

Caldo d'inverno e fresco d'estate

Comfort e risparmio energetico sono esigenze che il progetto del tetto deve rispettare, tenendo conto delle stagioni e del mutare delle condizioni climatiche. Il problema estivo non è meno rilevante di quello invernale, ed entrambi si accentuano con l'uso, sempre più frequente, dello spazio sottotetto come luogo abitativo

Un tetto per difendersi dal freddo e dal caldo

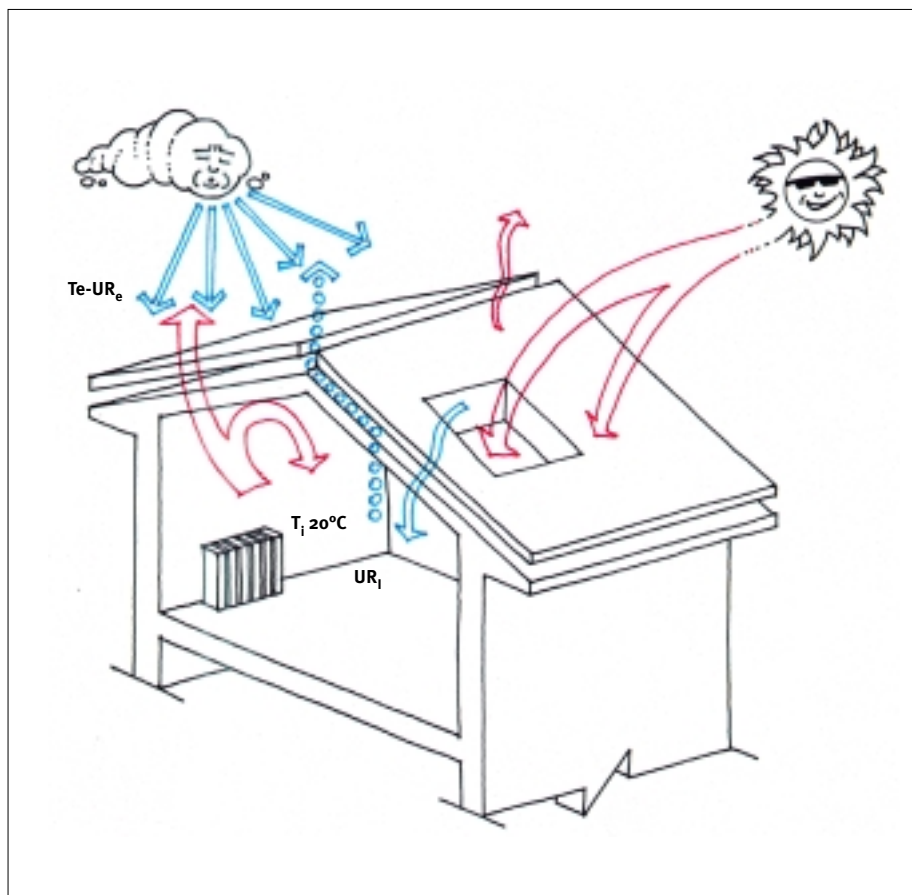
Il tetto deve contribuire a mantenere, negli ambienti che protegge, condizioni di comfort termoisolometrico sia nel periodo invernale che in quello estivo. Gli scambi termici uomo-ambiente, come è noto, sono influenzati, negli spazi chiusi, dalle temperature delle superfici dell'involucro rivolte verso l'interno, dalla temperatura dell'aria, dall'umidità relativa e dalla ventilazione dell'ambiente. Poiché le condizioni di comfort devono essere raggiunte risparmiando energia, sia per motivi economici che di limitazione dell'inquinamento ambientale, le dispersioni termiche attraverso il tetto, in periodo invernale, devono essere contenute e il flusso termico entrante, in periodo estivo, deve essere il più possibile ridotto, così da limitare il contributo dell'impianto di riscaldamento e il ricorso a impianti di climatizzazione.

Le condizioni termoisolometriche va-

riano nel tempo, durante le ventiquattro ore e nelle diverse stagioni dell'anno. I dati climatici locali (in particolare irraggiamento solare e pressione del vento) influenzano diversamente le superfici dell'involucro a seconda dell'orientamento e della inclinazione. Nel bilancio energetico di un edificio e di un alloggio, il ruolo assolto dalla copertura è tanto più importante quanto maggiore è la incidenza della sua superficie rispetto alla superficie complessiva delle chiusure, rapportata al volume dell'edificio o dell'alloggio. Negli edifici ad un piano la superficie della copertura arriva ad incidere più del 60%; negli alloggi in mansarda si raggiungono valori quasi sempre superiori al 70%. Questo vuol dire che ogni intervento volto a migliorare le interazioni fra copertura e clima, in relazione ad esigenze di comfort e ad esigenze economiche, risulta, nel caso di edifici bassi e di alloggi sottotetto, particolarmente efficace.

