

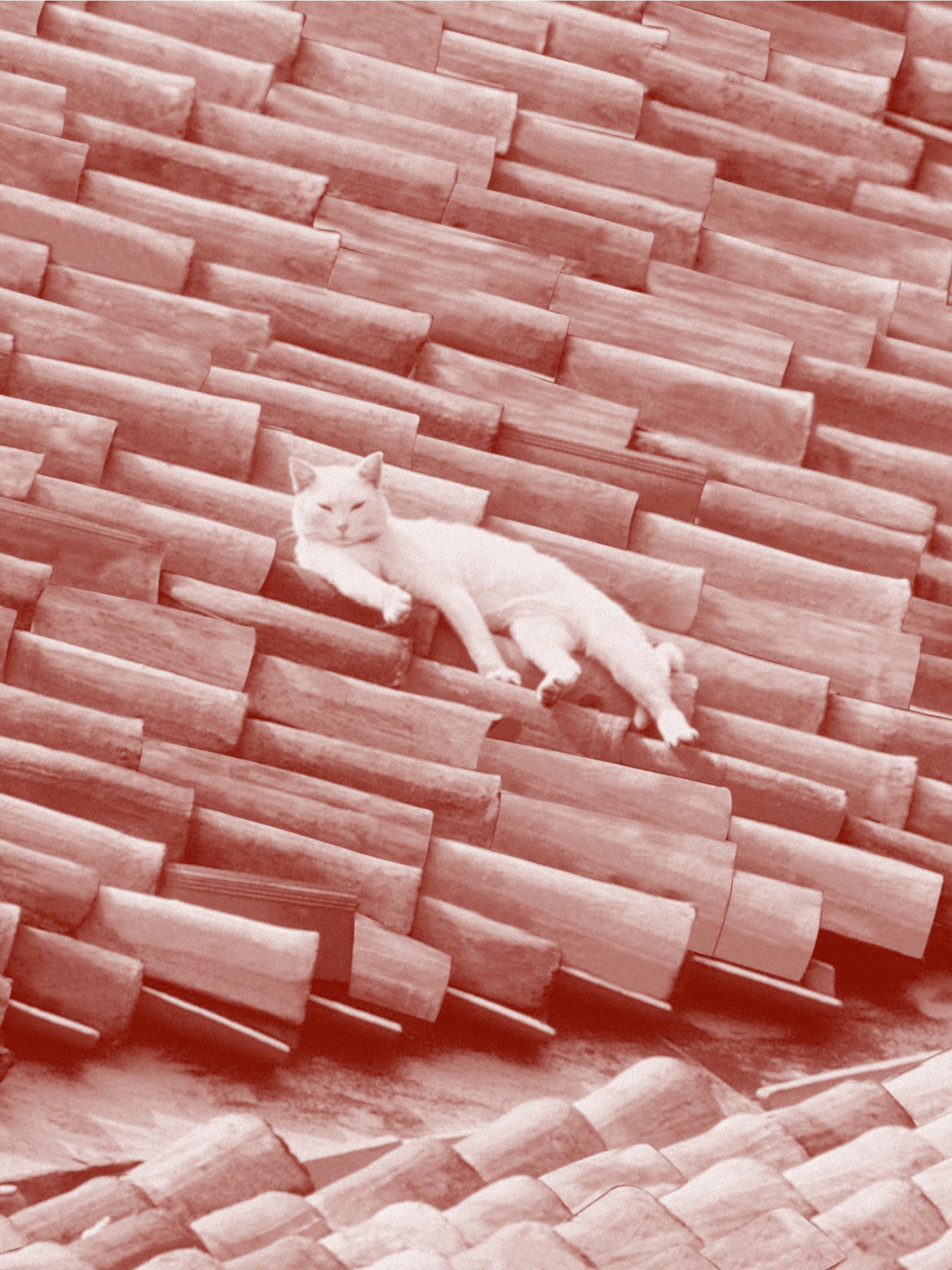
I manti di copertura in laterizio

Antonio Lauria

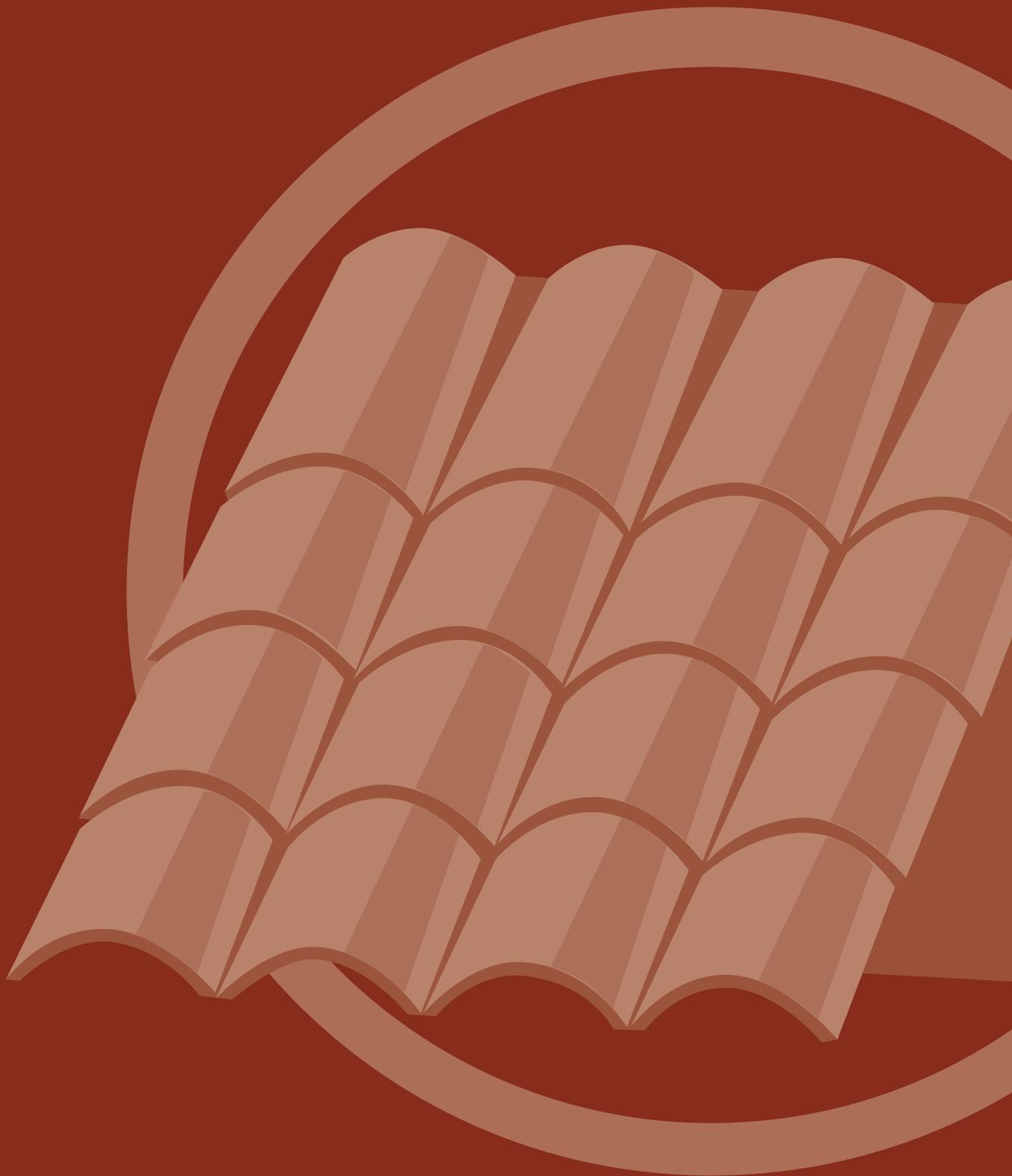
Il progetto e la posa in opera

© 2002
Associazione Nazionale
degli Industriali dei
Laterizi
A.N.D.I.L.
Via Alessandro Torlonia, 15
00161 Roma
Tel. 06 44236926
Fax 06 44237930
www.laterizio.it
E-mail: andil@laterizio.it





| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Indice | |
| Introduzione | 5 |
| PREMESSA | |
| Il tetto: una metafora dell'abitare | 7 |
| Il tetto e i manti in laterizio: un sodalizio che ha fatto storia | 7 |
| Dall'argilla ai manti di copertura in laterizio | 10 |
| PARTE I: NOTE SULLA PROGETTAZIONE DEI TETTI | |
| I.1 La forma del tetto | 14 |
| I.1.1 La terminologia | 16 |
| I.1.2 La geometria della falda | 18 |
| I.1.3 I fattori caratteristici | 20 |
| I.2 I requisiti essenziali di un buon tetto | 25 |
| I.2.1 Premessa | 25 |
| I.2.2 La resistenza meccanica | 25 |
| I.2.3 Il controllo delle condizioni igrotermiche del manto: la micro-ventilazione sottomanto | 31 |
| I.2.4 Il controllo delle condizioni igrotermiche del tetto | 37 |
| I.2.4.1 Gli schemi di funzionamento igrotermico | 37 |
| I.2.4.2 Il comfort in periodo invernale: l'isolamento termico e il controllo dei ponti termici | 38 |
| I.2.4.3 Il comfort in periodo estivo: la ventilazione | 42 |
| I.2.4.4 Il controllo della condensa interstiziale | 44 |
| I.2.5 La tenuta all'acqua | 48 |
| I.2.6 La raccolta e l'allontanamento dell'acqua piovana | 50 |
| I.2.7 L'attrezzabilità | 51 |
| I.2.8 Il mantenimento delle prestazioni nel tempo | 52 |
| I.3 Gli elementi del manto | 53 |
| PARTE II: LA POSA IN OPERA DEI MANTI DI COPERTURA IN LATERIZIO | |
| II.1 Gli elementi di supporto del manto | 62 |
| II.1.1 Manto di copertura con tegole | 68 |
| II.1.2 Manto di copertura con coppi | 72 |
| II.2 Gli elementi di fissaggio del manto | 75 |
| II.3 La disposizione degli elementi del manto di copertura | 78 |
| II.3.1 Manto di copertura con tegole | 78 |
| II.3.2 Manto di copertura con coppi | 82 |
| II.4 Problemi particolari | 85 |
| II.4.1 Displuvi | 85 |
| II.4.2 Compluvi | 89 |
| II.4.3 Linee di raccordo | 90 |
| II.4.4 Soluzioni di continuità del manto | 92 |
| II.5 Cenni sulla verifica di qualità dei prodotti in cantiere | 95 |
| II.6 La sicurezza in cantiere negli interventi sulle coperture | 96 |
| APPENDICE | |
| Qualità dei prodotti | 104 |
| Le normative UNI EN sui prodotti in laterizio per coperture | 108 |
| | |
| Ringraziamenti | 118 |
| Bibliografia essenziale | 119 |



"Tetto": ovvero una breve e semplice parola che da sempre, evocando un complesso articolato di funzioni, quali riparo, protezione, sicurezza, comfort, individua con precisione una parte essenziale di ogni edificio.

Il *"tetto"* viene spesso dato per scontato, come se si potesse semplicemente e magicamente concretizzare con due tratti inclinati di matita su di un foglio bianco.

Questa banalizzazione può comportare serie conseguenze sulla durabilità, sui costi di manutenzione, sulle prestazioni e non ultimo sull'estetica dell'edificio.

La maggiore sensibilità riscontrabile in questi ultimi anni nei confronti del risparmio energetico, dell'isolamento acustico, del comfort abitativo, del rispetto dell'ambiente, in poche parole della funzionalità del *"sistema tetto"*, ne ha determinato una inevitabile rilettura, dando luogo ad una sua attenta e puntuale rivalutazione. Ne consegue un arricchimento della gamma dei prodotti disponibili sul mercato, sia di base che di complemento, la proposizione di nuove soluzioni di assemblaggio, la corretta definizione e sequenza degli strati componenti, e quindi l'aggiornamento delle regolamentazioni di riferimento.

In proposito si è lavorato molto, in ambito europeo, mettendo a punto delle normative sui materiali da copertura in grado di fornire chiari riferimenti sulle prestazioni dei prodotti e sulla loro corretta posa in opera. Queste norme, elaborate dal CEN (Comitato Europeo per la Normazione) a seguito dell'emanazione della Direttiva 89/106 *"Prodotti da costruzione"*, assumeranno una forte valenza legislativa che andrà a coprire tutte quelle lacune ancora in essere, a tutto vantaggio di una maggior chiarezza e, quindi, di una rapida soluzione in caso di contestazione dei materiali. Al dettaglio costruttivo, il più potente degli strumenti di relazione tra progettazione ed esecuzione, è stato affidato il compito di trasformare in rigorosa informazione tecnica l'insieme di richieste prestazionali e di rispetto normativo che ogni copertura deve oggi assicurare.

"I manti di copertura in laterizio" costituisce, in tal senso, una raccolta sistematica di indicazioni progettuali e di modalità esecutive, corrette e collaudate, un codice di pratica ricco di dettagli e regole pratiche. Un manuale tecnico, dunque, in grado di guidare scelte e fornire soluzioni affidabili affinché il *"tetto"* possa svolgere sempre meglio e con maggiore completezza il suo fondamentale ruolo di protezione dell'abitare, fornendo risposte adeguate alle nuove esigenze funzionali e pienamente conformi alle nuove normative comunitarie,

Di fatto, costituisce, a scala nazionale, il *"testo"* di riferimento sui materiali da copertura in laterizio e sulla loro corretta posa in opera.

Angelo Appiotti

*Presidente della Sezione dell'ANDIL
"Produttori di laterizi per coperture"*



Il tetto: una metafora dell'abitare

Il *tetto*, sin dalle origini, ha rappresentato una delle manifestazioni più efficaci del bisogno di protezione dell'uomo nei confronti di agenti esterni di qualsiasi natura e il termine, in molte lingue, si eleva a significato di 'scudo', 'riparo', 'rifugio', finanche di 'protezione materna'.

Non è così certo un caso se per i Romani la parola *tectum* designava genericamente *il luogo abitato*; d'altra parte, osservando le tipiche rappresentazioni che i bambini fanno della casa o riflettendo su alcune espressioni di uso comune, si capisce che il tetto è qualcosa in più di un'unità tecnologica: è una *metafora dell'abitare* che evoca e sintetizza il concetto stesso di casa, il concetto di spazio delimitato in cui vive l'uomo.

Il tetto e i manti in laterizio: un sodalizio che ha fatto storia

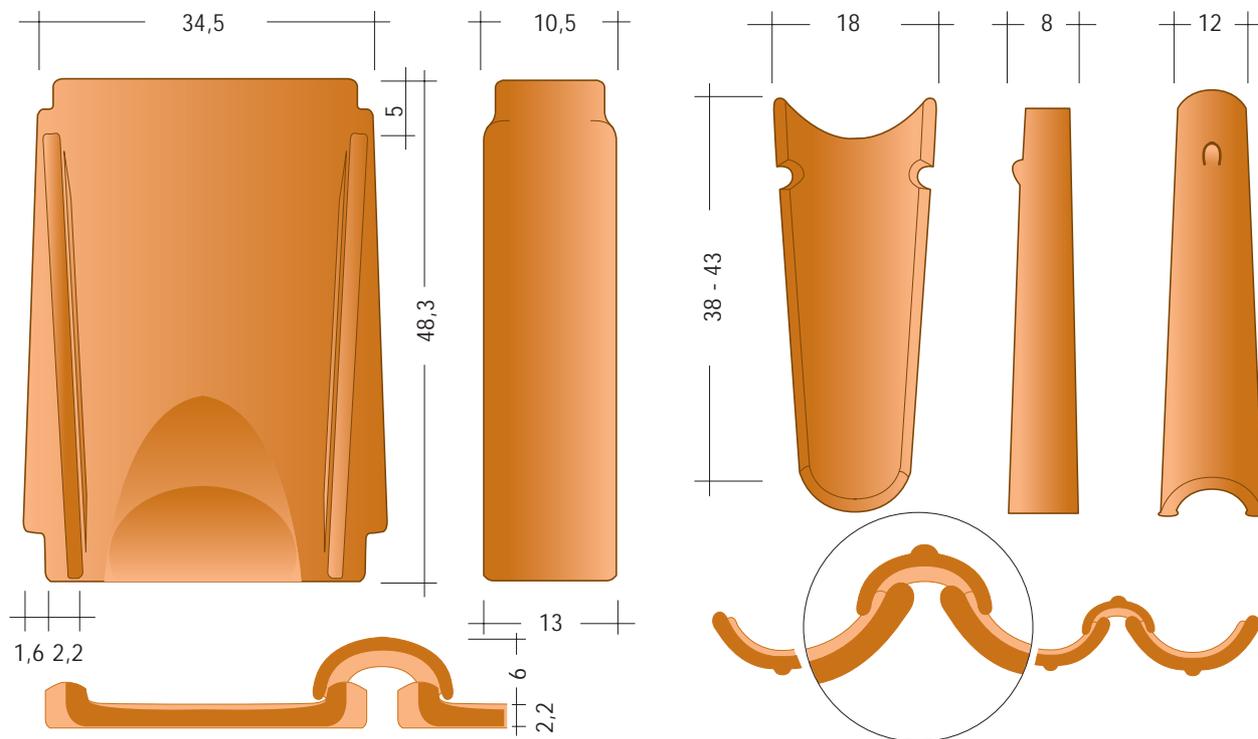
La *copertura* ha la funzione di definire superiormente la forma di un edificio e di separare lo *spazio esterno*, caratterizzato dalla variabilità delle condizioni ambientali, da uno *spazio interno* in cui queste condizioni devono essere stabilizzate per garantire all'uomo il raggiungimento del benessere ambientale. Oggi, nel linguaggio tecnico, con la parola 'tetto' si intende quel particolare tipo di copertura costituito da una o più superfici inclinate chiamate 'falde'. Quando il fondamentale requisito di *tenuta all'acqua* è garantito mediante la sovrapposizione o l'incastro di elementi contigui posati in pendenza, e non mediante la continuità di un apposito strato funzionale, il tetto è ascritto all'unità tecnologica delle *coperture discontinue*.

Dagli etnologi sappiamo che i primi esempi di manto di copertura discontinuo furono eseguiti con elementi vegetali (fronde, canne palustri o grandi foglie) sovrapposti che l'uomo primitivo impiegò per realizzare il *parapioggia* nel quale, sebbene lo spazio interno non fosse interamente delimitato, era già perfettamente operante la dialettica interno - esterno.

Col tempo, al manto matrice di tipo vegetale si affiancarono manufatti in argilla sempre più affidabili e durevoli. Con l'avvento della civiltà ceramica - avvenuto oltre 4000 anni fa - si diffusero manti di copertura in laterizio di aspetto non molto diverso da quelli attuali. I più antichi manufatti ceramici per coperture mai scoperti sono quelli portati alla luce dagli archeologi nel Palazzo di Lerna, presso Mili, nel Peloponneso (la cosiddetta *Casa delle Tegole*), risalenti al 2300-2500 avanti Cristo. Il ritrovamento di numerosi sigilli fa capire che già da allora le tegole erano contrassegnate da timbri i quali, con buona ragione, possono essere considerati gli antesignani degli attuali *marchi di origine e di qualità*.

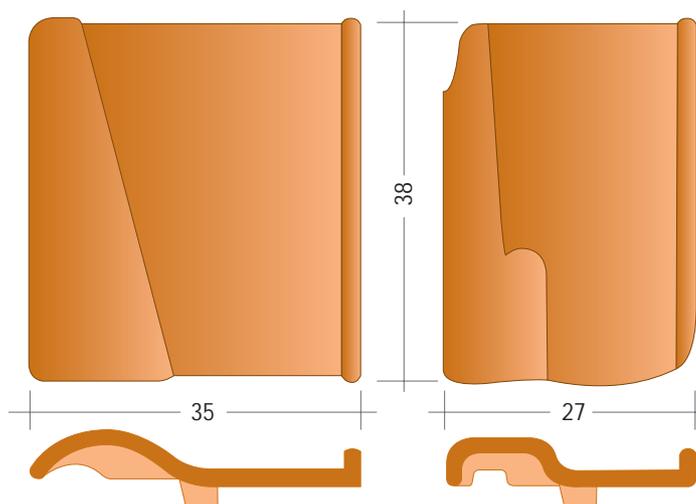
Con l'espansione dell'Impero Romano, la disposizione 'maritata' (composta da tegole piane - le cosiddette *tegulae* - accostate e sormontate lungo i bordi da tegole curve dette *imbrices*) si diffuse in tutto il bacino del Mediterraneo; successivamente, nel medioevo, si affermò la disposizione a *coppi soprammessi* (detta anche 'spagnola' o 'monaco e suora') realizzata con file parallele di tegole curve con concavità verso l'alto sormontate lungo i bordi dai medesimi elementi con la concavità rivolta verso il basso.

Il tetto: una metafora dell'abitare



Disposizione 'maritata', di epoca medievale, composta da tegole piane sormontate da coppi; a destra, la disposizione a 'monaco e suora' a coppi soprapposti (misure in cm).

Nelle regioni nord-europee la necessità di realizzare falde di maggiore pendenza portò alla produzione delle prime tegole dotate di dentello di arresto; a partire dal XIII sec., nei Paesi Bassi, fece la sua comparsa la *tegola con risvolto* dotata della parte piana e di quella curva.



Antiche tegole con risvolto (misure in cm).

Una delle progenitrici più dirette delle attuali tegole *portoghesi* e *olandesi* è la tegola con risvolto rinvenuta nel Monastero di Wettingen (1227-1294), in Germania.

Nella produzione degli elementi per manti di copertura in laterizio la *civiltà industriale* si manifesta, principalmente, con la pressa 'a revolver' e con l'invenzione, da parte della Ludowici, della *tegola stampata ad incastro* più nota come *marsigliese*.

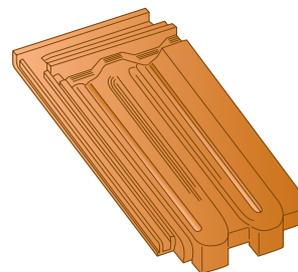
La tegola marsigliese - che, consentendo l'incastro reciproco da tutti i lati, garantisce una tenuta del manto sotto l'azione del vento prima sconosciuta - diede un nuovo impulso al perfezionamento dei manti di copertura in laterizio e segnò l'inizio dello sviluppo di una varietà di prodotti ottenuti per *estrusione* e/o per *pressatura* in appositi stampi.

Se nel passato i tetti sono stati intesi principalmente come congeniale contromisura nei confronti delle precipitazioni atmosferiche, oggi le cose sono radicalmente cambiate. L'ampia utilizzazione dei sottotetti per scopi abitativi e la conseguente necessità di garantire condizioni di vita assimilabili a quelle che ci si attendono negli altri ambienti abitati, impone il conseguimento di standard qualitativi più elevati e il definitivo superamento di quei difetti accettati fatalisticamente come inevitabili.

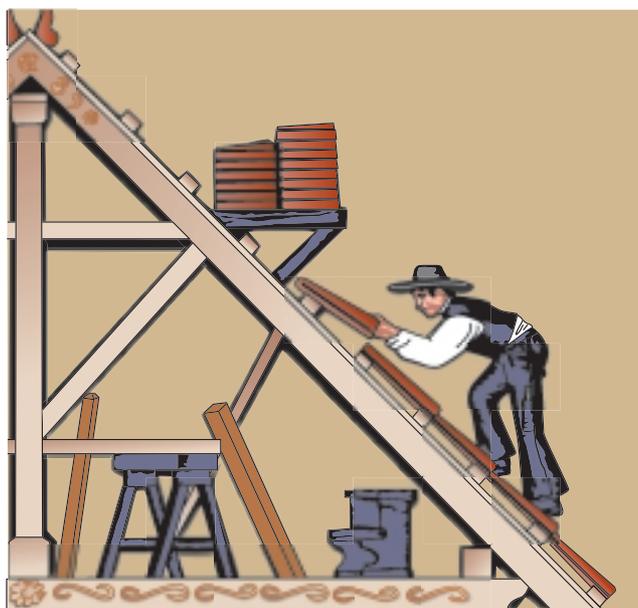
D'altro canto, la sempre più diffusa presenza di reti e terminazioni impiantistiche fanno del tetto una parte della costruzione il cui tasso tecnologico è progressivamente cresciuto e la cui praticabilità non è più episodica e legata agli interventi manutentivi d'emergenza.

Il tetto è divenuto, così, un'entità complessa che esige da progettisti ed esecutori un cambiamento di mentalità e una nuova consapevolezza: dai primi ci si attendono soluzioni affidabili definite alla scala del dettaglio; dai secondi, competenze e professionalità specifiche; da entrambi, una conoscenza approfondita delle problematiche tecniche con cui dovranno misurarsi e dei materiali, dei componenti e dei sistemi innovativi messi a disposizione dall'industria.

In particolare, tutti dovranno confrontarsi con il delicato passaggio dalla tradizionale posa *umida* del manto -ottenuta mediante allettamento di malta- a quella a *secco* - basata sull'incastro o sul fissaggio meccanico - in grado di coniugare le migliori condizioni termoigrometriche per il laterizio con la reversibilità degli assemblaggi, ma che necessita di superiore accuratezza in fase di progetto e di messa in opera.



Un primo esempio di tegola 'marsigliese'.

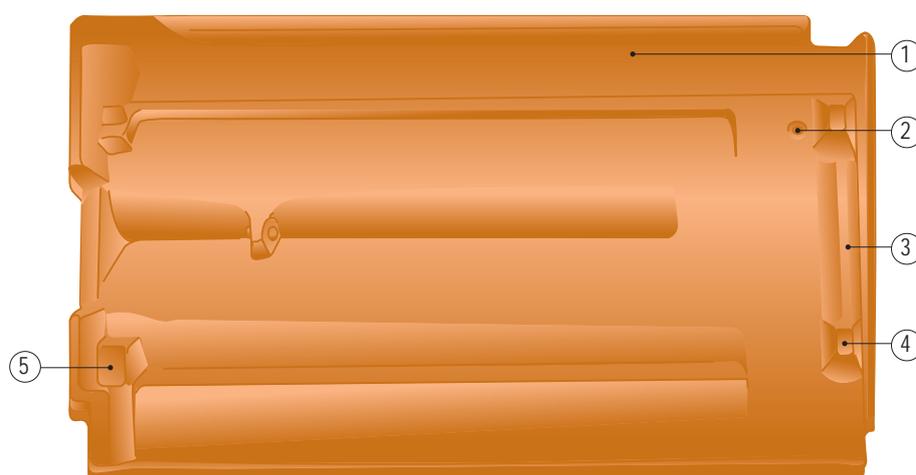


Nella tradizione tedesca, i *Dach Decker Meister* -i Maestri del tetto- costituivano una corporazione che custodiva gelosamente le regole dell'arte della corretta realizzazione dei tetti. Il senso dell'identità era così forte che avevano anche una specifica divisa. Oggi, l'informazione tecnica non rappresenta più un segreto corporativo; tuttavia, ancor più che in passato, per la crescente complessità delle prestazioni richieste al tetto è quanto mai necessario che la sua esecuzione sia affidata a operatori qualificati (particolare ridisegnato di un bassorilievo in piombo della azienda 'Wilhelm Schweizer', Diessen, Germania).

