe essere schematizzata come un bicchiere alto 100 e pieno d'acqua per un'altezza X.

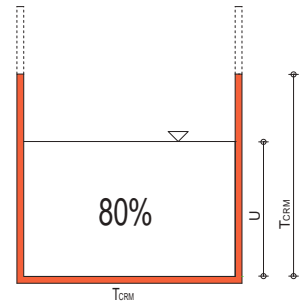
In questo caso la temperatura interna dell'aria corrisponderebbe all'altezza del bicchiere mentre l'altezza dell'acqua corrisponderebbe al contenuto di umidità.

Ora se in corrispondenza della superficie interna dell'ambiente vi sono punti con temperatura più basse, caso che ad esempio si verifica in presenza di ponti termici, nella nostra schematizzazione significa che l'altezza del bicchiere sarà più bassa mentre l'altezza dell'acqua rimarrà costante perchè il contenuto di umidità della stanza sarà sempre lo stesso.

La formazione di muffa si avrà invece quando, per un tempo prolungato pari a 2-5 giorni si avrà costantemente la condizione per cui l'altezza del bicchiere corrisponderà ad una umidità relativa pari all'80%.



Temperatura critica per la formazione di condensa

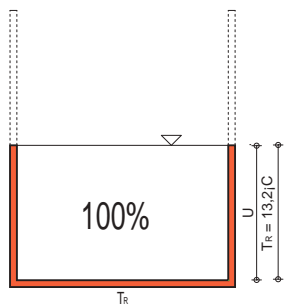
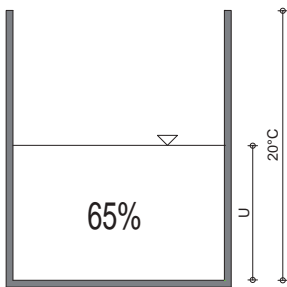


Temperatura critica per la formazione di muffa

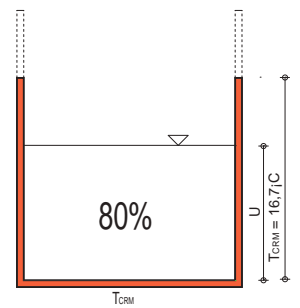
**13** Similitudine idraulica.

ESEMPIO

Immaginiamo adesso di avere un ambiente con temperatura interna  $T_i=20^\circ\text{C}$  e umidità relativa  $UR:=65\%$ .

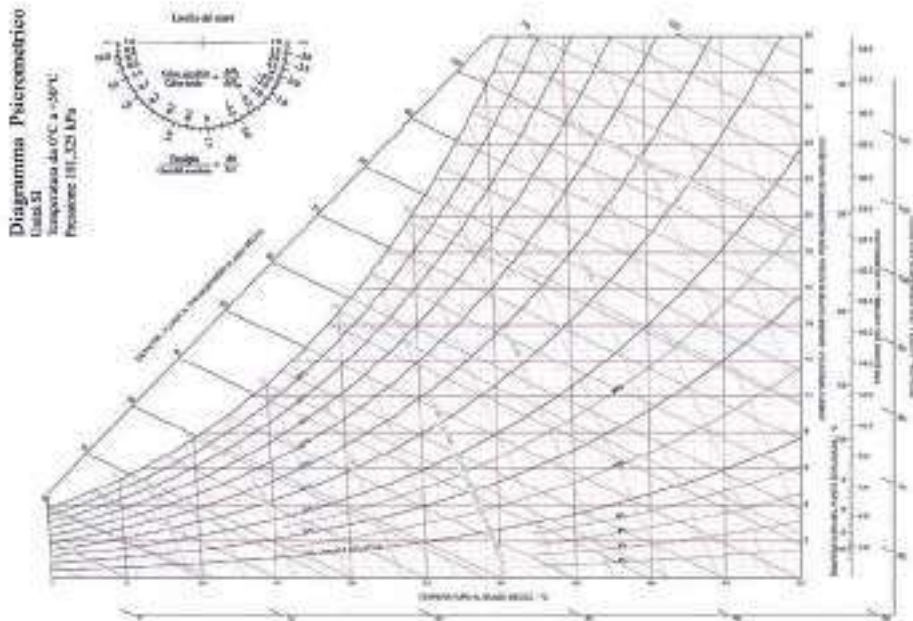


Temperatura critica per la formazione di condensa



Temperatura critica per la formazione di muffa

**14** Similitudine idraulica per esempio.



15 Diagramma psicrometrico.

Dal diagramma si ottiene la pressione di saturazione a 20°C.

$$P_s(20^\circ\text{C}) = 2337\text{Pa}$$

Poi si determina la pressione di saturazione in corrispondenza di  $T_R$ .

$$2337\text{Pa} * 0,65 = 1519\text{Pa}$$

Dal diagramma si ottiene la temperatura in corrispondenza della  $P_s$  determinata che altro non è se non  $T_R$ .

$$P_s(T_R) = 1519\text{Pa}$$

$$T_R = 13,2^\circ\text{C}$$

A questo punto si può determinare la temperatura critica per la formazione di muffa  $T_{CRM}$ .

$$\frac{1519\text{Pa}}{0,8} = 1898,8\text{Pa}$$

$$T_{CRM} = 16,7^\circ\text{C}$$

Dal diagramma si ottiene la temperatura in corrispondenza della  $P_S$  determinata che altro non è se non la temperatura critica per la formazione di muffa  $T_{CRM}$ .  
Come ci si aspettava:

$$T_{CRM} = 16,7^{\circ}\text{C} > 13,2^{\circ}\text{C} = T_R$$

## **CONSEGUENZA DELLA NON CORRETTA PROTEZIONE DALL'UMIDITÀ<sup>11</sup>**

La presenza di umidità all'interno degli elementi costruttivi, anche se non immediatamente riscontrabile a livello visivo, può generare gravi problemi per l'organismo edilizio ed i suoi occupanti:

- la riduzione della capacità termoisolante dei materiali che compongono l'involucro ha come conseguenza una diminuzione delle prestazioni termiche dell'involucro edilizio;
- la formazione di muffe sulle superfici interne genera problemi di salubrità ambientale per gli occupanti, danneggiamento dei rivestimenti superficiali e possibili danni ad arredi o elementi tecnologici;
- la formazione di ruggine sulle strutture portanti in metallo e sulle armature delle strutture in calcestruzzo ha come conseguenza una diminuzione delle capacità statiche delle strutture stesse oltre che fenomeni di degrado legati al distacco del calcestruzzo stesso;
- il degrado e la conseguente perdita di capacità statica delle strutture lignee per le quali questi fenomeni sono estremamente pericolosi;
- la formazione di ghiaccio all'interno degli elementi costruttivi che genera rotture fessure e distacchi.

---

<sup>11</sup> Testo di Alessandro Zilio.



## TENUTA ALL'ARIA E AL VENTO DELL'INVOLUCRO EDILIZIO<sup>12</sup>

L'involucro edilizio è un sistema complesso formato da diversi elementi costruttivi raccordati. Se non correttamente progettati questi punti di raccordo diventano dei canali preferenziali per il passaggio di flussi d'aria.

Si definisce **permeabilità all'aria** la portata di aria di infiltrazione per unità di superficie dell'involucro in corrispondenza di una differenza di pressione.

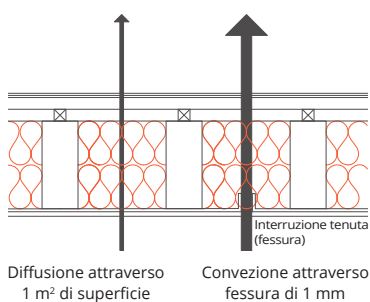
Questa grandezza, definita dalla norma UNI EN 13829:2002 è la grandezza che permette di valutare le capacità dell'involucro di limitare gli scambi d'aria non desiderati con l'esterno.

La progettazione di un involucro efficiente non può prescindere da due aspetti:

- la tenuta all'aria;
- la tenuta la vento.

Lo strato funzionale di **tenuta all'aria** ha lo scopo di impedire l'ingresso nel volume climatizzato dell'organismo edilizio dei flussi d'aria per convezione nelle due direzioni, interno-esterno ed esterno-interno.

Esso è collocato sempre sul lato caldo (interno) dell'elemento costruttivo. La tenuta all'aria non va confusa con la traspirabilità della parete cioè la capacità di far passare il vapore per diffusione anche se dal punto di vista costruttivo spesso le due funzioni sono assolte da un unico strato funzionale. Lo strato di tenuta all'aria può essere più o meno permeabile alla diffusione del vapore, ma deve sempre evitare il trasporto di vapore per convezione attraverso l'aria



TRASPORTO DI VAPORE PER CONVEZIONE	fessura 1 mm x 1 m	16 - 39 g
	fessura 5 mm x 1 m	43 - 110 g
TRASPORTO DI VAPORE PER DIFFUSIONE	struttura molto permeabile alla diffusione	0,71 g/m <sup>2</sup>
	struttura poco permeabile alla diffusione	0,17 g/m <sup>2</sup>
	struttura impermeabile alla diffusione	0,02 g/m <sup>2</sup>

**16** Esempio di effetti della mancanza di tenuta all'aria dell'involucro.

<sup>12</sup> Testo di Alessandro Zilio.

Alcune tipologie costruttive (muratura intonacata, strutture in XLAM) hanno, in virtù delle caratteristiche intrinseche dei materiali utilizzati, capacità di tenuta all'aria, mentre per altre tipologie (strutture in legno a telaio, strutture in metallo) è necessario prevedere appositi sistemi come teli e pannelli per garantire prestazioni adeguate.

Materiali che garantiscono la tenuta all'aria	Temperatura di saturazione
Intonaco interno su muratura	Muratura non intonacata
Membrane, teli, fogli in polietilene o alluminio	Pannelli in lana di legno e fibre di legno leggere
Pannelli duri a base di legno (OSB, truciolari ecc.)	Teli perforati
Calcestruzzo lavorato a regola d'arte	Calcestruzzo troppo asciutto o troppo bagnato
Collegamenti a tenuta	Collegamenti non a tenuta
Nastri adesivi specifici per l'incollaggio dei teli	Nastri adesivi a pacchetto
Collanti elastici specifici per l'incollaggio dei teli	Pannelli coibentanti
Nastri autoespandenti a tenuta	Schiuma poliuretana di montaggio
Nastri adesivi acrilici a tenuta	Sigillature con silicone

**17** Tabella riassuntiva dei materiali che garantiscono o non garantiscono la tenuta all'aria.

Lo strato funzionale di **tenuta al vento** ha la funzione di impedire che l'aria fredda esterna raffreddi la stratigrafia che compone l'involucro asportando calore dallo stesso. Per questa ragione esso è collocato sul lato freddo (esterno) dell'elemento costruttivo che compone l'involucro.

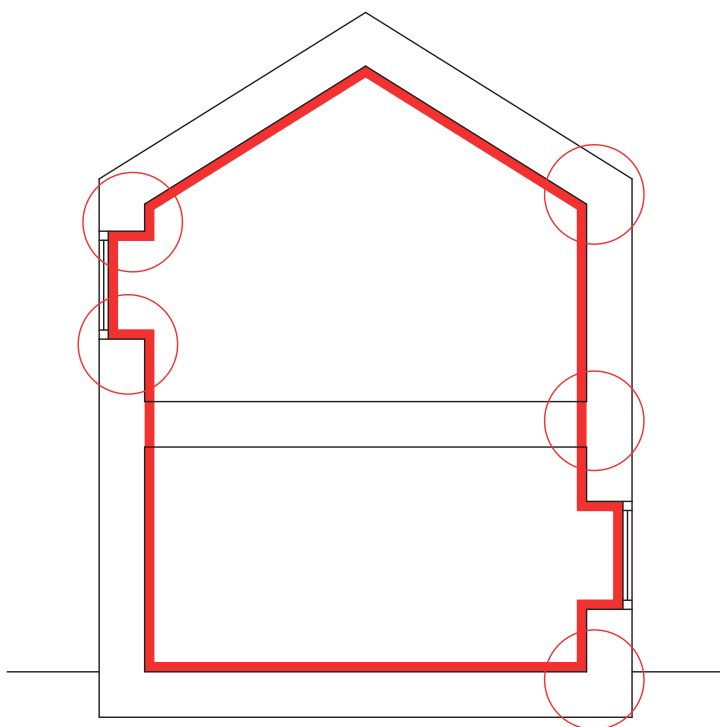
Come per la tenuta all'aria anche per la tenuta al vento devono essere previsti appositi strati di tenuta, nel caso di quei sistemi costruttivi il cui materiale impiegato non possiede intrinsecamente la capacità di assolvere questa funzione. Generalmente questo strato assolve anche funzione di tenuta all'acqua per proteggere l'involucro dalle infiltrazioni.

Le conseguenze derivanti da una scarsa ermeticità dell'involucro sono:

- aumento delle perdite energetiche legate sia all'aumento delle perdite per ventilazione che al peggioramento delle caratteristiche isolanti dei materiali;
- riduzione dell'efficienza degli impianti di ventilazione meccanica controllata correlata ad una riduzione del rendimento teorico dell'impianto;
- riduzione del grado di isolamento acustico dell'involucro;

- danni ai materiali generati da fenomeni di condensa interstiziale (il 90% dei danni alle costruzioni deriva da una non corretta messa in opera degli strati di tenuta all'aria);
  - formazione del fenomeno detto dei "laghi d'aria fredda" in inverno generato da un processo di stratificazione dell'aria per cui l'aria calda sale verso l'alto e quella fredda "scende" verso il basso;
  - innalzamento della temperatura interna dell'aria in estate;
  - riduzione della qualità dell'aria interna dovuta all'infiltrazione di sostanze inquinanti.
- Un adeguato livello di tenuta all'aria e al vento è indispensabile quanto un adeguato livello di coibentazione dal momento che la regolazione delle perdite termiche complessive per ventilazione è uno degli aspetti fondamentali nella progettazione dell'efficienza energetica degli edifici.

Nella progettazione della tenuta all'aria, come avviene per la coibentazione, deve essere adottata la red-line strategy. Immaginando di rappresentare con un pennarello rosso gli strati di tenuta dell'edificio bisogna poter disegnare una polilinea chiusa senza interruzioni in corrispondenza dell'involucro che delimita il volume climatizzato.



**18** Red-line strategy e possibili punti deboli dell'involucro in relazione alla tenuta all'aria.

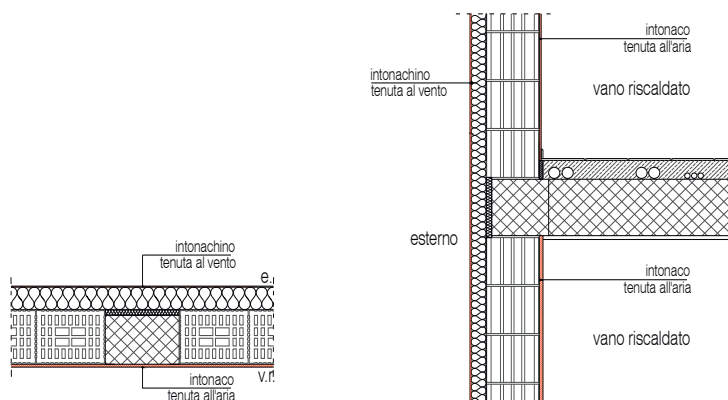
La realizzazione di una corretta tenuta all'aria dell'involucro deriva da una corretta valutazione in fase progettuale che deve considerare:

- la tipologia costruttiva impiegata;
- le caratteristiche delle superfici degli elementi costruttivi;
- la gestione delle linee di raccordo tra elementi costruttivi differenti;
- la gestione dei elementi puntuali quali travi, tubazioni, prese elettriche e più in generale di tutti gli elementi che attraversano lo strato di tenuta.

La tenuta all'aria e al vento può essere realizzata dallo stesso materiale di cui è composto l'elemento costruttivo come nel caso delle strutture in calcestruzzo in cui queste funzioni sono assolte dall'intonaco interno ed esterno, o in alternativa deve essere realizzata da appositi sistemi costituiti da fogli, teli e membrane.

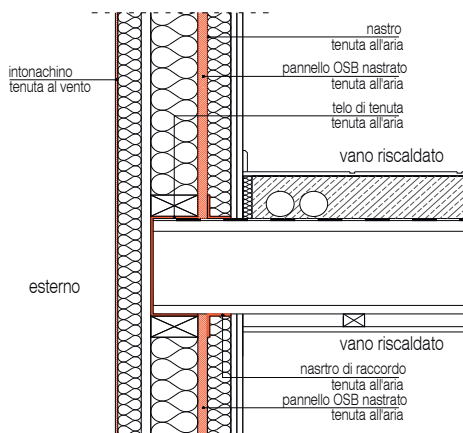
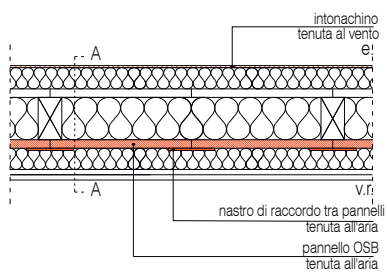
Nelle strutture a telaio in legno la funzione di tenuta all'aria è generalmente svolta dalle stesse membrane aventi la funzione di freno o barriera al vapore o da pannelli di rivestimento (OSB) adeguatamente sigillati e nastrati nei punti di raccordo. Per quanto concerne la tenuta al vento sul lato esterno si utilizzano pannelli duri a base di legno o appositi teli deputati a questa funzione. I punti critici di raccordo tra i pannelli e di sovrapposizioni tra le membrane vengono raccordati con appositi nastri adesivi o autoespandenti.

1 muratura in laterizio e trave in cls

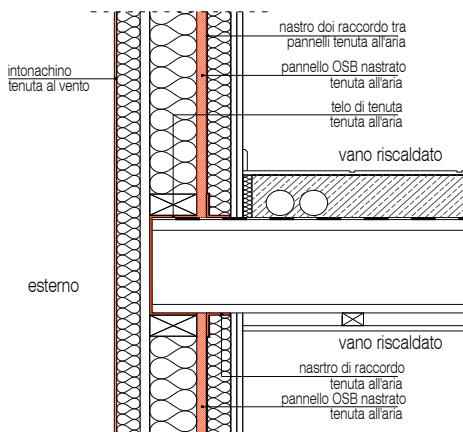
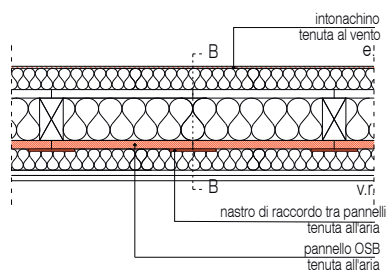


19 Tenuta all'aria e al vento per una struttura in laterocemento (sezione orizzontale e verticale tipo).

**2.1** parete con struttura lignea a telaio e solaio in legno

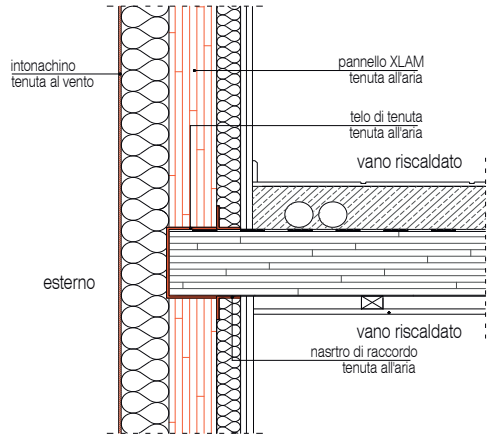
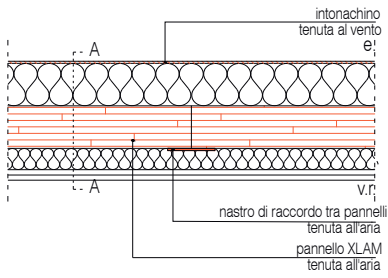


**2.2** parete con struttura lignea a telaio e solaio in legno

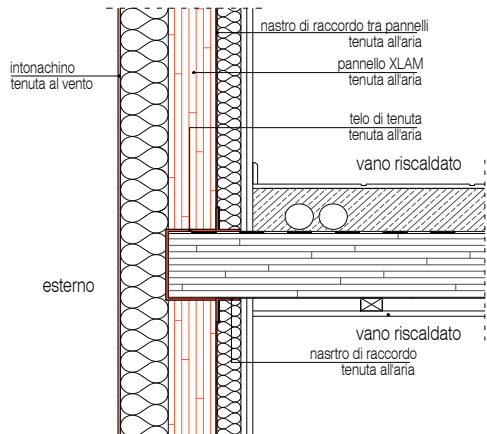
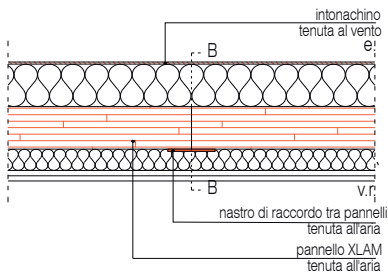


**20** Tenuta all'aria e al vento struttura in legno a telaio (sezione orizzontale e verticale tipo).

**3.1** parete con struttura lignea in XLAM e solaio con struttura lignea in XLAM (A)



**3.2** parete con struttura lignea in XLAM e solaio con struttura lignea in XLAM (B)



**21** Tenuta all'aria e al vento struttura in XLAM (sezione orizzontale e verticale tipo).



I punti critici dell'involucro per un'efficace tenuta all'aria sono:

- collegamento tra solaio e muro in corrispondenza di volumi climatizzati e non climatizzati;
- passaggio delle tubazioni tra volumi climatizzati e non climatizzati;
- collegamento muro perimetrale esterno e copertura;
- giunzioni delle finestre;
- collegamento tra lucernari e coperture;
- punti di attraversamento della copertura di camini e canne fumarie;
- porte tra volumi climatizzati e non climatizzati.

Il grado di tenuta all'aria di un edificio è misurabile sperimentalmente attraverso un test di pressurizzazione tramite ventilatore chiamato Blower-Door Test. Questo test, la cui procedura è normata dalla UNI EN 13892:2002, permette di determinare la permeabilità all'aria di un involucro edilizio in presenza di una differenza di pressione indotta in modo artificiale all'interno dell'edificio.

La norma prevede due tipologie di test:

- metodo A (prova di edificio in uso);
- metodo B (prova dell'involucro edilizio).

Tutti i protocolli più accreditati in materia di risparmio energetico attualmente accreditati, CasaClima, Passivehaus, Leed prevedono dei valori minimi di tenuta dell'involucro edilizio da verificare attraverso questo tipo di test. Allo stato attuale, la normativa nazionale non prevede nessuna verifica della permeabilità all'aria dell'involucro edilizio.

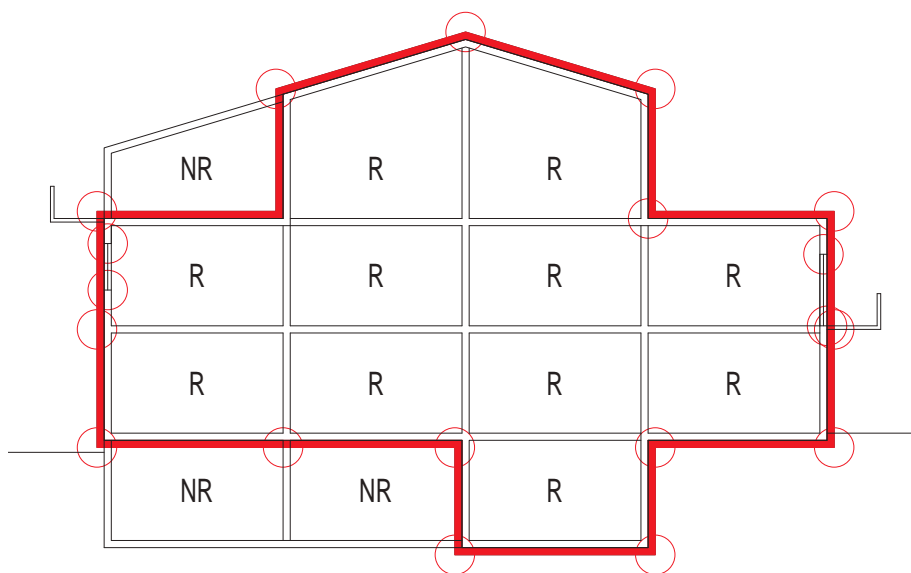
## **ISOLAMENTO TERMICO<sup>13</sup>**

Quando si parla di isolamento termico di un edificio si fa riferimento alle capacità dell'involucro che delimita il volume climatizzato di limitare il flusso termico tra ambienti climatizzati e non climatizzati e tra ambienti climatizzati ed esterno. La funzione principale dei materiali isolanti (cap. 3) è quella di permettere all'involucro di ridurre tale flusso.

---

<sup>13</sup> Testo di Alessandro Zilio.

Dal punto di vista progettuale per ottenere una corretta coibentazione dell'involucro edilizio si deve adottare la red-line strategy. Una volta distinte le porzioni di volume climatizzato dell'edificio da quelle non climatizzate, immaginando di rappresentare con una penna rossa gli strati isolanti si deve poter realizzare una polilinea chiusa continua che contenga al suo interno tutto il volume climatizzato dell'edificio. La penna rossa deve essere in grado di percorrere tale polilinea senza interruzioni.



**22** Red-line strategy e possibili punti deboli dell'involucro in relazione alla coibentazione.

## ELEMENTI FISICI DI RIFERIMENTO<sup>14</sup>

Il secondo principio della termodinamica prevede che in presenza di ambienti a temperature diverse si instauri un flusso di energia termica da quello a temperatura maggiore a quello a temperatura minore, fino a raggiungere la temperatura di equilibrio tra gli stessi.

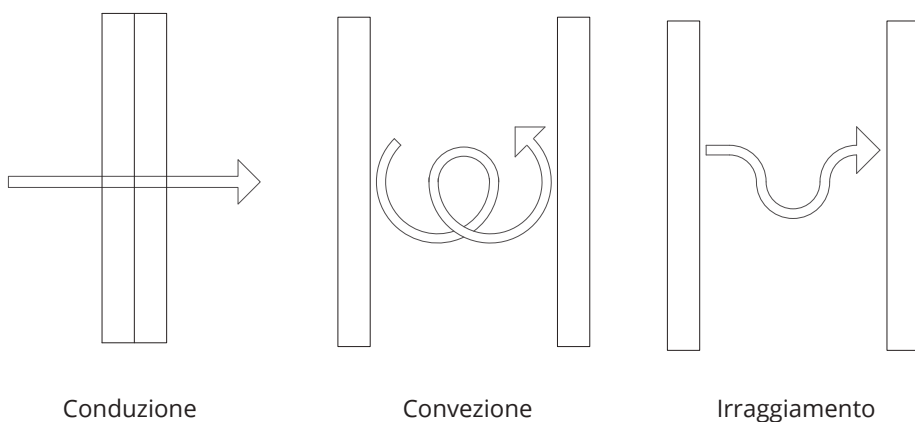
<sup>14</sup> Testo di Alessandro Zilio.

Il trasferimento di calore tra due corpi a temperature diverse avviene secondo tre modalità: conduzione, convezione e irraggiamento.

La **conduzione** è il passaggio di calore per contatto diretto tra le molecole di due corpi a temperature diverse.

La **convezione termica** è un meccanismo di trasferimento del calore tra due corpi generato dal movimento delle particelle di fluido (allo stato liquido o gassoso) tra essi interposto.

L'**irraggiamento** è un meccanismo di trasferimento del calore attraverso le onde elettromagnetiche irradiate dal corpo a temperatura maggiore verso quello a temperatura minore. Questa modalità di trasferimento di calore avviene anche in condizioni di vuoto.



**23** Meccanismi di trasferimento del calore.

Il trasferimento di calore attraverso gli elementi fisici che costituiscono l'involucro avviene per mezzo di tutti e tre i meccanismi sopra citati; tuttavia la conduzione rappresenta nettamente la modalità prevalente.

## GRANDEZZE FISICHE DI RIFERIMENTO<sup>15</sup>

La quantificazione del calore disperso attraverso un elemento costruttivo, in regime invernale è quantificabile ricorrendo ad alcune grandezze fisiche di riferimento già descritte nel cap. 3.

**Conducibilità termica ( $\lambda$ ):** è il flusso di calore che in condizioni di regime stazionario attraversa la superficie di un m<sup>2</sup> di un cubo di materiale omogeneo avente lo spessore di 1 m con differenza di temperature tra le due facce pari a 1°C.

Al diminuire di questo valore aumenta la capacità isolante del materiale, cioè diminuisce il flusso di calore che transita attraverso il materiale.

**Resistenza (R):** è il rapporto tra lo spessore di un materiale (s) e la sua conducibilità termica. È la grandezza reciproca della conducibilità termica.

In fisica questa è definita come la difficoltà del calore ad attraversare un mezzo solido, liquido o gassoso.

$$R := s/\lambda$$

s:= è lo spessore dello strato di materiale.

$\lambda$ := è la conducibilità termica di progetto del materiale.

La resistenza totale di un componente edilizio multistrato è data dalla somma delle resistenze dei diversi componenti e aggiungendo la resistenza superficiale interna e quella esterna.

$$R_T := R_{si} + s_1/\lambda_1 + s_2/\lambda_2 + \dots + s_n/\lambda_n + R_{se}$$

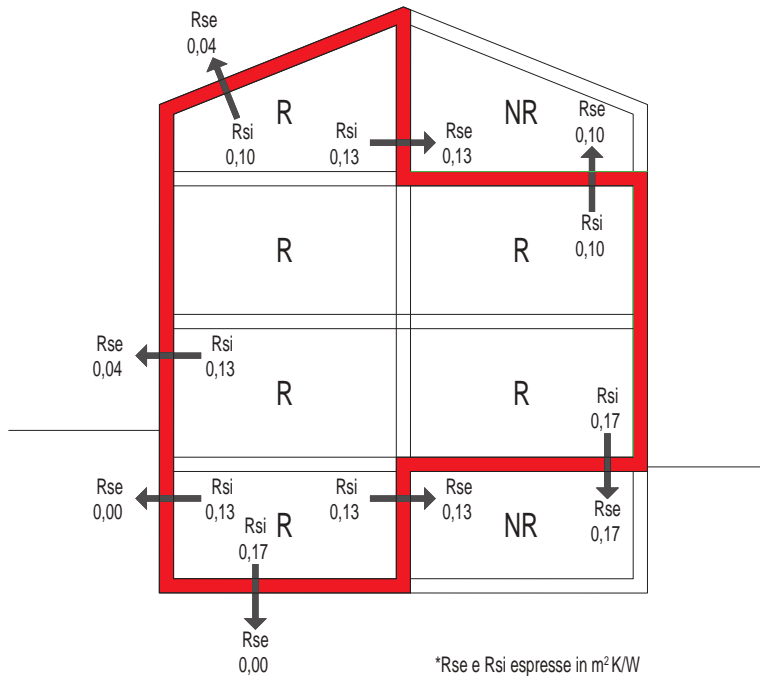
**Trasmittanza Termica (U):** è la grandezza fisica calcolata come inverso della resistenza (R).

Essa indica il calore che viene disperso attraverso un m<sup>2</sup> di superficie di un elemento costruttivo quando la differenza di temperatura tra ambiente riscaldato e non riscaldato è di 1 kelvin.

$$U := 1/R_T := 1/(R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se})$$

---

<sup>15</sup> Testo di Alessandro Zilio.



**24** Resistenza termica superficiale.

Al diminuire del valore di  $U$  diminuisce la quantità di energia dispersa attraverso l'elemento dell'involucro.

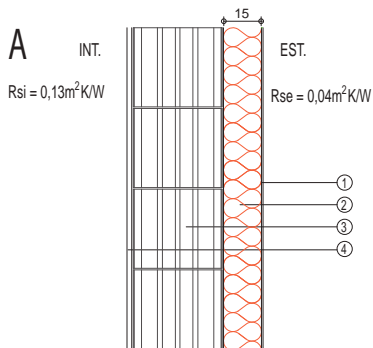
I valori di  $U$  non possono essere tra loro sommati, si possono sommare solo i valori di  $R$  dei diversi strati che compongono l'elemento edilizio.

Per ottenere equivalenti valori di trasmittanza per materiali con diversi valori di conducibilità termica è necessario variare lo spessore del materiale.

Nel caso di calcolo di  $U$  di elementi non omogenei il calcolo va eseguito secondo le indicazioni della (UNI EN ISO 6946).

Per quanto concerne la valutazione delle prestazioni isolanti degli elementi che compongono l'involucro bisogna tenere conto di tre aspetti:

- la tipologia di isolamento: concentrato o ripartito;
- la posizione del materiale isolante;
- la quantità di materiale isolante da impiegare.



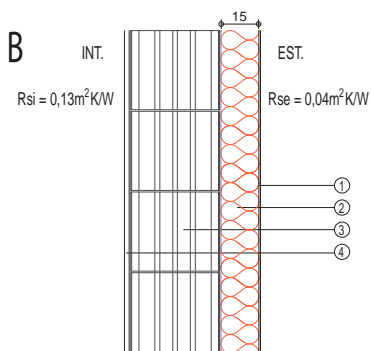
PARETE  
IN LATERIZIO PORIZZATO

	spessore	conduttività $\lambda$
1. intonachino/rasature	0,5 cm	0,8 W/m <sup>2</sup> K
2. materiale isolante	15,0 cm	0,04 W/m <sup>2</sup> K
3. muratura in laterizio porizzato	25,0 cm	0,25 W/m <sup>2</sup> K
4. intonaco interno	1,5 cm	0,8 W/m <sup>2</sup> K

$$R_{tot} = R_{se} + s_1/\lambda_1 + s_2/\lambda_2 + s_3/\lambda_3 + s_4/\lambda_4 + R_{si}$$

$$R_{tot} = 0,04 + 0,005/0,8 + 0,15/0,04 + 0,25/0,25 + 0,015/0,8 + 0,13 = 4,945 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

$$U_A = 1/R_{tot} = 0,202 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$



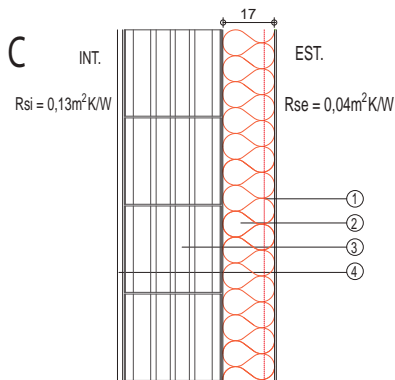
PARETE  
IN LATERIZIO NON PORIZZATO

	spessore	conduttività $\lambda$
1. intonachino/rasature	0,5 cm	0,8 W/m <sup>2</sup> K
2. materiale isolante	15,0 cm	0,04 W/m <sup>2</sup> K
3. muratura in laterizio non porizzato	25,0 cm	0,5 W/m <sup>2</sup> K
4. intonaco interno	1,5 cm	0,8 W/m <sup>2</sup> K

$$R_{tot} = R_{se} + s_1/\lambda_1 + s_2/\lambda_2 + s_3/\lambda_3 + s_4/\lambda_4 + R_{si}$$

$$R_{tot} = 0,04 + 0,005/0,8 + 0,15/0,04 + 0,25/0,50 + 0,015/0,8 + 0,13 = 4,445 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

$$U_B = 1/R_{tot} = 0,225 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$



PARETE  
IN LATERIZIO NON PORIZZATO

	spessore	conduttività $\lambda$
1. intonachino/rasature	0,5 cm	0,8 W/m <sup>2</sup> K
2. materiale isolante	17,0 cm	0,04 W/m <sup>2</sup> K
3. muratura in laterizio non porizzato	25,0 cm	0,5 W/m <sup>2</sup> K
4. intonaco interno	1,5 cm	0,8 W/m <sup>2</sup> K

$$R_{tot} = R_{se} + s_1/\lambda_1 + s_2/\lambda_2 + s_3/\lambda_3 + s_4/\lambda_4 + R_{si}$$

$$R_{tot} = 0,04 + 0,005/0,8 + 0,17/0,04 + 0,25/0,50 + 0,015/0,8 + 0,13 = 4,945 \text{ m}^2 \text{ K/W}$$

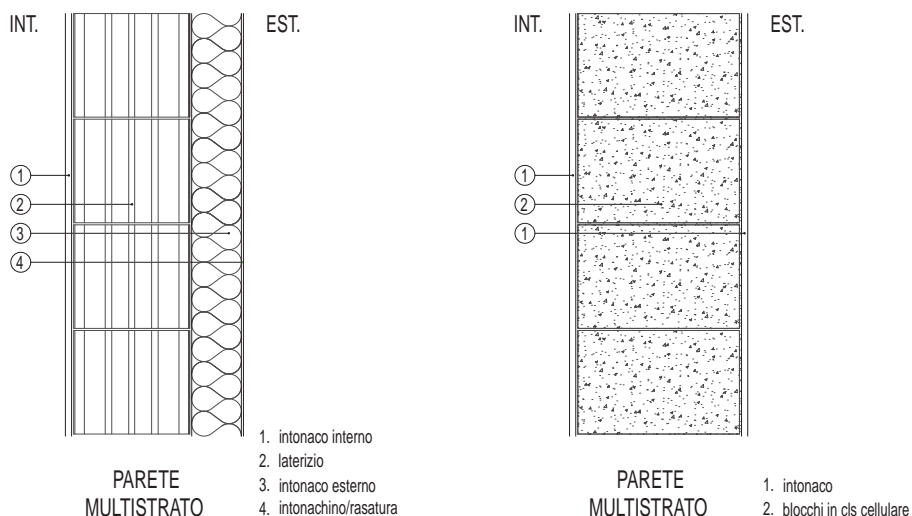
$$U_C = 1/R_{tot} = 0,202 \text{ W/m}^2 \text{ K}$$

**25** Esempio di calcolo della trasmittanza termica per parete verticale. Le pareti A e C sono caratterizzate dalla stessa trasmittanza pur avendo componenti strutturali diversi. Per fare ciò è stato sufficiente modulare la dimensione del materiale isolante.



## ISOLAMENTO CONCENTRATO ED ISOLAMENTO RIPARTITO<sup>16</sup>

Esistono due approcci in merito alla coibentazione degli edifici: uno prevede l'utilizzo all'interno dei pacchetti dell'involucro di strati di materiale caratterizzato da conducibilità termica bassa, posti in opera assieme ad altri strati aventi caratteristiche strutturali o di tamponamento. Un secondo che prevede l'utilizzo di pareti monostrato come i blocchi di calcestruzzo cellulare autoclavato, che, in modo uniforme, svolgono al contempo le funzioni di tamponamento e di coibentazione. In tale caso la conducibilità termica è costante lungo l'intera sezione.



**26** Esempio di parete in laterizio multistrato e parete in cls cellulare autoclavato monostrato.

Per capire la differenza tra isolamento concentrato all'esterno e isolamento ripartito si può ricorrere a un parallelismo tra il funzionamento delle pareti e quello di una serie di recipienti d'acqua.

Consideriamo i recipienti A e B come ambiente esterno ed interno, P come la parete, associamo alla resistenza termica un rubinetto e infine consideriamo il livello

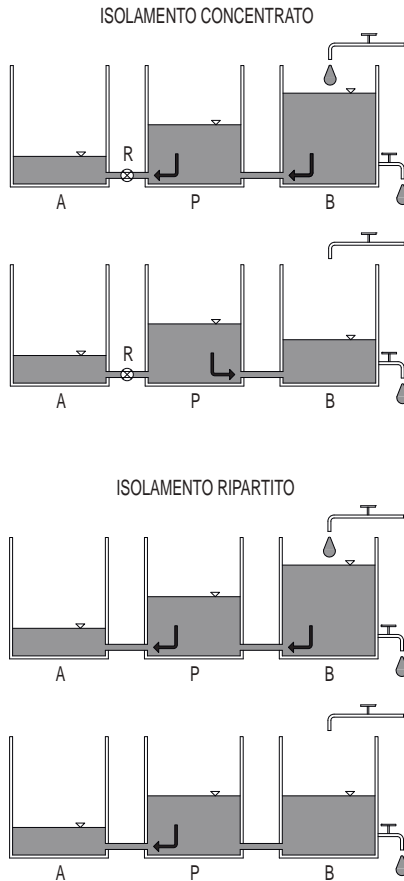
<sup>16</sup> Testo di Alessandro Zilio.

del liquido come la temperatura. Il livello del liquido corrisponde alla temperatura e il rubinetto corrisponde alla resistenza termica  $R$ . Il rubinetto che immette acqua nel recipiente B rappresenta l'impianto, mentre il rubinetto in uscita rappresenta le dispersioni dovute alla ventilazione.

In entrambi i sistemi durante il funzionamento dell'impianto, il calore viene accumulato nella parete.

Quando l'impianto si spegne, la temperatura dell'ambiente diminuisce.

È proprio in questa fase che si denota la differenza di funzionamento tra le due soluzioni. Nel caso dell'isolamento concentrato, dove è presente una resistenza verso l'esterno, il calore viene ceduto all'ambiente interno. Nel caso dell'isolamento ripartito, in assenza della resistenza, il calore fluisce verso l'esterno perchè in tale direzione c'è il salto termico maggiore.



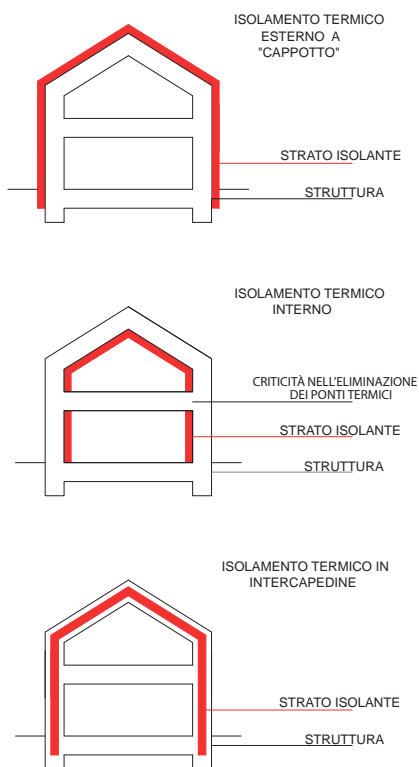
**27** Comportamento dell'isolamento concentrato e ripartito. Similitudine idraulica.

## POSIZIONAMENTO E DIMENSIONAMENTO DEL MATERIALE ISOLANTE<sup>17</sup>

Nel caso di isolamento concentrato, riveste una fondamentale importanza, per il comportamento termo-igrometrico dell'involucro, la posizione all'interno di quest'ultimo del materiale isolante.

Si possono distinguere tre strategie di coibentazione dell'involucro:

- isolamento esterno (o isolamento a cappotto);
- isolamento interno;
- isolamento in intercapedine.



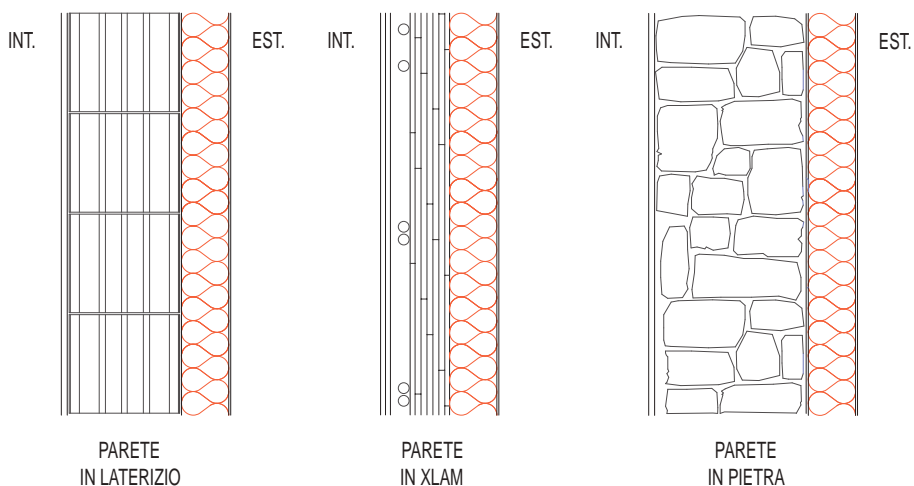
**28** Schematizzazione della posizione del materiale isolante.

<sup>17</sup> Testo di Alessandro Zilio.

## ISOLAMENTO TERMICO ESTERNO

Questa soluzione, comunemente chiamata “sistema a cappotto”, prevede la collocazione del materiale isolante sullo strato più esterno delle chiusure verticali.

Si tratta, ove possibile, di una soluzione sempre da preferire, soprattutto nelle nuove costruzioni, in quanto comporta una serie di vantaggi sia dal punto di vista tecnico costruttivo sia da quello della fisica tecnica.



**29** Esempi di coibentazione esterna.

I principali sono:

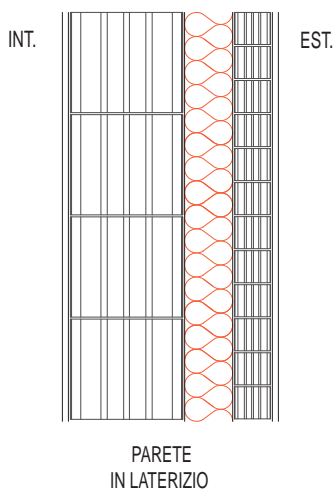
- facilità di soluzione dei ponti termici perimetrali dal punto di vista tecnico costruttivo;
- oscillazioni di temperatura contenute all'interno della muratura;
- temperature superficiali interne più elevate che comportano migliori condizioni di comfort;
- non si creano problemi di condensa interstiziale in quanto il punto di condensa rimane all'interno dello strato isolante e quindi all'esterno della muratura;
- protezione della muratura dal pericolo di formazione interna di ghiaccio;
- possibilità di applicare spessori di materiali isolanti maggiori rispetto alle altre soluzioni;
- possibilità di sfruttare la massa di accumulo interna col duplice vantaggio di diminuire il surriscaldamento estivo e di sfruttare l'effetto invernale.

## ISOLAMENTO TERMICO IN INTERCAPEDINE

Si tratta di una soluzione utilizzata, nelle nuove costruzioni, generalmente dove si desidera una soluzione formale con mattoni o calcestruzzo a vista.

La messa in opera del sistema di solito prevede realizzazione di uno strato di muratura od altri elementi portanti interni di spessore maggiore, un secondo strato di materiale isolante ed un rivestimento di spessore minore.

Per l'isolamento termico in intercapedine devono essere utilizzati materiali non igroscopici per prevenire problemi di perdita di prestazione del materiale a causa dell'umidità contenuta nello strato di muratura di rivestimento.



**30** Esempio di coibentazione in intercapedine.

Si tratta di una soluzione che rispetto a quella con isolamento esterno presenta degli svantaggi legati a:

- costi di esecuzione più elevati a parità di prestazioni rispetto alla soluzione con isolamento esterno;
- maggiore difficoltà nelle soluzioni tecniche da adottare per la correzione dei ponti termici;
- spessori murari maggiori, a parità di prestazioni rispetto alla soluzione con isolamento esterno;
- possibili problemi di condensa interstiziale all'interfaccia tra materiale isolante e struttura muraria.

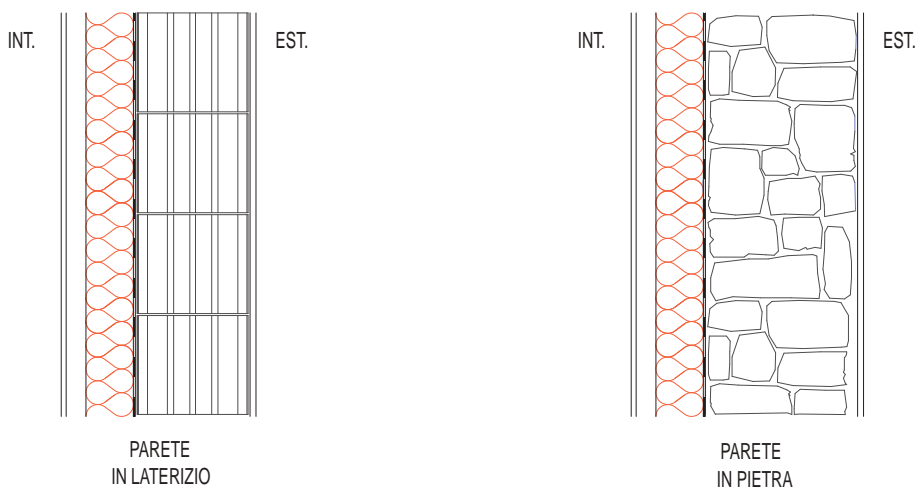
I vantaggi sono:

- capacità della struttura di proteggere lo strato isolante da intemperie, escursioni termiche, traumi da contatto.

### ISOLAMENTO TERMICO INTERNO

La soluzione con isolamento termico interno è quella che, dal punto di vista della fisica tecnica, presenta il funzionamento più critico. È buona norma ricorrere ad essa solo qualora non sia possibile applicare nessuna delle soluzioni precedenti.

Si tratta di un sistema utilizzato soprattutto nel recupero di edifici esistenti ove non sia possibile coibentare le chiusure verticali esterne opache dall'esterno.



**31** Esempi di coibentazione interna.

I principali svantaggi derivanti da questa soluzione sono:

- possibilità di applicare spessori di isolanti ridotti;
- difficile correzione dei ponti termici;
- elevati rischi di condensa all'interfaccia tra materiale isolante e struttura muraria;
- riduzione della superficie interna abitabile negli interventi di recupero;
- collocazione della parte muraria sul lato freddo con conseguente formazione al suo interno di condensa e possibilità di formazione di ghiaccio;
- riduzione della massa di accumulo interna degli elementi costruttivi.