Abitare il sottotetto Il fascino di uno spazio un po' separato, un po' più lontano dagli altri, un po' più vicino al cielo, il desiderio di sfruttare tutti i volumi abitabili portano spesso, nella nuova costruzione come nella riqualificazione, ad utilizzare lo spazio sotto le falde inclinate dei tetti, per abitarvi. Negli ultimi anni i regolamenti edilizi hanno preso in considerazione questa tendenza, normando l'abitabilità dello spazio sottotetto. Il primo segnale è stato dato da una legge regionale della Lombardia, del 1996⁽¹⁾, consentendo il recupero dei sottotetti anche in deroga alle norme urbanistiche, sempre nel rispetto, tuttavia, dei regolamenti di igiene e dei vincoli architettonici paesistico-ambientali. I requisiti igienico-sanitari per l'abitabilità dei sottotetti riguardano l'altezza minima, l'altezza libera interna e la superficie aero-illuminante in rapporto alla superficie dello spazio abitabile. L'altezza libera dei sottotetti non piani è conteggiata come media delle altezze riferite

alle rispettive superfici di influenza; i valori ammessi sono per lo più gli stessi previsti per i locali non sottotetto (2,70 m per l'abitabilità permanente, 2,40 m per quella temporanea), mentre l'altezza minima può variare, nei diversi regolamenti edilizi, da 1,50 (Milano) a 1,80 m (Firenze). Il rapporto fra superficie illuminante e superficie della zona abitabile può scendere, nel caso di lucernari o finestre in falda, a 1/12, contro il valore di 1/8 generalmente indicato per le finestre in facciata. Il motivo principale di tale ammissibilità è quello di una presumibile assenza di ostruzioni nell'angolo di visuale della volta celeste. Eccezioni sono fatte, per motivate ragioni, nel caso di interventi su edifici esistenti. Conseguenza diretta dell'uso del sottotetto a fini abitativi è il fatto che la relativa copertura deve sempre più assolvere funzioni proprie di parete esterna di un ambiente, oltre a quelle di protezione dell'edificio dagli agenti atmosferici.



1. Interazione fra ambiente esterno e ambiente interno in inverno attraverso la copertura.

Comfort e risparmio energetico in periodo invernale

In periodo invernale, il risparmio energetico è regolato dalla legge 10 del 9 gennaio 1991 che adotta il criterio del contenimento del fabbisogno energetico del sistema edificio-impianto: l'edificio disperde calore per trasmissione attraverso l'involucro e per ventilazione, in relazione alle condizioni climatiche, ma acquista calore per apporti gratuiti sia interni, sia dovuti all'irraggiamento solare, in relazione alla sua inerzia termica; l'impianto fornisce energia termica all'ambiente abitato in relazione alla sua potenza e al suo rendimento (fig. 1). La legge prevede la emanazione di decreti attuativi (art. 4, commi 1 e 2) e, in particolare, di prescrizioni relative alle caratteristiche termoigrometriche degli edifici. Dopo un faticoso percorso redazionale si è giunti alla versione definitiva dei relativi testi i cui contenuti innovativi più significativi riguardano:

- i coefficienti di dispersione termica

massimi ammessi degli edifici (Cd), che sono stati abbassati di una quantità variabile dal 12 al 17% rispetto ai valori stabiliti nel precedente decreto del 1986;

- la trasmittanza delle pareti verticali, che viene assunta nei calcoli con valori che sono corretti (in diminuzione) in base ad un coefficiente che tiene conto della massa termica efficace della parete, riconoscendo così l'effetto positivo della inerzia termica sul benessere abitativo e sul risparmio energetico, dal momento che il regime di riscaldamento degli ambienti è di tipo intermittente;⁽²⁾
- i valori massimi di trasmittanza, in funzione della massa, stabiliti per le coperture su spazi abitati a carattere residenziale (abitazioni, alberghi, scuole, ospedali, uffici) volti a controllare le temperature superficiali interne, ai fini del comfort, oltre che le dispersioni termiche complessive (tab. 1).⁽³⁾

Per il calcolo della resistenza termica (inverso della trasmittanza) e della

massa termica efficace delle coperture, si dovrà tener conto degli strati utili e della presenza di ponti termici, in particolare nel caso di strati isolanti interposti in strutture di copertura di tipo discontinuo. Ai fini del calcolo della massa termica efficace, sembra pertinente seguire gli stessi criteri che si adottano per le pareti verticali, considerando efficace, ai fini dell'inerzia termica, solo la porzione di copertura sottostante lo strato di isolamento termico. Per il calcolo della resistenza termica si possono citare le indicazioni della norma DIN 4108 "Isolamento termico degli edifici", che non considerano, nei tetti ventilati, la resistenza termica degli strati superiori a quello di ventilazione, ma attribuiscono allo stesso strato di ventilazione una resistenza termica superficiale pari a 0,08 m²K/W per tenere comunque conto del contributo apportato dal manto sovrastante. Sempre secondo la norma DIN citata, la resistenza termica degli ele-

menti della struttura in legno viene calcolata, ai fine della valutazione di una trasmittanza globale media, solo per lo spessore a contatto con un materiale isolante (fig. 2).

