

La quarta dimensione del tetto

Manuale tecnico sulle coperture
architettoniche

*a cura di
Luciano Bellini*

Con la collaborazione dell'ufficio tecnico di Alubel spa

Introduzione

L'utilizzo della tecnologia legata al metallo per la costruzione di coperture e pareti ha subito anche in Italia e negli ultimi decenni del secolo appena trascorso, un incremento prima difficilmente prevedibile.

Ciò è vero per la tipologia di edifici a grandi dimensioni destinati a scopi produttivi, o all'edilizia pubblica di uso collettivo.

Questo è il campo dove meglio si esprimono alcune delle qualità preminenti, insite in questa tecnologia, come un alto rapporto qualità dell'opera/costo esecutivo, una grande versatilità di soluzioni tecniche, e la capacità di mantenere piena funzionalità con modestissime necessità di manutenzione per tempi almeno paragonabili alla vita dell'edificio.

Ma anche per l'edilizia di tipo residenziale, i Progettisti hanno iniziato ad apprezzare ed utilizzare con schemi sempre meno convenzionali le possibilità che la tecnologia metallica offre in termini di affidabilità, prestazioni strutturali e termoigrometriche, resa cromatica ed impatto architettonico generale.

Ci teniamo a sottolineare, come verrà più avanti specificato, che il presente manuale è il risultato di esperienze e di attività "sul campo"; i rimandi a normative e/o leggi (che rimangono sempre e comunque preponderanti rispetto a questo scritto) non possono essere sempre garantiti come non può essere sempre garantita la rispondenza ad eventuali aggiornamenti normativi in fase di realizzo o recentemente pubblicati. I contenuti presenti all'interno di questa pubblicazione non possono considerarsi vincolanti per eventuali contratti.

Scopo del presente manuale

Questo manuale è frutto dell'esperienza quotidiana, e del quotidiano confronto con gli Operatori che lavorano in cantiere, sia come Progettisti, sia come Posatori e, ultimi ma come tutti sappiamo non meno importanti, i Committenti.

Per questo motivo non è stato pensato come una dissertazione magari tecnicamente approfondita, ma di scarsa utilità pratica. Piuttosto si è voluto fermare sulla carta l'insieme delle esperienze condivise fra operatori del nostro settore, nella speranza di dare un contributo anche a chi a questo settore si è affacciato da poco, o ancora si deve accostare, e ben sapendo che la tecnologia delle coperture metalliche è in continuo divenire.

A questi, particolarmente ai giovani Tecnici, ai giovani laureati in ingegneria e architettura ed ai giovani Posatori, auguro di scrivere con il loro lavoro i prossimi capitoli, e di essere protagonisti di un progresso tecnologico del quale questo modesto contributo rappresenta solo un'istantanea.

Istruzioni per l'utilizzo

Questo manuale è stato strutturato per argomenti, non necessariamente conseguenti uno all'altro. Non è pertanto indispensabile una lettura sequenziale per comprenderlo pienamente, né ha senso cedere alla tentazione di saltare all'ultima pagina per scoprire come va a finire: tanto l'assassino non è il maggiordomo.

Ogni capitolo può avere dei rimandi ad altri, dove determinati argomenti possono essere discussi più approfonditamente, o sotto un altro aspetto tecnologico o funzionale. Esorto quindi all'elasticità mentale, che, al pari di quella fisica, aiuta a vedere un problema da diverse prospettive, quindi a meglio comprenderlo, e porta ad una più brillante soluzione.

Ringraziamenti

Alla fine di questo lavoro, piuttosto inconsueto rispetto alla pratica quotidiana della professione, sento il dovere di ringraziare la Società Alubel, in particolare nella persona del Presidente Sig. Ferrante Beltrami, sia per l'appoggio che mi ha fornito, che per l'infinita pazienza dimostrata nell'attendere il completamento.

Ringrazio anche mia moglie Maria, ed i miei figli Ettore e Vittoria, per avere sopportato i miei isolamenti serali, ed i miei conseguenti malumori mattutini.

Termino consigliando a tutti di ripetere la mia esperienza, fosse pure la stesura di un mero manuale tecnico: vi salverà da moltissime ore di pessima televisione.

ing. Luciano Bellini

Ringraziamenti

Nel nostro lavoro, dopo tanti anni dalla nascita della nostra società, ci accorgiamo ogni giorno quanto l'impegno di tanti non sia corrisposto da altrettanti guadagni (sia economici che morali). Ma forse questo, come diceva qualcuno, non è altro che lo spirito che contraddistingue il vero imprenditore:

“...migliaia, milioni di individui lavorano, producono e risparmiano nonostante tutto quello che noi possiamo inventare per molestarli, incepparli, scoraggiarli. È la vocazione naturale che li spinge; non soltanto la sete di denaro. Il gusto, l'orgoglio di vedere la propria azienda prosperare, acquistare credito, ispirare fiducia a clientele sempre più vaste, ampliare gli impianti, abbellire le sedi, costituiscono una molla di progresso altrettanto potente che il guadagno. Se così non fosse, non si spiegherebbe come ci siano imprenditori che nella propria azienda prodigano tutte le loro energie e investono tutti i loro capitali per ritrarre spesso utili di gran lunga più modesti di quelli che potrebbero sicuramente e comodamente ottenere con altri impieghi.”

L. Einaudi

Nulla di più vero oggi, in questo mercato in continuo cambiamento che non ti lascia un attimo per riflettere, pensare o ponderare: ogni giorno è sempre più una corsa contro il tempo... Ma non possiamo fermarci: lo dobbiamo a chi verrà dopo di noi. Questa è la vera molla che spinge l'imprenditore: il guadagno è solo una conseguenza.

*L'impegno che ci mettiamo tutti i giorni, ha come fondamento
l'unica cosa che nessuno ci potrà mai copiare: l'esperienza.*

*L'esperienza di tetti visti coi nostri occhi, toccati con le nostre mani;
l'esperienza di discussioni in cantiere con posatori, coperturisti e
installatori; l'esperienza di vedere i problemi dei prodotti in fase
applicativa per poi tornare di corsa in ufficio cercando le possibili
migliorie; l'esperienza di notti passate in officina a modificare macchinari,
a migliorare le fasi produttive; l'esperienza fatta il sabato e la domenica,
quando la fabbrica è chiusa e il telefono non suona, ma che per questo hai
più tempo per riflettere; l'esperienza che nasce dal confronto che si basa su
di un presupposto indelebile: c'è sempre da imparare da tutti.*

*Per questo nasce questo manuale: qui trovate una parte della nostra
esperienza, e con questa, una parte della nostra storia. Un sincero
ringraziamento lo dobbiamo a chi ci ha permesso, negli anni, di rendere
importante in Italia come all'estero il nome di Alubel.*

*Veniamo da un piccolo paese di origini contadine, non potete immaginare
quanto sia motivo di orgoglio per noi sentirsi anche solo dire:*

"Alubel? Sì, la conosco..."

E non è una cosa scontata.

Un'azienda come la nostra infatti, vive delle persone che la compongono.

*A tutti i nostri tecnici e commerciali sempre "sul campo", alle nostre
ragazze che seguono offerte e ordini dei nostri clienti, alle colleghe
dell'amministrazione che con puntualità e precisione ne "tengono i conti",
all'ufficio marketing la nostra "anima creativa", ai colleghi delle spedizioni
(abili "ottimizzatori" di carichi), agli addetti alle macchine, ai magazzinieri
e ad ogni singolo operaio, va il nostro ringraziamento.*

Senza di Voi, non saremmo potuti arrivare fino a qui.

Carlo e Ferrante Beltrami

Indice

Prontuario di geometria

15

Triangoli	17
Quadrilateri	18
Angoli	19
Unità di misura degli angoli	20
Geometria piana	21
Geometria dei volumi	23
Simboli matematici	24
Misure di grandezza (sistema metrico decimale)	25
Pesi teorici e pratici di 1 m quadrato di lamiera (kg)	26
Informazioni tecniche	27
Tabella di conversione per il calcolo dell'allungamento (pendenza in %)	27
Calcolo della temperatura per la formazione della condensa	28
Compatibilità dei metalli	29
Dilatazione termica	30

Capitolo 1

33

Coperture metalliche: primi elementi di conoscenza

1.1	Definizione di copertura	35
1.2	Classificazione delle coperture	37
1.3	Terminologia e nomenclatura delle coperture discontinue	39
1.4	Terminologia e nomenclatura degli elementi complementari alla copertura	43
1.4.1	Elementi ai margini delle falde con funzione di raccolta	43
1.4.2	Elementi ai margini delle falde con funzione di contenimento e tenuta	44
1.4.3	Elementi ai margini delle falde con funzione di smaltimento	47
1.4.4	Elementi ai margini delle falde con funzione di coronamento	48
1.4.5	Elementi inseriti nelle falde con funzione di illuminazione, aerazione ed accesso	49
1.4.6	Elementi inseriti nelle falde con funzione di espulsione di fluidi	50
1.4.7	Elementi inseriti nelle falde con funzione di scambio termico o produzione di energia	53
1.5	Morfologia delle coperture discontinue	55
1.6	Elementi componenti le coperture metalliche	59

Capitolo 2

61

Requisiti e prestazioni richieste alle coperture metalliche

2.1	Caratteristiche meccaniche e strutturali: il manto	63
2.1.1	Tenuta Idraulica	66
2.1.2	Pendenza	66
2.1.3	Fissaggio in greca alta	67
2.1.4	Dilatazione termica	70
2.1.5	Sormonto trasversale	75
2.1.6	Sormonto longitudinale	77

2.2	Caratteristiche meccaniche e strutturali: la sottostruttura	81
2.2.1	Distribuzione dei carichi e collegamento alla struttura principale	82
2.2.2	Regolarizzazione dei piani di falda	85
2.2.3	Creazione di pendenza	85
2.2.4	Caratteristiche relative al fissaggio	88
2.2.5	Contenimento dello strato di coibentazione	89
2.2.6	Creazione della camera di ventilazione	91
2.2.8	Elemento di taglio elettrico (gabbia di Faraday)	96
2.3	Caratteristiche di controllo igrotermico: la barriera al vapore	99
2.3.1	Vapore acqueo negli edifici	99
2.3.2	Condensazione	100
2.3.3	Barriera al vapore e Freno al vapore	103
2.3.4	Tipologie di barriera al vapore e/o freno al vapore	106
2.3.5	Precauzioni e dettagli nell'applicazione	107
2.4	Caratteristiche di isolamento termico	113
2.4.1	Alcune considerazioni sul calore	113
2.4.2	Modalità di trasmissione del calore	115
2.4.3	Significato ed opportunità dell'isolamento termico	119
2.4.4	Modalità di isolamento termico	119
2.4.5	Valutazione di resistenza termica e distribuzione di temperature nel pacchetto di copertura	122
2.4.6	Considerazioni termoigrometriche relative alle ricoperture	125
2.5	Caratteristiche di isolamento acustico	131
2.5.1	Opportunità dell'isolamento acustico	131
2.5.2	Natura del suono e del rumore	132
2.5.3	Modalità di interazione del suono con oggetti solidi	136
2.5.4	Modalità di abbattimento selettivo del rumore	137
2.6	Caratteristiche di ventilazione	151
2.6.1	Opportunità della ventilazione	151
2.6.2	Modalità della ventilazione	152

2.7	Caratteristiche di illuminazione	157
2.7.1	Opportunità dell'illuminazione	157
2.7.2	Parametri e criteri di valutazione	162
2.7.3	Finestre in parete	162
2.7.4	Lucernari in copertura	164
2.8	Caratteristiche di resistenza al fuoco	169
2.8.1	Significato del termine "Resistenza al fuoco", REI	169
2.8.2	Criteri di prevenzione incendi applicabili alle coperture	170
2.8.3	Evacuatori di Fumo e di Calore	172
2.9	Caratteristiche di gestione e manutenzione ordinaria e preventiva	175
2.10	Caratteristiche di trasporto, stoccaggio e movimentazione	185
2.11	Caratteristiche di durata ed efficienza nel tempo	189
2.11.1	Durata	189
2.11.2	Efficienza	191
2.12	Caratteristiche di compatibilità con l'ambiente	193
2.13	Caratteristiche di integrazione con l'edificio ed i suoi impianti/servizi	197

Capitolo 3 **203**

Elementi necessari alla scelta della tipologia del manto

3.1	Vantaggi dell'utilizzo del metallo in copertura	205
3.2	Metalli utilizzabili per manti di copertura e loro caratteristiche	209
3.2.1	Leghe di alluminio	209
3.2.2	Rame	213
3.2.3	Acciaio Inox	216
3.2.4	Leghe composite	219
3.2.5	Zinco Titanio	219

3.3 Criteri di scelta sulla tipologia del manto di copertura	221
3.3.1 Tenuta statica	221
3.3.2 Tenuta idraulica	224
3.3.3 Morfologia della copertura	224
3.3.4 Prestazione termoigrometrica	226
3.3.5 Prestazione acustica	227
3.3.6 Rilevanza architettonica	229

Capitolo 4 **235**

Prodotti e materiali metallici per il manto

4.1 Cenni sui materiali utilizzati	237
4.1.1 Manti in lega d'alluminio	237
4.1.2 Manti in rame	238
4.1.3 Manti in acciaio al carbonio	239
4.1.5 Manti in leghe composite (Zinco-Titanio e simili)	240
4.1.4 Manti in acciaio inox	240
4.2 Tipologie e caratteristiche dei prodotti utilizzabili per il manto	241
4.2.1 Lastre grecate e ondulate	241
4.2.2 Lastre aggraffate	244
4.2.3 Lastre a vasca	247
4.2.4 Lastre stampate	249
4.2.5 Scandole	251
4.2.6 Pannelli monolitici	252

Capitolo 5

255

Sottostrutture

5.1	Tipologie e materiali	257
5.1.1	Tipologie per strutture continue	257
5.1.2	Tipologie per strutture discontinue	258
5.1.3	Tipologie per rifacimenti/ricoperture	261
5.1.4	Materiali e prodotti per sottostrutture	262

Capitolo 6

273

Prodotti coibenti, isolanti e fonoassorbenti

6.1	Proprietà e caratteristiche	275
6.2	Tipologie	277
6.2.1	Lana di roccia	277
6.2.2	Lana di vetro	278
6.2.3	Poliuretano espanso	280
6.2.4	Polistirene/polistirolo espanso/estruso	281
6.2.5	Vetro cellulare	282
6.2.6	Sughero	282
6.2.7	Fibra di legno	283
6.2.8	Sulla scelta del tipo di isolante	284

Capitolo 7 **287**

Prodotti e materiali per il controllo della condensa

7.1 Asportazione tramite ventilazione	291
7.2 Applicazione di una barriera al vapore	293
7.2.1 Membrane bituminose	294
7.2.2 Membrane plastiche	294
7.3 Applicazione di uno strato traspirante	295
7.3.1 Protezione del coibente da condensa sotto manto	298

Capitolo 8 **301**

Componenti per l'illuminazione naturale

8.1 Elementi trasparenti in falda	305
8.2 Lucernari emergenti	309
8.3 Serramenti	311
8.4 Materiali	313

Capitolo 9 **317**

Componenti per la ventilazione, il ricambio e l'espulsione

9.1 Aperture in copertura	319
9.2 Lucernari e serramenti apribili	321
9.3 Estrattori d'aria	323
9.3.1 Estrattori d'aria a convezione naturale	323
9.3.2 Estrattori d'aria forzata	324
9.4 Canne fumarie	325

Capitolo 10 **329**

Componenti per il controllo dell'incendio

10.1 Evacuatori di fumo e di calore (EFC)	331
---	-----

Capitolo 11 **335**

Elementi di lattoneria

11.1 Definizioni e criteri generali	337
11.2 Sistemi di vincolo, fissaggio e sigillatura	341
11.2.1 Tasselli ad espansione	341
11.2.2 Viti autoformanti, autofilettanti, automaschianti, autoforanti	342
11.2.3 Fissaggi scorrevoli (guarnizioni/borchie)	346
11.2.4 Sigillanti siliconici	347
11.2.5 Guarnizioni di tenuta aria/acqua	348

11.3 Canali di gronda e di conversa	351
11.3.1 Descrizione	351
11.3.2 Elementi di supporto/separazione/antifrizione/coibentazione	352
11.3.3 Giunzione di tronchi di canale	353
11.3.4 Giunzione tra due elementi (rivettatura/sigillatura)	354
11.3.5 Testine terminali	355
11.3.6 Giunti di dilatazione meccanici	356
11.3.7 Giunti di dilatazione in gomma vulcanizzata	357
11.3.8 Gocciolatoi laterali	358
11.3.9 Elementi anti-intrusione	360
11.3.10 Dispositivi di Troppopieno	360
11.3.11 Doppifondi salvaneve/salvagrandine	362
11.3.12 Dispositivi di scioglimento neve	362
11.3.13 Cicogne e tiranti di supporto	363
11.3.14 Tronchetti di scarico	364
11.3.15 Cassette di raccolta	365
11.3.16 Tubi pluviali	366
11.3.17 Paraneve	368
11.3.18 Calcolo della capienza	369
11.4 Compluvi	371
11.4.1 Descrizione	371
11.4.2 Elementi di supporto/separazione/antifrizione/coibentazione	372
11.4.3 Conicità di sovrapposizione	372
11.4.4 Giunzione tra due elementi (rivettatura/sigillatura)	373
11.4.5 Testine terminali a monte	374
11.4.6 Raccordo col canale in piano	374
11.4.7 Giunti di dilatazione in gomma vulcanizzata	374
11.4.8 Gocciolatoi laterali	375
11.4.9 Elementi anti-intrusione	376

11.5 Colmi semplici e ventilati	377
11.5.1 Descrizione	377
11.5.2 Conicità di sovrapposizione	377
11.5.3 Giunzione tra due elementi (rivettatura/sigillatura)	377
11.5.4 Testine terminali	378
11.5.5 Giunti di dilatazione meccanici in alluminio	379
11.5.6 Tipologie di colmo	380
11.5.7 Elementi anti-intrusione	382
11.6 Displuvi (colmi diagonali)	383
11.6.1 Descrizione	383
11.6.2 Conicità di sovrapposizione	384
11.6.3 Giunzione tra due elementi (rivettatura/sigillatura)	384
11.6.4 Raccordi con i colmi	384
11.6.5 Testine terminali a valle	385
11.6.6 Elementi anti-intrusione	386
11.7 Faldali esterni ed interni	387
11.7.1 Descrizione	387
11.7.2 Conicità di sovrapposizione	388
11.7.3 Giunzione tra due elementi (rivettatura/sigillatura)	388
11.7.4 Raccordi con i colmi	388
11.7.5 Raccordi con gli elementi grecati	389
11.8 Faldali esterni ed interni	391
11.8.1 Descrizione	391
11.8.2 Conicità di sovrapposizione	393
11.8.3 Giunzione tra due elementi (rivettatura/sigillatura)	393
11.9 Lattonerie di raccordo corpi emergenti in falda o in colmo	395
11.9.1 Descrizione	395
11.9.2 Giunzione tra gli elementi (rivettatura/sigillatura)	397
11.9.3 Raccordi con gli elementi grecati	397
11.9.4 Raccordi con lattonerie di colmo o di gronda	397

11.10	Lattonerie di raccordo con serramenti/lucernari	399
11.10.1	Descrizione	399
11.10.2	Giunzione tra gli elementi (rivettatura/sigillatura)	402
11.11	Elementi paraneve	403
11.11.1	Descrizione	403
11.12	Griglie e passerelle di pedonamento	407
11.13	Elementi di protezione anticaduta	409
11.14	Altri tipi di dotazioni di sicurezza	417

Capitolo 12 **419**

Impianto fotovoltaico in copertura

12.1	Criteri per la messa in opera di un sistema fotovoltaico	421
12.2	Caratteristiche di un sistema fotovoltaico	423
12.2.1	Capacità strutturale	423
12.2.2	Risposta termica	424
12.2.3	Longevità	425
12.2.4	Accessibilità	425
12.2.5	Funzionalità	427
12.2.6	Impermeabilità	427
12.2.7	Capacità idraulica	428
12.2.8	Sicurezza elettrica	429

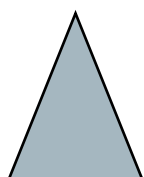
Prontuario di geometria

Triangoli



EQUILATERO

Un triangolo equilatero ha tutti i lati della stessa lunghezza e tutti gli angoli interni uguali.



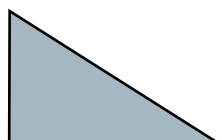
ISOSCELE

Un triangolo isoscele ha due lati della stessa lunghezza e due angoli della stessa ampiezza.



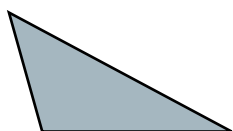
SCALENO

Un triangolo scaleno ha tutti i lati di lunghezza differente e gli angoli di ampiezza diversa.



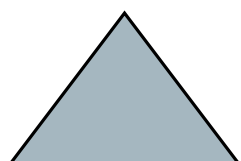
RETTANGOLO

Un triangolo rettangolo è un triangolo che contiene un angolo retto (90°).



OTTUSANGOLO

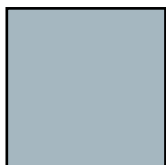
Un triangolo ottusangolo è un triangolo che ha un angolo ottuso, cioè maggiore di 90° .



ACUTANGOLO

Un triangolo acutangolo è un triangolo che possiede tre angoli acuti. Essi misurano cioè meno di 90° ciascuno.

Quadrilateri



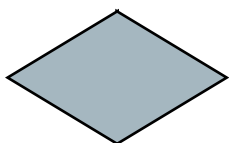
QUADRATO

Un quadrato ha tutti i lati della stessa lunghezza e tutti gli angoli retti.



RETTANGOLO

Un rettangolo ha i lati opposti della stessa lunghezza. Tutti gli angoli sono retti.



ROMBO

Un rombo ha tutti i lati della stessa lunghezza, ma nessuno degli angoli è retto.



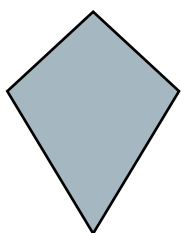
PARALLELOGRAMMA

Un parallelogramma ha i lati opposti paralleli e della stessa lunghezza.



TRAPEZIO

Un trapezio ha due lati opposti paralleli.

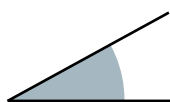


AQUILONE

Un aquilone è un quadrilatero con i lati adiacenti della stessa lunghezza. Le diagonali si intersecano formando angoli retti.

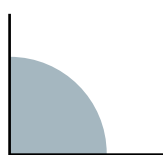
Angoli

Gli angoli possono essere misurati secondo due unità di misura differenti anche se entrambe derivano dalla suddivisione di un cerchio. I gradi sono l'unità di misura più comune mentre i radianti vengono usati più di rado.



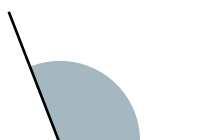
ANGOLO ACUTO

angolo la cui misura è maggiore di 0° e minore di 90° .



ANGOLO RETTO

angolo la cui misura è 90° . Le linee che delimitano gli angoli retti sono tra loro perpendicolari.



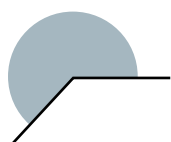
ANGOLO OTTUSO

angolo la cui misura è maggiore di 90° ma minore di 180° .



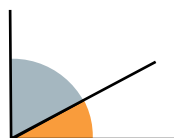
ANGOLO PIATTO

angolo la cui misura è 180° .



ANGOLO CONCAVO

angolo la cui misura è maggiore di 180° ma minore di 360° .



ANGOLI COMPLEMENTARI

angoli la cui somma è 90° .



ANGOLI SUPPLEMENTARI

angoli la cui somma è 180° .



ANGOLI CONIUGATI

angoli la cui somma è 360° .

Unità di misura degli angoli

GRADI

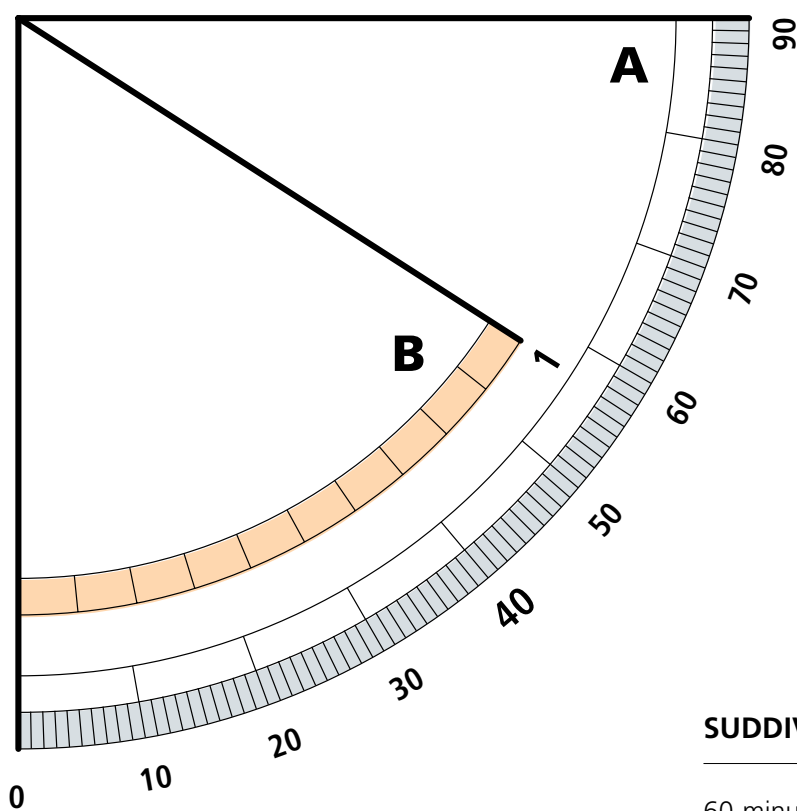
A

Un cerchio è diviso in 360 parti uguali detti gradi ($^{\circ}$). Un grado corrisponde all'angolo al centro di un cerchio che sottende un arco la cui misura è $1/360$ della circonferenza. Il disegno illustra un quarto di cerchio diviso in 90 gradi (90°).

RADIANTI

B

Un radiante è l'angolo compreso fra due raggi di un cerchio che sottendono un arco di circonferenza la cui misura è pari al raggio. Un radiante (rad) equivale a $57,296^{\circ}$. Ci sono 2π circa (6,28) radianti in un cerchio. Il disegno illustra un angolo pari a 1 radiante.

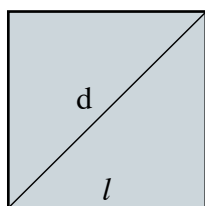


SUDDIVISIONE DI UN CERCHIO

60 minuti (60')	= 1 grado (1°)
60 secondi (60")	= 1 minuto (1')
100 centirad	= 1 rad
1000 millirad	= 1 rad

Geometria piana

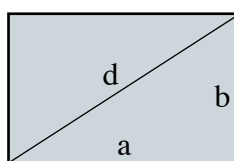
QUADRATO



$$A = l^2 = \frac{d^2}{2}$$

$$2p = 4l$$

RETTANGOLO

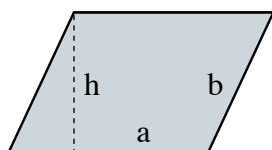


$$A = a \cdot b$$

$$2p = 2(a+b)$$

$$d = \sqrt{a^2 + b^2}$$

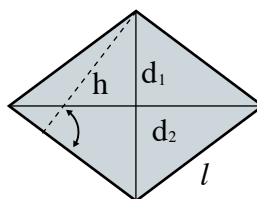
PARALLELOGRAMMA



$$A = a \cdot h$$

$$2p = 2(a+b)$$

ROMBO

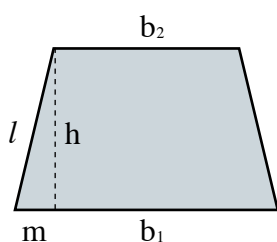


$$A = l \cdot h = \frac{1}{2} d_1 d_2$$

$$2p = 4l$$

$$4l^2 = d_1^2 + d_2^2$$

TRAPEZIO ISOSCELE



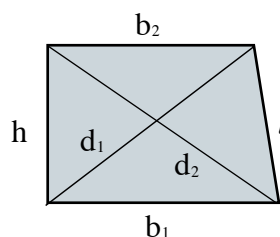
$$A = \frac{1}{2} (b_1 + b_2) h$$

$$2p = b_1 + b_2 + 2l$$

$$l^2 = h^2 + m^2$$

$$b_1 = b_2 + 2m$$

TRAPEZIO RETTANGOLO



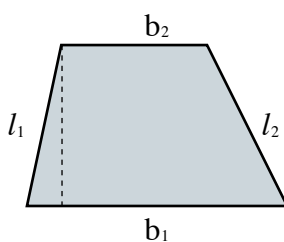
$$A = \frac{1}{2} h (b_1 + b_2)$$

$$2p = b_1 + b_2 + h + l$$

$$d_2^2 = h^2 + b_1^2$$

$$d_1^2 = h^2 + b_2^2$$

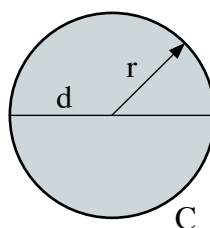
TRAPEZIO QUALSIASI



$$A = \frac{1}{2} h (b_1 + b_2)$$

$$2p = b_1 + b_2 + l_1 + l_2$$

CERCHIO



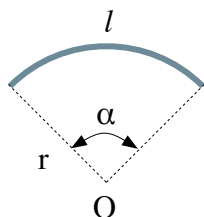
$$C = 2\pi \cdot r = d \cdot \pi$$

$$\pi = 3,1415926$$

$$A = r^2 \cdot \pi$$

Geometria piana

ARCO

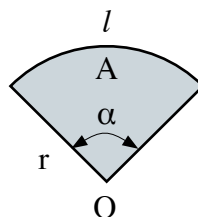


$$l = \frac{\pi \cdot r}{180} \cdot \alpha$$

$$\alpha = \frac{180}{\pi \cdot r} \cdot l$$

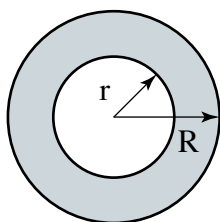
$$r = \frac{180 \cdot l}{\pi \cdot \alpha}$$

SETTORE CIRCOLARE



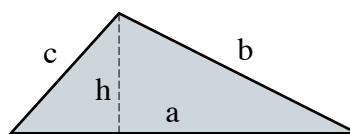
$$A = \frac{\pi \cdot r^2}{360} \cdot \alpha = \frac{1}{2} l \cdot r$$

CORONA CIRCOLARE



$$A = (R^2 - r^2) \pi$$

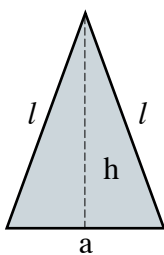
TRIANGOLO QUALSIASI



$$2p = a+b+c$$

$$A = \frac{1}{2} a \cdot h = \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)}$$

TRIANGOLO ISOSCELE

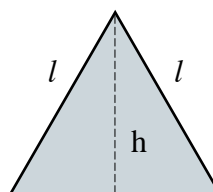


$$A = \frac{1}{2} a \cdot h$$

$$2p = a+2l$$

$$l^2 = \left(\frac{a}{2}\right)^2 + h^2$$

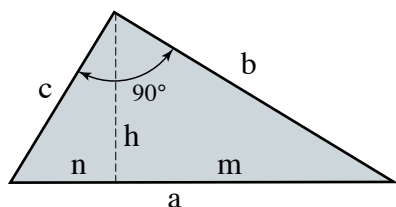
TRIANGOLO EQUILATERO



$$A = \frac{1}{2} l \cdot h$$

$$h = l \frac{\sqrt{3}}{2}$$

$$2p = 3l$$



TRIANGOLO RETTANGOLO

$$A = \frac{1}{2} a \cdot h = \frac{1}{2} b \cdot c$$

$$2p = a+b+c$$

$$h = \frac{bc}{a}$$

TEOREMA DI PITAGORA

$$a = \sqrt{b^2 + c^2}$$

$$b = \sqrt{a^2 - c^2}$$

$$c = \sqrt{a^2 - b^2}$$

TEOREMA DI EUCLIDE

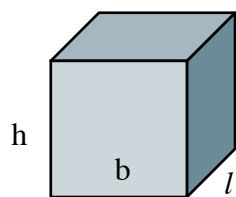
$$h = \sqrt{m \cdot n}$$

$$b = \sqrt{a \cdot m}$$

$$c = \sqrt{a \cdot n}$$

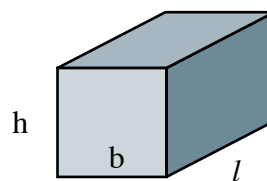
Geometria dei volumi

CUBO



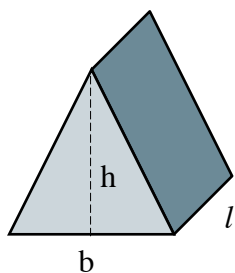
$$b^3 = h^3 = l^3$$

PARALLELEPIPEDO



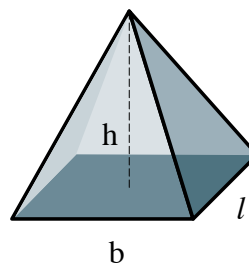
$$b \cdot h \cdot l$$

PRISMA



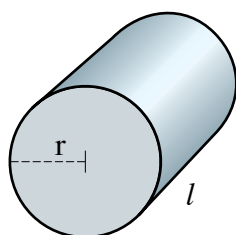
$$\frac{b \cdot h \cdot l}{2}$$

PIRAMIDE



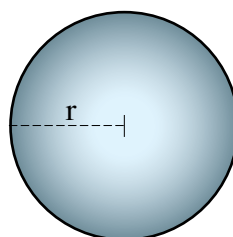
$$\frac{b \cdot h \cdot l}{3}$$

CILINDRO



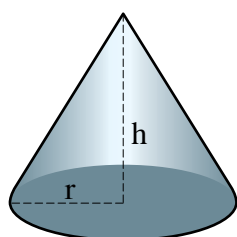
$$\pi \cdot r^2 \cdot l$$

SFERA



$$\frac{4 \cdot \pi \cdot r^3}{3}$$

CONO



$$\frac{\pi \cdot r \cdot h}{3}$$

Simboli matematici

$+$	più o positivo	\geq	maggiore o uguale a
$-$	minore o negativo	\leq	minore o uguale a
\pm	più o meno, positivo o negativo	\gg	molto maggiore di
\times	moltiplicato per	\ll	molto minore di
\div	diviso per	$\sqrt{\quad}$	radice quadrata
$=$	uguale a	∞	infinito
\equiv	identico a	\propto	proporzionale a
\neq	diverso da	Σ	sommatoria
$\not\equiv$	non identico e non uguale a	Π	produttoria
\approx	circa uguale a	Δ	differenza finita
\sim	dello stesso ordine o simile a	\therefore	perciò
$>$	maggiore di	\angle	angolo
$<$	minore di	\parallel	parallelo
\nlessgtr	non maggiore di	\perp	perpendicolare a
\nlessgtr	non minore di	\therefore	tale che (diviso)

Misure di grandezza (sistema metrico decimale)

LUNGHEZZA

1 millimetro (mm)			
1 centimetro (cm)	10 mm		
1 decimetro (dm)	10^2 mm	10 cm	
1 metro (m)	10 mm	10 dm	10^2 cm
1 decametro (dam)		10 m	
1 ettometro (hm)		10^2 m	
1 chilometro (km)		10^3 m	

AREA

1 millimetro quadrato (mm ²)			
1 centimetro quadrato (cm ²)	10^2 mm ²		
1 decimetro quadrato (dm ²)	10^4 mm ²	10^2 cm ²	
1 metro quadrato (m ²)	10^6 mm ²	10^4 cm ²	10^2 dm ²
1 decametro quadrato (dam ²)	1 ara (a)	10^2 m	
1 ettometro quadrato (hm ²)	1 ettaro (ha)	10^4 m ²	
1 chilometro quadrato (km ²)	10^6 m ²		

VOLUME

1 millimetro cubo (mm ³)			
1 centimetro cubo (cm ³)	10^3 mm ³		
1 decimetro cubo (dm ³)	10^6 mm ³	10^3 cm ³	
1 metro cubo (m ³)	10^9 mm ³	10^6 cm ³	10^3 dm ³
1 decametro cubo (dam ³)	10^3 m ³		
1 ettometro cubo (hm ³)	10^6 m ³		
1 chilometro cubo (km ³)	10^9 m ³		

PESO

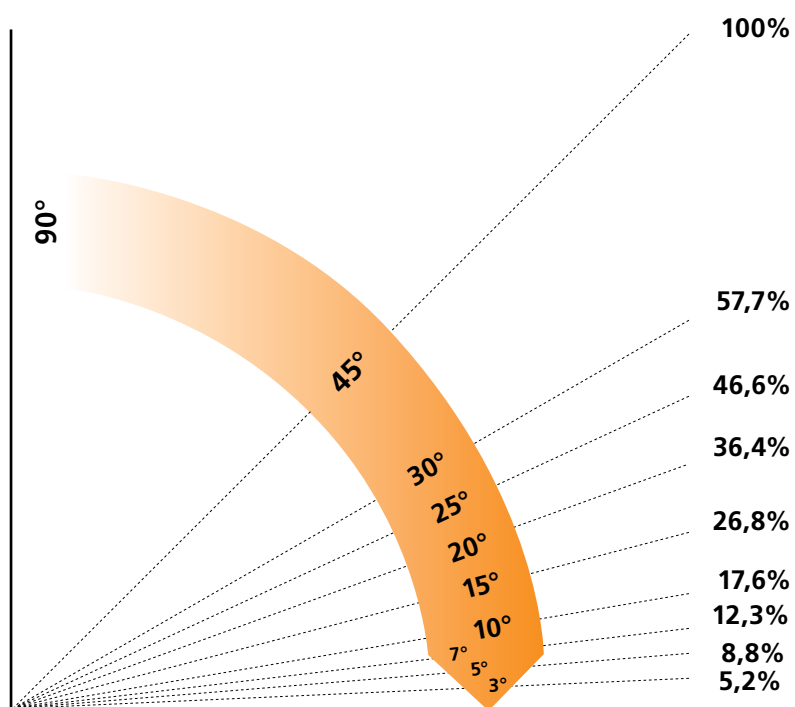
1 milligrammo (mg)			
1 grammo (g)	10^6 mg		
1 chilogrammo (kg)	10^3 g		
1 quintale (q)	10^2 kg		
1 tonnellata (t)	10 q	10^3 kg	

Pesi teorici e pratici di 1 m quadrato di lamiera (kg)

Spessori in mm		0,4	0,5	0,6	0,8	1,0
AISI 304 - 316	kg/m ²	3,20	4,10	4,81	6,41	8,02
AISI 430	kg/m ²	3,10	3,83	4,65	6,20	7,75
Alluminio	kg/m ²	1,08	1,35	1,62	2,16	2,70
Acciaio zincato	kg/m ²	3,20	4,00	4,80	6,40	8,00
Acciaio preverniciato	kg/m ²	3,20	4,00	4,80	6,40	8,00
Rame	kg/m ²	3,58	4,48	5,38	7,17	8,96
Lega zinco-titanio	kg/m ²	2,86	3,57	4,28	5,71	7,14

Spessori in mm		0,8	1,0	1,2	1,5	2,0
Piombo	kg/m ²	9,6	12,0	14,4	18,0	24,0

Conversione da
gradi a percentuale
di pendenza

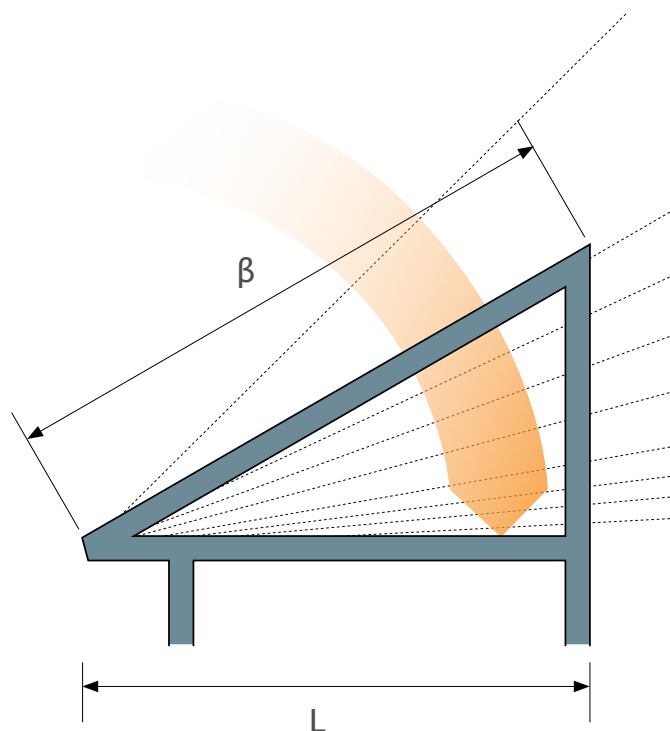


Informazioni tecniche

Tabella di conversione per il calcolo dell'allungamento (pendenza in %)

Gradi	% pendenza	Coefficiente allungamento
45°	100 %	1,41421
41,99°	90,0 %	1,34536
38,65°	80,0 %	1,28062
34,99°	70,0 %	1,22065
30,97°	60,0 %	1,16619
30°	57,7 %	1,15452
26,57°	50,0 %	1,11803
25°	46,6 %	1,10324
21,81°	40,0 %	1,07703
20°	36,4 %	1,06418

Gradi	% pendenza	Coefficiente allungamento
15°	26,8 %	1,03528
14,05°	25,0 %	1,03191
11,31°	20,0 %	1,01980
10°	17,6 %	1,01536
7°	12,3 %	1,00753
5,72°	10,0 %	1,00498
5°	8,8 %	1,00386
3°	5, %	1,00135

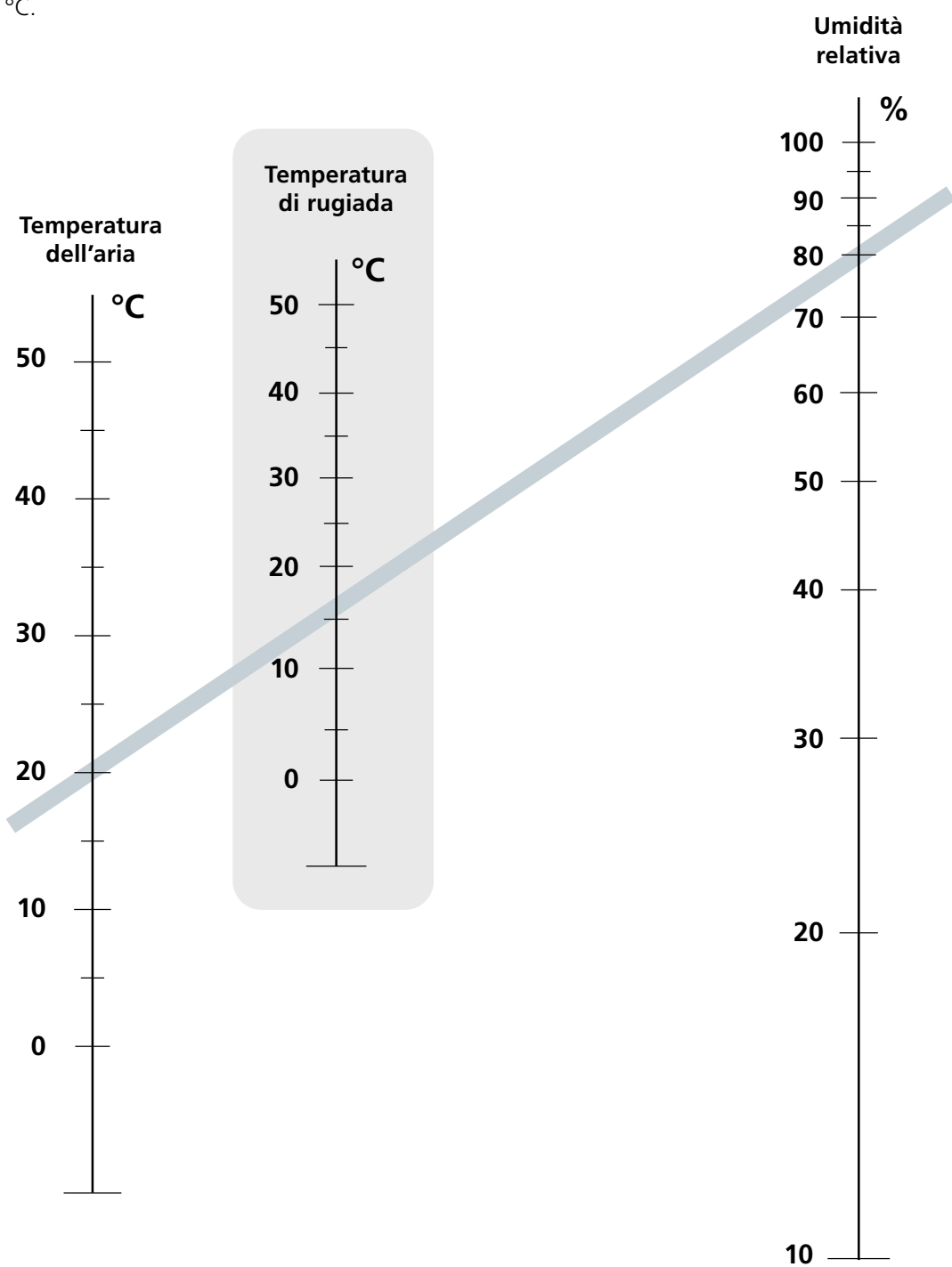


$$\beta = L \times (\text{Coefficiente allungamento})$$

Calcolo della temperatura per la formazione della condensa

Il diagramma permette di calcolare la temperatura di rugiada tracciando una retta che passa per la temperatura dell'aria interna (esempio 20 °C) e umidità relativa (esempio 80%). Il risultato si legge sulla scala delle temperature di rugiada. In questo caso è pari a circa 16 °C.

Per evitare formazioni di condensa è quindi importante che la temperatura delle superfici interne della copertura sia sempre al di sopra di quella di rugiada (nell'esempio qui riportato, superiore a 16 °C).

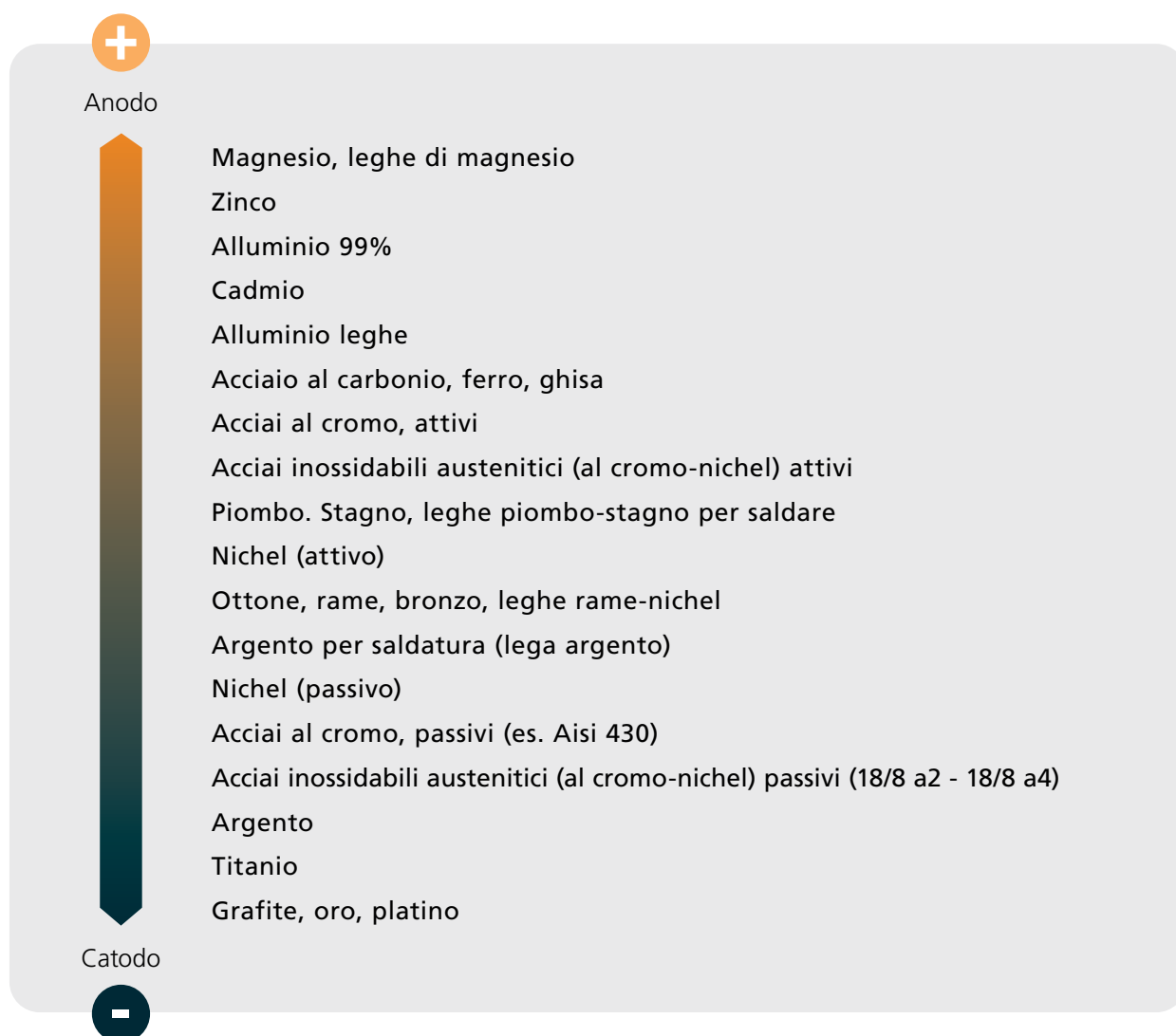


Compatibilità dei metalli

A tale scopo riportiamo di seguito una serie galvanica dei metalli, ordinati secondo il loro potenziale. Le frecce ricordano il senso della corrente e quindi che il materiale soggetto a corrosione, tra i due che partecipano all'assemblaggio, è sempre quello più in alto nella scala galvanica, ossia quello più vicino all'anodo (+).

Pertanto è buona norma evitare combinazioni di metalli diversi nell'esecuzione di una copertura e comunque evitare il loro contatto diretto inserendo elementi in materiale non conduttore di particelle elettriche. (bandella dielettrica)

potenziale elettrico di alcuni materiali - scala galvanica



Dilatazione termica

Ogni metallo è caratterizzato dalla peculiarità di variare le proprie dimensioni in conseguenza di una variazione della temperatura a cui è sottoposto. Questa variazione è misurata da un parametro specifico per ogni tipo di metallo o lega metallica, il coefficiente di dilatazione termica. La rilevanza delle problematiche legate a questo fenomeno è accentuata dal crescente utilizzo nella costruzione di coperture metalliche delle leghe d'alluminio, che,

come vedremo, possiedono ottime caratteristiche in termini di leggerezza e mantenimento delle prestazioni nel tempo.

L'alluminio possiede di contro il coefficiente di dilatazione termica più elevato tra i materiali comunemente utilizzati nell'ambito di cui trattiamo. E' bene perciò quantificare con la tabella che segue i coefficienti caratteristici dei materiali di base dai quali si ricavano i prodotti per coperture metalliche:

coefficienti di dilatazione termica

Acciaio 0,0012 mm/°C/m	Rame 0,018 mm/°C/m	Alluminio 0,024 mm/°C/m	Acciaio inox 0,010 mm/°C/m
----------------------------------	------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------------

Passando ad un esempio del tutto realistico in zone climatiche temperate come l'Italia, ipotizziamo di realizzare nel periodo estivo una copertura in lega d'alluminio con una falda di lunghezza dieci metri. Supponiamo che la temperatura del metallo (non quella dell'ambiente) sia, al momento del montaggio, pari a 40 °C.

Nella stagione invernale, supponendo che il metallo raggiunga una temperatura di -10 °C, avremo un salto termico rispetto al momento dell'installazione di +40 °C - (-10 °C) = 50 °C.

La variazione di lunghezza della lastra, in questo caso un accorciamento, sarà quindi pari a:

$$\Delta L = (0,024 \text{ mm/}^\circ\text{C/m}) \times (50 \text{ }^\circ\text{C}) \times (10 \text{ m}) = 12 \text{ mm}$$

Capitolo 1

*Coperture metalliche: primi elementi
di conoscenza*

1.1 Definizione di copertura

La copertura di un edificio viene definita come il sistema tecnologico, normalmente costituito da un insieme di diversi elementi, che svolge le seguenti funzioni:

- Proteggere dagli agenti atmosferici (precipitazioni, vento, polvere, elementi inquinanti) la parte superiore dell'edificio stesso.
 - Isolare, in collaborazione con le pareti perimetrali, l'interno dell'edificio dalle escursioni termiche dell'ambiente esterno.
 - Isolare, in collaborazione con le pareti perimetrali, l'interno dell'edificio dal rumore prodotto nell'ambiente esterno.
 - Consentire un'adeguata e corretta evacuazione o, di contro, contenimento del vapore acqueo normalmente prodotto all'interno dell'edificio, impedendone l'eccessivo accumulo, oppure la sua trasformazione in acqua.
 - Costituire, per la naturale esposizione solare, il supporto preferenziale all'installazione di sistemi per il recupero e la produzione di energia (fotovoltaica, da irraggiamento ecc.).
 - Costituire un supporto per la creazione di zone destinate a verde, sfruttando così aree che, occupate da edifici, sarebbero altrimenti inutilizzabili allo scopo.
 - Fornire una sede adeguata per la collocazione degli impianti per il condizionamento degli ambienti interni, particolarmente per le componenti che richiedono scambio termico con l'ambiente esterno mediante ventole o simili, e che producono di conseguenza un livello di rumore più facilmente accettabile alla quota di copertura che a livello del suolo.
- Mantenere le proprie caratteristiche e prestazioni, e quindi la propria sostanziale integrità, per un periodo di tempo equiparabile alla durata dell'edificio sottostante, fatte salve le normali e necessarie manutenzioni, ed a prescindere da eventi meteorologici di eccezionale intensità.

Ciò implica in definitiva attribuire al sistema copertura un livello di qualità costruttiva non inferiore a quello delle altre componenti dell'edificio.

La copertura svolge inoltre un ruolo importantissimo nella definizione dell'aspetto architettonico dell'edificio, influenzandone pesantemente, anche dal punto di vista strutturale, la funzionalità e l'inserimento nel tessuto urbano circostante.

1.2 Classificazione delle coperture

[UNI 8178:2019]

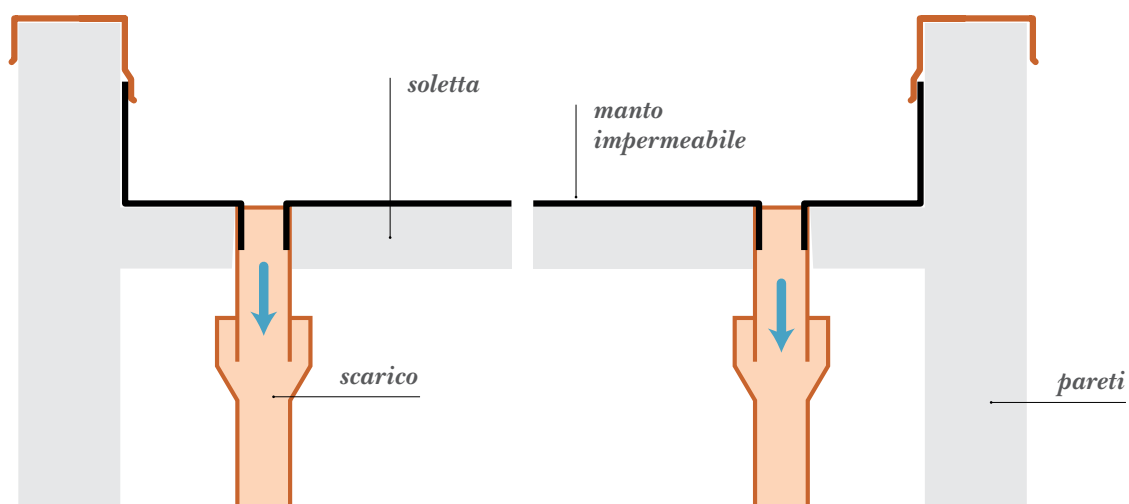
Le coperture possono essere suddivise in due grandi categorie: coperture continue e discontinue.

Alla prima categoria appartengono tutte le coperture nelle quali il manto finale, ovvero il più esterno rispetto all'edificio, delegato a costituire la vera e propria barriera impermeabile, è formato da uno strato senza soluzioni di continuità. Ciò significa che il manto stesso, se opportunamente realizzato, è in

grado di impedire la penetrazione verso l'interno delle precipitazioni e del vento indipendentemente dalla pendenza che il manto assume localmente.

In altri termini, la copertura continua funziona secondo il principio della vasca, che può riempirsi parzialmente d'acqua, lasciandola poi defluire attraverso opportuni scarichi praticati nel manto stesso.

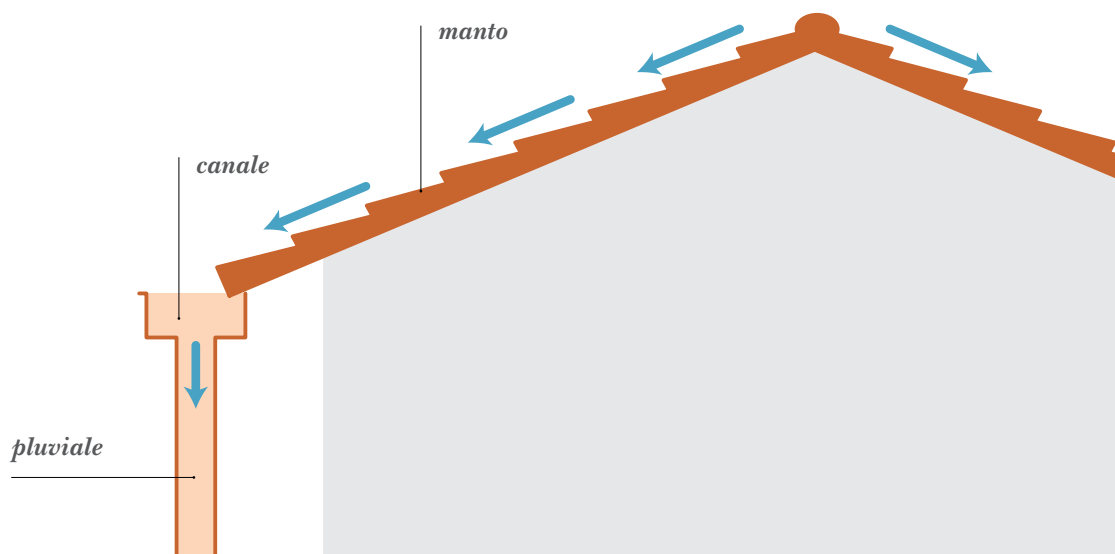
Coperture continue



L'utilizzo tipico di questa categoria di coperture avviene per gli edifici la cui struttura di copertura è dotata di pendenza molto modesta o nulla. Le coperture discontinue prevedono invece, per la loro realizzazione, l'utilizzo di diversi elementi che non sono saldati tra loro in modo che la giunzione

risultante sia impermeabile, ma sono invece collegati per lo più mediante sovrapposizione parziale. La tenuta alle precipitazioni si ottiene invece sfruttando la gravità, ossia incanalando e guidando il flusso delle precipitazioni in modo da convogliarle alla fine verso i sistemi di scarico al suolo.

Coperture discontinue



Questo principio implica che le coperture discontinue debbano essere dotate della pendenza sufficiente allo scorrimento delle precipitazioni nelle direzioni volute. La tenuta al vento e ad altri elementi, come le polveri, si ottiene per mezzo di opportune barriere, che non sono comunque impermeabili alle precipitazioni. Naturalmente, per ragioni tecnologiche, e specie nell'ambito di edifici a geometria com-

pressa, le due categorie possono coesistere, dando luogo a soluzioni miste. Le coperture metalliche, delle quali il presente manuale si occupa, appartengono alla categoria delle coperture discontinue, alle quali pertanto limiteremo la nostra analisi.

1.3 Terminologia e nomenclatura delle coperture discontinue

[UNI 8091:1980]

Le coperture discontinue debbono possedere una sufficiente pendenza rispetto all'orizzontale.

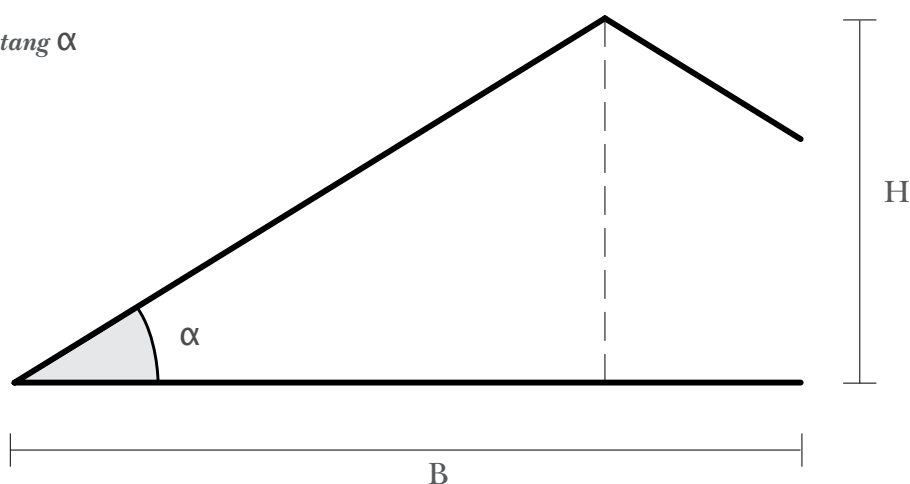
La pendenza di un piano inclinato viene definita come il massimo rapporto tra la differenza di livello H e la lunghezza della proiezione in pianta B del piano inclinato. Per gli appassionati di trigonometria, ciò equivale a dire che la pendenza è espressa dalla tangente dell'angolo formato dalla falda con l'orizzontale. (Vedi figura sotto).

Le coperture discontinue sono così organizzate secondo piani inclinati, denominati falde.

Le precipitazioni, cadendo su ogni falda, scorrono lungo la direzione di massima pendenza, fino agli elementi preposti alla raccolta ed allo smaltimento dell'acqua. Ogni falda può confinare con pareti verticali, con piani orizzontali, oppure con altre falde, ed è quindi caratterizzata da bordi superiori, inferiori e laterali, ognuno dei quali possiede una denominazione specifica.

Pendenza coperture

pendenza $H/B = \tan \alpha$



Una linea di intersezione pressoché orizzontale tra due falde dotate di pendenze in direzioni opposte e divergenti viene denominata linea di colmo orizzontale (1), ed è una linea di displuvio, il che significa che separa flussi d'acqua che scorrono in direzioni opposte.

La stessa definizione si applica ad una linea che separa una falda divergente da una parete verticale o pseudo-verticale.

Una linea di intersezione inclinata tra due falde dotate di pendenze in direzioni opposte e divergenti

viene denominata linea di colmo inclinata (2), ed è una linea di displuvio, il che significa che separa flussi d'acqua che scorrono in direzioni opposte; questa linea non è perpendicolare alle direzioni di massima pendenza delle due falde.

Il punto di intersezione fra due o più linee di colmo è denominato vertice (3).

Una linea di intersezione, generalmente orizzontale, tra due falde aventi pendenze di entità diverse, ma nello stesso senso, viene detta linea di raccordo tra variazioni di pendenza; la pendenza (4) può essere maggiore a valle oppure a monte di questa linea.

Una linea pressoché orizzontale che si trova sul bordo inferiore (a valle) di una falda si chiama linea di gronda (5), ed assolve la funzione di ricevere l'acqua proveniente dalla falda soprastante.

Queste linee definiscono il perimetro della parte di edificio coperta dalle falde a cui le linee appartengono.

Una linea di intersezione pressoché orizzontale tra due falde dotate di pendenze in direzioni opposte e convergenti viene denominata linea di conversa orizzontale (6), ed è una linea di compluvio, il che significa che accoglie flussi d'acqua provenienti da direzioni opposte.

La stessa denominazione si applica quando la linea divide una falda da una superficie verticale, ad esempio una parete, che si alza dal livello della conversa; infatti, quest'ultima accoglie, oltre alle precipitazioni dalla falda, anche quelle provenienti dalla parete, ogni volta che essa è battuta dal vento durante la precipitazione.

Una linea di intersezione inclinata tra due falde dotate di pendenze in direzioni opposte e convergenti viene denominata linea di conversa inclinata (7), ed è una linea di compluvio, il che significa che accoglie flussi d'acqua provenienti da direzioni opposte; questa linea non è perpendicolare alle direzioni di massima pendenza delle due falde.

Una linea che costituisce il bordo laterale di una falda viene detta linea di bordo (8).

Essa può essere parallela o inclinata rispetto alla direzione di massima pendenza; in quest'ultimo caso, a seconda che costituisca una linea di compluvio o displuvio rispetto alla falda, la linea di bordo può essere assimilata rispettivamente ad una linea di gronda inclinata, o ad una linea di colmo inclinato.

Una linea di intersezione fra il bordo superiore (a monte) di una falda ed una superficie verticale più alta, ad esempio una parete, viene detta linea di raccordo con superficie verticale (9).

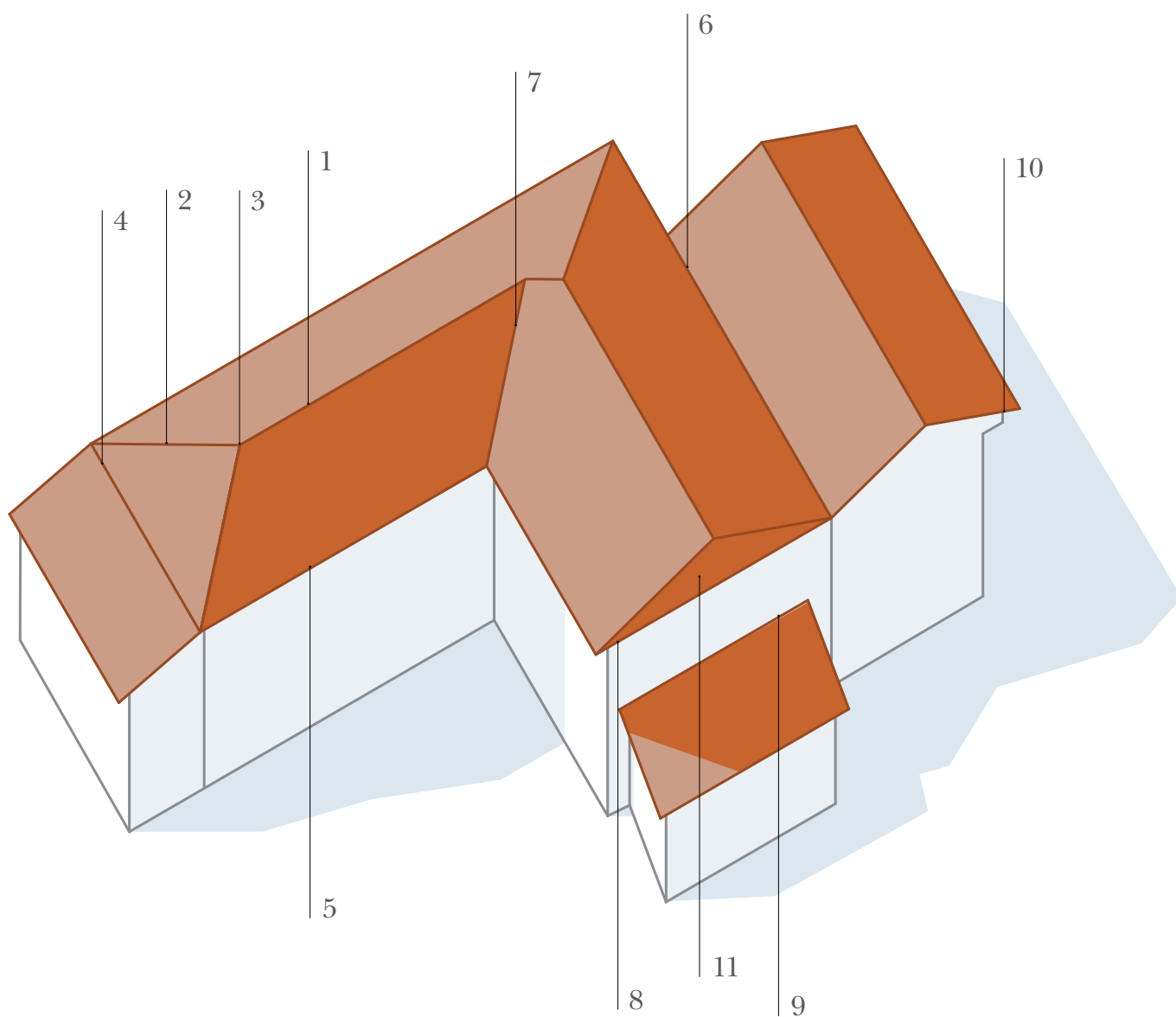
Normalmente, questo fa sì che la falda riceva, oltre alla precipitazione diretta, anche quella proveniente dalla parete, ogni volta che essa è battuta dal vento durante la precipitazione.

La parte della falda eventualmente sporgente oltre il piano della parete sottostante, assieme alla relativa gronda, viene detto sporto di gronda (10).

Generalmente lo sporto di gronda assolve, oltre ad eventuali funzioni architettoniche, lo scopo di proteggere dall'effetto diretto delle precipitazioni la zona di parete immediatamente sottostante, e le eventuali relative finestre.

Una porzione di parete verticale che unisce i bordi laterali di due falde viene detta timpano (11).

Tipi di coperture discontinue



-
- | | | | |
|---|--|----|--|
| 1 | Linea di colmo orizzontale | 7 | Linea di convesca inclinata (compluvio) |
| 2 | Linea di colmo inclinato (displuvio) | 8 | Linea di bordo |
| 3 | Vertice | 9 | Linea di raccordo con superficie verticale |
| 4 | Linea di raccordo tra variazioni di pendenza | 10 | Sporto di gronda |
| 5 | Linea di gronda | 11 | Timpano |
| 6 | Linea di convesca orizzontale | | |

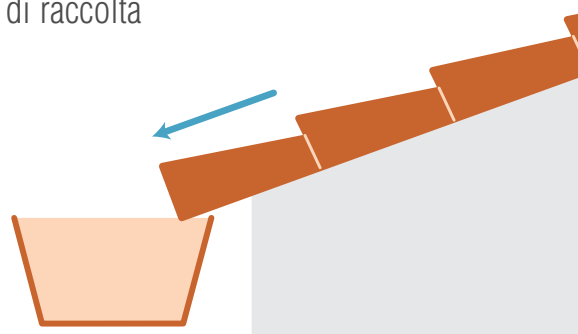
1.4 Terminologia e nomenclatura degli elementi complementari alla copertura [UNI 8090:2019]

Esiste una serie di elementi complementari ad una copertura, che si possono suddividere in sette grandi categorie, in funzione della loro funzione e dislocazione:

1.4.1 Elementi ai margini delle falde con funzione di raccolta

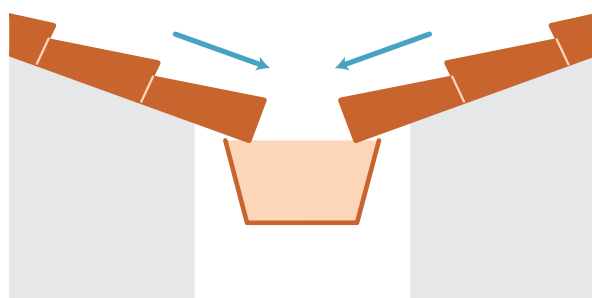
CANALE DI GRONDA

È un elemento a forma di vasca, sviluppato lungo una linea di gronda, che accoglie l'acqua dalla falda sovrastante e la trasferisce agli elementi verticali di scarico.



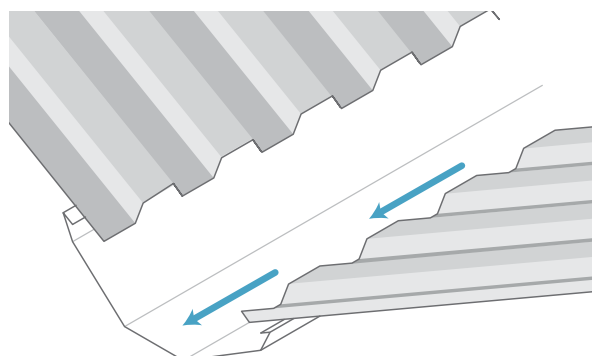
CANALE DI CONVERSA

È un elemento a forma di vasca, sviluppato lungo una linea di conversa orizzontale, che accoglie l'acqua dalle falde convergenti e la trasferisce agli elementi verticali di scarico.



CANALE DI COMPLUVIO

È un elemento a forma di vasca, sviluppato lungo una linea di conversa inclinata, che accoglie l'acqua dalle falde convergenti e la trasferisce ai canali di gronda o di conversa.

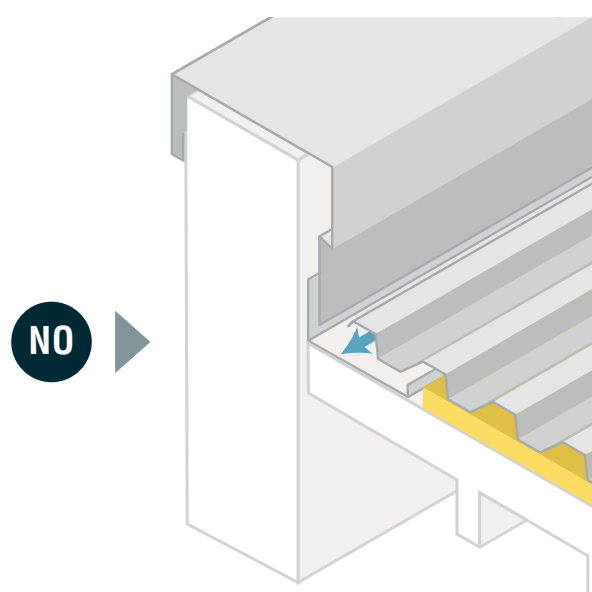
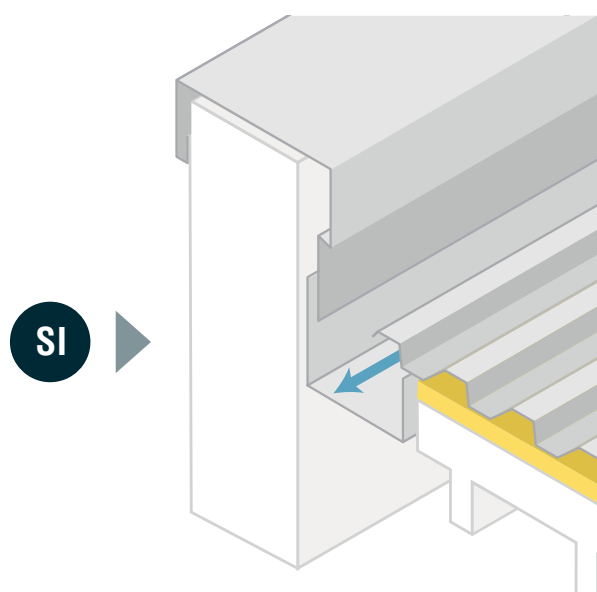


1.4.2 Elementi ai margini delle falde con funzione di contenimento e tenuta

CANALE DI BORDO

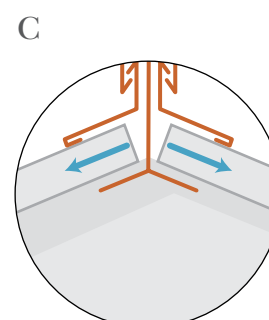
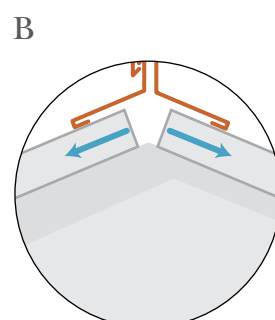
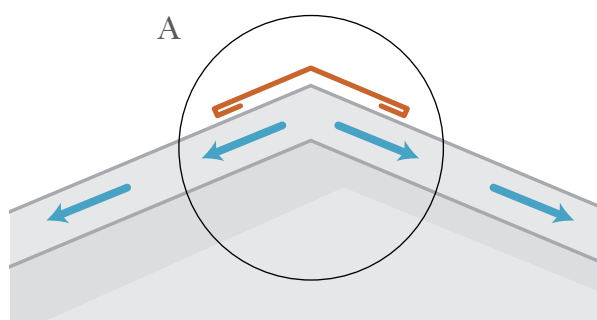
È un elemento a forma di vasca, sviluppato lungo una linea di bordo, che accoglie l'acqua dalla falda a fianco e la trasferisce ai canali di gronda o di con-

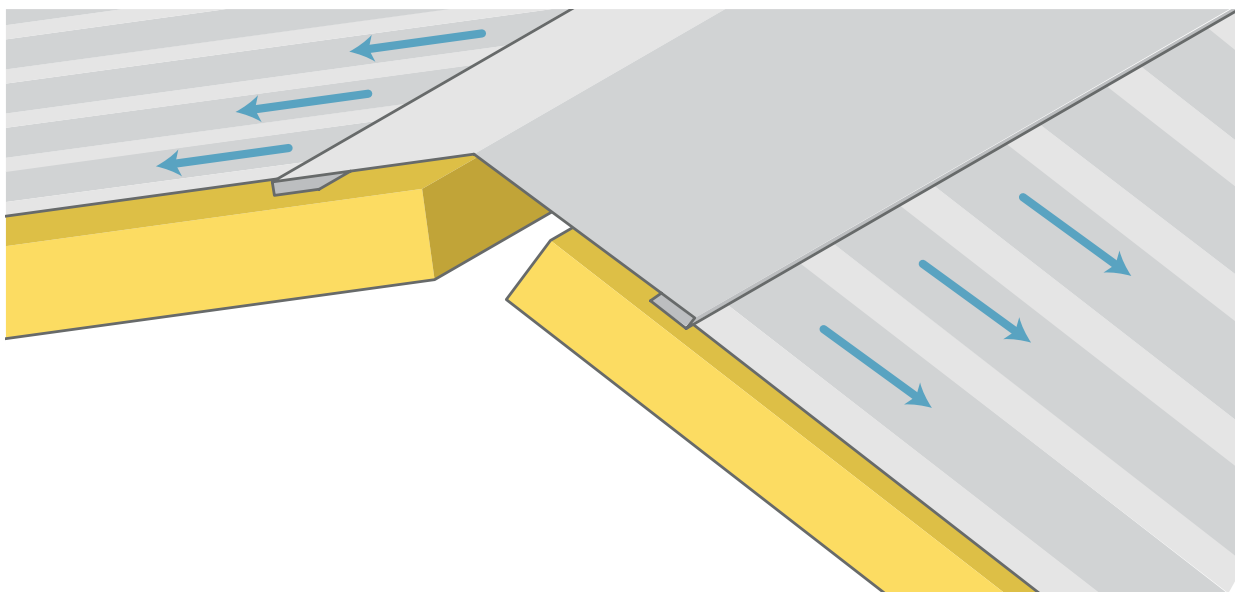
versa e quindi deve avere un'adeguata capienza e profondità (evitare di ricavarlo nello spessore della grecata!).



COLMO

È un elemento sagomato, formato da una o più parti, con funzione di completamento del manto su di una linea di colmo orizzontale, e con un'eventuale ulteriore funzione di uscita dell'aria di ventilazione proveniente da sotto il manto. (A, B, C).





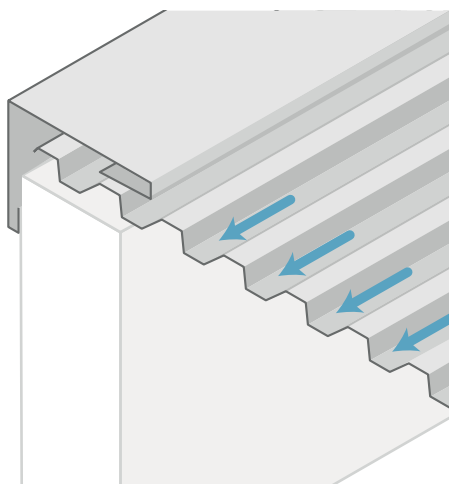
DISPLUVIO

È un elemento sagomato, formato da una o più parti, con funzione di completamento e tenuta del manto su di una linea di colmo inclinata.

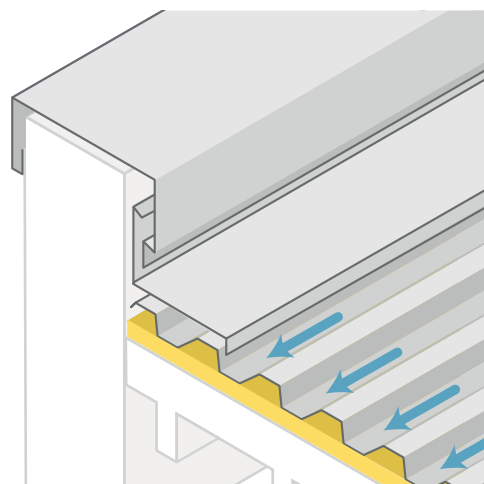
FALDALE (O RISALTO DI BORDO)

È un elemento sagomato, sviluppato lungo una linea di bordo, che ha la funzione di impedire il travaso o il gocciolamento dell'acqua oltre il bordo stesso.

faldale di bordo

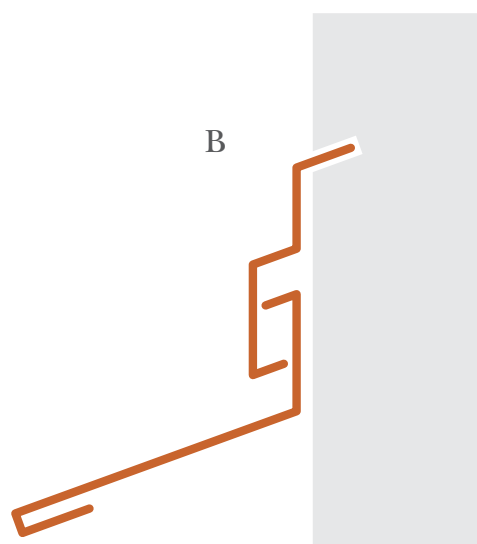
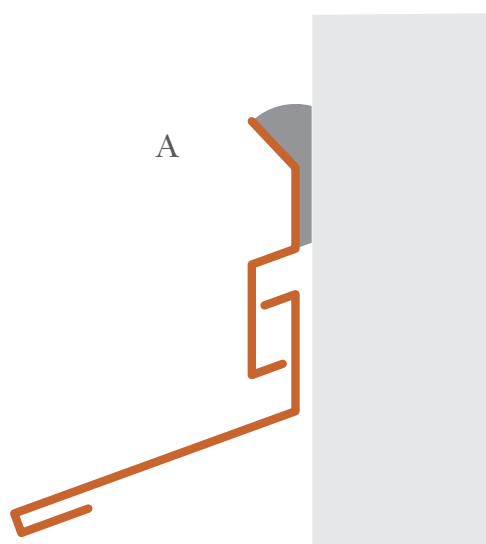
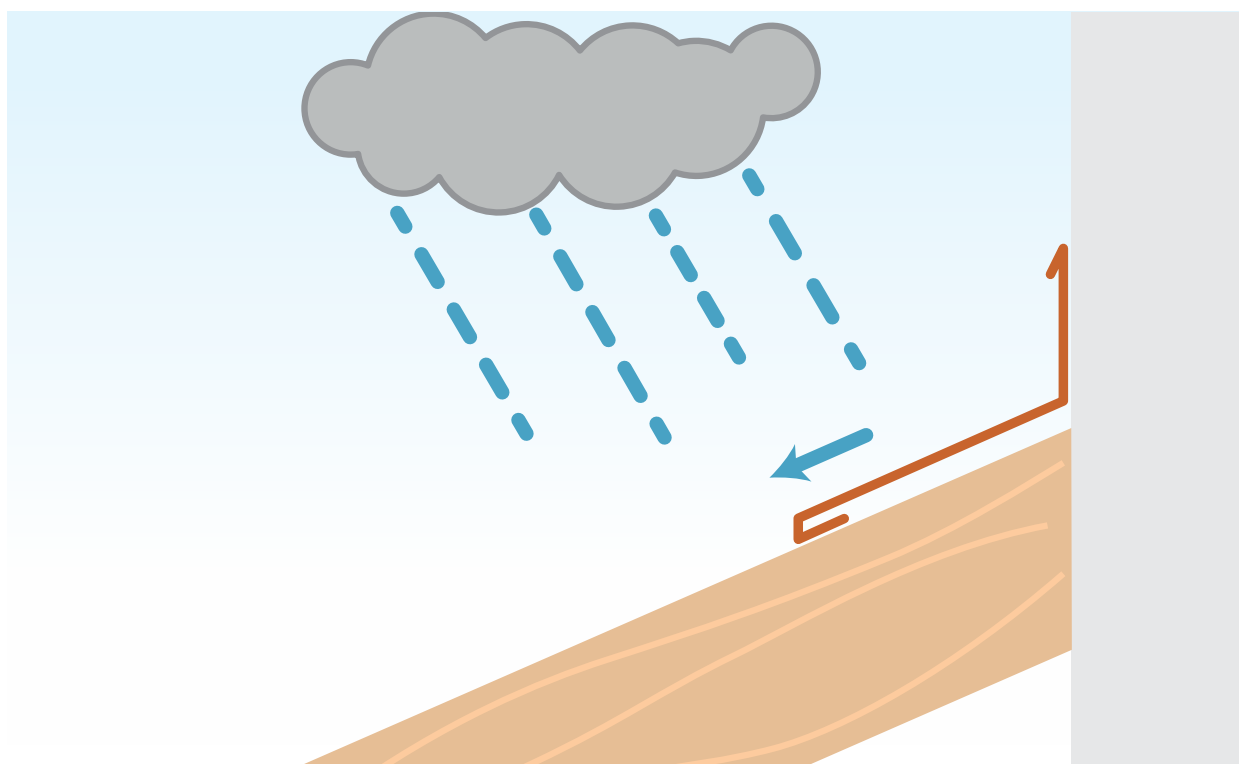


faldale



**RACCORDO VERTICALE
(O SCOSSALINA CONTROMURO)**

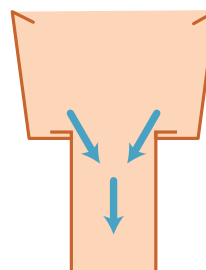
È un elemento sagomato con funzione di completamento e tenuta del manto all'intersezione con una parete verticale emergente dal manto.



1.4.3 Elementi ai margini delle falde con funzione di smaltimento

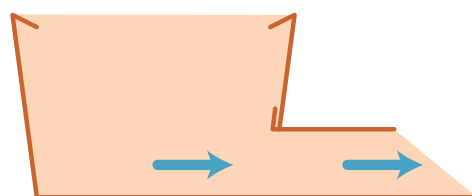
PLUVIALE

È un elemento sagomato chiuso a tubo di varia sezione (quadro, circolare..), ad andamento pressoché verticale, che collega elementi di raccolta come canali di gronda e di conversa al sistema di smaltimento fognario dell'acqua a livello del suolo o comunque a livelli inferiori.



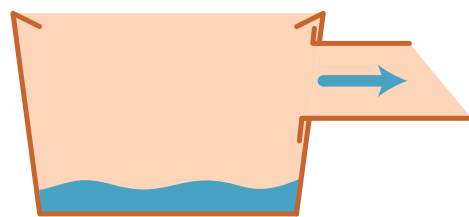
DOCCIONE

È un elemento sagomato, a volte anche con funzione decorativa, che riceve l'acqua dai canali di gronda e di conversa e la scarica liberamente all'esterno del perimetro di copertura verso il suolo; a volte, per impedire spruzzi, è dotato di una catena o altro elemento equivalente che convoglia l'acqua fino al livello inferiore.



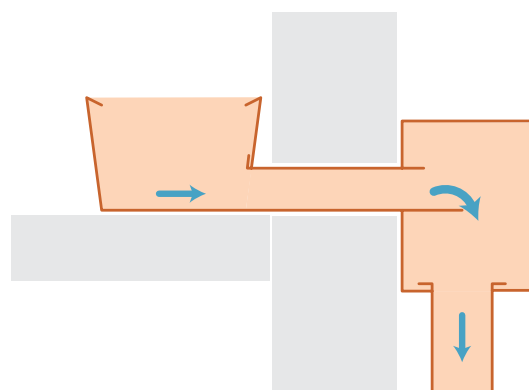
SCARICO TROPPO PIENO

È un elemento a bocca libera posizionato ad un determinato livello del fianco o della testata di un canale di gronda o conversa; ha lo scopo di impedire il riempimento e la tracimazione del canale, a seguito di eventi meteorici eccezionali o di ostruzioni impreviste nel normale sistema di smaltimento; assolve questo scopo versando l'acqua in eccesso direttamente fuori del perimetro dell'edificio.



CASSETTA

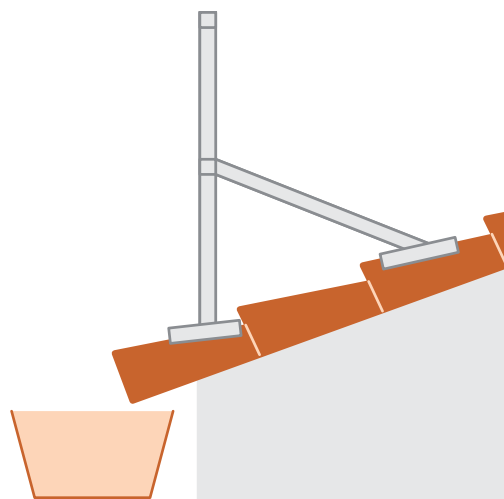
È un elemento a forma generalmente prismatica, ma caratterizzato da numerosissime varianti ispirate da esigenze architettoniche; assolve la funzione di accogliere l'acqua dai canali di gronda e di conversa, trasferendola ai tubi pluviali con gradualità. Deve avere infatti un volume interno sufficiente ad assorbire, agendo da polmone, gli eccessi d'acqua improvvisi, dovuti ad esempio a precipitazioni intense e di breve durata, evitando di sottoporre il sistema fognario ad un carico eccessivo.



1.4.4 Elementi ai margini delle falde con funzione di coronamento

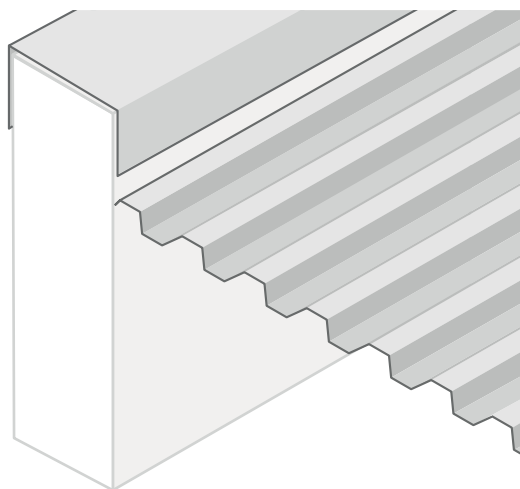
PARAPETTO

È un elemento continuo, di dimensioni minime fissate dalle normative di sicurezza, che delimita una zona accessibile della copertura e ha la funzione di impedire la caduta di persone od oggetti dalla zona delimitata. È costituito generalmente da montanti e correnti o pannelli fissati opportunamente alla falda e raccordati alla stessa per ripristinare la tenuta idraulica dell'insieme.



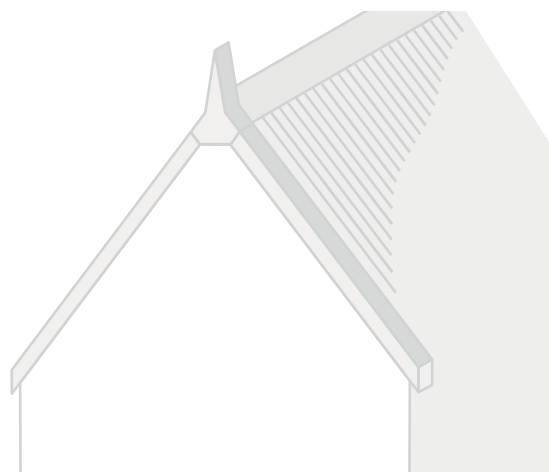
CORONAMENTO

È un elemento lineare a quota più elevata della copertura che cinge, avente la funzione di proteggere dagli elementi atmosferici la muratura sulla quale è generalmente posto; inoltre, se dotato di altezza sufficiente, può avere funzione di parapetto, e in subordine, di completamento architettonico, in quanto ben visibile dall'esterno dell'edificio.



PINNACOLO (O ACROTERIO)

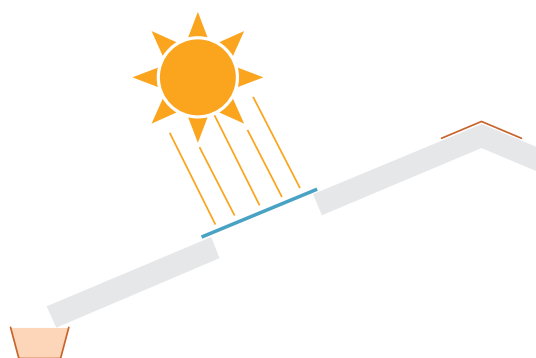
È un elemento a sviluppo verticale con funzione puramente decorativa, piuttosto insolito nell'ambito delle coperture moderne.



1.4.5 Elementi inseriti nelle falde con funzione di illuminazione, aerazione ed accesso

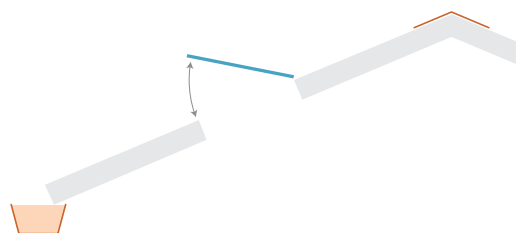
LUCERNARIO RADENTE

Consiste in una porzione di una falda, formata da elementi di sagoma simile o accoppiabile con gli elementi costituenti la falda stessa, ma costruiti con materiale in grado di essere attraversato dalla luce naturale, e perciò trasparente o parzialmente trasparente (traslucido). Questi lucernari possono essere distribuiti, su una o più file, sia nel senso della larghezza della falda, ortogonalmente alla pendenza, sia in direzione della falda stessa, parzialmente o interamente da colmo a gronda. In ogni caso non sono sporgenti dal piano della falda, ma rimangono a filo della stessa. La loro funzione principale è l'illuminazione dell'ambiente interno, ma possono essere dotati di tratti apribili, di norma realizzati con appositi telai, per consentire la ventilazione degli interni o l'uscita di gas.



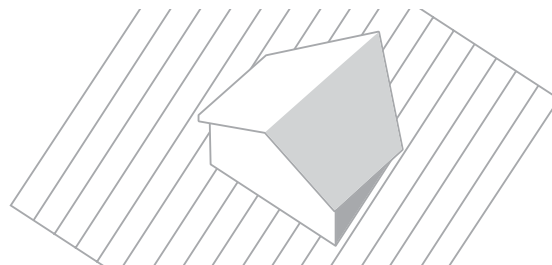
LUCERNARIO EMERGENTE

È costituito da un corpo che si eleva oltre il piano di falda, perpendicolarmente alla stessa o all'orizzontale, e la cui parte superiore è trasparente o traslucida. Quest'ultima, di forma piana, curva o prismatica, può essere dotata di dispositivo di apertura per la ventilazione dell'ambiente interno e/o l'uscita di gas.



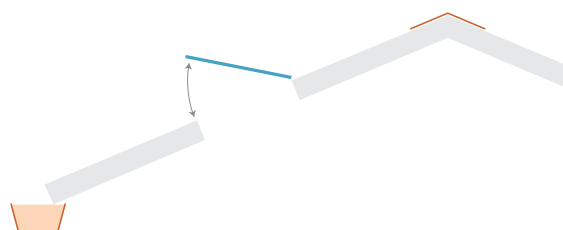
ABBAINO

È un corpo emergente dalla falda caratterizzato dal fatto di essere dotato di una o più falde proprie, raccordate con quella principale. La superficie trasparente ed eventualmente apribile è inoltre verticale, in modo da costituire finestre o porte-finestre dotate di parapetti.



BOTOLA (O PASSO D'UOMO)

È un elemento dotato di telaio e coperchio incernierato, opaco o trasparente, di dimensioni sufficienti a permettere l'accesso alla copertura a scopo di ispezione o manutenzione.



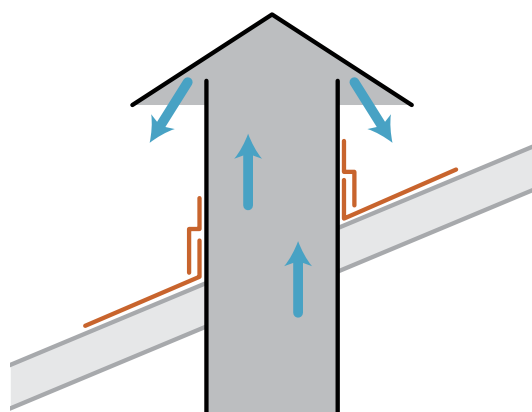
1.4.6 Elementi inseriti nelle falde con funzione di espulsione di fluidi

CAMINO

È un elemento emergente dalla falda, di forma prismatica o cilindrica, che costituisce la parte terminale di una canna fumaria proveniente da impianti tecnologici (generalmente adibiti al riscaldamento dell'edificio o appartenenti agli impianti di lavorazione nel caso di edifici industriali). Nella parte superiore è dotato di un Cappello o Terminale, di varia foggia, atto ad impedire l'ingresso di acqua all'interno della canna fumaria e a favorire la dispersione del fluido emesso.

Il camino svolge la funzione primaria di espellere i fluidi (fumi, gas o vapori) provenienti dall'impianto, portandoli inoltre ad una quota superiore a quella del piano di falda, e facilitandone quindi la dispersione nell'atmosfera. Nel caso frequente in cui questi fluidi sono dotati di elevata temperatura, serve anche a proteggere gli elementi che costituiscono la falda dal contatto diretto coi fluidi; in questi casi,

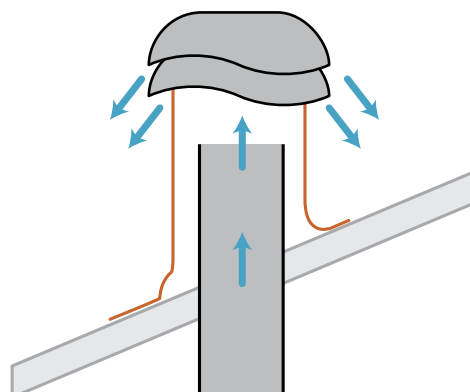
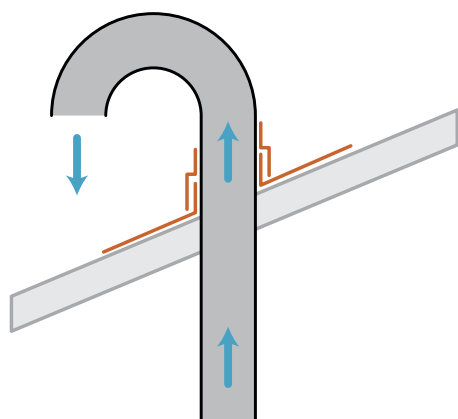
il camino forma una camicia di rivestimento della canna fumaria vera e propria. Il camino è inoltre quasi sempre corredato da elementi di raccordo con la falda che hanno lo scopo di ripristinare la tenuta all'acqua dell'insieme intorno al foro.



SFIATO

È un elemento emergente dalla falda di forma analoga a quella del camino, ma avente la funzione di permettere lo sfogo naturale di gas a temperature non elevate verso l'esterno.

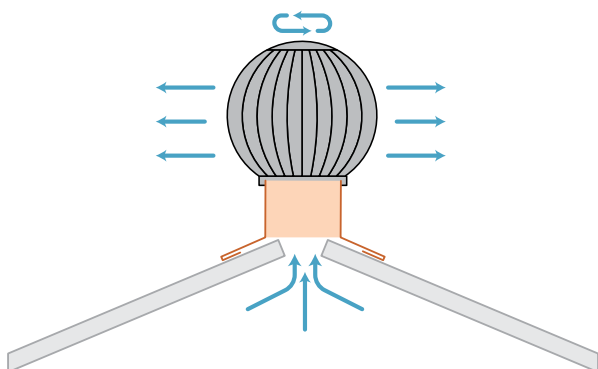
Generalmente è utilizzato per collegare con l'esterno i sistemi di sfiato dei servizi igienici.



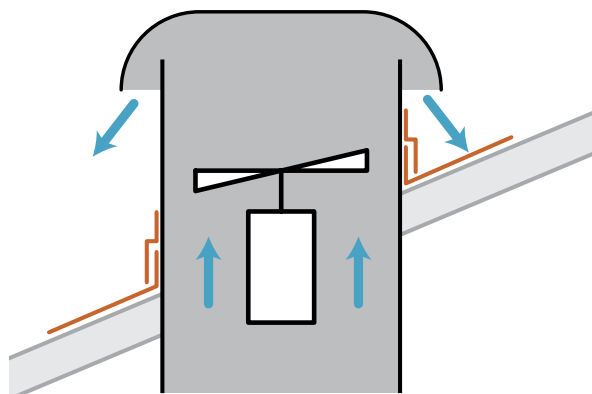
AERATORE

È un elemento emergente dalla falda, oppure posto in corrispondenza della linea di colmo, che ha la funzione di forzare l'ingresso o l'uscita di aria tra l'edificio e l'ambiente esterno, a scopo di aerazione dell'ambiente interno o di espulsione di fluidi indesiderati.

aeratore eolico



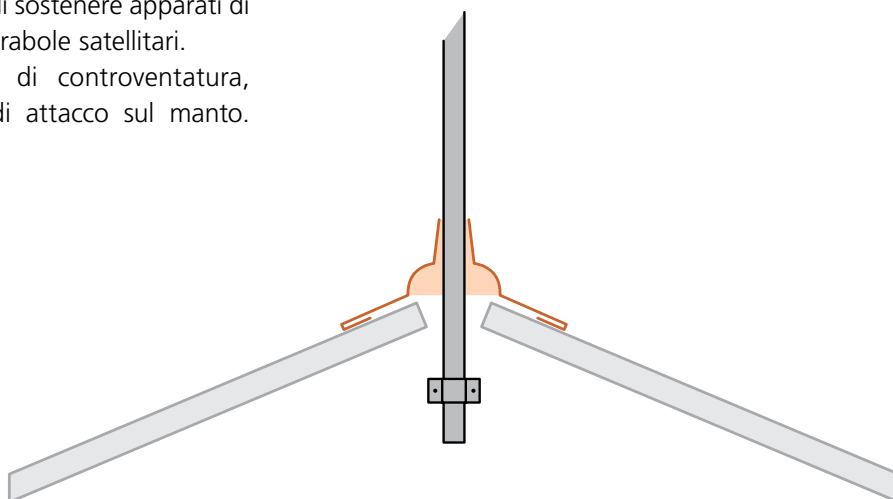
aeratore motorizzato



Per svolgere questa funzione è generalmente dotato di ventole giranti o ventilatori azionati da motori elettrici, ma in taluni casi la forza aspirante è fornita da opportuni dispositivi eolici, che sfruttano quindi l'energia del vento.

ANTENNA

È un elemento emergente dalla falda, preferibilmente in corrispondenza del colmo o di un parapetto perimetrale, solitamente costituito da un tubo metallico, avente la funzione di sostenere apparati di ricezione radio, televisivi, o parabole satellitari. Spesso è dotato di tiranti di controventatura, applicati ad appositi punti di attacco sul manto.



EVACUATORE DI FUMO E DI CALORE (EFC)

È un elemento di forma e dimensioni paragonabili a quelle di un lucernario, e molto spesso vi è infatti direttamente integrato, combinando le funzioni di illuminazione ed aerazione naturale con quelle specifiche di evacuatore di fumo. Ha lo scopo di consentire e favorire l'uscita di fumo dall'interno dell'edificio in caso di principio di incendio nella zona sottostante.

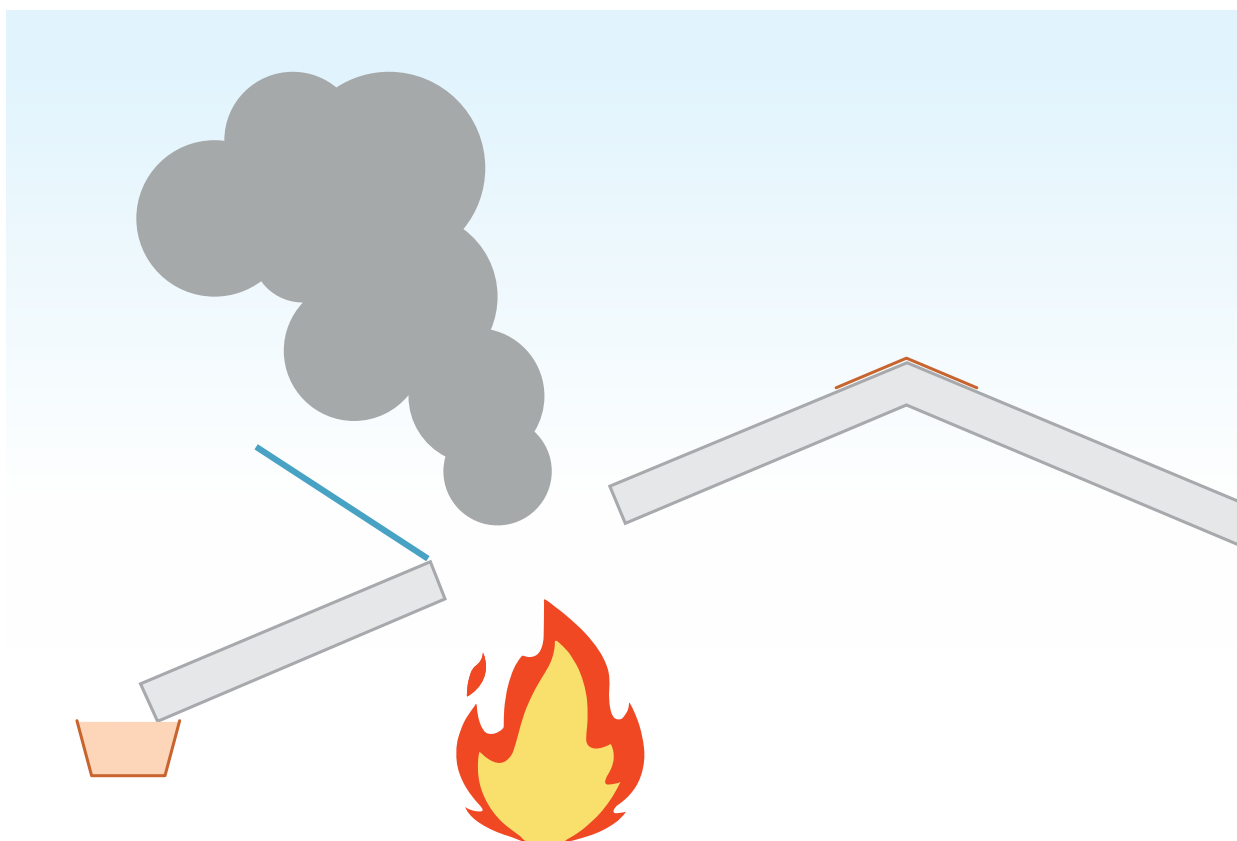
Il fumo infatti è il maggiore responsabile della perdita di vite umane durante gli incendi, sia perché la maggior parte delle vittime viene colta da soffocamento anche a notevole distanza dal luogo preciso nel quale si sviluppano le fiamme, sia perché la presenza di fumo, riducendo o azzerando la visibilità, rende innanzitutto difficoltosa o impossibile l'evacuazione dell'edificio ed il raggiungimento delle zone sicure da parte degli occupanti, e poi altrettanto difficoltosa l'opera dei soccorritori.

Per tutte queste ragioni si cerca di convogliare all'esterno oltre la copertura la maggior quantità possibile del fumo e del calore sviluppati dall'incendio.

Gli EFC sono quindi realizzati in modo da avere complessivamente una superficie di sbocco sufficiente allo scopo, e di essere uniformemente distribuiti rispetto alla pianta dell'edificio, con particolare attenzione alle zone nelle quali si ipotizza la presenza del maggiore carico d'incendio, ossia, sintetizzando la maggiore quantità dei materiali più infiammabili e combustibili, ed anche in relazione alla maggiore presenza di personale, ed alla ubicazione delle uscite di sicurezza (UNI 9494:2017 UNI EN 12101/2006).

L'azionamento degli EFC, singolarmente o a gruppi in base ai criteri citati, viene reso possibile da sensori automatici di temperatura integrati in ogni singolo evacuatore, costituiti ad esempio da fialette in vetro contenenti un liquido ad alto coefficiente di dilatazione termica.

Quando la temperatura supera la soglia per cui la fialetta è tarata, il liquido interno la spezza espandendosi, e determina, tramite sistemi meccanici o elettrici, l'azionamento dell'apertura.



L'apertura può essere poi, facoltativamente, determinata da sensori separati di fumo e/o di calore posti all'interno dell'edificio in posizioni tali da provocare l'apertura di un intero gruppo di EFC.

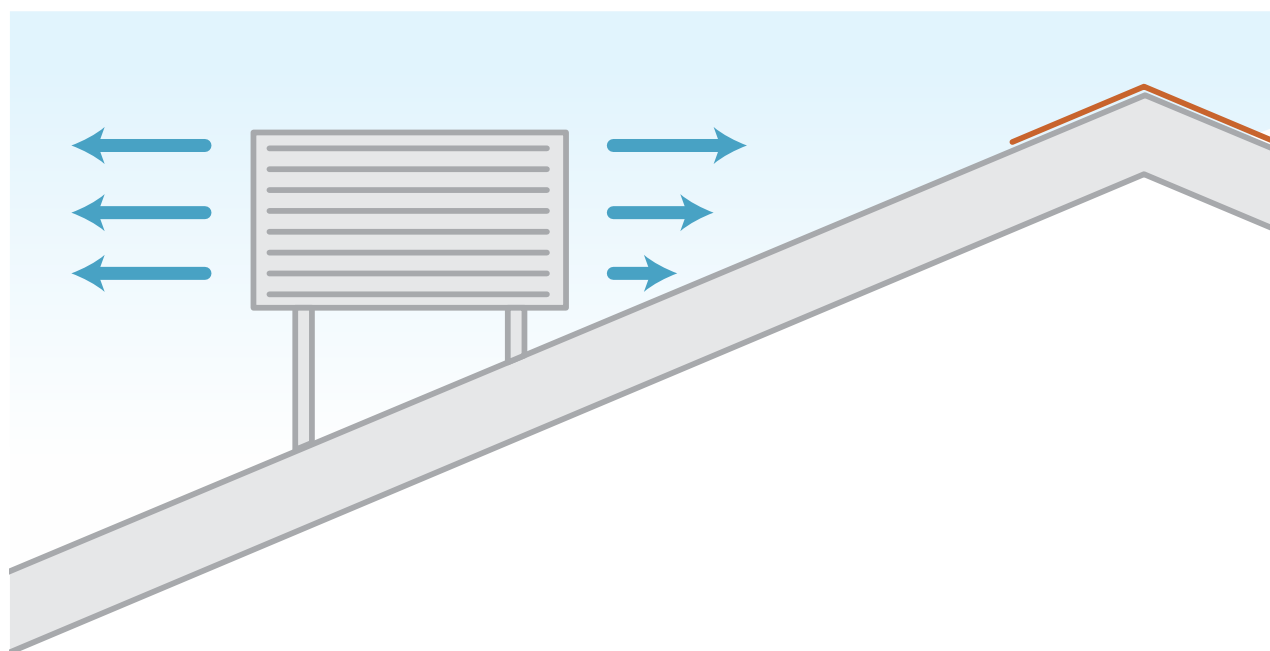
Infine, l'apertura può essere operata manualmente, per gruppi o complessivamente, da un occupante dell'edificio che, individuando il principio d'incendio prima che la temperatura ed il fumo crescano al punto da far reagire i sensori, aziona valvole pneumatiche o interruttori elettrici di circuiti allo scopo predisposti.

1.4.7 Elementi inseriti nelle falde con funzione di scambio termico o produzione di energia

IMPIANTO DI TRATTAMENTO TERMICO

È un elemento collocato sulla falda per mezzo di opportuni sistemi di fissaggio e raccordato alla stessa per ripristinare la tenuta idraulica dell'insieme. Costituisce la componente esterna, quella che deve esercitare uno scambio termico con l'atmosfera, di

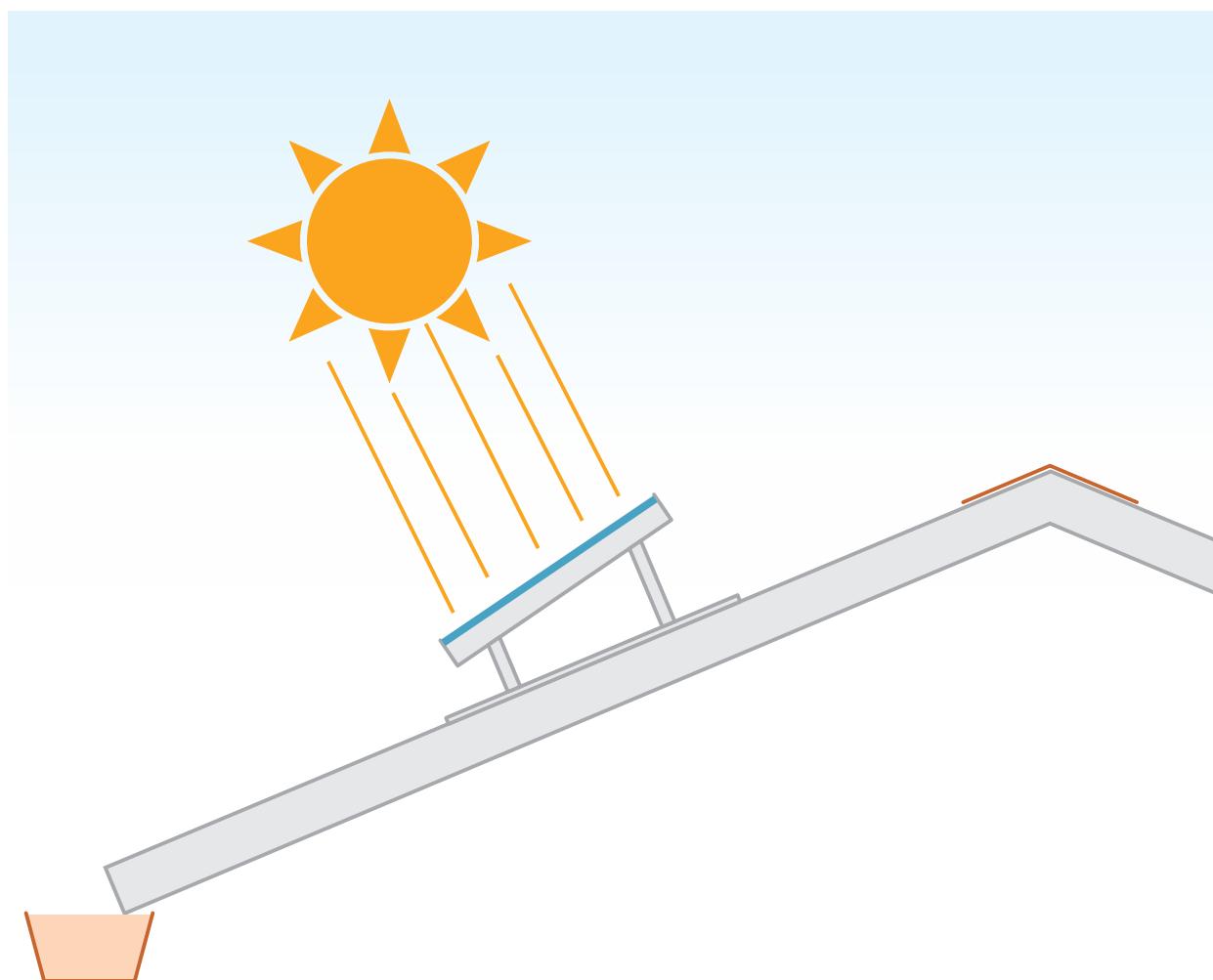
un impianto destinato al condizionamento climatico dell'ambiente interno, o alla refrigerazione nei cicli produttivi che la richiedono.



IMPIANTO DI PRODUZIONE DI ENERGIA

È un insieme di elementi destinati a convertire, per mezzo di celle fotovoltaiche o scambiatori termici, l'energia proveniente dall'irraggiamento solare in energia elettrica o termica utilizzabile per l'edificio.

È costituita generalmente da pannelli o fasci di tubazioni fissati opportunamente alla falda e raccordati alla stessa per ripristinare la tenuta idraulica dell'insieme.



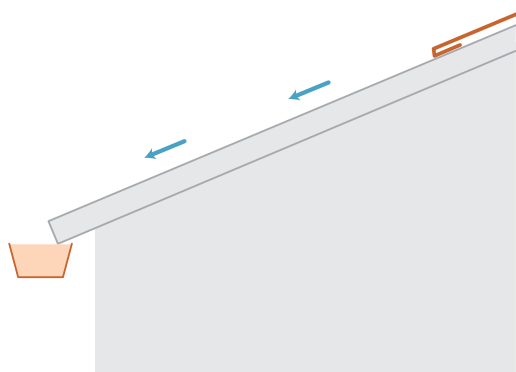
1.5 Morfologia delle coperture discontinue

[UNI 8089:2012 - UNI 8090:2019 - UNI 8627:2019 - UNI 9029:2011]

Il numero, la forma, la disposizione e l'orientamento reciproco delle falde, delle pareti e delle superficie trasparenti, nonché la struttura dell'edificio sottostante, determinano la suddivisione delle coperture discontinue in varie specie morfologiche:

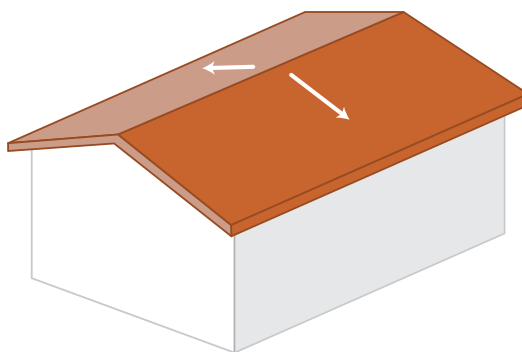
MONOFALDA

Come suggerisce il nome, si tratta semplicemente di una copertura dotata di un'unica falda piana a pendenza costante.



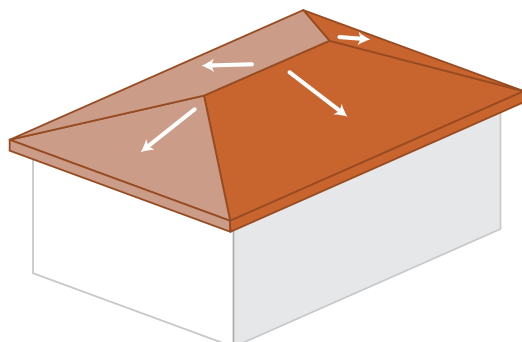
DUE FALDE

Copertura dotata di due falde piane a pendenze contrapposte, di valore non necessariamente uguali, divise da una linea di colmo, poste su di un edificio a pianta quadrangolare.



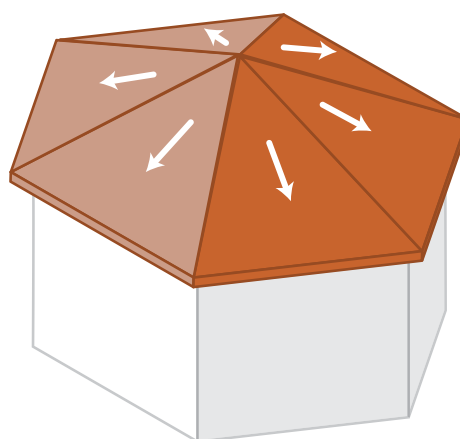
DUE FALDE CON TESTE A PADIGLIONE

copertura dotata di quattro falde piane a pendenze a due a due contrapposte, delle quali la prima coppia ha larghezza superiore alla seconda, poste su di un edificio a pianta quadrangolare.