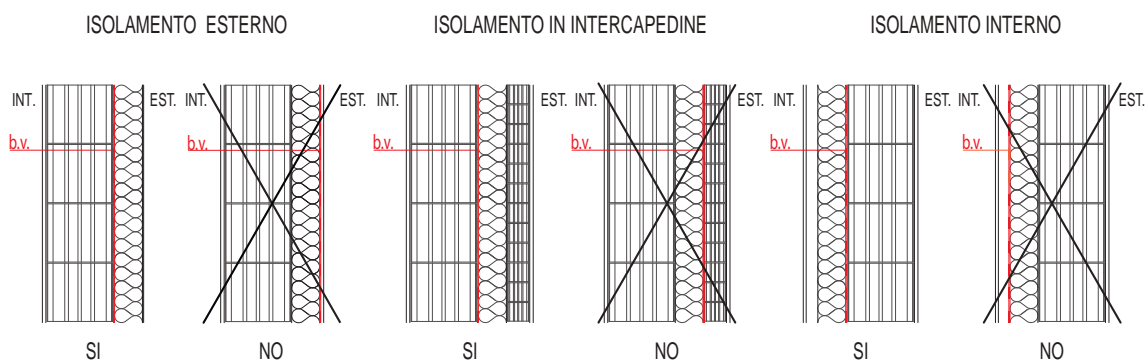


Ricorrere all'isolamento interno potrebbe rilevarsi una soluzione vantaggiosa per edifici aventi destinazioni d'uso particolari che necessitano di essere riscaldati velocemente ed in modo non continuativo durante il periodo invernale. La riduzione della massa di accumulo interna degli elementi costruttivi infatti, causata dalla collocazione dello strato coibente, permette di riscaldare più velocemente l'aria. Questo vantaggio è correlato, però, ad un ulteriore svantaggio, ossia alla diminuzione del comfort generata dalla temperatura più bassa delle superfici interne. Esistono due soluzioni per la realizzazione della coibentazione interna degli organismi edilizi:

- isolamento termico interno con barriera al vapore;
- isolamento termico interno senza barriera al vapore.

La barriera al vapore è un film sottile, una membrana con caratteristiche di impermeabilità al vapore. Il suo compito è quello di impedire il passaggio di vapore acqueo dagli ambienti interni a quelli esterni attraverso le chiusure perimetrali. Si tratta perciò di un materiale dotato di resistenza alla diffusione.

In una chiusura verticale opaca si verificano fenomeni di condensa quando la pressione di vapore ( $P_v$ ), cioè la quantità di vapore contenuta nell'aria ad una determinata temperatura, raggiunge o supera il livello della pressione di saturazione ( $P_s$ ). La funzione della barriera al vapore è quella di ridurre in modo drastico la traspirabilità del materiale isolante in modo da abbattere, in corrispondenza ad essa, il valore della pressione di vapore ( $P_v$ ), in modo che questo rimanga sempre sotto al valore della pressione di saturazione ( $P_s$ ).



**32** Corretta collocazione della barriera al vapore.

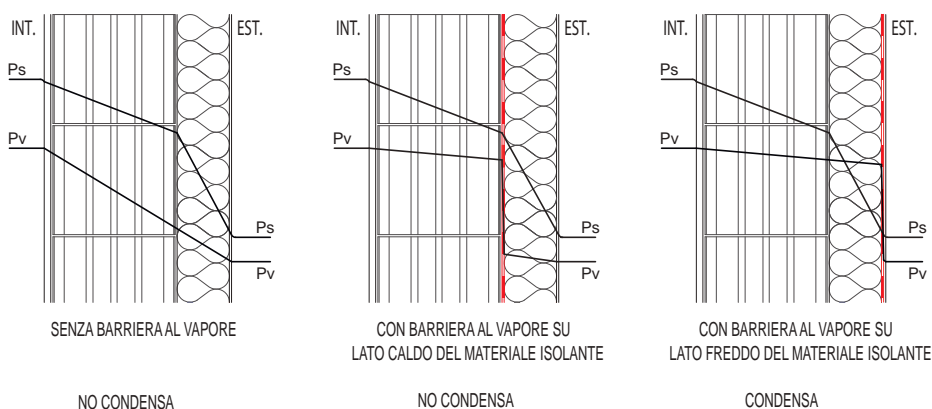
## ISOLAMENTO TERMICO INTERNO CON BARRIERA AL VAPORE

Questa soluzione consente l'utilizzo, per la coibentazione interna delle strutture, di qualsiasi tipologia di materiale isolante, perché affida alla posa in opera della barriera al vapore la regolazione dei problemi igrometrici.

Essa deve necessariamente essere collocata sul "lato caldo del materiale isolante" ovvero all'interfaccia tra elemento costruttivo e materiale isolante sulla faccia del materiale isolante rivolta verso l'interno. Una errata collocazione di tale elemento genera sicuramente fenomeni di condensa interstiziale.

Un elemento fondamentale è l'integrità dello strato facente la funzione di barriera al vapore; eventuali interruzioni o lacerazioni generano inevitabilmente fenomeni di condensa.

Questo rende, il ricorso a questa soluzione abbastanza problematica dal punto di vista tecnico ed in relazione alla durata di vita di un edificio.



**33** Effetti della barriera al vapore in relazione alla sua posizione.

## ISOLAMENTO TERMICO INTERNO SENZA BARRIERA AL VAPORE

Un secondo approccio all'isolamento interno delle strutture consiste nell'utilizzare materiali con adeguate capacità igroscopiche in grado di regolare "naturalmente" il passaggio del vapore tra interno ed esterno.

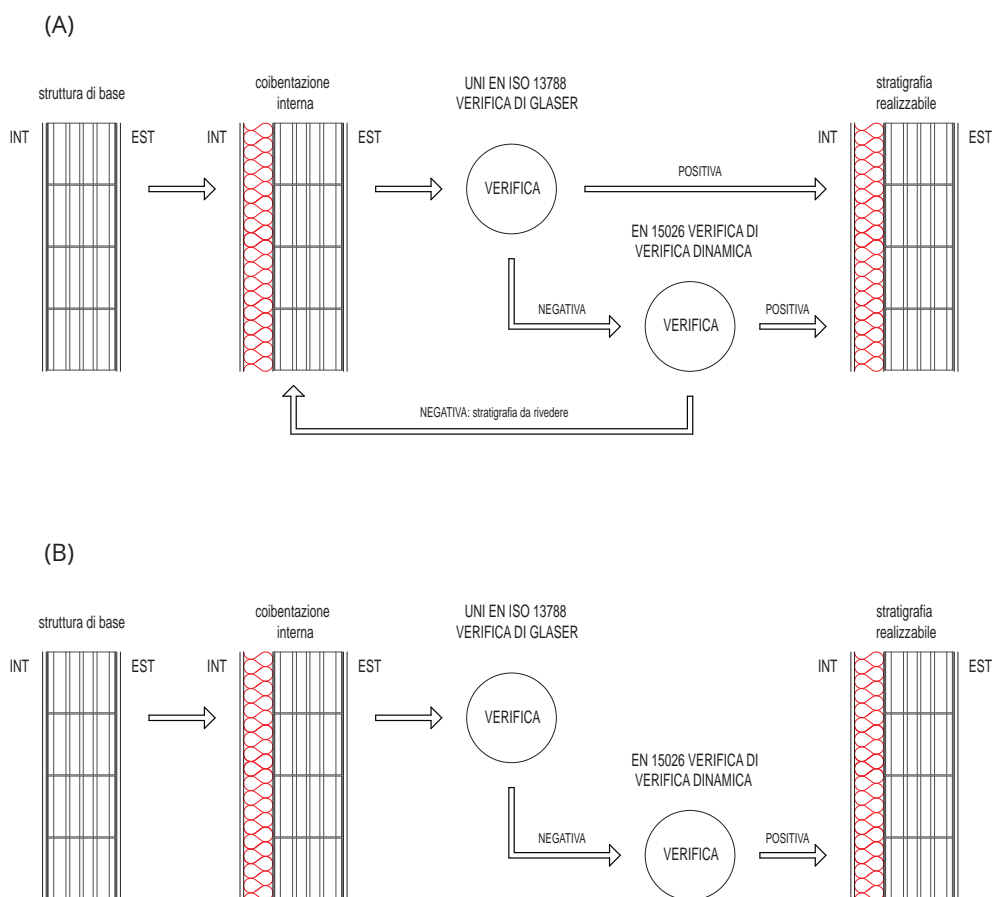
Questa tipologia di approccio da un lato mette al riparo il progettista e l'utilizzatore da eventuali problemi riguardanti la realizzazione e la conservazione di un elemento come la barriera al vapore. Dall'altro richiede una progettazione in regime dinamico decisamente più avanzata.

## ESEMPIO

L'esempio di seguito riportato riguarda lo studio per la coibentazione di un edificio vincolato nel centro storico di Marostica (VI), per il quale essendo impossibile intervenire con coibentazione esterna si è optato per una coibentazione interna senza barriera al vapore.

Lo studio ha riguardato l'analisi del comportamento termo-igrometrico di una coibentazione interna da 10 cm in pannelli di silicato di calcio (tipo Ytong Multipor) su muratura in pietra sp. 50 cm con un intonaco esterno sp. 2cm.

Il procedimento impiegato è stato quello previsto dalla normativa.

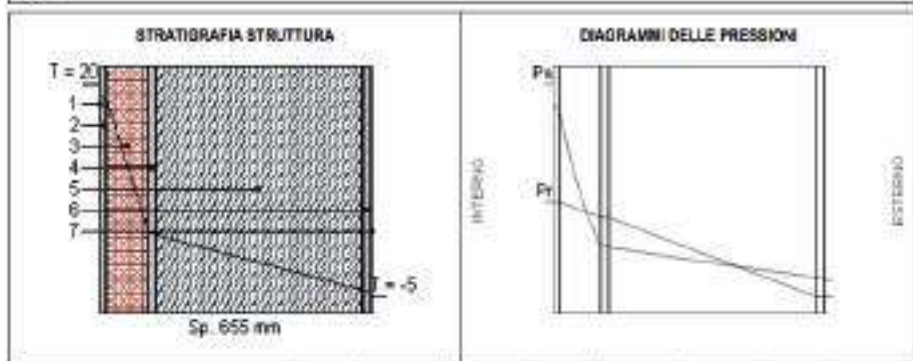


**34** Procedimento di verifica previsto dalla normativa eseguito per la stratigrafia in oggetto (A) e schema del procedimento seguito (B).

Il pacchetto si è dimostrato non verificato a condensa secondo la verifica di Glaser.

N.	DESCRIZIONE STRATO (dal/interno all'esterno)	s [mm]	lambda [W/mK]	C [MJ/m <sup>2</sup> K]	M.S. [kg/m <sup>2</sup> ]	P<50°10° [g/m <sup>2</sup> Pa]	C.S. [J/kgK]	R [m <sup>2</sup> K/W]
1	Adattanza Interna	0		7.700				0
2	Intonaco interno	15	0.700	45.667	21.00	18.000	1000	0.021
3	Pari uso fino a 650 C.	100	0.078	0.756	22.50	0.019	1000	1.323
4	Intonaco interno	20	0.700	35.000	25.00	15.000	1000	0.028
5	Mattoni e sassi	500	0.800	1.800	1.000.00	0.018	1000	0.568
6	Intonaco esterno Calce Boacifero 1000	20	0.900	45.000	35.00	8.500	1000	0.022
7	Adattanza Esterna	0		25.000				0
RESISTENZA = 2.128 m <sup>2</sup> K/W						TRASMITTANZA = 4.472 W/m <sup>2</sup> K		
SPESORE = 655 mm		CAPACITA' TERMICA ARDOCA (int) = 26.711 kJ/m <sup>2</sup> K				MASSA SUPERFICIALE = 1.051 kg/m <sup>2</sup>		
TRASMITTANZA TERMICA PERIODICA = 0.21 W/m <sup>2</sup> K		FAITORE DI ATTENZIONE = 0.91				SFASAMENTO = -3.41 h		
FCM - FATTORE DI TEMPERATURA = 0.7329								

s = Spessore dello strato; lambda = Conduttività termica del materiale; C = Costanza critica; M.S. = Massa Superficiale; P<50°10° = Permeabilità al vapore con umidità relativa fino al 50%; C.S. = Calore Specifico; R = Resistenza termica dei singoli strati; Resistenza - Trasmissione = Valore di resistenza e trasmissività reali; Massa Superficiale = Valore calcolato come disposto nell'Allegato A del D. Lgs. 192/05 e s.m.i..



	Ti [°C]	Pa [Pa]	Pr [Pa]	URi [%]	Te [°C]	Pe [Pa]	Pre [Pa]	URe [%]
DIAGRAMMI DELLE PRESSIONI	20.0	2337	1166	50.0	-5.0	401	231	67.5

Ti = Temperatura interna; Pa = Pressione di saturazione interna; Pr = Pressione relativa interna; URi = Umidità relativa interna; Te = Temperatura esterna; Pe = Pressione di saturazione esterna; Pre = Pressione relativa esterna; URe = Umidità relativa esterna.

VERIFICA IGROMETRICA												
	gen	feb	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
URd1	65.00	65.00	65.93	65.75	65.00	65.00	65.00	65.00	65.00	65.00	65.00	65.93
Tcd1	20.00	20.00	20.93	20.89	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.93
URd2	66.10	71.30	65.93	62.43	66.50	59.00	62.40	56.10	64.10	67.40	72.00	72.93
Tcd2	6.60	7.10	10.73	13.95	19.00	22.50	24.50	24.80	21.50	17.30	12.90	8.10
Verifica interstatale	NON VERIFICATA		La struttura è soggetta a fenomeni di condensa interstatale. La quantità stagionale di condensato è pari a 0.0001 kg/m <sup>2</sup> . Il materiale "Mattoni e sassi" è interessato da una quantità stagionale di condensato pari a 0.0001 kg/m <sup>2</sup> , quantità non ammissibile (max = 0.0000 kg/m <sup>2</sup> ).									
Verifica formazione muffe	VERIFICATA		Fattore di temperatura minima (Fai) = 0.7529 (mese critico: Gennaio) Valore massimo ammissibile di U = 0.9884 W/m <sup>2</sup> K.									
La verifica igrometrica è stata eseguita secondo UNI EN ISO 13788.												
d1 = 1												
d2 = Calano												

35 Verifica di Glaser effettuata con il software Termus di Acca.

Pertanto si è proceduto con una verifica dinamica.

La simulazione è stata fatta per un periodo di 10 anni.

Il calcolo evidenzia come l'umidità nei materiali aumenta durante il periodo freddo invernale e diminuisce nel periodo estivo.

L'umidità totale nel componente edilizio si stabilizza rapidamente in uno stato di equilibrio.

La condensa invernale che si crea nel pannello isolante evapora ogni anno pertanto non vi sono per il componente edilizio criticità legate a condizioni di condensa.

La situazione termo-igrometrica del componente edilizio è stabile nel tempo, con un leggero miglioramento di anno in anno, e le condense invernali non sono critiche. È pertanto possibile porre in opera il pacchetto proposto.

#### Procedimento di calcolo

Data/Ora del calcolo	19/03/2013 17.55.42
Tempo del calcolo	3 min,52 sec
Inizio / Fine del calcolo	01/10/2013 / 01/10/2023
Quantità d'errori della convergenza	21

#### controllo numerico di qualità

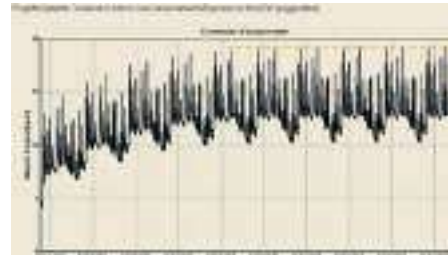
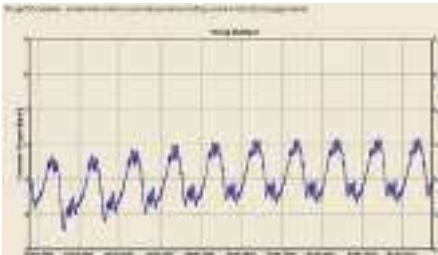
Integrale dei flussi $s_x$ (kl,dl)	[kg/m <sup>2</sup> ]	36,74 -137,08
Integrale dei flussi $d_x$ (kr,dr)	[kg/m <sup>2</sup> ]	0,0 0,58
Bilancio 1	[kg/m <sup>2</sup> ]	-0,91
Bilancio 2	[kg/m <sup>2</sup> ]	-0,92

#### Contenuto d'acqua [kg/m<sup>3</sup>]

	Inizio	Fine	Min.	Max.
Contenuto d'acqua totale	4,46	3,56	3,28	9,16

#### Contenuto d'acqua [kg/m<sup>3</sup>]

Strato/materiale	Inizio	Fine	Min.	Max.
*Intonaco interno di calce (w3, 1400kg, 0)	30,00	29,75	18,08	233,56
*Muratura in sassi	4,50	3,90	3,84	6,69
*Intonaco interno di calce (w3, 1400kg, 0)	30,00	27,46	24,96	51,34
Ytong Multipor colla	12,55	7,28	5,29	20,05
Ytong Multipor	8,10	3,59	3,17	8,10
Ytong Multipor colla	12,55	3,70	2,10	12,55



**36** **37** **38** Risultati della verifica dinamica per il componente in oggetto.

In conclusione si può stilare un quadro riepilogativo del comportamento dei componenti edilizi in relazione alla posizione de materiale isolante.

		ESTATE	INVERNO	CONFRONTO
ISOLAMENTO CONCENTRATO	ISOLAMENTO ESTERNO	risposta inerziale massima	elevato isolamento elevata capacità termica messa a regime lenta	massima efficacia nel caso di utilizzo continuativo
	ISOLAMENTO IN INTERCAPEDINE	risposta inerziale modesta	modesta velocità di messa a regime	
	ISOLAMENTO INTERNO	rapidità di messa a regime risposta inerziale	rapidità di messa a regime rapidità di raffreddamento	massima efficacia nel caso di utilizzo non continuativo
ISOLAMENTO RIPARTITO		risposta inerziale modesta	risposta inerziale modesta	massima efficacia nel caso di utilizzo continuativo con debole attenuazione

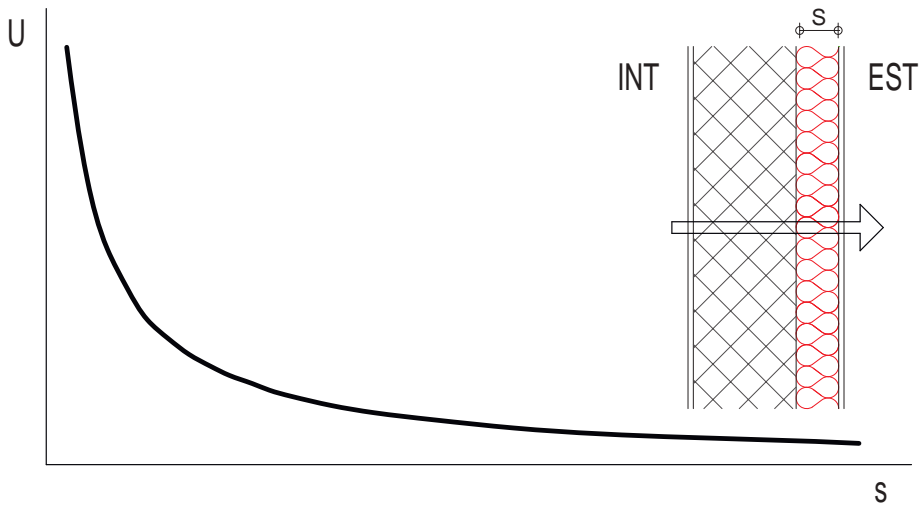
**39** Risultati della verifica dinamica per il componente in oggetto.

## QUANTIFICAZIONE DEL MATERIALE ISOLANTE DA IMPIEGARE

Come abbiamo visto la trasmittanza termica (U) e la resistenza termica (R) sono funzione delle conducibilità termica dei materiali impiegati. In linea generale per migliorare le prestazioni energetiche di un edificio si è portati a pensare che la soluzione sia diminuire la trasmittanza termica degli elementi che compongono l'involucro edilizio. Per fare ciò è necessario aumentare, a parità di conducibilità termica del materiale isolante impiegato, lo spessore del materiale isolante utilizzato. Questo ragionamento è però limitato da due fattori:

- il rapporto tra aumento dello spessore del materiale isolante e l'aumento della trasmittanza termica non è lineare;
- gli elementi che concorrono alla prestazione globale dell'edificio sono molteplici e al di sotto di certe soglie prestazionali incrementare le prestazioni dell'involucro ha effetti globali praticamente ininfluenti.





**40** Grafico dell'andamento del materiale isolante in funzione dell'aumento dello spessore del materiale isolante.

La figura dimostra come l'aumento della trasmittanza termica vari al variare dello spessore in modo non lineare. L'incremento è molto marcato all'aumentare dello spessore nella prima parte del grafico, ovvero in corrispondenza di incrementi su bassi spessori di partenza è quasi impercettibile per spessori superiori ai 20 cm. Sebbene la curva vari al variare della capacità termica del materiale isolante impiegato, diventando più ripida al diminuire di tale valore, questo grafico ci permette di trarre almeno due conclusioni di validità generale:

- incremento di spessore di materiale isolante al di sopra dei 20-25 cm. In condizioni normali hanno effetti poco significativi sulla trasmittanza termica dell'elemento costruttivo;
- sopra valori di 15 cm di materiale isolante con conducibilità termica di circa 0,04 W/mk o spessori equivalenti di materiali con diversa conducibilità termica, la capacità termica dell'elemento edilizio è condizionata quasi esclusivamente dallo strato coibente.

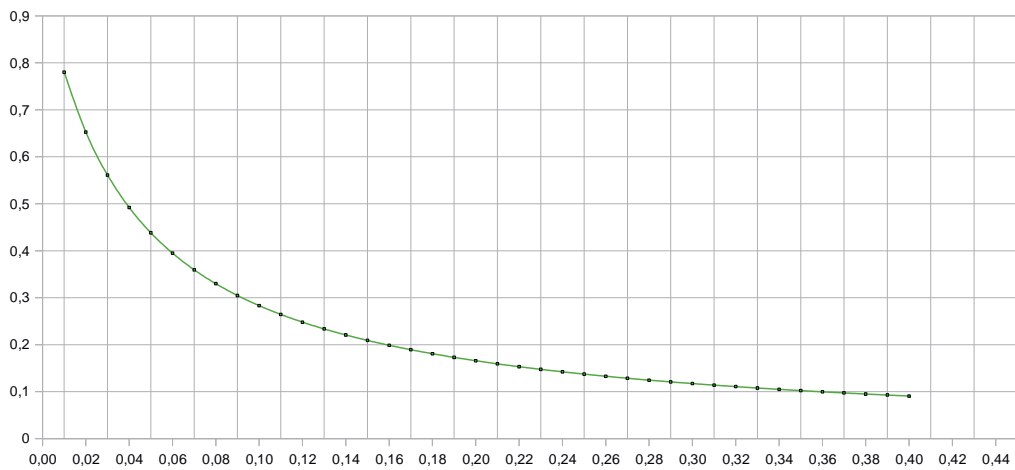
A suffragio di quanto sopra esposto si confrontano di seguito i comportamenti, al variare dello spessore di materiale isolante, di due componenti edilizi. Il primo caratterizzato dalla presenza di laterizio porizzato il secondo di cemento armato.

**CALCOLO DELLA TRASMITTANZA U delle STRUTTURE**

coeff scambio superficiale (adduttanza liminare) int.	hi	7,7	W / m <sup>2</sup> K	UNI EN ISO 13344
coeff scambio superficiale (adduttanza liminare) est.	he	25	W / m <sup>2</sup> K	UNI EN ISO 13344

Struttura verticale esterna opaca					U
materiale	s	λ	U	R	
	m	W/mK	W/m <sup>2</sup> K	m <sup>2</sup> K/W	W/m <sup>2</sup> K
rasatura	0,00	0,872		0,000	
isolante	s <sub>iso</sub>	0,040		R <sub>iso</sub>	
blocchi in laterizio porizzato	0,30	0,360		0,833	
intonaco interno (in calce e sabbia)	0,02	0,698		0,029	
<b>totale</b>				<b>R<sub>TOT</sub></b>	<b>U<sub>TOT</sub></b>

Materiale isolante	s <sub>iso</sub>	λ <sub>iso</sub>	R <sub>iso</sub>	R <sub>TOT</sub>	U <sub>TOT</sub>
	0,01	0,040	0,250	1,112	0,780
	0,02	0,040	0,500	1,362	0,653
	0,03	0,040	0,750	1,612	0,561
	0,04	0,040	1,000	1,862	0,492
	0,05	0,040	1,250	2,112	0,438
	0,06	0,040	1,500	2,362	0,395
	0,07	0,040	1,750	2,612	0,359
	0,08	0,040	2,000	2,862	0,330
	0,09	0,040	2,250	3,112	0,305
	0,10	0,040	2,500	3,362	0,283
	0,11	0,040	2,750	3,612	0,264
	0,12	0,040	3,000	3,862	0,248
	0,13	0,040	3,250	4,112	0,234
	0,14	0,040	3,500	4,362	0,221
	0,15	0,040	3,750	4,612	0,209
	0,16	0,040	4,000	4,862	0,199
	0,17	0,040	4,250	5,112	0,189
	0,18	0,040	4,500	5,362	0,181
	0,19	0,040	4,750	5,612	0,173
	0,20	0,040	5,000	5,862	0,166
	0,21	0,040	5,250	6,112	0,159
	0,22	0,040	5,500	6,362	0,153
	0,23	0,040	5,750	6,612	0,147
	0,24	0,040	6,000	6,862	0,142
	0,25	0,040	6,250	7,112	0,137
	0,26	0,040	6,500	7,362	0,133
	0,27	0,040	6,750	7,612	0,129
	0,28	0,040	7,000	7,862	0,125
	0,29	0,040	7,250	8,112	0,121
	0,30	0,040	7,500	8,362	0,117
	0,31	0,040	7,750	8,612	0,114
	0,32	0,040	8,000	8,862	0,111
	0,33	0,040	8,250	9,112	0,108
	0,34	0,040	8,500	9,362	0,105
	0,35	0,040	8,750	9,612	0,102
	0,36	0,040	9,000	9,862	0,100
	0,37	0,040	9,250	10,112	0,097
	0,38	0,040	9,500	10,362	0,095
	0,39	0,040	9,750	10,612	0,093
	0,40	0,040	10,000	10,862	0,091



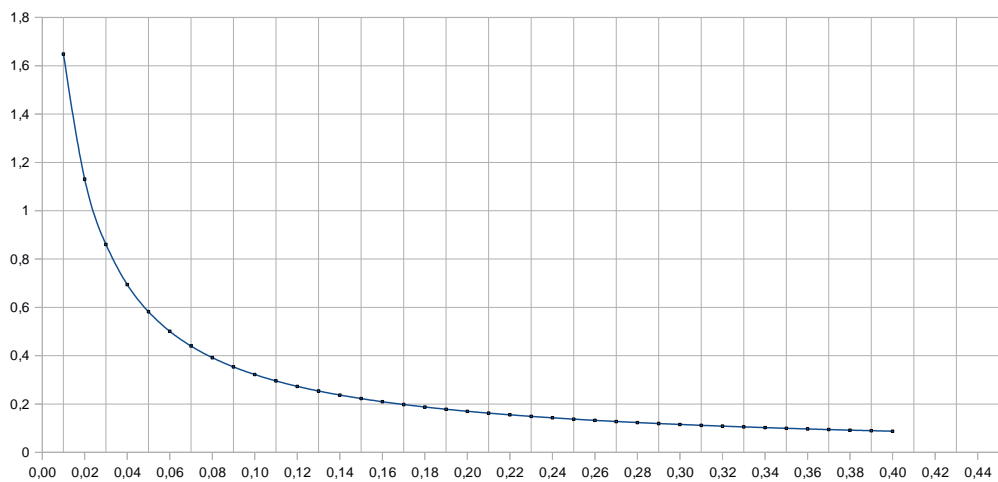
**41** Caso relativo al componente edilizio con laterizio porizzato.

**CALCOLO DELLA TRASMITTANZA U delle STRUTTURE**

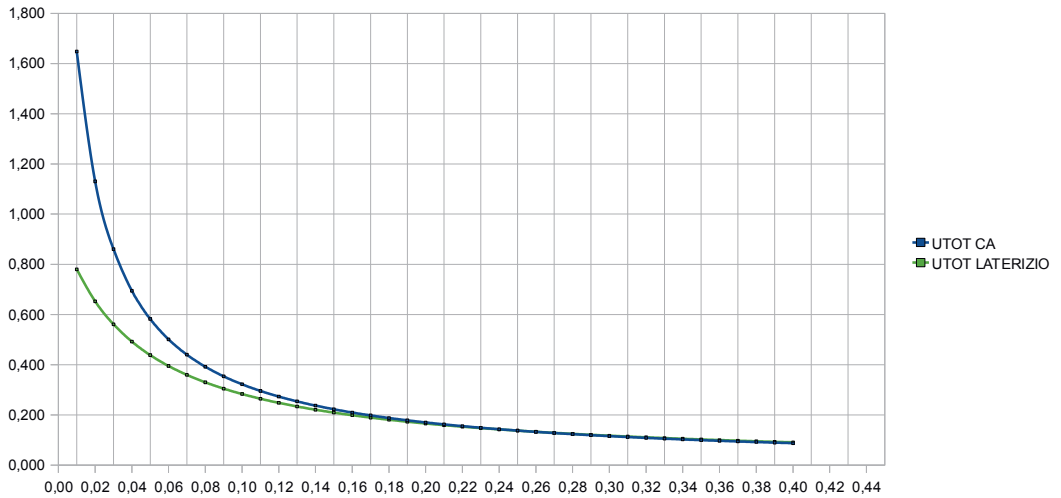
coeff scambio superficiale (adduttanza liminare) int.	hi	7,7	W / m <sup>2</sup> K	UNI EN ISO 13344
coeff scambio superficiale (adduttanza liminare) est.	he	25	W / m <sup>2</sup> K	UNI EN ISO 13344

Struttura verticale esterna opaca					U
materiale	s	λ	U	R	U
	m	W/mK	W/m <sup>2</sup> K	m <sup>2</sup> K/W	
rasatura	0,00	0,872		0,000	
isolante	s <sub>iso</sub>	0,040		R <sub>iso</sub>	
cls	0,30	2,300		0,130	
intonaco interno (in calce e sabbia)	0,02	0,698		0,029	
<b>totale</b>				<b>R<sub>TOT</sub></b>	<b>U<sub>TOT</sub></b>

Materiale isolante	s <sub>iso</sub>	λ <sub>iso</sub>	R <sub>iso</sub>	R <sub>TOT</sub>	U <sub>TOT</sub>
	0,01	0,040	0,250	<b>0,409</b>	<b>1,727</b>
	0,02	0,040	0,500	<b>0,659</b>	<b>1,206</b>
	0,03	0,040	0,750	<b>0,909</b>	<b>0,927</b>
	0,04	0,040	1,000	<b>1,159</b>	<b>0,752</b>
	0,05	0,040	1,250	<b>1,409</b>	<b>0,633</b>
	0,06	0,040	1,500	<b>1,659</b>	<b>0,547</b>
	0,07	0,040	1,750	<b>1,909</b>	<b>0,481</b>
	0,08	0,040	2,000	<b>2,159</b>	<b>0,429</b>
	0,09	0,040	2,250	<b>2,409</b>	<b>0,388</b>
	0,10	0,040	2,500	<b>2,659</b>	<b>0,353</b>
	0,11	0,040	2,750	<b>2,909</b>	<b>0,325</b>
	0,12	0,040	3,000	<b>3,159</b>	<b>0,300</b>
	0,13	0,040	3,250	<b>3,409</b>	<b>0,279</b>
	0,14	0,040	3,500	<b>3,659</b>	<b>0,261</b>
	0,15	0,040	3,750	<b>3,909</b>	<b>0,245</b>
	0,16	0,040	4,000	<b>4,159</b>	<b>0,231</b>
	0,17	0,040	4,250	<b>4,409</b>	<b>0,218</b>
	0,18	0,040	4,500	<b>4,659</b>	<b>0,207</b>
	0,19	0,040	4,750	<b>4,909</b>	<b>0,197</b>
	0,20	0,040	5,000	<b>5,159</b>	<b>0,188</b>
	0,21	0,040	5,250	<b>5,409</b>	<b>0,179</b>
	0,22	0,040	5,500	<b>5,659</b>	<b>0,172</b>
	0,23	0,040	5,750	<b>5,909</b>	<b>0,165</b>
	0,24	0,040	6,000	<b>6,159</b>	<b>0,158</b>
	0,25	0,040	6,250	<b>6,409</b>	<b>0,152</b>
	0,26	0,040	6,500	<b>6,659</b>	<b>0,146</b>
	0,27	0,040	6,750	<b>6,909</b>	<b>0,141</b>
	0,28	0,040	7,000	<b>7,159</b>	<b>0,136</b>
	0,29	0,040	7,250	<b>7,409</b>	<b>0,132</b>
	0,30	0,040	7,500	<b>7,659</b>	<b>0,128</b>
	0,31	0,040	7,750	<b>7,909</b>	<b>0,124</b>
	0,32	0,040	8,000	<b>8,159</b>	<b>0,120</b>
	0,33	0,040	8,250	<b>8,409</b>	<b>0,117</b>
	0,34	0,040	8,500	<b>8,659</b>	<b>0,113</b>
	0,35	0,040	8,750	<b>8,909</b>	<b>0,110</b>
	0,36	0,040	9,000	<b>9,159</b>	<b>0,107</b>
	0,37	0,040	9,250	<b>9,409</b>	<b>0,104</b>
	0,38	0,040	9,500	<b>9,659</b>	<b>0,102</b>
	0,39	0,040	9,750	<b>9,909</b>	<b>0,099</b>
	0,40	0,040	10,000	<b>10,159</b>	<b>0,097</b>

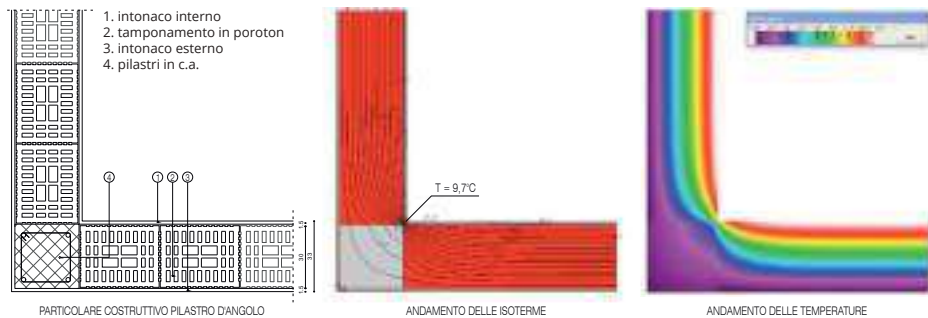


**42** Caso relativo al componente edilizio con cemento armato.



**43** Grafico comparativo dell'andamento della trasmittanza U al variare dello spessore del materiale isolante.

## I PONTI TERMICI<sup>18</sup>

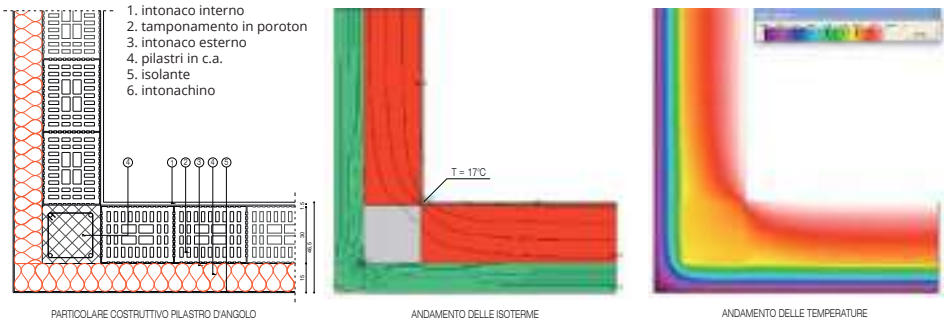


**44** Andamento delle temperature in corrispondenza di un ponte termico.

I ponti termici possono essere definiti come punti o zone limitate dell'involucro edilizio in corrispondenza delle quali c'è una concentrazione del flusso di calore rispetto all'area circostante. Questo comporta un aumento delle dispersioni termiche attraverso l'involucro ed una diminuzione localizzata della temperatura superficiale interna.

<sup>18</sup> Testo di Alessandro Zilio.

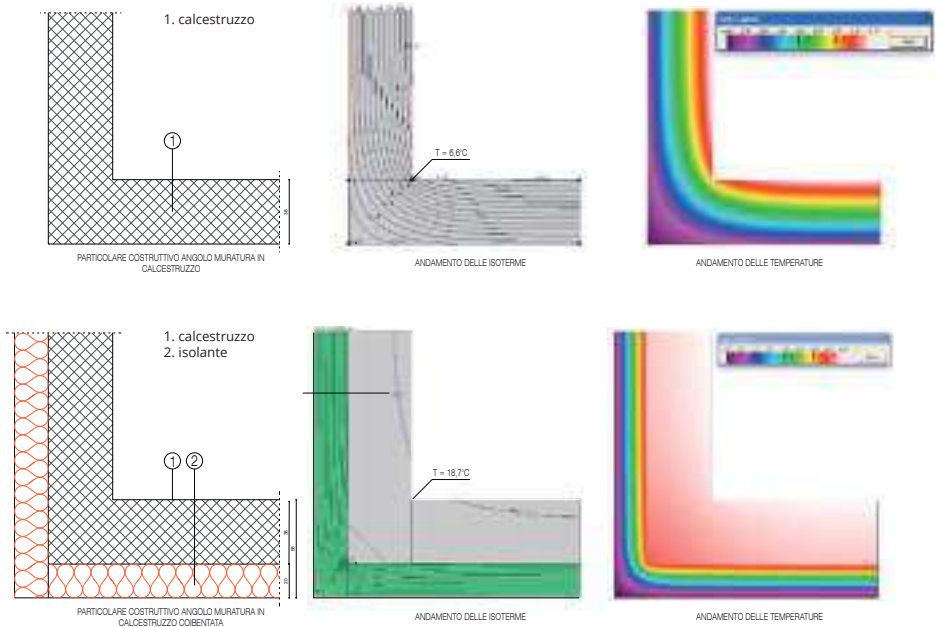




**45** Andamento delle temperature in corrispondenza di un ponte termico corretto.

I ponti termici sono generati da disomogeneità geometrica o disomogeneità materica. La **disomogeneità geometrica** genera i cosiddetti **ponti termici di forma** che sono riconducibili a:

- differenze tra l'area della superficie disperdente sul lato interno e quella sul lato esterno, come ad esempio accade negli spigoli degli edifici;
- variazioni di spessore dell'elemento edilizio come ad esempio accade in corrispondenza di canne fumarie, nicchie, vani tecnici.



**46** Analisi delle temperature in corrispondenza di un ponte termico geometrico corretto e non corretto.

La **disomogeneità materica** genera i cosiddetti **ponti termici di struttura** che sono riconducibili a:

- discontinuità di resistenza termica in corrispondenza delle connessioni tra parti differenti dell'involucro edilizio;
- scorretta posa in opera del materiale isolante (la mancanza di materiale isolante in alcuni punti dell'involucro costituiscono vie di fuga preferenziali per il calore).

I ponti termici geometrici, per la loro natura fisica, non possono essere eliminati completamente, ma possono essere corretti, ovvero ridotti ad un ordine di grandezza non significativo, impiegando congrue quantità di materiale isolante.

Un secondo possibile criterio di classificazione è legato allo sviluppo dimensionale dei ponti termici costruttivi. Questo permette di dividere ponti termici lineari e ponti termici puntuali.

**Ponti termici lineari:** sono definiti in base alla loro dimensione lineare ed identificati in base al coefficiente di trasmissione lineica ( $\psi$ ).

**Ponti termici puntuali:** sono definiti in base alla loro dimensione puntuale e identificati in base al coefficiente di trasmissione puntuale ( $X$ ).

La presenza di questi elementi, qualsiasi sia la loro origine, ha ripercussioni in diversi ambiti:

- **aspetti energetici:** la presenza di ponti termici causa un aumento dei consumi energetici dell'edificio, generato da un aumento delle perdite per trasmissione;
- **aspetti igienico-sanitari:** formazione di muffe e condense superficiali dovute alla diminuzione localizzata della temperatura superficiale interna;
- **aspetti di comfort:** riduzione del comfort termico ambientale dovuto alla disomogeneità della temperatura delle superfici circostanti rispetto all'aria;
- **aspetti strutturali:** variazioni di temperatura all'interno delle strutture possono determinare tensioni e fenomeni di condensa che possono determinare degrado delle prestazioni strutturali dei materiali.

È sempre importante ricordare che l'incidenza dei ponti termici sulle perdite per trasmissione aumenta all'aumentare del grado di coibentazione dell'involucro edilizio.

Essi come detto non possono essere evitati ma possono essere ridotti in modo adeguato attraverso una corretta coibentazione. Per fare ciò il grado di isolamento di tutti gli elementi che compongono l'involucro dovrebbe essere il più possibile omogeneo e privo di interruzioni.

La normativa UNI EN ISO 14680 «Ponti termici in edilizia – Coefficiente di trasmissione termica lineica – Metodi semplificati e valori di riferimento» indica le metodologie per la determinazione del flusso di calore attraverso i ponti termici lineari.

In coefficiente di scambio termico  $H_D$  è dato dall'equazione:

$$H_D = \sum_{n=1}^{\infty} U_i A_i + \sum_{k=1}^{\infty} \Psi_k L_k$$

$H_D$  := coefficiente di scambio termico attraverso l'involucro [W/K].

$U_i$  := trasmittanza dell' $i$ -esimo componente dell'involucro [W/m<sup>2</sup>K].

$A_i$  := area del componente con trasmittanza  $U_i$  [m<sup>2</sup>].

$\Psi_k$  := trasmittanza lineica del  $k$ -esimo ponte termico lineare [W/mK].

$L_k$  := lunghezza a cui si applica  $\Psi_k$  [m].

Il primo termine  $\sum_{n=1}^{\infty} U_i A_i$  è calcolato considerando l'estensione complessiva del componente comprensivo anche della superficie dell'elemento che genera il ponte termico.

Il secondo termine  $\sum_{k=1}^{\infty} \Psi_k L_k$  è calcolato secondo quanto previsto dalla UNI EN ISO 14680:

$$\Psi = L_{2D} - \sum_{n=1}^{\infty} U_i L_i$$

$L_{2D}$  := coefficiente di accoppiamento termico lineico ottenuto con un calcolo bidimensionale del componente che separa i due ambienti [W/mK].

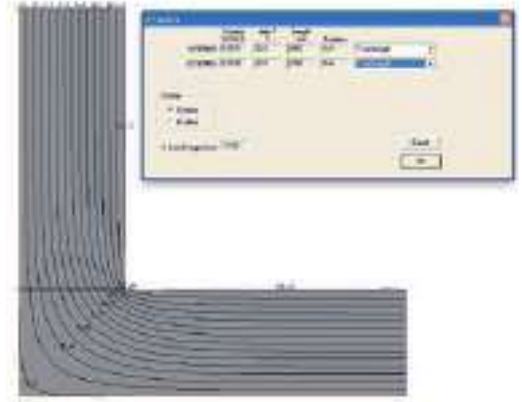
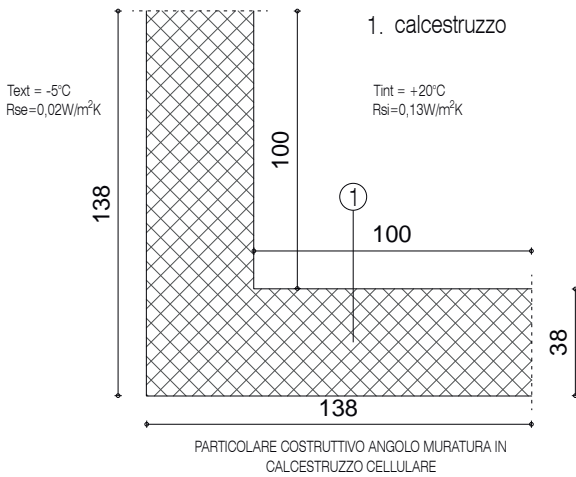
Esso è il coefficiente dispersivo derivante dal calcolo agli elementi finiti.

$L_i$  := lunghezza del modello geometrico bidimensionale cui si applica il valore  $U_i$  [m].

Il coefficiente lineico  $\Psi$  è il parametro che meglio descrive il comportamento energetico del nodo architettonico in cui è presente il ponte termico perché considera l'andamento bidimensionale dei flussi termici.

Esso è un coefficiente di correzione del calcolo effettuato, non un parametro del comportamento fisico, quindi è possibile che esso abbia un valore anche negativo. Questo non significa assolutamente che il ponte termico faccia guadagnare energia (si tratterebbe di una assurdità fisica), ma solamente che il metodo di calcolo impiegato aveva sovrastimato a monte le dispersioni.

Un esempio che illustra questo concetto in modo chiaro è quello del ponte termico in corrispondenza di un ponte termico geometrico d'angolo.



ANDAMENTO DELLE ISOTERME  
VALORI DI ALCOLO DA ANALISI AGLI ELEMENTI FINITI

**47** Parete monostrato in cls cellulare con risultati dell'analisi agli elementi finiti.

Si consideri una parete monostrato in calcestruzzo cellulare con  $\lambda = 0,16 \text{ W/m}^2\text{K}$  avente spessore 38 cm. Con le condizioni interne ed esterne come in figura. Lontano dalla zona d'angolo si può considerare valida l'approssimazione di condizione stazionaria, pertanto:

$$R_{TOT} = R_{se} + \sum_{n=1}^n R_i + R_{si} = 0,13 + \frac{(0,38)}{(0,16)} + 0,04 = 2,545 \text{ W/m}^2\text{K}$$

ragionando "lato esterno":

$$Q_{(TOT,E)} = U * S_E * \Delta T = \left(\frac{1}{2,545}\right) * 2,760 * 25 = 27,11 \text{ W}$$

ragionando "lato interno":

$$Q_{(TOT,I)} = U * S_I * \Delta T = \left(\frac{1}{2,545}\right) * 2,00 * 25 = 19,645 \text{ W}$$

Questo risultato evidenzia che considerare le superfici interne e quindi il volume netto dell'involucro riscaldato sottostima l'entità delle perdite per trasmissione rispetto a considerare la superficie esterna ovvero il volume lordo dell'involucro riscaldato. In corrispondenza dell'angolo per il principio di conservazione dell'energia deve essere sempre verificato che l'energia in ingresso nel nodo sia pari a quella in uscita:

$$Q_{(TOT,ING)} = Q_{(TOT,EXT)}$$

$$Q_{(TOT,ING)} = U_{(FACTOR,ING)} * \Delta T * L_I * L_Z = 0,4316 * 25 * 2 * 1 = 21,58 \text{ W}$$

$$Q_{(TOT,EXT)} = U_{(FACTOR,EXT)} * \Delta T * L_E * L_Z = 0,3128 * 25 * 2,76 * 1 = 21,58 \text{ W}$$

In questo modo si è determinata l'energia che dalla stanza entra nel nodo. Ora si possono distinguere due casi: uno che considera nel calcolo la superficie esterna e quindi idealmente il volume lordo riscaldato, un altro che nel calcolo considera la superficie interna e quindi idealmente il volume netto riscaldato.

A. SUPERFICIE ESTERNA:

$$\Delta Q_T = Q_{(TOT,EXT)} - Q_{(TOT,E)} = 21,58 - 27,11 = -5,53 \text{ W}$$

Il fatto che tale quantità sia negativa sta a significare che considerare il perimetro esterno (e quindi per le analisi energetiche il volume lordo) in questo caso sovrastima le perdite per trasmissione.

$$\Psi_{\text{EXT}} = \Delta \frac{Q_T}{(\Delta T)} = \frac{-5,53}{25} = -0,22 \text{ W/mK}$$

Il fatto che questo valore sia negativo non è un paradosso fisico, il ponte termico infatti non produce energia; ma è la dimostrazione che tale valore è un fattore di correzione del calcolo e non ha un significato fisico diretto.

B. SUPERFICIE INTERNA:

$$\Delta Q_T = Q_{(\text{TOT,ING})} - Q_{(\text{TOT,I})} = 21,58 - 19,645 = +1,935 \text{ W}$$

Il fatto che tale quantità sia positiva sta a significare che considerare il perimetro interno (e quindi per le analisi energetiche il volume netto riscaldato) in questo caso sottostima le perdite per trasmissione.

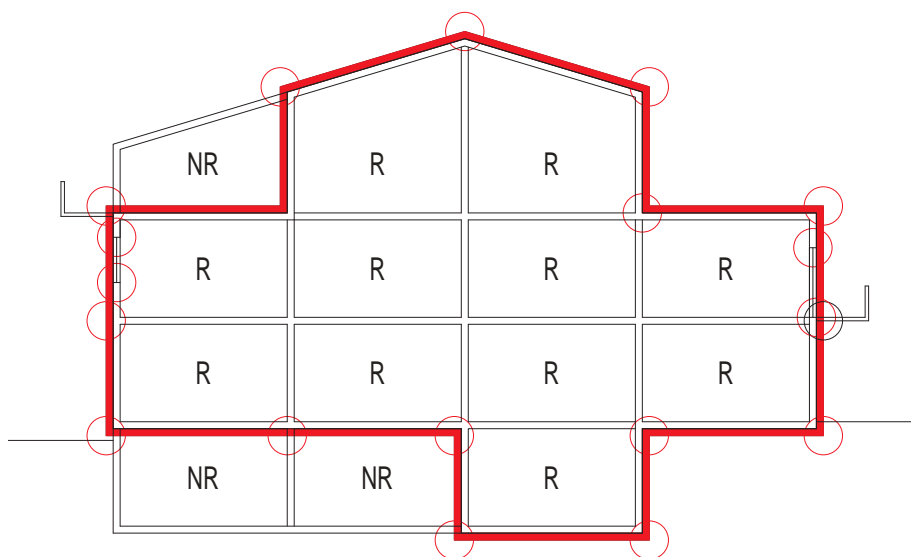
$$\Psi_{\text{EXT}} = \Delta \frac{Q_T}{(\Delta T)} = \frac{1,935}{25} = +0,77 \text{ W/mK}$$

Dal ragionamento sopra illustrato risulta anche evidente che  $\Psi$  non è un indicatore del valore assoluto del ponte termico. Un valore elevato di  $\Psi$  non significa necessariamente che il ponte termico sia elevato, significa solo che il sistema di calcolo adottato lo aveva sottostimato.