Nelle coperture, in particolare in quelle con struttura discontinua e bassa massa frontale, il ruolo dello strato isolante (tipo di materiale e posizione) è, pertanto, importante.

Il fatto che i valori limite della trasmittanza termica siano correlati con la massa termica frontale della copertura porta a preferire soluzioni che presentino l'isolamento all'estradosso della struttura del solaio e soluzioni pesanti a solaio continuo, rispetto alle soluzioni in carpenteria o comunque leggere. Soprattutto nel caso di interventi di riqualificazione di tetti esistenti, è sempre preferibile rimuovere il manto per posizionarvi al di sotto lo strato di isolante termico, anziché sistemarlo in corrispondenza dall'intradosso della struttura portante, sopra un controsoffitto.

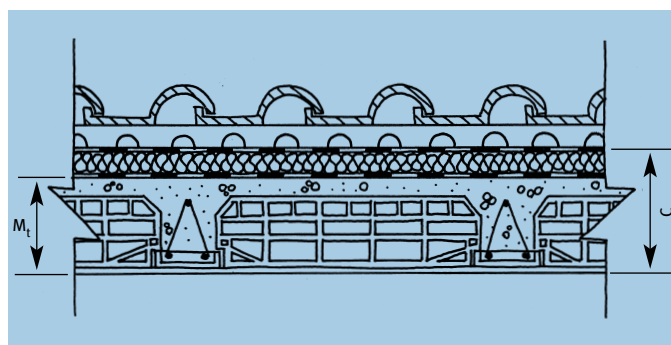
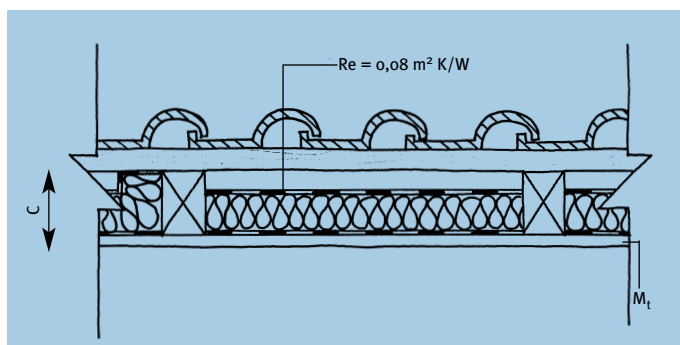
La posizione dello strato isolante all'estradosso della struttura di supporto della copertura ha anche il vantaggio di limitare la presenza di ponti termici, in corrispondenza dei quali si possono creare zone dove la temperatura super-

ficiale interna o interstiziale può abbassarsi, fino al punto di originare fenomeni di condensa e conseguenti deterioramenti dei diversi strati.

Controllo dei fenomeni di condensa

In periodo invernale, attraverso la copertura avviene un passaggio di vapore d'acqua dovuto alla maggiore pressione di vapore nell'aria calda interna, rispetto a quella fredda esterna. Perché non si verifichino fenomeni di condensa sulla superficie della copertura rivolta verso l'interno occorre che questa non raggiunga una temperatura superficiale inferiore a quella corrispondente al punto di rugiada, relativo alle condizioni termoigrometriche dell'ambiente interno.⁽⁴⁾ Con le trasmittanze massime ammesse dalla normativa questo rischio è evitato e il problema di accumuli di acqua di condensa può riguardare piuttosto superfici interstiziali, nello spessore della copertura. Il rischio di condensa interstiziale è tanto maggiore quanto più l'andamento delle temperature, attraverso gli strati di copertura, presenta dei bruschi sbalzi e se sotto il manto è stato posto uno strato impermeabile sopra a quello isolante. La realizza-