Il complesso intradosso di una moderna tegola in laterizio.

Legenda:

1. profili laterali di incastro
2. foro di fissaggio (predisposto)
3. nervature trasversali
4. nasello di aggancio
5. appoggio



Dall'argilla ai manti di copertura in laterizio

Gli elementi per manti di copertura in laterizio sono *prodotti di origine naturale* che hanno nell'*argilla* la loro materia prima. L'*argilla* è costituita dai sedimenti a grana più fine presenti sulla superficie terrestre (inferiori, secondo la scala granulometrica di Wentworth, a 4 millesimi di millimetro) che derivano, in massima parte, dall'alterazione fisico-chimica di feldspati e feldspatoidi operata dagli agenti atmosferici.

I componenti fondamentali dell'argilla sono la *silice*, l'*allumina* e l'*acqua*: inoltre sono presenti ferro, potassio, sodio, calcio e impurità quali quarzo, opale, calcite, salgemma, pirite.

Dal punto di vista produttivo, un parametro essenziale dell'argilla è la *plasticità*, cioè la capacità di acquisire mediante aggiunta d'acqua (l'argilla ne può assorbire fino al 70% del suo peso) una *lavorabilità* tale da conferire all'impasto la forma desiderata in maniera stabile. Tuttavia, affinché la *stabilità* permanga anche a seguito di contatto con l'acqua (*insolubilità*) e per elevare le caratteristiche prestazionali del prodotto, è necessario che il materiale subisca un processo di cottura a temperature intorno ai 1000°C, durante il quale avviene la ricristallizzazione dei minerali e l'eliminazione dell'acqua di com-

posizione, dell'anidride carbonica e di altri gas.

In effetti, tra la fase di *estrazione* dell'argilla e quella di *cottura* vengono eseguite altre importanti lavorazioni:

- il *dosaggio* (quando le argille hanno diversa provenienza)
- la *raffinazione* e l'*impasto*
- la *formatura* dell'elemento
- l'*essiccazione*.

A cottura avvenuta, i componenti originari hanno subito delle significative modifiche e offrono al laterizio il proprio contributo in rapporto alle specifiche attitudini e alla loro incidenza: i *componenti alluminosi* conferiscono resistenza meccanica e compattezza; la *silice libera* la porosità; i *composti del ferro* e gli altri metalli il colore.

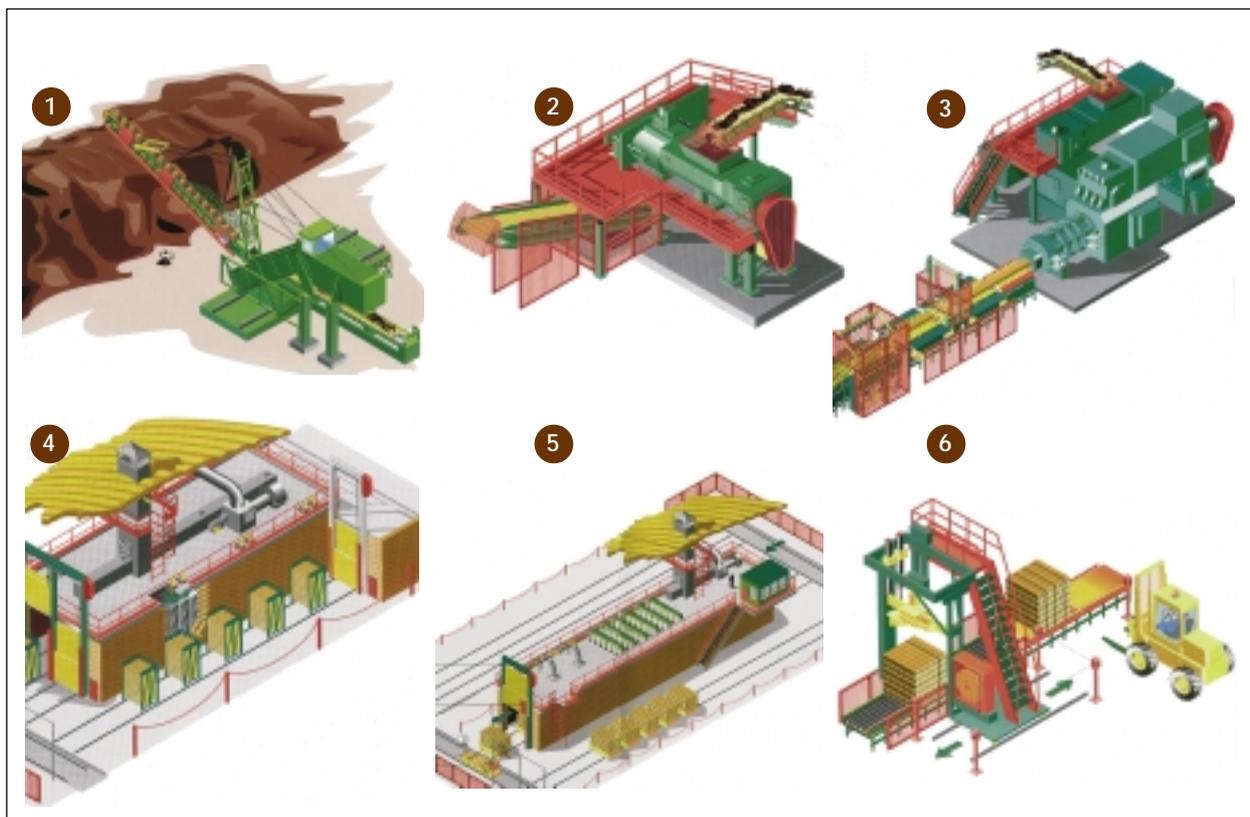
E' proprio dagli effetti sinergici indotti dalla cottura sulle caratteristiche dei componenti costitutivi che gli elementi per manti di copertura in laterizio traggono le loro qualità globali: la tenuta all'acqua e la permeabilità al vapore, l'ottima resistenza al gelo, la durabilità, la resistenza meccanica, la resistenza agli sbalzi termici e, non ultima, l'inconfondibile colore, stabile e immutabile nel tempo.

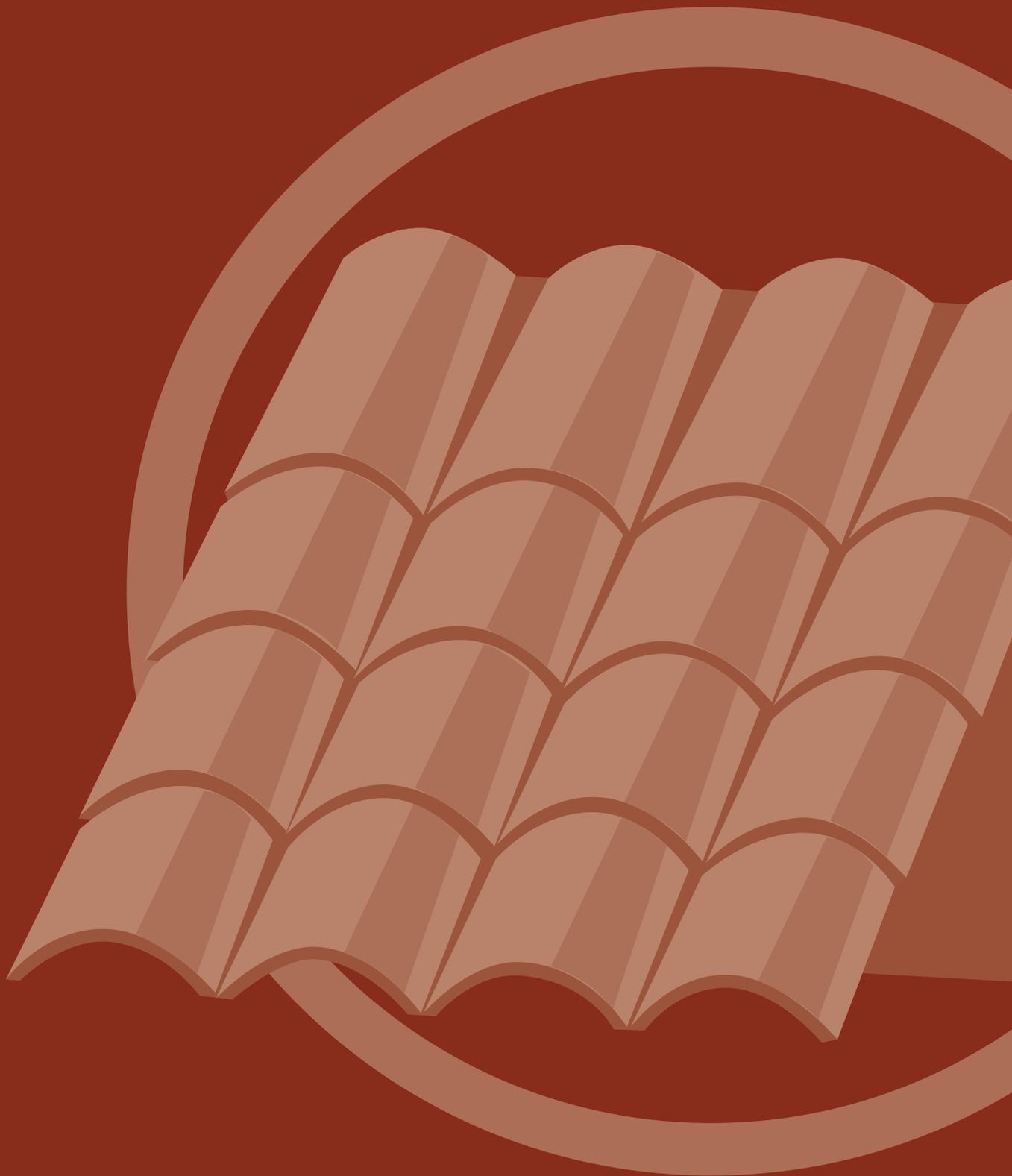
Essi, inoltre, sono da considerarsi a tutti gli effetti prodotti ecocompatibili poiché possono essere riciclati sotto forma di granulato di laterizio o riutilizzati ancora per costituire il manto di altre coperture o addirittura reimmessi nel ciclo produttivo.

Il processo produttivo degli elementi per manti di copertura in laterizio.

Legenda:

1. *escavazione*
2. *pre-lavorazione*
3. *formatura*
4. *essiccazione*
5. *cottura*
6. *confezione e stoccaggio*





PARTE I
Note sulla progettazione dei tetti



I.1 La forma del tetto

La forma del tetto nasce e si specifica nel complesso rapporto tra le *azioni naturali* - precipitazioni atmosferiche e forza di gravità-, le *condizioni al contorno* e le *componenti funzionali, formali e simboliche* dell'architettura.

Le infinite configurazioni assunte dai tetti nel corso del tempo sono espressione e sintesi del rapporto dialettico tra i diversi fattori interagenti e del prevalere dell'uno sull'altro.

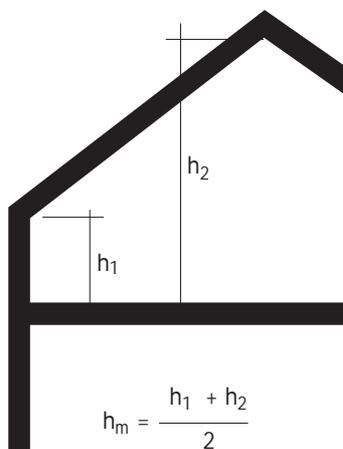
Pioggia, pioggia battente, vento, neve e grandine rappresentano importanti agenti degenerativi; il consapevole sfruttamento della forza di gravità rappresenta l'adeguata contromisura nei loro confronti. Il senso di questo rapporto è chiaro nelle parole di Vitruvio (I sec. a.C.) secondo il quale, avendo gli uomini primitivi constatato che le coperture piane in elementi vegetali non potevano reggere alla pioggia, "costruiti dei tetti a punta, spalmati di fango, coll'inclinazione del tetto determinarono lo scolo delle acque".

Le *condizioni al contorno* rappresentano le opportunità e i vincoli che il sito pone al progettista.

Le *componenti funzionali* si traducono principalmente nelle modalità d'uso del sottotetto la cui abitabilità dipende da *fattori geometrici* quali l'altezza della parete verticale, l'inclinazione delle falde e la loro conformazione; da *fattori energetici e di comfort* quali l'isolamento termoacustico, l'inerzia termica e la diffusione del vapore; da *fattori strutturali* quali la tipologia e la disposizione spaziale delle strutture, verticali ed orizzontali, e da *fattori normativi*.



Fig. I.1
In alto: intervenendo sulla pendenza o sulla conformazione delle falde, indipendentemente da altri fattori, è possibile migliorare la funzionalità del sottotetto;
a fianco: formula per il calcolo dell'altezza media h_m secondo molti regolamenti edilizi.



Le *componenti formali* dipendono dalle valutazioni soggettive del progettista rivolte principalmente alla congruenza stilistica tra la configurazione del tetto e quella dell'edificio nel suo complesso.

Le *componenti simboliche* influenzano e sono influenzate dalle caratteristiche del 'luogo', inteso come spazio esistenziale animato da valenze storiche, culturali e relazionali.

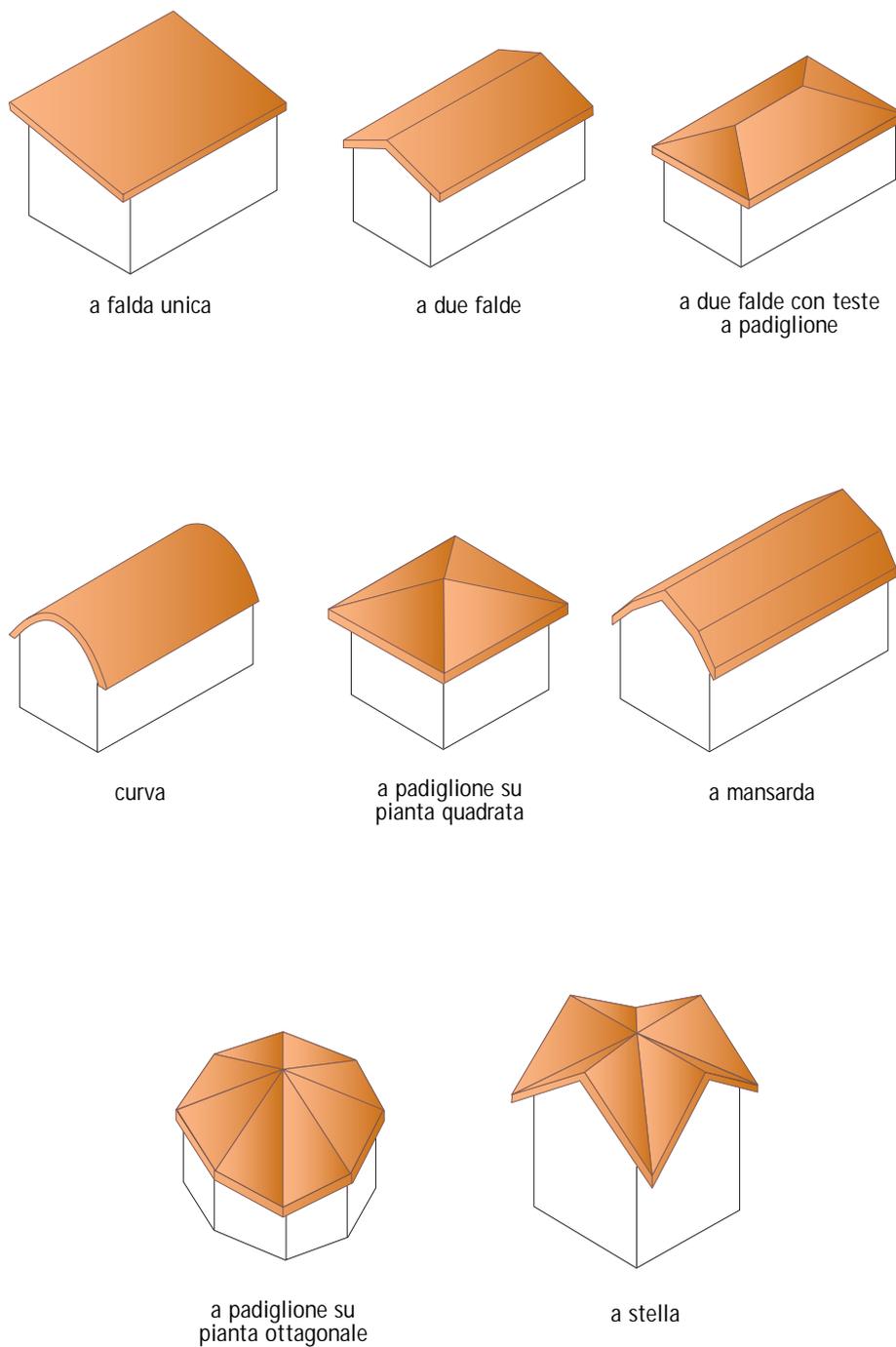


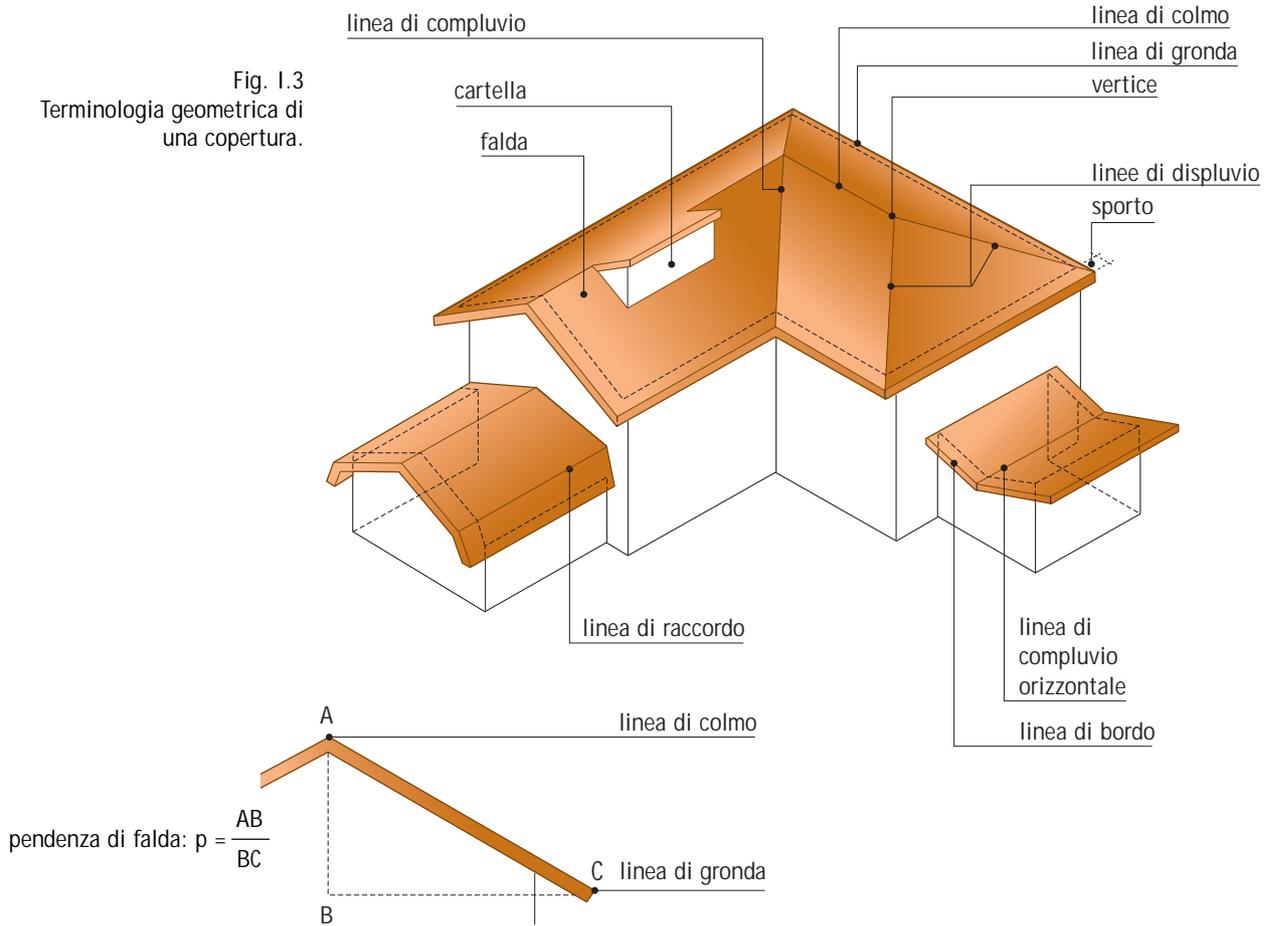
Fig. 1.2
Principali tipologie di tetti.

I.1.1 La terminologia

Dal punto di vista terminologico forse non c'è parte dell'edificio più complessa del tetto. Praticamente ciascuna delle parti costituenti ha una sua precisa denominazione.

Così, per maggior chiarezza espositiva, si ritiene utile fornire le definizioni relative agli elementi e ai componenti più importanti.

Fig. I.3
Terminologia geometrica di una copertura.



| | |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Falda | superficie di copertura inclinata e geometricamente piana |
| Pendenza di falda | inclinazione della falda rispetto al piano orizzontale misurata in gradi o in percentuale |
| Pendenza d'esercizio | pendenza effettiva del manto di copertura che, a causa della sovrapposizione degli elementi, risulta sempre inferiore a quella di falda di qualche punto percentuale |
| Linea di displuvio | linea, orizzontale o inclinata, risultante dall'intersezione di due falde con pendenze divergenti |
| Linea di compluvio | linea, orizzontale o inclinata, risultante dall'intersezione di due falde con pendenze convergenti |
| Linea di gronda | linea perimetrale inferiore della falda su cui insiste l'elemento di raccolta delle acque meteoriche |

| | |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| Linea di colmo | linea risultante dall'intersezione delle falde alla sommità del tetto |
| Linea di raccordo | linea risultante dall'intersezione di due falde di pendenza diversa ma non opposta |
| Linea di bordo | linea ad andamento inclinato che costituisce il limite laterale del tetto |
| Vertice | punto di incontro di linee di colmo orizzontali e/o inclinate |
| Sporto o cornicione | parte sporgente del tetto rispetto alla parete dell'edificio |
| Cartella | elemento di raccordo tra l'intradosso di una falda e l'estradosso di un'altra |

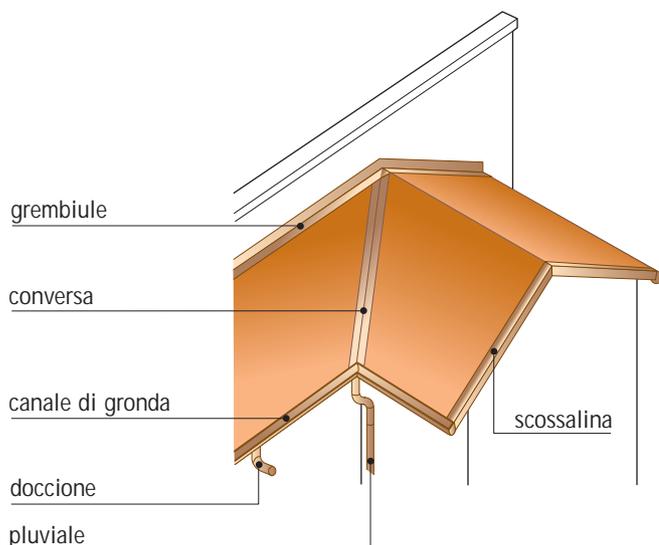


Fig. 1.4
Terminologia degli elementi complementari (*in alto*) e delle soluzioni di continuità (*in basso*).

Grembiule
elemento che garantisce la tenuta all'acqua nel raccordo tra manto di copertura e corpi emergenti

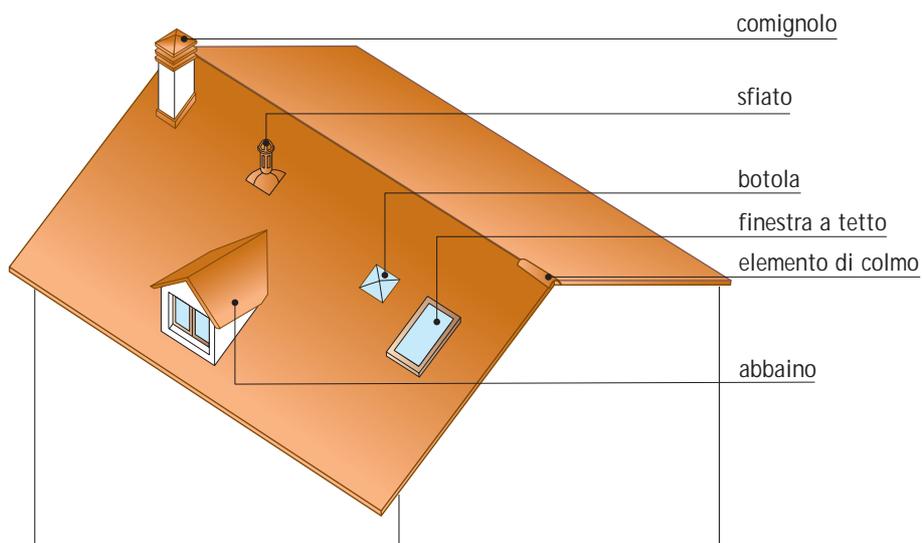
Conversa
elemento che garantisce la tenuta all'acqua in corrispondenza dei compluvi

Scossalina
elemento che garantisce la tenuta all'acqua in corrispondenza delle linee di bordo

Canale di gronda
elemento per la raccolta dell'acqua piovana corrispondente alla linea di gronda

Pluviale
elemento per lo scarico incanalato dell'acqua piovana

Doccione
elemento per lo scarico a dispersione dell'acqua piovana



Comignolo, sfiato, port antenna
elementi accessori normalmente raccordati al manto mediante grembiuli

Botola o passo d'uomo e finestra a tetto
elementi che consentono l'illuminazione e l'aerazione naturale del sottotetto e l'accessibilità al tetto

Abbaino
elemento che consente l'illuminazione e l'aerazione naturale del sottotetto, permettendo l'affaccio

I.1.2 La geometria della falda

I tetti, indipendentemente dalla tipologia prescelta, possono avere la *linea di gronda*, così come la *linea di colmo*, a quota costante o a quota variabile. Normalmente, le falde hanno pendenza costante e si privilegiano quelle soluzioni che conducono l'acqua meteorica verso il perimetro della costruzione.

Le linee di gronda possono interessare l'intero perimetro dell'edificio (tipologie a *padiglione*) o solo alcuni lati (tipologie a *falda unica*, a *due falde*, *curva*, a *mansarda*).

Volendo coprire un edificio a pianta rettangolare o quadrata con un tetto a due falde o a padiglione, sia la linea di gronda che quella di colmo saranno a quota costante.