A PADIGLIONE

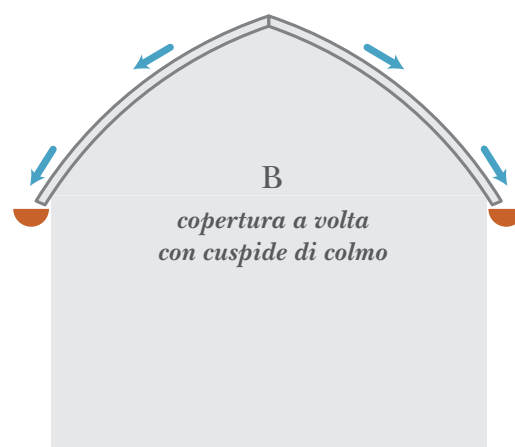
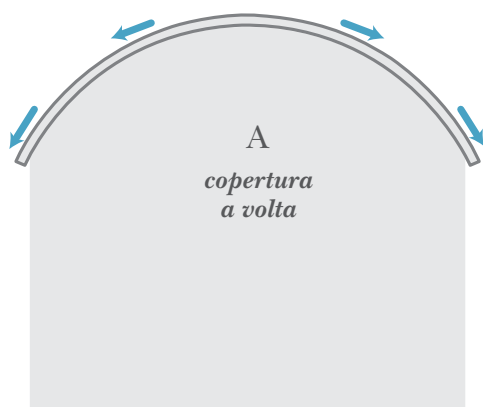
Copertura posta su un edificio poligonale a lati di uguale lunghezza, e formata da un numero di falde piane di forma triangolare pari al numero dei lati della pianta, che si congiungono in un unico vertice.



A VOLTA

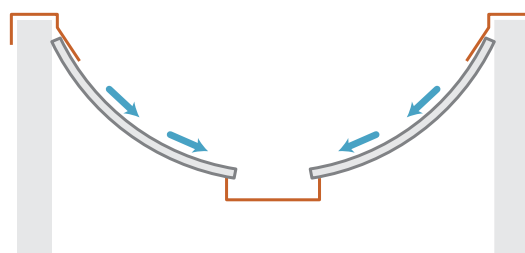
Copertura dotata di falda a sviluppo cilindrico; in questo caso la linea di colmo è solamente ideale, e localmente la pendenza è uguale a zero. (fig. A)
Per evitare questo, che può costituire un inconveniente, è possibile mantenere una pendenza minima rendendo rettilineo l'andamento della falda in prossimità del colmo; si ottiene così una volta con cuspide di colmo. (fig. B)

In funzione della pendenza media che si desidera ottenere, e dei limiti in altezza imposti all'edificio, la volta che si ottiene può essere ribassata o a tutto sesto.



A VOLTA INVERSA

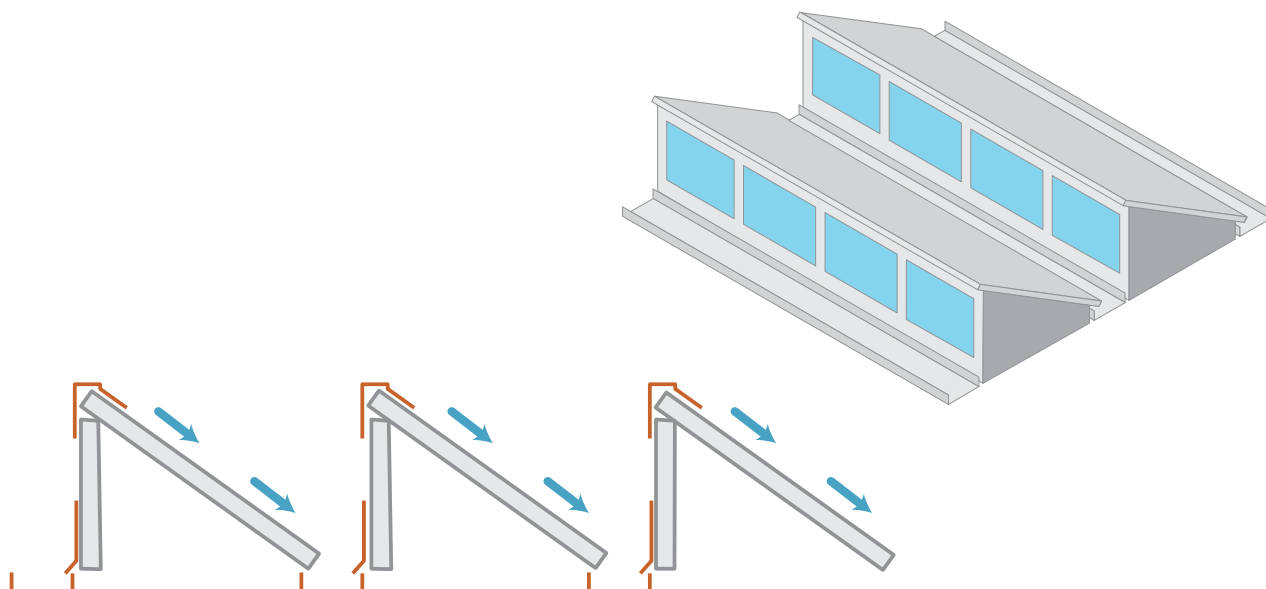
Variante della volta con andamento concavo anziché convesso; in questo caso la linea a pendenza zero corrisponde ad una linea di conca, nel punto più basso del manto.



A SHED:

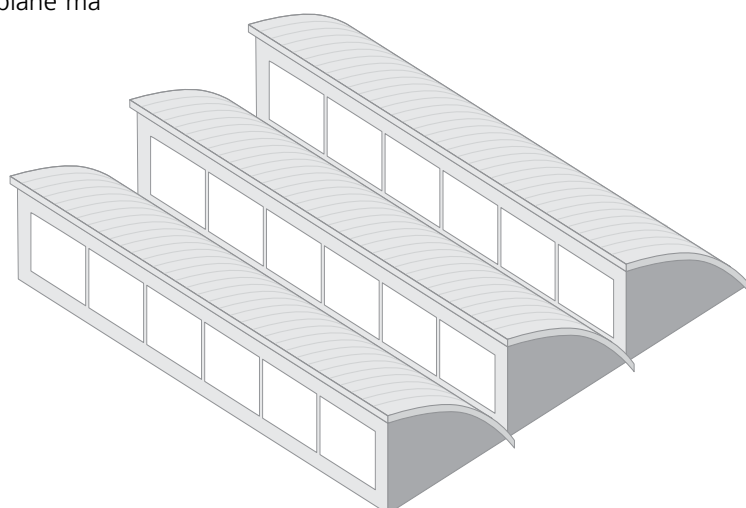
Copertura realizzata a moduli accostati in serie, ognuno dei quali è costituito da una falda, generalmente dotata di consistente pendenza, e di una superficie trasparente adiacente a sviluppo pressoché verticale, separati da una linea di colmo alternata ad un canale di convesca. Tutti i canali di convesca tra gli shed comunicano poi con canali di gronda laterali, o direttamente con tubi pluviali. Questa configurazione permette di ottenere su edifici di grandi dimensioni un'illuminazione distribuita in modo

uniforme e proveniente da una sola direzione, ed è pertanto adatta ad evitare un irraggiamento solare diretto. Questo consente a parità di illuminazione, di contenere l'aumento di temperatura all'interno dell'edificio.



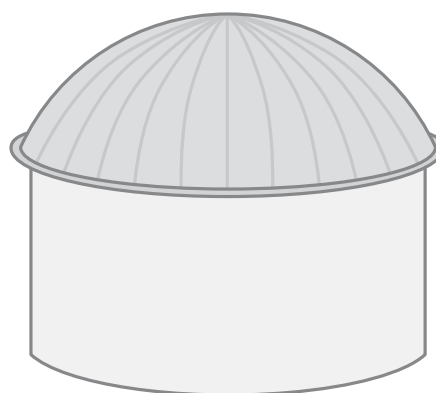
Esistono diverse varianti sul tema dello shed; in alcune di esse, ad esempio, le falde non sono piane ma a superficie cilindrica o conica.

*copertura
a shed curvo*



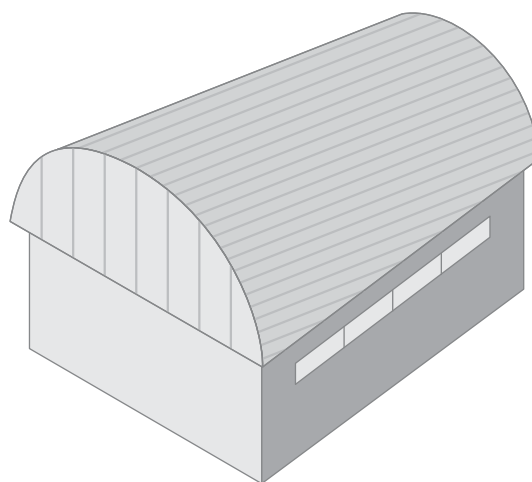
A CUPOLA

Copertura con superficie emisferica su edificio a pianta circolare; si realizza normalmente con spicchi di falda di opportuna larghezza a livello inferiore, ad andamento curvo, e terminanti in un vertice centrale.



CONOIDI

Copertura con superficie conica, generalmente dotata di lucernario in corrispondenza della testata a sviluppo maggiore; si realizza normalmente con spicchi di falda a forma trapezoidale, che hanno la caratteristica di non seguire, con le loro giunzioni, le linee di massima pendenza.



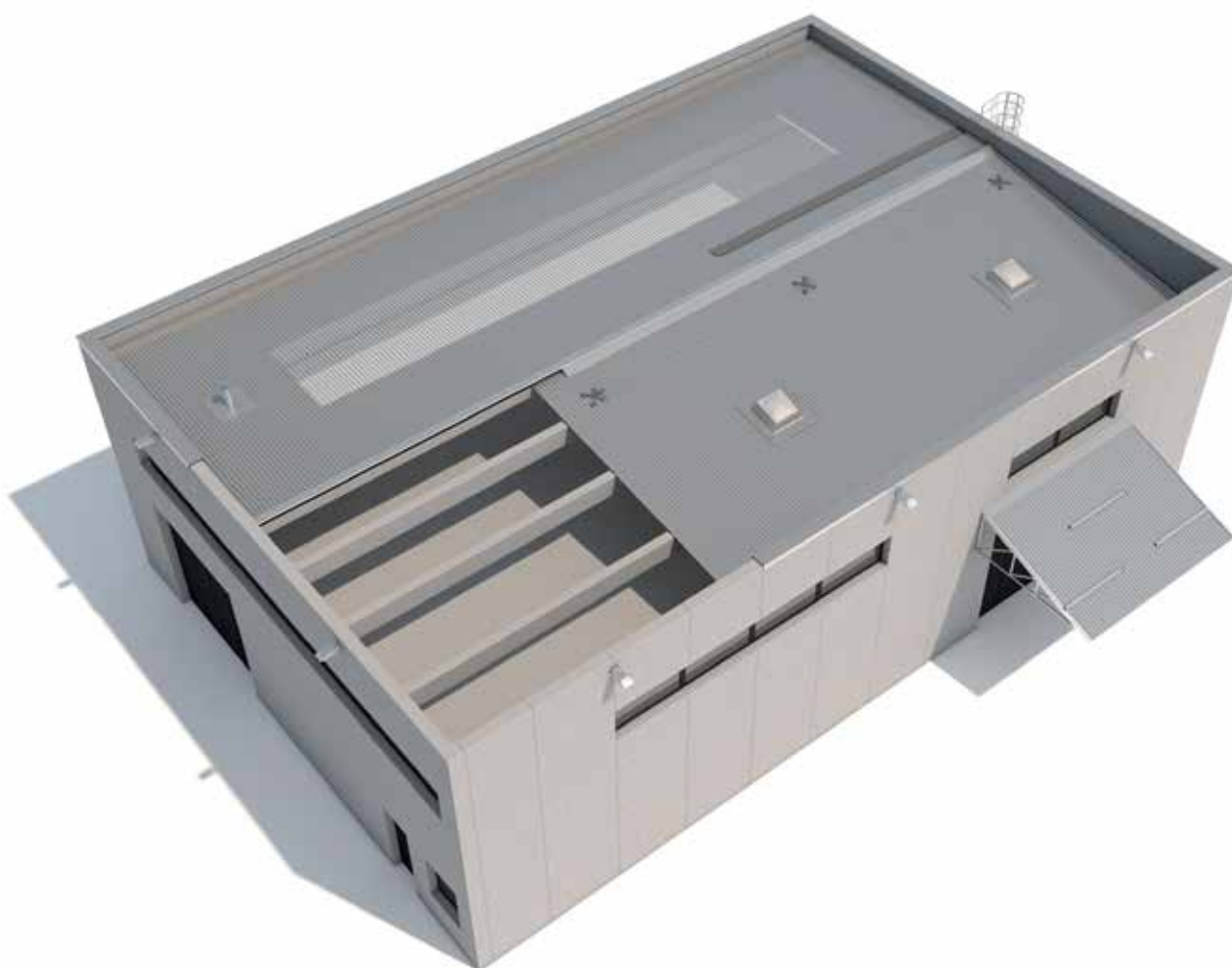
1.6 Elementi componenti le coperture metalliche

Ogni copertura metallica può essere considerata come un sistema formato da elementi di vario tipo e morfologia, ciascuno dei quali svolge una o più funzioni specifiche, concorrendo all'esito finale che dal sistema si intende ottenere.

Quest'esito, specie nell'ambito delle coperture moderne, non si esaurisce nella funzione di semplice riparo dalle intemperie, ma coinvolge ogni aspetto concorrente al mantenimento del benessere per gli occupanti dell'edificio, alla buona conservazione del medesimo nel tempo, e, non ultimo, all'ottenimento della valenza architettonica richiesta.

Per questo motivo, descrivendo ogni elemento concorrente a formare il sistema, è bene collegarne le caratteristiche specifiche alle funzioni che è chiamato a svolgere, arrivando quindi a delineare attraverso i suoi componenti le prestazioni che al sistema copertura si richiedono.

Il criterio seguito allo scopo consisterà semplicemente nell'esaminare i componenti a partire dal più esterno, riassumendone le funzioni e le caratteristiche, e collegandole alle prestazioni ottenibili.



Capitolo 2

*Requisiti e prestazioni richieste
alle coperture metalliche
[UNI 10372:2023]*

2.1 Caratteristiche meccaniche e strutturali: il manto

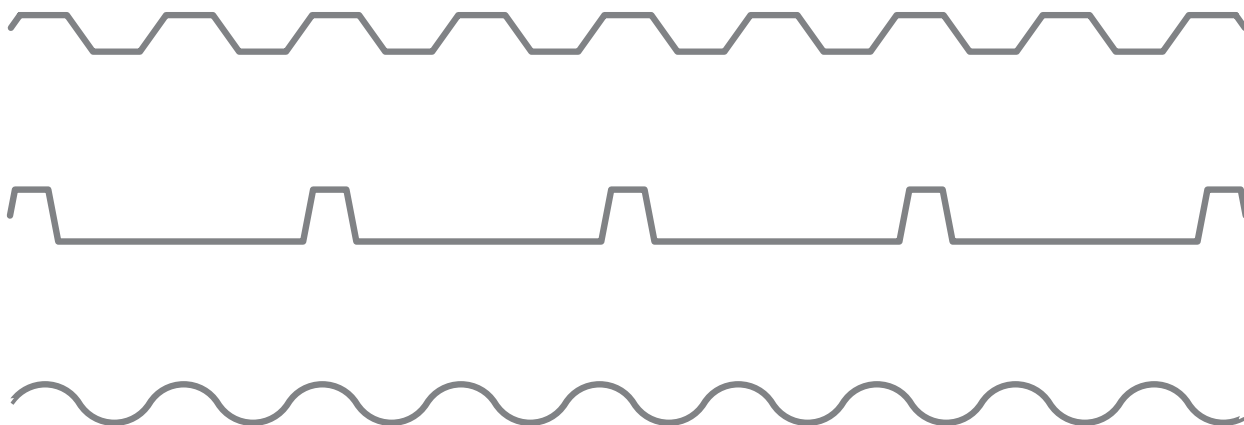
L'elemento più esterno del sistema, il manto, è costituito da grandi elementi, dove per "grande" si deve intendere una dimensione caratteristica di almeno un ordine di grandezza superiore a quella dei manti comunemente ritenuti classici, i coppi e le tegole in generale.

Questi elementi sono costituiti da lastre o da pannelli monolitici.

Questi ultimi costituiscono una categoria costruttiva a sé stante, poiché tendono a sostituire da soli un intero pacchetto di copertura, e pertanto ne parleremo in dettaglio più avanti.

Le lastre sono in genere costituite da profili metallici dotati di una sagoma predefinita (grecata, ondulata, o comunque sagomata secondo determinate finalità).

Profili metallici Alubel

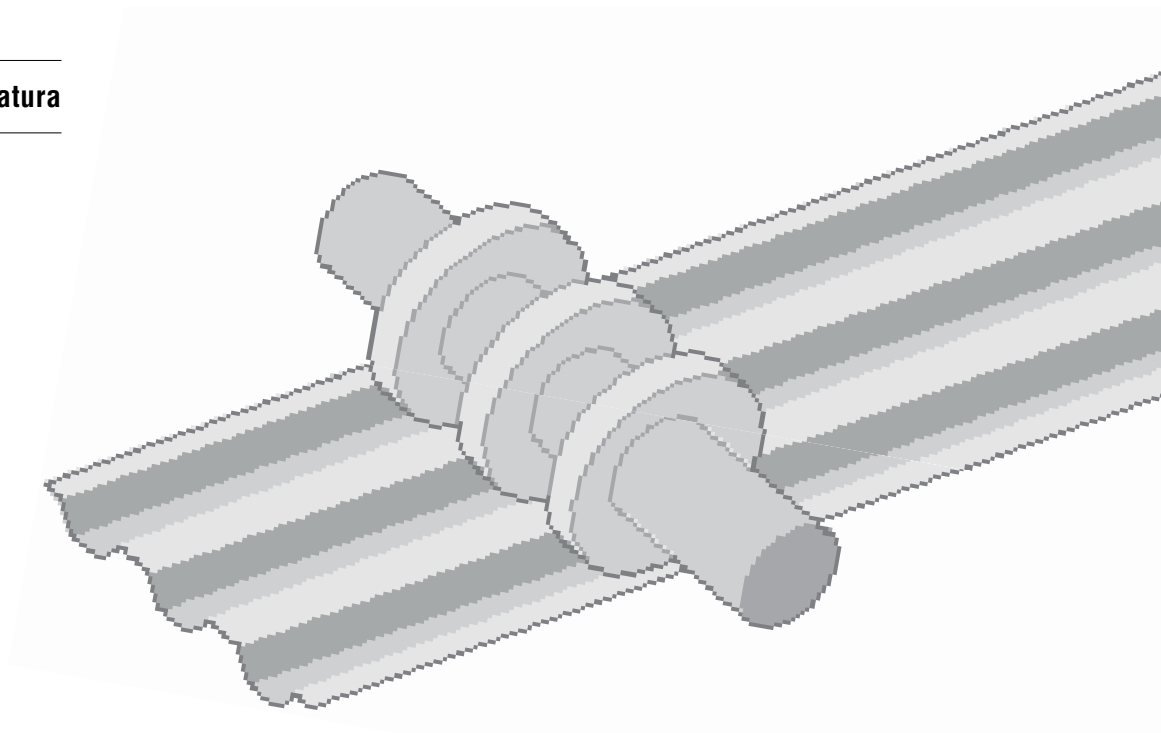


SAGOMATURA

La sagomatura si ottiene per profilatura a freddo di un nastro metallico (in gergo coil) o, più raramente, per pressopiegatura o stampaggio od estrusione. La profilatura consiste nel far passare il nastro metallico

attraverso una macchina, la profilatrice, costituita da una serie di rulli sagomati che conferiscono progressivamente al nastro la forma desiderata.

Profilatura



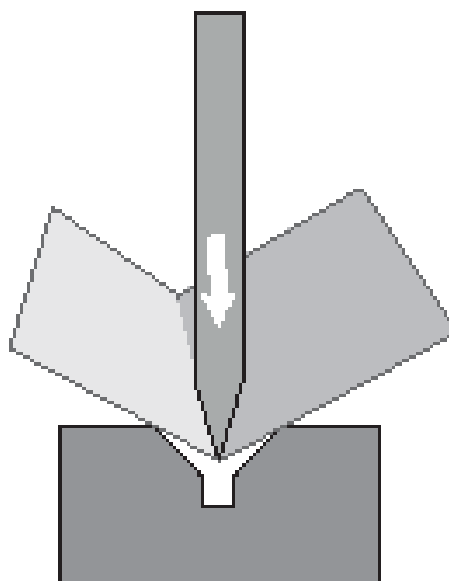
PRESSOPIEGATURA

La pressopiegatura consiste nel conferire al nastro metallico la sagoma desiderata attraverso l'esecuzione completa di una piega alla volta mediante una macchina, la pressopiegatrice.

Questa è in sostanza costituita da una pressa, generalmente idraulica, dotata di un profilo in acciaio maschio, detto coltello, e di un profilo in acciaio femmina, detto cava; il nastro metallico è inserito, nella giusta posizione precedentemente contrassegnata, tra il coltello e la cava, che vengono poi avvicinati dalla macchina fino a far assumere al nastro in quella posizione la piega con l'angolo desiderato. *(Vedi disegno a lato).*

La pressopiegatura è un procedimento insolito per la produzione di lastre, in quanto molto più lento ed economicamente incongruo rispetto alla profilatura, ma può essere utilizzato nei casi in cui si richiedano sagome speciali in modeste quantità. È però sempre limitato nelle sue applicazioni dalle dimensioni della macchina, che condizionano la lunghezza massima dei pezzi ottenibili.

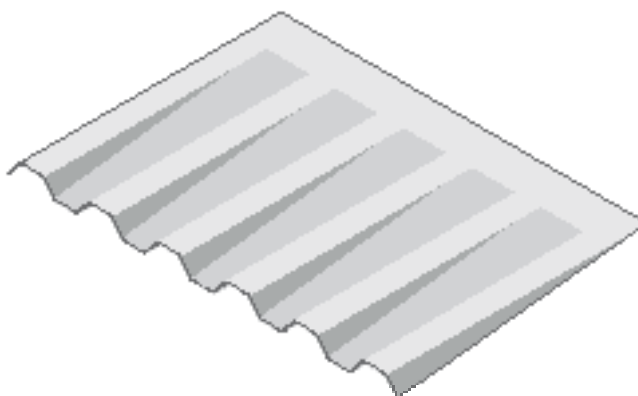
È invece comunemente utilizzato per la produzione di elementi di lattoneria, che sono dotati di sagome di volta in volta diverse e non standard, e possono essere prodotti in lunghezze più modeste.



STAMPAGGIO

Lo stampaggio è un procedimento che utilizza una pressa idraulica, dotata di due sagome accoppiate, maschio e femmina, le quali, avvicinate dalla macchina dopo l'interposizione del nastro metallico, gli conferiscono in un unico movimento l'intera sagoma voluta.

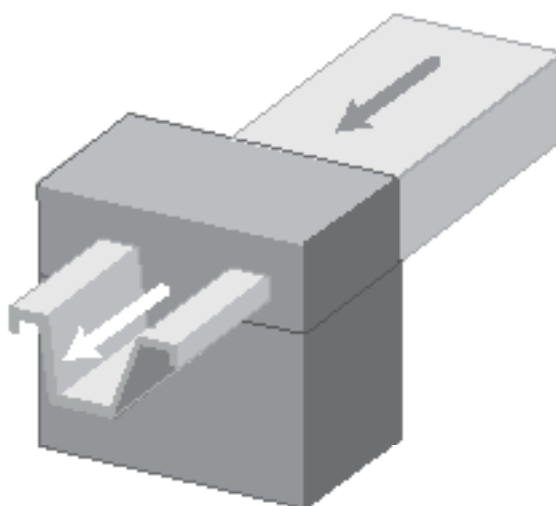
Anche questo procedimento è inconsueto nella produzione di lastre, ma si rivela indispensabile per i prodotti dotati di sagome con pieghe anche in senso trasversale alla pendenza, che non potrebbero quindi essere prodotti per semplice profilatura.



ESTRUSIONE

L'estrusione consiste nel costringere una verga metallica (o billetta) a passare attraverso una trafila, cioè un foro dotato della sagoma che si intende far assumere al profilo metallico risultante (con un effetto simile a quello che si ottiene spremendo il tubetto

della maionese, dotato di orifizio a forma di stella). Quest'ultimo processo produttivo è inconsueto per le lastre ed i pannelli, ma molto utilizzato nell'ambito dei profili per serramenti.



Il manto, da qualunque tipo di lastre sia costituito, è chiamato ad assolvere i compiti più fondamentali:

2.1.1 Tenuta Idraulica

Il primo compito consiste nella tenuta del sistema, intesa come creazione di una barriera invalicabile, rispetto alle precipitazioni meteorologiche ed alla persistenza di acqua, ghiaccio, neve, grandine, sabbie, polveri o qualunque altro corpo di dimensioni non eccezionali sul manto stesso.

Ciò non comprende la tenuta rispetto all'ingresso di gas, vapori ed aeriformi in genere, poiché la

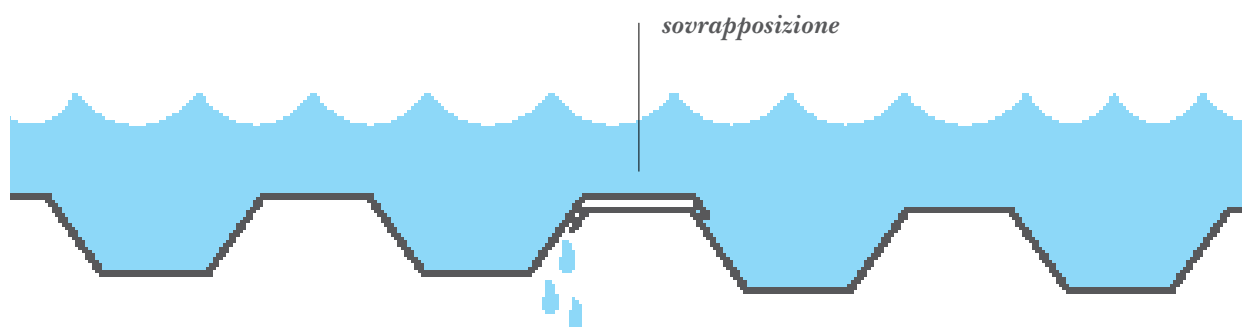
copertura metallica, appartenente alla categoria delle discontinue, non è per sua natura chiamata a svolgere questo compito, essendo caratterizzata da sovrapposizioni o sormonti sia trasversali che longitudinali normalmente privi di guarnizioni di tenuta.

Questa tenuta idraulica si ottiene se vengono rispettati alcuni principi di base.

- PRIMO PRINCIPIO -

Il primo principio è senz'altro rappresentato dalla capacità di trasferire l'acqua derivante dalla precipitazione verso gli elementi di raccolta, cioè i canali di gronda, diversa e di compluvio, nel minor tempo possibile, e comunque prima che il livello dell'acqua sul manto salga

oltre l'altezza della greca o dell'onda del profilo di lastra utilizzato; questo per evitare che l'acqua arrivi e stazioni ad un livello tale da raggiungere il sormonto longitudinale col quale le lastre sono accoppiate parallelamente alla pendenza, penetrando all'interno del manto.



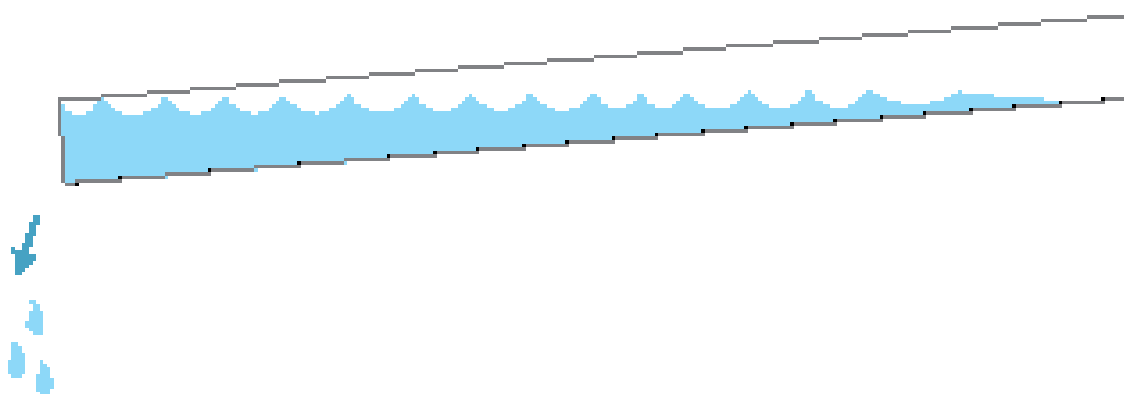
2.1.2 Pendenza

Da ciò deriva l'opportunità di mantenere la pendenza della falda al di sopra di valori minimi che garantiscano un corretto smaltimento dell'acqua.

Questo requisito è tanto più importante quanto maggiore è la lunghezza della falda, poiché l'afflus-

so progressivo da colmo a gronda, specialmente durante il verificarsi di precipitazioni di breve durata ma di grande intensità, genera un innalzamento progressivo del livello lungo la lastra, con il possibile verificarsi dei problemi anzidetti. Per questo motivo

è opportuno, per lastre grecate od ondulate convenzionali ed in mancanza di altri presidi, mantenere una pendenza minima almeno dell'otto per cento, e valutarne senz'altro l'aumento nel caso la lunghezza della falda superi i sei – otto metri.

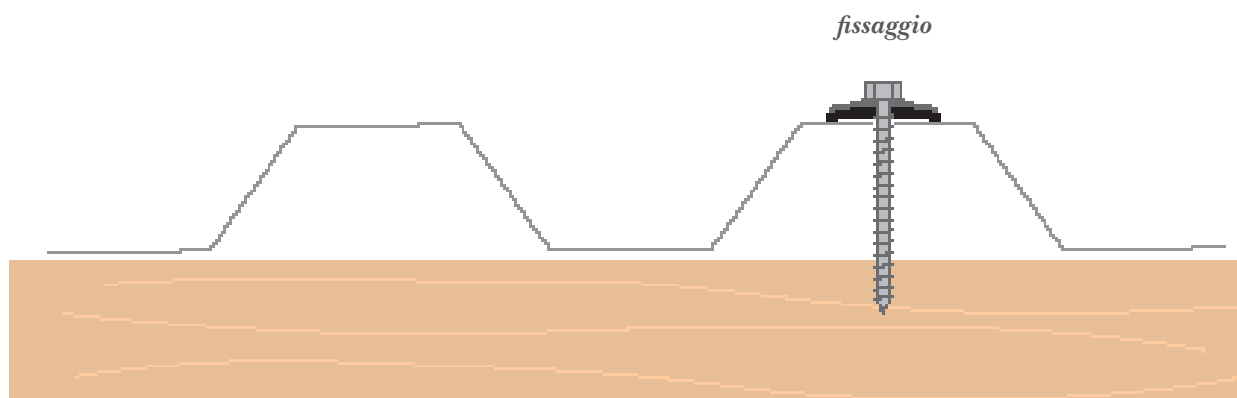


2.1.3 Fissaggio in greca alta

- SECONDO PRINCIPIO -

Il secondo principio consiste nella tipologia di fissaggio adottata. La tipologia del fissaggio dipende strettamente dalla natura del supporto sottostante le lastre, a cui ci si vincola, ma è bene rispettare alcuni criteri di base; il primo consiste nell'effettuare il fissaggio in corrispondenza della parte più alta del profilo delle lastre "in alto d'onda o in greca alta".
(Vedi disegno sotto)

Ogni fissaggio infatti presuppone la presenza di un foro nella lastra, ed anche se ogni fissaggio da copertura, indipendentemente dal tipo, è dotato di presidi all'ingresso dell'acqua, rappresentati da apposite guarnizioni, è concettualmente corretto non affidare a queste guarnizioni, in condizioni di normale esercizio, la tenuta del manto.



Le guarnizioni sono infatti prodotte in materiale plastico, che, rispetto al metallo della lastra, può vantare caratteristiche di resistenza all'invecchiamento sicuramente inferiori.

Collocare i fissaggi, e di conseguenza i relativi fori, nella parte alta del profilo significa porli in una zona che, in condizioni normali, non è sotto battente d'acqua e dove, inoltre, l'acqua non ristagna facilmente.

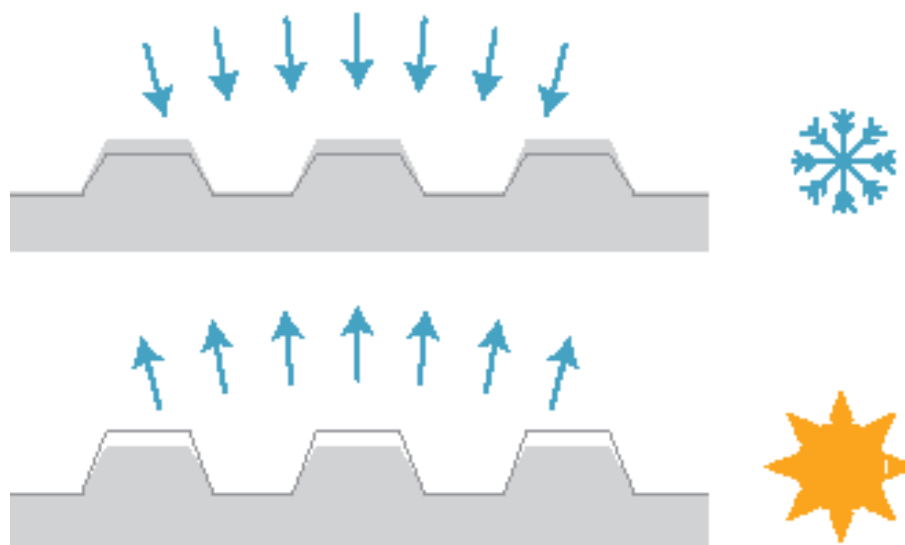
La collocazione del fissaggio in onda alta comporta inoltre ulteriori benefici, per illustrare i quali è opportuno soffermarsi su di un fenomeno caratteristico delle coperture metalliche, il fenomeno della dilatazione termica.

Prendendo in considerazione il nostro caso specifico, quello di una lastra metallica sagomata, possiamo

compiere alcune osservazioni di base: intanto lo spessore della lastra è insignificante rispetto alle altre due dimensioni, larghezza e lunghezza, e quindi la dilatazione termica sullo spessore porterà a variazioni dimensionali ampiamente trascurabili.

La larghezza della lastra, presa sulla sezione trasversale alla pendenza, quella cioè in cui si legge il profilo grecato od ondulato, ha dimensioni maggiori, ma non certo rilevanti (esemplificando, attorno al metro). La dilatazione, inoltre, provoca una variazione delle dimensioni dei vari lati che compongono il profilo, secondo diverse direzioni, provocando al più una serie di deformazioni locali, ma non certo un allargamento complessivo del profilo.

Variazione delle dimensioni della lastra a causa delle dilatazioni



Le conseguenze del fenomeno diventano invece avvertibili e pesanti nella direzione della lunghezza delle lastre; qui infatti le dimensioni caratteristiche possono arrivare a parecchi metri, e il valore assoluto della dilatazione raggiungere i centimetri.

Infatti le lastre, proprio per come sono concepite, sono indeformabili nella direzione della lunghezza, per cui, quando sottoposte ad escursione termica

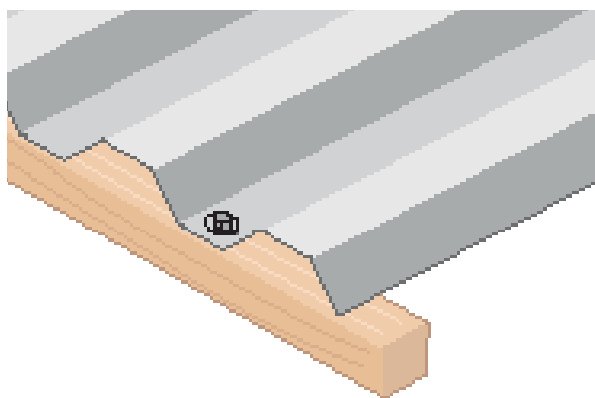
ed alla relativa dilatazione, subiscono un effettivo aumento o diminuzione della loro lunghezza.

Quando le lastre vengono posate in opera, in determinate condizioni climatiche, e perciò ad una determinata temperatura, sono caratterizzate da una certa lunghezza e da determinati interassi tra le file dei fissaggi.

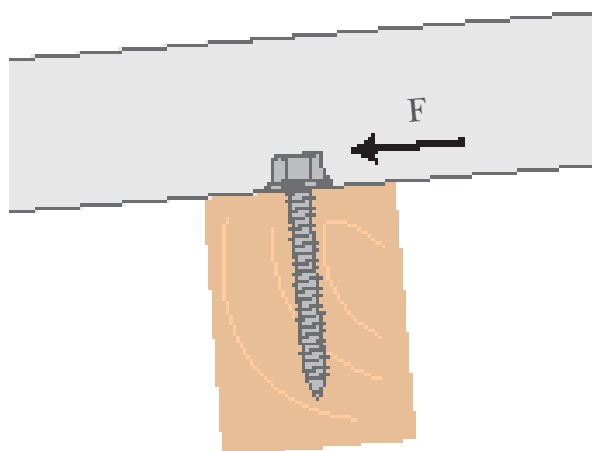
Al variare della temperatura varia anche la lunghezza della lastra, e così pure gli interassi tra i fori dei fissaggi.

I bordi dei fori esercitano pertanto sollecitazioni, che possono diventare notevoli sugli steli delle viti.

Fissaggio nella greca bassa



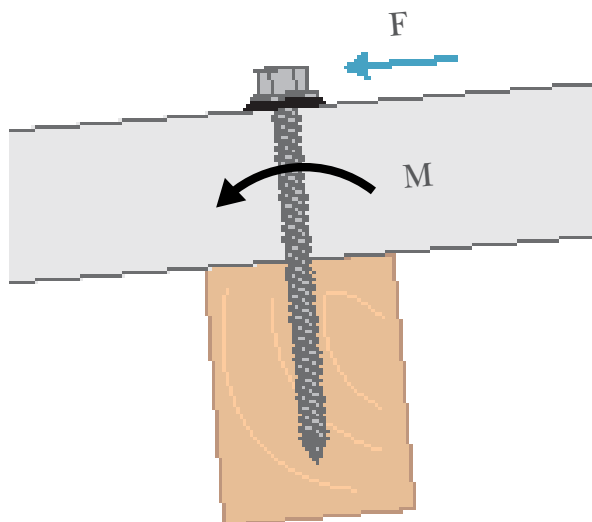
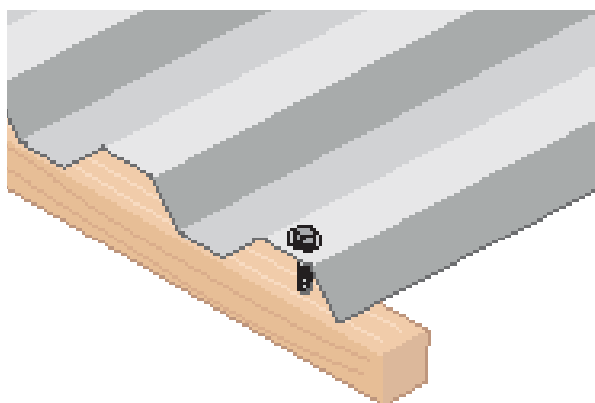
Se il fissaggio viene effettuato nel basso di greca, questa sollecitazione può essere considerata di puro taglio, perché si esercita interamente sulla sezione dello stelo della vite corrispondente all'incastro sull'elemento strutturale sottostante.



Se invece si effettua il fissaggio sull'alto di greca, la sollecitazione è applicata ad una distanza dalla superficie di incastro dello stelo della vite corrispondente all'altezza della greca stessa. In tal modo la forza esercitata dalla lastra si traduce in un momen-

to flettente. Questo lascia una maggiore libertà di movimento alla testa della vite, specialmente nel caso che l'elemento strutturale a cui la vite è fissata sia costituito da un travetto di legno.

Fissaggio nella greca alta



In questo caso infatti il vincolo tra vite e travetto è caratterizzato da maggiore elasticità.

A onor del vero, il fissaggio in onda bassa per manti di copertura può presentare alcuni vantaggi, che possiamo sintetizzare in breve:

- Fissando sulla parte bassa della greca si dispone del riscontro, immediatamente sotto, dell'arca-reccio, per cui non si corre il rischio di ammaccare la greca esercitando una eccessiva coppia di serraggio con l'avvitatore, come può accadere per il fissaggio in onda alta, qualora non si regoli opportunamente appunto la coppia di serraggio mediante il dispositivo a frizione di cui ogni avvitatore "serio" deve essere dotato.
- La vite di fissaggio, in questo caso, è sottoposta ad una sollecitazione di puro taglio, e non più ad un momento flettente, per cui, dato che le sollecitazioni, dipendenti dall'alternarsi delle dilatazioni termiche, sono cicliche, ne vengono minimizzati i fenomeni di fatica strutturale a carico del gambo della vite.
- Il fatto che l'arca-reccio si trovi immediatamente sotto il punto di fissaggio rende meno probabili gli errori di centraggio della vite su quest'ultimo, rendendo l'accoppiamento più preciso.

- La guarnizione di tenuta è piana anziché conica, il che aumenta complessivamente la superficie di reciproco contatto e quindi di tenuta.

- La vite è più corta, quindi meno costosa.

Tutte queste ottime ragioni devono però essere pesate contro i vantaggi offerti dal fissaggio in onda alta, precedentemente esposti, ed in ogni caso sono da prendere in considerazione solo se si verificano tutte le seguenti condizioni:

- La pendenza della falda è molto alta, al punto da non permettere il ristagno della neve (minimo 50-60%);

- La falda è abbastanza corta da rendere poco influenti i fenomeni di dilatazione termica (massimo 8-10 metri).

Vediamo ora di approfondire maggiormente un fenomeno che gioca un ruolo importantissimo nella progettazione e nella successiva realizzazione delle coperture metalliche, in particolar modo in lega d'alluminio.

2.1.4 Dilatazione termica

Ogni metallo è caratterizzato dalla peculiarità di variare le proprie dimensioni in conseguenza di una variazione della temperatura a cui è sottoposto. Questa variazione è misurata da un parametro specifico per ogni tipo di metallo o lega metallica, il coefficiente di dilatazione termica.

La rilevanza delle problematiche legate a questo fenomeno è accentuata dal crescente utilizzo nella

costruzione di coperture metalliche delle leghe d'alluminio, che, come vedremo, possiedono ottime caratteristiche in termini di leggerezza e mantenimento delle prestazioni nel tempo.

L'alluminio possiede di contro il coefficiente di dilatazione termica più elevato tra i materiali comunemente utilizzati nell'ambito di cui trattiamo. È bene perciò quantificare con la tabella che segue i coef-

ficienti caratteristici dei materiali di base dai quali si ricavano i prodotti per coperture metalliche:

Acciaio 0,0012 mm/°C/m	Rame 0,018 mm/°C/m	Alluminio 0,024 mm/°C/m
---	-------------------------------------	--

Passando ad un esempio del tutto realistico in zone climatiche temperate come l'Italia, ipotizziamo di realizzare nel periodo estivo una copertura in lega d'alluminio con una falda di lunghezza dieci metri. Supponiamo che la temperatura del metallo (non quella dell'ambiente) sia, al momento del montaggio, pari a 40 °C.

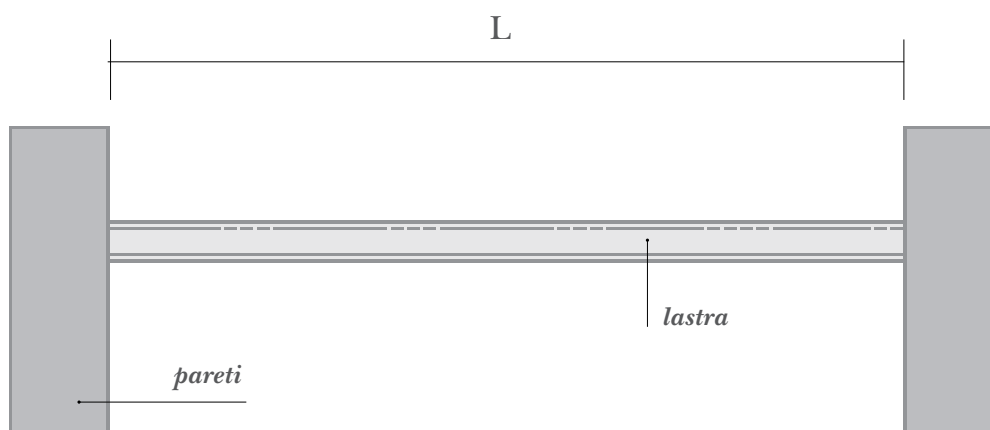
Nella stagione invernale, supponendo che il metallo raggiunga una temperatura di -10 °C, avremo un salto termico rispetto al momento dell'installazione di +40 °C - (-10 °C) = 50 °C.

La variazione di lunghezza della lastra, in questo caso un accorciamento, sarà quindi pari a:

$$\Delta L = (0,024 \text{ mm/}^\circ\text{C/m}) \times (50^\circ\text{C}) \times (10 \text{ m}) = 12 \text{ mm}$$

Questo rende l'idea di quanto si "muova" la lastra, ma non dell'entità delle sollecitazioni che nascono in conseguenza; per farcene un'idea bisogna utilizzare alcuni strumenti della teoria elastica dei materiali.

Ipotizziamo che la lastra dell'esempio sia totalmente vincolata alle estremità, ovvero costretta a restare entro una determinata lunghezza da due solide pareti.



Riprendendo i valori numerici dell'esempio precedente, partiamo da una differenza di temperatura di 50 °C, che porterebbe ad un allungamento di 12 mm. Questo allungamento, nel caso specifico, non può avvenire, perché esiste un vincolo che lo impedisce totalmente. Il metallo reagisce allora entrando in uno stato di sollecitazione a compressione, e

trasmettendo la stessa sollecitazione ai suoi vincoli alle estremità. Per valutare l'entità di questa sollecitazione utilizziamo gli strumenti della teoria elastica dei materiali, in particolare applicata ai metalli. Questa teoria mette in relazione uno stato di deformazione del metallo con la sollecitazione a cui è soggetto.

Partendo dalla deformazione assoluta (in questo caso potenziale) di 12 mm ricaviamo la deformazione relativa alla lunghezza della lastra, chiamata allungamento:

$$\boldsymbol{\varepsilon = 12 \text{ mm} / 10.000 \text{ mm} = 0,012}$$

Prendiamo poi in considerazione il parametro, caratteristico di ogni metallo, che mette in diretta relazione la sollecitazione con la deformazione conseguente, ovvero il modulo elastico (o modulo di Young): per l'alluminio, questo parametro è pari a:

$$\boldsymbol{E = 7.000 \text{ daN/mm}^2}$$

Per ottenere la sollecitazione che nasce dalla deformazione impedita dai vincoli, basta moltiplicare l'allungamento per il modulo elastico:

$$\boldsymbol{\sigma = \varepsilon \times E = 0,0012 \times 7.000 = 8,4 \text{ daN/mm}^2}$$

Ora, per giungere alla forza totale che la lastra esercita sui suoi vincoli, dobbiamo calcolare la sezione della lastra stessa; prendendo ad esempio valori molto comuni nella pratica costruttiva, consideriamo una lastra grecata ricavata da un nastro di larghezza 1250 mm e spessore 0,8 mm; questo ci porta ad una sezione di:

$$\boldsymbol{A = 1250 \times 0,8 = 1000 \text{ mm}^2}$$

Pertanto, la forza totale con cui la lastra "spinge" sui vincoli, considerandola suddivisa equamente alle due estremità, sarà:

$$\boldsymbol{F = \sigma \times A = 8,4 \text{ daN/mm}^2 \times 1000 \text{ mm}^2 / 2 = 4200 \text{ daN}} \\ \text{(4,2 tonnellate!)}$$

Se ipotizzassimo, sempre riferendoci a casi costruttivamente comuni, che i vincoli fossero costituiti da quattro viti di fissaggio per lato, potremmo immediatamente valutare il carico a puro taglio agente sul gambo di ogni vite, pari a:

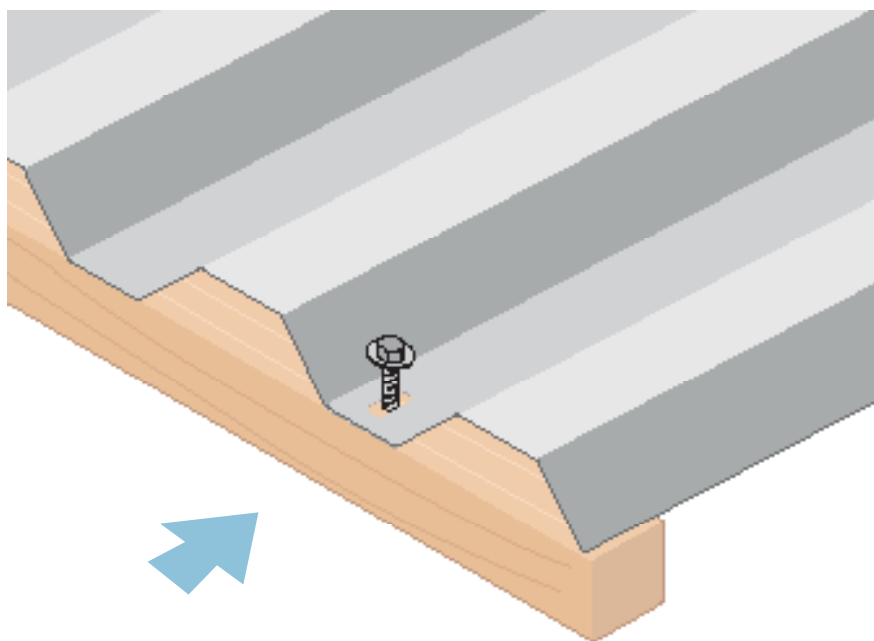
$$\boldsymbol{F_v = F / 8 = 525 \text{ daN}} \\ \text{(circa 535 kg!)}$$

La prima considerazione che sorge spontanea, oltre all'istintivo ribrezzo che ogni progettista o costruttore prova nei confronti di una struttura sottoposta a sollecitazioni inutili e per di più evitabili, è la preoccupazione per la resistenza delle viti, sottoposte a carichi molto vicini ai loro limiti di utilizzo.

Subito dopo, però, il pensiero corre ai fori nella lastra di alluminio attraverso i quali passa il gambo delle viti.

Questi fori, sottoposti allo stesso sforzo di taglio, e praticati in un materiale, la lega d'alluminio, che possiede una durezza notevolmente inferiore a quella dell'acciaio, sono inoltre caratterizzati da uno spessore molto basso, tipicamente inferiore al millimetro. È facile da questi presupposti dedurre il fenomeno di asolatura che i fori subiscono in queste condizioni, e che mette a repentaglio la stessa tenuta idraulica del manto.

Asolatura foro nella greca bassa



Le considerazioni fatte finora, benché basate su parametri del materiale e dell'ambiente del tutto realistici, sono evidentemente portate agli estremi nelle ipotesi di partenza, allo scopo di evidenziare

fenomeni che realmente accadono nella pratica costruttiva e che, quando sottovalutati, hanno dato luogo ad inconvenienti di tale gravità da invalidare la funzionalità stessa dell'opera.

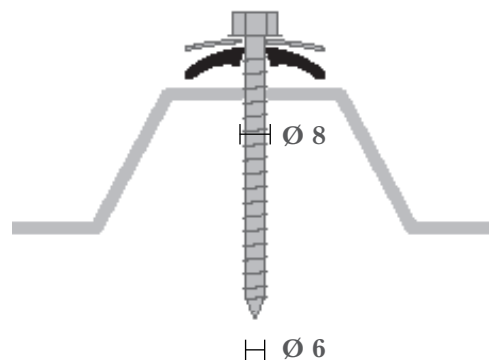
- TERZO PRINCIPIO -

Il terzo principio da rispettare consiste quindi nel tenere conto del fenomeno della dilatazione termica, adottando accorgimenti che permettano alle

dilatazioni di avvenire liberamente, senza essere contrastate dalla struttura del manto, e senza quindi che nascano sollecitazioni.

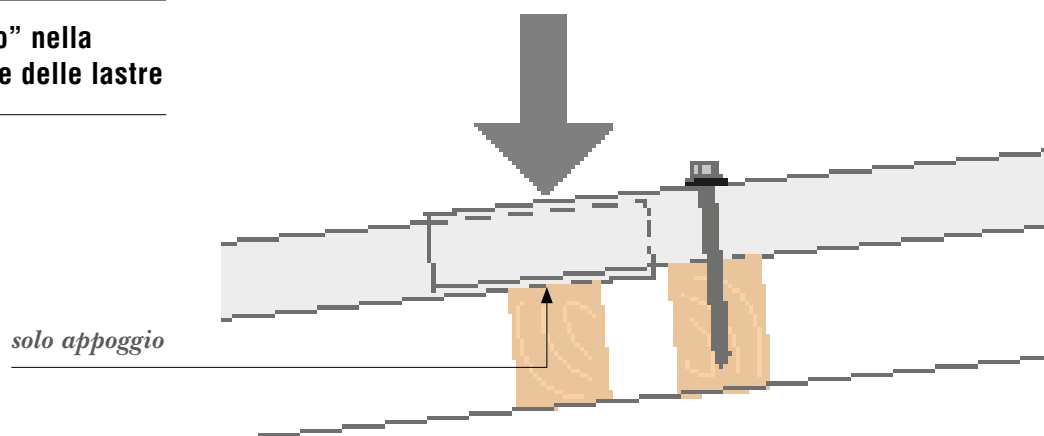
Fra i principali accorgimenti del genere, si possono citare:

- La realizzazione dei fori per il passaggio delle viti di fissaggio del manto con un diametro significativamente superiore a quello del gambo delle viti stesse (ad esempio f 8mm per viti da f 6 mm), in modo da permettere il movimento relativo tra gambo della vite e foro.
- La tenuta idraulica sarà allora affidata alla giusta scelta della guarnizione di tenuta, solitamente integrale al fissaggio, che dovrà in ogni condizione assicurare la copertura del foro. (Vedi disegno a lato).
- La realizzazione di linee di fissaggio scorrevoli: in questo caso l'elemento strutturale al quale il manto è fissato, l'arcareccio od il travetto, è collegato alla struttura principale dell'edificio tramite un dispositivo a slitta; questo permette alle lastre del manto, entro certi limiti, di "portarsi a spasso" gli arcarecci sottostanti, annullando le spinte da dilatazione termica.
- La determinazione di una "linea fissa" in corrispondenza della mezzeria di falda, in modo da suddividere l'effetto delle dilatazioni equamente a monte ed a valle, dimezzandone gli effetti e le conseguenze.



- La limitazione, per quanto possibile, della lunghezza massima ininterrotta di ogni falda, mediante la suddivisione della falda stessa in più lastre successive e sovrapposte. La sovrapposizione, o sormonto, tra lastra a monte e lastra a valle, va sempre eseguita rispettando il principio di svincolo fisico tra le lastre, per evitare di trasmettere le sollecitazioni di dilatazione termica; al tempo stesso, però, va comunque assicurata la necessaria resistenza strutturale, evitando di esporre alla forza di estrazione del vento una porzione troppo lunga di lastra a sbalzo; questa esigenza è però parzialmente in contrasto con la necessità di assicurare un sormonto minimo di sicurezza, per ragioni che vedremo tra poco. Un esempio di soluzione praticata e funzionale è riportato sotto.

“Svincolo fisico” nella sovrapposizione delle lastre



- QUARTO PRINCIPIO -

Il quarto principio consiste nell'osservare opportune precauzioni nelle zone, sia trasversali che longitudinali, in cui le lastre si sovrappongono.

2.1.5 Sormonto trasversale

Esaminiamo per primo il sormonto o sovrapposizione trasversale tra le lastre. Questo viene eseguito principalmente in due casi:

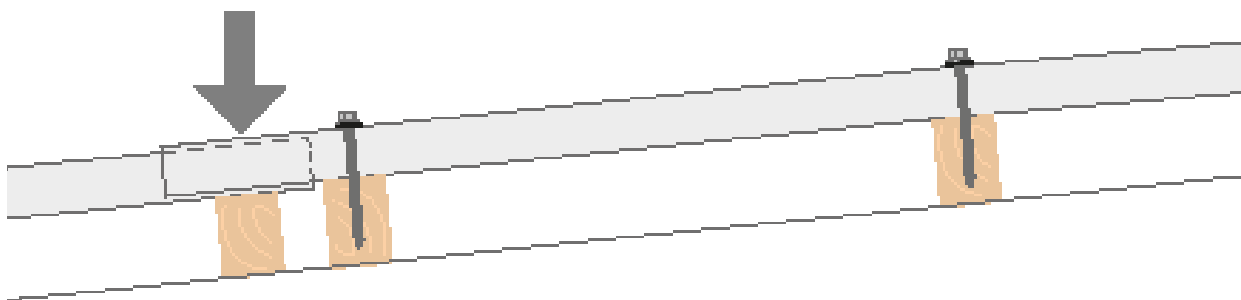
nel primo caso la falda da coprire è ritenuta troppo lunga ai fini delle dilatazioni termiche, e si ritiene pertanto necessario eseguire uno o più sormonti nei quali la lastra a monte e la lastra a valle hanno ciascuna la possibilità di dilatare liberamente.

Particolare attenzione va posta a questo proposito anche nella posizione dei fissaggi, che devono essere indipendenti per le due lastre. La porzione di lastra a monte che sormonta quella a valle deve essere sufficientemente lunga da impedire fenomeni di risalita dell'acqua per capillarità.

Questo fenomeno, che è più insidioso di quanto si possa di primo acchito pensare, è accentuato dalla presenza di vento spirante in senso contrario alla

pendenza. È importante assicurarsi che sul sormonto le lastre siano sufficientemente aderenti, e non lascino fessure nelle quali si possa infilare il vento; per impedire o minimizzare questo fenomeno, oltre a sincerarsi dell'ottimo allineamento degli arcarecci nella zona, è possibile ricorrere, se la pendenza lo permette, ad un piccolo espediente: il penultimo arcareccio della lastra a monte viene posato non allineato agli altri, ma leggermente sporgente dal piano di falda, in modo da costringere la lastra a monte ad assumere una leggera flessione verso il basso in corrispondenza dell'ultimo arcareccio, che è invece allineato normalmente con gli altri; in questo modo l'estremità della lastra a monte tende a premere maggiormente sul sormonto, rimanendo quindi in migliore aderenza sulla lastra a valle.

La lastra a monte deve premere su quella a valle

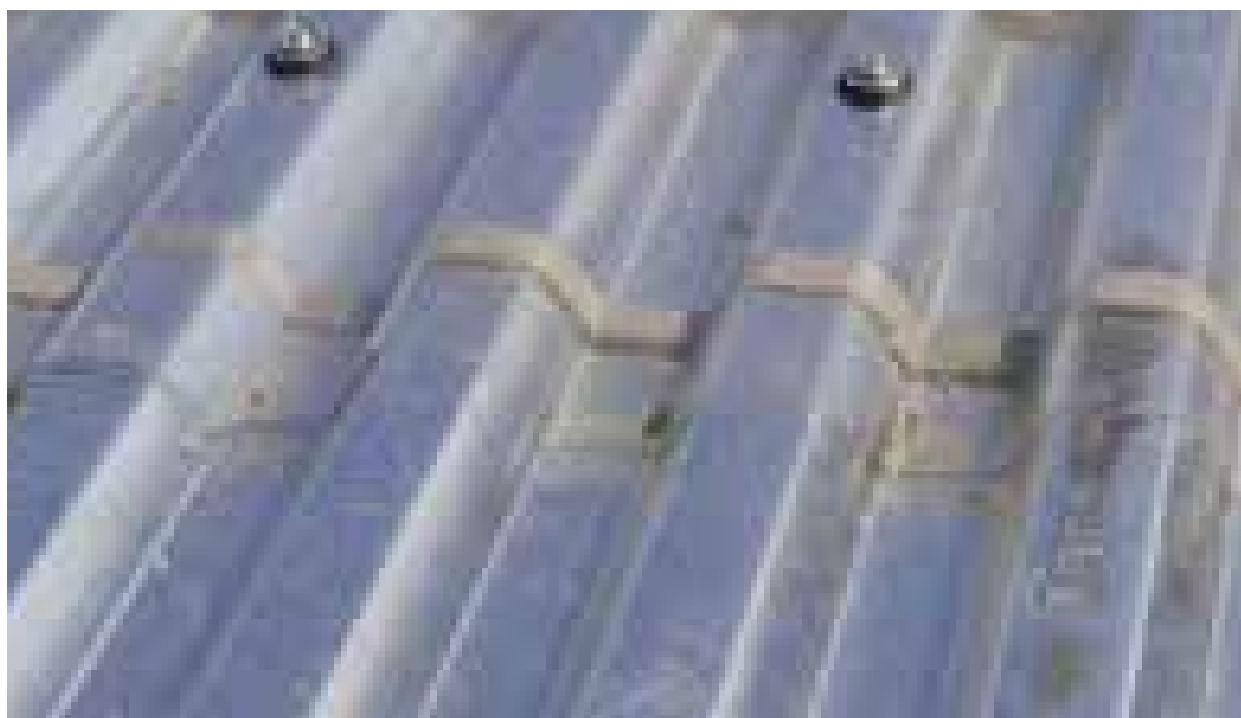


Il sormonto trasversale si utilizza inoltre ogniqualvolta sia necessario predisporre lucernari radenti, allineati parallelamente alla linea di gronda, o comunque

interessanti solo una porzione della falda in direzione della pendenza, e dotati dello stesso tipo di profilo delle lastre.

In questi casi, oltre ad accorgimenti analoghi a quelli testé citati, si usa aggiungere un elemento di guarnizione a striscia, bituminoso o sintetico, sufficientemente flessibile da essere applicato all'interno del

sormonto, che costituisce una barriera alla risalita dell'acqua per capillarità.



Interposizione di guarnizione a cellule chiuse tra elementi traslucidi

Questo elemento è tuttavia molto vulnerabile, oltre che ai raggi UV quando la lastra a monte è il lucernario trasparente, anche ai movimenti in direzioni opposte che le lastre effettuano particolarmente in quella zona.

Il suo utilizzo nell'accoppiamento tra grecata in alluminio e grecata trasparente è infatti motivato anche dal fatto che quest'ultima è realizzata con materiale il cui coefficiente di dilatazione termica è trascurabile rispetto a quello dell'alluminio, e pertanto il movimento relativo tra i due elementi è fortemente ridotto.

Un'avvertenza da seguire in generale consiste infine nel realizzare, per quanto possibile, il sormonto o i sormonti trasversali quanto più possibile vicini al colmo e lontano dalla linea di sgrondo.

Il motivo risiede nel fatto che l'eventuale aumento del livello di acqua in copertura, causata dai fattori già presi in considerazione, è progressivamente crescente a mano a mano che l'acqua procede lungo la pendenza, ed è pertanto inferiore quanto più si è vicini al colmo.

Da qui l'opportunità di avere in questa zona il sormonto, potenziale punto di infiltrazione.

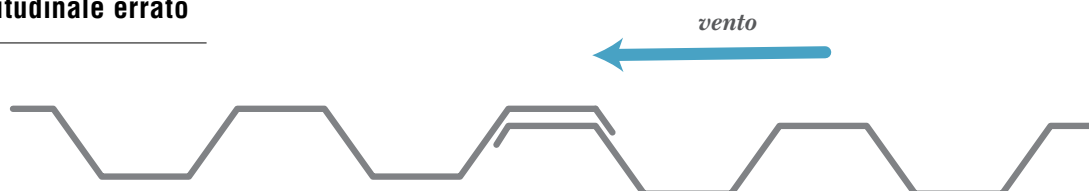
2.1.6 Sormonto longitudinale

Il sormonto o sovrapposizione longitudinale tra le lastre è invece sempre presente, in quanto la dimensione trasversale delle lastre, che solitamente è attorno al metro, è di gran lunga inferiore alla larghezza di una normale falda di copertura per qualsiasi edificio. La presenza perciò di un gran numero di sovrapposizioni, e per di più di lunghezza pari a quella della falda, impone cautela. Le sovrapposizioni infatti, benché teoricamente parallele alla direzione del flusso, sono ugualmente vulnerabili all'ingresso d'acqua, in due categorie di eventi:

La prima situazione pericolosa avviene ogniqualvolta il livello dell'acqua supera l'altezza del profilo

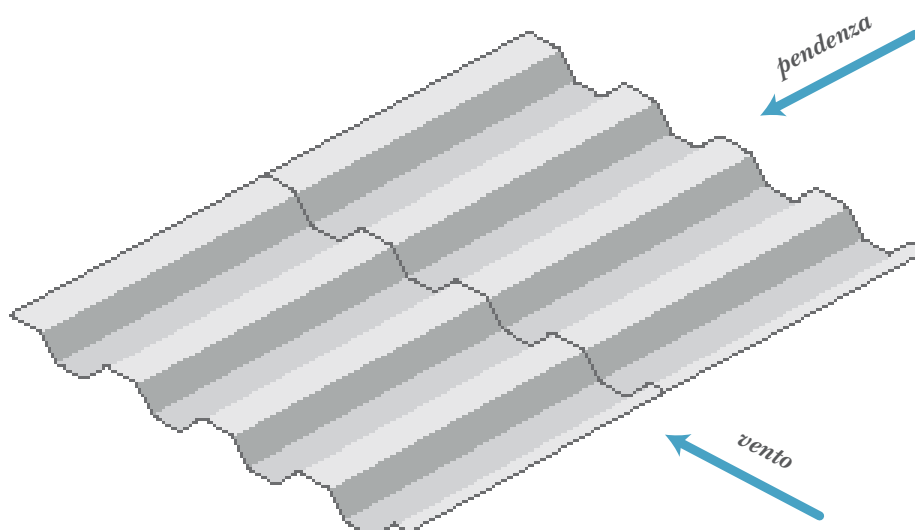
della greca; in questo caso, data anche l'ampiezza dell'accoppiamento, è estremamente probabile che il flusso oltrepassi la superficie della greca inferiore, penetrando all'interno. Tale evento non è raro, e può anzi avvenire in presenza di una qualsiasi ostruzione solida sulla falda, che impedisca all'acqua di defluire liberamente. Queste ostruzioni sono tipicamente costituite da accumuli di neve o di grandine. Inoltre la crescita del livello dell'acqua, come già accennato, può essere causata da una pendenza di falda insufficiente su di una falda di notevole lunghezza, magari aggravata dalla presenza di vento che soffia in senso contrario alla pendenza.

Esempio di sormonto longitudinale errato



Il secondo evento pericoloso è costituito dalla presenza, durante la precipitazione, di vento spi-

rante in direzione opposta a quella del sormonto.



Questo può favorire la penetrazione dell'acqua all'interno del sormonto, specialmente nel caso in cui la sovrapposizione fra le due greche sia imperfetta, e lasci uno spazio sufficiente all'entrata del vento.

Per scongiurare questo pericolo, si possono adottare alcuni accorgimenti:

Il primo consiste nel cercare di ottenere un'ottima planarità tra gli appoggi delle lastre; questo riduce al minimo, in condizioni di assenza di carico sulla copertura, lo spazio tra i bordi accoppiati.

È poi decisamente consigliabile, in funzione delle condizioni di carico da neve, del tipo di lastra grecata od ondulata e delle sue caratteristiche dal punto di vista statico, mantenere per quanto possibile ridotto l'interasse tra gli appoggi, al fine di evitare eccessive deformazioni sotto carico, e la conseguente formazione delle fessure tra i sormonti.

Infine, quando le due precedenti condizioni non si possano facilmente ottenere per vari motivi (coperture su strutture esistenti irregolari, interassi tra gli appoggi prefissati e non modificabili, lastre di non eccessiva rigidità o una combinazione di queste simpatiche situazioni), è possibile ricorrere alla cucitura tra i bordi, mediante viti apposite, dette appunto "viti da cucitura", caratterizzate generalmente da stelo molto corto, realizzate nello stesso metallo delle lastre, e con filettatura adatta a bassi spessori.

La cucitura dei bordi longitudinali è fattibile in quanto le lastre, benché soggette ai movimenti causati dalla dilatazione termica, effettuano questi movimenti appunto in direzione longitudinale, e quindi i bordi sono solidali tra loro nel movimento.

Le viti da cucitura non sono quindi sollecitate a taglio, ma lavorano, come previsto, solo a trazione, mantenendo uniti i bordi di lastre adiacenti.

Ben diverso sarebbe il risultato se si pensasse di collegare con le stesse viti un sormonto trasversale, dove i movimenti relativi sono massimi: le viti, sollecitate a taglio, scaverebbero asole nella superficie della lastra, ed eventualmente ne potrebbero essere tranciate.

In tutti i casi sopra descritti è possibile ottenere un ulteriore margine di sicurezza rispetto al pericolo di tracimazione attraverso il sormonto longitudinale.

Questo margine si guadagna mediante un'opportuna scelta della tipologia di lastra da adottare; alcuni prodotti attualmente in commercio, infatti, sono caratterizzati da **una sovrapposizione cosiddetta "di una greca e mezza"**.

In sostanza, in tali prodotti, il bordo inferiore della sovrapposizione si estende per un'altra mezza greca sotto il sormonto, formando una sorta di canale interno di recupero, in grado di impedire ad una infiltrazione d'acqua, purché di modesta entità, di tracimare al di sotto del manto, dirigendola verso il canale di gronda o conversa.

Sovrapposizione di una greca e mezzo



Qualora si fosse invece costretti ad utilizzare un prodotto privo di tale peculiarità, è tuttavia sempre possibile sfruttare lo stesso concetto semplicemente

aumentando di un passo di greca la sovrapposizione longitudinale.

Aumento della sovrapposizione



Naturalmente il costo di questa operazione è rappresentato dalla minore resa in copertura delle lastre, e come ogni costo, dovrebbe essere giustificato da valide motivazioni; una fra le più interessanti, oltre a quelle ora considerate, è la mancanza di pendenza sufficiente, anche localmente.

Un buon esempio di questa situazione è rappresentato dalla copertura di un edificio a volta, dove il manto, nella linea di mezzeria o colmo ideale, è dotato per forza di cose di pendenza nulla.

2.2 Caratteristiche meccaniche e strutturali: la sottostruttura

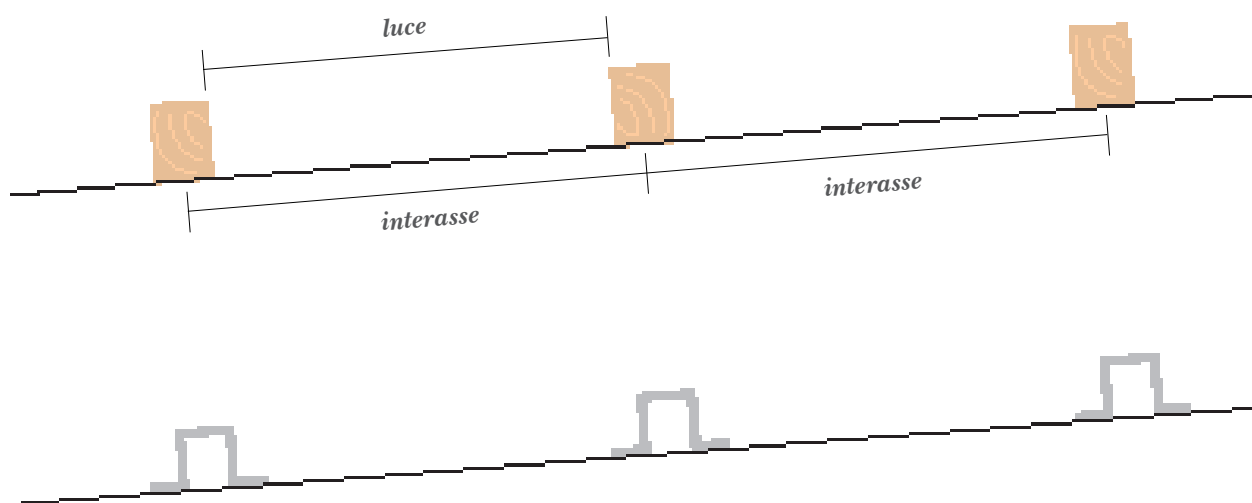
Le sollecitazioni meccaniche e termiche che il manto subisce da parte dell'ambiente esterno devono essere trasmesse alla struttura principale dell'edificio, alla quale, in definitiva, il manto stesso è vincolato.

Questa trasmissione di sollecitazioni, tuttavia, raramente avviene in modo diretto; molto più spesso esiste un elemento intermedio che funge da tramite, ricevendo tali sollecitazioni e trasmettendole, con modalità diverse, all'edificio. In genere, questo elemento è costituito da una o più serie sovrappo-

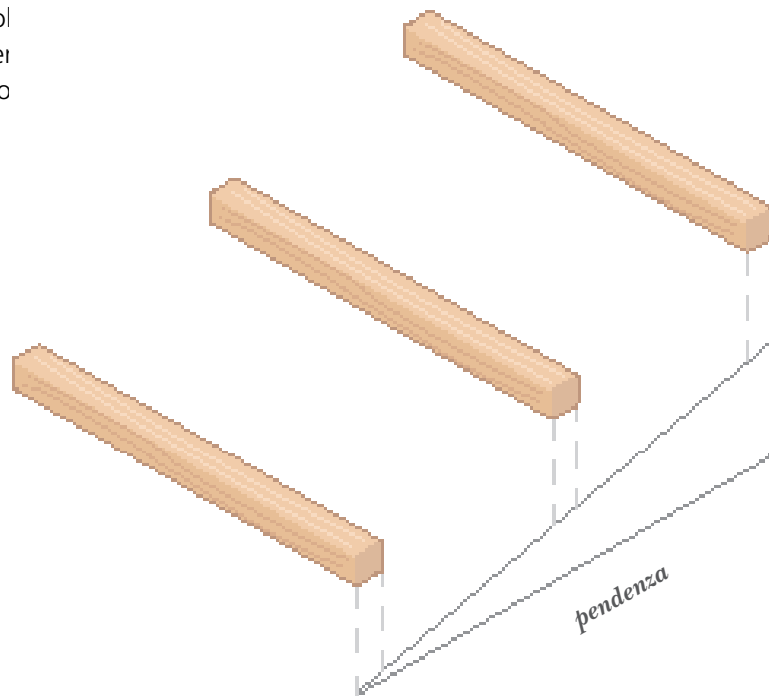
ste, strati od orditure di arcarecci, travetti, profili o comunque di elementi a sviluppo monodimensionale (ovvero in cui una dimensione è prevalente sulle altre due) assimilabili staticamente a travi.

Una serie di arcarecci, come potremo chiamarli d'ora in avanti, è formata da un certo numero di file di elementi posti ad un definito interasse (generalmente costante).

Esemplificazione arcarecciature



Gli arcarecci, se presenti in un sol
disposti perpendicolarmente alla per
que alle direttrici del manto metallico
ne di scorrimento dell'acqua.



Nei casi di manti a volta o conici, gli arcarecci si dispongono secondo le direttrici della superficie geometrica che definisce il manto. Quando esistono più strati di arcarecci, per ragioni che esamineremo più avanti, ogni strato è in genere perpendicolare al precedente ed al successivo, fermo restando il fatto che il più esterno rimane perpendicolare alla pendenza.

Di fatto, considerando le lastre ondulate o grecate che costituiscono il manto come travi dal punto di vista strutturale, l'orditura di arcarecci costituisce la serie di appoggi sulla quale le lastre stesse scaricano le sollecitazioni ricevute.

2.2.1 Distribuzione dei carichi e collegamento alla struttura principale

Ogni tipo di lastra ondulata o grecata possiede determinate caratteristiche statiche. Queste sono dovute alle proprietà della lega metallica, al tipo di profilo geometrico, ed allo spessore del laminato con le quali è costruito.

Di contro, il manto costruito con queste lastre sarà soggetto a carichi esterni, dovuti principalmente al vento, alla neve, alla presenza di carichi permanenti

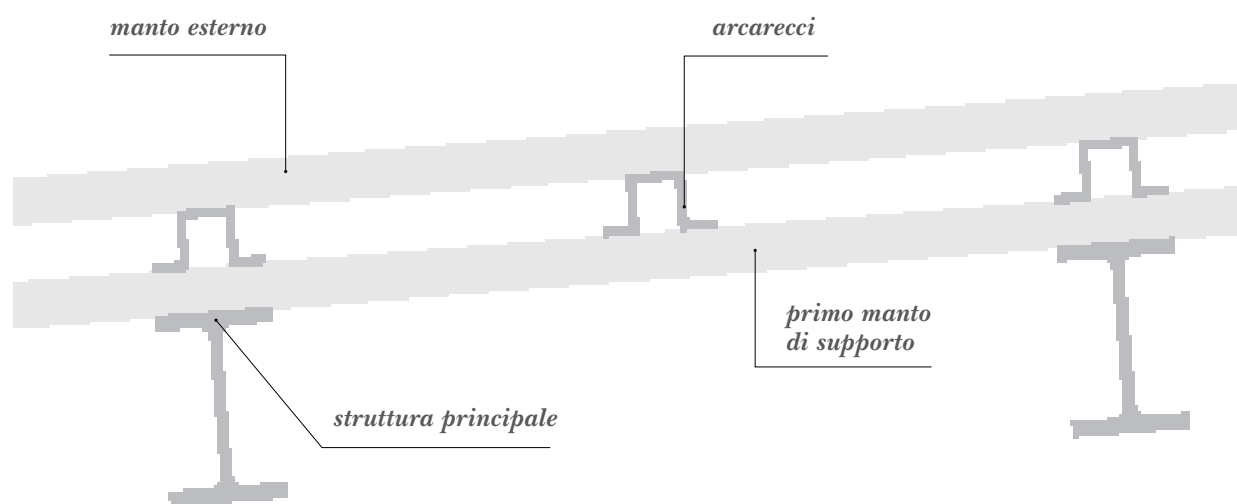
o alla percorribilità da parte degli operatori che eseguono la costruzione del manto stesso, o che provvedono alle manutenzioni periodiche; questi carichi sono valutati mediante le normative vigenti, e la copertura deve dimostrare di poterli sopportare con deformazioni contenute entro i limiti imposti e senza cedimenti strutturali. Il raffronto fra le prestazioni meccaniche richieste e le caratteristiche

statiche disponibili per quel determinato tipo di prodotto metallico per manto conduce essenzialmente all'individuazione di una determinata luce massima ammissibile tra gli appoggi successivi.

Questa luce può, come accade di frequente, essere inferiore all'interasse tra le travi strutturali di copertura, ad esempio nel caso di una struttura metallica o comunque discontinua, per cui nasce l'esigenza di creare un'ulteriore struttura secondaria, appunto la sottostruttura formata dagli arcarecci, caratterizzata da un interasse accettabile per la lastra di copertura da utilizzare, che riceva i carichi dal manto e li trasferisca alla struttura principale.

Spesso, in questi casi, si usa ricorrere all'utilizzo di un primo manto di supporto, dotato di caratteristiche statiche adeguate alla luce delle travi principali, al quale non si chiedono qualità di resistenza agli agenti atmosferici, demandate al manto finale, ma solo di costituire un supporto per l'arcarecciatura posta ad interassi minori, e quindi non vincolabile direttamente alla struttura principale.

Esempio di "sandwich in opera"



L'interasse tra le file degli arcarecci, come scaturisce dalle considerazioni precedenti, viene generalmente assunto costante su tutta l'orditura, per ovvie ragioni di standardizzazione e semplicità costruttiva.

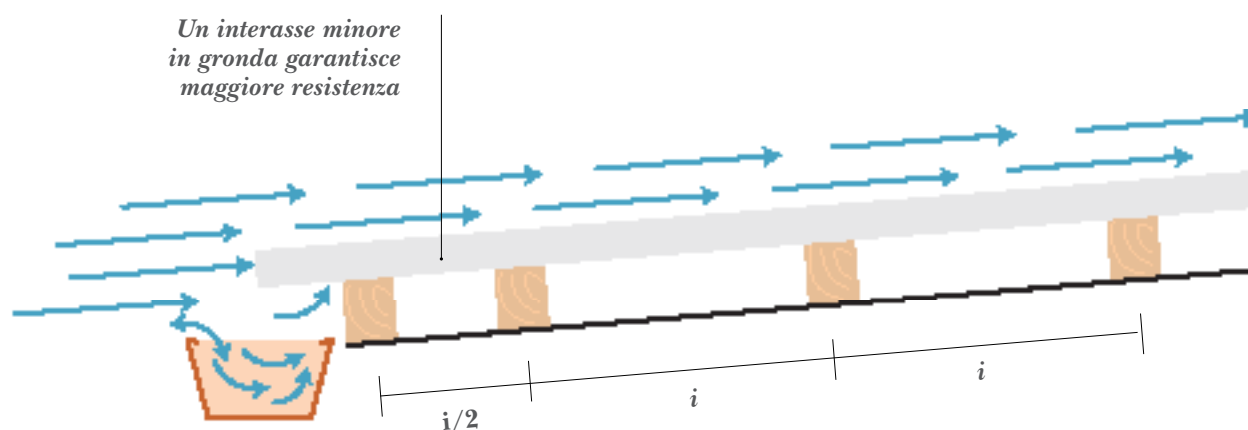
Tuttavia in certi casi, ad esempio quando si prevede che il manto sia soggetto a sollecitazioni di estra-

zione da vento particolarmente severa, si preferisce assegnare alle ultime file, di colmo e di gronda, un interasse minore, in modo da conferire a quelle zone una maggiore resistenza alle sollecitazioni.

In tali zone, infatti, e particolarmente in gronda, l'effetto di suzione del vento può essere esaltato

dalla conformazione del bordo di copertura e della gronda sottostante, che crea vortici nei quali la velocità e quindi la pressione cinetica del vento è

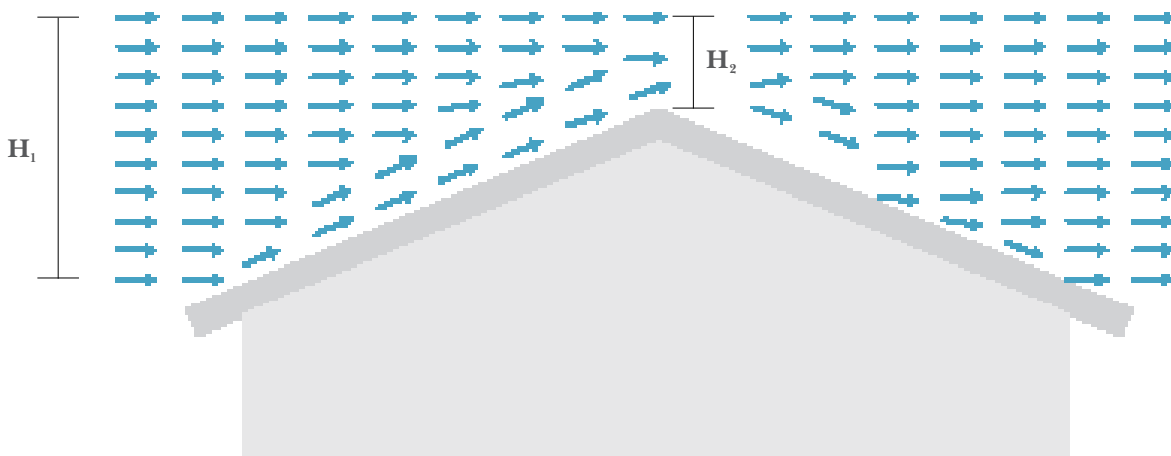
maggiore che altrove, e più elevate sono pertanto le sollecitazioni di estrazione, o strappo, del manto dalla sottostruttura. (Vedi disegno sotto)



Il colmo, d'altro canto, specie in una copertura a doppia pendenza, costituisce il punto più stretto di un ideale tubo di Venturi formato dalle falde in basso, e dalla corrente indisturbata del vento in alto; la dinamica dei fluidi insegna, a questo proposito,

che in tale punto si riscontrano i valori locali più alti di velocità del vento, e, ciò che più conta, i massimi valori di depressione, e di conseguenza, di sollecitazione allo strappo del manto.

Effetto "Venturi"



2.2.2 Regolarizzazione dei piani di falda

La struttura principale dell'edificio è solitamente costituita da elementi di grandi dimensioni e pesi, se viste in relazione alle dimensioni dei componenti un pacchetto di copertura.

Di conseguenza, in condizioni normali, le tolleranze dimensionali, sia di produzione che di montaggio di tali elementi, una volta posti in opera, sono di valore più alto rispetto a quelle normalmente ottenibili per gli elementi del manto. Inoltre, la corretta posa in

opera di un manto metallico richiede di per sé una regolarità dei piani di posa difficilmente riscontrabile, nella media, su strutture edili.

Per questi motivi si può utilizzare un'orditura di arcarecci dotati di una rigidezza sufficiente a compensare le irregolarità locali della struttura.

Nel contempo, anche mediante opportuni spessoramenti, è possibile recuperare una sufficiente planarità del piano di posa.

Regolarizzazione falda mediante orditura lignea



2.2.3 Creazione di pendenza

La possibilità di modificare la giacitura dei piani che individuano le falde mediante l'utilizzo di orditure di arcarecci può essere sfruttata in modo più radicale quando vi sia la necessità di ottenere pendenze diverse da quelle disponibili, ad esempio perché insufficienti o del tutto mancanti.

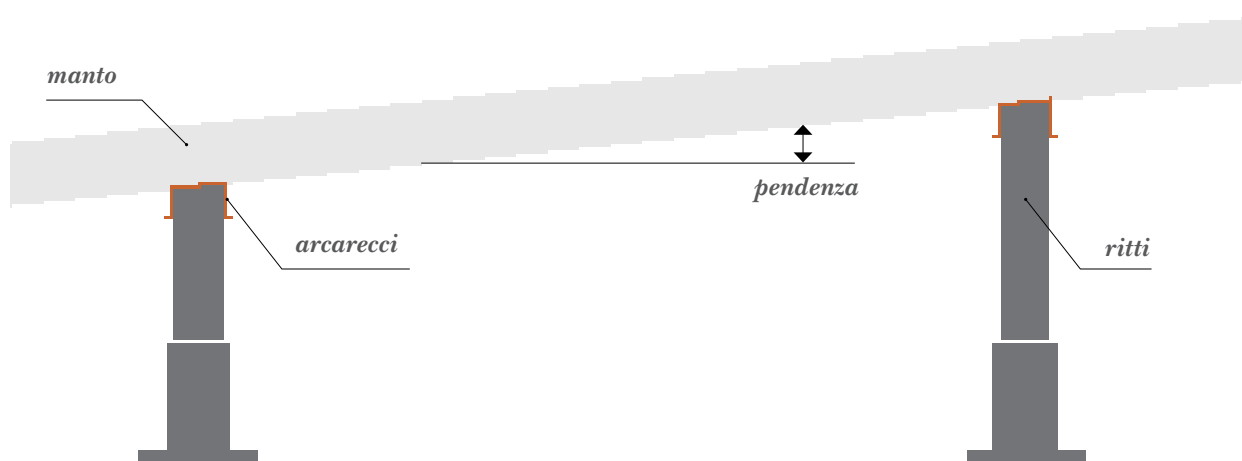
In quest'ultimo caso è possibile parlare di vera e propria creazione di pendenza. Una struttura per la creazione di pendenza è costituita essenzialmente da

due tipi di elementi: l'arcareccio vero e proprio, ed un elemento di supporto a sviluppo verticale, il ritto. Questo elemento deve essere dotato di altezza regolabile e fissabile ad una certa quota; viene poi individuata una maglia di dimensioni pari all'interasse fra gli arcarecci in direzione parallela alla pendenza, e pari alla luce ammissibile di appoggio degli arcarecci in direzione perpendicolare alla pendenza.

I ritzi vengono poi fissati nella parte inferiore alla struttura dell'edificio, ad esempio una soletta in cemento, e la quota di ciascuno regolata in funzio-

ne della pendenza che si intende ottenere. Infine le linee degli arcarecci vengono collegate e fissate ai ritzi per creare il piano di posa del manto.

Sottostruttura mediante ritzi



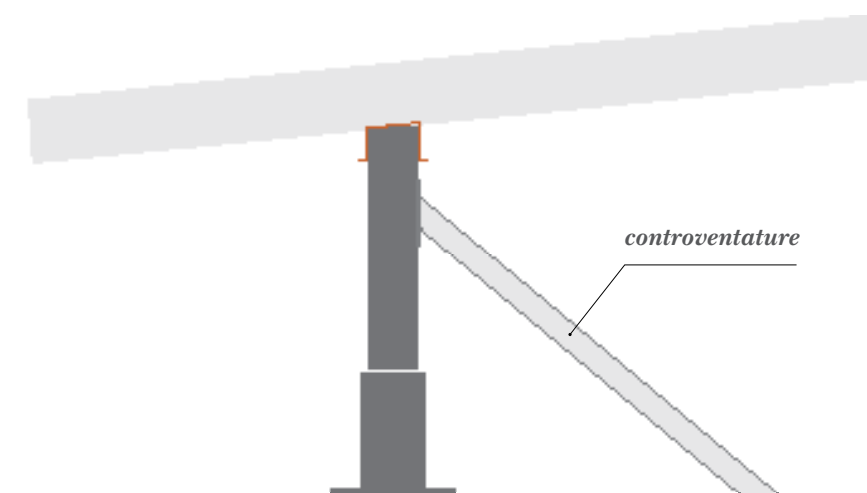
Se le dimensioni della falda che si intende ottenere sono rilevanti, alle pendenze minime consigliate di cui si è già parlato, il dislivello tra la linea di colmo e quella di gronda può diventare rilevante, e con esso l'altezza del rizzo e la sua snellezza.

Ne nascono possibili instabilità, consistenti in potenziali deformazioni secondo piani paralleli al piano di falda o di soletta. In soldoni, i ritzi possono avere la

tendenza a ruotare tutti assieme e nello stesso verso attorno ai rispettivi punti di vincolo alla soletta, provocando la traslazione rigida del piano di falda.

È consigliabile pertanto in questi casi assicurare la rigidità dell'insieme mediante opportune controventature diagonali che colleghino la parte superiore di alcuni ritzi appartenenti alla stessa fila, con la soletta.

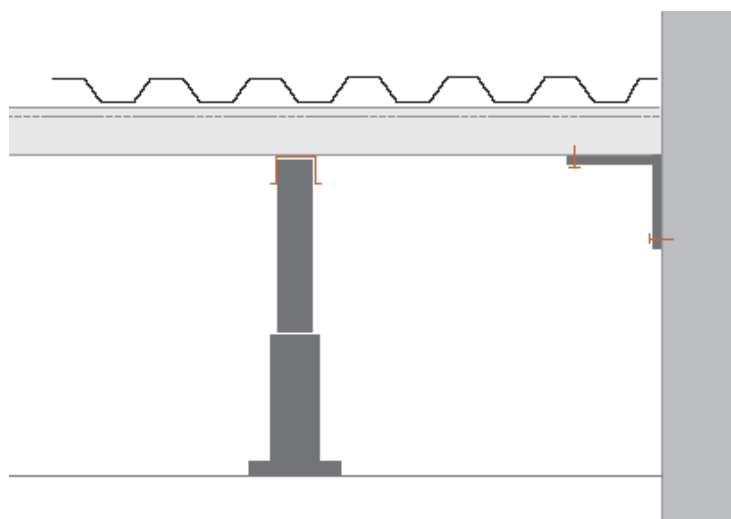
Esempio di controventature diagonali



Quando le parti laterali della falda sono delimitate da pareti o comunque da parti rigide della struttura, è possibile assicurare l'indefornabilità del piano di

falda semplicemente vincolando l'estremità degli arcarecci a tali pareti.

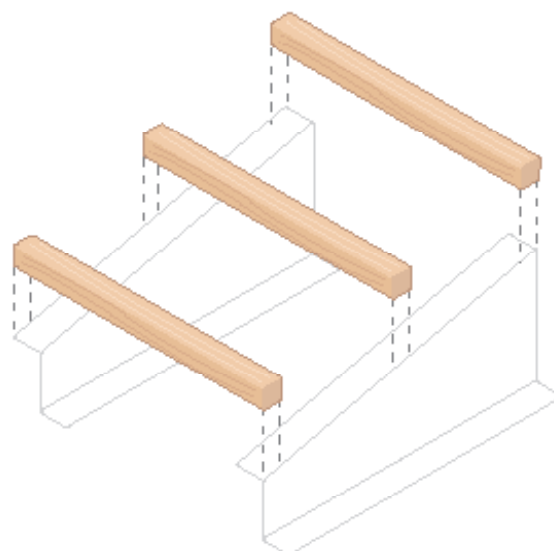
Esempio di arcareccio a parete



In certi casi, quando il piano di soletta è sufficientemente regolare, è possibile sostituire i ritzi con una serie di profili, in genere pressopiegati metallici, sagomati in modo da riprodurre la pendenza da ottenere. Questi profili vengono montati parallela-

mente alla pendenza, e la loro rigidità (in genere sono dotati di nervature di irrigidimento) permette di compensare le inevitabili piccole irregolarità del piano d'appoggio.

Profili pressopiegati per creazione pendenza



2.2.4 Caratteristiche relative al fissaggio

Come si è già avuto occasione di dire, il fissaggio delle lastre del manto avviene per mezzo di viti di vario genere, in funzione del materiale a cui il manto stesso deve essere fissato.

La scelta delle viti come genere di fissaggio permette di disporre, rispetto ad altre tipologie, di alcune caratteristiche importanti:

- La prima consiste nella possibilità di regolazione della coppia di serraggio; questo permette di dare al fissaggio la pressione corretta, sia per evitare la possibilità di deformazione o ammaccatura del profilo, sia, di contro, per dare alla guarnizione di tenuta la forza di contatto e di adesione necessaria e sufficiente allo svolgimento della sua funzione. Tutto ciò è subordinato, beninteso, alla disponibilità di attrezzature a coppia di serraggio regolabile, e, soprattutto, alla consapevolezza dell'operatore.
- La seconda consiste nella possibilità di raggiungere facilmente una densità di fissaggio elevata; questo è indispensabile, avendo a che fare con elementi metallici di spessore molto limitato e comunque inferiore al millimetro, e particolarmente in determinate condizioni, come ai bordi del manto, e per profili con elevato numero di onde o greche.
- La terza risiede nella facilità di un eventuale smontaggio, in genere parziale, del manto trattenuto dalle viti; questa eventualità si può presentare in occasione di modifiche locali, come ad esempio l'inserimento o la sostituzione di corpi emergenti, o la sostituzione di lastre danneggiate da eventi atmosferici di forte severità, od anche per la sostituzione di parte delle viti stesse qualora l'invecchiamento e l'azione delle radiazioni UV abbiano compromesso la tenuta delle guarnizioni. La possibilità di ottenere tramite le viti una maglia di fissaggio ad alta densità permette di limitare le dimensioni delle singole viti, in particolare del loro diametro di gambo.

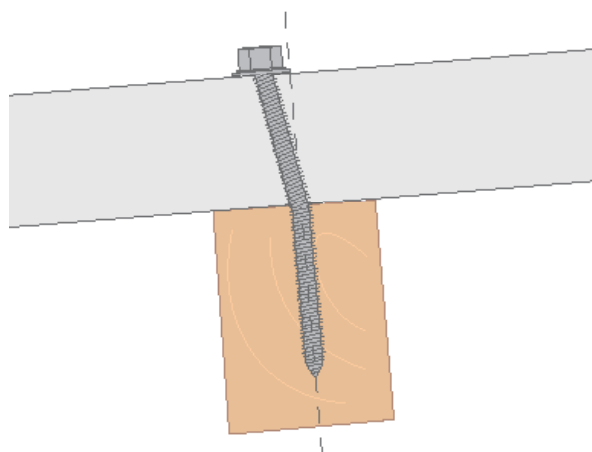
Ciò permette di poter contare su una certa deformabilità, o flessibilità, del gambo della vite, quando questo è sottoposto a sollecitazioni di taglio da parte della lastra grecata/ondulata, a sua volta soggetta all'effetto delle dilatazioni termiche. Questa deformabilità, conseguente al momento flettente impresso sotto la testa della vite, permette di diminuire gli sforzi di taglio locali a carico della lastra, alleggerendo le sollecitazioni di rifollamento (od ovalizzazione) del foro per la vite, e migliorando in generale la risposta alla dilatazione termica dell'insieme.

L'effetto è avvertibile specialmente quando l'accoppiamento fra vite ed arcareccio presenta un certo grado di flessibilità, come nel caso degli arcarecci in legno, a causa della maggiore deformabilità di tale materiale, mentre è meno evidente nel caso di arcarecci metallici, per la loro maggiore rigidità.

(Vedi disegno sotto).

Per un approfondimento sulle caratteristiche tecnologiche e sulle modalità di utilizzo delle viti, si rimanda al capitolo specifico.

Flessibilità del gambo della vite



2.2.5 Contenimento dello strato di coibentazione

Fra le parti componenti un pacchetto di copertura, uno dei ruoli essenziali è ricoperto dallo strato o dagli strati che provvedono all'isolamento termico, del quale si parlerà meglio al capitolo dedicato. Tra i prodotti utilizzati per realizzare questo strato, ve ne sono molti costituiti da materiale non in grado di resistere alla compressione meccanica.

Questi prodotti, che possono assumere forma di pannelli o materassini di varie dimensioni, non possono quindi essere semplicemente interposti tra il manto di tenuta idraulica e la sottostante struttura dell'edificio, perché, oltre a provocare grosse difficoltà tecnologiche alla realizzazione del pacchetto,

non sarebbero in grado di resistere ai carichi imposti al manto senza essere schiacciati, perdendo, assieme al proprio spessore naturale, gran parte della loro capacità di isolamento termico, oltre a compromettere verosimilmente l'integrità e funzionalità strutturale del pacchetto.

L'orditura di arcarecci che costituiscono la sottostruttura viene quindi utilizzata, in questi casi, anche per creare le opportune sedi nelle quali alloggiare il materassino o i pannelli di coibentazione. Queste sedi saranno infatti costituite dal piano sul quale sono posati gli arcarecci, e dai fianchi interni degli stessi.

Interposizione coibente tra l'arcarecciatura

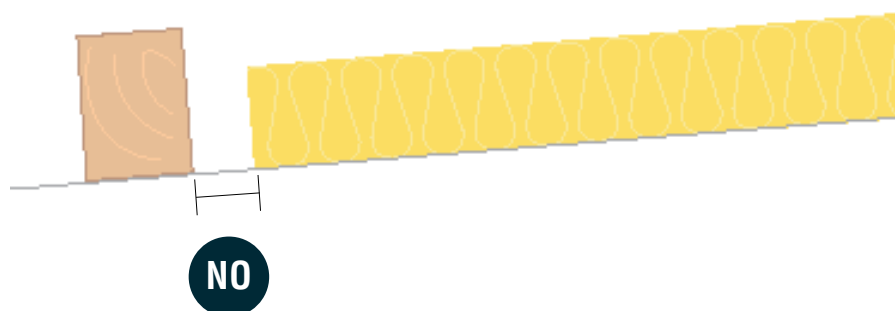


Questa tipologia di posa della coibentazione, di fatto molto comune, richiede, per una buona esecuzione, almeno due attenzioni principali:

- La luce interna fra due arcarecci consecutivi e la larghezza commerciale del materassino o del pannello devono essere poste in accordo in modo

tale che non vi siano giochi o fughe laterali all'arcareccio suscettibili di creare discontinuità nella resistenza termica del pacchetto (ponti termici), a loro volta fonte di probabili fenomeni di condensa, prima ancora che di un generale peggioramento delle prestazioni termiche del pacchetto.

Ponte termico



La situazione ideale, in casi simili, prevede, quando il prodotto di coibentazione sia dotato della necessaria deformabilità, che lo stesso venga posto in opera leggermente forzato nella luce tra gli arcarecci, in modo da scongiurare il rischio precedentemente esposto, mettendosi anche al riparo rispetto a prevedibili, in quanto umani, errori di posa.

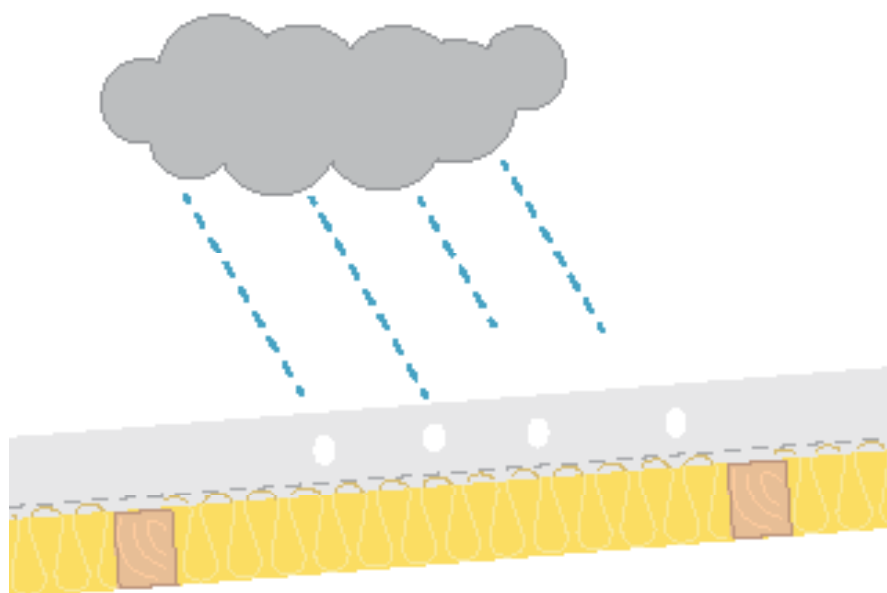
- La seconda attenzione, apparentemente ovvia, consiste nel considerare il rapporto tra l'altezza del materassino o pannello coibente, e l'altezza degli arcarecci adiacenti.

La necessità o l'opportunità di creare uno spazio destinato alla ventilazione sottomanto (della quale si parlerà nel capitolo dedicato), porterà a scegliere un arcareccio di altezza pari almeno alla somma dell'altezza del materassino e dell'intercapedine di ventilazione, e ciò a prescindere da precedenti valutazioni in ordine alle necessarie caratteristiche strutturali arcareccio stesso.

D'altro canto, quando si opti per un pacchetto di copertura privo di intercapedine di ventilazione, per motivi legati ad esempio alla scarsa pendenza o alla tipologia dell'edificio, si potrebbe invece ritenere opportuno utilizzare l'intero spazio tra gli arcarecci per alloggiare l'elemento coibente.

Questa scelta potrebbe anche essere legata, nel caso specifico dei manti metallici, alla possibilità di diminuire il livello di rumore prodotto dal manto metallico in condizioni di forte pioggia o grandine. Infatti, uno strato coibente deformabile di spessore leggermente superiore all'altezza degli arcarecci è in grado, una volta compresso superiormente dalla lastra del manto, di togliere gran parte dell'effetto di risonanza prodotto dall'impatto della pioggia o della grandine, abbattendone sostanzialmente le frequenze più alte, e funzionando così da ammortizzatore acustico.

Compressione isolante al di sotto del manto di copertura



Questa possibilità, piuttosto utile quando si abbia a che fare con edifici per il cui utilizzo sia indispensabile contenere i livelli acustici all'interno, va utilizzata con precauzione, dopo avere accertato che il contatto diretto tra la parte inferiore della lastra metallica

e la superficie superiore dello strato coibente non porti a conseguenze negative sul piano della migrazione all'interno del pacchetto di acqua di condensa, che si forma pressoché inevitabilmente, in quantità variabili a seconda della stagione e della situazione

climatica, alle nostre latitudini, sulla superficie inferiore della lastra metallica, per effetto dell'irraggiamento notturno. Va anche detto che questa specifica problematica acustica è tipica di edifici nei quali la struttura principale della copertura sia discontinua

e caratterizzata da modesta massa specifica, (come le strutture in acciaio o legno) mentre in altri casi, ad esempio per una soletta in cemento di discreto spessore, il problema può essere praticamente inavvertibile.

2.2.6 Creazione della camera di ventilazione

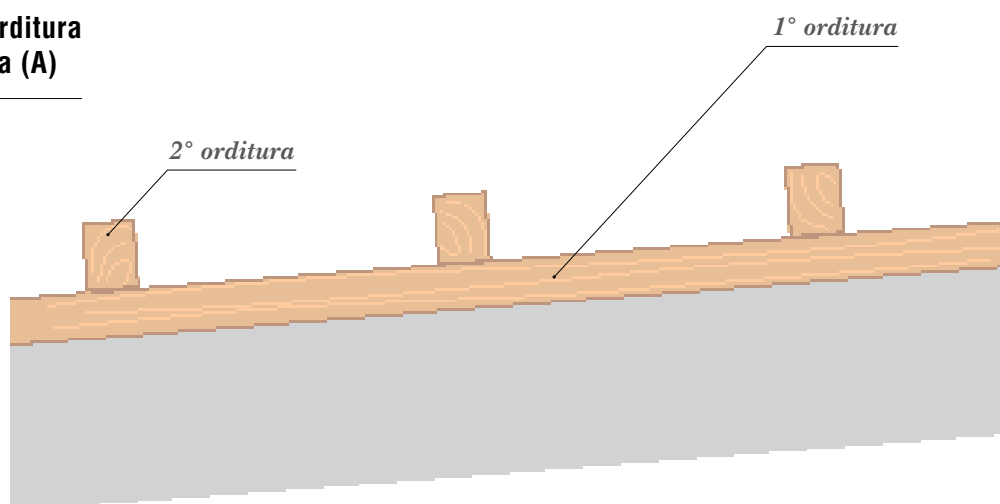
Per i motivi che verranno esaminati al capitolo apposito, è spesso consigliabile e benefico ai fini del bilancio termico dell'edificio prevedere una ventilazione sottomanto. Per ottenere questa ventilazione in modo adeguato e corretto è indispensabile poter contare su una camera, o strato, al di sotto del manto, esteso per tutta la falda, e dotato di alcune caratteristiche indispensabili:

- La prima consiste nella possibilità di avere un passaggio dell'aria nella direzione contraria alla pendenza, cioè da gronda a colmo, il più possibile privo di impedimenti e ostacoli;
- In secondo luogo, la camera d'aria dovrebbe avere sezione di passaggio costante e di entità sufficiente, in funzione di parametri quali la pendenza, la lunghezza della falda, la rugosità delle superfici che circondano la camera d'aria.

Queste esigenze possono essere soddisfatte utilizzando opportunamente le possibilità offerte dalla struttura secondaria.

Il modo più classico consiste nell'adottare una doppia orditura incrociata di arcarecci; la più esterna, che sorregge direttamente il manto, è ovviamente trasversale alla pendenza, all'interasse richiesto dal prodotto di copertura utilizzato ed alle condizioni di carico richieste nel caso specifico; la più interna, sulla quale è fissata la precedente, è a sua volta collegata alla struttura dell'edificio, ed è posta in senso ortogonale alla prima, ovvero parallelamente alla pendenza.

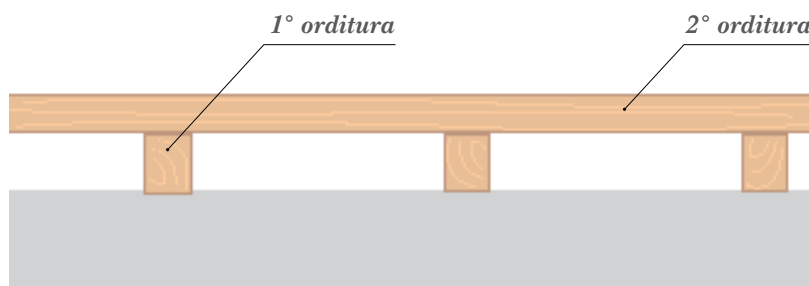
Doppia orditura incrociata (A)



Questa orditura forma pertanto una serie di "canali" paralleli alla pendenza che costituiscono le camere

d'aria, non interrotte e di sezione costante, necessarie alla ventilazione.

Doppia orditura incrociata (B)



Molto spesso questi vani servono anche ad alloggiare lo strato di isolamento termico; in questo caso, naturalmente, l'altezza degli arcarecci della prima orditura deve essere scelta pari alla somma dello spessore di coibentazione e dello spessore della camera d'aria di ventilazione.

Una carenza insita in questo genere di soluzione consiste nel fatto che, in realtà, lo strato di ventilazione non è direttamente aderente all'intradosso del manto, ma ne è separato dalla seconda orditura.

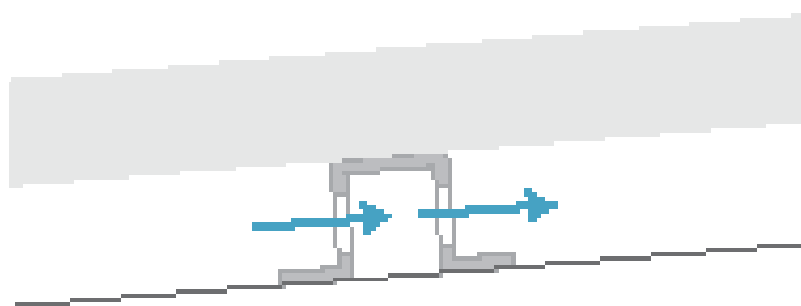
Questo diminuisce, a parità di altri fattori, l'efficacia della ventilazione stessa, in quanto la superficie inferiore del manto, essendo il metallo ottimo conduttore di calore, assume temperature elevate quando sottoposta all'irraggiamento solare. Questo

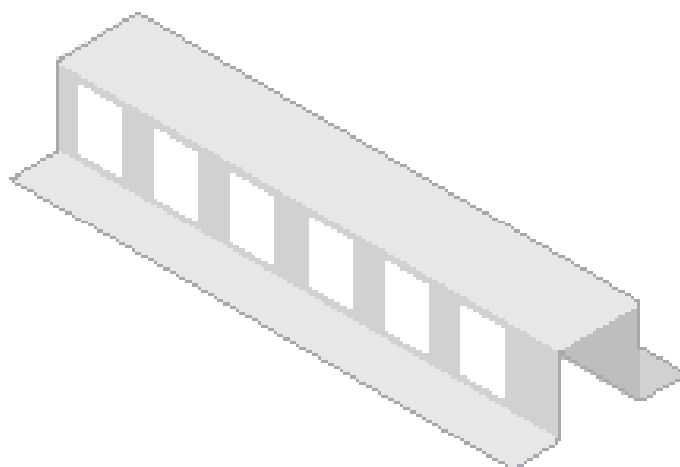
calore, trasmesso all'intercapedine d'aria sottostante, aumenta l'effetto di convezione che sta alla base della ventilazione.

È ovvio quindi che, essendo in questo caso l'intercapedine d'aria non immediatamente adiacente al manto metallico, la trasmissione di calore ed il conseguente effetto convettivo ne sono relativamente smorzati.

In alcuni casi, per ovviare a questo inconveniente, semplificando nel contempo la costruzione del pacchetto, sono stati resi disponibili particolari arcarecci metallici, in genere in acciaio zincato, predisposti con una griglia di aperture su entrambi i fianchi, in modo da consentire il passaggio dell'aria di ventilazione pur essendo posti trasversalmente alla pendenza.

Arcarecciatura metallica forata (A)





Arcarecciatura metallica forata (B)

L'efficacia di questa soluzione dipende naturalmente dalla effettiva sezione di passaggio dell'aria rispetto all'altezza dell'arcareccio, ed inoltre vincolante rispetto ad una specifica tipologia di arcareccio, mediamente più costosa.

Bisogna inoltre tenere presente che la trasmissione del calore per conduzione viene esaltata dalla pre-

senza dei setti che separano le aperture di passaggio dell'aria, in quanto le sezioni di collegamento sottili tendono a costituire un ponte termico più accentuato, e di conseguenza l'utilizzo di queste soluzioni presuppone un'attenta considerazione nei confronti del taglio termico tra lastre ed arcarecci.

2.2.7 Elemento di taglio termico

Il manto, essendo costituito da una lamina metallica di basso spessore, e quindi di basso peso per unità di superficie, è caratterizzato da elevata conducibilità e scarsa capacità termica, e pertanto è soggetto a rapide e notevoli variazioni di temperatura in funzione delle variazioni climatiche locali.

Passando ad un esempio riferito alle nostre latitudini, in condizioni climatiche invernali, il manto, a meno di un prolungato irraggiamento solare, assume senz'altro la temperatura dell'ambiente esterno, che ipotizziamo di qualche grado superiore allo zero. D'altro canto, all'interno dell'edificio, che supponiamo riscaldato, la temperatura può essere stimata intorno ai diciotto gradi, e l'umidità relativa intorno al settanta per cento.

Con questi valori termoigrometrici, del tutto usuali, è facile verificare, utilizzando il diagramma dell'aria umida riportato (*Vedi diagramma della pag. successiva*), partendo dal punto d'incrocio della temperatura di 18 °C con la curva ad umidità relativa del settanta per cento (**punto 01**), e scendendo in verticale, ovvero a contenuto di vapore costante, fino ad incontrare la curva di saturazione, ad umidità relativa 100%, che la temperatura alla quale il vapore acqueo contenuto all'interno dell'edificio inizia a condensare e trasformarsi in acqua è pari a 12,3 °C (**punto 02**).

Diagramma di Mollier

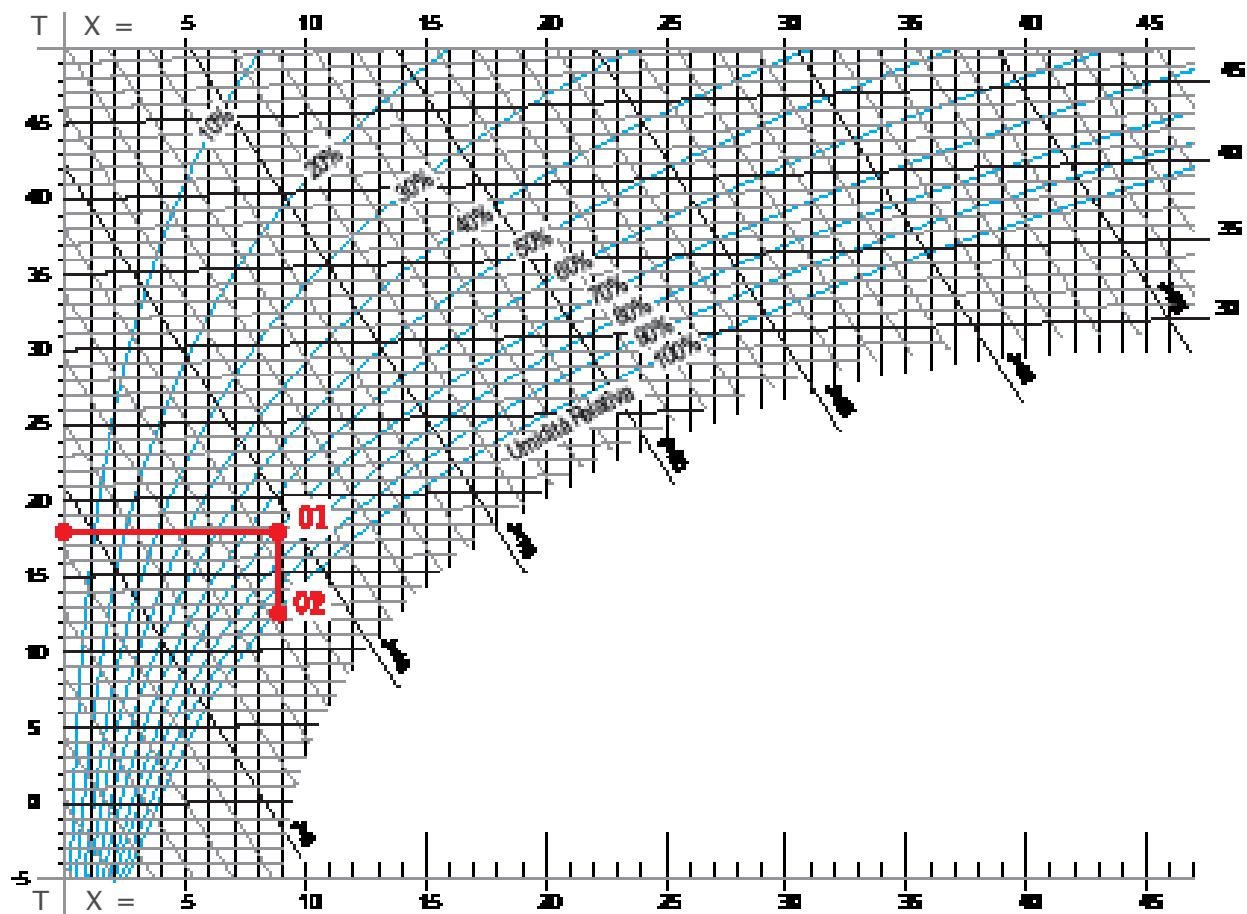
T = Temperatura dell'aria in °C

V = Volume di 1 kg di aria secca + X g di vapore in m

X = Contenuto di vapore in g per 1 kg di aria secca

J = Calore totale in 1 kg di aria secca + X g di vapore

$J = 0,2375 T + X (0,595 + 0,00046 T)$



Ciò significa che qualunque parte dell'edificio che raggiunga o scenda sotto questa temperatura provocherà la formazione di condensa sulla propria superficie.

La cosa è già di per sé non augurabile, ma diventa nefasta quando la superficie in questione appartiene alla struttura o al solaio di copertura, in quanto, come si può facilmente immaginare, il vapore acqueo, dopo essersi trasformato in acqua per condensazione sulla superficie fredda, obbedisce

alla legge di gravità e ricade gocciolando, in genere sul macchinario più costoso e delicato dell'Azienda che occupa l'edificio, oppure direttamente sulla scrivania del Direttore Generale.

Per scongiurare questi incresciosi incidenti, è quindi indispensabile impedire che la temperatura del manto esterno si propaghi a qualunque elemento interno.

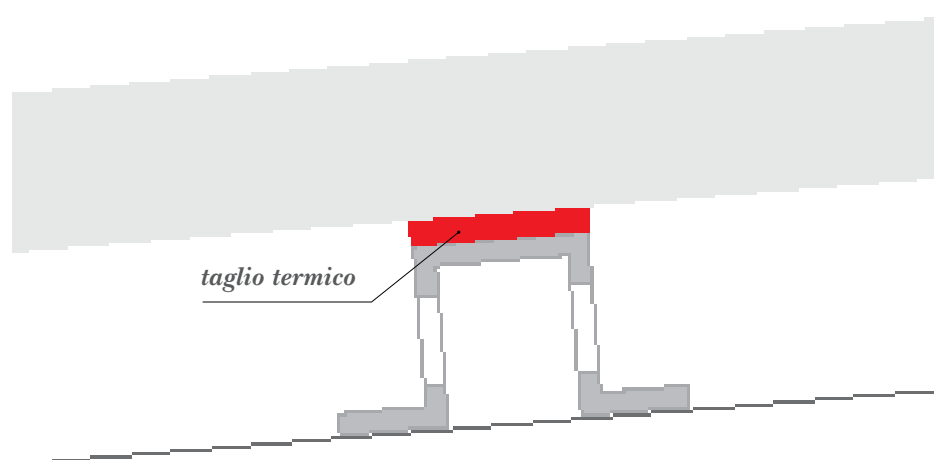
Per questo, tuttavia, non è sufficiente contare sullo strato di coibentazione termica, ma è necessario

verificare gli elementi di collegamento il manto ed il resto dell'edificio, costituiti appunto dall'orditura di arcarecci.

Questi devono possedere doti di bassa conducibilità termica, in modo da bloccare la trasmissione del calore per contatto diretto. L'utilizzo di travetti o listelli in legno soddisfa pienamente questo requisito, mentre la presenza di profili metallici, in

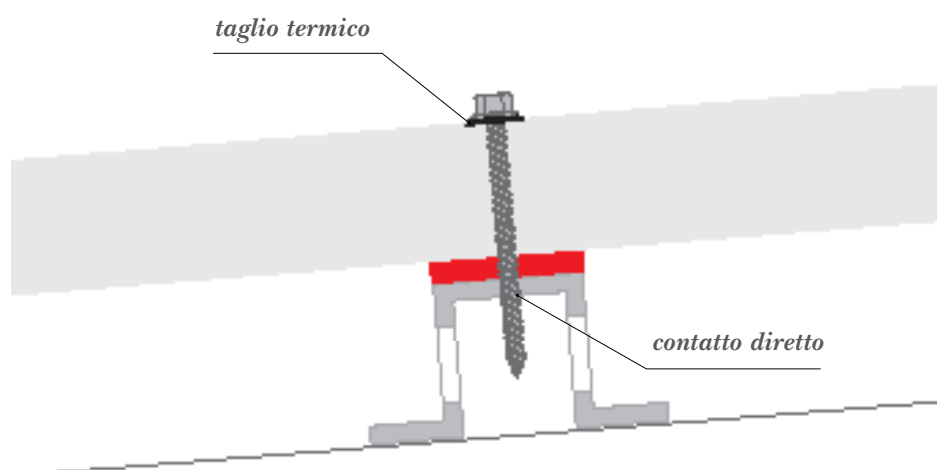
acciaio o alluminio, impone l'adozione di elementi che separino il metallo del manto da quello degli arcarecci, detti appunto di "taglio termico".