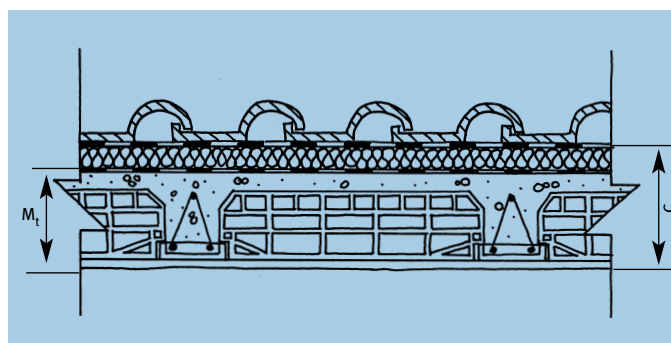
zione di una barriera o freno al vapore, posta sulla faccia dell'isolante rivolta verso l'interno, serve a ridurre efficacemente la pressione del vapore che trasmigra verso le superfici esterne più fredde. La barriera al vapore può essere anche frapposta fra due pannelli isolanti, purché la resistenza termica della porzione di copertura sotto la barriera al vapore non superi il 20% della resistenza termica complessiva. Tuttavia, poiché è difficile realizzare in opera barriere al vapore continue e a tenuta in ogni punto, e poiché può essere preferibile, in ambienti nei quali l'umidità relativa interna è contenuta, optare per soluzioni di copertura permeabili al vapore, uno strato di ventilazione superiormente allo strato isolante costituisce una utile soluzione atta ad evitare la formazione di condensa sotto il manto della copertura. In climi particolarmente freddi, come quello della Germania, la normativa⁽⁵⁾ ammette che, per i tetti ventilati, non sia necessaria la verifica dimostrativa dell'assenza di rischio di condensa, purché ci si attenga a determinate indicazioni relative alla resistenza al vapore della barriera, in funzione della lunghezza

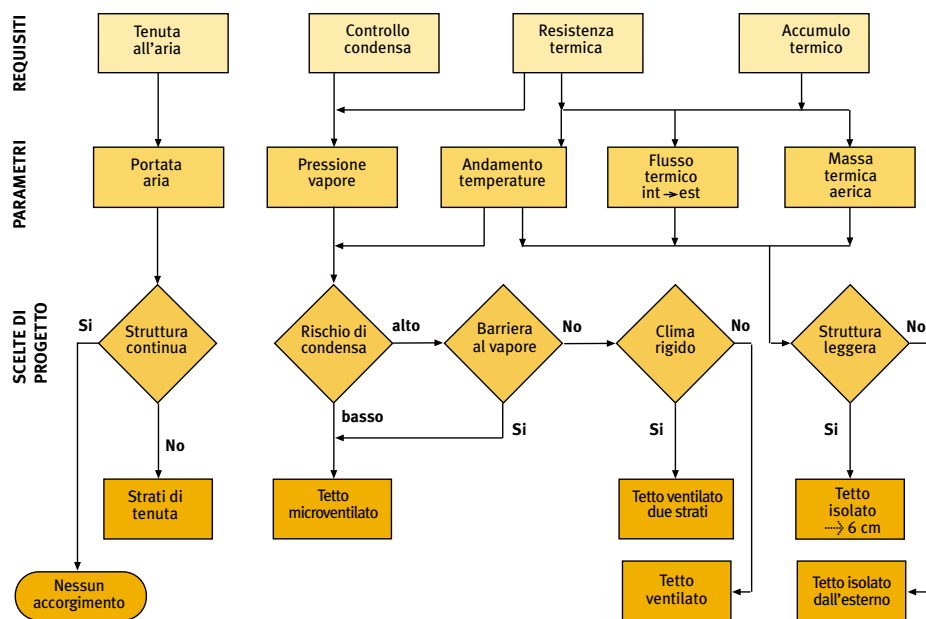


1 Trasmittanza massima ammessa per le coperture su spazi abitativi in base al decreto di attuazione della legge 10/91 art. 4 comm. 1 e 2.

massa termica frontale (kg/m²)	fino a 100	200	300	400 e oltre
U massimo W/m² °C	0,40	0,55	0,63	0,70

2. Criteri di calcolo della trasmittanza termica e della massa termica frontale nelle coperture con e senza strati ventilati.





3. Processo delle decisioni di progettazione di una copertura a falde con riferimento ai requisiti relativi al periodo invernale.