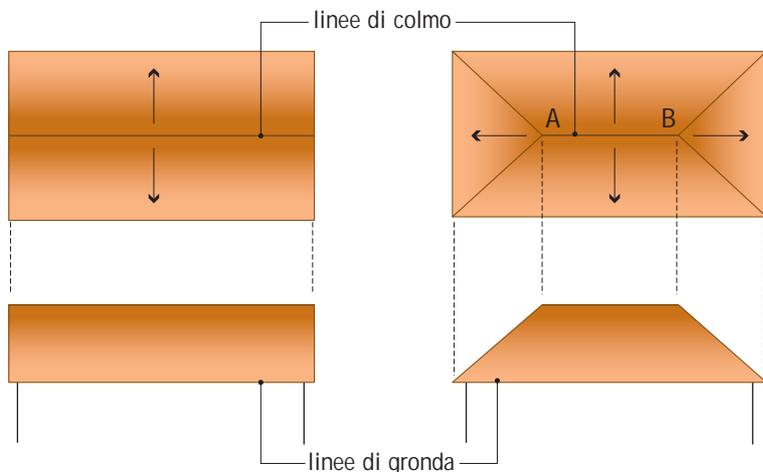
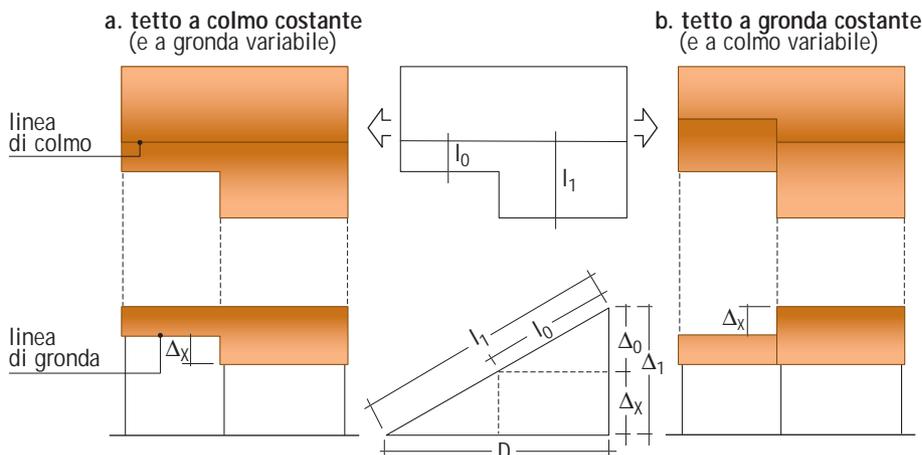


Fig. 1.5 Tetti con linea di colmo e linea di gronda a quota costante. *In alto*: piante; *in basso*: prospetti.

Se è superfluo dare spiegazioni sulla costruzione geometrica del tetto a due falde, a proposito del tetto a padiglione si può dire che si segue la regola generale di condurre le bisettrici degli angoli perimetrali fino ad incontrarsi nei *vertici* ('A' e 'B'). Tali bisettrici rappresentano le proiezioni delle *linee di displuvio* e la congiungente i vertici la proiezione della *linea di colmo*. Applicando il metodo delle bisettrici, le quattro falde avranno la stessa pendenza.

Per coprire un edificio a pianta poligonale con angoli retti mediante tetti a due falde di pendenza costante, occorre stabilire se mantenere a quota costante la linea di colmo o quella di gronda; nel primo caso lo scarto di dislivello si riporta alla linea di gronda ('salto di gronda'); nel secondo, alla linea di colmo.

Fig. 1.6 I due metodi per il tracciamento di un tetto a due falde a pendenza costante.



Se in una falda con pendenza costante varia la lunghezza varierà anche il dislivello. Lo scarto $\Delta_1 - \Delta_0 = \Delta_x$ si potrà riportare o alla gronda (a) o al colmo (b).

Per coprire la stessa pianta nel caso di tetti a padiglione *a gronda costante* si utilizza sempre il procedimento delle bisettrici. Le linee di displuvio e quelle di compluvio hanno proiezioni sul piano passante per le linee di gronda (rappresentate dalle bisettrici degli angoli formati dalla convergenza di due linee di gronda): le linee di displuvio corrispondono ad angoli convessi; quelle di compluvio ad angoli concavi; il colmo è una spezzata di segmenti. Per semplicità, il tracciamento delle falde avviene per fasi. Preliminarmente si scompone la pianta in elementi semplici, poi, partendo dall'elemento di dimensione maggiore si individuano gli angoli 'virtuali' delle falde. Il lavoro procede tracciando le bisettrici e individuando i vertici delle falde.

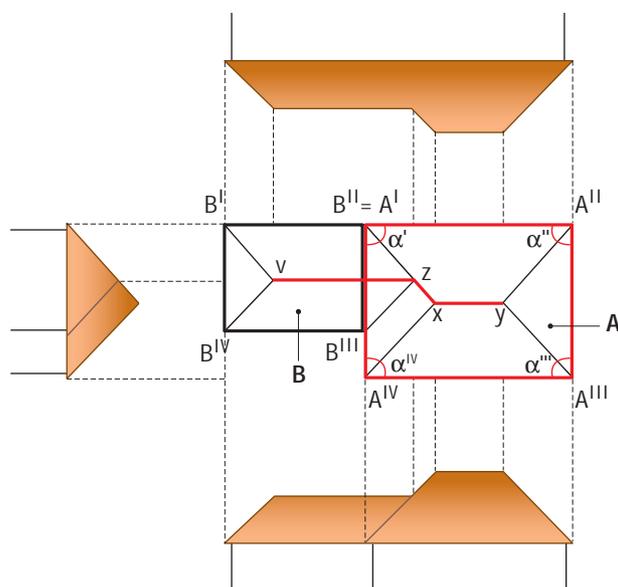


Fig. I.7
Procedimento per il tracciamento di un tetto a padiglione con pendenza e gronda costanti.

1. Si scompone la figura in due rettangoli (A e B)
2. A partire dal rettangolo più grande, si tracciano le bisettrici degli angoli α' , α'' , α''' e α'''' , ottenendo le **linee di displuvio**. Di queste, la bisettrice α' è di costruzione (virtuale) poichè A' , in realtà, non è un vertice della figura. Si individuano i vertici x e y
3. Si tracciano le altre **linee di displuvio** per B' e B'IV e la **linea di compluvio** per B'''. Si individuano il **vertice v** e il **punto di colmo z**
4. Si tracciano le **linee di colmo** congiungendo x con y e v con z
5. Si conclude il lavoro collegando il punto di colmo z con il **vertice di colmo x**
6. Si disegnano i prospetti

E' utile segnalare che, talvolta, per evitare complicazioni costruttive nella realizzazione del tetto, può essere opportuno ricorrere a soluzioni geometriche approssimate in luogo di quelle rigorose ottenute con il metodo grafico descritto.

I tetti a gronda variabile risultano normalmente più complessi formalmente e costruttivamente; a differenza di quelli a gronda costante, per ogni figura in pianta possono ottenersi più soluzioni.

I.1.3 I fattori caratteristici

Nella progettazione dei manti di copertura occorre controllare i seguenti fattori in relazione reciproca: la *tipologia* e la *sovrapposizione* degli elementi del manto, la *pendenza* della falda e quella del manto, la *regolarità geometrica* e la *lunghezza* della falda.

Per ciascuno di questi fattori si forniranno di seguito le principali specifiche tratte dalla letteratura scientifica.

È bene ricordare che i parametri relativi alle diverse zone climatiche vanno opportunamente coniugati con le condizioni locali (venti dominanti, esposizione, azione concomitante di pioggia e vento, ecc.), normalmente deducibili dalle tradizioni costruttive operanti nel luogo d'intervento.

- La tipologia e la sovrapposizione degli elementi del manto

I manti di copertura realizzati in piccoli elementi in laterizio garantiscono la tenuta all'acqua mediante *sovrapposizione variabile* (coppi) o *fissa* (tegole) di unità contigue posate nel senso della pendenza.

La sovrapposizione degli elementi, se correttamente eseguita, è un efficace antidoto nei confronti dell'azione della pioggia battente e della risalita capillare.

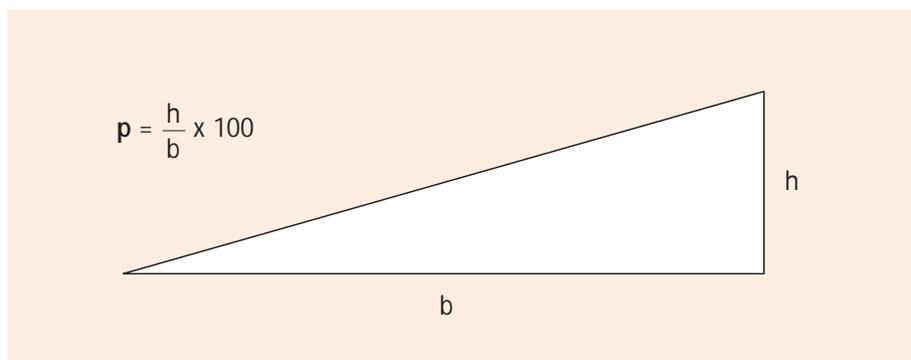
Nel caso dei manti in coppi la sovrapposizione degli elementi lungo la linea di maggior pendenza è ad essa inversamente proporzionale ed è normalmente compresa tra 7 e 9 cm.

- La pendenza di falda

La *pendenza di falda 'p'* è il rapporto - in percentuale o in gradi - tra il dislivello compreso tra la linea di gronda e quella di colmo e la loro distanza in proiezione orizzontale. Essa equivale alla tangente trigonometrica dell'angolo di inclinazione sul piano orizzontale di una retta della falda ortogonale alla linea di gronda.

Per climi mediamente piovosi e con modeste precipitazioni nevose, si adottano comunemente pendenze intorno al 30-35% (che nei tetti a due falde corrispondono all'incirca al tradizionale rapporto tra altezza (*h*) e base (*b*) di 1 a 3 del tetto 'all'italiana'); per climi asciutti e senza precipitazioni temporalesche, sono ammesse pendenze di poco inferiori; per climi dove abbonda la neve si raggiungono e superano pendenze dell'ordine del 150%.

Fig. 1.8
Formula per il calcolo della pendenza.



| Pendenza e lunghezza delle falde riferite a m 1,00 | | | | | |
|----------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------|--------------------------|-----------------------|
| Pendenza (p) in % | Inclinazione delle falde | Lunghezza delle falde | Pendenza (p) in % | Inclinazione delle falde | Lunghezza delle falde |
| 5 | 2° 52' | 1,001 | 48 | 25° 38' | 1,109 |
| 10 | 5° 43' | 1,005 | 50 | 26° 34' | 1,118 |
| 15 | 8° 32' | 1,011 | 52 | 27° 28' | 1,127 |
| 20 | 11° 19' | 1,020 | 55 | 28° 48' | 1,141 |
| 22 | 12° 25' | 1,024 | 58 | 30° 07' | 1,156 |
| 25 | 14° 02' | 1,030 | 60 | 30° 57' | 1,166 |
| 30 | 16° 42' | 1,044 | 65 | 33° 01' | 1,192 |
| 35 | 19° 17' | 1,059 | 70 | 34° 59' | 1,220 |
| 38 | 20° 48' | 1,069 | 75 | 36° 52' | 1,249 |
| 40 | 21° 48' | 1,077 | 80 | 38° 39' | 1,280 |
| 42 | 22° 47' | 1,080 | 85 | 40° 22' | 1,312 |
| 45 | 24° 13' | 1,096 | 90 | 41° 59' | 1,345 |

Fig. I.9
Inclinazione e lunghezza delle falde in rapporto alla pendenza p.

Fig. I.10
Pendenza delle falde in rapporto al tipo di manto.

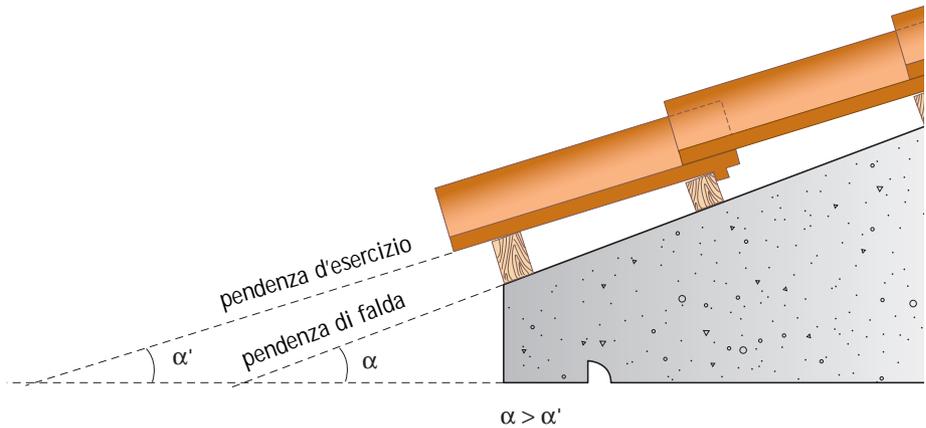
| | Pendenza | | Tegole | | Coppi | |
|-----------------------------|----------------|-------------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------|
| | In percentuale | In gradi | Sovrapposizione | Consigli per la posa in opera | Sovrapposizione | Consigli per la posa in opera |
| | > 60% | > 30° 57' | Per incastro | Fissaggio integrale | | |
| | 45 - 60% | 24° 13' - 30° 57' | Per incastro | Fissaggio della fila di gronda e di 1 tegola ogni 5 nel resto della copertura | 7 cm | Fissaggio necessario |
| | 35 - 45% | 19° 17' - 24° 13' | Per incastro | | | |
| Pendenza minima marsigliesi | 35% | 19° 17' | Per incastro | Nessun fissaggio | 7 - 9 cm | Fissaggio opportuno |
| Pendenza minima | 30% | 16° 42' | Per incastro | | 9 cm | |

Come mostra la tabella di fig. I.10, la pendenza è influenzata anche dalla tipologia dell'elemento costituente il manto di copertura: per tutti i prodotti la pendenza minima delle falde è del 30%, con l'eccezione della tegola marsigliese, per la quale essa deve essere maggiorata di almeno 5 punti percentuali.

Se la pendenza è inferiore ai valori ottimali si possono verificare infiltrazioni causate da pioggia battente o da precipitazioni temporalesche; mentre con piogge di scarsa portata non vi è un buon ruscellamento, si deposita lo sporco e l'acqua può ristagnare tra le sovrapposizioni o in corrispondenza degli incastri degli elementi del manto.

È bene precisare che nei manti discontinui, proprio a causa della sovrapposizione degli elementi, la pendenza effettiva del manto (*pendenza d'esercizio*) è sempre minore rispetto alla pendenza della falda: l'ordine di grandezza di questa riduzione è intorno ai 7 punti percentuali.

Fig. I.11
A causa della sovrapposizione degli elementi, la pendenza effettiva del manto (*pendenza d'esercizio*) è inferiore a quella della falda.



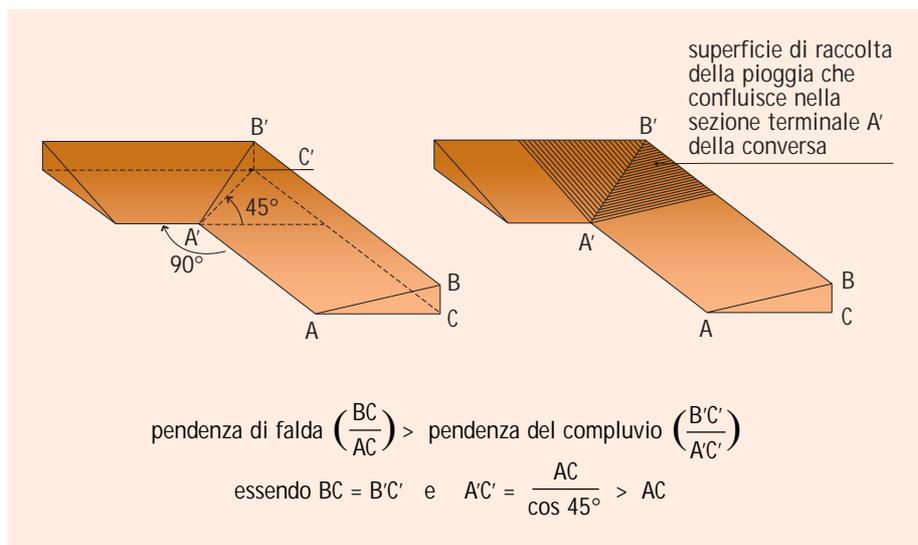
- La regolarità geometrica e la lunghezza della falda

Per controllare il deflusso dell'acqua, e in particolare la sua quantità e velocità, non è sufficiente intervenire solo sulla sovrapposizione degli elementi del manto e sulla pendenza, ma occorre considerare contestualmente anche altri due fattori relativi alla falda: la *regolarità geometrica* e la *lunghezza*.

La *regolarità geometrica della falda* si traduce nell'attitudine del canale di gronda a raccogliere in ogni tratto del suo sviluppo una pari quantità di acqua: si ottiene, in termini rigorosi, solo quando la linea di gronda e quella di colmo hanno la stessa lunghezza, sono parallele ed orizzontali (falde rettangolari o quadrate). Ogni qualvolta tale condizione è disattesa si determinano problemi - più o meno gravi - di deflusso.

Un tipico caso di discontinuità geometrica è costituito dai *compluvi inclinati* che convogliano in una zona estremamente circoscritta del canale di gronda la pioggia caduta su un'ampia superficie di falda.

Fig. I.12
Lungo i compluvi inclinati la pendenza è inferiore a quella della falda.



Operativamente la loro realizzazione si presenta particolarmente delicata poiché lungo la linea di raccordo si verificano due condizioni negative:

- la pendenza è inferiore a quella della linea di massima pendenza della falda;
- viene meno il principio su cui si basa la tenuta all'acqua dei manti discontinui: la sovrapposizione degli elementi.

Per ovviare a questi problemi, in corrispondenza dei compluvi si dispone normalmente una *conversa*, un canale di scolo impermeabile che si inoltra sotto il manto di copertura, la cui efficienza si misura in base alla sua capacità di intercettare e smaltire rapidamente l'acqua piovana e dipende dalla sua larghezza (vedere § 11.4.2).

A valle della conversa deve prevedersi un pluviale o altro elemento di scarico.

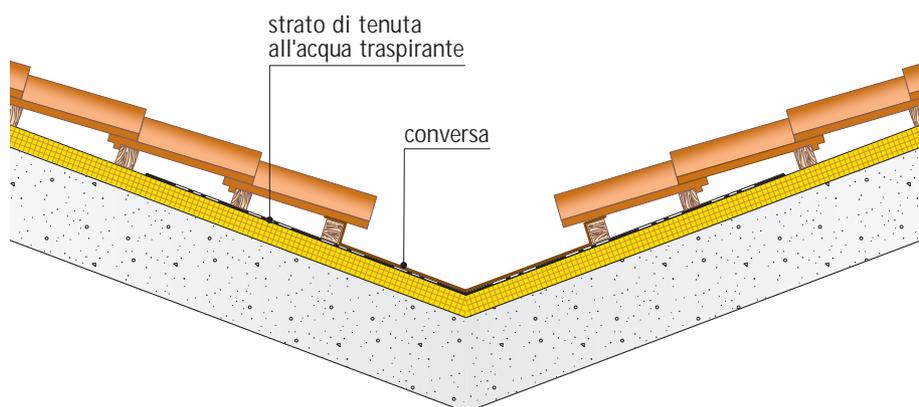


Fig. I.13
In corrispondenza dei compluvi si dispone normalmente una conversa con i bordi rialzati di almeno 15 mm. Al di sotto della conversa è bene porre uno strato traspirante di tenuta all'acqua, largo almeno un metro.

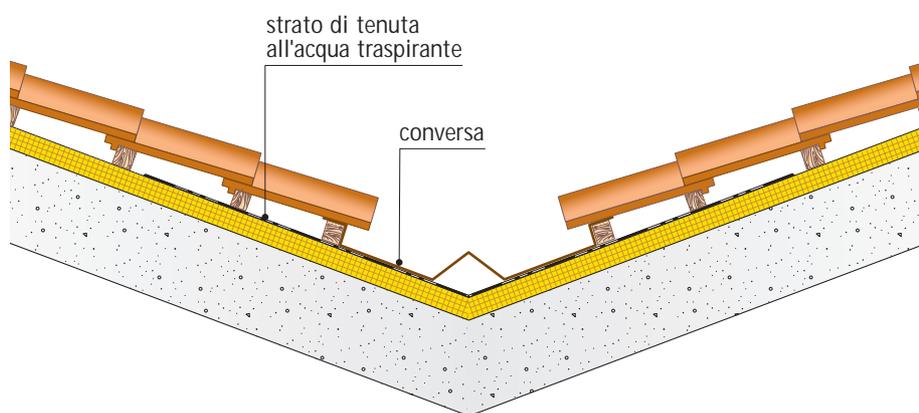


Fig. I.14
Quando si prevede un forte ruscellamento può essere utile prevedere una conversa con rompiculmo centrale.

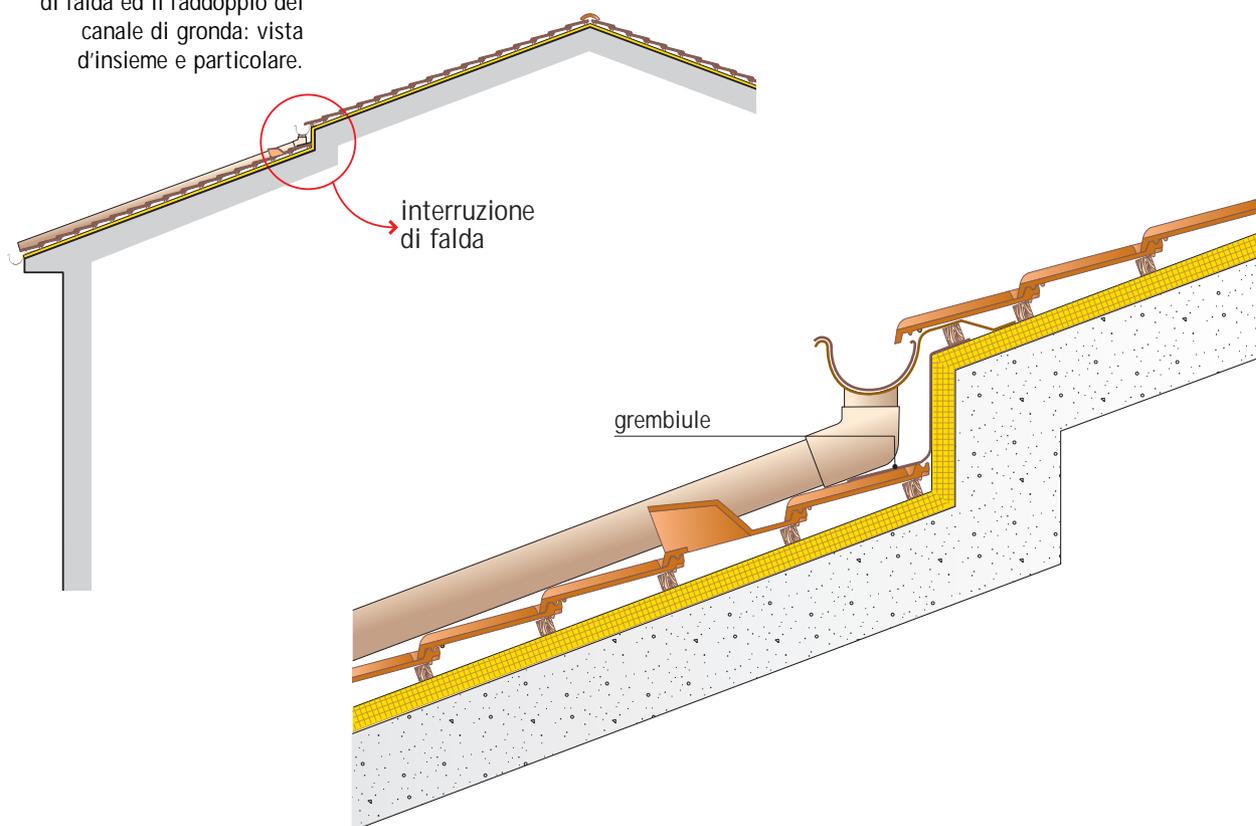
La *lunghezza di falda*, direttamente proporzionale alla pendenza, dipende dal tipo di manto e dalla zona climatica; quando la sua proiezione sul piano orizzontale è, ad esempio, maggiore di 10 m nel nord Italia e di 12 m al centro-sud per pendenze del 30-35%, in caso di pioggia torrenziale, la grande quantità di acqua che scorre lungo il manto può oltrepassare i bordi di tenuta degli elementi della copertura infiltrandosi al di sotto del manto.

Se si interviene sulla pendenza - incrementandola - si contrasta il pericolo di infiltrazioni, ma si aumenta la velocità di scorrimento dell'acqua con il rischio che il canale di gronda non riesca a contenerla e a smaltirla correttamente. L'*interruzione di falda* può viceversa rappresentare un valido espediente poiché permette di intercettare mediante un secondo canale di raccolta l'acqua caduta sul primo tratto di falda e di rallentarne la velocità in corrispondenza del secondo tratto.

Fig. I.15
Lunghezza massima di falda per tetti di pendenza compresa tra il 30 e il 35%, in rapporto al tipo di elementi del manto e alle diverse regioni climatiche.

| Tipo elemento del manto | Regioni | Lunghezze max di falda (in proiezione orizzontale) |
|-----------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Marsigliese, portoghese, olandese e tipi assimilati | Nord Italia e zone appenniniche | 10 m |
| | Italia centrale, meridionale e insulare | 12 m |
| Coppi | Tutto il territorio nazionale | 10 m |

Fig. I.16
In presenza di falde molto lunghe è necessario prevedere una interruzione di falda ed il raddoppio del canale di gronda: vista d'insieme e particolare.



I.2 I requisiti essenziali di un buon tetto

I.2.1 Premessa

Per soddisfare le *esigenze* dell'uomo, un tetto deve rispondere ad una pluralità di richieste di comportamento che, nel linguaggio esigenziale - prestazionale, sono dette *requisiti*.

Un tetto deve impedire le infiltrazioni d'acqua, deve proteggere dal freddo d'inverno e dal caldo d'estate, deve resistere alla spinta del vento e al carico della neve, deve limitare il passaggio dei rumori, deve impedire la formazione di umidità da condensa, non deve presentare zone di rilevante dispersione termica (*ponti termici*), deve consentire il rapido allontanamento dell'acqua piovana, deve essere attrezzabile, manutenibile ed ispezionabile, ecc.

Alcuni requisiti possono essere soddisfatti mediante l'impiego di uno specifico *strato* o *elemento funzionale*: ad esempio, i *canali di gronda* e i *pluviali* servono unicamente per allontanare l'acqua piovana dal tetto; in altri casi con un solo strato o elemento funzionale si possono soddisfare più requisiti: si pensi ai manti di copertura che servono sia come strato di tenuta all'acqua, sia come strato di finitura, oppure ai materiali isolanti che controllano gli scambi termici e quelli acustici o, infine, ai moderni prodotti nati proprio con lo scopo di assemblare in stabilimento più strati funzionali (barriera al vapore, strato isolante, strato di tenuta all'acqua, strato di ventilazione e dispositivo di sostegno delle tegole...) per migliorare l'efficienza del tetto e per ridurre i tempi di messa in opera. Talvolta, per soddisfare uno stesso requisito possono adottarsi diverse strategie d'intervento: ad esempio, la formazione di condensa negli strati interni di un tetto può essere evitata sia adottando una intercapedine di ventilazione, sia mediante uno strato di barriera al vapore o l'uso di membrane impermeabili traspiranti.