Questi elementi sono di solito costituiti da strisce in materiale plastico interposte tra la superficie superiore dell'arcareccio e l'intradosso della lastra di manto.



Naturalmente, è bene in questi casi sincerarsi che l'altro elemento di collegamento tra lastra ed arcareccio, ossia la vite di fissaggio, che è per forza di cose direttamente collegata all'arcareccio in quanto

avvitata, sia sempre separata dalla lastra per mezzo della propria guarnizione. Quest'ultima quindi assume, oltre al compito di tenuta idraulica, anche la valenza di elemento di separazione termico.

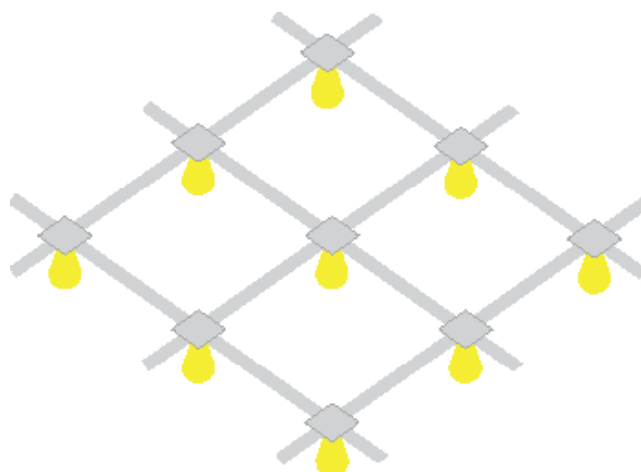


2.2.8 Elemento di taglio elettrico (gabbia di Faraday)

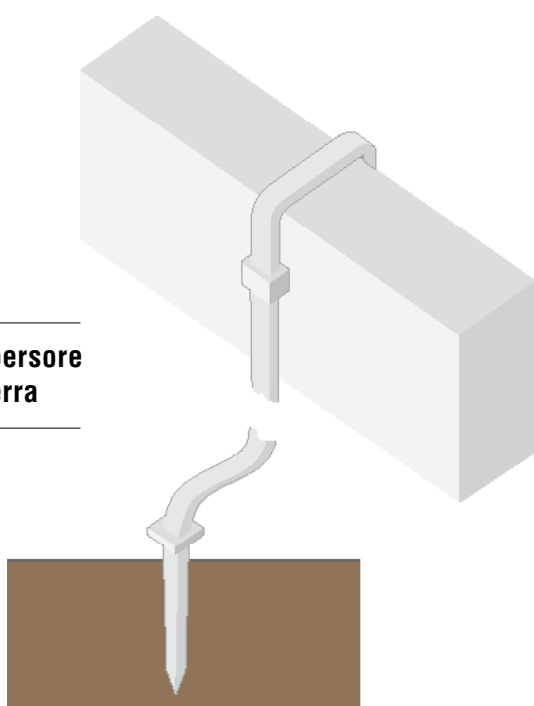
In base alla vigente normativa, CEI EN 62305-2 CEI EN IEC 62858, gli edifici possono essere verificati rispetto alla probabilità di attrazione di scariche atmosferiche (fulmini), in funzione delle loro dimensioni, dell'altezza propria e rispetto agli edifici o all'ambiente circostante. In base a questa verifica, può dimostrarsi necessaria l'adozione di un impianto

di equipotenzialità, o gabbia di Faraday, collegato elettricamente a terra. Questo impianto è in genere costituito da una maglia di conduttori, generalmente bandelle piatte in acciaio zincato, collegati tra di loro in modo da formare un reticolo avente il passo determinato dal dimensionamento che consegue alla verifica anzidetta.

Esemplificazione gabbia di Faraday

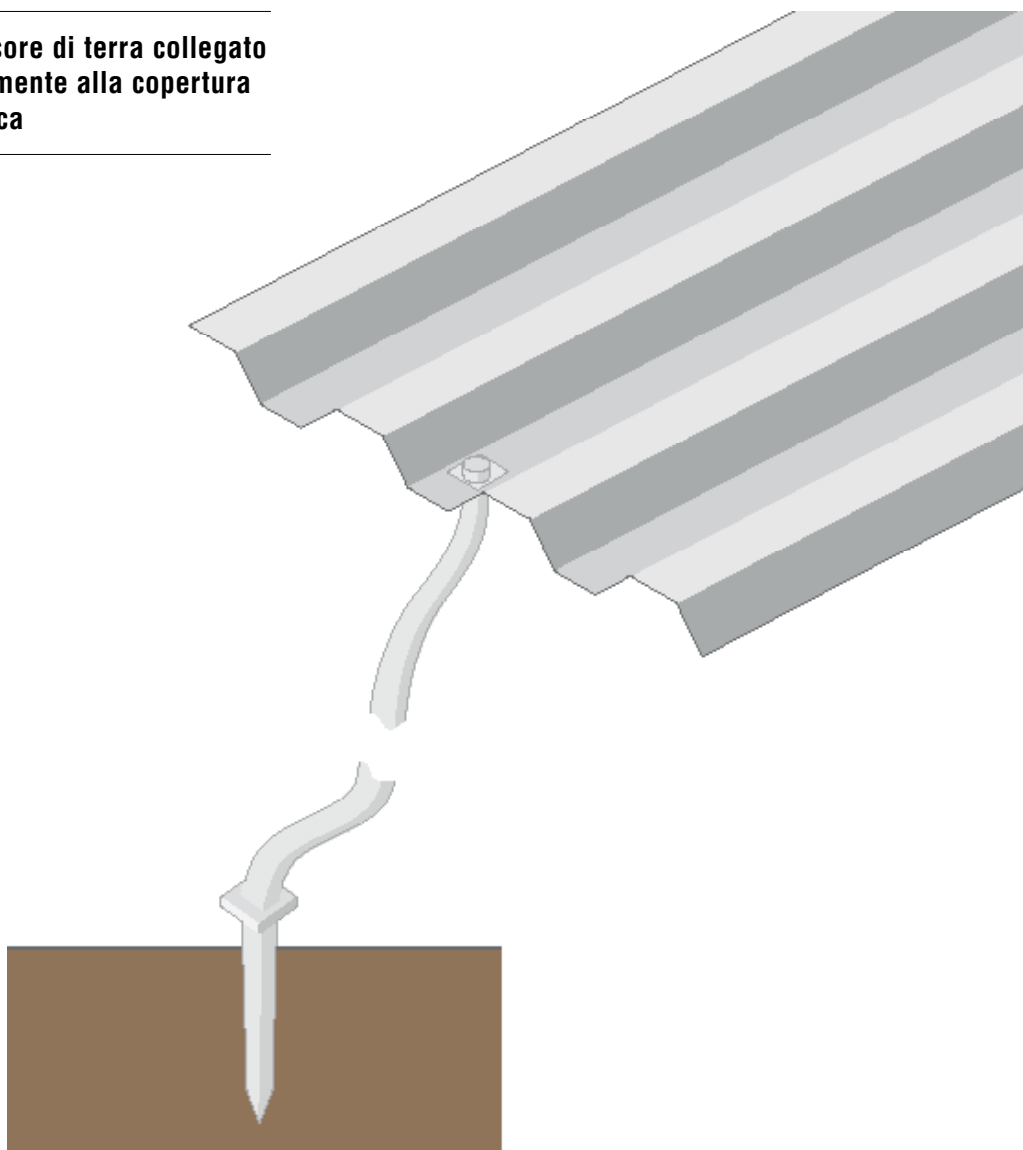


Dispersore di terra



Il reticolo è infine collegato in diversi punti alle calate, realizzate di solito con lo stesso piatto in acciaio o con cavo a treccia in acciaio o rame, che sono a loro volta collegate ai dispersori (in gergo "puntazze"), infissi nel suolo, in modo che non vi sia differenza di potenziale elettrico tra la maglia (e l'edificio sottostante) ed il terreno.

**Dispensore di terra collegato
direttamente alla copertura
metallica**



I manti di copertura metallici possono, se dotati delle caratteristiche sufficienti, come ad esempio uno spessore delle lastre non inferiore a 0,7 millimetri, sostituire totalmente la maglia dell'impianto di equipotenzialità, ed essere quindi direttamente collegati alle calate ed ai dispersori. *(Vedi figura sopra)*

Per ottenere l'effetto di equipotenzialità voluto, tuttavia, è necessario che il manto, collegato alle calate, sia invece isolato elettricamente rispetto all'edificio.

Anche in questo caso, come nel precedente, la condizione è automaticamente soddisfatta quando vengano utilizzati arcarecci in legno, mentre, per le orditure metalliche, in acciaio o in alluminio, è indispensabile interporre tra il manto e l'arcareccio un elemento, in materiale plastico o comunque elettricamente isolante, per ottenere il medesimo risultato.

2.3 Caratteristiche di controllo igrotermico: la barriera al vapore

2.3.1 Vapore acqueo negli edifici

L'acqua è uno dei nomi di un composto la cui molecola è chimicamente formata da due atomi di idrogeno ed uno di ossigeno, che può esistere nei tre stati di aggregazione, o fasi, della materia, solido, liquido e aeriforme.

LA FASE SOLIDA

È chiamata ghiaccio, e si forma dall'acqua, a pressione atmosferica, a partire e al di sotto di zero gradi centigradi.

LA FASE LIQUIDA

È quella chiamata propriamente acqua, ed esiste spontaneamente, a pressione atmosferica, nell'intervallo tra zero e cento gradi centigradi.

LA FASE AERIFORME

Si chiama vapore acqueo, e si forma dall'acqua, a pressione atmosferica, a partire e al di sopra di cento gradi centigradi.

Vale la pena di precisare un concetto:

Il vapore acqueo è un gas invisibile e mescolato all'aria, mentre l'acqua è un liquido che, oltre ad essere ben visibile, è anche soggetto alla legge di gravità, e quindi, dovunque si trovi, cade e gocciola ben volentieri verso il basso.

Quindi, per fare un esempio pur banale, ciò che vediamo al di sopra di una pentola d'acqua che bolle non è vapore acqueo, che è invisibile, ma acqua condensata in eccesso sotto forma di goccioline abbastanza piccole da essere trascinate verso l'alto dalla forza ascensionale del vapore prima di ricadere o aderire a superficie più fredde circostanti.

Il vapore acqueo, tuttavia, può esistere e di fatto esiste, anche a temperature ben inferiori ai cento Gradi Centigradi, nell'atmosfera, dove è presente e distribuito tra i gas che la formano, in piccola quantità.

In una determinata massa di aria, a determinate condizioni di temperatura e di pressione, può esistere, rimanendo sotto forma di gas, solo una certa quantità massima di vapore acqueo.

Ad esempio, in un chilogrammo di aria alla pressione di 1 bar ed alla temperatura di 20 °C può esistere, in forma gassosa, un massimo di circa 14,7 grammi di vapore acqueo. Questa quantità massima corrisponde alle condizioni di saturazione della massa d'aria, superate le quali, a quelle condizioni di temperatura e di pressione, avviene la condensazione, ovvero la trasformazione in acqua del vapore acqueo eccedente la quantità massima.

La quantità di vapore acqueo presente in una certa massa d'aria, espressa di solito in grammi d'acqua per chilogrammo d'aria, viene chiamata "**Umidità assoluta**".

Esiste poi un secondo parametro per misurare la quantità di vapore acqueo presente in una certa massa di aria: prendendo come riferimento la quantità massima possibile in quelle condizioni di temperatura e di pressione, cioè la quantità corrispondente alla saturazione, si esprime la quantità di vapore effettivamente presente come percentuale della massima, ottenendo un parametro definito "**Umidità Relativa (U.R.)**".

Ne consegue quindi che le condizioni di saturazione corrispondono ad un'Umidità Relativa del 100%, mentre un'Umidità Relativa, poniamo, del 75% sta a significare che in quella massa d'aria è presente una quantità di vapore acqueo pari al 75% della massima, di saturazione.

2.3.2 Condensazione

Se la quantità di vapore acqueo, in grammi, per qualunque motivo supera la quantità massima in quelle determinate condizioni di temperatura e pressione, la parte eccedente si trasforma spontaneamente in liquido, cioè in acqua, dando luogo al fenomeno della condensazione.

Esiste però un'ulteriore causa di condensazione del vapore in acqua. Abbiamo infatti precisato che, in una certa massa di aria, esiste una quantità massima di vapore acqueo, ma in determinate condizioni di temperatura e di pressione.

Infatti, se a parità di ogni altro fattore, si aumenta la temperatura della massa d'aria, la quantità massima di vapore acqueo che quell'aria può contenere aumenta, mentre diminuisce in caso contrario, cioè se si diminuisce la pressione del volume di aria.

Di contro, se a parità di ogni altro fattore, si aumenta la pressione della massa d'aria, la quantità massima di vapore acqueo che quell'aria può contenere diminuisce, mentre aumenta in caso contrario, cioè se si diminuisce la pressione del volume di aria.

Ciò che accade nel secondo caso non riveste, ai nostri fini, soverchia importanza, poiché le variazioni della pressione atmosferica inseguite a mutamenti climatici sono percentualmente modeste.

Sono invece macroscopiche le conseguenze di una variazione di temperatura di una certa massa d'aria, rispetto a ciò che accade al vapore acqueo che quell'aria contiene.

È il caso, per maggiore chiarezza, di passare ad un esempio, basato su valori normalmente riscontrabili nella quotidianità, ed utilizzando il diagramma riportato.



Diagramma di Mollier

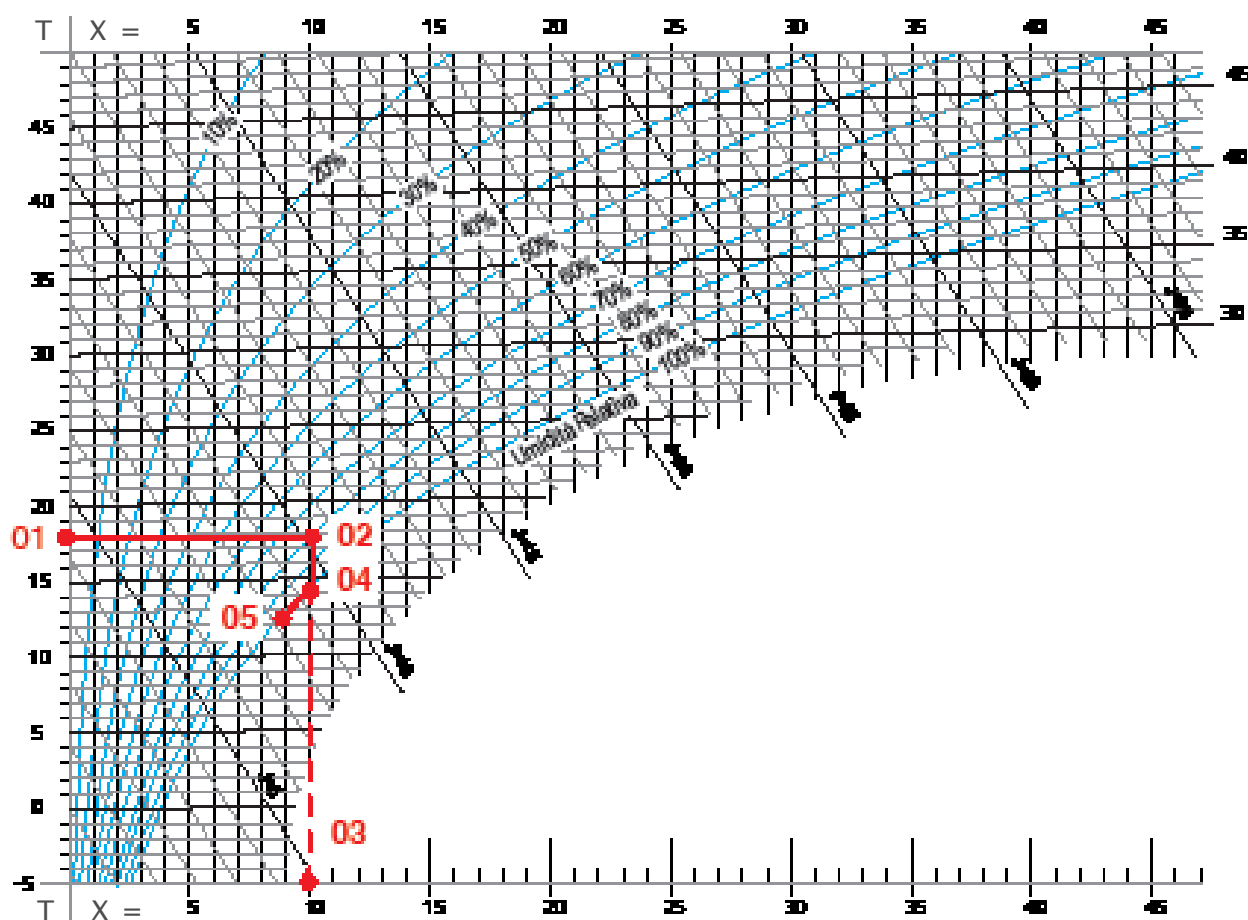
T = Temperatura dell'aria in °C

V = Volume di 1 kg di aria secca + X g di vapore in m

X = Contenuto di vapore in g per 1 kg di aria secca

J = Calore totale in 1 kg di aria secca + X g di vapore

$J = 0,2375 T + X (0,595 + 0,00046 T)$



IL DIAGRAMMA È COSÌ STRUTTURATO:

Sull'asse delle ascisse il contenuto di vapore X in grammi per kg di aria secca

Sull'asse delle ordinate la temperatura T in gradi centigradi

Una serie di curve che definiscono punti ad Umidità Relativa costante

(la più bassa delle curve, corrispondente ad U.R.=100%, è la curva di saturazione)

Una serie di rette che definiscono il calore totale in un kg di aria secca (che non useremo).

Supponiamo che, nella stagione invernale, le condizioni termoigrometriche di una determinata località siano le seguenti:

Temperatura: + 5 °C
Umidità relativa (U.R.): 70 %

All'interno di un edificio posto in quella località, le condizioni saranno:

Temperatura: + 18 °C
Umidità relativa (U.R.): 80%

(la pressione verrà posta invariata)

Partendo dall'asse delle ordinate (**punto 01**), in corrispondenza dei 18 °C, spostiamoci orizzontalmente (a temperatura costante) fino ad incontrare la curva della U.R. 80%.

Quel punto sul diagramma (**punto 02**) individua le condizioni interne dell'edificio.

Dal **punto 02** spostiamoci verticalmente (a contenuto di vapore costante), fino ad incontrare l'asse delle ascisse, dove possiamo valutare la quantità effettiva di vapore contenuto in un kg dell'aria (secca) all'interno dell'edificio (**punto 03**), pari, nel nostro caso, a circa 10,2 grammi.

Supponiamo ora che, anche localmente e non in tutto l'edificio, la temperatura divenga inferiore; un esempio tipico di questa eventualità consiste nella presenza di una superficie fredda, perché dotata di un grado di isolamento termico inferiore al resto

dell'edificio, o perché in diretto contatto con un elemento esterno.

Poniamo che questa superficie si trovi a 12 °C.

L'aria adiacente a questa superficie, non essendo diversa dalla rimanente, ne conserva le caratteristiche fisiche già individuate, ovvero contiene 10,2 grammi di vapore acqueo per kg, però assume per conduzione (contatto diretto) e per convezione una temperatura simile a quella della parete fredda, diciamo 13 °C.

A questo punto accade che in quell'aria raffreddata a contenuto di vapore costante, il parametro Umidità Relativa cambia, aumentando.

Infatti, partendo dal **punto 02**, e spostandoci in verticale, cioè a parità di contenuto in vapore, seguiamo la diminuzione di temperatura verso i 13 °C, raggiungendo il **punto 04**, situato sulla curva di U.R. del 100%, e corrispondente ad una temperatura di circa 14 °C.

Da questo punto in avanti inizia la condensazione di una parte del vapore contenuto nell'aria, per cui questa, restando in condizioni di U.R. del 100%, e seguendo quindi la curva di saturazione, raggiunge alla fine la temperatura di 13 °C nel **punto 05**, con un contenuto di vapore pari a circa 9,3 grammi per kg di aria secca.

Assistiamo quindi, all'interno dell'edificio, alla comparsa di fenomeni di condensazione.

2.3.3 Barriera al vapore e Freno al vapore

Se il fenomeno della condensazione può essere sgradevole quando accade su parte delle pareti, come sulle facce interne delle vetrate dei serramenti, dando luogo a gocciolamenti sui bancali, diventa, come si può immaginare, inaccettabile quando avviene sul solaio di copertura.

Questo può accadere anche se, apparentemente, non vi sono superficie fredde a diretto contatto con l'aria presente all'interno dell'edificio.

Infatti, in un edificio riscaldato, l'aria tende innanzitutto a stratificarsi per temperatura crescente verso l'alto, in funzione della minore densità dell'aria più calda.

A ciò si aggiunge spesso la presenza di moti convettivi, dovuti alla presenza di ventilazione interna.

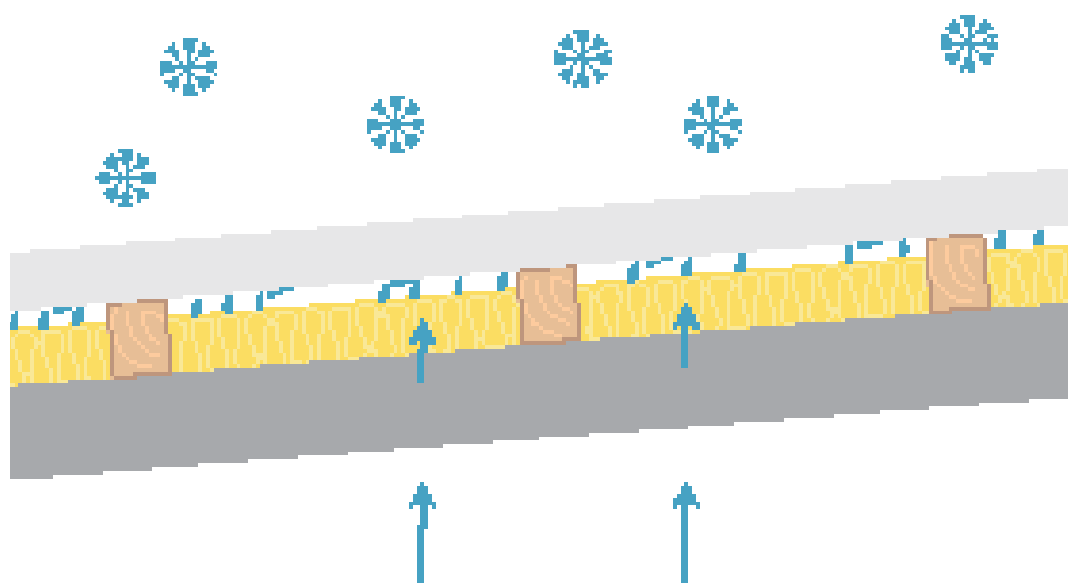
Come risultato, l'aria riscaldata e umida, salendo attraverso il solaio, attraversa gli strati che compongono il pacchetto di copertura fino a giungere a

contatto con i più esterni, ed infine col più esterno, il manto metallico.

Lungo questa migrazione verso l'alto, l'aria, a contatto con superficie sempre più fredde, si raffredda a sua volta, pur mantenendo il proprio contenuto di vapore. Si ripete così il fenomeno precedentemente descritto, con l'aumento progressivo del valore dell'umidità relativa all'interno dell'aria, fino al raggiungimento della saturazione, oltre la quale, proseguendo il raffreddamento, il vapore in eccesso si trasforma in acqua.

Quest'acqua, essendo un liquido, ricade verso il basso, attraversando in senso contrario il pacchetto di copertura, ed eventualmente danneggiandone ogni componente non impermeabile, come ad esempio lo strato di coibentazione termica, per poi giungere al solaio e rientrare nell'edificio.

Schematizzazione creazione condensa



La soluzione a questo pesante problema consiste nell'adozione, all'interno del pacchetto di uno strato la cui unica funzione sia quella di essere impermeabile al vapore, impedendone qualunque ulteriore migrazione verso gli strati superiori più freddi.

In questo modo si mantiene la temperatura dell'aria umida che sale verso il pacchetto di copertura al di sopra del limite di condensazione, scongiurandone la trasformazione in acqua.

Questo strato viene denominato Barriera al vapore quando si prefigge di costituire un ostacolo totale e insormontabile alla migrazione dell'aria verso l'alto, oppure di Freno al vapore, quando il suo scopo dichiarato è quello di minimizzare l'entità dei possibili fenomeni di condensazione. (Vedi figura sotto)

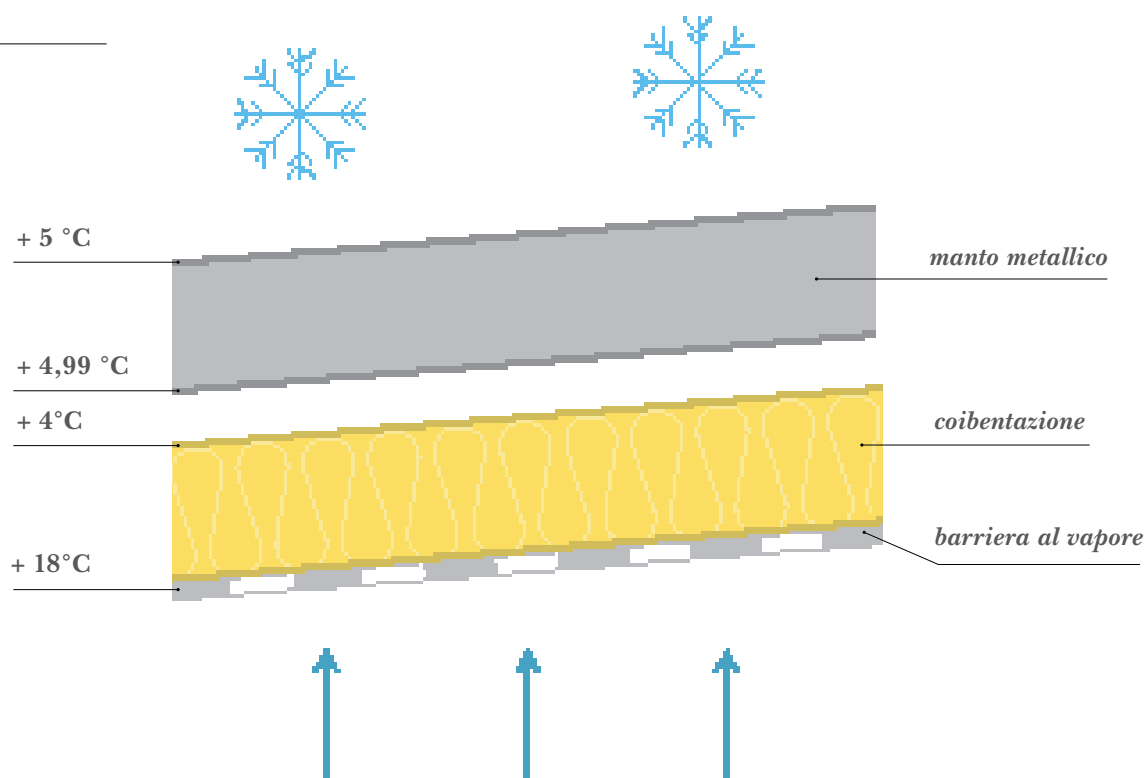
Affinché questo presidio possa funzionare secondo gli scopi prefissi, deve però essere dotato di alcune caratteristiche essenziali:

La barriera al vapore deve essere situata, nell'ambito del pacchetto di copertura, il più possibile verso il lato a temperatura maggiore: poiché stiamo cercando di impedire la condensazione del vapore contenuto nell'aria interna dell'edificio riscaldato nella stagione fredda, questo lato è quello interno.

Di conseguenza, gli strati più interni rispetto alla barriera al vapore dovranno essere nel minor numero possibile, e comunque dovranno avere la minore resistenza termica possibile, oppure, in altri termini, non dovranno costituire strati di isolamento termico. La ragione consiste nel fatto che, quanto maggiore è la resistenza termica di uno strato, o quanto maggiore è la sua capacità coibente, tanto maggiore è la caduta di temperatura all'interno di quello strato, e tanto maggiore è quindi il rischio che ci si avvicini alla famigerata temperatura di condensazione.

È quindi tragicamente errato, come purtroppo si continua a vedere, applicare la barriera al vapore sopra lo strato di isolamento termico.

Interposizione corretta barriera vapore



Questa barriera al vapore, essendo sopra l'isolamento termico, assumerà una temperatura molto prossima a quella dell'ambiente esterno, e costituendo uno strato impermeabile, fungerà da catalizzatore alla condensazione dell'aria sottostante, che proviene dall'interno dell'edificio.

L'acqua di condensazione risultante da questo processo, non trovando poi al di sotto di sé alcuno strato impermeabile, avrà via libera nel riattraversare il pacchetto verso l'interno dell'edificio.

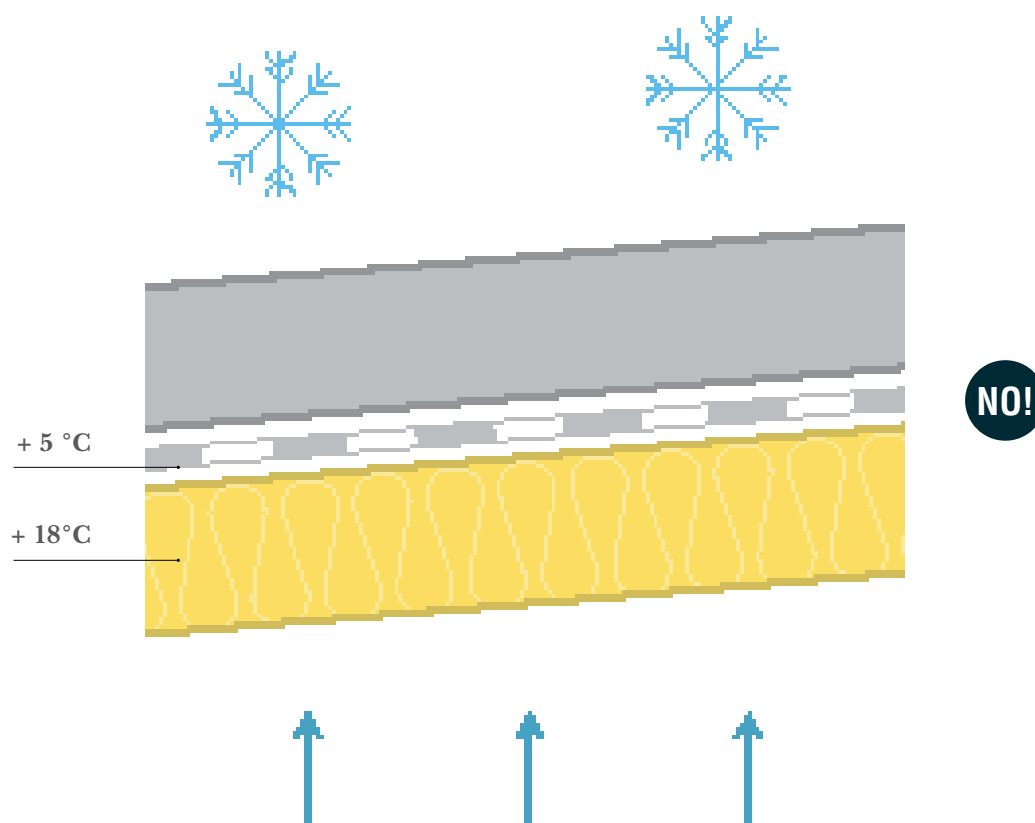
La ragione più comune di questo errore va ricercata nella preoccupazione tesa ad evitare che lo strato coibente possa essere intriso da un altro tipo di acqua di condensazione, quello che si forma sull'intradosso delle lastre di copertura metalliche.

Il fenomeno avviene comunemente nelle notti serene, quando il manto metallico cede grandi quantità

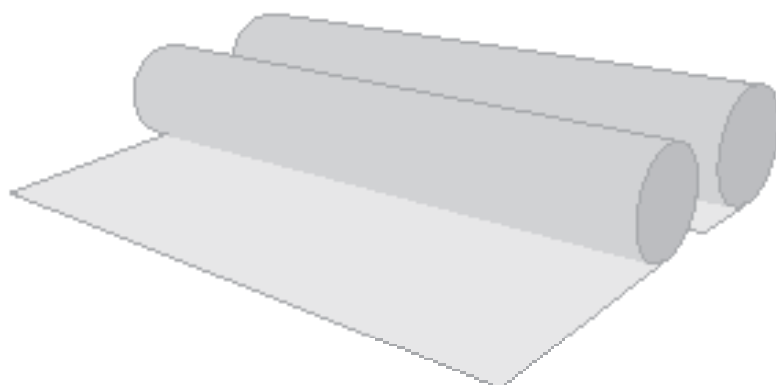
di calore per irraggiamento verso il cielo notturno. In queste condizioni, l'aria presente nell'intercapedine che sta fra il manto stesso e la coibentazione, che può anche ridursi a quella presente nello spazio tra le greche o le onde del manto, viene raffreddata per conduzione al punto tale che il vapore contenuto condensa a contatto con la superficie inferiore del manto.

Questo tipo di condensa ha tuttavia un'origine totalmente diversa da quella precedentemente citata; la quantità nella quale si può formare non dipende, tra l'altro, dalle condizioni igrotermiche presenti all'interno dell'edificio, né dalla migrazione di aria umida dallo stesso, bensì dall'entità dell'ingresso e del ricambio di aria esterna che avviene sotto il manto.

Interposizione errata barriera vapore



2.3.4 Tipologie di barriera al vapore e/o freno al vapore



Esistono diverse tipologie di materiali atti a costituire manto di barriera al vapore o di freno al vapore. La scelta più opportuna va fatta tenendo presente innanzitutto le condizioni climatiche di regime alle quali l'edificio sottostante sarà normalmente sottoposto.

Si deve innanzitutto partire dalla collocazione geografica e climatica dell'edificio stesso, tenendo in considerazione i valori medi delle temperature minime invernali della zona nella quale l'edificio è posto, confrontandole con le condizioni di temperatura e umidità medie che ci si aspetterà di trovare all'interno dell'edificio.

Questo significa conoscere in modo il più possibile preciso quale sarà la destinazione d'uso dell'edificio stesso, ovvero quali procedimenti produttivi si svolgeranno all'interno, e da quante persone l'edificio sarà mediamente occupato.

Esistono infatti procedimenti produttivi per i quali è indispensabile operare in condizioni di temperatura e umidità controllate, mentre, d'altro canto, la presenza di persone all'interno dell'edificio implica sia la necessità di un adeguato riscaldamento invernale, sia la produzione, da parte delle persone stesse, di una determinata quantità di vapore acqueo, dovuta semplicemente alla respirazione.

Passando a due esempi che individuano emblematicamente le due estremità di questo intervallo,

possiamo pensare ad un edificio adibito a magazzino o deposito di materiali inerti e non bisognosi di particolari condizioni climatiche, magari gestito in modo automatizzato, e che quindi sia presidiato da pochissimi custodi o magazzinieri, i quali gestiscono le entrate e le uscite di materiale con mezzi informatici e robotizzati rimanendo in un piccolo ambiente isolato.

È chiaro che, in questo caso, non esistono necessità di riscaldamento dell'ambiente principale, né i materiali che vi sono contenuti sviluppano alcuna quantità di vapore acqueo.

Non essendovi alcuna differenza di temperatura apprezzabile dall'interno all'esterno, e non essendovi quantità apprezzabile di vapore acqueo all'interno dell'edificio, non vi sarà la necessità di un significativo strato di coibentazione, e di conseguenza non vi sarà bisogno di uno strato di barriera al vapore che impedisca a quest'ultimo di attraversare la coibentazione stessa.

All'altra estremità della gamma possiamo situare un edificio nel quale si svolgano attività di filatura o tessitura, specialmente di materiali sintetici.

Queste attività produttive si realizzano con impianti e macchine che hanno bisogno, per poter funzionare correttamente alle velocità prestabilite, di parametri molto precisi in fatto di temperatura e di umidità.

Possiamo ipotizzare come valori realistici temperature dell'ordine di venti gradi centigradi e tasso di umidità intorno al 60-70%.

A questo dobbiamo giungere alla presenza di un numero rilevante di addetti alla produzione, i quali, oltre a dovere necessariamente svolgere la loro opera in un ambiente riscaldato d'inverno, producono con la loro presenza di una notevole quantità di vapore acqueo.

La combinazione di queste caratteristiche conduce la necessità di dotare l'edificio, specialmente se que-

ste situato in zone a clima invernale molto freddo e umido, di una consistente ed adeguata coibentazione. Immediatamente dopo sarà necessario preoccuparsi di impedire alle notevoli quantità di vapore acqueo presente all'interno dell'edificio di migrare attraverso il pacchetto di copertura, e in particolare attraverso lo strato di coibentazione, verso l'esterno. La barriera al vapore dovrà quindi essere concepita in modo da impedire totalmente, efficacemente ed in ogni punto questo passaggio.

2.3.5 Precauzioni e dettagli nell'applicazione

Non essendo ovviamente pensabile realizzare il manto di barriera al vapore in un pezzo unico, per ragioni costruttive prima ancora che per la superficie della copertura, si ricorre a varie tipologie di materiali, che vedremo in dettaglio più avanti, ma che sono generalmente tutte disponibili sotto forma di teli o

rotoli di varie dimensioni. Nasce allora l'esigenza di garantire la continuità della barriera, ovvero l'impermeabilità al vapore acqueo in salita, prima ancora che all'acqua in discesa.

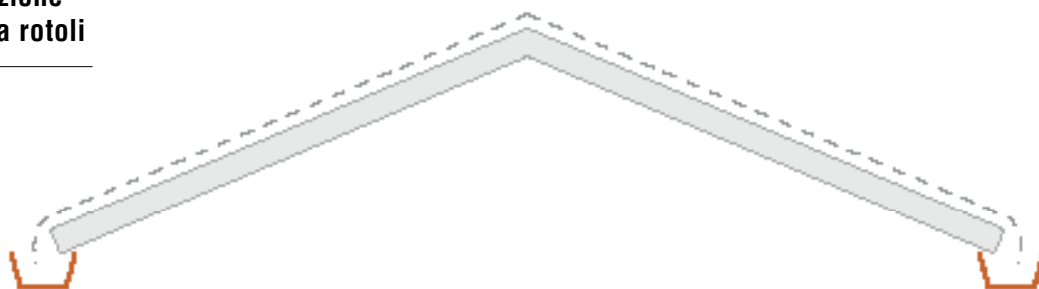
I punti sui quali ci si deve soffermare sono i seguenti:

SOVRAPPOSIZIONE TRASVERSALE TRA I ROTOLI

Meglio sarebbe se non esistesse, ovvero che il telo, o rotolo, avesse lunghezza pari alla falda o alle falde, in modo da andare senza soluzione di continuità da canale a canale, o da colmo a canale; se questo

non fosse possibile, si deve assicurare una adeguata sovrapposizione dei teli (almeno venti centimetri), ed una accurata sigillatura.

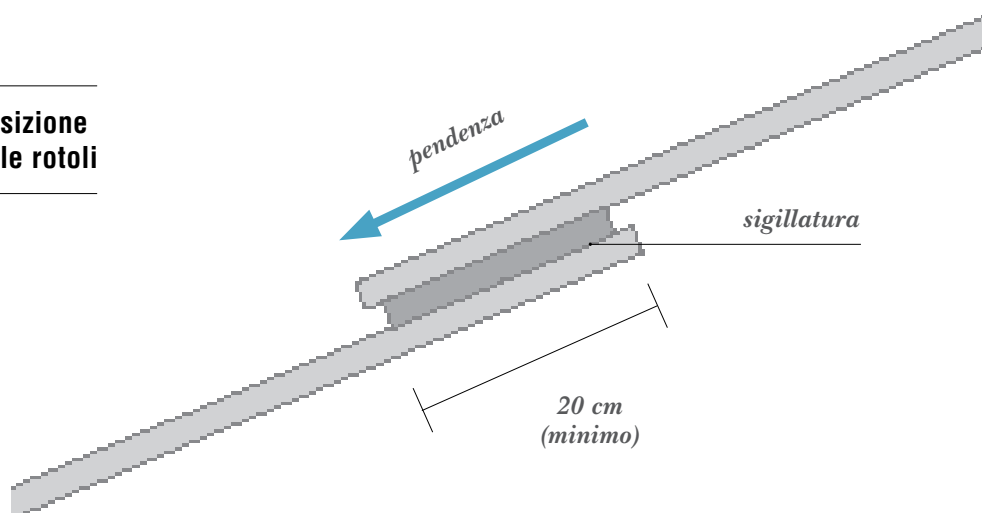
Applicazione continua rotoli



Il tipo di sigillatura dipende dal materiale utilizzato per la barriera al vapore. Non bisogna dimenticare che la sovrapposizione va comunque fatta "in verso d'acqua", ovvero col lembo a monte sovrapposto al

lembo a valle, e non viceversa, in modo da scongiurare il pericolo che, anche nel caso in cui la sigillatura non sia perfetta, l'eventuale acqua di condensa non possa comunque penetrare al di sotto della barriera.

Sovrapposizione trasversale rotoli



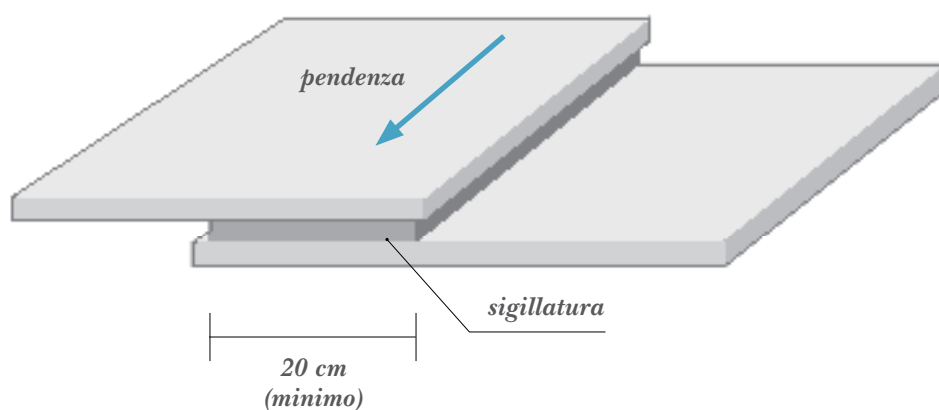
SOVRAPPOSIZIONE LONGITUDINALE TRA I ROTOLI

Questa è ineliminabile, ed è quindi gioco forza a risolverla con un sormonto piuttosto ampio (almeno venti centimetri) la cui perfetta sigillatura è fondamentale. (Vedi figura sotto).

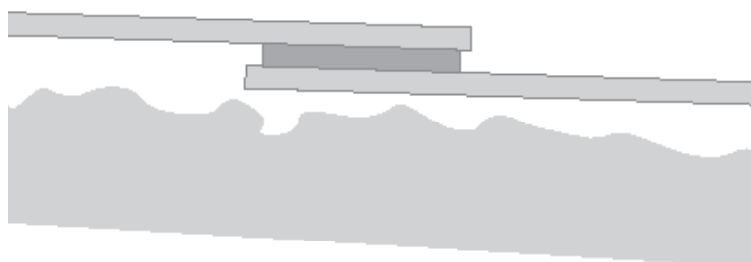
Purtroppo, la lunghezza di questo sormonto è pari alla lunghezza delle falde di copertura, ed è quindi consistente. Inoltre, e ciò vale anche per la sigillatura trasversale, il piano d'appoggio sul quale si deve

intervenire per poter sigillare due lembi non favorisce quest'operazione, data la sua irregolarità. Infatti, molto spesso, la superficie sottostante è costituita da una struttura in cemento armato che, oltre a potere essere dotata di nervature o giunzioni più o meno sfalsate ed ostacoli vari, presenta sicuramente una irregolarità tale da rendere difficile l'operazione di sigillatura.

Sovrapposizione longitudinale rotoli



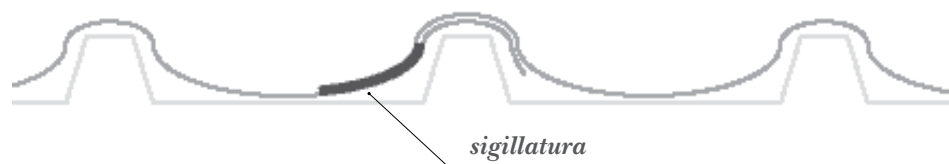
Irregolarità dei piani di posa



In altri frequenti casi, la superficie sottostante è costituita da lastre grecate oppure ondulate, che

costituiscono una seria difficoltà alla buona riuscita dell'operazione.

Stesura teli su lastre grecate

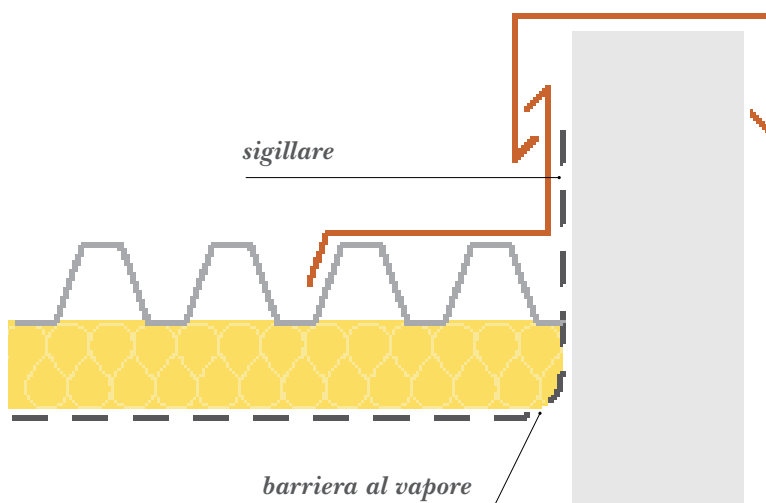


PERIMETRO DEL MANTO, AI LATI DELLE FALDE, OPPURE IN ADERENZA A PARETI EMERGENTI

La regola da seguire in tali casi consiste nel far proseguire il manto di barriera al vapore ai bordi del pacchetto di copertura verso l'alto, fino ad emergere al di sopra dello strato di coibentazione, ponendo la massima cura nel sigillare il bordo della barriera stes-

sa contro la parte interna del muro o del parapetto laterale. Si avrà così la garanzia che non vi saranno zone perimetrali del manto nelle quali lo strato coibente, anche sui fianchi, sia privo della barriera al vapore.

Raccordo con muri laterali

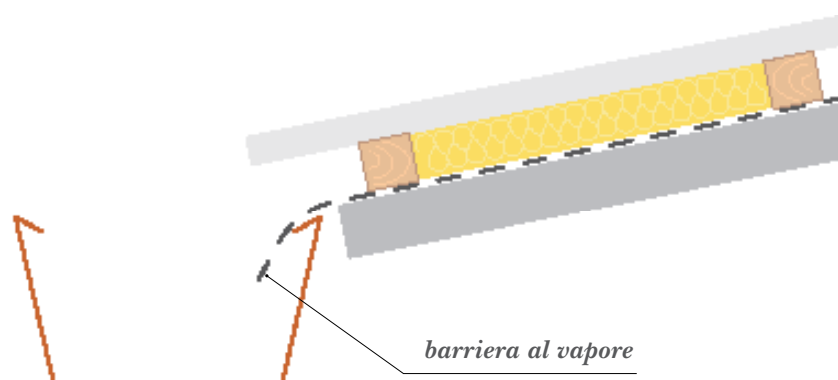


PERIMETRO DEL MANTO, IN CORRISPONDENZA DI CANALI DI GRONDA O DI CONVERSA

In questo caso, dopo essersi accertati che lo strato di coibentazione sia ben raccordato passando dal manto di copertura alla zona sotto il canale di gronda, qualora quest'ultimo non sia esterno all'edificio, è bene provvedere a far sì che la barriera al vapore prosegua fino a ricadere, almeno per una decina di

centimetri, all'interno del canale. In questo modo, eventuale acqua di condensa che si dovesse formare sopra la barriera al vapore potrebbe, in assenza di altri ostacoli, sgocciolare liberamente per effetto della pendenza finendo nel canale di gronda o di converva senza provocare danni.

Ricaduta della guaina all'interno del canale lucernari

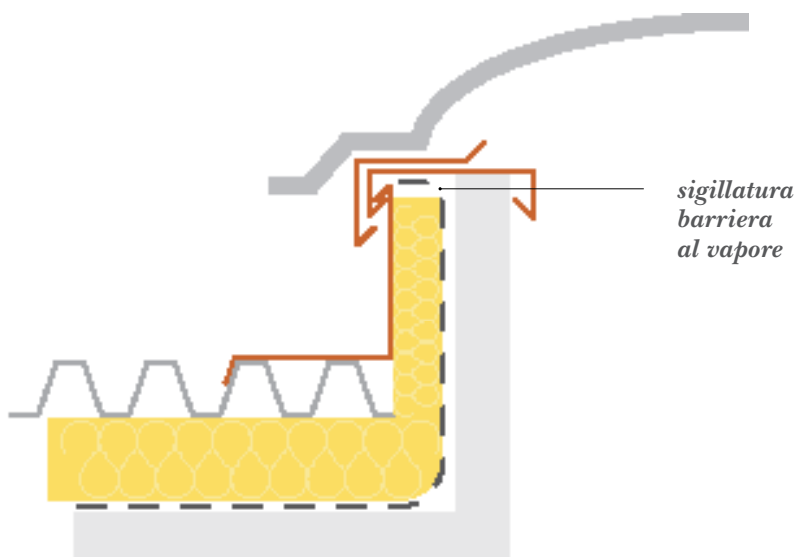


CORPI EMERGENTI IN COPERTURA

Parliamo in questo caso, ad esempio, di basamenti per lucernari, evacuatori di fumo e di calore, abbaini, canne fumarie e simili. Premesso che, in ogni uno di questi casi, la parete del corpo emergente deve essere adeguatamente coibentata, per evitare l'insorgere di un ponte termico, ci si comporterà con lo stesso

criterio utilizzato nel caso di parete emergente, e quindi si porteranno i lembi della barriera al vapore a fuoriuscire dal livello della coibentazione, sigillandoli successivamente contro le pareti del corpo emergente.

Sigillatura pareti corpi emergenti

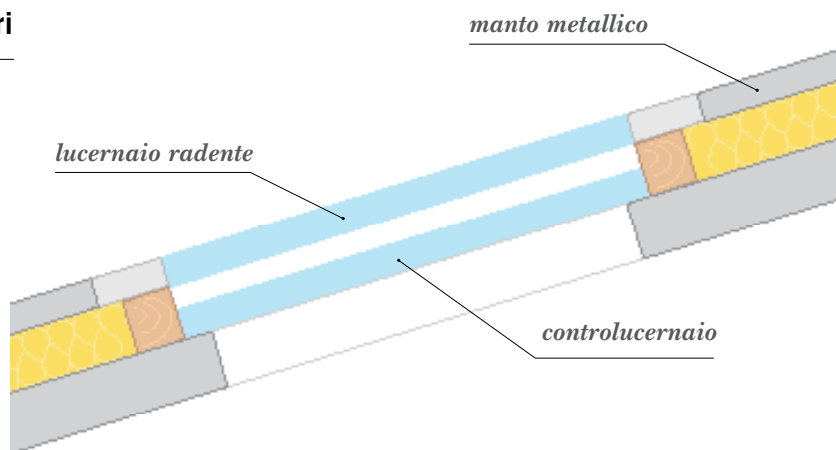


LUCERNARI RADENTI

Questa situazione richiede particolare cura, in quanto questi lucernari, se correttamente concepiti, dovrebbero essere dotati di una resistenza termica globale, ovvero di una capacità coibente, il più possibile e simile al resto del pacchetto di copertura. Questo, ovviamente, perché non costituiscano, data

anche la loro in genere non trascurabile estensione, zone di formazione di condensa. Di solito ciò si ottiene utilizzando doppie superfici trasparenti, almeno una delle quali, di solito quella interna, può essere costruita con prodotti dotati di camere d'aria sigillate (policarbonato alveolare o equivalenti).

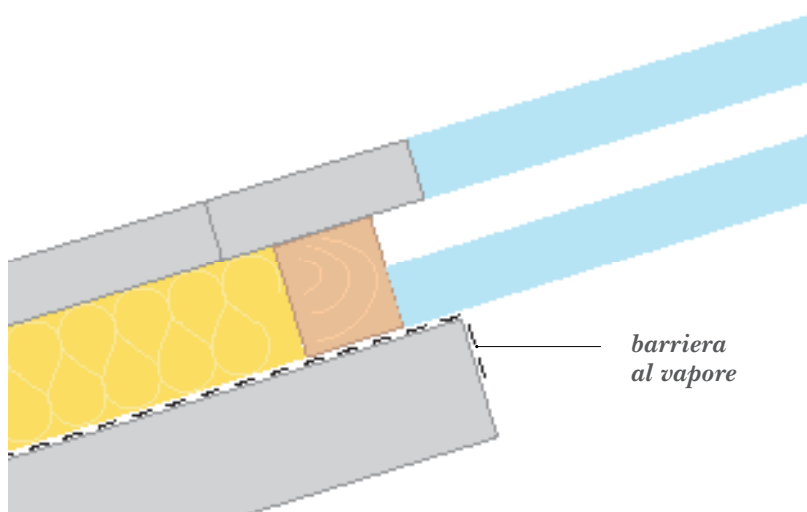
Stratificazione tipo pacchetto lucernari



Per questo motivo bisogna concepire già nel progetto, e poi, soprattutto, verificare nell'esecuzione, che il bordo della barriera al vapore in quella zona non venga mai a contatto con superficie fredde, o, in

altri termini, che il passaggio tra la coibentazione del pacchetto e la parte "calda" del lucernario radente avvenga senza soluzione di continuità.

Risolto barriera al vapore



2.4 Caratteristiche di isolamento termico

2.4.1 Alcune considerazioni sul calore

Sappiamo che tutti i corpi in senso fisico, cioè tutto ciò che è dotato di una massa, è formato da un agglomerato più o meno organizzato di particelle, dette molecole, a loro volta formate da atomi.

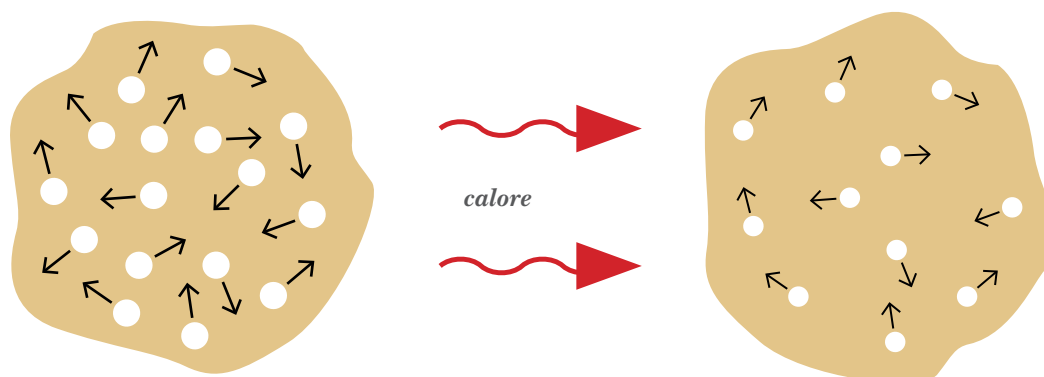
Le molecole di un corpo non sono immobili, ma sono dotate di vari gradi di movimento, che passano da una sorta di vibrazione attorno alle loro posizioni reciproche di equilibrio per i corpi solidi, fino ad arrivare a una sempre maggiore libertà di movimento, potremmo dire semplificando di rimescolamento, tra di loro, rispettivamente per i corpi liquidi ed aeriformi.

Nei liquidi, infatti, le molecole pur non restando in posizioni reciprocamente fisse, mantengono mediamente le rispettive distanze reciproche, e la conseguenza macroscopica sta nel fatto che i liquidi, pur non avendo forma propria, ma assumendo

quella del recipiente che li contiene, conservano un volume proprio, ovvero sono "incomprimibili". Negli aeriformi o gas, le molecole non mantengono nemmeno più le rispettive distanze medie reciproche, e la conseguenza macroscopica sta nel fatto che gli aeriformi non possiedono un volume proprio, ovvero sono "comprimibili".

Il passaggio dal solido al liquido, e poi all'aeriforme, con la relativa sempre maggiore libertà di movimento e d'agitazione molecolare, implica il possesso da parte di quel corpo di un livello di energia sempre maggiore.

L'aumento o la diminuzione della quantità di questa forma di energia cinetica (di movimento) a livello molecolare implica un trasferimento di energia da o verso altri corpi: questa energia si chiama calore.



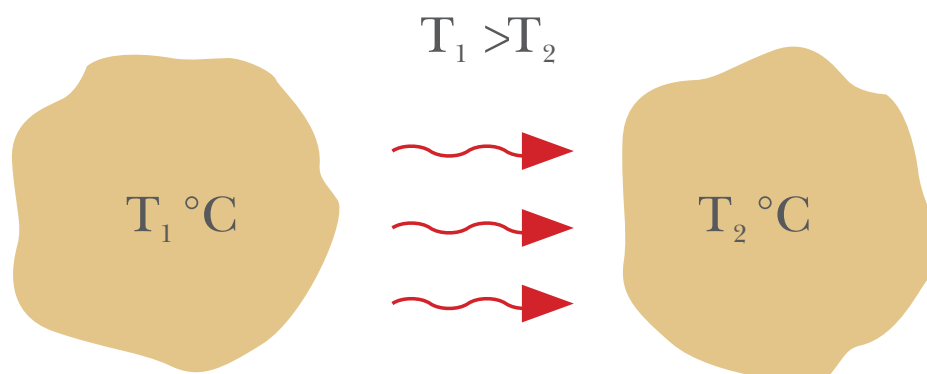
È bene spendere due parole per puntualizzare la differenza tra il calore e la temperatura. Mentre il calore, come abbiamo detto, è correlato alla quantità di energia posseduta a livello molecolare dalla massa di un certo corpo, la temperatura rappresenta un indice del livello di agitazione che le molecole di quel corpo possiedono, indipendentemente da quale sia la massa di quel corpo.

L'esempio classico che si può fare al proposito è rappresentato da un fiammifero acceso, il quale pur essendo dotato di una massa esigua e quindi potendo cedere una quantità di calore altrettanto piccola, è però caratterizzato da temperatura altissima.

Di contro, la buona vecchia borsa dell'acqua calda della nonna, pur avendo temperatura tutt'altro che

elevata, ed anzi piacevole, può cedere, grazie alla massa dell'acqua calda contenuta, una quantità di calore in grado di riscaldare i piedi freddi d'inverno. La temperatura è una grandezza fisica importantissima, in quanto determina il verso degli scambi di energia termica fra diversi corpi. Infatti, in base ad una legge fisica conosciuta come secondo principio della termodinamica, se abbiamo due corpi a temperature diverse, il calore fluisce spontaneamente da quello a temperatura maggiore verso quello a temperatura minore, e questo passaggio di energia prosegue finché esiste una differenza di temperatura fra i corpi, ovvero finché entrambi non raggiungono una temperatura comune, intermedia fra le temperature iniziali.

Stabilizzazione temperature tra due corpi



Ma qual è la relazione che lega il calore alla temperatura? Noi sappiamo per esperienza che, per far aumentare di un certo numero di gradi la temperatura di un corpo, dobbiamo somministrare una quantità di calore, cioè di energia termica, che dipende sia dalla massa del corpo stesso, sia dalla natura di cui questo corpo è costituito. È abbastanza intuitivo che la quantità

di calore da somministrare sia proporzionale alla massa del corpo da riscaldare: per portare una pentola d'acqua da dieci litri ad ebollizione serve una certa quantità di calore, per portarne ad ebollizione due uguali serve una quantità di calore doppia.

L'altro parametro che influisce sul rapporto calore temperatura è quello che dipende dalla natura

del corpo stesso. Ad esempio, per far passare un chilogrammo di acqua da 0 a 100 °C serve una quantità di calore circa quattro volte superiore a quella necessaria a far passare sempre da 0 a 100 °C un chilogrammo di cemento.

Questo parametro, che è caratteristico di ogni sostanza, anche se può variare in una certa misura con la temperatura, si chiama calore specifico.

La capacità termica di un corpo è poi la quantità di energia termica o calore che gli si deve fornire perché la temperatura del corpo stesso aumenti di un grado centigrado, ed è data dal prodotto del calore specifico per la massa del corpo stesso.

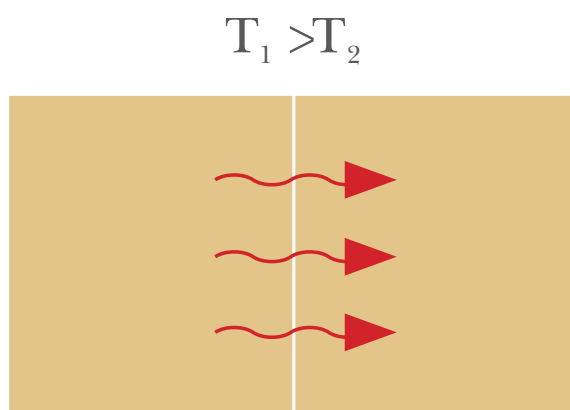
2.4.2 Modalità di trasmissione del calore

Il trasferimento di calore da un corpo ad un altro avviene secondo tre modalità principali:

CONDUZIONE

La conduzione è un trasferimento di energia termica che avviene senza scambio di massa tra

i corpi coinvolti; un esempio tipico è lo scambio termico fra corpi solidi posti a contatto tra di loro.



Ricordiamo che, per i corpi solidi, il livello di energia termica posseduto, corrisponde, su scala microscopica, alla vibrazione delle molecole attorno alle rispettive posizioni di equilibrio. Ponendo i corpi solidi a diretto contatto, la maggiore quantità di vibrazione molecolare di uno si trasmette alle

molecole dell'altro. Il fenomeno della conduzione è estremamente importante nell'ambito della tecnologia delle coperture metalliche. Infatti, ogni materiale è caratterizzato da una maggiore o minore resistenza o facilità alla trasmissione del calore al suo interno per contatto diretto.

Vediamo di stabilire quali sono i parametri che, anche intuitivamente, giocano a favore o contro il transito di calore attraverso il corpo:

1. La superficie delle facce del corpo, a parità di altri fattori, è proporzionale alla quantità di calore in transito.
2. Il tempo di durata del fenomeno, a parità di altri fattori, è proporzionale alla quantità di calore in transito.
3. La differenza di temperature fra le due facce, a parità di altri fattori, è proporzionale alla quantità di calore in transito.
4. Lo spessore tra le facce del corpo, a parità di altri fattori, è invece inversamente proporzionale alla quantità di calore in transito.

Tutto ciò si può tradurre nella seguente formula:

$$Q = \lambda x \frac{A x t x \Delta T}{L} \quad \text{①}$$

dove:

Q = *calore scambiato tra le facce*

A = *superficie delle facce*

t = *durata*

ΔT = *differenza di temperatura tra le facce*

L = *spessore tra le facce*

Ora, preso un campione di questo materiale con una superficie unitaria ($A = 1 \text{ m}^2$), uno spessore unitario ($L = 1 \text{ m}$), sottoposto tra le due facce ad una differenza di temperatura di $\Delta T = 1 \text{ }^\circ\text{C}$, si misura la quantità di calore che riesce a passare da una faccia a quella opposta nel tempo $t = 1 \text{ secondo}$, ottenendo:

$$Q = \lambda$$

Questa grandezza è la conducibilità termica del materiale, mentre la corrispondente resistività termica è semplicemente l'inverso:

$$\rho = \frac{1}{\lambda} \quad \text{②}$$

Per ottenere la resistenza termica di uno certo spessore del materiale, basta moltiplicare la resistività per lo spessore stesso.

$$R = \frac{L}{\lambda} \quad \text{③}$$

Facciamo un esempio: prendiamo una lastra di vetro di dimensioni 1 x 2 metri e spessore 8 mm, e supponiamo che tra la faccia interna e quella esterna ci sia una differenza di temperatura di $10 \text{ }^\circ\text{C}$.

Possiamo innanzitutto calcolare la resistenza termica della lastra, sapendo che la conducibilità termica di questo materiale è pari a:

$$\lambda_{\text{vetro}} = 1,0 \text{ W/m/}^\circ\text{C}$$

$$R = \rho \times L = \frac{l}{\lambda} \times L$$

$$R = \frac{1}{1.0} \times 0.008 = 0.008 \frac{\text{m}^2 \times ^\circ\text{C}}{\text{W}}$$

4

Calcoliamo poi quanto calore passa in un'ora attraverso la lastra

$$Q = (1,0 \text{ W/m/}^\circ\text{C}) \times (1 \times 2 \text{ m}^2) \times (10 \text{ }^\circ\text{C}) \times (3600 \text{ s}) / (0,008 \text{ m})$$

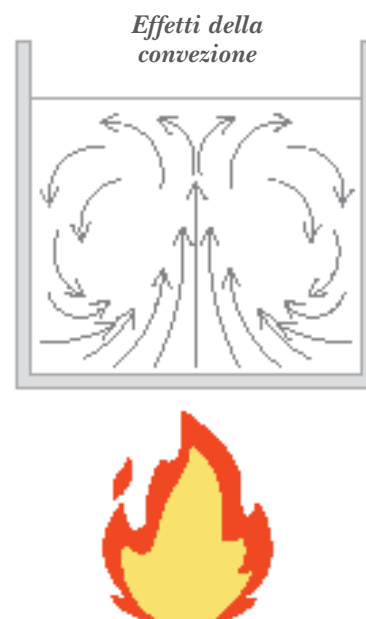
$$= 72000 \text{ Joule}$$

CONVEZIONE

La convezione è un trasferimento di energia termica che avviene mediante scambio di massa tra i corpi coinvolti; per potersi scambiare massa, questi devono essere necessariamente fluidi.

Il rimescolamento della massa può avvenire per cause esterne, oppure può essere generato dalle stesse differenze di temperatura. Quasi tutti i fluidi, infatti, con la notevole eccezione dell'acqua al di sotto di 4 °C, diminuiscono la loro densità con l'aumento della temperatura.

La parte di fluido più calda e meno densa, per effetto della gravità, tende a salire verso la parte alta della massa fluida, mentre la parte più fredda e densa tende invece a scendere verso il basso; da qui il rimescolamento, lo scambio di massa, e di trasferimento di energia termica.



IRRAGGIAMENTO

Esiste infine una terza forma di trasferimento dell'energia termica, l'irraggiamento, che, a differenza delle altre, non implica né un contatto diretto tra i corpi, né uno scambio di massa, ma può anzi avvenire anche tra due corpi che non siano in alcun modo collegati, e quindi anche nel vuoto.

In questo caso il trasferimento di energia avviene per mezzo di onde elettromagnetiche, che viaggiano, nel vuoto, alla velocità della luce, cioè a circa 300.000 km al secondo.

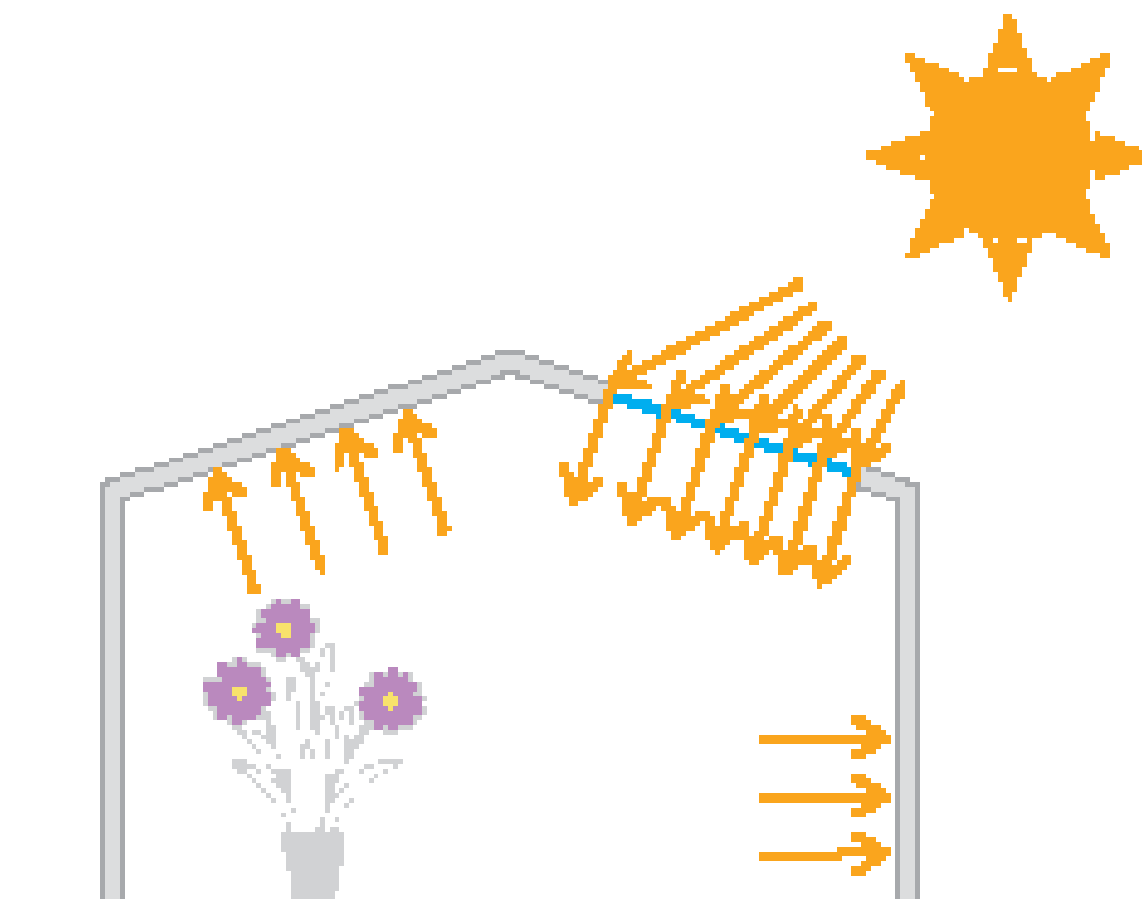
L'energia radiante viene emessa da un corpo a causa della sua temperatura, ovvero l'emissione di radiazioni termiche dipende dalla temperatura del corpo che emette.

La lunghezza d'onda delle radiazioni termiche varia tra 0,1 e 100 m [1 m (micron) = un milionesimo di metro], e si estende al di sopra e al di sotto della luce visibile nei campi rispettivamente dell'infrarosso e dell'ultravioletto.

Una simpatica conseguenza di questo fenomeno, è il funzionamento della serra. Il sole, infatti, emette una gamma di radiazioni termiche che stanno per la maggior parte nel campo della luce visibile, e pertanto possono attraversare agevolmente i vetri di una serra.

Le radiazioni termiche emesse dall'interno della serra, invece, hanno lunghezze d'onda più alte, per la maggior parte non comprese nel campo della luce visibile, e pertanto non possono riattraversare verso l'esterno i vetri. Il calore quindi rimane imprigionato nella serra anche se la temperatura dell'aria esterna è fredda.

Effetti de



2.4.3 Significato ed opportunità dell'isolamento termico

Le persone che abitano e lavorano negli edifici, a parità di altri fattori, provano una sensazione di benessere quando la temperatura dell'ambiente che li circonda rimane all'interno di un determinato intervallo fra la minima e la massima.

Questo intervallo dipende anche dal tipo di attività fisica che le persone stesse svolgono all'interno delle edifici, in quanto il corpo stesso emette costantemente una quantità di calore che varia a seconda del tipo di attività della persona sta eseguendo.

Nella maggioranza dei casi, al giorno d'oggi, le persone che si trovano all'interno di un edificio e che vi lavorano svolgono attività prevalentemente sedentarie.

Per questo motivo, è necessario, per assicurare il loro benessere, mantenere le temperature all'interno dell'edificio entro limiti abbastanza ristretti.

L'edificio, però, è sottoposto nelle varie stagioni alle condizioni climatiche contingenti, e pertanto tende ad assumere, come struttura e come volume interno, una temperatura simile a quella dell'ambiente esterno.

È ovvio che, per porre rimedio a questo problema, basta riscaldare opportunamente l'ambiente interno all'edificio quando la temperatura dell'aria esterna è troppo bassa, e raffreddarlo quando la temperatura dell'aria esterna è troppo alta.

Questo, però, rappresenta un costo in termini di energia. Nella stagione fredda il volume dell'aria contenuto all'interno dell'edificio e l'aria esterna tenderanno a raggiungere una comune temperatura di equilibrio, che sarà, in mancanza di riscaldamento, praticamente coincidente con la temperatura dell'aria esterna, in quanto quest'ultima possiede una massa e quindi una capacità termica ben superiore a quella dell'aria contenuta nell'edificio.

La situazione peggiora ulteriormente in condizioni di esposizione a venti freddi che, per effetto convettivo, asportano calore dall'edificio con ancora maggiore rapidità, oppure in caso di perdita di calore per effetto dell'irraggiamento dal cielo sereno notturno.

Nella stagione calda il fenomeno funziona al contrario, con l'aggiunta dell'effetto dell'irraggiamento solare diretto, che accentua gli effetti del riscaldamento. Per mantenere le temperature desiderate all'interno dell'edificio, limitando nel contempo il più possibile il dispendio di energia, è necessario che il perimetro dell'edificio stesso, ovvero tetto e pareti, siano dotati degli accorgimenti più opportuni per ridurre al minimo il flusso di calore attraverso il tetto e le pareti.

2.4.4 Modalità di isolamento termico

Esaminiamo ora, in funzione del tipo di flusso termico, quali siano questi accorgimenti.

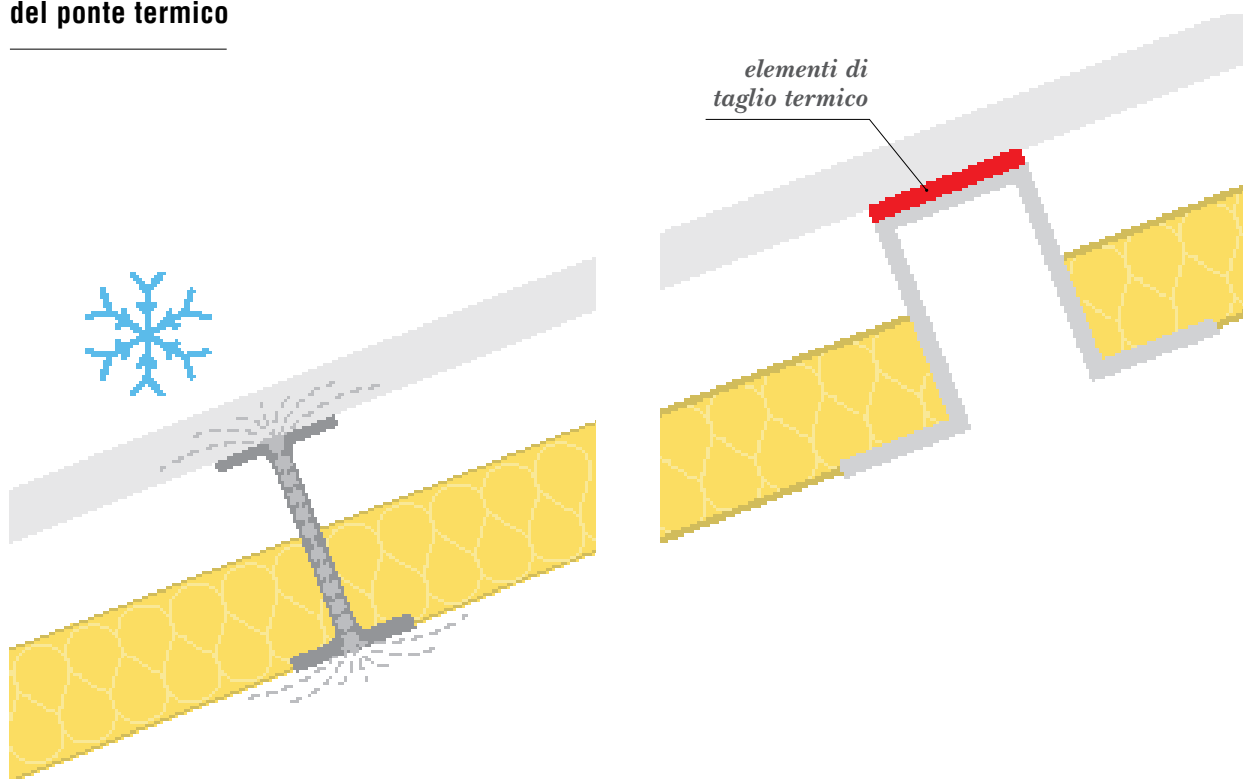
La parte più esterna di un manto di copertura metallico subisce direttamente gli effetti dell'irraggiamento solare e, nelle notti serene, dell'irraggiamento del cielo notturno. Ambedue determi-

nano rispettivamente un notevole innalzamento o abbassamento della temperatura del manto stesso, il quale, essendo metallico, è caratterizzato da un'ottima conducibilità termica, e tende pertanto a trasmettere queste variazioni di temperatura per conduzione ai propri supporti, quindi agli arcarecci.

È perciò estremamente importante che, al di sotto del manto esterno, vi siano elementi dotati invece di scarsissima conducibilità termica, e che siano quindi in grado di opporsi al flusso termico proveniente dal metallo del manto. Se la struttura di

supporto è costituita da arcarecci metallici, a loro volta caratterizzati da alta conducibilità termica, è indispensabile interporre tra questi ed il manto un elemento di taglio termico in grado di interrompere questi flussi termici localizzati, detti ponti termici.

Eliminazione del ponte termico



Un pacchetto di copertura è costituito dall'insieme di vari strati, o elementi, a contatto tra di loro, uno o più dei quali potrebbero anche essere semplicemente intercapedine d'aria.

Supponendo che l'aria interna all'edificio, a contatto con la faccia più interna del pacchetto, sia a temperatura diversa dall'aria esterna, la quale è a contatto con la faccia più esterna del pacchetto, ovvero il manto, ci troviamo nelle condizioni descritte precedentemente a proposito del fenomeno della conduzione, nelle quali un flusso di energia termica attraversa il pacchetto nella direzione che va dalla temperatura più alta a quella più bassa.

L'intensità di questo flusso termico, ovvero la quantità di energia termica che in ogni momento riesce ad attraversare il pacchetto, dipende dalla resistenza termica del pacchetto stesso, ed in ultima analisi dalle somme delle resistenze termiche degli strati che lo compongono.

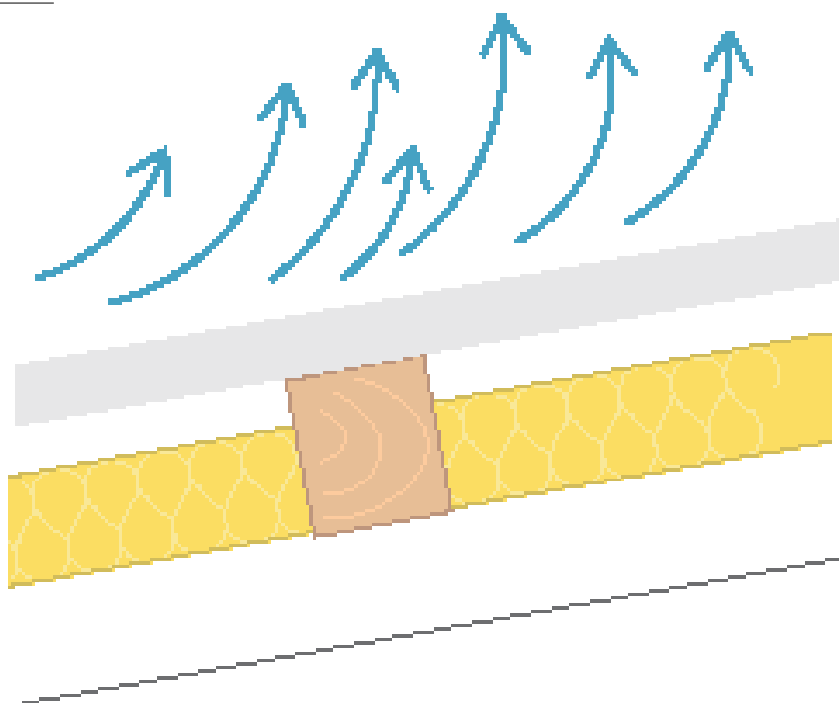
È pertanto fondamentale che almeno uno di questi strati sia dotato di una resistenza termica sufficientemente elevata, in modo da ridurre entro termini accettabili l'intensità del transito di energia termica: questo strato è lo strato coibente (*dal latino cohibere = frenare, trattenerne*) o isolante. In corrispondenza della faccia interna, e soprattutto

to di quella esterna del pacchetto, esistono anche fenomeni di scambio termico dovuti alla convezione.

Infatti, lo strato di aria esterna immediatamente adiacente al manto è normalmente dotato di moti

convettivi diretti verso l'alto, oppure di moti orizzontali dovuti al vento. Esiste quindi un ricambio di massa d'aria che dà il suo contributo al fenomeno dello scambio termico.

Moti convettivi adiacenti al manto



Due sono i problemi che si pongono di fronte al progettista che debba dimensionare o verificare i componenti di un pacchetto di copertura.

Il primo consiste nel verificare che il pacchetto nel suo complesso sia in grado di rispettare i limiti imposti per legge alle dispersioni termiche dall'interno dell'edificio, ovvero nel verificare che la resistenza termica complessiva del pacchetto abbia un valore sufficiente allo scopo.

Il secondo consiste nel determinare l'andamento della temperatura all'interno del pacchetto, in modo da sincerarsi che non vi sia possibilità di formazione di condensa all'interno del pacchetto stesso, ovvero che la temperatura di rugiada nelle condizioni di progetto venga raggiunta in un punto esterno rispetto alla barriera al vapore.

2.4.5 Valutazione di resistenza termica e distribuzione di temperature nel pacchetto di copertura

Per potere valutare la resistenza termica globale del pacchetto, si può fare ricorso all'espressione 1) che definisce il flusso termico, riferendosi ad una superficie unitaria del pacchetto ($A = 1 \text{ m}^2$):

$$\frac{Q}{t} = \lambda x \frac{\Delta T}{L} \quad \text{5}$$

ovvero, per la 3):

$$\frac{Q}{t} = \frac{\Delta T}{R} \quad \text{6}$$

quindi, conoscendo la massima dispersione termica (Q diviso t) concessa dalle normative (Legge 09/01/09 n.10 - UNI TS 11300-1 EN ISO 13790:2008 "Calcolo del fabbisogno termico per il riscaldamento") ed essendo nota la differenza di temperatura ΔT , si ricava facilmente la resistenza termica mini-

ma che il pacchetto di copertura deve avere in quelle condizioni.

Ipotizziamo ora un pacchetto di copertura (Vedi figura a seguito) e valutiamo la distribuzione delle temperature all'interno del pacchetto.



La differenza di temperatura ΔT tra le due facce del pacchetto è costante, e, visto che la resistenza termica R del pacchetto è costante, anche il flusso

termico Q diviso t sarà costante, per cui si potrà scrivere, secondo la 6):

introduciamo ora alcuni dati di partenza:

$$\frac{(T_1 - T_2)}{R_{12}} = \frac{(T_2 - T_3)}{R_{23}} = \frac{(T_3 - T_4)}{R_{34}} = \frac{(T_4 - T_5)}{R_{45}} = \frac{Q}{t} \quad \text{7}$$

Temperatura interna: $T_1 = T_i = 20 \text{ °C}$
 Temperatura esterna: $T_5 = T_e = - 5 \text{ °C}$

Tipo di materiale	n°	Spess. L (mm)	Coeff. λ (W/m/°C)	Resist. termica $R = L/\lambda$ (m ² °C/W)
Calcestruzzo	1-2	80	0.50	$R_{12} = 0.080 / 0.50 = 0.16$
Lana di vetro	2-3	50	0.045	$R_{23} = 0.050 / 0.045 = 1.11$
Intercapedine d'aria	3-4	40	0.026	$R_{34} = 0.040 / 0.026 = 1.54$
Alluminio	4-5	1	203.19	$R_{45} = 0.001 / 203.19 = \sim 0$

La resistenza termica totale del pacchetto sarà:
 Il flusso termico totale attraverso il pacchetto sarà:

$$R_{tot} = 0.16 + 1.11 + 1.54 + 0 = 2.81 \frac{m^2 \text{ °C}}{W}$$

$$\frac{Q}{t} = \frac{(T_i - T_e)}{R_{tot}} = \frac{[20^\circ - (-5^\circ)]}{2.81} = 8,9 \frac{W}{m_2}$$

Per cui potremo scrivere:

$$\frac{(T_1 - T_2)}{R_{12}} = 8,9 \rightarrow \frac{(20 - T_2)}{0.16} = 8,9 \rightarrow T_2 = 20 - (8,9 \times 0,16) = 18,58 \text{ °C}$$

$$\frac{(T_2 - T_3)}{R_{23}} = 8,9 \rightarrow \frac{(18,58 - T_3)}{1,11} = 8,9 \rightarrow T_3 = 18,58 - (8,9 \times 1,11) = 8,70 \text{ °C}$$

$$\frac{(T_3 - T_4)}{R_{34}} = 8,9 \rightarrow \frac{(8,70 - T_4)}{1,54} = 8,9 \rightarrow T_4 = 8,70 - (8,9 \times 1,54) = - 5 \text{ °C}$$

perché la resistenza termica R_{45} dell'alluminio è praticamente nulla.

Verifichiamo ora che non insorgano problemi di condensa all'interno dell'edificio, a causa del pacchetto di copertura. Per fare ciò, basta verificare che la temperatura nel punto della stratigrafia del pacchetto dove dovrà essere collocata la barriera al vapore, ovvero in corrispondenza della faccia interna (calda)

dello strato coibente, sia superiore alla temperatura di rugiada nelle nostre condizioni.

La temperatura in questione è $T_2 = 18,58 \text{ °C}$

Sarà inoltre necessario conoscere il tasso di umidità presunto all'interno dell'edificio, che ipotizziamo pari al 80%

Diagramma di Mollier

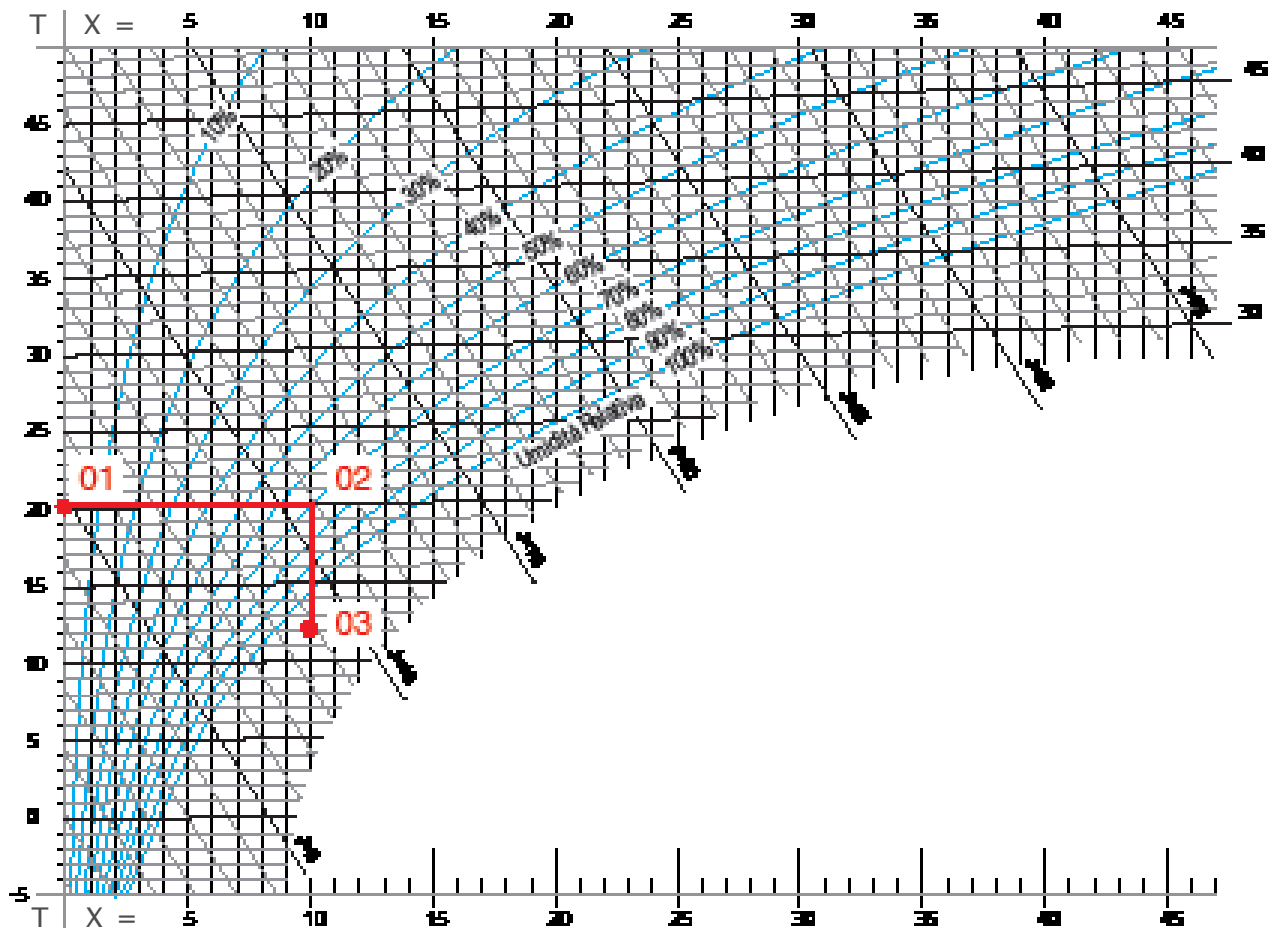
$T =$ Temperatura dell'aria in $^{\circ}\text{C}$

$V =$ Volume di 1 kg di aria secca + X g di vapore in m

$X =$ Contenuto di vapore in g per 1 kg di aria secca

$J =$ Calore totale in 1 kg di aria secca + X g di vapore

$J = 0,2375 T + X (0,595 + 0,00046 T)$



UTILIZZANDO IL DIAGRAMMA DI MOLLIER

Partiamo dal **punto 01** a temperatura di 20 °C, e spostiamoci orizzontalmente (a temperatura costante) fino ad incontrare la curva della U.R. 80%.

Quel punto sul diagramma (**punto 02**) individua le condizioni interne dell'edificio.

Dal **punto 02** spostiamoci verticalmente (a contenuto d'acqua costante), fino ad incontrare l'asse orizzontale corrispondente alla temperatura di 18,58 °C (**punto 03**).

In corrispondenza di questo punto, valutiamo (eventualmente interpolando tra le curve) il conte-

nuto di umidità relativa, che è pari a circa l'87-88%; questo significa che, nel punto che ci interessa, ci troviamo ancora sufficientemente lontani dal punto di rugiada e dalla saturazione (100%).

Possiamo eventualmente, per completare la disamina, verificare quanto vicina sia la temperatura di rugiada nelle nostre condizioni; è sufficiente scendere verticalmente (sempre a contenuto d'acqua costante) fino al **punto 04**, che corrisponde ad una temperatura di circa 15,7 °C.

2.4.6 Considerazioni termoigrometriche relative alle ricoperture

Mentre è relativamente semplice giungere ad una determinazione delle caratteristiche termoigrometriche di un pacchetto di copertura da costruire, e del quale si conoscono con certezza le caratteristiche dei vari elementi che lo compongono, altro paio di maniche si presenta quando si debba affrontare un progetto di ristrutturazione che comporti la ricopertura di una manto preesistente.

In questi casi, infatti, anche ipotizzando di conoscere con precisione la composizione degli elementi che compongono il vecchio manto, resta sempre un notevole margine di incertezza in merito alle reali caratteristiche che essi ancora possiedono dopo un lungo periodo di esistenza in opera e di esposizione agli agenti atmosferici. Questo è vero soprattutto, di solito, per le parti delle quali è materialmente più difficile verificare l'integrità perché interni al manto, ed in particolar modo per i materiali che possono essere vulnerabili all'invecchiamento, come, ad esempio, quelli che formano lo strato coibente.

In ogni caso, la presenza di uno strato coibente all'interno di una manto di chi si accinge a ricoprire può indurre a ritenere sufficiente l'applicazione di un nuovo, modesto strato di coibentazione, a completamento e miglioramento dell'esistente.

Si pensa così di migliorare le prestazioni termiche della copertura, adeguandole a nuove necessità collegate ad un maggiore risparmio energetico. Bisogna però prendere in attenta considerazione anche le conseguenze di queste modificazioni dal punto di vista igrometrico: infatti, il vecchio manto di copertura, pur se malandato, o costruito con materiali che si possono ritenere in una certa misura "porosi" (come il fibrocemento), può benissimo rappresentare, una volta divenuto uno strato interno del nuovo pacchetto di copertura, a tutti gli effetti un elemento di barriera o quantomeno freno al passaggio del vapore.

Peggio ancora se, seguendo la regola aurea, si sia provveduto ad applicare sopra il vecchio manto, al di sotto della nuova coibentazione, un nuovo, efficace, ed effettivo strato interno funzionante come nuova barriera al vapore.

Nel caso in cui sia stato applicato un nuovo strato di coibentazione sopra il vecchio manto, e nel caso in cui esista un preesistente strato di coibentazione al di sotto, ci troviamo nelle condizioni in cui un elemento assimilabile ad un freno al vapore si trova non all'interno di tutti gli strati coibenti, come dettano le regole sul suo funzionamento, ma in una posizione intermedia all'interno di essi.

La ristrutturazione di manti esistenti può comportare notevoli incertezze progettuali



Diventa quindi possibile che il punto di rugiada in alcune condizioni di esercizio dell'edificio, venga a trovarsi non più sopra il vecchio manto, come nelle intenzioni, ma al di sotto di esso, dando l'avvio a quei fenomeni di condensazione che si è cercato di evitare.

Per meglio rendersi conto di questo pericolo, è opportuno passare ad un esempio concreto: ipotizziamo un nuovo pacchetto di copertura su un preesistente in fibrocemento, (caso molto comu-

ne) e valutiamo la distribuzione delle temperature all'interno del pacchetto.

La differenza di temperatura ΔT tra le due facce del pacchetto è costante, e, visto che la resistenza termica R del pacchetto è costante, anche il flusso termico Q diviso T sarà costante, per cui si potrà scrivere, secondo la 6) :

$$\frac{(T_1 - T_2)}{R_{12}} = \frac{(T_2 - T_3)}{R_{23}} = \frac{(T_3 - T_4)}{R_{34}} = \frac{(T_4 - T_5)}{R_{45}} = \frac{(T_5 - T_6)}{R_{56}} = \frac{(T_6 - T_7)}{R_{67}} = \frac{(T_7 - T_8)}{R_{78}} \quad \text{8}$$

Introduciamo i dati di partenza:

Temperatura interna: $T1 = Ti = 20 \text{ °C}$
Temperatura esterna: $T8 = Te = - 5 \text{ °C}$

Tipo di materiale	n°	Spess. L (mm)	Coeff. 1 (W/m/°C)	Resist. termica R = L/1 (m² °C/W)
Calcestruzzo	1-2	80	0.50	$R_{12} = 0.080 / 0.50 = 0.16$
Lana di vetro	2-3	40	0.055	$R_{23} = 0.040 / 0.055 = 0.73$
Intercapedine d'aria	3-4	30	0.026	$R_{34} = 0.030 / 0.026 = 1.15$
Fibrocemento	4-5	5	0.180	$R_{45} = 0.005 / 0.180 = 0.03$
Lana di vetro	5-6	50	0.045	$R_{56} = 0.050 / 0.045 = 1.11$
Intercapedine d'aria	6-7	40	0.026	$R_{67} = 0.040 / 0.026 = 1.54$
Alluminio	7-8	1	203.19	$R_{78} = 0.001 / 203.19 = \sim 0$

La resistenza termica totale del pacchetto sarà:

$$R_{tot} = 0.16 + 0.73 + 1.15 + 0.03 + 1.11 + 1.54 + 0 = 4.72 \quad \frac{m^2 \text{ } ^\circ C}{W}$$

Il flusso termico totale attraverso il pacchetto sarà:

$$\frac{Q}{t} = \frac{(T_i - T_e)}{R_{tot}} = \frac{[20^\circ - (-5^\circ)]}{4.72} = 5,3 \frac{W}{m_2}$$

Per cui potremo scrivere:

$$\frac{Q}{t} = \frac{(T_i - T_e)}{R_{tot}} = \frac{[20^\circ - (-5^\circ)]}{4.72} = 5,3 \frac{W}{m_2}$$

$$\frac{(T_1 - T_2)}{R_{12}} = 5,3 \rightarrow \frac{(20 - T_2)}{0.16} = 5,3 \rightarrow T_2 = 20 - (5,3 \times 0,16) = 19,15^\circ C$$

$$\frac{(T_2 - T_3)}{R_{23}} = 5,3 \rightarrow \frac{(19,15 - T_3)}{0.73} = 5,3 \rightarrow T_3 = 19,15 - (5,3 \times 0,73) = 15,30^\circ C$$

$$\frac{(T_3 - T_4)}{R_{34}} = 5,3 \rightarrow \frac{(15,3 - T_4)}{1,15} = 5,3 \rightarrow T_4 = 15,3 - (5,3 \times 1,15) = 9,18^\circ C$$

$$\frac{(T_4 - T_5)}{R_{45}} = 5,3 \rightarrow \frac{(9,18 - T_5)}{0,03} = 5,3 \rightarrow T_5 = 9,18 - (5,3 \times 0,03) = 9,04^\circ C$$

$$\frac{(T_6 - T_7)}{R_{67}} = 5,3 \rightarrow \frac{(3,15 - T_7)}{1,54} = 5,3 \rightarrow T_7 = 3,15 - (5,3 \times 1,54) = -5^\circ C$$

perché la resistenza termica R78 dell'alluminio è praticamente nulla.

Constatiamo ora che la temperatura in corrispondenza della faccia inferiore del vecchio manto in fibrocemento è $T_4 = 9,18^\circ C$.

Supponiamo di essere fortunati, e che il tasso di umidità all'interno dell'edificio sia piuttosto basso, collochiamolo intorno al 60%.

UTILIZZANDO IL DIAGRAMMA DI MOLLIER

Partiamo dal **punto 01** a temperatura di 20 °C, spostiamoci orizzontalmente (a temperatura costante) fino ad incontrare la curva della U.R. 80%.

Quel punto sul diagramma (**punto 02**) individua le condizioni interne dell'edificio.

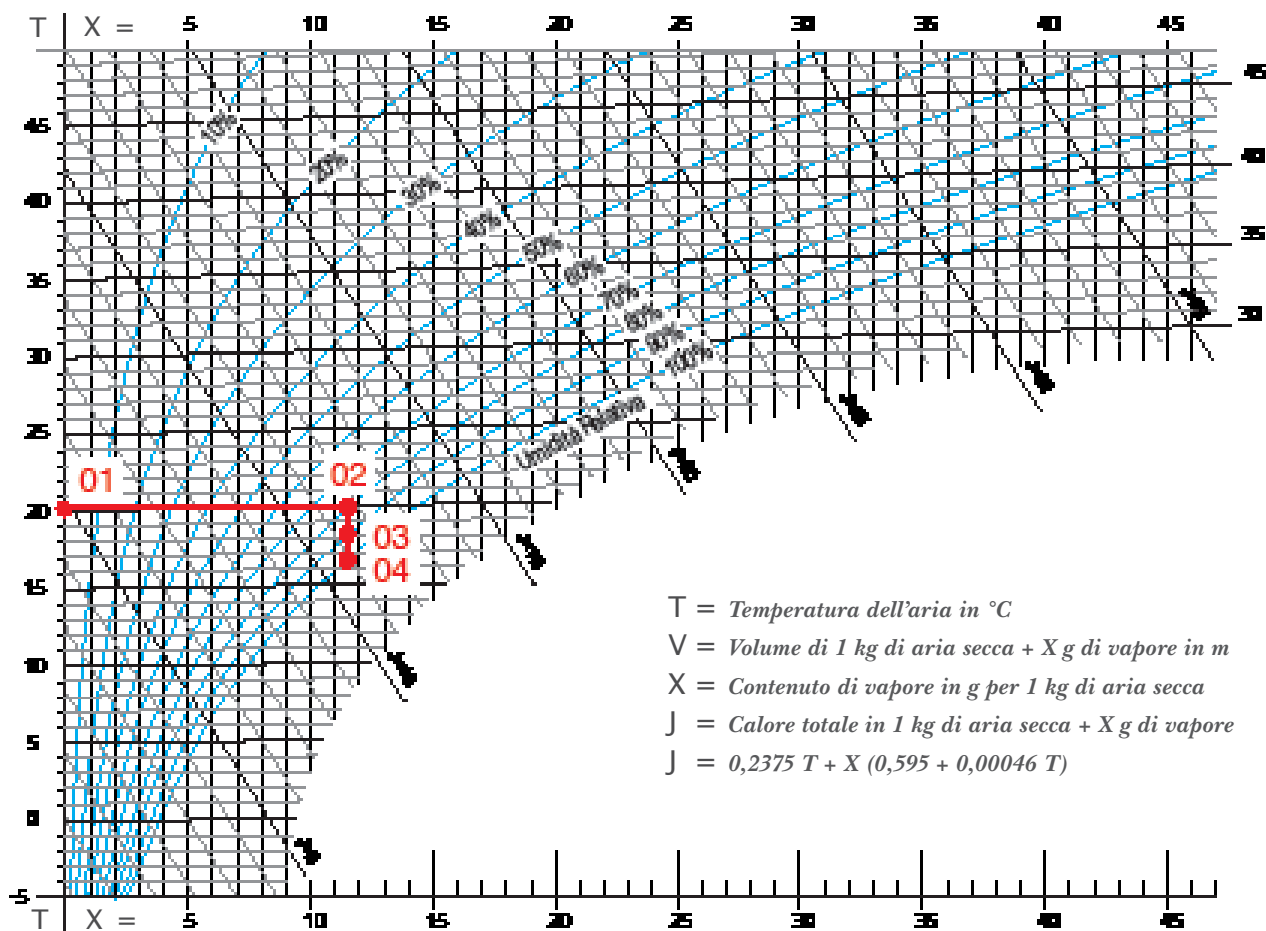
Dal **punto 02** spostiamoci verticalmente (a contenuto d'acqua costante), fino ad incontrare la **curva di saturazione**, cioè quella che corrisponde all'umidità del 100% (**punto 03**).

A questo punto corrisponde una temperatura di 12 °C.

Purtroppo, la temperatura raggiunta in corrispondenza della faccia interna del manto di copertura preesistente è di soli 9,18 °C, e questo significa che la condensazione avrà luogo già in un punto interno ad essa, nello strato di intercapedine d'aria 3-4.

Questo porterà a fenomeni di condensazione e di gocciolamento all'interno del vecchio pacchetto di copertura, vanificando, almeno dal punto di vista igrometrico, l'applicazione del nuovo manto. Da queste considerazioni si possono trarre alcune conseguenze piuttosto rilevanti: Mentre una nuova

Diagramma di Mollier



copertura, se ben concepita e realizzata, è in grado di risolvere radicalmente problemi di infiltrazioni o semplicemente dovuti all'età del manto originario, può d'altro canto scatenare problemi anche peggiori in termini di condensa, a meno che non si ponga particolare attenzione al dimensionamento dello strato coibente ed in generale alla resistenza termica del pacchetto globale, verificando meglio possibile quale sia la composizione e lo stato di conservazione del pacchetto esistente.

L'utilizzo di tecnologie basate sul metallo, specialmente applicato a strutture staticamente non esuberanti, è in grado di fornire le soluzioni più valide e vantaggiose, a patto che si tenga in opportuna con-

siderazione il passaggio da un manto probabilmente permeabile, almeno in parte, al vapore acqueo, ad uno, quello metallico, che non lo è in assoluto, e che quindi si affida esclusivamente alla ventilazione per lo smaltimento dell'eventuale presenza di vapore acqueo all'interno del pacchetto.

2.5 Caratteristiche di isolamento acustico

2.5.1 Opportunità dell'isolamento acustico

L'ambiente in cui viviamo è mediamente molto più rumoroso di quanto non fosse cinquanta o anche solo venti anni fa. I motivi di questo sono vari, legati sia al tipo di civiltà industriale nella quale viviamo, caratterizzata dalla presenza di insediamenti produttivi e dei relativi impianti e attrezzature, sia all'aumento della densità di popolazione, e all'accentramento della stessa in città sempre più grandi e congestionate, con il conseguente aumento della densità del traffico veicolare.

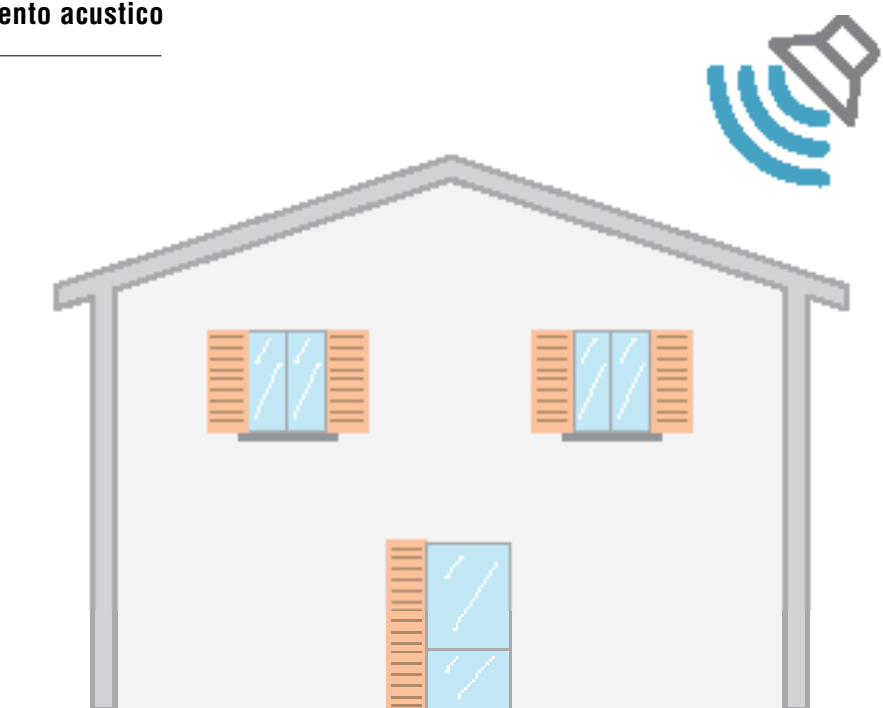
Il livello di rumore a cui sono sottoposte mediamente le persone, è quindi arrivato ad un punto tale da mettere in certi casi in pericolo la salute, o, quanto

meno, da costituire un serio fastidio alla vita quotidiana.

Diventa pertanto molto importante fare in modo che, negli edifici nei quali le persone trascorrono gran parte della loro giornata, il livello di rumore prodotto all'esterno degli edifici stessi e che riesce a penetrare all'interno sia il più possibile ridotto.

La copertura dell'edificio costituisce una parte importante, anche se non la più importante in assoluto, di quel perimetro dell'edificio da difendere e isolare per quanto possibile dal rumore esterno.

La copertura può diventare fondamentale per l'isolamento acustico



In altri casi, anche piuttosto frequenti, il rumore di cui tenere conto è quello prodotto all'interno dell'edificio stesso. In questo caso, oltre che cercare di limitarne l'emissione, gli sforzi vanno nella direzione di minimizzare le conseguenze nei confronti degli occupanti dell'edificio stesso.

Citiamo alcuni esempi:

Edifici nei quali, limitatamente ad alcune zone di essi, si svolgono attività, lavorazioni, o produzioni eseguite con impianti che per funzionare emettono una notevole quantità di rumore. In questi casi si tende ad isolare la zona rumorosa mediante partizionamenti in grado di fermare in parte il rumore, riducendolo al di fuori a livelli accettabili.

Esiste anche il caso opposto nel quale, all'interno di insediamenti nei quali l'attività produttiva è tutta molto rumorosa, si creano partizioni o zone separate

ed isolate nelle quali il personale possa svolgere le sue mansioni in condizioni di comfort acustico.

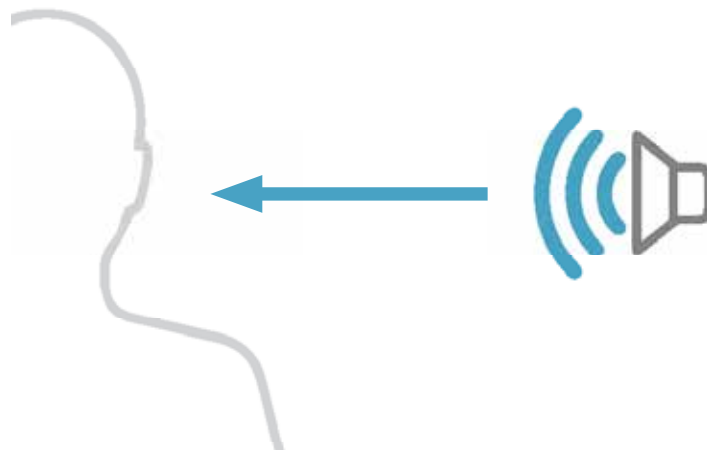
Edifici, perlopiù pubblici, nei quali si raccoglie normalmente un numero elevato di persone, ad esempio per assistere a manifestazioni e spettacoli. In questo caso, specialmente se le attività svolte implicano un dialogo col pubblico o esibizioni canore, esistono due tipi di problemi, diametralmente opposti. Il primo consiste nell'assorbire la maggiore quantità possibile del rumore emesso dal pubblico, evitando che si riverberi nell'ambiente. Il secondo consiste nel cercare di mantenere il più possibile inalterato, in livello e in chiarezza, il messaggio sonoro, parlato o cantato, proposto al pubblico.

Per decidere quali siano le modalità migliori per ottenere questi risultati, è necessario avere prima le idee ben chiare sulla natura del rumore, dei suoni, e delle loro modalità di trasmissione.

2.5.2 Natura del suono e del rumore

Il suono è un insieme di onde di pressione che si propagano attraverso tutti i corpi dotati di massa, con velocità tanto più alta quanto più alta è la densità dei corpi stessi. Come tale, l'emissione di un suono corrisponde a un trasferimento, o un trasporto, di energia. Il suono viene generato in uno o più punti dello spazio, e da quei punti l'onda sonora viaggia in

tutte le direzioni. Supponendo, nel caso più semplice, che il suono sia originato in un solo punto dello spazio, da un altro punto qualsiasi dello spazio nel quale il suono viene ricevuto, se non vi sono ostacoli interposti, si può individuare una direzione di provenienza, che è la linea retta che congiunge il punto sorgente sonora con il punto di ascolto.

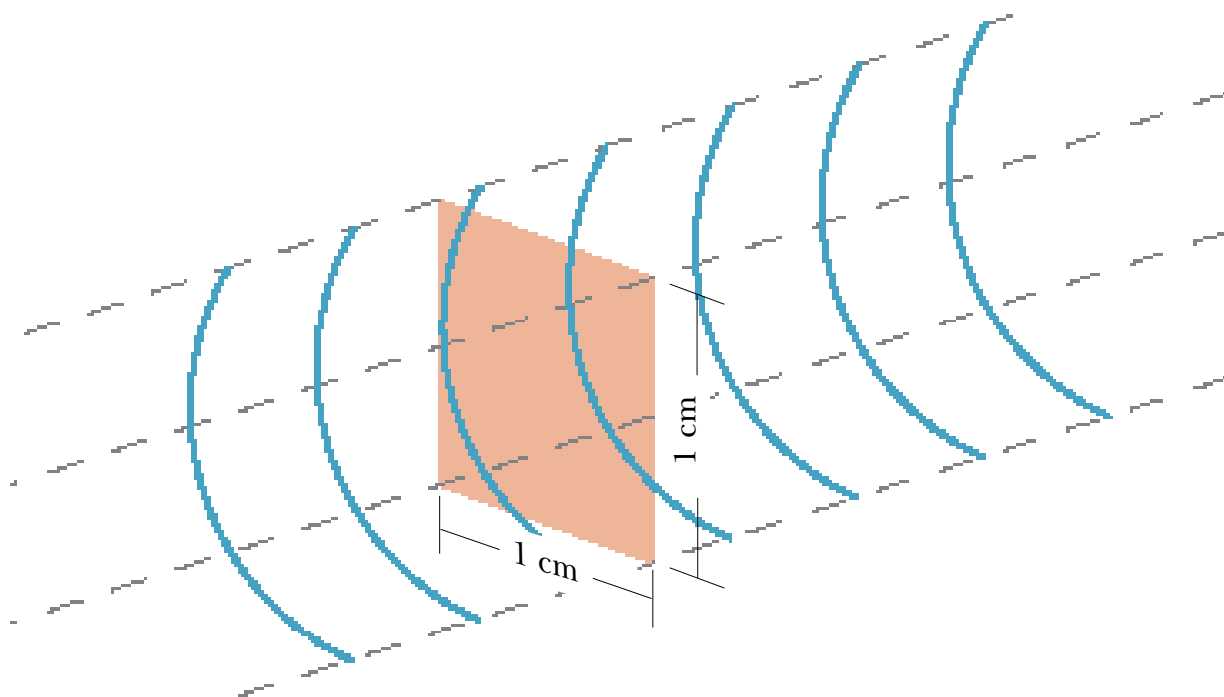


In base alla natura dell'onda sonora, si possono individuare alcune grandezze fisiche che meglio la descrivono:

INTENSITÀ

Essendo l'onda sonora, nella sua forma più semplice un trasporto di energia fra un punto sorgente in un punto ricevente, si può definire l'intensità sonora come la potenza, ovvero l'energia trasferita

nell'unità di tempo, che attraversa una superficie perpendicolare alla direzione del suono. Una unità di misura molto comune per l'intensità acustica è data da $[W/cm^2]$.



In ogni punto del corpo attraverso il quale il suono si propaga, l'onda sonora provoca fluttuazioni, ovvero dei minimi e dei massimi, della pressione locale. La differenza di pressione tra la massima e la minima viene detta Pressione acustica; l'unità di misura ufficiale per la pressione, nel Sistema Internazionale, è il Pascal [Pa], pari a circa $0,000102 \text{ kg/cm}^2$.

Questa unità di misura, tuttavia, è di utilizzo scarsamente pratico nel campo dell'acustica. Questo perché l'orecchio umano è in grado di percepire

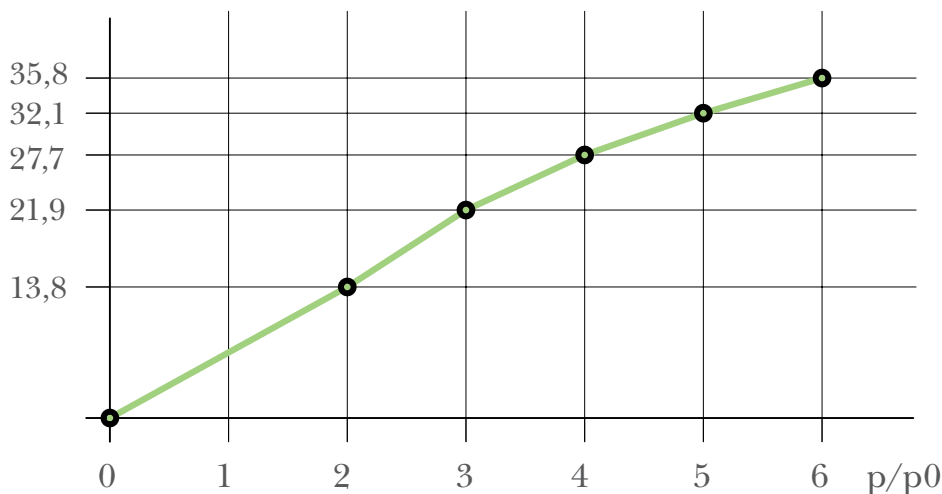
una gamma di suoni la cui pressione acustica va da un minimo di $0,00002$ Pascal ad un massimo di 200.000 Pascal circa.

Essendo il valore massimo pari a cento miliardi di volte il minimo, non è agevole comparare differenti valori, ad esempio, su di un grafico, e pertanto si è ricorsi ad una grandezza fisica detta Livello di pressione acustica, la cui unità di misura è detta Decibel [Db].

IL LIVELLO DI PRESSIONE ACUSTICA

Viene definito come il logaritmo naturale del rapporto tra la pressione acustica in esame e la pressione acustica di riferimento $p_0 = 0,00002$ Pa. Il

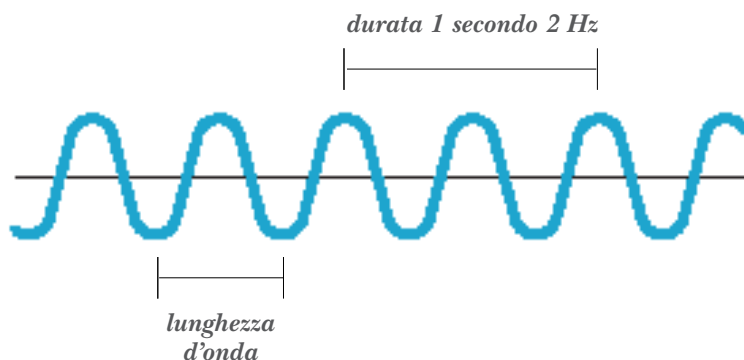
logaritmo è un operatore matematico che permette di "comprimere", rendendola più leggibile, la scala delle pressioni. L'effetto è esemplificato nel grafico.



LA FREQUENZA DEL SUONO

È data dal numero di onde propagate nell'unità di tempo. Si misura in Hertz [Hz], cioè in cicli al secondo, dove un ciclo corrisponde al susseguirsi di due massimi o minimi successivi. Sono molto comuni

come unità di misura il **Kilohertz [KHz]**, pari a mille cicli al secondo, il **Megahertz [MHz]**, pari ad un milione di cicli al secondo, ed il **Gigahertz [GHz]**, pari ad un miliardo di cicli al secondo.



La maggiore o minore frequenza di un suono corrisponde al fatto che si avverta il suono stesso come più acuto o grave.

frequenza, una gamma di frequenza di onde sonore che va da 20 Hz a 20 KHz. Al di sotto ci sono i cosiddetti infrasuoni, al di sopra gli ultrasuoni.

L'orecchio umano riesce a percepire, anche in funzione del livello di pressione sonora relativa ad ogni

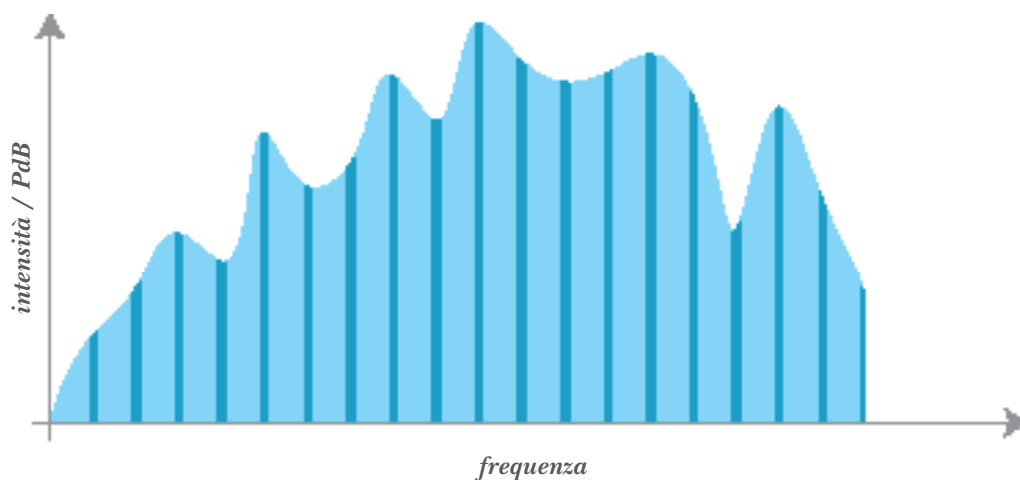
Parecchie specie di animali sono in grado di percepire una gamma di frequenze più ampia.