della falda, e al dimensionamento dello spazio di ventilazione, in funzione della pendenza del tetto (tab.2).⁽⁶⁾ Ai fini della protezione da condensa, basta un'altezza di ventilazione di 2 cm per un tetto di pendenza normale; le maggiori altezze, spesso adottate, tengono conto sia delle tolleranze di fabbricazione e di posa dell'isolante che del fatto che le resistenze di attrito al flusso d'aria nella intercapedine sono minori se aumenta lo spessore dello strato d'aria. Bisogna conseguentemente dimensionare le prese d'aria alla linea di gronda e le uscite al colmo, perché i restringimenti provocano un aumento della resistenza al flusso d'aria, tanto maggiore quanto maggiore è la differenza rispetto allo spessore della intercapedine. Il buon funzionamento delle intercapedini ventilate è inoltre molto influenzato dalle condizioni climatiche. Alcune ricerche⁽⁷⁾ hanno dimostrato sperimentalmente che la ventilazione sotto la falda dei tetti inclinati può, in alcuni casi, trasportare aria umida e tiepida nelle intercapedini irraggiate dal sole; questa poi condensa nelle zone più fredde delle falde a nord, sotto il manto e sulla struttura di supporto

dello stesso. Per questo motivo, è sempre preferibile un manto di copertura relativamente permeabile all'aria, come sono i manti in elementi di cotto, capace di smaltire verso l'esterno l'umidità eventualmente depositata al suo intradosso.

Le decisioni da prendere nel progetto delle prestazioni del tetto in inverno Controllo delle dispersioni termiche in regime di riscaldamento intermittente e sfruttamento di apporti gratuiti dovuti all'irraggiamento solare (quindi resistenza termica e capacità di accumulo termico della copertura), limitazione del rischio di condensa (quindi controllo dell'anda-

mento delle temperature e della pressione del vapore attraverso la copertura), assenza di infiltrazioni d'aria fredda dall'esterno (quindi tenuta della copertura), costituiscono i requisiti che devono orientare le scelte di progetto, tenuto conto delle condizioni climatiche esterne e delle condizioni da assicurare all'interno degli spazi abitati.

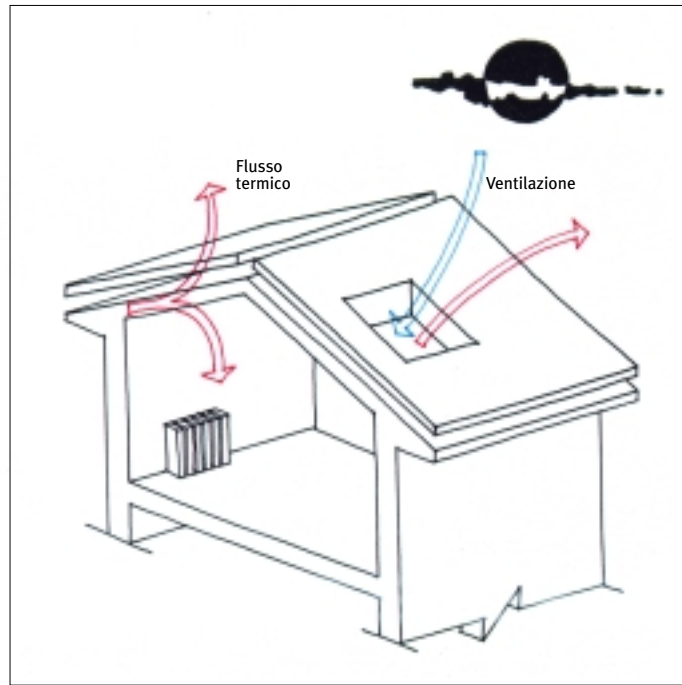
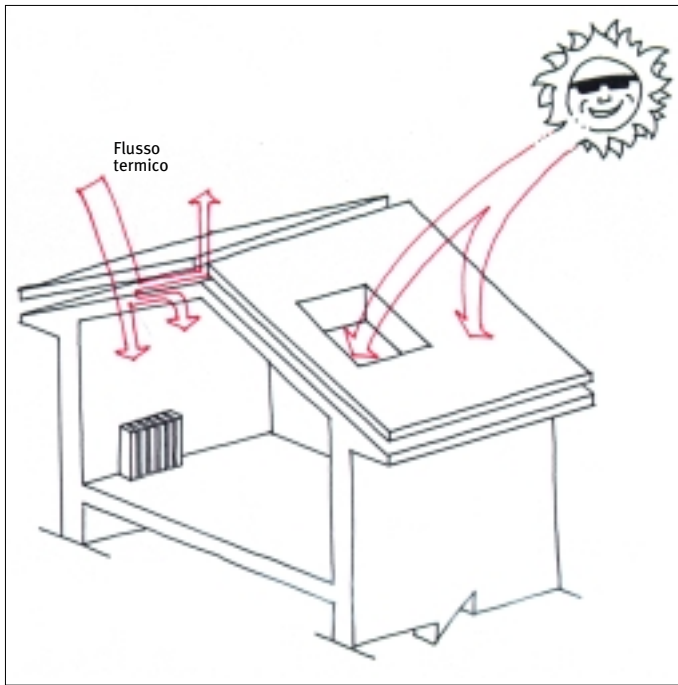
Le scelte relative al pacchetto degli strati che realizzano la copertura devono essere integrate con quelle relative alla soluzione adottata per la struttura portante. Una struttura discontinua, ad esempio a carpenteria in legno o metallo, non può dare un significativo contributo all'inerzia termica e spesso presenta più facilmente zone di ponte termico.