I principali nodi critici per la formazione di ponti termici sono:

- fondazione - parete esterna;
- parete esterna - solai intermedi;
- parete esterna - aggetti e balconi;
- parete esterna - finestre e porte;
- parete esterna - tetto piano;
- cassonetti o sistemi schermanti in generale.





**48** Individuazione dei principali nodi critici.

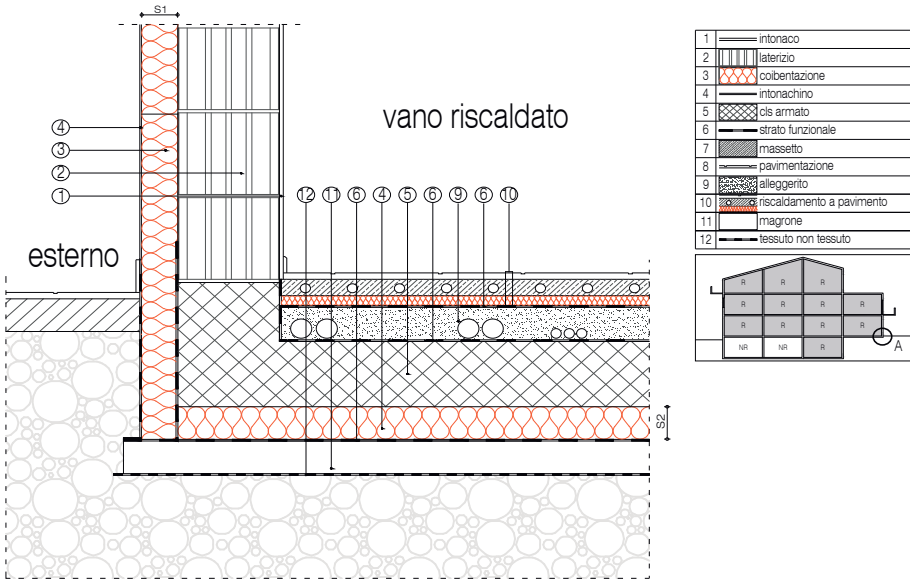
Di seguito sono riportati una serie di nodi costruttivi standard che sono stati verificati attraverso una analisi degli elementi finiti utilizzando il software opensource THERM. Le verifiche sono state svolte per la zona climatica E in relazione ai requisiti minimi di conducibilità termica dei pacchetti richiesti dalla normativa.

Risulta evidente che gli spessori dei diversi materiali e le loro caratteristiche sono funzione delle scelte operate dal progettista in relazione alla zona climatica in cui è collocato l'edificio e delle prestazioni che si intendono raggiungere. Tuttavia al netto di questa osservazione la strategia di correzione del ponte termico, lo sviluppo del nodo costruttivo e la collocazione del materiale isolante rimangono valide qualsiasi sia la scelta operata.

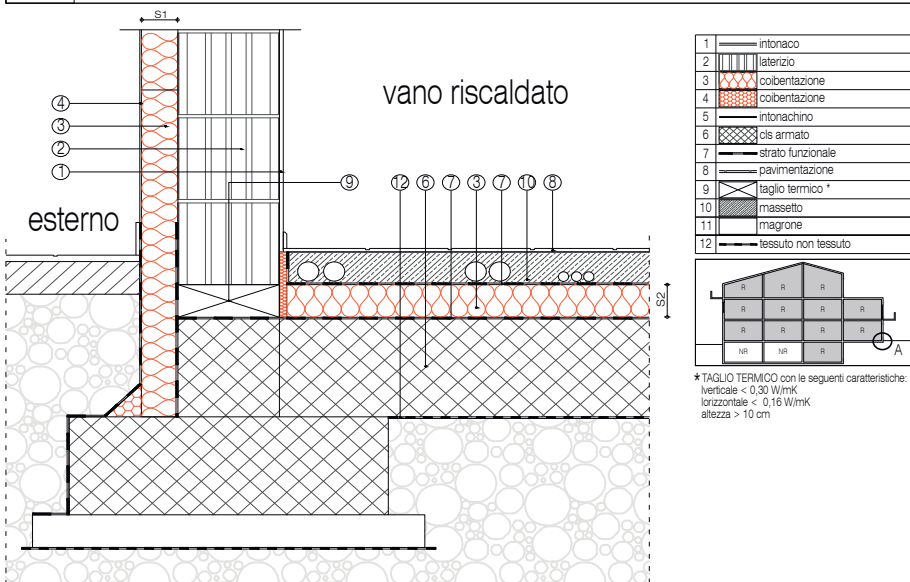
Nello sviluppo e nella verifica dei nodi proposti si sono inseriti quasi esclusivamente gli elementi costruttivi che assumono rilevanza dal punto di vista termico. Per quanto concerne gli elementi atti a garantire requisiti acustici, statici e di protezione dall'umidità, essi sono stati oggetto di parziale semplificazione. In particolare elementi come nastri di tenuta, giunti di raccordo ecc. sono stati volutamente trascurati in quanto influenti a livello di verifica termica. Gli elementi di impermeabilizzazione, di tenuta e di protezione acustica, ove inseriti, sono stati raggruppati sotto il nome di "strato funzionale".

## IMM. DA A1 A L3: PARTICOLARI COSTRUTTIVI NODI

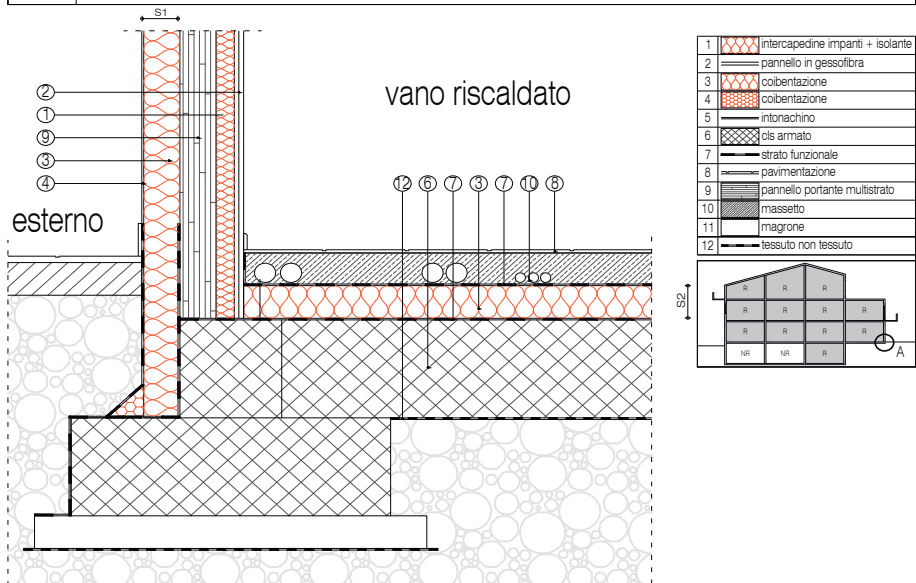
**A.1** nodo A fondazione a platea in cls armato e muratura in laterizio



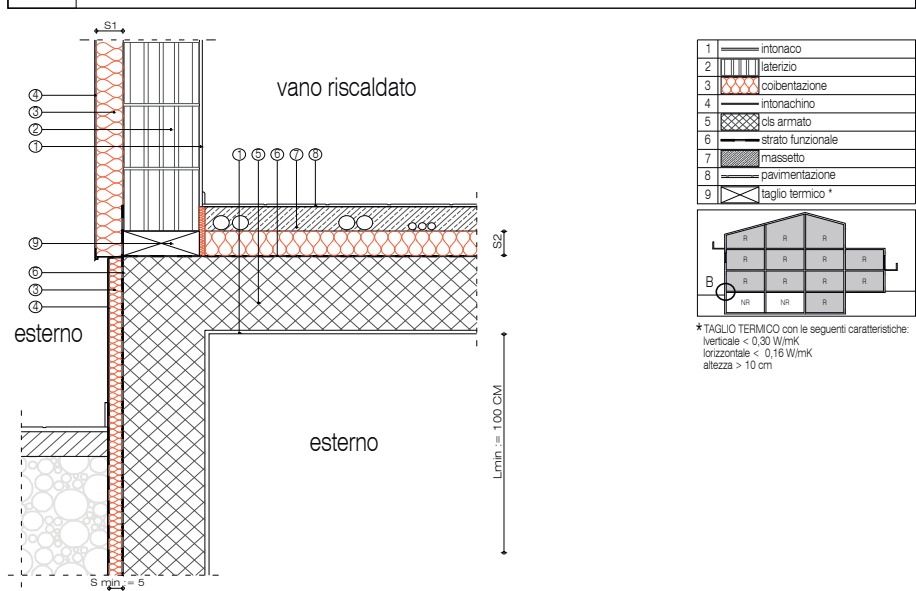
**A.2** nodo A fondazione a trave rovescia in cls armato con taglio termico



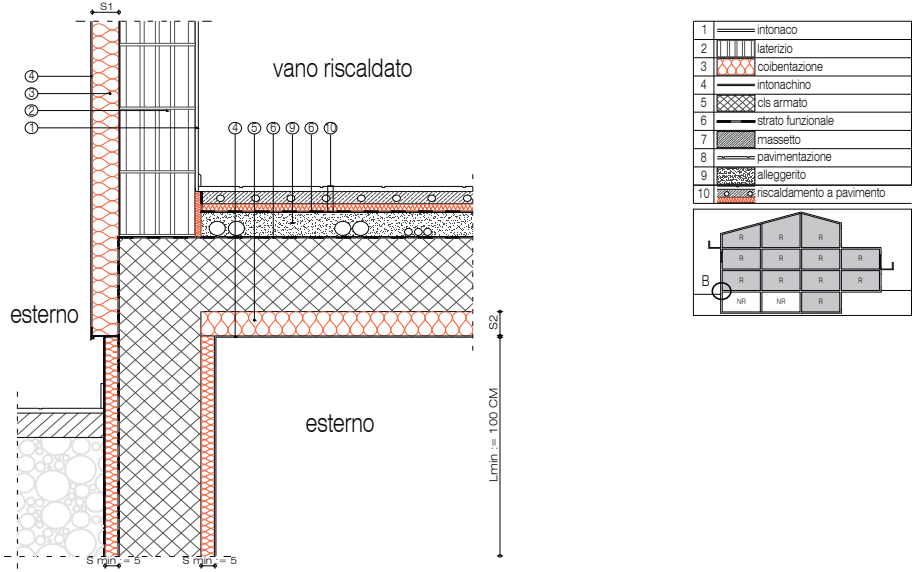
### A.3 nodo A fondazione a trave rovescia in cls armato e parete con struttura lignea in XLAM



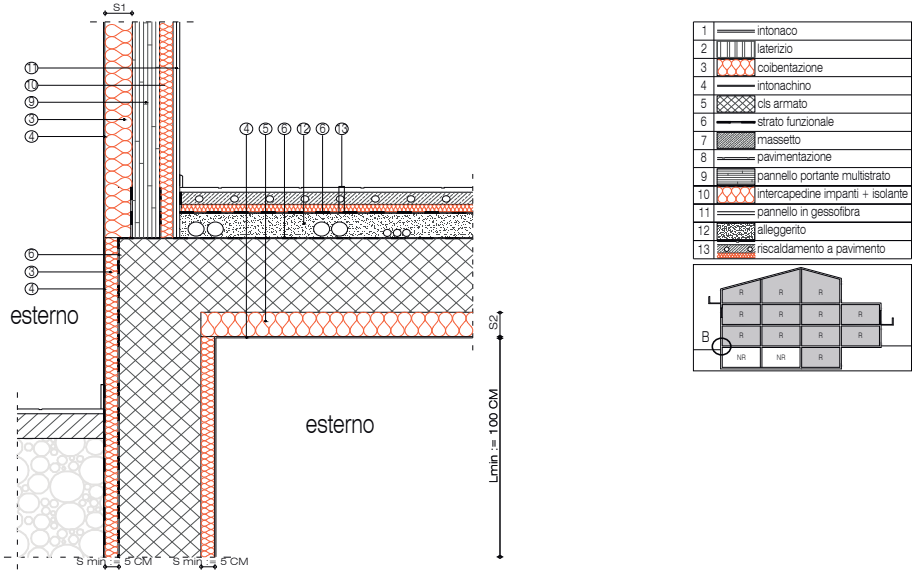
### B.1 nodo B muratura in laterizio e trave in cls con taglio termico



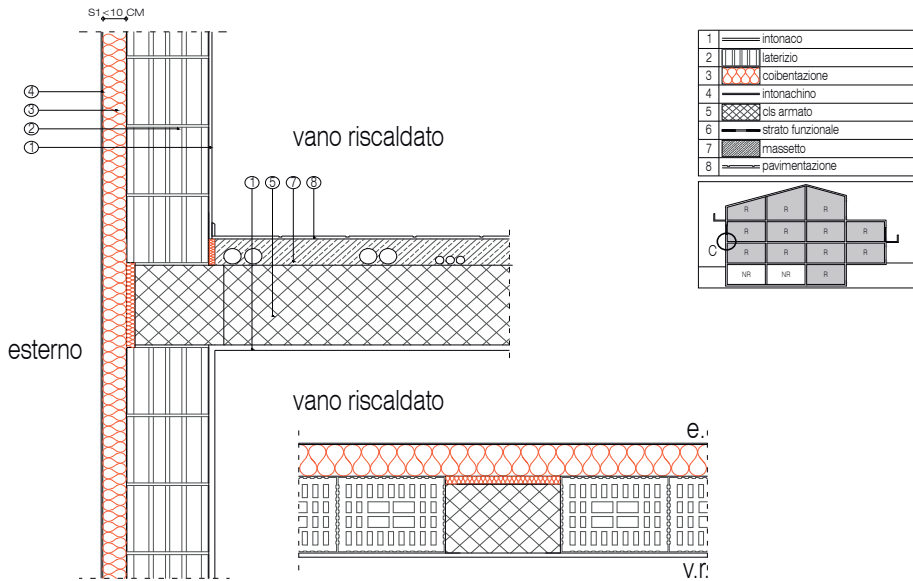
## B.2 nodo B muratura in laterizio e trave in cls



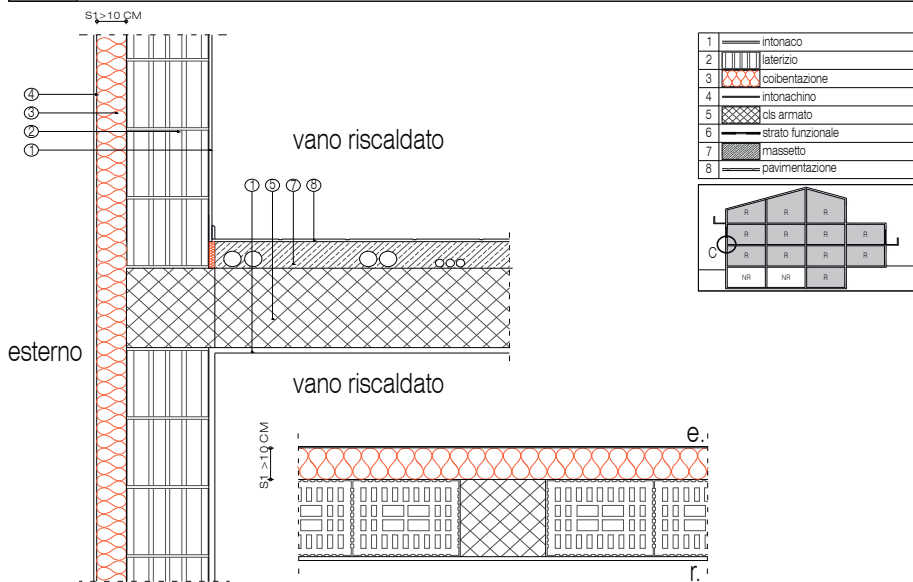
## B.2 nodo muratura in laterizio e trave in cls con taglio termico



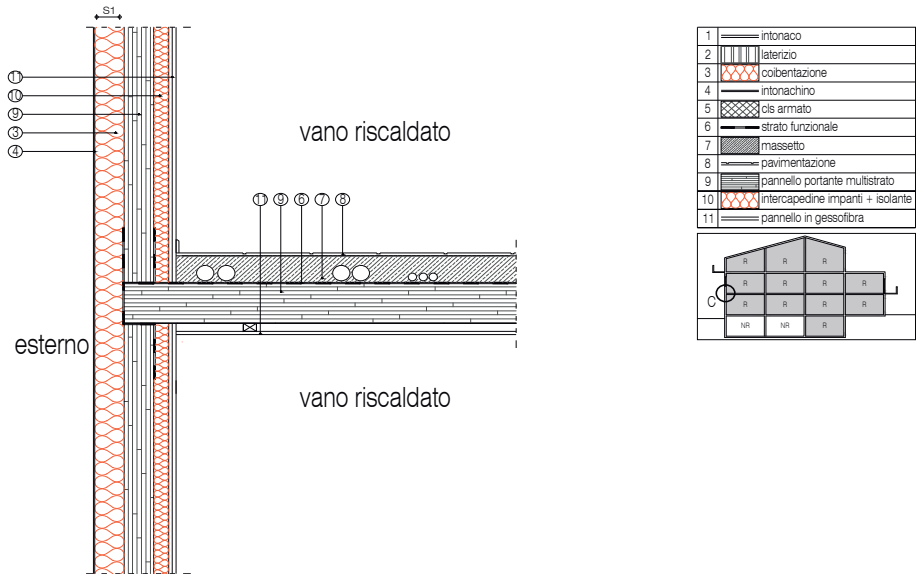
## C.1 nodo C muratura in laterizio e trave in cls



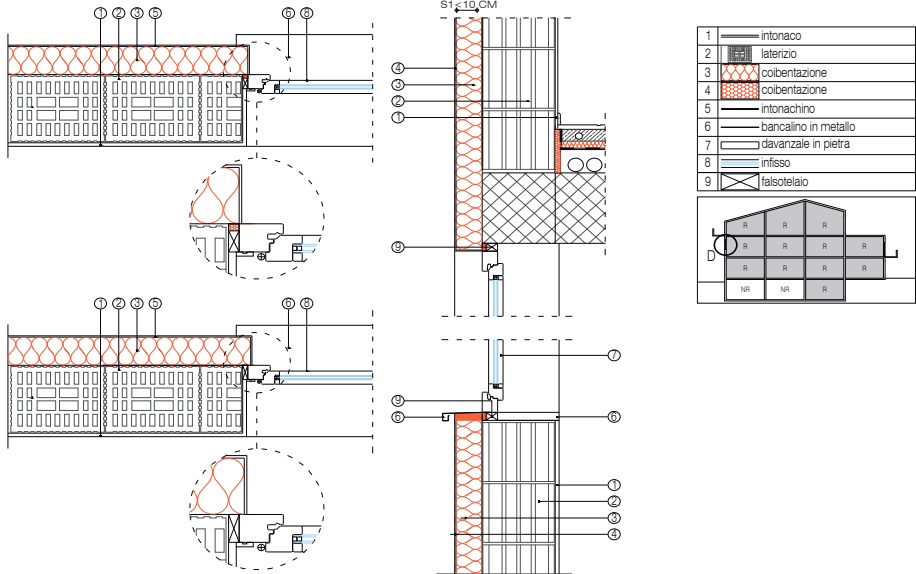
## C.2 nodo muratura in laterizio e trave in cls



**C.3** nodo C parete con struttura lignea in XLAM e solaio con struttura lignea in XLAM

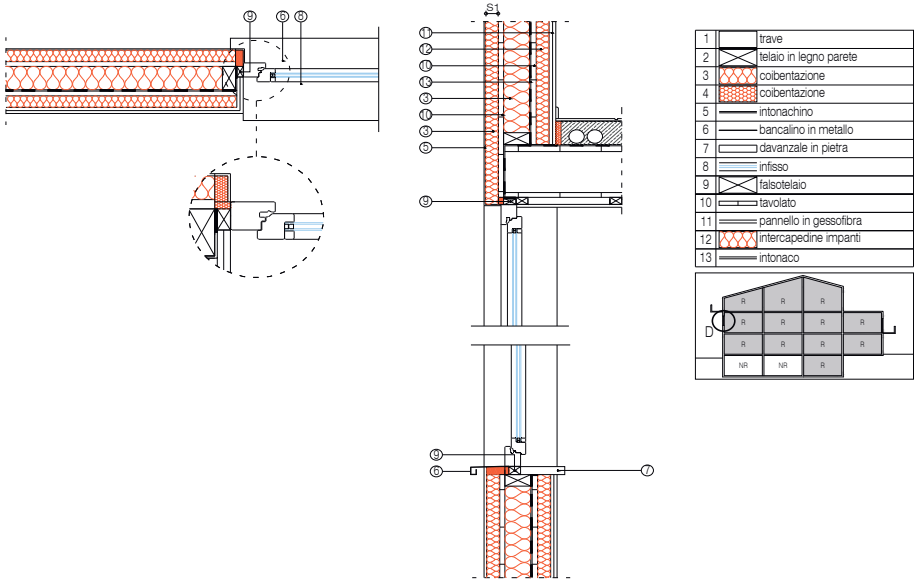


**D.1** nodo D infisso, parete in laterizio

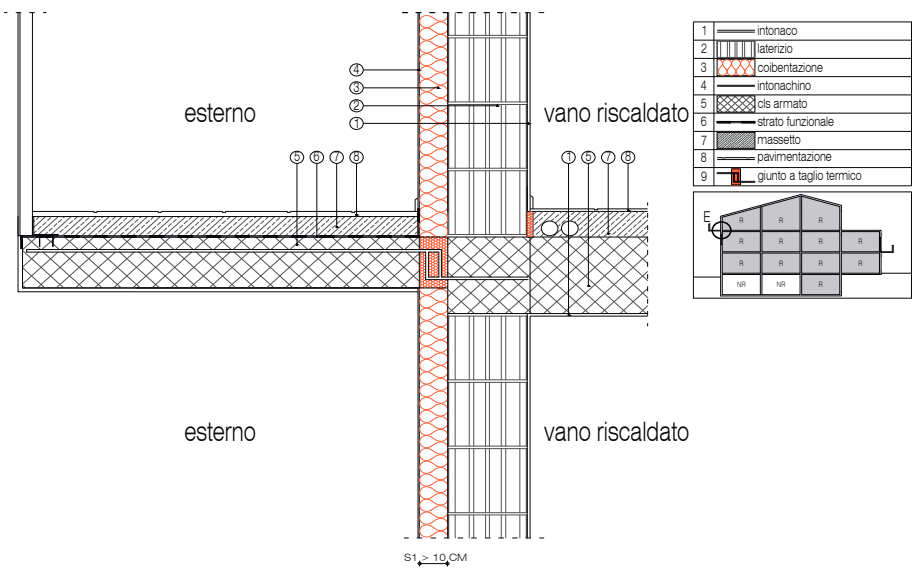




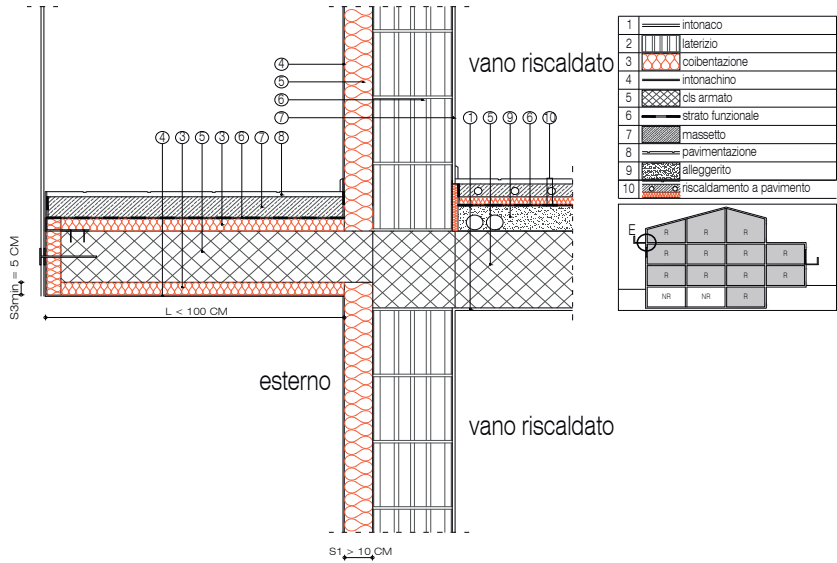
**D.2** nodo D infisso, parete lignea con struttura a telaio



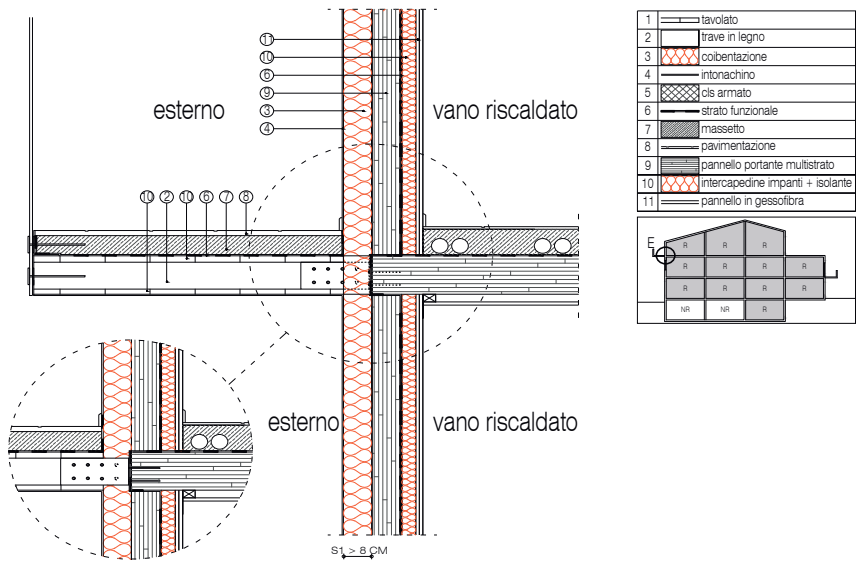
**E.1** nodo E parete in laterizio e trave in cls armato, aggetto con taglio termico



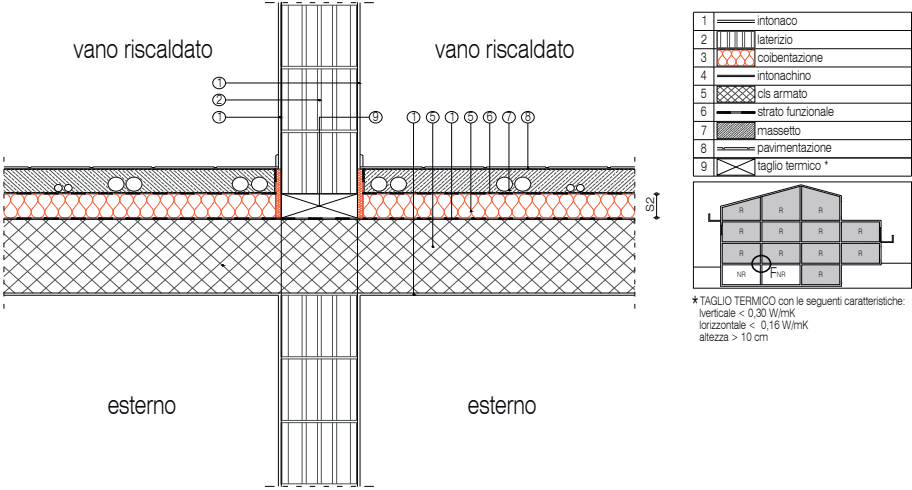
**E.2** nodo E parete in laterizio e trave in cls armato, aggetto senza taglio termico



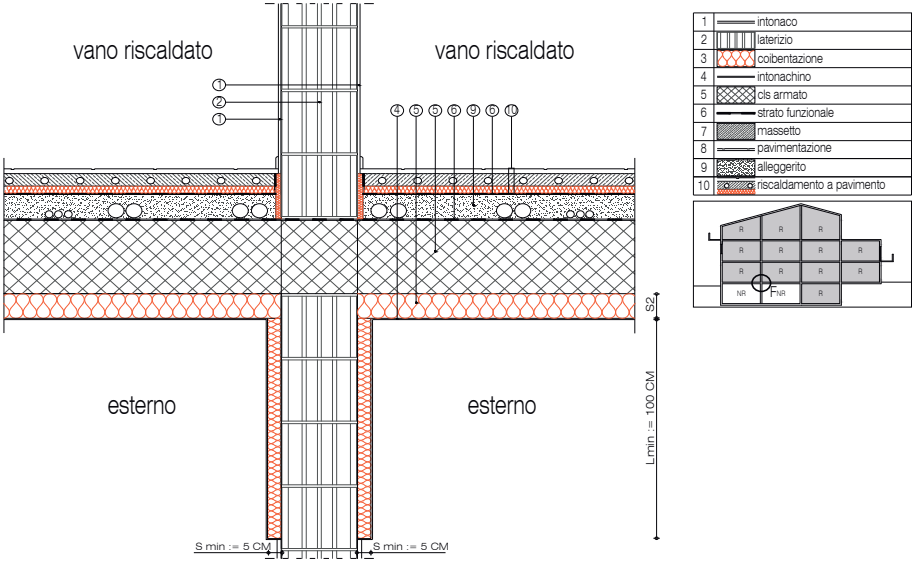
**E.3** nodo E parete lignea con struttura in XLAM e solaio con struttura lignea in XLAM



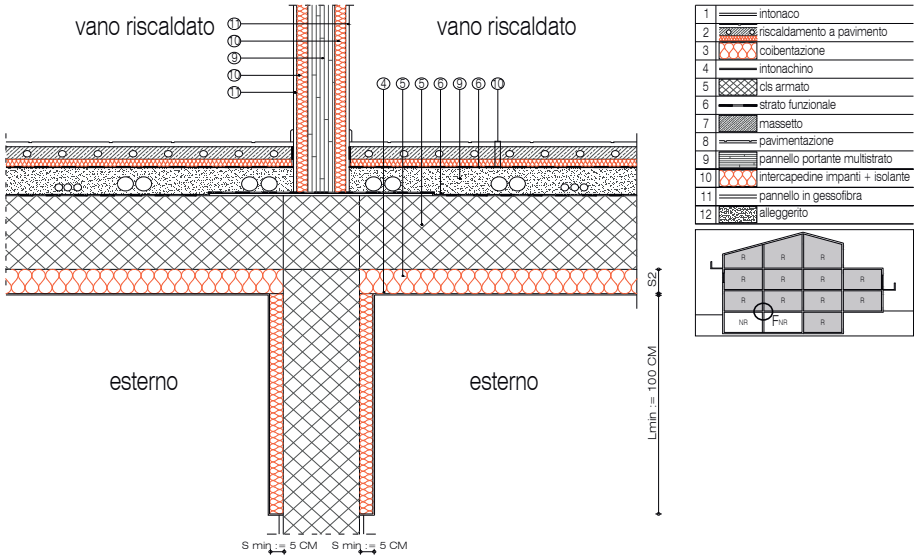
**F.1** nodo F parete in laterizio e trave in cls armato con taglio termico (1)



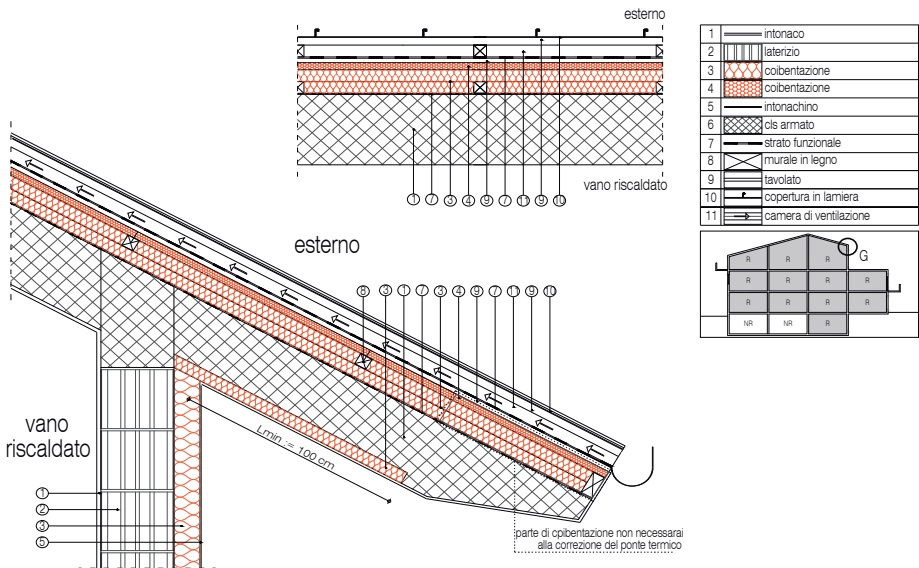
**F.2** nodo F parete in laterizio e trave in cls armato (1)



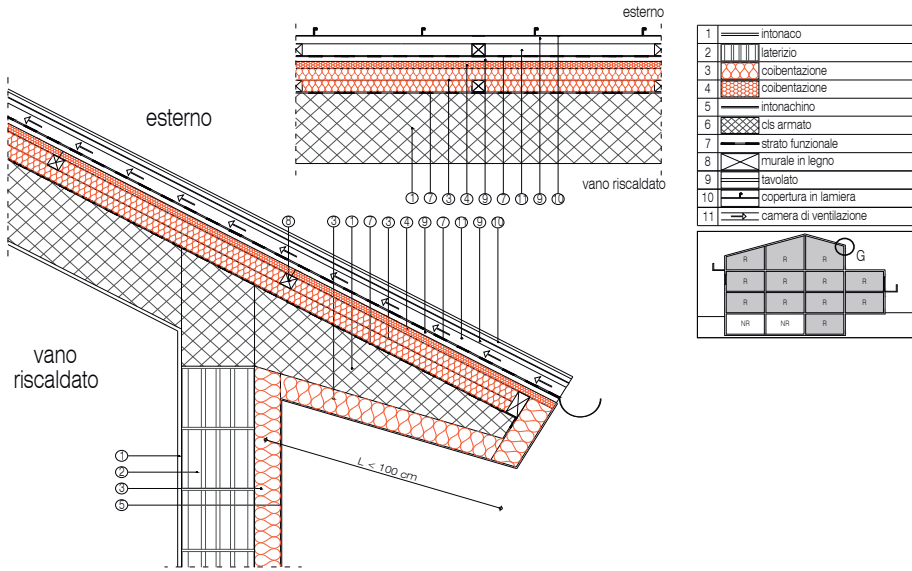
### F.3 nodo F parete lignea con struttura in XLAM e trave in cls armato (3)



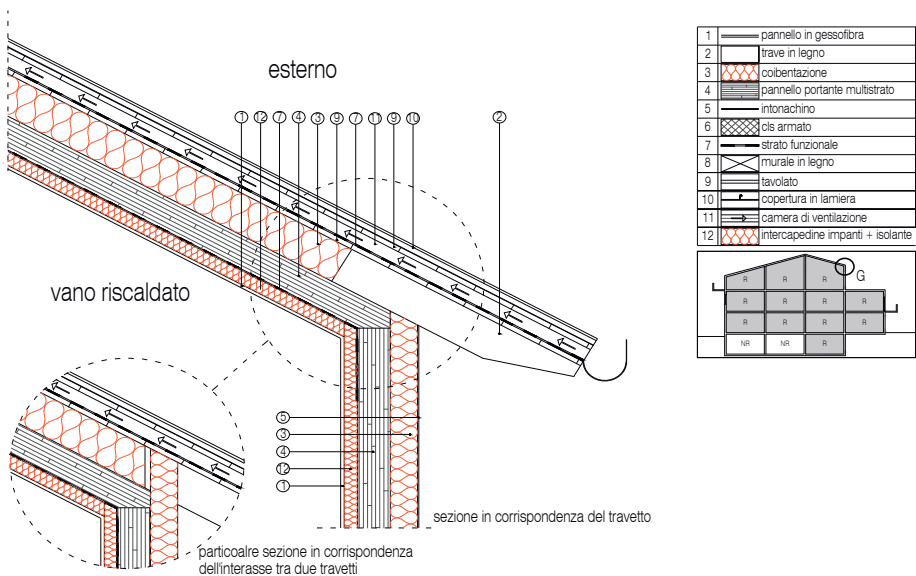
### G.1 nodo G parete in laterizio e trave in cls armato (1)



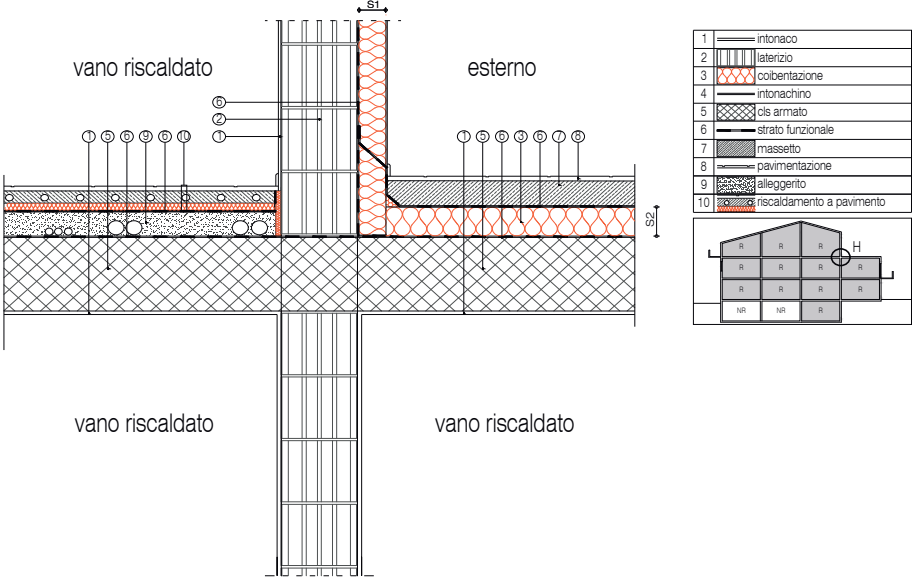
## G.2 nodo G parete in laterizio e trave in cls armato (2)



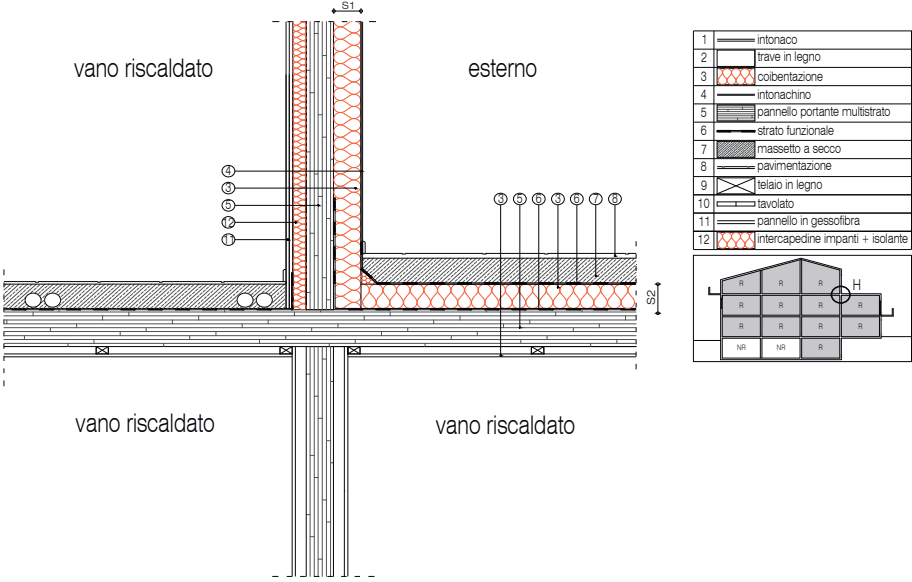
## G.3 nodo G parete lignea con struttura in XLAM e copertura lignea con struttura in XLAM



**H.1** nodo H trave il cls armato e parete in laterizio

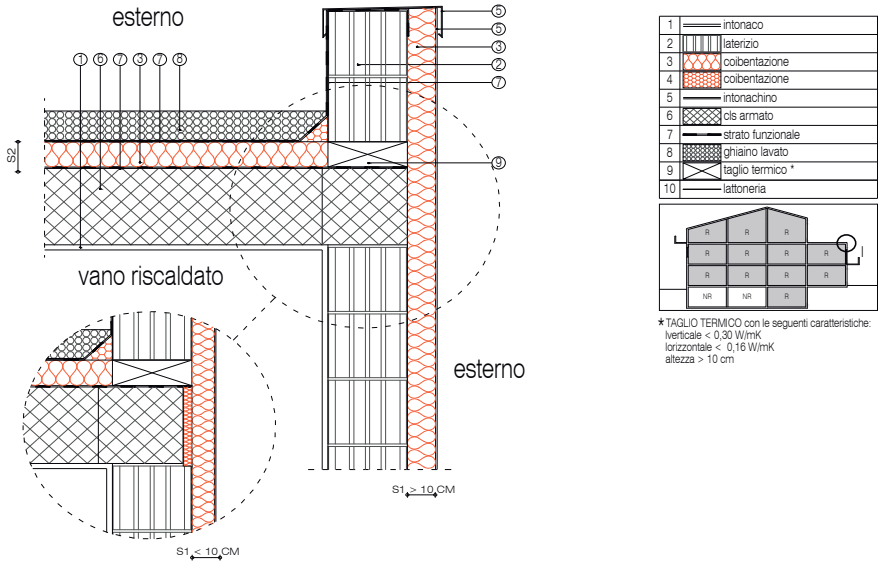


**H.2** nodo H parete lignea con struttura a telaio e solaio ligneo con struttura a telaio

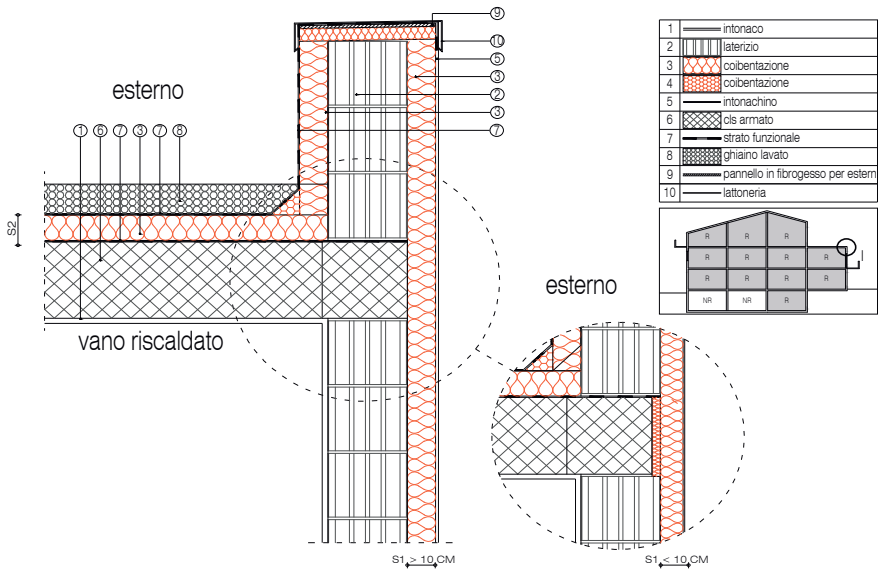




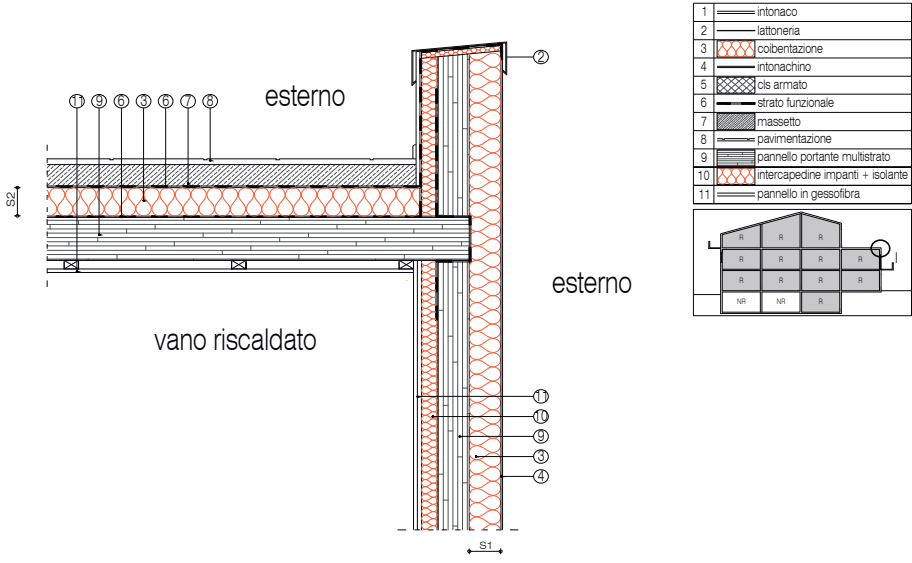
## 1.1 nodo I muratura in laterizio e trave in cls



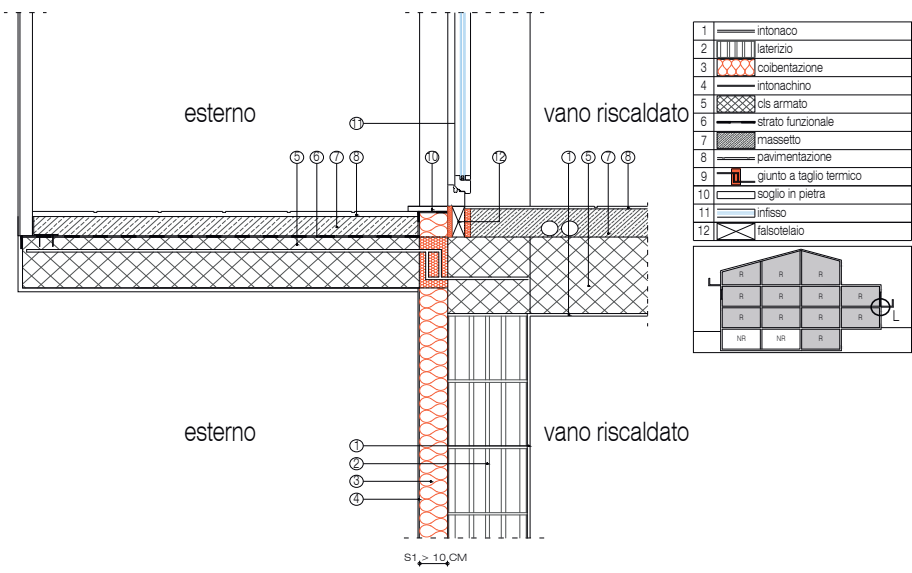
## 1.2 nodo I muratura in laterizio e trave in cls



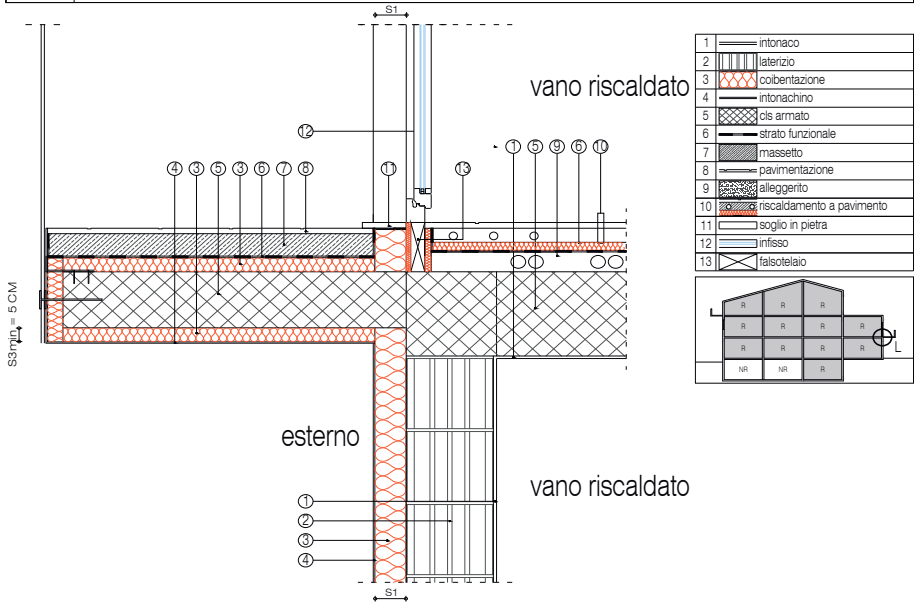
**I.3** nodo I parete con struttura lignea in XLAM e solaio con struttura lignea in XLAM



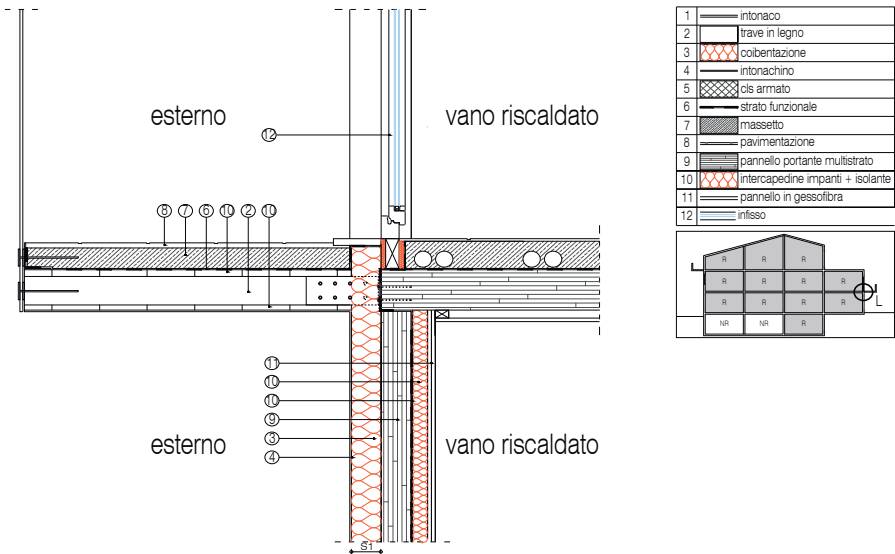
**L.1** nodo L infisso, parete in laterizio e aggetto in cls armato con taglio termico



**L.2** nodo L infisso, parete in laterizio e aggetto in cls armato (2)



**L.3** nodo L infisso, parete lignea con strututra in XLAM e aggetto in legno



09



# BILANCIO ENERGETICO DELL'EDIFICIO<sup>1</sup>

L'energia dispersa attraverso l'involucro di un organismo edilizio è il risultato di diversi meccanismi di scambio termico e meccanismi di trasmissione del calore che interagiscono e si sovrappongono gli uni con gli altri.