Ad ogni modo, per realizzare un buon tetto non è sufficiente confidare solo sulle prestazioni degli elementi costituenti; occorre anche che questi siano utilizzati secondo principi teorici e sequenze operative corretti, verificando accuratamente le compatibilità tra i materiali e le qualità degli assemblaggi. Occorre, in altri termini, pensare al tetto come ad un *sistema*, cioè, ad un *insieme strutturato di elementi e relazioni*.

Nei paragrafi seguenti si descriveranno i principali requisiti tecnologici - in relazione reciproca - che un tetto con manto in piccoli elementi in laterizio è in grado di garantire.

I.2.2 La resistenza meccanica

Nella progettazione dei tetti il rapporto tra immagine, funzione e struttura è sempre stato strettissimo e orientato a definire configurazioni in grado di semplificare la realizzazione della struttura portante, di creare le migliori condizioni d'uso del sottotetto e di limitare le giunzioni e i tagli nella posa degli elementi costituenti il manto di copertura.

La *struttura portante* del tetto ha la funzione di sostenere i *carichi permanenti* (il peso proprio più il peso della sovrastruttura), i *sovraccarichi accidentali* di qualsiasi natura (dovuti agli agenti atmosferici, alla presenza di attrezzature, alle variazioni igrotermiche, al passaggio di operai...) e, entro certi limiti, i *carichi eccezionali* (terremoti, uragani, incendi...).

La struttura portante, al di là delle numerose varianti, può essere ricondotta a due principali tipologie:

- *piano portante continuo*, se la funzione portante si esplica lungo l'intero piano della falda;
- *piano portante discontinuo*, se la funzione portante si esplica unicamente lungo delle linee.

Solo per fare degli esempi, rientrano nella prima tipologia i solai di copertura latero-cementizi, gettati in opera o con travetti prefabbricati; nella seconda, i solai a carpenteria lignea o metallica.

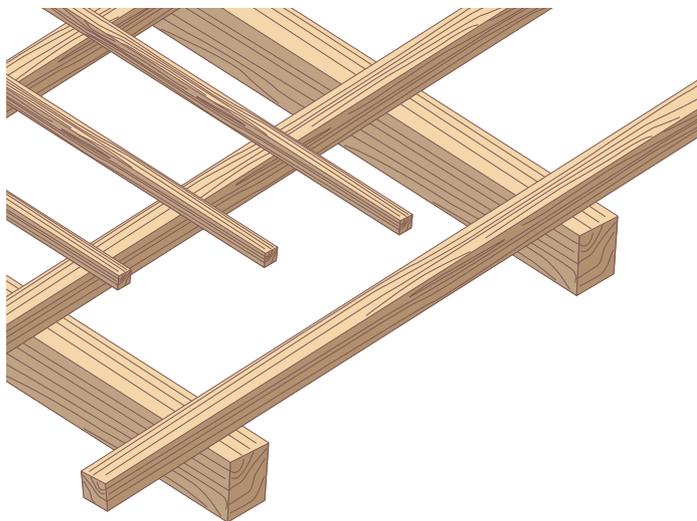
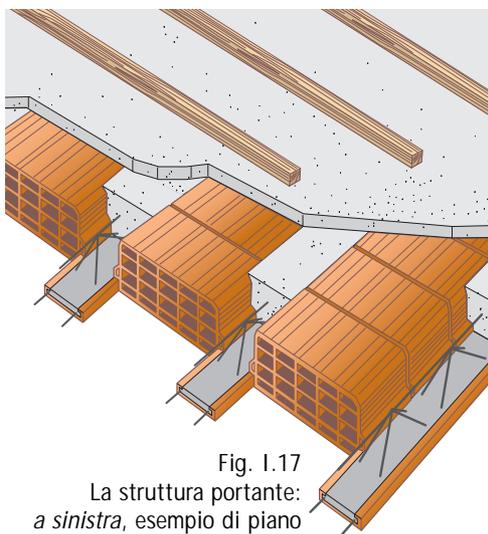


Fig. I.17

La struttura portante:
a sinistra, esempio di piano continuo di un solaio latero-cementizio con travetti a traliccio e blocchi in laterizio;
a destra, esempio di piano discontinuo di un solaio in legno.

Naturalmente, anche gli strati e gli elementi funzionali che costituiscono la sovrastruttura del tetto devono avere doti di resistenza commisurate alle funzioni che devono assolvere e alle modalità di messa in opera.

In particolare, i manti di copertura devono resistere all'azione della grandine (funzione della velocità e della direzione di caduta, del diametro e della densità dei chicchi) e ai carichi dovuti al passaggio di installatori e manutentori rispetto ai quali assume una specifica rilevanza la resistenza alla sollecitazione di flessione.

Una prerogativa del tetto è la resistenza alle precipitazioni atmosferiche e, in particolare, ai carichi dovuti alla neve e al ghiaccio e alla spinta del vento. Ai fini del dimensionamento strutturale, i valori di tali sovraccarichi sono stabiliti dal Decreto Ministeriale 16.1.1996 che divide l'Italia in tre zone climatiche di nevosità e in nove zone climatiche di ventosità.

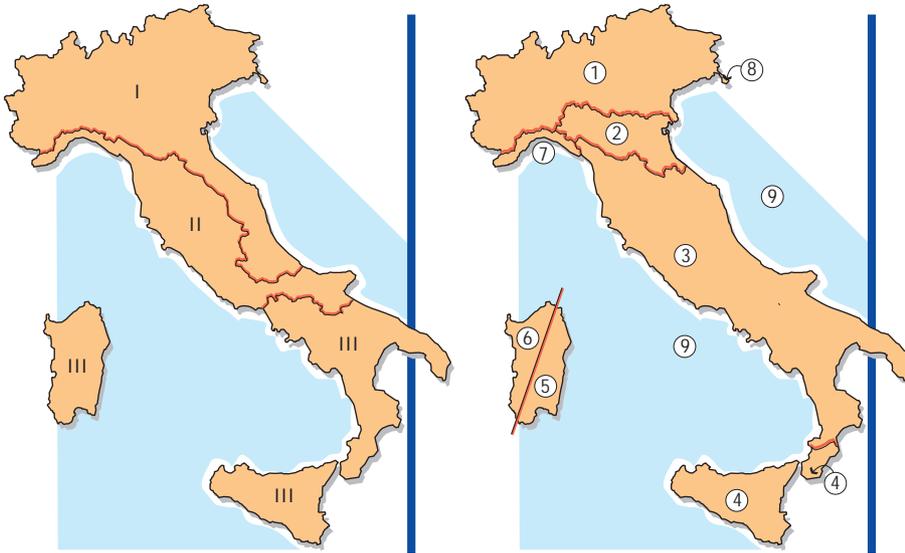


Fig. I.18
Divisione dell'Italia in zone climatiche secondo il D. M. 16.1.1996: *a sinistra*, zone di nevosità; *a destra*, zone di ventosità.

Nel caso della neve, i valori dipendono, all'interno di ogni singola zona, anche dalla geometria del tetto (inclinazione e forma), dall'altitudine sul livello del mare e dalle condizioni locali.

| | h slm = 200 m | h slm = 500 m | h slm = 1000 m |
|-----------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| Zona I | 1,60 kN/m ² | 2,50 kN/m ² | 5,37 kN/m ² |
| Zona II | 1,15 kN/m ² | 1,93 kN/m ² | 4,70 kN/m ² |
| Zona III | 0,75 kN/m ² | 1,41 kN/m ² | 4,08 kN/m ² |

Fig. I.19
Carico della neve al suolo (q_{sk}) nelle tre zone climatiche ottenuto applicando le formule previste dal D. M. 16.1.1996. Per ottenere il carico della neve sul tetto (q_s) i valori vanno moltiplicati per i coefficienti di forma delle coperture.

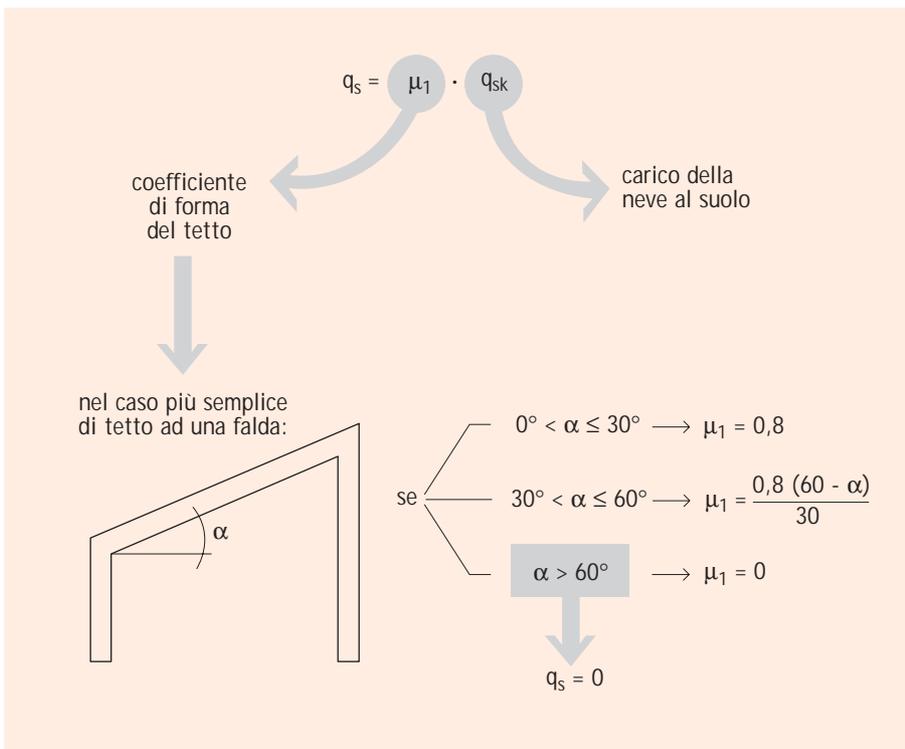
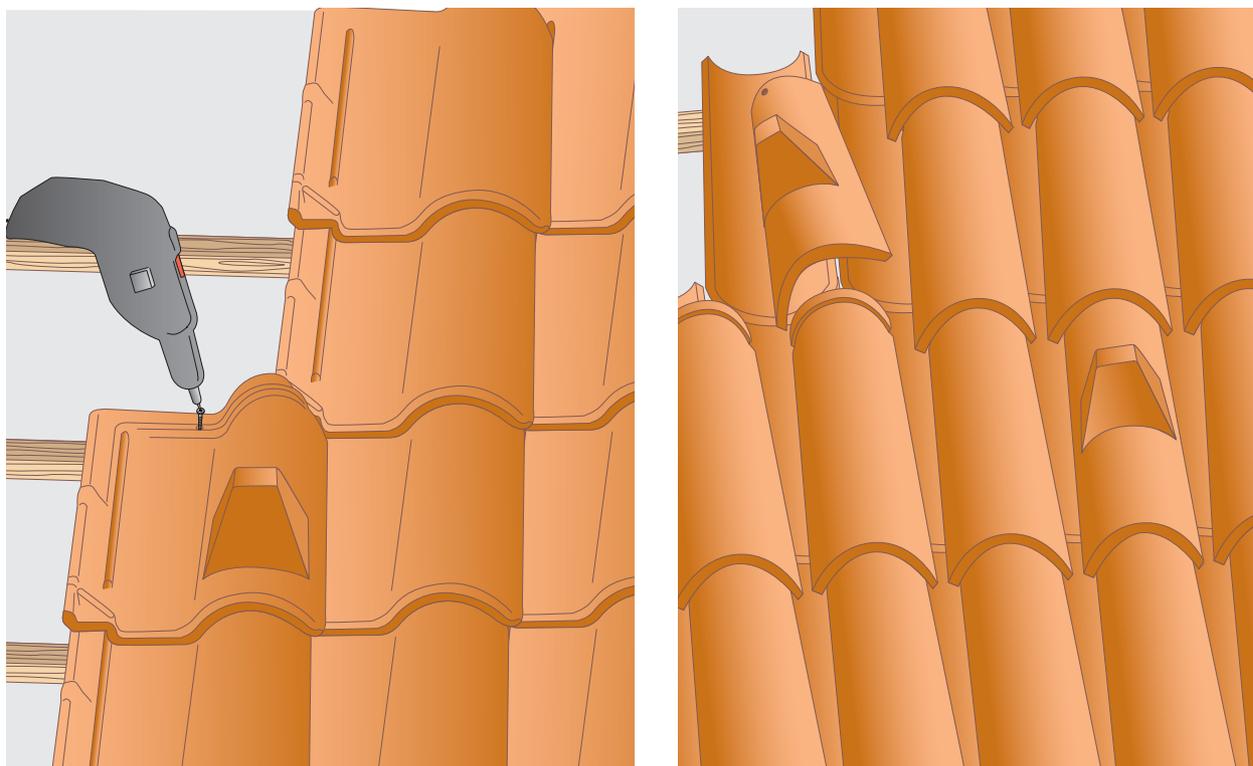


Fig. I.20
Formula per il calcolo del carico della neve sul tetto e sua applicazione nel caso di tetto ad una falda.

Fig. 1.21
Posa in opera di elementi
fermaneve: *a sinistra*, nel
caso di tegole portoghesi;
a destra, nel caso di coppi.



Per pendenze inferiori al 36% (20°), la neve si accumula in strati stabili; per pendenze maggiori del 176% (60°), la neve non si accumula; per pendenze comprese tra il 36 e il 176% si accumula in strati che possono scivolare verso il basso.

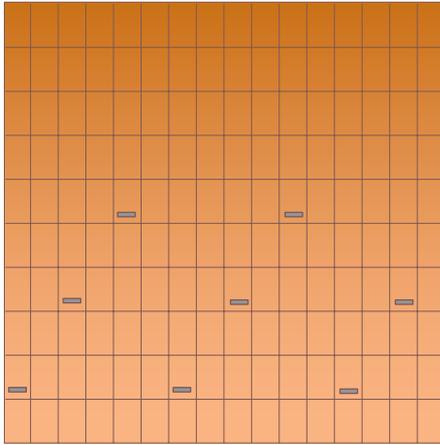
Queste considerazioni spiegano perché, ai fini del calcolo dei sovraccarichi accidentali, la normativa stabilisce, per pendenze superiori al 176%, il carico della neve sul tetto pari a zero; allo stesso tempo, evidenziano, per i tetti di pendenza compresa tra il 36 e il 176%, la necessità di ricorrere a speciali dispositivi, quali elementi fermaneve o staccionate d'arresto, per impedire la caduta rovinosa di cumuli di neve ghiacciata.

Gli elementi fermaneve in laterizio, al di là del rilievo superficiale, sono del tutto simili agli elementi del manto standard.

A causa delle sollecitazioni cui sono soggetti, tutti gli elementi fermaneve, indipendentemente dalla loro posizione, devono essere fissati, mediante viti o altri sistemi meccanici, alla listellatura di supporto. Il foro va opportunamente sigillato.

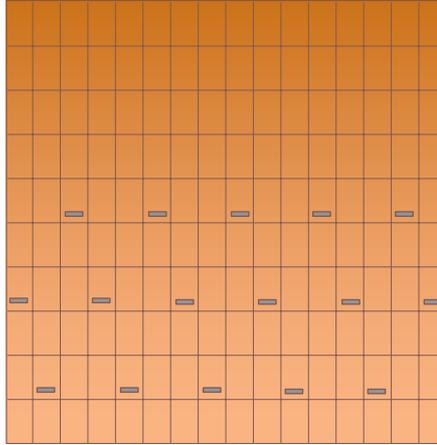
Gli elementi fermaneve si dispongono per file parallele alla linea di gronda. Gli interassi tra le tegole fermaneve e la distanza tra le file parallele dipendono dalla criticità della situazione (pendenza di falda, lunghezza di falda, finitura superficiale degli elementi di manto - se liscia o scabra -, zona climatica, altitudine, esposizione...). Un ulteriore elemento di valutazione è dato dall'eventuale presenza sulla falda di soluzioni di continuità o di corpi emergenti: in questo caso le tegole fermaneve andranno posizionate a monte degli stessi.

verso la linea di colmo



linea di gronda

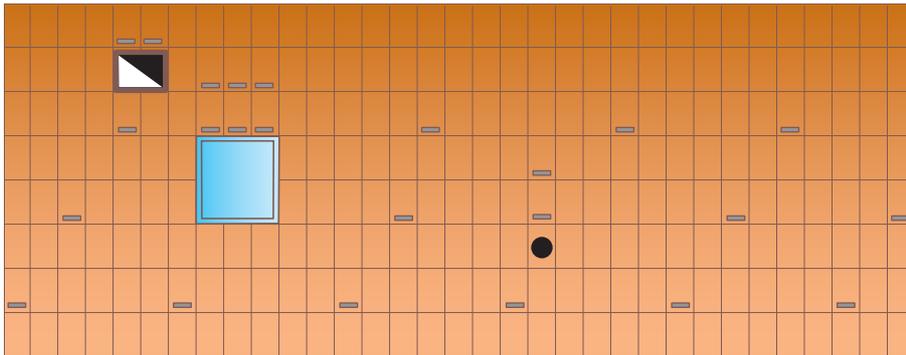
verso la linea di colmo



linea di gronda

Fig. I.22
Esempi di schemi di disposizione degli elementi fermaneve in caso di falde con pendenza tra il 30-35% e lunghezza intorno ai 6 m. *A sinistra*, per siti di altitudine inferiore a 750 m slm (un elemento fermaneve ogni 5 elementi standard su tre file sfalsate in prossimità della linea di gronda); *a destra*, per siti di altitudine tra 750 e 1200 m slm (un elemento ogni due elementi standard, sempre su tre file).

verso la linea di colmo

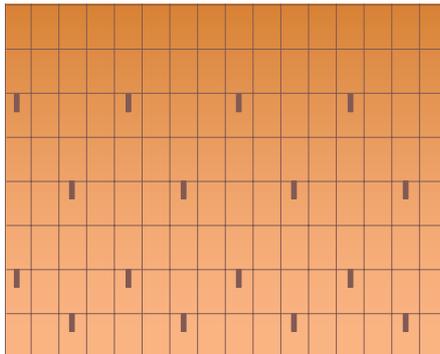


linea di gronda

Fig. I.23
Esempio di disposizione delle tegole fermaneve a protezione di soluzioni di continuità e di corpi emergenti.

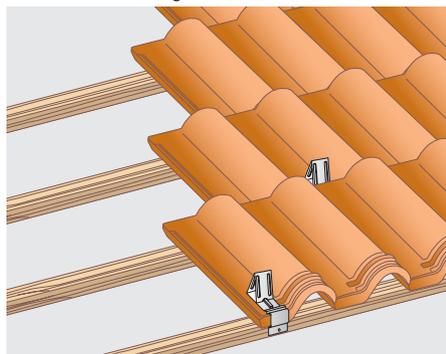
In alternativa agli elementi fermaneve in laterizio, possono usarsi speciali dispositivi di arresto i quali, per essere stabili, devono essere fissati, mediante staffe, direttamente ai listelli di sostegno del manto.

verso la linea di colmo



linea di gronda

verso la linea di gronda

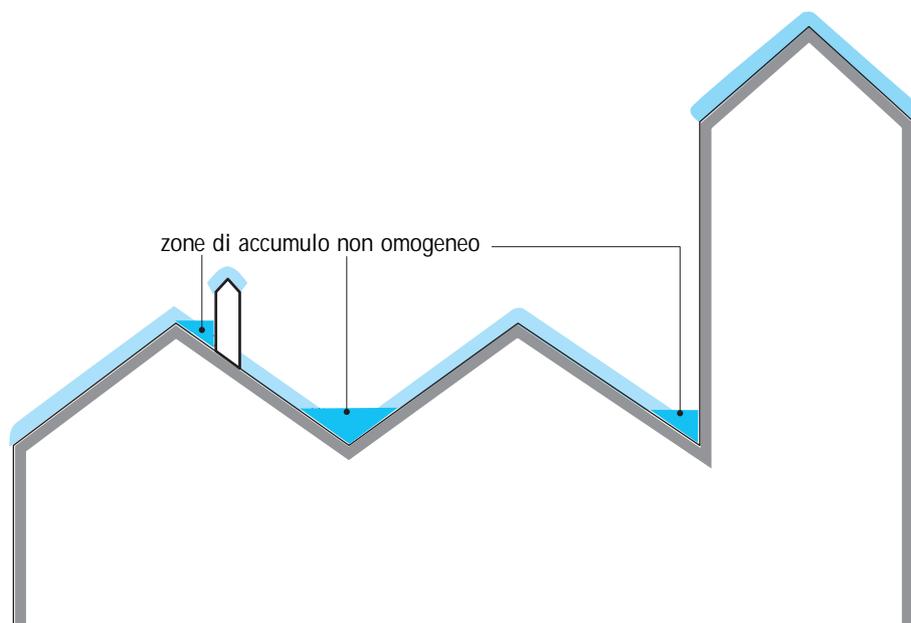


verso la linea di colmo

Fig. I.24
Collocazione schematica dei fermaneve metallici.

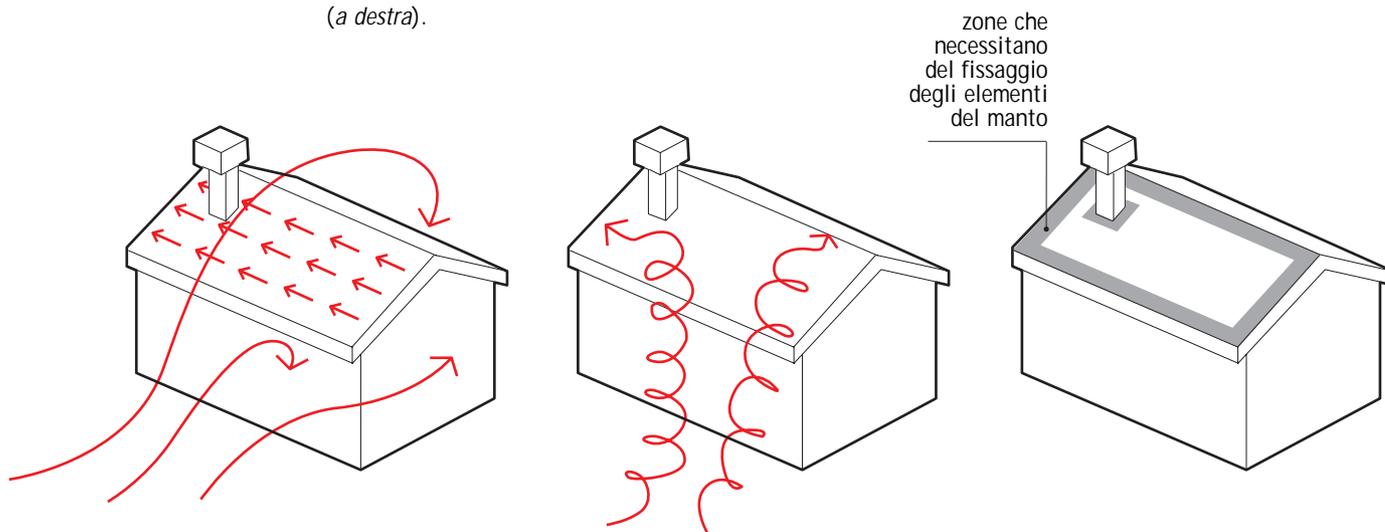
Ai fini del calcolo del carico della neve occorre prestare particolare attenzione ai compluvi e alle zone in cui la neve può formare accumuli pericolosi.

Fig. I.25
In corrispondenza dei compluvi (in particolare in caso di falde di pendenza rilevante) può verificarsi un aumento localizzato dei carichi dovuti alla neve.



La *spinta del vento* dipende dalla modalità d'azione e dalla sua velocità (da 25 a 31 m/s, con i valori più alti riferiti alla zona di Trieste e alle isole minori), dall'altezza e dalla geometria dell'edificio, dal suo orientamento rispetto ai venti dominanti e dalle caratteristiche del sito. Si manifesta sia come azione distribuita (depressione sulle falde sottovento e, per inclinazioni $\leq 30^\circ$, anche nelle falde esposte), sia come azione localizzata. Quest'ultima è dovuta alla formazione di turbolenze e vortici generalmente brevi ed intensi, concentrati sovente nei punti di separazione dei filetti d'aria quali le linee di bordo, di gronda e di colmo e dei corpi emergenti. Nelle zone ventose, in corrispondenza di queste parti del tetto, gli elementi del manto vanno pertanto opportunamente fissati al supporto.

Fig. I.26
Modalità di azione del vento su un tetto (a sinistra e al centro) e indicazione delle zone d'ancoraggio degli elementi del manto in caso di azione localizzata (a destra).



1.2.3 Il controllo delle condizioni igrotermiche del manto: la micro-ventilazione sottomanto

Una delle prerogative dei manti di copertura in laterizio è quella di presentare una permeabilità relativa che garantisce al tetto la tenuta all'acqua e, al tempo stesso, la sua traspirabilità. A causa della naturale porosità (che diminuisce progressivamente col tempo grazie ai depositi di polvere che occludono parzialmente i micropori), gli elementi del manto, se sottoposti per un certo periodo di tempo alle precipitazioni atmosferiche, si imbibiscono d'acqua.

Mentre all'estradosso del manto, grazie all'azione del sole e del vento, l'acqua assorbita viene smaltita rapidamente, lo stesso non accade all'intradosso dove possono innescarsi fenomeni degenerativi che interessano sia gli elementi del manto (gelività, diminuzione della resistenza agli urti), sia gli strati funzionali sottostanti (imputridimento o danneggiamento degli elementi di supporto del manto e riduzione di efficienza dello strato termoisolante, se presente). Naturalmente, i problemi aumentano in caso di infiltrazioni d'acqua nel sottomanto dovute a concomitanza di piogge eccezionali e vento o ad avarie dello strato di tenuta.

D'altra parte, l'irraggiamento solare determina differenze di temperatura tra estradosso ed intradosso del manto, talvolta rilevanti, con conseguente formazione di tensioni interne dannose.

Infine, le diverse temperature superficiali d'intradosso che, in particolare nei sottotetti abitati, si verificano tra la falda e lo sporto possono ingenerare il fenomeno del *disgelo differenziale* della neve, causa di scioglimenti irregolari, di scivolamenti improvvisi del manto nevoso e di infiltrazioni d'acqua di fusione nel sottomanto (vedere § 1.2.5).

Alla luce di queste premesse, appare evidente che tendere a creare condizioni di temperatura e di umidità il più possibili uniformi tra estradosso e intradosso del manto rappresenta un *obiettivo irrinunciabile* per garantire l'efficienza e l'affidabilità del tetto nel suo complesso.

Tale obiettivo si consegue mediante la *micro-ventilazione del sottomanto* che si attua attraverso la posa *a secco* degli elementi del manto su supporti paralleli od ortogonali alla linea di gronda (a seconda del tipo di prodotto adottato) posti a distanza misurata sul passo degli elementi stessi.