Altri criteri, che non sono quelli derivanti dal rispetto dei requisiti di comfort termico in periodo invernale, possono comunque portare a preferire questa soluzione strutturale (leggerezza, rapidità di esecuzione, fattori estetici o condizioni preesistenti); ma in questo caso nessuna funzione integrativa al ruolo della copertura, rispetto ai requisiti di comfort termico, può essere attribuita alla struttura, come invece avviene se questa è pesante e continua.

In definitiva, gli aspetti discriminanti, fra le diverse soluzioni adottabili per il tetto, riguardano la posizione e il dimensionamento dello strato isolante, di una eventuale barriera al vapore e dello strato di ventilazione (fig. 3).

2 Caratteristiche dei tetti ventilati per i quali è ammesso di tralasciare la verifica del rischio di condensa (DIN 4108 p. 3° "Isolamento dall'umidità in relazione al clima").

pendenza	sezione di ventilazione in funzione della sup. falda		sezione vert. libera sopra lo strato isolante	lunghezza di falda	prestazioni dello schermo al vapore μs (m) minimo
	linea di gronda	linea di colmo			
≥ 18%	≥ 2‰ della sup. falda e minimo 200 cm ² per m di gronda	≥ 5‰ della sup. tot. del tetto	≥ 2 cm e minimo 200 cm ² /m	< 10 m ≤ 15 m > 15 m	2 m 5 m 10 m
< 18%	≥ 2‰ della sup. tot. del tetto	-	≥ 5 cm	-	10 m

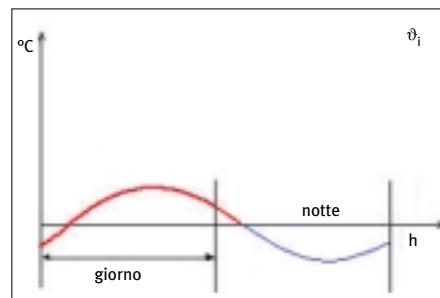
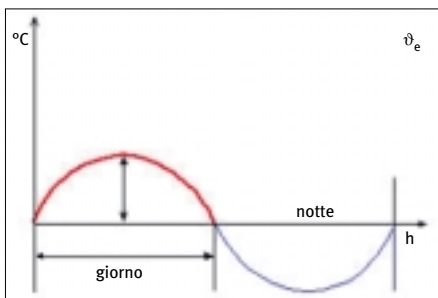


4. Interazione fra ambiente esterno e ambiente interno in estate (giorno e notte) attraverso la copertura.

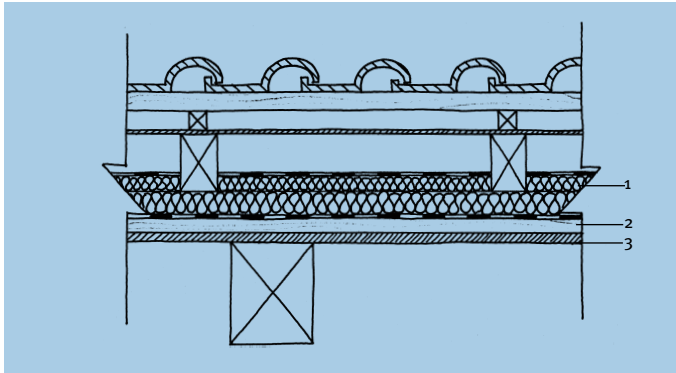
Comfort e risparmio energetico in estate L'uso di ambienti sottotetto a fini abitativi, nel nostro clima, pone anche problemi di comfort termico nelle stagioni estive, quando le temperature esterne raggiungono normalmente i 32-33°C. La temperatura dell'aria interna, corrispondente a condizioni di comfort per le normali attività residenziali, dovrebbe essere pari a 23-26°C; inoltre la superficie di intradosso delle falde del tetto non deve raggiungere temperature superiori a 30°C per non provocare disagio per l'effetto di irraggiamento termico. Tutto ciò dovrebbe essere assicurato senza il ricorso a sistemi meccanici di climatizzazione dell'ambiente, sia per motivi di risparmio energetico che di mag-