Questi fenomeni sono descrivibili in modo dettagliato solo con un'analisi di tipo dinamico, tuttavia per avere una prima idea del bilancio energetico di un edificio si può fare riferimento al modello semi-stazionario basato sul bilancio medio mensile proposto dalla norma UNI/TS 11300-1.

Il fabbisogno energetico netto di energia termica di un edificio, ovvero l'energia che bisogna fornire o sottrarre, a seconda che si ragioni in ambito estivo o invernale, per mantenere la temperatura interna costante desiderata, altro non è che il bilancio tra le perdite o dispersioni attraverso l'involucro e gli apporti o guadagni gratuiti.

Per involucro e volume si intendono sempre ed esclusivamente il volume climatizzato e la superficie che lo delimita.

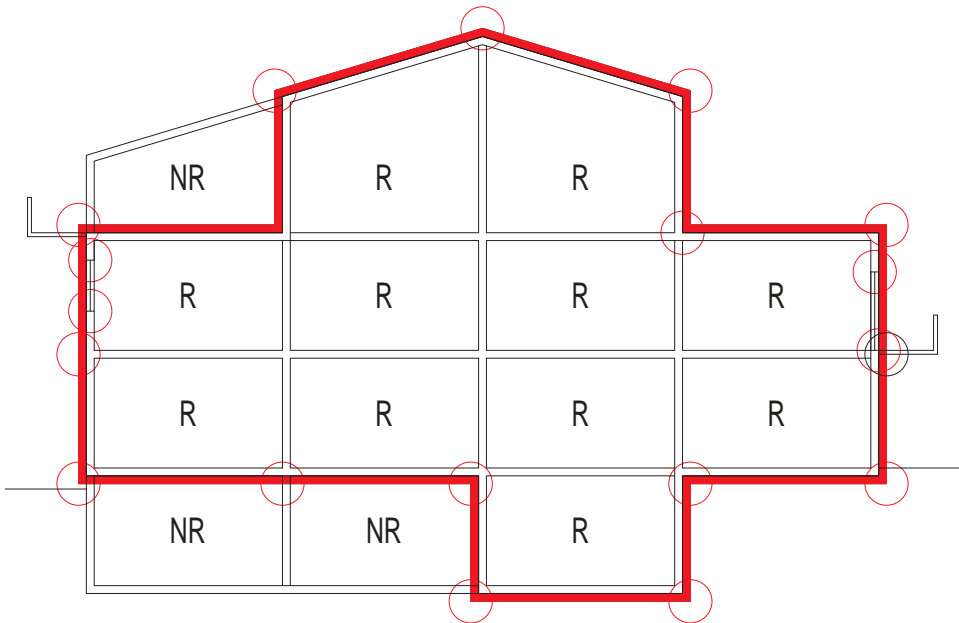
Le perdite sono di due tipologie: perdite per trasmissione e perdite per ventilazione. Le **perdite per trasmissione ( $Q_T$ )** rappresentano gli scambi di calore che avvengono attraverso gli elementi che compongono l'involucro, siano essi opachi o trasparenti. Esse sono correlate sia alle condizioni climatiche in cui si trova l'edificio sia alle caratteristiche degli elementi che lo compongono.

Le **perdite per ventilazione ( $Q_V$ )** rappresentano gli scambi di calore generati dagli scambi d'aria, voluti o non voluti, che avvengono tra interno ed esterno attraverso l'involucro.

---

<sup>1</sup> Testo di Alessandro Zilio.

Gli scambi d'aria voluti sono quelli relativi ai ricambi d'aria necessari per mantenere la salubrità degli ambienti, quelli non voluti sono quelli relativi alla mancata ermeticità dell'organismo edilizio (spifferi, fessure nella costruzione ecc.). La somma di questi due elementi costituisce quindi il totale delle perdite di un organismo edilizio.



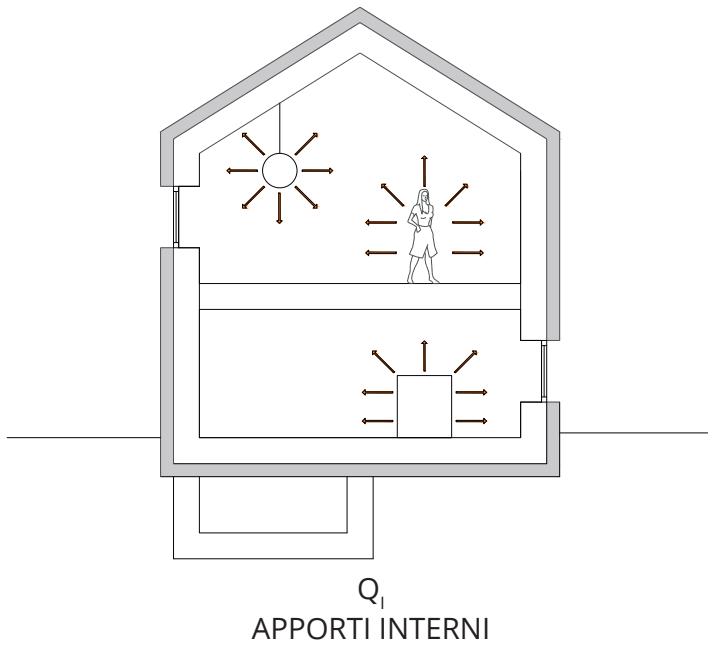
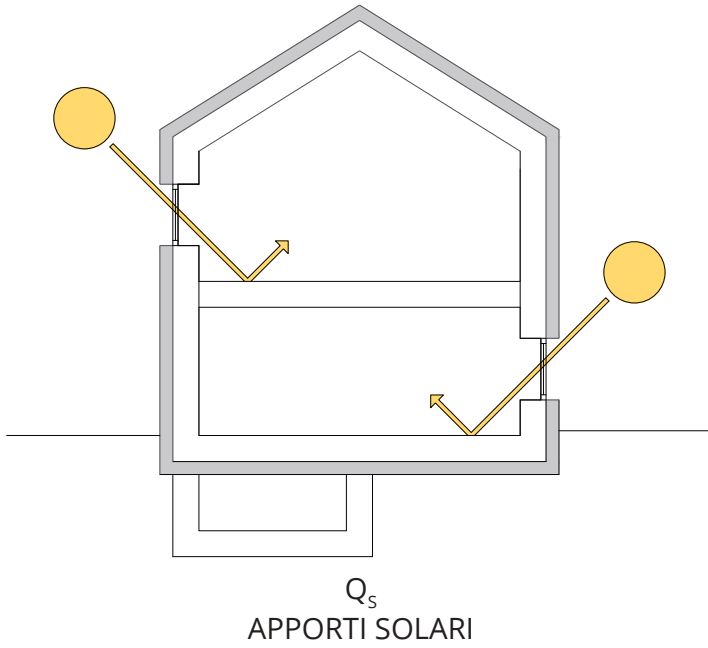
**1** Le perdite.

I guadagni sono di due tipologie: i guadagni solari e gli apporti interni.

Gli **apporti solari** ( $Q_s$ ) rappresentano la quantità di calore fornita dalla radiazione solare e che penetra nell'involucro attraverso le superfici trasparenti.

Gli **apporti interni** ( $Q_i$ ) rappresentano la quantità di calore prodotta all'interno dell'involucro dalle apparecchiature, dalle persone presenti e dalle attività che esse svolgono.





**2** I guadagni.

Sulla base di questi elementi si può redigere un bilancio energetico dell'edificio in regime invernale ed in regime estivo.

Bilancio energetico invernale:

$$Q_H = (Q_T + Q_V) - \eta_H(Q_S + Q_I)$$

Bilancio energetico estivo:

$$Q_C = (Q_S + Q_I) - \eta_C(Q_T + Q_V)$$

$Q_T$  := perdite per trasmissione.

$Q_V$  := perdite per ventilazione.

$Q_S$  := apporti solari.

$Q_I$  := apporti interni.

$Q_H$  := fabbisogno energetico invernale netto o ideale.

$Q_C$  := fabbisogno energetico estivo netto o ideale.

$\eta$  := fattore di utilizzazione (estivo ed invernale).

In regime invernale, il fabbisogno di energia termica da fornire è dato dalla differenza tra perdite e guadagni, mentre in regime estivo la quantità di calore che deve essere sottratta è data dalla differenza tra guadagni e perdite.

Per capire meglio in cosa consista il bilancio energetico di un edificio nell'ipotesi di regime stazionario o semistazionario è utile ricorrere ad una analogia idraulica.

Immaginiamo di rappresentare l'edificio come un recipiente per l'acqua e che il livello dell'acqua in esso contenuta come la temperatura interna dell'edificio stesso.

Il recipiente presenta, contemporaneamente una serie di buchi da cui fuoriesce del liquido e delle sorgenti che buttano del liquido "gratuitamente" all'interno dello stesso.

L'acqua che fuoriesce attraverso i buchi rappresenta le perdite per trasmissione e per ventilazione mentre le sorgenti che buttano del liquido all'interno del recipiente rappresentano gli apporti solari e gli apporti interni.

Mantenere una temperatura interna costante significa mantenere costante il livello dell'acqua all'interno del contenitore.

Poiché generalmente la quantità d'acqua che esce attraverso i buchi sarà diversa da quella che viene riversata nel recipiente attraverso le sorgenti, per mantenere il livello dell'acqua interno costante sarà necessario inserire o togliere del liquido.

La quantità d'acqua che è necessario aggiungere (nei mesi invernali) o togliere (nei mesi estivi) rappresenta il fabbisogno di energia ideale da fornire al sistema. Nei mesi invernali infatti l'acqua che esce attraverso i buchi, ovvero le dispersioni, è generalmente maggiore di quella che entra attraverso le sorgenti pertanto per mantenere il livello costante ci vuole un rubinetto che immetta del liquido nel recipiente. L'acqua immessa dal rubinetto rappresenta il fabbisogno di energia termica invernale per l'edificio.

Analogamente nei mesi estivi si esegue un bilancio del liquido che entra ed esce dal recipiente. La quantità di liquido che deve essere pompata fuori per mantenere il livello dell'acqua costante rappresenta il fabbisogno di energia netta per il raffrescamento.

Come detto la norma che stabilisce le metodologie di calcolo, con riferimento al metodo semistazionario mensile, per la determinazione del fabbisogno netto o ideale di energia termica netta è la UNI/TS 11300-1. Essa indica la quantità di calore che deve essere fornita o sottratta da un ambiente climatizzato per mantenere costante la temperatura desiderata in un dato periodo di tempo.

Il metodo di calcolo proposto dalla norma per il bilancio energetico invernale è mensile.

Le condizioni al contorno sono:

- temperatura interna fissa pari a 20°C per tutte le destinazioni d'uso ad eccezione degli edifici industriali (categoria E.8) per i quali si assume una temperatura interna pari a 18°C;
- dati climatici mensili definiti dalla UNI 10349;
- stagione di riscaldamento individuata dal periodo durante il quale è necessario un apporto dell'impianto di riscaldamento per mantenere all'interno dell'edificio una temperatura non inferiore a quella di progetto.

Il bilancio energetico invernale è dato dalla formula:

$$Q_{(H,nd)} = (Q_{(H,tr)} + Q_{(H,ve)}) - \eta_{(H,gn)}(Q_{(sol)} + Q_{(int.)})$$

$Q_{H,tr}$  := scambio termico per trasmissione.

$Q_{H,ve}$  := scambio termico per ventilazione.

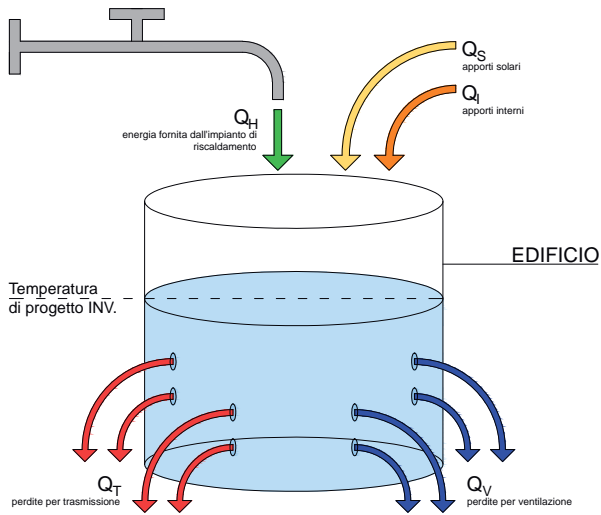
$Q_{sol}$  := apporti solari gratuiti.

$Q_{int}$  := apporti interni gratuiti.

$Q_{H,nd}$  := fabbisogno di energia termica ideale dell'edificio necessaria a mantenere la temperatura di progetto durante il periodo di riscaldamento.

$\eta_{H,gn}$  := fattore di utilizzazione degli apporti energetici gratuiti.

## BILANCIO ENERGETICO INVERNALE

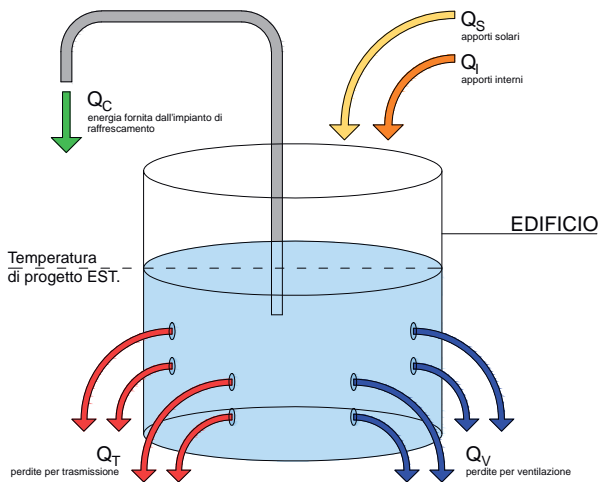


$$Q_H = (Q_T + Q_V) - \eta_H (Q_S + Q_I)$$

$$\text{DISPERSIONI} = (Q_T + Q_V)$$

$$\text{APPORTI} = (Q_S + Q_I)$$

## BILANCIO ENERGETICO ESTIVO



$$Q_C = (Q_S + Q_I) - \eta_C (Q_T + Q_V)$$

$$\text{DISPERSIONI} = (Q_T + Q_V)$$

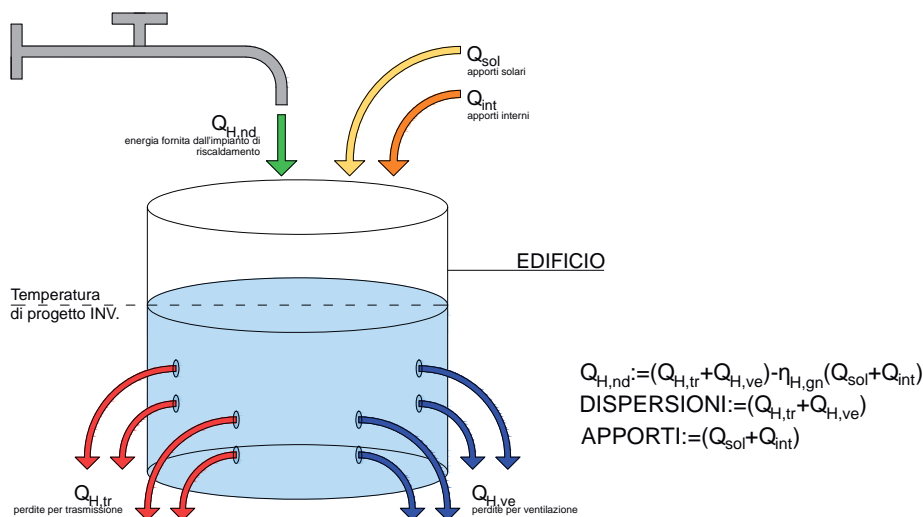
$$\text{APPORTI} = (Q_S + Q_I)$$

**3** Analogia idraulica per il regime invernale e estivo.

Il metodo di calcolo proposto dalla norma per il bilancio energetico estivo è mensile. Le condizioni al contorno sono:

- temperatura interna fissa pari a 26°C per tutte le destinazioni d'uso ad eccezione degli edifici individuati dal d.P.R. 480 del 1993 alla categoria E.6(1) (piscine, saune ecc.) per i quali si assume una temperatura interna pari a 28°C e per quelli individuati alla categoria E.6(2) (palestre e assimilabili) per i quali si assume una temperatura interna pari a 24°C;
- dati climatici mensili definiti dalla UNI 10349;
- stagione di raffrescamento individuata dal periodo durante il quale è necessario un apporto dell'impianto di climatizzazione per mantenere all'interno dell'edificio una temperatura non inferiore a quella di progetto.

## BILANCIO ENERGETICO INVERNALE



**4** Analogia idraulica per il regime invernale secondo la nomenclatura della normativa.

Il bilancio energetico invernale è dato dalla formula:

$$Q_{(C,nd)} = (Q_{(C,tr)} + Q_{(C,ve)}) - \eta_{(C,Is)} (Q_{(sol)} + Q_{(int.)})$$

$Q_{C,tr}$  := scambio termico per trasmissione nel periodo di raffrescamento.

$Q_{C,ve}$  := scambio termico per ventilazione nel periodo di raffrescamento.

$Q_{sol}$  := apporti solari gratuiti.

$Q_{int}$  := apporti interni gratuiti.

$Q_{C,nd}$  := fabbisogno ideale di energia termica dell'edificio necessaria a mantenere la temperatura di progetto durante il periodo di raffrescamento.

$\eta_{C,Is}$  := fattore di utilizzazione delle dispersioni termiche.

Se l'approccio stazionario è una semplificazione sensata per l'analisi dei fenomeni di un regime invernale altrettanto non si può dire per quello estivo.

Questo in ragione del fatto che, mentre nel periodo invernale la temperatura esterna è sempre al di sotto della temperatura interna desiderata, nel periodo estivo spesso si verifica una oscillazione della temperatura esterna tale da essere per alcuni periodi di tempo, all'interno della giornata stessa, superiore a quella interna desiderata e in altri inferiore ad essa.

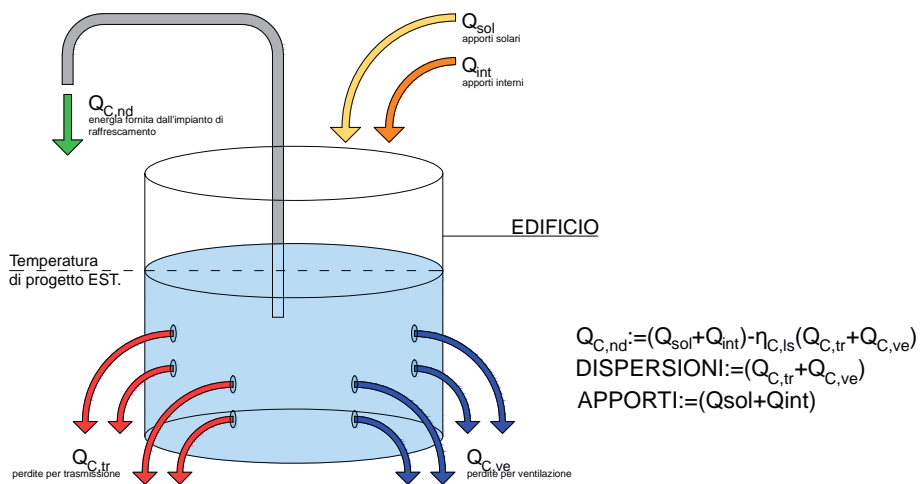
Inoltre basti pensare di confrontare due edifici uguali dal punto di vista geometrico con identiche prestazioni dal punto di vista del comportamento invernale (con stessi valori di trasmittanza U e coefficienti dispersivi H) ma con caratteristiche inerziali differenti (trasmittanza termica periodica diversi).

La formula proposta dalla norma per il calcolo della  $Q_{C,nd}$  darà lo stesso risultato nei due casi, ma è facile intuire che il comportamento estivo delle due strutture sarà completamente diverso.

Questo evidentemente rende il calcolo estivo in regime stazionario poco affidabile.



## BILANCIO ENERGETICO ESTIVO



- 5** Analogia idraulica per il regime estivo secondo la nomenclatura della normativa.

10



# PROGETTO, CONDOTTA DEI LAVORI E COLLAUDO<sup>1</sup>

Alla realizzazione di un'opera edilizia o architettonica concorrono più fasi: quella metaprogettuale (precedente, cioè, la fase di progettazione vera e propria), quella progettuale, quella realizzativa e quella di verifica dell'opera realizzata, definita collaudo.

**Progetto, condotta dei lavori e collaudo** sono oggi regolamentati, in Italia, per le Opere Pubbliche, dal decreto legislativo 18 aprile 2016, n. 50 «Attuazione delle direttive 2014/23/UE, 2014/24/UE e 2014/25/UE sull'aggiudicazione dei contratti di concessione, sugli appalti pubblici e sulle procedure d'appalto degli enti erogatori nei settori dell'acqua, dell'energia, dei trasporti e dei servizi postali, nonché per il riordino della disciplina vigente in materia di contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture (G.U. n. 91 del 19 aprile 2016), come modificato dal decreto-legge 30 dicembre 2016 n. 244, in GU n.304 del 30-12-2016, in vigore dal 30-12-2016 e dal decreto legislativo 19 aprile 2017, n. 56 in GU n.103 del 5-5-2017 s.o. n. 22, in vigore dal 20-5-2017».

Lo stesso definisce:

- l'attività di progettazione;
- la programmazione, direzione ed esecuzione dei lavori;
- il collaudo.

---

<sup>1</sup> Testo di Maurizio Bradaschia.

## L'ATTIVITÀ DI PROGETTAZIONE

L'attività di progettazione, per quanto relativo ai livelli della progettazione stessa, è disciplinata al TITOLO III del citato decreto legislativo, e più precisamente all'art. 23. (Livelli della progettazione per gli appalti, per le concessioni di lavori nonché per i servizi).

Così recita il decreto:

1. La progettazione in materia di lavori pubblici si articola, secondo tre livelli di successivi approfondimenti tecnici, in progetto di fattibilità tecnica ed economica, progetto definitivo e progetto esecutivo ed è intesa ad assicurare:

- a) il soddisfacimento dei fabbisogni della collettività;
- b) la qualità architettonica e tecnico funzionale e di relazione nel contesto dell'opera;
- c) la conformità alle norme ambientali, urbanistiche e di tutela dei beni culturali e paesaggistici, nonché il rispetto di quanto previsto dalla normativa in materia di tutela della salute e della sicurezza;
- d) un limitato consumo del suolo;
- e) il rispetto dei vincoli idrogeologici, sismici e forestali nonché degli altri vincoli esistenti;
- f) il risparmio e l'efficientamento ed il recupero energetico nella realizzazione e nella successiva vita dell'opera, nonché la valutazione del ciclo di vita e della manutenibilità delle opere. {disposizione modificata dal d.lgs. 56-2017 in vigore dal 20-5-2017}.
- g) la compatibilità con le preesistenze archeologiche;
- h) la razionalizzazione delle attività di progettazione e delle connesse verifiche attraverso il progressivo uso di metodi e strumenti elettronici specifici quali quelli di modellazione per l'edilizia e le infrastrutture;
- i) la compatibilità geologica, geomorfologica, idrogeologica dell'opera;
- l) accessibilità e adattabilità secondo quanto previsto dalle disposizioni vigenti in materia di barriere architettoniche;

2. Per la progettazione di lavori di particolare rilevanza sotto il profilo architettonico, ambientale, paesaggistico, agronomico e forestale, storico-artistico, conservativo, nonché tecnologico, le stazioni appaltanti ricorrono alle professionalità interne, purché in possesso di idonea competenza nelle materie oggetto del progetto o utilizzano la procedura del concorso di progettazione o del concorso di idee di cui articoli 152, 153, 154, 155 e 156. Per le altre tipologie di lavori, si applica quanto previsto dall'articolo 24. {disposizione corretta con errata corrige del 15-07-2016}.

3. Con decreto del Ministro delle infrastrutture e trasporti, su proposta del Consiglio superiore dei lavori pubblici, di concerto con il Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare e del Ministro dei beni e delle attività culturali e del turismo sono definiti i contenuti della progettazione nei tre livelli progettuali. Con il decreto di cui al primo periodo è, altresì, determinato il contenuto minimo del quadro esigenziale che devono predisporre le stazioni appaltanti. Fino alla data di entrata in vigore di detto decreto, si applica l'articolo 216, comma 4. {disposizione modificata dal d.lgs. 56-2017 in vigore dal 20-5-2017}.  
3-bis. Con ulteriore decreto del Ministro delle infrastrutture e dei trasporti, su proposta del Consiglio superiore dei lavori pubblici, sentita la Conferenza Unificata, è disciplinata una progettazione semplificata degli interventi di manutenzione ordinaria fino a un importo di 2.500.000 euro. Tale decreto individua le modalità e i criteri di semplificazione in relazione agli interventi previsti. {disposizione introdotta dal d.lgs. 56-2017 in vigore dal 20-5-2017}.

4. La stazione appaltante, in rapporto alla specifica tipologia e alla dimensione dell'intervento, indica le caratteristiche, i requisiti e gli elaborati progettuali necessari per la definizione di ogni fase della progettazione. È consentita, altresì, l'omissione di uno o di entrambi i primi due livelli di progettazione, purché il livello successivo contenga tutti gli elementi previsti per il livello omissivo, salvaguardando la qualità della progettazione. {disposizione corretta con errata corrige del 15-07-2016}.

E prosegue:

5. Il progetto di fattibilità tecnica ed economica individua, tra più soluzioni, quella che presenta il miglior rapporto tra costi e benefici per la collettività, in relazione alle specifiche esigenze da soddisfare e prestazioni da fornire. Ai soli fini delle attività di programmazione triennale dei lavori pubblici e dell'espletamento delle procedure di dibattito pubblico di cui all'articolo 22 nonché dei concorsi di progettazione e di idee di cui all'articolo 152, il progetto di fattibilità può essere articolato in due fasi successive di elaborazione. In tutti gli altri casi, il progetto di fattibilità è sempre redatto in un'unica fase di elaborazione. Nel caso di elaborazione in due fasi, nella prima fase il progettista, individua ed analizza le possibili soluzioni progettuali alternative, ove esistenti, sulla base dei principi di cui al comma 1, e redige il documento di fattibilità delle alternative progettuali secondo le modalità indicate dal decreto di cui al comma 3. Nella seconda fase di elaborazione, ovvero nell'unica fase, qualora non sia redatto in due fasi, il progettista incaricato sviluppa, nel rispetto dei contenuti del documento di indirizzo alla progettazione e secondo le modalità indicate dal decreto di cui al comma 3, tutte le indagini e gli studi necessari per la definizione degli aspetti di cui al comma 1, nonché elaborati grafici per l'individuazione delle caratteristiche dimensionali, volumetriche, tipologiche, funzionali e tecnologiche dei lavori da realizzare e le relative stime economiche, ivi compresa la scelta in merito alla possibile suddivisione in lotti funzionali. Il progetto di fattibilità deve consentire, ove necessario, l'avvio della procedura espropriativa. {disposizione modificata dal d.lgs. 56-2017 in vigore dal 20-5-2017}.

5-bis. Per le opere proposte in variante urbanistica ai sensi dell'articolo 19 del decreto del Presidente della Repubblica 8 giugno 2001, n. 327, il progetto di fattibilità tecnica ed economica sostituisce il progetto preliminare di cui al comma 2 del citato articolo 19 ed è redatto ai sensi del comma 5. {disposizione introdotta dal d.lgs. 56-2017 in vigore dal 20-5-2017}.

6. Il progetto di fattibilità è redatto sulla base dell'avvenuto svolgimento di indagini geologiche e idrogeologiche, idrologiche, idrauliche, geotecniche, sismiche, storiche, paesaggistiche ed urbanistiche, di verifiche preventive dell'interesse archeologico, di studi preliminari sull'impatto ambientale e evidenzia, con apposito adeguato elaborato cartografico, le aree impegnate, le relative eventuali fasce di rispetto e le occorrenti misure di salvaguardia deve, altresì, ricomprendere le valutazioni ovvero le eventuali diagnosi energetiche dell'opera in progetto, con riferimento al contenimento dei consumi energetici e alle eventuali misure per la produzione e il recupero di energia anche con riferimento all'impatto sul piano economico-finanziario dell'opera; indica, inoltre, le caratteristiche prestazionali, le specifiche funzionali, le esigenze di compensazioni e di mitigazione dell'impatto ambientale, nonché i limiti di spesa, calcolati secondo le modalità indicate dal decreto di cui al comma 3, dell'infrastruttura da realizzare ad un livello tale da consentire, già in sede di approvazione del progetto medesimo, salvo circostanze imprevedibili, l'individuazione della localizzazione o del tracciato dell'infrastruttura nonché delle opere compensative o di mitigazione dell'impatto ambientale e sociale necessarie. {disposizione modificata dal d.lgs. 56-2017 in vigore dal 20-5-2017}.

7. Il progetto definitivo individua compiutamente i lavori da realizzare, nel rispetto delle esigenze, dei criteri, dei vincoli, degli indirizzi e delle indicazioni stabiliti dalla stazione appaltante e, ove presente, dal progetto di fattibilità; il progetto definitivo contiene, altresì, tutti gli elementi necessari ai fini del rilascio delle prescritte autorizzazioni e approvazioni, nonché la quantificazione definitiva del limite di spesa per

la realizzazione e del relativo cronoprogramma, attraverso l'utilizzo, ove esistenti, dei prezzi predisposti dalle regioni e dalle province autonome territorialmente competenti, di concerto con le articolazioni territoriali del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti, secondo quanto previsto al comma 16. {disposizione modificata dal d.lgs. 56-2017 in vigore dal 20-5-2017}.

8. Il progetto esecutivo, redatto in conformità al progetto definitivo, determina in ogni dettaglio i lavori da realizzare, il relativo costo previsto, il cronoprogramma coerente con quello del progetto definitivo, e deve essere sviluppato ad un livello di definizione tale che ogni elemento sia identificato in forma, tipologia, qualità, dimensione e prezzo. Il progetto esecutivo deve essere, altresì, corredato da apposito piano di manutenzione dell'opera e delle sue parti in relazione al ciclo di vita.

9. In relazione alle caratteristiche e all'importanza dell'opera, il responsabile unico del procedimento, secondo quanto previsto dall'articolo 26, stabilisce criteri, contenuti e momenti di verifica tecnica dei vari livelli di progettazione.

10. L'accesso ad aree interessate ad indagini e ricerche necessarie all'attività di progettazione è soggetto all'autorizzazione di cui all'articolo 15 del decreto del Presidente della Repubblica 8 giugno 2001, n. 327. La medesima autorizzazione si estende alle ricerche archeologiche, alla bonifica di ordigni bellici e alla bonifica dei siti inquinati. Le ricerche archeologiche sono compiute sotto la vigilanza delle competenti soprintendenze.

11. Gli oneri inerenti alla progettazione, ivi compresi quelli relativi al dibattito pubblico, alla direzione dei lavori, alla vigilanza, ai collaudi, agli studi e alle ricerche connessi, alla redazione dei piani di sicurezza e di coordinamento, quando previsti ai sensi del decreto legislativo 9 aprile 2008, n. 81, alle prestazioni professionali e specialistiche, necessari per la redazione di un progetto esecutivo completo in ogni dettaglio, possono essere fatti gravare sulle disponibilità finanziarie della stazione appaltante cui accede la progettazione medesima. Ai fini dell'individuazione dell'importo stimato, il conteggio deve ricomprendere tutti i servizi, ivi compresa la direzione dei lavori, in caso di affidamento allo stesso progettista esterno. {disposizione modificata dal d.lgs. 56-2017 in vigore dal 20-5-2017}.

12. Le progettazioni definitiva ed esecutiva sono, preferibilmente, svolte dal medesimo soggetto, onde garantire omogeneità e coerenza al procedimento. In caso di motivate ragioni di affidamento disgiunto, il nuovo progettista deve accettare l'attività progettuale svolta in precedenza. In caso di affidamento esterno della progettazione, che ricomprenda, entrambi i livelli di progettazione, l'avvio della progettazione esecutiva è condizionato alla determinazione delle stazioni appaltanti sulla progettazione definitiva. In sede di verifica della coerenza tra le varie fasi della progettazione, si applica quanto previsto dall'articolo 26, comma 3. {disposizione corretta con errata corrige del 15-07-2016}.

13. Le stazioni appaltanti possono richiedere per le nuove opere nonché per interventi di recupero, riqualificazione o varianti, prioritariamente per i lavori complessi, l'uso dei metodi e strumenti elettronici specifici di cui al comma 1, lettera h). Tali strumenti utilizzano piattaforme interoperabili a mezzo di formati aperti non proprietari, al fine di non limitare la concorrenza tra i fornitori di tecnologie e il coinvolgimento di specifiche progettualità tra i progettisti. L'uso dei metodi e strumenti elettronici può essere richiesto soltanto dalle stazioni appaltanti dotate di personale adeguatamente formato. Con decreto del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti, da adottare entro il 31 luglio 2016, anche avvalendosi di una Commissione appositamente istituita presso il medesimo Ministero, senza oneri aggiuntivi a carico della finanza pubblica sono definiti le modalità e i tempi di progressiva introduzione dell'obbligatorietà dei suddetti metodi presso le stazioni appaltanti, le amministrazioni concedenti e gli operatori economici, valutata in relazione alla tipologia delle opere da affidare e della strategia di digitalizzazione delle amministrazioni pubbliche e del settore delle costruzioni. L'utilizzo di tali metodologie costituisce parametro di valutazione dei requisiti premianti di cui all'articolo 38.

14. La progettazione di servizi e forniture è articolata, di regola, in un unico livello ed è predisposta dalle stazioni appaltanti, di regola, mediante propri dipendenti in servizio. In caso di concorso di progettazione relativa agli appalti, la stazione appaltante può prevedere che la progettazione sia suddivisa in uno o più livelli di approfondimento di cui la stessa stazione appaltante individua requisiti e caratteristiche.



15. Per quanto attiene agli appalti di servizi, il progetto deve contenere: la relazione tecnico-illustrativa del contesto in cui è inserito il servizio; le indicazioni e disposizioni per la stesura dei documenti inerenti alla sicurezza di cui all'articolo 26, comma 3, del decreto legislativo n. 81 del 2008; il calcolo degli importi per l'acquisizione dei servizi, con indicazione degli oneri della sicurezza non soggetti a ribasso; il prospetto economico degli oneri complessivi necessari per l'acquisizione dei servizi; il capitolato speciale descrittivo e prestazionale, comprendente le specifiche tecniche, l'indicazione dei requisiti minimi che le offerte devono comunque garantire e degli aspetti che possono essere oggetto di variante migliorativa e conseguentemente, i criteri premiali da applicare alla valutazione delle offerte in sede di gara, l'indicazione di altre circostanze che potrebbero determinare la modifica delle condizioni negoziali durante il periodo di validità, fermo restando il divieto di modifica sostanziale. Per i servizi di gestione dei patrimoni immobiliari, ivi inclusi quelli di gestione della manutenzione e della sostenibilità energetica, i progetti devono riferirsi anche a quanto previsto dalle pertinenti norme tecniche.

16. Per i contratti relativi a lavori, servizi e forniture, il costo del lavoro è determinato annualmente, in apposite tabelle, dal Ministero del lavoro e delle politiche sociali sulla base dei valori economici definiti dalla contrattazione collettiva nazionale tra le organizzazioni sindacali e le organizzazioni dei datori di lavoro comparativamente più rappresentativi, delle norme in materia previdenziale ed assistenziale, dei diversi settori merceologici e delle differenti aree territoriali. In mancanza di contratto collettivo applicabile, il costo del lavoro è determinato in relazione al contratto collettivo del settore merceologico più vicino a quello preso in considerazione. Per i contratti relativi a lavori il costo dei prodotti, delle attrezzature e delle lavorazioni è determinato sulla base dei prezzari regionali aggiornati annualmente. Tali prezzari cessano di avere validità il 31 dicembre di ogni anno e possono essere transitoriamente utilizzati fino al 30 giugno dell'anno successivo, per i progetti a base di gara la cui approvazione sia intervenuta entro tale data. In caso di inadempienza da parte delle Regioni, i prezzari sono aggiornati, entro i successivi trenta giorni, dalle competenti articolazioni territoriali del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti sentite le Regioni interessate. Fino all'adozione delle tabelle di cui al presente comma, si applica l'articolo 216, comma 4. Nei contratti di lavori e servizi la stazione appaltante, al fine di determinare l'importo posto a base di gara, individua nei documenti posti a base di gara i costi della manodopera sulla base di quanto previsto nel presente comma. I costi della sicurezza sono scorporati dal costo dell'importo assoggettato al ribasso. {disposizione modificata dal d.lgs. 56-2017 in vigore dal 20-5-2017}.

## ESECUZIONE DEI LAVORI

Il TITOLO V - ESECUZIONE del decreto legislativo 18 aprile 2016, n. 50 (disciplina l'esecuzione dei lavori), così recita:

Art. 100. (Requisiti per l'esecuzione dell'appalto)

1. Le stazioni appaltanti possono richiedere requisiti particolari per l'esecuzione del contratto, purché siano compatibili con il diritto europeo e con i principi di parità di trattamento, non discriminazione, trasparenza, proporzionalità, innovazione e siano precisate nel bando di gara, o nell'invito in caso di procedure senza bando o nel capitolato d'oneri. Dette condizioni possono attenersi, in particolare, a esigenze sociali e ambientali. {disposizione corretta con errata corregge del 15-07-2016}.
2. In sede di offerta gli operatori economici dichiarano di accettare i requisiti particolari nell'ipotesi in cui risulteranno aggiudicatari. {disposizione corretta con errata corregge del 15-07-2016}.

Art. 101. (Soggetti delle stazioni appaltanti)

1. La esecuzione dei contratti aventi ad oggetto lavori, servizi, forniture, è diretta dal responsabile unico del procedimento, che controlla i livelli di qualità delle prestazioni. Il responsabile unico del procedimento, nella fase dell'esecuzione, si avvale del direttore dell'esecuzione del contratto o del direttore dei lavori, del coordinatore in materia di salute e di sicurezza durante l'esecuzione previsto dal decreto legislativo 9 aprile 2008, n. 81, nonché del collaudatore ovvero della commissione di collaudo, del verificatore della conformità e accerta il corretto ed effettivo svolgimento delle funzioni ad ognuno affidate.
2. Per il coordinamento, la direzione ed il controllo tecnico-contabile dell'esecuzione dei contratti pubblici relativi a lavori, le stazioni appaltanti individuano, prima dell'avvio delle procedure per l'affidamento, su proposta del responsabile unico del procedimento, un direttore dei lavori che può essere coadiuvato, in relazione alla complessità dell'intervento, da uno o più direttori operativi e da ispettori di cantiere.
3. Il direttore dei lavori, con l'ufficio di direzione lavori, ove costituito, è preposto al controllo tecnico, contabile e amministrativo dell'esecuzione dell'intervento affinché i lavori siano eseguiti a regola d'arte ed in conformità al progetto e al contratto. Il direttore dei lavori ha la responsabilità del coordinamento e della supervisione dell'attività di tutto l'ufficio di direzione dei lavori, ed interloquisce in via esclusiva con l'esecutore in merito agli aspetti tecnici ed economici del contratto. Il direttore dei lavori ha la specifica responsabilità dell'accettazione dei materiali, sulla base anche del controllo quantitativo e qualitativo degli accertamenti ufficiali delle caratteristiche meccaniche e in aderenza alle disposizioni delle norme tecniche per le costruzioni vigenti. Al direttore dei lavori fanno carico tutte le attività ed i compiti allo stesso espressamente demandati dal codice nonché:
  - a) verificare periodicamente il possesso e la regolarità da parte dell'esecutore e del subappaltatore della documentazione prevista dalle leggi vigenti in materia di obblighi nei confronti dei dipendenti;
  - b) curare la costante verifica di validità del programma di manutenzione, dei manuali d'uso e dei manuali di manutenzione, modificandone e aggiornandone i contenuti a lavori ultimati;
  - c) provvedere alla segnalazione al responsabile del procedimento, dell'inosservanza, da parte dell'esecutore, dell'articolo 105;
  - d) svolgere, qualora sia in possesso dei requisiti richiesti dalla normativa vigente sulla sicurezza, le funzioni di coordinatore per l'esecuzione dei lavori. Nel caso in cui il direttore dei lavori non svolga tali funzioni le stazioni appaltanti prevedono la presenza di almeno un direttore operativo, in possesso dei requisiti previsti dalla normativa, a cui affidarle. {disposizione modificata dal d.lgs. 56-2017 in vigore dal 20-5-2017}.

4. Gli assistenti con funzioni di direttori operativi collaborano con il direttore dei lavori nel verificare che le lavorazioni di singole parti dei lavori da realizzare siano eseguite regolarmente e nell'osservanza delle clausole contrattuali. Essi rispondono della loro attività direttamente al direttore dei lavori. Ai direttori operativi possono essere affidati dal direttore dei lavori, fra gli altri, i seguenti compiti:

- a) verificare che l'esecutore svolga tutte le pratiche di legge relative alla denuncia dei calcoli delle strutture;
- b) programmare e coordinare le attività dell'ispettore dei lavori;
- c) curare l'aggiornamento del cronoprogramma generale e particolareggiato dei lavori e segnalare tempestivamente al direttore dei lavori le eventuali difformità rispetto alle previsioni contrattuali proponendo i necessari interventi correttivi;
- d) assistere il direttore dei lavori nell'identificare gli interventi necessari ad eliminare difetti progettuali o esecutivi;
- e) individuare ed analizzare le cause che influiscono negativamente sulla qualità dei lavori e proponendo al direttore dei lavori le adeguate azioni correttive;
- f) assistere i collaudatori nell'espletamento delle operazioni di collaudo;
- g) esaminare e approvare il programma delle prove di collaudo emessa in servizio degli impianti;
- h) direzione di lavorazioni specialistiche.

5. Gli assistenti con funzioni di ispettori di cantiere collaborano con il direttore dei lavori nella sorveglianza dei lavori in conformità delle prescrizioni stabilite nel capitolato speciale di appalto. La posizione di ispettore è ricoperta da una sola persona che esercita la sua attività in un turno di lavoro. Essi sono presenti a tempo pieno durante il periodo di svolgimento di lavori che richiedono controllo quotidiano, nonché durante le fasi di collaudo e delle eventuali manutenzioni. Essi rispondono della loro attività direttamente al direttore dei lavori. Agli ispettori possono essere affidati fra gli altri i seguenti compiti:

- a) la verifica dei documenti di accompagnamento delle forniture di materiali per assicurare che siano conformi alle prescrizioni ed approvati dalle strutture di controllo di qualità del fornitore; {disposizione corretta con errata corrige del 15-07-2016}.
- b) la verifica, prima della messa in opera, che i materiali, le apparecchiature e gli impianti abbiano superato le fasi di collaudo prescritte dal controllo di qualità o dalle normative vigenti o dalle prescrizioni contrattuali in base alle quali sono stati costruiti;
- c) il controllo sulla attività dei subappaltatori;
- d) il controllo sulla regolare esecuzione dei lavori con riguardo ai disegni ed alle specifiche tecniche contrattuali;
- e) l'assistenza alle prove di laboratorio;
- f) l'assistenza ai collaudi dei lavori ed alle prove di messa in esercizio ed accettazione degli impianti;
- g) la predisposizione degli atti contabili e l'esecuzione delle misurazioni quando siano stati incaricati dal direttore dei lavori;
- h) l'assistenza al coordinatore per l'esecuzione.

6. Per le funzioni del coordinatore per l'esecuzione dei lavori si applica l'articolo 92 comma 1 del decreto legislativo n. 81 del 2008.

6-bis. Per i servizi e le forniture di particolare importanza, da individuarsi con il decreto di cui all'articolo 111, comma 1, primo periodo, la stazione appaltante, su indicazione del direttore dell'esecuzione, può nominare un assistente del direttore dell'esecuzione, con le funzioni indicate dal medesimo decreto. {disposizione introdotta dal d.lgs. 56-2017 in vigore dal 20-5-2017}.



**1** JDS + BIG, Mountain Dwellings, Copenhagen, Danimarca, 2008.



**2** Bernard Khoury, Plot # 4371, Beirut, Libano, 2015.



**3** **4** Bernard Khoury, Plot # 450, Beirut, Libano, 2014 in costruzione.



## IL COLLAUDO

Per **collaudo** si intendono tutte quelle operazioni di verifica, sia in corso d'opera che a opera ultimata, di natura **tecnico amministrativa, statica e/o funzionale**, di rispondenza dell'opera stessa alle previsioni progettuali, alla normativa sovraordinata e alle qualità prestazionali previste e rispondenti alla buona regola dell'arte. È l'art. 102 del decreto legislativo 18 aprile 2016, n. 50 a definire il collaudo (l'art. 150 per i Beni Culturali):

Art. 102. (Collaudo e verifica di conformità)

1. Il responsabile unico del procedimento controlla l'esecuzione del contratto congiuntamente al direttore dei lavori per i lavori e al direttore dell'esecuzione del contratto per i servizi e forniture. {disposizione modificata dal d.lgs. 56-2017 in vigore dal 20-5-2017}.

2. I contratti pubblici sono soggetti a collaudo per i lavori e a verifica di conformità per i servizi e per le forniture, per certificare che l'oggetto del contratto in termini di prestazioni, obiettivi e caratteristiche tecniche, economiche e qualitative sia stato realizzato ed eseguito nel rispetto delle previsioni e delle pattuizioni contrattuali. Per i contratti pubblici di lavori di importo superiore a 1 milione di euro e inferiore alla soglia di cui all'articolo 35 il certificato di collaudo, nei casi espressamente individuati dal decreto di cui al comma 8, può essere sostituito dal certificato di regolare esecuzione rilasciato per i lavori dal direttore dei lavori. Per i lavori di importo pari o inferiore a 1 milione di euro e per forniture e servizi di importo inferiore alla soglia di cui all'articolo 35, è sempre facoltà della stazione appaltante sostituire il certificato di collaudo o il certificato di verifica di conformità con il certificato di regolare esecuzione rilasciato per i lavori dal direttore dei lavori e per forniture e servizi dal responsabile unico del procedimento. Nei casi di cui al presente comma il certificato di regolare esecuzione è emesso non oltre tre mesi dalla data di ultimazione delle prestazioni oggetto del contratto. {disposizione modificata dal d.lgs. 56-2017 in vigore dal 20-5-2017}.

3. Il collaudo finale o la verifica di conformità deve avere luogo non oltre sei mesi dall'ultimazione dei lavori o delle prestazioni, salvi i casi, individuati dal decreto del Ministro delle infrastrutture e dei trasporti di cui al comma 8, di particolare complessità dell'opera o delle prestazioni da collaudare, per i quali il termine può essere elevato sino ad un anno. Il certificato di collaudo o il certificato di verifica di conformità ha carattere provvisorio e assume carattere definitivo decorsi due anni dalla sua emissione. Decorso tale termine, il collaudo si intende tacitamente approvato ancorché l'atto formale di approvazione non sia stato emesso entro due mesi dalla scadenza del medesimo termine. {disposizione modificata dal d.lgs. 56-2017 in vigore dal 20-5-2017}.

4. {disposizione abrogata dal d.lgs. 56-2017 in vigore dal 20-5-2017}.

5. Salvo quanto disposto dall'articolo 1669 del codice civile, l'appaltatore risponde per la difformità e i vizi dell'opera o delle prestazioni, ancorché riconoscibili, purché denunciati dalla stazione appaltante prima che il certificato di collaudo assuma carattere definitivo. {disposizione modificata dal d.lgs. 56-2017 in vigore dal 20-5-2017}.

6. Per effettuare le attività di collaudo sull'esecuzione dei contratti pubblici di cui al comma 2, le stazioni appaltanti nominano tra i propri dipendenti o dipendenti di altre amministrazioni pubbliche da uno a tre componenti con qualificazione rapportata alla tipologia e caratteristica del contratto, in possesso dei requisiti di moralità, competenza e professionalità, iscritti all'albo dei collaudatori nazionale o regionale



di pertinenza come previsto al comma 8 del presente articolo. Il compenso spettante per l'attività di collaudo è contenuto, per i dipendenti della stazione appaltante, nell'ambito dell'incentivo di cui all'articolo 113, mentre per i dipendenti di altre amministrazioni pubbliche è determinato ai sensi della normativa applicabile alle stazioni appaltanti e nel rispetto delle disposizioni di cui all'articolo 61, comma 9, del decreto-legge 25 giugno 2008, n. 112, convertito, con modificazioni, dalla legge 6 agosto 2008, n. 133. Per i lavori, tra i dipendenti della stazione appaltante ovvero tra i dipendenti delle altre amministrazioni, è individuato il collaudatore delle strutture per la redazione del collaudo statico. Per accertata carenza nell'organico della stazione appaltante, ovvero di altre amministrazioni pubbliche, le stazioni appaltanti individuano i componenti con le procedure di cui all'articolo 31, comma 8. {disposizione modificata dal d.lgs. 56-2017 in vigore dal 20-5-2017}.

7. Non possono essere affidati incarichi di collaudo e di verifica di conformità:

a) ai magistrati ordinari, amministrativi e contabili, e agli avvocati e procuratori dello Stato, in attività di servizio e, per appalti di lavori pubblici di importo pari o superiore alle soglie di rilevanza comunitaria di cui all'articolo 35 a quelli in quiescenza nella regione/regioni ove è stata svolta l'attività di servizio;

b) ai dipendenti appartenenti ai ruoli della pubblica amministrazione in servizio, ovvero in trattamento di quiescenza per appalti di lavori pubblici di importo pari o superiore alle soglie di rilevanza comunitaria di cui all'articolo 35 ubicati nella regione/regioni ove è svolta per i dipendenti in servizio, ovvero è stata svolta per quelli in quiescenza, l'attività di servizio;

{disposizione modificata dal d.lgs. 56-2017 in vigore dal 20-5-2017}.

c) a coloro che nel triennio antecedente hanno avuto rapporti di lavoro autonomo o subordinato con gli operatori economici a qualsiasi titolo coinvolti nell'esecuzione del contratto;

d) a coloro che hanno, comunque, svolto o svolgono attività di controllo, verifica, progettazione, approvazione, autorizzazione, vigilanza o direzione sul contratto da collaudare.

d-bis) a coloro che hanno partecipato alla procedura di gara {disposizione introdotta dal d.lgs. 56-2017 in vigore dal 20-5-2017}.