La posa del manto mediante allettamento di malta (*umida*) è assolutamente da evitare poiché, oltre ad impedire la circolazione dell'aria e creare zone in cui l'acqua è più facilmente trattenuta, determina un regime vincolistico tra manto di copertura e supporto che si oppone alle naturali variazioni dimensionali di origine termica del manto stesso.

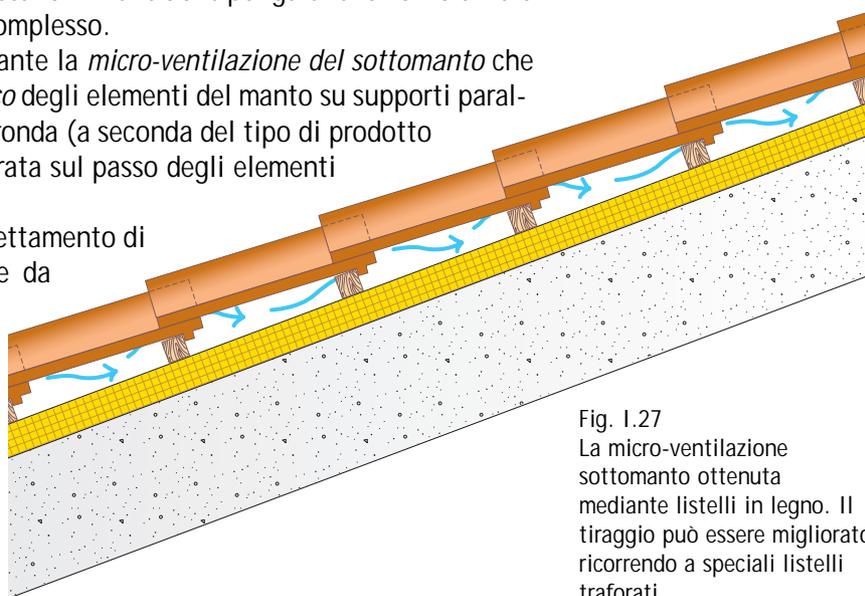


Fig. 1.27
La micro-ventilazione sottomanto ottenuta mediante listelli in legno. Il tiraggio può essere migliorato ricorrendo a speciali listelli traforati.

Le pendenze di falda normalmente impiegate per la posa dei manti di copertura in laterizio ($\geq 30\%$) sono più che sufficienti per determinare le differenze di pressione e di temperatura tra la linea d'ingresso dell'aria (linea di gronda) e la linea di uscita (linea di colmo) necessarie per innescare i moti convettivi. Naturalmente, affinché questi abbiano luogo è indispensabile che la linea di gronda e quella di colmo siano il più possibile prive di ostruzioni.

Fig. I.28
Per rendere possibile la circolazione dell'aria occorre che, in corrispondenza della linea di gronda e di quella di colmo, non siano impediti l'ingresso e la fuoriuscita dell'aria.

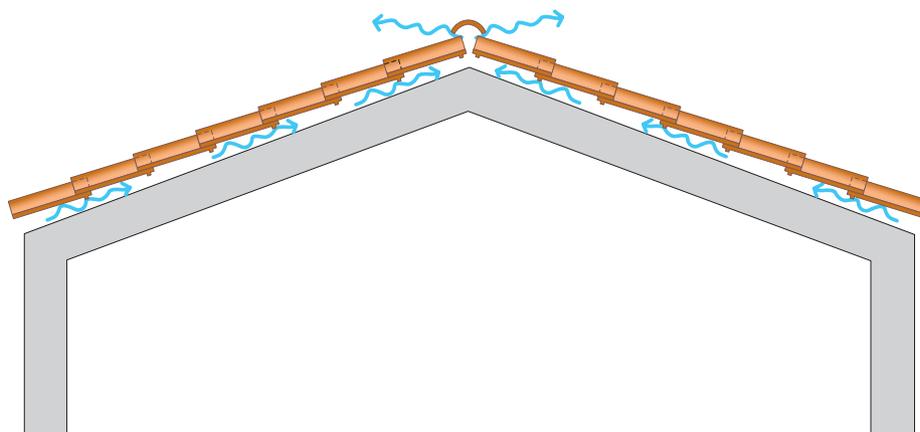


Fig. I.29
Linea di gronda (a sinistra) e linea di colmo (a destra): dispositivi che consentono la micro-ventilazione del sottomanto.

Su falde di forma regolare, per un manto di copertura in coppi, la geometria stessa degli elementi assicura ampiamente la micro-ventilazione; per i manti di copertura in tegole, viceversa, può essere utile incrementarla mediante speciali *tegole d'aerazione*.

Queste, rispetto alla linea di massima pendenza, andrebbero disposte tra loro sfalsate allo scopo di estendere, mediante la formazione di moti convettivi trasversali, i benefici della circolazione dell'aria alla maggior superficie possibile di tetto.

Le tegole d'aerazione si dispongono su file orizzontali. Su falde di forma regolare sono normalmente sufficienti due file: una sulla terza fila dalla linea di gronda e una sulla penultima fila prima della linea di colmo; tegole d'aerazione poste nella parte media della falda si rivelano utili solo se questa supera i 6 m di lunghezza.

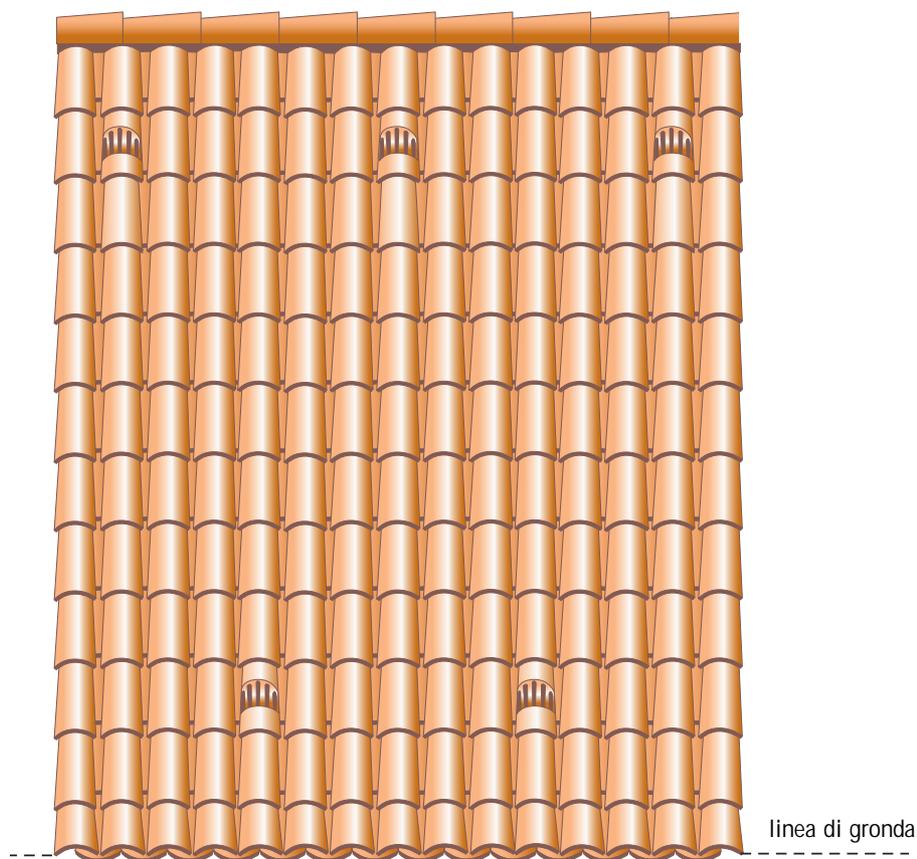
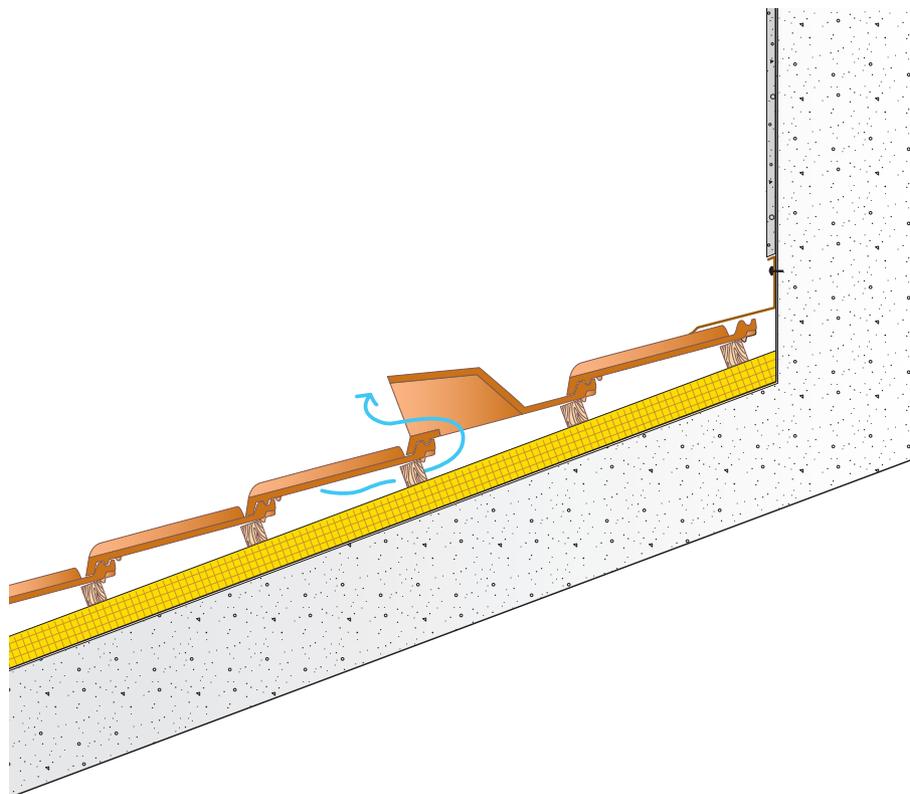


Fig. 1.30
In alto: disposizione delle tegole d'aerazione in caso di falde di lunghezza inferiore ai 6 metri; *in basso:* esempi di tegole d'aerazione per manti di copertura in coppi e in tegole.



Fig. I.31
Tegola d'aerazione posta in
prossimità di una parete
emergente.



Prove sperimentali hanno dimostrato che, mentre le tegole di aerazione poste in prossimità della linea di colmo sono sempre efficaci, quelle poste in basso (verso la linea di gronda) possono dare origine a depressioni che causano un tiraggio inverso nella falda ostacolando così la ventilazione. Ne consegue che nella parte bassa della falda è sempre opportuno garantire l'ingresso dell'aria direttamente dalla linea di gronda.

Per impedire l'accesso di volatili nell'intercapedine, in corrispondenza della linea di gronda si utilizzano speciali dispositivi *parapasseri*.

Qualora si dovesse ricorrere al fissaggio *umido* degli elementi costituenti la linea di colmo, è indispensabile che:

- la malta sia posta solo alle estremità dell'elemento di colmo in corrispondenza dei punti di contatto con gli elementi di copertura delle falde (o sulla sovrapposizione tra gli elementi di colmo nel caso questi non siano del tipo ad incastro);
- nella seconda fila dal colmo siano previste speciali tegole d'aerazione.

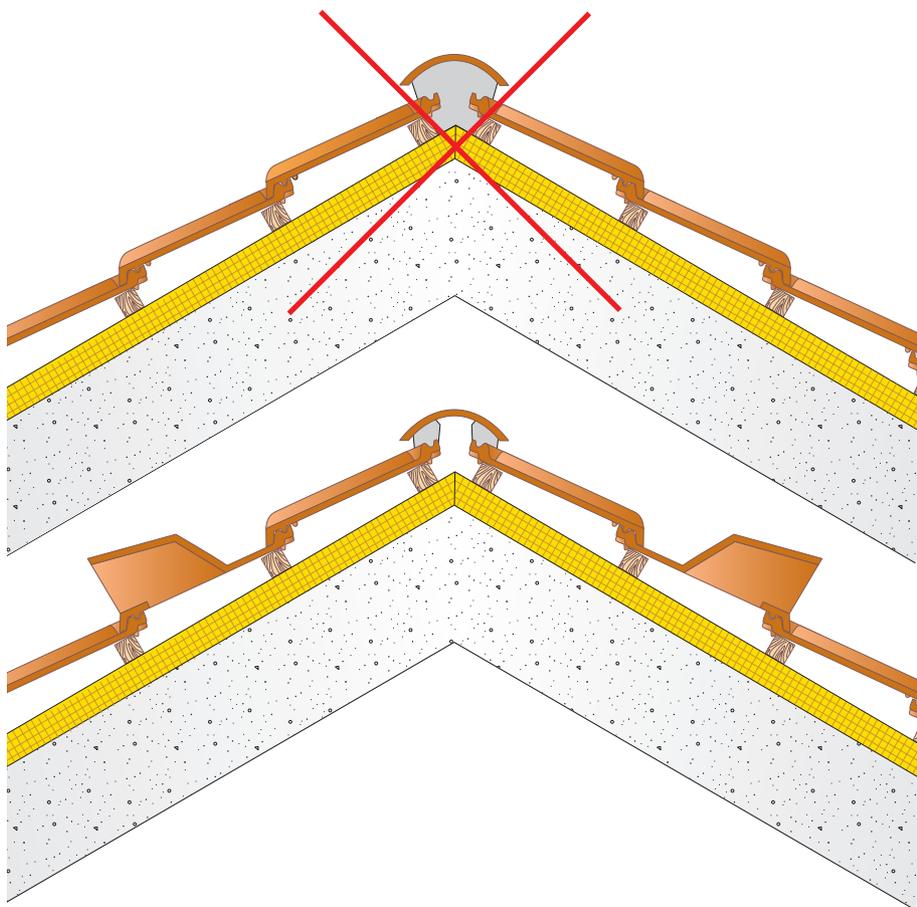


Fig. 1.32
Fissaggio *umido* del colmo: esempio errato (*in alto*) e corretto (*in basso*).

Nel caso di tetto non isolato termicamente, con struttura portante discontinua e presenza di strati continui di tenuta all'aria o all'acqua, la micro-ventilazione può essere ottenuta mediante listelli distanziatori tra strato impermeabile e intradosso del manto o, in subordine, ricavando la necessaria sezione di aerazione attraverso la posa dello strato di tenuta a 'corda blanda'.

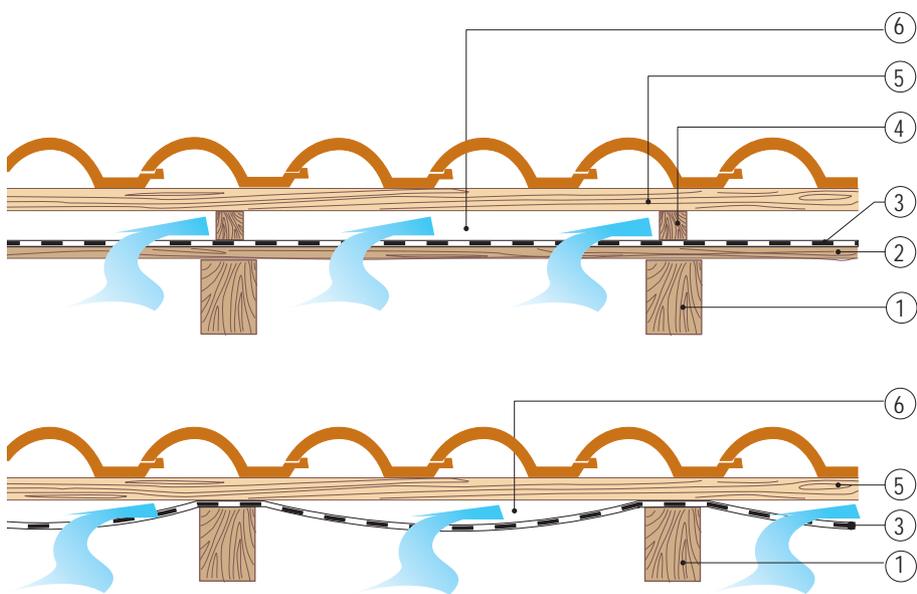


Fig. 1.33
Sistemi di posa per garantire lo strato di micro-ventilazione sottomanto in presenza di strati di tenuta e struttura portante discontinua: *in alto*, mediante listelli distanziatori; *in basso*, mediante la posa dello strato di tenuta a 'corda blanda' posto tra i listelli di supporto e i travicelli della struttura portante discontinua.

- Legenda:**
1. travicello
 2. tavolato
 3. strato di tenuta all'acqua
 4. listello di ventilazione
 5. listello di supporto
 6. strato di micro-ventilazione

Oltre alle tradizionali listellature in legno o a quelle più recenti in acciaio o in materiale plastico, gli strati di micro-ventilazione possono realizzarsi anche mediante lastre nervate o speciali pannelli termo-isolanti con estradosso conformato in maniera da garantire il posizionamento e l'ancoraggio del manto.

Fig. I.34
Esempio di pannello isolante preformato predisposto per il posizionamento e l'ancoraggio di tegole e coppi, sagomato in maniera da garantire la micro-ventilazione del sottomanto.

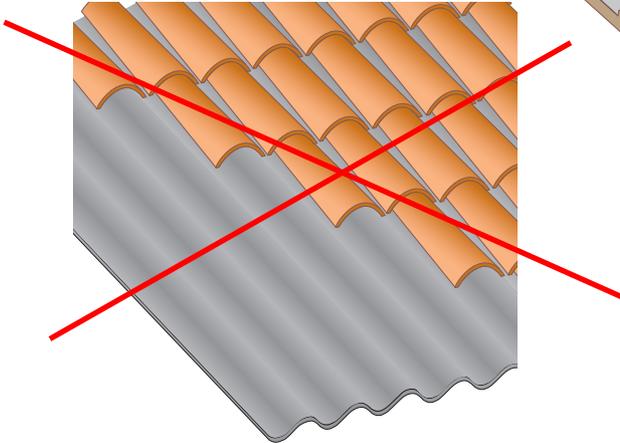
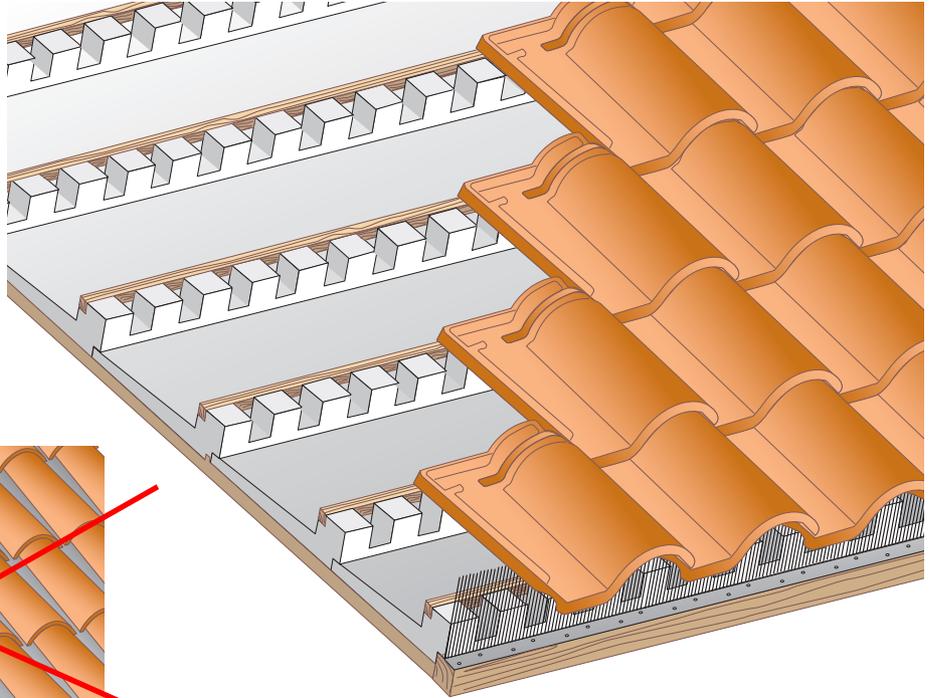
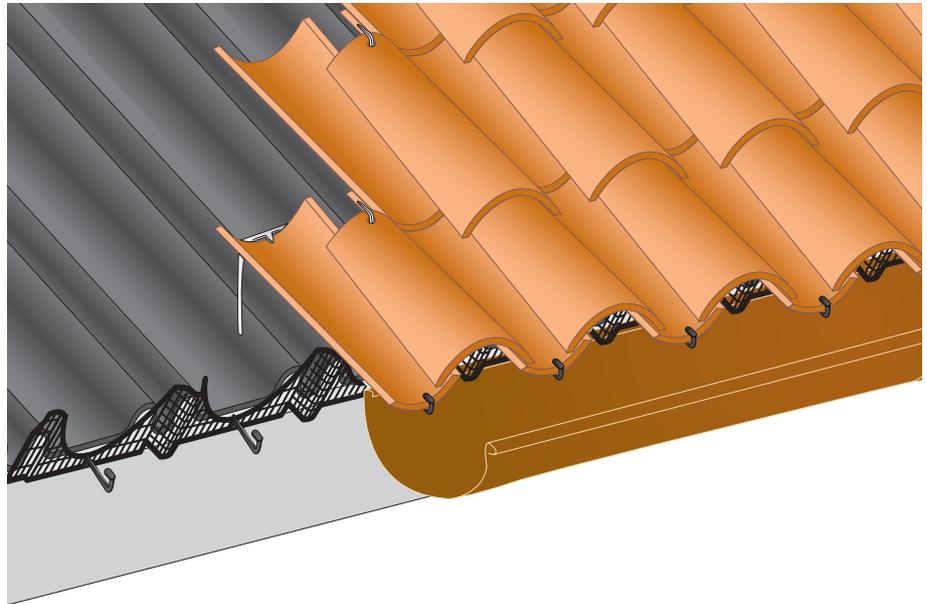


Fig. I.35
Posa di coppi su lastra ondulata: *in alto*, posa errata; *in basso*, posa corretta.



1.2.4 Il controllo delle condizioni igrotermiche del tetto

Il tetto svolge un ruolo rilevante nel bilancio energetico degli edifici, in particolare negli edifici bassi e negli alloggi sottotetto, in ragione dell'alta incidenza della sua superficie rispetto alla superficie complessiva dell'involucro (*chiusura*). Così, gli interventi volti a incrementare le sue prestazioni termiche possono incidere notevolmente sul miglioramento del microclima interno, sulla riduzione dell'inquinamento ambientale e dei costi d'esercizio (conseguenti alla minore richiesta di potenza, sia per il riscaldamento invernale che per il raffrescamento estivo).

1.2.4.1 Gli schemi di funzionamento igrotermico

Tra i numerosi modi per classificare le coperture discontinue ce n'è uno particolarmente importante di fonte UNI (norma 8627), riferito al loro comportamento igrotermico e basato sul ruolo di due parametri: l'isolamento termico e la ventilazione.

L'*isolamento termico* ha lo scopo di controllare le dispersioni termiche in periodo invernale (vedere § 1.2.4.2); attraverso la *ventilazione* si persegue l'obiettivo di ridurre il flusso termico entrante nel periodo estivo e di smaltire il vapore interno nel periodo invernale (vedere § 1.2.4.3).

La norma UNI 8627 definisce quattro *schemi funzionali*:

1. *il tetto non isolato e non ventilato*, in cui non sono previsti né lo strato termoisolante, né lo strato di ventilazione;
2. *il tetto non isolato e ventilato*, in cui è previsto solamente lo strato di ventilazione;
3. *il tetto isolato e non ventilato* (tetto 'caldo'), in cui è previsto lo strato termoisolante mentre è assente lo strato di ventilazione;
4. *il tetto isolato e ventilato* (tetto 'freddo'), in cui è previsto sia lo strato termoisolante, sia lo strato di ventilazione.

Nelle coperture a falde, effetti igrometrici benefici, anche se poco controllabili, possono essere conseguiti anche in assenza di specifici strati funzionali termo-isolanti o di ventilazione per effetto della forma stessa del tetto (si pensi al volume d'aria del sottotetto che, se non interessato da moti convettivi, può assolvere funzioni coibenti) o della sua caratterizzazione fisica (si pensi alla circolazione d'aria nel sottotetto garantita da una struttura portante discontinua).

Occorre inoltre ricordare che anche gli schemi di copertura privi di strato di ventilazione (schemi 1 e 3 di fig. 1.36) devono *sempre contemplare* la presenza dello strato di micro-ventilazione, essenziale, come evidenziato, per garantire il corretto equilibrio igrotermico del manto.

Da ciascun schema funzionale si possono ottenere diverse configurazioni, definite *soluzioni conformi*, che danno luogo alle differenti possibilità di utilizzazione del sottotetto.

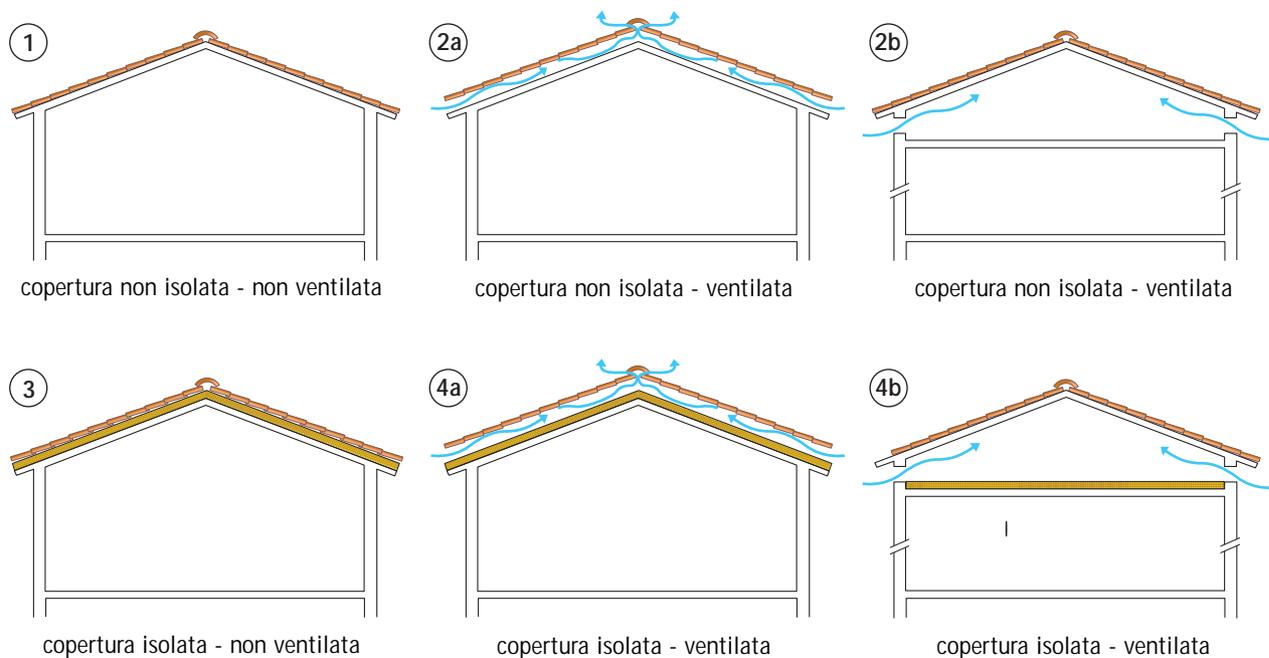


Fig. 1.36
Schemi funzionali dei tetti in
base al loro comportamento
termoigrometrico.