La massima pressione sonora sopportabile dall'essere umano, detta soglia del dolore in quanto genera vera e propria sofferenza fisica, è di circa 120 dB.

Può essere utile dare un'occhiata alla tabella seguente, che riporta la relazione intercorrente tra valori esemplificativi di pressione acustica, livello di pressione acustica, intensità sonora, nonché esempi di fonti sonore con quelle caratteristiche.

Un suono puro è formato da un'onda dotata da una sola frequenza, ma la cosa, benché facilmente riproducibile in laboratorio, è poco frequente in natura. La maggior parte dei suoni è formata da onde di varie frequenze che si sovrappongono a formare il suono risultante. Si parla in tal caso di spettro sonoro, ovvero di un insieme di frequenze, ciascuna dotata della propria intensità. La composizione dello spettro sonoro viene percepita come timbro o tonalità del suono.

Esemplificazione di spettro sonoro



Il rumore si può definire come un insieme incoerente di suoni di varie frequenze ed intensità.

Proprio perché formato da suoni con frequenze, intensità e durata non correlate tra di loro, il rumore è di solito percepito come fonte di disturbo per le normali attività o, come minimo, come fatto sgradevole e meritevole di eliminazione o almeno riduzione. Per raggiungere questo risultato, visto che il mezzo attraverso il quale il suono si propaga (l'aria) non è eliminabile in quanto serve a respirare, si tende di solito a frapporre ostacoli solidi alla diffusione del suono.

Questi ostacoli sono di solito costituiti dal soffitto e dalle pareti, già esistenti o costruite appositamente, ma non tutte le pareti riescono costituire un valido schermo alla diffusione del suono.

La loro efficacia in questo senso dipende da vari fattori, alcuni dei quali correlati alla loro natura, ed altri alla natura dei suoni.

2.5.3 Modalità di interazione del suono con oggetti solidi

L'energia di un'onda sonora che colpisca una parete si suddivide in generale in alcune o tutte queste modalità:

Pressione acustica (Pa)	Liv. di pressione acustica (dB)	Intensità (W/m ²)	Esempio
0,00002	0	0,000000000001	Silenzio assoluto (limite di udibilità)
0,02	60	0,000001	Normale conversazione
2	100	0,01	Passaggio di treno in galleria
20	120	1	Martello pneumatico (soglia del dolore)
200.000	200	100.000.000	Scoppio di granata

RIFLESSIONE

Una parte dell'energia dell'onda viene riflessa dalla parete secondo lo stesso angolo rispetto al piano col quale è arrivata ad incidere sulla parete stessa, in

questo fenomeno la dispersione di energia è modesta. Quanto più la superficie della parete è liscia, uniforme e rigida, tanto più rilevante è la riflessione.

TRASMISSIONE

Una parte dell'energia dell'onda passa attraverso la parete e si propaga nello spazio retrostante. La

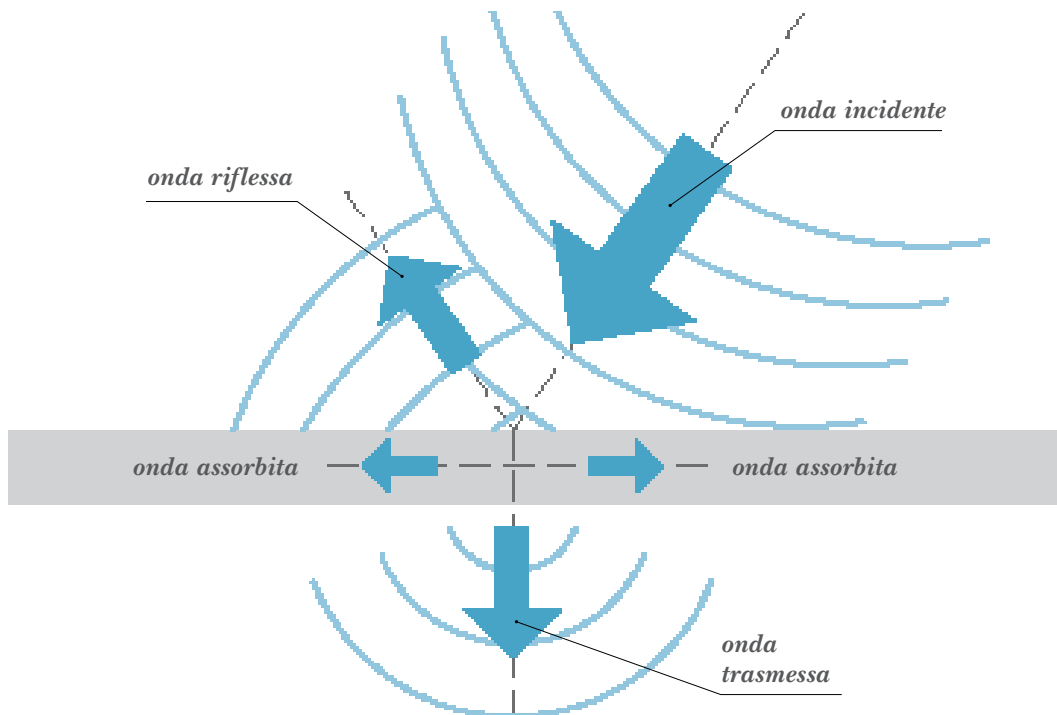
quantità di energia che viene dispersa nella trasmissione è proporzionale alla massa della parete stessa.

ASSORBIMENTO

Una parte dell'energia dell'onda viene assorbita all'interno della parete, secondo modalità che dipendono dalla geometria e conformazione della parete

stessa e velocità che dipende dai materiali dai quali è costituita. (Vedi figura pag. seguente).

Esempio di assorbimento acustico



L'altro fondamentale parametro che influisce su tipo di interazione fra suono e parete, ovvero sulla proporzione fra riflessione, trasmissione ed assorbi-

mento, risiede fundamentalmente nella frequenza, o meglio nelle frequenze fondamentali dei vari suoni che compongono il rumore.

2.5.4 Modalità di abbattimento selettivo del rumore

Il modo più adatto per risolvere un problema di rumore si trova partendo da un'analisi della natura

del rumore stesso, per poi decidere come trattarlo, o come trattarne la parte sgradita.

RUMORI PROVENIENTI DALL'ESTERNO DELL'AMBIENTE

In questo caso lo scopo della correzione acustica consiste essenzialmente nel cercare di impedire nel modo più efficace possibile la diffusione dei rumori all'interno dell'ambiente.

Il problema riguarda principalmente le pareti perimetrali dell'edificio, e solo in modo marginale la copertura, a meno che, ad esempio, l'edificio sia circondato da altri edifici di altezza ben maggiore,

e dai quali per di più provenga una buona parte del rumore.

Il rumore esterno è formato da uno spettro di varie frequenze, la cui ripetitività è incerta. Inoltre, e questo è più rilevante, la direzione di provenienza delle fonti di rumore è varia e molteplice.

Se a ciò si aggiunge il fatto che la forma, la disposizione, la natura della superficie esterna, liscia o scabrosa, sono quasi sempre vincolate a ben altre esigenze, e raramente possono essere modificate a piacimento, si conclude che non conviene utilizzare

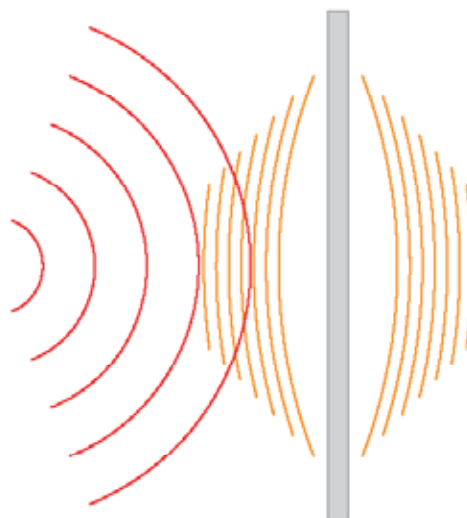
principalmente il fenomeno della riflessione applicato alle pareti esterne dell'edificio.

È invece opportuno lavorare sulla capacità di assorbimento del rumore, distinguendo innanzitutto tra due tipi fondamentali di rumore:

- rumore incidente dall'esterno, ovvero il rumore prodotto nell'ambiente circostante l'edificio
- rumore da impatto diretto sulla copertura o sulle pareti dell'edificio stesso, tipicamente provocato dalla pioggia o dalla grandine.

RUMORE PRODOTTO NELL'AMBIENTE CIRCOSTANTE

I parametri che esercitano influenza sulla trasmissione di questo rumore sono la massa del pacchetto di parete o di copertura: l'energia di pressione della quale è costituito il rumore esterno può essere assorbita mettendo in vibrazione i componenti della copertura o della parete, ovvero trasformando l'energia di pressione in energia meccanica e, in piccola parte, in energia termica; esemplificando, è il processo contrario a quello che avviene suonando un tamburo, dove l'energia meccanica fornita dal batterista si traduce in vibrazione della membrana, la quale a sua volta produce un'onda di pressione che percepiamo come rumore (o musica, a seconda della situazione), nonché una piccola frazione di energia termica, se il batterista è particolarmente energico.



Di conseguenza la capacità di assorbimento del rumore esterno è grosso modo proporzionale alla massa caratteristica della parete o della copertura; a parità di massa, inoltre, la capacità di assorbi-

mento aumenta coll'aumentare della frequenza caratteristica del rumore incidente.
(Vedi la figura in alto, pagina seguente).

La massa della copertura incide sull'assorbimento acustico

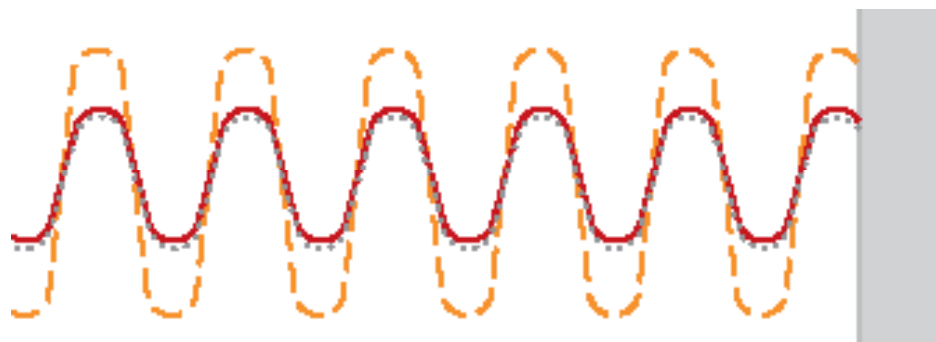


CARATTERISTICHE DI RIGIDEZZA STRUTTURALE DEI SINGOLI COMPONENTI IL PACCHETTO DI PARETE O COPERTURA

In ogni materiale investito da un'onda di pressione acustica si manifesta, ad una certa frequenza, una risonanza, ovvero un fenomeno per cui le onde di pressione si amplificano vicendevolmente.

Schematizzando, si potrebbe dire che le onde riflesse all'interno del materiale, per le caratteristiche fisiche e dimensionali dello stesso, a quella frequenza si trovano in sincronia con le onde dirette seguenti, per cui si sommano i massimi con i massimi ed i minimi con i minimi, generando globalmente un'amplificazione dell'onda originale.

Il fenomeno avviene, come abbiamo detto, ad una determinata frequenza, detta frequenza critica del materiale; questa frequenza dipende tuttavia anche dallo spessore del materiale stesso, ed è tanto maggiore quanto minore è lo spessore del materiale, per cui, dalla conoscenza delle frequenze caratteristiche del rumore che si intende assorbire, si tenderà ad evitare l'utilizzo dei materiali negli spessori che potrebbero dare luogo alla risonanza.



— onda incidente onda riflessa - - - somma incidente + riflessa

L'OMOGENEITÀ DEI VARI COMPONENTI DEL PACCHETTO

Proprio per le ragioni esposte al punto precedente, è opportuno utilizzare ai fini dell'assorbimento del rumore un insieme di componenti dalle caratteristiche fisiche differenti, e possibilmente, per elementi dello stesso tipo, di diverso spessore.

In questo modo le frequenze critiche dei vari elementi saranno diverse, e l'eventuale presenza nell'onda di rumore incidente di una frequenza che potrebbe diventare critica per uno degli elementi sarà assorbita dagli altri elementi.

Il pacchetto risultante sarà quindi virtualmente immune da fenomeni di risonanza, ed anche per questo motivo la sua capacità fonoassorbente potrà essere superiore alla somma delle capacità dei singoli elementi che lo compongono.

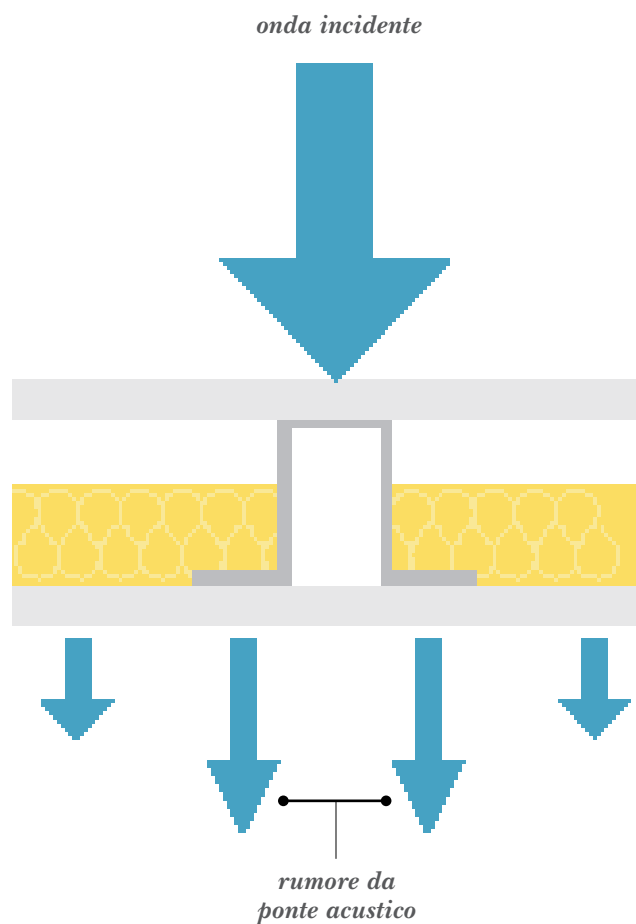
Va sottolineata l'importanza, a questo riguardo, di conoscere nel miglior modo possibile lo spettro di

frequenze del rumore che si vuole assorbire, cosa che andrebbe fatta, oltre che su base statistica, mediante un'analisi fonometrica ottenuta con le opportune strumentazioni.

Ponti acustici: un pacchetto di copertura o di parete è costituito da vari componenti o strati tra loro connessi; ogni strato, inoltre, non è di norma realizzato in un unico elemento costruttivo per tutta l'estensione della parete o della copertura, ma da vari elementi accostati o uniti tra loro.

Questa necessità pratica determina la presenza di elementi di collegamento, in molti casi metallici, che attraversano trasversalmente i componenti del pacchetto, generando un collegamento dal punto di vista della trasmissione di onde acustiche, fra l'esterno e l'interno.

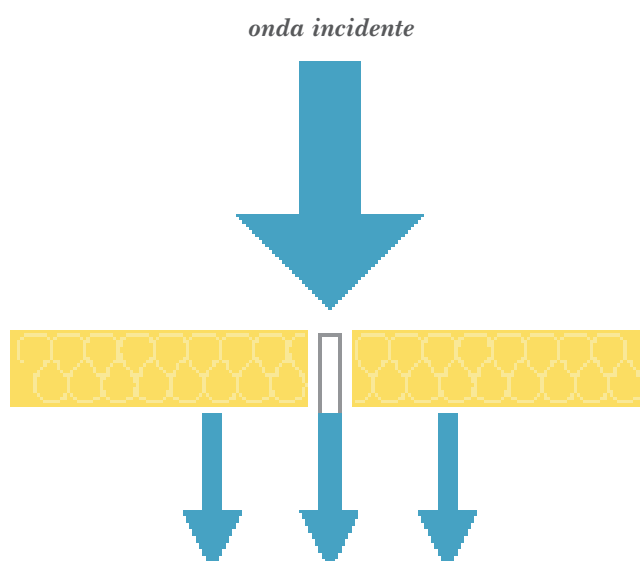
Elementi di collegamento possono creare ponti acustici



L'accostamento tra i vari elementi che costituiscono un singolo strato, e che sono quindi realizzati con lo stesso tipo di materiale, può in molti casi e per ragio-

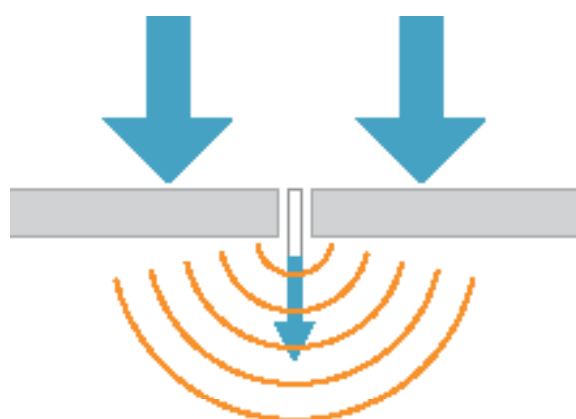
ni costruttive non essere a perfetta tenuta stagna, e può quindi costituire un passaggio d'aria, ovvero un passaggio di onda acustica, tra l'esterno e l'interno.

É fondamentale la massima accuratezza nell'accostamento dei materiali



Le occorrenze citate possono far sì che un pacchetto teoricamente studiato come sufficiente ed adeguato ad assorbire un determinato spettro acustico si riveli carente a causa di fughe locali (ponti acustici) che in definitiva portano in maniera diretta parte del rumore all'interno, aggirando la gran parte della superficie.

La nocività del fatto non è irrisoria, come si potrebbe pensare rapportando la superficie dei ponti acustici con quella totale del pacchetto, in quanto il rumore, partendo da un punto, si propaga poi nell'ambiente interno per onde sferiche, coinvolgendo un'area ben superiore a quella della sorgente (il singolo ponte acustico) da cui è partito.



Buona norma è quindi, per opporsi a questi fenomeni, realizzare se possibile il collegamento tra i vari strati del pacchetto mediante elementi di collegamento parziale, che ne attraversino di volta in volta solo una parte, meglio se non costituiti da un solo materiale metallico, ma anche da interposizioni, guarnizioni o ritegni in altro materiale di diversa densità e caratteristiche (plastiche o simili).

Sarebbe inoltre consigliabile porre la massima cura possibile nell'accostamento dei vari elementi di uno strato, ed in ogni caso evitare che le giunzioni di uno strato si trovino in corrispondenza con le analoghe dello strato precedente e successivo.

Giunture sfalsate tra elementi del pacchetto di copertura



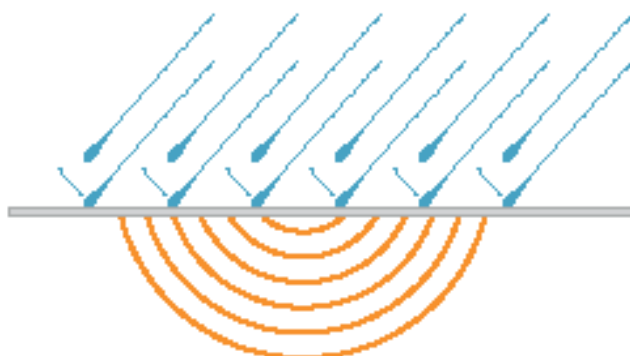
RUMORI DA IMPATTO DIRETTO

Come già accennato, consistono essenzialmente nel rumore prodotto dall'impatto della pioggia o della grandine sul manto di copertura. Quest'ultima ha in genere notevole intensità, ma quasi sempre è di breve durata, mentre il primo può invece costituire un disturbo prolungato nel tempo.

Le caratteristiche dei manti di copertura metallici non sono favorevoli in questo senso, in quanto que-

sti ultimi sono formati da elementi sottili ed elastici che reagiscono agli impatti in due modi:

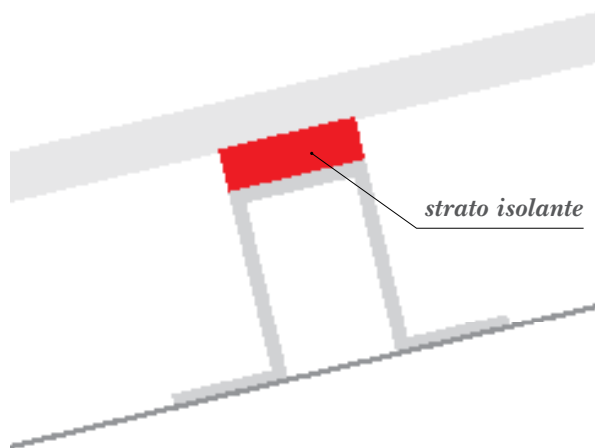
- 1 Ponendosi in vibrazione, ovvero trasformando l'energia dell'impatto in energia meccanica di deformazione, che a sua volta forma un'onda di pressione, ovvero un'onda sonora, in corrispondenza dell'intradosso del manto.



2 Trasmettendo direttamente l'onda sonora ai supporti del manto stesso, e, da questi, alla struttura ed al volume interno sottostante (la velocità del suono in un corpo è proporzionale alla densità del corpo stesso, per cui nel metallo la velocità di propagazione è molto più alta che nell'aria).

Per questi motivi, è bene, allo scopo di minimizzare i fenomeni descritti, usare le seguenti avvertenze: interporre elementi smorzanti tra il manto ed i suoi supporti metallici, in modo da frenare la propagazione del suono o comunque di diminuirne la velocità e modificarne la risposta in frequenza. Adatti allo scopo possono essere tamponi o blocchetti in materiale plastico, spugne a cellule chiuse a media densità e simili.

Interposizione di elemento smorzante



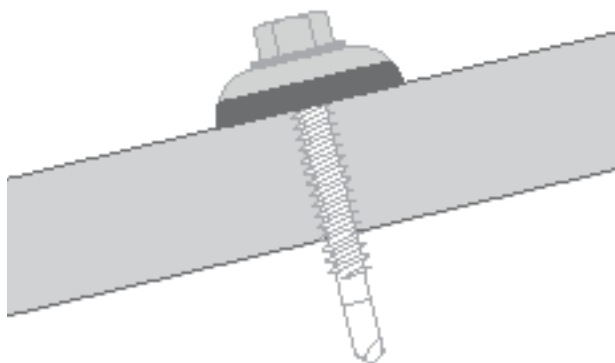
UTILIZZARE SUPPORTI DEL MANTO DI MATERIALE NON METALLICO (comunemente usato il legno)

Interporre tra i fissaggi e gli elementi del manto guarnizioni plastiche aventi, fra gli altri, lo scopo di interrompere il contatto diretto tra il metallo della lastra, quello della vite, e quello dell'arcareccio metallico. (Vedi figura sotto).

Evitare di lasciare al di sotto del manto un'intercapedine d'aria, ponendo invece un materiale

fonoassorbente, come un pannello poroso di lana minerale, a diretto contatto con l'intradosso della lastra. Questo al duplice scopo di evitare fenomeni di risonanza nell'aria contenuta nell'intercapedine, e di bloccare meccanicamente la vibrazione della lastra stessa.

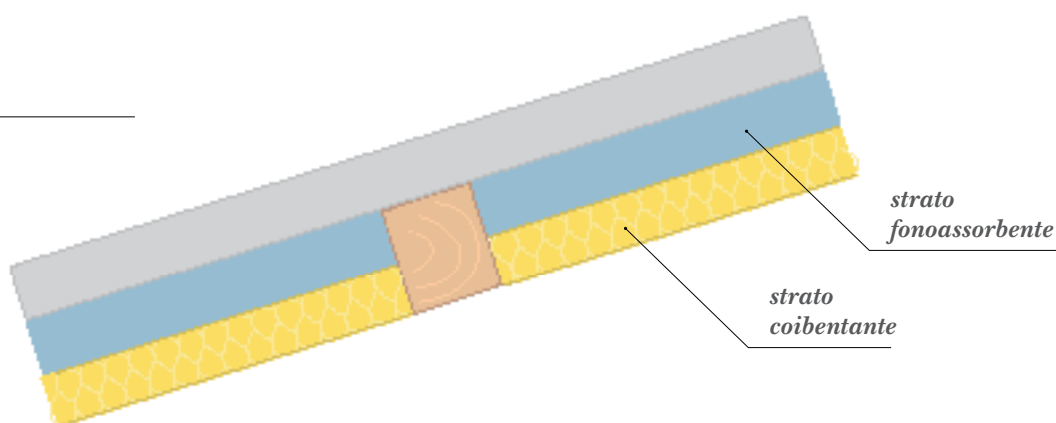
Guarnizione in plastica specifica per fissaggi



È bene notare che, qualora la coibentazione sia costituita da pannelli a cellule chiuse, non porosi, questi non possono essere considerati validi dal

punto di vista della fonoassorbenza, ma devono essere integrati come sopra descritto.

Pannelli a cellule chiuse non sono validi per l'assorbimento



Quando il manto non sia costituito da un pacchetto, ma consista in un unico strato, è bene considerare l'utilizzo di prodotti formati da un sandwich di diversi elementi.

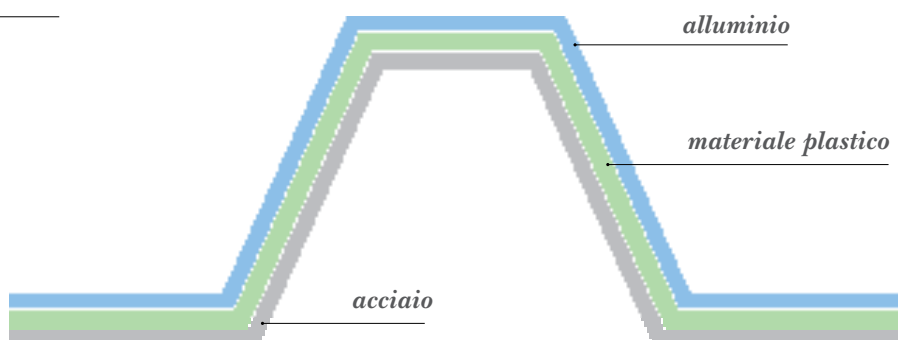
Esemplificativo al proposito è il caso del pannello monolitico, costituito da due strati metallici, uno esterno ed uno interno, separati da uno strato non metallico.

Questo strato interno, che possiede principalmente funzioni meccaniche e termiche, può anche rivestire il ruolo di separatore tra i metalli ai fini di freno alla trasmissione del rumore.

Il pannello monolitico inoltre, grazie alla combinazione fra massa e rigidità, possiede frequenze caratteristiche di risonanza molto più basse della sola lastra.

Esistono anche prodotti in cui la lastra stessa è formata da più strati, a ognuno di quali è demandata una specifica funzione (generalmente, dall'esterno verso l'interno, di protezione agli agenti atmosferici, di coibentazione/fonoassorbente, e di resistenza strutturale).

Lastra multistrato

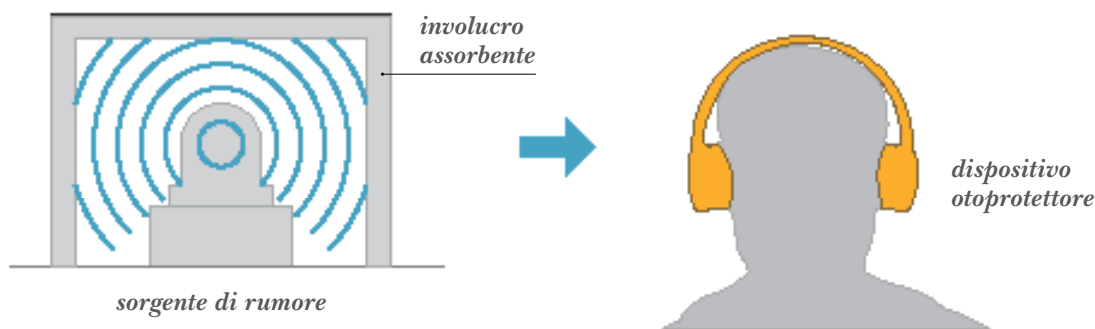


RUMORI PRODOTTI ALL'INTERNO DELL'AMBIENTE

Questo caso può essere distinto in due diverse situazioni. **Nella prima**, si tratta di un rumore totalmente indesiderato, e qui lo scopo della correzione acustica consiste nel cercare di impedire che tutto o la maggior parte di questo rumore raggiunga, all'interno dell'ambiente, i punti specifici dove possa creare disagio, tipicamente le persone che nell'ambiente stazionano. Il trattamento può essere ricondotto come tipologia a quelli descritti precedentemente, in quanto consiste nel frapporre tra la sorgente del

rumore ed il luogo da proteggere un'adatta barriera capace di assorbimento acustico, e quindi dotata delle caratteristiche prima descritte.

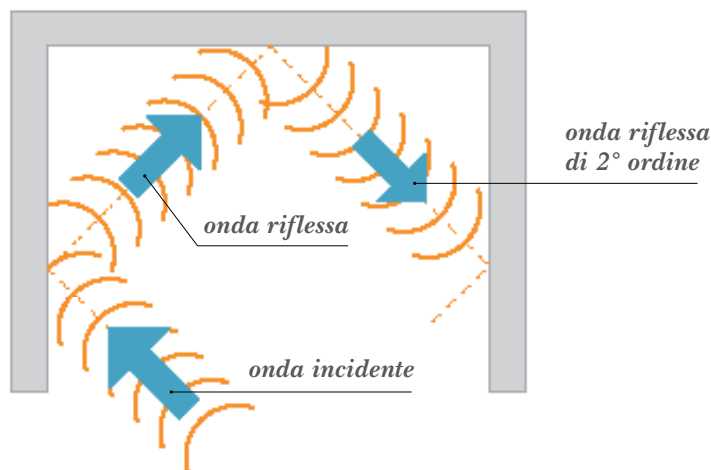
A seconda quindi del fatto che la sorgente del rumore o il destinatario siano puntiformi e localizzati, si procederà quindi più facilmente ad un confinamento dell'una o dell'altro con un involucro acusticamente assorbente, essendo il limite estremo della seconda eventualità costituito dal dotare la persona investita dal suono di opportune cuffie o tappi otoprotettori.



Nella seconda, si tratta di un suono prodotto volontariamente all'interno dell'edificio, che non si vogliono abbattere, ma controllare nella diffusione e nella qualità. Data per scontata la natura iniziale del suono, così come viene prodotto, ciò che lo modifica e lo distorce è legato alla riflessione del suono stesso sulle facce interne delle pareti e della copertura.

Queste onde riflesse infatti si propagano in direzioni che dipendono dall'angolo di incidenza, e quindi dall'orientamento della parete stessa rispetto alla sorgente sonora; l'onda riflessa una prima volta può avere energia residua sufficiente per incidere su altre pareti, generando ulteriori onde riflesse di secondo, terzo ordine e così via.

Incidenze "multiple" delle onde



Ognuna di queste onde riflesse si sovrappone alle altre, oltre che all'onda originaria, con una differenza di fase, ovvero con un ritardo fra i minimi e i massimi delle une e delle altre, che dipende dalla distanza e dalle traiettorie percorse, e per di più con una intensità diversa, in quanto, ad ogni riflessione, una parte dell'energia connessa con l'onda viene dispersa sotto forma di calore ceduto alla parete.

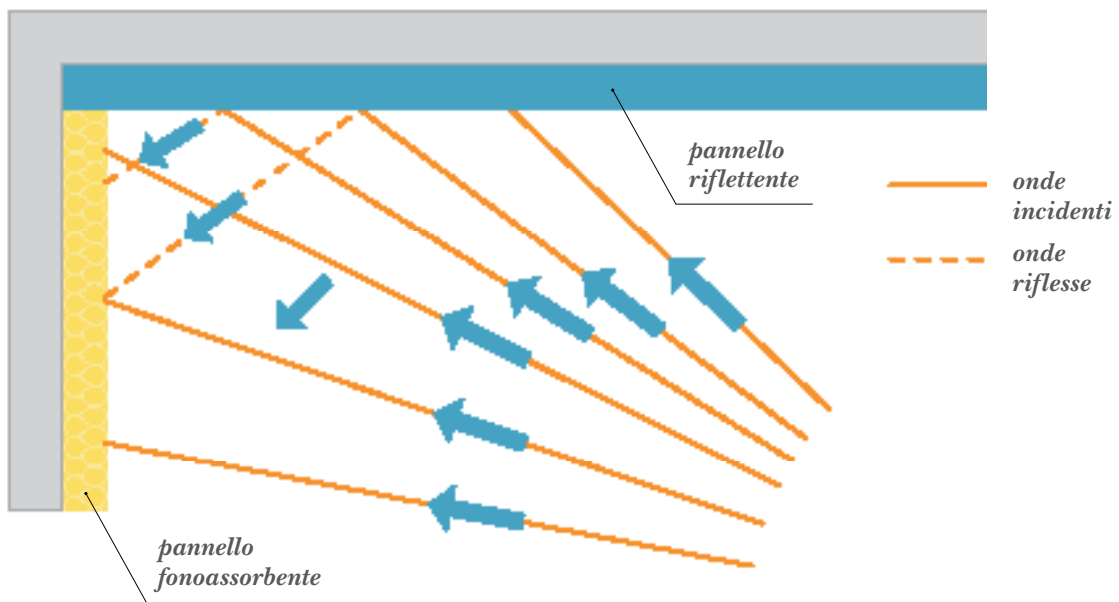
Il tutto, ripetuto magari alcune volte, genera un risultato finale in cui l'onda originaria, il suono generato, può essere talmente distorto da risultare irriconoscibile. Due sono i modi con cui cercare di controllare questa situazione:

Il primo presuppone un'ottima conoscenza globale della sorgente sonora (tipo, punto di origine, spettro

in frequenza, intensità, ripetitività nel tempo) e mira a guidare la propagazione delle onde sonore nel modo più pulito ed esatto possibile verso la destinazione.

Per fare ciò è necessario utilizzare la meccanica della riflessione, calcolando e prevedendo la traiettoria delle onde sonore ed orientando poi in modo opportuno delle superficie predisposte (tipicamente pannelli) e dotate di caratteristiche di riflettività sonora calibrate allo scopo.

Inoltre si dovrà provvedere ad impedire ulteriori riflessioni del suono dopo che questo avrà raggiunto la destinazione assorbendone completamente l'energia residua, ad esempio mediante altri pannelli dotati di adatte caratteristiche.



Questo metodo, non semplice se attuato seriamente, porta ai risultati più apprezzabili, ma presuppone il possesso di tutte le informazioni necessarie.

Quando questo non è possibile, ad esempio nel caso in cui la sorgente sonora è talmente variabile nel

tempo e nelle caratteristiche da non potere essere adeguatamente schematizzata, si può ricorrere alla **seconda modalità**. Questa consiste nel ricercare il totale assorbimento dell'onda sonora nel momento in cui incide per la prima volta su di una superficie

interna dell'edificio, in modo da impedire totalmente la riflessione sia verso il volume interno dell'edificio (ed i suoi utenti), sia verso altre superficie interne, impedendo quindi l'insorgere di ulteriori riflessioni. Il principio da utilizzare consiste nell'intrappolare le onde sonore all'interno di volumi predefiniti e separati dall'ambiente principale.

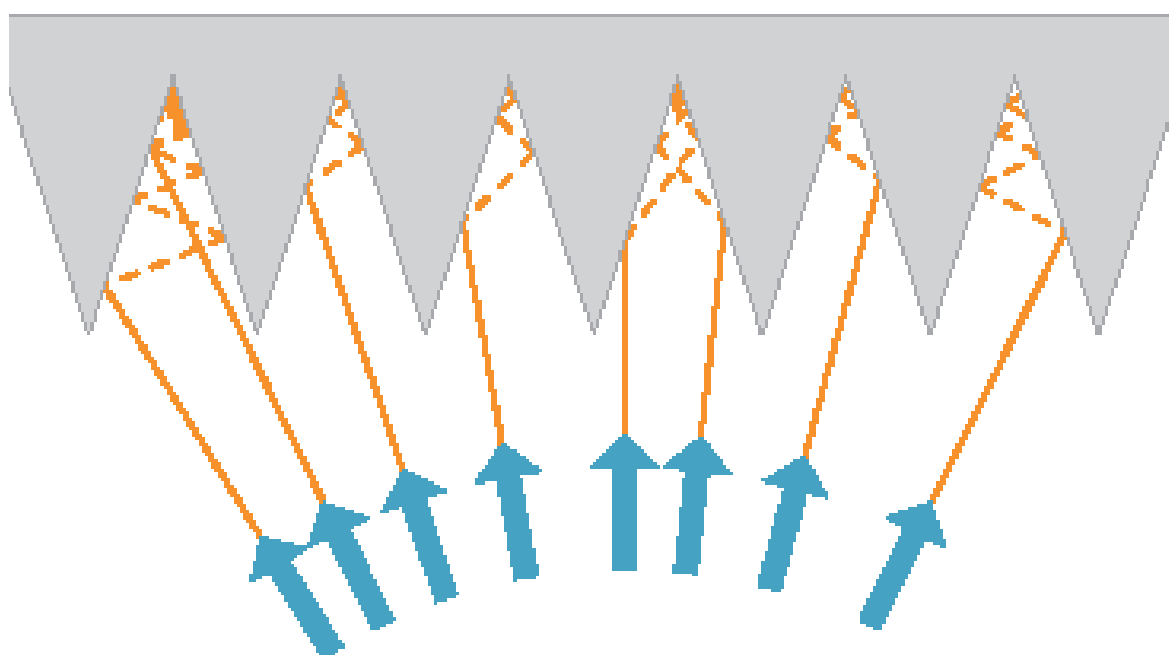
All'interno di questi volumi le onde sonore possono riflettersi ripetutamente, perdendo, ad ogni riflessione, una parte della loro energia, trasferita come energia termica al materiale di cui queste "trappole" sono costituite. L'esempio più caratteristico di questi dispositivi è rappresentato dalle pareti a piramidi

delle camere anecoiche, nelle quali si svolgono le prove fonometriche.

L'onda sonora incidente con un ampio ventaglio di angolazioni viene "catturata" dalla piramide, riflettendosi successivamente sulle sue pareti e sulle pareti della piramide adiacente, fino a raggiungere la gola tra le due piramidi.

Giunta a quel punto, l'onda non possiede più che una frazione dell'energia originaria, sia per l'interferenza tra le riflessioni successive, sia per l'energia assorbita dalle pareti delle piramidi qualora, come è opportuno, esse siano realizzate con materiale dalle elevate capacità fonoassorbenti.

Intrappolamento onde sonore



— onde incidenti - - - - - onde riflesse

Questo sistema non è tuttavia comunemente applicato, sia perché le caratteristiche di fonoassorbente usualmente richieste non sono così spinte, sia

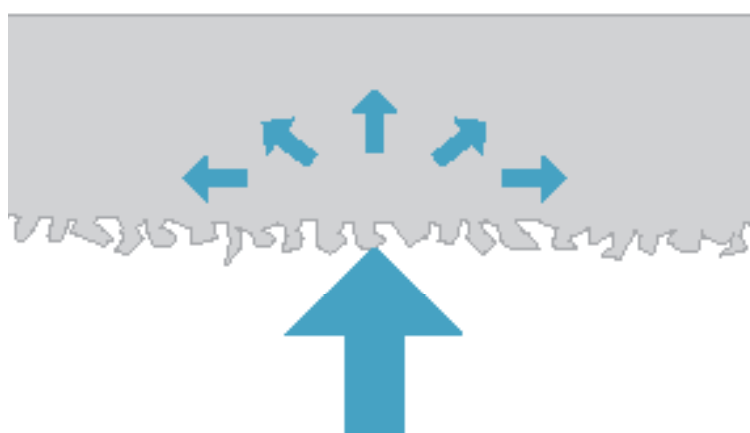
perché di aspetto poco attraente, sia perché di esecuzione complessa e costosa. Descriviamo invece alcune delle soluzioni più utilizzate:

PANNELLI MONOLITICI

Si tratta di pannelli (ad es. in cartongesso, fibre di legno mineralizzato od altro), in cui la superficie esposta all'ambiente interno presenta buone caratteristiche di fonoassorbimento, date da irregolarità

superficiali, microcavità, rugosità. La massa del pannello contribuisce poi ad assorbire, trasformandola in calore, parte dell'energia sonora incidente.

Assorbimento acustico e dispersione onde sonore

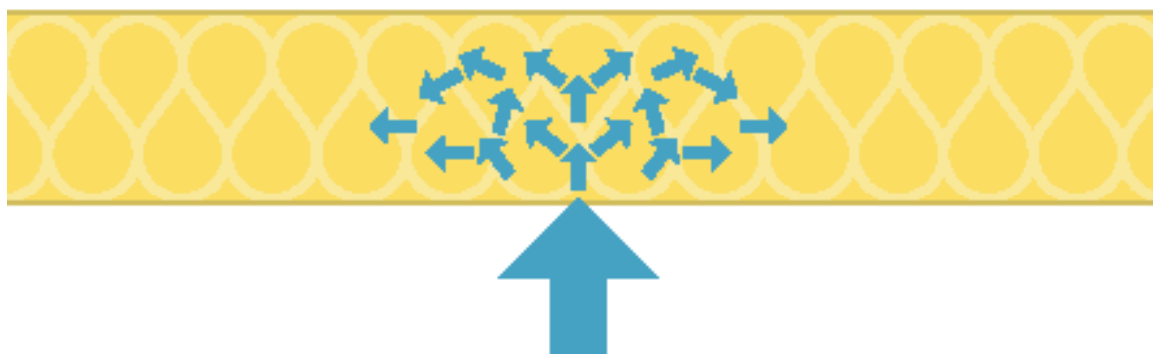


PANNELLI POROSI (IN LANA MINERALE O FIBRE VARIE)

Sono pannelli formati da materiale non compatto, ma caratterizzato da una diffusa microperforazione, ovvero formati da un insieme di alveoli sia aperti verso l'esterno che comunicanti tra loro. L'onda sonora, penetrando negli alveoli del materiale,

disperde la propria energia riflettendosi ripetutamente tra le pareti degli alveoli stessi. Minore importanza ha invece in questo caso l'effetto della massa del pannello, che è di solito modesta, proprio per la preponderanza degli alveoli sul materiale.

Dispersione onde sonore all'interno degli alveoli



PANNELLI (METALLICI, IN CARTONGESSO, IN LEGNO, IN MATERIALI PLASTICI)

Sono pannelli la cui superficie è totalmente o parzialmente perforata (questo anche in funzione della resistenza meccanica che devono conservare).

La perforazione ha lo scopo di lasciar passare l'onda sonora dietro il pannello stesso, dove viene ricavata un'intercapedine.

All'interno di questa intercapedine l'onda si riflette una o più volte, ma, dato che la propagazione a valle di ogni foro torna ad essere di tipo sferico (ovvero in tutte le direzioni), la maggior parte della sua energia non riesce a superare i fori in senso

contrario, e quindi l'effetto globale finisce per essere un notevole assorbimento dell'energia incidente, ed una riflessione molto modesta.

L'efficienza del sistema aumenta se la superficie del pannello è totalmente perforata, e migliora ulteriormente applicando nella parte posteriore dell'intercapedine un pannello poroso, che blocca sul nascere anche le riflessioni all'interno dell'intercapedine stessa. *(Vedi foto).*



Barriera fonoassorbente a protezione dai rumori di linea ferroviaria

Una variante al pannello perforato è costituita da un intercapedine chiusa da un pannello privo di fori, ma dotato di una notevole flessibilità. Questa gli consente di trasformare l'energia sonora incidente in energia meccanica di vibrazione, e successivamente di disperderla sotto forma di calore. Anche questa versione dell'intercapedine può essere completata dalla presenza di un pannello poroso.

La frequenza dell'onda sonora è un parametro importante nella scelta del tipo di barriera fonoas-

sorbente: mentre i pannelli monolitici e le intercapedini con pannello flessibile assorbono meglio le basse frequenze, i pannelli forati sono adatti alle medie frequenze (anche in funzione del diametro dei fori), ed i pannelli porosi sono meglio in grado di assorbire le alte frequenze, mentre per le medie e basse può essere necessario aumentarne lo spessore e la densità.

2.6 Caratteristiche di ventilazione

2.6.1 Opportunità della ventilazione

All'interno degli edifici si svolgono varie attività, alla base delle quali (ma non sempre) vi è quella abitativa umana.

La sola presenza degli occupanti di un edificio pone una serie di requisiti in merito alla quantità e qualità d'aria respirabile che nell'edificio deve essere contenuta in ogni momento.

Infatti le persone hanno bisogno di:

- respirare, ovvero inspirare aria ricca di ossigeno ed espirare aria ricca di anidride carbonica.
- traspirare, ovvero scambiare calore con l'aria circostante per mezzo dell'evaporazione attraverso la pelle.

Entrambe queste attività, assolutamente spontanee ed indispensabili, sono condizionate quantitativamente dal livello di attività fisica esercitato dalle

persone, ma entrambe determinano in ogni caso, a parità di altri fattori, un peggioramento della qualità dell'aria ed un contemporanea esigenza di un ripristino della stessa.

A ciò si aggiungono le esigenze di tipo climatico, che imponendo il mantenimento di determinate temperature e tassi di umidità nell'ambiente, generano ulteriori modificazioni del volume d'aria interno.

Si sono così determinati i parametri di massima che definiscono il numero di ricambi completi d'aria all'interno di un ambiente, in funzione essenzialmente dell'attività che vi si svolge, della quantità di persone che lo abitano e del loro tempo di permanenza nell'ambiente stesso, oltreché da parametri climatici (vedere UNI EN 13779:2008/ UNI EN 16798-3:2018 e UNI 10344:1993 / UNI EN 832:2001).

NUMERO DI RICAMBI D'ARIA CONSIGLIATI

Abitazioni	0,5 – 1
Uffici privati	1 – 2
Stanze di degenza ospedaliera	2 – 3
Aule scolastiche, luoghi di riunione, uffici pubblici	4 – 5
Stabilimenti, ristoranti, discoteche	6 – 8
Locali con produzione di vapori e odori	8 – 10
Sale operatorie	10 – 15

Esistono poi altre attività, specialmente di tipo produttivo, che da un lato possono richiedere ulteriori ricambi d'aria per il loro funzionamento, mentre dall'altro possono generare calore, vapori, polveri o

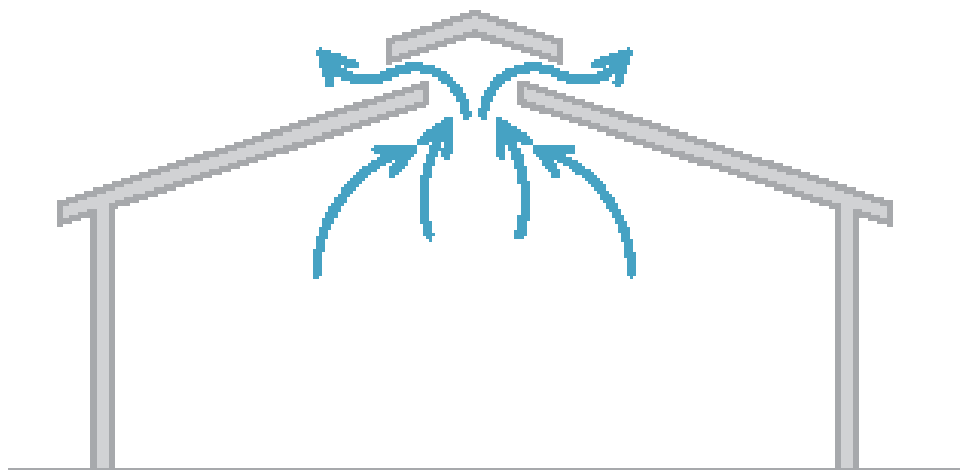
fumi in quantità eccessiva per la qualità dell'ambiente interno. In base a tutte queste esigenze, si rende spesso indispensabile provvedere ad un sistema specifico di ricambio dell'aria interna all'edificio.

2.6.2 Modalità della ventilazione

Lasciando alla competenza dei tecnici che si occupano degli impianti interni di termocondizionamento il compito di dimensionare, in funzione delle normative vigenti, gli impianti veri e propri, ci limiteremo ad un esame delle tipologie di ricambio che riguardano la copertura e le pareti. Il concetto stesso di ricambio presuppone un'entrata ed un'uscita, ovvero uno scambio tra l'aria esterna all'edificio e quella contenuta nell'ambiente interno, allo scopo di rinnovare quest'ultima (anche se lo stato di inquinamento attuale delle città potrebbe far

nutrire dubbi sulla reale utilità di questo scambio). Partiamo dal fatto che, specie in un ambiente di notevole altezza, come spesso è un edificio a destinazione produttiva, esiste una stratificazione dell'aria per cui la più calda, in virtù della minore densità, tende a raccogliersi verso l'alto. È spontaneo quindi pensare che la copertura sia la sede più idonea in cui collocare le uscite d'aria, in quanto questa, già dotata di una tendenza a salire, sarà facilitata ad uscire verso l'alto.

Ventilazione tramite colmo "aerato"



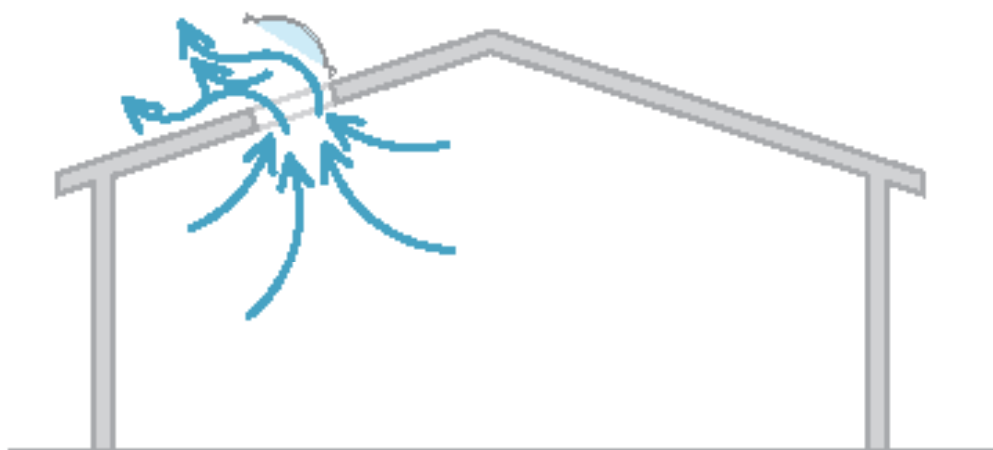
La collocazione, per ovvie ragioni, delle porte e delle finestre nella parte bassa dell'edificio, a contatto col pavimento, le rende poi candidate naturali a fungere da ingressi d'aria, che prende il posto di quella uscita attraverso la copertura.

Nella forma più semplice, quindi, il ricambio avviene collocando nelle posizioni più opportune in copertura, ovvero in modo omogeneamente distribuito, un numero opportuno di uscite a convezione naturale.

Queste uscite possono prendere la forma di semplici camini, oppure possono comprendere un sistema di chiusura comandato localmente o servocomandato a distanza.

Possono inoltre assumere la forma di lucernari, se entrano a far parte di un sistema integrato che abbia anche funzioni di illuminazione e/o di evacuazione dei fumi.

**Ventilazione
tramite lucernari**

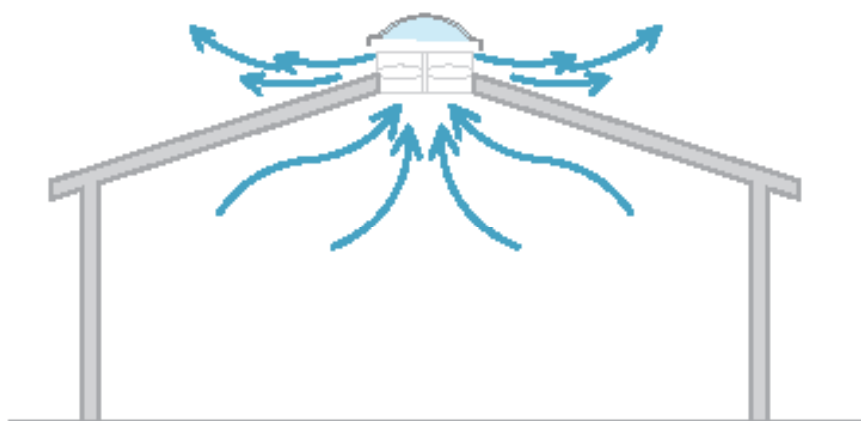


Questo primo semplice sistema non solo non garantisce una costanza di funzionamento, in quanto basato su una convettività naturale, quindi dipendente dalle condizioni climatiche del momento, ma, quando non sussista questo gradiente di temperatura, può essere totalmente inefficace.

Per garantire una certa portata d'aria minima in uscita, quindi, si può passare ad un sistema ad espulsione forzata. In questo caso viene collocato

in copertura, generalmente sulla linea di colmo, un numero opportuno di dispositivi motorizzati in grado di espellere una portata d'aria predefinita nell'unità di tempo. Questi dispositivi, detti estrattori o torrini, sono dotati di ventole assiali o centrifughe collegate a motori elettrici di adeguata potenza, e possono essere comandati manualmente o asserviti a termostati o altri dispositivi automatici.

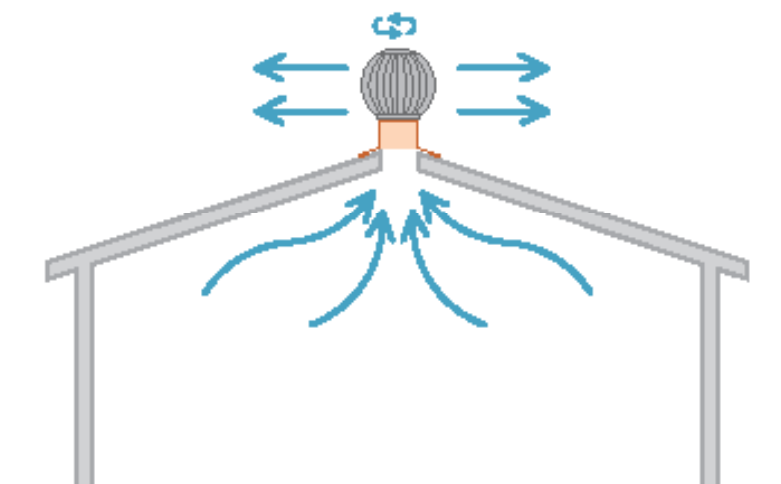
Esempio di estrattore



Esistono anche gli estrattori eolici, ovvero dispositivi dotati di una serie di palette che, poste in rotazione dal vento, sono in grado, a causa della loro forma particolare, di esercitare una forza di estrazione rispetto all'aria dell'ambiente interno.

Benché siano silenziosi e a costo energetico zero, la loro capacità è tuttavia di gran lunga inferiore a quella dei torrini motorizzati, per cui vanno utilizzati quando non si richieda una portata d'aria elevata e costante.

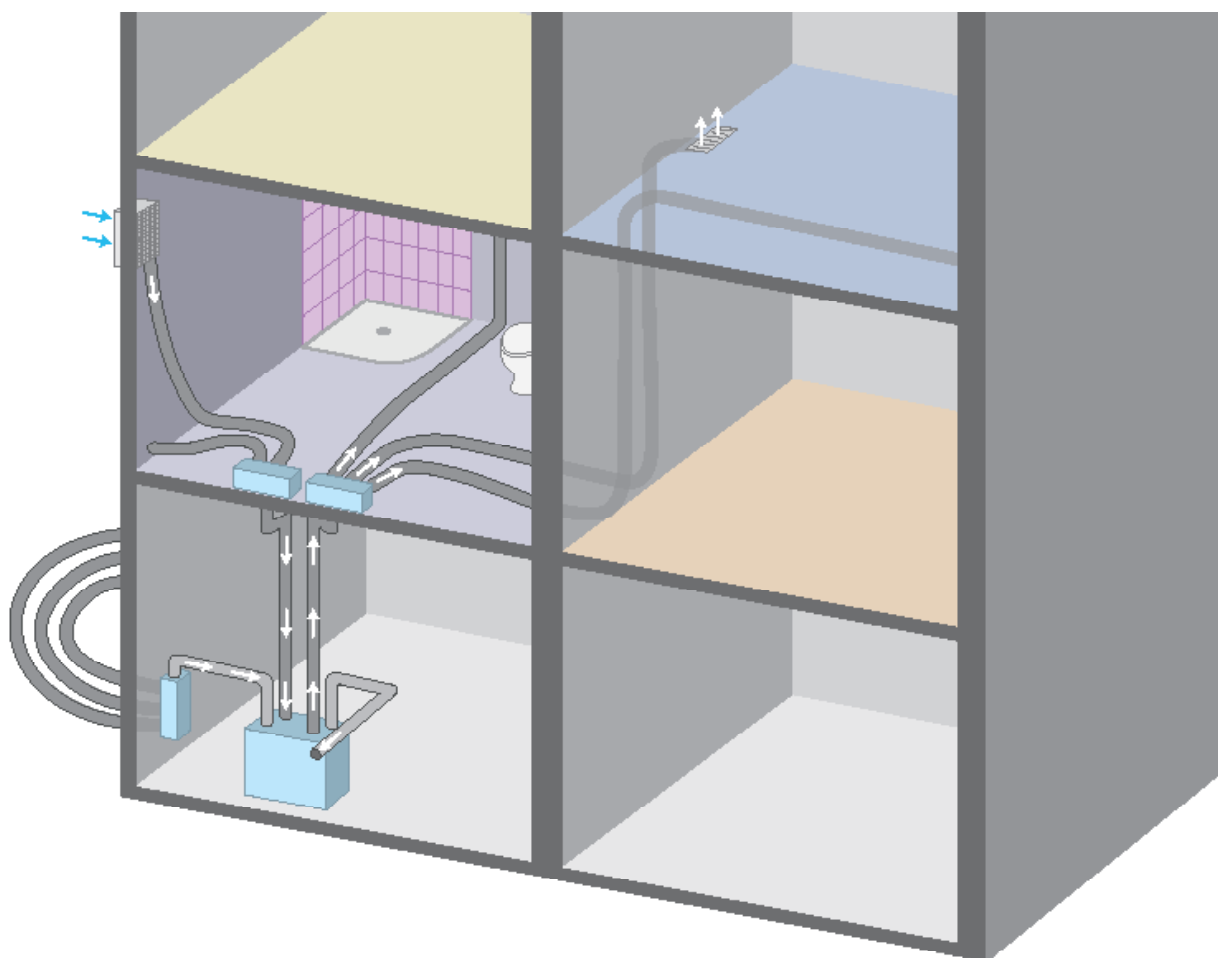
Esempio di estrattore eolico



I sistemi finora descritti hanno in comune il fatto di utilizzare come entrate d'aria le aperture naturali dell'edificio, cioè le porte e le finestre. Questo comporta, al di fuori della discrezionalità nel tenerle aperte o chiuse, una mancanza di controllo sulla quantità e qualità dell'aria in entrata.

Per sopperire a questa carenza, è possibile passare ad un sistema di immissione d'aria forzato, generalmente collocato in corrispondenza delle pareti costituito sempre da ventole motorizzate, assiali o centrifughe, che possono essere tuttavia accoppiate ad una batteria di filtri preposti alla purifica-

zione dell'aria in entrata. Particolari esigenze, in genere legate al tipo di attività produttiva svolta nell'edificio, possono rendere necessaria anche l'applicazione di scambiatori di calore o deumidificatori allo scopo di conferire all'aria in entrata i parametri desiderati.



2.7 Caratteristiche di illuminazione

2.7.1 Opportunità dell'illuminazione

In tutti gli edifici abitati è desiderabile godere di una buona qualità di illuminazione per potere svolgere una qualsiasi attività. Questo è tanto più vero nel caso di edifici adibiti ad attività lavorative, dove i parametri che definiscono la quantità e la qualità dell'illuminazione sono stabiliti per legge. Attualmente, ogni Regione ha stabilito le proprie norme in materia di illuminazione naturale in rapporto alla superficie interna degli ambienti, che vanno comunque discusse e verificate, in particolari situazioni, con gli Organi di controllo locali (A.S.L.). Volendo dare parametri di riferimento, la superficie minima vetrata deve essere pari almeno ad un ottavo della superficie in pianta del locale per uffici, un decimo per locali produttivi.

Il parametro di riferimento è costituito dalla luce naturale, e precisamente la luce presente in condizioni di cielo coperto con incidenza della luce prevalentemente orizzontale (mese invernale), in quanto tali condizioni generano un tipo di illuminazione diffuso e omogeneo.

Il livello di illuminazione relativo è pari a circa 5000 Lux, dove il Lux, unità di misura dell'intensità luminosa, equivalente ad un Lumen/metro quadrato, corrisponde anche alla candela [simbolo cd].

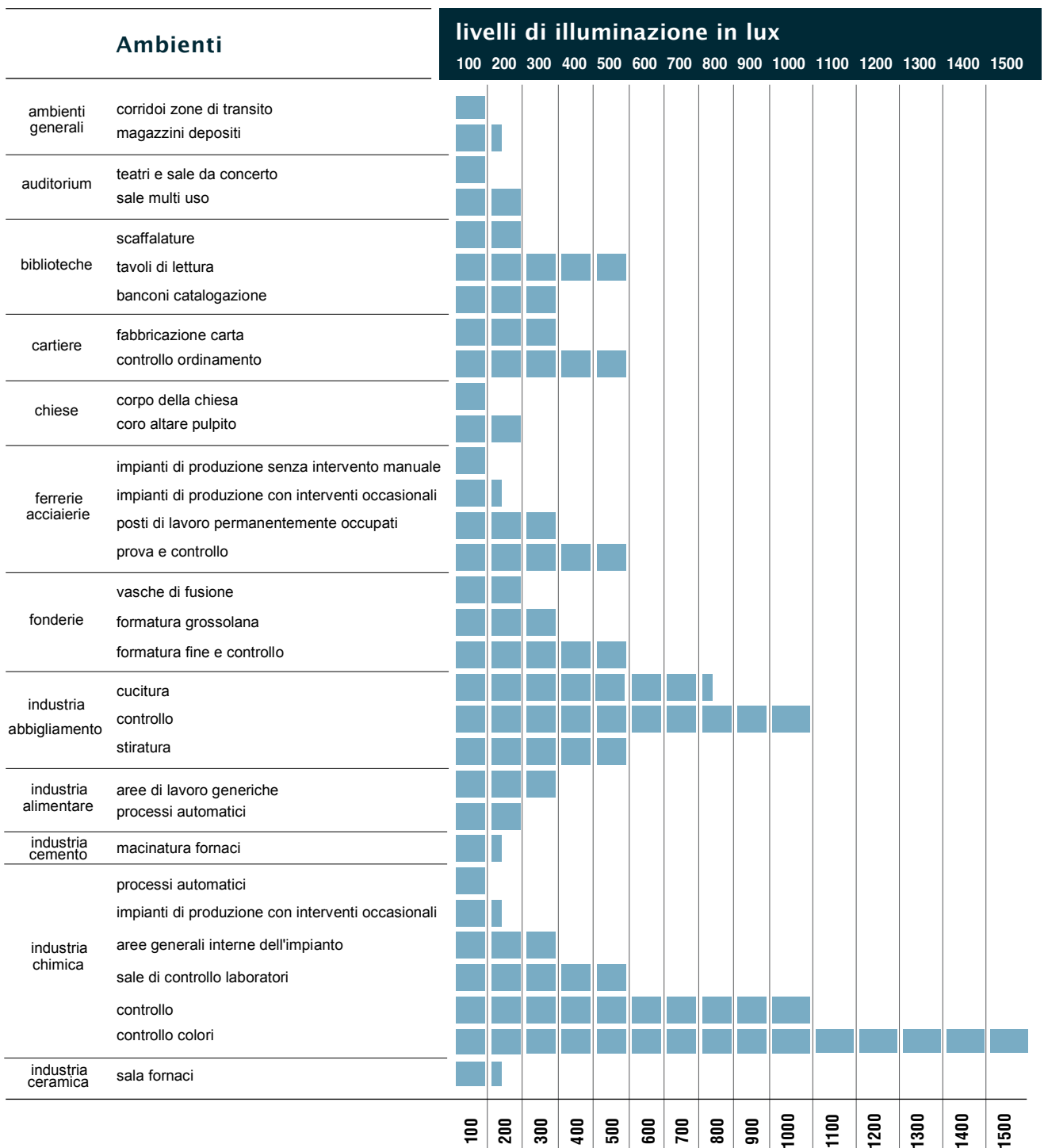
Volendo dare una definizione precisa dell'intensità luminosa, e contemporaneamente terrorizzare una parte dei lettori, è esatto dire che una candela corrisponde all'intensità luminosa di una superficie pari a $1/600.000 \text{ m}^2$ del corpo nero alla temperatura di solidificazione del platino, emessa nella direzione perpendicolare alla superficie stessa, alla pressione di 101.325 Pa.

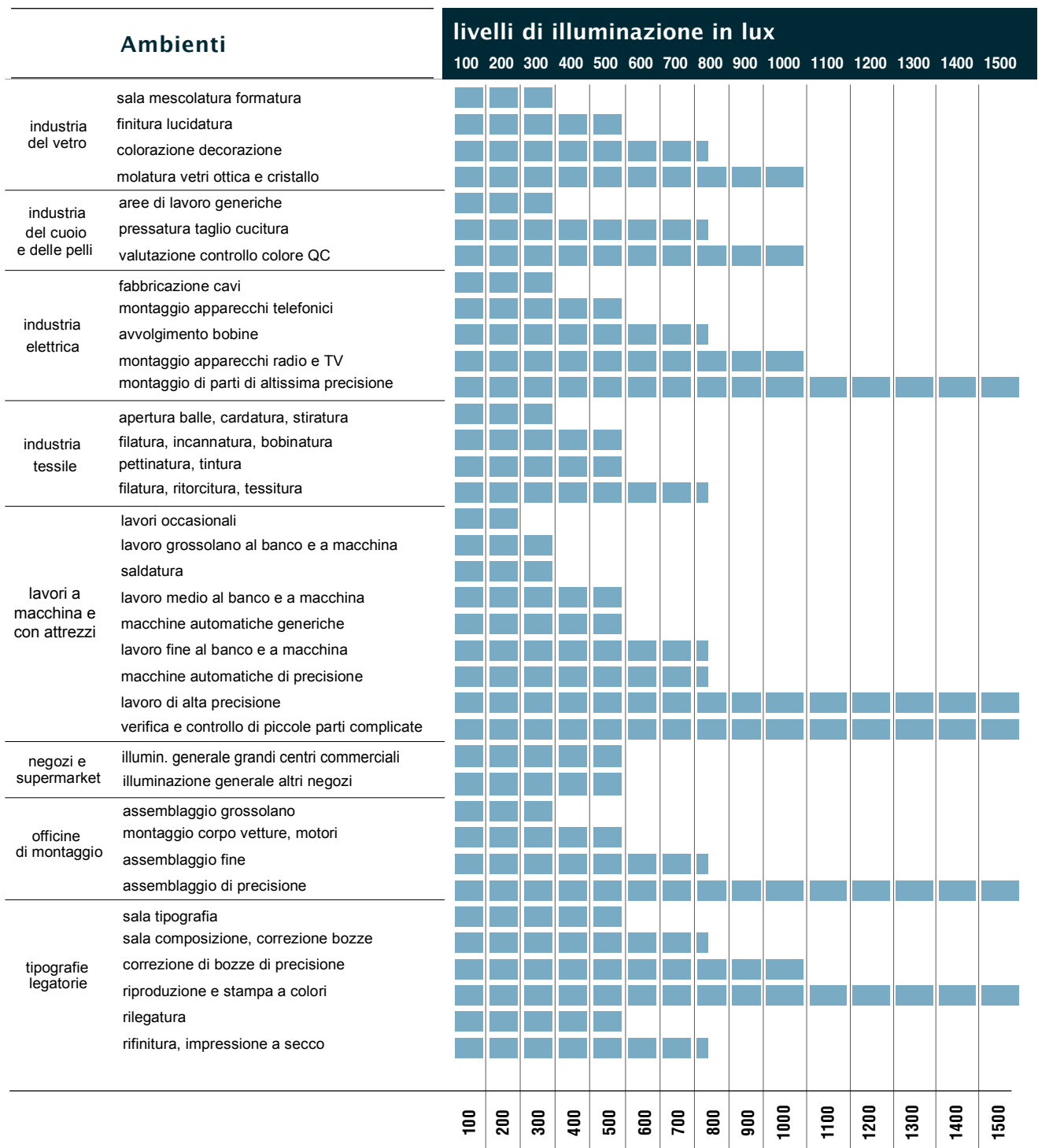
(Il corpo nero, in fisica, è definito come un corpo ideale in grado di assorbire tutta la radiazione elettromagnetica che incide su di esso. In conseguenza di ciò esso appare, a temperatura ambiente, perfettamente nero.)

Una definizione altrettanto esatta ed altrettanto chiara è la seguente: la candela è l'intensità luminosa di una sorgente che emette, in una data direzione, una radiazione monocromatica di frequenza $540 \times 10^{12} \text{ Hz}$ con un'intensità energetica di $1/683 \text{ W/sr}$. La quantità di Lux che un ambiente di lavoro deve ricevere è appunto codificata per legge in funzione della destinazione d'uso dell'edificio stesso e quindi del tipo di attività che vi si svolge. A ciò provvedono i regolamenti Comunali, ai quali il Progettista deve riferirsi. Esistono inoltre Normative che fissano parametri per edifici di particolare interesse, come quelli scolastici (es. UNI 10840:2007).

A titolo indicativo, vengono proposte le tabelle delle pagine seguenti.

Livelli di illuminamento per interni





Illuminamento per aree sportive CIE DIN

Aree		livelli di illuminazione in lux				
		100	200	300	400	500
sale polivalenti		100-200	200-300	300-400	400-500	500+
piscine	coperto	100-200	200-300	300-400	400-500	500+
	aperto	100-200	200-300	300-400		
piste pattinaggio	coperto	100-200	200-300	300-400	400-500	500+
	aperto	100-200	200-300	300-400	400-500	500+
campi tennis	coperto	100-200	200-300	300-400	400-500	500+
	aperto	100-200	200-250	250-300		
piste bowling 10 birilli	-	100-200	200-300			
poligono di tiro	cooperto	100-200				
stadi (*)	< 75	100-200	200-300			
	da 75 a 100 m	100-200	200-300	300-400		
	> 100 m	100-200	200-300	300-400	400-500	500+
campi di allenamento	-	100-150				
ippodromi	-	100-200	200-250			
arene per concorsi ippici	-	100-200	200-300	300-400		

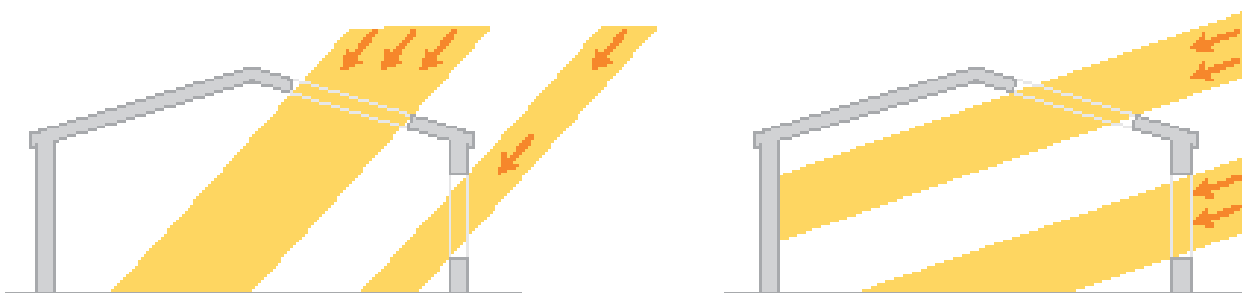
(*) Distanza massima tra spettatore e centro campo

	allenamento
	competizione

Escludendo dalle nostre considerazioni l'illuminazione artificiale, che peraltro, essendo indipendente da fattori ambientali, può essere progettata specificamente per ogni situazione, sia come intensità, sia come tonalità (o temperatura di colore) che come collocazione, ci limiteremo ad esaminare le variabili connesse con l'uso dell'illuminazione naturale. La prima spontanea constatazione suggerisce che la quantità di illuminazione naturale varia con la stagione, con l'ora del giorno, e con la latitudine del luogo ove l'edificio sorge, essendo disponibile in maggiore quantità nei mesi estivi (per

l'emisfero nord), nelle ore centrali della giornata, ed alle basse latitudini. (L'Italia si trova in posizione quasi perfettamente intermedia, in quanto il 45° parallelo, equidistante dal Polo Nord e dall'Equatore, passa all'incirca all'altezza del Po). Gli stessi fattori, oltreché sull'intensità luminosa, influiscono anche sull'orientamento dei raggi solari rispetto all'orizzonte, essendo infatti questi sempre più tendenti alla verticale alle basse latitudini (verso l'equatore), nella stagione estiva, e nelle ore centrali del giorno, e questo porta conseguenze sulla effettiva luminosità in grado di penetrare negli edifici.

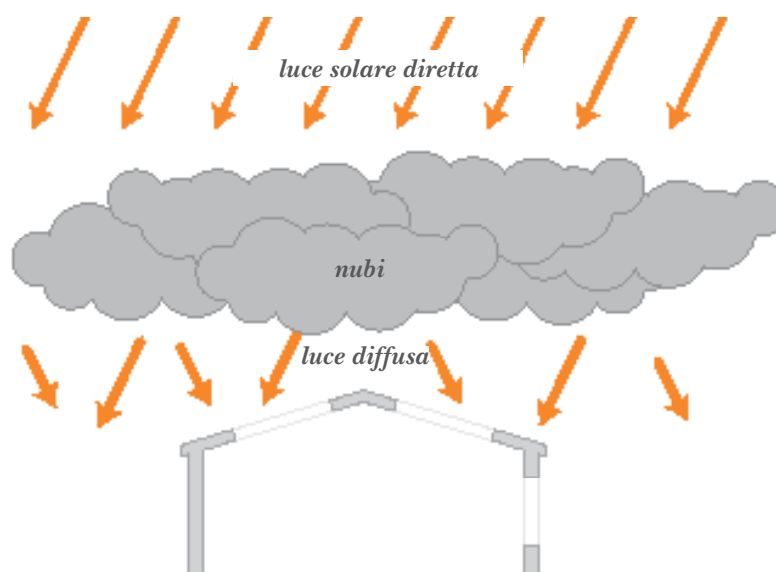
Effetti dell'illuminazione sulla luminosità di un edificio



Il tutto, come se non bastasse, è ovviamente condizionato anche dalle vicende meteorologiche del luogo, poiché è

ovvio che l'illuminazione in caso di tempo coperto ha intensità inferiore, ma maggiore omogeneità e diffusione.

Esemplificazione di luce diffusa



2.7.2 Parametri e criteri di valutazione

L'illuminazione naturale dell'ambiente interno all'edificio si ottiene ovviamente predisponendo sul suo involucro (pareti e copertura) porzioni di superficie in vari gradi trasparente alla luce.

Si cercherà di quantificare e distribuire queste superficie nel miglior modo possibile e compatibile con esigenze di altro genere, tenendo presente alcune cose:

- Pur ricercando il miglior passaggio di luce all'interno, è bene tenere presente che l'illuminazione risultante e diretta, specie in determinati periodi dell'anno o del giorno, potrebbe diventare eccessiva.
- Il passaggio di radiazione solare all'interno porta con sé, oltre all'illuminazione, anche energia ter-

mica, ed il conseguente riscaldamento all'interno dell'edificio potrebbe essere sgradito, oltre ad aumentare il fabbisogno energetico per il condizionamento.

- Di contro, un livello di illuminazione ritenuto sufficiente potrebbe diminuire col tempo a causa del degrado dei materiali trasparenti utilizzati, e/o della loro insufficiente manutenzione e pulizia.

La prima decisione da prendere, prima ancora di determinarne la quantità, sta nel decidere la collocazione delle superficie trasparenti, potendo scegliere naturalmente tra pareti e copertura.

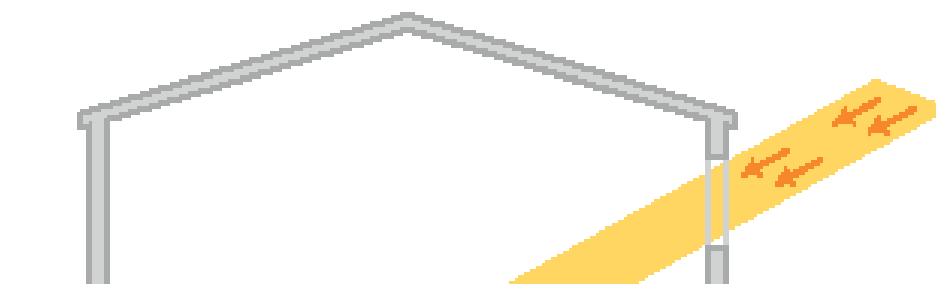
2.7.3 Finestre in parete

Collocare le superficie trasparenti, di solito chiamate finestre, sulle pareti dell'edificio, conduce alle seguenti considerazioni:

- Si possono utilizzare solo le pareti perimetrali, cioè tutte quelle che comunicano con l'esterno; questo limita la possibilità di distribuire le aperture in modo da dare illuminazione a tutto il volume interno dell'edificio; risulterà prevalente l'illuminazione delle zone perimetrali, per una profondità (parlando dell'illuminazione diretta e non di quella eventual-

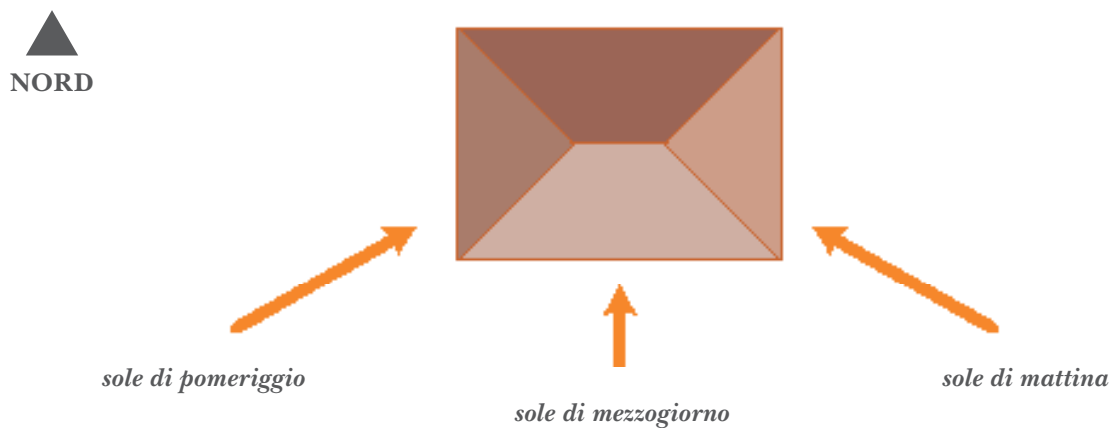
mente riflessa da pavimenti o pareti interne) di alcuni metri, in dipendenza dell'altezza dell'edificio e di quella delle finestre stesse. Questa disuniformità è particolarmente accentuata nel caso di molti edifici a destinazione produttiva, che sono spesso caratterizzati, oltreché dal fatto di essere ad un solo piano, da una superficie molto vasta in rapporto all'altezza, e frequentemente di pianta tendente al quadrato piuttosto che allungata, per meglio sfruttare il lotto sul quale sorgono.

Illuminazione da parete



- La luce entra dalle finestre in modo diretto con angolazioni relativamente basse rispetto all'orizzonte, per cui le finestre sfrutteranno meglio le stagioni invernali (nelle quali però si ha meno intensità di illuminazione), e le ore iniziali e finali della giornata; negli altri casi la luce sarà indiretta, e quindi di intensità inferiore.

- Tenendo presente quanto detto al punto precedente, bisogna aggiungere che la luce ricevuta da una finestra dipende strettamente dall'orientamento geografico della parete sulla quale viene aperta; nell'emisfero settentrionale, le finestre aperte a nord ricevono meno luce, e mai diretta, mentre quelle esposte ad est o ad ovest ricevono una buona illuminazione solamente durante una metà della giornata (mattina o pomeriggio).



- La luce ricevuta da una finestra, specialmente se incidente in modo diretto, quindi con angolazione bassa rispetto all'orizzonte, può creare forti contrasti di illuminazione con il resto dell'ambiente, provocando disagio nell'attività degli occupanti: niente

che non si possa risolvere con opportune schermature, naturalmente, ma pagando il prezzo di una diminuzione dell'intensità media di illuminazione, che può portare paradossalmente alla necessità di ricorrere all'illuminazione artificiale.

Incidenza diretta illuminazione da parete



- Le finestre hanno peraltro il pregio di fornire un'interfaccia con l'esterno più accettabile dal punto di vista umano, in quanto permettono la visione dell'esterno e, quando aperte, un ricambio diret-

to d'aria. (La prima caratteristica può non essere vista esattamente come un vantaggio da chi si preoccupa della concentrazione sull'attività che si sta svolgendo).

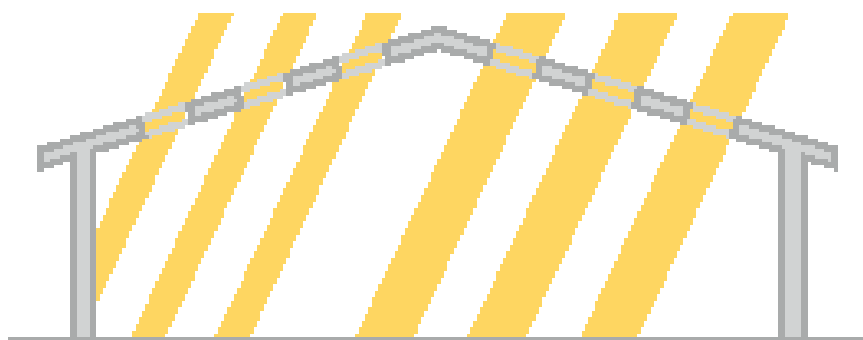
2.7.4 Lucernari in copertura

La collocazione di superficie trasparenti, i lucernari, sulla copertura può invece dar luogo alle seguenti peculiarità:

- Esiste la possibilità di distribuire i lucernari in modo uniforme, o in ogni caso nel modo che più si addice alle esigenze contingenti, concentrando,

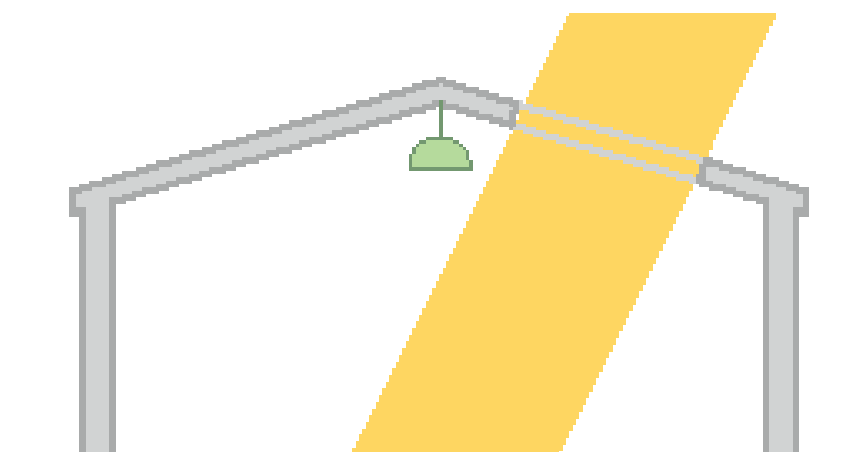
se così si vuole, le parti trasparenti ove maggiore è il bisogno di illuminazione naturale. Questo, specialmente nel caso di edificio di altezza non rilevante permette di ottenere una notevole uniformità di illuminazione.

Distribuzione conforme lucernari in copertura



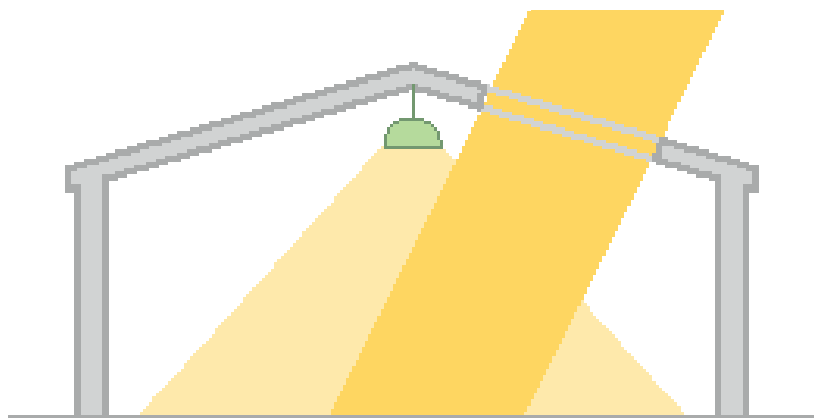
- I lucernari, essendo nella maggior parte dei casi superficie suborizzontali, ricevono la radiazione incidente in modo diretto per la maggior parte delle ore diurne, per di più nelle ore centrali della

giornata, e sono quindi in grado, a parità di situazione, di trasmettere all'interno una maggiore intensità di illuminazione.



- Per lo stesso motivo, i lucernari, perlomeno quelli a collocazione suborizzontale, dipendono meno da una orientazione geografica specifica per la quantità di illuminazione che sono in grado di ricevere.
- L'illuminazione proveniente dai lucernari, per gli occupanti dell'edificio, scende dall'alto, per cui

non colpisce direttamente gli occhi nella normale visione orizzontale, ed è meno foriera di abbagliamenti, in quanto genera un minore contrasto con il resto dell'ambiente. Sostanzialmente si trova nella stessa posizione in cui solitamente opera di notte l'illuminazione artificiale

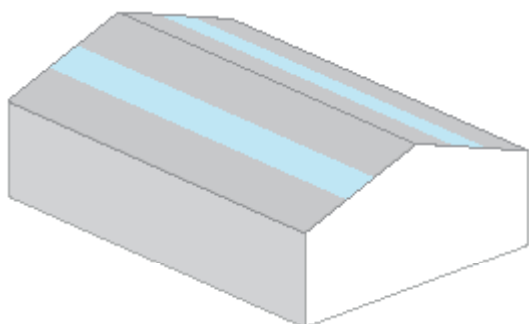


- La presenza esclusiva di lucernari non può tuttavia sostituire le finestre, la cui completa assenza può generare, in ambienti di dimensioni limitate, sensazioni claustrofobiche.

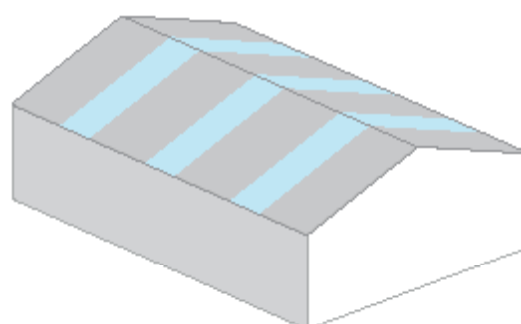
L'illuminazione procurata dai lucernari, tuttavia, può in determinate situazioni risultare eccessiva, proprio perché estesa a quasi tutte le orientazioni ed a parecchie ore del giorno. A questo problema sarebbe più opportuno pensare in sede di progetto, conoscendo la destinazione d'uso dell'edificio e

quindi il tipo di attività che vi si svolgerà, oltreché le condizioni climatiche e geografiche. Risulta così abbastanza semplice dosare opportunamente la quantità e la distribuzione delle porzioni illuminanti, oppure deciderne diversamente la tipologia, compatibilmente con le soluzioni strutturali dell'edificio. Per edifici a falde convenzionali piane o a volta, infatti, possono essere inserite due tipologie di lucernari: file di lucernari radenti, disposti sia parallelamente che perpendicolarmente alla pendenza,

Lucernario radente parallelo



Lucernario radente perpendicolare

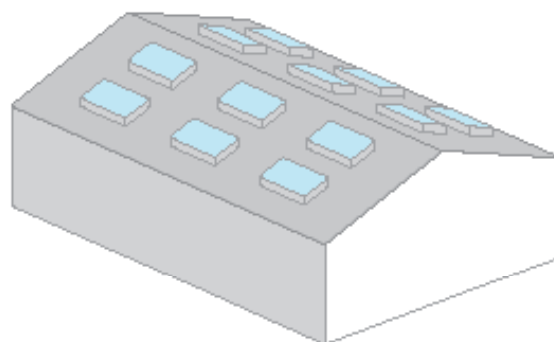


oppure lucernari singoli emergenti rispetto al manto, disposti secondo uno schema opportuno.

In entrambi i casi, trattandosi di orientamento parallelo alla falda, e quindi vicino all'orizzontale, non è possibile selezionare dall'esterno la direzione da cui proviene la luce.

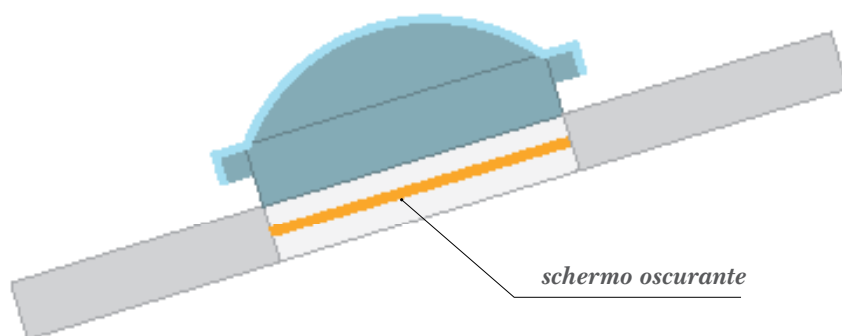
Dovendo quindi bloccare una parte della radiazione, non resta che scegliere il modo più opportuno: se si intende operare una filtrazione permanente, si possono adottare materiali semitrasparenti, con il livello di opacità desiderato.

Lucernario singolo emergente



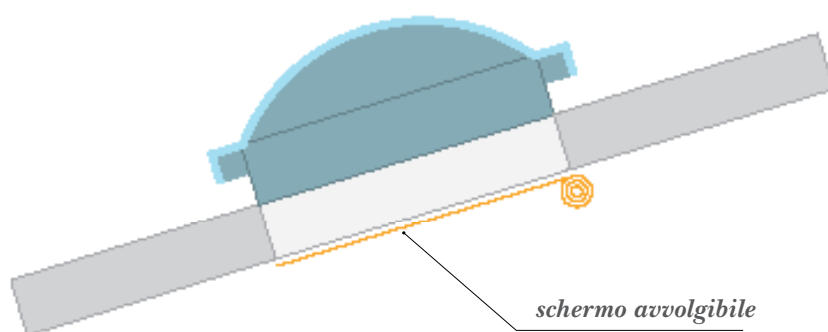
In alternativa, quando si desidera rendere la situazione in un futuro reversibile, si può aggiungere

un elemento parzialmente oscurante, di solito nella parte interna del lucernario.



La soluzione più versatile, tuttavia deve consentire una filtrazione selettiva nelle varie ore della giornata o in dipendenza della stagione e delle condizioni meteorologiche, e può essere ottenuta installando,

all'interno dei lucernari, cortine oscuranti mobili, di solito motorizzate in quanto difficilmente accessibili dal livello del piano di calpestio.



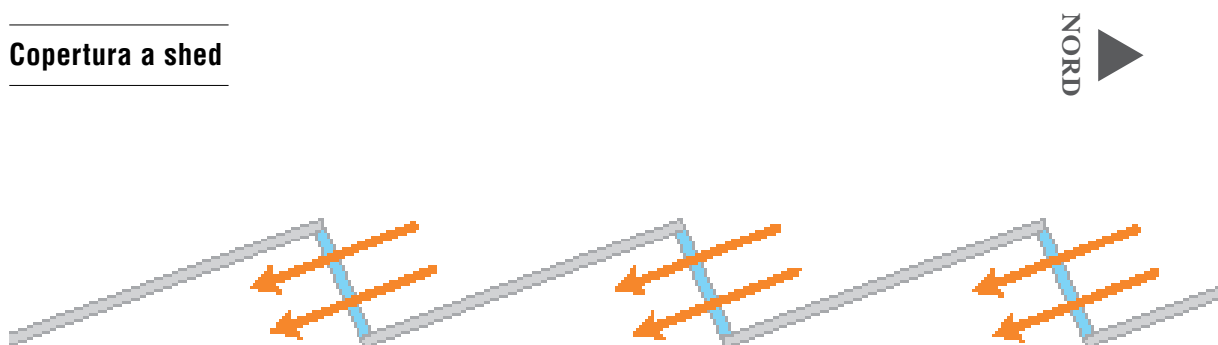
In altri casi, quando si possa influire sulla tipologia strutturale, è possibile adottare un approccio totalmente diverso: questo consiste nell'orientare, agendo opportunamente sulla struttura di copertura, le superficie trasparenti in modo che la luce diretta non possa penetrare in esse; le finestrature riceveranno quindi solamente la luce diffusa dall'ambiente esterno, anche nelle ore e stagioni di maggiore soleggiamento. La cosa si può ottenere orientando le superficie nella direzione dalla quale la luce solare diretta non proviene mai, ovvero il nord per il nostro emisfero, ed il sud per l'emisfero australe, e quindi il piano delle superficie trasparenti non deve essere

orizzontale o suborizzontale, ma molto vicino alla verticale.

Si deve però conservare la possibilità di distribuire le superficie finestate a piacimento sull'intera estensione della copertura, che possiede invece una giacitura prevalentemente orizzontale.

La soluzione è rappresentata dalla copertura a shed (o dente di sega), nella quale, agendo sulla morfologia della struttura di supporto della copertura, si crea una serie di corpi costituiti da una porzione trasparente pressoché verticale rivolta a nord, e da altre opache che chiudono il corpo sugli altri lati.

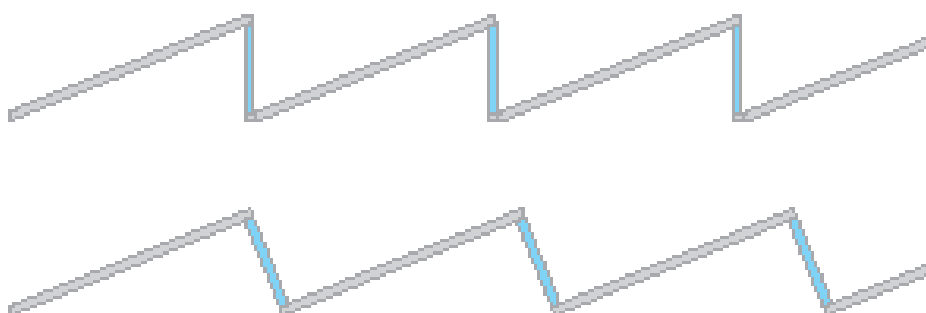
Copertura a shed



È possibile, entro certi limiti, "dosare" la quantità di luce in ingresso inclinando la superficie vetrata in modo da catturare luce indiretta da una porzione

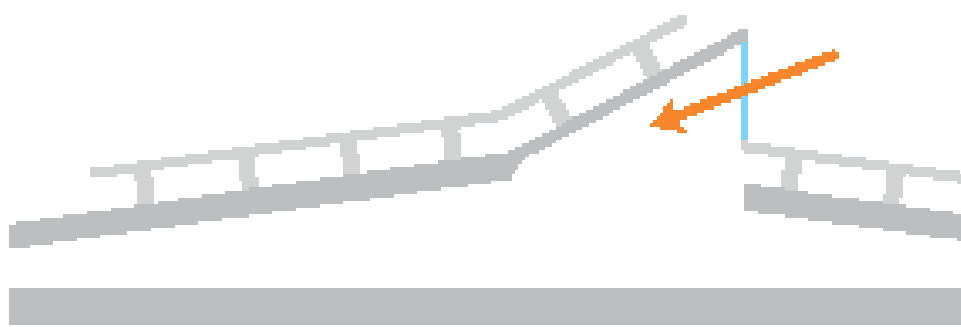
maggiore di cielo, purché si eviti comunque l'ingresso di luce diretta.

Copertura a shed



Le tipologie di copertura a shed sono molteplici, sia come struttura di partenza (cemento armato, acciaio, legno massiccio o lamellare), sia come

conformazione delle aperture: ne riportiamo alcuni esempi comuni.



2.8 Caratteristiche di resistenza al fuoco

2.8.1 Significato del termine “Resistenza al fuoco”, REI

Il termine “REI” è un acronimo formato dalle iniziali di tre termini francesi, e precisamente: *Resistance, Etainchéité, Isolation*.

La sigla REI è sempre seguita da un numero (15, 30, 60, 120, 180), che indica il numero dei minuti primi per i quali le caratteristiche indicate dalla sigla stessa rimangono sostanzialmente invariate, prima di degradare inevitabilmente nel caso l'incendio non venga domato.

Il loro significato è il seguente:

Resistance (Resistenza)

Definisce la capacità di una struttura o comunque di una componente di un edificio di resistere al calore generato da un incendio senza perdere significativamente le proprie caratteristiche di resistenza strutturale e meccanica, e quindi di non giungere al collasso o alla totale perdita della propria funzionalità. Questa caratteristica si applica in special modo alle strutture principali di una costruzione, e intende definire la possibilità per le stesse di non subire deformazioni o cedimenti tali da ostacolare o impe-

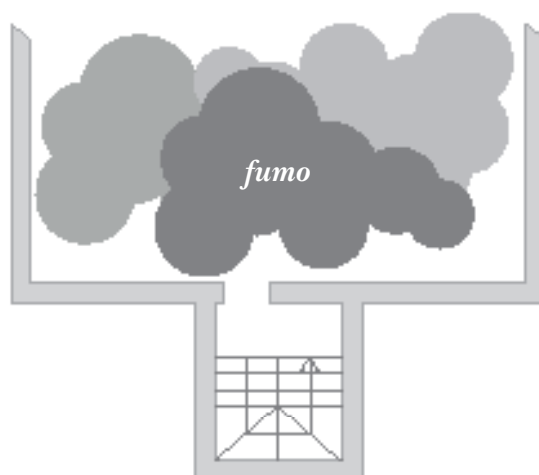
dire l'evacuazione degli occupanti l'edificio, nonché l'intervento dei soccorritori.

Quindi una struttura classificata, ad esempio, R 120 è ritenuta in grado di mantenere le proprie caratteristiche statiche per un tempo di due ore dal verificarsi dell'incendio.

Etainchéité (Tenuta o impervietà)

Definisce la capacità di una componente dell'edificio di non permettere il passaggio dei fumi e dei gas inevitabilmente sviluppati dall'incendio, né a svilupparne di propri. Questa caratteristica si applica particolarmente alle partizioni interne dell'edificio ed alle porte che le mettono reciprocamente in comunicazione. La ricerca di questa capacità è correlata alla necessità in molti casi di definire alcune zone “sicure” nelle quali sono annullati o limitati gli effetti più nocivi dell'incendio riguardo alle persone, ovvero l'intossicazione o il soffocamento da fumo e da vapori sviluppati dal fuoco. Tipica a questo riguardo è la zona delle scale di sicurezza, ed in generale i percorsi di evacuazione.

Impervietà al fumo



Una partizione interna E 60 sarà quindi in grado di trattenere per un'ora dall'inizio dell'incendio ogni prodotto gassoso sviluppatosi ad un lato di essa.

Isolation (Isolamento)

Definisce la capacità di una componente dell'edificio di ridurre entro certi limiti la trasmissione del calore sviluppato dall'incendio. Anche questa caratteristica si applica particolarmente alle partizioni interne dell'edificio ed alle porte che le mettono reciprocamente in comunicazione.

Questa caratteristica è desiderabile non solo, analogamente a quanto visto precedentemente, per creare zone sicure nelle quali le persone possano trovare rifugio dall'incendio, ma anche, secondariamente, per ostacolare la propagazione indiretta dell'incendio ad altre parti dell'edificio dove si trovino materiali suscettibili di combustione, oltre che per propagazione diretta di fiamma, anche per il semplice superamento di determinate temperature (liquidi o gas infiammabili ad alta volatilità ecc.).

Isolamento al fuoco



Una partizione interna I 60 sarà quindi in grado di impedire od ostacolare per un'ora dall'inizio dell'in-

cenno l'aumento di temperatura dal lato non interessato all'incendio stesso.

2.8.2 Criteri di prevenzione incendi applicabili alle coperture

Si parte dal presupposto che la copertura sia un elemento di separazione tra l'edificio e l'ambiente esterno. Questo rende poco interessanti le proprietà di tenuta ed isolamento (EI), in quanto, all'esterno della copertura non vi sono evidentemente ambienti da proteggere nei confronti di fumo, gas e calore (ciò vale del resto per qualunque parete

esterna dell'edificio). Una peculiare eccezione a questo ragionamento, anche se veramente inconsueta, potrebbe essere la presenza, nelle immediate vicinanze, di altri edifici o parti di essi, oppure impianti o depositi di materiale, che, per la loro infiammabilità, vulnerabilità o valore intrinseco, debbano essere in qualche modo protetti dalle

conseguenze di un incendio, e rendano quindi conveniente la presenza di un manto di copertura che funzioni da scudo in questo senso.

Nella stragrande maggioranza dei casi, invece, è oltremodo desiderabile che il manto di copertura sia permeabile a fumo e calore, poiché questi, come abbiamo detto, sono i principali responsabili dei danni alle persone ed alle cose causati dall'incendio.

Il fumo ed il calore infatti, oltre ad essere in grado di uccidere una persona per soffocamento molto prima che questa venga raggiunta dalle fiamme, provocano anche uno stato di accecamento, smarrimento e confusione che precludono in molti casi la possibilità di fuga all'esterno dell'edificio.

Un accumulo incontrollato di calore, poi, è una delle principali cause del rinforzarsi e del propagarsi dell'incendio al resto dell'edificio, poiché facilita, tra le altre cose, l'inizio della combustione di sostanze e materiali presenti in altre parti dell'edificio stesso.

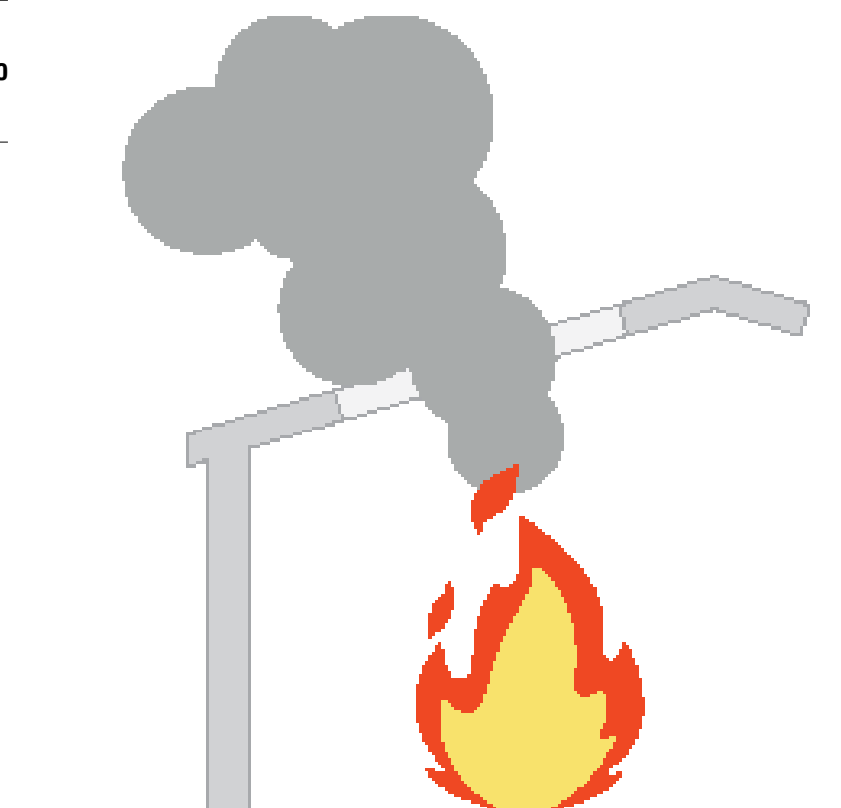
Infine, l'aumento di temperatura nell'edificio abbrevia i tempi di resistenza delle strutture portanti, accelerando il collasso della costruzione.

Per ottenere questa permeabilità in caso di incendio, senza tuttavia e naturalmente rinunciare alle necessarie e peculiari caratteristiche della copertura, si possono percorrere due vie.

La prima, più semplice e primitiva, prevede concettualmente che il calore stesso, una volta superato un determinato livello, si apra la strada in uscita, trascinandosi il fumo all'esterno per effetto convettivo.

È indispensabile quindi che il manto di copertura, o almeno alcune sue parti, attentamente individuate nelle zone ritenute a maggiore rischio, sia costituito da materiali in grado di fondere, dissolvendosi e lasciando spazi aperti dai quali il calore ed il fumo possono sfuggire.

Schema funzionamento evacuatore



Il manto in lega d'alluminio, la cui temperatura di fusione è attorno ai 600 °C, è un tipico candidato a questo scopo. Questo manto, essendo caratterizzato da spessori solitamente inferiori ad un millimetro, possiede un basso peso specifico ed una capacità termica praticamente nulla, ed è quindi in grado di dissolversi letteralmente quando sottoposto al calore diretto dell'incendio, senza peraltro dare luogo alla ricaduta di materiale infiammato, come potrebbe accadere se venissero usati come "fusibile", ad esempio lucernari in materiale plastico non autoestinguente. Contro questa soluzione giocano alcune considerazioni immediate, la prima delle quali consiste naturalmente nel fatto che l'eventualità di un principio d'incendio, anche se poi successivamente domato, porta come conseguenza la distruzione

di una parte del manto di copertura, con l'ulteriore danno economico che ne deriva.

Va inoltre precisato che il manto "fusibile" può funzionare solo se tutto il pacchetto di copertura concorre con la stessa facilità alla fusione.

Questo, non è possibile quando, ad esempio, il solaio di copertura è continuo e realizzato in altro materiale (cemento armato, acciaio ecc.).

Lo stesso ostacolo può essere rappresentato dallo strato coibente, che rallenta la trasmissione del calore dal basso.

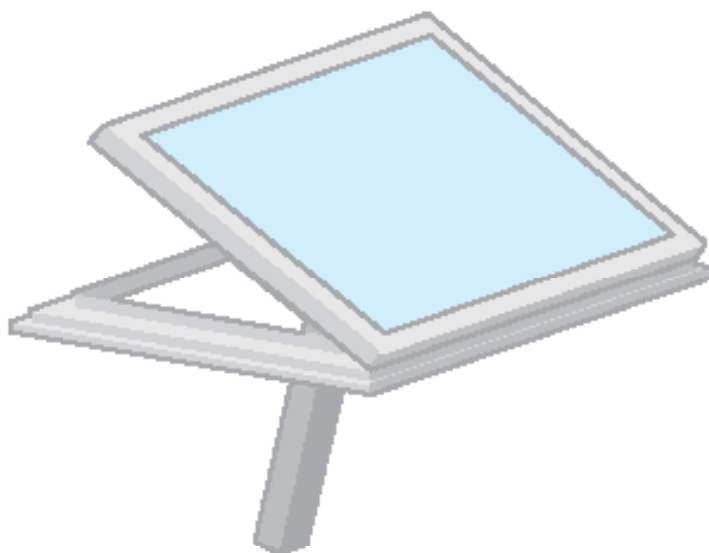
La seconda soluzione, largamente più praticata anche se più costosa, consiste nella installazione di evacuatori di fumo e di calore (EFC), le cui caratteristiche sono definite dalla Normativa UNI 9494-2017 e nella UNI EN 12101:2006.

2.8.3 Evacuatori di Fumo e di Calore

Gli evacuatori consistono in telai generalmente quadrati o rettangolari, di lato non superiore a 2,5 m, inseriti nel manto di copertura, e tamponati con materiale che di solito è trasparente, per potere

utilizzare anche la possibilità illuminante, ma che, all'occorrenza, può essere opaco. Ogni evacuatore è costituito da una cornice fissa e solidale al manto, e da un telaio incernierato in modo da essere apribile.

Evacuatore fumo e calore



La Norma definisce i materiali costruttivi, le caratteristiche dimensionali, l'angolo di apertura, la resistenza al vento in posizione aperta mediante dispositivi meccanici separati da quelli di apertura, il tempo totale di apertura, e soprattutto la SUA (superficie utile attiva), che è un parametro necessario alla determinazione del numero e della distribuzione degli EFC necessari per uno specifico manto di copertura.

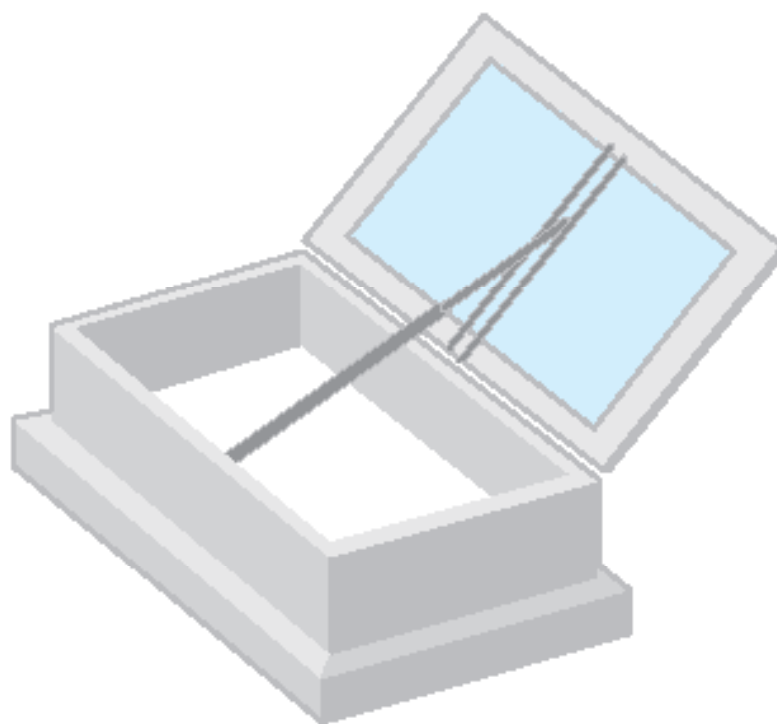
Ogni singolo EFC deve inoltre avere come minimo un dispositivo di apertura individuale automatico, tarato ad una temperatura di 68°C (salvo esigenze particolari), ed un dispositivo di azionamento a distanza manuale o automatico.

Il primo è in genere attivato da una fialetta in vetro contenente un liquido, la cui dilatazione per effetto del calore causa la rottura della fialetta stessa ed il conseguente azionamento dell'attuatore.

Quest'ultimo può essere ad esempio pneumatico, formato da una bomboletta di gas, la cui espansione aziona il pistone di apertura.

Il secondo dispositivo di apertura a distanza può agire elettricamente, nel caso in cui uno spillo spinto da un relais infrange la fialetta o apre direttamente la bomboletta di gas.

Evacuatore fumo e calore



In alternativa può essere predisposto un circuito pneumatico che porta la pressione necessaria all'azionamento del pistone ad ogni evacuatore.

Questa soluzione, che prevede la stesura di tubazioni metalliche, benché mediamente più costosa, ha il vantaggio di essere meno vulnerabile al calore dell'incendio rispetto ad un circuito formato da cavi elettrici, benché questi ultimi possano essere a loro volta parzialmente protetti da rivestimenti anticalore.

La seconda forma di attuazione può essere, come detto, manuale, quando l'edificio sia normalmente presidiato, od automatica; in tal caso, l'azionamento degli EFC è asservito ad un sistema di rivelazione fumo o calore, formato da una rete di sensori a punto o di zona (barriere lineari), che può essere collegato al singolo evacuatore, o integrato nell'edificio, partizionandolo in zone caratterizzate ognuna da un certo numero e disposizione di evacuatori.

In questo modo è possibile raggruppare l'azionamento degli evacuatori di fumo e di calore in funzione delle varie zone interne e delle loro caratteristiche rispetto al rischio di incendio (produttive, di servizio, ad alto carico di incendio, con presenza di macchine operatrici eccetera).

Quando la specifica situazione lo richiede, gli EFC vengono dotati sia della possibilità di apertura automatica che manuale; quest'ultima, benché condizionata dalla presenza di personale, è particolarmente utile, perché permette in taluni casi di anticipare notevolmente l'azionamento del sistema rispetto all'azione della rete di sensori.

I sensori sono infatti tarati per reagire in presenza di un certo livello di oscuramento fra le cellule, dovuto al fumo, oppure sono condizionati dall'effettivo raggiungimento della temperatura critica nella loro prossimità, cosa che può avvenire, in funzione delle dimensioni e dell'altezza dell'edificio, con un ritardo apprezzabile.

D'altro canto l'azionamento manuale è insufficiente non solo quando l'edificio rimane deserto nei periodi di inattività lavorativa, ma anche quando è adibito all'utilizzo da parte del pubblico, nei casi in cui non sempre sia presente personale addestrato all'azionamento manuale del sistema.

Non di rado, inoltre, la presenza degli EFC (necessaria perché prescritta dai V.V.F. in sede di approvazione della Pratica di Prevenzione Incendi), viene utilizzata anche per ottenere, oltre alla illuminazione, anche una normale ventilazione giornaliera.

In questo caso, però, i dispositivi di apertura per ventilazione devono necessariamente essere separati da quelli delegati all'apertura in caso di incendio; l'evacuatore è pertanto caratterizzato da un doppio telaio incernierato, con attuatori indipendenti per le due funzioni.

Tutte queste caratteristiche devono essere assicurate e certificate dal produttore dell'EFC mediante prove, sempre descritte nella Norma.

Rimane compito del progettista, previo l'utilizzo di evacuatori certificati, dei quali è nota la S.U.A., la determinazione del numero e della disposizione degli stessi in relazione all'edificio ed alle sue compartimentazioni, seguendo i criteri applicativi specificati sempre nella UNI 9494:2017.

2.9 Caratteristiche di gestione e manutenzione ordinaria e preventiva

La manutenzione ordinaria delle coperture è senza dubbio uno degli adempimenti meno praticati dai proprietari o gestori degli edifici, forse perché la copertura è generalmente invisibile nella vita quotidiana degli abitanti, pur essendo un elemento a pieno titolo funzionale e non decorativo. La sicurezza cessa improvvisamente all'apparire di infiltrazioni attraverso i solai dell'ultimo piano, trascinazioni dei canali e simili, momento in cui si cerca di riparare danni che avrebbero potuto essere evitati, probabilmente con minore spesa.

Il controllo e la manutenzione programmata, eseguiti da personale esperto, dovrebbero seguire una scaletta sistematica, mirata a verificare lo stato di conservazione e le condizioni di funzionalità della copertura.

Di seguito proponiamo una check-list generale, che può servire da spunto ed essere adattata alle singole situazioni:

1. VERIFICA DEI POZZETTI ALLA BASE DI OGNI TUBO PLUVIALE (PRIMA ANCORA DI SALIRE SULLA COPERTURA)

Ogni pozzetto deve essere sgombro da detriti solidi, e la comunicazione con la linea di scarico delle acque bianche (a monte e a valle) deve essere completamente libera: il coperchio del pozzetto, una volta chiuso, deve essere integro ed esercitare una tenuta sufficiente ad impedire l'ingresso di oggetti solidi dall'esterno.

2. VERIFICA DEI TUBI PLUVIALI

Ogni tubo deve essere completamente libero da ostruzioni come nidi o carcasse di volatili o altro; se ci sono dubbi, accertarsi di quanto sopra versando acqua dall'imboccatura ed osservandone il deflusso a pozzetto aperto.

3. VERIFICA DEI CANALI DI GRONDA E DI CONVERSA

I canali devono essere puliti e liberi da ostruzioni solide, particolarmente in prossimità degli imbocchi dei pluviali e dei troppopieno.

Le sigillature - Devono essere integre e ben aderenti al metallo, cioè difficili da scalzare anche con una lama (provare su di una piccola superficie); se così non fosse, le sigillature vanno rifatte, dopo

avere asportato le esistenti togliendo tutti i residui, pulito e sgrassato ed asciugato perfettamente la zona di metallo interessata.

I rivetti - Eventualmente in vista devono essere solidali alle due parti che congiungono, ovvero non ci deve essere allentamento; questo è denunciato spesso da una piccola corona scura attorno alla testa del rivetto, indice di movimento reciproco e di usura del metallo.

Rivettatura



Giunti di dilatazione - Per i giunti meccanici verificare che il movimento avvenuto durante la vita della copertura non abbia ecceduto gli estremi dell'escursione del giunto stesso; controllare quindi l'assenza di deformazioni dovute a spinte di dilatazione sul metallo. Per i giunti in gomma vulcanizzata, oltre allo stesso controllo di fine corsa, controllare lo stato della gomma stessa nei confronti delle radiazioni UV, specialmente se il giunto non è protetto dal sole mediante un'apposita bandella metallica. La gomma deve essere ragionevolmente elastica, non rinsecchita o peggio screpolata, ed ovviamente non deve avere subito tagli o abrasioni. Se questo è accaduto il giunto va sostituito.

Giunto dilatazione in gomma



Stato generale del metallo delle gronde - Deve essere sostanzialmente indenne da corrosione o dalle conseguenze di attacco chimico, particolar-

mente in zone densamente industrializzate o caratterizzate dalla presenza nelle vicinanze di attività ad alto potere inquinante.

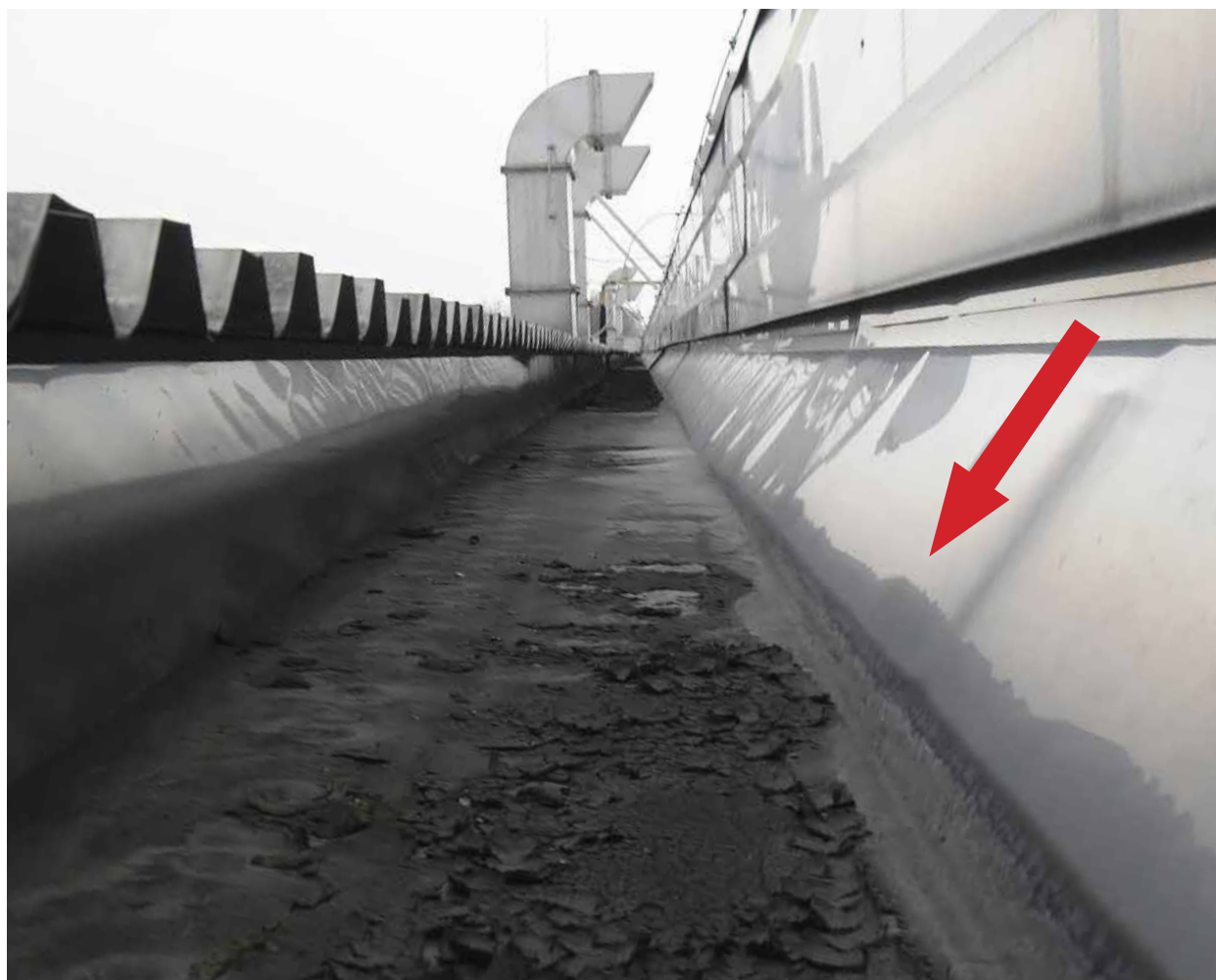
Verifica del corretto funzionamento idraulico

La permanenza di acqua contenente sostanze solide in sospensione, come purtroppo accade sovente, specie in zone altamente urbanizzate, lascia col tempo tracce sulla superficie interna del fianco del canale. Questo può permettere di verificare il massimo livello che l'acqua ha raggiunto all'interno del canale stesso.