8. Con decreto del Ministro delle infrastrutture e dei trasporti, su proposta del Consiglio superiore dei lavori pubblici, sentita l'ANAC, sono disciplinate e definite le modalità tecniche di svolgimento del collaudo, nonché i casi in cui il certificato di collaudo dei lavori e il certificato di verifica di conformità possono essere sostituiti dal certificato di regolare esecuzione rilasciato ai sensi del comma 2. Fino alla data di entrata in vigore di detto decreto, si applica l'articolo 216, comma 16, anche con riferimento al certificato di regolare esecuzione, rilasciato ai sensi del comma 2.

Nel medesimo decreto sono altre sì disciplinate le modalità e le procedure di predisposizione degli albi dei collaudatori, di livello nazionale e regionale, nonché i criteri di iscrizione secondo requisiti di moralità, competenza e professionalità. {disposizione modificata dal d.lgs. 56-2017 in vigore dal 20-5-2017}.

9. Al termine del lavoro sono redatti:

a) per i beni del patrimonio culturale un consuntivo scientifico predisposto dal direttore dei lavori o, nel caso di interventi su beni culturali mobili, superfici decorate di beni architettonici e a materiali storicizzati di beni immobili di interesse storico artistico o archeologico, da restauratori di beni culturali, ai sensi della normativa vigente, quale ultima fase del processo della conoscenza e del restauro e quale premessa per il futuro programma di intervento sul bene; i costi per la elaborazione del consuntivo scientifico sono previsti nel quadro economico dell'intervento;

b) l'aggiornamento del piano di manutenzione;

c) una relazione tecnico-scientifica redatta dai professionisti afferenti alle rispettive competenze, con l'esplicitazione dei risultati culturali e scientifici raggiunti. {rubrica dell'articolo modificata dal d.lgs. 56-2017 in vigore dal 20-5-2017}.

# I SOGGETTI DELLE ST

art. 101 comma 1 dlgs 50/2016 (in

## RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO (Rup)

art. 31 c1 – dlgs 50/2016

- programmazione
- progettazione
- affidamento
- esecuzione

## DIRETTORE DEI LAVORI

art. 101 c3 dlgs 50/2016

- coordinamento
- supervisione ufficio direzione lavori
- direzione operazioni cantiere
- controllo tecnico, contabile e amministrativo

art. 101 c3 dlgs 50/2016

Il direttore dei lavori generalmente svolge anche la funzione di coordinatore in materia sicurezza e salute qualora ne abbia i requisiti.

art. 102 c2 dlgs 50/2016

### CERTIFICATO DI REGOLARE ESECUZIONE

Per i contratti sotto soglia il certificato di collaudo può essere sostituito dal certificato di regolare esecuzione rilasciato dal direttore dei lavori.

## APPALTO DI LAVORI

## COLLAUDATORE

- verifica che l'opera sia eseguita correttamente (a regola d'arte, secondo il progetto e le relative prescrizioni tecniche)
- effettua le visite in corso d'opera
- effettua la visita definitiva di collaudo
- certifica la regolare esecuzione dell'opera
- emette il certificato di collaudo

## COORDINATORE SICUREZZA

art. 92 dlgs 81/08

- verifica rispetto del PSC
- verifica idoneità del POS
- propone al Rup la sospensione dei lavori
- sospende direttamente i lavori

# TAZIONI APPALTANTI

(integrato e corretto dal dlgs 56/2017)



## art. 31 c4– dlgs 50/2016

- formula proposte e fornisce dati e informazioni per il programma triennale
- cura il controllo sui livelli di prestazione, di qualità e di prezzo
- cura il corretto svolgimento delle procedure
- segnala eventuali disfunzioni, impedimenti, ritardi
- accerta la libera disponibilità di aree e immobili necessari
- sorveglia sulla gestione economica dell'intervento
- propone l'indizione della conferenza di servizi
- verifica e vigila sul rispetto delle prescrizioni contrattuali nelle concessioni

Il direttore dell'esecuzione di norma coincide con il Rup.

Non può coincidere con il Rup nei casi che saranno stabiliti da apposito decreto sulla base delle linee guida dell'Anac

## DIRETTORE DELL'ESECUZIONE

art. 111 c2 dlgs 50/2016

- coordinamento
- direzione operazioni cantiere
- controllo tecnico, contabile e amministrativo



# CONTRATTO DI FORNITURE E/O SERVIZI

art. 102 c2 dlgs 50/2016

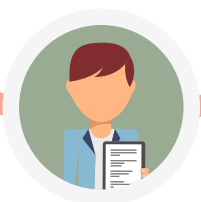
## CERTIFICATO DI REGOLARE ESECUZIONE

Per i contratti sotto soglia il certificato di verifica di conformità può essere sostituito dal certificato di regolare esecuzione rilasciato dal Rup su richiesta del direttore dell'esecuzione, se nominato.

## VERIFICATORE DELLA CONFORMITÀ

art. 102 C2 dlgs 81/08

svolge funzioni analoghe a quelle del collaudatore



## IL COLLAUDO TECNICO AMMINISTRATIVO

Ultimati i lavori e verificati nel corso dell'esecuzione, l'organo di collaudo, qualora ritenga collaudabile il lavoro, emette il certificato di collaudo che deve contenere:

a. una relazione che ripercorra l'intera vicenda dell'appalto dalla progettazione all'esecuzione, indicando puntualmente:

- il titolo dell'opera o del lavoro;
- la località e la provincia interessate;
- la data e l'importo del progetto e delle eventuali successive varianti;
- gli estremi del contratto e degli eventuali atti di sottomissione e atti aggiuntivi, nonché quelli dei rispettivi provvedimenti approvativi;
- il quadro economico recante gli importi autorizzati;
- l'indicazione dell'esecutore;
- il nominativo del direttore dei lavori e degli eventuali altri componenti l'ufficio di direzione lavori;
- il tempo prescritto per l'esecuzione dei lavori, con l'indicazione delle eventuali proroghe;
- le date dei processi verbali di consegna, di sospensione, di ripresa e di ultimazione dei lavori;
- la data e gli importi riportati nel conto finale;
- l'indicazione di eventuali danni di forza maggiore e di infortuni verificatisi;
- la posizione dell'esecutore e dei subappaltatori nei riguardi degli adempimenti assicurativi e previdenziali;
- gli estremi del provvedimento di nomina dell'organo di collaudo.

b. il richiamo agli eventuali verbali di visita in corso d'opera (da allegare);

c. il verbale della visita definitiva (ovvero il richiamo ad esso se costituisce un documento a parte);

d. la sintesi delle valutazioni dell'organo di collaudo circa la collaudabilità dell'opera;

e. la certificazione di collaudo.

Nella certificazione l'organo di collaudo:

a. riassume per sommi capi il costo del lavoro indicando partitamente le modificazioni, le aggiunte e le deduzioni al conto finale;

b. determina la somma da porsi a carico dell'esecutore per danni da rifondere alla stazione appaltante per maggiori spese dipendenti dall'esecuzione d'ufficio in

- danno o per altro titolo; la somma da rimborsare alla stessa stazione appaltante per le spese sostenute per i propri addetti ai lavori, oltre il termine convenuto per il compimento degli stessi;
- c. dichiara, fatte salve le rettifiche che può apportare l'ufficio in sede di revisione, l'importo a saldo da liquidare all'esecutore;
- d. attesta la collaudabilità dell'opera o del lavoro con le eventuali prescrizioni.

## IL COLLAUDO STATICO

Il **collaudo statico** si riferisce prevalentemente alla verifica e approvazione della realizzazione di un'opera da punto di vista delle strutture. Il collaudo statico si riferisce all'art.7 della legge 5-11-1971, n.1086, oltre che al controllo del corretto adempimento delle prescrizioni formali di cui agli artt. 4, 6 e 9 della medesima legge, nonché dell'art. 5 ove il collaudo sia stato affidato in corso d'opera, si compone generalmente di una "Relazione di Visita e Certificato di Collaudo" conforme al cap. 9 d.m. 14.01.2008 e all'art. 67 d.P.R. 380/2001, e riporta, al suo interno, le seguenti informazioni/adempimenti tecnici:

- RIFERIMENTI ED AUTORIZZAZIONI
  - il riferimento dei depositi all'Ufficio cementi armati (Genio Civile, Ufficio Regionale Competente ecc.): protocollo e data del deposito e delle eventuali integrazioni;
  - il riferimento alle autorizzazioni rilasciate dai competenti Uffici comunali, Provinciali ecc.;
  - il riferimento alla Relazione a Struttura Ultimata redatta dal Direttore dei Lavori;
  - l'eventuale riferimento alla Relazione a Struttura Ultimata redatta dal Direttore dei Lavori per le opere di montaggio di strutture fuori opera (stabilimento ecc.);
  - l'eventuale riferimento alla Relazione a Struttura Ultimata redatta dal Direttore dei Lavori per le strutture prefabbricate, in c.a.p., per le strutture metalliche, in legno, eseguite con materiali innovativi ecc.;
  - il riferimento alle figure intervenute nei lavori:
    - il committente;
    - i progettisti;

- il progettista architettonico dell'opera;
  - il progettista delle strutture;
  - il progettista delle strutture prefabbricate;
  - il direttore dei lavori;
  - l'eventuale direttore dei lavori nello stabilimento di produzione;
  - il direttore dei lavori delle opere prefabbricate;
  - le imprese intervenute nel corso dei lavori e le loro mansioni.
- LA DESCRIZIONE DELL'OPERA
    - descrizione dell'opera: (contenente una breve descrizione; i riferimenti catastali; i principali dati metrici ecc.);
    - descrizione delle strutture<sup>2</sup> articolata almeno nei seguenti punti:
      - a. sistema costruttivo/concezione strutturale;
      - b. descrizione delle principali opere strutturali;
      - c. cenni sul terreno di fondazione – interazione terreno/struttura;
      - d. metodi di calcolo e riferimenti normativi;
      - e. comportamento sotto sisma: parametri utilizzati per il dimensionamento;
      - f. classe d'uso e vita nominale;
      - g. eventuale resistenza al fuoco delle strutture;
      - h. interferenze/valutazione della sicurezza con strutture esistenti (in rif. al Capitolo 8 del DM 14.01.2008) per interventi sul costruito;
      - i. le norme tecniche di riferimento.
  - DESCRIZIONE DEI MATERIALI IMPIEGATI E DEI CONTROLLI IN CORSO D'OPERA  
Come precisato nella relazione di calcolo e nella relazione illustrativa, quali ad esempio:
    - calcestruzzo;
    - acciaio per armatura lenta;
    - ferro;
    - acciaio laminato per carpenteria
    - legno/legno lamellare;
    - materiali innovativi.

---

<sup>2</sup> Ispezione generale dell'opera nel suo complesso con particolare riguardo a quelle strutture o parti di strutture più significative da confrontare con i disegni esecutivi depositati in cantiere ed esame dell'impostazione generale della progettazione strutturale, degli schemi di calcolo e delle azioni considerate.



- CERTIFICAZIONI DEI MATERIALI E DEI COMPONENTI

- Le certificazioni relative ai materiali utilizzati citando le certificazioni di origine/conformità/marcatura CE; i certificati delle prove eseguite a cura di laboratori ufficiali;
- le eventuali certificazioni di centri di trasformazione;
- altri documenti previsti dalla normativa in relazione a specifici materiali o prodotti, quali, tra gli altri:
  - il calcestruzzo;
  - l'acciaio da cemento armato;
  - i componenti prefabbricati in c.a./c.a.p.;
  - le reti elettrosaldate;
  - l'acciaio da carpenteria;
  - il legno/legno Lamellare;
  - i dispositivi di appoggio;
  - i dispositivi di isolamento sismico;
  - i componenti speciali – materiali innovativi.

- PROVE DI CARICO IN CORSO D'OPERA

Nell'ambito della propria discrezionalità, il collaudatore potrà richiedere:

a. di effettuare quegli accertamenti utili per formarsi il convincimento della sicurezza dell'opera, quali:

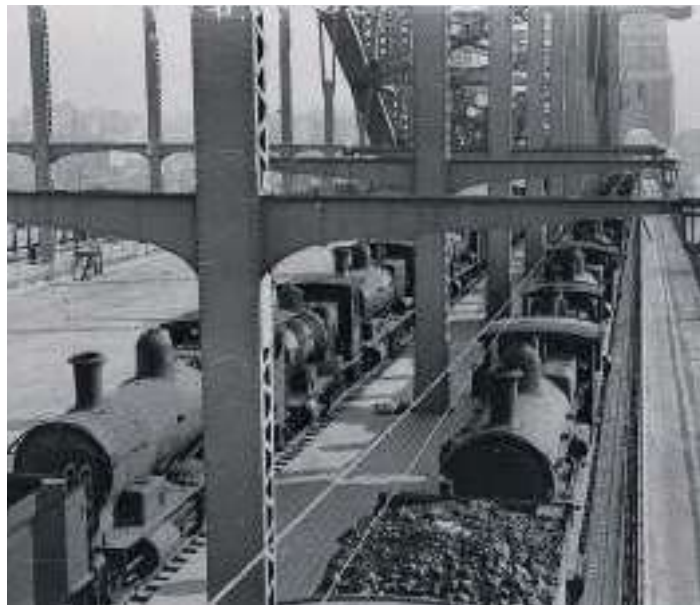
- prove di carico da eseguirsi;
- saggi diretti sui conglomerati con prelievi di campioni e controllo delle armature;
- controlli non distruttivi sulle strutture.

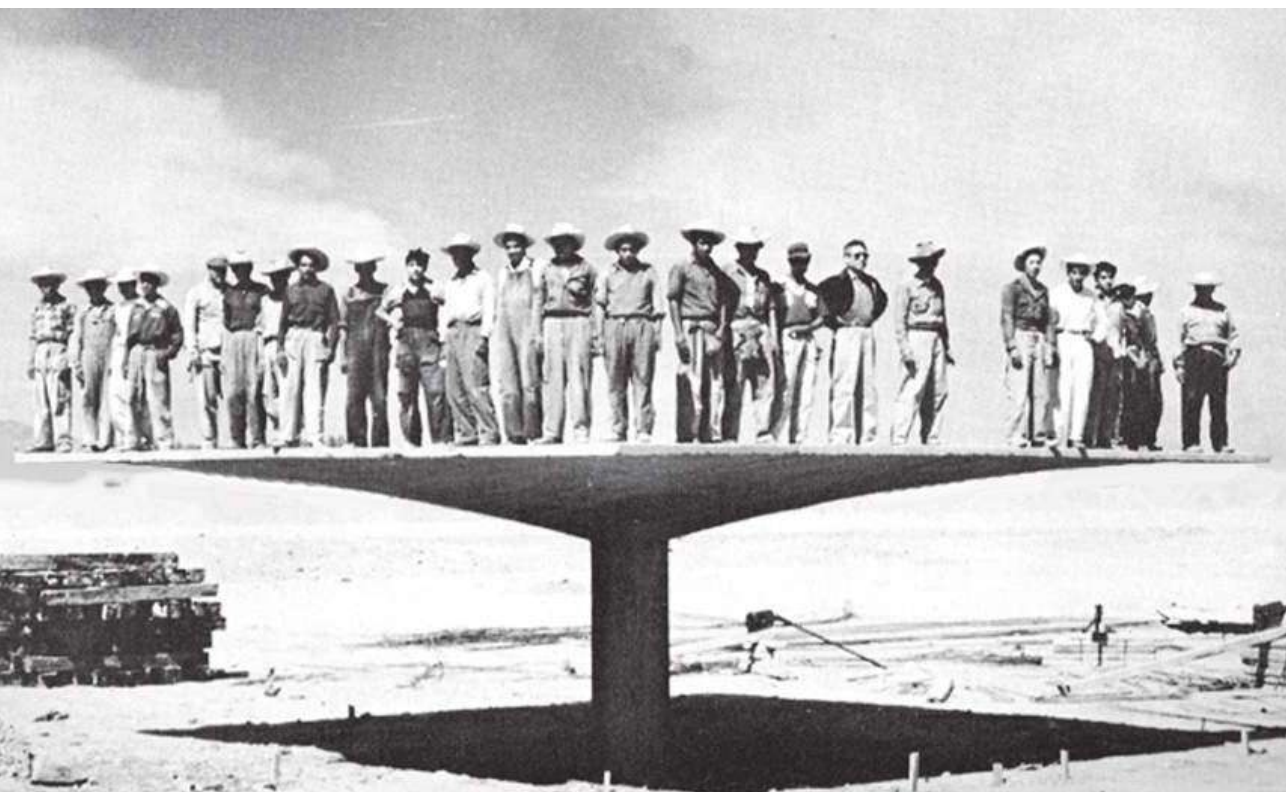
b. documentazioni integrative di progetto.

- PROVE DI CARICO

Le prove di carico, ove ritenute necessarie dal collaudatore, rispetteranno le modalità sottoindicate, e non potranno avere luogo prima che sia stata raggiunta la resistenza che caratterizza la classe di conglomerato prevista e, in mancanza di precisi accertamenti al riguardo, non prima di 28 giorni dalla ultimazione del getto. Il programma delle prove deve essere sottoposto al direttore dei lavori ed al progettista e reso noto al costruttore.

Le prove di carico si devono svolgere con le modalità indicate dal collaudatore che se ne assume la piena responsabilità, mentre, per quanto riguarda la loro materiale attuazione e in particolare per le eventuali puntellazioni precauzionali, è responsabile il direttore dei lavori.





**5 6 7 8 9 10** Prove di carico.

I carichi di prova devono essere, di regola, tali da indurre le sollecitazioni massime di esercizio per combinazioni rare. In relazione al tipo della struttura ed alla natura dei carichi, le prove devono essere convenientemente protratte nel tempo.

L'esito della prova potrà essere valutato sulla base dei seguenti elementi:

- le deformazioni si accrescano all'incirca proporzionalmente ai carichi;
- nel corso della prova non si siano prodotte lesioni, dissesti o deformazioni che compromettano la sicurezza o la conservazione dell'opera;
- la deformazione residua dopo la prima applicazione del carico massimo non superi una quota parte di quella totale commisurata ai prevedibili assestamenti iniziali di tipo anelastico della struttura oggetto della prova. Nel caso invece che tale limite venga superato, prove di carico successive accertino che la struttura tenda ad un comportamento elastico;
- la deformazione elastica risulti non maggiore di quella calcolata.

Nel calcolo è necessario tenere conto dell'eventuale presenza di microfessurazioni del calcestruzzo.

Qualora le opere siano ultimate prima della nomina del collaudatore, le prove di carico possono essere eseguite dal direttore dei lavori, che ne redige verbale sottoscrivendolo assieme al costruttore.

È facoltà del collaudatore controllare, far ripetere ed integrare le prove precedentemente eseguite.

#### ▪ VISITE DI COLLAUDO

Va indicata la data delle visite effettuate, le operazioni o le prove effettuate ed il relativo esito (ad es.: prove sclerometriche, pull-out ecc.), oltre alla visita finale di collaudo.

#### ▪ EVENTUALI OSSERVAZIONI

#### ▪ PIANO DI MANUTENZIONE DELLE OPERE STRUTTURALI

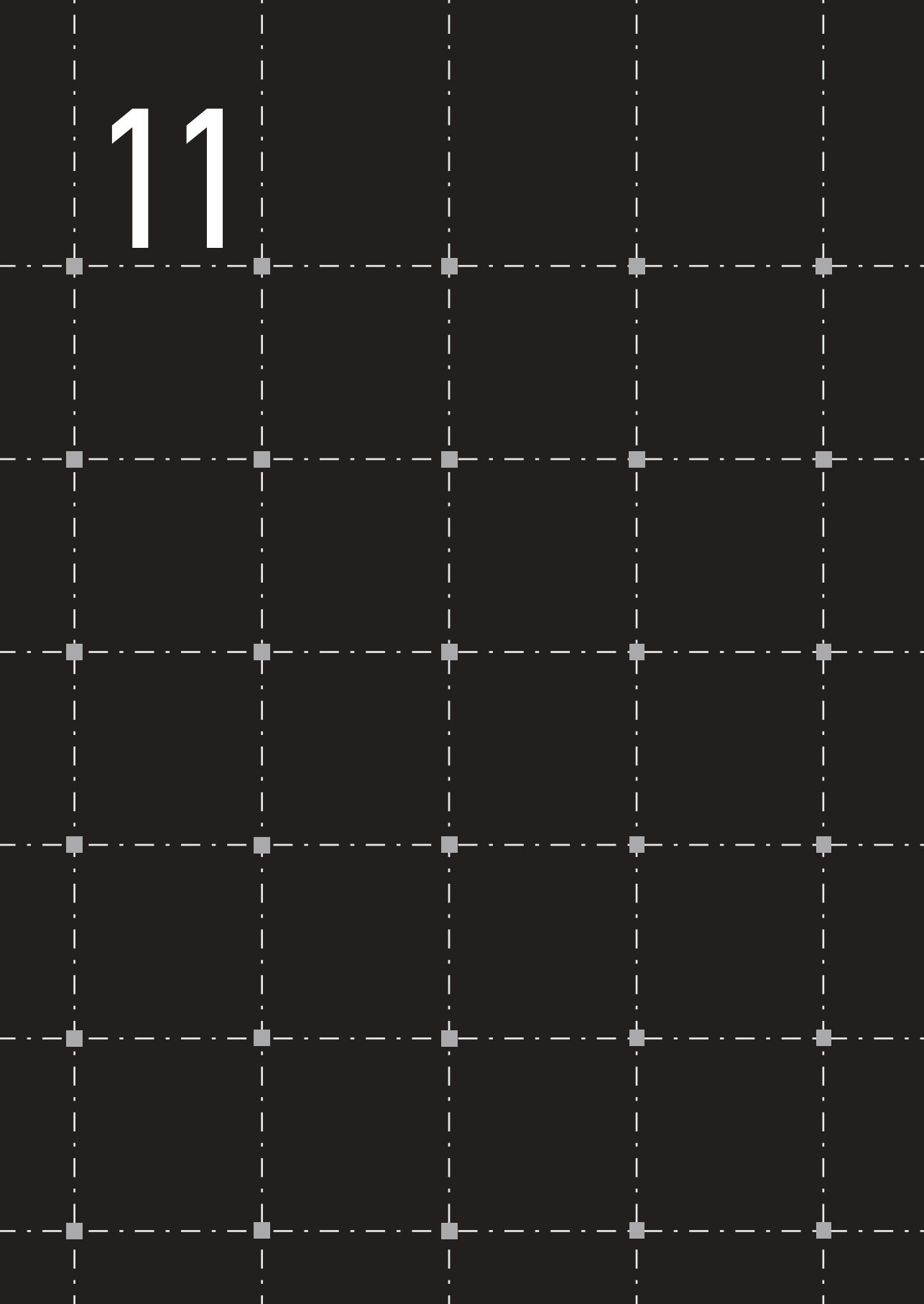
#### ▪ CERTIFICATO DI COLLAUDO

## IL COLLAUDO FUNZIONALE

Il **collaudo funzionale** è riferito, generalmente, ad opere impiantistiche, ma può riguardare anche manufatti di ingegneria civile quali dighe, centrali idroelettriche ecc. Il collaudo funzionale ha di norma i seguenti contenuti:

- relazione illustrativa dell'opera con riguardo alla parte impiantistica e/o alla parte di cui va verificato il funzionamento;
- copia di tutti gli elaborati di progetto;
- esame dell'impostazione generale della progettazione e degli schemi di calcolo, del materiale e delle apparecchiature previste;
- esame della documentazione prodotta dalla D.L. (da allegare in copia);
- verbale delle visite di collaudo e delle operazioni effettuate;
- rapporti di prova relativi a tutti i rilievi e le misurazioni effettuate per controllo e verifica;
- certificato di collaudo.

11





# TUTELA DELLA SALUTE E DELLA SICUREZZA NEI CANTIERI TEMPORANEI O MOBILI<sup>1</sup>

Tema centrale nella realizzazione di opere architettoniche ed edilizie, nella conduzione di un cantiere, è la questione della “tutela della salute e della sicurezza nei cantieri temporanei o mobili”.

In Italia la normativa di riferimento è rappresentata, oggi<sup>2</sup>, dal titolo IV del decreto legislativo 81/08.

---

1 Testo di Maurizio Bradaschia.

2 La questione si inizia a trattare, in Italia, in maniera compiuta, con il decreto del Presidente della Repubblica 7 Gennaio 1956, N. 164, Norme per la prevenzione degli infortuni sul lavoro nelle costruzioni. Seguono, quali derivazioni di Direttive Comunitarie, la Legge 626 del 1994, che rese più moderna la sicurezza sul lavoro in Italia e venne introdotta sia per abrogare le leggi precedenti sia per recepire tutte le normative europee per ciò che riguardava la salute e la sicurezza dei lavoratori. Le principali novità introdotte da questo decreto furono il Servizio di Prevenzione e Protezione, la figura dell'RSPP, suo Responsabile e la figura dell'RLS, il Rappresentante dei Lavoratori per la Sicurezza, che funge da tramite tra lavoratori e datore di lavoro. Rispetto al d.P.R. 547/55 il datore di lavoro con la l. 626/94 diventa responsabile del processo di miglioramento della sicurezza del luogo di lavoro e non più solo “debitore della sicurezza nei posti di lavoro”, per questo viene obbligato dallo stesso decreto a redigere un Documento di Valutazione dei Rischi. Questa Legge, non riferita direttamente ai cantieri edili, era la “madre” del decreto legislativo 14 agosto 1996, n. 494, “Attuazione della direttiva 92/57/CEE, concernente le prescrizioni minime di sicurezza e di salute da attuare nei cantieri temporanei o mobili”. Seguirono il decreto legislativo 19 novembre 1999, n. 528, “Modifiche ed integrazioni al decreto legislativo 14 agosto 1996, n. 494, recante attuazione della direttiva 92/57/CEE in materia di prescrizioni minime di sicurezza e di salute da osservare nei cantieri temporanei o mobili”, e il decreto del Presidente della Repubblica 3 luglio 2003, n. 222, Regolamento sui contenuti minimi dei piani di sicurezza nei cantieri temporanei o mobili, in attuazione dell'art. 31, comma 1, della legge 11 febbraio 1994, n. 109.

È il **capo I** a dare la definizione di “cantiere temporaneo o mobile”: “cantiere temporaneo o mobile è qualunque luogo in cui si effettuano lavori edili o di ingegneria civile”. Lo stesso capo fornisce tutte le definizioni<sup>3</sup> utili alla comprensione del testo legislativo e alla sua applicazione finalizzata alla tutela della salute e della sicurezza. In particolare, oltre a definire il “cantiere”, fornisce anche le definizioni delle figure coinvolte nella realizzazione di un’opera: il committente, il responsabile dei lavori, il coordinatore per la sicurezza in fase di progettazione, il coordinatore per la sicurezza in fase di esecuzione ecc.

### 3 Articolo 89 - Definizioni

1. Agli effetti delle disposizioni di cui al presente capo si intendono per:

a) cantiere temporaneo o mobile, di seguito denominato: “cantiere”: qualunque luogo in cui si effettuano lavori edili o di ingegneria civile il cui elenco è riportato nell'allegato X.

b) committente: il soggetto per conto del quale l'intera opera viene realizzata, indipendentemente da eventuali frazionamenti della sua realizzazione. Nel caso di appalto di opera pubblica, il committente è il soggetto titolare del potere decisionale e di spesa relativo alla gestione dell'appalto;

c) responsabile dei lavori: soggetto che può essere incaricato dal committente per svolgere i compiti ad esso attribuiti dal presente decreto; nel campo di applicazione del decreto legislativo 12 aprile 2006, n. 163, e successive modificazioni, il responsabile dei lavori è il responsabile del procedimento;

d) lavoratore autonomo: persona fisica la cui attività professionale contribuisce alla realizzazione dell'opera senza vincolo di subordinazione;

e) coordinatore in materia di sicurezza e di salute durante la progettazione dell'opera, di seguito denominato coordinatore per la progettazione: soggetto incaricato, dal committente o dal responsabile dei lavori, dell'esecuzione dei compiti di cui all'articolo 91;

f) coordinatore in materia di sicurezza e di salute durante la realizzazione dell'opera, di seguito denominato coordinatore per l'esecuzione dei lavori: soggetto incaricato, dal committente o dal responsabile dei lavori, dell'esecuzione dei compiti di cui all'articolo 92, che non può essere il datore di lavoro delle imprese affidatarie ed esecutrici o un suo dipendente o il responsabile del servizio di prevenzione e protezione (RSPP) da lui designato. Le incompatibilità di cui al precedente periodo non operano in caso di coincidenza fra committente e impresa esecutrice;

g) uomini-giorno: entità presunta del cantiere rappresentata dalla somma delle giornate lavorative prestate dai lavoratori, anche autonomi, previste per la realizzazione dell'opera;

h) piano operativo di sicurezza: il documento che il datore di lavoro dell'impresa esecutrice redige, in riferimento al singolo cantiere interessato, ai sensi dell'articolo 17 comma 1, lettera a), i cui contenuti sono riportati nell'allegato XV;

i) impresa affidataria: impresa titolare del contratto di appalto con il committente che, nell'esecuzione dell'opera appaltata, può avvalersi di imprese subappaltatrici o di lavoratori autonomi.

Nel caso in cui titolare del contratto di appalto sia un consorzio tra imprese che svolga la funzione di promuovere la partecipazione delle imprese aderenti agli appalti pubblici o privati, anche privo di personale deputato alla esecuzione dei lavori, l'impresa affidataria è l'impresa consorziata assegnataria dei lavori oggetto del contratto di appalto individuata dal consorzio nell'atto di assegnazione dei lavori comunicato al committente o, in caso di pluralità di imprese consorziate assegnatarie di lavori, quella indicata nell'atto di assegnazione dei lavori come affidataria, sempre che abbia espressamente accettato tale individuazione;

i-bis) impresa esecutrice: impresa che esegue un'opera o parte di essa impegnando proprie risorse umane e materiali;

l) idoneità tecnico-professionale: possesso di capacità organizzative, nonché disponibilità di forza lavoro, di macchine e di attrezzature, in riferimento ai lavori da realizzare.

L'articolo 91 del citato decreto definisce gli obblighi del coordinatore per la progettazione:

1. Durante la progettazione dell'opera e comunque prima della richiesta di presentazione delle offerte, il coordinatore per la progettazione:

- a. redige il piano di sicurezza e di coordinamento di cui all'articolo 100, comma 1, i cui contenuti sono dettagliatamente specificati nell'allegato XV<sup>4</sup>;

---

4 ALLEGATO XV - Contenuti minimi dei piani di sicurezza nei cantieri temporanei o mobili

## 1. DISPOSIZIONI GENERALI

### 1.1. - Definizioni e termini di efficacia

1.1.1. Ai fini del presente allegato si intendono per:

- a) scelte progettuali ed organizzative: insieme di scelte effettuate in fase di progettazione dal progettista dell'opera in collaborazione con il coordinatore per la progettazione, al fine di garantire l'eliminazione o la riduzione al minimo dei rischi di lavoro. Le scelte progettuali sono effettuate nel campo delle tecniche costruttive, dei materiali da impiegare e delle tecnologie da adottare; le scelte organizzative sono effettuate nel campo della pianificazione temporale e spaziale dei lavori;
- b) procedure: le modalità e le sequenze stabilite per eseguire un determinato lavoro od operazione;
- c) apprestamenti: le opere provvisorie necessarie ai fini della tutela della salute e della sicurezza dei lavoratori in cantiere;
- d) attrezzatura di lavoro: qualsiasi macchina, apparecchio, utensile o impianto destinato ad essere usato durante il lavoro;
- e) misure preventive e protettive: gli apprestamenti, le attrezzature, le infrastrutture, i mezzi e servizi di protezione collettiva, atti a prevenire il manifestarsi di situazioni di pericolo, a proteggere i lavoratori da rischio di infortunio ed a tutelare la loro salute;
- f) prescrizioni operative: le indicazioni particolari di carattere temporale, comportamentale, organizzativo, tecnico e procedurale, da rispettare durante le fasi critiche del processo di costruzione, in relazione alla complessità dell'opera da realizzare;
- g) cronoprogramma dei lavori: programma dei lavori in cui sono indicate, in base alla complessità dell'opera, le lavorazioni, le fasi e le sotto fasi di lavoro, la loro sequenza temporale e la loro durata;
- h) PSC: il piano di sicurezza e di coordinamento di cui all'articolo 90; i) PSS: il piano di sicurezza sostitutivo del piano di sicurezza e di coordinamento, di cui all'articolo 131, comma 2, lettera b) del D.Lgs. 163/2006 e successive modifiche;
- l) POS: il piano operativo di sicurezza di cui all'articolo 79, lettera h, e all'articolo 131, comma 2, lettera c), del D.Lgs. 163/2006 e successive modifiche;
- m) costi della sicurezza: i costi indicati all'articolo 90, nonché gli oneri indicati all'articolo 131 del D.Lgs. 163/2006 e successive modifiche.

## 2. - PIANO DI SICUREZZA E DI COORDINAMENTO

### 2.1. - Contenuti minimi

2.1.1. Il PSC è specifico per ogni singolo cantiere temporaneo o mobile e di concreta fattibilità; i suoi contenuti sono il risultato di scelte progettuali ed organizzative conformi alle prescrizioni dell'articolo 15 del presente decreto.

2.1.2. Il PSC contiene almeno i seguenti elementi:

a) l'identificazione e la descrizione dell'opera, esplicitata con:

- 1) l'indirizzo del cantiere;
  - 2) la descrizione del contesto in cui è collocata l'area di cantiere;
  - 3) una descrizione sintetica dell'opera, con particolare riferimento alle scelte progettuali, architettoniche, strutturali e tecnologiche;
- b) l'individuazione dei soggetti con compiti di sicurezza, esplicitata con l'indicazione dei nominativi del responsabile dei lavori, del coordinatore per la sicurezza in fase di progettazione e, qualora già nominato, del coordinatore per la sicurezza in fase di esecuzione ed a cura dello stesso coordinatore per l'esecuzione con l'indicazione, prima dell'inizio dei singoli lavori, dei nominativi dei datori di lavoro delle imprese esecutrici e dei lavoratori autonomi;
- c) una relazione concernente l'individuazione, l'analisi e la valutazione dei rischi in riferimento all'area ed all'organizzazione dello specifico cantiere, alle lavorazioni interferenti ed ai rischi aggiuntivi

rispetto a quelli specifici propri dell'attività delle singole imprese esecutrici o dei lavoratori autonomi;  
d) le scelte progettuali ed organizzative, le procedure, le misure preventive e protettive, in riferimento:

1) all'area di cantiere, ai sensi dei punti 2.2.1. e 2.2.4.;

2) all'organizzazione del cantiere, ai sensi dei punti 2.2.2. e 2.2.4.;

3) alle lavorazioni, ai sensi dei punti 2.2.3. e 2.2.4.;

e) le prescrizioni operative, le misure preventive e protettive ed i dispositivi di protezione individuale, in riferimento alle interferenze tra le lavorazioni, ai sensi dei punti 2.3.1., 2.3.2. e 2.3.3.;

f) le misure di coordinamento relative all'uso comune da parte di più imprese e lavoratori autonomi, come scelta di pianificazione lavori finalizzata alla sicurezza, di apprestamenti, attrezzature, infrastrutture, mezzi e servizi di protezione collettiva di cui ai punti 2.3.4. e 2.3.5.;

g) le modalità organizzative della cooperazione e del coordinamento, nonché della reciproca informazione, fra i datori di lavoro e tra questi ed i lavoratori autonomi;

h) l'organizzazione prevista per il servizio di pronto soccorso, antincendio ed evacuazione dei lavoratori, nel caso in cui il servizio di gestione delle emergenze è di tipo comune, nonché nel caso di cui all'articolo 94, comma 4; il PSC contiene anche i riferimenti telefonici delle strutture previste sul territorio al servizio del pronto soccorso e della prevenzione incendi;

i) la durata prevista delle lavorazioni, delle fasi di lavoro e, quando la complessità dell'opera lo richieda, delle sottofasi di lavoro, che costituiscono il cronoprogramma dei lavori, nonché l'entità presunta del cantiere espressa in uomini-giorno;

l) la stima dei costi della sicurezza, ai sensi del punto 4.1.

2.1.3. Il coordinatore per la progettazione indica nel PSC, ove la particolarità delle lavorazioni lo richieda, il tipo di procedure complementari e di dettaglio al PSC stesso e connesse alle scelte autonome dell'impresa esecutrice, da esplicitare nel POS.

2.1.4. Il PSC è corredato da tavole esplicative di progetto, relative agli aspetti della sicurezza, comprendenti almeno una planimetria e, ove la particolarità dell'opera lo richieda, un profilo altimetrico e una breve descrizione delle caratteristiche idrogeologiche del terreno o il rinvio a specifica relazione se già redatta.

2.1.5. L'elenco indicativo e non esauriente degli elementi essenziali utili alla definizione dei contenuti del PSC di cui al punto 2.1.2., è riportato nell'allegato XV.1.

2.2. - Contenuti minimi del PSC in riferimento all'area di cantiere, all'organizzazione del cantiere, alle lavorazioni.

2.2.1. In riferimento all'area di cantiere, il PSC contiene l'analisi degli elementi essenziali di cui all'allegato XV.2, in relazione:

a) alle caratteristiche dell'area di cantiere, con particolare attenzione alla presenza nell'area del cantiere di linee aeree e condutture sotterranee;

b) all'eventuale presenza di fattori esterni che comportano rischi per il cantiere, con particolare attenzione:

b1) a lavori stradali ed autostradali al fine di garantire la sicurezza e la salute dei lavoratori impiegati nei confronti dei rischi derivanti dal traffico circostante;

b 2) al rischio di annegamento;

c) agli eventuali rischi che le lavorazioni di cantiere possono comportare per l'area circostante.

2.2.2. In riferimento all'organizzazione del cantiere il PSC contiene, in relazione alla tipologia del cantiere, l'analisi dei seguenti elementi:

a) le modalità da seguire per la recinzione del cantiere, gli accessi e le segnalazioni;

b) i servizi igienico-assistenziali;

c) la viabilità principale di cantiere;

d) gli impianti di alimentazione e reti principali di elettricità, acqua, gas ed energia di qualsiasi tipo;

e) gli impianti di terra e di protezione contro le scariche atmosferiche;

f) le disposizioni per dare attuazione a quanto previsto dall'articolo 91;

g) le disposizioni per dare attuazione a quanto previsto dall'articolo 82, comma 1, lettera c);

h) le eventuali modalità di accesso dei mezzi di fornitura dei materiali;

i) la dislocazione degli impianti di cantiere;

l) la dislocazione delle zone di carico e scarico;

m) le zone di deposito attrezzature e di stoccaggio materiali e dei rifiuti;

n) le eventuali zone di deposito dei materiali con pericolo d'incendio o di esplosione.

2.2.3. In riferimento alle lavorazioni, il coordinatore per la progettazione suddivide le singole lavorazioni in fasi di lavoro e, quando la complessità dell'opera lo richiede, in sotto fasi di lavoro, ed effettua l'analisi dei rischi aggiuntivi, rispetto a quelli specifici propri dell'attività delle imprese

esecutrici o dei lavoratori autonomi, connessi in particolare ai seguenti elementi:

- a) al rischio di investimento da veicoli circolanti nell'area di cantiere;
- b) al rischio di seppellimento da adottare negli scavi;
- c) al rischio di caduta dall'alto;
- d) al rischio di insalubrità dell'aria nei lavori in galleria;
- e) al rischio di instabilità delle pareti e della volta nei lavori in galleria;
- f) ai rischi derivanti da estese demolizioni o manutenzioni, ove le modalità tecniche di attuazione siano definite in fase di progetto;
- g) ai rischi di incendio o esplosione connessi con lavorazioni e materiali pericolosi utilizzati in cantiere;
- h) ai rischi derivanti da sbalzi eccessivi di temperatura.
- i) al rischio di elettrocuzione;
- l) al rischio rumore;
- m) al rischio dall'uso di sostanze chimiche.

2.2.4. Per ogni elemento dell'analisi di cui ai punti 2.2.1., 2.2.2., 2.2.3., il PSC contiene:

- a) le scelte progettuali ed organizzative, le procedure, le misure preventive e protettive richieste per eliminare o ridurre al minimo i rischi di lavoro; ove necessario, vanno prodotte tavole e disegni tecnici esplicativi;
- b) le misure di coordinamento atte a realizzare quanto previsto alla lettera a).

2.3. - Contenuti minimi del PSC in riferimento alle interferenze tra le lavorazioni ed al loro coordinamento

2.3.1. Il coordinatore per la progettazione effettua l'analisi delle interferenze tra le lavorazioni, anche quando sono dovute alle lavorazioni di una stessa impresa esecuttrice o alla presenza di lavoratori autonomi, e predispose il cronoprogramma dei lavori. Per le opere rientranti nel campo di applicazione del D.Lgs. n. 163 del 12 aprile 2006 e successive modifiche, il cronoprogramma dei lavori ai sensi del presente regolamento, prende esclusivamente in considerazione le problematiche inerenti gli aspetti della sicurezza ed è redatto ad integrazione del cronoprogramma delle lavorazioni previsto dall'articolo 42 del decreto del Presidente della Repubblica 21 dicembre 1999, n. 554.

2.3.2. In riferimento alle interferenze tra le lavorazioni, il PSC contiene le prescrizioni operative per lo sfasamento spaziale o temporale delle lavorazioni interferenti e le modalità di verifica del rispetto di tali prescrizioni; nel caso in cui permangano rischi di interferenza, indica le misure preventive e protettive ed i dispositivi di protezione individuale, atti a ridurre al minimo tali rischi.

2.3.3. Durante i periodi di maggior rischio dovuto ad interferenze di lavoro, il coordinatore per l'esecuzione verifica periodicamente, previa consultazione della direzione dei lavori, delle imprese esecutrici e dei lavoratori autonomi interessati, la compatibilità della relativa parte di PSC con l'andamento dei lavori, aggiornando il piano ed in particolare il cronoprogramma dei lavori, se necessario.

2.3.4. Le misure di coordinamento relative all'uso comune di apprestamenti, attrezzature, infrastrutture, mezzi e servizi di protezione collettiva, sono definite analizzando il loro uso comune da parte di più imprese e lavoratori autonomi.

2.3.5. Il coordinatore per l'esecuzione dei lavori integra il PSC con i nominativi delle imprese esecutrici e dei lavoratori autonomi tenuti ad attivare quanto previsto al punto 2.2.4 ed al punto 2.3.4 e, previa consultazione delle imprese esecutrici e dei lavoratori autonomi interessati, indica la relativa cronologia di attuazione e le modalità di verifica.

3. - PIANO DI SICUREZZA SOSTITUTIVO E PIANO OPERATIVO DI SICUREZZA

3.1. - Contenuti minimi del piano di sicurezza sostitutivo

3.1.1. Il PSS, redatto a cura dell'appaltatore o del concessionario, contiene gli stessi elementi del PSC di cui al punto 2.1.2, con esclusione della stima dei costi della sicurezza.

3.2. - Contenuti minimi del piano operativo di sicurezza

3.2.1. Il POS è redatto a cura di ciascun datore di lavoro delle imprese esecutrici, ai sensi dell'articolo 16 del presente decreto, e successive modificazioni, in riferimento al singolo cantiere interessato; esso contiene almeno i seguenti elementi:

a) i dati identificativi dell'impresa esecuttrice, che comprendono:

- 1) il nominativo del datore di lavoro, gli indirizzi ed i riferimenti telefonici della sede legale e degli uffici di cantiere;
- 2) la specifica attività e le singole lavorazioni svolte in cantiere dall'impresa esecuttrice e dai lavoratori autonomi subaffidatari;
- 3) i nominativi degli addetti al pronto soccorso, antincendio ed evacuazione dei lavoratori e, comunque, alla gestione delle emergenze in cantiere, del rappresentante dei lavoratori per la sicu-

- 
- rezza, aziendale o territoriale, ove eletto o designato;
- 4) il nominativo del medico competente ove previsto;
  - 5) il nominativo del responsabile del servizio di prevenzione e protezione;
  - 6) i nominativi del direttore tecnico di cantiere e del capocantiere;
  - 7) il numero e le relative qualifiche dei lavoratori dipendenti dell'impresa esecutrice e dei lavoratori autonomi operanti in cantiere per conto della stessa impresa;
- b) le specifiche mansioni, inerenti la sicurezza, svolte in cantiere da ogni figura nominata allo scopo dall'impresa esecutrice;
- c) la descrizione dell'attività di cantiere, delle modalità organizzative e dei turni di lavoro;
- d) l'elenco dei ponteggi, dei ponti su ruote a torre e di altre opere provvisorie di notevole importanza, delle macchine e degli impianti utilizzati nel cantiere;
- e) l'elenco delle sostanze e preparati pericolosi utilizzati nel cantiere con le relative schede di sicurezza;
- f) l'esito del rapporto di valutazione del rumore;
- g) l'individuazione delle misure preventive e protettive, integrative rispetto a quelle contenute nel PSC quando previsto, adottate in relazione ai rischi connessi alle proprie lavorazioni in cantiere;
- h) le procedure complementari e di dettaglio, richieste dal PSC quando previsto;
- i) l'elenco dei dispositivi di protezione individuale forniti ai lavoratori occupati in cantiere;
- l) la documentazione in merito all'informazione ed alla formazione fornite ai lavoratori occupati in cantiere.

3.2.2. Ove non sia prevista la redazione del PSC, il PSS, quando previsto, è integrato con gli elementi del POS.

#### 4. - STIMA DEI COSTI DELLA SICUREZZA

##### 4.1. - Stima dei costi della sicurezza

4.1.1. Ove è prevista la redazione del PSC ai sensi del Titolo IV, Capo I, del presente decreto, nei costi della sicurezza vanno stimati, per tutta la durata delle lavorazioni previste nel cantiere, i costi:

- a) degli apprestamenti previsti nel PSC;
- b) delle misure preventive e protettive e dei dispositivi di protezione individuale eventualmente previsti nel PSC per lavorazioni interferenti;
- c) degli impianti di terra e di protezione contro le scariche atmosferiche, degli impianti antincendio, degli impianti di evacuazione fumi;
- d) dei mezzi e servizi di protezione collettiva;
- e) delle procedure contenute nel PSC e previste per specifici motivi di sicurezza;
- f) degli eventuali interventi finalizzati alla sicurezza e richiesti per lo sfasamento spaziale o temporale delle lavorazioni interferenti;
- g) delle misure di coordinamento relative all'uso comune di apprestamenti, attrezzature, infrastrutture, mezzi e servizi di protezione collettiva.

4.1.2. Per le opere rientranti nel campo di applicazione del D.Lgs. n. 163 del 12 aprile 2006 e successive modifiche e per le quali non è prevista la redazione del PSC ai sensi del Titolo IV Capo I, del presente decreto, le amministrazioni appaltanti, nei costi della sicurezza stimano, per tutta la durata delle lavorazioni previste nel cantiere, i costi delle misure preventive e protettive finalizzate alla sicurezza e salute dei lavoratori.

4.1.3. La stima dovrà essere congrua, analitica per voci singole, a corpo o a misura, riferita ad elenchi prezzi standard o specializzati, oppure basata su prezziari o listini ufficiali vigenti nell'area interessata, o sull'elenco prezzi delle misure di sicurezza del committente; nel caso in cui un elenco prezzi non sia applicabile o non disponibile, si farà riferimento ad analisi costi complete e desunte da indagini di mercato.

Le singole voci dei costi della sicurezza vanno calcolate considerando il loro costo di utilizzo per il cantiere interessato che comprende, quando applicabile, la posa in opera ed il successivo smontaggio, l'eventuale manutenzione e l'ammortamento.

4.1.4. I costi della sicurezza così individuati, sono compresi nell'importo totale dei lavori, ed individuano la parte del costo dell'opera da non assoggettare a ribasso nelle offerte delle imprese esecutrici.

4.1.5. Per la stima dei costi della sicurezza relativi a lavori che si rendono necessari a causa di varianti in corso d'opera previste dall'articolo 132 del D.Lgs. n. 163 del 12 aprile 2006 e successive modifiche, o dovuti alle variazioni previste dagli articoli 1659, 1660, 1661 e 1664, secondo comma, del codice civile, si applicano le disposizioni contenute nei punti 4.1.1, 4.1.2 e 4.1.3. I costi della sicurezza così individuati, sono compresi nell'importo totale della variante, ed individuano la parte del costo dell'opera da non assoggettare a ribasso.

4.1.6. Il direttore dei lavori liquida l'importo relativo ai costi della sicurezza previsti in base allo stato di avanzamento lavori, previa approvazione da parte del coordinatore per l'esecuzione



- b. predispone un fascicolo adattato alle caratteristiche dell'opera, i cui contenuti sono definiti all'allegato XVI, contenente le informazioni utili ai fini della prevenzione e della protezione dai rischi cui sono esposti i lavoratori, tenendo conto delle specifiche norme di buona tecnica e dell'allegato II al documento UE 26 maggio 1993. Il fascicolo non è predisposto nel caso di lavori di manutenzione ordinaria di cui all'articolo 3, comma 1, lettera a) del testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia di edilizia, di cui al decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380; b-bis. coordina l'applicazione delle disposizioni di cui all'articolo 90, comma 1. 2. Il fascicolo di cui al comma 1, lettera b), è preso in considerazione all'atto di eventuali lavori successivi sull'opera.
- f) coordinatore in materia di sicurezza e di salute durante la realizzazione dell'opera, di seguito denominato coordinatore per l'esecuzione dei lavori: soggetto incaricato, dal committente o dal responsabile dei lavori, dell'esecuzione dei compiti di cui all'articolo 92, che non può essere il datore di lavoro delle imprese affidatarie ed esecutrici o un suo dipendente o il responsabile del servizio di prevenzione e protezione (RSPP) da lui designato.