1.2.4.2 Il comfort in periodo invernale: l'isolamento termico ed il controllo dei ponti termici

Durante il periodo invernale, un buon tetto deve limitare le dispersioni termiche e deve avere una buona capacità di accumulare il calore fornito dall'irraggiamento solare (*capacità termica*) in maniera che il calore immagazzinato di giorno possa essere lentamente immesso negli ambienti interni di notte. Dato che la capacità, o inerzia termica, è direttamente proporzionale alla massa, nei tetti con struttura portante discontinua e bassa massa diviene indispensabile il ricorso a spessi strati di materiale isolante per garantire le necessarie condizioni di comfort interno.

Circa la posizione dello strato isolante, è bene preferire quella all'estradosso del solaio di copertura, sia perché in inverno conferisce al solaio stesso (quando massivo) una più efficace funzione di accumulo termico, molto importante in un regime di riscaldamento intermittente, sia per ridurre il fenomeno di surriscaldamento nel periodo estivo. La posizione dello strato isolante all'estradosso, inoltre, consente un miglior controllo dei *ponti termici*, cioè delle *dispersioni termiche localizzate* in corrispondenza delle quali la temperatura, nel periodo invernale, può abbassarsi fino a dare luogo a fenomeni di condensa. Per questa ragione, negli interventi di ristrutturazione, è sempre preferibile - anche se più oneroso - intervenire dall'esterno, rimuovendo il manto e posizionando lo strato termo-isolante sotto di esso.

Se il tetto è anche ventilato, occorre porre lo strato termo-isolante sempre al di sotto dello strato di ventilazione.

Lo strato termo-isolante si può collocare *al di sotto* dei listelli o *interposto* ai listelli inferiori di ventilazione. Nel primo caso occorre utilizzare pannelli isolanti ad alta densità ($\geq 25 \text{ kg/m}^3$) per garantire un'adeguata resistenza a compressione, possibilmente con giunto ad incastro o a battente; nel secondo

caso (per pannelli di densità $< 25 \text{ kg/m}^3$), se l'interposizione si attua per semplice accostamento dei pannelli ai listelli, è difficile evitare l'insorgenza di ponti termici cagionati da una posa non accurata, dall'uso di listelli non perfettamente diritti o dalle alterazioni morfologiche a cui può andare incontro, nel tempo, il materiale coibente.

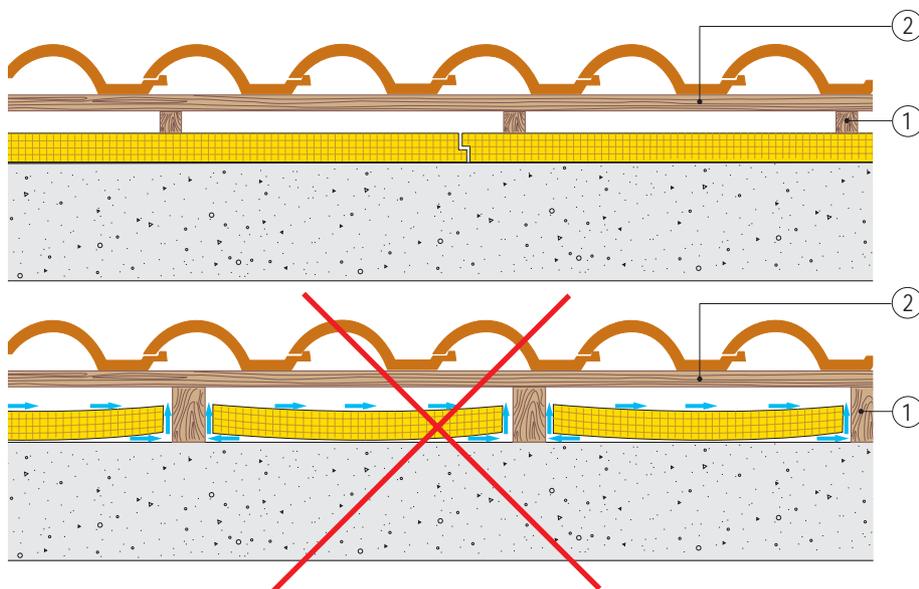


Fig. 1.37
In alto: strato termo-isolante posto al di sotto dei listelli di ventilazione; *in basso:* strato termo-isolante interposto ai listelli di ventilazione. Nel secondo caso (*da evitare*) possono insorgere ponti termici lungo le linee di giunzione tra listelli e pannelli.

Legenda:
 1. listello di ventilazione
 2. listello di supporto

La perdita di efficienza termica si riduce drasticamente ricorrendo a pannelli sfalsati in doppio strato: al primo strato di materiale isolante (con interposizione di listelli dello stesso spessore) ne viene sovrapposto un secondo, ortogonale al primo, con interposizione dei listelli di ventilazione la cui altezza, rispetto ai pannelli termo-isolanti, dipende dal ruolo che deve svolgere la camera di ventilazione. Ai listelli di ventilazione, infine, si sovrapporranno i listelli di supporto degli elementi del manto.

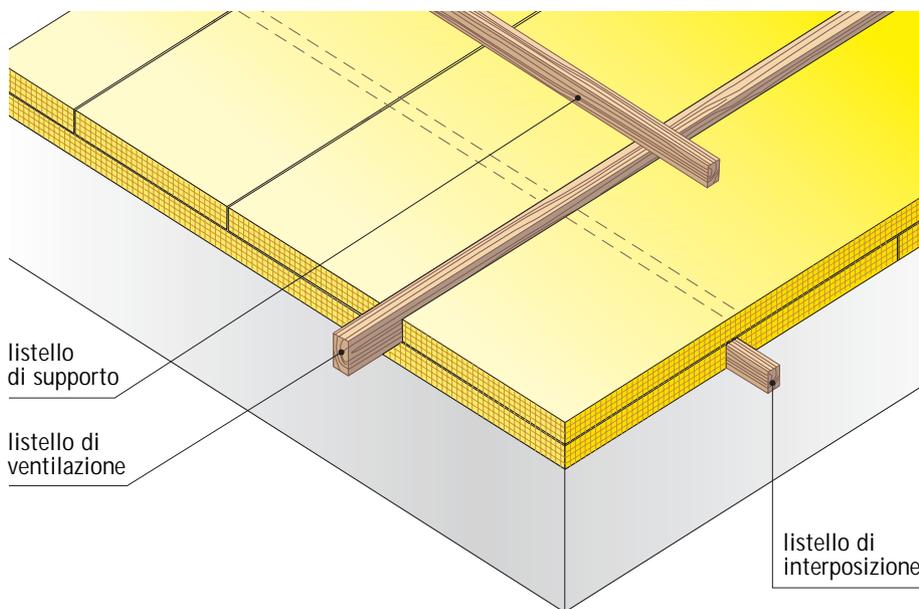


Fig. 1.38
 La disposizione di un doppio strato di pannelli termo-isolanti, tra loro sfalsati, consente di evitare l'insorgenza di ponti termici. La maggior altezza del listello superiore rispetto ai pannelli determina lo strato di ventilazione.

Come si è visto nel § 1.2.3, sono disponibili in commercio anche speciali pannelli termo-isolanti preformati, con distanza di ancoraggio prefissata e scanalature per favorire la micro-ventilazione che, fungendo anche da dispositivi di supporto del manto, rendono superfluo il ricorso ai listelli, con significativa riduzione dei tempi di messa in opera e del rischio di errori nella esecuzione.

Appare utile ribadire che, per garantire la pedonabilità del manto, i pannelli termo-isolanti sagomati devono avere una densità adeguata, comunque non inferiore a 25 kg/m³.

Un aspetto di specifico interesse riguarda il controllo dei *ponti termici* in corrispondenza dei cordoli e delle travi di bordo in calcestruzzo armato del nodo tra chiusura verticale, solaio di copertura e solaio di sottotetto, se presente. Qui si determina tipicamente una zona caratterizzata da una maggiore trasmittanza termica rispetto alla rimanente parte della chiusura esterna.

La concentrazione di flusso termico che si manifesta in corrispondenza dei ponti termici nel periodo invernale, oltre a influenzare negativamente il bilancio energetico dell'edificio, genera un abbassamento localizzato della temperatura superficiale interna con conseguenze sfavorevoli sulle condizioni di benessere interno e su quelle di aspetto e di durevolezza degli elementi tecnici interessati. Quando in queste zone la temperatura superficiale interna scende al di sotto del 'punto di rugiada', si determinano fenomeni di condensa superficiale che possono essere aggravati da una scarsa ventilazione dei locali. Tali fenomeni si manifestano mediante la formazione di macchie dovute all'attrazione di pulviscolo e, in condizioni estreme, di muffe ed alterazioni fisico-chimiche dei materiali.

Quando il tetto è privo di sporto, il problema può essere affrontato rivestendo il bordo esterno della trave (*isolamento a cappotto*). In questo caso le opzioni tecnologiche a disposizione del progettista sono diverse in funzione dell'effetto estetico che si intende conseguire, dell'entità della dispersione termica prevedibile, delle caratteristiche tipologico - dimensionali della chiusura verticale e della struttura in elevazione.

La correzione dei ponti termici si rivela più complessa in presenza di sporti in calcestruzzo armato. In tali circostanze, l'intervento più efficace consiste nel *taglio termico* tra elemento aggettante e trave di bordo (o cordolo). Allo scopo, si ricorre a dispositivi che coniugano la continuità strutturale nel nodo, con l'abbattimento del flusso termico (*raccordi termo-isolanti*). Nel nodo, la trasmissione degli sforzi è affidata a speciali armature integrative in acciaio inossidabile con la funzione di resistere alle sollecitazioni di compressione; la soluzione di continuità del calcestruzzo è ottenuta con la predisposizione, prima del getto, di un pannello in materiale termo-isolante.

Una seconda possibilità consiste nel predisporre uno strato termo-isolante aggiuntivo posto sulla parete interna, in corrispondenza dell'angolo, anche se tale soluzione, se non correttamente eseguita, può comportare inconvenienti in termini di condensa.

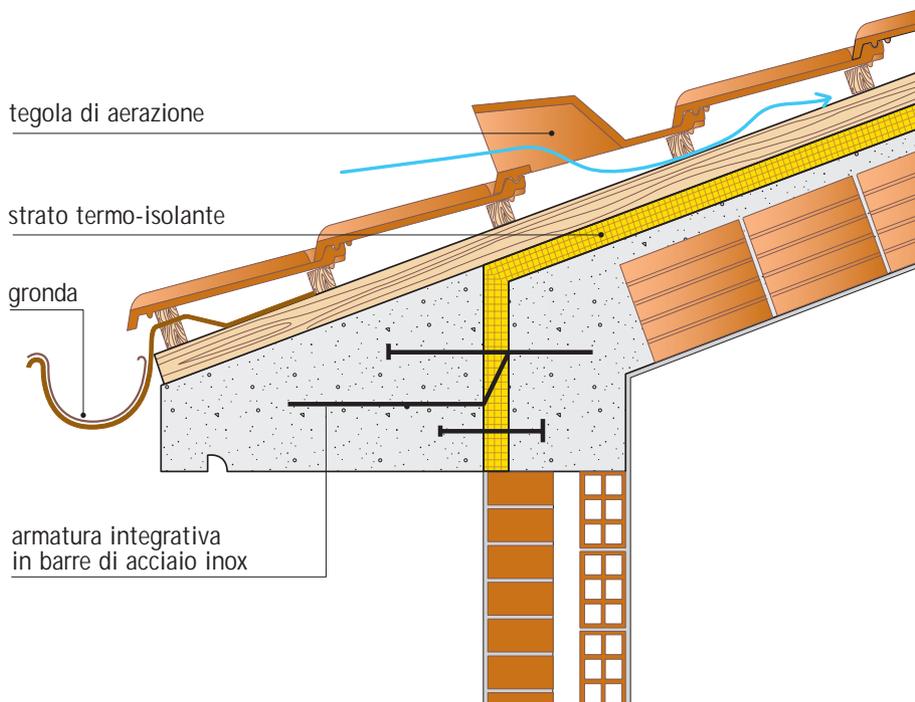
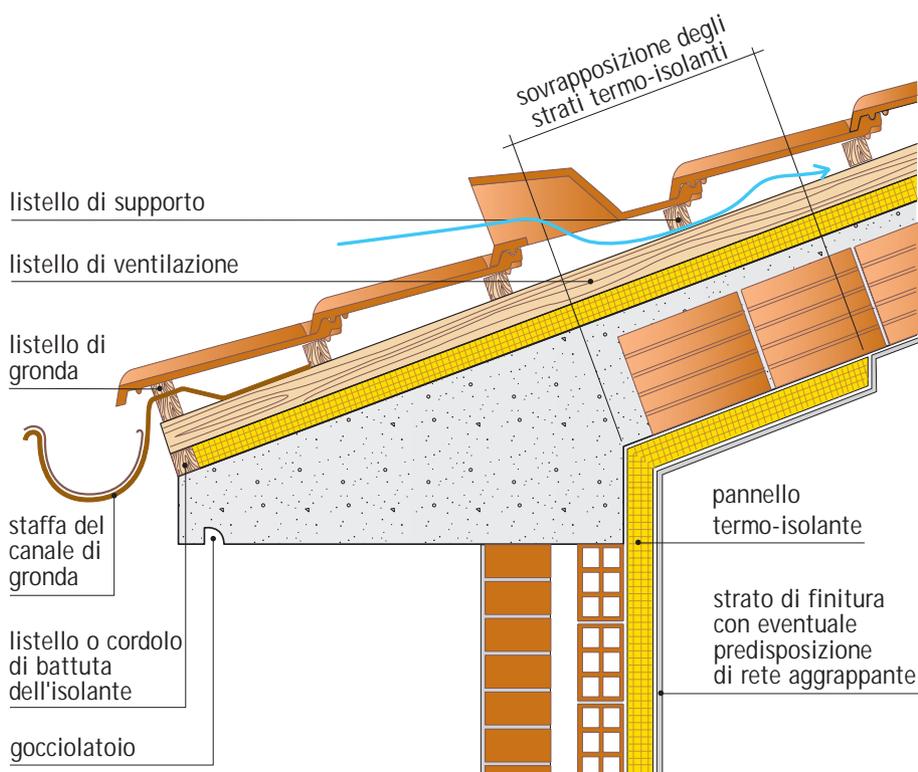


Fig. I.39
A lato: esempio schematico di soluzione per il controllo dei ponti termici negli sporti con struttura in continuità in cls armato; *in basso:* rivestimento termo-isolante della parete interna in corrispondenza dello sporto.



Si ricorda che nel nostro Paese il risparmio energetico è regolato dalla Legge 10/1991 e successivi Regolamenti d'attuazione (Piano Energetico Nazionale).

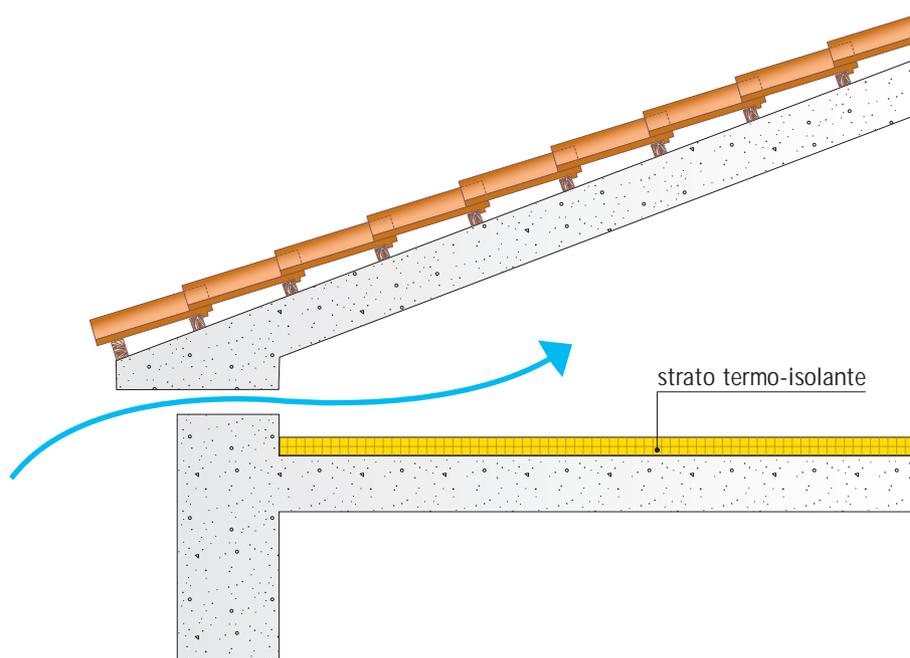
1.2.4.3 Il comfort in periodo estivo: la ventilazione

Durante il periodo estivo, l'afflusso di calore attraverso il tetto è dovuto alla maggiore temperatura dell'aria esterna e all'irraggiamento solare.

Anche in estate è importante che la copertura abbia la capacità di accumulare il calore e di sfasarne la trasmissione in modo che i valori massimi di temperatura superficiale all'intradosso del tetto si verifichino quando i vani sottostanti non sono utilizzati o nelle ore notturne quando, mediante la ventilazione naturale, l'aria interna può essere facilmente raffrescata.

Quando il sottotetto non è abitato, la ventilazione può essere attivata da una struttura portante di tipo discontinuo oppure da aperture contrapposte nelle chiusure verticali. In questo caso, lo strato termo-isolante andrà posato all'estradosso dell'ultimo solaio interpiano.

Fig. 1.40
In presenza di sottotetto non abitato la ventilazione può essere attivata mediante aperture contrapposte ubicate nelle chiusure verticali; in questo caso lo strato termo-isolante andrà posto all'estradosso dell'ultimo solaio interpiano.



Quando il sottotetto è abitato, la limitazione del flusso di calore entrante è garantita principalmente dalla *ventilazione sottomanto* che permette di smaltire naturalmente copiose quantità. Sperimentalmente è stato dimostrato che, in condizioni ottimali, con camere d'aria di altezza di 7 cm (+ 4 cm di listello) si ottiene un abbattimento del calore trasmesso all'interno di circa il 30%.

La ventilazione sottomanto si realizza normalmente mediante una doppia orditura di listelli: la prima - che crea lo spessore dello strato di ventilazione - è perpendicolare alla linea di gronda; la seconda - di supporto alle tegole - è parallela alla linea di gronda. Le due orditure possono anche essere separate da uno strato continuo (*sottocopertura*): in questo caso, anche lo strato di micro-ventilazione è separato da quello di ventilazione.

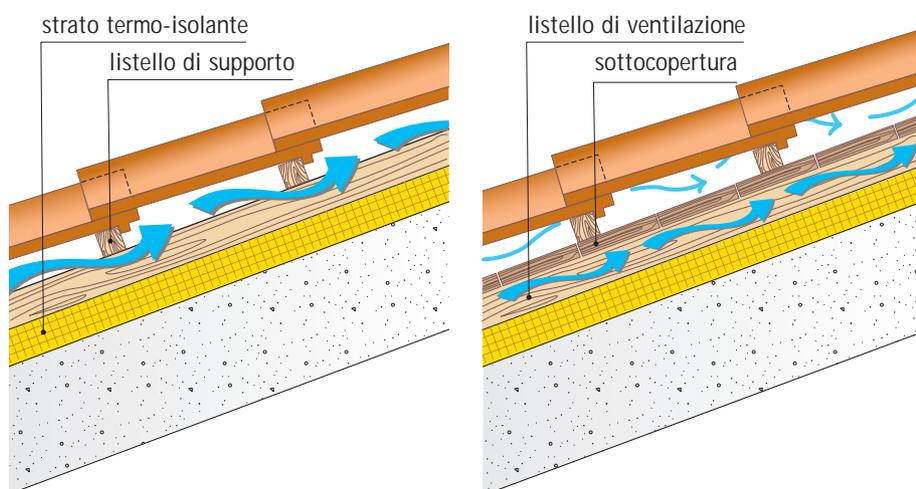


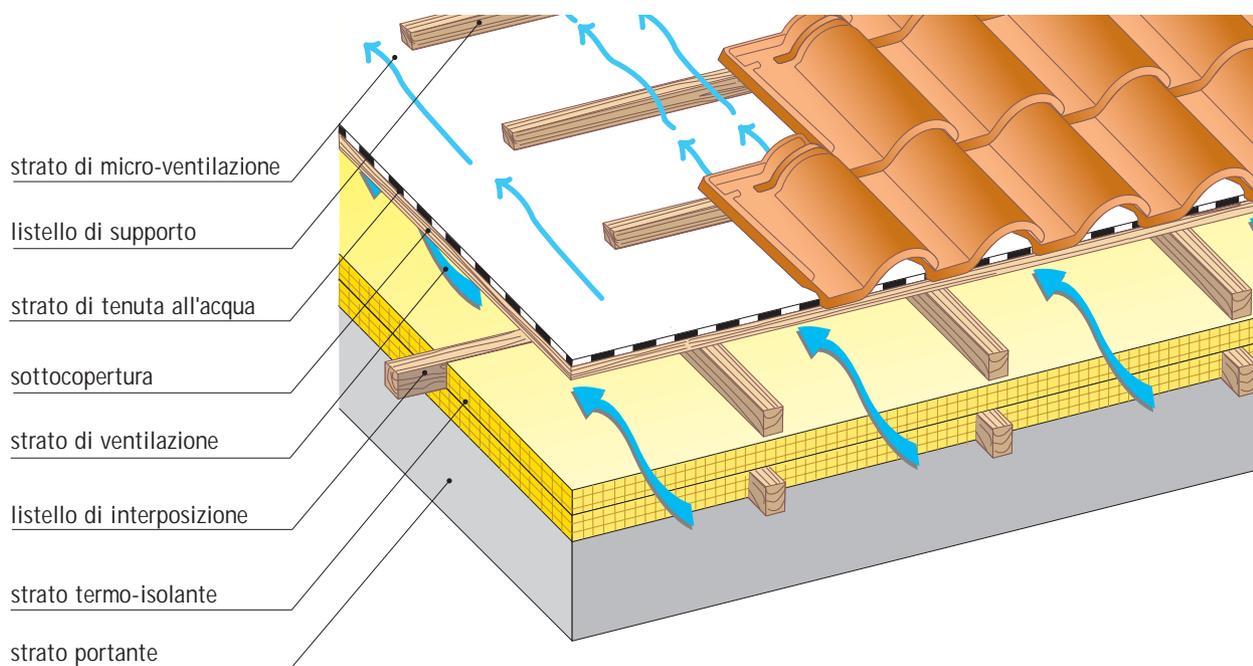
Fig. 1.41
Ventilazione sottomanto mediante intercapedine unica (a sinistra) o doppia (a destra) con sottocopertura che separa lo strato di micro-ventilazione da quello di ventilazione.

Per manti di copertura in tegole, secondo la norma UNI 9460 ("Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e la manutenzione di coperture realizzate con tegole di laterizio e calcestruzzo"), la sezione di aerazione (per pendenze di falda intorno al 30-35% e lunghezze fino a 7 metri), per intercapedine sia unica che doppia, non deve essere inferiore a 550 cm^2 per ogni metro di larghezza di falda. Nel primo caso, la sezione si misura al di sotto dei listelli di supporto degli elementi del manto; nel secondo caso, dall'intradosso della sottocopertura.

Per manti di copertura in coppi, sempre secondo la stessa norma UNI, la sezione di aerazione può essere dimezzata.

In presenza di membrane di tenuta all'acqua, la doppia intercapedine consente di smaltire il vapor d'acqua proveniente dal sottotetto poiché tali membrane possono essere poste direttamente al di sopra della sottocopertura.

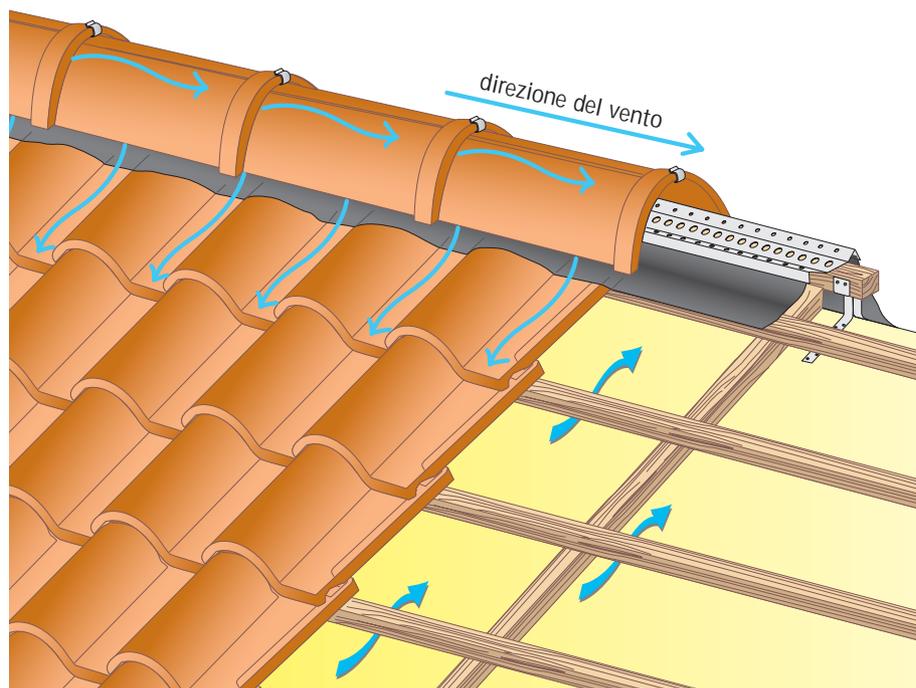
Fig. 1.42
Doppia intercapedine di ventilazione, con strato di tenuta all'acqua continuo posto al di sopra della sottocopertura.



Occorre infine ricordare che l'efficacia della ventilazione è sostanzialmente influenzata dalla geometria del tetto, dalla presenza di eventuali elementi di discontinuità presenti sulla falda (quali, ad esempio, finestre da tetto o strutture emergenti) e dalla pulizia dell'intercapedine.

Inutile dire che per garantire la ventilazione sottomanto occorre che la linea di gronda e quella di colmo siano il più possibile libere da ostruzioni.

Fig. 1.43
Esempio di colmo ventilato.



1.2.4.4 Il controllo della condensa interstiziale

La condensa interstiziale è acqua che si forma normalmente nel periodo invernale negli strati interni di una chiusura quando il vapore, migrando verso l'esterno a causa della sua maggiore pressione parziale rispetto a quella corrispondente dell'aria fredda esterna, incontra materiali caratterizzati da elevata impermeabilità e aventi temperature inferiori al cosiddetto *punto di rugiada*. Nei tetti il problema si pone tipicamente quando sono presenti strati integrativi di tenuta all'acqua (e al vapore) di tipo *continuo* posti negli strati 'freddi' (al di sopra dello strato termo-isolante).