Se questo livello è molto alto, significa che spesso, e non solo in occasione di precipitazioni eccezionali, l'acqua tende a riempire il canale fino quasi alla sua massima capienza, e questo fa pensare che il canale

stesso, in quelle condizioni, sia sottodimensionato, e che i margini di sicurezza siano esigui. Una ulteriore conferma della situazione si può avere, con le stesse considerazioni, esaminando i troppopieno, se presenti, e verificandone, mediante le tracce d'acqua, l'avvenuto funzionamento. Se questa situazione si verifica, è opportuno prendere provvedimenti per accelerare il deflusso d'acqua o annullare gli effetti di una possibile tracimazione, ad esempio aggiungendo ulteriori calate pluviali o ulteriori troppopieno.

Verifica funzionamento canale



4. MANTO DI COPERTURA

Per le condizioni generali del metallo costituente il manto valgono le considerazioni già fatte a proposito dei canali sulla indennità da attacchi chimici o corrosione, aggravati in questo caso dall'ampia superficie esposta; per lo stesso motivo va verificata l'eventuale presenza di danni di origine meccanica (abrasioni, tagli, fori, deformazioni), inferti durante la vita della copertura da incauti pedonamenti da parte di personale addetto ad altre mansioni (impianti sulla copertura) o addirittura all'atto del montaggio della copertura stessa, ad esempio per caduta accidentali di attrezzi appuntiti o taglienti.

5. FISSAGGI DI COPERTURA

Deve essere verificata la buona conservazione dei fissaggi del manto; dal punto di vista meccanico, i fissaggi devono essere integri e indeformati, non corrosi, e correttamente applicati; questo significa che l'angolo di inserimento deve essere corretto (generalmente ortogonale al manto), la profondità di serraggio non deve essere eccessiva perché questo porta a deformazioni locali del manto e delle eventuali guarnizioni, abbreviandone la vita e invalidandone la tenuta idraulica, (foto A) ma non deve essere nemmeno scarsa, perché questo impedisce l'adesione della guarnizione alla superficie del manto, e quindi la protezione del foro del fissaggio dall'ingresso d'acqua. (foto B).

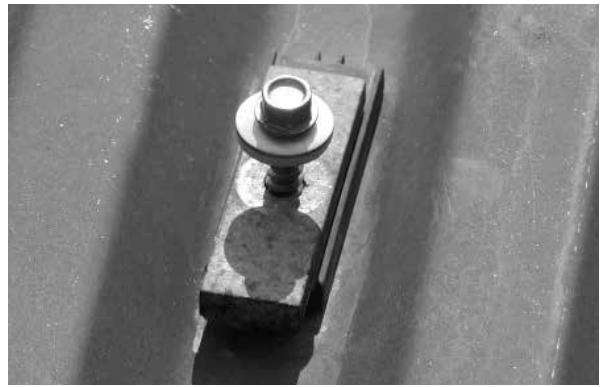
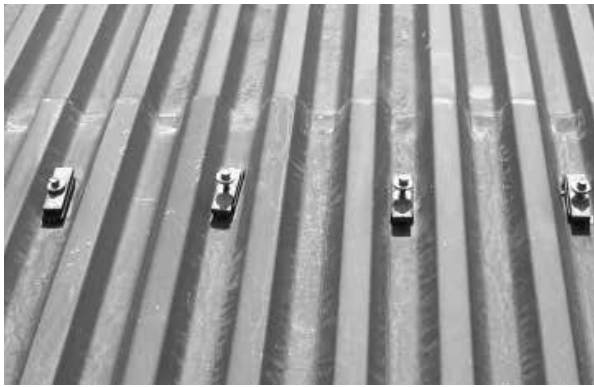
In tutti questi casi i fissaggi vanno sostituiti o correttamente serrati. Un esame a campione della copertura che porti a queste constatazioni consiglia senz'altro un ripasso generale (a tappeto) dell'intera superficie del manto.

A





————— **B** —————

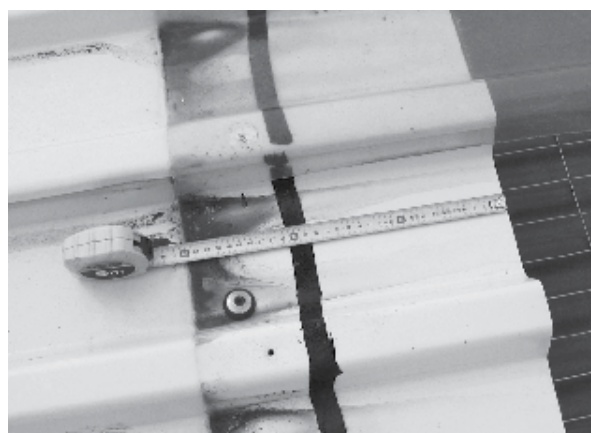
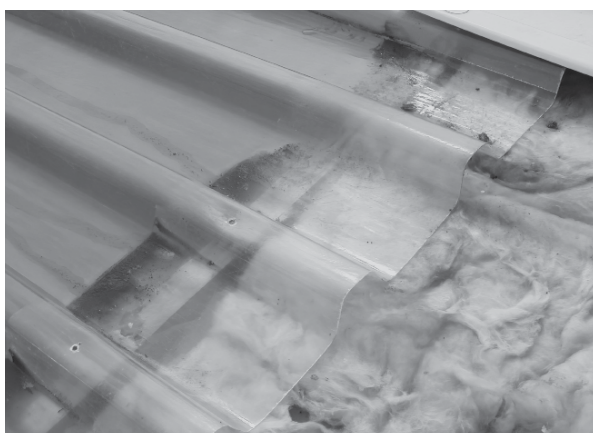
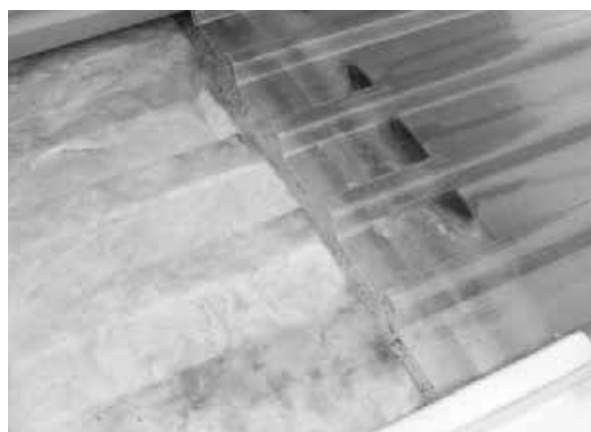
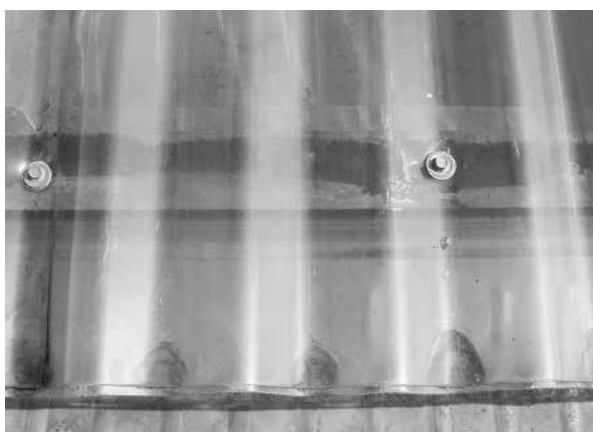


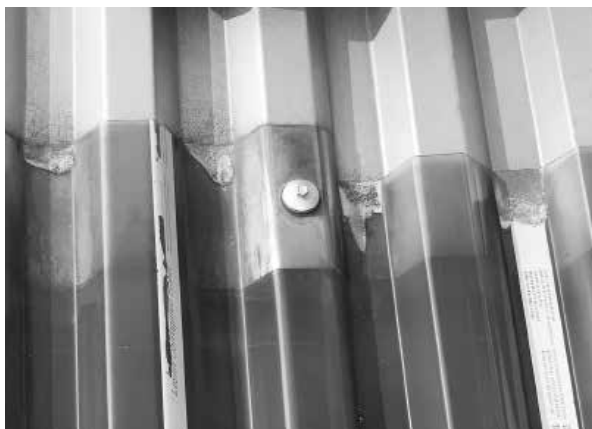
6. VERIFICA DEI LUCERNARI

Il primo controllo riguarda lo stato di conservazione del materiale trasparente utilizzato (vetroresina, metacrilato, policarbonato, vetro).

Ad eccezione del vetro, una opacizzazione del materiale, accompagnata dalla presenza di graffi o abrasioni, denuncia una diminuzione delle caratteristiche meccaniche, e prelude alla possibilità di future infiltrazioni. È poi necessario esaminare i dispositivi di fissaggio (pinze con viti, viti con guarnizione) serrando gli allentamenti e sostituendo nei casi peggiori le parti in plastica danneggiate dal sole. Nei lucernari radenti, va controllato lo stato di conservazione della guarnizione a striscia tra la lastra trasparente e quella in metallo, particolarmente a valle del lucernario, dove questa striscia è esposta al sole; vanno ricercate le risalite d'acqua per capillarità oltre la striscia, (*foto C*) indice di una cattiva adesione della medesima: per ovviare a questi inconvenienti, è opportuno, dopo avere allentato i fissaggi delle lastre, inserire una ulteriore nuova guarnizione a striscia a valle di quella esistente, anche limitatamente alla zona compromessa.

C





7. VERIFICA DEI CORPI EMERGENTI

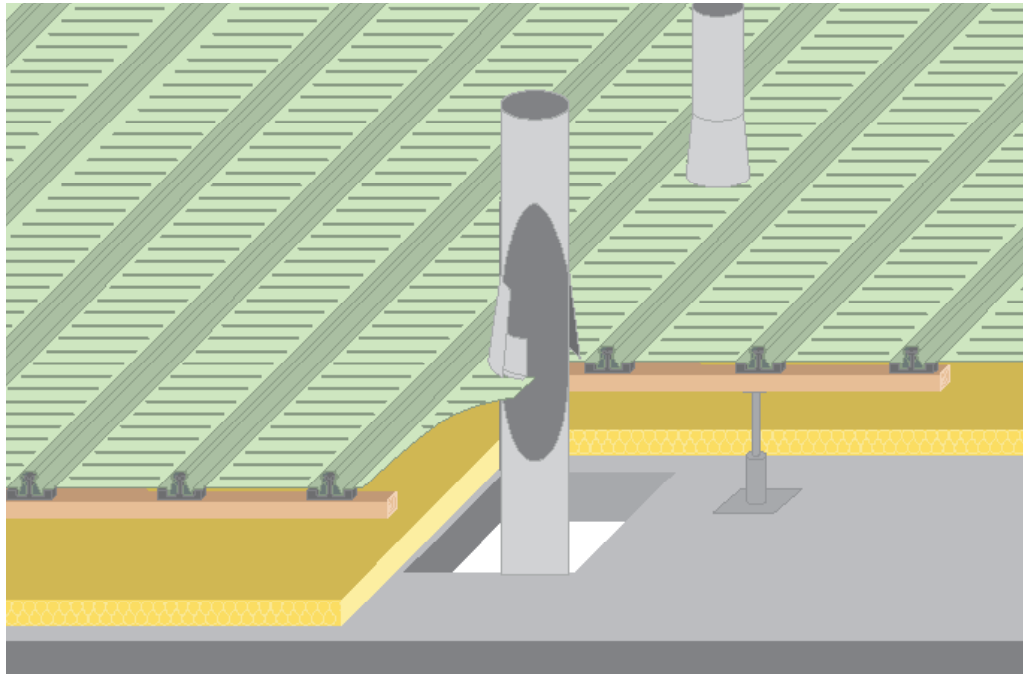
Deve essere controllata la pervietà delle canne fumarie e degli sfiati, liberandoli da eventuali ostruzioni causate da volatili; il controllo è limitato all'imboccatura, ma se si dovesse riscontrare, specie per le canne fumarie, un'ostruzione dovuta ad incrostazioni di combustione, va sollecitato l'intervento di personale specializzato (ANFUS - Associazione Nazionale Fumisti Spazzacamini). Allo stesso modo per estrattori d'aria e ventilatori va verificato che la bocca d'uscita sia libera da ostruzioni, demandando il controllo della parte elettrica agli addetti.

8. VERIFICA DELL'INTERFACCIA IMPIANTI-COPERTURA

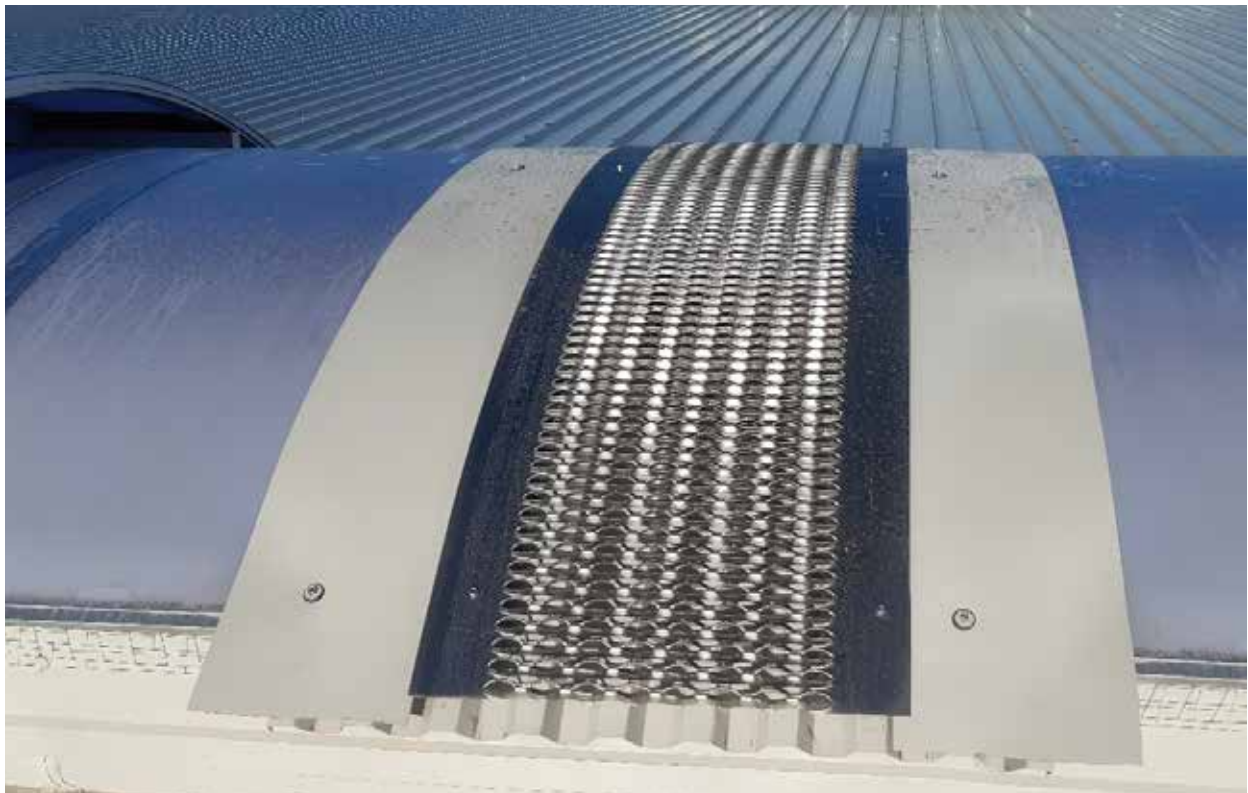
In casi sempre più frequenti, sulla copertura vengono installati impianti di vario tipo (trattamento dell'aria, collettori di energia solare, antenne di ricezione e simili). Benché la funzionalità di detti impianti non sia preoccupazione del coperturista manutentore, quest'ultimo deve verificare le zone di attacco di questi impianti, non di rado costituite da vere e proprie piattaforme metalliche, in altri da supporti singoli, solidali alla struttura sottostante. Dato come ovvio presupposto che questi attacchi siano strutturalmente adeguati al carico imposto, essi devono comunque rispettare due parametri fondamentali: la tenuta all'ingresso d'acqua e la resistenza alle sollecitazioni trasmesse al manto (anche per effetto di eventuali vibrazioni). Per ottenere questo, gli attacchi sono in genere realizzati con un sistema di colletto solidale al manto e cappellotto solidale all'attacco, mantenendo fra i due elementi il gioco necessario ad impedire la trasmissione di sollecitazioni dall'uno all'altro, e consentendo contemporaneamente la libera dilatazione del manto rispetto alla struttura. (Figura D, pagina seguente)

D

**Schema corpo
emergente
in copertura**



Esempio di passerella metallica di pedonamento



9. VERIFICA DELLO STATO DI PEDONABILITÀ

Diretta conseguenza della presenza di impianti sulla copertura è la frequentazione della stessa da parte di personale addetto alla manutenzione; questo personale non è in genere addestrato alle precauzioni da adottare durante il pedonamento al fine di evitare danni al manto, per cui vanno verificate le eventuali conseguenze di questa frequentazione, riparando con le modalità già citate gli eventuali danni, fino ad arrivare alla sostituzione di elementi irrecuperabili. Nei casi peggiori, e sempre in caso di nuove coperture con impianti, va caldeggiata l'adozione di passerelle metalliche di pedonamento, che preservino il manto da frequentazioni incaute.

10. VERIFICA DEI PRESIDI DI SICUREZZA

Sempre più spesso, e giustamente, vengono prescritti e adottati presidi di sicurezza permanenti in copertura, per tutelare coloro che vi accedono per vari motivi; questi presidi possono consistere in linee di sicurezza di colmo, parapetti di bordo, confinamenti di zone pericolose non solo ai bordi ma anche in prossimità di lucernari non calpestabili. Va quindi verificato innanzitutto il buono stato di conservazione di questi apprestamenti, e poi la loro piena funzionalità spingendosi se occorre e se esistono seri dubbi, al punto di effettuare prove con masse che simulino il carico di caduta di una persona. Ovviamente, le deficienze in questo settore, che possono provocare come conseguenza la caduta o l'infortunio di persone, vanno immediatamente segnalate quando non sia possibile eliminarle direttamente durante l'ispezione. Tali verifiche sono peraltro specificate obbligatoriamente all'atto dell'installazione. Va quindi verificato innanzitutto il buono stato di conservazione di questi apprestamenti, e poi la loro piena funzionalità spingendosi se occorre e se esistono seri dubbi, al punto di effettuare prove con masse che simulino il carico di caduta di una persona. Ovviamente, le deficienze in questo settore, che possono provocare come conseguenza la caduta o l'infortunio di persone, vanno immediatamente segnalate quando non sia possibile eliminarle direttamente durante l'ispezione. Tali verifiche sono peraltro specificate obbligatoriamente all'atto dell'installazione.

2.10 Caratteristiche di trasporto, stoccaggio e movimentazione

Il trasporto in cantiere dei prodotti e dei materiali necessari alla realizzazione di una copertura è ovviamente di competenza dei fornitori degli stessi. È tuttavia responsabilità dei costruttori verificare l'integrità del materiale, e provvedere al loro corretto stoccaggio fino all'utilizzo.

Gli elementi di grandi dimensioni, ovvero lastre e pannelli, che concorrono a formare il manto, sono

di solito trasportati in pacchi. Anche se il produttore normalmente provvede a proteggere gli spigoli di ogni pacco con mezzi adatti (telaio in legno o in materiale plastico) dalla tensione delle reggette, è bene verificare che i bordi di tutte le lamiere o dei pannelli, in particolar modo quelli che si trovano all'estremità superiore e inferiore di ogni pacco, non siano deformati o tagliati dalle reggette stesse.

Errori di imballo



Qualora i pacchi non siano protetti da polietilene o da altro involucro plastico, bisogna verificare che gli agenti atmosferici o gli stress del trasporto non abbiano danneggiato la superficie superiore e i fianchi del pacco.

Per evitare l'eventuale formazione di macchie di ossidazione sulla superficie metallica di lamiere o pannelli non preverniciati, è cosa opportuna effettuare lo stoccaggio utilizzando supporti, in legno o altro materiale adatto, che siano di altezza diversa, in modo che i pacchi stessi rimangano leggermente in pendenza.



I pacchi andranno separati tra loro mediante supporti analoghi. *(Vedi foto pagina seguente).*

Oltre a questo, è opportuno proteggere i pacchi stessi dalle intemperie fino al momento del montaggio, coprendoli con teli in polietilene, lasciando tuttavia sui fianchi aperture sufficienti a consentire la circolazione dell'aria, e ad impedire il ristagno di umidità.

Gli elementi di lattomeria vengono frequentemente trasportati in pacchi reggiati in modo analogo alle lastre. Questo non è certo il metodo ideale per fare sì che il materiale giunga indenne in cantiere.

Separazione imballo pacchi



Le lattonerie sono infatti per la maggior parte soggette a facili deformazioni, per cui possono subire danni sia nella fase del trasporto che in quella del sollevamento in quota e della successiva distribuzione dell'esame di copertura in cui verranno montate. Risulta molto più sicuro utilizzare rastrelliere o contenitori appositi, realizzati ad esempio in tubi di acciaio e dotati di sufficiente robustezza e rigidità, all'interno delle quali le lattonerie potranno essere convenientemente assicurate ed eventualmente già separate per tipo. Anche le lattonerie, analogamente ai pacchi di lastre o pannelli, dovranno essere protette dalle intemperie fino al momento del montaggio, per impedire la formazione di macchie di ossidazione.

Analoghe precauzioni dovranno essere prese per i pacchi di listelli in legno eventualmente necessari per la sottostruttura.

I materiali necessari alla coibentazione vengono generalmente forniti all'interno di imballi preparati dal produttore; nella maggior parte dei casi questi imballi, che tipicamente sono costituiti da materiale plastico termoretraibile, sono adeguati

a proteggere il materiale sia durante la fase di trasporto, che durante la permanenza in cantiere o in copertura. Per i materiali vulnerabili all'acqua e all'umidità, è comunque necessario assicurarsi che l'imballo garantisca una sufficiente tenuta rispetto agli agenti atmosferici, o, in alternativa, è necessario provvedere al loro stoccaggio in luogo riparato fino al momento del montaggio.

Infine gli accessori vengono solitamente consegnati in cantiere entro scatole in cartone o sacchetti in plastica. Specialmente nel primo caso, devono essere posti in luogo riparato alle intemperie fino al loro utilizzo.

Regola fondamentale, valida per qualunque materiale o prodotto presente sulla copertura durante il montaggio, è la assoluta necessità di assicurare solidamente i materiali leggeri come lastre e lattonerie sciolte dai relativi pacchi, ovviamente per impedire che possano essere sollevati e trasportati dal vento, danneggiandosi e provocando danni e infortuni a terzi. *(Vedi foto pagina successiva)*

Danni da forte vento



Questo va sempre fatto, oltre che in presenza effettiva di vento, anche prima dell'interruzione pomeridiana o serale dei lavori, e comunque ogni volta che il cantiere non sia presidiato. La movimentazione ed il tiro in quota dei materiali corti o compatti non presenta particolari difficoltà, mentre per i materiali lunghi e poco rigidi come i

pacchi di lamiera con pannelli oppure le lattenorie, è necessario prendere alcune precauzioni. Il sollevamento in quota va eseguito, per lunghezze rilevanti ed in base alle istruzioni del produttore, mediante l'uso di bilancini a trave di opportuna lunghezza e rigidità.

Uso di bilancino per sollevamento



Inoltre, quando si utilizzino, come di consueto, fasce di sollevamento, bisogna porre particolare attenzione al pericolo di schiacciamento e defor-

mazione dei bordi del pacco in corrispondenza delle fasce stesse.

Esempio di corretto imballo



Per ovviare a questo inconveniente si possono inserire tavole in legno di lunghezza opportuna a protezione di spigoli, qualora l'imballo non sia stato eseguito in modo da svolgere questa funzione.

2.11 Caratteristiche di durata ed efficienza nel tempo

2.11.1 Durata

Le coperture metalliche sono in linea di principio dotate di notevoli caratteristiche di durata nel tempo.

Dato come presupposto che la resistenza strutturale ai carichi di esercizio sia stata correttamente valutata, le coperture sono esposte nella vita di esercizio ad attacchi di tipo termico, chimico, meccanico, ed all'azione dei raggi solari.

L'elemento principale, il manto, e le lattonerie a corredo sono infatti totalmente immuni dall'azione dei raggi UV, la quale può al più esercitarsi sull'eventuale strato di preverniciatura, se presente, facendone sbiadire il colore originario.

Anche questo effetto, tuttavia, è di modesta entità nei primi cinque - dieci anni di vita per i prodotti di tecnologia più recente, specialmente per i colori più chiari, e in ogni caso non ha conseguenze di tipo funzionale, ma coinvolge solo l'aspetto estetico ed architettonico.

Il metallo offre inoltre notevole resistenza all'azione abrasiva meccanica dell'atmosfera, causata dalla presenza di polveri trasportate dal vento.

L'esposizione quotidiana e stagionale ad escursioni termiche anche elevate genera come è noto fenomeni di dilatazione e contrazione che potrebbero compromettere la funzionalità della copertura, solo se non vengono adottate le opportune soluzioni tecniche.

Per quanto infine attiene alla corrosione e all'attacco chimico in generale, vanno fatte alcune distinzioni.

Come premessa generale possiamo dire che tutti i metalli e le loro leghe, in varia misura, tendono a combinarsi chimicamente con l'ossigeno atmosferico, generando ossidi di metallo. Questi ossidi assumono però caratteristiche molto diverse per quanto riguarda la capacità di restare aderenti e

coesi al metallo originale. I normali acciai da costruzione sviluppano un ossido poroso e scarsamente aderente (la ruggine), che tende quindi a staccarsi dal metallo originale, lasciandolo esposto ad ulteriore attacco da parte dell'ossigeno. La corrosione prosegue, se non fermata, intaccando sempre più in profondità il materiale di base. Questo genere di materiali va quindi protetto dal contatto con l'aria tramite vernici o strati di metallo avente diverse caratteristiche, come lo zinco, in modo da impedire il processo di ossidazione.

Altre leghe metalliche, come quelle a base di rame e di alluminio, formano, a contatto con l'aria, ossidi aventi caratteristiche totalmente diverse. Questi ossidi sono molto compatti e fortemente aderenti al metallo sottostante, e quindi bloccano completamente il contatto tra questo e l'aria esterna, impedendo il progredire dell'ossidazione.

La differenza tra l'utilizzo di metalli protetti con apposti e rivestimenti esterni, e l'uso di metalli che si autoprotettono, è fondamentale.

Infatti, durante il montaggio, e successivamente nel normale esercizio, i componenti metallici della copertura subiscono tagli per adattamento e messa a misura, forature per il fissaggio, e successivamente graffi e abrasioni per normale usura o fortunosità; ognuna di queste inevitabili evenienze rappresenta un punto o una zona in cui la protezione superficiale del metallo viene asportata, ma, mentre nel primo caso questo rappresenta, se non vi si pone rimedio, un inizio di attacco di corrosione, nel secondo caso il metallo stesso riforma spontaneamente la patina protettiva costituita dal proprio ossido.

Da qui la superiorità funzionale in termini di pura durabilità delle leghe "nobili" come quelle di alluminio e rame.

Esiste poi una terza categoria di leghe metalliche caratterizzate da una resistenza non assoluta ma di gran lunga superiore all'ossidazione, ed è rappresentata tipicamente dagli acciai inossidabili.

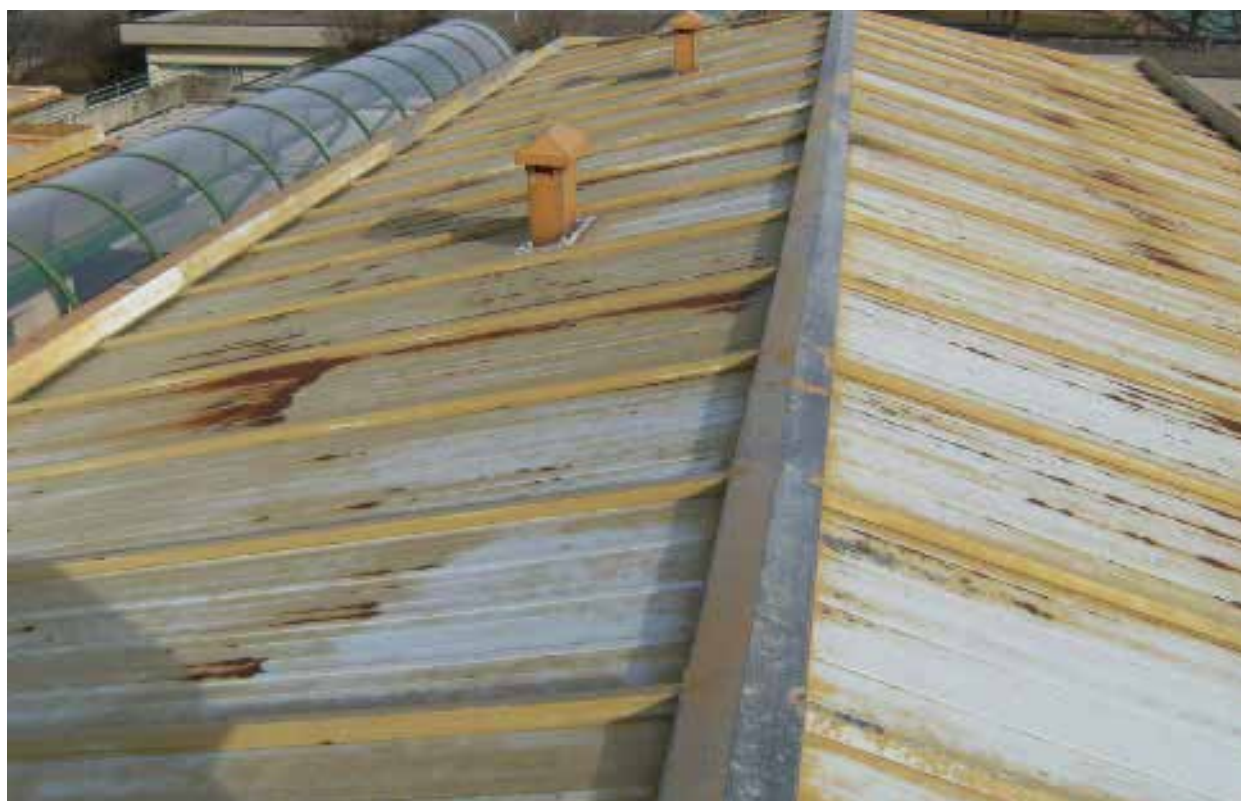
In questo caso non è necessaria alcuna protezione esterna, ed il processo di ossidazione è quasi totalmente inibito, salvo in casi di particolare aggressività atmosferica (ambiente marino o fortemente inquinato), e di prolungata esposizione allo stesso. Le parti non metalliche presenti nella copertura sono costituite sostanzialmente dai prodotti di sigillatura, dai giunti elastici e dalle guarnizioni di tenuta.

Questi elementi sono chiamati a svolgere compiti di tenuta idraulica, cosa che fanno egregiamente,

grazie alle doti di elasticità ed adattabilità di forma dei materiali plastici con i quali vengono prodotti. Purtroppo essi non condividono le apprezzabili caratteristiche di insensibilità all'effetto dei raggi UV, delle escursioni termiche, dell'aggressione chimica offerte dai metalli, ed anche la loro tenuta idraulica nel tempo dipende da un corretto montaggio, che non imponga deformazioni o stress eccessivi.

L'efficienza di questi elementi nel tempo è pertanto condizionata ad una regolare manutenzione, con verifica delle coppie di serraggio per le guarnizioni sui fissaggi, verifica dell'adesione dei sigillanti, ed eventuale sostituzione degli elementi compromessi.

Esempio di inizio corrosione



2.11.2 Efficienza

In generale, l'efficienza di una copertura viene intesa come la capacità di assolvere, nella quasi totalità delle situazioni, le funzioni per le quali è stata realizzata, in termini di tenuta all'acqua ed all'aria rispetto agli eventi meteorologici, in termini di isolamento rispetto alle condizioni termiche esterne, ed in termini di isolamento rispetto all'inquinamento proveniente dall'esterno, sia acustico che chimico. Si è detto "nella quasi totalità delle situazioni", in quanto esistono condizioni estreme, qualificate dalla normativa UNI 10372:2023 al punto 4.1.1 come "eccezionali precipitazioni", rispetto alle quali una copertura discontinua può non garantire le prestazioni che offre in tutte le altre situazioni.

I fattori dei quali dipende l'efficienza finale di una copertura sono molteplici, e tutti strettamente necessari alla buona riuscita dell'opera.

Prima di tutto è fondamentale una corretta progettazione, che tenga conto non solo delle normative vigenti, ma che possa contare anche su una buona conoscenza dei prodotti da utilizzare, delle loro caratteristiche, dei loro punti di forza e dei loro limiti. La progettazione deve anche tenere conto della singola situazione ambientale in cui la copertura sarà chiamata a funzionare, individuando i materiali più adatti e le soluzioni più sicure, compatibilmente con il preventivo di costo.

Nel caso in cui la copertura sia un rifacimento di un'opera esistente, è fondamentale un accurato rilievo ed esame della situazione di partenza, allo scopo di individuare i possibili punti deboli e le particolarità applicative. Ultimo, ma non certo meno importante, è il possedere il maggior bagaglio possibile di esperienza specifica nel settore; questa esperienza,

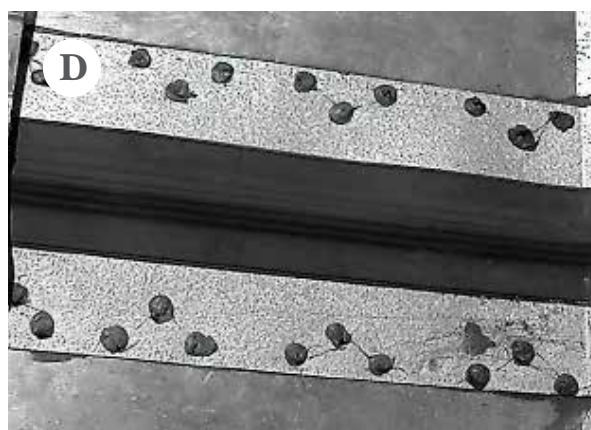
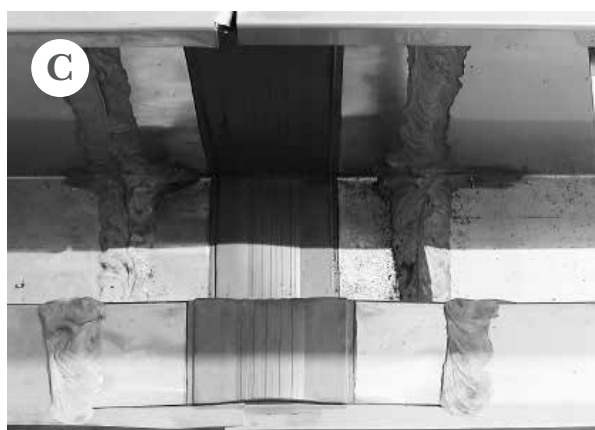
Corretto deflusso acque piovane



definita da qualcuno come la somma degli errori commessi in passato, consente spesso di evitare la possibilità di successivi errori in fase costruttiva, errori spesso dovuti all'improvvisazione o alla mancanza di conoscenze specifiche da parte di maestranze non specializzate. In fase di montaggio dovranno essere scrupolosamente rispettate le indicazioni contenute nel progetto. In caso di discordanze, queste dovranno essere tempestivamente segnalate alla progettazione, in modo da concordare una soluzione consona alle esigenze funzionali. In particolare dovranno essere rispettate le misure dei sormonti per le lamiere grecate, i pannelli e le lattonerie. Dovrà essere rispettata la corretta coppia di serraggio dei fissaggi, sia per assicurare una buona aderenza delle guarnizioni di tenuta, evitandone deformazioni eccessive che porterebbero precocemente alla loro fessurazione, sia per evitare deformazioni locali delle parti metalliche fissate (greche di lastre e pannelli o lattonerie). (Vedi foto A, B)

Dovranno essere rispettate le distanze previste fra tronchi di lattonerie diverse in corrispondenza dei giunti di dilatazione, tenendo conto, se il progetto non lo specificasse, della temperatura al momento del montaggio (ricordiamo che per alte temperature i tronconi vanno montati ravvicinati, per basse temperature vanno montati distanziati). (Vedi foto C, D)

Dovranno infine essere rispettate le corrette procedure per l'applicazione dei sigillanti, in genere silicici: le condizioni ideali solitamente prevedono una accurata pulizia ed eventualmente sgrassaggio delle parti metalliche da unire, ed una successiva asciugatura, in modo da eliminare possibilmente ogni traccia di umidità tra sigillanti e superficie metalliche. Ad opera completata, l'efficienza nel tempo dipende, come già detto, da una regolare ed attenta manutenzione, le cui modalità sono specificate nel relativo paragrafo.



2.12 Caratteristiche di compatibilità con l'ambiente

La compatibilità di una copertura metallica rispetto all'ambiente può essere vista secondo differenti aspetti. Dal punto di vista architettonico, le coperture metalliche sono innegabilmente più legate a contesti contemporanei e produttivi che non all'integrazione in ambiti storici antichi, ma questa non è certo una regola generale.

Possiamo constatare innanzi tutto che la cultura della copertura metallica ha radici profonde ed antiche in ambito mitteleuropeo, con esempi che risalgono al diciassettesimo secolo, e che hanno portato a realizzazioni importanti e rappresentative di stili architettonici.

Le forme principali con cui queste opere sono state realizzate corrispondono a due schemi:

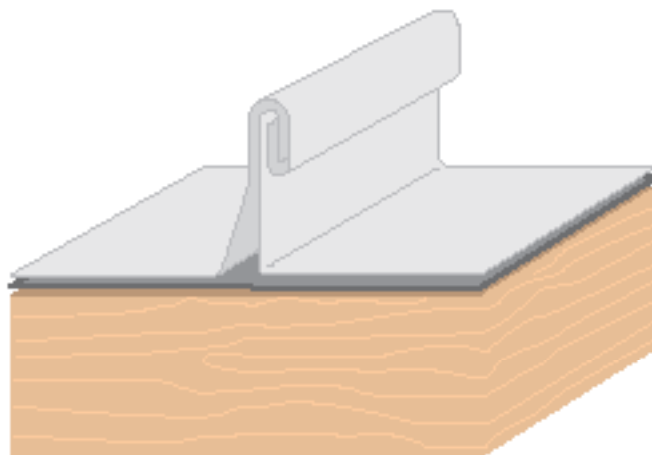
La scandola, che consiste in una scaglia o tegola metallica applicata a file sfalsate e sovrapposte con la stessa logica delle tegole in laterizio o pietra; rispetto a queste ultime, la scandola consente una maggiore varietà di forme, un minore peso complessivo, e la possibilità di realizzare superfici curve con ottima approssimazione.

La lastra aggraffata, che consiste essenzialmente in un foglio di metallo ripiegato sui lati in modo tale che due lastre successive formino un giunto, che viene poi richiuso con appositi utensili manuali o, modernamente, con un attrezzo elettrico. Anche questa soluzione permette di ottenere con un peso modesto varie tipologie di copertura, anche se con

Copertura a "scandole"



Aggraffatura di laminati



una minore flessibilità operativa rispetto alla scandola, ma con una minore dispendio di materiale e con un aspetto più liscio ed architettonicamente semplificato.

È giusto sottolineare che il fiorire di questa tecnologia metallica già nei secoli scorsi è avvenuto in regioni europee caratterizzate da una maggiore asprezza climatica e da precipitazioni più abbondanti rispetto a quelle italiane e in generale del bacino del Mediterraneo, dove è molto meno diffusa.

Una buona diffusione delle coperture metalliche nelle forme descritte si può trovare anche nelle località montane, dove le condizioni climatiche sono altrettanto severe e l'utilizzo del metallo permette di risolvere brillantemente il problema della gelività.

Nell'ambito poi della architettura contemporanea, l'utilizzo del metallo permette una flessibilità progettuale improponibile da parte delle tecnologie tradizionali, complici le ottime prestazioni strutturali unite ad una grande leggerezza, ma anche la grande varietà di prodotti, morfologie, e soluzioni cromatiche offerte dal mercato.

Dal punto di vista dell'impatto ambientale, va detto che le coperture metalliche, sia a finitura naturale, ovvero con il metallo visto, che preverniciate, si comportano in modo totalmente neutro.

Infatti il rilascio di materiale da parte di una lastra metallica nei confronti dell'ambiente è talmente esiguo nel tempo da risultare del tutto trascurabile. Diminuzioni di spessore praticamente misurabili si verificano in tempi dell'ordine di decenni; il metallo dilavato, inoltre, non presenta pericolo di tossicità per l'ambiente, fatta eccezione per il piombo, a carico del quale gravano giustificati sospetti, e che tuttavia veniva utilizzato fino a qualche decennio fa unicamente per realizzare raccordi di lattoneria, a causa della sua plasticità, mai per realizzare manti di copertura veri e propri.

La copertura metallica, inoltre, costituisce un'ottima barriera al rilascio di eventuali fibre provenienti dal sottostante strato di coibentazione, qualora questo sia costituito da pannelli o materassini in lana di vetro o lana di roccia. Tali fibre non risultano essere sotto accusa, al momento attuale, nei confronti della salute, ma va considerata in ogni caso e prudenzialmente in maniera positiva la possibilità di incapsulamento offerta dal metallo.

Inevitabile a questo proposito viene il confronto con i prodotti basati su cemento-amianto che, a partire dalla metà del secolo scorso, promettevano una durata illimitata, a fronte di costi contenuti.

Grazie a queste prospettive, la loro diffusione in Italia è stata larghissima, e a tutt'oggi sono milioni i metri quadri installati.

A partire dagli anni ottanta, tuttavia, sono state indiscutibilmente confermate le ipotesi sulla nocività delle fibre di amianto verso l'organismo, e que-

sto, pur avendo messo al bando la produzione di nuovi prodotti per coperture contenenti amianto, ha lasciato una pesantissima eredità di manti esposti al dilavamento delle piogge, alla conseguente asportazione dell'amianto ed alla sua diffusione nell'atmosfera e nelle acque.

Copertura a falde realizzata in fibrocemento con amianto



Due sono le principali vie intraprese per porre rimedio a questa situazione:

La prima consiste nell'incapsulamento della copertura in amianto-cemento con un manto metallico; come abbiamo detto, il metallo è totalmente neutro rispetto all'ambiente, non rilasciando alcuna sostanza, per cui questa procedura, correttamente eseguita, garantisce il confinamento del vecchio manto sottostante, e la cessazione del rilascio di fibre.

La seconda prevede la totale sostituzione del manto di copertura, ed implica lo smontaggio, secondo le procedure previste dalle autorità sanitarie, del vecchio manto in amianto cemento, ed il suo successivo smaltimento in discarica autorizzata.

Questa seconda soluzione è la più radicale, ma prevede maggiori costi, dovuti alla onerosità delle operazioni di montaggio e soprattutto ai costi legati allo smaltimento legale del materiale contenente amianto. Esistono inoltre risvolti del tipo ambientale, connessi col crescente accumulo di materiale nelle discariche autorizzate, ed alla oggettiva difficoltà di crearne di nuove.

In molti casi la nuova copertura sostitutiva, anziché da un manto metallico, è costituita da un manto in fibrocemento ecologico, ossia da un prodotto

avente in tutto e per tutto l'aspetto e la struttura dei precedenti prodotti in amianto cemento, dai quali differisce unicamente per il fatto che le fibre utilizzate, anziché essere di amianto, sono di altro materiale.

Bisogna però porre attenzione alla natura di questi materiali, che sono costituiti da una trama di fibre annegata in una matrice a base di cemento. Per sua stessa natura, qualunque sia il tipo di fibre impiegato, a causa dell'inevitabile e progressiva erosione nel corso degli anni della matrice in cemento, questo materiale tenderà a perdere la parte superficiale esterna di quest'ultima, lasciando riaffiorare le fibre.

Il fenomeno, che d'altra parte è già stato costantemente ed abbondantemente rilevato nelle vecchie coperture in amianto cemento, porta ad una progressiva diminuzione della resistenza strutturale delle lastre stesse, oltre ad un generale decadimento dell'aspetto estetico e della funzionalità del manto, con le conseguenze che si possono facilmente immaginare.

Va da sé che il metallo, essendo materiale omogeneo e non composito, è immune da questo fenomeno.

2.13 Caratteristiche di integrazione con l'edificio ed i suoi impianti/servizi

Un obiettivo importante nel corso della realizzazione di una copertura, purtroppo non sempre realizzato, consiste nella sua buona integrazione con l'edificio nel suo insieme. Questa integrazione assume molteplici aspetti.

Il primo punto di vista è senz'altro quello architettonico. Esistono infatti tipologie di copertura metallica che ben si adattano a qualunque forma e soluzione architettonica.

Gli edifici ad uso pubblico, produttivo o commerciale sono caratterizzati solitamente da forme architettoniche contemporanee che spaziano da soluzioni semplificate e standardizzate, dettate da esigenze di contenimento del costo, fino ad arrivare, all'altro estremo, a forme complesse, destinate a richiamare l'attenzione ed a costituire motivo di

attrazione con un aspetto fortemente caratterizzato da contenuti tecnologici.

Per questa categoria gli edifici esiste la possibilità di scegliere il più adatto fra una vasta schiera di prodotti grecati, sia sotto forma di lastre che di pannelli, disponibili nei colori che meglio si adattano all'edificio.

Per edifici a terrazzo, e quindi caratterizzati dalla necessità di coperture a bassa pendenza, con falde anche di grandi dimensioni, esiste la possibilità di applicare prodotti concepiti per coprire lunghezze notevoli con lastre uniche da estremità all'estremità, spesso dotati di appositi presidi contro l'ingresso di acqua dai giunti (particolarmente utili sulle basse pendenze per situazioni estreme).

Manto di copertura a “tutta lunghezza”



Per edifici che seguono le forme della tradizione, esistono lastre e pannelli metallici che simulano efficacemente nella forma e nel colore i coppi o

le tegole in laterizio, e che permettono in questo modo, con pesi molto limitati, di rispettare i vincoli architettonici imposti in molte località italiane.

Copertura stampata a forma di coppo



Per edifici di carattere molto particolare, oppure dotati di precisa connotazione storica, è possibile ricorrere alle lastre con tecniche di aggraffatura in copertura, o a vari tipi di scandole metalliche. *(Vedi foto pagina successiva)*

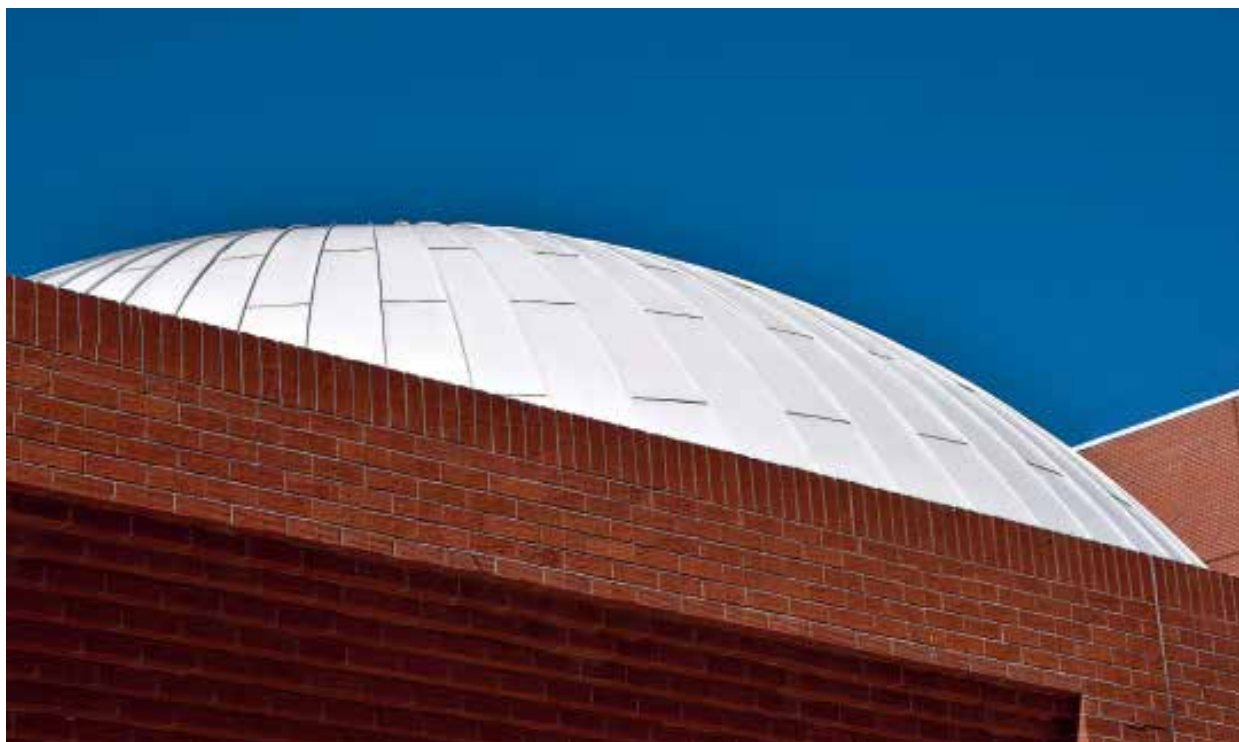
Il secondo punto di vista è quello che attiene le prestazioni termo-igrometriche della copertura in relazione a quelle del resto dell'edificio, ovvero, in pratica, delle pareti perimetrali.

È chiaro che un manto di copertura, sia di prima applicazione che nell'ambito di una ristrutturazione

o di una ricopertura, deve possedere un potere coibente almeno pari a quello delle pareti perimetrali. Meglio ancora quando la resistenza termica del manto presenta valori superiori a quelli delle pareti, considerando la naturale tendenza dell'aria interna con temperatura superiore a salire verso l'alto, e quindi la maggiore tendenza ad un flusso termico verso l'esterno in corrispondenza del manto di copertura piuttosto che dalle pareti.

Ai fini dello scambio di vapore acqueo con l'esterno, va considerata la reale permeabilità al vapore delle pareti, in modo da stabilire quale sia la strada miglio-

Copertura a “spicchi” con tecnica di aggraffatura



re da seguire per il manto: rendere il pacchetto di copertura impermeabile al vapore mediante una barriera assoluta al di sotto dello strato coibente, in modo da indirizzare l'uscita del vapore verso le pareti, oppure consentire la trasmissione del vapore

acquoso attraverso il pacchetto, eventualmente considerando l'applicazione di uno strato permeabile al vapore (ma non all'acqua) sotto la coibentazione, in modo da evitare la successiva discesa del vapore condensato.

Posa di telo permeabile sotto al manto di copertura



Il terzo punto di vista coinvolge i vari impianti di cui l'edificio è o verrà dotato. Tali impianti, tipicamente quelli che riguardano il termo-condizionamento ed in generale il trattamento dell'aria degli ambienti interni, comporta un interscambio di gas con l'esterno (aria, fumi di combustione) che nella maggior parte dei casi coinvolge il manto di copertura.

Questo ovviamente allo scopo di posizionare l'uscita di questi gas nella zona più alta possibile dell'edificio, in modo da non coinvolgere direttamente i piani abitati o la zona circostante a livello del terreno.

Inoltre, nella maggior parte dei casi, la presenza evidente di canne fumarie o in generale di tubazioni di uscita non risulta gradita dal punto di vista architettonico.

Esistono infine precise normative (UNI-CIG) che regolano il posizionamento e la quota delle uscite di fumi rispetto all'edificio e a quelli circostanti.

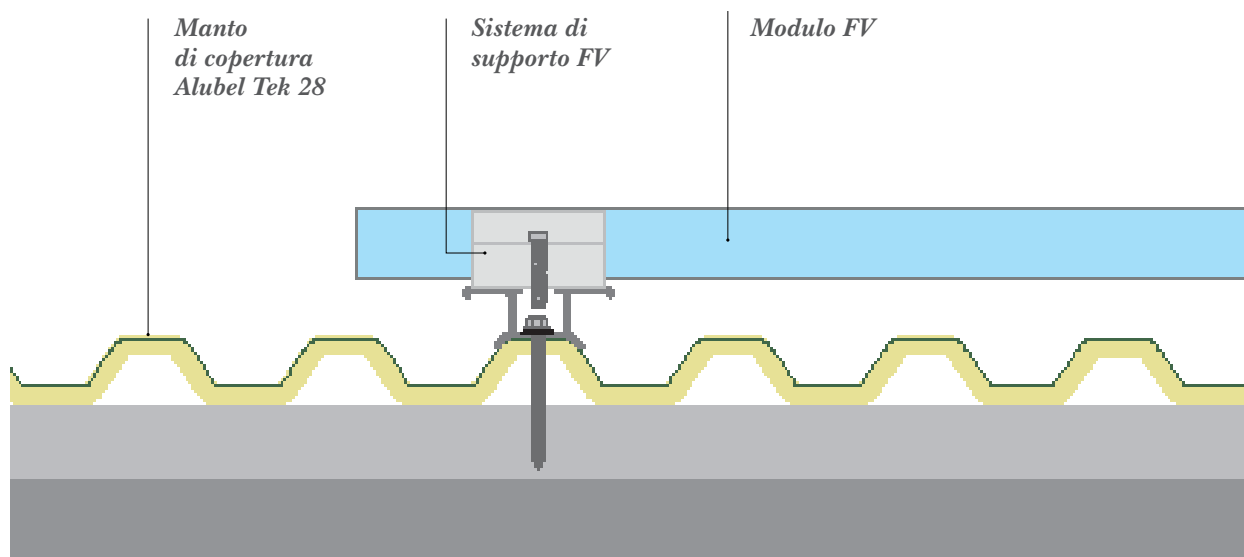
Il problema diventa più pesante nel caso di edifici a finalità produttiva, nei quali esiste spesso la necessità di portare all'esterno gas e vapori direttamente risultante dal processo produttivo.

Un'altra situazione che comporta problemi di intersezione è quella tipica legata alle ristrutturazioni e rifacimenti, dove il sistema di tubazioni è già presente ed attivo, e quindi poco suscettibile di variazioni e modifiche.

Ulteriori problematiche sono legate all'installazione di impianti e pannelli per la generazione di energia con le relative tubazioni per il trasporto dell'acqua calda, o per le tubazioni di contenimento dei cavi elettrici.

Dalle considerazioni precedenti emerge l'opportunità di una collaborazione e di integrazione fra i progettisti dell'edificio e dei suoi impianti con il progettista della copertura, in modo che questi abbia una conoscenza quanto più possibile approfondita della situazione termica ed impiantistica dell'edificio, e possa eventualmente proporre soluzioni che, rispettando le esigenze tecniche globali, conferiscano maggiore funzionalità e sicurezza alla copertura.

Stratigrafia installazione impianto fotovoltaico



Capitolo 3

*Elementi necessari alla scelta della
tipologia del manto*

3.1 Vantaggi dell'utilizzo del metallo in copertura

I vantaggi dell'utilizzo del metallo in copertura sono molteplici:

Innanzitutto consideriamo il comportamento strutturale; le coperture in metallo, opportunamente dimensionate, offrono ottima resistenza ai carichi imposti da neve, vento, grandine, pedonamento, urti accidentali.

La caratteristica peculiare del metallo è poi legata al suo comportamento non fragile rispetto ai carichi, per cui il prodotto metallico di copertura tende a deformarsi sotto l'azione dei carichi con ampio anticipo rispetto alla rottura, che peraltro non è mai improvvisa. Questo comportamento garantisce notevoli margini di sicurezza, soprattutto nei confronti di eventuali operatori o manutentori sul manto stesso.

Coperture metalliche grecate garantiscono ottima pedonabilità



Queste caratteristiche vengono mantenute anche in presenza di bruschi e notevoli sbalzi termici.

La tenuta idraulica per le coperture metalliche, allorché queste vengano correttamente progettate ed eseguite, è ottima, stante la pendenza delle falde, in quanto il manto stesso è costituito, rispetto alle coperture tradizionali, da un numero molto limitato di grandi elementi, e questo comporta un numero inferiore di sormonti e giunzioni.

L'esecuzione dei fissaggi nella parte alta delle onde o delle greche di elementi è un ulteriore elemento di sicurezza rispetto alla possibile entrata d'acqua.

La durata e la funzionalità nel tempo delle coperture metalliche è notevole, per molteplici motivi.

Il metallo (e ad oggi solo il metallo) è totalmente insensibile all'azione dei raggi UV, per cui né le sue caratteristiche meccaniche, né le sue doti di impermeabilità diminuiscono con l'esposizione al sole.

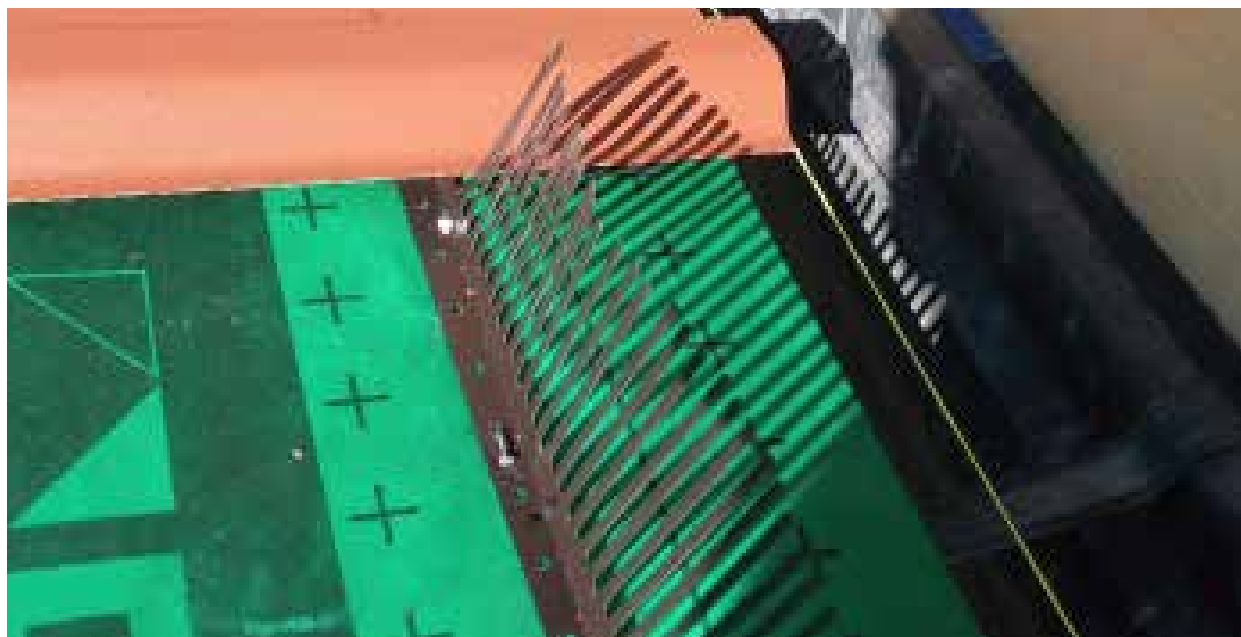
La resistenza all'abrasione causata da polveri è tale che una diminuzione significativa di spessore può essere misurata nell'arco di decenni di vita operativa.

La resistenza all'azione degli agenti chimici presenti nell'atmosfera, anche in contesti fortemente industrializzati, è ottima per i metalli autoprotettivi come l'alluminio, il rame, l'acciaio inossidabile, e può essere ottenuta mediante opportuni rivestimenti anche per l'acciaio.

Il metallo è inoltre insensibile a muffe, batteri, ed all'azione di organismi vegetali o animali.

La copertura metallica costituisce un ambiente naturalmente sfavorevole per l'annidamento di animali molesti o dannosi, in quanto costituisce esternamente una superficie fredda d'inverno e calda estate; inoltre, utilizzando opportuni e semplici presidi, può essere resa totalmente inaccessibile a questi animali, pur permettendo il passaggio d'aria della ventilazione.

“Parapasseri” per la riduzione dell'intrusione degli animali



Per quanto concerne la resistenza al fuoco, bisogna notare che il manto di copertura metallico è di per sé incombustibile, per cui non trasmette l'incendio lungo la falda; questa capacità può essere estesa all'intero pacchetto di copertura, con una attenta progettazione; in alcuni casi, come per l'alluminio, il basso punto di fusione consente al calore dell'incendio di aprire al fumo una via verso l'alto, migliorando le possibilità di evacuazione e rallentando l'aumento di temperatura dell'edificio.

Essendo il manto di copertura metallico un ottimo conduttore elettrico, la protezione rispetto ai rischi di fulminazione è assicurata facilmente delegando al manto stesso la funzione di gabbia di Faraday, e collegando semplicemente il manto ai dispersori di terra secondo il calcolo della probabilità di fulminazione.

Le capacità di isolamento termico, isolamento acustico e prevenzione della formazione di condensa,

benché non peculiari del prodotto metallico in sé, possono essere facilmente ottenute con una buona progettazione del pacchetto di copertura metallico, il quale offre anche il vantaggio di consentire l'adozione di materiali sia coibenti che fonoassorbenti di qualunque tipo (rigidi o cedevoli), in quanto la funzione di resistenza meccanica è delegata unicamente alla parte metallica del pacchetto.

Le caratteristiche di impatto ambientale legate all'ecologia sono ottime. Il metallo non rilascia sostanze nell'atmosfera, e la sua combinazione chimica con l'aria, l'ossido, rimane fortemente aderente al metallo stesso negli autoprotettivi come alluminio e rame.

Bobine metalliche (coils)



3.2 Metalli utilizzabili per manti di copertura e loro caratteristiche

Le leghe metalliche utilizzate per produrre manti di copertura sono molto numerose, ma possono essere ricondotte ad un numero limitato di famiglie, caratterizzate dal metallo di base che costituisce la lega. (Vedi foto pag precedente)

Le famiglie prevalentemente utilizzate sono quelle delle leghe di alluminio, del rame, degli acciai inossidabili, degli acciai al carbonio.

Esistono poi prodotti formati da una unione di leghe diverse, sovrapposte a strati, come lo zinco-titanio o l'alluminio-zinco.

3.2.1 Leghe di alluminio

L'alluminio compare più di 5000 anni fa, sotto forma di silicato di alluminio idrato, negli oggetti di terracotta d'argilla, mentre i Babilonesi e gli Egiziani utilizzavano composti contenenti alluminio nelle tinture e nei colori vegetali, oppure a scopi curativi.

L'alluminio era però noto solo come "il metallo dell'argilla", e per migliaia di anni non si riuscì ad isolarlo dalle sostanze in cui era legato.

Nel 1782 il grande chimico francese Lavoisier affermava che era l'ossido di un metallo sconosciuto; questa opinione era condivisa da Sir Humprey Davy, che lo chiamò "Aluminum", termine che è tuttora usato in Nord America, al posto di "Aluminium".

Davy fuse il ferro in contatto con l'allumina mediante un arco elettrico per produrre una lega di ferro e alluminio, ed in quella occasione l'alluminio, per pochi istanti, esistette per la prima volta allo stato puro.

Successivamente Oersted, Wohler e Sainte Clair-Deville riuscirono a produrre in laboratorio frammenti di alluminio (all'esposizione di Parigi del 1855 alcune barre di alluminio furono esposte vicino ai gioielli della Corona).

Finalmente, nel 1886, uno studente americano di 22 anni, Charles Martin Hall, riuscì a separare l'alluminio dall'ossigeno con cui si combina naturalmente, facendo passare corrente elettrica in una soluzione di criolite e allumina. Contemporaneamente, in Francia Paul

Heroult arrivava allo stesso procedimento. Due anni dopo, in Germania, Karl Joseph Bayer otteneva un brevetto per un procedimento perfezionato di produzione dell'allumina, dando inizio all'era dell'alluminio. I primi prodotti in alluminio furono realizzati negli Stati Uniti, sotto forma di serramenti, negli anni trenta, ma solo dopo la seconda guerra mondiale, a causa della grande richiesta di alluminio per la costruzione di aeroplani militari, l'industria dei prodotti in alluminio per l'edilizia decollò veramente.

La stessa cosa avvenne in Europa, con alcuni anni di ritardo, in particolar modo nei paesi del Sud Europa, come l'Italia.

Il processo di produzione dell'alluminio richiede una notevole quantità di energia, ma in compenso l'alluminio è un metallo che può essere riciclato all'infinito mantenendo praticamente inalterate le sue caratteristiche, e quindi, il suo costo di produzione, se distribuito sui successivi riciclaggi, diventa più che accettabile.

L'alluminio, nelle sue varie leghe, possiede ottime caratteristiche per quasi tutti gli impieghi produttivi.

La caratteristica più nota dell'alluminio è la sua leggerezza; in rapporto all'acciaio il suo peso specifico è poco più di un terzo (2,7 kg/dm³ contro 7,85 kg/dm³).

Tuttavia le sue caratteristiche di resistenza strutturale in rapporto al peso sono superiori a quelle dell'accia-

io, motivo per cui è stato ad esempio estesamente utilizzato dall'industria aerospaziale, dove il rapporto resistenza/peso è fondamentale.

Le leghe di alluminio possono raggiungere valori di resistenza alla trazione da 7 a 70 kg/mm².

Inoltre al contrario ad esempio, dell'acciaio al carbonio, l'alluminio non diventa fragile alle basse temperature, conservando praticamente inalterate le

proprie caratteristiche meccaniche, ed anzi aumentando in molte leghe la resistenza a trazione.

Al contrario, alle alte temperature, (comunque superiori ai 100 °C), le caratteristiche meccaniche cominciano a diminuire (ma il punto di fusione del metallo puro è attorno a 658 °C).

È facilmente lavorabile per piegatura a caldo e freddo, stampaggio, imbutitura anche profonda, estrusione, fusione e pressofusione.

RESISTENZA ALLA CORROSIONE

L'alluminio presenta ottime caratteristiche di resistenza alla corrosione atmosferica, sviluppando velocemente un ossido molto resistente e aderente al metallo, e quindi può essere utilizzato senza alcuna finitura o rivestimento superficiale.

Quest'ossido è stabile e tenacemente aderente al metallo con livelli di acidità dell'ambiente compresi tra pH 4,0 e pH 8,5, ovvero nella grande maggioranza degli ambienti urbani, industriali, e in buona parte marini. Per questi ultimi tuttavia è consigliabile l'utilizzo di leghe di alluminio appositamente formulate dal punto di vista della resistenza alla corrosione, in quanto, oltre all'effetto dell'umidità, che promuove l'elettrolisi galvanica, esiste anche

l'intervento diretto nella reazione chimica tra aria e metallo degli ioni di cloruro provenienti dall'acqua di mare, che tendono a formare sali di cloruro di alluminio. Questi sali, di aspetto biancastro e opaco sono caratterizzati da scarsa aderenza al metallo di base, che viene così corrosa progressivamente nello spessore.

La foto che segue mostra un esempio di corrosione di alluminio all'interno di un velivolo militare che opera da portaerei, quindi una situazione estrema, sia dal punto di vista degli sforzi a cui il metallo è sottoposto, sia per la severità dell'ambiente. È possibile comunque notare che l'alluminio si è mantenuto sostanzialmente in discrete condizioni.



In ogni caso, anche solo per motivi estetici, l'alluminio si presta facilmente ad essere rivestito con primer e vernici di vario tipo (poliestere, poliammidica, poliuretana, epossidica), anche con un procedimento continuo su nastri profilati a basso spessore (coil).

Un'idea piuttosto precisa delle capacità di resistenza dell'alluminio può essere data dal confronto con altri metalli in un test eseguito in Gran Bretagna. Questo test ha misurato la perdita di peso di vari metalli in un arco di tempo di otto anni, e ha fornito i seguenti risultati:

Perdita di peso in otto anni: Atmosfera marina

Alluminio	7 grammi/m ²
Rame	57 grammi/m ²
Zinco	133 grammi/m ²
Acciaio al carbonio	933 grammi/m ²

Perdita di peso in otto anni: Atmosfera nella città di Stoccolma

Alluminio	2 grammi/m ²
Rame	31 grammi/m ²
Zinco	61 grammi/m ²
Acciaio al carbonio	676 grammi/m ²

La stessa ricerca ha dimostrato che le condizioni di atmosfera marina si possono considerare presenti

fino a circa 1 Km dalla costa, oltre il quale diventano normali.

CONDUTTIVITÀ TERMICA

Caratteristiche particolarmente importanti dell'alluminio, dal punto di vista del suo utilizzo nell'ambito delle coperture metalliche, sono l'elevato coefficiente di conducibilità termica (220 W/m/°C) e l'elevato coefficiente di dilatazione termica (0,024 mm/°C/m). Una elevata conducibilità termica, peraltro comune a tutti i metalli, rende ancora più importante un attento studio degli elementi di coibentazione sottostanti il manto, perché quest'ultimo non porta alcun contributo alla resistenza termica del pacchetto, trasmettendo immediatamente e senza alcuna inerzia le variazioni di temperatura dell'ambiente.

Di contro, va detto che la superficie dell'alluminio, se lasciata naturale e non colorata, ha un altissimo potere riflettente della radiazione solare, e pertanto riesce a neutralizzarne in parte l'energia di riscaldamento.

L'elevato coefficiente di dilatazione termica rende invece fondamentale lo studio e la messa in atto di sistemi atti ad assorbire e compensare i movimenti degli elementi del manto tra di loro e rispetto alla struttura dell'edificio sottostante.

CONDUTTIVITÀ ELETTRICA

Va infine rimarcata l'altissima conducibilità elettrica dell'alluminio, che lo rende adatto alla realizzazione del sistema di scarico del potenziale elettrico al suolo. La classica "gabbia di Faraday", costituita da un reticolo di piatti conduttori, generalmente in

acciaio, può infatti essere sostituita dalla superficie stessa del manto in alluminio, a condizione che quest'ultima venga elettricamente isolata rispetto all'edificio sottostante, e collegata ai dispersori di terra nel modo convenzionale.

Il manto metallico può sostituire la gabbia di Faraday



RICICLABILITÀ

L'alluminio e le sue leghe sono materiali riciclabili all'infinito e la riconversione dell'alluminio riciclato richiede solo il 5% dell'energia necessaria a produrre il metallo primario. Basti pensare che il riciclo di 1 kg di alluminio permette di risparmiare fino a 8 kg di bauxite (il minerale di base), 4 kg di prodotti chimici e 14 kWh di energia.

Le caratteristiche meccaniche e di resistenza alla corrosione dell'alluminio riciclato sono mediamente inferiori, anche se non drasticamente, a quelle dell'alluminio primario, per cui l'utilizzo di leghe prodotte con alluminio riciclato deve essere chiaramente specificato.

3.2.2 Rame

Il rame è un metallo conosciuto e utilizzato da migliaia di anni, in quanto abbastanza comune e facilmente estraibile. I primi utensili ritrovati risalgono a circa 10.000 anni fa, quando si riuscì a costruire forni capaci di sviluppare la temperatura di fusione del metallo (1083 °C).

Per ovviare alla sua scarsa resistenza meccanica, è stato estesamente utilizzato, in combinazione con lo stagno, per costituire il bronzo.

Il rame non offre normalmente elevate caratteristiche meccaniche, anzi, nello stato ricotto, è utilizzato per la sua facile plasmabilità e lavorabilità.

È possibile tuttavia ottenere, mediante laminazione a freddo, un grado di durezza sufficiente per prodotti di copertura, come lastre grecate o aggraffate, tale da garantire adeguate doti di resistenza meccanica.

Il rame ha un peso specifico di 8,9 kg/dm³, quindi maggiore dell'acciaio.

Il rame più comunemente usato per applicazioni in lastre e piatti consiste in una lega al 99,9 % di

rame ed è disponibile in diversi stati fisici definiti dalla ASTM B 370-22 come 060 (ricotto), H00 (laminato a freddo), H01 (laminato a freddo ad alta resistenza), H02 (semiindurito), H03 (3/4 indurito), H04 (indurito).

Il rame ricotto è estremamente malleabile ed adatto ad applicazioni di dettaglio ed ornamentali, ed è stato utilizzato storicamente nelle costruzioni, con grandi spessori, data la sua scarsa resistenza. Pertanto, non è raccomandabile per la maggior parte delle applicazioni in campo edilizio.

Dopo lo sviluppo del rame laminato a freddo, parecchi anni or sono, lo spessore ha potuto essere ridotto senza compromettere la sua longevità e scarsa necessità di manutenzione. Il rame laminato a freddo è meno malleabile di quello ricotto, ma molto più resistente, ed è di gran lunga la lega di rame più usata in campo costruttivo. Le proprietà del rame laminato a freddo sono riassunte nella seguente tabella:

Proprietà del rame laminato a freddo	
Peso specifico	8,89 – 8,94 Kg/dm ³
Conducibilità termica	385 W/m/°C a 20 °C
Coefficiente di dilatazione termica	0,018 mm/°C/m da 20°C a 300°C
Modulo di elasticità (Tensione)	11700 daN/mm ²
Resistenza a trazione	22 daN/mm ² min.
Resistenza allo snervamento	
(Allungamento 0.5%)	14 daN/mm ² min
Allungamento	~ 30%
Sforzo di taglio	17 daN/mm ²
Durezza	
Rockwell (Scala F)	54 minimo
Rockwell (Scala T)	15 minimo

RESISTENZA ALLA CORROSIONE

Il rame è un metallo nobile capace di resistere bene all'attacco nella maggior parte delle condizioni ambientali corrosive. In presenza di umidità, atmosfera salina, alto tasso di inquinamento da solfuri, il rame inizia velocemente ad ossidare. La sua alta

resistenza alla corrosione è dovuta alla capacità di reagire all'ambiente formando una patina di protezione costituita dal suo stesso ossido, raggiungendo così un equilibrio fisico-chimico stabile.

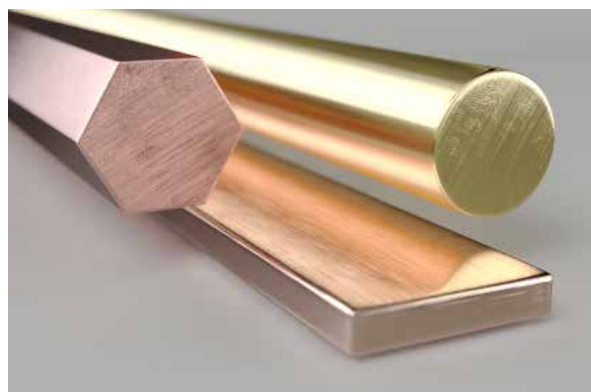
CONDUTTIVITÀ TERMICA ED ELETTRICA

Il rame e le sue leghe sono eccellenti conduttori di elettricità e calore. Infatti, il rame è usato a questi scopi più frequentemente di ogni altro metallo. L'unione in lega con altri elementi riduce invariabil-

mente la conduttività elettrica e, in minor misura, quella termica. Anche il rame è adattissimo a costituire l'elemento di captazione e convogliamento a terra delle scariche elettriche atmosferiche.

FACILITÀ DI FABBRICAZIONE

Il rame e le sue leghe possono essere generalmente ridotte alle forme e dimensioni richieste con tutti i consueti procedimenti, e quindi possono essere laminati, stampati, e imbutiti a freddo; laminati, estrusi, forgiati e stampati ad elevate temperature.



PROPRIETÀ CHIMICHE

Uno degli aspetti più importanti concernenti l'utilizzo del rame è la reazione chimica tra il rame e gli altri materiali. Le reazioni chimiche sono responsabili

della corrosione, ed anche della patina verde che si sviluppa sulla superficie del metallo nel tempo.

INVECCHIAMENTO E PATINATURA

Il processo di ossidazione conferisce al rame la sua caratteristica patina verde come risultato dell'esposizione ad un ambiente acido. Il processo è pertanto più veloce in zone metropolitane, marine, e industriali, dove esistono maggiori concentrazioni di sostanze acide o inquinanti. Quando un'atmosfera umida e acida viene in contatto con la superficie esposta del rame, reagisce col metallo formando

solfato di rame. L'acido è neutralizzato durante la reazione col rame. Questa patina copre la superficie e vi aderisce strettamente, costituendo così uno strato protettivo contro l'ulteriore attacco dell'atmosfera. Prima di arrivare alla patina verde definitiva il metallo attraversa varie fasi caratterizzate da ossidazione bruna o marrone.

PROPRIETÀ GALVANICHE

Tutti i metalli possiedono una proprietà detta nobiltà. Questa è la misura della resistenza del metallo stesso alla corrosione quando viene in contatto con un altro metallo. Una maggiore differenza relativa nella nobiltà indica un maggiore potenziale di corrosione. La tavola seguente elenca i metalli più comuni utilizzati nelle costruzioni in ordine di nobiltà, detto numero galvanico.

Quando metalli diversi vengono a contatto in presenza di un elettrolita, si instaura una reazione galvanica, che genera il deterioramento del metallo col numero galvanico più basso. L'elettrolita può essere

acqua meteorica che scorre da un metallo all'altro, o umidità nell'aria che contenga abbastanza acido da farla agire come un elettrolita.

Dato che il rame possiede uno dei numeri galvanici o nobiltà più alti tra i metalli comuni, non verrà danneggiato dal contatto con alcuno di essi, ma causerà invece la loro corrosione. Per prevenire questo si fa uso di materiali di separazione, come vernici specifiche o guarnizioni.

I principali metalli di cui occuparsi in termini di contatto diretto sono l'alluminio e lo zinco.

Nobiltà dei Metalli più comuni

1 - Alluminio

2 - Zinco

3 - Acciaio

4 - Ferro

5 - Acciaio Inox

6 - Stagno

7 - Piombo

8 - Rame

Se si utilizzano vernici o rivestimenti come separazione, esse devono essere compatibili con entrambi i materiali. Primer bituminosi o al cromato di zinco possono essere usati tra rame ed alluminio, o tra rame e metalli ferrosi, mentre per questi ultimi possono essere usati anche primer al piombo.

A prescindere dal metodo utilizzato per separare i metalli, è sempre bene fare in modo che l'acqua che scorre sul rame non vada successivamente a bagnare l'alluminio.

Un altro tipo di corrosione che può affliggere il rame è causato da un flusso di acqua nella quale sono disciolte sostanze acide concentrate su di una piccola zona del rame. Questo tipo, spesso denominato "corrosione per erosione", accade ad esempio quando la pioggia cade su di un tetto non di rame,

come ad esempio di tegole in laterizio, ardesia, legno o materiale bituminoso. L'acqua acida non viene neutralizzata durante lo scorrimento su questo materiale inerte. Quando l'acqua, proveniente da una superficie relativamente grande, viene raccolta da una superficie relativamente più piccola come una gronda o una scossalina, il rame può deteriorarsi prima di poter sviluppare la patina protettiva. Un altro tipo di corrosione avviene in corrispondenza ad esempio del bordo di sgocciolamento di una tegola in un canale. Se la tegola appoggia direttamente sul rame, l'effetto corrosivo viene amplificato perché l'umidità viene trattenuta lungo il bordo per capillarità, dando luogo ad un effetto chiamato "corrosione lineare". La soluzione consiste nel separare il bordo della tegola dal rame, o interporre un elemento anticapillarità.

MACCHIE

Lo scorrimento d'acqua sul rame può avere un effetto aggiuntivo, l'umidità in contatto con superficie di rame tende a raccogliere piccole quantità di sali di rame. Quando questa umidità viene a contatto con materiali porosi, come marmo o pietra, viene assorbita. Dopo che l'umidità è evaporata, lascia questi

sali di rame sotto forma di macchie su questi materiali, particolarmente visibile su superficie di colore chiaro. Il fenomeno è tipico delle piogge leggere e prolungate, piuttosto che degli scrosci.

RICICLABILITÀ

Il rame è riciclabile all'infinito, e la riconversione del rame riciclato richiede solo il 15% dell'energia necessaria a produrre il metallo primario.

Le caratteristiche meccaniche e di resistenza alla corrosione del rame riciclato sono di poco inferiori a quelle del metallo primario, e possono essere ripristi-

nate, per alcune categorie di riciclato, con ulteriore raffinazione.

Il metallo riciclato può conservare fino al 95% del valore di mercato rispetto al metallo primario.

3.2.3 Acciaio Inox

L'invenzione dell'acciaio Inox viene attribuita al metallurgo Harry Brearley, che nel 1912 era alla ricerca di una lega che proteggesse le canne dei pezzi di artiglieria dalla corrosione.

I primi prodotti commerciali appaiono nel 1913, mentre la prima copertura in acciaio Inox viene costruita negli Stati Uniti nel 1924, mentre gli ultimi sette archi di uno dei più famosi grattacieli di New York, il Chrysler Building, vengono rivestiti in acciaio Inox nel 1929. *(Vedi foto pag seguente).*

Che cos'è l'acciaio Inox: "Inossidabile" è un termine coniato nelle prime fasi di sviluppo di questo acciaio per il settore delle lame, ed è stato adottato come nome generico per questa classe di acciai, che oggi copre un ampio ventaglio di tipi diversi e differenti livelli di resistenza alla corrosione ed alla ossidazione.

Gli acciai inossidabili sono leghe ferrose che contengono un minimo di 10,5% di Cromo. Altri elementi



vengono poi aggiunti in lega per esaltare proprietà come la formabilità, la resistenza meccanica e la resistenza alle basse temperature. Questi comprendono metalli come Nickel, Molibdeno, Titanio, Rame, o non metalli come Carbonio e Azoto.

Il requisito principale per gli acciai Inox consiste naturalmente nel fatto che siano resistenti alla corrosione per uno specifico ambiente di lavoro, e successivamente che le caratteristiche meccaniche siano adeguate alla specifica applicazione.

Perché l'Acciaio Inox non si corrode?

La resistenza alla corrosione nasce da uno strato superficiale di ossido molto ricco di cromo che si forma naturalmente sulla superficie del metallo. Sebbene sia molto sottile (da 1 a 5 nanometri, o



Chrysler Building

TIPI DI ACCIAIO INOX

Gli acciai inossidabili si possono dividere sostanzialmente in quattro grandi famiglie.

Acciai Austenitici: sono gli acciai inossidabili utilizzati nelle costruzioni (serie 2, serie 3 e serie Nitronic); resistono a vari tipi di ambiente, da quello industriale a quello marino, e inoltre offrono ottime prestazioni di resistenza agli acidi e ad altri composti chimici, venendo quindi utilizzati anche nell'industria chimica.

I più noti sono l'AISI 304, il più usato in assoluto, che è facilmente lavorabile e saldabile, mentre l'AISI 316 presenta una migliore resistenza alla corrosione, anche a crateri, e possiede maggiore resistenza meccanica alle alte temperature. L'acciaio Inox austenitico è amagnetico. (AISI = American Iron & Steel Industry = Industria Americana del Ferro e dell'Acciaio). La composizione tipica comprende il 18% di Cromo, e contengono anche Nickel. Non possono essere sottoposti a trattamento termico di indurimento.

Acciai Ferritici: hanno minore resistenza alla corrosione degli Austenitici, e vengono usati in condizioni meno severe e importanti (serie 4). L'acciaio Ferritico

(milionesimi di millimetro), questo strato protettivo è fortemente aderente al metallo e chimicamente stabile e neutro nella maggior parte delle condizioni. Come nel caso dell'alluminio e del rame, questo strato, se scalfito o asportato localmente, si riforma velocemente in presenza di sufficiente ossigeno. Ci sono però condizioni in cui lo stato "passivo" della superficie può essere interrotto, per cui anche l'Acciaio Inox non può essere considerato indistruttibile. In genere, se aumenta il contenuto di Cromo, migliora la resistenza alla corrosione. L'aggiunta di Nickel irrobustisce lo strato di ossido, mentre l'aggiunta di Molibdeno migliora la resistenza alla corrosione "a macchie o crateri" (pitting corrosion).

è magnetico, e contiene dal 13% al 17% di Cromo. Non possono essere sottoposti a trattamento termico di indurimento.

Acciai Martensitici: hanno minore resistenza alla corrosione degli Austenitici, e vengono usati in condizioni meno severe e importanti (serie 4); differiscono dai Ferritici perché possono subire trattamento termico di indurimento. L'acciaio martensitico è magnetico, e contiene tipicamente il 12% di Cromo, oltre ad un maggior contenuto di Carbonio rispetto ai Ferritici.

Acciai Duplex: sono realizzati in modo da possedere un'ottima resistenza alla corrosione localizzata (a crateri, a crepacci e in presenza di sollecitazioni meccaniche). Possiedono una struttura mista di Austenitico e Ferritico, e non possono subire trattamento termico di indurimento.

Esistono poi altri tipi di **Acciai speciali**, come i Super Austenitici o i Super Duplex, che tuttavia non vengono usati nelle costruzioni.

Quando e perché utilizzare l'Acciaio Inox: è fuori di dubbio che l'Acciaio Inox presenta carat-

teristiche superiori a Rame ed Alluminio in fatto di resistenza meccanica, tanto che, a parità di prodotto, può essere utilizzato in spessori minori. Inoltre mantiene pressoché inalterate queste caratteristiche sia alle basse che alle alte temperature.

Le sue caratteristiche di resistenza alla corrosione, inoltre, lo pongono come minimo alla pari con Rame ed Alluminio, ed in più, almeno rispetto al Rame, mantiene sostanzialmente inalterato il proprio aspetto e colore nel tempo.

È inoltre amagnetico, almeno nelle qualità utilizzate nelle costruzioni, e può essere lavorato per piegatura e saldatura nelle forme laminate.

Di contro, il suo peso specifico, pari a circa 8 kg/dm^3 , è pari a quasi tre volte quello dell'Alluminio, rendendolo meno maneggevole nei lavori di copertura.

Inoltre il costo dell'Acciaio Inox, principalmente a causa del maggior peso per unità di superficie almeno rispetto all'Alluminio, tende ad essere ben

più alto, anche se, almeno nel periodo in cui questo testo viene scritto, l'impennata dei costi per tutti i metalli rende difficile fare valutazioni a lungo termine.

Si può dire quindi che l'utilizzo dell'Acciaio Inox è giustificato dalla presenza di condizioni molto pesanti in termini di severità dell'ambiente, o delle attività connesse all'edificio sul quale viene applicato (sostanze chimiche aggressive o incompatibili con altri metalli come Rame o Alluminio), oppure in condizioni estreme dal punto di vista ambientale, con temperature di esercizio estremamente basse.

La facilità con la quale può essere igienizzato lo rende inoltre gradito nel settore dell'industria alimentare.

In tutti questi casi può essere possibile (o necessario) accettare gli svantaggi derivanti dal maggior peso e costo.



L'ambiente marino è tipico dell'utilizzo di un metallo con elevata resistenza alla corrosione

3.2.4 Leghe composite

Esistono materiali di copertura formati da due o più metalli diversi, che tuttavia non formano chimicamente una lega.

Infatti, i diversi metalli componenti non sono uniti chimicamente, ma accoppiati a strati sovrapposti, generalmente durante la laminazione del nastro.

Lo scopo di questo procedimento è quello di ottenere un pacchetto in cui i diversi metalli svolgono funzioni specifiche.

Tipicamente, in una lega binaria, il metallo che dopo l'applicazione costituisce la faccia interna all'edificio svolge il ruolo di supporto principale ai carichi meccanici, mentre quello che costituisce la faccia esterna svolge il duplice ruolo di resistenza agli agenti atmosferici (precipitazioni, escursioni termiche, abrasioni da corpuscoli portati dal vento, aggressione di sostanze chimiche presenti nell'atmosfera, aggressione da ambiente marino) ed anche di finitura architettonica.

3.2.5 Zinco Titanio

La lega Zinco-Titanio ha come base Zinco ottenuto elettroliticamente, al quale vengono aggiunti Titanio e, in minor misura Rame.

Proprietà della lega Zinco-Titanio-(Rame)	
Peso specifico	7,2 Kg/dm ³
Conducibilità termica	109 W/m/°C a 20 °C
Coefficiente di dilatazione termica	0,022 mm/°C/m
Modulo di elasticità (Tensione)	8000 daN/mm ²
Resistenza a trazione	15 daN/mm ²
Resistenza allo snervamento (Allungamento 0.2%)	10 daN/mm ²
Allungamento	~ 35%
Punto di fusione	419 °C
Durezza:	
Rockwell (Scala F)	45 minimo

RICICLABILITÀ

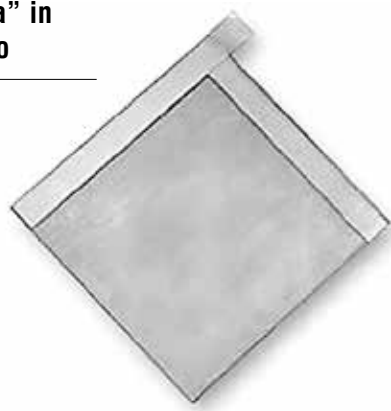
Il costo di ottenimento dello Zinco è basso, se paragonato a quello di altri metalli, e la riciclabilità del metallo è elevata (statisticamente intorno al 90%), anche se, a differenza di alluminio e rame, comporta

la separazione fisica dei diversi metalli che compongono la lega, almeno nel caso che la destinazione del materiale riciclato sia diversa dall'originale.

INVECCHIAMENTO E PATINATURA

Il processo di invecchiamento del materiale comporta la formazione di una caratteristica patina grigia sulla parte esposta, costituita dall'ossido di zinco; questa patina, compatta e resistente, costituisce l'elemento di protezione permanente del materiale rispetto agli agenti atmosferici, e si rinnova in breve tempo se graffiata o abrasa, a condizione che l'asportazione non sia più profonda dello strato di zinco.

Elemento metallico a "scandola" in zinco titanio



LAVORABILITÀ

Queste leghe, che possono essere fornite come nastri continui o lastre di varie dimensioni, possono essere normalmente sottoposte a lavorazioni a freddo di taglio, stampaggio e piegatura in sede produttiva.

Possono inoltre essere lavorate in cantiere, durante la posa, ponendo tuttavia attenzione alle condizioni

di bassa temperatura, nelle quali la lega presenta una certa durezza e fragilità. Questo consiglia cautela nelle operazioni di piegatura, che potrebbero generare cricche e/o fessurazioni.

Le leghe Zinco-Titanio-Rame sono inoltre amagnetiche.

3.3 Criteri di scelta sulla tipologia del manto di copertura

I criteri che si ritiene possano guidare il progettista nella scelta di una tipologia di manto di copertura, sono i seguenti:

3.3.1 Tenuta statica

Deve essere garantita la rispondenza del manto ai carichi a cui verrà sottoposto in base alla Normativa vigente o, se più severi, ai requisiti posti dalla Committenza.

Questa è funzione di:

Situazione geografica e climatica dell'edificio

La collocazione dell'edificio, sia dal punto di vista della latitudine, che dell'altimetria, come pure della vicinanza al mare o comunque l'esposizione, impone ben precisi carichi dovuti a neve ed a vento.

Tipologia della struttura di supporto

Esistono due casi possibili

1 - Soletta o comunque supporto continuo; permette libertà di scelta nell'interasse degli appoggi per il manto di copertura; questo significa che la scelta del prodotto per il manto può essere fatta (entro ragionevoli limiti) in base a considerazioni diverse dalla sua portata.

Vanno tuttavia posta attenzione a due aspetti. Il primo aspetto riguarda la buona pedonabilità, che deve essere preservata, e che potrebbe risultare, nel caso di carichi da neve modesti, un vincolo più stringente del carico uniformemente distribuito.

Il secondo aspetto è il controllo della effettiva libertà di posizionamento degli appoggi; nei casi in cui la soletta non è che una cappa di livellamento o comunque integrativa, la strut-

tura effettiva può essere costituita da tegoli in cemento armato prefabbricato, oppure da solai in latero-cemento, per i quali non è possibile prevedere il posizionamento dei fissaggi dell'orditura di copertura in qualunque punto, ma occorre individuare le posizioni staticamente adeguate, solitamente coincidenti con le nervature dei tegoli, o con le travettature in cemento dei solai compositi, progettando il fissaggio in funzione del materiale a cui vincolarsi.

2 - Struttura discontinua, costituita da appoggi in cemento, legno, acciaio, ecc., ad interasse predeterminato; esistono queste alternative:

L'interasse tipico della struttura consente la scelta di un prodotto per il manto con caratteristiche statiche adeguate; in questo caso, tuttavia, l'applicazione di altre componenti del pacchetto, come strati coibenti e/o fonoassorbenti, barriere al vapore e simili, è condizionata dalla presenza di un supporto inferiore che, sempre al passo caratteristico della struttura, sia in grado di ricevere i carichi di questi elementi, senza dovere sopportare i carichi esterni (tipicamente un controsoffitto). Frequentissima soluzione a questo problema è l'adozione di pannelli monolitici coibentati, che incorporano in un solo prodotto tutte le caratteristiche del pacchetto di copertura.

Applicazione “a vista” di pannelli monolitici sandwich su struttura discontinua



L'interasse della struttura è troppo ampio per i normali prodotti per il manto; in questo caso è possibile prevedere un elemento di tenuta statica, come una lamiera grecata in acciaio di portata adeguata, sulla quale sarà possibile non solo vincolare l'orditura per

il manto finale, scegliendone l'interasse con ampia libertà, ma anche utilizzarne la superficie continua per la posa del pacchetto termo-fono isolante, della barriera al vapore, e di quant'altro necessario.

Esempio di pacchetto termo-fono isolante



Molto più rari i casi in cui, mancando la necessità di creare un vero e proprio pacchetto di copertura, si preferisce installare una orditura intermedia incrociata, con l'unica finalità di fornire supporto a quella finale, all'interesse richiesto.

Presenza di sollecitazioni dovute ad altre componenti dell'edificio

Frequentemente, specie nell'ambito degli edifici ad uso produttivo/commerciale, la copertura diviene luogo preferenziale per la collocazione di impianti, o della parte esterna di essi, per la termoregolazione dell'edificio stesso, o per le necessità produttive dell'attività che vi si svolge.

I vantaggi di questa soluzione risiedono principalmente nel fatto che la collocazione in copertura permette di risparmiare spazio intorno all'edificio (ammesso che questo esista), trasferisce l'eventuale

rumore, emissioni di vapori, aria a temperature elevate, vapore acqueo, scarichi vari, dove sono (almeno in teoria) di minor disturbo.

Una conseguenza quasi inevitabile della presenza di impianti vari in copertura è la necessità di ispezione e manutenzione, e questo implica frequente accesso e pedonamento.

In condizioni simili qualunque prodotto per manto, per buone che siano le sue caratteristiche al pedonamento, va adeguatamente salvaguardato, prevenendo sistemi di transito in copertura verso le zone di collocazione degli impianti.

Tutte queste installazioni significano ulteriori sollecitazioni, per la maggior parte permanenti, a carico della copertura, che devono essere tenute in debito conto in sede di progettazione.

Esempio di eccessiva sollecitazione del manto di copertura



3.3.2 Tenuta idraulica

Deve essere garantita la funzionalità del manto rispetto al contenimento ed il convogliamento delle precipitazioni meteoriche, sempre rispetto alle condizioni imposte dalla Normativa vigente.

Questa è funzione di:

Situazione geografica e climatica dell'edificio vanno presi in considerazione i seguenti fattori:

Piovosità media caratteristica di ogni zona climatica, ricavabile dai dati statistici degli enti locali che si occupano di meteorologia (come l'ARPAV, gli uffici meteo dell'Aeronautica Militare, ecc).

Frequenza ed intensità degli eventi di picco tra l'altro in evidente aumento negli ultimi anni.

Eventuale presenza di venti prevalenti nella zona che genera sovraccarico idraulico sulle falde più esposte.

3.3.3 Morfologia della copertura

Pendenza delle falde. Nelle zone ove sono prevedibili precipitazioni nevose, si tende a trattenere la neve in copertura, anche con notevoli pendenze di falda, in modo da evitare pericolosi ed improvvisi distacchi di masse nevose dal bordo di gronda. Questo tuttavia, oltre a mantenere il carico di neve sulla copertura, carico che si aggrava col passare

del tempo a causa della trasformazione della neve fresca in neve bagnata e compatta, provoca, per lo stesso fenomeno, la formazione di sacche d'acqua al di sotto della neve sulla falda. Queste sacche possono assumere una profondità tale da mettere a rischio la tenuta idraulica delle sovrapposizioni tra gli elementi del manto.

Manto ricoperto da neve



È necessario quindi prevedere opportune precauzioni per evitare tali inconvenienti. Queste possono consistere in maggiori sovrapposizioni tra gli elementi di falda, eventualmente con aggiunta di guarnizioni interposte tra le sovrapposizioni stesse, strati di tenuta ausiliaria sotto il manto, oppure adozione di prodotti per il manto capaci di garantire da soli la tenuta idraulica sotto battente d'acqua.

Rapporto lunghezza/pendenza di ogni falda

Quanto più alto è questo rapporto, tanto maggiore è il tempo impiegato dalla falda stessa per scaricare l'acqua ricevuta, specie in situazioni di scroscio, ovvero precipitazione intensa e di breve durata. La persistenza di acqua sul manto può generare problemi in corrispondenza dei sormonti e delle sovrapposizioni, come pure in corrispondenza dei bordi laterali.

Linee di confine tra le falde

Al crescere del numero delle falde distinte e della complessità della loro forma, aumenta il numero e la lunghezza delle linee di confine che le separano (compluvi, displuvi, colmi, bordi di parete, faldali). Ognuna di queste linee, che costituisce un'interruzione di falda, rappresenta un potenziale punto debole, che va attentamente considerato e risolto progettualmente (vedere al proposito l'argomento lattonerie).

Corpi emergenti

Analogamente a quanto detto al punto precedente, ogni corpo emergente dalla falda, (camino, sfianto, lucernario, supporto per impianto) rappresenta un'interruzione locale del manto, e richiede quindi cura nella progettazione del nodo relativo.

Corpi emergenti su lastre grecate in alluminio



3.3.4 Prestazione termoigrometrica

Questa è funzione di:

Situazione geografica e climatica dell'edificio

anche in questo caso, la Normativa vigente prescrive quali siano le prestazioni minime richieste in termini di dispersione termica di un edificio, in funzione della località in cui sorge, e quindi delle relative caratteristiche climatiche.

Il calcolo che ne consegue indica, per la copertura, la resistenza termica per unità di superficie minima richiesta, da cui consegue la scelta di uno specifico prodotto per coibentazione termica e dello spessore necessario.

Tipologia della struttura di supporto

a parità di resistenza termica per unità di superficie caratteristica di un determinato prodotto di un certo spessore, è opportuno considerare quale sia l'effettiva applicabilità di tale prodotto. Per sottostrutture caratterizzate da interassi molto precisi e ripetitivi,

falde perfettamente piane, e dove, ad esempio per la scarsa pendenza, la posa dei prodotti sia molto agevole, le coibentazioni in pannelli rigidi possono dare spesso i migliori risultati, poiché mediamente dotate di alti valori di capacità coibente, a parità di spessore applicato.

Dove invece si abbiano sottostrutture di minore regolarità, con differenti interassi degli arcarecci lungo le falde, oppure in presenza di falde curve, la corretta applicazione di pannelli rigidi presenta maggiori difficoltà, e richiede attenzione. Infatti, ad esempio nel caso in cui lo strato coibente viene posto in luce tra gli arcarecci, un imperfetto accostamento tra l'uno ed il fianco degli altri può creare lame d'aria che, essendo ponti termici tra l'ambiente interno e l'esterno, contribuiscono ad un degrado delle prestazioni complessive della coibentazione ben superiore all'entità della loro superficie.

L'orditura di supporto può rappresentare "ponte termico"



La stessa cosa accade quando i pannelli non siano in perfetto accostamento tra loro. Nel caso di falde curve, è la geometria stessa dell'accoppiamento tra il pannello piano e la superficie sottostante a creare la possibilità di ponte termico.

In tali casi, dovendo applicare pannelli rigidi, è opportuno ricorrere a prodotti con estremità batte-tate, ovvero a semi-incastro, meglio ancora se in due strati sovrapposti la cui somma fornisca lo spessore richiesto, posati sfalsati, in modo da far corrispondere la giunzione dello strato inferiore alla parte continua dello strato superiore.

In alternativa, se la capacità coibente richiesta lo consente, è possibile optare per i prodotti semirigidi o flessibili, sia in pannelli che in rotoli. Questi prodotti possono essere posati leggermente "forzati" nell'interasse della sottostruttura, aderendo ad essa in modo soddisfacente, anche nel caso di falde dotate di accentuata curvatura.

Anche in questo caso, tuttavia, la posa di due strati sovrapposti e sfalsati migliora statisticamente la prestazione complessiva della coibentazione.

Esempio isolante in pannelli rigidi



3.3.5 Prestazione acustica

Questa è funzione di:

Situazione topografica dell'edificio

la collocazione in area urbana a grande traffico stradale, molto comune oggi, può di fatto diminuire la funzionalità dell'edificio dal punto di vista del benessere acustico; inoltre, nel caso di manti metallici, esiste il problema della risonanza generata dalla

pioggia, particolarmente dallo scroscio che tuttavia, come la grandinata, ha di solito breve durata.

Il metodo più comune per ridurre questo tipo di rumore consiste sostanzialmente nell'abbassarne la frequenza caratteristica.

Questo si ottiene, ad esempio, utilizzando prodotti metallici per il manto dotati di uno strato di mate-

riale plastico in corrispondenza dell'intradosso, la cui massa e caratteristiche elastiche abbassano il valore delle frequenze di vibrazione del metallo.

Un'alternativa consiste nel riempimento dell'intercapedine che eventualmente esiste tra lo strato di coibentazione e l'intradosso della lastra metallica,

utilizzando un materiale di caratteristiche adeguate, e di spessore sufficiente, una volta compresso nell'intercapedine, ad eliminare la possibilità di vibrazione del metallo.

Compressione dell'isolante al di sotto del manto di copertura



Infine è possibile utilizzare prodotti, come i pannelli monolitici, dotati di massa e rigidità sufficienti a scongiurare il problema.

Destinazione d'uso dell'edificio

Esistono categorie di edifici che richiedono ovviamente prestazioni di isolamento acustico di livello elevato, come cliniche ed ospedali, teatri e sale da concerto, musei e biblioteche.

In questi casi la progettazione dell'isolamento acustico assume rilievo prioritario, e richiede, oltre ad un'attenta scelta del materiale da utilizzare e quindi

delle sue caratteristiche intrinseche, un controllo stringente delle sue modalità applicative. Infatti, analogamente alla prestazione termica, una realizzazione accurata deve essere priva di discontinuità che, per quanto piccole, possono neutralizzare anche buona parte dell'efficacia globale dell'isolamento acustico.

Altamente consigliabile a questo proposito, almeno nei casi più importanti, è la misurazione fonometrica dell'opera finita, allo scopo di individuare e correggere eventuali imperfezioni.

3.3.6 Rilevanza architettonica

Questa è funzione di:

Situazione topografica dell'edificio

il contesto urbanistico nel quale l'edificio sorge può giocare un ruolo rilevante nella scelta della tipologia di copertura.

Tipologia dell'edificio

Edifici adibiti a scopi produttivi diretti, a magazzino o logistica: normalmente non hanno particolari esigenze se non quelle pratiche, anche perché, come si è detto, molto spesso la copertura non è visibile dall'esterno.

In tali casi la scelta del tipo di copertura è rivolta quasi totalmente all'aspetto della funzionalità, alla ricerca del migliore rapporto prestazione/prezzo.

Va però posta attenzione ad un aspetto spesso trascurato, ovvero il mantenimento della prestazione globale nel tempo. In altri termini, una buona programmazione di investimento dovrebbe tenere in debito conto il costo totale della copertura e della sua manutenzione, nell'arco di vita attesa dell'edificio, che può estendersi ben oltre la durata dell'ammortamento finanziario.

Vanno quindi considerate con attenzione determinate scelte che, ammesso che assicurino un minor costo iniziale, sono soggette, come ormai ampiamente dimostrato dalla casistica, a successivi interventi di frequenza ed entità sufficiente a compensare ampiamente l'investimento necessario per una copertura metallica di buona qualità, e questo anche senza tenere in considerazione i costi indiretti dovuti al disagio di una menomata funzionalità della copertura in un edificio produttivo.

Edifici adibiti a scopi commerciali, espositivi, fieristici: questi edifici sono spesso caratterizzati da impronte architettoniche ben definite, in genere di stampo hi-tech, con ampio uso di facciate continue in vetro e metallo, oppure finalizzate all'immagine commerciale dell'utilizzatore.

Non di rado quindi la copertura è posta in evidenza, e deve quindi necessariamente accordarsi con

il resto dell'edificio, con la sua tipologia e con le sue valenze.

In casi come questi, date le dimensioni che sono sempre di una certa entità, la copertura metallica si impone come la più adatta, in quanto coniuga leggerezza strutturale, flessibilità applicativa, ovvero la capacità di adattarsi alle più varie situazioni morfologiche di pianta, di falde, di pendenze, grande varietà di forme, colori, finiture, e, non ultima, grande longevità.

In questo campo la creatività del progettista possiede strumenti per realizzare un ampio ventaglio di soluzioni, come:

- lastre grecate
- lastre ondulate
- pannelli monolitici
- lastre stampate ad imitazione delle coperture classiche in laterizio, come i coppi
- lastre speciali per basse pendenze
- lastre speciali per falde molto lunghe

tutti questi prodotti sono offerti sul mercato in vari profili e spessori, per le diverse esigenze di portata, in leghe d'alluminio, acciaio, inox, rame, zinco-titanio, con finitura naturale o preverniciata con una gamma di colori molto ampia.

Inoltre esistono sistemi completi, per i quali esiste, oltre al prodotto di copertura vero e proprio, un insieme di accessori che permettono di risolvere i vari nodi in modo ottimale e standardizzato.

Va rimarcata inoltre la possibilità, sempre più praticata, di realizzare coperture a volta, con raggi di curvatura anche molto ridotti, utilizzando non solo prodotti che si curvano in opera, ma anche prodotti specifici calandrati in produzione al raggio desiderato, sia in lastre che in pannelli.

Coperture metalliche calandrate



Molti prodotti sono inoltre dotati di strati integrati all'intradosso con funzione fonoassorbente o anti-condensa.

Edifici di particolare pregio architettonico, edifici di valore storico, o vincolati alla coerenza architettonica col contesto in cui si trovano: per questi

edifici è d'obbligo ricorrere a soluzioni che rientrino nella tradizione (che da secoli comprende anche le coperture metalliche) o che riproducano in chiave moderna l'aspetto estetico degli edifici adiacenti.

Le soluzioni disponibili possono comprendere:

SCANDOLE METALLICHE

di varie forme tradizionali (quadre, romboidali, a squama di pesce) e sempre in metalli "nobili" come rame, alluminio, zinco-titanio, riproducono le forme della tradizione mitteleuropea, ma con numerosi esempi anche nel nostro arco alpino. I prodotti

moderni si avvantaggiano di sistemi di fissaggio più evoluti e sicuri dei tradizionali chiodi, ma il risultato finale rispecchia in tutto l'aspetto tradizionale.

Copertura metallica con "scandole"



AGGRAFFATO IN OPERA

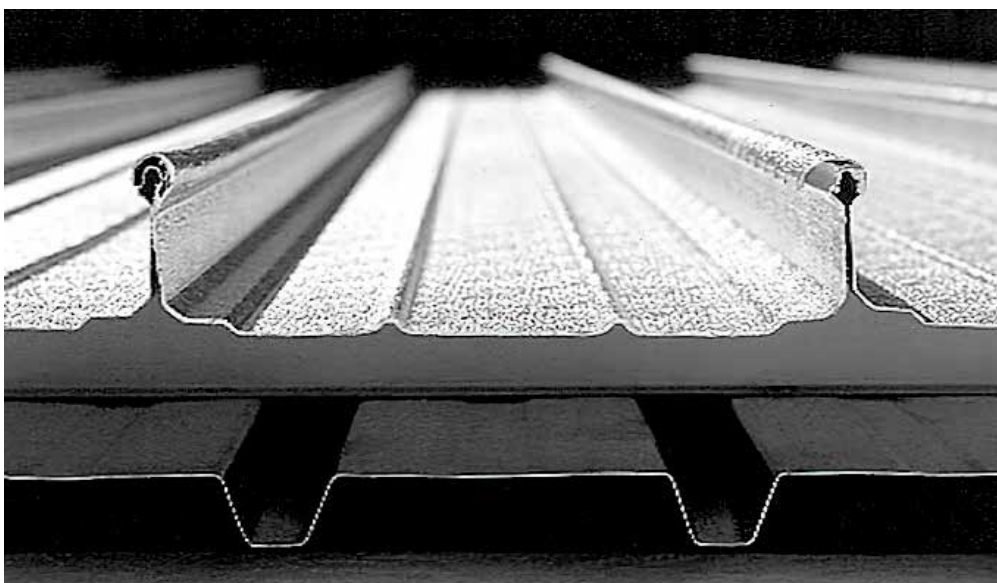
il prodotto consiste in una lastra piana dotata di due nervature accoppiabili alle estremità; l'accoppiamento avviene in opera, in origine con utensili manuali, oggi con attrezzi elettrici. Nelle varie versioni a costola ed a vasca, è in uso da alcuni secoli.

Permette di ottenere manti dal caratteristico aspetto "liscio", grazie all'ampio interasse tra le nervature, e si accorda molto bene sia con architetture classiche sia con soluzioni decisamente moderne.

**Aggraffatura
"in opera"**



**Manto metallico
"a vasca"**



MANTO A VASCA

nato come imitazione dell'aggraffato in opera realizzato industrialmente, nelle sue varie forme consiste in una vasca dotata di nervature ai due bordi; queste nervature sono conformate in modo da accoppiarsi per sovrapposizione o incastro senza bisogno di aggraffatura, ovvero di deformazione permanente.

Molto interessante è la disponibilità di un tipo particolare di manto a vasca, nato fra l'altro in Italia, dotato di caratteristiche superiori in termini di tenuta idraulica, anche in condizioni di bassissima pendenza, oltre ad altre notevoli prestazioni funzionali. Questo grazie alla particolare sagomatura dell'accoppiamento tra le lastre.

Manto metallico “a vasca” con giunto a labirinto



Capitolo 4

*Prodotti e materiali metallici
per il manto*

4.1 Cenni sui materiali utilizzati

4.1.1 Manti in lega d'alluminio

I manti in lega d'alluminio sono ormai diventati molto comuni, soprattutto in quanto hanno il miglior rapporto portata/peso.

Inoltre i loro costi si sono negli ultimi anni avvicinati a quelli dei prodotti in acciaio, più diffusi in precedenza. Il materiale di base utilizzato non è mai alluminio vero e proprio (Al 99.5%), come viene di solito utilizzato per le lattronerie. La necessità di ottenere buone

caratteristiche statiche impone l'utilizzo di leghe di alluminio.

Proprietà delle principali leghe utilizzate per le coperture

Le leghe maggiormente utilizzate per i manti in lega d'alluminio sono riassunte nello schema seguente:

Lega ISO	RP0.2	RM	RG	COAI	COAM	COAR	
3003 H16	AlMn1Cu	1650	1800	1050	Ottima	Buona	Ottima
3003 H29	AlMn1Cu	2150	2450	1300	Ottima	Buona	Ottima
3004 H16	AlMn1Mg1	2250	2600	1350	/	/	/
3004 H29	AlMn1Mg1	2950	3200	1650	/	/	/
3103 H16	AlMn1	1600	1750	1000	Ottima	Buona	Ottima
3103 H29	AlMn1	2100	2400	1250	Ottima	Buona	Ottima
3105 H16	AlMn0,5Mg0,5	1700	1950	1150	/	Buona	/
3105 H29	AlMn0,5Mg0,5	/	/	/	/	Buona	/

RP0,2 : Sollecitazione massima ad allungamento 0,2 % (limite proporzionale) [kg/cm²]

RM : Sollecitazione di rottura a trazione [kg/cm²]

RG : Sollecitazione di rottura a taglio [kg/cm²]

COAI : Indice di resistenza in atmosfera industriale

COAM : Indice di resistenza in atmosfera marina

COAR : Indice di resistenza in atmosfera rurale

/ : Indice non disponibile

H16 : Indurimento per laminazione a freddo al 75%

H29 : Indurimento per laminazione al 100% e successivo rinvenimento

Per alcuni prodotti che richiedono particolari prestazioni, come le lastre a vasca per basse pendenze, vengono utilizzate leghe nate per impieghi navali, che uniscono alte caratteristiche meccani-

che ad ottima resistenza alla corrosione in ambienti estremamente ostili, come quello marino; si può citare, ad esempio:

Lega ISO	RP0.2	RM	RG	COAI	COAM	COAR	
5754 H18	AlMg3	2700	3150	1800	Ottima	Ottima	Ottima

4.1.2 Manti in rame

I manti in rame occupano una nicchia ben definita nel settore delle coperture metalliche, quella delle coperture di particolare pregio, delle ristrutturazioni di edifici di valore storico e simili.

Questo è dovuto alla radicata e fondata convinzione che il rame garantisca una grande longevità al manto, per le ragioni di cui abbiamo già discusso a proposito dei metalli.

Inoltre il rame è il più antico dei materiali metallici utilizzati, e questo gli conferisce una fama di affidabilità che affonda le sue radici molto lontano nel tempo.

A ciò si aggiunga che il rame, almeno ai nostri giorni, comporta un prezzo di acquisizione molto elevato, che quindi è giustificato nei casi in cui si richieda, oltre all'affidabilità che peraltro anche gli altri materiali autoprotetti possono dare, il raggiungimento o il mantenimento di determinati livelli estetici ed architettonici.

Il rame viene utilizzato come metallo non legato, a differenza dell'alluminio, tuttavia si richiede pur sempre, per l'applicazione a prodotti di copertura, un livello di resistenze meccanica sufficiente.

Per questo motivo il rame non viene utilizzato allo stato commerciale in cui si presenta malleabile (rame ricotto), ma in forma di nastri laminati, allo stato incrudito.

L'incrudimento comporta un aumento delle caratteristiche di resistenza meccanica e della durezza superficiale, e consiste in un procedimento di laminazione a freddo.

In sostanza, durante la produzione dei nastri o delle lamiere che costituiscono i semilavorati, il materiale viene fatto passare tra coppie di rulli che gli conferiscono uno spessore sempre più sottile ad ogni passaggio.

Questo procedimento assicura contemporaneamente una trasformazione della struttura interna del materiale, il quale assume le caratteristiche anzidette.

Il rame delle coperture, una volta posto in opera, inizia il processo di ossidazione che porta il suo colore a virare verso il marrone scuro, ed infine al verde.

Questo processo richiede un tempo più o meno lungo, a seconda delle caratteristiche dell'atmosfera in cui l'opera si trova.

Per ottenere fin dall'inizio l'aspetto "vissuto" del rame, sono stati resi disponibili prodotti e semilavorati che possiedono già la patina di ossido, generata in produzione, della tonalità desiderata (prepatinati).



Manto in rame realizzato con lastre grecate

4.1.3 Manti in acciaio al carbonio

I manti in acciaio al carbonio sono stati utilizzati ben prima dell'alluminio per prodotti di copertura, in quanto disponibili più facilmente ed a minor prezzo, ed inoltre dotati di migliori caratteristiche meccaniche.

Abbastanza diffusi da essere identificati commercialmente ed in cantiere come "lamiera" tout court, sono ora sempre più affiancati dai prodotti in lega d'alluminio, le cui prestazioni meccaniche sono cresciute, mentre la differenza di costo è sensibilmente diminuita (in gran parte per l'aumento di prezzo dei materiali ferrosi). Non essendo autoprotetti, questi prodotti sono stati ben presto offerti completi di una protezione superficiale, costituita da zincatura e poi da preverniciatura.

Pur se questi materiali rappresentano una buona soluzione in molti casi ove le caratteristiche di portata richieste sono molto elevate, va tenuto ben presente che l'unica salvaguardia del metallo dall'ossidazione (che in questo caso non forma uno strato protettivo) è costituita dal rivestimento esterno.

Ne consegue che, dovunque questo rivestimento venga asportato, la protezione viene a mancare.

Questo può accadere per effetto dell'abrasione degli agenti atmosferici in un tempo ragionevolmente lungo, ma anche in corrispondenza dei fori di fissaggio, delle estremità tagliate a misura delle lastre, e degli eventuali tagli di adattamento in opera, fin dal momento del montaggio.

4.1.4 Manti in acciaio inox

L'utilizzo di questo tipo di manto non è molto frequente. Infatti l'acciaio inox possiede un costo ed un peso elevati, anche se raffrontato a parità di caratteristiche meccaniche, che sono simili a quelle dell'acciaio al carbonio, o leggermente inferiori. Inoltre l'aspetto dell'acciaio inox, se si presta a realizzazioni di aspetto molto moderno, raramente viene ritenuto adatto a contesti tradizionali o in ambito di ristrutturazioni su edifici storici.

Il punto di forza dell'acciaio inox sta invece nelle situazioni in cui risulta indispensabile la sua inattaccabilità (o quasi) ad aggressivi chimici che non provengono dal normale ambiente esterno, ma sono il risultato di determinati cicli produttivi. Inoltre alcuni tipi di acciaio inox, come l'AISI 316, sono particolarmente adatti a resistere alla corrosione in atmosfera marina.



4.1.5 Manti in leghe composite (Zinco-Titanio e simili)

I manti in leghe binarie e ternarie, analogamente al rame, sono quasi sempre utilizzati nelle realizzazioni di pregio, in architetture civili particolari, quasi sempre sotto forma di lastre aggraffate oppure di scandole. Anche qui, il costo di acquisizione è elevato, in molti casi superiore al rame, ed è quindi giustificato da questo genere di utilizzo.

Come nel caso del rame, questi prodotti sono disponibili con diverse finiture superficiali, a diversi livelli di preossidazione, di opacità, e di aspetto "invecchiato".



4.2 Tipologie e caratteristiche dei prodotti utilizzabili per il manto

4.2.1 Lastre grecate e ondulate

Le lastre grecate ed ondulate sono prodotti costituiti da una porzione di nastro metallico inizialmente piano, di lunghezza predefinita, alle quali viene conferita una sagoma opportuna, mediante l'utilizzo di una macchina detta profilatrice.

La profilatrice comprende un aspo iniziale sul quale viene montato e può svolgersi il nastro metallico (detto coil, dall'inglese "spira"), il quale passa suc-

cessivamente attraverso un certo numero di stazioni, assumendo progressivamente la sagoma voluta.

Ogni stazione porta una coppia di rulli in acciaio, attraverso i quali scorre il nastro, posti in rotazione da motori elettrici, e riceve il nastro dalla precedente, modificandone la sagoma e trasferendolo alla stazione successiva.

Esempio di profilatrice a rulli



Alla fine della macchina una stazione di taglio provvede a separare la porzione di lastra della lunghezza predeterminata, dopodiché la lastra finita viene in genere trasferita, a mano o automaticamente, al pacco. Le lastre grecate ed ondulate costituiscono la categoria più diffusa nell'ambito delle coperture

metalliche. La ragione principale di questa grande diffusione risiede nell'utilizzo che da molti anni se ne è fatto nell'ambito dell'edilizia industriale e commerciale, molto più che in quella di tipo residenziale, almeno in Italia. Questi prodotti possiedono infatti caratteristiche che li rendono adatti principalmente,

ma non solo, ad applicazioni su grandi superfici, libere da vincoli di tipo architettonico, e dove il rapporto qualità/costo, basato su aspetti come la rapidità e facilità di posa, sia compatibile con le altre componenti dell'edificio.

Da questo punto di vista, le lastre metalliche grecate e ondulate sono state il punto di riferimento nella progressiva sostituzione, tuttora in corso, di un altro tipo di prodotto, le lastre in cemento-amianto, o fibrocemento, note comunemente col nome di uno dei marchi più diffusi e conosciuti: Eternit.

Questo genere di prodotto ha conosciuto in Italia ma non solo, una enorme diffusione nella seconda metà del secolo scorso, sostituendo i vecchi manti in tegole, o venendo applicato su edifici di nuova costruzione, in quanto consentiva rispetto a questi una notevole economia sia d'acquisto che di posa. La promessa principale del fibrocemento era tuttavia quella di una durata funzionale quasi illimitata, promessa che il tempo ha dimostrato essere disattesa.