giore salubrità dell'aria. Il flusso termico, che entra all'interno dalla copertura, è dovuto alla maggiore temperatura dell'aria esterna e all'irraggiamento solare sul tetto, funzione della latitudine, della esposizione e della inclinazione delle falde. Il clima mediterraneo, in particolare, è caratterizzato da notevoli variazioni della temperatura durante l'arco delle 24 ore, conseguenza del variare dell'irraggiamento del sole (figg. 4, 5). Per valutare e controllare le condizioni termiche di uno spazio abitativo in periodo estivo è fondamentale tenere presente queste oscillazioni. La temperatura esterna varia con un andamento che oscilla fra un valore massimo nelle ore centrali del giorno e un valore minimo nel

mezzo della notte: l'onda termica che attraversa le pareti di chiusura dell'edificio, e quindi anche della copertura, subisce, durante il passaggio, un'attenuazione dell'ampiezza e uno sfasamento di tempo. L'attenuazione è misurata dal rapporto fra la massima temperatura sulla superficie esterna della parete, o della copertura, e la massima temperatura sulla superficie interna. Lo sfasamento è il tempo, misurato in ore, che intercorre fra la massima temperatura all'esterno e la massima temperatura all'interno. Attenuazione e sfasamento, insieme, caratterizzano la capacità di accumulo termico della parete o della copertura e ne condizionano la dinamica termica; esse sono funzione della massa termica frontale e della resistenza termica, da valutarsi come già detto nel caso delle prestazioni riferite al periodo invernale. Queste grandezze influiscono sulle condizioni termiche dell'ambiente interno, alle quali concorre tuttavia anche la capacità di accumulo, ovvero la inerzia termica, delle altre pareti che delimitano il locale. Lo sfasamento dell'onda termica è tanto più necessario quanto minore è l'attenuazione che la copertura è capace di ottenere. Il valore dello sfasamento deve



5. Andamento sulle 24 ore delle temperature sulla superficie esterna del tetto e su quella interna, effetto dello sfasamento e dell'attenuazione dell'onda termica.



3 Prestazioni di sfasamento e attenuazione dell'onda termica di coperture a falde ventilate con struttura in legno.

	composizione	spessore (mm)	sfasamento (h)	attenuazione (θ_e/θ_i)
soluzione a	1 - lana di roccia 3 - rivestimento	120 22	5,9	5
soluzione b	1 - lana di roccia 2 - fibre di legno 3 - rivestimento	100 30 22	7	9
soluzione c	1 - lana di roccia 2 - fibre di legno 3 - rivestimento	100 40 22	8,2	19,8

permettere di avere i massimi di temperatura sull'intradosso delle falde in ore nelle quali il locale non è più utilizzato, se ad esempio si tratta di scuole o uffici, o in ore notturne nelle quali, con l'apertura delle finestre, l'aria interna viene raffrescata per ventilazione. Così uno sfasamento di 6 ore è idoneo per ambienti sottotetto utilizzati solo fino alle 18, mentre per ambienti destinati a residenze è preferibile uno sfasamento maggiore, dell'ordine di 10 ore.

Soprattutto per coperture leggere, caratterizzate da basse attenuazioni e sfasamenti (tab. 3), ma, in ogni modo, nei climi come il nostro, anche per coperture pesanti, alla riduzione del flusso termico entrante assicura un contributo rilevante la presenza di uno strato di ventilazione dell'aria sotto il manto, in grado di asportare una considerevole quantità del calore attraverso il flusso d'aria che circola nel suo interno.

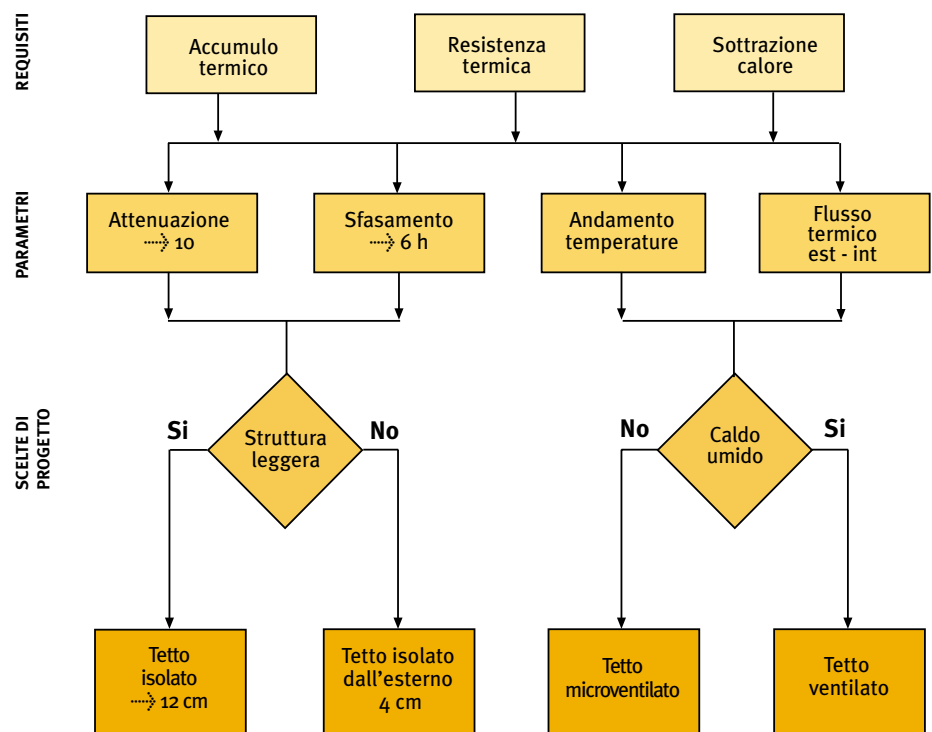
Le decisioni da prendere nel progetto delle prestazioni del tetto in estate