Una soluzione consiste nel 'bloccare' il vapore ascendente dagli strati 'caldi' del tetto (al di sotto dello strato termo-isolante) mediante uno strato di materiale con elevata impermeabilità al vapore (ad esempio, teli di polietilene, membrane bituminose, fogli di alluminio, ecc.) detto *barriera al vapore*.

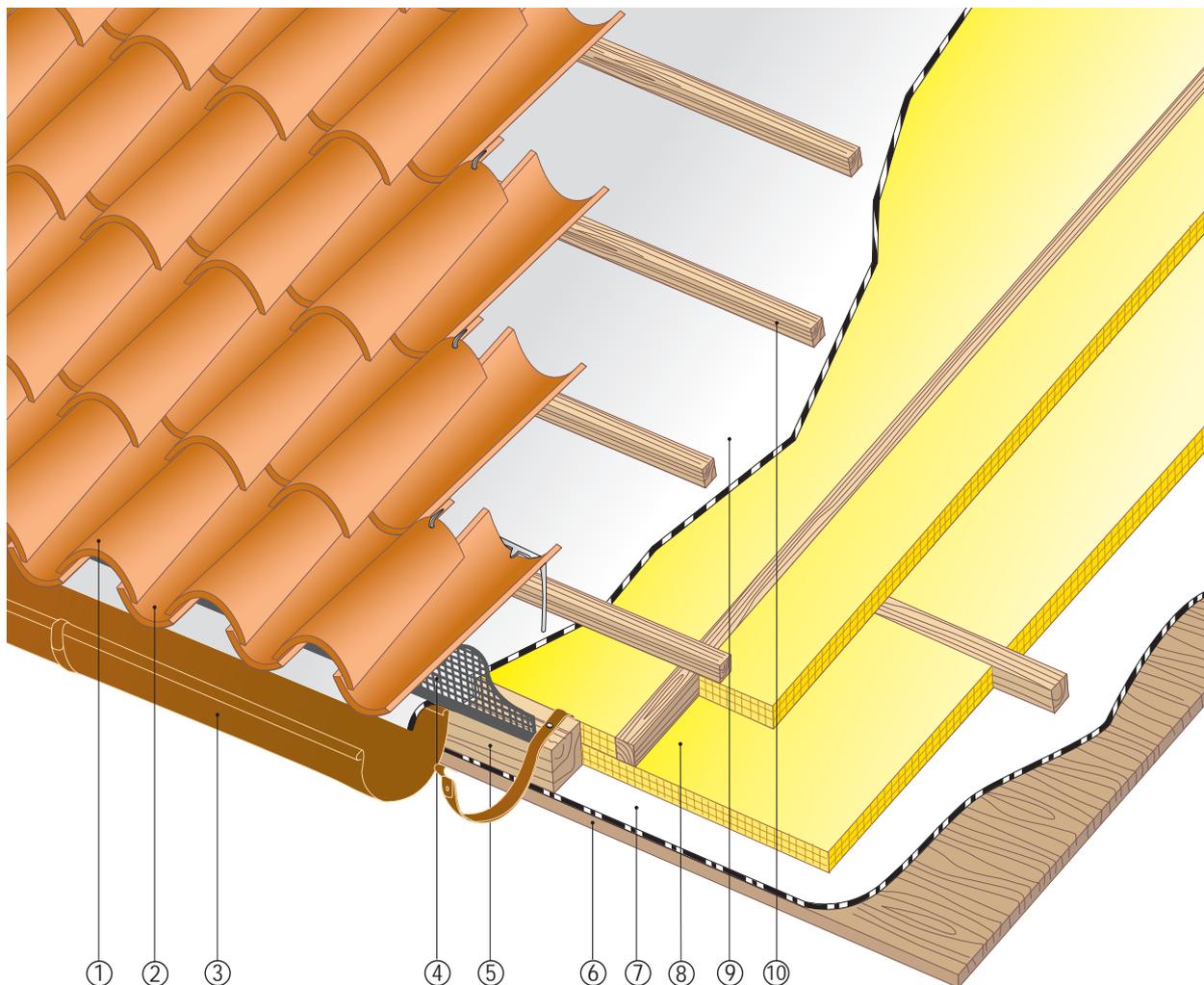


Fig. I.44
Copertura isolata e micro-ventilata con uso di barriera al vapore.

Legenda:

1. coppi di coperta
2. coppi di canale con nasello
3. gronda
4. griglia parapasseri con funzione di aerazione e rialzo della prima linea di coppi
5. listello di battuta
6. tavolato
7. barriera al vapore
8. doppio strato di pannelli termo-isolanti a giunti sfalsati e interposti a listelli
9. strato di tenuta all'acqua
10. listelli di supporto

Purtroppo, le barriere al vapore compromettono la traspirabilità del tetto e la purezza dell'aria; se sono impiegate anche nelle chiusure verticali rendono l'ambiente abitato praticamente stagno al vapore aumentando l'umidità relativa dell'aria e, quindi, il rischio di condensazione sulle superfici interne. Per questa ragione è preferibile *diffondere* l'eventuale vapore d'acqua attraverso il tetto anziché *bloccarlo*.

In questo caso si rivela di grande utilità la presenza di uno *strato di ventilazione* capace di assicurare una sezione libera di aerazione di almeno 200 cm² per metro di larghezza della falda, ottenuta sia mediante intercapedine unica (doppia orditura di listelli), sia doppia (doppia orditura di listelli con interposizione di uno strato di sottocopertura) e misurata con le stesse modalità descritte precedentemente.

Così dimensionata, la ventilazione, oltre a consentire un efficace smaltimento dell'acqua trattenuta dal manto e la rapida diffusione del vapore proveniente dal sottotetto, offre anche un modesto contributo, valutabile intorno al 4%, all'abbattimento del calore trasmesso nel periodo estivo.

Fig. I.45
Camera di ventilazione in grado di garantire lo smaltimento del vapore interno.

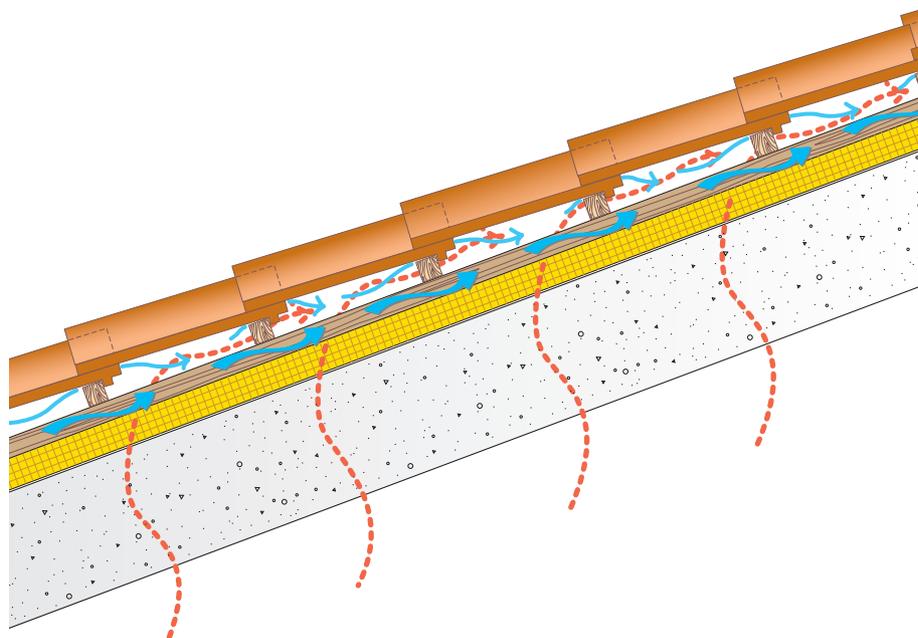
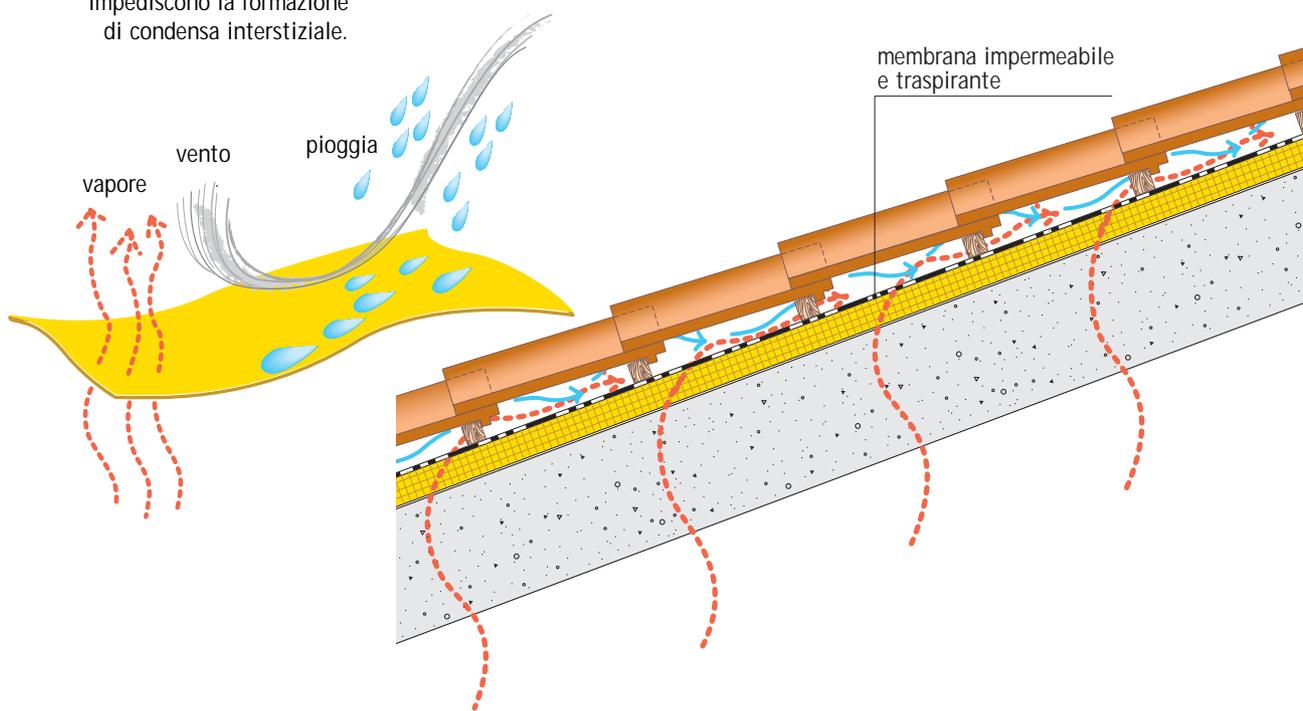


Fig. I.46
Le membrane impermeabili e traspiranti garantiscono, insieme alla tenuta al vento e all'acqua, il passaggio del vapore prodotto all'interno degli ambienti. In tal modo impediscono la formazione di condensa interstiziale.

Qualora fosse prioritaria la necessità di prevedere uno strato di tenuta all'acqua continuo posto all'estradosso dello strato termo-isolante e si desiderasse comunque smaltire il vapore d'acqua proveniente dall'interno, è possibile impiegare *membrane impermeabili traspiranti* le quali hanno una struttura i cui pori sono abbastanza piccoli da non permettere il passaggio di acqua, ma sufficienti per garantire l'attraversamento del vapore.



Gli strati impermeabili e traspiranti possono essere realizzati con membrane di polipropilene, di poliestere bitumato, di polietilene retinate e microforate, ecc.

| Requisito | Strati funzionali | Opzioni tecniche |
|-----------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Controllo delle condizioni igrotermiche del manto | Strato di micro-ventilazione | Sezione di ventilazione realizzata posizionando a secco gli elementi del manto su supporti paralleli alla linea di gronda e incrementabile mediante tegole di aerazione |
| Controllo degli scambi termici in periodo invernale | Strato termo-isolante | |
| | Senza funzione di supporto del manto | <ul style="list-style-type: none"> Se disposto al di sotto dei listelli di ventilazione, pannelli termo-isolanti ad alta densità ($\geq 25 \text{ kg/m}^3$) con giunto ad incastro o a battente Se si posiziona tra i listelli, pannelli sfalsati in doppio strato |
| | Con funzione di supporto del manto | Pannelli termo-isolanti preformati con distanza di ancoraggio prefissata e scanalature per garantire la micro-ventilazione |
| Controllo degli scambi termici in periodo estivo | Strato di ventilazione | |
| | Manti di copertura in tegole | Sezione di ventilazione $\geq 550 \text{ cm}^2$ per metro di larghezza di falda |
| | Manti di copertura in coppi | Sezione di aerazione $\approx 300 \text{ cm}^2$ circa per metro di larghezza di falda |
| Controllo della condensa interstiziale | Strato di ventilazione | Sezione di aerazione $\geq 200 \text{ cm}^2$ per metro di larghezza di falda |
| | Membrane impermeabili traspiranti | Con $\mu \leq 10^2$ (μ = resistenza alla diffusione di vapore del materiale/ resistenza alla diffusione di vapore dell'aria) |
| | Barriera al vapore | Posata negli strati 'caldi' del tetto (sempre al di sotto dello strato termo-isolante). Con $\mu \geq 10^4$, in funzione delle condizioni climatiche e della destinazione d'uso del sottotetto |

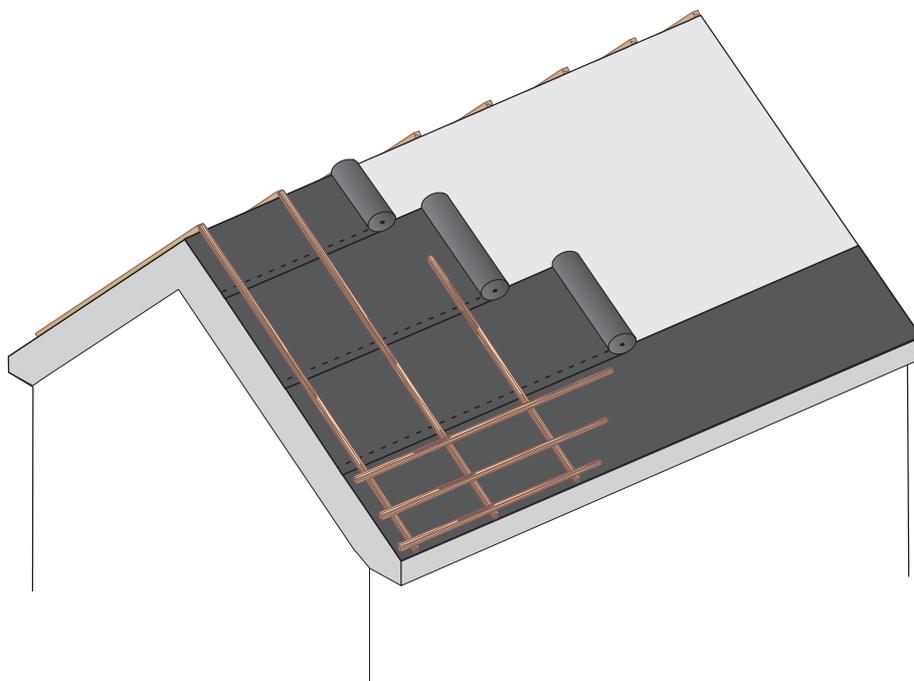
Fig. 1.47

Quadro sinottico dei requisiti tecnologici relativi al comportamento igrotermico di un tetto di pendenza compresa tra il 30 ed il 35% e lunghezza di falda inferiore a 7 metri.

1.2.5 La tenuta all'acqua

Normalmente, nei tetti la tenuta all'acqua è affidata unicamente al manto di copertura. Quando, in rapporto alle precipitazioni atmosferiche o a specifiche situazioni di contesto, si realizzano tetti con falde di pendenza inferiore alla norma, quando si ritiene che il manto di copertura possa essere particolarmente cementato dal calpestio di manutentori, dalla spinta del vento o dalla pioggia battente, quando si è in presenza di una complessa geometria del tetto o di elementi di discontinuità, è prudente prevedere al di sotto del manto uno *strato di tenuta all'acqua traspirante complementare* di tipo *continuo*.

Fig. 1.48
La posa degli strati impermeabili avviene per sovrapposizioni orizzontali, con lo strato superiore che sormonta quello inferiore di circa 10 cm.



Nelle condizioni limite sopra descritte, lo strato di tenuta all'acqua continuo è da considerarsi indispensabile nella parte bassa della copertura per un'altezza di almeno 150 cm dalla gronda verso il colmo, poiché questa è la parte del tetto che riceve l'acqua di tutta la falda sovrastante.

Il ricorso a strati di tenuta all'acqua continui è inoltre inevitabile in corrispondenza delle soluzioni di continuità della falda, quando questa incontra parti emergenti e, più in generale, in tutte quelle situazioni in cui possono prevedersi accumuli d'acqua o di neve.

Ad esempio, nei sottotetti abitati e riscaldati la neve caduta sulla falda si scioglie prima di quella caduta sullo sporto che risulta completamente circondata da aria fredda. L'acqua di fusione, non potendo raggiungere il canale di gronda a causa del cumulo di neve ghiacciata sullo sporto, può infiltrarsi al di sotto del manto. Per combattere gli *effetti* del disgelo differenziale è necessario prevedere uno strato di tenuta all'acqua continuo in corrispondenza dello sporto e almeno del primo metro di falda. Per intervenire sulla *causa* è sufficiente prevedere uno strato di ventilazione.

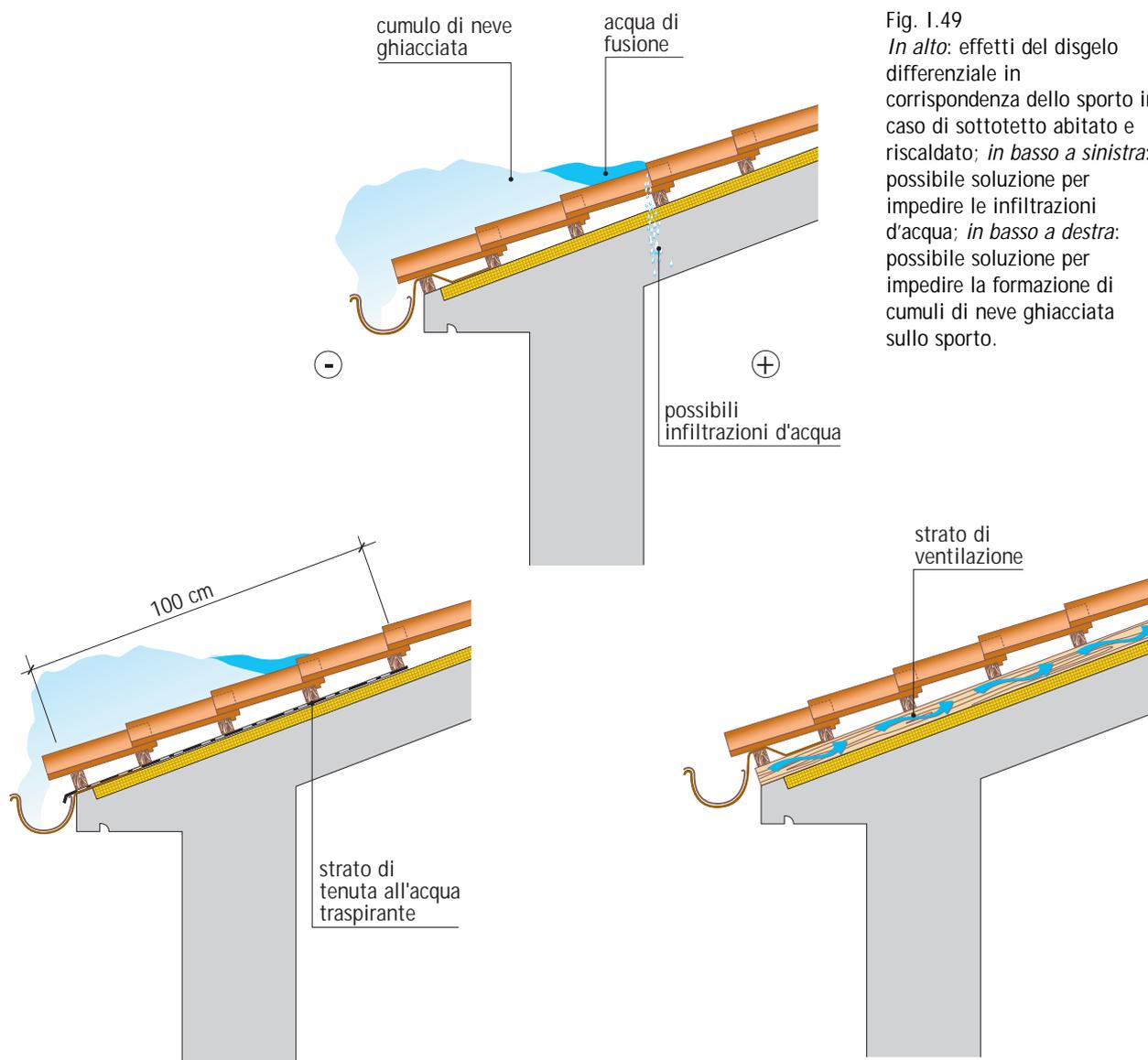


Fig. 1.49
In alto: effetti del disgelo differenziale in corrispondenza dello spunto in caso di sottotetto abitato e riscaldato; *in basso a sinistra:* possibile soluzione per impedire le infiltrazioni d'acqua; *in basso a destra:* possibile soluzione per impedire la formazione di cumuli di neve ghiacciata sullo spunto.

Come si è già detto, dato che i materiali di tenuta all'acqua continui offrono normalmente anche una notevole resistenza al passaggio di vapore, occorre valutare l'opportunità di impiegarli e studiare la loro corretta posizione rispetto agli altri strati funzionali del tetto in relazione al fenomeno di condensa interstiziale.

Le membrane bituminose, in fase di montaggio, non devono essere soggette ad una prolungata esposizione al sole, poiché la componente ultravioletta dei raggi solari svolge su di esse un'azione di degrado (perdita degli oli volatili, sclerosi e micro-fessurazioni) particolarmente aggressiva.

In generale, i materiali di tenuta all'acqua devono garantire un'ottima elasticità (in maniera da aderire, se forati, al gambo degli elementi puntiformi di fissaggio, quali chiodi e viti), una buona resistenza alle lacerazioni ed una superficie sufficientemente rugosa (antisdrucchiolevole) in grado di permettere idonee condizioni di sicurezza nell'esecuzione della copertura.

1.2.6 La raccolta e l'allontanamento dell'acqua piovana

Ogni tetto deve essere dotato di un efficace sistema di raccolta e smaltimento dell'acqua piovana. Quello più diffuso è basato su elementi di raccolta lineari, detti *canali di gronda* o *gronde*, posti sulla linea inferiore del piano di falda, e su elementi puntiformi di scarico detti *pluviali*.

Raggiunta per gravità la gronda, l'acqua, grazie ad un'inclinazione del canale compresa tra 0,3 e 0,5 %, è diretta ai pluviali. Dai pluviali l'acqua raggiunge il piede degli edifici. Qui viene intercettata da pozzetti sifonati di raccolta collegati in pendenza e, finalmente, diretta verso la fognatura pubblica, verso serbatoi di raccolta o allontanata per dispersione.

Il dimensionamento delle gronde e dei pluviali che, in termini rigorosi, dovrebbe essere eseguito a partire dal calcolo della portata 'Q' dell'acqua piovana, comunemente segue rapporti geometrici: si prevedono 0,8-1,0 cm² di sezione ogni m² della proiezione, sul piano orizzontale, della falda.

Fig. 1.50
Elementi per la raccolta e l'allontanamento dell'acqua piovana: *in basso*, criteri di dimensionamento; *a destra*, terminologia.

| Sezione dei pluviali e del canale di gronda in relazione alla superficie della falda | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------|
| Area del tetto in proiezione orizzontale (m ²) | Diametro del canale di gronda (cm) | Diametro del pluviale (cm) |
| Fino a 10 | 8 | 4 |
| Da 11 a 25 | 10 | 5 |
| Da 26 a 50 | 12 | 7 |
| Da 51 a 100 | 15 | 10 |
| Da 101 a 200 | 18 | 10 |



La linea di gronda è un punto molto delicato poiché qui l'acqua può insinuarsi sotto il manto anche grazie all'azione del vento e, per questo motivo, è consigliabile che la prima fila di tegole abbia una sporgenza sul canale di gronda pari a circa 1/3 della sua larghezza. Per evitare che l'acqua tracimi verso la parete, il canale di gronda deve avere il bordo esterno più basso di quello interno di 1-2 cm; il senso dell'inclinazione va invertito in caso di tetti di notevole pendenza.

Se un edificio si trova in una zona soggetta ad abbondanti nevicate, per evitare che cumuli di neve ghiacciata danneggino il canale di gronda o possano costituire pericolo per persone o cose, devono usarsi *elementi fermeneve* in laterizio o, in alternativa, si può ricorrere a specifici dispositivi di arresto realizzati mediante barriere lineari basse.

1.2.7 L'attrezzabilità

Si può definire *attrezzabilità* del tetto la sua attitudine a ricevere accessori, impianti e, in generale, tutti quei dispositivi che sono richiesti per l'ottimale funzionamento dell'edificio.

Si tratta di un requisito che sta assumendo un ruolo crescente in ragione dell'aumento degli elementi tecnici presenti sulle coperture (finestre, canne fumarie, aeratori, antenne televisive, unità esterne di impianti di condizionamento, collettori solari, pannelli fotovoltaici, ecc.), per le conseguenze che tali elementi determinano sugli strati funzionali del tetto e, più in generale, sulle qualità estetiche dell'ambiente costruito.

Evidentemente, più aumentano le attrezzature sul tetto più si rende necessario il ricorso a installatori e manutentori che con il loro passaggio possono rompere o spostare gli elementi del manto o danneggiare gli strati funzionali sottostanti. Inoltre, queste attrezzature, se non attentamente previste in fase di progetto, costituendo delle soluzioni di continuità del manto, possono comprometterne la tenuta all'acqua e favorire la formazione di ponti termici. Negli interventi sugli edifici esistenti, in particolare per le apparecchiature più invasive, occorre mediare tra le esigenze impiantistiche e quelle estetiche. Ad esempio, se nella realizzazione di un impianto solare l'esposizione delle falde non corrispondesse a quella desiderata per i pannelli (sud-est/sud-ovest), si potrebbe comunque disporre quest'ultimi in falda compensando il minor rendimento con una più ampia superficie captante. In questo caso i moduli solari, dove vengono collocati, vanno a sostituire gli elementi del manto assolvendone la funzione di tenuta all'acqua.