L'accertamento della pericolosità dell'amianto come agente cancerogeno ha successivamente posto fine in Italia per Legge (DM 6 settembre 1994) all'utilizzo di questo materiale, aprendo la strada alle problematiche di smaltimento.

Naturalmente sono nate proposte di prodotti simili ma alternativi, noti come lastre in fibrocemento ecologico, nelle quali, mentre la matrice cementizia rimane inalterata, la componente di rinforzo strutturale, prima esplicita dalle fibre di amianto, è stata sostituita da diversi materiali, come ad esempio le fibre di vetro.

Il miglior giudice sulla reale efficacia di questa categoria di prodotti rimane il tempo, ma si ritiene, in base alle osservazioni fatte nell'ultimo decennio, di consigliare prudenza e lungimiranza nella scelta, valutando attentamente il rapporto costo/beneficio specialmente in relazione all'aspettativa di vita dell'edificio stesso, alla sua importanza, ed effettuando sulla base di questi parametri una comparazione oggettiva con i prodotti metallici.

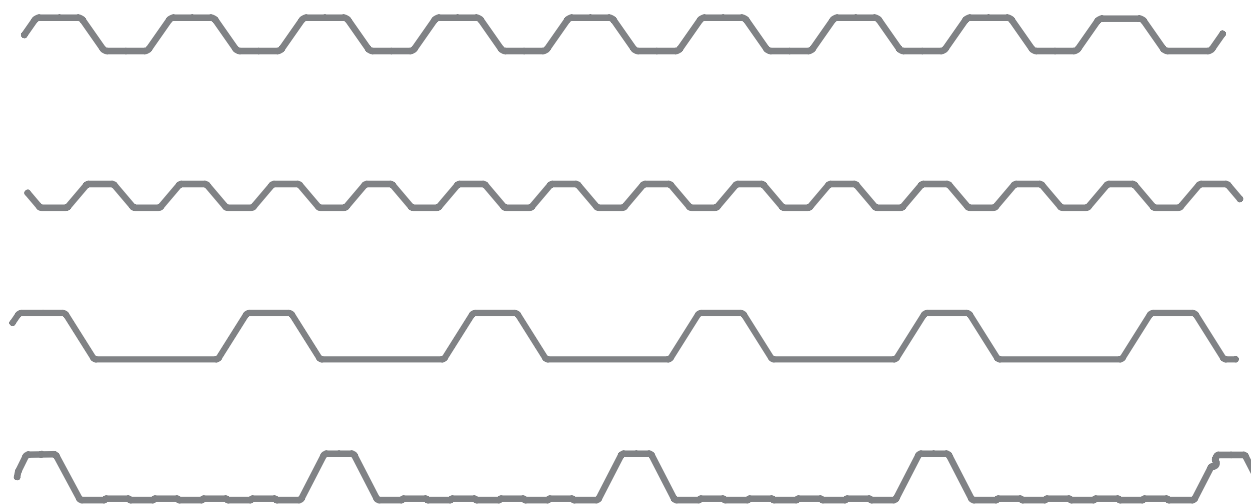


Le coperture ondulate in fibrocemento sono ampiamente diffuse sul territorio

Le lastre grecate/ondulate metalliche sono disponibili sul mercato in moltissime varianti, ma sostan-

zialmente si possono suddividere in alcune grandi categorie.

Tipologie differenti di grecature delle lastre



LASTRE A PROFILO SIMMETRICO O QUASI SIMMETRICO

Questi prodotti presentano lunghezze dei fondi e delle sommità di greca uguali o molto simili. Le caratteristiche statiche della lastra sono quindi praticamente le stesse sia nel montaggio diritto che in quello rovescio, a parte i vincoli dettati dal sormonto.

Strutturalmente queste lastre sono assimilabili ad una serie continua di piccole travi elementari, ognuna dotata del proprio momento d'inerzia, mentre le caratteristiche statiche dell'intera lastra sono con buona approssimazione la somma di quelle di ogni trave elementare.

LASTRE A PROFILO ASIMMETRICO

In questi prodotti la lunghezza dei fondi di greca è prevalente rispetto a quella delle sommità. Le caratteristiche statiche della lastra sono quindi differenti nel montaggio diritto o rovescio, in quanto nel primo caso i fondi di greca vengono sollecitati a trazione, mentre nel secondo a compressione, e quindi soggetti ad eventuale instabilità, che diminuisce di fatto la sezione resistente. Strutturalmente queste lastre sono assimilabili ad alcune travi elementari (la sommità di greca ed i fianchi adiacenti) separate dai fondi di greca, che assumono una funzione di elemento piano

sollecitato a trazione nei due sensi, perché sottoposto a carico e vincolato su due lati alle greche adiacenti. Mentre del primo tipo fanno parte principalmente i prodotti realizzati in lega d'alluminio, o rame, la seconda categoria è più tipica delle lastre in acciaio, anche per utilizzi diversi da quello di copertura (ad esempio, lastre collaboranti da getto per la costruzione di solai).

Il fissaggio delle lastre grecate/ondulate, sulle cui modalità si parla nel secondo capitolo, avviene quasi esclusivamente con viti, prodotte con materiali auto-

protetti e compatibili con il materiale del manto, e di tipo e lunghezza adeguata al materiale della sottostruttura alla quale il manto viene vincolato.

Le viti stesse sono dotate di guarnizioni che garantiscono la tenuta idraulica attorno al foro prodotto nel manto.

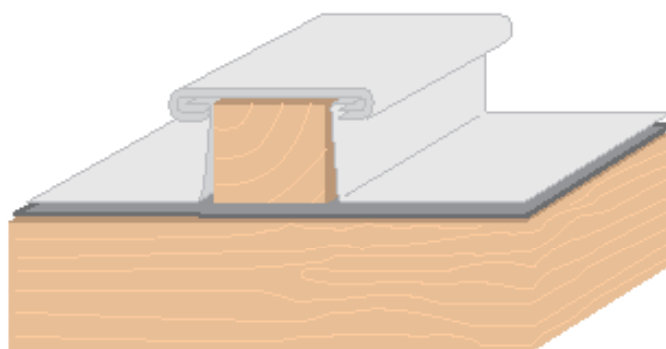
4.2.2 Lastre aggraffate

Le lastre aggraffate costituiscono una categoria molto antica di tetto metallico, e si trovano numerosissimi esempi del loro utilizzo, particolarmente nel centro e nord Europa. Sono ricavate da lamiera piane, alle quali vengono impartite, analogamente alle lastre grecate, lavorazioni di piegatura mediante profilatrici, che però sono di tipo più semplice e di dimensioni molto più contenute, dovendo agire, come vedremo, solo sui margini della lastra.

La caratteristica che le accomuna infatti consiste in una parte centrale piana, preponderante per dimensioni trasversali, ai margini della quale ci sono alcuni diversi tipi di accoppiamento.

Il più semplice di questi accoppiamenti, detto “a tassello”, consiste in una piega verso l’alto, ad ognuno dei due lati della parte piana, che funge da sponda.

Esempio schematico di aggraffatura “a tassello”



Questo lato verticale è appoggiato ad un elemento che corre parallelamente alla pendenza, e che serve da riscontro ed appoggio per il lato stesso. In genere questo elemento è costituito da un listello in legno o comunque da un profilo di altezza leggermente superiore, che divide i lati verticali di due lastre adiacenti. Il giunto così formato viene completato e protetto dall’acqua da un cappello a “U” rove-

sciata, generalmente dello stesso metallo del manto, che viene fissato sul profilo precedentemente citato mediante viti o chiodi, a loro volta protetti dall’acqua con guarnizioni o borchie sigillate.

Le lastre possono essere lasciate libere di muoversi sulla superficie sottostante, trattenute dal cappello da ambo i lati, oppure, solo in caso di falde corte e di situazioni di particolare esposizione al

vento, fissate a loro volta ai fianchi del profilo, nella parte alta. Questa pratica va però intrapresa con cautela e solo nei casi veramente necessari, perché, impedendo la dilatazione delle lastre, può generare

lacerazioni e di conseguenza infiltrazioni dal manto. Un secondo tipo di lastra aggraffata, senz'altro più diffuso e più sofisticato, comporta una diversa lavorazione dei margini delle lastre stesse.

Aggraffatura "in opera"



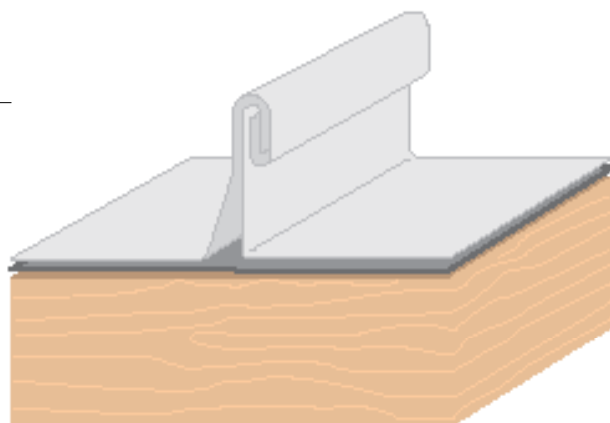
"L" rovesciata, con dimensioni leggermente diverse a sinistra e a destra, in modo da potersi accoppiare. All'interno dell'accoppiamento viene inclusa una staffetta di ancoraggio, precedentemente fissata alla superficie di supporto, ad interassi adeguati.

Il montaggio definitivo viene compiuto ripiegando due volte su se stesse le "L" accoppiate, in modo da ottenere un giunto a deformazione permanente, che racchiude la staffa di fissaggio, ed è abbastanza stretto da impedire, in condizioni normali, l'ingresso d'acqua.

Questa operazione veniva effettuata, ed ancora avviene in punti particolari, per mezzo di attrezzi manuali, per l'utilizzo dei quali è fondamentale l'a-

bilità e l'esperienza dell'operatore, mentre il grosso del lavoro viene oggi eseguito con l'ausilio di attrezzi motorizzati, che garantiscono un'ottima uniformità del giunto piegato, e possono essere utilizzati da operatori con un livello di esperienza meno elevato. La struttura sottostante questo tipo di manti è continua o quasi totalmente continua, essendo costituita nella grande maggioranza dei casi da un tavolato in legno, in cui le tavole stesse possono essere montate in accoppiamento diretto oppure con fuga. In entrambi i casi va posta attenzione all'interasse delle giunzioni rispetto alla posizione delle successive staffette di fissaggio, che devono essere vincolate lontano dalle linee di giunzione.

**Esempio schematico di
“doppia aggraffatura”**



I raccordi con il perimetro del manto e con i corpi emergenti, in questo genere di coperture, vengono generalmente eseguiti con la stessa tecnica di aggraffatura, e sono caratterizzati da un notevole lavoro di adattamento manuale, in termini di sago-

me, tagli e piegature in opera, tali da richiedere nuovamente un ottimo livello di preparazione ed esperienza da parte degli operatori, per ottenere buoni risultati funzionali ed estetici.

**Lastra metallica “a vasca”
con giunto a labirinto**



4.2.3 Lastre a vasca

Le lastre “a vasca” sono prodotti nati in tempi più recenti rispetto alle lastre grecate/ondulate, particolarmente nelle loro forme più evolute.

Sono anch’esse ricavate dalla profilatura in continuo di nastri metallici, con procedimento simile a quello delle lastre grecate, ma il prodotto che ne risulta è profondamente differente. I primi esempi, nati nella seconda metà del secolo scorso e tuttora proposti con poche modifiche, sono nati per offrire un’alternativa di tipo standardizzato, e prodotta a livello industriale, alle lastre aggraffate in opera. Questo prodotto infatti imita nella conformazione generale lo schema “a vasca” che si crea nella posa di un manto aggraffato, dove l’accoppiamento avviene in opera, con alcune differenze:

La sottostruttura, anziché essere continua (tipicamente un tavolato) consiste di un’orditura di arcarecci al passo prescritto, alla quale le lastre sono vincolate tramite staffe appositamente sagomate, in genere ad interassi più ampi rispetto a quelli prescritti per un aggraffato in opera.

I bordi di ogni lastra, anziché possedere una semplice piegatura ad “L”, che viene poi ribadita due volte in opera, manualmente o con attrezzi appositi, sono dotati di una forma ad uncino, di dimensioni diverse in modo da potersi accoppiare l’una all’altra, mentre la parte terminale, o fungo, della staffa di fissaggio rimane inserito tra i due profili ad uncino.

La chiusura definitiva dell’accoppiamento viene eseguita per mezzo di un attrezzo apposito, in genere motorizzato.

È bene sottolineare che, mentre nelle lastre aggraffate tradizionale il montaggio prevede una deformazione permanente dei bordi, nelle lastre a vasca questo non avviene, essendo l’aggancio all’interno del campo elastico del materiale. Questo preserva la possibilità di un successivo eventuale smontaggio e rimontaggio delle lastre senza sostituzioni o adattamenti, se non quelli limitati alla lattoneria.

Un’altra caratteristica particolare di questo tipo di prodotto consiste nel fatto che la sovrapposizione trasversale alla pendenza è, se non impossibile, per

Profilatura in cantiere di lastra “a vasca”



lo meno di difficile realizzazione, ad esempio realizzando un gradino lungo la pendenza. Ne consegue la necessità pratica di realizzare ogni falda con lastra unica, e di conseguenza di poter disporre, almeno per dimensioni non trasportabili nemmeno utilizzando trasporti eccezionali, di mezzi di produzione del materiale direttamente in cantiere.

Negli ultimi venti anni la tecnologia di questo tipo di prodotto si è evoluta notevolmente, introducendo un concetto innovativo, che permette di aumentare in modo rilevante l'affidabilità del manto stesso in condizioni meteorologiche particolarmente avverse.

**Nelle lastre
"a vasca"
l'acqua viene
convogliata in
gronda**



Il sistema, così concepito, permette applicazioni molto affidabili anche nei casi in cui è lecito aspettarsi frequenti ed abbondanti quantità di acqua stazionante sul manto, come in caso di accumulo di neve o grandine, e quindi è particolarmente adatto alle situazioni di bassa e bassissima pendenza, nelle quali esprime il massimo delle sue potenzialità.

Non di rado le applicazioni di questo genere di prodotto permettono solitamente di conferire un'affidabilità ed una longevità enormemente superiori, oltre che ai manti metallici tradizionali, anche a manti in

Il concetto consiste nel prevedere una conformazione dell'accoppiamento tale da impedire in ogni caso che l'acqua eventualmente trafilata attraverso l'accoppiamento stesso possa passare sotto la copertura nell'edificio sottostante. Questo si ottiene, non dotando l'accoppiamento di guarnizioni o elementi di tenuta non metallici, che per loro natura possiedono una longevità inferiore a quella del manto, ma nel consentire, entro limiti peraltro molto ridotti, l'ingresso di acqua dall'accoppiamento, convogliandola poi opportunamente verso il canale di gronda, all'interno dell'accoppiamento stesso.

membrana che, per età o per intrinseco livello di affidabilità, richiedono frequenti ripristini e manutenzioni, generando ovviamente costi e disagi abitativi. Rivolgendo l'attenzione alla sottostruttura ed al sistema di aggancio, va detto che questo è in genere costituito da staffe di materiale plastico rinforzato, (a loro volta vincolate alla sottostruttura con viti metalliche, le quali sono state adottate in quanto, per il loro basso coefficiente di attrito rispetto al metallo, conferiscono alle lastre la capacità di scorrere liberamente rispetto ad esse, risolvendo le problemati-

che di dilatazione termica, e contemporaneamente fungono da elemento di separazione, isolando dal punto di vista termico ed elettrico il manto metallico dalla sottostruttura.

L'adozione del materiale plastico in questo caso non comporta problemi di durata, in quanto esso è confinato all'interno del manto ed è quindi protetto sia dalle radiazioni solari che dai fenomeni meteorologici. Bisogna però notare che il funzionamento "a scorrimento" delle lastre sulle staffe stesse impone un'ottima precisione nella realizzazione e nell'allineamento della sottostruttura, sostanzialmente per evitare impuntamenti ed irregolarità che ostacolano il movimento per dilatazione termica delle lastre sui loro supporti.

Inoltre va curata la simmetria della sottostruttura nel caso di manti a doppia pendenza, allo scopo di evitare una lenta ma progressiva "migrazione" asimmetrica della lastra stessa verso uno dei due lati.

Per lo stesso motivo, su falde ad unica pendenza, è bene assicurarsi che le lastre siano dotate di un punto fermo ad una delle due estremità (di solito in corrispondenza del colmo), per evitare uno spostamento a valle (sindrome del lombrico).

La progettazione di manti costituiti con questi prodotti va eseguita attentamente, poiché, se è vero che l'affidabilità dal punto di vista idraulico del prodotto in sé è altissima, è anche necessario che un pari grado di affidabilità sia posseduto dal manto nel suo insieme, con particolare riguardo ai suoi confini perimetrali, ed a quelli interni, costituiti dai corpi emergenti.

Le prassi e le soluzioni costruttive sono tuttavia piuttosto consolidate e già suggerite dal produttore per la grande maggioranza delle possibilità.



4.2.4 Lastre stampate

Le lastre stampate rappresentano una variante particolare rispetto alle normali lastre grecate/ondulate. Sono costituite da spezzoni di lamiera metalliche piane, alle quali viene conferita la sagoma desiderata, non mediante profilatura in continuo, ma mediante stampaggio. La necessità di questo procedimento è data dal fatto che la sagoma trasversale alla pendenza del prodotto non è costante, come

in tutti i casi precedentemente citati, ma varia nel senso della lunghezza della lastra, ripetendosi ad un passo predeterminato.

Una tipica applicazione di questa categoria di prodotti è la riproduzione di un manto in coppi o tegole, nella quale ogni lastra stampata assume la forma di un certo numero di elementi sia in senso trasversale che in senso longitudinale. Ciò permette

di realizzare manti architettonicamente molto simili ai tradizionali manti in laterizio, con un'incidenza di peso, manodopera e tempi di realizzazione drasticamente ridotti, con benefici effetti sull'economia generale dell'opera (la riduzione di peso si può riflettere anche sulle strutture sottostanti), e con interessanti qualità anche dal punto di vista della

necessità di manutenzione e quindi della funzionalità nel tempo. I fissaggi delle lastre stampate sono analoghi a quelli delle lastre grecate/ondulate, e le uniche particolarità possono riguardare la forma delle rondelle e/o delle guarnizioni dettata dalla sagoma dell'impronta stampata sulla lastra stessa.

Lastra stampata a forma di coppo



4.2.5 Scandole

Anche le scandole, o tegole metalliche, vantano una lunga tradizione, in particolare nell'Europa centro-settentrionale. *(Vedi foto sotto)*

Questi prodotti sono costituiti da elementi di piccole dimensioni, paragonabili appunto a quello di una tegola, ricavati da spezzoni di lamiera piana.

Questa lamiera, alla quale viene prima impartita mediante cesoiatura una sagoma di base, subisce poi una lavorazione di pressopiegatura su tutti i lati, ed infine può essere dotata di fori per l'applicazione di ganci. Il prodotto viene posato in genere senza apportare deformazioni permanenti alla tegola stessa, ma accoppiando ad incastro ogni elemento ai corrispondenti laterali, a valle ed a monte, utilizzando le piegature predisposte ai margini. Una variante consiste nell'utilizzo di staffe metalliche di ancoraggio che si agganciano tra una tegola a valle e una a monte, di nuovo nelle piegature perimetrali o nei fori all'uopo predisposti.

Le scandole vengono prodotte in numerose varietà di sagome (quadre, rettangolari, romboidali, a squa-

ma di pesce, trapezoidali), ed utilizzando ogni tipo di metallo per manti, ma la loro collocazione ideale risiede nelle coperture di pregio, o nella ristrutturazione di coperture su edifici di valore storico o soggette a vincoli architettonici. La conformazione di un manto in scandole metalliche, caratteristica per l'aspetto liscio ed uniforme, richiama chiaramente le coperture in scandole di ardesia tipiche delle zone montane, senza possederne tuttavia l'elevato peso proprio, ed offrendo una ben maggiore varietà esecutiva.

Analogamente ad ogni altra copertura a piccoli elementi, ma in modo particolare a causa della propria conformazione e modalità di aggancio, i manti in scandole metalliche richiedono forti pendenze per una corretta e sicura applicazione (indicativamente a partire dal 45% - 50%). Ciò è dovuto sia all'alto numero di sormonti e sovrapposizioni per metro quadrato, sia alla relativa esiguità delle superficie sovrapposte, costituite solamente dalle piegature presenti ai margini della scandola.

**Manto di copertura
realizzato
con "scandole"**



4.2.6 Pannelli monolitici

I pannelli monolitici sono chiamati anche pannelli sandwich. Infatti, come nel sandwich, sono costituiti da più elementi diversi sovrapposti ed uniti a formare un pacchetto funzionale unico, nel quale ogni strato possiede un ruolo diverso.

Il tipico pannello da copertura è formato da una lastra grecata che formerà la superficie esterna resistente alle intemperie, uno strato di materiale termoisolante, ed una lastra nervata interna che formerà la finitura di soffitto dell'edificio, in mancanza di ulteriore controsoffitto. (Vedi foto sotto). La lastra esterna, essendo esposta agli agenti atmosferici, può essere prodotta con una lega od un

metallo autoprotetto, come alluminio o rame, oppure essere di acciaio al carbonio, opportunamente protetta da preverniciatura. La sagoma di questa lastra può differire da quella delle normali lastre grecate, ed avere un minor numero di greche, poiché la funzione di resistenza meccanica non viene delegata a questa sola lastra, ma è affidata alla collaborazione dell'intero pacchetto costituente il sandwich.

La lastra interna, essendo esposta alle condizioni dell'ambiente interno dell'edificio, ha minori esigenze di resistenza alle intemperie, tranne nei casi di edificio a pareti aperte, come una tettoia, dove il pannello può essere utilizzato molto più per le sue

Pannelli coibentati sandwich



doti di portata che per necessità di coibentazione. In genere questo strato presenta una grecatura appena accennata e poco profonda, sia per il minore ruolo strutturale rispetto alla lastra esterna, sia per la necessità di un appoggio uniforme e distribuito sulla sottostruttura.

Le due "pelli" esterna ed interna vengono fatte strettamente aderire allo strato intermedio di materiale isolante in sede di produzione, mediante procedimenti diversi a seconda della natura del materiale stesso.

A titolo di esempio, il poliuretano espanso, materiale molto diffuso nella produzione di pannelli, viene fatto aderire per iniezione a caldo in uno stampo nel quale sono già state posizionate le due lastre metalliche, mentre per altri prodotti, come il polistirene o la lana di roccia, viene eseguito un incollaggio con sostanze apposite, come resine sintetiche.

I pannelli, sia per le modalità produttive che per ragioni legate al peso ed alla logistica di trasporto e movimentazione in cantiere, vengono prodotti in lunghezze limitate, ed in molti casi standard.

È tuttavia possibile, per falde lunghe, ed a patto che la pendenza sia sufficiente (mai meno del 10%, e da valutare in funzione della lunghezza di falda), prevedere il montaggio di più pannelli in sequenza sulla falda, effettuando adeguati sormonti.

Il sormonto dei pannelli prevede, per il pannello a monte, l'asportazione di un tratto di lastra inferiore, e della corrispondente porzione di strato coibente, lasciando alla sola lastra superiore il compito di sovrapporsi al pannello a valle intatto. Il pannello costituisce in definitiva una soluzione estremamente pratica e veloce, dal punto di vista della messa in opera, per la realizzazione di un intero pacchetto di copertura (o di parete) utilizzando un solo prodotto. I fissaggi dei pannelli avvengono mediante viti analoghe a quelle delle lastre grecate, a parte la maggiore lunghezza necessaria, ma a volte possono presentare la particolarità di un cappello a forma di "U" aperta rovesciata, che abbraccia la parte superiore della greca, e che comprende una guarnizione integrata per la vite sul lato superiore, mentre è dotato sul lato inferiore di un'altra guarnizione ampia quanto il cappello stesso.

Asportazione del poliuretano nella parte inferiore del pannello



Capitolo 5

Sottostrutture

5.1 Tipologie e materiali

Le sottostrutture di supporto del manto, già menzionate in precedenza, possono essere applicate a strutture continue, ovvero aventi le stesse caratteristiche di resistenza in ogni punto, come una soletta

in cemento o una lamiera portante, oppure discontinue, rappresentate da travi ad esempio in acciaio o legno, tra le quali c'è il vuoto, o comunque un materiale non in grado di sopportare carichi.

5.1.1 Tipologie per strutture continue

Una sottostruttura applicata ad una soletta continua ha essenzialmente lo scopo di fornire al manto una serie di linee di appoggio perpendicolari alla pendenza a passi predeterminati, e di far sì che queste linee giacciono su di un piano il più possibile regolare, oppure su di una superficie curva, nel caso di manti a volta o conici. Gli elementi

utilizzati per realizzare la sottostruttura, essendo appoggiati per tutta la loro lunghezza, dal punto di vista statico, e per il carico agente verso la struttura, avranno unicamente il ruolo di spessori. Per il carico di estrazione, agente in senso opposto alla struttura, le caratteristiche statiche degli elementi sono dettate invece dall'interasse dei loro fissaggi,

Orditura su struttura continua curva



che in questo caso fungono da punti di vincolo. La scelta del materiale e/o del profilo adatto è in definitiva dettata da considerazioni sullo spessore,

la facilità di posa, il costo, più che sulle sue caratteristiche statiche.

5.1.2 Tipologie per strutture discontinue

Le tipiche strutture discontinue sono raramente rappresentate dalle pure strutture a telaio o reticolari in acciaio, legno o cemento. Queste infatti presentano caratteristiche dimensionali, per quanto riguarda gli interassi degli elementi che le costituiscono, per le quali i normali prodotti per copertura metallica non sono applicabili. Nella maggioranza di questi casi esiste un primo strato portante, in legno o acciaio, di caratteristiche statiche adeguate, sul quale sono poi posati gli arcarecci della sottostruttura, e si torna pertanto ad interassi adatti al manto.

La più importante eccezione è tuttavia rappresentata dai pannelli monolitici, che nascono specifica-

mente in funzione di un'applicazione diretta alla struttura primaria, e possiedono quindi le caratteristiche statiche sufficienti.

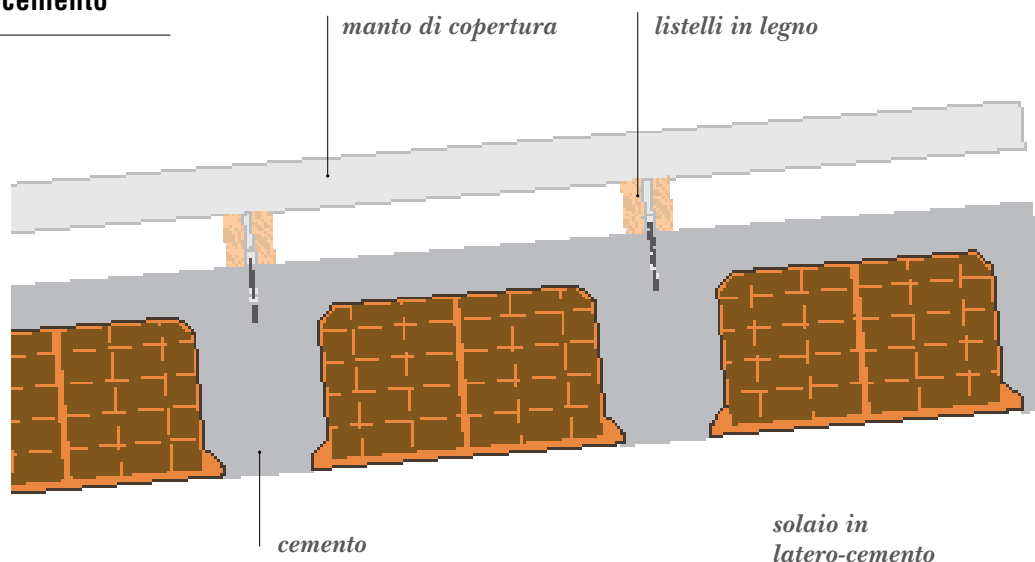
Le strutture discontinue sono frequentemente rappresentate da due diverse tipologie.

La prima tipologia comprende **solai in latero-cemento**, nei quali l'elemento portante, il travetto di cemento armato, posto spesso ad un interasse di circa un metro, è la sola parte in grado sia di sopportare i carichi derivanti dalla copertura, sia di accogliere in modo affidabile i tasselli ad espansione di fissaggio della sottostruttura.

Struttura discontinua in legno lamellare

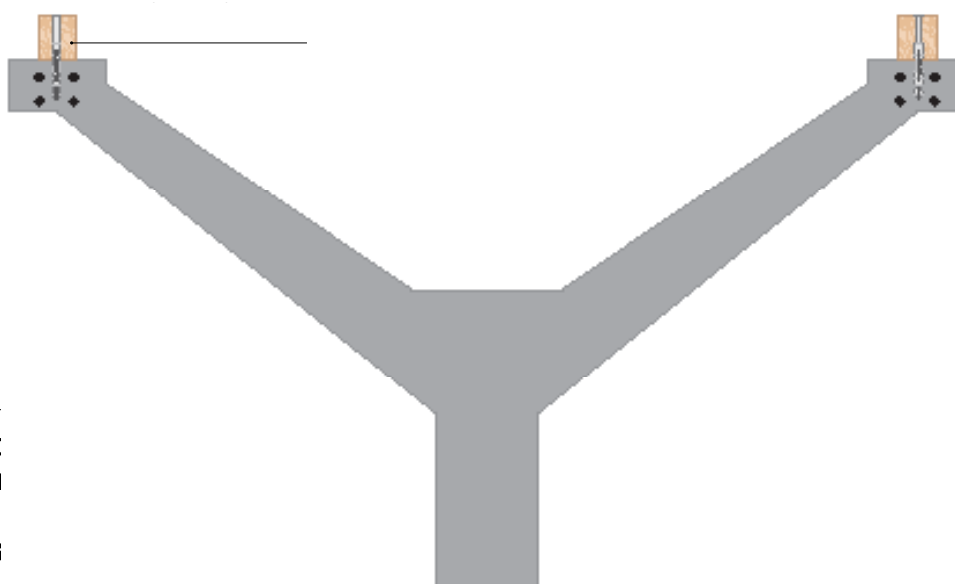


**Ancoraggio efficace
su struttura in
latero-cemento**



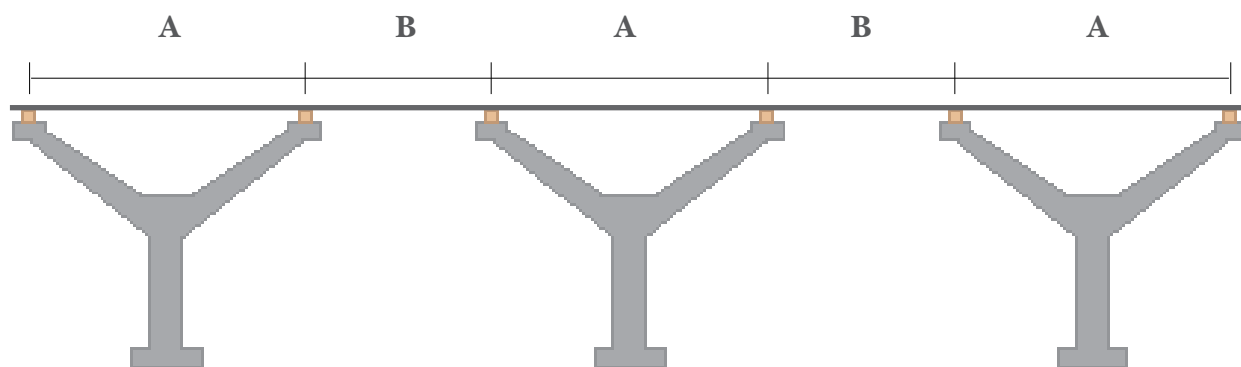
A questa categoria appartengono anche i solai formati da tegole in cemento armato prefabbricato. Infatti questi elementi strutturali, anche se di varie forme (ad Y, ad ala di gabbiano, a "pi greco" dritto o rovesciato ecc.) sono accomunati dal fatto di avere alcune parti, quelle strutturalmente più importanti,

dotate di uno spessore maggiorato e di armatura più fitta. È solo in corrispondenza di queste nervature che è possibile effettuare efficacemente il fissaggio degli elementi della sottostruttura, evitando il pericolo di distacchi del cemento dal lato interno, in conseguenza della foratura su bassi spessori.



**Ancoraggio
efficace su
struttura
prefabbricata**

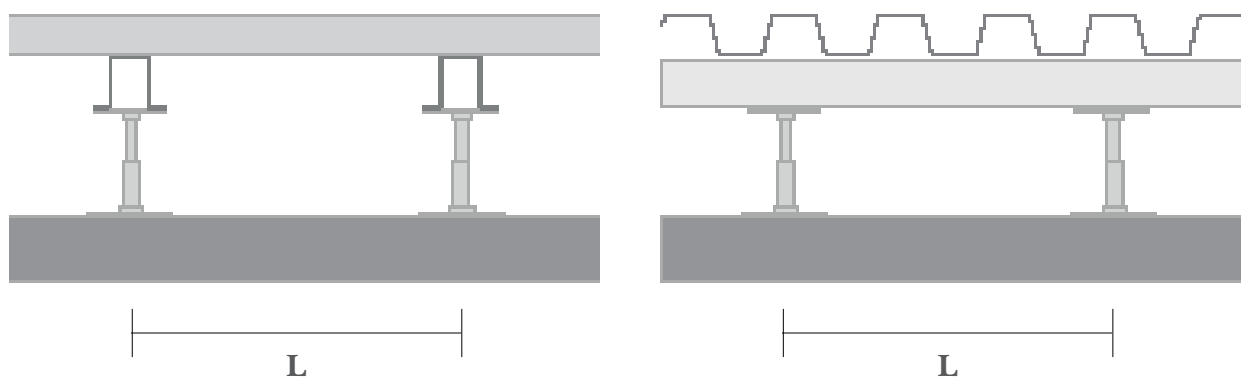
L'interasse tipico di queste nervature diventa quindi necessariamente quello della sottostruttura.



La seconda tipologia di strutture discontinue è costituita dalle creazioni di pendenza. Queste possono essere realizzate in vari modi, ma sostanzialmente sono costituite da piedini ad altezza regolabile, oppure da profili sagomati, posti in file regolari

ad interasse adeguato al prodotto utilizzato per il manto. L'interasse "L" tra i punti di supporto, che rappresenta la luce di appoggio degli arcarecci costituenti la sottostruttura, è poi scelto in funzione delle caratteristiche statiche di questi ultimi.

L'interasse degli appoggi varia in funzione delle caratteristiche statiche della sottostruttura e della copertura



5.1.3 Tipologie per rifacimenti/ricoperture

Un tipo particolare di sottostruttura deve essere adottato nei casi in cui si procede al rifacimento di una copertura esistente realizzando una sovracopertura, senza smontare preventivamente l'esistente.

Il caso tipico è quello del confinamento di una copertura in fibrocemento esistente mediante una nuova copertura metallica.

È necessario predisporre una nuova sottostruttura, al di sopra dell'esistente, alla quale vincolare il nuovo manto.

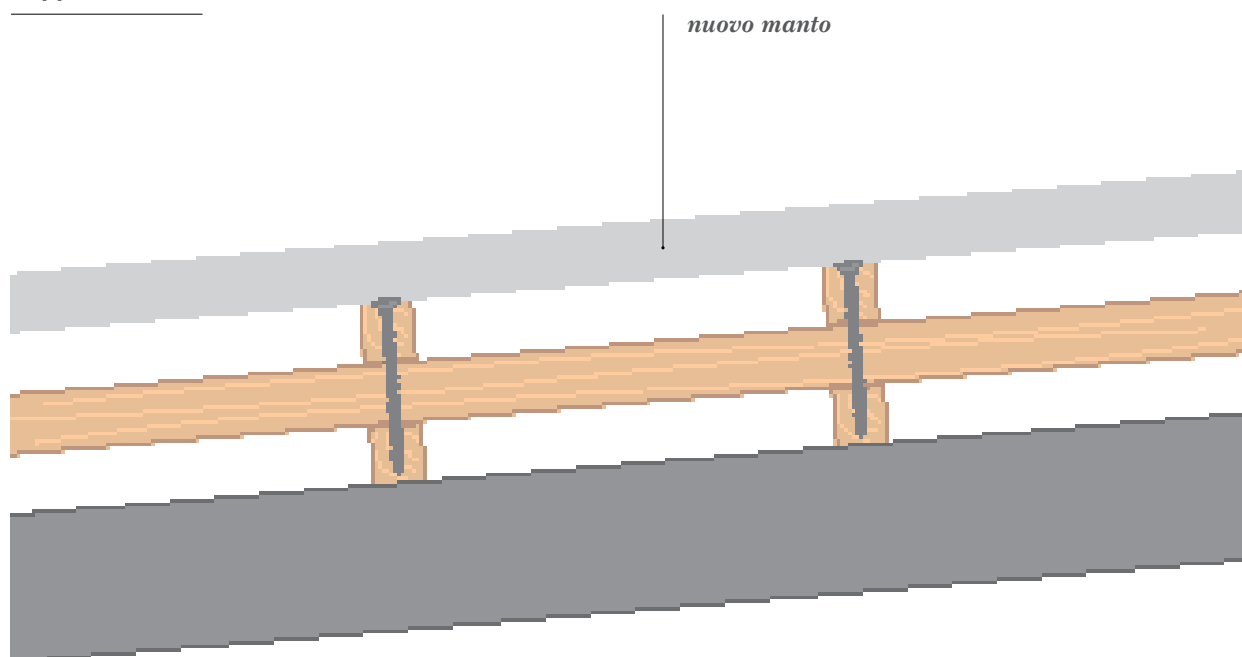
La soluzione più comune consiste nel predisporre una doppia orditura di arcarecci: la prima orditura

viene posata secondo la pendenza delle falde, all'interno delle parti basse delle onde o delle greche, utilizzando un arcareccio la cui altezza sia almeno leggermente superiore all'altezza dell'onda o della greca stessa.

In questo modo si crea una serie di appoggi continui al di sopra del filo superiore delle onde o delle greche, che costituisce il piano di vincolo della seconda orditura.

In questo modo le sollecitazioni sopportate dal nuovo manto si scaricano attraverso la doppia orditura sugli arcarecci sottostanti il manto esistente, senza che questo ne venga più toccato.

Esempio di doppia orditura

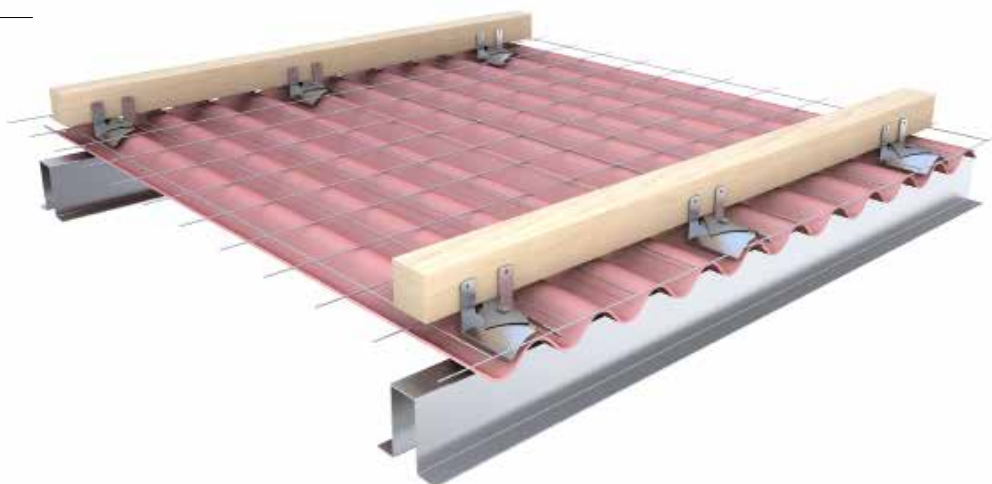


Esistono poi soluzioni tecnologicamente più evolute, che permettono di eliminare la prima orditura, semplificando l'esecuzione del nuovo manto.

Esse consistono in staffe metalliche conformate in modo da poter essere agganciate alle viti di fissaggio della copertura esistente, dopo averle

parzialmente allentate, e poi di nuovo strette. La parte superiore di ogni staffa presenta poi una sede apposita che accoglie l'arcareccio della nuova orditura, ed opportuni fori per il fissaggio di quest'ultimo alla staffa stessa.

Esempio di staffa Riblok



5.1.4 Materiali e prodotti per sottostrutture

I materiali più comunemente utilizzati per realizzare le sottostrutture dei manti sono:

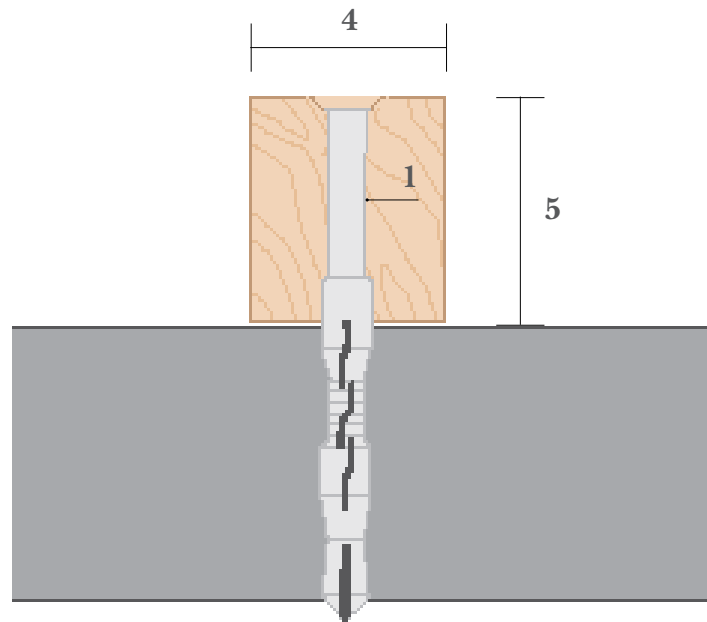
LEGNO DI ABETE

Si utilizzano arcarecci a sezione rettangolare di dimensioni 5x5 cm, 5x6 cm, 6x8 cm (per ragioni statiche la dimensione maggiore è ovviamente utilizzata in verticale). Le sezioni 4x4 cm e 4x5 cm, benché molto utilizzate in passato, specialmente nell'ambito dei manti in fibrocemento, e tuttora in uso, trovano ragion d'essere esclusivamente per ragioni di risparmio, ma sono assolutamente da sconsigliare. La larghezza di un listello di appena 4 cm presenta

infatti rischi per l'integrità dell'arcareccio stesso in corrispondenza del punto di fissaggio.

Ipotizzando che il fissaggio sia costituito, come comunemente accade, da un tassello ad espansione di diametro 10 mm, il foro che ne consegue rappresenta una diminuzione locale del 25% nella sezione resistente del listello, cosa che può arrivare a comprometterne la tenuta statica sotto l'effetto di elevate sollecitazioni ad estrazione da vento.

**Sezione tipo
listello in
legno di abete**



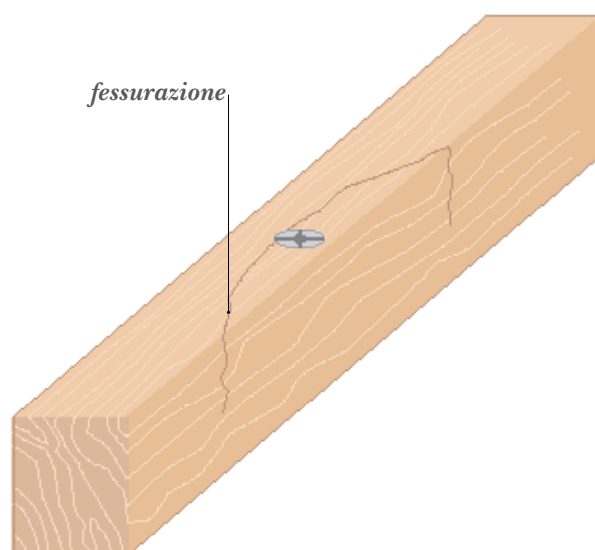
La situazione può inoltre essere peggiorata da due fattori piuttosto comuni: il primo è l'esecuzione del

foro per il fissaggio al di fuori dalla mezzeria del listello e/o non perpendicolari alla sua superficie superiore.

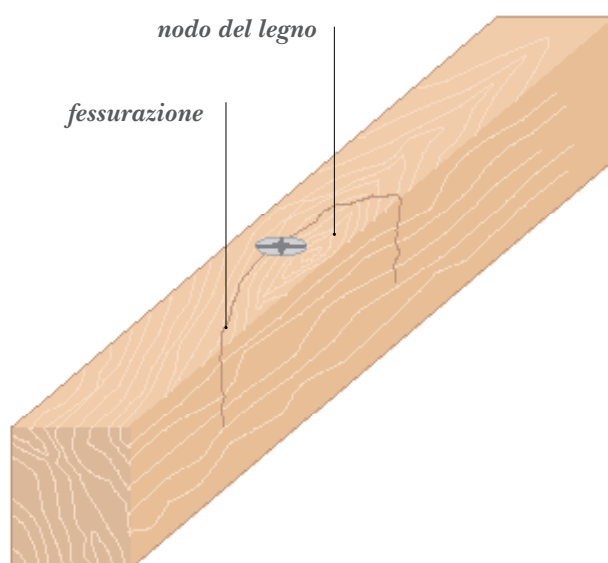
Fissaggio errato del listello in legno



Questa evenienza è comprensibile pensando che detta foratura viene ripetutamente eseguita dall'operatore per centinaia o migliaia di volte, utilizzando un trapano elettrico posizionato e guidato a mano, per cui è inevitabile, semplicemente dal punto di vista statistico, che una certa percentuale di fori sia sensibilmente fuori asse e/o fuori centro. La conseguenza di questo è la vicinanza del foro ad uno dei due bordi laterali del listello, con il conseguente pericolo di fessurazioni, incrinature, ed infine di cedimento.



Il secondo fattore consiste nella vicinanza di un nodo del legname alla posizione del foro; nell'area immediatamente circostante al nodo, la resistenza del materiale è inferiore alla media, a causa della disomogeneità del legno stesso; in certi casi è materialmente possibile staccare ed estrarre il nodo dal legno circostante.



Anche questo fenomeno favorisce la formazione di cricche e fessurazioni nelle immediate vicinanze del foro di fissaggio, con le possibili conseguenze già citate.

Per finire, possono esistere nel legname fessurazioni naturali o indotte dalle lavorazioni di segatura che, anche se inavvertite al momento del fissaggio, conducono agli stessi esiti negativi dei nodi.

Oltre alla dimensione del listello da utilizzare, deve quindi essere posta attenzione alla scelta della qualità del legname, dalla quale dipendono le sue caratteristiche statiche.

Quando non si abbia una esperienza specifica nella valutazione della qualità del legname, oppure, non essendo direttamente investiti della responsabilità della scelta, ci si voglia comunque garantire un determinato livello qualitativo minimo, è opportuno

fare riferimento alla Normativa che definisce non tanto direttamente la qualità del legname, ma le sue caratteristiche meccaniche minime, che sono in ultima analisi le qualità ricercate nell'applicazione pratica.

Questa Norma, la UNI EN 338:2016, suddivide il legname, distinto fra pioppo/conifere e latifoglie, rispettivamente in dodici e sei categorie (C14-C50 e D13-D70), ciascuna delle quali possiede caratteristiche meccaniche minime garantite.

Ad esempio, la C50 per pioppo/conifere garantisce una resistenza a flessione minima di 50 N/mm², una resistenza a trazione parallelamente alle fibre di 30 N/mm², una resistenza a trazione perpendicolarment-

te alle fibre di 0,6 N/mm², una resistenza a taglio di 3,8 N/mm².

La UNI EN 338:2016, benché non individui direttamente la qualità del legname rispetto a caratteristiche come l'omogeneità e la quantità di difetti superficiali come fessurazioni e nodi, fornisce già una certa garanzia, in quanto si riferiva all'epoca della pubblicazione, ad un progetto di norma che in tempi recenti è stato pubblicato in via definitiva.

Si tratta della UNI EN 14081:2022 Legno strutturale – legname a sezione rettangolare – caratteristiche meccaniche. Questa norma, più vasta ed articolata, definisce anche le modalità di valutazione, visive e a macchina, per stabilire la qualità del legname anche rispetto a difetti superficiali ed omogeneità.

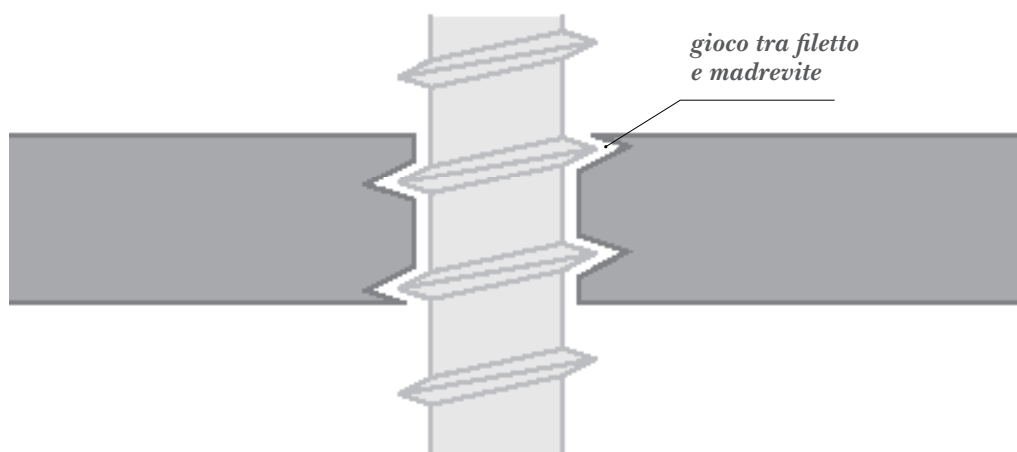
PROFILO IN ACCIAIO

I profili in acciaio, generalmente protetto da zincatura, costituiscono un'altra categoria molto diffusa di prodotti per la realizzazione di sottostrutture.

Gli spessori maggiormente utilizzati sono 1,2 mm, 1,5 mm, e raramente 2,0 mm. Poiché il manto di copertura viene vincolato a questi arcarecci mediante viti autofilettanti, si consiglia però di utilizzare lo

spessore di 1,5 mm come minimo, in quanto l'esperienza ha insegnato che la tenuta dei filetti delle viti nello spessore di 1,2 mm non è ottimale dal punto di vista dell'affidabilità nel tempo.

Le sollecitazioni di estrazione alle quali il manto è sottoposto per effetto del vento, che si trasmettono alle viti e da qui arcarecci, sono infatti essenzial-



mente dinamiche, e sottopongono l'accoppiamento tra i filetti della vite e la sede da essi scavata nello spessore del metallo dell'arcareccio a cicli di fatica. Questi cicli, se esercitati su pochi o addirittura esclusivamente su un filetto, dato l'esiguo spessore del metallo, possono allentare l'accoppiamento stesso, compromettendo la tenuta della vite.

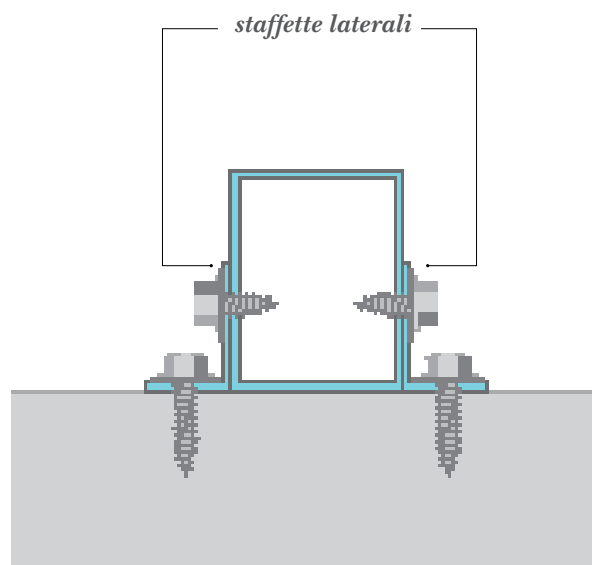
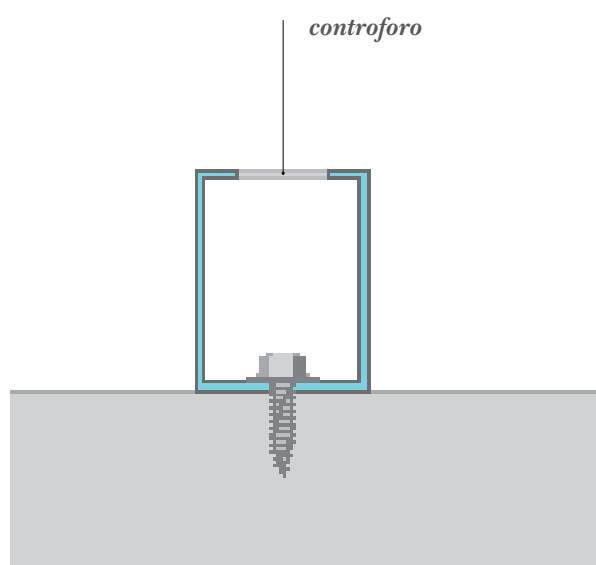
Le sagome utilizzate per realizzare i profili sono molteplici, ma alcune di esse godono di maggiore popolarità, per ragioni che vedremo.

PROFILI CHIUSI

Praticamente sempre a sezione rettangolare con il lato maggiore in verticale per ovvi motivi, presentano il vantaggio di una maggiore resistenza alla torsione. Questo vantaggio è però irrisorio nella maggior parte dei casi, poiché le sollecitazioni vera-

mente rilevanti sono quelle a taglio e flessione. Di contro questo genere di profili presenta una maggiore complicazione all'atto del fissaggio alla struttura sottostante, imponendo l'utilizzo di controfori oppure l'adozione di staffette esterne laterali.

Esempi di fissaggi di profili metallici chiusi



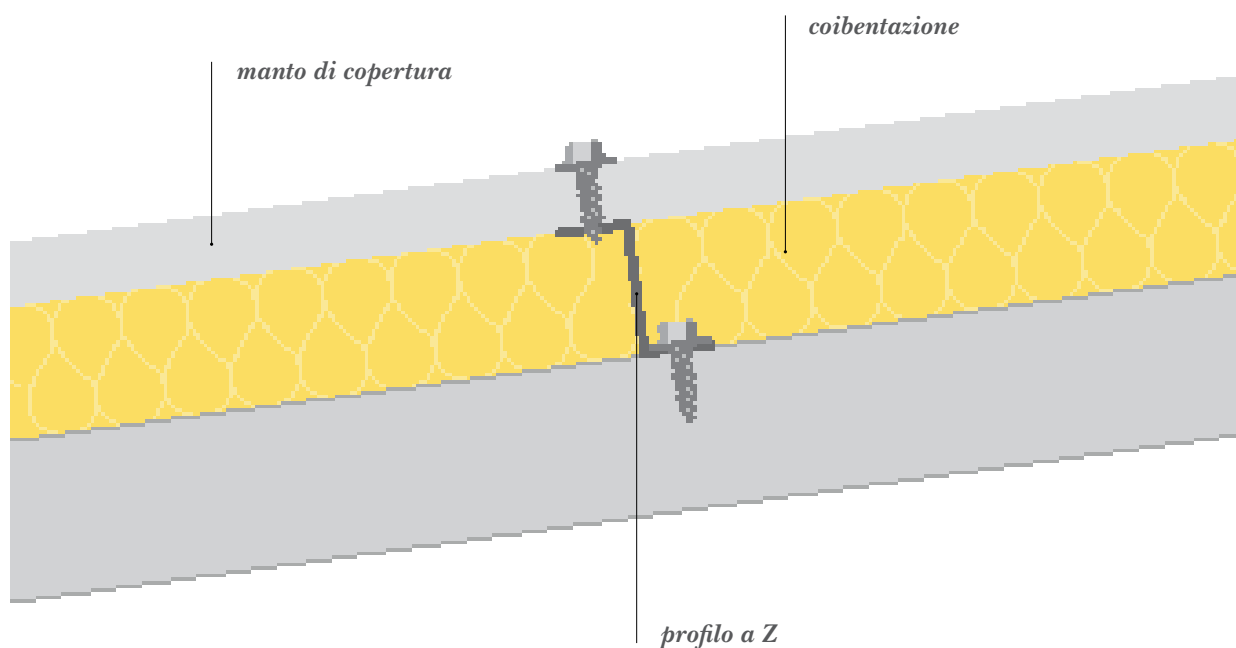
PROFILI APERTI

Ci sono poi i profili aperti, i più utilizzati, che possiamo suddividere in tre categorie:

I **profili a Z** offrono semplicità di posa in opera sia dal punto di vista del fissaggio che dell'applicazione dello strato coibente, in quanto la parte

verticale del profilo è unica, e pertanto il pannello o materasso coibente può essere accostato con accuratezza da entrambi i lati.

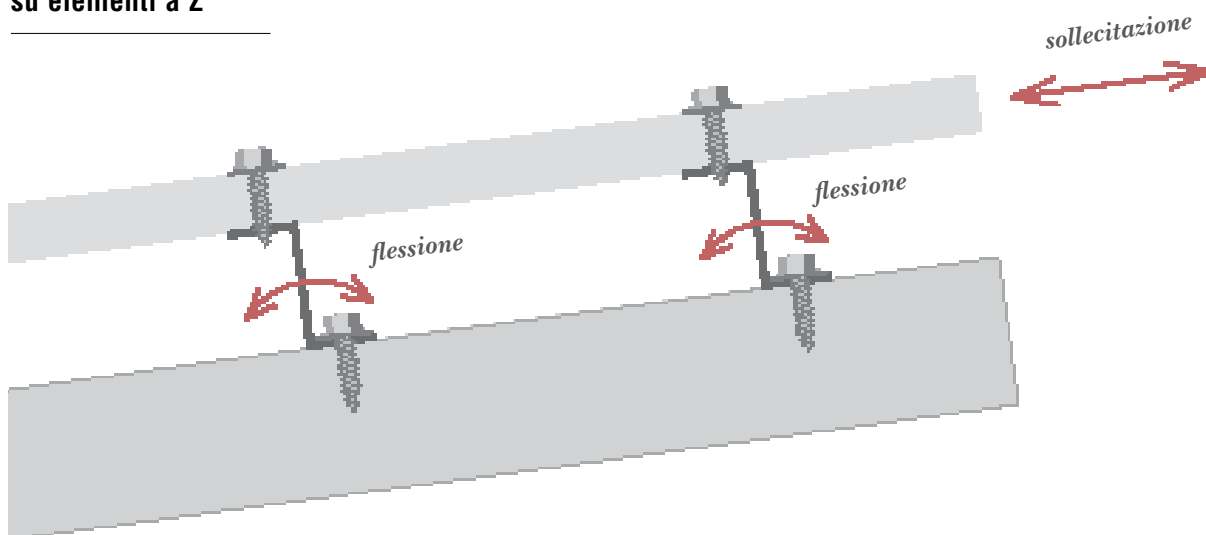
Stratigrafia pacchetto di copertura con elementi a Z



Le caratteristiche statiche sono adeguate in rapporto alla massa del profilo, ma la sagoma a "Z" presenta una scarsa stabilità a flessione nel piano parallelo a quello di falda, per cui può essere in certi casi consigliabile provvedere ad una stabilizzazione alle estremità del manto stesso. Questo aspetto è tanto

più critico quando la lunghezza di falda è rilevante, in quanto le sollecitazioni provenienti dalle lastre del manto e provenienti dai fenomeni di dilatazione e contrazione termica, sono amplificate, ed agiscono esattamente nel piano di falda, sottoponendo le anime degli arcarecci a "Z" a flessione alternata.

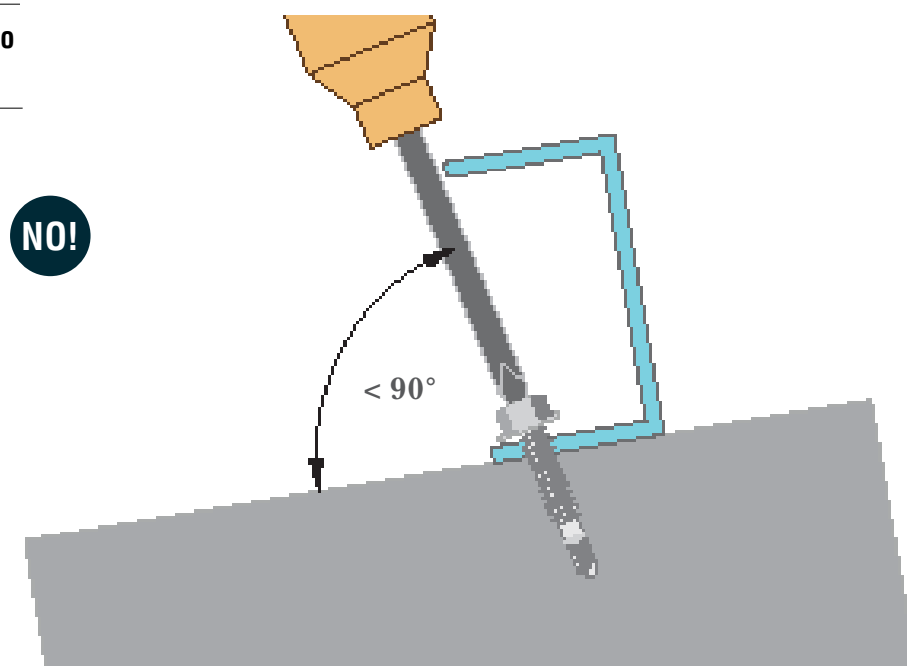
Sollecitazioni tipiche su elementi a Z



I **profili a C** presentano le stesse problematiche dei profili a Z per quanto riguarda la flessione delle anime a seguito della dilatazione termica del manto, e gli stessi vantaggi dal punto di vista dell'applicazione dello strato coibente. Pongono invece maggiori pro-

blemi in termini di fissaggio alla struttura sottostante, poiché l'ala inferiore, alla quale va applicato il fissaggio, si trova direttamente al di sotto dell'ala superiore, che quindi costituisce un impedimento all'entrata dell'utensile di foratura e di fissaggio.

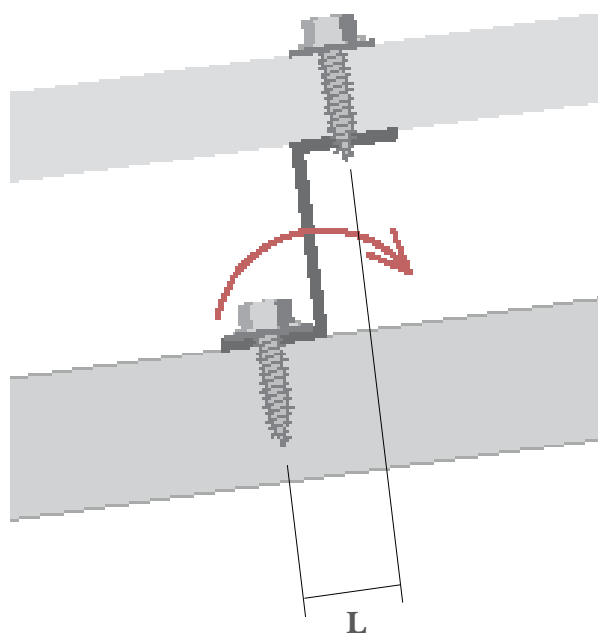
Fissaggio errato profilo a C



Per superare questa difficoltà si può eseguire un controforo di fissaggio, che tuttavia indebolisce staticamente l'ala superiore in modo spesso eccessivo per un profilo aperto. In alternativa può essere eseguito un fissaggio in diagonale (alla "traditora"), che nella maggior parte dei casi si rivela improprio o inaccettabile dal punto di vista dell'affidabilità, in funzione del tipo di tassello utilizzato.

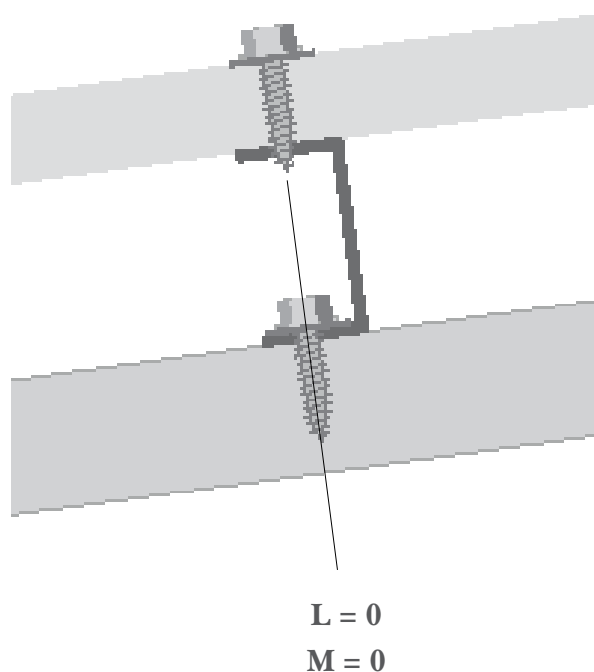
Va citato comunque un vantaggio del profilo a C rispetto a quello a Z, che consiste in una migliore simmetria di trasmissione del carico da neve e da vento. Infatti le linee di fissaggio del manto al profilo si sovrappongono alle linee di fissaggio del profilo alla struttura, e questo elimina il momento flettente generato, nel profilo a Z, dallo sfalsamento tipico della sagoma.

Profilo a Z



Profilo a C

Un profilo a C presenta una migliore simmetria di trasmissione del carico



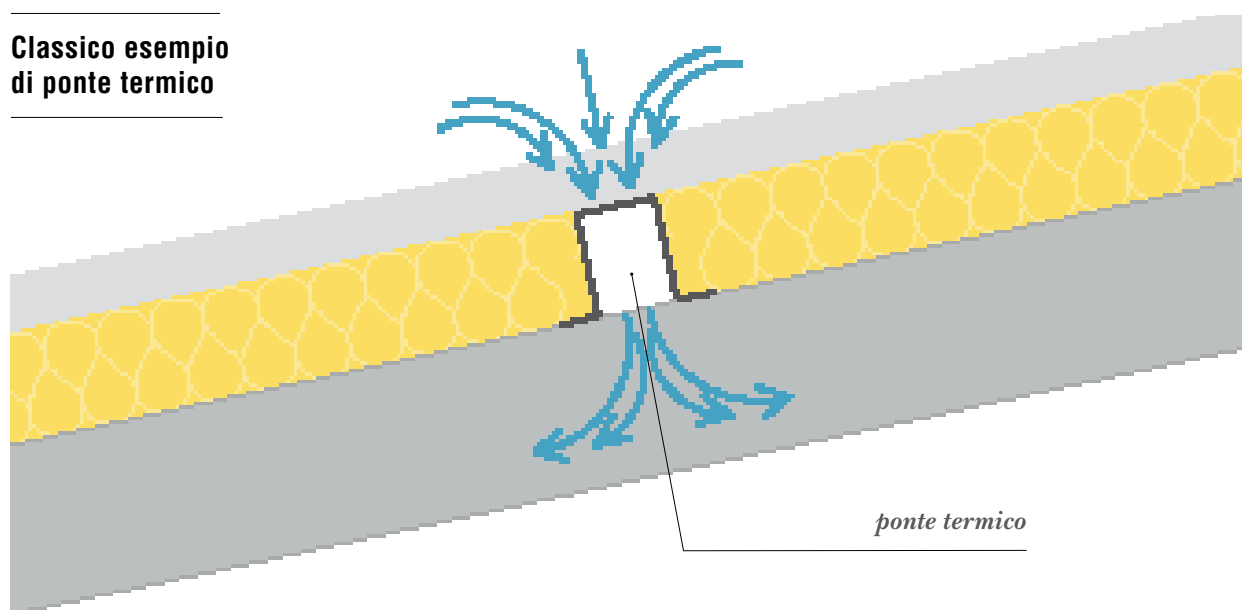
I profili a Omega, pur essendo di tipo aperto, godono di notevole stabilità statica. Inoltre i fissaggi alla struttura, eseguiti sulle ali esterne, sono di agevole realizzazione. I fissaggi del manto al profilo,

pur essendo su piani differenti rispetto ai fissaggi del profilo alla struttura, sono sostanzialmente simmetrici (a meno di imprecisioni di posa). La sagoma simmetrica, con appoggi ai lati, elimina anche il pro-

blema della flessione nel piano del manto per effetto delle dilatazioni termiche. Fra i lati negativi possiamo citare, oltre mediamente ad un maggior peso e quindi costo, la presenza di una parte interna, difficilmen-

te accessibile a montaggio avvenuto. Questa parte, irraggiungibile dal pannello o materassino, rischia di diventare un ponte termico ripetuto di entità ragguardevole rispetto alla superficie della falda.

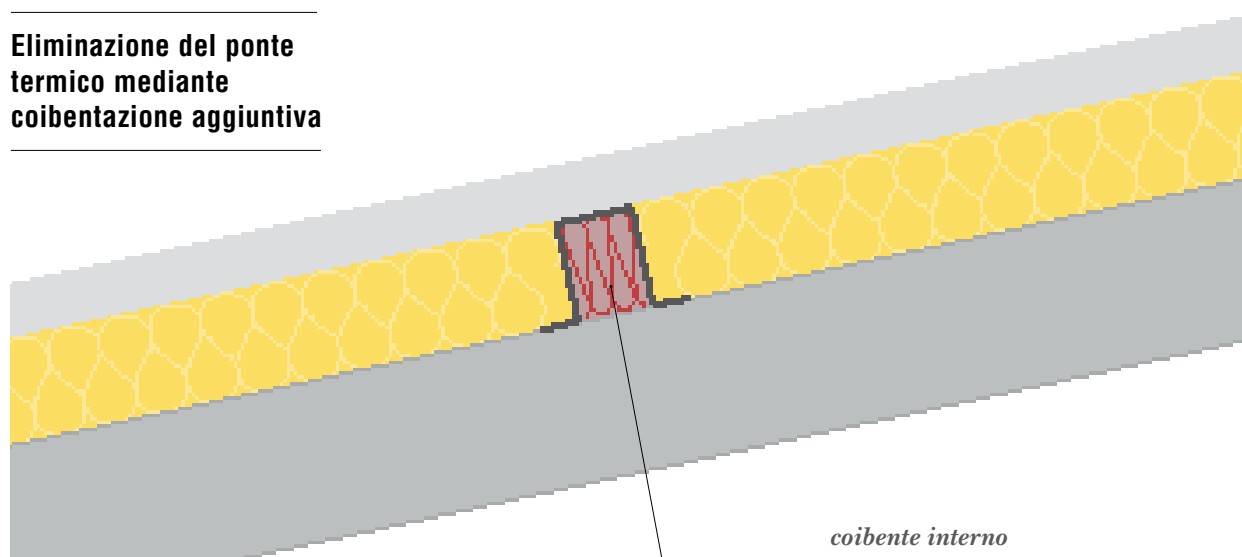
Classico esempio di ponte termico



Per rimediare a questo handicap si provvede di solito a realizzare strisce di pannello coibente sagomate a misura, che vengono inserite all'interno dell'omega.

Questa operazione, che va peraltro eseguita con accuratezza perché sia efficace, presuppone costi e tempi aggiuntivi.

Eliminazione del ponte termico mediante coibentazione aggiuntiva



PROFILO IN ALLUMINIO

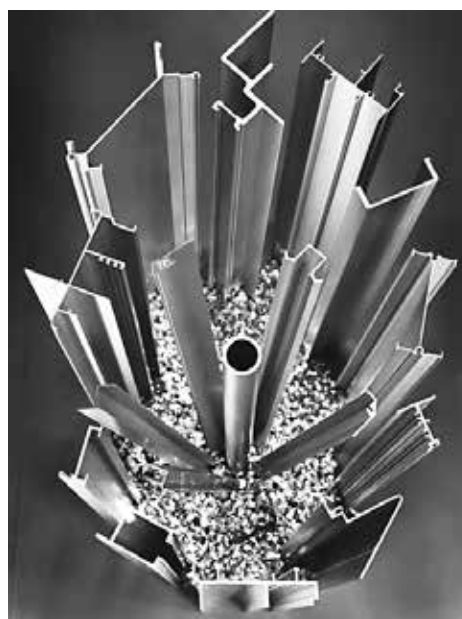
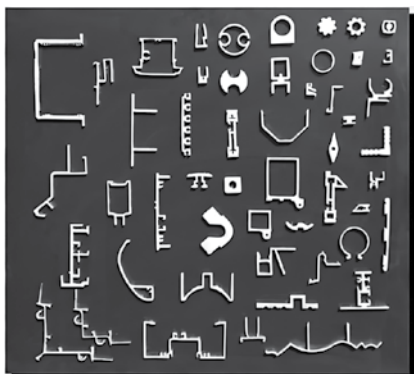
I profili in alluminio sono utilizzati con minore frequenza nell'ambito delle coperture, contrariamente a quanto accade nell'ambito della serramentistica, delle pareti e facciate continue.

La ragione di questo risiede principalmente nel fatto che l'acciaio zincato sopperisce alle necessità di una sottostruttura altrettanto bene dell'alluminio, non essendovi particolari necessità di riduzione di peso,

né di autoprotezione alla corrosione, essendo la sottostruttura interamente al riparo dalle intemperie. I costi sono peraltro inferiori per l'acciaio zincato.

Le sagome ottenibili dall'alluminio sono per numero e varietà sensibilmente più numerose, poiché è possibile scegliere tra una grande varietà di profili estrusi e non pressopiegati, come accade per l'acciaio.

Tipologie varie di profilati in estruso di alluminio



I profili estrusi sono inoltre dotati di ben maggiore precisione dimensionale e possono essere prodotti, per la natura stessa del loro procedimento di

estrusione, in lunghezze sensibilmente maggiori ai pressopiegati, analogamente a quelli ottenuti per profilatura a rulli in continuo.

PROFILO IN ACCIAIO INOX

I profili in acciaio inox possiedono, a parte le proprietà del materiale, lo stesso tipo di caratteristiche statiche dei profili in acciaio zincato, essendo ottenuti con gli stessi procedimenti di pressopiegatura

o profilatura. Le sagome ottenibili sono quindi simili, ed analoghe sono le particolarità, i pregi e le carenze.

Capitolo 6

*Prodotti coibenti, isolanti
e fonoassorbenti*

6.1 Proprietà e caratteristiche

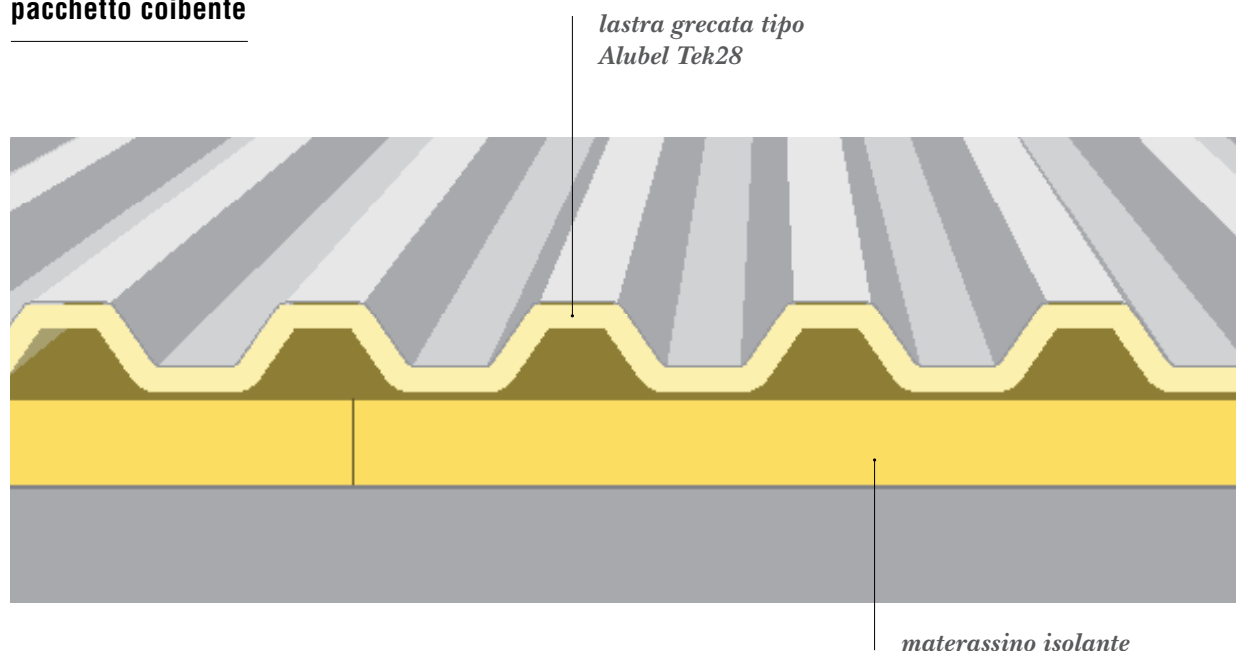
Vengono detti coibenti o isolanti tutti i materiali in grado di ritardare (da cohibere = trattenere) o di fermare la trasmissione del calore da un lato all'altro del loro spessore, quando vengono sottoposti ad una diversa temperatura sulle due facce.

È importante sottolineare che questa capacità è sempre correlata allo scorrere del tempo. In altri termini, ipotizzando di sottoporre le due facce di uno strato di qualunque materiale a due temperature diverse, il flusso di calore che va dalla faccia più calda a quella più fredda sarà tanto più piccolo quanto più alte saranno le capacità coibenti del materiale, ma il flusso sarà sempre presente, e sempre nello stesso senso,

fino a quando verrà raggiunto l'equilibrio termico, ovvero si instaurerà la stessa temperatura ai due lati del materiale (questo nell'ipotesi che non vi sia ulteriore produzione di energia termica dal lato più caldo).

Nella realtà, la differenza di temperatura è quella che si crea tra l'ambiente interno, i cui confini sono rappresentati dal materiale coibente e l'ambiente esterno, a temperatura alternativamente più calda o più fredda a seconda della situazione geografica, altimetrica e stagionale.

Stratigrafia di pacchetto coibente



I sistemi di termo-condizionamento devono mantenere all'interno dell'ambiente la temperatura desiderata, ed il carico energetico che devono sostenere dipende dalla velocità del flusso termico dall'interno all'esterno o viceversa. Questa velocità

è dettata dalla capacità coibente dell'isolamento, definita come resistenza termica, che deve essere la più alta possibile, o dalla conduttanza termica, che è il suo inverso, e che deve essere la minore possibile.

Come già visto parlando della conduzione, questa quantità, se riferita ad uno spessore unitario del

materiale coibente, è denominata conducibilità o conduttività, ed è definita come:

$$[W / m / ^\circ C]$$

È bene ricordare che l'energia termica equivale al livello di agitazione delle molecole o degli atomi che compongono un determinato corpo, per cui la resistenza al passaggio di energia termica tra le varie parti del corpo equivale alla resistenza alla trasmissione del moto tra molecole; tanto più questa resistenza è alta, tanto maggiore è la capacità coibente.

Le peggiori prestazioni in questo senso sono offerte dai metalli, che, non essendo organizzati in molecole ma costituiti da un reticolo omogeneo di atomi, offrono scarsissima resistenza alla trasmissione del moto tra gli atomi stessi.

Esiste inoltre, ed è molto importante, un secondo aspetto della capacità coibente, ed è quello legato al contenuto di aria o di altro gas all'interno del materiale stesso.

L'aria possiede di per se una conducibilità termica molto bassa, purché si trovi in quiete, ovvero non avvengano scambi di massa (convettivi) all'interno di essa.

Molti prodotti coibenti sono quindi conformati in modo da contenere aria in quiete; alcuni sono formati da un reticolo di piccoli e numerosi meandri all'interno dei quali l'aria rimane intrappolata e stazionaria (materassini o pannelli in lana di vetro, lana di roccia, poliuretano).

Altri sono conformati come un agglomerato di microcelle chiuse, all'interno di ognuna delle quali viene imprigionata, all'atto della produzione, una piccola quantità d'aria o di altro gas opportuno, che non entra in comunicazione diretta con il gas delle celle circostanti (pannelli in polistirolo, polistirene, schiuma di vetro).

Il terzo aspetto che caratterizza in modo importante l'efficacia di un materiale coibente è costituito dalla sua massa. Infatti, a prescindere dalle capacità di trattenere il calore offerte da un dato materiale, va considerato che esso opera nell'ambito di un ciclo climatico stagionale, e di un ciclo climatico giornaliero.

Particolarmente nel caso di quest'ultimo, è importante valutare la variazione del flusso termico entrante o uscente, in rapporto alla capacità di trattenimento del coibente, non solo in termini di conducibilità, ma anche di capacità termica del coibente stesso.

In altri termini, se il coibente è dotato di una massa propria elevata, sarà in grado di impedire il passaggio del calore dal lato caldo a quello freddo non solo grazie alle proprie capacità coibenti, ma anche assorbendone una parte (e quindi salendo di temperatura) grazie alla propria massa e quindi capacità termica.

In sostanza, questo può permettere di ritardare il picco del flusso di calore entrante, portandolo verso le ore notturne, nelle quali il flusso diminuisce sensibilmente o addirittura si annulla, e quindi di migliorare il bilancio termico dell'edificio senza spesa di energia per l'asportazione del calore in eccesso.

6.2 Tipologie

6.2.1 Lana di roccia

La lana di roccia è un prodotto naturale; durante le eruzioni vulcaniche, la lava fusa viene scagliata in aria; dopo essere ricaduta, esposta alla temperatura ambiente, risolidifica in una struttura non compatta, ma a cellule aperte.

È stato scoperto nelle isole Hawaii agli inizi del '900.

Il ciclo produttivo attuale prevede l'utilizzo di roccia vulcanica selezionata, con aggiunta di calcare e di altri elementi che abbassano la temperatura di fusione della roccia stessa. La roccia viene fusa a 1500 °C, additivata di resina, trasformata in fibre e poi polimerizzata in forno.

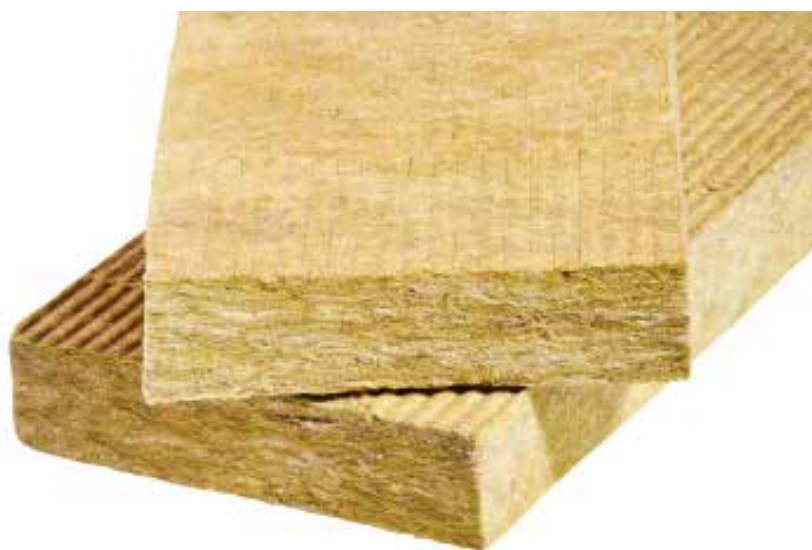
È incombustibile classe A1, fonde a temperature superiori ai 1000 °C, per cui non contribuisce all'incendio, non sviluppa fumi o gas tossici.

È anche un isolante acustico, a causa della sua struttura a cellule aperte.

È chimicamente neutra, non contiene alcun prodotto chimico aggressivo, non fornisce supporto allo sviluppo di microrganismi, come muffe e batteri. Tuttavia, nella maggioranza dei casi, viene trattata con resine termoindurenti per rendere più compatto il pannello. Può anche essere rivestita da uno o da entrambi i lati con fogli bitumati o alluminati. In questi casi, bisogna ricordare che le resine fondono a temperatura molto più bassa (intorno ai 250 °C), mentre i fogli alluminati intorno ai 600 °C, e quelli bitumati a temperature molto più basse, tanto che importanti produttori prescrivono, per pannelli rivestiti, temperature di esercizio non superiori a 80 °C.

È totalmente non idrofila, quindi non assorbe umidità, e mantiene così inalterate le sue caratteristiche nel tempo.

Materassino isolante in lana di roccia



I prodotti commerciali, sotto forma di materassino in rotolo o di pannello, hanno densità fino a 60-80 kg/m³.

La conduttività media è di 0,036 W/m/°C, per cui la resistenza termica per uno spessore di 5 cm è

$R = 5 / 0,036 / 100 = 1,39 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$. Il calore specifico, ovvero la quantità di calore necessaria per innalzare di 1 °C la massa di 1 kg di materiale, è 840 J/kg/°C.

6.2.2 Lana di vetro

È l'equivalente sintetico della lana di roccia.

Prodotta fondendo e risolidificando materiale naturale (silice ricavata da sabbia) reperibile in quantità pressoché illimitata, o da riciclo del vetro in percentuale superiore al 50%, con scarti di produzione molto limitati, richiede poca energia per la produzione rispetto ad altri isolanti.

Il ciclo produttivo, a parte il materiale di base, è simile a quello della lana di roccia.

Trattata con resine termoindurenti diventa non idrofila, ovvero se bagnata, una volta asciugata riacquista le proprietà originarie.

Essendo costituita da materiale inorganico (minerale), non si altera nel tempo, a condizione che non sia sottoposta ad azioni meccaniche, come quelle da vento, che possono generare perdita di fibre (nei prodotti non trattati con resine), e quindi, oltre a perdita di potere coibente, anche inquinamento ambientale.

A questo proposito va aggiunto che la pericolosità delle fibre di vetro disperse nell'ambiente è oggetto di discussione da parte degli Organi di controllo sanitario, ma al momento la loro concentrazione è talmente bassa da renderle indistinguibili dalla presenza naturale di pulviscolo in ambiente.

Va inoltre rimarcato che le fibre di vetro, al contrario di quelle di amianto, tendono a frammentarsi longitudinalmente in parti più corte, perdendo la caratteristica di fibra e diventando simili a particelle. Queste particelle rientrano nelle categorie PM20, PM10, PM2,5, ovvero hanno una dimensione massima rispettivamente di 20, 10, o 2,5 millesimi di millimetro.

Una notizia che potrebbe tranquillizzare molti, dal punto di vista della salute, è costituita da una valutazione dello IARC (International Agency for Research on Cancer), che dipende dall'OMS (Organizzazione Mondiale della Sanità), che ha declassato nel 2001 la fibra di vetro e di roccia nel gruppo 3, a rischio molto basso, lo stesso gruppo in cui si trova il tè....

Il contatto diretto e prolungato con la fibra di vetro può però causare in alcune persone irritazione cutanea o dermatite, come ho personalmente sperimentato.

Oltre ad essere incombustibile, una volta raggiunto il punto di fusione in un ipotetico incendio, a temperature molto più alte dei prodotti derivati dal petrolio (1000 – 1500 °C), non genera fumi tossici o gocciolamento incandescente.

Anche qui, analogamente alla lana di roccia, va ricordato che la presenza di resine di consolidamento del materiale, come pure l'aggiunta di fogli alluminati o bitumati, abbassa drasticamente la resistenza al fuoco del prodotto, anche se non del materiale base in sé. È anche un isolante acustico, a causa della sua struttura a cellule aperte. Il rapporto costo/capacità coibente è il più basso tra gli isolanti. I prodotti commerciali, sotto forma di materassino in rotolo o di pannello, hanno densità da 13 fino a 60 kg/m³. La conduttività media è di 0,039 W/m/°C, per cui la resistenza termica per uno spessore di 5 cm è $R = 5/0,039/ 100 = 1,28 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$. Il calore specifico, ovvero la quantità di calore necessaria per innalzare di 1 °C la massa di 1 kg di materiale, è 850 J/kg/°C.

**Lana di vetro
interposta tra
l'orditura**



**Coibentazione
in lana di vetro**



6.2.3 Poliuretano espanso

Il poliuretano espanso è un polimero, ovvero una macromolecola, formata da un grande numero di molecole più piccole; è il risultato della combinazione di due componenti; il primo è un composto chimico derivato dal petrolio, l'isocianato, formato da Azoto, Carbonio e Ossigeno (N-C-O), mentre il secondo è rappresentato da una miscela di ossidrilici, composti da Ossigeno e Idrogeno (O-H-) che fungono da catalizzatori, ed altri agenti espandenti. L'unione di questi elementi forma una schiuma che aumenta di volume del liquido 30-40 volte, incorporando aria e generando al suo interno una struttura di microbolle d'aria. La schiuma solidifica in tempi molto brevi, e diventa un corpo rigido dotato di una resistenza a compressione che dipende dalla densità del materiale. Indicativamente, si va da 1 kg/cm² per una densità di 20 kg/m³, fino a 6 kg/cm² per una densità di 60 kg/m³.

Il poliuretano utilizzato nelle coperture è del tipo rigido, e la sua forma più diffusa è rappresentata dai pannelli monolitici (sandwich).

Il poliuretano è sostanzialmente impermeabile all'acqua, e non si altera nel tempo, a condizione che non sia sottoposto ad azioni meccaniche, come

il dilavamento di vento e pioggia, nel qual caso la superficie del materiale si può parzialmente erodere. Chimicamente il poliuretano non è nocivo una volta stabilizzato, mentre gli operatori devono prestare una certa attenzione durante la posa diretta a spruzzo, per evitare di respirare i gas prodotti durante il processo di espansione, in quanto l'isocianato è tossico per inalazione.

Il poliuretano è inoltre combustibile, ed in caso di incendio la sua combustione può sprigionare gas tossici, come i cianuri.

La conduttività termica è fra le più basse in assoluto, e quindi il materiale, da questo punto di vista, fornisce prestazioni fra le più elevate, che si mantengono sostanzialmente nel tempo.

La conduttività media è di 0,024 W/m/°C, per cui la resistenza termica per uno spessore di 5 cm è $R = 5 / 0,024 / 100 = 2,08 \text{ m}^2\text{°C/W}$. Il calore specifico, ovvero la quantità di calore necessaria per innalzare di 1 °C la massa di 1 kg di materiale, è 1381 J/kg/°C.

Pannello in poliuretano espanso



6.2.4 Polistirene/polistirolo espanso/estruso

Il polistirolo è un polimero, ovvero una macromolecola formata da molecole più piccole. Il componente di base è lo Stirene o Stirolo, un idrocarburo aromatico formato da Carbonio e Idrogeno (C₈-H₈). Lo stirene viene ricavato dall'etilbenzene, un liquido oleoso trasparente dal caratteristico odore dolciastro. Il polistirene viene ottenuto sottoponendo lo Stirene a polimerizzazione, cioè facendo aggregare tra loro le molecole di base in macromolecole; durante questo procedimento, per mezzo di additivi chimici, vengono fatti sprigionare gas come il pentano, che consentono di ottenere una struttura composta di celle chiuse, ciascuna contenente gas. Esistono due tipi di prodotto, ottenuti con differenti procedimenti.

Nel primo procedimento, per stampaggio, il materiale viene sottoposto ad una prima espansione, nella quale si ottiene approssimativamente la densità ed il volume voluti. Successivamente il materiale viene inserito in uno stampo e sottoposto ad un ulteriore trattamento termico, durante il quale le pareti delle celle si saldano tra di loro, ed il prodotto assume le dimensioni definitive.

Nel secondo procedimento il materiale viene sottoposto ad un solo trattamento termico, mentre la forma definitiva viene imposta mediante estrusione meccanica. In questo caso le celle sono più piccole, omogenee e regolari, e le caratteristiche meccaniche risultano superiori. Anche il polistirene viene utilizzato per la produzione di pannelli sandwich, benché raramente per pannelli da copertura. Il polistirolo è totalmente impermeabile all'acqua, e non subisce alterazioni nel tempo, come testimoniano verifiche eseguite sulle condizioni di campioni interrati alcuni decenni fa, all'epoca delle prime realizzazioni, e che si sono mantenuti sostanzialmente inalterati. Dal punto di vista chimico il polistirolo non è nocivo a polimerizzazione avvenuta. La conduttività termica è molto bassa, e dipende dalla densità, aumentando con essa. La conduttività media è di 0,027 W/m/°C, per cui la resistenza termica per uno spessore di 5 cm è $R = 5/0,027/100 = 1,85$ m²°C/W. Il calore specifico, ovvero la quantità di calore necessaria per innalzare di 1 °C la massa di 1 kg di materiale, è 1380 J/kg/°C. La resistenza a compressione varia per una densità di 20 kg/m³ da circa da 1 kg/cm² fino a 2,5 kg/cm² per il tipo estruso.

Pannello in polistirolo



6.2.5 Vetro cellulare

Il vetro cellulare è costituito da un insieme di microbolle di vetro, contenenti aria, ottenute mediante procedimento termochimico in forno ad alta temperatura.

Il materiale che se ne ottiene, sotto forma di pannello rigido, possiede ottime doti di resistenza alla compressione, ed è totalmente impermeabile all'acqua ed al vapore.

Essendo costituito da materiale inorganico (silice ricavata da sabbia oppure vetro riciclato), è completamente inerte dal punto di vista chimico, e non ospita microrganismi come funghi e batteri. Viene

infatti preferito in applicazioni dove i parametri di sicurezza igienica sono particolarmente stringenti. È inoltre totalmente incombustibile (fonde a 1257 °C), e non produce gas tossici. È totalmente riciclabile.

La densità prodotta commercialmente va da 120 a 170 kg/m³. La conduttività media è di 0,040 W/m/°C, per cui la resistenza termica per uno spessore di 5 cm è $R = 5 / 0,040 / 100 = 1,25 \text{ m}^2 \text{ °C/W}$. Il calore specifico, ovvero la quantità di calore necessaria per innalzare di 1 °C la massa di 1 kg di materiale, è 840 J/kg/°C.

Pannello in vetro cellulare



6.2.6 Sughero

Il sughero si ottiene dalla corteccia della quercia omonima, originaria del bacino del Mediterraneo, ed è noto per essere materiale totalmente di origine naturale, il cui ciclo produttivo non comporta alcun tipo di rifiuto.

Viene commercializzato sotto forma di pannelli, composti da granulato vagliato e poi pressato, oppure direttamente sotto forma granulare.

La densità normalmente si attesta sui 150 kg/m³.

Il sughero viene raramente utilizzato nell'ambito delle ordinarie coperture metalliche, principalmente a causa del suo costo, che normalmente è più elevato rispetto a materiali alternativi.

La conduttività media è di $0,040 \text{ W/m/}^\circ\text{C}$, per cui la resistenza termica per uno spessore di 5 cm è $R = 5/0,040/100 = 1,25 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$. Il calore specifico, ovvero la quantità di calore necessaria per innalzare di $1 \text{ }^\circ\text{C}$ la massa di 1 kg di materiale, è $2000 \text{ J/kg/}^\circ\text{C}$.

Pannello in sughero



6.2.7 Fibra di legno

Questo materiale viene ottenuto utilizzando come materia prima gli scarti di legno ottenuti decortificando tronchi d'albero. I trucioli ottenuti vengono sfibrati, ottenendo una sorta di lana di legno, che viene bollita e poi pressata a formare pannelli, senza utilizzare collanti. Come il sughero, oltre ad avere eccellenti doti di isolante termico, possiede anche notevoli qualità fonoisolanti. Essendo un aggregato di particelle di legno, questo materiale va protetto

dall'acqua, che lo può impregnare, compromettendone le caratteristiche. La densità commerciale è notevole, e, partendo da $50 - 60 \text{ kg/m}^3$, può arrivare anche a 250 kg/m^3 . La conduttività media è di $0,040 \div 0,050 \text{ W/m/}^\circ\text{C}$, per cui la resistenza termica per uno spessore di 5 cm è $R = 5 / 0,050 / 100 = 1,00 \text{ m}^2 \text{ }^\circ\text{C/W}$. Il calore specifico, ovvero la quantità di calore necessaria per innalzare di $1 \text{ }^\circ\text{C}$ la massa di 1 kg di materiale, è $2100 \text{ J/kg/}^\circ\text{C}$.

Pannello in fibra di legno



6.2.8 Sulla scelta del tipo di isolante

A prescindere dalle ovvie considerazioni sui costi, che spesso assumono il peso più rilevante, è opportuno operare alcune distinzioni che, in funzione di quanto si richiede alla coibentazione in termini di funzionalità e prestazione pratica, permettono di orientarsi meglio e quindi di ottenere un risultato

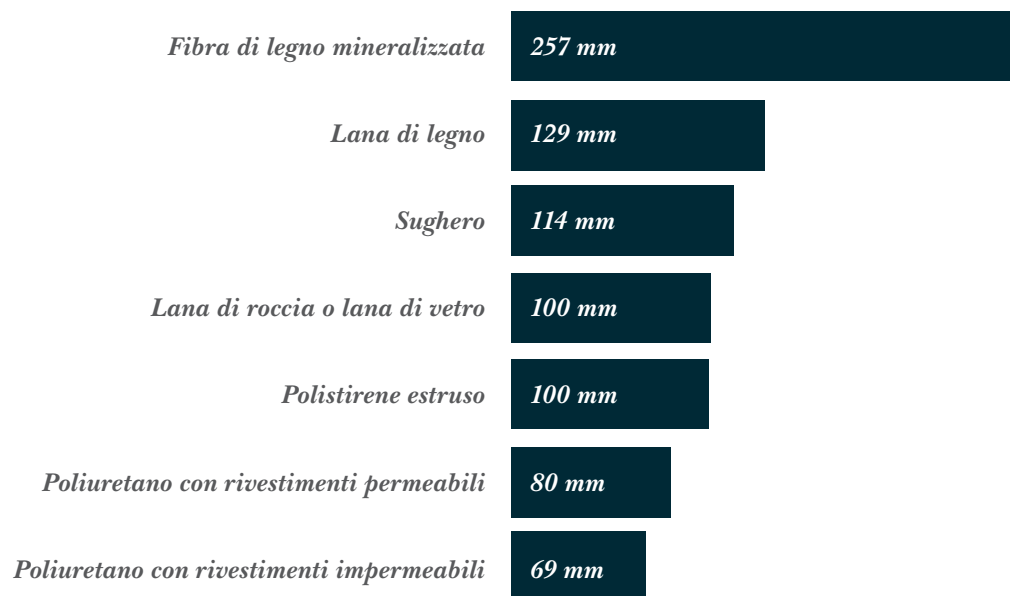
positivo, in termini assoluti, ed anche in termini di rapporto beneficio/costo.

Il confronto può essere basato sulla distinzione principale tra materiali fibrosi o comunque flessibili o "morbidi", e pannelli rigidi a struttura cellulare, e trova esplicazione nella seguente tabella:

MATERIALI FIBROSI	PANNELLI ALVEOLARI
Conformabile minore rischio di ponti termici	-
Permeabile al vapore permette la traspirazione	Impermeabile al vapore tranne nelle giunzioni

Permeabile all'acqua	Va protetto durante il montaggio. Eventuali infiltrazioni lo possono danneggiare.
Impermeabile all'acqua	Non si imbeve e quindi mantiene le proprie caratteristiche.
Non calpestabile	Per coperture metalliche non è necessario che lo sia. Servono maggiori spessori e masse per ottenere la stessa resistenza termica.
Calpestabile	Vantaggio durante la posa. Ha minore capacità termica a parità di spessore.

Spessore necessario ad ottenere una resistenza termica pari a $0,35 \text{ W} / \text{m}^2 / ^\circ\text{K}$



Capitolo 7

*Prodotti e materiali per il
controllo della condensa*

Come abbiamo già avuto modo di accennare, all'interno degli edifici viene prodotta una certa quantità di vapore acqueo. Questa quantità dipende dalla presenza stessa di persone all'interno dell'edificio,

e dalle attività che vi vengono svolte. La tabella che segue fornisce un'idea delle quantità di vapore acqueo in gioco:

Causa	Produzione vapore acqueo - kg/ora
Persona a riposo	0,040
Persona in attività moderata	0,055
Persona in attività media	0,200
Cucina (fornello elettrico)	0,700
Cucina (fornello a gas)	1,000
Doccia	2,500
Asciugatura bucato	0,200
Stufa a gas (senza scarico all'esterno)	0,130 per KW

Produzione media in un'abitazione	Produzione vapore acqueo - kg/giorno
4 persone a riposo per otto ore	1,280
2 persone in attività moderata per sedici ore	1,760
Attività cucina a gas per quattro ore	4,000
Lavaggio stoviglie per un'ora	0,045
Lavaggio panni per un'ora	0,200
Asciugamento naturale indumenti per due ore	0,400
Doccia di 4 persone per 10 minuti cadauna	1,66

Totale produzione giornaliera: 9,352 kg

Produzione media oraria: $9,352/24 = 0,39$ kg/h

Questo senza contare le attività produttive che, per loro stessa natura, comportano un'alta emissione di vapor d'acqua (lavanderie industriali, cartiere) oppure che richiedono un tasso di umidità relativa ben definito per una corretta produzione (maglifici, industrie alimentari).

In assenza di un sistema attivo che mantenga i livelli di umidità nei parametri desiderati, si pone il problema del controllo di questa massa di vapore prodotto.

Il vapore in sé, essendo un gas invisibile e inodore, non costituisce in genere un disagio; i problemi nascono quando il vapore si condensa, ovvero si ritrasforma in acqua.

Questo avviene quando entra in contatto con superfici più fredde dell'ambiente, ad esempio i vetri delle finestre, nel caso delle pareti dell'edificio. Per la copertura invece il fenomeno si manifesta quando l'aria calda che porta con sé il vapore acqueo, salendo attraverso il pacchetto di copertura, giunge a contatto dell'ambiente esterno e, raffreddandosi, provoca la condensazione del vapore acqueo stesso che, ridivenuto acqua, ricade attraverso il pacchetto fino a gocciolare o comunque a bagnare l'interno della copertura stessa.

Limitandoci qui alle problematiche relative alla copertura, esistono sostanzialmente tre alternative di principio per evitare il fenomeno.

7.1 Asportazione tramite ventilazione

All'aria umida viene consentito il passaggio attraverso il pacchetto di copertura, ma successivamente essa viene asportata mediante la ventilazione sottotetto, in modo da impedirle di ricadere all'interno del pacchetto. (Vedi disegno sotto).

Questa ventilazione deve però essere meccanica, in quanto la ventilazione per convezione naturale è per questo scopo scarsamente efficace per due principali motivi:

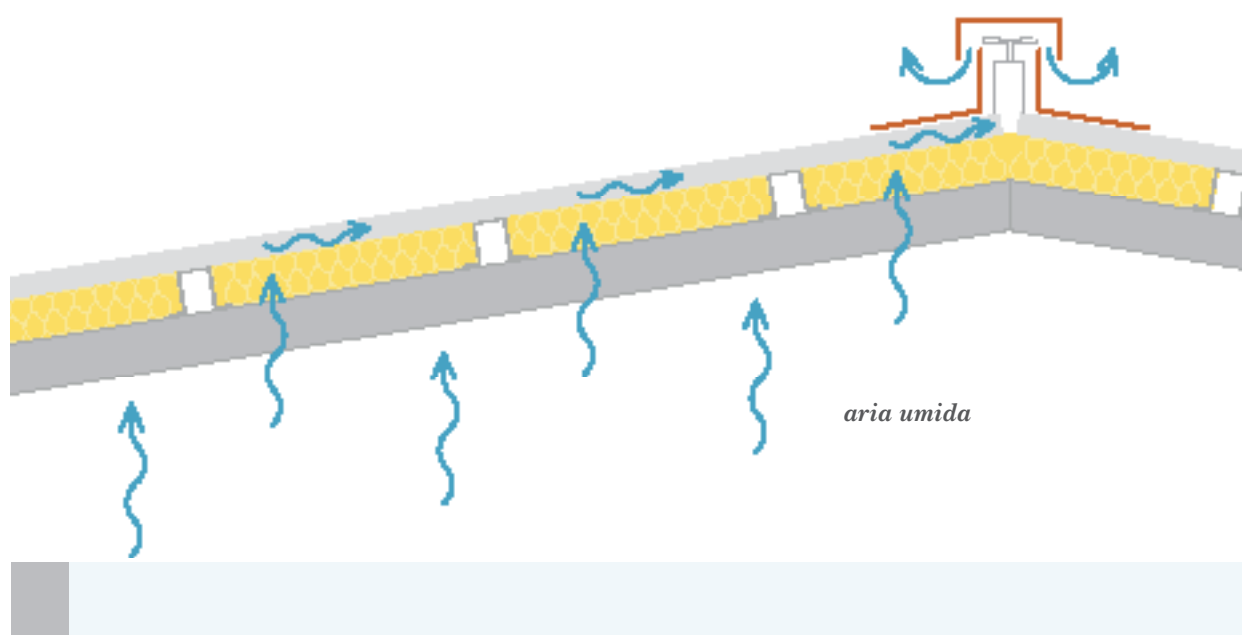
La ventilazione per convezione naturale ha luogo quando vi sia un progressivo riscaldamento della lama d'aria sottomanto da parte dell'ambiente esterno, tramite il manto di copertura, e questo accade con elevate temperature ambientali e soleggiamento diretto, mentre la maggiore neces-

sità di asportazione di condensa ha luogo a basse temperature ambientali, quando l'aria all'interno dell'edificio è riscaldata.

La ventilazione per convezione naturale acquista efficacia solo se le pendenze del manto assumono valori notevoli (sicuramente più del 30%, ma questo valore è anche funzione della lunghezza della falda).

La ventilazione meccanica, se ben progettata e messa in opera, può avere l'intensità necessaria in ogni realistica condizione, ma a questo punto, essendo a tutti gli effetti un impianto da tenere in efficienza, può essere nella maggioranza dei casi sostituita da un vero e proprio impianto di climatizzazione che controlli direttamente le caratteristiche dell'ambiente interno.

Sezione tipo di tetto ventilato



Vapore acqueo



7.2 Applicazione di una barriera al vapore

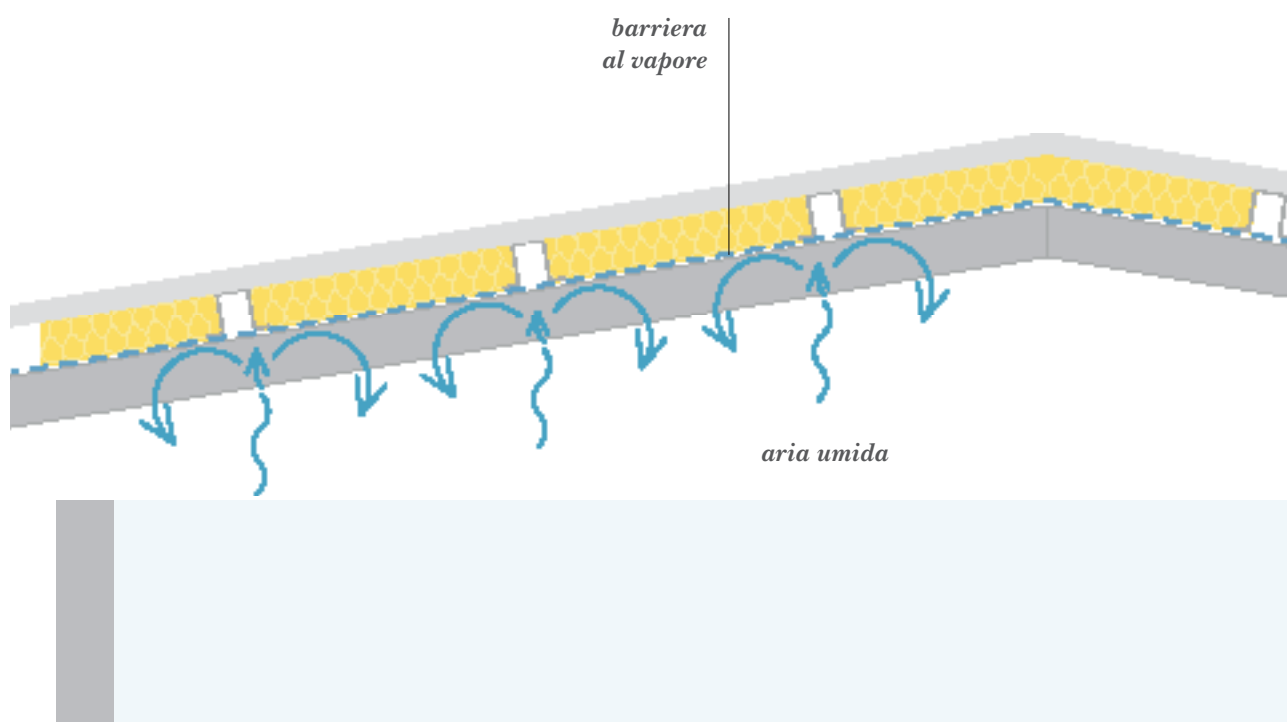
Si impedisce all'aria umida di attraversare lo strato coibente del pacchetto di copertura, trattenendola all'interno dello stesso, ovvero dal lato caldo.

Per fare ciò si utilizza uno strato di materiale impermeabile all'aria, esteso a tutta la superficie della copertura senza soluzione di continuità.

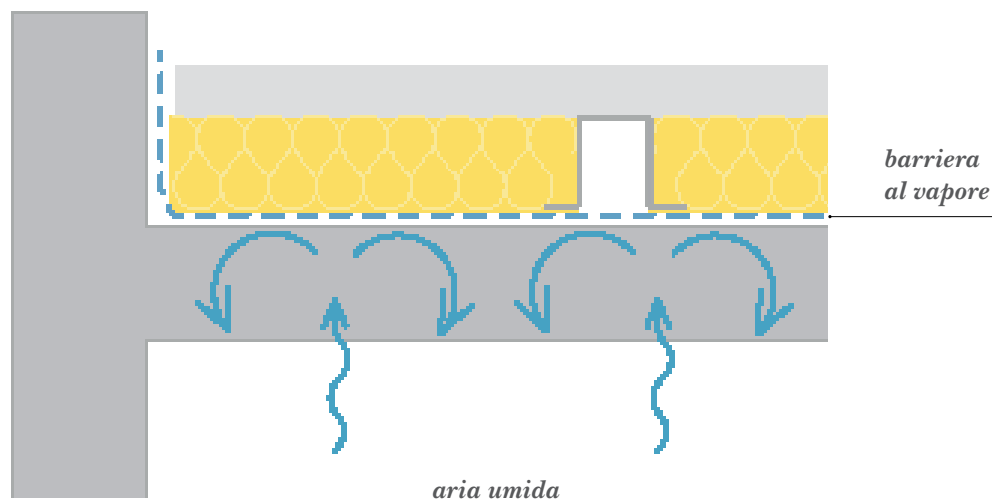
È essenziale che questa barriera non abbia punti di perdita o passaggio d'aria, perché la quantità d'aria calda e umida che sfugge attraverso questi passaggi non è proporzionale alla loro dimensione, se rapportata alla superficie dell'intera copertura. Da questi punti di passaggio infatti, a causa della

differenza di temperatura tra interno ed esterno, si creano notevoli perdite, e quindi fenomeni di condensazione piuttosto intensi, anche se localizzati. La barriera al vapore dovrà inoltre estendersi, in corrispondenza dei confini della copertura e di tutti gli eventuali corpi emergenti da essa, in modo da avere un bordo di altezza superiore a quella dello strato di coibentazione. Questo per evitare che l'aria interna possa trovare un varco e raggiungere lo strato stesso in una posizione intermedia, a temperature magari sufficientemente basse da innescare la condensazione. (Vedi disegno pag. successiva).

Interposizione di barriera al vapore nel pacchetto di copertura



**Importante
estendere
la barriera
vapore anche
ai confini
della
copertura**



I prodotti adatti a questo scopo ricadono sostanzialmente in due tipologie:

7.2.1 Membrane bituminose

Sono prodotti analoghi a quelli utilizzati per realizzare coperture a vasca, e quindi costituiti da rotoli di rete impregnata di bitume, con l'aggiunta di additivi che ne migliorano l'elasticità nel tempo. Le membrane utilizzate per realizzare una barriera al vapore beneficiano tuttavia, rispetto a quelle destinate a costituire un manto di copertura, di una condizione di utilizzo decisamente più favorevole. Sono infatti sostanzialmente al riparo sia dagli agenti atmosferici, in quanto protette dal manto metallico, sia dagli

sbalzi di temperatura e dai conseguenti pericoli di gelività, perché poste sotto lo strato coibente, sia dall'azione dei raggi solari, per gli stessi motivi. Godono quindi di una ben maggiore longevità, pur essendo generalmente prive delle protezioni superficiali caratteristiche delle membrane per copertura. Vengono poste in opera a caldo, mediante sfiammatura sia rispetto al supporto sul quale sono posate, sia rispetto alla giunzione sui bordi, che avviene per sormonto, normalmente di una decina di centimetri.

7.2.2 Membrane plastiche

Sono sempre prodotti in forma di rotoli o teli, di larghezze standard, che vengono posti in opera mediante incollaggi a caldo, generalmente con pistole termiche ad aria. Il materiale di cui sono costituiti è plastico, generalmente PVC (Cloruro di polivinile).

Il loro utilizzo come barriera al vapore è piuttosto limitato, rispetto alle membrane bituminose: infatti la maggiore resistenza ai raggi solari che viene loro attribuita è in questo caso inutile, e di contro il loro costo è generalmente superiore.

7.3 Applicazione di uno strato traspirante

Un'alternativa più recente ai prodotti da barriera al vapore è costituita dalle membrane traspiranti. Questi prodotti, offerti comunemente sotto forma di telo in rotoli, hanno la capacità di lasciar passare l'aria, e quindi il vapore acqueo in essa contenuto, ma di trattenere i liquidi, e quindi l'acqua.

Il loro utilizzo si basa quindi su una logica di funzionamento completamente diversa da quella della barriera al vapore. Si consente infatti all'aria umida interna di attraversare questo strato, e successivamente la coibentazione, ma si impedisce alla condensa di scendere all'interno.

Manto metallico con strato traspirante al di sotto



Il vantaggio principale di questa soluzione consiste nel fatto che, in questo modo, è possibile smaltire l'eccesso di vapore acqueo presente nell'edificio, risultante ad esempio dalla presenza di ambienti

particolarmente onerosi in questo senso, come i bagni e le cucine, oppure dalla presenza di particolari processi produttivi.

Di contro, va rilevato che, non essendo impedita l'effettiva trasformazione in condensa del vapore acqueo che attraversa lo strato traspirante, questa si può effettivamente produrre, e le conseguenze principali sono di due ordini:

- **La condensa può impregnare la coibentazione, qualora questa non sia impermeabile**, (tipicamente lana di roccia o lana di vetro) compromettendone in varia misura l'efficacia, sia temporaneamente (fino ad avvenuta asciugatura) sia in modo definitivo, se presente in quantità tale da compattare le fibre, eliminando gli interstizi che conferiscono al materiale coibente la gran parte delle sue caratteristiche

- **La condensa scorre comunque sulla faccia esterna dello strato traspirante**, ovviamente nella direzione della pendenza, ed è quindi necessario prevedere uno sbocco a valle che sia innocuo per gli elementi della copertura; una soluzione tipica consiste nel lasciare che il bordo a valle dello strato traspirante sbocchi direttamente in gronda, in modo da scaricare la condensa in arrivo. Buona norma inoltre è verificare che gli elementi trasversali del pacchetto, tipicamente gli arcarecci, non costituiscano ostacolo al predetto scorrimento, generando zone di accumulo quasi certamente

nocive, in special modo se gli arcarecci stessi sono in legno.

La logica di funzionamento dello strato traspirante, permette di realizzare giunzioni a semplice sovrapposizione, purché trasversali alla pendenza e con sormonto nel giusto verso dello scorrimento, poiché la giunzione stessa deve essere ostacolo unicamente al passaggio d'acqua da sopra, mentre può lasciare passare il vapore dall'interno.

L'utilizzo delle membrane traspiranti sta avendo un deciso incremento, poiché questi prodotti vengono visti come una soluzione ambivalente, capace di proteggere il solaio di copertura dell'edificio dalla formazione di condensa, e nello stesso tempo di permettere alla struttura stessa del solaio di "traspirare", liberandosi dell'eccesso di vapore acqueo. Come ogni soluzione, tuttavia, anche questa va valutata realisticamente, e ne vanno quindi soppesati i vantaggi concreti. Ci si può chiedere ad esempio quanto effettivamente una parete in laterizio lascia passare il vapore acqueo attraverso il proprio spessore.

Esiste una grandezza chiamata permeabilità al vapore, definita come "la quantità di vapore in kg, che attraversa una superficie di un metro quadrato di materiale, per lo spessore di un metro dello stesso materiale, e per una differenza unitaria di pressione del vapore tra un lato e l'altro".

Per il laterizio forato questa permeabilità ha il valore medio di:

$$m = 0,0000000003725 \text{ kg}/(\text{Pa s m})$$

che possiamo trasformare in un valore orario di:

$$mh = 0,0000000003725 \times 3600 = 0,000001341 \text{ kg}/(\text{Pa h m})$$

Facciamo ora un esempio, mediante un calcolo semplificato, per una parete in laterizio forato di spessore $h = 25 \text{ cm}$ che separa un ambiente inter-

no da uno esterno, con le seguenti caratteristiche, rappresentative di una situazione invernale alle nostre latitudini:

	Temperatura	Umidità relativa	Contenuto di umidità	Pressione [Pa]
Interno	+18 °C	70 %	9,0 gr/kg aria secca	2061 Pa
Esterno	+5 °C	85 %	4,5 gr/kg aria secca	871 Pa

La differenza di pressione di vapore è pari a:

$$2061 - 871 = 1190 \text{ Pa}$$

La parete delimita un ambiente chiuso con dimensioni in pianta 10 x 10 m ed altezza 6 m, per cui la superficie di scambio sarà:

$$S = 10 \times 4 \times 6 \text{ (pareti)} + 10 \times 10 \text{ (soffitto)} = 340 \text{ m}^2$$

Il flusso orario totale di vapore acqueo scambiato con l'esterno si potrà valutare in:

$$\begin{aligned} Q_{vap} &= m \times p \times S/h = \\ 0,0000001341 \text{ kg/(Pa h m)} &\times 1190 \text{ Pa} \times 340 \text{ m}^2/0,25\text{m} \\ &= 0,217 \text{ kg/h} \end{aligned}$$

A fronte di questa capacità, abbiamo una produzione media, come valutata precedentemente, di 0,39 kg/h, quindi paragonabile ma superiore.

Dobbiamo anche aggiungere che, in realtà, la capacità "traspirante" delle pareti, così come l'abbiamo approssimata, è nella realtà ulteriormente diminuita dalla presenza degli intonaci interni ed esterni, oltre che dalla quota di superficie occupata dai serramenti.

Possiamo ragionevolmente pensare che una buona parte del vapore prodotto mediamente all'interno di un'abitazione, se non viene smaltito all'esterno mediante sistemi di ventilazione attiva, oppure col vecchio metodo di aprire le finestre in alcune ore del giorno, sarà piuttosto assorbito dal materiale stesso che costituisce le murature.

Da qui potrà essere di nuovo ceduto all'ambiente interno o esterno qualora la differenza di pressione di vapore con l'ambiente sia positiva.

Si può trarre la conclusione che, se il vapore acqueo come tale viene in buona parte assorbito dalle murature e dai solai piuttosto che ceduto totalmente all'ambiente esterno, continuerà ad avere grande importanza impedirne la trasformazione in acqua, trattenendolo all'interno rispetto allo strato di coibentazione, anche se apparirebbe in linea di principio corretto impedirne l'accumulo all'interno dell'ambiente.

7.3.1 Protezione del coibente da condensa sotto manto

Finora si è parlato di possibile formazione di condensa derivante da vapore acqueo proveniente dall'interno dell'edificio, però esiste un'altra eventualità, piuttosto frequente; è quella connessa alla presenza di aria umida all'interno del pacchetto stesso di copertura, sotto il manto metallico.

Il fenomeno è legato principalmente all'irraggiamento notturno, ovvero al raffreddamento che il metallo del manto subisce di notte in condizioni di cielo sereno.

Il metallo raggiunge temperature abbastanza basse da provocare la condensazione dell'aria che si trova all'interno del pacchetto sulla propria superficie interna.

Quest'acqua, qualora il pacchetto di copertura sia ventilato, viene sostituita da altra aria umida proveniente dall'esterno, in quanto, dopo la condensazione, possiede una minore pressione di vapore, ed il fenomeno prosegue.

L'acqua di condensazione non può che gocciolare sullo strato sottostante, che in genere è costituito

Esempio di condensa al di sotto del manto di copertura



dalla coibentazione; se questa non è idrofuga, viene attraversata dall'acqua, bagnandosi, con le conseguenze del caso.