---

dei lavori quando previsto.

Allegato XV.1

Elenco indicativo e non esauriente degli elementi essenziali utili alla definizione dei contenuti del PSC di cui al punto 2.1.2.

1. Gli apprestamenti comprendono: ponteggi; trabattelli; ponti su cavalletti; impalcati; parapetti; andatoie; passerelle; armature delle pareti degli scavi; gabinetti; locali per lavarsi; spogliatoi; refettori; locali di ricovero e di riposo; dormitori; camere di medicazione; infermerie; recinzioni di cantiere.

2. Le attrezzature comprendono: centrali e impianti di betonaggio; betoniere; grù; autogrù; argani; elevatori; macchine movimento terra; macchine movimento terra speciali e derivate; seghe circolari; piegaferrì; impianti elettrici di cantiere; impianti di terra e di protezione contro le scariche atmosferiche; impianti antincendio; impianti di evacuazione fumi; impianti di adduzione di acqua, gas, ed energia di qualsiasi tipo; impianti fognari.

3. Le infrastrutture comprendono: viabilità principale di cantiere per mezzi meccanici; percorsi pedonali; aree di deposito materiali, attrezzature e rifiuti di cantiere.

4. I mezzi e servizi di protezione collettiva comprendono: segnaletica di sicurezza; avvisatori acustici; attrezzature per primo soccorso; illuminazione di emergenza; mezzi estinguenti; servizi di gestione delle emergenze.

Allegato XV.2.

Elenco indicativo e non esauriente degli elementi essenziali ai fini dell'analisi dei rischi connessi all'area di cantiere, di cui al punto 2.2.1.

1. Falde; fossati; alvei fluviali; banchine portuali; alberi; manufatti interferenti o sui quali intervenire; infrastrutture quali strade, ferrovie, idrovie, aeroporti; edifici con particolare esigenze di tutela quali scuole, ospedali, case di riposo, abitazioni; linee aeree e condutture sotterranee di servizi; altri cantieri o insediamenti produttivi; viabilità; rumore; polveri; fibre; fumi; vapori; gas; odori o altri inquinanti aerodispersi; caduta di materiali dall'alto.





**1** **2** Arata Isozaki, Daniel Libeskind, Zaha Hadid, area di cantiere Milano CityLife, Milano, 2015.



Le incompatibilità di cui al precedente periodo non operano in caso di coincidenza fra committente e impresa esecutrice;

g) uomini-giorno: entità presunta del cantiere rappresentata dalla somma delle giornate lavorative prestate dai lavoratori, anche autonomi, previste per la realizzazione dell'opera;

h) piano operativo di sicurezza: il documento che il datore di lavoro dell'impresa esecutrice redige, in riferimento al singolo cantiere interessato, ai sensi dell'articolo 17 comma 1, lettera a), i cui contenuti sono riportati nell'allegato XV;

i) impresa affidataria: impresa titolare del contratto di appalto con il committente che, nell'esecuzione dell'opera appaltata, può avvalersi di imprese subappaltatrici o di lavoratori autonomi.

Nel caso in cui titolare del contratto di appalto sia un consorzio tra imprese che svolga la funzione di promuovere la partecipazione delle imprese aderenti agli appalti pubblici o privati, anche privo di personale deputato alla esecuzione dei lavori, l'impresa affidataria è l'impresa consorziata assegnataria dei lavori oggetto del contratto di appalto individuata dal consorzio nell'atto di assegnazione dei lavori comunicato al committente o, in caso di pluralità di imprese consorziate assegnatarie di lavori, quella indicata nell'atto di assegnazione dei lavori come affidataria, sempre che abbia espressamente accettato tale individuazione;

i-bis) impresa esecutrice: impresa che esegue un'opera o parte di essa impegnando proprie risorse umane e materiali;

l) idoneità tecnico-professionale: possesso di capacità organizzative, nonché disponibilità di forza lavoro, di macchine e di attrezzature, in riferimento ai lavori da realizzare.

L'articolo 90 stabilisce gli obblighi del committente o del responsabile dei lavori:

1. Il committente o il responsabile dei lavori, nelle fasi di progettazione dell'opera, si attiene ai principi e alle misure generali di tutela di cui all'articolo 15, in particolare:

a) al momento delle scelte architettoniche, tecniche ed organizzative, onde pianificare i vari lavori o fasi di lavoro che si svolgeranno simultaneamente o successivamente;

b) all'atto della previsione della durata di realizzazione di questi vari lavori o fasi di lavoro.

1-bis. Per i lavori pubblici l'attuazione di quanto previsto al comma 1 avviene nel rispetto dei compiti attribuiti al responsabile del procedimento e al progettista.

2. Il committente o il responsabile dei lavori, nella fase della progettazione dell'opera, prende in considerazione i documenti di cui all'articolo 91, comma 1, lettere a) e b).
  3. Nei cantieri in cui è prevista la presenza di più imprese esecutrici, anche non contemporanea, il committente, anche nei casi di coincidenza con l'impresa esecutrice, o il responsabile dei lavori, contestualmente all'affidamento dell'incarico di progettazione, designa il coordinatore per la progettazione.
  4. Nei cantieri in cui è prevista la presenza di più imprese esecutrici, anche non contemporanea, il committente o il responsabile dei lavori, prima dell'affidamento dei lavori, designa il coordinatore per l'esecuzione dei lavori, in possesso dei requisiti di cui all'articolo 98.
  5. La disposizione di cui al comma 4 si applica anche nel caso in cui, dopo l'affidamento dei lavori a un'unica impresa, l'esecuzione dei lavori o di parte di essi sia affidata a una o più imprese.
  6. Il committente o il responsabile dei lavori, qualora in possesso dei requisiti di cui all'articolo 98, ha facoltà di svolgere le funzioni sia di coordinatore per la progettazione sia di coordinatore per l'esecuzione dei lavori.
  7. Il committente o il responsabile dei lavori comunica alle imprese affidatarie, alle imprese esecutrici e ai lavoratori autonomi il nominativo del coordinatore per la progettazione e quello del coordinatore per l'esecuzione dei lavori. Tali nominativi sono indicati nel cartello di cantiere.
  8. Il committente o il responsabile dei lavori ha facoltà di sostituire in qualsiasi momento, anche personalmente, se in possesso dei requisiti di cui all'articolo 98, i soggetti designati in attuazione dei commi 3 e 4.
- b) la scelta dell'ubicazione di posti di lavoro tenendo conto delle condizioni di accesso a tali posti, definendo vie o zone di spostamento o di circolazione;
  - c) le condizioni di movimentazione dei vari materiali;
  - d) la manutenzione, il controllo prima dell'entrata in servizio e il controllo periodico degli apprestamenti, delle attrezzature di lavoro, degli impianti e dei dispositivi al fine di eliminare i difetti che possono pregiudicare la sicurezza e la salute dei lavoratori;
  - e) la delimitazione e l'allestimento delle zone di stoccaggio e di deposito dei vari materiali, in particolare quando si tratta di materie e di sostanze pericolose;
  - f) l'adeguamento, in funzione dell'evoluzione del cantiere, della durata effettiva da attribuire ai vari tipi di lavoro o fasi di lavoro;
  - g) la cooperazione e il coordinamento tra datori di lavoro e lavoratori autonomi;
  - h) le interazioni con le attività che avvengono sul luogo, all'interno o in prossimità del cantiere.

L'articolo 96, invece, stabilisce gli obblighi dei datori di lavoro, dei dirigenti e dei preposti:

1. I datori di lavoro delle imprese affidatarie e delle imprese esecutrici, anche nel caso in cui nel cantiere operi un'unica impresa, anche familiare o con meno di dieci addetti:

- a) adottano le misure conformi alle prescrizioni di cui all'allegato XIII;
- b) predispongono l'accesso e la recinzione del cantiere con modalità chiaramente visibili e individuabili;
- c) curano la disposizione o l'accatastamento di materiali o attrezzature in modo da evitarne il crollo o il ribaltamento;
- d) curano la protezione dei lavoratori contro le influenze atmosferiche che possono compromettere la loro sicurezza e la loro salute;
- e) curano le condizioni di rimozione dei materiali pericolosi, previo, se del caso, coordinamento con il committente o il responsabile dei lavori;
- f) curano che lo stoccaggio e l'evacuazione dei detriti e delle macerie avvengano correttamente;
- g) redigono il piano operativo di sicurezza di cui all'articolo 89, comma 1, lettera h).

1-bis. La previsione di cui al comma 1, lettera g), non si applica alle mere forniture di materiali o attrezzature. In tali casi trovano comunque applicazione le disposizioni di cui all'articolo 26 del presente decreto.

2. L'accettazione da parte di ciascun datore di lavoro delle imprese del piano di sicurezza e di coordinamento di cui all'articolo 100 nonché la redazione del piano operativo di sicurezza costituiscono, limitatamente al singolo cantiere interessato, adempimento alle disposizioni di cui all'articolo 17 comma 1, lettera a), all'articolo 26, commi 1, lettera b), 2, 3, e 5, e all'articolo 29, comma 3.

L'articolo 97 del d.lgs. 81/08 definisce puntualmente gli obblighi del datore di lavoro dell'impresa affidataria:

1. Il datore di lavoro dell'impresa affidataria verifica le condizioni di sicurezza dei lavori affidati e l'applicazione delle disposizioni e delle prescrizioni del piano di sicurezza e coordinamento.

2. Gli obblighi derivanti dall'articolo 26, fatte salve le disposizioni di cui all'articolo 96, comma 2, sono riferiti anche al datore di lavoro dell'impresa affidataria. Per la verifica dell'idoneità tecnico professionale si fa riferimento alle modalità di cui all'allegato XVII.

3. Il datore di lavoro dell'impresa affidataria deve, inoltre:

- a) coordinare gli interventi di cui agli articoli 95 e 96;



b) verificare la congruenza dei piani operativi di sicurezza (POS) delle imprese esecutrici rispetto al proprio, prima della trasmissione dei suddetti piani operativi di sicurezza al coordinatore per l'esecuzione.

3-bis. In relazione ai lavori affidati in subappalto, ove gli apprestamenti, gli impianti e le altre attività di cui al punto 4 dell'allegato XV siano effettuati dalle imprese esecutrici, l'impresa affidataria corrisponde ad esse senza alcun ribasso i relativi oneri della sicurezza.

3-ter. Per lo svolgimento delle attività di cui al presente articolo, il datore di lavoro dell'impresa affidataria, i dirigenti e i preposti devono essere in possesso di adeguata formazione.

L'Articolo 100 del d.lgs. 81/08 definisce il "documento" principale in materia di sicurezza nei cantieri: cioè il Piano di sicurezza e di coordinamento.

Il piano è costituito da una relazione tecnica e prescrizioni correlate alla complessità dell'opera da realizzare ed alle eventuali fasi critiche del processo di costruzione, atte a prevenire o ridurre i rischi per la sicurezza e la salute dei lavoratori, ivi compresi i rischi particolari di cui all'allegato XI, nonché la stima dei costi di cui al punto 4 dell'allegato XV. Il piano di sicurezza e coordinamento (PSC) è corredato da tavole esplicative di progetto, relative agli aspetti della sicurezza, comprendenti almeno una planimetria sull'organizzazione del cantiere e, ove la particolarità dell'opera lo richieda, una tavola tecnica sugli scavi. I contenuti minimi del piano di sicurezza e di coordinamento e l'indicazione della stima dei costi della sicurezza sono definiti nel citato allegato XV.

Il piano di sicurezza e coordinamento costituisce parte integrante del contratto di appalto.

3. I datori di lavoro delle imprese esecutrici e i lavoratori autonomi sono tenuti ad attuare quanto previsto nel piano di cui al comma 1 e nel piano operativo di sicurezza.

4. I datori di lavoro delle imprese esecutrici mettono a disposizione dei rappresentanti per la sicurezza copia del piano di sicurezza e di coordinamento e del piano operativo di sicurezza almeno dieci giorni prima dell'inizio dei lavori.

5. L'impresa che si aggiudica i lavori ha facoltà di presentare al coordinatore per l'esecuzione proposte di integrazione al piano di sicurezza e di coordinamento, ove ritenga di poter meglio garantire la sicurezza nel cantiere sulla base della propria esperienza. In nessun caso le eventuali integrazioni possono giustificare modifiche o adeguamento dei prezzi pattuiti.

6. Le disposizioni del presente articolo non si applicano ai lavori la cui esecuzione immediata è necessaria per prevenire incidenti imminenti o per organizza-

re urgenti misure di salvataggio o per garantire la continuità in condizioni di emergenza nell'erogazione di servizi essenziali per la popolazione quali corrente elettrica, acqua, gas, reti di comunicazione.

6-bis. Il committente o il responsabile dei lavori, se nominato, assicura l'attuazione degli obblighi a carico del datore di lavoro dell'impresa affidataria previsti dall'articolo 97 comma 3-bis e 3-ter. Nel campo di applicazione del decreto legislativo 12 aprile 2006, n. 163, e successive modificazioni, si applica l'articolo 118, comma 4, secondo periodo, del medesimo decreto legislativo.



## È RIGOROSAMENTE VIETATO L'INGRESSO A TUTTE LE PERSONE ESTRANEE AI LAVORI

La Direzione declina qualsiasi responsabilità nei confronti  
dei trasgressori per eventuali danni materiali alle persone e alle cose

<b>LAVORI IN CORSO</b>	<b>ATTENZIONE AI CARICHI SOSPESI</b>	<b>TENSIONE ELETTRICA PERICOLOSA</b>	<b>CADUTA MATERIALI DALL'ALTO</b>
<b>VIETATO SALIRE E SCENDERE ALL'ESTERNO DEI PONTEGGI</b>	<b>VIETATO GETTARE MATERIALI DAI PONTEGGI</b>	<b>VIETATO PASSARE E SOSTARE NEL RAGGIO D'AZIONE DELL'ESCAVATORE</b>	<b>VIETATO PASSARE E SOSTARE NEL RAGGIO D'AZIONE DELLA GRU</b>

<b>È OBBLIGATORIO USARE I MEZZI DI PROTEZIONE PERSONALE IN DOTAZIONE A CIASCUNO</b>							

	<b>PRONTO SOCCORSO</b>
	<b>112</b>

<b>SOS</b>	<b>V.V.F.</b>
	<b>112</b>

	<b>MEDICO</b>
	_____

**TUTTI I LAVORATORI SONO TENUTI A SEGNALARE SUBITO  
AI PROPRI CAPI GLI INFORTUNI, COMPRESSE  
LE LESIONI DI PICCOLA ENTITÀ A LORO ACCADUTE DURANTE IL LAVORO**

12



# LA PREVENZIONE INCENDI<sup>1</sup>

La Prevenzione Incendi si occupa, sin dalla fase progettuale, di tutti quegli aspetti e accorgimenti necessari, sia nella realizzazione di manufatti e parti degli stessi, che nella fornitura e posa in opera di apprestamenti ed accessori, anche e soprattutto impiantistici, per prevenire il rischio di incendio ed eventualmente circoscriverlo limitandone i danni.

La Prevenzione Incendi è strettamente correlata all'utilizzo degli spazi, alla loro destinazione d'uso, alle possibili criticità derivanti da attività a maggiore o minore rischio di incendio.

La materia si occupa prevalentemente di spazi ad uso pubblico e/o di attività a rischio di incendio.

Con il d.m. 03/08/2015 meglio conosciuto come il "Nuovo Codice di Prevenzione Incendi" è avvenuto un passaggio importante nel modo di fare la prevenzione incendi in Italia. Si è passati dai metodi prescrittivi preesistenti (basati prevalentemente su regole verticali) a metodi prestazionali in cui meglio si possono esprimere le potenzialità e la professionalità del progettista rendendo l'impianto normativo più aderente al progresso tecnologico e agli standard internazionali.

Il prodotto finale è una "regola tecnica orizzontale", che costituisce un vero e proprio codice dei principi e delle moderne tecniche di prevenzione incendi che sarà via via integrato da regole tecniche verticali specifiche per le singole attività.

Il decreto del Ministro dell'Interno 3 agosto 2015: «Approvazione di norme tecniche di prevenzione incendi, ai sensi dell'art.15 del decreto legislativo 8 marzo 2006, n. 139» è stato pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale n.192 del 20 agosto 2015 – SO n. 51.

---

<sup>1</sup> Testo di Massimiliano Modena.

Questo nuovo decreto, entrato in vigore il 18 novembre 2015, introduce uno strumento più flessibile ed idoneo ad affrontare le varie tematiche connesse all'azione di adeguamento antincendio.

Lo stesso fa parte di un progetto di aggiornamento e riordino della normativa tecnica antincendio, che mira a rendere più uniforme, semplice ed allineata agli indirizzi internazionali la normativa tecnica di prevenzione incendi, affiancando alle regole tecniche prescrittive esistenti uno strumento più flessibile per la progettazione e l'adeguamento antincendio, basato sulla valutazione del rischio e sulle prestazioni.

Si tratta di un unico testo organico e sistematico, contenente disposizioni applicabili a molte attività soggette ai controlli di prevenzione incendi.

La natura a moduli con cui sono affrontate le varie problematiche guida il tecnico nell'individuazione di quelle soluzioni progettuali più appropriate per la specifica attività, lasciandogli piena flessibilità di scegliere fra molteplici soluzioni progettuali conformi (ovvero prescrittive) o alternative (ovvero prestazionali), in questo caso dimostrandone la validità nel rispetto degli obiettivi di sicurezza.

Questo nuovo approccio metodologico rappresenta una svolta epocale nell'ambito della progettazione antincendio: il passaggio da un sistema più rigido, caratterizzato da regole prescrittive, ad un approccio di tipo prestazionale, con soluzioni tecniche più flessibili e aderenti alle peculiari esigenze delle diverse attività.

Il Nuovo Codice attribuisce nuovi ruoli e responsabilità al progettista, assegnandogli la responsabilità della scelta delle misure da adottare.

Il Nuovo Codice è teso a semplificare la pratica della prevenzione incendi in continuità con quanto iniziato con il d.P.R. 1 agosto 2011, n. 151, Regolamento recante semplificazione della disciplina dei procedimenti relativi alla prevenzione degli incendi.

Gli obiettivi perseguiti dal nuovo Codice possono essere così riassunti:

- semplificare la progettazione antincendio;
- adottare regole meno prescrittive, maggiormente prestazionali e flessibili;
- ribadire nelle norme la centralità delle tematiche "antincendio";
- riassumere (e sostituire) in un testo unico, chiaro e completo, la complessa materia trattata da numerosissime regole tecniche;
- prevedere la possibilità di scegliere fra diverse soluzioni.

Il documento si basa infatti su principi di:

- **semplicità**: ove esistano diverse possibilità per raggiungere il medesimo risultato si prediligono soluzioni più semplici, realizzabili, comprensibili, per le quali è più facile operare la revisione;



- **flessibilità:** per ogni livello di prestazione di sicurezza antincendio richiesto, sono indicate diverse soluzioni progettuali prescrittive o prestazionali e sono definiti metodi riconosciuti che valorizzano l'ingegneria antincendio;
- **standardizzazione ed integrazione:** il linguaggio in materia di prevenzione incendi è conforme agli standard internazionali e sono unificate le diverse disposizioni previste nei documenti esistenti della prevenzione incendi in ambito nazionale;
- **generalità:** le metodologie di progettazione antincendio possono essere applicate a tutte le attività;
- **inclusione:** le persone che frequentano le attività sono considerate un fattore sensibile nella progettazione della sicurezza antincendio, in relazione anche alle diverse abilità (ad es. motorie, sensoriali, cognitive ecc.), temporanee o permanenti, sveglie o dormienti.

Tale impostazione consente di progettare con un approccio logico, non più prescrittivo ma prestazionale e consente in sintesi di optare per diverse scelte e soluzioni risolutive, certamente equivalenti, idonee e contestuali rispetto al progetto specifico.

Il decreto si compone di cinque articoli e di un corposo allegato tecnico, che specifica all'art. 2 le attività cui potrà essere applicata la nuova normativa e le modalità di utilizzo della nuova metodologia in alternativa alle vigenti disposizioni di prevenzione incendi, come specificato invece nell'articolo 1 comma 2 del decreto. La normativa, in questa prima fase, verrà applicata integralmente alla progettazione, alla realizzazione e all'esercizio delle attività soggette ai controlli di Prevenzione Incendi per cui non erano previste specifiche norme verticali, ma erano utilizzati i criteri tecnici generali di prevenzione incendi elencate al comma 1 dell'art. 2. In particolare l'applicazione di questo decreto è alternativo all'applicazione delle specifiche disposizioni di prevenzione incendi di cui ai decreti del Ministro dell'interno di seguito indicati, ovvero ai vigenti criteri tecnici di prevenzione incendi di cui all'articolo 15, comma 3, del decreto legislativo 8 marzo 2006, n. 139:

- decreto del 30 novembre 1983 recante «Termini, definizioni generali e simboli grafici di prevenzione incendi e successive modificazioni»;
- decreto del 31 marzo 2003 recante «Requisiti di reazione al fuoco dei materiali costituenti le condotte di distribuzione e ripresa dell'aria degli impianti di condizionamento e ventilazione»;
- decreto del 3 novembre 2004 recante «Disposizioni relative all'installazione ed alla manutenzione dei dispositivi per l'apertura delle porte installate lungo le vie di esodo, relativamente alla sicurezza in caso di incendio»;

- decreto del 15 marzo 2005 recante «Requisiti di reazione al fuoco dei prodotti da costruzione installati in attività disciplinate da specifiche disposizioni tecniche di prevenzione incendi in base al sistema di classificazione europeo»;
- decreto del 15 settembre 2005 recante «Approvazione della regola tecnica di prevenzione incendi per i vani degli impianti di sollevamento ubicati nelle attività soggette ai controlli di prevenzione incendi»;
- decreto del 16 febbraio 2007, recante «Classificazione di resistenza al fuoco di prodotti ed elementi costruttivi di opere da costruzione»;
- decreto del 9 marzo 2007, recante «Prestazioni di resistenza al fuoco delle costruzioni nelle attività soggette al controllo del Corpo nazionale dei vigili del fuoco»;
- decreto del 20 dicembre 2012 recante «Regola tecnica di prevenzione incendi per gli impianti di protezione attiva contro l'incendio installati nelle attività soggette ai controlli di prevenzione incendi».

Restano validi il d.m. 10/03/1998 e il d.m. 09/05/2007.

Le attività interessate all'applicazione del presente decreto sono quelle attività di cui all'allegato I del decreto del Presidente della Repubblica 1 agosto 2011, n. 151, individuate con i numeri:

- 9 - Officine e laboratori con saldatura e taglio;
- 14 - Officine o laboratori per la verniciatura con vernici infiammabili e/o combustibili ecc.;
- da 27 a 40 - Mulini, impianti di essiccazione cereali, produzione surrogati del caffè, zuccherifici, depositi di carta, depositi di legnami, vari tipi di stabilimenti produttivi ecc.;
- da 42 a 47 - Laboratori per attrezzerie e scenografie, stabilimenti ed impianti per la gomma, materie plastiche, resine, fitofarmaci e concimi, cavi e conduttori elettrici isolati;
- da 50 a 54 - Stabilimenti dove si producono lampade elettriche e simili, metalli, aeromobili, veicoli a motore, officine per la riparazione di veicoli a motore, officine meccaniche per lavorazioni a freddo;
- 56 - Stabilimenti ed impianti ove si producono laterizi e simili;
- 57 - Cementifici;
- 63 - Stabilimenti per la produzione, depositi di sapone, di candele e altro;
- 64 - Centri informatici di elaborazione e/o archiviazione dati;
- 70 - Locali adibiti a depositi di merci e materiali combustibili;
- 75 - Limitatamente ai depositi di mezzi rotabili e ai locali adibiti al ricovero di natanti e aeromobili;
- 76 - Tipografie, litografie, stampa in offset ed attività similari ecc.;

Per queste attività, che si rifacevano ai criteri generali di prevenzione incendi secondo il d.m. 10/03/1998, il decreto costituisce un vero e proprio iter progettuale definendone i criteri operativi e progettuali.

Si tratta di un documento molto articolato, composto da 4 sezioni. Le prime due sezioni (generalità e strategia antincendio) introducono nuove regole generali applicabili, la terza prevede specifiche disposizioni applicabili per singole attività. Nella quarta sezione vengono indicate metodologie innovative ed alternative a quelle previste nelle prime tre sezioni, utili a risolvere specifiche problematiche non altrimenti risolvibili. L'allegato 1 al decreto, intitolato *Norme tecniche di prevenzione incendi*, è strutturato in 4 sezioni che disciplinano, nel loro complesso, l'intera materia antincendio. La Sezione G – Generalità: contiene i principi fondamentali per la progettazione della sicurezza antincendio applicabili indistintamente a tutte le attività:

- G.1 Termini, definizioni e simboli grafici;
- G.2 Progettazione per la sicurezza antincendio;
- G.3 Determinazione dei profili di rischio delle attività.

La Sezione S – Strategia antincendio: fornisce le misure antincendio di prevenzione, protezione e gestionali applicabili a tutte le attività, per comporre la strategia antincendio al fine di ridurre il rischio di incendio:

- S.1 Reazione al fuoco;
- S.2 Resistenza al fuoco.

La richiesta prestazionale di resistenza al fuoco si esprime attraverso le classi di resistenza al fuoco, che specificano per quanti minuti devono risultare garantite le prestazioni di resistenza al fuoco. Per alcune attività la regola tecnica di prevenzione incendi impone a priori una classe minima di resistenza al fuoco.

Di seguito vengono le *Classi di Resistenza al fuoco* secondo il d.m. 16 febbraio 2007 «Classificazioni di resistenza al fuoco di prodotti ed elementi costruttivi di opere da costruzione»:

- R - Capacità portante: attitudine di un elemento da costruzione a conservare la resistenza meccanica sotto l'azione del fuoco;
- E - Tenuta: attitudine di un elemento da costruzione a non lasciar passare né produrre, se sottoposto all'azione del fuoco su un lato, fiamme, vapori o gas caldi sul lato non esposto;
- I - Isolamento: attitudine di un elemento da costruzione a ridurre, entro un dato limite, la trasmissione del calore;
- W - Irraggiamento: attitudine di un elemento costruttivo di limitare, per un certo periodo di tempo, l'irraggiamento termico da parte della superficie non esposta in condizioni di incendio normalizzate;

- M - Azione meccanica: capacità di un elemento costruttivo o strutturale di resistere all'impatto da parte di altri elementi senza perdere i requisiti di resistenza al fuoco;
- C - Dispositivo automatico di chiusura: capacità di chiusura di un varco da parte di un elemento costruttivo in condizioni normalizzate di incendio e di sollecitazione meccanica;
- S - Tenuta al fumo: capacità di un elemento di chiusura di limitare o ridurre il passaggio di gas o fumi freddi in condizioni di prova normalizzate.

Il requisito si specializza in:

- Sa: se la tenuta al passaggio dei gas o fumi è garantita a temperatura ambiente;
- Sm (o S200): se la tenuta al passaggio dei gas o fumi è garantita sia a temperatura ambiente che a 200°C.
- P o PH - Continuità di corrente o capacità di segnalazione: capacità di funzionamento di un cavo percorso da corrente o da segnale ottico in condizioni di incendio normalizzate;
- G - Resistenza all'incendio della fuliggine: capacità del condotto di passaggio di fumi di resistere all'incendio di fuliggine in condizioni di incendio normalizzate, garantendo la tenuta al passaggio di gas caldi e l'isolamento termico;
- K - Capacità di protezione al fuoco: capacità dei rivestimenti a parete o a soffitto di proteggere i materiali o gli elementi costruttivi o strutturali su cui sono installati dalla carbonizzazione, dall'accensione o da altro tipo di danneggiamento, per un certo periodo di tempo in condizioni di incendio normalizzate;
- D - Durata della stabilità a temperatura costante;
- DH - Durata della stabilità lungo la curva standard tempo-temperatura costante. Capacità delle barriere al fumo di conservare i requisiti di resistenza al fuoco in condizioni di incendio normalizzate;
- F - Funzionalità degli evacuatori motorizzati di fumo e calore;
- B - Funzionalità degli evacuatori naturali di fumo e calore.

Capacità degli evacuatori di fumo motorizzati (F) o naturali (B) di conservare i requisiti di funzionamento in condizioni di incendio normalizzate.

- S.3 Compartimentazione;
- S.4 Esodo;
- S.5 Gestione della sicurezza antincendio;
- S.6 Controllo dell'incendio;

- S.7 Rivelazione ed allarme;
- S.8 Controllo di fumi e calore;
- S.9 Operatività antincendio;
- S.10 Sicurezza degli impianti tecnologici e di servizio Sezione.

La Sezione V – Regole tecniche verticali: fornisce ulteriori indicazioni specifiche per alcune tipologie d'attività, complementari a quelle previste nella sezione Strategia antincendio:

- V.1 Aree a rischio specifico;
- V.2 Aree a rischio per atmosfere esplosive;
- V.3 Vani degli ascensori.

La Sezione M – Metodi, riporta la descrizione delle metodologie progettuali volte alla risoluzione di specifiche problematiche tecniche:

- M.1 Metodologia per l'ingegneria della sicurezza antincendio;
- M.2 Scenari di incendio per la progettazione prestazionale;
- M.3 Salvaguardia della vita con la progettazione prestazionale.

Il Codice utilizza, come detto, una nuova metodologia, un nuovo approccio progettuale che si basa sull'individuazione di quattro livelli prestazionali per tutte le misure antincendio.

La procedura prevede una valutazione del rischio dalla quale discendono i livelli di prestazioni delle misure antincendio da adottare.

Ai fini della valutazione del rischio in modo ingegneristico, sono introdotte tre tipologie di profili di rischio, degli indicatori semplificati per "parametrizzare" il rischio d'incendio e attribuire i vari livelli di prestazione:

- **R<sub>vita</sub>** profilo di rischio relativo alla salvaguardia della vita umana; (attribuito per ciascun compartimento);
- **R<sub>beni</sub>** profilo di rischio relativo alla salvaguardia dei beni artistici, strategici ed economici, (attribuito per l'intera attività);
- **R<sub>ambiente</sub>** profilo di rischio relativo alla tutela dell'ambiente dagli effetti dell'incendio (attribuito per l'intera attività).

L'allegato nella Sezione G al punto 3 del Codice denominato "Determinazione dei profili di rischio delle attività" fornisce:

- la metodologia per valutare quantitativamente i due profili di rischio  $R_{vita}$  ed  $R_{beni}$ ;
- i criteri per valutare il profilo di rischio  $R_{ambiente}$ .

In funzione dei profili di rischio  $R_{vita}$   $R_{beni}$   $R_{ambiente}$  per l'attività, sono attribuiti i livelli di prestazione alle misure antincendio appartenenti alle singole strategie antincendio da adottare, in funzione degli obiettivi di sicurezza da raggiungere.

Livello di prestazione	Descrizione
I	Assenza di conseguenze esterne per collasso strutturale
II	Mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco per un periodo sufficiente all'evacuazione degli occupanti in luogo sicuro all'esterno della costruzione.
III	Mantenimento dei requisiti di resistenza al fuoco per un periodo congruo con la durata dell'incendio.
IV	Requisiti di resistenza al fuoco tali da garantire, dopo la fine dell'incendio, un limitato danneggiamento della costruzione.
V	Requisiti di resistenza al fuoco tali da garantire, dopo la fine dell'incendio, il mantenimento della totale funzionalità della costruzione stessa.

**1** Livelli di prestazione per la resistenza al fuoco attribuibile alle opere di costruzione (d.m. 3 agosto 2015, cap. 2 Progettazione per la sicurezza antincendio Illustrazione G.2.1).

Per ogni misura antincendio, il progettista può anche attribuire livelli di prestazione differenti da quelli proposti, dimostrando, in tal caso, il raggiungimento degli stessi obiettivi di sicurezza antincendio grazie al ricorso a uno dei metodi di progettazione della sicurezza antincendio ammessi dal Codice.

Un'importante novità del nuovo Codice riguarda l'introduzione dei concetti di "**misure convenzionali**" e di "**misure alternative**" adottabili dal progettista, e così definite:

- **Soluzione conforme** (*deemed to satisfy provision*): soluzione progettuale di immediata applicazione nei casi specificati, che garantisce il raggiungimento del collegato livello di prestazione;
- **Soluzione alternativa** (*alternative solution*): soluzione progettuale alternativa alle soluzioni conformi. Il progettista è tenuto a dimostrare il raggiungimento del collegato livello di prestazione impiegando uno dei metodi di progettazione della sicurezza antincendio.

I metodi prestazionali per la progettazione della sicurezza antincendio, coerentemente agli indirizzi della normativa tecnica europea di altri settori disciplinari possono essere applicati in questo caso per:

- la verifica delle soluzioni alternative al fine di dimostrare il raggiungimento del collegato livello di prestazione;
- la verifica di soluzioni in deroga al fine di dimostrare il raggiungimento del collegato obiettivo di sicurezza antincendio;
- la verifica del livello di prestazione attribuito ad una misura antincendio al fine di dimostrare il raggiungimento del collegato obiettivo di sicurezza antincendio.

In definitiva il nuovo Codice stabilisce un metodo finalizzato alla determinazione delle strategie antincendio idonee a minimizzare il rischio di incendio in termini di



probabilità e di conseguenze entro limiti considerati accettabili da adottare per la progettazione antincendio di un'attività soggetta al controllo dei Vigili del Fuoco, al fine di garantire gli obiettivi primari della prevenzione incendi, in termini di sicurezza della vita umana, di incolumità delle persone e di tutela dei beni e dell'ambiente.

Le attività soggette a controllo dal parte del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco rimangono quelle descritte nell'allegato I al d.P.R. 1 agosto 2011, n. 151<sup>2</sup> e distinte nelle tre categorie (A, B, C) in ragione della loro complessità sotto il profilo antincendio.

Per le attività di categoria A non sono previste procedure di acquisizione del parere di conformità del Comando provinciale dei Vigili del Fuoco, a differenza delle attività di categoria B o C che invece, ai sensi dell'art. 3 del citato d.P.R. 151/2011, necessitano dell'esame del progetto da richiedere secondo le modalità stabilite dall'art. 3 del d.m. 7 agosto 2012.

Categoria A) - Attività semplici: si applicano i principi della SCIA (Segnalazione Certificata di Inizio Attività) e visite a campione successive alla realizzazione del manufatto o impianto.

Categoria B) - Attività mediamente complesse: il progetto viene esaminato dal corpo provinciale dei Vigili del Fuoco entro 60 gg dalla presentazione dello stesso. La comunicazione di inizio attività avviene tramite SCIA con visite a campione (con potere di sospensione e possibili prescrizioni) da parte dei Vigili del Fuoco.

Categoria C) - Attività complessa: viene seguito lo stesso procedimento di cui al punto precedente. In questo caso, per l'importanza e la complessità dell'opera, il corpo provinciale effettuerà un numero di visite superiore e più frequente.

Per le attività di categoria A, pertanto, la segnalazione certificata di inizio attività (SCIA) deve essere corredata dell'asseverazione, a firma del tecnico abilitato, attestante la conformità dell'attività stessa ai requisiti di prevenzione incendi contenuti nei riferimenti normativi di settore per le singole attività e così individuati:

---

<sup>2</sup> L'elenco delle attività descritte nell'allegato I al d.P.R. 151/2011 deriva da una revisione critica delle casistiche definite dal d.P.R. 689/59 e dal d.m. 16/2/82 che ha determinato in alcuni casi degli accorpamenti ed in altri delle cancellazioni. Sono inoltre state inserite nuove attività per tener conto del connesso rischio di incendio e della conseguente necessità di controllo in relazione agli obiettivi di sicurezza e tutela dell'incolumità pubblica e privata sancita dalle vigenti leggi. Il nuovo elenco quindi prevede un numero inferiore di attività soggette rispetto al precedente: 80 a fronte di 97, pur mantenendo la suddivisione per macrocategorie (edifici industriali, artigianali, commerciali e civili).

## DEFINIZIONI

La sezione G del nuovo Codice fornisce un elenco esaustivo e completo di termini e definizioni propri della progettazione antincendio ai fini di un'uniforme applicazione. Le nuove definizioni, a rigore, non potranno essere però adottate per tutte quelle attività normate escluse dal campo di applicazione del Codice di prevenzione incendi (locali di pubblico spettacolo, alberghi, scuole, ospedali, attività commerciali, uffici, autorimesse, edifici di civile abitazione ecc.) per le quali rimangono valide le disposizioni contenute nel d.m. 30 novembre 1983 recante «Termini, definizioni generali e simboli grafici di prevenzione incendi e successive modificazioni».

### G.1.3. PREVENZIONE INCENDI

#### 1. Prevenzione incendi

Funzione di interesse pubblico che consegue obiettivi di sicurezza della vita umana, tutela dei beni e dell'ambiente attraverso promozione, studio, predisposizione di norme, misure, provvedimenti ecc., intesi ad evitare l'insorgenza di un incendio e eventi connessi o a limitarne le conseguenze<sup>3</sup>.

#### 2. Profilo di rischio

Indicatore sintetico della gravità di rischio di incendio associata all'esercizio ordinario di un'attività.

#### 3. Strategia antincendio

Combinazione di misure antincendio finalizzate al raggiungimento degli obiettivi di sicurezza antincendio.

#### 4. Misura antincendio

Categoria di strumenti di prevenzione, protezione e gestionali per ridurre rischio incendio (S.1 ÷ S.10).

#### 5. Livello di prestazione

Specificazione oggettiva della prestazione richiesta all'attività per realizzare la misura antincendio.

#### 6. Soluzione conforme

Soluzione di immediata applicazione, che garantisce il raggiungimento del livello di prestazione<sup>4</sup>.

---

<sup>3</sup> La definizione presente nel Codice è simile a quella di cui all'art. 13 co. 1 del d.lgs. 8 marzo 2006, n. 139.

<sup>4</sup> Soluzioni progettuali prescrittive che non richiedono ulteriori valutazioni (ad es. "distanza di protezione = 5 m").

## 7. Soluzione alternativa

Il progettista è tenuto a dimostrare il raggiungimento del livello di prestazione<sup>5</sup>.

## 8. Soluzione in deroga

Richiesta l'attivazione del procedimento di deroga secondo la normativa vigente.

### G.1.5. ATTIVITÀ

#### 1. Attività soggetta

Attività soggetta a controllo VVF ai sensi del d.P.R. n. 151/2011.

#### 2. Attività con valutazione del progetto

Attività soggetta il cui progetto è valutato, anche in deroga, dai VVF<sup>6</sup>.

#### 3. Attività senza valutazione del progetto

Attività soggetta il cui progetto non è valutato, neanche in deroga, dai VVF<sup>7</sup>.

#### 4. Attività non normata

Attività regolamentata dalla Regola Tecnica Orizzontale (RTO).

#### 5. Attività normata

Attività provvista di specifica regola tecnica verticale (RTV), e anche di RTO.

#### 6. Attività esistente

Attività in esercizio alla data di entrata in vigore della Regola tecnica di riferimento.

### G.1.6. SOGGETTI

#### 1. Responsabile dell'attività

Il soggetto tenuto agli obblighi di prevenzione incendi.

#### 2. Progettista

Tecnico abilitato o professionista antincendio, incaricato dal Responsabile dell'attività della progettazione.

#### 3. Tecnico abilitato

Professionista iscritto in albo professionale, che opera nell'ambito delle proprie competenze.

#### 4. Professionista antincendio

Tecnico abilitato iscritto negli appositi elenchi del Ministero dell'Interno di cui all'art. 16 del d.lgs. n. 139/2006.

<sup>5</sup> Soluzioni progettuali prestazionali che richiedono ulteriori valutazioni: "La distanza di separazione deve essere calcolata imponendo irraggiamento massimo dal focolare verso l'obiettivo = 12,6 kW/m<sup>2</sup>".

<sup>6</sup> Si tratta delle attività di categoria B/C descritte dal d.P.R. n. 151/2011 e di quelle in cat. A in caso di richiesta di deroga.

<sup>7</sup> Si tratta delle attività soggette di cat. A (esclusa la deroga). Nel campo di applicazione del Codice non sono comprese le attività in cat. A.

## 5. Occupante

Persona presente a qualsiasi titolo all'interno dell'attività.

## 6. Occupante con disabilità

Occupante con limitazioni permanenti o temporanee alle capacità fisiche, mentali, sensoriali o motorie.

## 7. Soccorritore

Componente squadra antincendio.

### 6.1.7. GEOMETRIA

#### 1. Piano di riferimento del compartimento

Piano del luogo sicuro esterno verso cui avviene prevalentemente l'esodo degli occupanti del compartimento e da cui accedono i soccorritori.

#### 2. Quota di piano

Dislivello tra piano e relativo piano di riferimento del compartimento.

#### 3. Altezza anticendio

Massima quota dei piani dell'attività<sup>8</sup>, esclusi piani con presenza occasionale e di breve durata di personale (ad es. vani tecnici).

#### 4. Quota del compartimento

Dislivello tra il piano del compartimento e relativo piano di riferimento. In compartimento multipiano è il dislivello maggiore in valore assoluto<sup>9</sup>.

#### 5. Superficie lorda di un ambito

Superficie in pianta compresa entro il perimetro interno delle pareti delimitanti l'ambito (ad es. superficie lorda di compartimento)<sup>10</sup>.

#### 6. Superficie utile di un ambito

Porzione di superficie di un ambito efficace ai fini della funzionalità richiesta<sup>11</sup>.

#### 7. Distanza di sicurezza esterna

Distanza minima misurata in pianta tra il perimetro di ciascun elemento pericoloso di un'attività e i seguenti elementi esterni al confine dell'attività e da preservare: confini di aree edificabili; perimetro del più vicino fabbricato; perimetro di altre opere pubbliche o private.

8 Definizione diversa rispetto a quella del DM 30/11/1983 (Termini, definizioni e simboli grafici di p.i.).

9 Ad es. per il piano più elevato di compartimento f.t., per il piano più profondo di compartimento int.

10 L'ambito può riferirsi all'intera attività o a parte di essa (piano, compartimento, area a rischio specifico ecc.). Se l'ambito è multipiano o vi sono soppalchi si intende la somma delle superfici lorde di tutti i piani.

11 Ad es. la superficie utile delle aperture di ventilazione: superficie al netto di eventuali telai, grate, alette ecc..

#### 8. Distanza di sicurezza interna

Distanza minima misurata in pianta tra i perimetri dei vari elementi pericolosi di un'attività.

#### 9. Distanza di protezione

Distanza minima misurata in pianta tra il perimetro di ciascun elemento pericoloso di un'attività ed il confine dell'area su cui sorge l'attività stessa.

#### 10. Distanza di separazione

Distanza di sicurezza interna, esterna o di protezione, a seconda dei casi.

### G.1.8. COMPARTIMENTAZIONE

Di seguito alcune definizioni contenute nel presente capitolo del Codice. Altre definizioni e dettagli sono contenute al cap. S.3.5 – Caratteristiche generali della compartimentazione.

#### 1. Spazio a cielo libero

Luogo esterno alle opere da costruzione non delimitato superiormente.

#### 2. Spazio coperto

Spazio avente caratteristiche tali da contrastare temporaneamente la propagazione dell'incendio tra le eventuali opere da costruzione che lo delimitano.

#### 3. Compartimento antincendio

Parte dell'opera da costruzione organizzata per rispondere alle esigenze della sicurezza in caso di incendio. Si tratta di un volume fisicamente definito e delimitato da prodotti o elementi costruttivi idonei a garantire, sotto l'azione del fuoco e per un dato intervallo di tempo, la resistenza al fuoco limitando la propagazione dell'incendio e dei suoi effetti verso altre attività o all'interno della stessa attività. Se non definito, s'intende che il compartimento coincida con l'intera opera da costruzione.

#### 4. Filtro

Disimpegno compartimentato antincendio ove è ammesso un piccolo quantitativo di materiale combustibile  $q_f < 50 \text{ MJ/m}^2$ <sup>12</sup>.

#### 5. Filtro protetto

Qualificazione di un volume dell'attività costituente compartimento antincendio (ad es. scala protetta, locale protetto, vano protetto, percorso protetto ecc.).

#### 6. Filtro a prova di fumo

Capacità di un compartimento di limitare l'ingresso di fumo generato da in-

---

<sup>12</sup> Corrispondente a circa 3 Kg/m<sup>2</sup>. 1 MJ=0,057 Kg di legno equivalente.

endio che si sviluppi in compartimenti comunicanti, con una delle seguenti caratteristiche aggiuntive di aerazione: direttamente all'esterno con aperture di superficie  $> 1 \text{ m}^2$ , permanente aperte o dotate di chiusura facilmente apribile in caso di incendio in modo automatico o manuale<sup>13</sup>, camino di ventilazione sfociante sopra la copertura dell'edificio di sezione  $> 0,10 \text{ m}^2$ , sistema di sovrappressione  $> 0,3 \text{ mbar}$  in emergenza<sup>14</sup>.

#### 7. Filtro esterno

Qualificazione di una porzione dell'attività esterna all'opera da costruzione, con caratteristiche tali da contrastare temporaneamente la propagazione dell'incendio proveniente dall'opera da costruzione.

#### 8. Scala a prova di fumo

Secondo il d.m. 30 novembre 1983: "Scala in vano costituente compartimento antincendio avente accesso per ogni piano, mediante porte di resistenza al fuoco almeno RE predeterminata e dotate di congegno di autochiusura, da spazio scoperto o da disimpegno aperto per almeno un lato su spazio scoperto dotato di parapetto a giorno"<sup>15</sup>.

#### 9. Capacità di compartimentazione in caso di incendio

Attitudine di un elemento costruttivo a conservare, sotto l'azione del fuoco, sufficiente isolamento (I) termico e tenuta (E) ai fumi e ai gas caldi della combustione, nonché tutte le altre prestazioni se richieste.

### G.1.9. ESODO

#### 1. Sistema d'esodo

Insieme delle misure antincendio che consentono agli occupanti di raggiungere un luogo sicuro in caso d'incendio.

#### 2. Luogo sicuro

Luogo esterno ove non esiste pericolo per gli occupanti che vi stazionano o transitano, idoneo a contenere gli occupanti (Superficie  $\geq 0,70$  o  $\geq 2,25 \text{ m}^2/\text{pers}$  risp. per deambulanti o non).

<sup>13</sup> A differenza del DM 30/11/1983, che non consente aperture di aerazione normalmente chiuse. Si ricorda come queste disposizioni valgano solamente per le attività di cui all'Allegato I del d.P.R. 151/2011 disciplinate dal nuovo Codice di prevenzione incendi (sono pertanto esclusi locali di pubblico spettacolo, alberghi, scuole, ospedali, attività commerciali, uffici, autorimesse, edifici di civile abitazione ecc.)

<sup>14</sup> A differenza del DM 30/11/1983, che prevede che la sovrappressione deve essere garantita in ogni momento.

<sup>15</sup> Con il nuovo codice la definizione di Scala a prova di fumo cambia in maniera più favorevole ai fini della realizzazione.



### 3. Luogo sicuro temporaneo

Luogo interno o esterno nel quale non esiste pericolo imminente per gli occupanti che vi stazionano o transitano in caso di incendio, idoneo a contenere gli occupanti analogamente al luogo sicuro (ad es. un compartimento adiacente a quelli da cui avviene l'esodo o uno spazio scoperto). Da ogni luogo sicuro temporaneo gli occupanti devono poter raggiungere un luogo sicuro.

### 4. Spazio calmo

Luogo sicuro temporaneo ove gli occupanti possono attendere assistenza per completare l'esodo verso luogo sicuro; Se lo spazio calmo è contiguo e comunicante con una via d'esodo, non deve costituire intralcio alla fruibilità delle vie di esodo e deve garantire la permanenza in sicurezza degli occupanti in attesa dei soccorsi.

### 5. Affollamento

Numero massimo ipotizzabile di occupanti.

### 6. Via d'esodo

Percorso senza ostacoli al deflusso appartenente al sistema d'esodo, che consente agli occupanti di raggiungere un luogo sicuro dal luogo in cui si trovano.

### 7. Via d'esodo orizzontale

Porzione di via d'esodo a quota costante o con pendenza  $\leq 5\%$  (ad es. corridoi, porte, uscite ecc.).

### 8. Via d'esodo verticale

Porzione di via d'esodo che consente agli occupanti variazioni di quota con pendenza  $> 5\%$  (ad es. scale, rampe ecc.).

### 9. Larghezza della via d'esodo

Larghezza minima, dal piano di calpestio fino all'altezza di 2 m, misurata deducendo l'ingombro di eventuali elementi sporgenti con esclusione di estintori e valutata lungo tutto il percorso. Tra gli elementi sporgenti non vanno considerati i corrimano e i dispositivi di apertura delle porte con sporgenza  $\leq 80$  mm.

### 10. Larghezza unitaria delle vie d'esodo

Indice quantitativo della potenzialità di una via d'esodo in relazione al profilo di rischio  $R_{vita}$ . È convenzionalmente espressa dalla larghezza in millimetri necessaria all'esodo di un singolo occupante (mm/persona).

### 11. Lunghezza d'esodo

Distanza che ciascun occupante deve percorrere lungo una via d'esodo dal luogo in cui si trova fino ad un luogo sicuro temporaneo o ad un luogo sicuro. È valutata con il metodo del filo teso senza tenere conto degli arredi mobili.

## 12. Corridoio cieco

Porzione di via d'esodo da cui è possibile l'esodo in un'unica direzione (termina nel punto in cui diventa possibile l'esodo in più di una direzione, indipendentemente dai luoghi sicuri temporanei eventualmente attraversati dalla via d'esodo).

## 13. Esodo simultaneo

Spostamento contemporaneo a luogo sicuro (attivazione subito dopo la rivelazione dell'incendio o differita dopo verifica).

## 14. Esodo per fasi

In strutture con più compartimenti, dopo la rivelazione e l'allarme incendio l'evacuazione avviene in successione partendo dal compartimento di innesco, con l'ausilio di misure di protezione attiva, passiva e gestionali (ad es. edifici alti, ospedali, multisale, centri commerciali, grandi uffici ecc.).

## 15. Esodo orizzontale progressivo

Spostamento occupanti dal compartimento di innesco in un compartimento adiacente capace di contenerli e proteggerli fino a eventuale successiva evacuazione (ad es. strutture ospedaliere, asili nido ecc.).