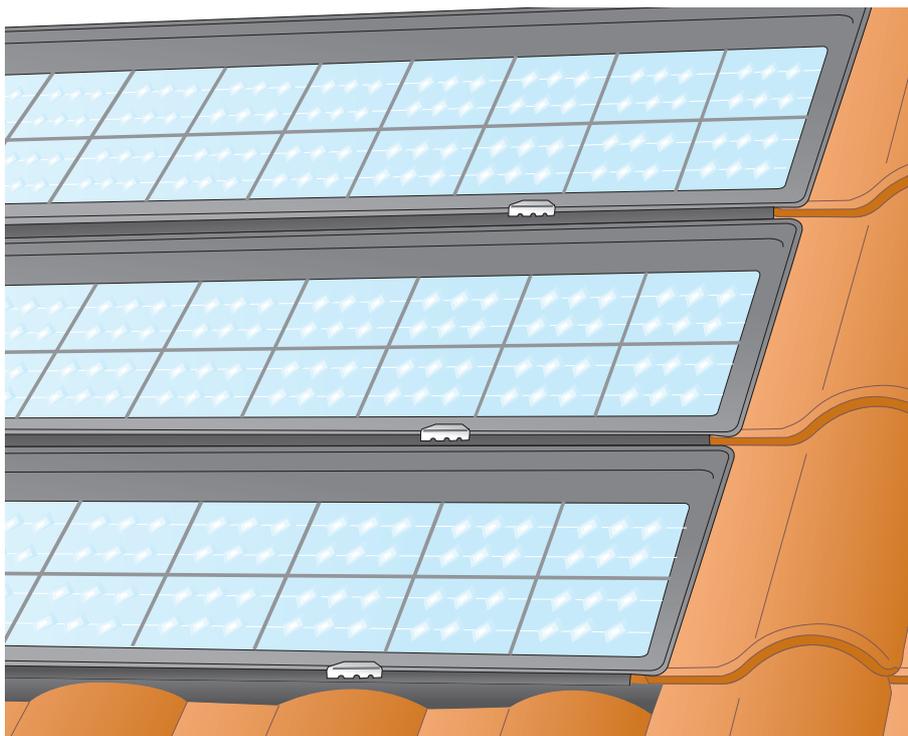


Fig. I.51
Inserimento di pannelli
fotovoltaici in una copertura
in laterizio.

1.2.8 Il mantenimento delle prestazioni nel tempo

Manti di copertura in laterizio di buona qualità, posti in opera correttamente, hanno un'affidabilità più che collaudata. Tuttavia, solo mediante una idonea manutenzione è possibile garantirne il mantenimento delle prestazioni originarie nel tempo.

Per favorire la verifica periodica delle condizioni del manto (ispezionabilità), è decisivo prevedere, in fase di progetto, la facile accessibilità alla copertura dal sottotetto mediante botole, finestre o abbaini ('passo d'uomo').

La prassi manutentiva, programmabile anche sulla base delle indicazioni dei produttori degli elementi utilizzati, opportuna dopo eventi climatici di particolare violenza (forti venti, grandinate, ecc.), e comunque da definire in base ai risultati delle ispezioni periodiche, consiste, fundamentalmente, nelle seguenti operazioni:

- controllo del corretto deflusso delle acque, sia sul manto di copertura, sia nelle converse e nei canali di gronda, con la rimozione di piante infestanti, microrganismi vegetali e depositi di foglie, sporco e detriti;
- controllo dell'integrità del manto e sostituzione degli elementi eventualmente danneggiati;
- ricollocazione degli elementi spostati;
- ripristino degli ancoraggi danneggiati.

Per rendere più agevole la rimozione del manto o la sostituzione degli elementi danneggiati, è essenziale che il manto sia fissato mediante *sistemi reversibili* (chiodi, viti, ganci). Pertanto, anche ai fini manutentivi, la posa *umida* del manto mediante malta, colle o schiume adesive, va considerata prassi operativa deleteria *assolutamente da evitare*.

L'eventuale sostituzione di elementi deteriorati con elementi nuovi deve tener conto della completa compatibilità con quelli esistenti. Al di là dei problemi di integrabilità geometrica, la cosa non sempre risulta facile poiché sui manti di laterizio si forma col tempo una sottile patina dovuta alla porosità del materiale che influisce positivamente sulle prestazioni degli elementi e conferisce agli stessi una coloritura caratteristica. Pertanto, quando negli interventi di recupero le tegole originarie non risultano sufficienti, è opportuno distribuire omogeneamente gli elementi nuovi sulla falda in modo da mescolarli cromaticamente con i vecchi per non creare antiestetiche macchie di colore. Nei manti in coppi è opportuno che gli elementi nuovi siano utilizzati come *canali* selezionando quelli vecchi in migliore stato di conservazione per la realizzazione dello strato superiore (*coppi di coperta*).

I.3. Gli elementi del manto

Gli elementi in laterizio per coperture possono essere ascritti a due tipologie principali: i *coppi* e le *tegole*.

Per ciascuna tipologia sono poi disponibili *elementi speciali*, *elementi accessori* ed *elementi innovativi* per migliorare l'aspetto e l'affidabilità del tetto e per facilitare la posa in opera. Per scongiurare problemi di integrabilità (colore, dimensioni, morfologia, sistema di ancoraggio...), è consigliato utilizzare elementi speciali, accessori o innovativi prodotti dalla stessa azienda fornitrice degli elementi standard del manto.

I coppi

I *coppi* hanno la forma di un tronco di cono tagliato con un piano parallelo al suo asse longitudinale; vengono prodotti con la tecnica dell'estrusione o dello stampaggio.

Possono dar vita alla disposizione cosiddetta a 'coppi soprammessi' (con manto inferiore realizzato con coppi con concavità verso l'alto - detti 'di canale' - e manto superiore con coppi con concavità verso il basso - detti 'di coperta'), oppure a quella 'maritata' se il coppo di canale è sostituito da una tegola piana (detta 'embrace' o 'romana'). La prima disposizione, rispetto alla seconda, garantisce una maggiore resistenza alle sollecitazioni prodotte dal calpestio di installatori e manutentori. In corrispondenza della linea di gronda trovano applicazione coppi di coperta più corti di quelli standard detti *tre-quarti*.

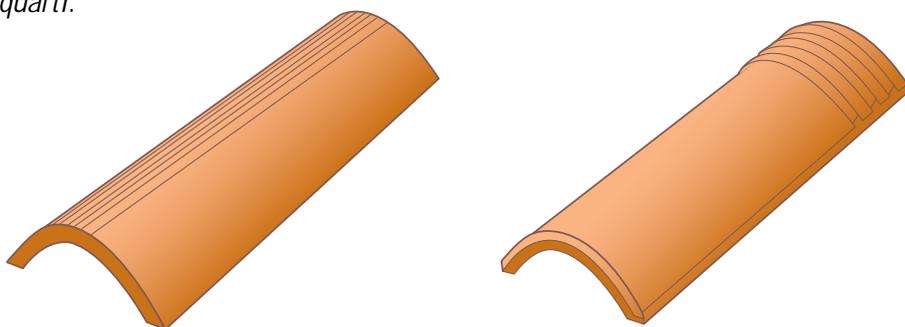


Fig. I.52
Coppo (o 'tegola curva') prodotto per estrusione (a sinistra) e per stampaggio (a destra).

Le tegole

Le *tegole* possono essere di diverso tipo, anch'esse possono essere prodotte per estrusione e per stampaggio. La più antica è la già menzionata *tegola piana* o *embrace* o *romana* impiegata solitamente insieme al coppo, più raramente insieme ad altre tegole piane soprammesse. Le tegole piane prodotte tramite stampaggio sono dotate di speciali risalti per la battuta del coppo sovrastante.

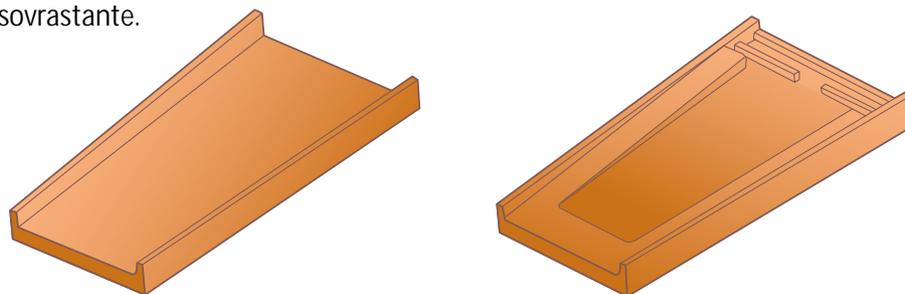
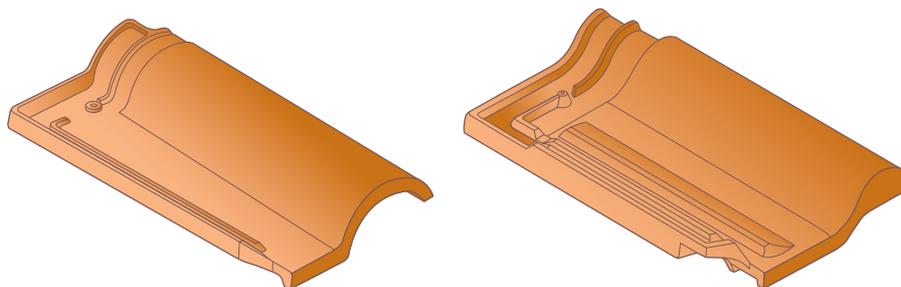


Fig. I.53
Tegola romana (o 'tegola piana' o 'embrace') prodotta per estrusione (a sinistra) e per stampaggio (a destra).

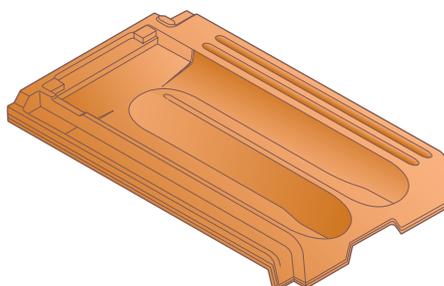
La *tegola portoghese* e quella *olandese* inglobano morfologicamente le caratteristiche del coppo e dell'embrice e rappresentano l'evoluzione della disposizione maritata: la parte piana consente il rapido deflusso dell'acqua; la parte curva conferisce all'elemento la resistenza meccanica necessaria. La tegola olandese differisce da quella portoghese principalmente per il profilo meno accentuato della parte curva. Sono dotate di speciali incavi e risalti che rendono possibili gli incastri con gli elementi adiacenti garantendo così la tenuta all'acqua. Vengono prodotti elementi con la parte curva a destra oppure a sinistra.

Fig. 1.54
Tegola portoghese
(a sinistra)
e tegola olandese
(a destra).



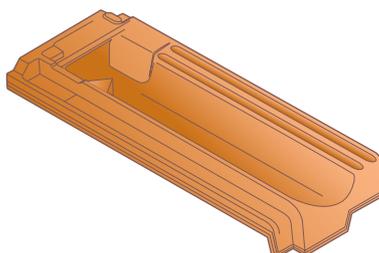
La *tegola marsigliese*, grazie alla sua forma, è molto versatile e può essere impiegata anche per realizzare coperture leggermente curve. I particolari incastri di sovrapposizione reciproca garantiscono efficacemente la tenuta all'acqua.

Fig. 1.55
Tegola marsigliese.



Le tegole marsigliesi possono essere posate anche a *giunti sfalsati* in modo che l'incastro longitudinale di due tegole superiori corrisponda al centro della tegola sottostante. In questo caso occorrerà ricorrere al pezzo speciale denominato *mezza tegola*.

Fig. 1.56
Mezza tegola marsigliese.



Relativamente agli altri parametri (peso per elemento e a m², fabbisogno a m²), la tegola marsigliese è assimilabile a quelle portoghese e olandese.

| | Coppo | Romana | Portoghese e olandese | Marsigliese |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------------------|-------------|
| Dimensione (cm) | 46x15/19* | 42x26/30* | 42x26 | 41x24 |
| Massa (kg/m ³) | 2,2 | 3,5 | 3,1 | 2,9 |
| N. pezzi al m ² | 30 | 8/9** | 14 | 14 |
| Interasse di posa (cm) | 35-38 | 32-36 | 34-35 | 34-35 |

Fig. 1.57
Valori medi delle più diffuse tipologie di elementi in laterizio per coperture.

Note:

- * il valore prima della barra è riferito alla base minore; quello dopo la barra alla base maggiore
- ** esclusi i coppi o le tegole di completamento (di coperta)

Gli elementi speciali

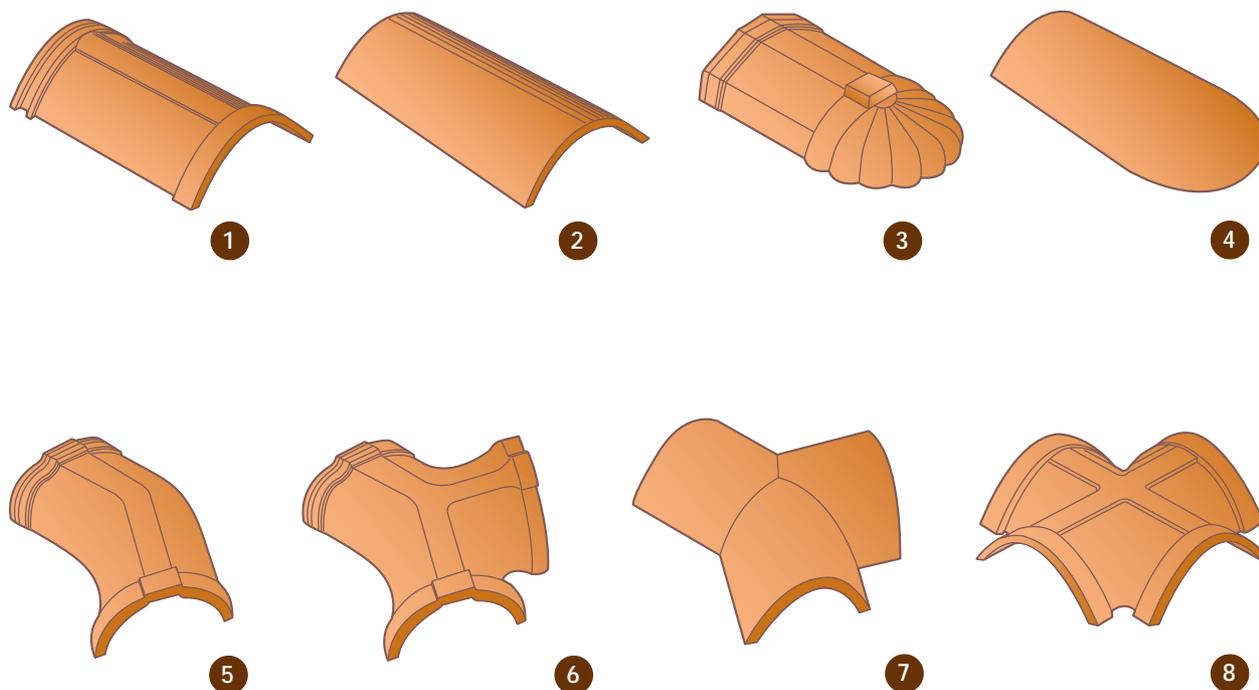
Gli *elementi speciali* sono necessari per limitare le cadute prestazionali in corrispondenza di punti critici o per risolvere specifici problemi. Già si è detto del coppo *trequarti* e della *mezza tegola* marsigliese; in più si devono almeno citare:

- *gli elementi di colmo*

Consentono la continuità di tenuta all'acqua del manto lungo le linee di displuvio orizzontali e inclinate, proteggendo l'intersezione delle falde contigue. Possono essere di tipo 'ventilato'.

Nel punto di congiunzione di *due linee* di colmo si può impiegare il *colmo a due vie*; in presenza di una linea di colmo e di due displuvi viene utilizzato il *colmo a tre vie*; infine, quando occorre raccordare quattro falde triangolari (come nei tetti 'a padiglione') si utilizza il *colmo a quattro vie*. Gli elementi terminali hanno conformazioni particolari che delimitano e rifiniscono la linea di colmo.

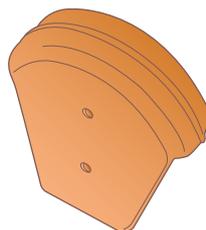
Fig. 1.58
In alto: elementi di colmo normali (1 e 2) e terminali (3 e 4); in basso: elementi di colmo a due, tre e quattro vie (da 5 a 8).



- *gli elementi di testata*

Sono impiegati in corrispondenza dei bordi della falda per rifinire le linee di colmo.

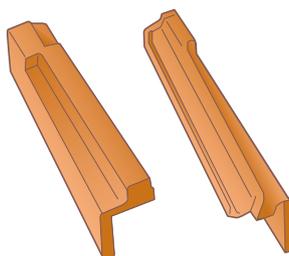
Fig. I.59
Esempio di elemento di testata.



- *i profili laterali*

Sono impiegati per rivestire i bordi laterali della falda.

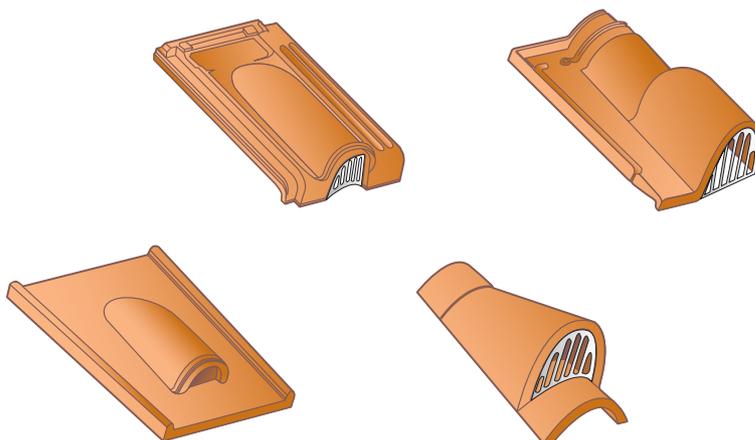
Fig. I.60
Esempi di profili laterali.



- *gli elementi di aerazione*

Vengono impiegati per migliorare la circolazione d'aria all'intradosso del manto. Non devono essere mai usati come sfiati di bagni o di caldaie, poiché, non essendo studiati per quest'uso, non sono in grado di garantire la corretta evacuazione e possono dar luogo a pericolosi ritorni.

Fig. I.61
Esempi di elementi di aerazione.



- *gli elementi fermaneve*

Ostacolano lo scivolamento verso il basso degli strati di neve ghiacciata accumulati sul tetto. L'effetto desiderato è quello di impedire la caduta di cumuli di neve ghiacciata che potrebbero arrecare danno alle persone e alle cose sottostanti, a partire dal canale di gronda.

Normalmente vengono impiegati per pendenze di falda comprese tra 20 e 60° (36÷176%).

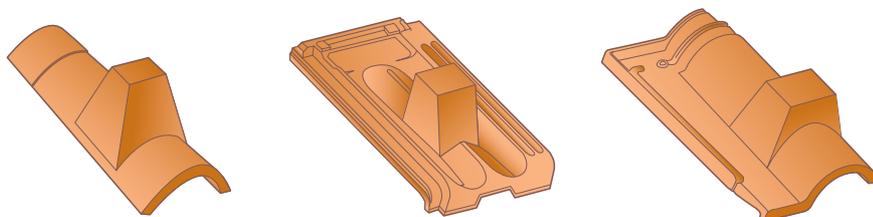


Fig. 1.62
Esempi di elementi
fermaneve.

- *tegole laterali di bordo*

Consentono il raccordo tra manto di copertura e linee di bordo della falda evitando il ricorso ad elementi di tenuta e protezione integrativi (ad esempio, scossaline metalliche).

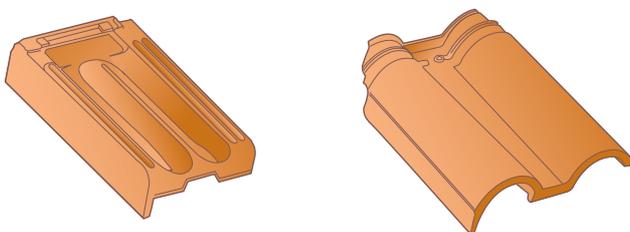


Fig. 1.63
Elementi laterali di bordo
per manto in tegole
marsigliesi (*a sinistra*) e
portoghesi (*a destra*).

- *la tegola a doppia onda*

Consente la messa in opera della tegola laterale di bordo garantendo un corretto raccordo con l'ala della tegola standard.

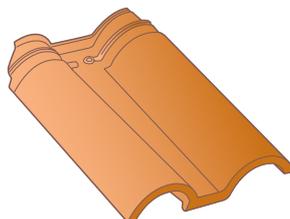


Fig. 1.64
Tegola a doppia onda per
manto in tegole portoghesi.

Gli elementi accessori

Gli *elementi accessori* si utilizzano tipicamente in corrispondenza delle soluzioni di continuità del manto.

Tra i principali elementi accessori si possono citare:

- *l'elemento base per sfiato*

Consente la fuoriuscita in copertura di dispositivi terminali di sfiato. Occorre evidenziare l'inopportunità dell'utilizzo di sfiati o comignoli in laterizio poiché questi, in presenza di fumi caldi e umidi, oppure acidi, andrebbero incontro ad un fatale processo di degrado.

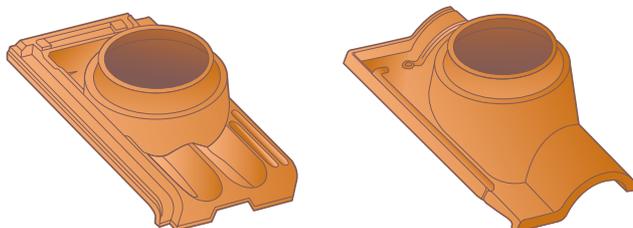
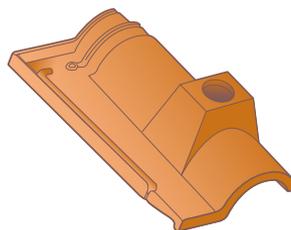


Fig. 1.65
Elementi base per sfiato per
manto in tegole marsigliesi
(*a sinistra*) e portoghesi (*a
destra*).

- *l'elemento base per antenna*

Consente l'installazione di antenne per ricezione radiotelevisive o simili.

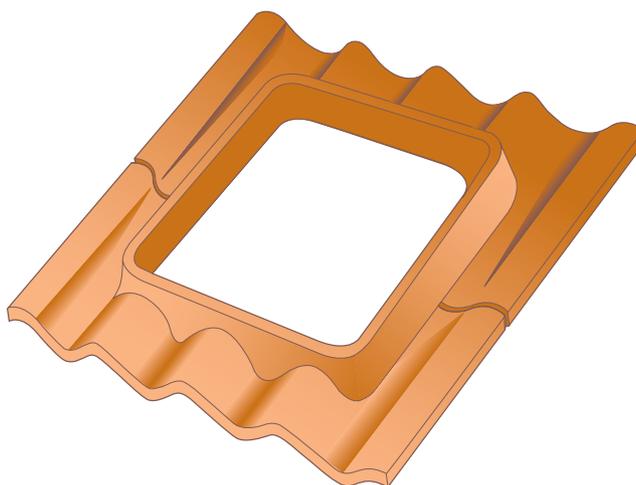
Fig. 1.66
Elemento base per antenna
per manto in tegole
portoghesi.



- *l'elemento base per camino*

Permette il passaggio della canna fumaria. Consiste in un elemento di dimensioni multiple rispetto a quelle degli elementi del manto. A causa delle sue dimensioni e delle sollecitazioni che deve sopportare, la base dell'elemento è normalmente realizzata in calcestruzzo colorato in pasta.

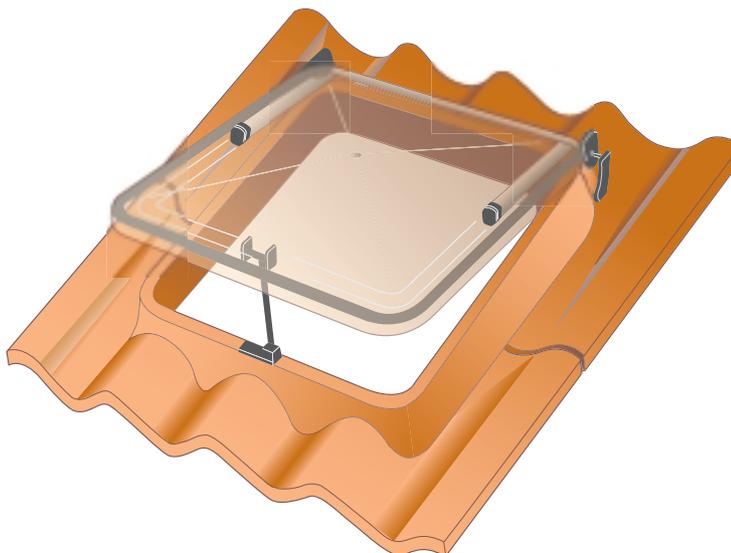
Fig. 1.67
Esempio di elemento base per
camino.



- *l'elemento base per lucernario o botola*

Permette l'illuminazione e la ventilazione del sottotetto, oltre all'accessibilità al manto. Consiste in un elemento, dotato di un lucernario, di dimensioni multiple rispetto a quelle degli elementi del manto. Anche in questo caso la base dell'elemento è, normalmente, realizzata in calcestruzzo colorato in pasta.

Fig. 1.68
Esempio di elemento base per
lucernario o botola.



Gli elementi innovativi

Attualmente il mercato propone anche alcuni *elementi innovativi* per dimensioni, morfologia dei profili, tecniche di connessione e finitura superficiale.

Tra gli *elementi innovativi* si possono citare:

- le speciali tegole che riproducono, una volta montate, l'aspetto di un tradizionale manto di copertura in coppi e che, grazie alle particolari ali che fungono da elemento di raccolta e allontanamento dell'acqua, consentono di evitare la tradizionale posa doppia (coppo di canale più coppo di coperta);
- gli elementi anticati che, grazie alle gradazioni cromatiche (marroni, nere, giallo ocra, rosse...) opportunamente miscelate ed alternate, favoriscono un più misurato inserimento delle nuove coperture nei contesti, rurali o urbani, antichi. Normalmente, i produttori forniscono gli elementi di diversa sfumatura già opportunamente mescolati nei singoli pacchi.

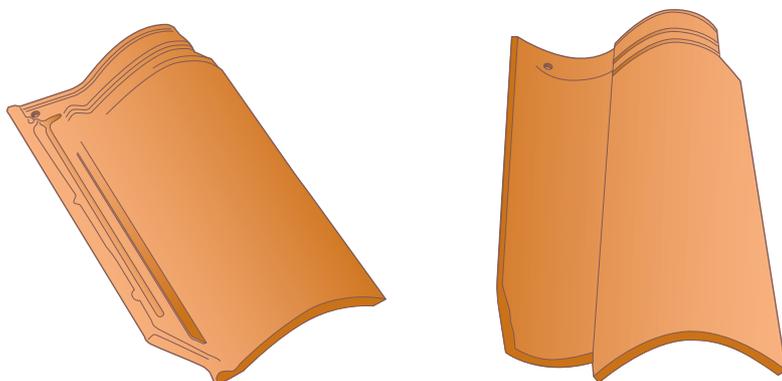


Fig. I.69
Esempi di elementi innovativi con aletta ad incastro che consentono di coniugare l'aspetto di un manto di copertura in coppi con la semplicità esecutiva di un manto di copertura in tegole.



Fig. I.70
Elementi innovativi con strato di finitura anticato.