È quindi opportuno proteggere da questa evenienza tutto ciò che sta sotto il manto di copertura, e l'applicazione di uno strato traspirante ma impermeabile che raccolga quest'acqua e la trasporti direttamente in gronda appare come una soluzione valida allo scopo.

Questa barriera può anche essere vista come protezione da eventuali infiltrazioni dal manto.

Ad esempio in condizioni di forte innevamento per un tempo prolungato, nel momento in cui inizia lo scioglimento della neve, sull'estradosso del manto di copertura si possono formare sacche di acqua al di sotto dello strato di neve, che non trovano via di scarico a valle per cui esiste la possibilità di un passaggio di acqua attraverso le sovrapposizioni

trasversali e longitudinali tra le lastre, senza contare l'eventualità di guarnizioni difettose o comunque non più efficienti a carico dei fissaggi.

La stessa situazione di rischio si può verificare anche in concomitanza con forti grandinate, nelle quali tuttavia il tempo di scioglimento è molto più breve, ed i rischi connessi più limitati.

Va da sé che l'utilità di questo tipo di protezione sottomanto è evidente anche nel deprecabile caso in cui la copertura soffra di infiltrazioni dovute a difetti intrinseci, di materiale e/o di montaggio, oppure al naturale invecchiamento dell'insieme, se accompagnato da scarsa o inesistente ordinaria manutenzione, cosa quest'ultima purtroppo piuttosto frequente.

Capitolo 8

*Componenti per
l'illuminazione naturale*

Limitandosi qui alle componenti installabili in copertura, potremo innanzitutto distinguere i componenti per l'illuminazione naturale, dal punto di vista morfologico, **in tre tipologie:**

- gli elementi trasparenti che si trovano sullo stesso piano delle falde
- i corpi trasparenti che emergono dalle falde
- le parti trasparenti che fanno parte di corpi emergenti opachi.

Dal punto di vista della resistenza termica, invece, va fatta una distinzione in base al tipo di parete trasparente dalla quale sono costituiti. Le forme più semplici, dette monolitiche, prevedono un semplice strato del materiale utilizzato, e sono caratterizzate da modesti valori di resistenza termica, certamente non paragonabili a quelli di un pacchetto dotato di coibentazione.

Esistono poi le forme composte, a pacchetto, che possono essere costituite dall'insieme di uno strato esterno ed uno interno, tra i quali, con lo stesso principio dei vetrocamera, viene imprigionato e sigillato uno strato di aria secca che funge da

strato coibente. Questa soluzione viene realizzata mediante due manufatti stampati a caldo, e successivamente accoppiati in produzione, in modo da formare un prodotto unico, dei quali l'esterno di maggior spessore, in modo da conferirgli una sufficiente resistenza agli agenti atmosferici, ed in particolare, fino ad un certo limite, all'impatto della grandine. Lo strato esterno possiede inoltre, ormai in tutti i prodotti moderni, una protezione contro l'effetto dei raggi UV, ai quali le materie plastiche sono sempre sensibili.

Un'altra forma tecnologica per la realizzazione di elementi trasparenti dotati di resistenza termica è costituita dagli alveolari estrusi.

In questo caso il prodotto viene ottenuto in un pezzo unico direttamente per estrusione del materiale di base, realizzando un insieme costituito da strati paralleli di modesto spessore uniti da setti verticali tra loro equidistanti.

Si ottiene così una serie di camere parallele vuote, a forma di canale, comprese tra i setti e gli strati. Queste camere d'aria nelle prime realizzazioni venivano rese stagne tappando le aperture alle

Lucernari apribili motorizzati



estremità con opportuni nastri sigillanti o silicone, in modo da renderle stagne e riprodurre l'effetto del vetrocamera. Questa operazione poteva essere eseguita sia a fine produzione che in cantiere, per cui gli esiti, dal punto di vista della tenuta nel tempo all'aria ed all'umidità, potevano essere variabili.

Nei prodotti recenti la sigillatura può essere fatta in modo molto più affidabile e duraturo in sede di produzione, sigillando a caldo le estremità del pannello. Il miglioramento dell'affidabilità nel

tempo del prodotto è in questo caso nettissimo, a patto che in opera la lunghezza dei pannelli non debba essere modificata, il che obbligherebbe a tagliare una delle estremità, asportandone la sigillatura di testata.

In quest'ultimo caso si dovrebbe ricorrere successivamente alla sigillatura del taglio eseguito con i metodi già citati.

8.1 Elementi trasparenti in falda

Questi elementi trasparenti sono costituiti da prodotti accoppiabili a quelli del manto in modo da non creare sporgenze rispetto ad esso, preservando nello stesso tempo localmente la tenuta idraulica e più in generale le altre caratteristiche del manto.

La soluzione più diffusa consiste in una lastra trasparente dal profilo accoppiabile almeno lateralmente a quello delle lastre metalliche e, se non posata a tutta lunghezza di falda (da colmo a gronda) accoppiabile anche a monte ed a valle, quindi in pratica con lo stesso profilo.

Possono essere posate in sequenza formando una o più strisce trasversalmente parallelamente alla pendenza, oppure, mediante l'uso di pezzi speciali, possono essere posate a cavallo dei colmi.

Questo tipo di lucernario a filo falda sostituisce localmente il manto metallico, non l'intero pacchetto di copertura, per cui si pone spesso il problema di realizzare anche la restante parte del

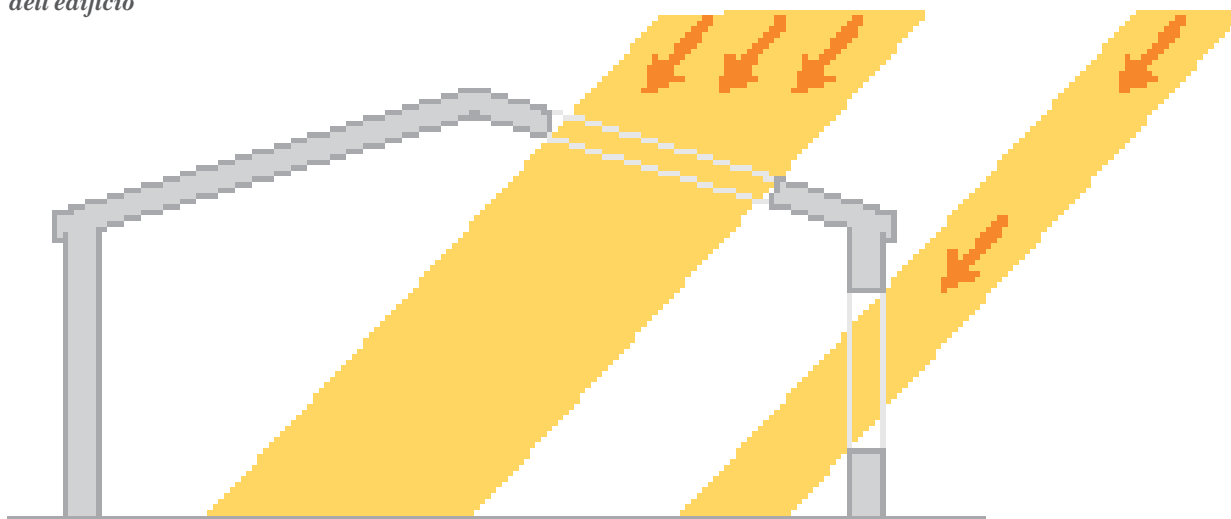
pacchetto con materiale trasparente, e di mantenere il grado di isolamento termico posseduto dal pacchetto di copertura opaco.

Per fare ciò si ricorre spesso ad un controlucernario, ovvero ad uno strato di materiale trasparente, spesso realizzato con un estruso alveolare, posato in corrispondenza del filo interno del solaio di copertura, in modo da creare una camera di spessore corrispondente a quella del pacchetto.

Tale camera, nella quale è contenuta aria in quiete, dovrebbe ripristinare in gran parte il valore di resistenza termica del pacchetto di copertura; il controlucernario, dal canto suo, se costituito da materiale alveolare, dovrebbe impedire la formazione di condensa sulla sua superficie esterna.

È comunque consigliabile, specie in situazioni ed applicazioni critiche, effettuare una verifica termo-igrometrica della soluzione proposta, per assicurarsi della sua reale efficacia.

La disposizione degli elementi trasparenti in falda incide notevolmente sull'illuminazione globale dell'edificio



Particolare attenzione va posta nella sovrapposizione trasversale tra questi elementi trasparenti e le lastre metalliche di copertura. Infatti lo spessore dei trasparenti è sempre maggiore di quello del metallo, mentre la rigidità del materiale è nettamente inferiore.

Il concorso di questi due fattori genera un accoppiamento tra i due materiali che presenta un'aderenza decisamente inferiore rispetto all'accoppiamento metallo-metallo.

Questo fatto può portare al pericolo di infiltrazioni d'acqua per effetto del fenomeno della capillarità, essenzialmente su modeste pendenze, ma già

dell'ordine del 10%, che è un valore comunissimo per coperture di edifici produttivi.

L'acqua, a causa dello spazio pur ridotto a qualche decimo di millimetro tra la lastra superiore e quella inferiore, può risalire anche per dieci/quindici centimetri, su pendenze del 10%, arrivando a superare il bordo a monte della lastra inferiore, e quindi a percolare all'interno.

Per evitare il fenomeno è uso comune interporre una guarnizione morbida (a cellule chiuse) tra le due superfici, in modo da chiudere totalmente lo spazio di sovrapposizione e fermare così il fenomeno della capillarità.

Interposizione di guarnizione a cellule chiuse tra elementi traslucidi



I VANTAGGI DEI LUCERNARI A FILO FALDA SONO ESSENZIALMENTE I SEGUENTI:

- Non ostacolano in alcun modo il deflusso d'acqua sulle falde, e quindi non richiedono lattuonerie di contorno e di finitura, o in genere particolari precauzioni, tranne quelle già citate, per la loro applicazione.
- Non modificano architettonicamente l'andamento delle falde, non creano sporgenze sull'edificio, sono scarsamente visibili dall'esterno e dal basso.
- Rappresentano generalmente la soluzione meno costosa per realizzare superfici trasparenti, a parità di materiale adottato.

La normativa in materia di anticaduta impone l'utilizzo di sistemi anticaduta



DI CONTRO, PRESENTANO ALCUNI SVANTAGGI:

- Hanno un limite applicativo nella pendenza delle falde, a causa del sormonto a filo del piano falda.
- Devono obbligatoriamente seguire l'orientazione delle falde su cui sono applicati, e quindi non possono essere orientati in funzione del maggiore o minore irraggiamento solare desiderato.
- Costituiscono un potenziale pericolo per l'eventuale pedonamento della copertura. Infatti, essendo a filo con il manto, possono essere scarsamente visibili in certe condizioni di illuminazione, soprattutto per operatori di altro settore che abbiano necessità di accedere alla copertura.

Nella grande maggioranza dei casi infatti questo tipo di prodotti non è pensato per sostenere il peso di una persona senza subire una notevole deformazione o peggio la rottura. È pertanto altamente consigliabile dotare questo tipo di installazioni di una rete anticaduta posta a livello del controlucernario, in modo da limitare le conseguenze di un tale evento ai danni nei confronti del materiale, ed escludere il pericolo di caduta attraverso il foro.
(Vedi foto pagina precedente)

8.2 Lucernari emergenti

I lucernari emergenti sono superfici trasparenti disposte in varie posizioni sulla copertura e caratterizzate dal fatto di essere sopraelevate rispetto ai piani delle falde. Possono avere varie forme in pianta, ma generalmente sono quadrati, rettangolari o tondi.

La sopraelevazione rispetto al piano di falda viene ottenuta mediante basamenti di supporto che presentano al bordo superiore la stessa forma in pianta della superficie trasparente che devono accogliere, tenendo conto dell'opportuno bordo di appoggio e di fissaggio. Inferiormente possono copiare la pendenza della falda sulla quale devono essere posati, con l'inclinazione adatta a porre il lucernario soprastante in orizzontale, oppure senza inclinazione, ponendo il lucernario parallelo al piano di falda, oppure ancora presentare la doppia pendenza simmetrica qualora vengano applicati a cavallo di un colmo. I basamenti devono avere le caratteristiche di resistenza meccanica sufficienti a sopportare il peso del lucernario che, a meno che non venga realizzato in vetro, è piuttosto contenuto, ma soprattutto devono garantire la tenuta idraulica dell'intero corpo emergente.

Da questo punto di vista possono essere distinti in due tipologie costruttive.

La prima è quella dei basamenti, in genere metallici, realizzati ad esempio con pezzi pressopiegati in lamiera d'acciaio zincato, che svolgono la funzione vera e propria di supporto, completati poi da un'adeguata coibentazione, e da opportune scossaline di tenuta idraulica e di finitura, realizzate con metallo uguale o compatibile con quello del manto di copertura, che assicurano la tenuta idraulica.

Queste scossaline possono assumere conformazioni diverse a seconda della posizione rispetto alla falda in cui si trova il lucernario. Per un lucernario posto in prossimità del colmo, è più conveniente realizzare un vassoio con larghezza maggiore di quella del

lucernario (in senso trasversale alla pendenza) che, partendo da sotto il colmo, abbracci il lucernario stesso, proseguendo a valle per una lunghezza opportuna in funzione della pendenza (almeno 25 centimetri), e si raccordi a tenuta con una fascia di rivestimento perimetrale dei fianchi del lucernario stesso.

Per un lucernario posto in prossimità della gronda, è invece più opportuno realizzare al di sotto del manto di copertura un canale di raccolta dell'acqua conformato a ferro di cavallo che, partendo dietro il lato a monte del lucernario e proseguendo a valle lungo i fianchi, raccolga l'acqua e la trasferisca direttamente nel canale di gronda.

Onde evitare ponti termici è fondamentale coibentare il basamento



Questo canale andrà completato con le scossaline di raccordo sui fianchi del lucernario, che saranno a sovrapposizione e non rigidamente collegate.

A valle del lucernario il manto di copertura potrà proseguire, nascondendo il canale a ferro di cavallo, oppure, nel caso la distanza dalla gronda sia modesta, potrà essere realizzato un'unica vasca di raccolta che comprende il lucernario e finisce nel canale di gronda.

La seconda categoria è quella dei basamenti dotati a monte, a valle ed ai fianchi di margini di adattamento al manto circostante.

Questi margini sono integrati nel basamento, formando un tutto unico, e sono conformati (in genere mediante stampaggio o termoformatura) in modo da accoppiarsi nel modo più fedele possibile al tipo di manto circostante, quindi con le stesse sagome di profili. Il tipo di applicazione è molto pulito e lineare, e rende nella maggior parte dei casi più semplice il lavoro degli applicatori. Va posta comunque attenzione al deflusso dell'acqua nella parte a monte del lucernario, assicurandosi che la lastra di manto a monte del basamento abbia sufficiente sormonto rispetto alla corrispondente parte integrale al basamento.

Questo tipo di basamenti, realizzato nello stesso metallo del manto oppure in materiale plastico come vetroresina, deve comunque essere del tipo adatto al prodotto utilizzato per il manto per poter funzionare correttamente.

Inoltre la sua collocazione sul manto e la posizione relativa con altri basamenti simili non è del tutto libera, ma deve tenere conto dell'interasse delle greche o delle onde del prodotto di manto, sia in senso trasversale che parallelo alla pendenza.

A fronte di un costo in genere più elevato rispetto ai lucernari a filo con le falde, i lucernari emergenti costituiscono una soluzione irrinunciabile qualora si debba rispettare una configurazione di progetto, o una situazione preesistente che prevede la collocazione di superfici trasparenti in punti precisi rispetto alla disposizione degli ambienti interni dell'edificio, e non necessariamente legati alla conformazione delle falde di copertura.

La loro applicazione richiede tuttavia una maggiore cura ed una adeguata progettazione, con particolare riguardo al sistema di lattonerie che li rende a tenuta d'acqua, poiché la loro presenza sulla falda costituisce sempre un potenziale ostacolo al libero deflusso dell'acqua.

La loro presenza è inoltre chiaramente avvertibile dal punto di vista architettonico, e pertanto questo aspetto deve essere tenuto in debita considerazione. Il problema della loro resistenza ad un eventuale pedonamento, benché reale, è meno insidioso, proprio perché la loro presenza è immediatamente percepibile, ed inoltre perché il piano al quale si trova la parte trasparente è in genere abbastanza alto rispetto al manto da rendere improbabile un pedonamento involontario.

Anche i lucernari emergenti possono essere dotati di un'opportuna rete di sicurezza anticaduta al loro interno, in genere al livello del bordo inferiore del basamento. Questa rete, anzi, assume spesso la valenza di elemento anti-intrusione.

Esempio di elemento base lucernario in vetroresina



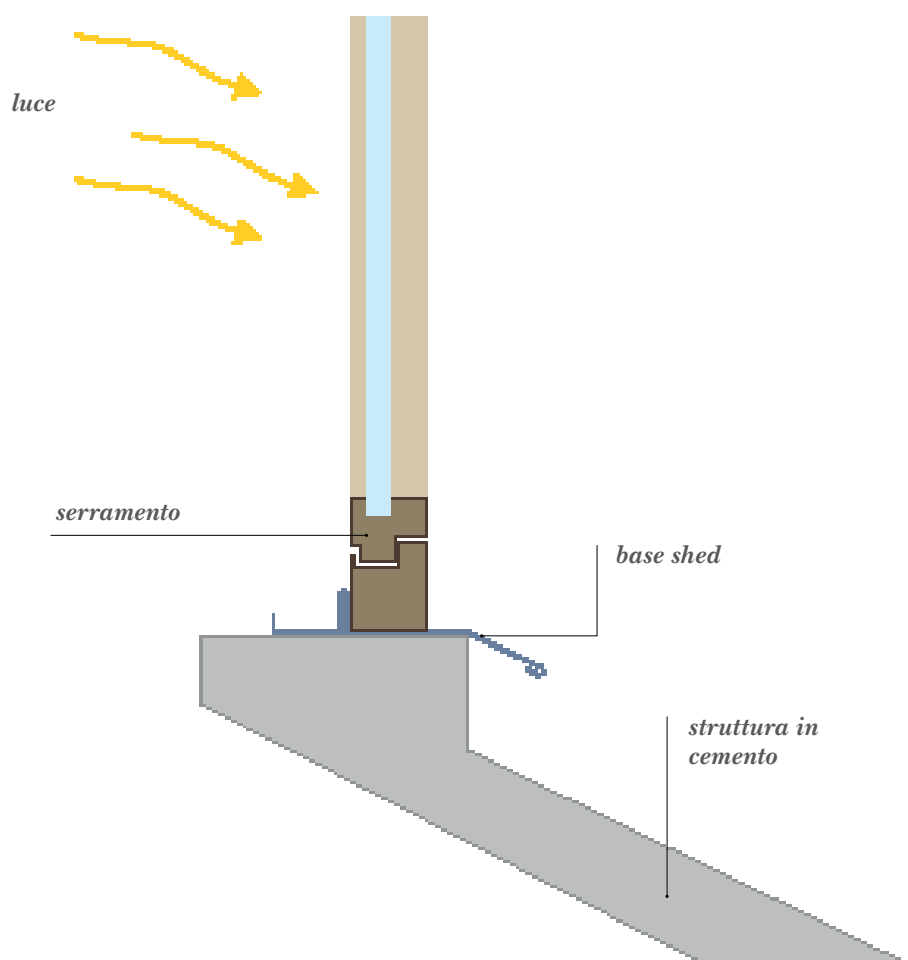
8.3 Serramenti

I serramenti sono costituiti da telai, oggi generalmente realizzati con profili estrusi in alluminio, anche se raramente si utilizzano ancora profili in acciaio, o telai in legno, oppure in alluminio per la parte esterna e legno per quella interna.

Il telaio porta le sedi per contenere la parte trasparente, che può essere costituita da una lastra in vetro, massiccio o vetrocamera, oppure da una lastra in materiale plastico trasparente, massiccia o alveolare.

Il serramento in copertura viene generalmente utilizzato per ottenere superfici trasparenti in corrispondenza di corpi emergenti opachi. L'esempio più comune di questa applicazione consiste nella struttura a shed.

Lo shed ha lo scopo principale di creare una superficie di ingresso della luce in un edificio, generalmente di dimensioni in pianta troppo ampie per assicurare una sufficiente ed uniforme illuminazione mediante finestre perimetrali.



**Sezione tipo
serramento su
elemento
prefabbricato**

Si possono quindi distribuire opportunamente sulla copertura più file di shed, in modo da ottenere questa uniformità.

La parte trasparente dello shed, il serramento appunto, è orientato generalmente il più possibile a nord, in modo da permettere il passaggio della luce ma non dei raggi solari diretti. Infatti la notevole superficie trasparente causerebbe in caso contrario, specie nella stagione estiva, un eccessivo riscaldamento dell'ambiente interno.

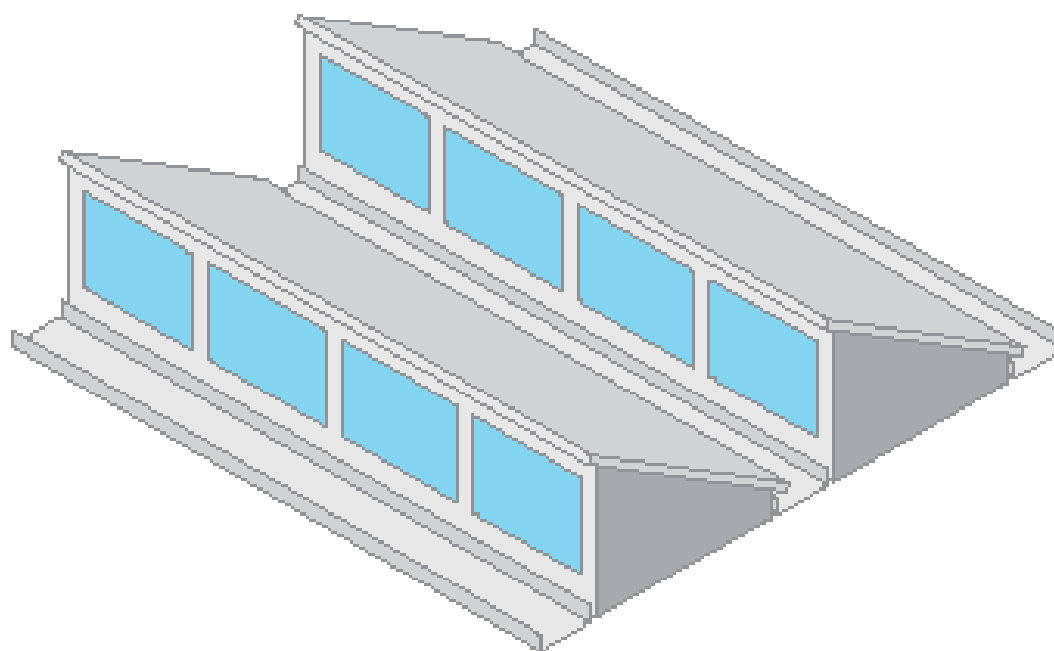
I serramenti degli shed possono essere orientati verticalmente o moderatamente inclinati rispetto alla

verticale, allo scopo di aumentare la quantità di luce entrante. *(Vedi disegno sotto)*

Particolarmente in quest'ultimo caso, va posta attenzione al modo in cui le lattonerie di contorno di ogni finestratura vengono realizzate.

Infatti a differenza dei lucernari emergenti, nei quali la copertura trasparente è sovrapposta al telaio sottostante ed alle relative lattonerie, l'unione tra i telai dei serramenti e le relative lattonerie di contorno è esposta direttamente all'azione dell'acqua.

Esempio di struttura a shed



8.4 Materiali

Fino alla metà del secolo scorso il vetro costituiva l'unica possibilità di realizzare superfici trasparenti in edifici.

L'unica importante variante, emersa in tempi più recenti, è costituita dal vetrocamera che, pur apportando un decisivo progresso in termini di isolamento termico, utilizza pur sempre lo stesso materiale di base.

Lo svantaggio principale del vetro, a parte il costo, risiede nel peso specifico elevato, che ne rende più complesso l'utilizzo in copertura, specie in posizione suborizzontale e su luci di appoggio elevate.

L'alternativa nasce inizialmente con la vetroresina, che viene utilizzata principalmente come lucernario a filo falda, in accoppiata con i manti in fibrocemento prima, e con i manti metallici poi.

La vetroresina è un materiale formato da due componenti: la prima è una resina plastica, in genere poliestere, vinilestere o epossidica. Questa resina, che costituisce la parte trasparente del prodotto, ha inizialmente la consistenza di un liquido molto denso, e solidifica sotto l'azione di un catalizzatore chimico. La seconda componente è la fibra di vetro, che conferisce al prodotto le sue caratteristiche di resistenza meccanica, e che viene annegata nella resina durante il processo produttivo.

La vetroresina è stata ed è tuttora ampiamente utilizzata, oltre che per il suo costo relativamente moderato, per la sua insensibilità agli agenti atmosferici. Purtroppo il materiale non è altrettanto resistente all'azione dei raggi solari. D'altro canto, dovendo rimanere trasparente, non può essere protetto con vernici, ma solo, eventualmente, con film plastici di protezione che, essendo a loro volta trasparenti, non costituiscono una barriera assoluta.

Va inoltre rimarcato che la vetroresina non possiede la trasparenza del vetro, per cui lascia passare solo una parte della luce incidente.

Successivamente fu introdotto il **polimetimetacrilato (PMMA)**, una materia plastica costituita da polimeri (macromolecole) di metacrilato di metile, dotata di un peso specifico di 1,19 kg/dm³, circa la metà del vetro.

Il PMMA, anche noto con alcuni nomi commerciali come Plexiglass o Perspex, esiste sul mercato dal 1933, ma il suo utilizzo in Italia nel settore delle coperture è molto più recente.

La sua principale caratteristica è la trasparenza, maggiore di quella del vetro. Va rimarcato inoltre che il PMMA, al contrario del vetro, è trasparente anche alle radiazioni UV, per cui ha bisogno di adatte pellicole di protezione.

Il PMMA è infrangibile, ma è anche sensibile a graffi ed abrasioni. Può essere termoformato già a temperature sui 100 °C, ed inizia a bruciare intorno ai 460 °C, colando senza generare sostanze particolarmente nocive.

La produzione di elementi compositi, come i lucernari a doppia parete, è possibile anche mediante incollaggio a freddo delle due parti con adesivi cianoacrilici o scioglimento delle parti a contatto con un solvente come il diclorometano.

Uno degli utilizzi più comuni e visibili del PMMA è quello dei fanali posteriori dei veicoli.

Il terzo materiale plastico di rilevante importanza nel settore delle coperture è il **policarbonato**, un altro polimero la cui invenzione risale agli anni trenta del secolo scorso, ma che ha visto una diffusione commerciale solo a partire dagli anni sessanta.

Chimicamente si tratta di un poliestere dell'acido carbonico, ma la sua versione trasparente è il policarbonato di bisfenolo A.

Il policarbonato presenta una trasparenza equivalente a quella del vetro per la luce visibile (89% del intero spettro), ma assorbe le radiazioni UV, per cui

va protetto con adatte pellicole oppure stabilizzato con additivi come i benzotriazoli.

La caratteristica forse più interessante del policarbonato è la sua resistenza meccanica e la sua tenacità, che permettono la realizzazione, a parità di spessore, di lucernari con altissima resistenza meccanica rispetto, ad esempio, agli effetti della grandine.

Il policarbonato è abbastanza facilmente lavorabile per estrusione e per stampaggio, ma a temperature superiori a quelle del PMMA, intorno ai 300 °C.

Uno dei marchi commerciali più noti per il policarbonato trasparente è il Lexan, brevettato dalla General Electric nel 1955 e scoperto, pare casualmente, dal chimico Daniel Fox nel 1953.

Il Lexan è una forma di policarbonato dalle altissime caratteristiche di resistenza meccanica e durabilità, tanto da essere stato impiegato per la capottine di turbogetti ad alte prestazioni.

Per alti spessori può essere utilizzato come schermo antiproiettile, e nel campo delle coperture permette la realizzazione di lucernari pedonabili che si deformano senza arrivare allo sfondamento.

Il policarbonato possiede un'elevata resistenza meccanica



Il policarbonato possiede inoltre una buona resistenza a varie sostanze, come gli oli, la benzina, gli idrocarburi alifatici, agli alcoli (tranne l'alcool metilico). Uno degli utilizzi più comuni del policarbonato è quello dei dischi a lettura laser (CD e DVD).

A margine, ma non certo ultima, di tutte le considerazioni che è possibile fare a riguardo dell'uso

di materiali plastici in sostituzione del vetro, oltre alla leggerezza, è la possibilità di ottenere con ben più grande facilità ed economia superfici curve.

Questo permette una grande libertà costruttiva, e la realizzazione di forme architettoniche altrimenti ottenibili a ben altri costi.

Il policarbonato permette di realizzare anche elementi grecati curvi



Capitolo 9

*Componenti per la ventilazione,
il ricambio e l'espulsione*

9.1 Aperture in copertura

Nella consuetudine, la ventilazione naturale degli ambienti interni di un edificio è affidata alle finestre esistenti nelle pareti perimetrali.

Questo tipo di ventilazione tuttavia non rappresenta la soluzione più razionale ai fini del ricambio d'aria nell'edificio.

Infatti il ricambio stesso può avvenire unicamente se il flusso entrante dalle finestre sul lato sopravvento dell'edificio ha la possibilità di sostituire un analogo flusso uscente dalle finestre sul lato sottovento. L'assenza di vento rende quindi impossibile di fatto il verificarsi del ricambio.

Inoltre, qualora l'edificio possieda grandi dimensioni in pianta, e sia suddiviso da partizioni interne, l'efficacia di questo tipo di ventilazione diminuisce ulteriormente.

Un deciso miglioramento della ventilazione può essere ottenuto invece posizionando le relative aperture di uscita sulla copertura.

Infatti esiste il fenomeno della convezione naturale dell'aria calda presente nell'edificio, che tende a salire verso l'interno della copertura, poiché ha minore densità.

Quest'aria, in presenza di un' adeguata distribuzione di aperture sulla copertura stessa, può uscire ed essere sostituita da aria più fresca pro-

veniente dall'esterno, ed entrante dal perimetro a livello del terreno.

Il fenomeno della convezione fa sì che non vi sia bisogno di una significativa presenza di vento ai fini del ricambio d'aria, e questo è tanto più vantaggioso se si pensa che, le condizioni in cui più comunemente si sente il bisogno di ricambio d'aria, ovvero nella stagione calda, sono le stesse nelle quali è più facile che il vento manchi del tutto. Un buon esempio di queste condizioni è la Pianura Padana. Le dimensioni in pianta dell'edificio inoltre non costituiscono più un problema per l'efficacia della ventilazione, a patto che le uscite d'aria in copertura siano opportunamente dimensionate e distribuite.

Va da sé che la possibilità di ventilare la copertura dipende dal fatto che l'edificio sia a piano unico, e che non sia già raffrescato mediante condizionamento.

Di fatto la grande maggioranza degli edifici per attività produttive o di stoccaggio presenta caratteristiche adatte a questa soluzione, poiché si caratterizza per dimensioni in pianta medio-grandi, piano unico, ambienti interni poco o per nulla partizionati, scarsa possibilità di condizionamento estivo.

**Corpi emergenti in
copertura possono
garantire un adeguato
ricambio d'aria**



9.2 Lucernari e serramenti apribili

La realizzazione di aperture sul manto di copertura può avvenire essenzialmente in due modi.

La prima modalità riguarda i manti di copertura a falde sia a bassa che ad alta pendenza. Su questi manti è necessario prevedere un bordo di sicurezza tra il piano della falda ed il piano nel quale si trova l'apertura, in modo da evitare l'ingresso d'acqua meteorica a monte dell'apertura stessa.

Il lucernario apribile prenderà quindi la forma di un basamento di rialzo rispetto al piano di falda, sul quale verrà posizionato un telaio incernierato ed apribile nelle modalità desiderate (a mano, mediante comando meccanico dall'interno, elettrico mediante attuatore a braccetto, a cremagliera od altro).

La parte incernierata ed apribile del telaio potrà portare un pannello trasparente in vetro, polimetilmetacrilato, policarbonato, vetroresina, oppure una chiusura opaca, ad esempio realizzata con pannelli monolitici.

La seconda modalità riguarda le coperture a shed, nelle quali si scelga di dotare una porzione delle finestrate della possibilità di apertura.

In questo caso si potrà incernierare ogni parte apribile in corrispondenza del bordo alto, con apertura verso l'esterno dell'edificio (a sporgere), oppure in corrispondenza del bordo basso, con apertura verso l'interno dell'edificio (wasistas).

La scelta tra queste due possibilità, a meno di vincoli specifici, è dettata più dalla necessità di evitare gocciolamenti all'interno dell'edificio in caso di pioggia a serramento aperto, che da sostanziali differenze di efficacia di ventilazione, che dipendono ben più dalla quantità e distribuzione delle finestrate, dalla quota alla quale sono poste rispetto al terreno, e dalla superficie delle entrate d'aria.

**Lucernario apribile
su manto di
copertura greco**



9.3 Estrattori d'aria

9.3.1 Estrattori d'aria a convezione naturale

Gli estrattori d'aria hanno, come i lucernari ed i serramenti, il compito di espellere aria dall'interno dell'edificio attraverso la copertura.

La loro funzione è tuttavia legata alla necessità di trattare zone particolari dell'edificio, nelle quali la qualità dell'aria può essere scadente, oppure caratterizzata da tassi di umidità relativa ritenuti eccessivi.

La conformazione e le dimensioni di questi elementi saranno quindi sostanzialmente diverse, e li faranno assomigliare a tubazioni più che a finestre.

Esempi tipici di questa categoria sono le tubazioni di sfiato per l'esalazione d'aria viziata dagli impianti igienici dell'edificio, o le uscite di ventilazione degli ambienti che ospitano le centrali termiche.

Il loro funzionamento e quindi la loro efficacia sono legati unicamente alla differenza di quota tra il punto di pescaggio ed il punto di emissione dell'aria trattata, oltre che alla temperatura della stessa.

Estrattori d'aria a convezione naturale



9.3.2 Estrattori d'aria forzata

In molti casi esiste la necessità di espellere verso l'ambiente quantità ragguardevoli d'aria interna, e di avere inoltre la garanzia che ciò avvenga su base costante ed uniforme.

In altri casi questa esigenza si presenta per brevi periodi, ma con portate d'aria minime prefissate, e con la possibilità di ottenerle ogni volta si desidera.

La risposta a queste esigenze non può essere trovata negli estrattori naturali, le cui prestazioni sono gratuite ma abbastanza aleatorie, bensì deve essere ottenuta con altri mezzi.

Sono nati così gli **estrattori motorizzati**. Questi dispositivi consistono essenzialmente in un motore, generalmente elettrico, che aziona una ventola, la quale incanala l'aria aspirata dall'interno in un opportuno condotto la cui bocca d'uscita si trova all'esterno della copertura. Il tutto è contenuto in un carter, o scocca, in metallo o plastica, che spesso integra le superfici di raccordo con il manto stesso.

Le ventole di azionamento dell'aria possono essere di vario tipo, radiali o centrifughe, e la gamma disponibile sul mercato permette di ottenere in ogni situazione la portata d'aria necessaria, con valori massimi che superano i quindicimila metri cubi/ora.

L'azionamento di questi estrattori può essere oltre che manuale, automatizzato, asservendolo a centra-

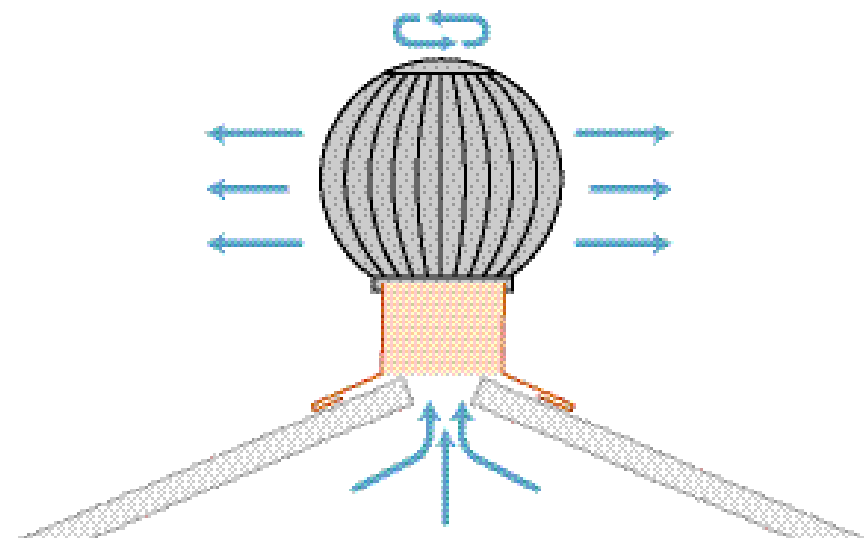
line di controllo della qualità dell'aria interna dell'edificio, che ricevono i dati dagli opportuni sensori in ambiente (temperatura, umidità relativa, presenza di agenti inquinanti). Una categoria particolare, a cavallo tra gli estrattori naturali ed i motorizzati, è quella nata in tempi più recenti degli estrattori eolici.

Si tratta di normali estrattori naturali ai quali è stato aggiunto, nella parte superiore all'esterno, un dispositivo formato da una serie di palette disposte su di una superficie sferica. Queste palette sono conformate in modo tale da essere poste in rotazione dal vento. La loro rotazione, inoltre, genera una depressione all'imboccatura dell'estrattore, che richiama aria dall'interno e la convoglia, attraverso le alette stesse, radialmente verso l'esterno.

L'effetto ottenuto si deve in parte all'effetto aerodinamico, in parte alla forza centrifuga impressa all'aria uscente. Questo genere di prodotti rappresenta una buona soluzione quando le necessità di portata d'aria non siano eccessive, tenendo presente che il suo funzionamento è totalmente gratuito. Le zone ventose sono ovviamente favorite nella scelta.

Le prestazioni promesse dai prodotti in commercio si spingono fino ad una portata di milleseicento metri cubi/ora in presenza di vento a settantacinque chilometri orari.

**Estrattore
d'aria forzata**



9.4 Canne fumarie

Per canne fumarie intendiamo qui tutte le tubazioni emergenti in copertura, attraverso le quali non passi aria a temperature prossime a quella dell'ambiente interno o esterno, bensì fumi o vapori a temperature sensibilmente più alte, oppure sostanze gassose nelle quali l'aria non è prevalente.

Una trattazione dettagliata delle canne fumarie esula dagli scopi di questo libro, e d'altra parte è stata approfonditamente svolta in altra sede (Dimensione camino – G. Carlo e Lara Bertagnoli), per cui ci limiteremo ad esaminare gli aspetti strettamente attinenti la copertura.

Il primo aspetto riguarda la temperatura dei gas trasportati da queste tubazioni. L'esempio tipico, perché il più frequente, è rappresentato dalle canne fumarie delle centrali termiche.

Le ultime generazioni di caldaie a condensazione sono in grado di sfruttare buona parte del calore residuo rimasto nei fumi di combustione, che quindi attraversano la canna fumaria a temperature molto basse.

Inoltre vengono comunemente usate, all'occorrenza, canne fumarie a doppia parete, dotate di un'intercapedine isolante rispetto all'esterno.

Restano tuttavia molti casi, ad esempio quelli relativi a tubazioni esistenti per caminetti, barbecue,



L'aggressività chimica delle sostanze emesse dalle canne fumarie può intaccare il manto metallico

caldaie di vecchia generazione, in cui la tubazione, attraversata da fumi ad alta temperatura, raggiunge a sua volta valori di temperatura elevati.

In questi casi la prima preoccupazione deve essere rivolta non tanto al manto metallico, quanto al pacchetto di copertura sottostante, qualora questo, come sempre più sovente accade, è realizzato in legno.

Bisogna in primo luogo verificare che tutti gli strati del pacchetto di copertura, listelli in legno, tavolato, pannelli di coibentazione se realizzati in materiale non ignifugo ed in generale qualunque elemento combustibile o sensibile al calore sia separato dalla superficie esterna della tubazione almeno di alcuni centimetri, in modo da evitare un pericoloso surriscaldamento.

La separazione deve essere garantita, se occorre, interponendo opportuni distanziali (ovviamente non combustibili né conduttori di calore), in modo da essere sicuri che eventuali vibrazioni, micro movimenti della struttura, o il semplice effetto della gravità in favore di pendenza non avvicino eventuali elementi liberi alla tubazione.

Allo sbocco in copertura della canna fumaria in genere non vi sono problemi, essendo il manto

metallico immune dall'effetto di temperature dell'ordine di 100 °C o meno, ma è bene comunque verificare che nelle immediate vicinanze non vi siano elementi sensibili al calore, come cavi o parti in plastica facenti parte di impianti elettrici (un esempio è rappresentato dalla installazione di insegne luminose in copertura).

Un secondo aspetto da tenere in considerazione è quello attinente la possibile aggressività chimica delle sostanze emesse da queste tubazioni.

Premesso che la natura e la quantità di dette sostanze dovrebbe essere stata a monte oggetto di controllo da parte dei responsabili ai fini della salvaguardia ambientale, una buona dose di sana diffidenza dovrebbe consigliare la verifica della compatibilità del metallo impiegato con i componenti chimici di quanto emesso nelle vicinanze.

Ogni lega o metallo utilizzati nei manti di copertura metallici presenta caratteristiche più o meno spiccate di resistenza alle varie sostanze chimiche, per cui la sua scelta non può prescindere dalla conoscenza della loro natura, della loro quantità di emissione, e vicinanza alle varie parti del manto.

Capitolo 10

*Componenti per il controllo
dell'incendio*

10.1 Evacuatori di fumo e di calore (EFC)

Degli evacuatori di fumo e di calore, dal punto di vista della logica di funzionamento, si è già parlato nel capitolo attinente le caratteristiche di resistenza al fuoco delle coperture, al quale si rimanda.

Vale la pena qui di aggiungere che gli EFC, come prodotti ormai largamente diffusi sul mercato, sono disponibili sia come unità autonome e pilotabili con l'unica funzione di presidio contro la propagazione dei fumi dell'incendio, ma anche come prodotto polivalente.

Infatti la parte apribile dell'evacuatore è quasi sempre costituita da una superficie trasparente, come una lastra o un cupolino in materiale plastico (policarbonato o polimetilacrilato).

Questo permette di utilizzare di fatto l'EFC come lucernario di copertura.

La seconda possibilità è quella legata all'apertura giornaliera.

È noto infatti che l'apertura con funzione di evacuazione è strettamente subordinata al verificarsi dell'evento, o in alternativa in caso di collaudo da parte dei Vigili del Fuoco, o di verifica periodica di corretto funzionamento, e comporta necessariamente la sostituzione delle fialette termosensibili, delle bombolette se presenti, o il ripristino della pressione nell'impianto pneumatico.



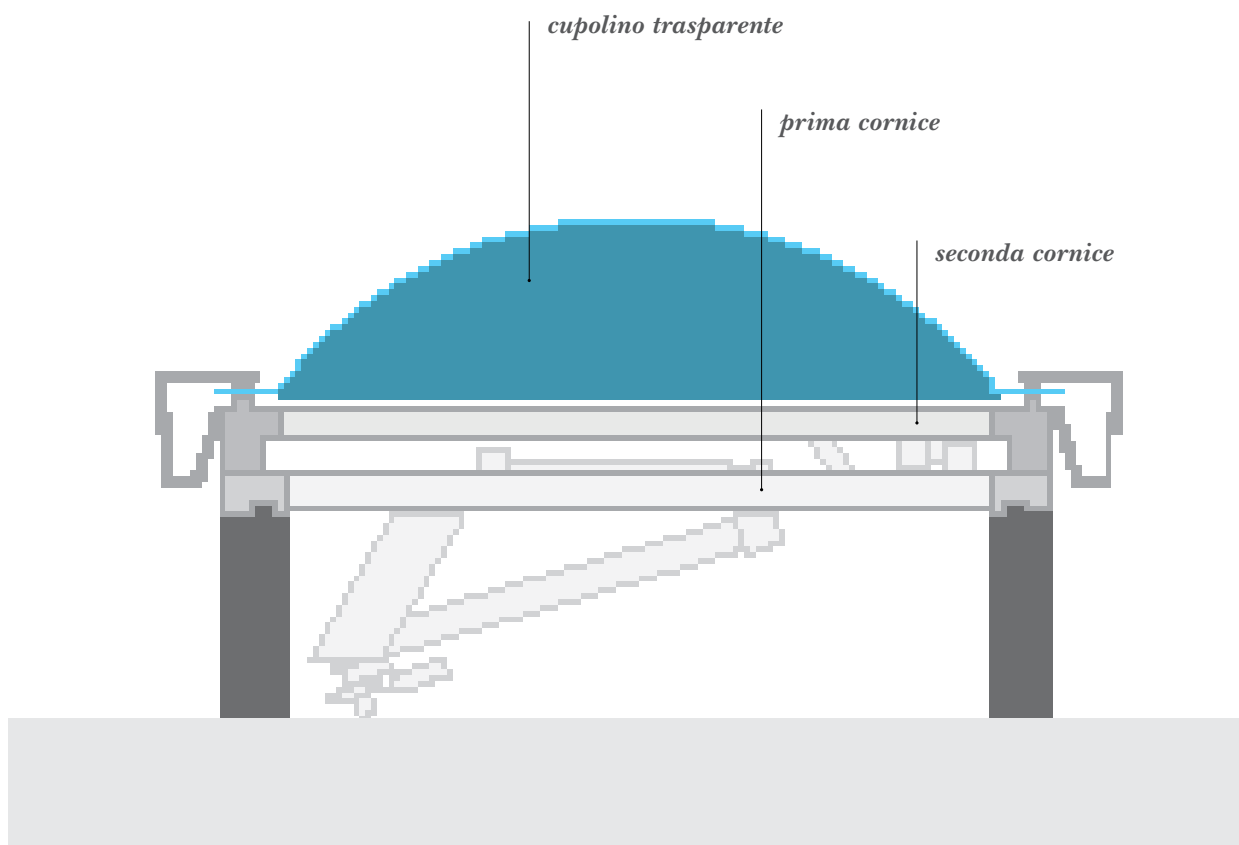
La normativa specifica inoltre chiaramente che un eventuale dispositivo di apertura giornaliera deve essere separato ed indipendente da quello utilizzato per l'evacuazione.

La soluzione più comunemente adottata dai produttori consiste nel realizzare un triplo telaio, formato da una cornice fissa solidale al basamento, una seconda cornice incernierata alla prima, che costituisce l'apertura giornaliera, e che viene

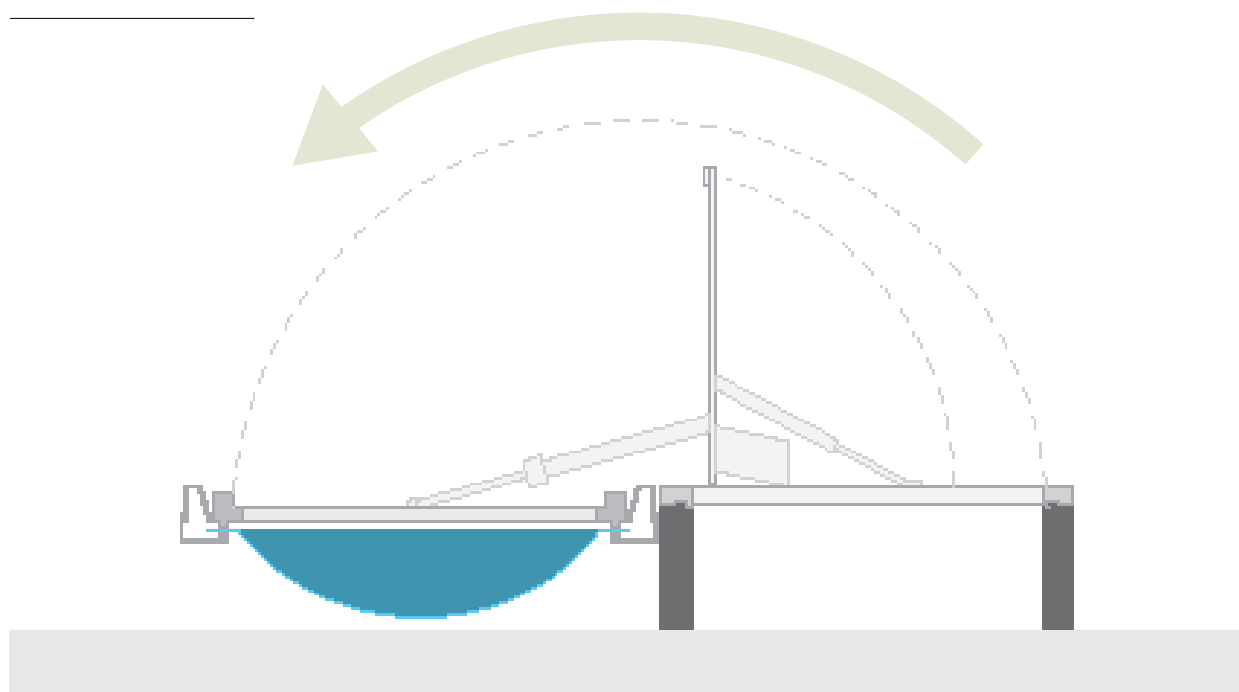
comandata comunemente da un attuatore elettrico, ed una terza cornice, incernierata sulla seconda, che costituisce l'evacuazione fumo, e viene comandata di conseguenza dal relativo impianto.

Su quest'ultima cornice viene montato l'elemento di chiusura, come un cupolino trasparente.

**Sezione
esemplificata EFC
motorizzato chiuso**



**Sezione
esemplificata EFC
motorizzato aperto**



Capitolo 11

Elementi di lattoneria

11.1 Definizioni e criteri generali

Col termine generico di lattonerie si intende il complesso di quegli elementi ricavati da nastri o fogli di alluminio, che assumono sagome diverse e previste in sede di progettazione, mediante pressopiegatura: la pressopiegatura è quel procedimento dal quale, per mezzo di una pressa dotata di utensile a coltello, si conferisce ad una lamina piana di metallo una serie di pieghe, una

dopo l'altra, fino ad ottenere un manufatto che è caratterizzato da una sagoma ben precisa; a volte, per ottenere determinati componenti speciali, dopo avere lavorato con la pressopiegatrice i vari pezzi che li compongono, questi vengono pre-assemblati in officina, ed arrivano in cantiere già completi.

Pressopiegatore per lamine metalliche



Le lattonerie sono gli elementi del sistema copertura che vanno a corredo e completamento del manto vero e proprio, completandone tutti i bordi ed i confini con il resto della struttura dell'edificio. Fra i compiti demandati alle lattonerie, il principale è quello di raccogliere l'acqua proveniente dal manto e dirigerla a terra; devono poi raccordare le varie falde del manto tra di loro, con le pareti dell'edificio, con tutti i corpi emergenti dalla copertura, con serramenti e parti trasparenti; inoltre possono essere utilizzate per distribuire e frenare il carico di neve sulla copertura e, non ultimo, hanno il compito di completare e migliorare l'aspetto estetico-architettonico dell'edificio. Le lattonerie vengono poste in opera sul manto e sulla struttura dell'edificio che il manto ricopre; è quindi importante esaminare i vari tipi di fissaggio utilizzati; inoltre, come il resto del manto, devono essere a tenuta stagna rispetto all'edifi-

cio sottostante, e necessitano quindi di sistemi di sigillatura; per finire, le lattonerie, essendo costituite da metallo, sono soggette al fenomeno della dilatazione termica, e questo significa che, al variare della temperatura esterna, le loro dimensioni cambiano.

Da queste considerazioni si deduce che il fissaggio ideale per una lattoneria, oltre ad essere sufficientemente robusto da impedire il distacco della lattoneria stessa per effetto del vento e degli agenti atmosferici, deve essere in grado di permettere al metallo della lattoneria la maggiore libertà possibile di scorrimento per effetto termico, e contemporaneamente deve garantire la perfetta impermeabilità all'acqua in ogni situazione.

A questo punto sarà bene parlare della dilatazione termica dei metalli. Il fenomeno, tipico di tutti i

Rigonfiamento delle lattonerie dovuto alle dilatazioni



metalli in diversa misura, consiste essenzialmente nel fatto che una sostanza metallica, quando viene portata ad una temperatura superiore a quella a cui si trova inizialmente, aumenta le sue dimensioni, e di converso le diminuisce se portata a temperatura inferiore. Sulle origini del fenomeno ci limitiamo a dire che risiedono in una caratteristica chiamata energia interna della sostanza; questa energia interna, che dipende dalla quantità di calore che viene somministrato o sottratto alla sostanza stessa, determina la distanza media reciproca fra le molecole del metallo, che sono in continua agitazione.

A maggiore temperatura corrisponde maggiore contenuto di energia interna, maggiore agitazione delle molecole, maggiore distanza media tra le stesse, e maggiori dimensioni globali del corpo metallico.

L'entità del fenomeno è notevole in se stessa, ma è di particolare importanza per una copertura; infatti, proprio in copertura si hanno, per effetto delle varie condizioni atmosferiche e climatiche, le maggiori escursioni termiche, sia a ciclo giornaliero che stagionale.

A questo si deve aggiungere il fatto che generalmente le lattonerie, essendo ricavate da nastro di metallo di spessore dell'ordine di grandezza di un millimetro, sono oggetti che, a fronte di uno spessore minimo e quindi con scarsa o nulla rigidità nel loro piano, hanno invece lunghezze notevoli, dell'ordine di alcuni metri per ogni pezzo. Se a questo si aggiunge il fatto che trasversalmente la sagoma viene ricavata da larghezze in genere dell'ordine o inferiori al metro, si giunge alla conclusione che la dilatazione avviene praticamente tutta ed esplica le sue conseguenze nel senso della lunghezza: ma a quanto ammonta questa dilatazione? Passiamo alla pratica.

Ogni tipo di metallo, al variare della temperatura, presenta una diversa risposta alla dilatazione; per quantificare questa risposta si utilizza un coefficiente, chiamato appunto coefficiente di dilatazione termica; in pratica si tratta di un numero che va moltiplicato per la lunghezza della lattoneria e per la variazione di temperatura; ciò che si ottiene è la variazione di lunghezza di quella lattoneria. Faremo un esempio, utilizzando l'alluminio, che, fra i metalli utilizzati in copertura, è quello che possiede il coefficiente di dilatazione più alto, ovvero è quello che, a parità di variazione di temperatura, si allunga maggiormente:

Coefficiente di dilatazione dell'alluminio:	0,024 millimetri/grado/metro
Lunghezza della lattoneria:	10 metri (in due pezzi)
Differenza di temperatura:	60 gradi centigradi (è un valore realistico)
Aumento di lunghezza:	$0,024 \times 10 \times 60 = 14,4$ millimetri !!!

Questo risultato deve far riflettere sul genere di fissaggio che sarebbe opportuno adottare per questa situazione, **un fissaggio in grado di con-**

sentire questa dilatazione pur garantendo l'impermeabilità del tutto.

11.2 Sistemi di vincolo, fissaggio e sigillatura

Le lattronerie di alluminio vengono fissate alla struttura sottostante in vari modi, a seconda

del tipo di materiale costituente la struttura stessa:

11.2.1 Tasselli ad espansione

Nel caso di muratura o soletta in calcestruzzo o laterizio, si utilizzeranno tasselli ad espansione. Questi sono costituiti da:

Vite o chiodo in acciaio, dotato di filettatura o di rigatura e di una testa che può essere per lo più esagonale con falsa rondella, oppure svasata con taglio a croce o tipo Torx.

Camicia nella quale è inserita la vite, generalmente in materiale plastico, ma a volte anche in metallo; questa è dotata di tagli, denti o scanalature longitudinali in modo che, con l'avanzare della vite all'interno della camicia, questa si espande in larghezza nel foro precedentemente praticato nella muratura, impedendone l'estrazione.

Eventuale rondella, inserita tra vite e camicia, per trasferire il carico della vite al pezzo che si intende fissare, distribuendolo su di una superficie maggiore; la rondella ha spesso anche la funzione di isolare metalli diversi, come l'acciaio zincato della vite del tassello dall'alluminio di una lattroneria, per prevenire la corrosione; in questi casi la rondella è di solito in acciaio inox.

Ogni tipo di tassello ad espansione ha un carico massimo di estrazione in condizioni ideali; questo significa che, quando la muratura non è di ottima qualità in generale, o quando localmente, nel

punto di applicazione del tassello, presenta difetti che la rendono poco omogenea o compatta, il carico a cui il tassello si strappa può diventare in realtà molto più basso di quello riportato dal produttore (e del quale si è tenuto conto in sede di progetto).

Inoltre, ogni tassello deve essere applicato ad una distanza minima (di solito specificata dal produttore) dal bordo della muratura, in quanto, se applicato troppo vicino, con la sua espansione può provocare il distacco del pezzo di cornice interessato, o quanto meno l'indebolimento dell'insieme.

Esistono tasselli per molteplici tipi di applicazione, a seconda dell'entità del carico che devono sopportare, e soprattutto, per quanto riguarda il coperturista, a seconda del tipo di supporto a cui devono essere fissati; si va quindi dai tasselli per parete piena e compatta in calcestruzzo, a quelli per laterizio forato, a quelli per parete poco omogenea e friabile.

Le modalità di applicazione, che di solito possono essere controllate sulla confezione dei tasselli stessi, prevedono l'esecuzione del foro di preparazione con perforatore elettrico a percussione, se necessario dotato di fermo di profondità, ed il successivo inserimento del tassello, previa verifica della pulizia del foro.

L'espansione del tassello avviene in molti casi avvitando il gambo della vite in acciaio con un

Tipologie di tasselli



adatto avvitatore elettrico; in questo caso va posta attenzione alla coppia di serraggio, che non deve essere eccessiva (quasi tutti gli avvitatori moderni dispongono di dispositivo a frizione per la regolazione della coppia massima di serraggio). La lattoneria che si intende fissare infatti non deve essere bloccata completamente sulla struttura a cui è fissata, ma deve potersi dilatare e contrarre con le variazioni di temperatura.

In altri casi, l'espansione della camicia avviene semplicemente tramite battitura; utilizzando la mazzuola, dopo avere praticato il foro, vi si pianta

il tassello fino a che il collarino nella parte superiore della camicia si blocca contro il pezzo da fissare; i successivi colpi fanno sì che il chiodo entri completamente nella camicia, espandendola.

11.2.2 Viti autoformanti, autofilettanti, automaschianti, autoforanti

Nel caso di fissaggio a legno e materiali metallici, si utilizzano le viti.

Le viti permettono di eseguire un fissaggio resistente e veloce, in genere senza bisogno di praticare precedentemente un foro per l'applicazione. La vite è formata dai seguenti elementi:

La testa, generalmente esagonale con falsa rondella, in determinati casi con testa a calotta o svasata e taglio a croce o tipo Torx; la testa è la parte a cui viene applicata la coppia di serraggio dell'avvitatore, per cui la scelta del tipo di testa condiziona anche la robustezza del fissaggio, ma soprattutto la praticità e facilità di montaggio;

per questo la testa esagonale è in genere la più diffusa.

Il gambo filettato: è formato a sua volta dal nocciolo e dai filetti. Il nocciolo è la parte cilindrica centrale; le sue caratteristiche sono il diametro e la lunghezza.

Il diametro determina la resistenza totale della vite allo strappo, in quanto costituisce la vera sezione resistente dell'intera vite, mentre i filetti sono determinanti nella resistenza allo sfilamento. Il diametro usato più comunemente per il fissaggio delle lattonomie è di sei millimetri.

La lunghezza viene scelta in funzione dello spessore della lattonomia da fissare e dello spessore della struttura a cui fissare.

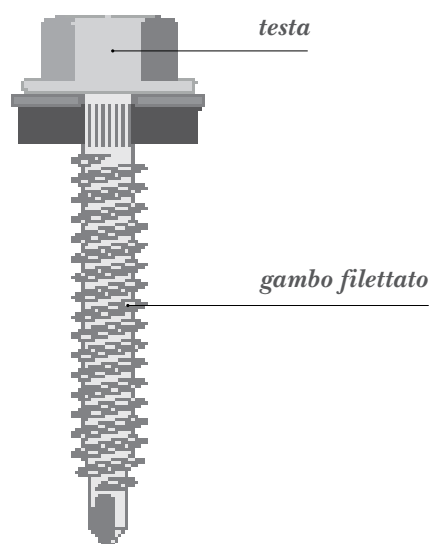
Nel caso di fissaggio a legno, la vite dovrebbe, dopo avere attraversato lo spessore della lattonomia (che quasi sempre è pari allo spessore dell'alluminio, quindi circa un millimetro), entrare nel

legno per non meno di tre centimetri e mezzo, ma essere abbastanza corta da non perforare l'intero spessore del legno, terminando almeno un centimetro prima.

Nel caso di fissaggio a metallo (alluminio o acciaio), la vite dovrebbe avere una lunghezza di gambo pari alla somma degli spessori della lattonomia fissata e del profilo o staffa metallica a cui viene fissata, più almeno tre o quattro filetti, oltre alla punta, che può non essere filettata.

I filetti: sono costituiti da creste elicoidali a profilo tagliente avvolte intorno al gambo; durante l'inserimento della vite, i filetti scavano dei solchi nel materiale a cui viene fissata la vite; alla fine della corsa della vite, i filetti premono nei solchi con la faccia rivolta verso la testa, e, per attrito, resistono allo scorrimento elicoidale; in questo modo mettono in tensione il gambo della vite, la quale, tramite la testa e l'eventuale rondella interposta, trattiene la lattonomia fissata.

Esempio di vite



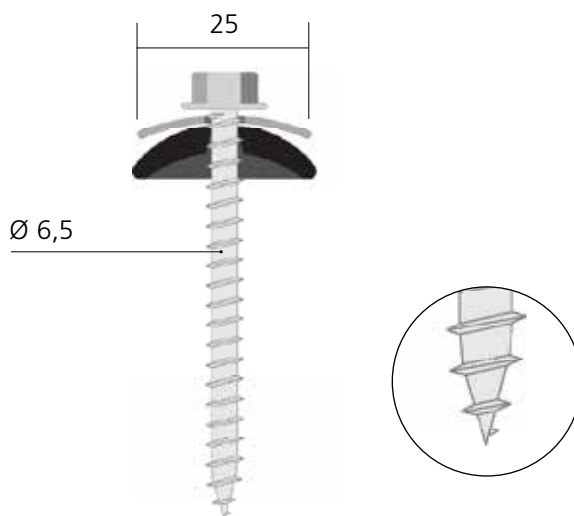
Il tipo di materiale della struttura alla quale si intende applicare la vite determina il tipo di filettatura

che la vite stessa dovrà avere, e permette quindi di distinguere vari tipi di vite a prima vista:

VITI AUTOFORMANTI DA LEGNO

I filetti sono alti e sottili, in modo da penetrare meglio ed in profondità nelle fibre del legno, che sono relativamente morbide e cedevoli, e da offrire una maggior superficie di appoggio ai filetti stessi; il passo della filettatura è lungo, per poter lasciare tra un solco ed il successivo una quantità di fibra di

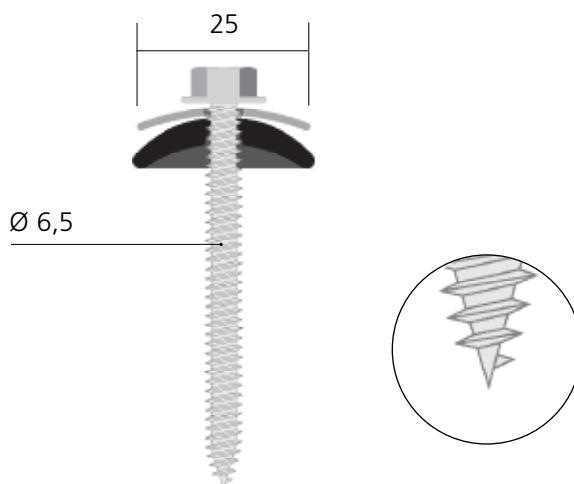
legno di sufficiente resistenza, ed il gambo termina con una punta filettata, per poter iniziare il foro direttamente con l'avvitatore. Tipicamente, una vite da legno da 6 mm per coperture può avere filetti di altezza 1 mm e passo 2,5 mm, con diametro di nocciolo di 4 mm.



VITI AUTOFILETTANTI

Si utilizzano per applicare le lattonerie a profili in acciaio (ferro) di spessori moderati, fino a circa 3 mm: in questo caso i filetti sono bassi e spessi, perché l'acciaio attraverso cui penetrano presenta una resistenza di gran lunga maggiore del legno; il passo della filettatura è inoltre più fitto, in modo da consentire, all'interno dello spessore dell'acciaio

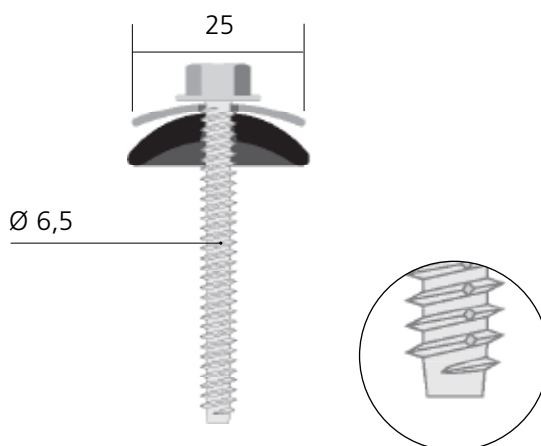
attraversato, la presenza di più solchi, e quindi una maggiore resistenza alla trazione. Anche in questo caso il gambo termina con una punta filettata, per iniziare il foro con la vite stessa. Tipicamente, una vite autofilettante da 6 mm per coperture può avere filetti di altezza 0,8 mm e passo 1,8 millimetri, con diametro di nocciolo di 4 mm.



VITI AUTOMASCHIANTI

Si utilizzano per applicare le latteniere a profili in acciaio (ferro) di spessori rilevanti, da 3 a 5÷6 mm; la conformazione di filetti è analoga a quella delle viti autofilettanti, ma, in aggiunta, presentano scanalature elicoidali (tipicamente tre), in senso contrario alla filettatura e a passo molto ampio, che interrompono

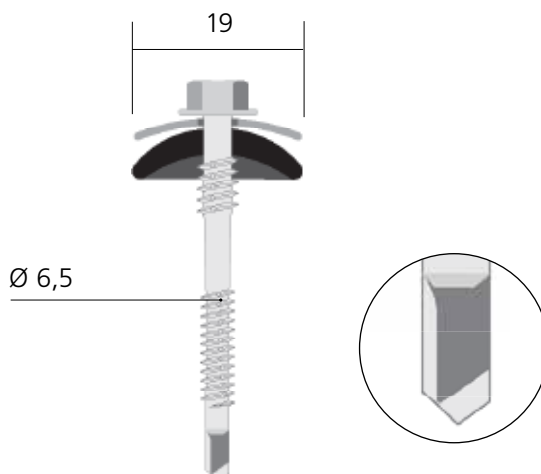
i filetti stessi. Lo scopo delle scanalature è quello di consentire l'adattamento del materiale attorno ai solchi che si producono durante l'avvitamento, impedendo il grippaggio della vite durante la sua corsa, dato l'alto spessore del materiale.



VITI AUTOFORANTI

Si utilizzano per spessori di acciaio particolarmente elevati, quando sarebbe necessario, per poter applicare una normale vite, praticare precedentemente un foro di passaggio di diametro pari al nocciolo del gambo. Per praticare questo foro in un'unica operazione e con un unico utensile, queste viti sono dotate di una punta speciale conformata esattamente come

una punta elicoidale da trapano per metallo; una volta che la punta ha eseguito il foro, la parte filettata del gambo della vite può scavare senza difficoltà i solchi (la filettatura femmina) sui fianchi del foro stesso. Un ulteriore beneficio di questo tipo di vite consiste nel fatto che ogni foro viene eseguito con una punta nuova (quella della vite) e quindi con taglienti perfetti;



una precauzione da osservare nell'uso di queste viti consiste nel tenere conto del fatto che la punta elicoidale aumenta la lunghezza totale della vite senza

contribuire, dopo l'esecuzione del foro, alla tenuta del fissaggio.

11.2.3 Fissaggi scorrevoli (guarnizioni/borchie)

Abbiamo detto che, qualunque sia il tipo di fissaggio utilizzato per le lattonerie, esso dovrà garantire, oltre alla tenuta meccanica, anche l'impermeabilità all'acqua; questo, nonostante la presenza nella lattoneria del foro per il passaggio della vite o del tassello, ed in presenza delle dilatazioni termiche che provocano spostamenti del foro rispetto al gambo della vite o del tassello.

La tenuta meccanica è data da una scelta opportuna del tipo di fissaggio, in funzione del supporto al quale ci si deve vincolare, e dalla quantità dei fissaggi stessi, ovvero dal passo al quale vengono posati; questo dipende, oltre che dalle dimensioni della lattoneria stessa, anche dalla situazione di esposizione al vento, e dalla posizione della

lattoneria sulla copertura; l'interasse utilizzato comunemente per le lattonerie è attorno al metro, ma situazioni specifiche, che vanno esaminate già in sede di progettazione, richiedono particolare attenzione.

Il fissaggio permetterà al metallo una corretta dilatazione solamente se verrà lasciato un gioco opportuno tra il gambo del fissaggio ed il foro della lattoneria; a questo scopo, fissando con viti diametro 6 millimetri, sarà opportuno praticare nella lattoneria fori diametro 8 millimetri, in modo da stabilire un gioco di 1 millimetro in entrambe le direzioni; in questo modo, ipotizzando un interasse dei fissaggi di un metro, e riproponendo il calcolo della dilatazione per l'alluminio, si avrà:

$$0,024 \times 60 \text{ }^\circ\text{C} \times 1 \text{ metro} / 2 \text{ (metà per lato)} = 0,72 \text{ millimetri}$$

la dilatazione potrà quindi essere assorbita dal gioco tra gambo della vite/tassello ed il foro nella lattoneria.

Resta da soddisfare la condizione di mantenimento dell'impermeabilità dell'insieme fissaggio/lattoneria; questa può essere assicurata in due modi:

- Adozione di viti con opportune guarnizioni in materiale plastico; queste guarnizioni possono avere forma piatta o conica; le guarnizioni coniche hanno deformabilità programmata per potersi appiattare

contro la superficie della lattoneria, garantendo una maggiore tenuta, e fornendo nel contempo un'indicazione visiva della forza di avvitamento.

Tutte le guarnizioni sono dotate di rondelle metalliche, di solito in acciaio, poste tra la guarnizione stessa e la testa della vite; queste servono a proteggere la guarnizione dall'abrasione che la testa della vite arrecherebbe durante l'avvitamento.

- In alternativa, è possibile adottare una soluzione basata sull'uso di una vite o tassello, dotato di

rondella sotto testa per distribuire la pressione di serraggio, e per separare i metalli della vite e della lattoneria quando non sono compatibili dal punto di vista della corrosione (ad esempio acciaio zincato ed alluminio). A questo insieme, che già soddisfa le condizioni legate alla tenuta meccanica e alla dilatazione termica, si aggiunge l'elemento in grado di garantire l'impermeabilità. Questo, denominato borchia o cappello copriasola, è costituito da una calotta dello stesso materiale della lattoneria, di dimensioni tali da contenere agevolmente la testa del fissaggio e consentirne il movimento. La borchia viene resa solidale alla lattoneria mediante il suo bordo perimetrale, che permette la sigillatura completa. (Vedi foto a lato).

È importante notare che la sigillatura va eseguita solo sul bordo della borchia, evitando di riempire col sigillante l'interno: in questo caso, infatti, si renderebbe anche la testa della vite solidale alla borchia e quindi alla lattoneria, impedendo di fatto le dilatazioni termiche della lattoneria rispetto alla vite.

Borchia copriasola



11.2.4 Sigillanti siliconici

I siliconi sono polimeri inorganici, ovvero grosse molecole, formate essenzialmente da silicio e ossigeno, più i cosiddetti gruppi funzionali organici, che sono legati agli atomi di silicio.

In base alla struttura della catena silicio-ossigeno ed al numero di gruppi funzionali, i siliconi possono assumere diverse forme, da oleosa a gommosa. I prodotti utilizzati come sigillanti nell'ambito delle coperture metalliche sono paste gommosi allo stato iniziale, e, una volta applicati, si trasformano in gomme vere e proprie.

La trasformazione in sostanza gommosa solida avviene grazie ad una sostanza contenuta nel silicone, il catalizzatore, che genera la vulcanizzazione del silicone stesso.

Si genera così la reticolazione del silicone, ovvero la generazione di legami tra le molecole del prodotto che lo fa passare da pseudo-liquido o pastoso a gommoso.

Il fenomeno può essere immaginato come la creazione di traversine (i legami) che collegano tra loro i binari (le catene di molecole), così che la sostanza perde la consistenza di pasta e si "congela" in una forma fissa.

Le gomme siliconiche in genere sono caratterizzate da grande stabilità chimica, (non contengono solventi tossici o infiammabili) buona elasticità, buona resistenza ad una vasta gamma di agenti chimici, sono elettricamente isolanti, non propagano il fuoco, non sviluppano gas tossici in caso di combustione. Un buon sigillante siliconico per

coperture metalliche deve inoltre mantenere la propria elasticità nel tempo, mantenere ottima adesione al metallo sul quale è applicato, posse-

dere buona resistenza meccanica sia a taglio che a trazione.

Sigillante siliconico



La resistenza indefinita all'azione dei raggi UV, qualora venga proposta, è ad oggi una chimera. Va ricordato che il sigillante siliconico che mantiene una tenuta meccanica e idraulica nel tempo è quello che si interpone tra le due parti

metalliche da unire, cioè quello riparato dal sole e dalla maggior parte degli effetti atmosferici. Il silicone a vista è destinato a subire un ben più rapido invecchiamento e degrado.

11.2.5 Guarnizioni di tenuta aria/acqua

Le guarnizioni vengono utilizzate fondamentalmente per tre scopi:

TENUTA ALL'ACQUA

La tenuta all'acqua viene richiesta principalmente nelle superfici tra fissaggio (vite o tassello ad espansione) e manto di copertura o lattonerie, dove la guarnizione stessa deve impedire il passaggio d'acqua nel foro attraverso il quale passa il gambo della vite o del tassello.

Questo foro è sempre di diametro maggiore rispetto a quello del gambo, sia per ragioni operative, sia per la necessità di permettere la dilatazione termica

della lastra o della lattonerie rispetto al gambo, che è fisso.

La guarnizione ideale dovrebbe quindi:

- avere larghezza sufficiente a coprire comunque il foro in tutte le condizioni di dilatazione della lastra o della lattonerie
- possedere un basso coefficiente di attrito con la superficie metallica per agevolarne la dilatazione

- resistere all'abrasione dovuta al movimento relativo rispetto al metallo
- avere elasticità sufficiente a garantire la tenuta idraulica nel tempo, sottoposta alla pressione della vite o del tassello
- resistere senza degenerarsi all'azione degli agenti atmosferici, delle variazioni di temperatura, dei raggi ultravioletti
- conservare tutte queste doti più a lungo possibile

È chiaro innanzitutto che alcune di queste caratteristiche sono in contrasto con altre; ad esempio il basso coefficiente di attrito presuppone un materiale ad alta densità, la qual cosa va in contrasto con un'alta elasticità.

Il materiale utilizzato sarà quindi il miglior compromesso possibile, tenuto conto anche dei costi.

Va anche detto, a proposito della longevità, che le guarnizioni dei fissaggi sono, o meglio dovrebbero essere, i componenti di una copertura metallica più frequentemente soggetti all'ordinaria manutenzione, che nel loro caso può comprendere semplicemente, oltre alla verifica della coppia di serraggio della relativa vite o tassello, la loro sostituzione tout court con una guarnizione nuova.

I materiali commercialmente utilizzati per realizzare questo tipo di guarnizioni sono costituiti da polimeri a cellule chiuse, sia per ottenere l'impermeabilità, che per avere insieme valori sufficienti di elasticità e di resistenza meccanica.

Uno dei materiali più utilizzati per questo tipo di guarnizioni è un elastomero denominato EPDM (Etilene Propilene Diene Monomero) che possiede, oltre ad ottime caratteristiche meccaniche ed elastiche, una elevata resistenza agli agenti atmosferici, ed in particolare alle radiazioni UV; di contro è attaccabile da sostanze come oli, benzina, kerosene, acidi concentrati. Le temperature entro le quali mantiene sostanzialmente le proprie caratteristiche vanno da - 20°C a + 130 °C.

Non ha alcuna resistenza alla fiamma diretta. Si tratta, per dare un riferimento, del materiale comunemente utilizzato per realizzare la maggior parte delle guarnizioni delle porte degli autoveicoli.

TENUTA ALL'ARIA

La tenuta all'aria viene richiesta in situazioni nelle quali la tenuta all'acqua è già assicurata da altri elementi. Esempi tipici sono le greche o le onde basse delle lastre di copertura in corrispondenza di colmi o delle gronde, qualora non sia prevista la ventilazione.

Altri esempi sono le guarnizioni continue esistenti tra i fianchi accoppiati dei pannelli monolitici. *(Vedi foto pagina successiva).*

In questi casi la guarnizione dovrebbe avere le seguenti caratteristiche:

- ottima capacità di adattamento e di adesione alle superfici tra le quali è interposta
- resistenza all'effetto del vento
- scarsa sensibilità all'umidità se a cellule aperte
- resistenza al degrado superficiale per essiccazione e sbriciolamento

I materiali utilizzati per realizzare questi tipi di guarnizione sono vari, alcuni a cellule chiuse, altri a cellule aperte. Uno dei più comuni è il polietilene (PE) uno dei polimeri più semplici, e una delle materie plastiche più comuni ed economiche. A seconda della quantità e delle ramificazioni della catene di

macromolecole, la chimica è in grado di ottenere il polietilene con densità molto alte e buone caratteristiche meccaniche, fino a densità molto basse, che sono quelle utilizzate per produrre le guarnizioni di cui parliamo.

Nel nostro caso, inoltre, il materiale viene prodotto non in forma massiccia, bensì in forma alveolare o spugnosa, con una struttura costituita da migliaia di microcelle piene d'aria o di un altro gas utilizzato

in produzione, separate da pareti sottili in polietilene.

Il prodotto risultante è così molto leggero ed altamente deformabile, in modo da adattarsi con facilità ai vani in cui viene alloggiato e creare la tenuta all'aria.

La superficie esterna del prodotto può essere porosa come l'interno (cellule aperte) o liscia e non assorbente (cellule chiuse).

Guarnizione per pannelli sandwich



ELEMENTO DI AMMORTIZZAZIONE PER VIBRAZIONI

Entrambi i tipi di guarnizione citati precedentemente, ma particolarmente le guarnizioni in EPDM, possono assolvere una ulteriore funzione, che è quella di ammortizzatori rispetto alle vibrazioni che il metallo del manto, sottoposto all'azione del vento, potrebbe trasmettere ai fissaggi.

Queste vibrazioni tendono col tempo a provocare l'allentamento dei fissaggi stessi, e la loro conseguente inefficacia, almeno dal punto di vista della tenuta all'acqua, in quanto la superficie di appoggio sottostante la testa della vite o del tassello non appoggia più perfettamente sul piano del manto.

11.3 Canali di gronda e di conversa

11.3.1 Descrizione

I canali sono lattenerie con sagoma a forma di vasca, adatta a raccogliere l'acqua proveniente dalle falde di copertura; in particolare si definiscono gronde interne quei canali che raccolgono l'acqua da una singola falda, e che stanno completamente all'interno del perimetro dell'edificio,

gronde esterne i canali che raccolgono acqua da una sola falda e sono a sbalzo fuori dal perimetro dell'edificio, mentre si definiscono converse quei canali che ricevono acqua da due o più falde a pendenza opposta.

Gronda a sbalzo



11.3.2 Elementi di supporto/separazione/antifrizione/coibentazione

Le gronde interne e le converse sono appoggiate su di un supporto; generalmente questo supporto, detto sede di gronda, nel caso di strutture in laterizio – cemento, fa parte della struttura stessa. In altri casi, su strutture metalliche o in legno può non esistere un supporto specifico, che quindi deve essere creato; questo perché la gronda o conversa realizzata generalmente in alluminio di spessore 1 millimetro, non è in grado di sopportare il peso proprio e dell'acqua che può contenere, o il peso degli operatori durante il montaggio; si provvede allora a realizzare un canale di contenimento, detto controcanale, con caratteristiche tali da poter svolgere il compito di supportare il canale di gronda o di conversa; esso viene di solito ricavato da una lamiera pressopiegata in acciaio di sufficiente spessore, vincolata in modo opportuno alla struttura dell'edificio.

Il controcanale assolve anche altre funzioni: se dotato di opportuni scarichi e sigillato in tutte le sue giunzioni, può assolvere la funzione di canale di emergenza, in caso il canale vero e proprio, per eventi meteorici eccezionali, tracimasse; inoltre può accogliere l'eventuale acqua di condensazione proveniente dalle lamiere del manto.

In aggiunta, fra il controcanale ed il canale può essere convenientemente alloggiato uno strato di materiale isolante di basso spessore, che ripristina la continuità della coibentazione del manto di copertura, evitando che si instaurino zone non isolate termicamente (i cosiddetti ponti termici), le quali darebbero luogo nella stagione fredda a formazioni di acqua di condensazione.

Quando la sede del canale fa parte dell'edificio, e quindi è costituita da superficie in cemento o laterizio, lo strato isolante assolve anche la funzione di



Interposizione di strato isolante tra sede del canale e canale stesso

elemento separatore antifrizione fra la superficie ruvida della sede di canale e la sottile parete di alluminio del canale che, essendo in continuo movimento per effetto delle dilatazioni termiche, si rovinerebbe per attrito in breve tempo. Per finire, lo strato isolante, posato in spessori differenziati, può dare la possibilità, se richiesto, di creare una piccola pendenza del canale verso i tronchetti di scarico, per evitare la permanenza di acqua nel fondo del canale stesso.

L'opportunità di dare pendenza ai canali verso i tronchetti di scarico, giustamente considerata fondamentale dal punto di vista idraulico, ha perso

con l'avvento dell'alluminio una parte della sua importanza, in quanto la permanenza di acqua sul fondo del canale non crea in questo metallo gli inconvenienti di cui patisce la normale lamiera d'acciaio; infatti l'alluminio, come il rame, sviluppa a contatto con l'acqua tutt'al più una leggera patina biancastra di ossido che non progredisce nello spessore del materiale, ma anzi lo preserva da ulteriore ossidazione.

È però pur sempre vero che la presenza d'acqua sul fondo di un canale è un invito all'infiltrazione nel caso non impossibile di un'imperfetta sigillatura in qualche punto delle giunzioni.

11.3.3 Giunzione di tronchi di canale

I canali di gronda e di conversa sono realizzati nelle lunghezze previste, pari alla larghezza delle falde dalle quali devono ricevere l'acqua. Per fare questo, si uniscono tratti di canale di lunghezze inferiori, in ogni caso compatibili con le dimensioni della macchina pressopiegatrice, con le esigenze del trasporto in cantiere, con la praticità del tiro in quota e della possibilità di maneggiarli in copertura da parte degli operatori; inoltre le lunghezze limitate diminuiscono la probabilità che i canali subiscano deformazioni durante queste operazioni, in quanto, essendo formati da lamiera di alluminio sottile rispetto alle dimensioni generali, tendono ad essere molto suscettibili allo svergolamento ed alla deformazione permanente ed irreparabile.

La necessità di unire tronchi di canale aventi la stessa sagoma porta a due distinte soluzioni:

- la prima prevede che i due tronconi, aventi effettivamente la stessa sagoma, vengano accostati testa a

testa, e poi accoppiati mediante un profilo di limitata lunghezza (quindici – venti centimetri), e dotato di una sagoma simile ma opportunamente maggiorata o minorata, a seconda del lato al quale lo si deve vincolare (interno od esterno). Questa soluzione, applicata principalmente nel caso di gronde esterne per ragioni estetiche, permette di ottenere sul lato in vista una finitura liscia e priva di gradini, tipica delle lattonerie più visibili dall'esterno.

- L'altra soluzione consiste nel realizzare i tronchi di canale dotati di conicità; questa si ottiene attribuendo ad una estremità del tronco la sagoma prevista in sede di progetto, ed all'altra estremità una sagoma leggermente diversa, in modo che possa incastrarsi internamente o esternamente nella sagoma standard, creando una sovrapposizione che va da quindici a venti centimetri.

11.3.4 Giunzione tra due elementi (rivettatura/sigillatura)

La giunzione fra i due elementi di canale deve garantire due requisiti: la robustezza meccanica e la impermeabilità. Per ottenere il primo si utilizzano i rivetti a strappo dello stesso metallo della lattoneria; il rivetto è un elemento di collegamento formato da un gambo interno in acciaio, a forma di chiodo, con un bulbo ad una estremità, e da un fungo in alluminio inserito nel chiodo fino a toccare il bulbo.

La modalità di applicazione è la seguente: si pratica nelle pareti dei due canali che si devono unire un foro del diametro opportuno, leggermente maggiore del diametro del fungo (tipicamente foro diametro 4 millimetri per rivetto diametro 3,8 millimetri); successivamente si infila il rivetto nel foro, con la testa del fungo dalla parte che deve rimanere a vista, e si provvede mediante un attrezzo manuale o a batteria (la rivettatrice) a far scorrere il chiodo all'interno del fungo, finché il bulbo del chiodo, deformando dall'interno la canna del fungo, lo allarga al punto da bloccare il tutto; proseguendo la sua trazione, la rivettatrice spezza il chiodo in un punto prestabilito, a filo con la testa del fungo. L'insieme di questo fissaggio, benché si trovino comunemente in commercio rivetti definiti "stagni", ha bisogno, per poter essere considerato veramente impermeabile, di essere successivamente sigillato, anche perchè

l'accoppiamento tra la testa del rivetto e la superficie della lattoneria di per sè non è certamente stagna.

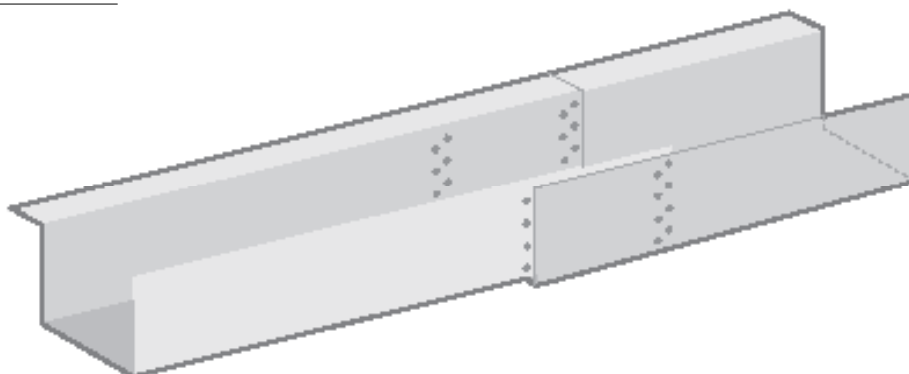
La rivettatura dei canali di gronda va eseguita ponendo in opera sulla sovrapposizione dei due tronchi una doppia fila di rivetti opportunamente spaziata (almeno otto centimetri, con i rivetti a non meno di due centimetri dai bordi); il passo dei rivetti sarà intorno ai quattro – cinque centimetri, avendo cura di porre un rivetto da ogni parte nelle immediate vicinanze di ogni piega.

Per ottenere il requisito dell'impermeabilità, occorre utilizzare un prodotto sigillante a base di silicone. Sono normalmente disponibili in commercio svariati tipi di silicone, ma è importante utilizzare solo quelli concepiti esclusivamente per il materiale che si intende sigillare.

Il sigillante siliconico, disponibile in tubo con ugello a beccuccio, va applicato utilizzando una pistola spremitubo in grado di permettere una fuoriuscita graduale, e quindi un migliore controllo sulla distribuzione del prodotto.

La siliconatura va eseguita in doppia riga, tra le due superficie dei tronchi che andranno a contatto, in corrispondenza delle due file di rivetti, con la maggior parte del sigillante a monte dei rivetti rispetto alla direzione di possibile infiltrazione dell'acqua.

Esempio di rivettatura in doppia riga



È importante sigillare la zona attorno ad ogni foro di rivetto anche tra le due superficie di alluminio in quanto, se così non fosse, un'eventuale infiltrazione d'acqua tra i lembi, a dispetto della doppia riga di sigillante, troverebbe una via d'accesso alla parte che deve rimanere asciutta proprio dal foro del rivetto (non sigillato) del tronco inferiore.

Successivamente si provvederà, come già accennato, a sigillare la testa di ogni rivetto, che non va considerata di per sé stagna, ed infine si stenderà un'ultima riga di sigillante sul bordo di sovrapposizione dei due tronchi.

È importante notare che quest'ultima riga di sigillante non deve mai essere considerata sufficiente ad impermeabilizzare la giunzione, per due motivi: essendo esterna, è soggetta all'azione dei raggi UV, che sono sempre deleteri per qualunque materiale

non metallico; il degrado di questo sigillante esposto sarà quindi molto più veloce di quello delle righe interne. Inoltre, sempre per il fatto di essere posta esternamente, è certamente più vulnerabile agli agenti atmosferici e a danneggiamenti meccanici di ogni tipo, ad iniziare da eventuali danni di pedonamento degli stessi installatori o di successivi maldestri addetti alla manutenzione.

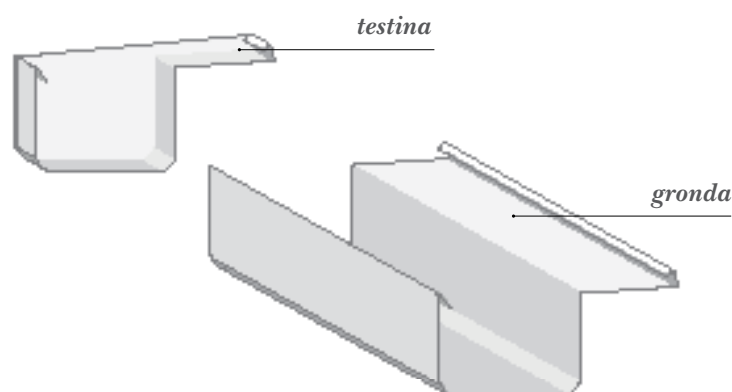
Una valida alternativa a quest'ultima riga di sigillante è rappresentata dall'applicazione di una striscia autoadesiva costituita da membrana bituminosa rivestita sul lato esterno da una pellicola di alluminio; essa garantisce, a parità di condizioni esterne, una maggiore resistenza all'usura, ferme restando le considerazioni fatte precedentemente sul ruolo giocato nella tenuta generale della giunzione.

11.3.5 Testine terminali

Il canale ottenuto dall'unione dei vari tronconi dovrà essere chiuso alle estremità da testine terminali; queste, sagomate in modo da accoppiarsi esattamente al profilo del canale, saranno dotate di bordi laterali larghi circa venti millimetri, in modo da poter essere rivettate e sigillate ai lati del canale stesso; per

le gronde interne è opportuno che le testine siano montate coi bordi all'esterno, in modo da praticare i fori dei rivetti dal lato che resterà asciutto; per le gronde esterne si monteranno invece le testine coi bordi all'interno per ragioni estetiche.

Gronda con relativa testina

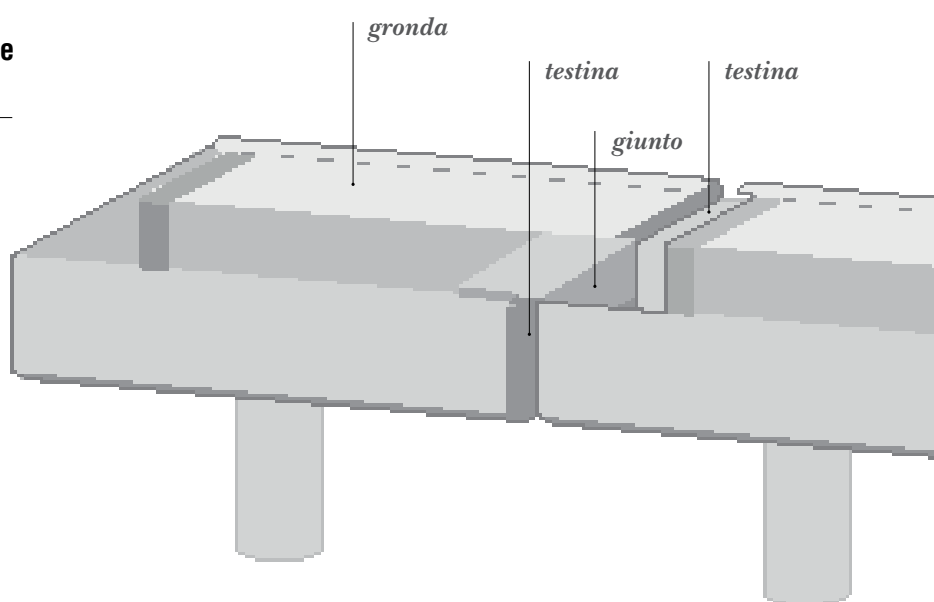


11.3.6 Giunti di dilatazione meccanici

Per assicurare al canale la possibilità di seguire le dilatazioni termiche del materiale, è necessario che il canale stesso possa variare la sua lunghezza complessiva; uno dei modi per ottenere questo risultato consiste nel suddividere il canale in diversi tronchi, ognuno dei quali dotato di testine terminali. Si vengono così a creare diversi tronchi di canale

indipendenti, accostati l'uno all'altro, e liberi di allungarsi o accorciarsi ognuno per conto proprio. Quando si decide come accostare i vari tronchi di canale, ovvero a quale distanza porre le testine terminali dell'uno e del successivo o precedente, bisogna fare attenzione alla temperatura alla quale si svolge il montaggio.

Giunto di dilatazione meccanico



Infatti, se ad esempio il montaggio si svolge in una giornata d'estate molto calda, ci si deve aspettare che il materiale sia a temperatura tale da trovarsi intorno al massimo del suo allungamento; pertanto si potranno montare i tronchi con le testine accostate e molto vicine, perché si suppone che poi, d'inverno o comunque a temperature rigide, il materiale subirà una contrazione ed i tronchi di canale si accorceranno, facendo sì che le rispettive testine si allontanino l'una dall'altra.

Al contrario, in una giornata invernale, con temperatura bassa, converrà montare i tronchi di canale con le testine scostate tra di loro, tipicamente almeno di

due - tre centimetri, in modo che successivamente, a temperature più elevate, i canali si possano allungare senza che le testine forzino una contro l'altra.

È importante ricordare che la temperatura a cui fare riferimento non è quella dell'ambiente al momento del montaggio, ma quella del metallo che costituisce il canale in quel momento; le due cose potrebbero non coincidere, ad esempio, in estate, dopo un violento temporale e relativo acquazzone, al ritorno del sole, i canali avranno ancora una temperatura più bassa di quella percepita dell'operatore; di contro, in una giornata invernale soleggiata, un canale ripa-

rato dal vento ed esposto all'irraggiamento solare può assumere una temperatura più elevata di quella dell'ambiente circostante.

Perché il giunto meccanico sia completo, occorre installare un elemento metallico a copertura dello spazio esistente tra le testine dei due tronchi di canale accostati; questo elemento, solitamente costituito da un profilo a "C", deve essere fissato e sigillato in modo da essere solidale ad uno solo dei due tronchi di canale, ed essere quindi libero di muoversi rispetto all'altro; si dovrà inoltre verificare che il profilo non venga reso solidale ad altre lattenere nelle vicinanze (gocciolatoi e simili) o a qualunque elemento che possa impedirne il movimento previsto e quindi il corretto funzionamento.

Un controllo molto importante che occorre fare quando si adottino giunti di dilatazione di questo tipo è quello relativo al numero ed alla posizione dei tronchetti di scarico; infatti, in questa situazione, ogni tronco di canale, con le relative testine, costituisce una vasca indipendente di raccolta dell'acqua; di conseguenza, non solo ogni vasca dovrà necessariamente avere i propri tronchetti di scarico, ma questi dovranno essere almeno due, in modo da garantire lo scarico anche nel caso di accidentale intasamento di uno dei due.

Qualora questo non fosse possibile, è necessario prevedere altri presidi contro la possibile tracimazione per carenze di scarico, come tubazioni di troppopieno.

11.3.7 Giunti di dilatazione in gomma vulcanizzata

Un'alternativa più moderna alla soluzione del giunto meccanico, è data dall'adozione dei giunti di dilatazione elastici; questi sono costituiti da una striscia di materiale composta da una parte centrale in gomma vulcanizzata, e da due parti laterali nello stesso metallo di cui è costituito il canale di gronda.

La striscia di gomma ha una sezione centrale corrugata, in grado di accorciarsi o allungarsi sotto la spinta delle strisce laterali; alle estremità è invece dotata di attacchi a forchetta che vengono vulcanizzati in produzione alle strisce laterali, creando un insieme a tenuta d'acqua.

Il giunto in gomma, che arriverà in cantiere già tagliato nella misura e con la sagoma del canale, si pone in opera rivettando e sigillando normalmente le parti laterali ai rispettivi tronchi di canale interessati. *(Vedi foto pagina successiva).*

È importante ripetere qui le stesse considerazioni già fatte per i giunti meccanici e relative alle dilatazioni termiche in funzione della temperatura di montaggio; più precisamente, in caso di posa a temperature del materiale elevate, si avrà cura di montare il giun-

to con la parte in gomma corrugata, in modo da avvicinare i tronchi di canale, mentre a temperatura del materiale bassa, si monterà il giunto con le corrugazioni distese.

Il vantaggio più ovvio del giunto di dilatazione in gomma è costituito dal fatto che l'intero canale, in questo caso, costituisce una vasca unica, e pertanto gli scarichi contribuiscono tutti insieme e nella stessa misura, mentre l'eventuale otturazione di uno di essi viene compensata da tutti gli altri.

Nel caso di gronde esterne, visibili dall'esterno e dal basso dell'edificio, è opportuno mascherare i giunti in gomma mediante bandelle in metallo che le ricoprano dall'esterno; bisogna in questo caso ricordare che queste bandelle non devono in ogni caso essere vincolate ad entrambi i tronchi del canale, perché in tal caso comprometterebbero la funzionalità del giunto.

Un'ulteriore osservazione sull'utilizzo pratico dei giunti in gomma verte sul materiale di cui sono costituiti; ogni materiale diverso dal metallo, infatti, è sensibile in maggiore o minore misura all'effetto

dei raggi solari ultravioletti (UV), e ne può risultare, nel tempo, degradato nella sua funzionalità: la gomma è fra questi. Il canale di gronda interno è di solito fra le varie parti della copertura una delle meno esposte, in quanto posto spesso in ombra da gocciolatoi, bordo delle lastre di copertura ecc., ma, nei casi in cui si prevede una particolare e/o violenta esposizione all'irraggiamento, si può provvedere al montaggio di bandelle in alluminio che proteggano dall'esposizione diretta le parti in gomma del giunto. L'adozione di queste bandelle

deve essere eseguita con cautela, in modo da evitare inconvenienti peggiori; in particolare si dovrà evitare che questi elementi possano ostacolare il libero deflusso dell'acqua nel canale, sia direttamente, sia trattenendo gli inevitabili corpi estranei che nel canale si accumulano col tempo (foglie, terriccio, rifiuti vari portati dal vento). Inoltre si dovrà evitare che costituiscano ostacolo o inciampo per gli operatori stessi che eseguono il montaggio, o per i futuri manutentori, che facilmente non sapranno della loro esistenza.

Giunto di dilatazione in gomma



11.3.8 Gocciolatoi laterali

L'acqua raccolta dal manto di copertura viene trasferita al canale di gronda grazie alla pendenza del manto stesso, per gocciolamento e travaso dall'estremità delle lastre.

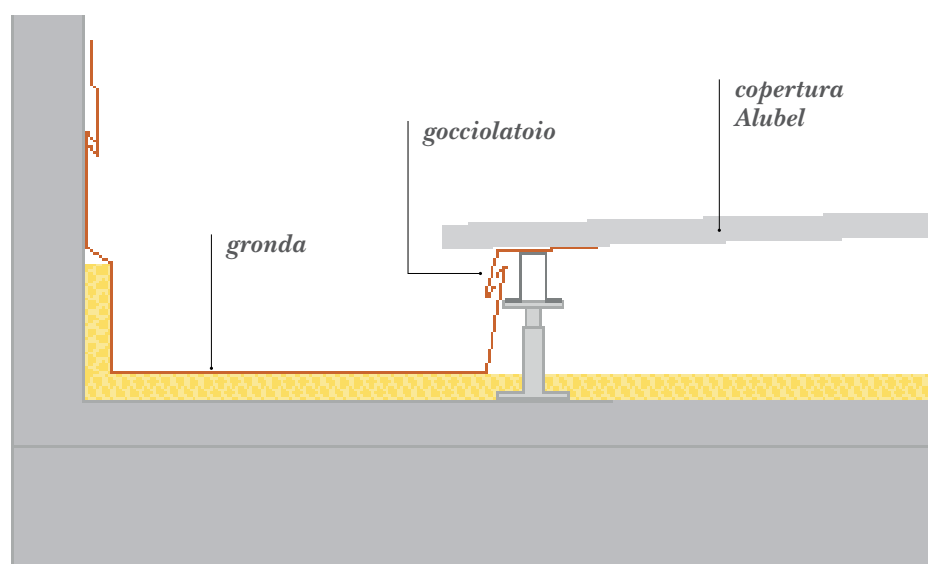
In presenza di vento, questo trasferimento può presentare problemi, in quanto l'acqua può essere spinta nella zona sottostante le lastre al di sopra

del massimo livello del canale; inoltre, la stessa zona è comunque sempre suscettibile all'ingresso dell'aria, cosa che, se può essere gradita e voluta nell'intercapedine sotto il manto per creare una ventilazione, è sicuramente da evitare quando si trasmette all'interno dell'edificio sottostante. Allo scopo di impedire, limitare, o incanalare dove inte-

nessa questi effetti, vengono applicati elementi di lattaeria, detti gocciolatoi, che collegano la parte inferiore del manto di copertura ai bordi del canale. La sagoma di questi elementi è realizzata in modo che essi possano essere fissati, in genere, al primo

arcareccio (di gronda) della struttura che supporta il manto, e si sovrappongono col loro lato verticale o quasi verticale al fianco del canale, senza essere a questo in nessun modo vincolati.

Sezione canale di gronda



In questo modo non si impedisce al canale il movimento per dilatazione, mentre un'adeguata sovrapposizione fra gocciolatoio e canale (almeno sei – otto centimetri), con un adeguato accostamento, impedisce l'ingresso dell'acqua e di gran parte dell'aria indesiderata.

Poiché anche i gocciolatoi devono essere in condizione di dilatare, si provvederà al loro montaggio senza fare uso di rivetti sulle giunzioni, limitandosi alla sigillatura, che conserva una certa elasticità.

Sempre per lo stesso motivo, la sovrapposizione sulle giunzioni dovrà essere sovrabbondante (circa venti centimetri).

L'unione meccanica fra i tronchi di gocciolatoio sarà comunque assicurata dal fissaggio all'arcareccio,

normalmente effettuato con viti; questo fissaggio non implica generalmente un grosso ostacolo alla dilatazione, anche perché il gocciolatoio, e in particolare la sua parte che sta sotto il manto, non è sottoposto alle più estreme variazioni di temperatura, in quanto è solitamente riparato e posto in ombra dall'estremità del manto stesso.

11.3.9 Elementi anti-intrusione

L'acqua raccolta dal manto di Le coperture metalliche sono soggette a variazioni di temperatura molto ampie, che si propagano rapidamente, data la elevata conducibilità termica del metallo, ad ogni parte del manto; in sostanza, potendo essere caldissime d'estate e molto fredde d'inverno, rappresentano di solito un ambiente poco propizio ad ospitare piccoli animali, ed è quindi relativamente difficile trovare, come accade frequentemente sui manti in laterizio, cemento o fibrocemento, nidi di volatili sotto il manto; tuttavia sulle coperture ventilate, per impedire che intrusioni di questo tipo possano comunque compromettere la funzionalità

del flusso d'aria che deve scorrere sotto il manto, si provvede all'applicazione di elementi anti-intrusione. Questi sono costituiti da retini o pettini a lamelle, metallici o plastici, che, inseriti tra gocciolatoio e lastra di manto, hanno lo scopo di chiudere lo spazio sotto le greche a corpi estranei, permettendo comunque il passaggio dell'aria.

Qualora la copertura non sia ventilata, si possono applicare, con le stesse finalità, degli elementi tappagreche in materiale metallico o plastico morbido ed adattabile, avente la stessa sagoma della greca del manto, che impedisce anche il passaggio dell'aria sotto le greche.

Parapassero o pettine anti-intrusione



11.3.10 Dispositivi di Troppopieno

Lo scopo principale di ogni elemento che costituisce una copertura è quello di ricevere acqua meteorica e trasferirla a terra preservandone l'edificio sottostante; in questo ambito il canale di gronda interno o la conversa si trova in una posizione molto delicata,

poiché, a prescindere dalla correttezza con cui è stato concepito ed eseguito, esistono circostanze che potrebbero metterlo in crisi, facendo sì che, riempiendosi oltre il bordo, tracimi versando acqua nell'edificio.

La principale causa di preoccupazione in questo senso è rappresentata dalla possibilità che il sistema fognario a valle del canale entri in crisi, per insufficiente dimensionamento, per intasamento, o per qualunque altro motivo, rifiutandosi di ricevere e smaltire tutta l'acqua che il canale gli trasmette; in questo caso l'acqua risale all'interno dei tubi pluviali (magari tracimando già dalle giunzioni a bicchiere degli stessi), e successivamente arriva al canale stesso, determinandone il progressivo riempimento ed infine tracimazione.

Un'altra causa importante di problemi di questo tipo è costituita da un eccessivo accumulo di materiale portato dal vento nel canale (foglie, terriccio, ecc.), che rallentano il normale deflusso dell'acqua, facendone salire il livello nel canale, per poi magari intasare ed otturare definitivamente gli scarichi.

Le stesse conseguenze portano, in determinati casi, un accumulo di neve che, se non trattenuto dal manto, riempie il canale impedendone lo scarico.

In altre occasioni, infine, il canale stesso ha dimensioni che sono già notoriamente appena sufficienti a svolgere il compito al quale è chiamato, ma che, in circostanze fuori dal consueto, (acquazzoni eccezionali, pioggia abbondante mista a grandine ecc.) determinano in breve tempo la crisi; questo può accadere perché, in determinate situazioni (come rifacimenti di coperture esistenti), non è semplicemente possibile installare un canale più capiente, perché manca lo spazio sufficiente, o perché ci sono altri vincoli di ordine architettonico.

In tutte queste circostanze è consigliabile porre in atto un sistema di salvaguardia del canale, che consenta, nel caso di crescita di livello dell'acqua, di trovare un'ulteriore via di sfogo impedendone la tracimazione.

Il sistema consiste nel praticare sulle testate del canale una o più aperture eventualmente collegate a tubi o doccioni esterni a scarico libero; questi, non collegati ad alcuna tubazione a valle, una volta chiamati ad intervenire potranno funzionare al massimo della loro portata.

La tipologia di queste tubazioni od aperture può essere varia, ed è senz'altro dipendente dalle condizioni particolari dell'edificio, come la natura della parete che separa la testa del canale dall'esterno, la situazione sottostante la parete, le necessità e le scelte architettoniche ecc...

Ciò che invece può essere valido in ogni caso, è la scelta della posizione delle aperture di troppopieno rispetto alla testata del canale; queste devono essere praticate ad un'altezza rispetto al fondo del canale, tale che il troppopieno non debba funzionare normalmente come scarico, ma al contempo, tale che cominci ad intervenire abbastanza presto da impedire la tracimazione del canale.

Le altezze consigliabili stanno tra un terzo dell'altezza di canale nei casi con maggiore rischio, a due terzi dell'altezza, quando lo scopo principale è quello di fornire una segnalazione o spia visiva dell'impegno al quale il canale è sottoposto.

Dispositivo "troppopieno"



Nel caso specifico di gronde esterne, l'eventuale tracimazione non viene considerata altrettanto grave, a condizione che non rappresenti un evento frequente, ma legato a condizioni di carico eccezionali, e soprattutto avvenga sicuramente dal lato esterno della gronda rispetto all'edificio.

Questo si può ottenere semplicemente prevedendo, in sede di progetto, il bordo esterno ad un livello inferiore rispetto a quello interno.

Qualora questa precauzione non sia stata presa, e si abbiano motivi di temere possibili tracimazioni, si dovrà provvedere a praticare sulle eventuali

testate, o comunque in posizioni opportune, degli intagli che abbassano localmente il livello esterno della gronda, permettendo il travaso prima di tutto in quel punto.

La posizione degli intagli deve essere individuata tenendo conto innanzitutto della situazione a terra, dove il troppopieno dovrà versare; un ulteriore suggerimento consiste, nel caso si abbiano angoli dell'edificio in cui le testate di gronda si appoggiano una contro l'altra, nell'effettuare se possibile l'intaglio in quel punto, che rimane comunque nascosto alla vista.

11.3.11 Doppifondi salvaneve/salvagrondine

Si è accennato, parlando di dispositivi di troppopieno, al rischio costituito da un eccessivo accumulo di neve o grandine nel canale. Un altro modo di mantenere sgombri i tronchetti di scarico, facendo defluire in essi l'acqua derivante dal successivo scioglimento della neve, consiste nell'impedire alla neve stessa di raggiungere il fondo del canale, pur permettendo all'acqua di farlo; questo si può ottenere mediante l'uso di profili metallici, sagomati opportunamente e semplicemente appoggiati

sul fondo del canale; questi profili, realizzati con lamiera metallica di opportuno spessore, piena o forata, impediranno il passaggio della neve consentendo quello dell'acqua attraverso piccoli fori o semplicemente attraverso i lati; essi dovranno inoltre possedere i requisiti di disegno e robustezza tali da poter essere calpestati dagli operatori senza subire danni, e senza danneggiare a loro volta il canale sottostante.

11.3.12 Dispositivi di scioglimento neve

Un ulteriore metodo per impedire alla neve, al ghiaccio o alla grandine di bloccare il fondo del canale, consiste nel montare un sistema di scioglimento della neve; questo consiste in un cavo metallico appoggiato sul fondo del canale, e passante in corrispondenza degli scarichi; il cavo, alimentato a bassa tensione, viene, durante il

funzionamento, mantenuto ad una temperatura tale da provocare lo scioglimento della neve o del ghiaccio nelle immediate vicinanze; si crea così un piccolo ma costante flusso d'acqua verso gli scarichi, che permette il graduale smaltimento della neve accumulata.

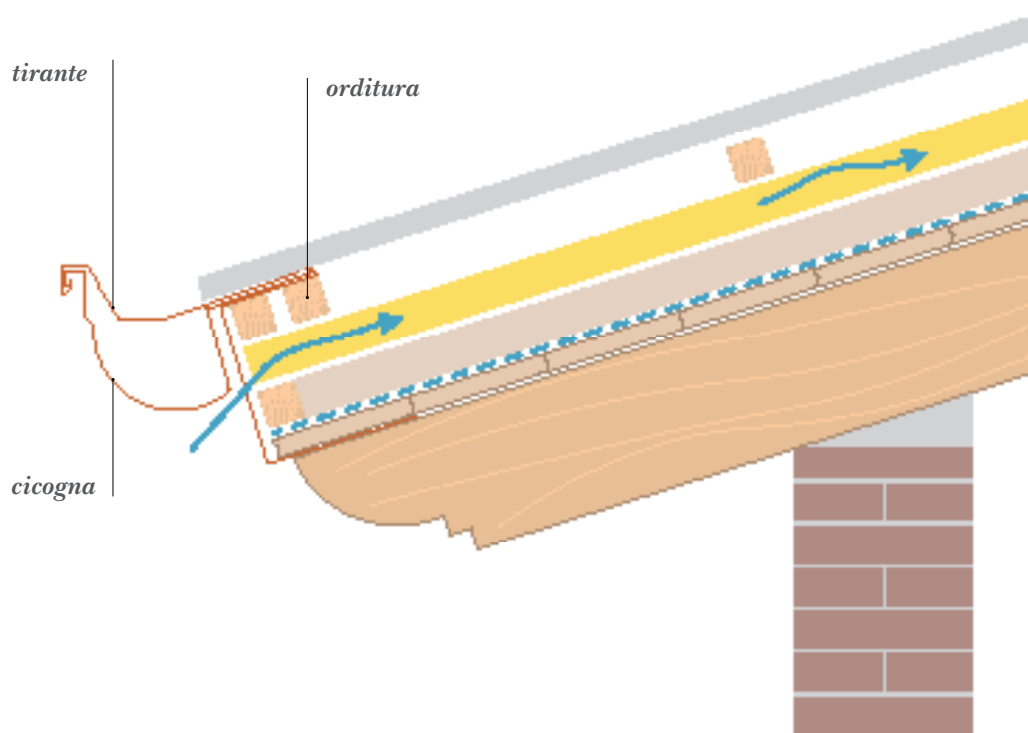
11.3.13 Cicogne e tiranti di supporto

Le gronde esterne sono sospese a sbalzo alla cornice esterna dell'edificio mediante elementi appositi. Normalmente questi sono costituiti da staffe in piatto di metallo uguale o compatibile con quello della gronda, e di opportuno spessore, aventi la sagoma esterna del canale, che vengono fissate al passo opportuno (da cinquanta centimetri ad un metro, a seconda delle dimensioni e quindi del peso della gronda colma d'acqua) alla cornice dell'edificio o al primo arcareccio di gronda. Su queste staffe, denominate cicogne, viene semplicemente posato il canale, senza operare fissaggi.

Per finire, vengono montati, sempre alla cornice od al primo arcareccio di gronda, dei tiranti, di norma ricavati dallo stesso piatto delle cicogne, che portano all'estremità esterna un foro. Attraverso questo foro, e a quello analogo praticato all'estremità delle cicogne, viene fatto passare un bullone che blocca il tutto.

A volte le gronde esterne sono alloggiate con il fondo o una parte di esso sulla cornice dell'edificio; in questi casi, non essendo utile la cicogna, si utilizza il solo tirante, vincolato direttamente al bordo esterno della gronda stessa.

Sezione tipologica gronda appesa



11.3.14 Tronchetti di scarico

L'elemento che raccoglie l'acqua dal canale e la trasferisce al tubo pluviale è denominato tronchetto o bocchetto di scarico.

Esso è costituito da un cilindro dello stesso materiale della gronda, dotato ad una delle due estremità di una bordatura larga circa quindici millimetri.

La lunghezza del tronchetto dipende dalla situazione particolare, o meglio dalla distanza in verticale intercorrente tra il fondo del canale e l'imbocco del canale discendente, ma mediamente si può valutare in quindici – venti centimetri.

Il diametro del tronchetto è previsto in sede progettuale, in funzione della portata d'acqua che deve trasmettere al discendente, ma in ogni caso si dovrà porre cura che vi sia un gioco tra il tronchetto ed il discendente di almeno un centimetro per lato; questo per evitare che le dilatazioni ed i movimenti del canale portino il tronchetto ad urtare e a premere contro l'imbocco del pluviale; questo, essendo di norma il pluviale il più robusto dei due, causerebbe il danneggiamento o la distruzione dell'attacco e della sigillatura fra canale e tronchetto, con la conseguente possibilità di perdite sotto il canale.

Il montaggio del tronchetto sul fondo del canale, con rivetti e sigillante siliconico, può avvenire in due modi: nel primo, concettualmente più corretto, dopo avere praticato sul fondo del canale un foro

di dimensioni inferiori al diametro del tronchetto, si monta quest'ultimo sotto il foro (sollevando il tronco di canale), svasando poi il bordo del foro sul canale verso l'interno del bocchetto "seguendo, come si dice, il verso dell'acqua".

Nel secondo modo si monta invece il tronchetto al di sopra del foro sul canale; è chiaro che questa seconda modalità, benché di più facile realizzazione, in quanto non costringe a sollevare il canale per il montaggio, è più rischiosa, perché si affida, per la tenuta, esclusivamente alla corretta esecuzione ed alla durata della sigillatura tra tronchetto e canale, mentre la prima soluzione può entro certi limiti contare anche sul corretto verso di sovrapposizione fra gli elementi, che in teoria non richiederebbe alcuna sigillatura.

Come si è detto in precedenza, uno dei motivi che possono compromettere la buona funzionalità di un canale è l'accumulo di sporcizia nelle vicinanze dei tronchetti di scarico, che può generare l'intasamento dei tubi discendenti.

Uno dei modi per cercare di evitare questo pericolo, oltre naturalmente a praticare la buona abitudine di una periodica ed accurata manutenzione e pulizia dei canali stessi, (che va sempre caldamente raccomandata all'utente dell'edificio), consiste nell'applicare sui tronchetti stessi appositi elementi denominati gabbiette o tronchetti parafoglie.

Gabbietta parafoglie



Questi hanno lo scopo di bloccare gli oggetti di una certa dimensione, come le foglie, lasciando tuttavia defluire l'acqua; questi elementi hanno varia foggia e possono essere costruiti in plastica o metallo; inoltre possono avere la forma vera e propria di gabbietta, oppure di tubo forato; una cosa da tenere in considerazione, tenendo conto del fatto che di solito sono semplicemente infilati nel tronchetto, è la relativa facilità con cui, data la leggerezza, possono essere strappati dalla loro sede a

causa del vento; vale la pena quindi di considerare l'opportunità di zavorrare gli elementi o bloccarli al tronchetto.

È importante ricordare che anche questi elementi possono, a lungo andare, rimanere abbastanza intasati da non permettere più il passaggio dell'acqua in quantità accettabile, svolgendo quindi la sola funzione di impedire che la sporcizia entri nel pluviale; si ribadisce quindi la salutare necessità della pulizia periodica dei canali.

11.3.15 Cassette di raccolta

In tutti i casi in cui un canale interno di gronda o conversa deve avere scarichi in corrispondenza delle testate, fuori dal perimetro dell'edificio, è necessario collegare il tubo pluviale, verticale, con il tubo o la bocca d'uscita del canale, orizzontale. Per fare ciò, si utilizza normalmente un elemento denominato cassetta di raccolta, costituito da una scatola metallica la cui forma, comunemente quadrangolare, può variare in funzione delle scelte architettoniche; la dimensione della cassetta è invece tale da poter assolvere, oltre alla funzione di collegamento col pluviale, quella di "polmone" di compensazione; in altre parole la capienza è sufficiente per poter assorbire gli eccessi di breve durata nella portata del canale, ad esempio in occasione di violenti acquazzoni, trasferendo l'acqua al pluviale sottostante in maniera graduale, in funzione di quanto quest'ultimo può ricevere; non di rado, in quest'ottica, nella parete esterna della cassetta rispetto alla parete è ricavato un intaglio oppure viene montato un tubo ad altezza tale da

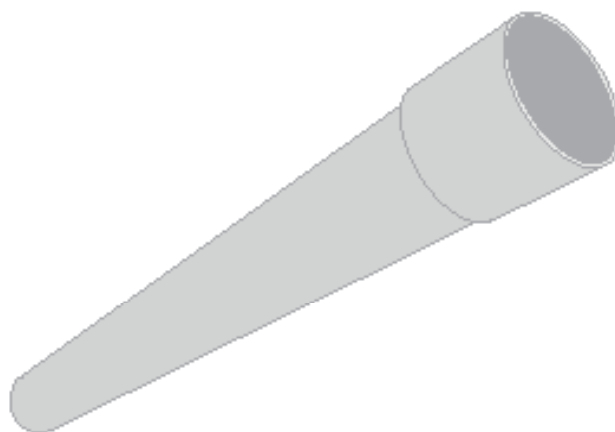
fungere da troppopieno, in modo da assicurare la funzionalità della cassetta anche in casi estremi; la cassetta stessa, peraltro, è quasi sempre aperta sul lato superiore.

Nelle operazioni di fissaggio della cassetta alla parete, va tenuto in considerazione il peso considerevole che essa può assumere quando è colma d'acqua; inoltre bisogna ricordare che, mentre la cassetta, una volta vincolata alla parete, rimarrà ad essa solidale, e quindi fissa, il tronchetto orizzontale che dal canale versa l'acqua in cassetta è solidale al canale stesso, che si muove per effetto delle dilatazioni termiche, e quindi non dovrà assolutamente essere reso solidale alla cassetta, pena la possibile distruzione delle sigillature e delle rivettature; si dovrà invece provvedere un imbocco mobile, con l'ultimo tratto in discreta pendenza, per evitare il ritorno di gocce e scolature (che poi percolerebbero sull'esterno della parete) nella zona in cui il tronchetto orizzontale entra nel foro della cassetta.