## 16. Protezione sul posto

Protezione occupanti nel compartimento di primo innesco (ad es. centri commerciali, aerostazioni ecc.).

## G.1.12 RESISTENZA AL FUOCO

### 1. Resistenza al fuoco

Misura antincendio di protezione che riguarda la capacità portante in caso di incendio per una struttura, per una parte della struttura o per un elemento strutturale, nonché la capacità di compartimentazione in caso di incendio per gli elementi di separazione strutturali e non strutturali.

### 2. Capacità portante in casi di incendio

Attitudine della struttura, di una parte della struttura o di un elemento strutturale, a conservare una sufficiente resistenza meccanica sotto l'azione del fuoco, tenendo conto delle altre azioni agenti.

### 3. Capacità di compartimentazione in caso di incendio

Attitudine di un elemento costruttivo a conservare, sotto l'azione del fuoco, un sufficiente isolamento termico ed una sufficiente tenuta ai fumi e ai gas caldi della combustione, nonché tutte le altre prestazioni se richieste.

### 4. Carico di incendio

Potenziale termico netto di tutti i materiali combustibili presenti in uno spazio, corretto in base ai parametri indicativi della partecipazione alla combustione

dei singoli materiali<sup>16</sup>. Il carico di incendio è espresso in MJ, e convenzionalmente si assume 1 MJ corrispondente a 0,075 Kg di legna equivalente.

#### 5. Carico d'incendio specifico

Carico d'incendio riferito all'unità di superficie lorda di piano, espresso in MJ/m<sup>2</sup>. Può essere determinato tramite un'equazione semplificata o attraverso una valutazione statistica per la specifica attività.

#### 6. Carico d'incendio specifico di progetto

Carico d'incendio specifico corretto in base ai parametri indicatori di rischio del compartimento antincendio e dei fattori relativi alle misure antincendio presenti.

#### 7. Classe di resistenza al fuoco

Intervallo di tempo espresso in minuti, definito in base al carico di incendio specifico di progetto, durante il quale il compartimento antincendio garantisce la resistenza al fuoco. La classe di resistenza al fuoco è riferita ad una curva di incendio nominale<sup>17</sup>.

---

16 Per quanto riguarda gli elementi strutturali in legno, è possibile considerare il contributo dovuto alla combustione tenendo conto che essi dovranno garantire in ogni caso un'adeguata resistenza (strutturale) in condizioni di incendio. Per il calcolo strutturale sviluppato secondo il d.m. 14 gennaio 2008 si introducono i concetti di "sezione trasversale efficace" che rappresenta uno strumento, anche abbastanza semplice, per tenere conto, almeno fino ad una certa profondità al di sotto dello strato carbonizzato, dell'effettiva diminuzione dei parametri di resistenza e rigidità del materiale investito dal fuoco, e delle "curve parametriche e nominali" utilizzate per il calcolo della resistenza al fuoco degli elementi in legno. La velocità con cui il legno si carbonizza e perde la sua resistenza meccanica è detta *velocità di carbonizzazione*. Detta velocità è funzione anche del tipo di legno e nella UNI 9504 varia da 0,7 a 0,9 mm/min. L'Eurocodice EN 1995-1-2 prevede 2 metodi semplificati per il calcolo al fuoco di elementi monodimensionali: *il metodo della sezione ridotta* e *il metodo della riduzione delle proprietà meccaniche*. Il primo, consiste nella valutazione della resistenza di una sezione al netto dello strato carbonizzato, mentre il secondo oltre a prevedere una determinazione della sezione ridotta in modo più accurato, impone di effettuare le verifiche strutturali riducendo le proprietà meccaniche del legno stesso. Per un'esauritiva e completa trattazione del dimensionamento degli elementi strutturali in legno si rimanda all'"EUROCODICE 5 - Progettazione delle strutture in legno", e alle Norme Tecniche delle Costruzioni d.m. 14 gennaio 2008, paragrafi 4.4., 7.7, 11.7.

17 Lo sviluppo di un incendio all'interno di un ambiente confinato può essere illustrato con riferimento all'andamento temporale della temperatura media durante l'incendio. Tale curva permette di individuare più stadi specifici durante lo sviluppo dell'incendio così definiti:

- 1. Fase d'ignizione: in essa il processo di combustione è instabile, governato principalmente dal bilancio termico della reazione;
- 2. Fase di propagazione: una volta stabilizzata la reazione di combustione, si nota una marcata tendenza all'estensione dell'incendio, associata ad un rapido aumento della temperatura ambientale;
- 3. Fase d'incendio generalizzato: quando la temperatura ambientale tende all'uniformità e raggiungono valori compresi fra 500 °C e 600 °C, in dipendenza delle caratteristiche del compartimento e dei materiali combustibili in esso contenuti, oppure la potenza radiante raggiunge i 20 kW/m<sup>2</sup> a livello del pavimento, si ha il cosiddetto punto critico ovvero punto di completo sviluppo dell'incendio, conosciuto anche come *flashover*;
- 4. Fase d'estinzione e raffreddamento: il progressivo esaurimento del combustibile determina la riduzione dell'emissione termica da parte dell'incendio, il quale diminuisce gradualmente d'intensità, fino a giungere all'estinzione. L'incendio può essere considerato estinto quando la temperatura dell'ambiente è scesa al di sotto dei 300 °C, potendosi ragionevolmente escludere improvvisi reineschi dovuti al livello termico.

Ciò nonostante in letteratura tecnica, secondo il d.m. 9/3/2007 la curva nominale si considera iniziata in corrispondenza del flash over, trascurando la fase di innesco e di prima propagazione.

## 8. Incendio convenzionale di progetto

Incendio definito attraverso una curva di incendio che rappresenta l'andamento, in funzione del tempo, della temperatura media dei gas di combustione nell'intorno della superficie degli elementi costruttivi. La curva di incendio di progetto può essere: nominale (curva adottata per la classificazione delle opere da costruzione e per le verifiche di resistenza al fuoco di tipo convenzionale) e naturale (curva determinata in base a modelli d'incendio e a parametri fisici naturali che definiscono le variabili di stato all'interno del compartimento antincendio).

## 9. Incendio localizzato

Focolaio d'incendio che interessa una zona limitata del compartimento antincendio, con sviluppi di calore concentrato in prossimità degli elementi costruttivi posti superiormente al focolaio o immediatamente adiacenti.

### G.1.13 REAZIONE AL FUOCO

#### 1. Reazione al fuoco

Una delle misure antincendio di protezione da perseguire per garantire un adeguato livello di sicurezza in condizione di incendio ed in particolare nella fase di prima propagazione dell'incendio (pre-flashover) e rappresenta il comportamento di un materiale che con la sua decomposizione partecipa al fuoco al quale è stato sottoposto.

#### 2. Classe di reazione al fuoco

Grado di partecipazione di un materiale (o di un prodotto) al fuoco al quale è stato sottoposto.

#### 3. Materiale incombustibile

Materiale che non partecipa o contribuisce in maniera significativa all'incendio, indipendentemente dalle sue condizioni di utilizzo finale.

#### 4. Materiale isolante

Manufatto commercializzato come tale, individuabile tramite la sua denominazione commerciale.

#### 5. Componente isolante

Nei materiali isolanti è l'elemento, o l'insieme di elementi, che hanno come funzione specifica quella di isolare.

### G.1.14 PROTEZIONE ATTIVA

#### 1. Impianto di rivelazione incendio e segnalazione allarme incendio (IRAI)

Impianto in grado di rivelare un incendio prima possibile e lanciare l'allarme per attivare misure antincendio tecniche e procedurali.

2. Impianto di estinzione o controllo dell'incendio (automatico o manuale)  
Impianto antincendio in grado di erogare l'estinguente secondo appropriate configurazioni
3. Sistema per l'evacuazione di fumo e calore (SEFC)  
Sistema o impianto che assicura l'evacuazione controllata di fumi e gas caldi.
4. Rete idranti (RI)  
Impianto di estinzione dell'incendio, a funzionamento manuale in grado di erogare acqua da appositi apparecchi di erogazione, collegati ad un sistema di tubazioni fisse, come gli idranti a colonna soprasuolo, idranti sottosuolo, idranti a muro e naspo.
5. Estintore d'incendio  
Apparecchio contenente un agente estinguente espulso per effetto della pressione interna e diretto su un incendio.
6. Sistema di allarme vocale per scopi di emergenza (EVAC)  
Impianto destinato principalmente a diffondere informazioni vocali per la salvaguardia della vita durante un'emergenza.
7. Manuale d'uso e manutenzione dell'impianto  
Documentazione (redatta in lingua italiana) che comprende le istruzioni necessarie per una corretta gestione dell'impianto di protezione attiva contro l'incendio e per il mantenimento in efficienza dei suoi componenti. Le stesse istruzioni sono fornite direttamente dall'azienda fornitrice dell'impianto.

## PROGETTAZIONE PER LA SICUREZZA ANTINCENDIO

Il Codice utilizza la nuova metodologia consistente nell'individuazione di livelli prestazionali (I, II, III, IV ecc.), introdotta per la prima volta in Italia nel campo della resistenza al fuoco con il d.m. 9/3/2007, estendendola a tutte le altre "misure antincendio"<sup>18</sup> (Reazione al fuoco, compartimentazione, esodo, gestione della sicurezza, controllo dell'incendio ecc.).

I contenuti tecnici del Codice seguono due importanti ipotesi fondamentali:

1. in condizioni ordinarie, l'incendio di un'attività si avvia da un solo punto di innesco;
2. il rischio di incendio di un'attività non può esser ridotto a zero.

Di conseguenza, tutte le misure di antincendio sono previste dal progettista al fine

---

<sup>18</sup> Strumenti di prevenzione, protezione e gestionali per la riduzione del rischio di incendio.

di minimizzare tale rischio, in termini di probabilità e di conseguenze, entro limiti considerati accettabili.

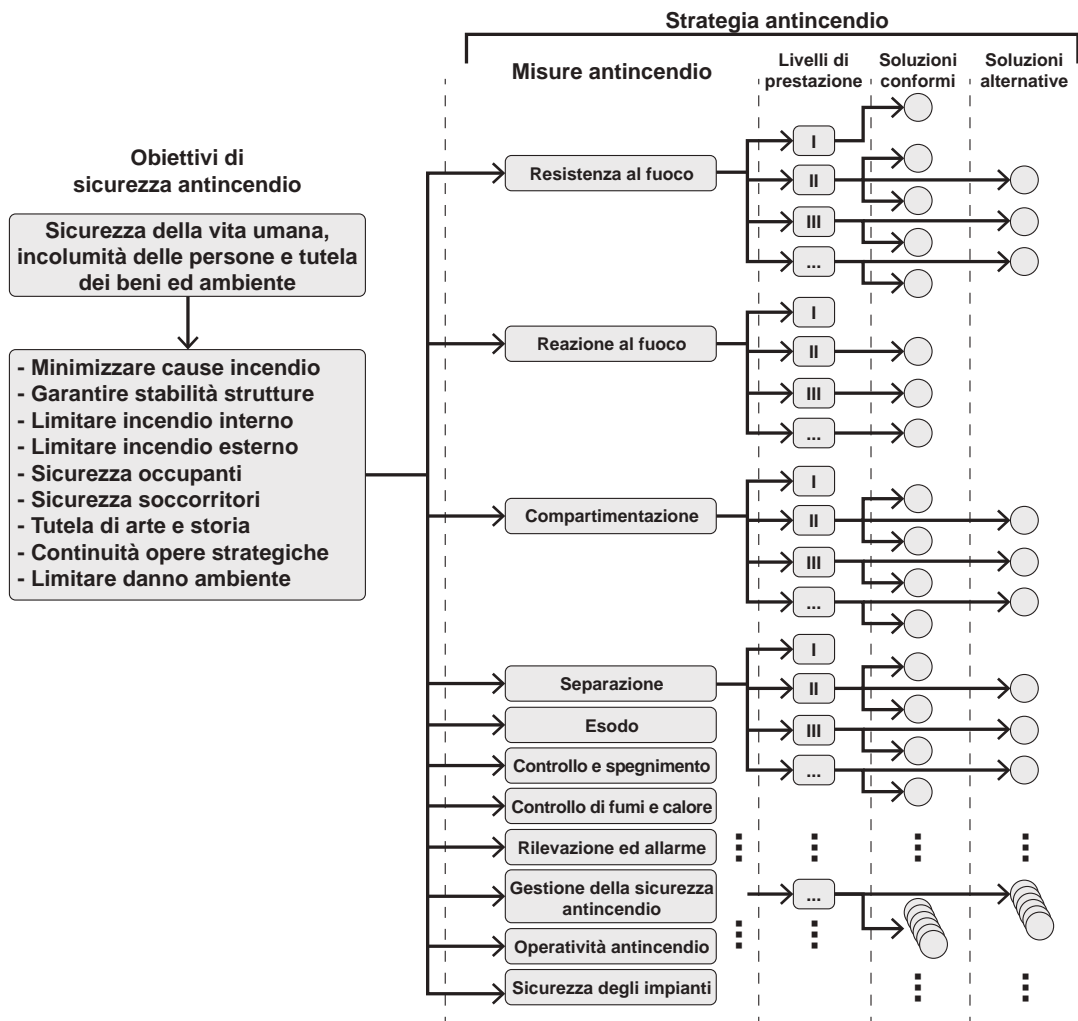
La metodologia di progettazione antincendio può essere così sommariamente riassunta:

1. Valutazione del rischio di incendio per l'attività in esame e attribuzione di tre tipologie di profili di rischio ( $R_{vita}$ ,  $R_{beni}$ ,  $R_{ambiente}$ ) valutate secondo normativa di cui al punto G.3 del nuovo Codice (d.m. 3 agosto 2015);
2. scelta di un'adeguata strategia antincendio composta da misure antincendio di prevenzione, di protezione e gestionali;
3. per ciascuna misura antincendio sono specificati i criteri di attribuzione del livello di prestazione, in funzione degli obiettivi di sicurezza da raggiungere della valutazione del rischio di attività;
4. scelta delle soluzioni progettuali al fine di raggiungere il livello di prestazione richiesto. Per ogni livello di prestazioni il nuovo codice prevede tre tipologie di soluzioni progettuali: soluzioni conformi<sup>19</sup>, soluzioni alternative e soluzioni in deroga, queste ultime in caso di non applicabilità della precedenti.

---

<sup>19</sup> Ad es. reazione al fuoco per materiali installati nelle vie d'esodo per il livello di prestazione III: devono essere impiegati i materiali del gruppo GM2 (es: classe 1 IM, B-s2, d0 ecc.).

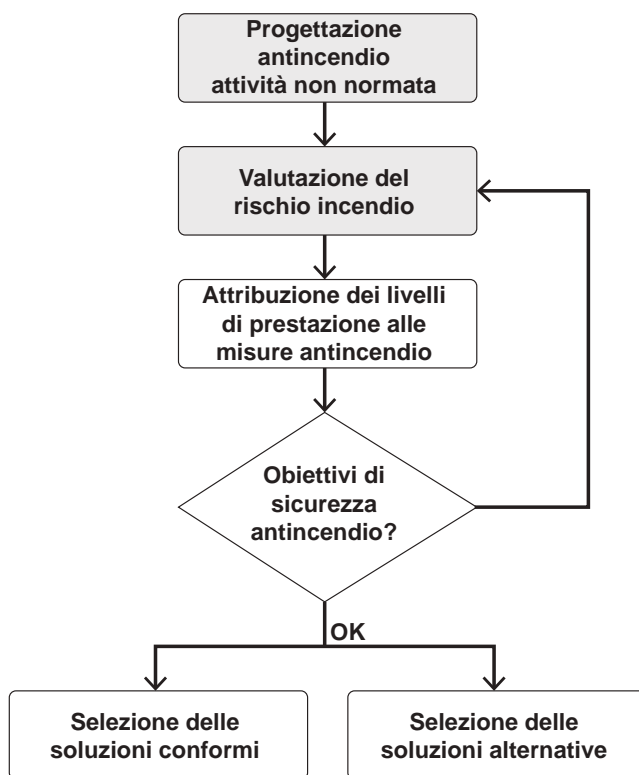




**2** Schematizzazione della metodologia generale di progettazione (d.m. 3 agosto 2015, cap. 2 Progettazione per la sicurezza antincendio Illustrazione G.2.1.).

## PROGETTAZIONE ANTINCENDIO DELLE ATTIVITÀ NON NORMATE

Per questo tipo di attività dovrà necessariamente esser effettuata la valutazione del rischio incendio seguendo la seguente metodologia finalizzata all'attribuzione dei profili di rischio e quindi all'attribuzione dei livelli di prestazione per ciascuna misura antincendio. Per questo tipo di attività si possono prevedere soluzioni conformi e soluzioni alternative.



**3** Progettazione antincendio delle attività non normate (d.m. 3 agosto 2015, cap. 2 Progettazione per la sicurezza antincendio Illustrazione G.2.2.).

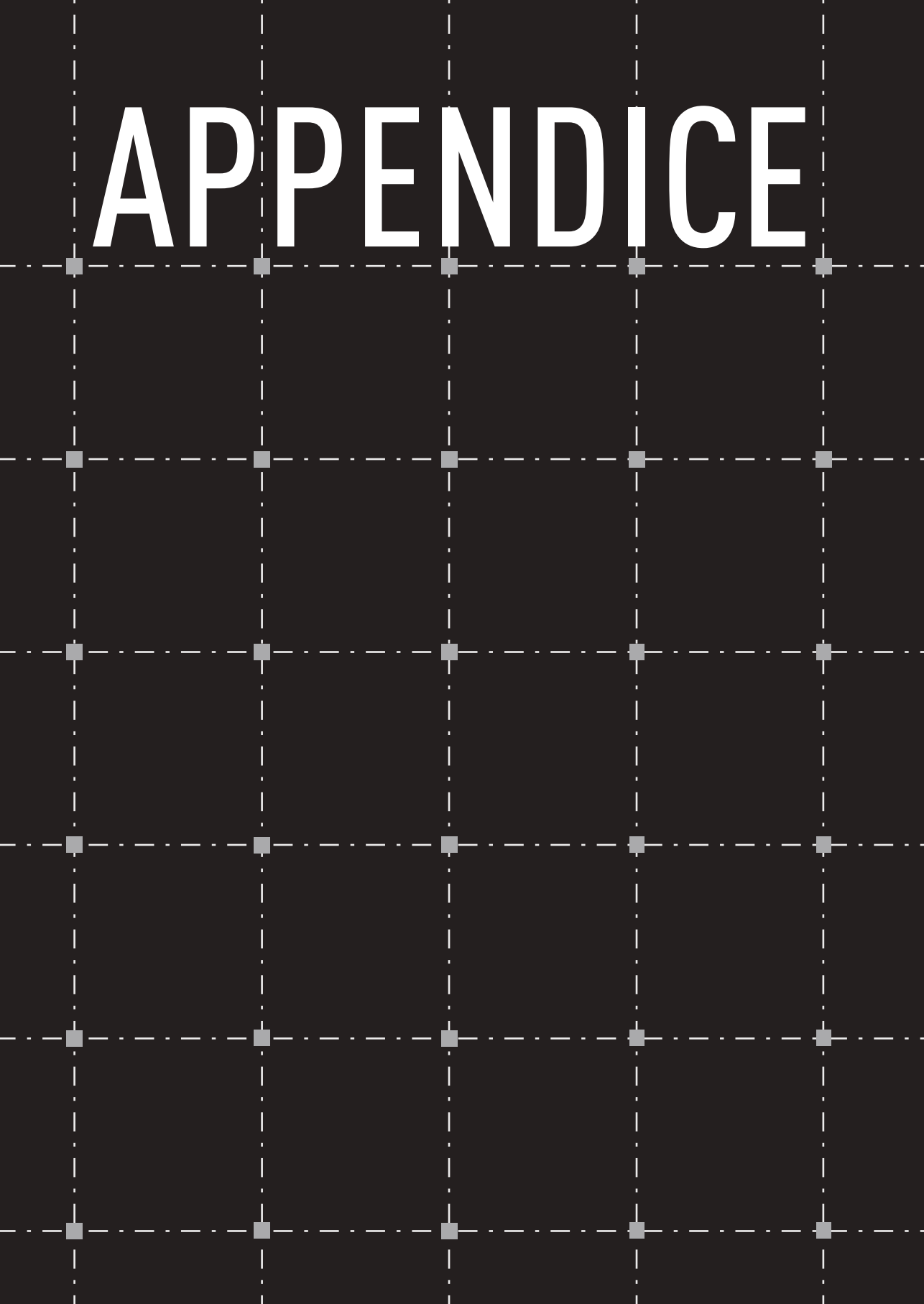
## PROGETTAZIONE ANTINCENDIO DELLE ATTIVITÀ NORMATE

In questo caso la valutazione del rischio è implicitamente effettuata dal normatore, con la definizione, nella Regola tecnica verticale (RTV), dei profili di rischio e dei livelli di prestazione. Lo sviluppo delle RTV nel nuovo codice è attualmente molto limitato e pertanto trascurabile.



**4** Progettazione antincendio delle attività normate (d.m. 3 agosto 2015, cap. 2 Progettazione per la sicurezza antincendio Illustrazione G.2.3.).

# APPENDICE



# DEFINIZIONI<sup>1</sup>

## QUALITÀ DELL'INVOLUCRO EDILIZIO

### STRUTTURE COSTITUENTI L'INVOLUCRO EDILIZIO E REQUISITI<sup>2</sup>

Nell'organismo edilizio l'involucro perimetrale è la sede privilegiata d'interscambio tra lo spazio confinato interno e l'esterno, col quale si relaziona.

L'involucro edilizio ha l'esclusiva funzione di rapportarsi direttamente con le condizioni climatiche esterne quali freddo, caldo, umidità, precipitazioni, vento e luce; con gli aspetti critici del luogo, quali le fonti di inquinamento acustico, elettromagnetico e dell'aria, ma anche con i suoi elementi di valore quali il paesaggio naturale o l'ambiente costruito esistente. L'involucro è costituito dall'insieme delle strutture edilizie esterne che gli danno forma e lo delimitano, a loro volta costituite da diversi componenti e materiali a spessore variabile.

Le strutture costituenti l'involucro attraverso cui l'edificio entra in relazione con l'esterno sono:

1. strutture orizzontali verso il terreno o l'esterno;
2. strutture opache verticali perimetrali;
3. coperture piane e inclinate;
4. chiusure trasparenti.

---

<sup>1</sup> Testo di Maurizio Bradaschia.

<sup>2</sup> Cfr. Catani A., Mondadori Education S.p.A., Milano.

In relazione al soddisfacimento dei requisiti tecno-funzionali ed energetici specifici delle singole strutture, l'involucro edilizio deve essere ideato in modo da:

- isolare da temperature rigide esterne e quindi ridurre la dispersione del calore prodotto dalle fonti di riscaldamento interno;
- isolare, smorzare, sfasare, proteggere dal calore esterno estivo;
- impedire fenomeni di condensa;
- impermeabilizzare dall'acqua e dalla risalita capillare provenienti dal contatto con il terreno;
- convogliare e/o allontanare o recuperare l'acqua piovana dall'edificio;
- isolare dai rumori.

In relazione al soddisfacimento dei **requisiti di bioecocompatibilità e di efficienza energetica** d'insieme dell'organismo edilizio, la progettazione dell'involucro edilizio deve prevedere:

- una forma, composizione, orientamento e una disposizione e ampiezza delle aperture non casuali, rapportati criticamente e consapevolmente alle caratteristiche climatiche del luogo: questi accorgimenti sono finalizzati alla captazione dell'energia solare passiva invernale, alla protezione dal surriscaldamento estivo, dai venti dominanti, dagli agenti inquinanti esterni e alla valorizzazione della ventilazione e dell'illuminazione naturale;
- l'utilizzo di materiali e componenti naturali, non tossici, non inquinanti, in stretta relazione con le caratteristiche climatiche del luogo, a loro volta strettamente legate alle risorse e alla tradizione culturale costruttiva locali; composti, associati e messi in opera in modo da garantire un loro corretto funzionamento e la traspirabilità dell'involucro.

In relazione al soddisfacimento dei **requisiti di qualità culturale**, l'involucro edilizio deve essere ideato valutando con consapevolezza il contesto paesaggistico e/o urbano in cui si inserisce.



## SOSTENIBILITÀ DEI PRODOTTI DA COSTRUZIONE

La certificazione delle caratteristiche di sostenibilità nei prodotti per l'edilizia è uno dei requisiti che portano ad ottenere punteggi nei sistemi di Rating complessi, oltre a requisiti quali l'impatto ambientale, la gestione delle risorse energetiche, la qualità dell'aria, i trasporti, la gestione dei rifiuti. Tra i sistemi di Rating sono da ricordare:

- BREEAM: lanciato nel Regno Unito nel 1990, è attualmente supportato dal Governo della Gran Bretagna e obbligatorio per gli edifici pubblici.

The logo for BREEAM, consisting of the word "BREEAM" in a bold, green, sans-serif font, followed by a registered trademark symbol (®).

**1** Logo BREEAM.

- DGNB: sistema di certificazione volontario sviluppato dal 2009 in Germania originariamente per gli uffici ed edifici amministrativi di nuova costruzione. È premiante nei confronti di una pianificazione integrale che definisce gli scopi della costruzione sostenibile.



**2** Logo DGNB.

- HQE: è il label francese. Lanciato nel 2005, conta oggi 200 certificati. È applicabile a tutti i tipi di edifici nuovi ed esistenti nel settore residenziale, terziario e industriale, nonché alle strade e alle autostrade.

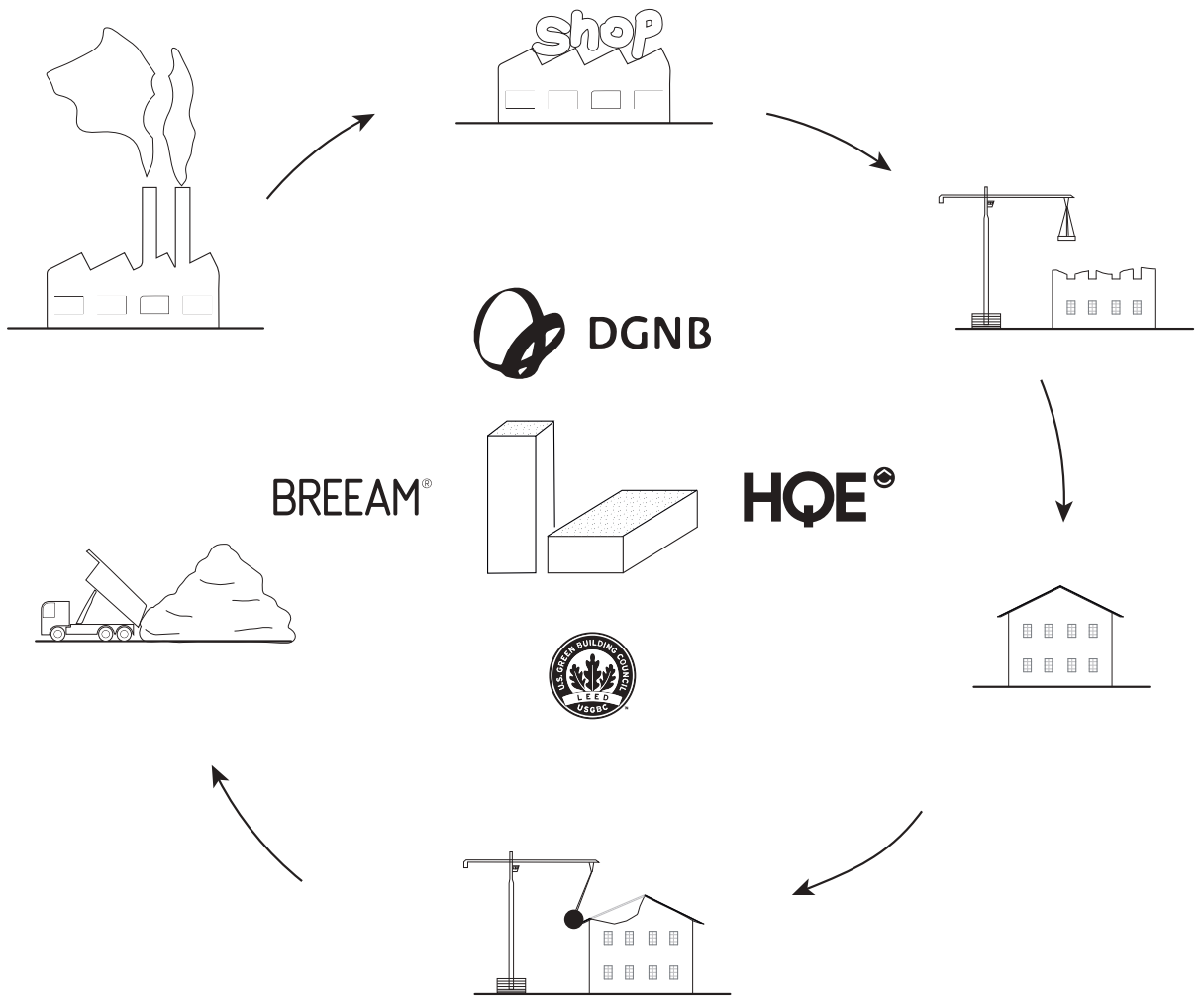


**3** Logo HQE.

- LEED: Iniziativa lanciata nel 1998 da US GBC (Green Building Council) e diffusa in oltre 100 paesi. Si caratterizza per il suo approccio alla sostenibilità ambientale in modo complessivo ed integrato, tenendo conto anche di aspetti sociali ed economici.



**4** Logo LEED.



**5** Ciclo di produzione. Ormai molti enti di certificazione analizzano tutto il processo di vita di un materiale edile, dalla produzione, alle sue qualità intrinseche fino al suo smaltimento. Queste aziende seguono disciplinari particolari e sono riconoscibili dal loro logo.

## DURABILITÀ DEI COMPONENTI EDILIZI

La durabilità dei componenti edilizi<sup>3</sup> è un requisito relativo al comportamento nel tempo dei componenti edilizi ed è definito in Italia dalla norma UNI 11156, «Valutazione della durabilità dei componenti edilizi», come la capacità di svolgere le funzioni richieste durante un periodo di tempo specificato, sotto l'influenza degli agenti previsti in esercizio.

La propensione prestazionale del componente studiato in relazione al requisito di durabilità si deduce dalla conoscenza della sua durata, o vita utile, accompagnata dall'affidabilità del componente stesso, che rappresenta la probabilità che l'elemento tecnico funzioni senza guastarsi nell'arco di tempo che va dal tempo zero, momento in cui il componente viene installato e messo in opera, al tempo di fine vita utile del componente stesso in esercizio, ad esempio nelle fasi di progettazione, realizzazione e gestione di un green building.

L'elemento tecnico subisce una naturale caduta prestazionale nel tempo in relazione anche alla vita utile propria dei materiali impiegati per realizzarla, alla loro messa in opera e all'interfaccia che si crea tra i differenti materiali della stratigrafia realizzata. Oltre un certo limite di soglia la prestazione del componente raggiunge valori sotto i quali non è più in grado di dare una risposta efficace in relazione alla funzione richiestagli, decretando così la sua fine di vita utile. Ponendosi in linea con la ISO 15686, *Buildings and constructed assets. Service life planning*, che fornisce il quadro generale a livello internazionale in merito alla valutazione e alla gestione della vita utile dell'edificio, la UNI 11156 definisce appunto questa durata o vita utile del componente (*service life*) come il periodo di tempo dopo l'installazione durante il quale l'elemento tecnico mantiene livelli prestazionali superiori o uguali ai limiti di accettazione definiti in relazione al soddisfacimento delle funzioni richiestegli e alle esigenze espresse dall'utenza, e considerando un livello di manutenzione minimo assimilabile alle operazioni di manutenzione ordinaria, che normalmente si effettuano sempre durante il periodo di uso e gestione del manufatto edile.

La valutazione della vita utile (*service life*) trova nel valore della cosiddetta "durata spontanea" il dato di *input* per la sua valutazione: questa durata è quindi quella

---

<sup>3</sup> [https://it.wikipedia.org/wiki/Durabilit%C3%A0\\_dei\\_componenti\\_edilizi](https://it.wikipedia.org/wiki/Durabilit%C3%A0_dei_componenti_edilizi)

ottenuta sperimentalmente attraverso prove di invecchiamento sotto l'azione di agenti sollecitanti. Inoltre la *service life* si articola poi in una valutazione di "vita utile di riferimento" (*reference service life*) e di "vita utile stimata" (*estimated service life*), a seconda di chi effettua la valutazione e di quale obiettivo si pone. La valutazione della "vita utile di riferimento" è infatti per lo più indirizzata a quegli Enti preposti al controllo della durabilità degli elementi tecnici nella fase di produzione e in particolar modo per la certificazione di durabilità dei prodotti, che si vuole inserire come ulteriore prova da effettuare da parte dei produttori per l'ottenimento del marchio CE, relativamente alla direttiva CEE 89/106 sui prodotti da costruzione. Il termine "riferimento" sta quindi ad indicare le condizioni al contorno assunte dal produttore che certifica la durabilità del suo prodotto fuori sistema e considerando condizioni di uso e di degrado plausibili e che mediamente si verificano. La "vita utile stimata", invece, è quella calcolata dal progettista e quindi relativa alle condizioni reali in cui si colloca il suo progetto. Partendo dai dati di durata dichiarati nella *reference service life*, il progettista può renderli più reali rispetto al suo specifico progetto modificando le condizioni di riferimento assunte dal produttore perché risultino più veritiere rispetto alle condizioni del contesto progettuale specifico. Per effettuare questo passaggio la norma mette a disposizione del progettista diversi metodi, più o meno complessi e più o meno affidabili, utilizzando fattori correttivi o basandosi su analisi statistiche sia del contesto sollecitante che del comportamento dei materiali.

Sia la ISO 15686 che la norma UNI 11156, infine, introducono anche il termine di *design life* o "vita utile di progetto" che indica la vita utile che il progettista pone come obiettivo, in termini di durata, del suo progetto e che trova una sua verifica nella procedura di valutazione della *estimated service life*.

UNI, UNI 11156-1. «Valutazione della durabilità dei componenti edilizi. Terminologia e definizione dei parametri di valutazione», 2006.

UNI, UNI 11156-2. «Valutazione della durabilità dei componenti edilizi. Metodo per la propensione all'affidabilità», 2006.

UNI, UNI 11156-3. «Valutazione della durabilità dei componenti edilizi. Metodo per la valutazione della durata (vita utile)», 2006.

## **MATERIALI PER L'EDILIZIA**

I materiali per l'edilizia sono tutti quei materiali, sia naturali che artificiali, normalmente impiegati per realizzare e rifinire le costruzioni edilizie e le opere d'ingegneria civile.

Ne esistono di varie tipologie, sia naturali sia artificiali, a cui nel tempo se ne sono aggiunti e se ne aggiungono sempre di nuovi. Il numero e la varietà dei materiali è in costante e continuo aumento.

Ciò sulla base sia del progresso della tecnica che della continua ricerca di nuove prestazionalità in senso lato. Ciò ha comportato, nel tempo, una consistente differenziazione dei sistemi impiegati per la loro produzione.

L'elevato numero di materiali da costruzione dipende dal fatto che ognuno di essi presenta delle particolari proprietà, che lo fanno preferire agli altri a seconda degli scopi e/o le inclinazioni di progettisti, imprese, utenti.

## **INVOLUCRO EDILIZIO**

L'involucro edilizio è quell'elemento "architettonico" che delimita e conclude perimetralmente l'organismo edilizio inteso quale organismo sia costruttivo che strutturale, con la funzione di mediare, di separare e connettere l'interno con l'esterno. L'involucro edilizio è definibile anche come elemento ambientale, che delimita e identifica gli spazi esterni circostanti, ed è costituito da tutte le unità tecnologiche ed elementi tecnici che morfologicamente e funzionalmente definiscono nelle tre direzioni, interagendo a sistema, il limite tra l'ambiente interno (insieme di elementi spaziali e unità ambientali che devono garantire il soddisfacimento delle esigenze dell'utenza) e l'ambiente esterno (contesto ambientale, condizioni al contorno) di un organismo edilizio.

## RICICLAGGIO DEI MATERIALI EDILI

Il riciclaggio di materiali edili è quell'insieme di strategie volte a recuperare i materiali provenienti dall'attività di costruzione e demolizione per reimpiegarli nel settore delle costruzioni evitandone lo smaltimento.

Il riciclo viene classificato come riciclo primario, secondario e terziario in funzione del processo subito e delle caratteristiche del prodotto finale:

Il riciclo primario, o "riuso", consiste nel riutilizzo direttamente in cantiere degli scarti di lavorazione.

Il riciclo secondario implica un trattamento meccanico del rifiuto e generalmente un calo di qualità del prodotto rispetto all'originale. Implica generalmente un utilizzo diverso del materiale trattato rispetto a quello originario.

Il riciclo terziario avviene per processo chimico: può produrre un materiale equivalente al materiale di partenza o totalmente diverso come avviene per le fibre di amianto.

Il riciclaggio dei materiali provenienti da attività di costruzione e demolizione rappresenta oggi una valida alternativa allo smaltimento.

La pratica del riciclaggio di rifiuti provenienti dai cantieri edili è oggi parte preminente delle politiche del settore edilizio, sempre più orientato alla riconversione di aree dismesse e al riuso di edifici.

Inoltre, nell'attuale contesto di crescente attenzione verso le questioni "ambientali", derivante dai numerosi problemi di natura idrogeologica degli anni più recenti, è sorta la necessità consapevolmente condivisa di limitare il consumo delle risorse e del suolo, che ha portato inevitabilmente a riconsiderare l'intera produzione di materiali.

Il decreto Ronchi del 1997 (D.L. 5/02/97 abrogato dall'art. 264, c. 1, lett. i del d.lgs. n. 152 del 3 aprile 2006 che ne ricalca le linee), ha offerto per la prima volta un quadro organico sulla normativa di settore, prevedendo precisi obblighi di indirizzo, pianificazione e attuazione della politica di gestione dei rifiuti. Con il decreto Ronchi, in linea con le direttive comunitarie, le ditte operatrici nel settore della demolizione sono state obbligate a compilare formulari di identificazione dei rifiuti. Lo scopo è stato quello di prevenire e ridurre la produzione dei rifiuti, valorizzare gli scarti attraverso il recupero, diminuire la quantità dei rifiuti smaltiti in discarica ed incrementare la raccolta differenziata per garantire l'alta qualità del recupero.



Obiettivi che si sono tradotti, oltre che nella presa di coscienza della materia, soprattutto nell'ottimizzazione delle singole fasi del processo edilizio, dalla progettazione, alla realizzazione e gestione di un edificio.

Oltre al decreto Ronchi, di grande rilievo è il codice CER/2002 che classifica i rifiuti delle operazioni di costruzione e demolizione tramite codici che servono da riferimento per la compilazione del MUD, che a sua volta rappresenta un'ottima banca dati per la riorganizzazione del Catasto dei Rifiuti e dell'Osservatorio nazionale sui rifiuti.

Il processo di riciclo dei materiali edili si articola in quattro grandi fasi:

1. formazione del rifiuto di cantiere;
2. raccolta dei prodotti dismessi;
3. trattamento dei rifiuti;
4. ricollocazione nel mercato dei prodotti provenienti dagli impianti di riciclaggio.

In edilizia, oltre al tema/problema del riciclo è altresì importante parlare di "riuso" dei materiali.

Varie sono infatti le componenti del sistema edilizio che possono essere reimpiegate così come sono: dalla pietra naturale delle pavimentazioni storiche, spesso sepolta sotto strati di bitume che, ripulita e "restaurata" anche tramite rimodellamento, può venire riutilizzata, ai coppi (anche questi puliti e rivenduti, per essere reimpiegati insieme a quelli nuovi nei centri storici), ai mattoni fatti a mano (ripuliti ed impiegati in pavimentazioni per interni ed esterni, alle travi di legno. Il riuso è certamente da prediligere al riciclo, si tratta di un metodo poco dispendioso sia dal punto di vista energetico che economico.

## **ASSEMBLAGGIO COMPONENTI A SECCO**

L'assemblaggio a secco è una tecnica costruttiva in cui il manufatto edilizio è realizzato attraverso l'unione di componenti diversi (possibilmente leggeri), realizzati generalmente fuori opera e montati in opera.

Nell'assemblaggio a secco i componenti vengono uniti con tecnologie di giunzione di tipo meccanico (legatura, aggraffaggio, saldatura, bullonatura, chiodatura, incastro/innesto ecc.) e resi solidali attraverso una precisa logica costruttiva presta-

bilità (istruzioni/regole di montaggio) senza l'impiego di materiali di connessione destinati a consolidarsi dopo la posa, come leganti, collanti e sigillanti.

I componenti, già finiti dal punto di vista formale, in quanto precedentemente lavorati, vengono assemblati reciprocamente e/o con gli elementi dell'edificio già realizzati. Le parti dell'edificio soggette a procedure di assemblaggio possono infatti riguardare solo alcuni elementi della costruzione oppure estendersi all'intero organismo edilizio.

Le procedure di assemblaggio impongono che in sede di progettazione del componente sia risolto il problema del collegamento e dell'integrazione tra gli elementi costruttivi sia sotto il profilo formale sia sotto quello tecnico. Nel primo caso vi è la necessità di rendere dimensionalmente compatibili, in fase di montaggio, elementi derivanti da produzioni differenti; nel secondo caso la necessità di renderli collegabili tra loro, al fine di semplificare ed accelerare le procedure di messa in opera<sup>4</sup>.

Gli elementi, di provenienza industriale, sono prodotti in serie grazie alla meccanizzazione dei processi e alla progettazione modulare dei componenti che, previa pianificazione e programmazione dei processi, possono venire combinati e/o accoppiati. Tali componenti, predisposti alle operazioni di montaggio, possono subire un successivo smontaggio ed eventuale rimontaggio in luogo diverso: una volta smontati possono essere riciclati o riutilizzati.

Tali tecniche rappresentano un punto di riferimento per dare risposte concrete alle esigenze del costruire contemporaneo, chiamato a confrontarsi con problematiche legate ai tempi di costruzione, alla frequente sovrapposizione delle fasi di progettazione con quelle di costruzione e per raggiungere, tra l'altro, un alto livello di flessibilità d'uso dell'edificio, oltre che per realizzare organismi edilizi temporanei e/o stagionali.

Tali tecniche, inoltre, consentono una grande combinabilità di elementi e la capacità di realizzare organismi edilizi diversi, pur realizzati con elementi comuni.

La possibilità di progettare e realizzare le parti dell'edificio in luoghi differenti, per assemblarle successivamente in cantiere in tempi brevi, unita alla maggiore facilità nella sostituzione degli elementi eventualmente degradati, porta a considerare tali tecniche "una componente fondamentale della progettazione, caratterizzando non tanto le fasi esecutive, ma intervenendo sin dalle prime fasi di ideazione

---

<sup>4</sup> Nella progettazione modulare dei componenti è particolarmente importante l'accoppiabilità degli stessi; la capacità cioè di ogni componente di correlarsi fisicamente ad altri componenti dello stesso tipo per dare luogo a elementi costruttivi funzionali complessi o a elementi di fabbrica (accoppiabilità interna) o all'intero organismo edilizio (accoppiabilità esterna).

dell'opera da realizzare. L'introduzione di tecniche costruttive a secco consente di prevedere con buona approssimazione i tempi e le fasi di lavoro in cantiere, favorendo una programmazione più puntuale delle operazioni da effettuare e limitando al massimo i tempi morti nella realizzazione, che provocano inevitabilmente l'innalzamento dei costi di costruzione." Comunemente l'assemblaggio è considerato come una tecnica specifica della costruzione industrializzata, anche se è sempre più comune il suo utilizzo nell'edilizia residenziale, costituendo una valida alternativa per l'alta prestazionalità energetica.

## **COSTRUZIONI TEMPORANEE**

Le costruzioni temporanee sono tutte quelle opere ed organismi edilizi fatti per durare un determinato intervallo di tempo o per modificarsi nel tempo, a diversa possibile destinazione d'uso.

Appartengono alla categoria delle costruzioni temporanee le installazioni, gli edifici residenziali, le micro architetture e ogni edificio avente la caratteristica di temporaneità e agevole trasformabilità.

Mobilità, nomadismo, precarietà, emergenza, basso costo e flessibilità le caratterizzano.

Contrapposto al concetto vitruviano di "firmitas", l'aggettivo "temporaneo" presuppone un'instabilità, una precarietà. Da ciò deriva che le costruzioni temporanee si caratterizzano per sistemi costruttivi leggeri, per assemblaggi a secco, per flessibilità e per un'occupazione del suolo limitata nel tempo.



**6** Nieto y Sobejano, Mercado temporal Barceló, Madrid, 2009.





**7** Platoon + Graft Architects, Platoon Kunsthalle, Seoul, Corea del Sud, 2009.



**8** Renzo Piano Building Workshop, Auditorium del Parco, L'Aquila, 2010-2012.



**9** Alexander Brodsky, 95° Restaurant, Pirogovo, Russia, 2001.

## SISTEMI COSTRUTTIVI PESANTI

I sistemi costruttivi sono definiti pesanti quando “sono tenuti in piedi dal proprio peso”: un comportamento contraddistinto dalla “resistenza per massa”. La sollecitazione prevalente a cui questo tipo di strutture sono sottoposte è la compressione e la resistenza maggiore offerta dai materiali impiegati è verso questo tipo di sforzo. Anche il sistema costruttivo tende ad essere coerente con il comportamento strutturale ed utilizza soprattutto il peso delle parti costitutive per dare solidità alla intera costruzione.

Si tratta prevalentemente degli edifici ereditati dalla storia, interpreti del concetto vitruviano di *firmitas* (la solidità), intesa come caratteristica rappresentativa di una propria capacità di resistere al tempo, oltre che alle intemperie, e di essere capace di “proteggere” dagli agenti atmosferici come dai nemici, di proteggere in generale. Ancora, di rimanere “iconicamente” nel tempo come simbolo di una civiltà, di una cultura, di un determinato periodo storico.



**10** Fidria, Partenone, sistema dell'Acropoli di Atene, Atene, V sec. a.C.



## SISTEMI COSTRUTTIVI LEGGERI

Per sistema costruttivo leggero si intende ogni sistema impostato coniugando tecnologia e progetto, leggerezza e materiali innovativi, flessibilità, contemporaneità, capacità di rapida esecuzione, montaggio e smontaggio.

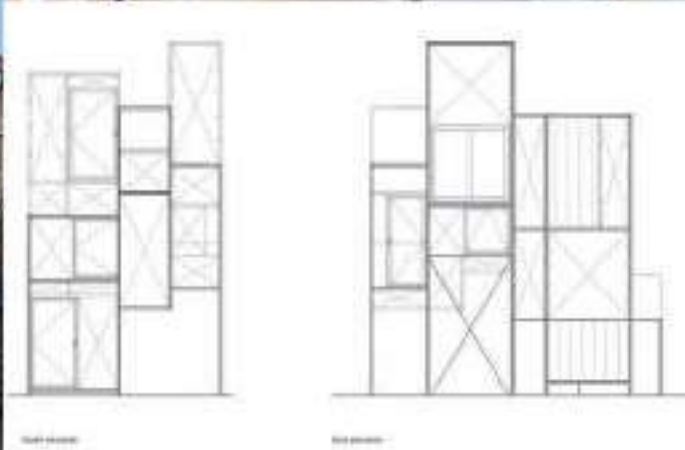
Generalmente i sistemi costruttivi leggeri sono di origine costruttiva seriale, di provenienza industriale e sono finalizzati a superare il vincolo del peso, grazie all'ottimizzazione dei materiali, delle loro connessioni e, come detto, del montaggio e dal rapido smontaggio.

Leggerezza, dunque, dinamicità, reversibilità, ottimizzazione, innovazioni tecnologiche e facilità di assemblaggio sono le parole chiave per coniugare progetto e tecnologia e stanno alla base dei sistemi costruttivi leggeri.

Un'idea di progetto rivolta ad alleggerire la struttura, differenziando e separando le parti sottoposte a sforzi di trazione da quelle sottoposte a compressione e ponendo particolare cura nella scelta dei materiali con particolari caratteristiche di resistenza rispetto al tipo di sollecitazione previsto, in modo da poter ridurre gli spessori.

Le ricerche in questo ambito hanno sviluppato tipologie edilizie che privilegiano la flessibilità spaziale, la ripetibilità modulare, la facilità e la rapidità del trasporto dei componenti, ma anche la previsione della reversibilità delle strutture: si tratta di un sistema costruttivo attento al rapporto tra architettura e ambiente e alle problematiche ambientali ad esso collegate.

I sistemi costruttivi leggeri sono sistemi costruttivi a secco, i cui componenti vengono prefabbricati fuori opera, per essere successivamente assemblati in cantiere; generalmente utilizzano un telaio ed elementi di tamponamento caratterizzati da facilità di impiego, montaggio e smontaggio.



**11** Sou Fujimoto, Casa NA, Tokyo, 2010.



**12** Herzog & de Meuron, Stadio di Bordeaux, Bordeaux, 2015.

## INDICATORI DI SOSTENIBILITÀ AMBIENTALE

Per indicatori di sostenibilità ambientale (e indicatori ambientali) si intendono i dati, i valori statistici e i parametri utili alla valutazione qualitativa e/o quantitativa delle condizioni ambientali (correlate a quelle socio-economiche) di un sistema.

Gli indicatori ambientali fanno riferimento a parametri rilevabili e tendenzialmente oggettivi che attestano le condizioni di un determinato sistema.

Parametrati a livello globale, gli indicatori vengono utilizzati per monitorare e correggere, con idonei accorgimenti anche di natura legislativa, le condizioni ambientali, orientando le scelte verso uno sviluppo sostenibile del pianeta.

Grazie all'utilizzo degli indicatori di sostenibilità ambientale è infatti possibile individuare eventuali problematiche ed ipotizzare possibili soluzioni<sup>5</sup>.

Gli indicatori di sostenibilità ambientale sono generalmente associati agli obiettivi di sviluppo sostenibile; il loro utilizzo è sempre più diffuso tra enti, organizzazioni ed istituzioni, sia a livello locale che globale (ONU, OCSE, UE, Comuni, Agenzie per l'Ambiente, Aziende Sanitarie ecc.).

Tali Istituzioni pubblicano periodicamente rapporti ambientali basati su indicatori di sostenibilità ambientale, al fine di comprendere e controllare i legami tra economia, società ed ambiente.

Gli indicatori sono di diverso genere<sup>6</sup>, e possono essere distinti tra:

- **indicatori fisici**, dotati di unità di misura e che esprimono i livelli delle variabili individuate come significative;
- **indicatori multidimensionali**, o indici, costituiti da aggregazione di indicatori e dati dello stesso tipo o di tipi diversi.

Gli indicatori possono inoltre essere classificati anche in base alla funzione assoluta:

- **gli indicatori descrittivi**. Si tratta di quegli indicatori elementari che registrano lo "stato" delle cose, ossia cosa sta accadendo in relazione alle varie componenti ambientali di un determinato contesto.

Sono gli indicatori di "base" per la caratterizzazione della situazione ambientale;

---

<sup>5</sup> Utilizzando, ad esempio, i dati sulle emissioni globali di gas serra si possono ipotizzare scenari futuri del sistema di interazione uomo-clima e favorire la sostenibilità delle politiche di consumo degli idrocarburi.

<sup>6</sup> Una prima grande distinzione è tra indicatori relativi a fenomeni direttamente misurabili e indicatori relativi a fenomeni non misurabili in maniera diretta. Alcuni sono fenomeni chimici e fisici direttamente misurabili (ad es. le emissioni di CO<sub>2</sub>); altri invece sono caratteri per i quali non si dispone di strumenti di misura diretta, ma che possono sempre essere espressi quantitativamente con riferimento ad un'appropriata e ponderata scala di intensità.

- **gli indicatori prestazionali.** Ossia quegli indicatori descrittivi che, associati a dei target, a delle soglie, a dei criteri standardizzati, misurano la situazione riferendosi a quei parametri prestabiliti.

Gli indicatori prestazionali sono anche definiti “di efficacia”. Vengono utilizzati, in genere, per verificare eventuali “progressi” rispetto a politiche ambientali prestabilite;

- **gli indicatori di efficienza.** Questi indicatori sono espressi come indici e misurano l'efficienza di utilizzo delle risorse o l'inquinamento per unità di prodotto, di processo ecc.

Ai fini della valutazione dello sviluppo sostenibile è tuttavia maggiormente interessante, e probabilmente più utile, la suddivisione degli indicatori in due categorie semplificate:

- **gli indicatori assoluti**, che esprimono una misura assoluta di un indicatore ritenuto rilevante nel corso dell'indagine;
- **gli indicatori relativi**, intesi come relazioni tra indicatori assoluti dello stesso tipo o di tipo diverso.

Gli indicatori assoluti forniscono le informazioni di base di un determinato sistema; quelli relativi, mettendo in relazione tali informazioni, consentono di avere una conoscenza maggiormente completa dello stesso sistema. Ponendo in relazione e aggregando gli indicatori assoluti, infatti, è possibile analizzare i possibili legami esistenti tra i parametri e il loro andamento spazio/temporale, oltre che le loro dinamiche evolutive.

Gli indicatori sono stati anche organizzati secondo un modello di causalità uomo-ambiente, sviluppato negli anni '70 da Anthony Friend: il modello pressioni-stato-risposte (PSR).

Il modello analizza inizialmente le pressioni esercitate dall'uomo sull'ambiente, ne valuta i cambiamenti di stato e individua le risposte per ri-adattare il sistema.

Il modello, un tempo adottato dall'Ocse, è stato modificato nel tempo dalla commissione per lo sviluppo sostenibile delle Nazioni unite che ha sostituito le pressioni con i “determinanti”<sup>7</sup>, con quei fattori, cioè, che sono la causa delle pressioni ambientali.

Alla fine del secolo scorso l'Agenzia ambientale europea ha sviluppato uno schema di classificazione maggiormente completo, basato su determinanti, pressioni<sup>8</sup>,

<sup>7</sup> Gli indicatori “determinanti” descrivono le attività socio-economiche che causano le pressioni ambientali; indicatori determinanti sono, ad esempio, il numero di abitanti presenti in un areale, come l'estensione fisica di un insediamento.

<sup>8</sup> Gli indicatori di “pressione” descrivono le azioni dell'uomo che causano esplicitamente modifiche sullo stato delle componenti ambientali, che sono cioè direttamente impattanti per l'ambiente, come lo sfruttamento delle risorse naturali o le emissioni di inquinanti.

stato<sup>9</sup>, impatti<sup>10</sup>, risposte<sup>11</sup> ambientali (DPSIR; Eea, 1999; Cagnoli 2010). Tale schema è oggi molto diffuso ed utilizzato per classificare gli indicatori.

## QUALITÀ D'USO

La qualità d'uso può venire definita come quell'insieme delle caratteristiche dell'ambiente costruito e dei suoi elementi tecnici, che gli conferiscono la capacità di soddisfare, attraverso prestazioni, le esigenze d'uso di spazi e ambienti da parte degli utenti fruitori.

La qualità d'uso esprime la coerenza e la congruenza funzionale fra l'uomo (il fruitore) e i sistemi in cui questi opera ed agisce; rappresenta cioè il livello di adeguatezza e compatibilità dei sistemi alle loro condizioni di utilizzo, in rapporto alle caratteristiche chimico-fisiche, psico-percettive e cognitive dei loro fruitori. La qualità d'uso, quindi, può essere intesa come espressione della capacità che l'ambiente costruito ha di adattarsi e di assecondare le attività che l'uomo in esso svolge. La norma ISO 9241/1<sup>12</sup> definisce il termine "usabilità", come l'efficacia, l'efficienza e la soddisfazione con cui determinati utenti raggiungono specifici obiettivi in determinati ambienti.

Dalla norma stessa si evince, tuttavia, come la qualità d'uso non sia misurabile, né definibile in senso assoluto. La qualità d'uso dipende infatti dal singolo contesto,

---

9 Gli indicatori di "stato" descrivono le condizioni di qualità delle varie componenti ambientali.

10 Gli indicatori di "impatto" descrivono le modifiche di stato causate dalle pressioni antropiche.

11 Gli indicatori di "risposta" descrivono le azioni umane intraprese per risolvere un problema ambientale.

12 La definizione di usabilità viene data dalla normativa ISO 9241-11 ed esprime la soddisfazione degli utenti quando utilizzano un sito che risponde ai loro bisogni in modo semplice e chiaro: il grado in cui un prodotto può essere usato da specifici utenti per raggiungere specifici obiettivi con efficacia, efficienza e soddisfazione in uno specifico contesto d'uso - *Ergonomics of human-system interaction, Guidance on usability*. Nella definizione ISO 9241-11 troviamo dei termini significativi:

*Efficacia*: un sito è efficace quando gli utenti raggiungono obiettivi specifici in modo completo ed accurato. *Efficienza*: un sito è efficiente se è minimo il dispendio di risorse da parte degli utenti per raggiungere obiettivi specifici. *Soddisfazione*: un sito è soddisfacente se gli utenti raggiungono il loro obiettivo senza disagi e ne hanno un'impressione positiva. *Contesto d'uso*: il contesto è costituito dalle caratteristiche degli utenti, i loro obiettivi e l'ambiente in cui si trovano.

dalle caratteristiche dei fruitori, dalle attività svolte e/o da svolgere e dall'ambiente. Alla qualità d'uso non sono attribuibili pesi specifici né valori assoluti: non si tratta di una qualità assoluta, quanto piuttosto di una qualità contingente e di relazione, legata alle singole specificità del contesto di utilizzo di un sistema, quale, ad esempio, un edificio nelle fasi di progettazione, realizzazione e gestione.

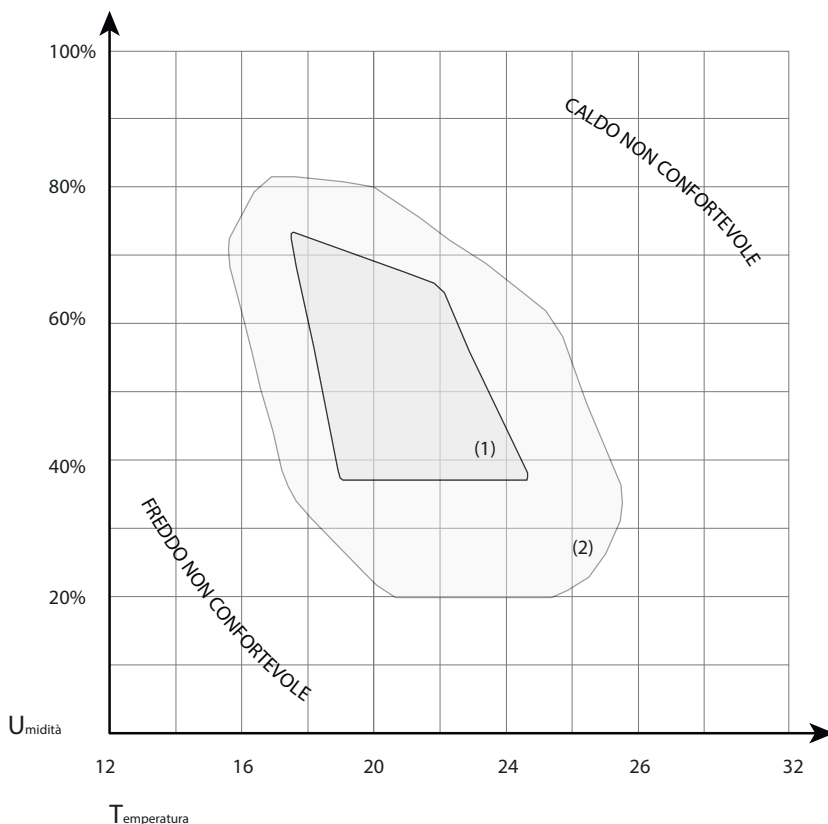
La qualità d'uso può essere interpretata come una sorta di "requisito tecnico", relativo alle condizioni d'uso offerte dagli elementi tecnici ed ambientali di un organismo edilizio, che deve essere in grado di assicurare all'uomo lo svolgimento delle proprie attività in condizioni di efficacia, efficienza e soddisfazione, attraverso il soddisfacimento delle diverse possibili esigenze da assolvere: l'accessibilità, la percorribilità, l'usabilità, la praticità e facilità di utilizzo, la sicurezza, l'utilità, la piacevolezza, il benessere psicofisico complessivo e il comfort.

## **L'INVOLUCRO EDILIZIO A SECCO**

L'involucro edilizio a secco costituisce una tipologia costruttiva di involucro nella quale l'insieme delle unità tecnologiche e degli elementi tecnici (i singoli componenti e i sistemi di elementi), sia con funzioni portanti sia con funzioni non portanti, sono assemblati con giunzioni a secco e fissati ad una struttura principale attraverso sistemi di ancoraggio quali i bulloni, le viti, le saldature ecc.

## COMFORT AMBIENTALE

Il comfort ambientale può essere definito come quella particolare (soggettiva) condizione di benessere determinata, in funzione e ragione delle percezioni sensoriali di un determinato individuo inserito in un determinato ambiente, dalla termoigrometria (temperatura, umidità dell'aria), dalla qualità dell'aria in termini generali, oltre che dall'eventuale livello di rumorosità e luminosità rilevati all'interno dell'ambiente stesso. Il comfort ambientale è variabile e legato alla soggettività dell'individuo cui è riferito.



**13** Il più famoso metodo per descrivere il comfort all'interno di un edificio è il rapporto termo igrometrico. Temperatura e umidità relativa sono le unità base del grafico descrittivo. La loro interazione descrive zone di comfort assoluto (1) e relativo (2).



Da tale definizione discende una possibile suddivisione tra tra benessere termo-igrometrico<sup>13</sup>, benessere acustico<sup>14</sup> e benessere luminoso<sup>15</sup>.

13 Il benessere termoigrometrico o *thermal comfort* è definito dall'American Society of Heating Ventilation and Air-conditioning Engineers (ASHRAE) come quel particolare stato della mente che esprime soddisfazione per l'ambiente circostante grazie a condizioni ideali di temperatura e umidità.

Gli studi e le sperimentazioni condotte dal ricercatore danese P. Ole Fanger hanno evidenziato come in edifici residenziali con condizioni di comfort termoigrometrico negative il rischio di malattie polmonari, soprattutto in età infantile, sia superiore alla media e analoghi studi condotti su edifici direzionali hanno dimostrato come il discomfort termoigrometrico crei un inevitabile abbattimento dell'attenzione e del rendimento degli impiegati.

Secondo Ole Fanger il benessere termoigrometrico in un edificio è conseguenza diretta delle relazioni che si instaurano tra le variabili soggettive e le variabili ambientali.

Più recentemente, relativamente al comfort negli edifici, è stato messo in evidenza come oltre alle suddette variabili la sensazione stessa di comfort sia strettamente connessa ad aspetti soprattutto psicologici, ma anche culturali, sociali ed economici di ogni individuo; è cioè connessa alla variabilità di un sistema e di situazioni che si modificano in funzione del luogo, del tempo e della capacità di adattamento di ogni singolo individuo, fattori che rendono quindi non semplice, né lineare, quantificare lo stato di benessere. Quantificazione che dovrebbe almeno tenere conto del luogo di provenienza, del sesso, dell'età delle persone e del relativo stato di salute.

Tale condivisibile teoria, conosciuta come Metodo Adattivo, è stata avanzata da molti studiosi e ricercatori come G. S. Brager, R. J. de Dear, M. A. Humphreys, J. F. Nicols.

Con riferimento al benessere termoigrometrico, le variabili soggettive sono relative all'attività che l'individuo svolge all'interno dell'ambiente e al tipo di vestiario, oltre che alle sue abitudini.

L'attività metabolica di un individuo trasforma l'energia chimica prodotta dall'assunzione del cibo in energia termica. La potenza metabolica viene riferita all'unità di superficie corporea  $W/m^2$  e normalmente l'attività metabolica di un individuo è espressa in met. 1 met corrisponde a  $58,2 W/m^2$ . I valori met per diverse attività fisiche sono indicati nella norma UNI EN ISO 7730.

Quattro sono le variabili che dipendono dalle condizioni climatiche esterne ed interne all'edificio e che influenzano il benessere termoigrometrico: la temperatura dell'aria, che si misura in °C; l'umidità relativa dell'aria interna, che indica il rapporto tra la quantità di vapore contenuto da una massa d'aria e la quantità massima che ne può contenere quella massa d'aria nelle stesse condizioni di temperatura e pressione. L'umidità relativa si misura in percentuale %; la temperatura media radiante, che si esprime in °C. Si calcola come media delle temperature delle pareti interne all'ambiente, compresi soffitto e pavimento; la velocità dell'aria, che si esprime in m/s.

Si tratta di indici di livelli di comfort che nascono dalle relazioni tra il funzionamento del corpo umano e la sensazione di benessere termico.

La norma UNI EN ISO 7730 ne classifica due:

- il Predicted Mean Vote PMV, ovvero il Voto Medio Previsto, che è un indice di valutazione dello stato di benessere di un individuo. Esso tiene conto delle variabili soggettive e ambientali; si tratta di una funzione che dà come risultato un valore numerico su una scala oscillante da -3 (indice di sensazione di freddo eccessivo) a +3 (indice di sensazione di caldo eccessivo), dove lo zero rappresenta lo stato di benessere termico. Trattandosi di un indice medio riferito ad un gruppo generico di individui, il raggiungimento del PMV pari a zero non significa che l'intero gruppo abbia raggiunto le stesse condizioni di benessere;
- il Percentage of Person Dissatisfied PPD, che esprime la percentuale di persone insoddisfatte in un determinato ambiente.

14 Il rumore può essere descritto come quella sensazione (generalmente sgradevole) provocata da variazioni di pressione dell'aria sul timpano che l'orecchio trasmette al cervello. Il rumore è la somma di un certo numero di suoni "puri" ed è caratterizzato da una frequenza e da un'ampiezza. Maggiore è l'ampiezza e maggiore risulta l'intensità del rumore percepito. La frequenza può essere causa di rumori gravi o acuti (quelli maggiormente disturbanti).

Il suono si propaga nell'aria e nei diversi materiali con velocità diversa.

Diverse anche le fonti di rumore. Nel caso di un ambiente confinato possiamo distinguere le fonti esterne all'edificio dalle fonti interne.

Le fonti esterne sono costituite fondamentalmente, in area urbana, dal traffico veicolare, dall'eventuale presenza, in prossimità dell'edificio, di attività produttive, dal rumore provocato da attività

Il comfort ambientale si identifica con il benessere psicofisico delle persone che vivono un determinato ambiente (casa, ufficio) ed è una sensazione, oltre che soggettiva, fortemente dipendente da determinate condizioni ambientali che sono in larga misura pianificabili e prevedibili e rientranti, pertanto, nella responsabilità del progettista.

---

ricettive, voci e grida provenienti dalle strade esterne. Il rumore prodotto da tali fonti si propaga per via aerea e poi penetra all'interno dell'edificio attraverso il suo involucro.

Le fonti di rumore interne, che possono riguardare specificatamente l'ambiente oggetto di studio o altri ambienti dello stesso edificio, sono gli impianti (ascensori, montacarichi, l'impianto idraulico ecc.), gli elettrodomestici, le apparecchiature radio-televisive, voci e grida degli occupanti l'edificio. In questo caso la propagazione avviene sia per via aerea sia attraverso le parti solide (murature, solai, pareti) dell'edificio.

La trasmissione del rumore avviene in genere secondo due distinti meccanismi di propagazione:

- per via aerea, quando il rumore si propaga liberamente nell'aria senza incontrare ostacoli solidi;
- per via strutturale, quando il rumore si propaga attraverso le strutture solide tramite vibrazioni elastiche.

Inoltre, per ogni componente edilizio bisogna distinguere tra:

- Trasmissione diretta: quando la trasmissione dell'energia sonora nell'ambiente ricevente avviene solo attraverso il componente considerato;
- Trasmissione laterale: quando la trasmissione dell'energia sonora nell'ambiente ricevente avviene attraverso le strutture adiacenti a quella considerata.

Per definizione l'isolamento acustico è pari alla differenza tra i valori medi dei livelli di pressione sonora che si hanno in due ambienti adiacenti, quello sorgente in cui è la sorgente del rumore e quello ricevente in cui è posizionato il ricevitore. Tale valore non è una proprietà intrinseca del componente edilizio; la grandezza "isolamento acustico" dipende infatti:

- dalle proprietà acustiche del singolo componente;
- dalle proprietà meccaniche delle strutture;
- dalle proprietà di assorbimento acustico dei materiali delle superfici interne dei locali che determinano il tipo di campo sonoro riverberante all'interno dei due ambienti.

Il fonoassorbimento, legato al coefficiente di assorbimento acustico, è una caratteristica intrinseca del materiale che indica la quantità di potenza sonora, rispetto alla potenza incidente, che viene assorbita dalla parete stessa.

Una progettazione acustica corretta cercherà di ridurre i rumori indesiderati mantenendo un livello della pressione sonora il più possibile costante nelle varie zone di uno stesso ambiente, superando la difficoltà di eliminare difetti di riverberazione e concentrazioni acustiche.

15 Le condizioni di benessere luminoso in un ambiente si ottengono grazie a una corretta e coerente quantità di luce, sia nelle ore diurne sia in quelle notturne.

Di giorno occorre permettere che un'adeguata quantità di luce esterna possa entrare nell'ambiente. È quindi necessario avere (progettare) una adeguata superficie finestrata (generalmente la normativa parla di una superficie maggiore/uguale a 1/8 della superficie planimetrica di ogni vano abitabile).

Per le ore notturne e in assenza di luce esterna sufficiente (giornate non particolarmente soleggiate ecc.), gli ambienti dovranno essere dotati di idonea e sufficiente illuminazione artificiale.



14 Margarete Schütte-Lihotzky, Cucina di Francoforte, 1926.





**15** Abitazioni della periferia inglese, fine del XIX secolo.



16 Quartiere Weissenhof, Stoccarda, 1927.





**17** Le Corbusier, Case nel quartiere Weissenhof, Stoccarda, 1927.



**18** Ludwig Mies van der Rohe, Casa nel quartiere Weissenhof, Stoccarda, 1927.





**19** Bruno Taut, Quartiere Britz, Berlino, 1925-1931.

## RECUPERO DELLE TECNOLOGIE DEL XX SECOLO

Con il moderno cambia il mondo del progetto e dell'architettura, cambiano le tecniche e le tecnologie. Il moderno costituisce la più grande rivoluzione nel mondo delle costruzioni mai avvenuta. Non solo per la trasformazione "democratica" del mondo delle costruzioni, per la nascita di concetti quali l'"*existenz minimum*"<sup>16</sup> o la standardizzazione e l'ergonomia introdotte dalla produzione industriale, sono anche i nuovi materiali, le nuove tecniche costruttive, le nuove tecnologie che modificano radicalmente il mondo dell'architettura.

Il moderno è recente. Successivo ai Padri fondatori delle Teorie del Restauro. Troppo recente per aver potuto dare vita a prassi consolidate dal e nel tempo sui modi del recupero.

Il recupero delle tecnologie del XX secolo pertanto si definisce, si sta definendo come operazione di gestione del patrimonio edilizio del moderno, che tenta di coniugare il mantenimento del contesto formale e materiale e la sua alterazione richiesta dalle esigenze di nuovi utilizzi, nuove forme e prestazioni.

Il recupero delle tecnologie riguarda, analogamente al "Restauro" in senso lato, le tecniche costruttive, la scelta dei materiali, i processi dell'industria edilizia che devono essere analizzati durante la fase di conoscenza tipologica, tecnologica, di concezione originale del manufatto, di conoscenza dell'autore ecc.

---

16 La teoria dell'*existenz minimum* viene formulata all'inizio del '900 dagli esponenti dell'architettura razionalista. Si tratta di una teoria che, partendo da considerazioni di natura ergonomica, bio-fisiologiche, dimensionali, distributive ed economiche, definisce nuove organizzazioni funzionali dello spazio abitativo.

Le riflessioni sui temi dell'abitare vengono orientate, dalla ricerca degli architetti razionalisti, sul soddisfacimento delle necessità primarie dell'abitare dell'uomo moderno.

In modo razionale, scientifico, si affrontano questioni sociologiche, psicologiche, fisiologiche dell'abitare. Si comprende come all'evolversi della società abbia portato a mutamenti nei bisogni degli individui e necessariamente nelle forme dell'abitare.

L'*existenz minimum* è dunque alla base delle necessità dell'uomo moderno, è un'esigenza imposta dal momento storico sociale dopo la caduta dei grandi Imperi, con l'affermarsi della borghesia e della classe operaia.

Con la realizzazione di alloggi minimi si costruiscono i primi quartieri che, ottimali per l'epoca dal punto di vista dell'abitabilità, risolvono la questione delle abitazioni per le masse.

Il problema delle abitazioni trova quindi, una sua soluzione nella ricerca razionalista sull'alloggio minimo, attraverso la produzione di alloggi a basso costo, con caratteristiche di abitabilità sufficienti. Le ricerche sull'*existenz minimum* e sulla casa industrializzata, prodotta serialmente, similmente ad un'autovettura, diventano i temi principali del dibattito architettonico negli anni '20 e '30. La casa è concepita come una "macchina per abitare" che, come afferma Le Corbusier, deve soddisfare i bisogni dell'uomo moderno e deve funzionare con precisione come una macchina.

La fase di indagine preliminare, metaprogettuale, che interessa ogni intervento orientato ad operare correttamente, con approccio e metodologia scientifica.

L'industrializzazione dei primi '900 apre nuovi scenari nel mondo dell'edilizia. Si sperimentano tecniche nuove, si inizia a ragionare sulle prestazioni dei materiali e dei nuovi prodotti dell'industria edilizia. Il recupero del patrimonio del XX secolo è finalizzato a focalizzare gli strumenti maggiormente idonei per intervenire sui recenti manufatti del moderno, troppo recenti per essere stati oggetto di verifiche sedimentate sugli interventi e troppo poco recenti per non avere necessità di recupero e/o restauro.

Si tratta, in sintesi, di individuare strumentazioni e metodologie che possano rispondere, sia in fase di progetto sia in fase di cantiere, alla necessità di recuperare il livello tecnologico dei manufatti originari ed integrare, eventualmente e se necessario, nuove soluzioni compatibili e congruenti con quelle del passato.

Con il moderno si passa, in edilizia, dalle tecniche storiche tradizionali, consolidate e documentate alle tecniche industriali, caratterizzate da innovazioni tecnologiche e sperimentazioni di recente ideazione.

I nuovi materiali e le nuove tecniche divengono centrali, soprattutto nel relazionarsi a nuove forme, nuovi schemi costruttivi e distributivi. Si tratta di trasformazioni epocali, che modificano totalmente il mondo delle costruzioni e l'intero settore, l'intero processo edilizio.

Si tratta di modifiche sostanziali che condizioneranno per sempre l'organizzazione del cantiere e le tipologie di lavorazioni.

Occuparsi di recupero del moderno significa immergersi nelle problematiche sottese da quei cambiamenti, comprenderne il periodo, le ragioni, l'origine delle innovazioni e i modi.

Il recupero delle architetture del XX secolo è caratterizzato essenzialmente dai criteri di impiego dei materiali e dalle relative tecniche costruttive che sottendono le seguenti questioni principali:

- le tecnologie industriali obsolete di inizio '900 risultano spesso irriproducibili;
- i materiali stessi sono dissimili e a volte non congruenti con quelli del moderno;
- esistono oggettive difficoltà nell'accostare materiali o elementi costruttivi di nuova concezione a parti di edifici o edifici del moderno;
- risulta spesso complesso riusare e riconvertire edifici nati per funzioni e destinazioni d'uso non più attuali e di comune diffusione alle finalità richieste dal mondo contemporaneo: come riconvertire complessi adibiti a colonie estive o invernali, stabilimenti balneari tipologicamente obsoleti, impianti sportivi del ventennio, impianti industriali dismessi ecc.;



- è spesso necessario adeguare gli impianti tecnologici con conseguente passaggio di tubazioni, connessioni, eventuale realizzazione di vani tecnici (superfettazioni?) destinati ad ospitare macchinari, caldaie ecc.

E ancora, come intervenire? Come distinguere il “monumento”? L'elemento caratterizzato da unicità come potrebbero essere Ville Savoye o Casa Malaparte, da semplici (sia pure importanti) testimonianze architettoniche del tempo: il villaggio Eni di Edoardo Gellner a Borca di Cadore?

#### APPROCCI METODOLOGICI

Una approfondita conoscenza tecnica e azioni di analisi pre progettuali, accompagnate da diagnosi sono le azioni chiave attorno a cui articolare ogni operazione di recupero delle tecnologie del moderno.

L'intervento di recupero, da leggere necessariamente attraverso le relazioni e interconnessioni presenti nel rapporto biunivoco tra tecnologia e architettura, non può che partire dall'analisi del costruito, delle sue ragioni progettuali e delle scelte tecnologiche originarie per orientare le scelte, le tecniche di intervento più opportune.



**20** Le Corbusier, Villa Savoye, Poissy, 1928-1931.



**21** Adalberto Libera, Villa Malaparte, isola di Capri, 1938-1942.



**22** Edoardo Gellner, Aula Magna della colonia al Villaggio ENI, Borca di Cadore, 1955-1963.

Le tecniche di intervento contemporaneo sugli edifici del XX secolo seguono quattro approcci/modalità prevalenti:

- a. un approccio conservativo, teso a limitare, per quanto possibile, ogni alterazione del testo originario in senso lato, ma aperto ad operazioni che ne consentano una conservazione attiva;
- b. un approccio sperimentale fortemente tecnologico teso a riprodurre l'immagine originale, anche ricorrendo alle più sofisticate tecnologie contemporanee;
- c. un approccio "ruskiniano", finalizzato alla conservazione filologica dell'edificio, da rispettare come le "pietre di Venezia", da lasciare, se necessario, anche in uno stato di rovina;
- d. un ultimo approccio, da "restauratore", finalizzato a reinterpretare, secondo una lettura congruente del progetto originario, il manufatto da riusare.

Il primo, quello conservativo "aperto", si configura come un approccio libero di operare addizioni al testo originario segnalandone la presenza. Un approccio alla Giuseppe Valadier, teso, ad esempio, a conservare parti integre di un edificio completandole con altre per reintegrare un'immagine ricostruttiva dell'impianto originario, o posare in opera impianti a vista da inserire all'interno dello spazio libero dell'edificio, per adeguarne la funzionalità all'uso, o, ancora, sovrapporre orditure di sostegno o rinforzo (evidenziandole), anziché demolire solai e pavimenti.

Un approccio che tende ad integrare con sistemi complementari aggiuntivi singoli sistemi sub funzionali.

Il secondo, aperto all'utilizzo di tecnologie sofisticate, si basa su approfondite e sofisticate ricerche nel campo della chimica dei materiali, nella ricerca di materiali e prodotti speciali, da sperimentare per sostituire elementi tecnologici di produzione industriale antiquata.

Il terzo, "ruskiniano", tendente a leggerissime modifiche ammissibili, prevalentemente interne, utilizzando peraltro l'assemblaggio a secco per non alterare l'impianto originario.

L'ultimo, infine, riproponente in quale modo l'approccio *leduchiano*, dove l'intervento si può porre come continuazione di un'idea di progetto coerente e congruente con l'idea originaria, in continuità con il pensiero del progettista.

Tra gli Enti e organizzazioni internazionali che si occupano del "Recupero del Moderno", protagonista di primo piano è il DOCOMOMO (*international working party for DOcumentation and COnservation of buildings, sites and neighbourhood of the MODern MOVement*).

Costituitosi nel 1988 nei Paesi Bassi, presso il Politecnico di Eindhoven, sin dalla sua fondazione, si è posto un doppio obiettivo: da una parte mettere a punto un



metodo di catalogazione degli edifici moderni che divenisse uno strumento efficace per la salvaguardia, dall'altra affrontare le questioni tecniche del restauro e della conservazione attraverso un confronto internazionale di esperienze. Di un certo interesse anche l'attività svolta dal TICCIH (The International committee for the Conservation of the Industrial Heritage). Si tratta di un'organizzazione internazionale che ha per scopo lo studio, la conservazione e la valorizzazione del patrimonio industriale.



**23** Giuseppe Valadier, restauro del Colosseo, Roma, 1823.



24 Giuseppe Valadier, restauro e ricostruzione dell'Arco di Tito, Roma, 1818-1824.



## PROGETTAZIONE MODULARE

La progettazione modulare in architettura è una progettazione basata su una misura base: il “modulo” impostato dal progettista, che guida la definizione di tutte le misure di fabbricazione.

Grazie alla progettazione modulare le imprese progettano e realizzano organismi complessi da un insieme di sub-sistemi progettati in modo indipendente ma combinabili secondo diverse, ampie possibilità tra loro.

Il processo di progettazione modulare prevede:

- la definizione dell'architettura definendo quali moduli compongono il sistema-prodotto;
- la definizione delle interfacce, definendo quali moduli dovranno interagire e comunicare;
- la definizione degli standard, riconducibili alle misure di performance e di conformità dei moduli.



25 MVRDV, Silodam, Amsterdam, 1995-2003.



LOFTS	HUTS	FRID	MAISONETTE
GYMNASIUM	HOBBY	X-HOUSE	OFF BEV. 1 ROOM
PANORAMA	UNITE	BALCONY	PANORAMA
PANORAMA		SENIOR	GARDEN HOUSE
HOBBY		LIVE & WORK	DOORZON
VALERIUS HOUSE		WORKLOFT	3 BEDROOM FLAT
VENETIAN WINDOW		HALL & TRAY	FAMILY HOUSE
	STORAGE	MARINA	LIVE & WORK LOFT

26 27 MVRDV, Silodam, Amsterdam, 1995-2003.

## EVIDENCE BASED DESIGN

L'Evidence-based design, o EBD, è il settore di studio basato sull'attendibilità per influenzare il design. Si tratta di un approccio diffuso nel settore sanitario per migliorare il benessere del paziente, la sua guarigione, la riduzione dello stress e la sicurezza. L'evidence-based design è un campo relativamente recente, entrato in uso in diverse discipline quali la psicologia ambientale, l'architettura, le neuroscienze e l'economia comportamentale.

L'EBD è strettamente correlato alla pratica progettuale edilizia basata sulle prestazioni. Come approccio al design, il Performance-based building design (PBBD) cerca di creare esplicite relazioni statistiche chiare tra il livello decisionale del progetto e i livelli di soddisfazione dimostrati dai sistemi costruttivi. Analogamente all'EBD, il PBBD utilizza i risultati delle ricerche per prevedere le prestazioni, relazionandole alle fasi decisionali del progetto.

Il processo decisionale non è lineare, poiché il sistema ambientale di un edificio è un sistema complesso. Le scelte non possono essere basate su previsioni di causa-effetto; dipendono invece da componenti variabili e da rapporti reciproci. I sistemi tecnici, come il riscaldamento, la ventilazione e/o il condizionamento, appartengono a scelte progettuali interconnesse alle prestazioni correlate (quali l'utilizzo di energia, il comfort e i cicli di impiego) quali componenti variabili.

## CONSEIL INTERNATIONAL DU BÂTIMENT

Il CIB, (acronimo del francese *Conseil International du Bâtiment* o, in inglese, *International Council for Building*) nasce nel 1953, allo scopo di stimolare e facilitare la cooperazione e lo scambio internazionale di informazioni tra istituti governativi di ricerca nel settore dell'edilizia e delle costruzioni.

L'associazione, dalla sua fondazione, ha perseguito la finalità dell'interscambio delle conoscenze scientifiche nel mondo delle costruzioni, proponendo temi di indagine, ricerche, promuovendo gruppi di ricerca internazionali e attività congressistiche.

I membri del CIB sono oggi più di 5000.

Dal 1998, pur mantenendo l'acronimo CIB, il nome è cambiato in: Consiglio Internazionale per La Ricerca e Innovazione In Edilizia e Costruzione.

L'organizzazione del CIB è basata sull'Assemblea Generale, che si riunisce ogni anno, e che con cadenza triennale si trasforma nel congresso, *CIB World Congress Building*, durante il quale vengono eletti il Presidente e gli altri membri del Consiglio che durano in carica per un triennio. Gli atti dei convegni triennali e delle riunioni di lavoro vengono pubblicati a cura dell'associazione e gestiti dal database ICONDA del CIBlibrary, database gestito dalla Fraunhofer Information Center. All'interno del sistema CIB i Membri sono di diverse categorie di appartenenza e sono distinti tra Full Member e gli Associate Member. I Full member sono associazioni nazionali di ricerca come il CNR in Italia, mentre gli Associate Members sono organizzazioni Universitarie, di Ricerca e del mondo industriale interessati al settore dell'edilizia e alle sue innovazioni tecnologiche.

## **PREFABBRICAZIONE**

La prefabbricazione è un processo costruttivo dove gli elementi di una costruzione edilizia sono realizzati serialmente in maniera "industriale", a piè d'opera o in fabbrica, e poi montati con procedure codificate.

La prefabbricazione è così classificabile:

a. per luogo di esecuzione:

- in stabilimento: l'elemento strutturale viene realizzato in stabilimento, accatastato in magazzino, trasportato al cantiere, montato o assemblato;
- in cantiere o a piè d'opera: l'elemento viene realizzato nei pressi dell'opera e depositato nelle vicinanze, fino al momento del montaggio, per essere poi correttamente posizionato ed assemblato.



b. per materiale utilizzato:

- prefabbricazione pesante se eseguita in calcestruzzo armato o materiali terrosi;
- prefabbricazione leggera se eseguita con profilati metallici, in legno, materie plastiche, in materiali compositi ed altri materiali ad alta resistenza.

c. per la geometria degli elementi base:

- prefabbricazione lineare se eseguita con travi e pilastri;
- prefabbricazione piana o a pannelli se eseguita con elementi di facciata ed elementi di solaio;
- prefabbricazione tridimensionale se eseguita con unità spaziali autonome e funzionali quali i vani abitativi, i vani di servizio, le scale ecc.



**28** Herzog & de Meuron, Fondazione Feltrinelli, Milano, 2014-2016.



29 Zaha Hadid, Messner Mountain Museum Corones, Brunico, 2015.

d. per la portanza degli elementi:

- portanti quando gli elementi principali costituiscono essi stessi la struttura della costruzione;
- autoportanti quando gli elementi sono in equilibrio ma non sono in condizione di portare altre parti dell'insieme;
- portati quando gli elementi non costituiscono la struttura portante ma sono sorretti da una struttura a sé stante.

e. per tipo di giunto:

- a secco (saldato, imbullonato, inchiodato ecc.);
- a umido (con l'utilizzo di acqua e legante - con getto di completamento);
- a trappola con elementi accostati;
- con sigillanti.

## **RIUSO DI EDIFICI**

È l'utilizzo di edifici di una determinata tipologia per destinazioni d'uso diverse da quelle per le quali gli edifici erano stati progettati.

Generalmente il riuso si compie attraverso operazioni di ristrutturazione, recupero edilizio, conservazione tipologica o restauro, congruentemente con la normativa sovraordinata e la capacità di un organismo edilizio di adattarsi o meno a nuovi usi.



**30** Herzog & de Meuron, Filarmonica, Amburgo, 2006-2016.



**31** Coop Himmelb(l)au, Gasometer City - Apartment Building Gasometer B, Vienna, 1995-2001.

## GESTIONE DEL PROCESSO COSTRUTTIVO

Il processo edilizio è quella sequenza organizzata di fasi che portano dalla rilevazione di un bisogno alla sua soluzione in termini di edilizia.

La gestione del processo consiste quindi nella gestione, attraverso metodologie spesso codificate, dell'intera sequenza di fasi che vanno dalla pianificazione dell'intervento alla sua progettazione e successiva realizzazione e collaudo fino alla consegna dell'opera all'uso e alla sua successiva gestione e manutenzione.

Il **progetto** costituisce la prima fase del processo e si sviluppa generalmente nelle seguenti fasi:

- a. in un primo **momento decisionale**, di definizione della politica del settore edilizio;
- b. nella **programmazione** che si attua/sviluppa nella pianificazione sul territorio degli interventi, nella quantificazione economica e fattibilità dell'intervento e nel reperimento/stanziamento dei finanziamenti;
- c. nella **metaprogettazione**, in quella fase cioè che definisce il programma di massima con riferimento ai vari livelli e alle varie scale della progettazione;
- d. nel **progetto**, come momento di sintesi delle esigenze da soddisfare, sintesi definita in un organismo edilizio precisato nella forma, nella tecnica (anche relativa alla gestione del cantiere e alla sicurezza) oltre che nella quantificazione economica necessaria a realizzarlo.

La **costruzione** dell'opera costituisce la seconda fase del processo.

Dopo l'appalto, a seguito dell'affidamento dei lavori, la costruzione si realizza in cantiere con una serie di operazioni che sono sinteticamente riassumibili nelle seguenti operazioni/fasi operative di cantiere:

- preparazione dell'area e sua delimitazione come area di cantiere idoneamente protetta e attrezzata;
- tracciamento dell'opera seguendo il progetto esecutivo e verificando rispetti, distanze e regole imposte dalle Norme Tecniche Attuative degli Strumenti Urbanistici e dai Regolamenti Edilizi e di Igiene vigenti;
- approvvigionamento, stoccaggio e trasporto dei materiali;
- realizzazione di opere provvisoriale;
- scavo e reinterro;
- lavorazione dei materiali;
- impiego e posa in opera.



A costruzione ultimata viene effettuato il collaudo che certifica la corretta esecuzione dell'opera, il corretto utilizzo delle risorse economiche, la sua rispondenza all'opera progettata e ne decreta, quindi, l'utilizzabilità.

Nella **costruzione** di un organismo edilizio si possono seguire, di norma, le seguenti diverse e possibili **modalità operative**:

Le operazioni di costruzione possono essere effettuate:

e. fuori opera: l'attività costruttiva si svolge interamente in zone diverse da quelle in cui sarà realizzato l'organismo edilizio (elementi e componenti prefabbricati, parti di edificio realizzati industrialmente);

f. a piè d'opera: l'attività costruttiva è caratterizzata da operazioni che si eseguono direttamente in cantiere (materie prime e componenti), per poi essere utilizzate nella costruzione in sito;

g. in opera: l'attività costruttiva avviene esclusivamente nella zona dove deve essere realizzato l'organismo edilizio.

La **gestione** dell'opera conclude il processo.

La gestione ha natura sia tecnica (riparazione, manutenzione, funzionamento) sia economica (i costi sostenuti per sopportarla) nella fase di fruizione dell'organismo edilizio.

Gli **operatori del processo edilizio** sono: gli utenti, i committenti, i progettisti, l'industria edilizia (le imprese ecc.), le maestranze.

## GLI UTENTI

Gli utenti sono i fruitori, coloro che utilizzeranno le opere realizzate. Risulta pertanto necessario ed essenziale conoscerne preliminarmente le attività e i bisogni per affrontare correttamente l'attività di progetto. Gli utenti, generalmente, esprimono esigenze e richieste. Gli stessi, come detto, a seguito della realizzazione dell'opera, utilizzano l'oggetto edilizio per le sue possibili molteplici attività e destinazioni.

Gli utenti costituiscono una realtà in evoluzione modificatasi radicalmente negli anni, oggi molto presente e spesso competente all'interno del processo edilizio.

La partecipazione dell'utenza alla definizione del progetto, fondamentale, avviene attraverso processi di:

a. partecipazione diretta;

b. partecipazione delegata.

Gli utenti sono: i bambini, i giovani, gli adulti, gli anziani, le famiglie, i singles, le coppie, i gruppi, i lavoratori, gli studenti, i pensionati, le casalinghe ecc.



## I COMMITTENTI

I committenti sono coloro che promuovono l'intervento edilizio; possono essere pubblici o privati (persone fisiche, società, enti pubblici e privati) e la loro azione è finalizzata a soddisfare le esigenze dell'utenza.

## I PROGETTISTI

Sono i professionisti incaricati dalla committenza di redigere il progetto. Trasformano le esigenze espresse dall'utenza in spazi e oggetti edilizi, mediante lo sviluppo di un'idea progettuale, ma sovrintendono anche all'esecuzione del progetto nelle varie fasi e successivamente, alla conservazione dell'oggetto edilizio. Svolgono la loro attività, secondo quanto previsto dalla legge, come singoli o in forma associata, in forma autonoma o come dipendenti, in gruppi interdisciplinari (urbanisti, impiantisti, strutturisti, architetti, ingegneri, geologi ecc.).

## L'INDUSTRIA EDILIZIA

All'interno dell'industria edilizia possono essere compresi sia la produzione industriale di materiali, di semilavorati, di componenti semplici o complessi, sia la produzione dell'organismo edilizio da parte dell'impresa che opera in cantiere, con maestranze, macchinari e organizzazione propri.

Il rapporto con l'utenza non è quasi mai diretto, ma i prodotti devono tener conto del tipo d'uso da parte dell'utenza.

## LE MAESTRANZE

Le maestranze sono rappresentate da coloro che realizzano concretamente gli edifici operando a livello direttivo o esecutivo.

## BIM

Il BIM, acronimo di *Building Information Modeling*, può essere sinteticamente definito come un modello di sintesi di un'opera (edificio, infrastruttura ecc.) composto da tutti i dati provenienti dalle diverse discipline che concorrono alla sua realizzazione, e rappresenta, nel concreto, un approccio del tutto nuovo alla realizzazione e gestione di un'opera.

Il BIM rappresenta il processo di sviluppo, crescita e analisi di modelli multi-dimensionali virtuali, generati e gestiti per mezzo di programmi informatizzati interconnessi. Il ruolo e l'obiettivo del BIM nel settore delle costruzioni è di sostenere la comunicazione, la cooperazione, la condivisione, la simulazione e il miglioramento ottimale di un progetto, dall'ideazione alla costruzione, per proseguire lungo il ciclo completo di vita dell'opera costruita, connettendo i diversi attori: i progettisti, architetti e ingegneri, la committenza, gli operatori, le imprese e i gestori delle opere realizzate. Nel BIM sono messi in relazione diverse ambiti disciplinari e competenze, attraverso una piattaforma interattiva comune. Una moltitudine e molteplicità di dati e informazioni sono messi in relazione per definire compiutamente ogni singolo dettaglio dalla grande alla piccola scala.

Il BIM collega l'intero processo edilizio, dal progetto alla costruzione, all'uso e manutenzione, contenendo qualsiasi informazione riguardante l'edificio e le sue parti. Le informazioni raccolte in un BIM riguardano l'ubicazione dell'opera, la sua geometria, e ogni altra informazione in un catalogo aperto. Non si tratta di un modello grafico, di un banale disegno 3d o di semplici grafici, quanto piuttosto di grafici contenenti informazioni di vario tipo: dalle proprietà dei materiali, dei componenti, dei sistemi e degli elementi tecnici, ai costi (di costruzione, uso e manutenzione), alle fasi di realizzazione, alle operazioni di manutenzione, all'eventuale smaltimento di fine ciclo. Il Building Information Modeling è, come detto, un sistema aperto e può essere applicato e utilizzato a più livelli di approfondimento e sofisticazione: da un semplice CAD a sistemi più completi e complessi. Sul mercato esistono, ad oggi, diverse applicazioni, riconducibili, per lo più, a 4 livelli applicativi.

Con la Direttiva 2014/24/EU, l'Unione Europea ha introdotto alcuni indirizzi sull'utilizzo del "sistema BIM" nella progettazione e realizzazione delle opere pubbliche. La Direttiva non fa riferimenti specifici all'utilizzo di software o modalità operative, rimanendo generica nei contenuti, ma invita fortemente gli Stati Membri ad implementare, per questioni di trasparenza e tracciabilità, l'utilizzo di procedure elettroniche. L'Unione fissa in trenta mesi il limite temporale per il recepimento della Direttiva.



32 Processo di sviluppo BIM.

# BIBLIOGRAFIA

- AA. VV., *Manuale di progettazione edilizia*, volumi 1-5, 2, Hoepli, Milano 1999.
- Baldo G. L., con Marino M. e Rossi S., *Analisi del ciclo di vita LCA. Materiali, prodotti, processi. Edizioni Ambiente*, Milano 2005.
- Bandelloni E., *Elementi di Architettura Tecnica*, Cleup Editore, Padova 1982.
- Benedetti C. (a cura di), *Ponti termici*, bu,press, Bolzano 2013.
- Benedetti C. (a cura di), *Umidità e tenuta all'aria*, bu,press, Bolzano 2013.
- Benedetti C. (a cura di), *Appunti di fisica tecnica*, bu,press, Bolzano 2013.
- Benedetti C. (a cura di), *Materiali isolanti*, bu,press, Bolzano 2013.
- Borghi M., Erba V., Esposti R., Galbusera G., Panzeri A., Petrone D., *I materiali isolanti*, Tep srl, Milano 2013.
- Bradaschia M., *Memoria Piano Progetto. Architettura e tecniche per i centri storici*, Laterza, Roma-Bari 1996.
- Bradaschia M., *Architettura per Arcipelaghi*, Logos, Modena 2010.
- Bradaschia M., *La Costruzione dell'Architettura*, LetteraVentidue, Siracusa 2014.
- Caleca L., *Architettura Tecnica*, Dario Flaccovio Editore, Palermo 1994.
- Campoli A., Lavagna M., *Tecniche e Architettura*, CittàStudi, Novara 2013.
- Chiostrì F., Furiozzi B., Pilati D., Sestini V., *Tecnologia dell'architettura*, Alinea, Firenze 1988.
- Dassori E., Morbiducci R., *Costruire l'architettura. Tecniche e tecnologie per il progetto*, Tecniche Nuove, Milano 2010.
- Deplazes A., *Constructing Architecture. Materials process structures. A handbook*, Birkhäuser, Basilea 2013.
- Galbusera G., Panzeri A., Petrone D., Tuoni G., Leccese F., Arengi A., Scaramella I., *Prestazioni estive degli edifici*, Tep srl, Milano 2013.
- Guerra C., *Architettura Tecnica*, Casa Editrice Raffaele Pironti e Figli, Napoli 1952.
- Hagger M., Fuchs M., Stark T., Zeumer M., *Atlante della Sostenibilità*, UTET, Milano 2008.
- Hertzberger H. - *Lezioni di Architettura* - H. Hertzberger, 1996.
- Hopfe J. C., Mcleod S. R., *The Passivhaus Designer's Manual: A technical guide to low and zero energy buildings*, Routledge, Londra-New York 2015.
- Lantschner N. (a cura di), *La mia CasaClima. Progettare, costruire e abitare nel segno della sostenibilità*, Raetia Edition, Bolzano 2009.
- Mandolesi E. - *Edilizia* - UTET, 1983.
- Neufert E., Baglioni A., Gottfried A., Collina L., *Enciclopedia pratica per progettare e costruire*, Hoepli, Milano 1996.
- Purini F., *Comporre l'architettura*, Laterza, Roma-Bari 2000.
- Semerani L., *Lezioni di composizione architettonica*, Arsenal Editrice, Venezia 1987.
- Tessenow H., *Osservazioni elementari sul costruire*, a cura di Grassi G., Franco Angeli, Milano 1974.
- Torricelli M. C., Felli P., Del Nord R., *Materiali e tecnologie dell'architettura*, Laterza, Bari 2001.
- Wienke U., *Aria calore luce*, Dei Tipografia del genio Civile, Roma 2005.
- Zaffagnini M., (a cura di), *Manuale di Progettazione edilizia*, vol. I, Hoepli, Milano 1992.





Architettura, materiali, tecniche, costruzione, gestione, dismissione sono i temi su cui il libro si basa, nella consapevolezza dell'inscindibilità degli stessi in una visione integrale del costruire. E poiché "costruire non è nient'altro che costruire, seguire la tecnica con attenzione estrema", *La Costruzione Tecnologica dell'Architettura* cerca di individuare strumenti, metodi e tecniche che possano essere utilizzati dal progettista per concepire, progettare, costruire, opere di Architettura, gestirle ed eventualmente dismetterle con sapienza e congruenza. Un testo di architettura tecnica e insieme di progettazione architettonica aggiornato che propone, accanto a questioni teoriche e tecniche, alcuni esiti significativi ed autorevoli del fare Architettura.



ISBN 978-88-8303-929-4