11.3.16 Tubi pluviali

I tubi pluviali o tubi discendenti sono elementi che raccolgono l'acqua dai canali, direttamente attraverso i tronchetti di scarico oppure tramite cassette, e la trasferiscono a terra (oppure ad un livello inferiore prestabilito), convogliandola nel sistema fognario o semplicemente scaricando a bocca libera.

Pluviale con imboccatura a bicchiere



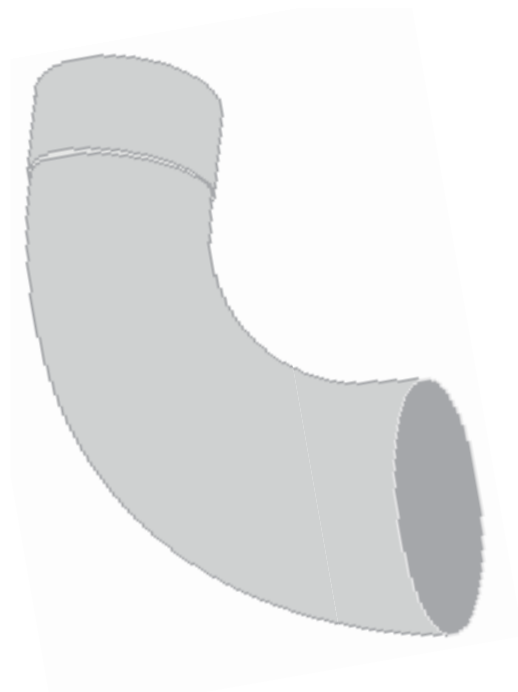
Sono costituiti da vari tronconi di tubo, a sezione circolare o quadrangolare, e con innesto a bicchiere; il materiale di cui sono costituiti è metallico (dello stesso tipo dei tronchetti e dei canali) oppure plastico (PVC).

I tubi pluviali possono essere già inseriti nei pilastri della struttura dell'edificio, come accade frequentemente nelle strutture prefabbricate in cemento armato; in questo caso, l'unica cura dell'operatore deve essere quella di inserire correttamente, e col dovuto gioco, i tronchetti di scarico dei canali nelle imboccature dei pluviali, anche se non è mai male verificare, quando possibile, che i pluviali siano effettivamente funzionanti e non bloccati a causa di inconvenienti durante la fabbricazione del pilastro (nei casi più preoccupanti, è possibile sincerarsene versando acqua nei pluviali e controllando che non risalga).

Quando invece la calata del pluviale, cioè l'insieme dei tronconi che vanno dall'altezza di canale fino allo scarico, è esterna al pilastro, il suo montaggio è di solito affidato all'operatore. Se la traiettoria della calata è rettilinea, il montaggio avviene semplicemente sovrapponendo i vari tronchi (ovviamente

col lato a bicchiere verso monte) e fissando il tutto con gli accessori appositi, i collari o braccioli, i quali vanno a cingere il pluviale appena sotto il bicchiere, in modo che la sporgenza dello stesso serva anche da blocco allo scivolamento verso il basso della calata, ed anche perché quello della piega del bicchiere è il punto di maggiore rigidità del tronco di tubo. Se invece la calata deve seguire un determinato percorso, ad esempio per seguire l'andamento di cornici o per evitare ostacoli in parete, si dovranno utilizzare vari tronconi separati da apposite curve o gomiti, anch'essi dotati di bicchiere. In ogni caso, i collari dovranno essere dotati di sistemi di attacco alla parete differenziati a seconda del tipo di materiale di cui essa è costituita (tasselli ad espansione di vario tipo per pareti in laterizio o cemento, bulloni, viti, rivetti e simili per pareti metalliche).

Curva o gomito per calata



Le avvertenze fondamentali nel montaggio sono le seguenti: accertarsi della corretta esecuzione e della tenuta meccanica del fissaggio dei braccioli; imboccare completamente il bicchiere per tutta la sua altezza; verificare che la calata, anche se cambia direzione con curve, sia sempre rettilinea nel piano perpendicolare alla parete; verificare che le parti non verticali conservino sempre una pendenza minima non inferiore a trenta gradi (per evitare il pericolo di rigurgito dai bicchieri in caso di sovraccarico).

Al piede della calata vi può essere semplicemente l'inserimento rettilineo in un pozzetto, ed in questo caso, prima del montaggio, è necessario verificare la posizione di partenza del pluviale, in modo da "cadere" nel pozzetto senza spostamenti laterali; inoltre è bene verificare fin dall'inizio che il diametro del foro nel pozzetto sia adatto all'inserimento del tubo (con un gioco di circa un centimetro).

In altri casi, la calata terminerà con una curva finale, in corrispondenza della quale verrà posto

l'ultimo collare; la bocca della curva verrà orientata in genere verso l'esterno dell'edificio, salvo esigenze particolari, controllando che lo spazio antistante sia libero da eventuali ostacoli al deflusso dell'acqua.

Molto spesso, nel caso di calate esterne a vista, l'ultimo tratto di tubazione vicino a terra viene sostituito da un apposito terminale realizzato in ghisa; questo allo scopo di proteggere almeno la parte di calata più raggiungibile da terzi, da possibili danneggiamenti (urti di mezzi in parcheggio, ecc.).

In altri casi, allo stesso scopo oppure per motivi architettonici, si applicano dei carter di protezione/finitura in metallo, sagomati nelle forme opportune, che ricoprono parzialmente o completamente le calate e sono fissati alla parete con fissaggi previsti per potere essere smontati in caso di ispezione o manutenzione dei pluviali sottostanti.

11.3.17 Paraneve

Le coperture situate in zone particolarmente nevose sono in genere caratterizzate da pendenze di falda superiori alla media. Di conseguenza i canali di gronda e consera sono esposti ad essere riempiti ed intasati dalla massa di neve che scende dalle falde, appunto per effetto della pendenza. In certi casi esiste anche il pericolo che la neve, superando la gronda, cada direttamente al suolo, provocando danni.

Per ovviare a questo inconveniente, trattenendo la neve sulle falde in modo che il rilascio sia graduale, si possono adottare elementi paraneve, disposti in una o più file in senso parallelo alla linea di gronda, a distanze prefissate ed opportune. Naturalmente le file saranno concentrate nella parte della falda vicina alla gronda, dove confluisce la maggior parte della neve.

Elementi fermaneve in pressopiegatura



Gli elementi paraneve possono essere di tipo continuo o discontinuo; esistono ad esempio i paraneve di tipo continuo costituiti da elementi in metallo pressopiegati a formare una sagoma rigida, e vincolati alle lastre del manto in modo da lasciare liberi i fondi delle greche, e di conseguenza permettere il passaggio dell'acqua, trattenendo la massa di neve; un'altra soluzione costruttiva di paraneve continuo è costituita da tubi metallici infilati in apposte staffe, a loro volta vincolate al manto di copertura.

I paraneve di tipo discontinuo, raramente utilizzati su manti metallici, sono costituiti da singole staffe sagomate generalmente a triangolo, distribuiti in modo uniforme sul manto.

La collocazione dei paraneve viene solitamente decisa in fase di progetto, così come la tipologia di fissaggio; è opportuno tuttavia verificare durante la posa che la loro applicazione non influisca negativamente sulla possibilità di movimento per dilatazione termica delle lastre del manto.

11.3.18 Calcolo della capienza

Il calcolo della capienza dei canali di gronda e di conversa, e poi delle relative condotte di scarico, è di importanza fondamentale ai fini del corretto funzionamento dell'intera copertura, e va eseguito in modo rigoroso.

La Normativa attualmente vigente per eseguire il dimensionamento o la verifica di un sistema di scarico è la UNI EN 12056-3:2001, che permette un approccio progressivo, dal calcolo della portata

d'acqua a quello della dimensione del canale, fino al calcolo delle bocche di scarico e delle calate pluviali.

Tale Normativa è adatta alla verifica di canali a sezione trapezoidale, tipici delle coperture metalliche, e completa la precedente UNI 9184:1987-1993, che era orientata principalmente ai canali di gronda a sezione semicircolare tipici di edifici residenziali con coperture in tegole o coppi.

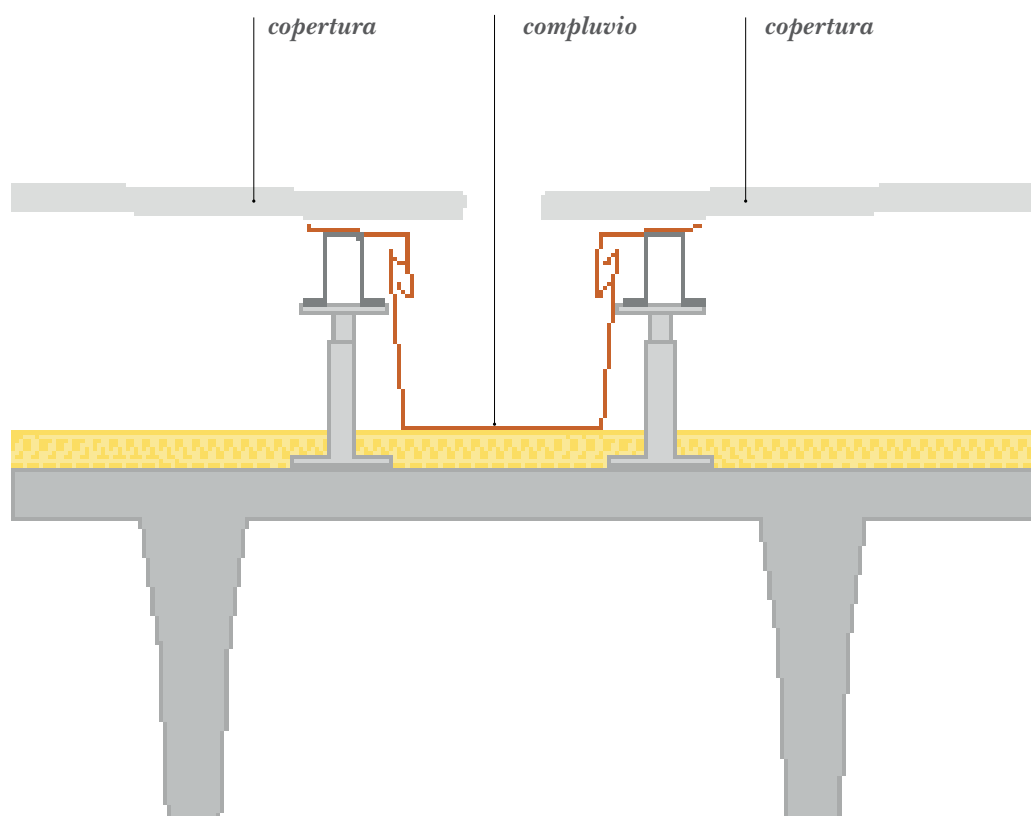
11.4 Compluvi

11.4.1 Descrizione

I compluvi sono lattonerie con sagoma a forma di vasca, poste tra due falde le cui pendenze convergono una verso l'altra; essi sono dotati di fianchi alti quanto quelli della pendenza che risulta dall'intersezione fra i piani delle falde convergenti. I compluvi ricevono l'acqua da entrambe le falde e la trasferiscono, la loro sbocco, al canale di gronda.

Essendo posti in pendenza, sviluppano un flusso d'acqua veloce, per cui, salvo esigenze particolari, non sono dotati di fianchi alti quanto quelli dei canali di gronda, ma di norma sono compresi nello spessore del pacchetto di copertura.

Sezione compluvio



11.4.2 Elementi di supporto/separazione/antifrizione/coibentazione

I compluvi sono appoggiati su di un supporto; generalmente questo supporto, nel caso di strutture in laterizio – cemento, fa parte della struttura stessa. In altri casi, su strutture metalliche o in legno, non esiste un supporto specifico, che quindi deve essere creato (in genere utilizzando una lamiera metallica di sufficiente spessore); il supporto per il compluvio deve essere creato, oltre che per garantire una sufficiente pedonabilità, anche per la necessità di alloggiare uno strato isolante sotto il compluvio stesso. Questo strato di materiale isolante di basso spessore, assolve due distinte funzioni: ripristina la conti-

nuità della coibentazione del manto di copertura, evitando che si instaurino zone non isolate termicamente (i cosiddetti ponti termici), le quali darebbero luogo nella stagione fredda a formazioni di acqua di condensazione. Quando la sede del canale fa parte dell'edificio, e quindi è costituita da superficie in cemento o laterizio, lo strato isolante assolve anche la funzione di elemento separatore antifrizione fra la superficie ruvida della sede di canale e la sottile parete di alluminio del canale che, essendo in continuo movimento per effetto delle dilatazioni termiche, si rovinerebbe per attrito in breve tempo.

11.4.3 Conicità di sovrapposizione

Le linee di compluvio devono essere realizzate mediante l'unione di diversi tronchi ai quali il procedimento di pressopiegatura ha conferito la sagoma voluta: come si già detto a proposito dei canali di gronda e conversa, per poter unire in opera i vari pezzi, viene loro conferita in produzione una conicità; questa si ottiene attribuendo ad una estremità del tronco la sagoma prevista in sede di progetto, ed all'altra estremità una sagoma leggermente diversa, in modo che possa inca-

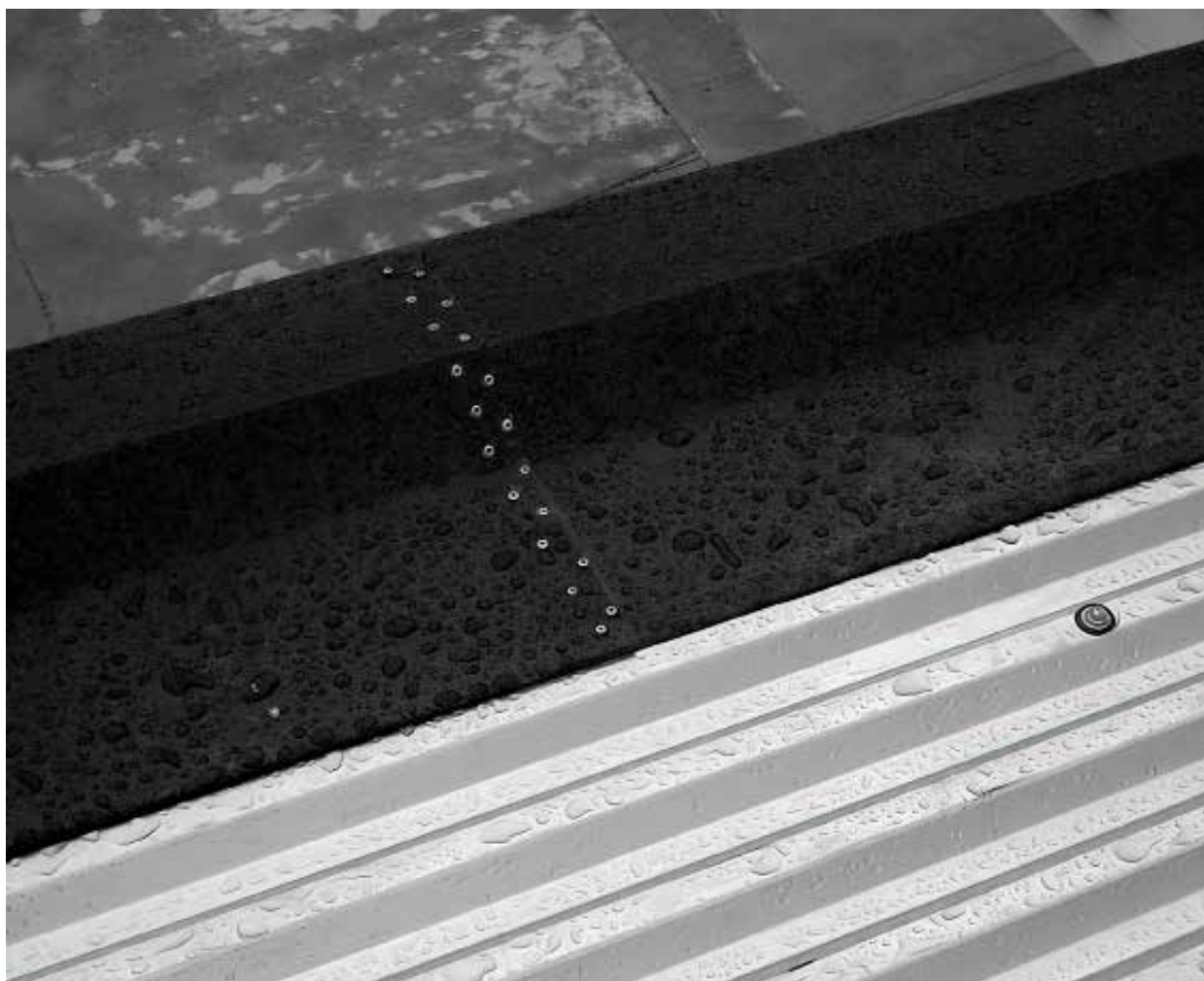
strarsi internamente o esternamente nella sagoma standard, creando una sovrapposizione che va da quindici a venti centimetri.

È fondamentale, trattandosi di una lattoneria in pendenza, che il verso di sovrapposizione dei due tronchi sia realizzato in modo da rispettare il senso di passaggio dell'acqua, ovvero con il pezzo a monte che si sovrappone a quello a valle e non viceversa.

11.4.4 Giunzione tra due elementi (rivettatura/sigillatura)

La giunzione fra i due elementi di compluvio avviene con le stesse modalità descritte nell'analogo paragrafo riguardante i canali di gronda e di conversa (al quale si rimanda per maggiori dettagli). Anche in questo caso, si procederà all'applicazione di una doppia fila di rivetti con passi di quattro – cinque centimetri, a circa due centimetri dai bordi, e con rivetti nelle immediate

vicinanze di ogni piega. La sigillatura sarà realizzata in doppia riga all'interno della sovrapposizione, in corrispondenza delle file di rivetti, con una terza riga a finire o striscia autoadesiva sul bordo di sovrapposizione, e con la sigillatura di ogni testa di rivetto.



11.4.5 Testine terminali a monte

Il compluvio ottenuto dall'unione dei vari tronconi dovrà essere chiuso a monte da una testina terminale; questa, sagomata in modo da accoppiarsi esattamente al profilo del canale, sarà dotata di bordi laterali larghi circa venti millimetri,

in modo da poter essere rivettata e sigillata ai lati del compluvio stesso; è opportuno che la testina sia montata coi bordi all'esterno, in modo da praticare i fori dei rivetti dal lato che resterà asciutto.

11.4.6 Raccordo col canale in piano

Il compluvio, come si è detto, raccoglie l'acqua dalle falde e la trasferisce nel canale; il punto in cui ciò avviene, cioè l'estremità a valle, va considerato con estrema attenzione: infatti qui si devono conciliare due esigenze apparentemente in contrasto tra loro: la prima è quella della tenuta idraulica del raccordo; la seconda è la libertà di movimento per dilatazione termica dei due elementi canale e compluvio. Il canale, tra l'altro, in quel punto cambia direzione, per cui abbiamo tre diverse direzioni secondo le quali si sviluppano gli effetti della dilatazione ed avvengono i movimenti; di conseguenza il punto di collegamento

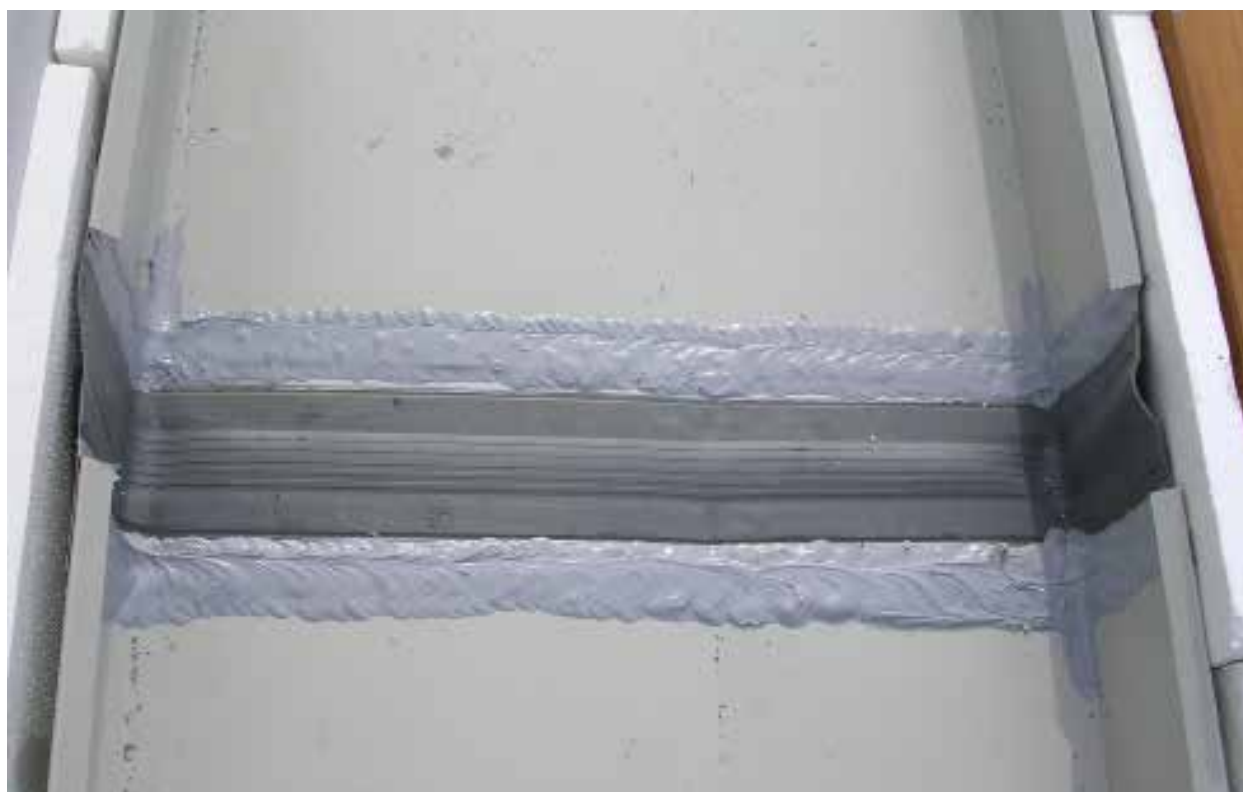
tende ad essere sollecitato secondo quelle direzioni. Per evitare che questa situazione porti ad un cedimento delle rivettature, o nella migliore delle ipotesi ad un distacco delle sigillature, con la conseguente perdita della tenuta, è bene che siano previsti giunti di dilatazione ai canali nelle vicinanze del punto di collegamento, o quantomeno che il tratto terminale del compluvio sia alloggiato in una sede dalle dimensioni sufficienti a permettergli una certa libertà di movimento, unitamente alla presenza di uno strato antifrizione che elimini l'attrito.

11.4.7 Giunti di dilatazione in gomma vulcanizzata

Quando la lunghezza del compluvio è notevole, mediamente più di quindici metri, può essere consigliabile realizzare un giunto di dilatazione, preferibilmente in prossimità dell'innesto a valle con il canale di gronda. Il giunto da utilizzare è obbligatoriamente quello in gomma vulcanizzata,

per mantenere la continuità del flusso. Le caratteristiche del giunto sono analoghe a quelle già viste per i canali di gronda e di conversa, comprese le modalità di installazione e le avvertenze sulla temperatura del materiale al momento del montaggio in relazione alla contrazione o disten-

Giunto di gomma



sione della parte in gomma. Valgono anche le considerazioni fatte sull'opportunità di proteggere la gomma dei giunti dai raggi ultravioletti,

con le maggiori precauzioni relative al fatto che la pendenza del compluvio rende più critica la presenza di ostacoli al flusso.

11.4.8 Gocciolatoi laterali

Anche il compluvio, analogamente al canale e per le stesse ragioni, ha bisogno di norma di gocciolatoi laterali, tanto più per la ridotta altezza dei fianchi del compluvio stesso rispetto ai fianchi di canale,

che aumenta la possibilità di rigurgiti oltre il bordo. Le caratteristiche e modalità di installazione sono del resto analoghe a quelle già viste per i canali.

11.4.9 Elementi anti-intrusione

Gli elementi anti-intrusione, quando adottati, sono del tutto analoghi a quelli di cui si è già parlato per i canali, fatta salva la possibilità di adattare gli stessi elementi ad una configurazio-

ne di passo greche diversa, in quanto le lastre di manto terminano sul compluvio diagonalmente.

11.5 Colmi semplici e ventilati

11.5.1 Descrizione

I colmi sono lattennerie poste sopra il manto, nella zona più a monte della copertura, dove partono le falde; sono di solito collocati lungo una linea priva di pendenza.

I colmi hanno il compito principale di collegare le estremità a monte delle falde, assicurando la tenuta idraulica in quella zona; inoltre, in caso di copertura ventilata, costituiscono l'elemento d'uscita dell'aria di ventilazione.

11.5.2 Conicità di sovrapposizione

Le linee di colmo devono essere realizzate mediante l'unione di diversi tronchi ai quali il procedimento di pressopiegatura ha conferito la sagoma voluta: come si già detto a proposito dei canali di gronda e conversa, per poter unire in opera i vari pezzi, viene loro conferita in produzione una conicità; questa si ottiene attribuendo

ad una estremità del tronco la sagoma prevista in sede di progetto, ed all'altra estremità una sagoma leggermente diversa, in modo che possa incastrarsi internamente o esternamente nella sagoma standard, creando una sovrapposizione che va da quindici a venti centimetri.

11.5.3 Giunzione tra due elementi (rivettatura/sigillatura)

La giunzione fra i due elementi di colmo avviene con le stesse modalità descritte nell'analogo paragrafo riguardante i canali di gronda e di conversa (al quale si rimanda per maggiori dettagli). È importante però sottolineare che, a differenza dei canali, i vari tronchi di lattenneria che costituiscono la linea di colmo non devono, di norma, essere rivettati tra loro; il colmo, infatti, è una

lattenneria estremamente esposta alle variazioni di temperatura, e quindi suscettibile di notevoli movimenti.

La procedura corretta prevede invece che ogni tratto di colmo venga fissato alla struttura sottostante, di solito gli arcarecci, tramite i fissaggi che permettano la dilatazione del metallo (vite con guarnizione, vite con cappello ecc.).

Le sovrapposizioni verranno poi realizzate con le linee di sigillatura consuete, ma senza rivettare tra loro i bordi; questo perché la linea di sigillante, essendo dotata di una certa elasticità, consente un certo movimento, mentre i rivetti lo bloccherebbero totalmente.

Affinché questa disposizione, nota comunemente come giunto di dilatazione a scorrimento, funzioni correttamente, è indispensabile che i fissag-

gi vengano eseguiti come previsto, con gioco tra foro e vite, e che gli ultimi fissaggi di ogni tronco siano posti in vicinanza della giunzione (a dieci – quindici centimetri da ogni lato) per evitare che i tratti a sbalzo siano troppo lunghi.

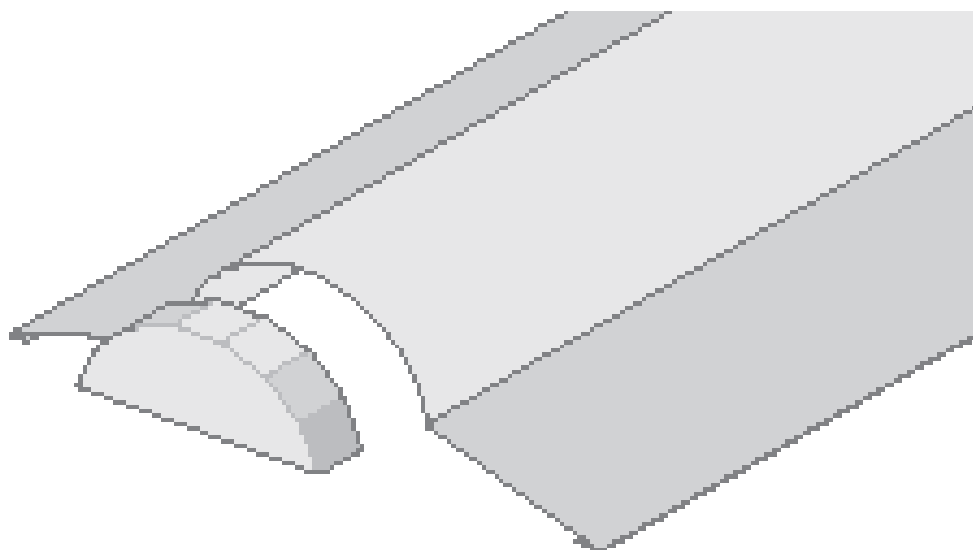
Questo per evitare il distacco delle linee di sigillante dal metallo, sia a causa della dilatazione che per incauto pedonamento.

11.5.4 Testine terminali

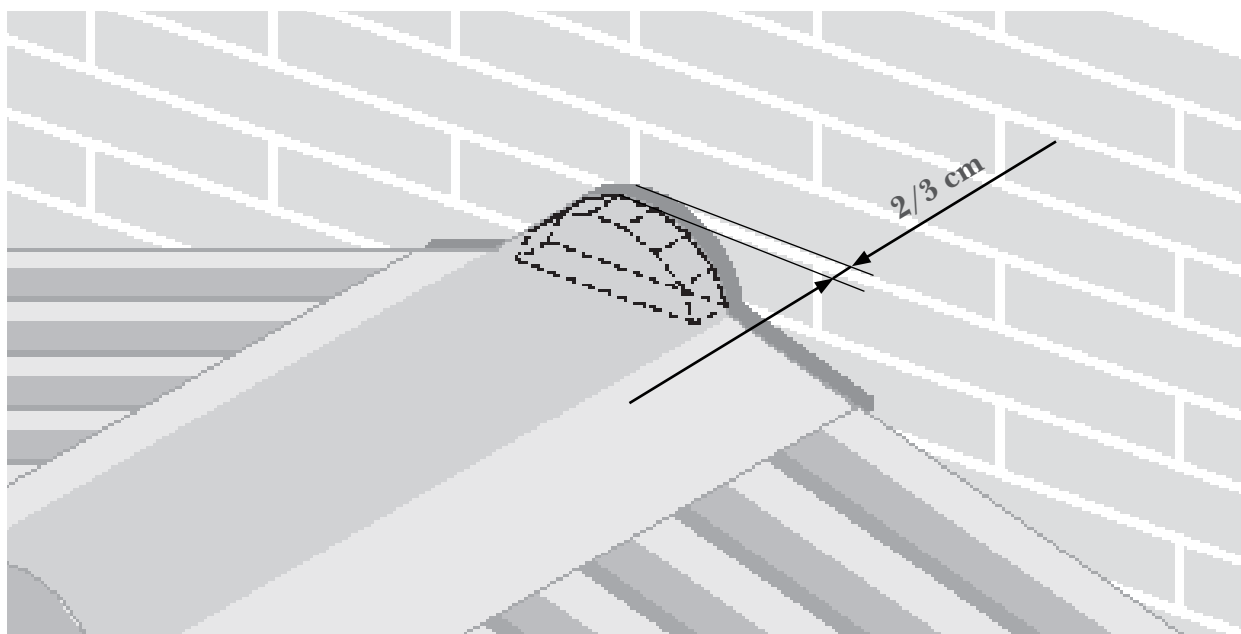
Quando la linea di colmo termina sul bordo della testata dell'edificio, ed è quindi visibile dall'esterno, si dovrà provvedere al montaggio di una testina terminale; questa, oltre a costituire la finitura estetica del colmo, avrà anche il compito di chiudere l'estremità al possibile ingresso d'aria e d'acqua. Di norma le testine dovrebbero arrivare in cantiere prelaborate, con la sagoma esatta del colmo a cui devono essere accoppiate, e con i bordini di fissaggio per la rivettatura e la sigillatura.

Nei casi in cui la linea di colmo termina a ridosso di una parete, si dovrà invece provvedere a raccordare con essa l'ultimo tratto del colmo, creando all'estremità dell'ultimo troncone un bordo rilevato, al quale verrà poi sovrapposta la scossalina di raccordo della parete, oppure il rivestimento della stessa. È importante ricordare che, per consentire alla linea di colmo il movimento dovuto alla dilatazione termica, la parte terminale non deve mai essere forzata contro la parete: si terrà invece un gioco di circa due – tre centimetri.

Esempi testine terminali per colmo



Spazio necessario per la dilatazione del colmo



11.5.5 Giunti di dilatazione meccanici in alluminio

Quando la linea di colmo assume lunghezze notevoli senza interruzioni, e in condizioni ambientali particolarmente severe, pur ponendo in atto il sistema di collegamento a giunti scorrevoli già descritto, può essere consigliabile adottare anche un sistema a giunto meccanico per interrompere la continuità dei vari tronconi.

Per fare ciò, nella giunzione prestabilita si provvede a rialzare l'estremità di ognuno dei due tronconi, creando un bordo di sufficiente altezza (almeno cinque centimetri); dopo avere presentato, accostati ad un'opportuna distanza, i due pezzi, si sovrappone ad entrambi un coprigiunto, di solito sagomato ad "U", che ricopre lo spazio fra i tronconi creando la tenuta idraulica. Il coprigiunto verrà rivettato e sigillato ad uno dei due tronconi, rimanendo indipendente rispetto all'altro.

È importante ripetere qui le considerazioni fatte a proposito dei canali sulla temperatura del materiale al momento del montaggio; se infatti questo avviene a temperature elevate, si suppone che i tronconi siano intorno al massimo del loro allungamento; pertanto si potranno montare i tronchi accostati e molto vicini, perché si suppone che poi, d'inverno o comunque a temperature rigide, il materiale subirà una contrazione ed i tronchi si accorceranno, allontanandosi. Al contrario, in una giornata invernale, con temperatura bassa, converrà montare i tronchi scostati tra di loro, tipicamente almeno di due - tre centimetri, in modo che successivamente, a temperature più elevate, si possano allungare senza forzare uno contro l'altro.

11.5.6 Tipologie di colmo

I colmi possono assumere diverse configurazioni, in funzione delle falde a cui si devono adatta-

re; si possono però distinguere alcune categorie generali:

Colmo piano in pezzo unico



Il tipo più semplice è il colmo in pezzo unico, non ventilato, che si applica direttamente ad entrambe le falde; è costituito da due parti piane, con pieghe di irrigidimento, parallele alle rispettive falde. È molto importante tenere in considerazione che questo tipo di colmo in pezzo unico collega e quindi "lega" tra loro due falde ad andamento opposto, che tendono a svolgere la loro dilatazione in senso opposto; esiste quindi il pericolo che le sollecitazioni espresse da queste dilatazioni, se consentite, spezzino i fissaggi tra colmo e falde; per evitare questo si dovrà avere cura di creare su ognuna delle falde un punto fisso proprio in corrispondenza del colmo, lasciando dilatare le falde verso valle.

Esiste poi il colmo in due pezzi, che normalmente si pone in opera su coperture ventilate; è costituito da due parti piane analoghe al quelle del colmo in pezzo unico, alle quali è aggiunta una parte centrale a labirinto maschio da un lato e femmina dall'altro, che preservano la tenuta idraulica permettendo l'uscita dell'aria di ventilazione. Quando si pone in opera questo tipo di colmo bisogna fare attenzione a rispettare la distanza minima fra i due pezzi prevista dal progetto, in modo da assicurare la sezione minima necessaria al funzionamento della ventilazione.

Colmo ventilato



Occorre infine citare il colmo in tre pezzi, costituito da due parti piane dotate di sponde verticali, e da un terzo elemento, sagomato a cappello, che le ricopre, creando una doppia uscita (una per lato) di ventilazione.

Il cappello è supportato da staffe metalliche. Le avvertenze, in questo caso, si riducono a rispettare le distanze reciproche fra le parti laterali ed il cappello, in modo da preservare la sezione di passaggio dell'aria di ventilazione.

Un'importante variante a tutte queste tipologie è rappresentata dai colmi con le parti parallele alla falda stampate con la sagoma della lastra grecata alla quale si devono accoppiare: in questo caso non esistono fori tra colmo e lastra grecata se non quelli previsti appositamente per l'uscita di ventilazione. La finitura generale della zona ne risulta notevolmente migliorata.

Colmo ventilato dentellato



11.5.7 Elementi anti-intrusione

Le considerazioni fatte per i canali a proposito dell'ingresso di insetti e piccoli animali sotto il manto valgono naturalmente anche per i colmi, attraverso i quali, come abbiamo visto, esce l'aria di ventilazione.

Gli elementi a pettini o a lamelle vengono inseriti nel colmo a tre elementi, all'interno dell'elemento centrale. Il colmo a due elementi in genere non permette l'inserimento di elementi anti-intrusione, poiché la fessura di uscita della ventilazione ha dimensioni minori.

11.6 Displuvi (colmi diagonali)

11.6.1 Descrizione

I displuvi, o colmi diagonali, sono lattonerie poste sopra il manto, comprese tra due falde le cui pendenze divergono una dall'altra; essi sono dotati della pendenza che risulta dall'intersezione fra i piani delle falde divergenti.

I displuvi hanno il compito principale di collegare i bordi laterali delle falde, dove questi non sono paralleli alla pendenza, assicurando la tenuta idraulica in quella zona.



11.6.2 Conicità di sovrapposizione

Le linee di displuvio devono essere realizzate mediante l'unione di diversi tronchi ai quali il procedimento di pressopiegatura ha conferito la sagoma voluta: come si già detto a proposito dei colmi, per poter unire in opera i vari pezzi, viene loro conferita in produzione una conicità; questa si ottiene attribuendo ad una estremità del tronco la sagoma prevista in sede di progetto, ed all'altra estremità una sagoma leggermente diversa, in modo che possa incastrarsi

internamente o esternamente nella sagoma standard, creando una sovrapposizione che va da quindici a venti centimetri.

È fondamentale, trattandosi di una lattoneria in pendenza, che il verso di sovrapposizione dei due tronchi sia realizzato in modo da rispettare il senso di passaggio dell'acqua, ovvero con il pezzo a monte che si sovrappone a quello a valle e non viceversa.

11.6.3 Giunzione tra due elementi (rivettatura/sigillatura)

La giunzione fra i due elementi di displuvio avviene con le stesse modalità descritte nell'analogo paragrafo riguardante i colmi (al quale si rimanda per maggiori dettagli).

Anche in questo caso si eviterà di rivettare le estremità dei vari tronchi, affidandosi, per la

tenuta idraulica alle linee di sigillatura, ed utilizzando i fissaggi che permettono la dilatazione del metallo, come viti con guarnizione o cappello e gioco tra foro e gambo.

11.6.4 Raccordi con i colmi

Il displuvio, separando due falde a pendenza divergente, è generalmente destinato, alla sua estremità a monte, a raccordarsi con un'estremità della linea di colmo e/o con l'estremità di un altro displuvio.

In questo punto, nel quale più elementi convergono da diverse direzioni, le sollecitazioni derivanti dalle dilatazioni termiche si contrastano, e possono dare luogo a problemi di tenuta.

Il raccordo verrà quindi eseguito ponendo in opera fissaggi che permettono la dilatazione termica, localizzati nelle immediate vicinanze del punto di congiunzione, sigillando il giunto ed evitando di collegare i diversi elementi con rivetti. Naturalmente i displuvi dovranno essere posti al di sotto dei colmi, rispettando la direzione del flusso dell'acqua.

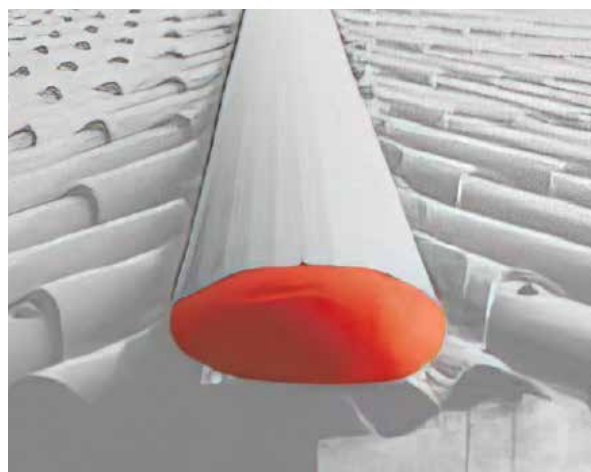
Displuvio con bandella microcorrugata in alluminio



11.6.5 Testine terminali a valle

All'estremità a valle del displuvio si provvede solitamente al montaggio di una testina terminale; questa, oltre a costituire la finitura estetica del displuvio, avrà anche il compito di impedire il possibile ingresso d'aria e d'acqua.

Di norma le testine dovrebbero arrivare in cantiere prelaborate, con la sagoma esatta del displuvio a cui devono essere accoppiate, e con i bordini di fissaggio per la rivettatura e la sigillatura.



11.6.6 Elementi anti-intrusione

Normalmente i displuvi non sono concepiti per avere uscite d'aria di ventilazione, per cui gli eventuali elementi anti-intrusione previsti sono costituiti da elementi tappagreche in materiale

metallico o plastico morbido ed adattabile, avente la stessa sagoma della greca del manto, che impedisce anche il passaggio dell'aria sotto le greche.

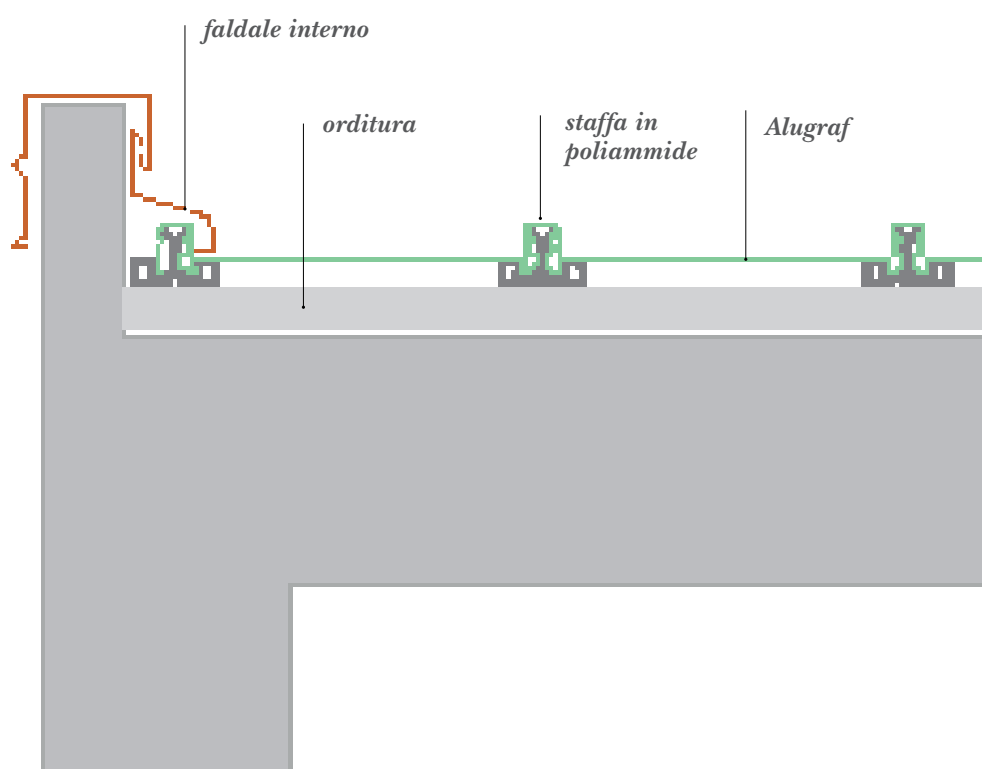
11.7 Faldali esterni ed interni

11.7.1 Descrizione

I faldali sono lattonerie poste sopra il manto, che completano il bordo laterale di una falda in senso parallelo alla pendenza. Quando la falda termina staccata da altri edifici, il faldale, detto esterno, è costituito da una parte piana con bordino di irrigidimento sul piano della falda sopra le greche, e da un lato verticale a scendere, il frontalino, anch'esso dotato di finitura al bordo.

Quando invece la falda termina contro una parete più alta, il faldale, detto interno, è costituito ancora da una parte piana sulla falda e da un lato verticale a salire contro la parete; a quest'ultimo, opportunamente staccato dalla parete stessa di qualche centimetro per le già citate ragioni di dilatazione termica, verrà sovrapposta una scossalina di parete che provvederà alla tenuta idraulica.

Sezioni tipo bordi laterali



11.7.2 Conicità di sovrapposizione

Le linee di falde devono essere realizzate mediante l'unione di diversi tronchi ai quali il procedimento di pressopiegatura ha conferito la sagoma voluta: come si già detto a proposito dei colmi, per poter unire in opera i vari pezzi, viene loro conferita in produzione una conicità; questa si ottiene attribuendo ad una estremità del tronco la sagoma prevista in sede di progetto, ed all'altra estremità una sagoma leggermente diversa, in modo che possa incastrarsi internamente o

esternamente nella sagoma standard, creando una sovrapposizione che va da quindici a venti centimetri.

È fondamentale, trattandosi di una lattoneria in pendenza, che il verso di sovrapposizione dei due tronchi sia realizzato in modo da rispettare il senso di passaggio dell'acqua, ovvero con il pezzo a monte che si sovrappone a quello a valle e non viceversa.

11.7.3 Giunzione tra due elementi (rivettatura/sigillatura)

La giunzione fra i due elementi di falde avviene con le stesse modalità descritte nell'analogo paragrafo riguardante i colmi (al quale si rimanda per maggiori dettagli). Anche in questo caso si eviterà di rivettare le estremità dei vari tronchi, affidan-

dosi, per la tenuta idraulica alle linee di sigillatura, ed utilizzando i fissaggi che permettono la dilatazione del metallo, come viti con guarnizione o cappello e gioco tra foro e gambo.

11.7.4 Raccordi con i colmi

Il falde dovrà essere raccordato a monte con il colmo rispettando le modalità già descritte per i displuvi. Il raccordo verrà quindi eseguito ponendo in opera fissaggi che permettono la dilatazione termica, localizzati nelle immediate vicinanze

del punto di congiunzione, sigillando il giunto ed evitando di collegare i diversi elementi con rivetti. Naturalmente i faldali dovranno essere posti al di sotto dei colmi, rispettando la direzione del flusso dell'acqua.

11.7.5 Raccordi con gli elementi grecati

Il raccordo con gli elementi grecati costituenti le falde deve avvenire in modo tale da consentire sempre la copertura totale di almeno due greche complete da parte del faldale, in modo da proteggere almeno un intero canale di greca dal possibile riempimento da parte di corpi solidi come neve o grandine, e consentire così in qualunque caso il libero deflusso dell'acqua in esso.

Elemento di raccordo pressopiegato



11.8 Faldali esterni ed interni

11.8.1 Descrizione

Le scossaline di raccordo falda/parete sono latteniere vincolate alla parete che si sovrappongono al lato verticale dei faldali per assicurare la tenuta idraulica della connessione tra falda e parete. *(Vedi foto sotto).*

La tipologia più semplice prevede un fissaggio a parete mediante tasselli ad espansione del tipo più adatto alla situazione particolare; la scossalina prevede una sigillatura nella parte a contatto con la parete, in corrispondenza dei tasselli, ed una seconda nella parte superiore della scossalina, in un alloggiamento apposito ricavato dall'ultima piega; è importante sottolineare che quest'ultima sigillatura è delle due la meno affidabile, per due motivi: il primo consiste nel fatto che il sigillan-

te adatto al metallo ha una tenuta inferiore nei confronti di una superficie molto più porosa e irregolare, come l'intonaco, il laterizio o il cemento; il secondo motivo risiede nel fatto che la sigillatura è esposta a tutti gli agenti atmosferici, e in particolare ai raggi UV. Rimane quindi la seconda sigillatura, che si trova invece al riparo da essi, ed essendo schiacciata tra parete e scossalina, presenta una tenuta migliore e più affidabile nel tempo.

L'affidabilità di questa soluzione migliorerebbe molto, peraltro, qualora si fosse in grado di ottenere in corrispondenza del punto di inserimento della scossalina un incasso o rientranza della parete di almeno tre – quattro centimetri; infatti,

**Scossalina
raccordo
falda/parete**



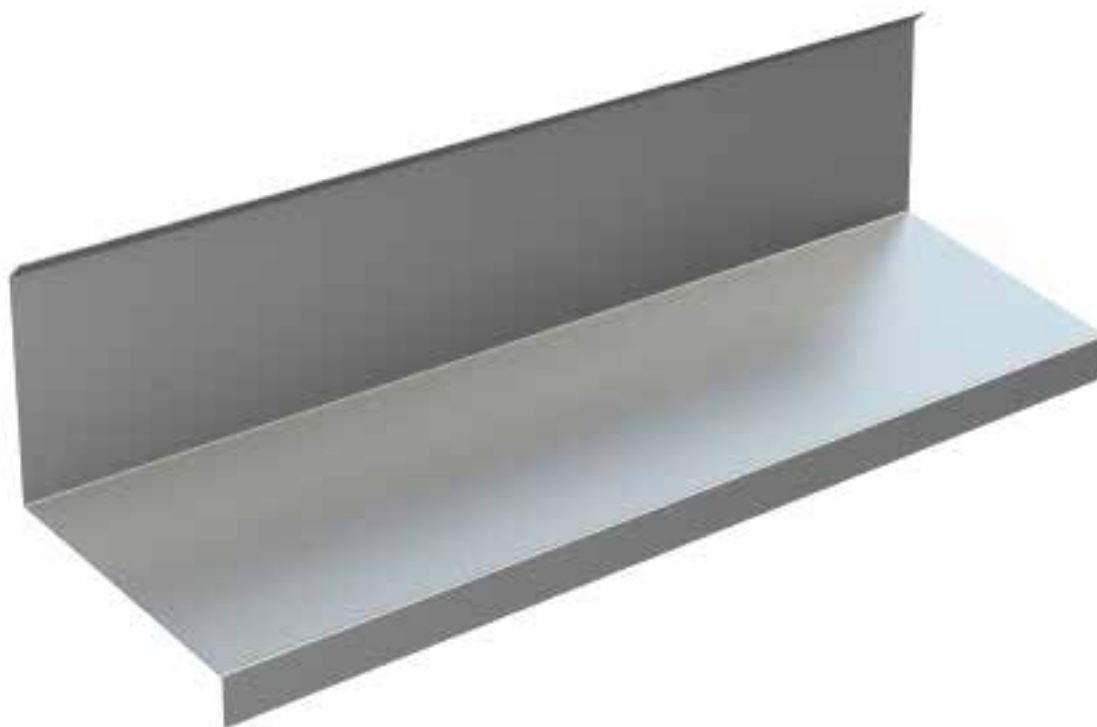
montando la scossalina subito sotto l'incasso e sigillandola sotto di esso, si otterrebbe una cornice sufficiente a proteggere la sigillatura e a spezzare la goccia dallo spigolo della parete.

Una variante alla prima configurazione prevede l'esecuzione di un taglio nella parete, alla giusta distanza dal piano di falda, nel quale viene inserito un labbro della scossalina opportunamente ricavato dall'ultima piega; il vantaggio di questa configurazione consiste nel fatto che la sigillatura di questo labbro, all'interno della parete, è maggiormente protetta dagli agenti atmosferici; di contro si può osservare che l'esecuzione pratica del taglio non è sempre agevole, specialmente nel caso di

parete in mattoni di laterizio o blocchi in cemento con fughe in malta, in quanto esiste sempre la possibilità di trafile d'acqua dietro le fughe verticali tra i mattoni. È consigliabile in ogni caso, se la situazione lo permette, praticare il taglio con una pendenza che si opponga all'infiltrazione d'acqua, e realizzare il labbro da inserire con la maggior lunghezza resa possibile dalla situazione.

Una terza, più agevole e sicura ipotesi consiste nel realizzare una scossalina sigillata alla parete come nella prima configurazione, e poi aggiungerne una seconda, analoga, a coprire parzialmente la prima, in modo da realizzare una doppia sicu-

Sezione raccordo a muro



rezza: infatti anche nel caso in cui la scossalina superiore possa nel tempo subire un'infiltrazione, rimarranno intatte le sigillature della seconda, riparate dagli agenti atmosferici e dal sole.

Il limite più rilevante di questa configurazione, a parte la minore economicità derivante dall'utilizzo di un doppio elemento al posto di uno singolo, sta

essenzialmente nel maggiore ingombro in altezza richiesto, che non sempre può essere disponibile. Il principio della doppia scossalina è di fatto utilizzato anche nel caso in cui la parete non sia nuda ma rivestita con un prodotto metallico, che viene sovrapposto alla scossalina di raccordo con le stesse modalità.

11.8.2 Conicità di sovrapposizione

Le scossaline devono essere realizzate mediante l'unione di diversi tronchi ai quali il procedimento di pressopiegatura ha conferito la sagoma voluta: come si già detto a proposito dei colmi, per poter unire in opera i vari pezzi, viene loro conferita in produzione una conicità; questa si ottiene attribuendo ad una estremità del tronco la sagoma prevista in sede di progetto, ed all'altra estremità una sagoma leggermente diversa, in modo che possa incastrarsi internamente o esternamente

nella sagoma standard, creando una sovrapposizione che va da quindici a venti centimetri. È fondamentale, trattandosi di una lattoneria in pendenza, che il verso di sovrapposizione dei due tronchi sia realizzato in modo da rispettare il senso di passaggio dell'acqua, ovvero con il pezzo a monte che si sovrappone a quello a valle e non viceversa.

11.8.3 Giunzione tra due elementi (rivettatura/sigillatura)

La giunzione fra i due elementi di scossalina avviene con le stesse modalità descritte nell'analogo paragrafo riguardante i colmi (al quale si rimanda per maggiori dettagli).

Anche in questo caso si eviterà di rivettare le estremità dei vari tronchi, affidandosi, per la tenu-

ta idraulica alle linee di sigillatura, ed utilizzando i fissaggi che permettono la dilatazione del metallo, come viti con guarnizione o cappello e gioco tra foro e gambo.

11.9 Lattonerie di raccordo corpi emergenti in falda o in colmo

11.9.1 Descrizione

Le lattonerie di raccordo con i corpi emergenti in falda possono assumere diverse conformazioni, a seconda delle dimensioni e soprattutto della posizione del corpo emergente rispetto alla falda stessa. Nel caso di corpo emergente sull'asse di colmo, le lattonerie di raccordo consistono solitamente in un collare verticale nervato che circonda il corpo emergente, con un gioco sufficiente a consentire le dilatazioni termiche senza contrasti e sollecitazioni. Il collare viene poi reso solidale al colmo stesso, oppure ad una lattoneria disposta parallelamente alla falda e raccordata con il colmo.

La tenuta all'acqua viene poi realizzata mediante il montaggio di una scossalina verticale attorno al corpo emergente, sigillata e resa solidale ad esso, e conformata in modo tale da coprire il collare con il necessario gioco.

Nel caso in cui il corpo emergente sia posto lungo la falda, ma più vicino al colmo che alla gronda, il collare verticale viene accoppiato ad una lattoneria sovrapposta al manto di copertura, per una larghezza pari almeno a quella del corpo emergente più quanto basta per sormontare gli elementi grecati od ondulati laterali.

Manto di copertura caratterizzato da diversi corpi

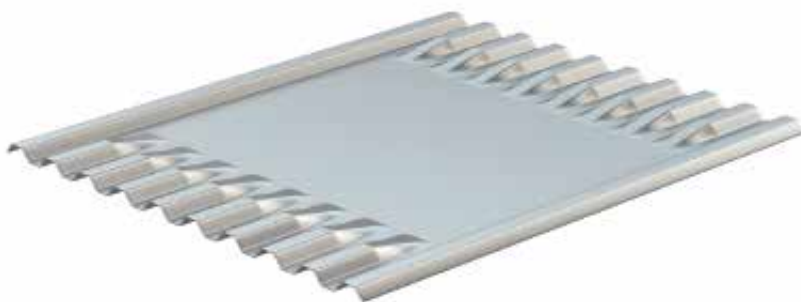


La lattoneria prosegue a valle del corpo emergente per un tratto sufficiente a garantire il regolare sgrondo dalla lattoneria al manto, anche in caso di risalita d'acqua spinta dal vento.

Nel caso in cui il corpo emergente sia posto lungo la falda, ma più vicino alla gronda che al colmo, il collare verticale viene accoppiato ad una lattoneria "a vassoio" posta a livello inferiore rispetto al manto di copertura; in tal modo il manto stesso, che viene interrotto a monte e sui fianchi del corpo emergente ad una certa distanza da esso, scarica l'acqua nel vassoio, che a sua volta la trasferisce in gronda.

In entrambi i casi è comunque presente la scossalina verticale, già citata, sigillata attorno al corpo emergente e sovrapposta al collare della lattoneria. Una soluzione ben più evoluta, ma possibile solamente se il produttore del manto la rende disponibile, consiste nell'utilizzare elementi speciali di raccordo tra i corpi emergenti ed il manto di copertura; tali elementi assumono alle estremità a monte ed a valle lo stesso profilo degli elementi ondulati o grecati di copertura, per cui possono essere accoppiati come normali lastre, mentre, nella parte centrale, portano già inserito il collare di accoppiamento con il corpo emergente.

Elementi speciali stampati per corpi emergenti



Il limite maggiore di questo sistema consiste nel fatto che i corpi emergenti devono avere dimensioni predeterminate, cioè quelle corrispondenti al

foro nel pezzo speciale, e pertanto difficilmente possono essere adattate a situazioni preesistenti.

11.9.2 Giunzione tra gli elementi (rivettatura/sigillatura)

La giunzione tra gli elementi avviene mediante rivetti a strappo dello stesso materiale di cui sono costituiti i pezzi da unire, e la sigillatura viene eseguita con le stesse modalità delle altre lattenerie.

Si utilizzeranno fissaggi che permettano la dilatazione del metallo, come viti con guarnizione o cappello e gioco tra foro e gambo.

11.9.3 Raccordi con gli elementi grecati

Il raccordo con gli elementi grecati costituenti le falde deve avvenire in modo tale da consentire sempre la copertura totale di almeno due greche complete da parte della latteneria che circonda il corpo emergente in modo da proteggere almeno un intero canale di greca dal possibile riempimento da parte di corpi solidi come neve o grandine, e consentire così in qualunque caso il libero deflusso dell'acqua in esso.

Nel caso di latteneria "a vassoio" che scarica in gronda, la sovrapposizione del manto di copertura al vassoio a monte e sui fianchi deve essere realizzata in modo da impedire l'ingresso d'acqua di stravento, di neve o grandine. Per ottenere ciò è buona pratica utilizzare gocciolatoio sotto manto aderenti ai fianchi del vassoio ed estesi in altezza fino a toccare il fondo del vassoio stesso.

11.9.4 Raccordi con lattenerie di colmo o di gronda

Le lattenerie sovrapposte al manto di copertura dovranno essere raccordate al colmo rispettando il senso di scorrimento dell'acqua, possibilmente senza gradini; importante è anche assicurarsi che i tronconi del colmo da ogni parte della latteneria presentino giunzioni nelle immediate vicinanze, in modo da svincolare il più possibile le dilatazioni della latteneria del corpo emergente, che avven-

gono prevalentemente in senso parallelo allo scorrimento dell'acqua lungo la falda, rispetto a quelle del colmo, che avvengono invece in senso perpendicolare alle prime; il tutto, ovviamente, per impedire che, nella zona di intersezione, si manifestino sollecitazioni pericolose per l'integrità dell'insieme.

11.10 Lattonerie di raccordo con serramenti/lucernari

11.10.1 Descrizione

Le lattonerie di raccordo con serramenti e lucernari possono assumere diversi aspetti, a seconda della conformazione degli elementi ai quali devono servire da bordatura. Escludendo la categoria dei lucernari o passi d'uomo paralleli alla falda, che possono essere considerati comuni corpi emergenti, e quindi ricadono nella categoria precedente, esaminiamo i serramenti ed i lucernari che abbiano andamento verticale, o prevalentemente verticale.

Consideriamo che la stragrande maggioranza dei serramenti ha forma rettangolare, per cui presenta un bordo inferiore, uno superiore, e due bordi laterali; per i rari serramenti ai quali la fantasia del progettista abbia dato forme diverse, circolari, poligonali, curve, eccetera, ci si dovrà attenere ai principi generali che qui si cerca di esporre, nonché all'indispensabile buon senso.

Esempio di serramento circolare



Scopo fondamentale di questo tipo di lattonerie è quello di contornare il foro della finestratura, il quale verrà poi riempito dalla parte vetrata, costituita generalmente da un telaio nel quale sono inserite le superficie trasparenti, siano esse di vetro o di materiale plastico, come policarbonato alveolare o simili.

Il foro deve essere, prima dell'applicazione del telaio, rivestito completamente dalle lattonerie, che hanno quindi prima di tutto funzione di chiusura dello spessore della parete. Le lattonerie sui quattro lati verranno quindi poste in opera con fissaggi il cui tipo dipende dalla natura della parete stessa; per pareti in muratura o in calcestruzzo si utilizzeranno tasselli ad espansione di tipo adatto alla situazione specifica, mentre per pareti costituite da struttura in acciaio si dovrà provvedere all'applicazione di profili di supporto in lamiera d'acciaio di spessore opportuno, ai quali le lattonerie verranno applicate con viti autofilettanti o rivetti a strappo. In entrambi i casi è necessario, nel caso in cui due dei quattro lati della finestratura siano sufficientemente lunghi, come nelle finestrature a nastro, porre attenzione alla possibilità di dilatazione del

metallo, consentendola con l'applicazione di fissaggi dotati di gioco o di giunti di dilatazione; il problema va tuttavia considerato comprendendo anche la possibile azione di blocco che i telai dei serramenti esercitano sulle lattonerie una volta posti in opera.

Le quattro parti della lattoneria di cornice di un serramento si chiamano rispettivamente cielino, la superiore, imbotti i laterali, e bancale l'inferiore.

Il montaggio degli elementi deve tenere conto, come al solito, del deflusso dell'acqua dall'alto, sulla parete o sul colmo che sovrasta la finestratura. Si dovrà quindi montare per primo il bancale, cioè il lato inferiore, lasciando ad ogni estremità di esso un bordo di altezza minima tre centimetri, piegato verso l'alto sui fianchi della finestratura, e largo quanto lo spessore della parete.

In sede di progetto il bancale dovrebbe essere stato concepito con pendenza verso l'esterno, ma è in ogni caso buona norma accertarsi di questa pendenza, e verificare che durante il montaggio essa venga rispettata; la pendenza non dovrebbe mai essere inferiore al due – tre per cento, ed essere uniforme su tutta la larghezza del bancale.

**Errata pendenza
del bancale può
provocare
ristagno di acqua**



I fissaggi del bancale dovranno essere posti in modo da lasciare la minore porzione possibile a sbalzo all'esterno, soggetta all'azione del vento; poiché dovranno essere a tenuta d'acqua su pendenze molto modeste, si dovrà porre particolare attenzione alla loro sigillatura o alle guarnizioni utilizzate sulle viti.

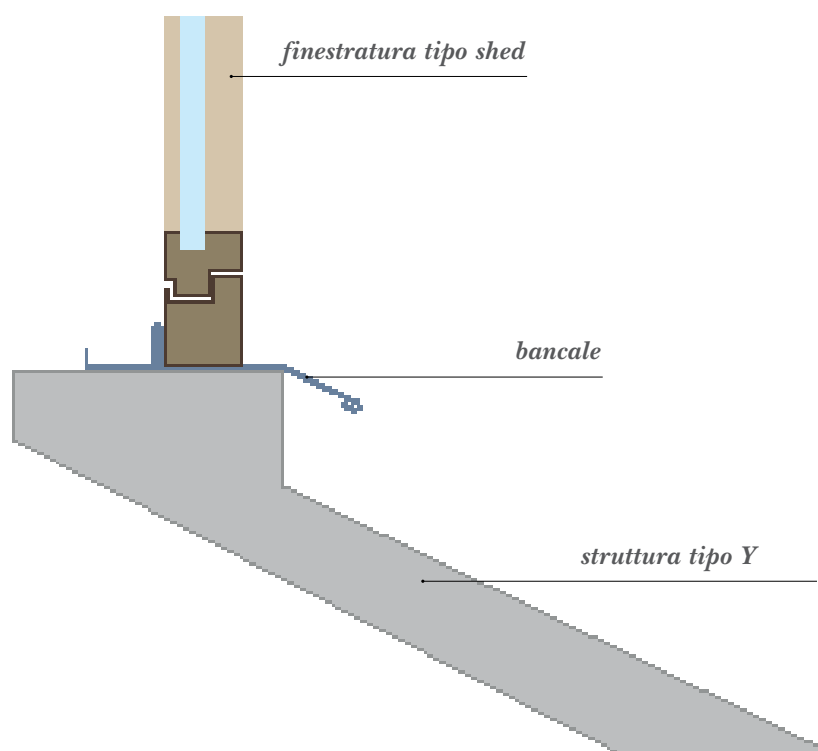
Poiché il bancale è sempre più largo del foro della finestra, in quanto deve fungere da supporto per i due imbotti, e quindi ne deve comprendere come minimo la larghezza complessiva, va posta particolare attenzione al punto in cui il bancale stesso si allarga ed il suo bordo rialzato diventa parallelo alla parete; in quel punto i bordi rialzati formano una "V" che, se non adeguatamente colmata con una striscia dello stesso metallo rivettata e sigillata, può essere fonte di trafileamento d'acqua dietro il bancale a ridosso della parete.

Normalmente la tenuta all'acqua verso l'interno dell'edificio è affidata alla sigillatura del telaio del serramento stesso contro le lattonerie di cui ci stiamo occupando, ma è buona norma prevedere almeno sul bancale un'altra piega verso l'alto, dalla

parte interna. Questo, non solo per evitare che un'eventuale imperfezione della sigillatura citata possa causare perdite d'acqua all'interno dell'edificio, ma anche per rimediare ad un evento molto più frequente, e cioè la formazione di acqua di condensa sulla superficie interna della finestratura; queste poche ma frequenti gocce d'acqua che scendono sulla parte interna del bancale possono essere efficacemente contenute dal nostro bordo, in attesa della loro evaporazione alla temperatura dell'ambiente interno.

Successivamente si montano gli imbotti, i quali, oltre al fissaggio alla parete di cui abbiamo parlato, dovranno essere sovrapposti esternamente (cioè secondo il verso dell'acqua) ai bordi laterali del bancale, curando in modo particolare la sigillatura nella zona. Le parti andranno congiunte con pochi rivetti, posti ad almeno due centimetri sopra il piano del bancale; è preferibile invece che il primo fissaggio laterale sia molto vicino alla giunzione, in modo da legare assieme il meno possibile imbottito e bancale, pur garantendo la stabilità dell'insieme, e quindi la durata della sigillatura.

Sezione finestratura su struttura tipo shed



Nel caso in cui il piano della finestratura non sia verticale, come in alcuni tipi di shed, non bisogna dimenticare che gli imbotti assumono parte dei compiti e delle caratteristiche del bancale, per cui, per gli stessi motivi prima citati, si dovranno prevedere i bordi rialzati sul lato interno, meglio ancora se chiusi a canaletto, ed il tutto dovrà essere attentamente raccordato alla base con la piega interna del bancale. Una eventuale modanatura verticale di irrigidimento, posta in posizione esterna al serramento, contribuisce ad allontanare l'acqua da esso e a convogliarla verso l'esterno, anche se complica leggermente il raccordo col bancale. Sul lato superiore, gli imbotti presenteranno ancora un bordo piegato, che servirà al raccordo col bancale, pur non presentando, data la posizione elevata, particolarità rispetto alla tenuta all'acqua. Per ultimo viene montato il cielino. Questa parte non presenta particolari problemi nella congiunzione con gli imbotti, che viene realizzata mediante sovrapposizione e sigillatura sui bordi piegati di questi ultimi.

Molto delicata è invece l'interfaccia con la parte superiore della parete o del colmo sovrastante la finestratura; il cielino infatti deve estendersi per tutto lo spessore della parete verso l'interno, e questo porta il pericolo di trascinamento dell'acqua appunto verso l'interno dell'edificio.

11.10.2 Giunzione tra gli elementi (rivettatura/sigillatura)

La giunzione tra gli elementi avviene mediante rivetti a strappo dello stesso materiale di cui sono costituiti i pezzi da unire, e la sigillatura viene eseguita con le stesse modalità delle altre lattenierie.

Si possono distinguere due casi principali; nel primo caso esiste una lattenieria di colmo o una lamiera di parete che scende esternamente fino a lambire il cielino. In questo caso è opportuno ricorrere ad un doppio cielino, accoppiando una parte inferiore, che si spinge all'interno chiudendo lo spessore del lato superiore della finestratura, con una parte superiore che ricopre all'esterno la prima, e sul lato posteriore presenta una piega verso l'alto, dietro la lamiera di parete o la lattenieria di colmo, che funge da barriera e recupero dell'acqua, convogliata poi opportunamente sui lati e scaricata all'esterno degli imbotti. Nel secondo caso esiste solo una parete, di muratura o calcestruzzo od altro, che presenta uno spigolo superiore scoperto, spesso irregolare. In questi casi è opportuno utilizzare un cielino dotato di un gradino a scendere di circa due centimetri, in modo da ottenere due risultati: creare un rompigoccia sullo spigolo della parete, per evitare il trascinamento di acqua verso l'interno, ed allontanare la superficie di contatto fra cielino e spessore della muratura dall'azione dell'acqua trascinata dal vento.

Un ulteriore affinamento può essere rappresentato da una sottile scossalina a "V" posta a protezione e finitura esterna dello spigolo della parete, che ha anche la funzione di chiudere ulteriormente il gradino all'azione del vento.

Si utilizzeranno fissaggi che permettano la dilatazione del metallo, come viti con guarnizione o cappello e gioco tra foro e gambo.

11.11 Elementi paraneve

11.11.1 Descrizione

Le coperture costruite in zone nevose sono in genere caratterizzate da forti valori di pendenza e da cornicioni di gronda sporgenti, con gronde esterne. Le ragioni di queste scelte sono appunto legate alle condizioni climatiche. Infatti quando vi è permanenza per lungo tempo di neve sulla copertura, gli strati inferiori possono passare facilmente, sotto il peso di quelli superiori, dalla condizione di neve fresca e farinosa a quello di neve compatta e intrisa d'acqua.

Se il manto di copertura non presenta forte pendenza, allora, vi è il pericolo di risalita dell'acqua attraverso gli elementi del manto, e quindi di infiltrazione all'interno.

D'altra parte, la forte pendenza fa sì che una buona parte del peso della neve, e quindi del carico gravante sulla struttura di copertura, si scarichi in direzione tangenziale alla pendenza, diminuendo così la sollecitazione sulla struttura stessa, che può quindi venire realizzata in modo più leggero.

Carico eccezionale dovuto alla neve



Questa componente del peso della neve lungo la falda, tuttavia, tende a fare scivolare la neve stessa verso la gronda.

Questa evenienza, anche apparentemente positiva, poiché tenderebbe a scaricare la copertura dal peso della neve, va evitata, per varie ragioni.

Per prima cosa la gronda esterna, sottoposta al peso della neve che scivola in quella zona, potrebbe cedere alla sollecitazione, e staccarsi dal cornicione.

Di fatto in questi casi la gronda non è mai interna ad un muretto perimetrale per evitare che l'accumulo locale di neve possa riempirne completamente l'invaso, impedendole di svolgere correttamente la sua funzione di scarico.

In secondo luogo si vuole evitare che masse anche considerevoli di neve si stacchino dal bordo della copertura per cadere, magari all'improvviso, sul terreno sottostante, ove vi può essere passaggio di persone o veicoli, creando così un pericolo per la loro incolumità.

Infine, specie per le zone molto innevate, si vuole anche evitare semplicemente che si creino accumuli di neve a ridosso degli edifici, magari fino ai bancali delle finestre al pianterreno, con la necessità di sgombero e pulizia.

Per tutte queste buone ragioni si cerca di trattenere per quanto possibile e fino ad una certa quantità, lo strato di neve stazionante in copertura, e per fare ciò si agisce impedendo lo scivolamento della massa di neve sul manto, con opportuni dispositivi che aumentino l'attrito fra neve e manto, oppure costituiscano vere e proprie barriere allo strato di neve.

I paraneve possono quindi essere distinti in due grandi categorie.

I paraneve puntuali, formati da elementi singoli, che sono distribuiti in genere "a scacchiera" sulla falda del manto, e che sono in genere caratteristici di manti in tegole o scandole, in quanto ciascuno di essi è direttamente vincolato ad una tegola o scandola.

Questi paraneve si possono considerare elementi che aumentano la scabrezza della falda, ovvero il coefficiente d'attrito complessivo tra falda e neve,

in modo da impedirne semplicemente lo scivolamento. La loro efficacia dipende, oltre che ovviamente dalla pendenza della falda, dalla loro densità o interasse di montaggio, dalla loro altezza, e anche, parametro non direttamente controllabile, dalla compattezza della neve, che tende ad aggregarsi attorno al singolo elemento paraneve, ed a trattenere più o meno efficacemente la massa di neve circostante.

La seconda categoria di paraneve è quella che in modo preponderante viene adottata per le coperture metalliche.

Si tratta di **paraneve "a barriera"**, formati da un certo numero di linee continue, o interrotte solo per brevi tratti, disposte parallelamente alla gronda e quindi perpendicolarmente alla pendenza.

In questo caso la neve non viene frenata, ma veramente trattenuta dalla barriera che si trova immediatamente a valle sulla falda.

La capacità di trattenimento della linea paraneve dipende essenzialmente dalla sua altezza rispetto allo strato di neve a monte.

Va però considerato che ad una maggiore altezza della linea paraneve corrisponde una maggiore sollecitazione dei suoi punti di attacco al manto, che si esplica come principalmente come un momento flettente tendente a svellere la piastra di fissaggio dal manto.

È necessario quindi valutare attentamente il dimensionamento degli attacchi, in relazione alla quantità di neve prevedibile, modificando eventualmente il numero e l'interasse delle linee di paraneve lungo la falda. A questo scopo vanno rispettate le prescrizioni contenute nelle "Norme Tecniche sulle Costruzioni", al paragrafo 3.5.9.3.

Gli attacchi delle linee paraneve in copertura possono essere costituiti da staffe passanti, vincolate direttamente alla sottostruttura; in questo caso va posta attenzione alla impermeabilizzazione del foro di passaggio della staffa, specie in relazione ai movimenti del manto per effetto della dilatazione termica.

In alternativa, ad esempio per i manti aggraffati, la staffa di supporto della linea paraneve è costituita da una coppia di piastra sagomate opportuna-

Elemento paraneve puntuale



Elemento paraneve in pressopiegatura



mente, che stringono a pinza la nervatura della lastra, grazie a bulloni di serraggio.

In quest'ultimo caso non esiste il problema dei fori nel manto per il passaggio delle staffe, ma, dato che la tenuta delle staffe stesse avviene per semplice attrito, deve essere preso in considera-

zione un interasse sufficiente delle staffe e/o delle linee paraneve tale da mantenere le sollecitazioni sopportabili dalla staffa senza pericolo di scivolamento lungo la nervatura della lastra.

11.12 Griglie e passerelle di pedonamento

Le coperture di edifici a destinazione produttiva o commerciale sono frequentemente utilizzate per allocare le parti esterne degli impianti di termocondizionamento e trattamento aria. Gli edifici commerciali sono inoltre spesso dotati di insegne luminose montate su strutture in prossimità dei bordi della copertura. In altri casi edifici che ospitano processi produttivi hanno la necessità di installare sulla copertura parti delle installazioni, come tubazioni o circuiti elettrici.

In tutti questi casi si rende necessario intervenire periodicamente anche solo per le normali manutenzioni di questi apparati, e di conseguenza esiste l'esigenza di rendere la copertura accessibile e percorribile anche da parte di personale destinato ad altre mansioni e quindi non specificamente addestrato al giusto comportamento da tenere in copertura, sia ai fini della propria sicurezza, sia nei confronti di potenziali danneggiamenti del manto, con attrezzi o per semplice maldestro pedonamento.

Per evitare questo genere di inconvenienti, specie quando l'accesso sia frequente, e limitato a zone ben individuabili, si ricorre a passerelle di pedonamento. Queste sono costituite da griglie o profilati metallici disposti secondo i percorsi lungo i quali si intende obbligare i frequentatori della copertura a procedere. *(Vedi foto pagina successiva).*

La passerella può essere completata da un corrimano da uno o da entrambi i lati, qualora le condizioni di sicurezza lo richiedano, ad esempio quando corre in prossimità di uno dei bordi della copertura. Questo tipo di passerelle deve avere il piano di calpestio sopraelevato rispetto al manto di copertura ad una distanza almeno sufficiente a permettere il libero deflusso dell'acqua sul manto, e, se le condizioni climatiche lo richiedono, a distanza maggiore dello spessore dello strato di neve che si ipotizza possa permanere sul manto stesso.

La realizzazione dei supporti della passerella richiede una certa attenzione. Il primo requisito, piuttosto ovvio, richiede che, se la passerella è ortogonale alla pendenza, il suo piano debba essere orizzontale, indipendentemente dalla pendenza della falda. Questo implica l'utilizzo di supporti di altezza diversa a monte ed a valle.

Se invece la passerella è parallela alla pendenza, specie per pendenze considerevoli, sarà consigliabile l'utilizzo di almeno un corrimano, per aiutare la salita ed impedire scivolamenti, ed a pendenze dell'ordine del 50% o superiori, la passerella stessa si trasforma in una rampa, che richiede l'applicazione di rilievi trasversali all'interasse corrispondente al passo dell'operatore, circa un metro, prima di trasformarsi del tutto in una scala vera e propria. I supporti della passerella potranno comunque essere costituiti da montanti direttamente vincolati alla struttura della copertura, e quindi attraverseranno il manto.

In corrispondenza di ogni attraversamento, si dovrà ripristinare localmente l'impermeabilità della copertura stessa, essenzialmente con il metodo consueto del collare solidale al manto e del relativo cappuccio di protezione solidale al montante.

Il tutto dovrà essere realizzato tenendo conto, oltre che della necessità di impedire l'ingresso d'acqua, anche dell'esigenza di consentire il libero movimento del manto sotto l'effetto delle dilatazioni termiche.

Un'alternativa alla foratura del manto consiste nella adozione di staffe a pinza analoghe a quelle precedentemente descritte a riguardo delle linee paraneve. In questo caso, però, a fronte del vantaggio di lasciare il manto intatto, abbiamo una situazione decisamente più critica nei riguardi delle dilatazioni del manto.

Infatti il peso delle passerelle, unitamente alla loro disposizione e collocazione, può costituire un vincolo inaccettabile da questo punto di vista.

Una buona progettazione dovrà allora prevedere un numero di staffe di fissaggio sufficiente a distribuire il carico in modo più uniforme possibile, e dovrà comunque individuare nei limiti del possibile i percorsi che siano meno nocivi alla dilatazione del manto. Si dovranno quindi privilegiare ad esempio le posizioni in prossimità dei colmi, per consentire

la dilatazione tutta nel verso delle gronde, oppure, quando la falda sia costituita da più lastre consecutive, si potrà installare la passerella nel centro della falda, predisponendo a monte ed a valle i dispositivi che facilitano la dilatazione, dei quali si è già parlato.

**Passerella
pedonamento
Sicurtetto**



11.13 Elementi di protezione anticaduta

La salvaguardia delle persone che lavorano in copertura, o che la devono successivamente frequentare, dovrebbe essere in cima ai pensieri di chi si appresta a progettare o a commissionare la progettazione.

Oggi nei cantieri italiani si contano ancora purtroppo molti casi all'anno di morte, una buona parte dei quali a seguito di caduta dall'alto, e l'enormità di questo numero rappresenta una tragedia come può testimoniare chi, come lo scrivente, ha dovuto constatarne di persona gli effetti.

Fortunatamente, negli ultimi anni la sensibilità verso questo enorme problema è aumentata, e ha generato obblighi di Normativa e di Legge che sono sempre più rispettati, ma che ancora si scontrano, in determinati e purtroppo frequenti casi, con logiche economiche di mercato che vanno in direzione opposta.

Il problema della sicurezza in copertura può essere schematizzato e meglio compreso suddividendolo in modo temporale e spaziale.

Potremo quindi analizzarlo dal punto di vista temporale nelle tre fasi:

- Prima dell'inizio dei lavori, per i rilievi
- Durante i lavori di posa o ristrutturazione.
- Dopo il completamento dell'opera, durante il normale funzionamento

Mentre, dal punto di vista spaziale, potremo distinguere le due fasi:

- Sicurezza nell'accesso e nell'allontanamento alla/dalla copertura
- Sicurezza nella permanenza in copertura

Le indicazioni qui di seguito identificano alcune indicazioni che reputiamo fondamentali ma che dovranno sottostare comunque ad un quadro normativo che è, correttamente, in continua evoluzione.

ACCESSO ALLA COPERTURA PRIMA DEI LAVORI

L'accesso alla copertura a scopo di rilievo e misurare prima dell'inizio dei lavori si esegue sostanzialmente in tre modi:

1. dall'interno, qualora l'edificio sia dotato di scale interne che giungano al livello di copertura; in questo caso il punto di accesso è generalmente obbligato, e si trova nella maggioranza dei casi a una certa distanza dai bordi dell'edificio; va posta comunque attenzione alla zona di sbarco, per accertarsi che sia solida e sufficientemente ampia, e che non presenti dislivelli più alti di un gradino rispetto al piano di copertura.

2. dall'esterno, mediante ponteggio montato a ridosso di una parete; anche in questo caso il

punto di accesso è obbligato, ma si trova necessariamente sul bordo della copertura; non è il caso di dare per scontato che il ponteggio sia montato correttamente, e correttamente vincolato alla parete, ma è consigliabile, almeno al primo accesso, verificare la sua solidità, osservando gli agganci fra i vari elementi, ed i punti di attacco alla parete (tipologia e densità). Durante la salita, verificare che le scalette ai piani siano correttamente agganciate ai traversi, e non legate col famigerato filo di ferro.

Verificare inoltre che non vi siano corpi sporgenti e/o appuntiti lungo il percorso, dove lasciare parte del proprio abbigliamento o peggiori brandelli di epidermide. Giunti al livello di copertura, prima di sbarcare sul tetto è meglio osservare

con occhio critico la piattaforma di sbarco, verificando che sia solidamente vincolata al ponteggio ed all'edificio, e che non presenti dislivelli pericolosi o difficoltosi. Va da sé che la salita in copertura deve essere fatta muniti delle apposite scarpe e del casco protettivo, ma rimane comunque in vigore la tecnica del camaleonte, ovvero un occhio a dove si mettono i piedi e l'altro a dove si mette la testa.

3. dall'esterno, mediante piattaforma elevatrice. In questo caso il punto di accesso può essere entro certi limiti selezionato dall'operatore. Questa possibilità va utilizzata in modo

razionale. Per prima cosa si determina il posizionamento della piattaforma rispetto al suolo sottostante, accertandosi che le piastre terminali delle gambe stabilizzatrici trovino un appoggio solido, e verificando specialmente che non vi siano condotte fognarie, chiusini, o simili al di sotto o nell'immediata prossimità del punto di appoggio. Successivamente si osserva la parete dell'edificio di fronte alla quale si intende operare; non ci devono essere finestre aperte di fronte al braccio della piattaforma, e, nel caso, gli occupanti vanno avvisati in modo che non si affaccino e non occupino eventuali balconi. Non ci devono essere rilevanti sporgenze che

L'accesso alla copertura a scopo di rilievo deve garantire il rispetto delle normative di sicurezza



possano ostacolare o impedire il libero movimento del braccio durante il brandeggio, e se presenti vanno sorvegliate attentamente dall'operatore e dagli altri occupanti la piattaforma durante il movimento della stessa. Una grande fonte di pericolo è costituita dalle linee elettriche che si trovano nelle immediate vicinanze. Se possibile va scartato ogni posizionamento che porti la piattaforma a meno di dieci metri dalla linea più vicina; in caso di forza maggiore, la posizione della linea elettrica deve essere costantemente sorvegliata da almeno uno degli occupanti la piattaforma, preferibilmente non l'operatore, già impegnato

nella manovra e costretto a tratti a rivolgere la sua attenzione altrove. Una volta giunti al punto di sbarco, la piattaforma deve, superando il bordo, entrare completamente nel perimetro della copertura. A questo proposito è preferibile l'utilizzo di piattaforme con cestello incernierato nella parte superiore, in modo da poter scendere oltre un eventuale muretto o bordo di gronda fino al livello del manto. Ovviamente lo sbarco va fatto in corrispondenza di un tratto rettilineo di gronda, evitando le zone di spigolo, dove il pericolo di vicinanza al vuoto è maggiore, e preferendo le zone di rientranza, quando presenti.

Accesso in quota mediante piattaforma con cestello



ACCESSO ALLA COPERTURA DURANTE I LAVORI

L'accesso alla copertura durante i lavori segue le stesse modalità del primo accesso, con due importanti differenze:

- La copertura è o dovrebbe essere già dotata dei presidi anticaduta, dei quali parleremo tra poco.
- Gli operatori eseguono le stesse operazioni di salita e discesa come minimo due volte al giorno.

Queste circostanze provocano una conseguenza da non sottovalutare per la sua pericolosità: l'abitudine, che è la peggior nemica della sicurezza, specialmente in copertura. Si tende infatti a smettere di controllare la presenza dei presidi, dando per scontato che siano sempre presenti e soprattutto sempre efficienti, e si tende ad abituarsi alla situazione comunque critica, ad esempio, dello sbarco dalla piattaforma, dopo averla eseguita un sufficiente numero di volte.

Bisogna tenere invece presente che la presenza contemporanea di più persone al lavoro in copertura, magari con compiti diversi, può portare a situazioni anche temporanee di cui il singolo non

è in quel momento a conoscenza, quale l'asportazione momentanea di un presidio di sicurezza per effettuare una certa lavorazione, come il far passare materiale attraverso una botola aperta e messa normalmente in sicurezza con una tavola, o casi simili.

Questo senza contare la possibilità di vere e proprie colpevoli aberrazioni, realmente accadute, come l'applicazione di uno strato di guaina bituminosa sopra una soletta in cemento, coprendo le forometrie esistenti senza prima averle tamponate con tavole o altro materiale pedonabile. Oltre a questo, bisogna considerare l'effetto degli agenti atmosferici sugli apprestamenti di cantiere. Temporalmente con forte vento possono allentare senza svellere barriere e parapetti, rendendoli pericolosi senza modificare il loro aspetto se non a un occhio attento, la pioggia battente può rendere scivolo e malsicuro un passaggio in prossimità del bordo copertura, o rendere la falda stessa impercorribile malgrado una pendenza che, a fondo asciutto, non presenterebbe rischi.

ACCESSO ALLA COPERTURA DURANTE LA SUA VITA OPERATIVA

L'accesso alla copertura dopo il suo completamento è in genere praticato da personale addetto a manutenzioni o interventi di altro genere, come installazioni di termocondizionamento o elettriche, ma anche da coperturisti nel corso delle normali (auspicabili) manutenzioni della copertura.

L'accesso stesso verrà quindi eseguito mediante scale interne, oppure con piattaforma elevatrice. In questo secondo caso, tutte le precauzioni di cui si è parlato in precedenza restano valide, con l'aggiunta di una importante considerazione: nel caso in cui i bordi della copertura stessa non siano protetti da parapetti permanenti, il rischio di caduta si pone subito dopo lo sbarco. Se la copertura è dotata di linee di sicurezza permanenti, come è sempre altamente consigliabile,

la prima operazione da eseguire è senz'altro l'aggancio al punto di sbarco di queste linee, che deve essere stato previsto in sede di progettazione.

Nel deprecabile caso che le linee di sicurezza non siano presenti, forse l'unica alternativa accettabile consiste nel portare, quando possibile, la piattaforma in prossimità del colmo, e rimanere agganciati alla piattaforma stessa mediante imbracatura personale e cordini di sicurezza con arrotolatore e blocco automatico.

La stessa operazione, eseguita tenendo la piattaforma in prossimità del bordo copertura non garantisce la sicurezza, in quanto un'eventuale scivolamento lungo la falda dell'operatore e conseguente caduta oltre il bordo copertura non è necessariamente impedita dal blocco automatico,

poiché il punto di caduta è troppo vicino al punto di vincolo, corrispondente alla piattaforma. Va infine verificato che la massa della piattaforma e

soprattutto del relativo braccio siano sufficienti ad assorbire l'energia di caduta dell'operatore, che secondo la normativa vigente è pari a 6 kN.

PERMANENZA IN COPERTURA PRIMA DELL'INIZIO DEI LAVORI

Costituisce la fase potenzialmente più pericolosa, per vari motivi: se la copertura non possiede un parapetto di bordo permanente, il pericolo di caduta è presente in ogni punto, non solo per vicinanza diretta al bordo ma anche per scivolamento sulla falda. Se l'accesso viene dall'in-

terno dell'edificio, è consigliabile trovare un punto sufficientemente resistente nelle vicinanze dell'uscita in copertura per vincervi il cordino di sicurezza, dotato di arrotolatore e blocco automatico nel caso si debba arrivare fino ai bordi della copertura.

PERMANENZA IN COPERTURA DURANTE I LAVORI

Minimizzare il rischio in questa fase significa, dopo avere installato tutti presidi previsti, sia a carico dei bordi della copertura, che della sua estensione, prevedere uno scrupoloso e regolare controllo della loro efficienza, preferibilmente

prima dell'inizio di ogni giornata di lavoro. Tale compito, affidato al Responsabile designato dalla Azienda che esegue i lavori, dovrebbe rivestire la massima importanza, ed essere regolarmente menzionato nel giornale dei lavori.

PERMANENZA IN COPERTURA DURANTE LA SUA VITA OPERATIVA

Ogni copertura dovrebbe oggi prevedere sistemi di protezione per l'accesso periodico, anche quelle che non ospitano impianti di vario genere, e per le quali non si prevede la frequentazione. Questo perché la copertura, come ogni altro sistema facente parte dell'edificio, per potere svolgere correttamente la sua funzione lungo l'arco di vita previsto, ha bisogno di manutenzioni o almeno di controlli periodici. La necessità di questi sistemi è ancora più sentita in quanto gli operatori che la frequentano possono essere addetti ad altre mansioni, e forse mancare delle informazioni e della consapevolezza necessarie a minimizzare il rischio in copertura. A questo riguardo, si dovrebbe almeno provvedere a rendere disponibili in modo permanente, in corrispondenza di tutti i possibili punti di accesso in copertura, le istruzioni comportamentali minime sul comportamento da tenere e sulle fonti di rischio, unitamente alle dotazioni personali di sicurezza, ed alle loro istruzioni di utilizzo.

Esempio elmetto protettivo



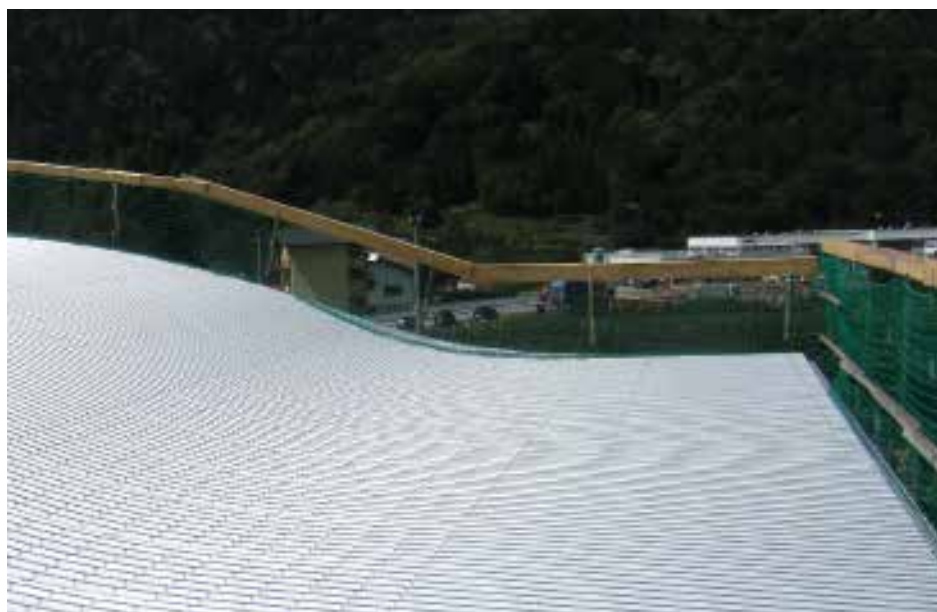
DOTAZIONI DI SICUREZZA SULLE COPERTURE

Le dotazioni di sicurezza sulle coperture si dividono in quattro categorie principali.

1. **Protezioni perimetrali**, che svolgono la funzione di impedire la caduta oltre il bordo della copertura, sia agli operatori che vi si appoggino inavvertitamente, sia a quelli che, a causa di uno scivolamento sulla falda, impattino contro la protezione con una velocità significativa, tale cioè da produrre una maggiore energia da trattenere rispetto al semplice peso dell'operatore stesso. Le protezioni perimetrali possono essere connaturate con la tipologia dell'edificio, ed essere costituite da muretti perimetrali, oppure essere costruite appositamente per fornire una protezione durante la vita della copertura stessa. In molti casi, tuttavia,

le protezioni perimetrali sono relative solamente alla fase dei lavori di posa o ristrutturazione in copertura, e vengono montate prima dell'inizio dei lavori per poi essere rimosse alla fine, mediante piattaforma dall'esterno, mentre è altamente sconsigliabile la posa dalla copertura stessa da parte di operatori vincolati ad un'uscita sulla copertura in colmo, perché questo metodo non garantisce con certezza rispetto al rischio di caduta oltre il bordo. L'altezza delle protezioni perimetrali deve in ogni caso essere uguale o superiore a 120 cm rispetto al piano di calpestio nella immediata prossimità.

Esempio protezione perimetrale



2. **Protezioni dei fori sui piani copertura**, che svolgono la funzione di impedire la caduta attraverso i fori stessi. Queste protezioni sono poste in corrispondenza dei lucernari in falda, e sono generalmente costituite da parapetti attorno al foro o

reti metalliche di protezione vincolate solidamente ai bordi del foro stesso. Negli ultimi tempi si è diffusa l'ottima abitudine di rendere queste protezioni permanenti, in modo che l'eventuale calpestio del lucernario in tempi successivi al completamen-

to dell'opera non porti al rischio di sfondamento e conseguente caduta. In molti casi, specie negli edifici adibiti a centri commerciali, queste protezioni,

realizzate con griglie in acciaio, svolgono l'ulteriore funzione di protezione all'effrazione.

Grigliato di sicurezza per lucernari



3. **Percorsi di pedonamento obbligati**, che precludono agli operatori l'accesso a determinate zone della copertura, le più rischiose, costringendo a utilizzare solo alcune vie ben definite. Sono realizzati con griglie e passatoie, delle quali abbiamo già parlato in altro capitolo, e sono spesso completati da parapetti laterali. Questo tipo di presidio costituisce comunque una soluzione parziale, sia perché preclude in ogni caso l'accesso a determinate zone di copertura che per varie ragioni, come la manu-

tenzione o un malfunzionamento, si potrebbe aver bisogno di raggiungere, sia perché il non superamento di queste barriere è legato più alla corretta informazione dell'operatore, che comunque deve essere fornita, che alla percezione di un pericolo di prossimità. Questo perché ovviamente si preferisce scegliere questi percorsi nelle posizioni più lontane possibili dai bordi della copertura, per cui il loro superamento, anche momentaneo potrebbe essere incoraggiato da un falso senso di sicurezza.

Grigliato per pedonamento



4. **Linee di sicurezza fisse e relative dotazioni personali**, costituite da punti di supporto solidali alla struttura della copertura, attraverso i quali viene fatta passare e supportata una serie di cavi, generalmente d'acciaio. A queste linee di sicurezza gli operatori si agganciano e rimangono vincolati per tutta la loro permanenza in zona rischiosa, essendo dotati di imbracature e cordini personali. Sono inoltre dotati di arrotolatori e dispositivi di blocco automatico qualora, in base alla progettazione di queste linee, risulti la possibilità che l'operatore stesso possa, pur vincolato, superare il bordo della copertura in qualche punto, iniziando la caduta.

In altri casi le linee di sicurezza sono costruttivamente realizzate come binari rigidi lungo i quali scorrono carrelli, ai quali sono vincolati i cordini. Le linee di sicurezza possono essere temporanee, e smontate alla fine dei lavori, o permanenti, e servire quindi ad ogni successivo accesso in copertura. Quest'ultima soluzione, che rappresenta sempre il migliore risultato, almeno ai fini della sicurezza, sta avendo sempre maggiore diffusione.

Ancoraggio tramite linea vita



11.14 Altri tipi di dotazioni di sicurezza

Esistono anche dotazioni di sicurezza non attinenti al rischio di caduta. Un esempio tipico è rappresentato dalle protezioni rispetto all'inalazione di sostanze nocive, come quelle rappresentate dalle fibre di amianto contenute nelle lastre di copertura in fibrocemento, ormai obsolete e proibite, e che vengono smontate o incapsulate, previa inertizzazione. Questa consiste nell'impedire alle eventuali fibre superficiali di liberarsi nell'aria durante le operazioni di smontaggio, mediante l'applicazione di un'adatta sostanza vinilica liquida.

Per compiere questa operazione la Legge prescrive che gli operatori siano protetti indossando tute e cappucci in materiale non traspirante (solitamente Tyvek), da cambiare e smaltire dopo ogni turno di lavoro, oltre a maschere di protezione della respirazione omologate.

Vale la pena tuttavia di porre attenzione ad un aspetto che normalmente viene trascurato in fase di pianificazione, e che di fatto può ridurre il livello generale di sicurezza.

L'indossare questo tipo di presidi, infatti genera più che un generico disagio agli operatori durante il lavoro in condizioni di alta temperatura ambiente, dato che le tute non permettono il corretto smaltimento del calore corporeo e della sudorazione, e questo può portare anche, in taluni casi, a difficoltà respiratorie ed alle soglie della perdita di conoscenza, come in effetti è accaduto in occasione di alcune estati particolarmente calde.

Ovviamente, visto che la protezione dalle fibre è irrinunciabile, si dovranno prevenire questi rischi in vari modi, ad esempio evitando per quanto possibile l'operatività nelle ore più calde della giornata, o suddividendo il turno con brevi pause all'ombra. Un'altra soluzione può consistere nell'organizzare i lavori a tranches, in modo da concentrare lo smontaggio ed il confinamento delle lastre contenenti fibre in parte della giornata, per poi eseguire le altre lavorazioni, come il calo a terra dei pacchi o la distribuzione dei materiali per il nuovo manto in altra parte della giornata. È ovvio che in questa ultima parte, essendo le fibre confinate, non sussiste più il rischio della loro inalazione, e decade quindi l'obbligo delle protezioni relative.

Tutto ciò va comunque attentamente pianificato e preventivamente concordato con gli Enti, come lo S.P.I.S.A.L. che presiedono al controllo su queste attività.

Capitolo 12

*Impianto fotovoltaico
in copertura*

12.1 Criteri per la messa in opera di un sistema fotovoltaico

La realizzazione di un impianto per la produzione di energia fotovoltaica in copertura va sempre considerato come un compito impegnativo.

Questo vale innanzitutto dal punto di vista della stretta funzionalità, di tipo elettrico, dell'impianto stesso, soprattutto considerando che ci si attende che tale corretto funzionamento sia esteso all'intera vita presunta dell'impianto, e che esso sia sinonimo di resa energetica, e quindi economica, adeguata al progetto.

Questa vita minima presunta ammonta, oggi, a venti anni, e corrisponde alla durata degli incentivi erogati dal Gestore per l'Energia a fronte della produzione di energie rinnovabili. Durante tutto questo non breve lasso di tempo l'impianto è sottoposto, oltre al proprio naturale degrado, anche al logorio degli agenti atmosferici, in questo condividendo la stessa sorte della copertura sulla quale è posato. Proprio per questo motivo, la progettazione di un impianto fotovoltaico dovrebbe sempre iniziare con alcune riflessioni sul supporto al quale l'impianto stesso deve appoggiarsi, ovvero il manto di copertura.

L'approccio ideale è senz'altro quello che prevede, nel caso di una nuova copertura da realizzare unitamente all'impianto fotovoltaico, una progettazione la più possibile integrata, mentre nel caso di nuovo impianto su copertura esistente, una rivisitazione ragionata di quest'ultima in funzione delle nuove esigenze a cui dovrà far fronte nei venti anni successivi. La prima e forse la più importante considerazione da fare concerne appunto la necessità che la copertura, a partire dallo stato in cui si trova al momento della realizzazione dell'impianto, possa conservare le sue qualità per altri vent'anni almeno.

Nel caso di nuova copertura, ciò significa innanzitutto operare una progettazione adeguata, con l'adozione di prodotti e soluzioni che garantiscano la costanza delle prestazioni nel tempo. Successivamente, una posa in opera eseguita da operatori esperti, sotto il controllo di un'attenta e competente direzione dei lavori, trasformerà in affidabile realtà le premesse progettuali, se necessario migliorandole in corso d'opera, qualora, come

Installazione fotovoltaico su lastra tipo Tek 28



spesso accade, aspetti imprevedibili allo stadio di progetto richiedano varianti ragionate.

Il massimo dell'efficienza e della qualità si potrà ottenere mediante una stretta collaborazione tra il progettista della copertura ed il progettista dell'impianto fotovoltaico.

Tale integrazione dovrà poi proseguire durante i lavori delle squadre di posa che eseguono il complesso dell'opera, e questo sarà possibile solo se la direzione dei lavori, i capicantiere delle squadre, e non ultima la coordinazione per la sicurezza, opereranno a stretto contatto. Quella testé descritta è una situazione ideale, nella quale è possibile ottimizzare tutti gli elementi che concorrono alla riuscita del lavoro a partire dalla fase iniziale, quella della progettazione. Molto spesso tuttavia accade di dover costruire un impianto fotovoltaico su una copertura esistente. In questo caso, l'approccio può risultare più complesso.

Il primo problema che si pone consiste nella capacità, da parte della struttura di copertura, di far fronte ad un ulteriore carico, di tipo permanente, costituito appunto dall'impianto, che, con ogni probabilità non era stato previsto all'atto della progettazione dell'edificio. In funzione dell'età della costruzione, del suo ambito orografico e territoriale, ed anche delle Normative dell'epoca in cui è stato progettato, si potrebbe anche scoprire che i 18-20 kg/m² verosimilmente inerenti un tipico impianto non sono accettabili, a meno di operare interventi sulla copertura stessa. Tali interventi potrebbero consistere,

nella loro forma più onerosa, in un consolidamento strutturale della copertura, fino a renderlo idoneo a sopportare l'impianto. Tali casi sono tuttavia piuttosto rari, principalmente perché i costi relativi rendono quasi sempre non conveniente dal punto di vista economico la realizzazione stessa dell'impianto.

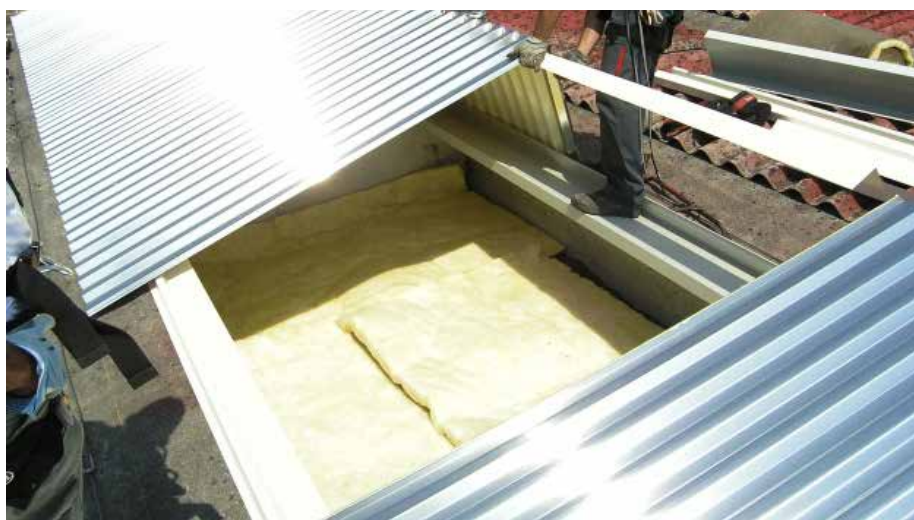
Più frequente e più realisticamente fattibile è il caso in cui il manto di copertura esistente è realizzato con lastre in fibrocemento. Diventa allora possibile programmare una totale asportazione e relativo smaltimento del manto esistente, sostituendolo con un nuovo manto leggero (tipicamente in lega di alluminio), sfruttando l'ulteriore incentivo, attualmente in vigore, dedicato proprio alla eliminazione dell'amianto.

Infatti il peso di un manto di copertura in fibrocemento, prendendo come riferimento la Normativa specifica del prodotto, ovvero la UNI 10636:2013 al paragrafo 5.3, è ritenuto pari a 0,2 kN/m².

Questo valore è molto simile a quello, prima citato, dell'impianto fotovoltaico, per cui è possibile ipotizzare una semplice sostituzione al termine della quale non si hanno aggravii del carico permanente sulla copertura dell'edificio.

In tutti i casi, un manto di copertura destinato ad ospitare un impianto fotovoltaico dovrà, per svolgere correttamente la sua funzione, possedere alcune caratteristiche irrinunciabili, che proviamo a sintetizzare.

**Rimozione
amianto e
creazione shed
per successiva
posa di impianto**



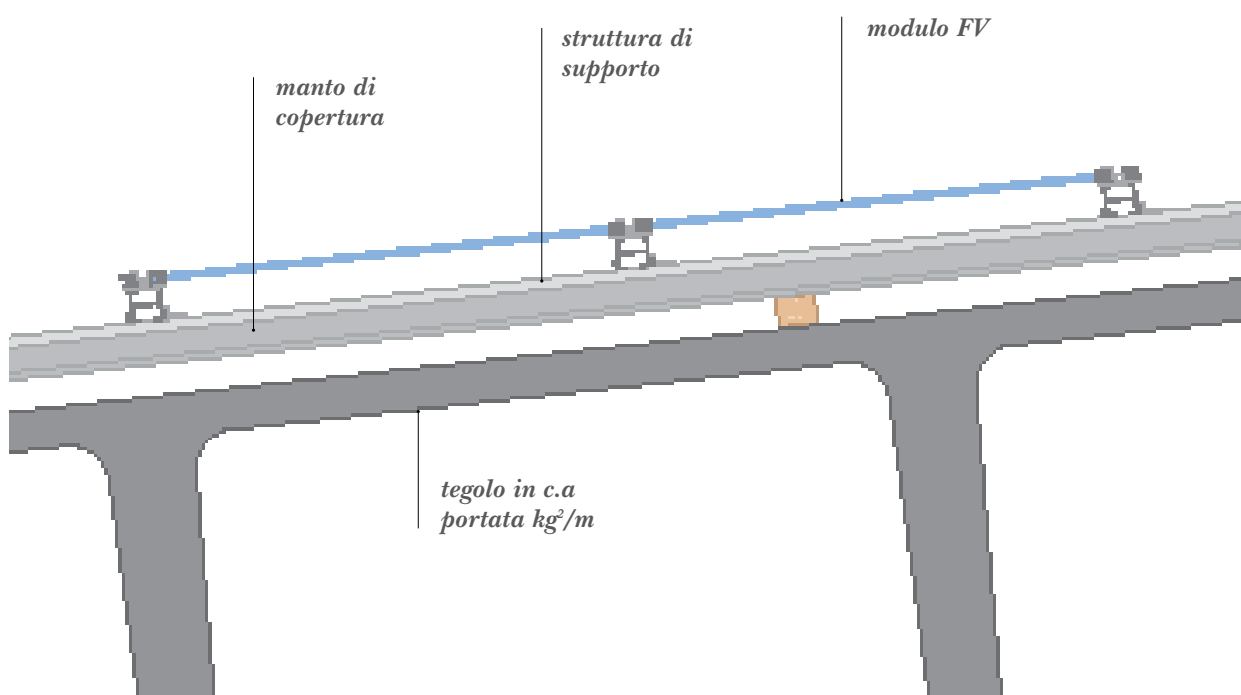
12.2 Caratteristiche di un sistema fotovoltaico

12.2.1 Capacità strutturale

Si dovrà verificare che la copertura in tutte le sue parti sia in grado di sopportare strutturalmente le sollecitazioni derivanti dalla presenza dell'impianto. Quindi, partendo dal peso dell'impianto stesso, si dovrà verificare l'adeguatezza non solo della struttura principale di copertura, ma anche dell'eventuale sottostruttura ausiliaria di creazione di pendenza, della sua interfaccia con il solaio sottostante, e del manto stesso con i suoi fissaggi.

Si dovranno poi controllare i punti dove il carico è concentrato, ed eventualmente trovare il modo migliore di distribuire tali carichi in corrispondenza delle zone più favorevoli della struttura sottostante, se necessario implementando rinforzi strutturali o modificando, se ciò non è possibile, la configurazione dei supporti dell'impianto.

Fondamentale l'analisi dei sovraccarichi in copertura



12.2.2 Risposta termica

L'insorgere di sollecitazioni meccaniche in una copertura metallica è anche frutto di variazioni termiche imposte dalle condizioni climatiche e meteorologiche.

La presenza dei pannelli fotovoltaici sul manto o ancor più su una sua porzione genera una diversa distribuzione delle temperature sul manto stesso, sia perché la radiazione solare distribuita viene schermata dai pannelli, sia perché il calore può essere restituito in tempi e modi diversi dai pannelli al manto.

Anche la perdita di calore per irraggiamento notturno può essere rallentata dall'effetto schermante dei pannelli.

La trasmissione del calore tra pannelli e copertura può inoltre avvenire, per conduzione attraverso la struttura di sostegno dei pannelli, normalmente in

alluminio, nei soli punti di contatto, convogliando il flusso termico in determinati punti o zone in misura maggiore rispetto ad altre.

Per questi motivi è opportuno verificare la possibile interferenza tra impianto fotovoltaico e copertura metallica dal punto di vista della capacità e libertà di dilatazione prevista per quest'ultima, verificando ad esempio che non vi siano impedimenti nelle zone di fissaggio, particolarmente in corrispondenza dei sormonti tra le lastre.

E' bene fare attenzione alle differenze che si potrebbero instaurare tra la zona di copertura occupata dall'impianto e quella lasciata libera, anche se quest'ultima, per la logica stessa dell'impianto, potrebbe essere quella meno esposta alla radiazione solare.



La sottostruttura può essere sollecitata dalle dilatazioni del metallo

12.2.3 Longevità

Con longevità si intende la capacità della copertura di rimanere funzionale almeno per tutta la durata di vita dell'impianto fotovoltaico.

Ciò significa essenzialmente che non dovrà mai essere necessario intervenire sulla copertura stessa per ripristinarne la funzionalità, se non con le normali attività di manutenzione periodica. In particolare non dovrà mai essere necessario procedere allo smontaggio anche di una parte del manto, perché questo implicherebbe necessariamente lo smontaggio della porzione di impianto fotovoltaico che vi insiste.

Questa eventualità sarebbe nefasta sia per i costi inerenti lo smontaggio ed il successivo rimontag-

gio e riattivazione dell'impianto, sia per l'ulteriore danno economico rappresentato dalla mancata produzione di energia durante il periodo di forzata inattività, e sia, infine, per il pericolo di danni a carico del manto di copertura durante tutte queste operazioni.

E' quindi opportuno che la qualità della copertura, sia esistente che di nuova applicazione, fornisca in tutti i suoi aspetti una garanzia minima di longevità che permetta di affrontare una lunga vita operativa.

12.2.4 Accessibilità

L'impianto fotovoltaico non è un oggetto puntiforme, come lo sono i normali corpi emergenti in copertura (camini, sfiati, lucernari eccetera), ma tende, specialmente con i pannelli, ad occupare una porzione rilevante del manto stesso.

Inoltre, i cablaggi e le relative canaline possono essere posizionati, ad esempio, nelle immediate vicinanze dei canali di raccolta dell'acqua meteorica, o in genere in punti "sensibili" per il manto. *(Vedi foto pagina seguente).*

Questo genere di situazioni può rendere parzialmente o totalmente inaccessibili, ai fini dei normali controlli e manutenzioni periodiche, molti elementi della copertura.

La cosa può avere conseguenze negative, già dai primi anni di funzionamento, per la difficoltà di eseguire una completa manutenzione delle parti in cui maggiormente si raccolgono sporco, oggetti estranei, detriti, portati dall'acqua meteorica.

Successivamente, con il logorio del tempo, alcune parti avrebbero bisogno di manutenzione o addirittura sostituzione, come i fissaggi del manto o le loro guarnizioni, le sigillature delle lattonerie ed i relativi rivetti, i giunti di dilatazione.

Il manto stesso in alcuni punti potrebbe essere stato danneggiato da eventi esterni o anche dalle stesse operazioni di posa dell'impianto.

In tutti questi casi la presenza dell'impianto fotovoltaico, se questo aspetto non è stato preso in considerazione, potrebbe di fatto impedire la corretta esecuzione di queste necessarie operazioni manutentive.

In altri casi, l'esistenza di un problema a carico della copertura, insorto, per i motivi citati, successivamente alla posa dell'impianto, potrebbe passare inosservata, e quindi degenerare proprio perché nascosto agli occhi dei manutentori dall'impianto stesso, o comunque irraggiungibile senza effettuare operazioni di smontaggio che certamente esulano

**Cablaggi
per sistema
fotovoltaico**



dalla normale manutenzione. Infine la presenza dell'impianto potrebbe rendere difficili o virtualmente impossibili eventuali operazioni di modifica della copertura, che si reputassero opportune per altre motivazioni funzionali o impiantistiche.

Si devono quindi porre in atto tutti gli opportuni accorgimenti tecnico-applicativi, preferibilmente

concordati tra i tecnici della copertura ed i tecnici dell'impianto, per fare sì che l'interferenza tra le due opere sia la minima possibile, e perché sia l'una che l'altra possano essere facilmente e completamente verificabili, nella loro integrità e nel loro funzionamento, per tutto il loro ciclo operativo.



Necessario prevedere opportuni camminamenti a ridosso dell'impianto fotovoltaico

12.2.5 Funzionalità

Un impianto fotovoltaico prevede essenzialmente una quantità di pannelli, organizzati in vari modi a file a o scacchiera, montati su vari tipi di telai o binari, interconnessi elettricamente con fasci di cavi che, in genere raccolti in canaline metalliche, scorrono lungo tutta la copertura. Vi sono inoltre cassette di raccolta e di intersezione di cavi, oppure inverter, dislocati in vari punti, e a loro volta vincolati in vari modi al manto di copertura. Tutte queste componenti dell'impianto vengono

distribuite sulla copertura, purtroppo obbedendo nella quasi totalità dei casi a logiche esclusivamente impiantistiche, e senza tenere conto, per pura mancanza di consapevolezza, delle necessità funzionali della copertura.

Le conseguenze negative per la copertura possono essere molteplici, per cui sarebbe consigliabile, prima della posa dell'impianto, analizzare gli aspetti che, dal punto di vista del coperturista, possono rappresentare una futura fonte di problemi.

12.2.6 Impermeabilità

Se i supporti dell'impianto fotovoltaico prevedono un fissaggio che perfori il manto di copertura, tali fori devono possedere almeno alcuni requisiti di

base, come l'essere praticati esclusivamente nella parte alta delle greche, o comunque lontano dalla zona di raccolta e deflusso dell'acqua.



Fondamentale l'utilizzo di sistemi di fissaggio che garantiscano l'impermeabilità del manto di copertura

Inoltre i fissaggi che li attraversano devono essere di tipo compatibile con il manto dal punto di vista meccanico e galvanico, devono essere dotati di opportune guarnizioni, di tipo e materiale analo-

ghi a quelli utilizzati per i fissaggi veri e propri del manto. Devono infine essere disposti in modo da non interferire con il libero scorrimento dell'acqua.

12.2.7 Capacità idraulica

La presenza dei pannelli a ridosso del manto di copertura potrebbe modificare il regime idraulico del manto stesso in senso peggiorativo. E' necessario verificare che la sezione idraulica media, che normalmente è costituita dalle parti basse delle greche, riferita all'unità di larghezza in senso trasversale alla pendenza, non subisca

diminuzioni inaccettabili, a causa della presenza dei pannelli e dei loro supporti.

E' inoltre importante tenere conto dell'effetto che la presenza dell'impianto può avere sugli accumuli di precipitazioni solide (neve, grandine). Infatti, in funzione della pendenza e della nevosità locale, si possono avere diversi effetti.



Esempio di accumulo di neve su impianti fotovoltaici

Da un lato, la superficie liscia e ininterrotta di un campo di pannelli fotovoltaici, accostati tra loro con interspazi di un paio di centimetri circa, costituisce un innesco ideale per lo scivolamento della neve, che quindi finisce ben presto per accumularsi nella zona a valle del campo di pannelli, oppure direttamente oltre la gronda ed al suolo. Da un altro punto di vista, un campo di pannelli fotovoltaici, montati sulla rispettiva sottostruttura, possiede in genere altezza sufficiente a costituire un vero e proprio paraneve, trattenen-

do a monte la precipitazione solida. Entrambi gli effetti modificano le condizioni di funzionamento della copertura, precedenti all'applicazione dei pannelli fotovoltaici, il primo accelerando lo scarico a valle o a terra con eventuali conseguenze su quanto si trova alla base della corrispondente parete, il secondo concentrando il carico in una zona a monte dei pannelli, dove il fatto può avere conseguenze negative sia per la tenuta idraulica che per la sollecitazione strutturale.

12.2.8 Sicurezza elettrica

La copertura metallica può efficacemente costituire una gabbia di Faraday, qualora, dopo un opportuno calcolo, venga collegata ai dispersori di terra dell'edificio.

La presenza dell'impianto fotovoltaico modifica questa situazione, sia per la presenza di una ulteriore massa metallica, sia per la presenza di cor-

rente elettrica in continua di notevole intensità. Il ripristino delle condizioni di sicurezza elettrica va quindi affidato ai progettisti dell'impianto fotovoltaico, che terranno in debita considerazione la presenza ed il ruolo della copertura metallica ai fini della protezione dalle scariche atmosferiche.

Realizzazioni Alubel

Crediamo nella tua creatività. Nata da una solida intuizione dei soci fondatori alla fine degli anni Ottanta, Alubel è oggi una realtà di riferimento nel mercato dei sistemi di copertura e rivestimenti di facciata. Innovazione tecnologica, standard qualitativi ineccepibili e una sorprendente capacità di coniugare visioni d'avanguardia con la concretezza del saper fare di tradizione artigiana, sono le caratteristiche distintive di questo gruppo, la cui vasta e aggiornata gamma di prodotti spazia da molteplici tipologie di sistemi di coperture a rivestimenti, fino a soluzioni per l'insonorizzazione e la coibentazione per i settori industriale, civile e pubblico.





Starcolor srl _ San Donà di Piave (VE) |
Ond-All 33 / Easy Wand





Auto industriale bergamasca spa _ Dalmine (BG) |
Easy Wand





AR Fiori srl _ Udine (UD) |
Easy Wand





Meccanica Brunati srl _ Saronno (VA) |
Tek 28 / Easy Wand





Just academy _ Grezzana (VR)

Alu-Skin





Asilo nido "La coccinella" _ Siziano (PV)

Alu-skin / Ond-all 33





Piscine dello stadio _ Terni (TR)

Ond-All 33





Icam spa _ Orsenigo (CO)

Ond-All 33





Complesso Industriale _ Castellanza (VA)

Alubel 21





Edificio residenziale _ Parigi
Alubel 21





Abrasivi Alpe srl _ Torino (TO)

Alubel 28





Centrale geotermica Europa _ Fidenza (PR)

Alubel 28





Villa privata _ Ghisalba (BG) |
Alubel 28





Edificio industriale _ Reggio Emilia (RE)

Alugraf |





Milani spa _ Lipomo (CO)
Alugraf / Ond-All 33 / Alubel 40
Acciaio Cor-Ten / Alutech Dach





Centro commerciale Carrefour _ Vercelli (VC)
Cassette forate “a tema”





Villa privata _ Noceto (PR) |
Acciaio Cor-Ten





Condominio _ Monza (MB) |
Cassette in alluminio





Centro commerciale Coop _ Montecchio (RE) |
Alugraf / Acciaio Cor-Ten





Inceneritore _ Modena (MO) |
Alutech Wand / Ond-All 33





Scuola materna _ Bagnolo Mella (BS)

Alugraf





Edifici residenziali _ Stretto di Gibilterra
Tek 28





Porto turistico _ San Vincenzo (LI)

Alubel 28





Casa privata _ Pavia (PV)

Tek 28





Società agricola Cascina Motta _ Calvisano (BS)

Alutech Dach





Serravalle Designer Outlet _ Serravalle Scrivia (AL)

Isocoppo





Condominio _ Villanova Monferrato (AL) |
Sottocoppo





Società agricola "I Ronchi" _ Bagnolo in Piano (RE)

Isocoppo / Alutech Dach





LG logistica _ Torrile (PR) |
Alucop Dach

Finito di stampare nel mese di Settembre 2024