Accumulo termico, resistenza termica e capacità di riduzione del calore entrante sono i requisiti che orientano le scelte della soluzione tecnica di copertura migliore per il comfort estivo. I parametri prestazionali da specificare, in rapporto alle condizioni climatiche e alle condizioni interne da assicurare, riguardano lo sfasamento e l'attenuazione dell'onda termica entrante, la riduzione in percentuale del flusso di calore entrante e la temperatura massima sulle superfici di intradosso. Anche in questo caso, le scelte progettuali devono tener conto del

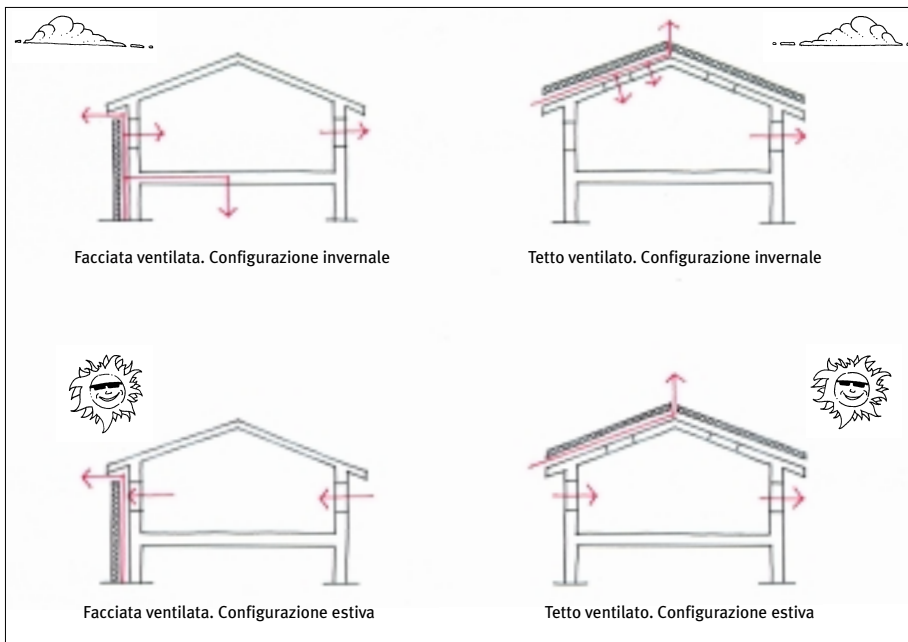
tipo di struttura portante del tetto e conseguentemente dimensionare e posizionare lo strato di isolamento termico e di ventilazione. Per sfruttare il raffrescamento dell'aria in periodo notturno si dovranno considerare le modalità di utilizzo dell'ambiente e la possibilità di aerazione dei locali sottotetto durante la notte (fig. 6).

Il tetto ventilato L'adozione di uno strato di ventilazione sotto il manto di una copertura a falde risponde, dunque, a diverse funzioni connesse al suo comportamento in inverno e in estate. Il ricorso a strati di ventilazione nell'involucro di un edificio, e in particolare nelle coperture, appartiene alla tradizione, ma è

certo in questi ultimi anni che se ne è riproposto l'interesse. È però bene capire quali sono, almeno nelle soluzioni oggi adottate, le prestazioni del tetto ventilato, distinguendo fra microventilazione e ventilazione propriamente detta, e quelle della facciata ventilata a doppio involucro e della facciata a intercapedine ventilata (fig. 7). In quest'ultima la ventilazione dell'intercapedine è volta a controllare i ristagni di umidità penetrata per effetto della pioggia e la formazione di condensa interstiziale; la sua funzione è, pertanto, prevalentemente invernale. La facciata a doppio involucro ventilato è invece, prima di tutto, un sistema passivo di risparmio energetico in periodo invernale e ha



6. Processo delle decisioni di progettazione di una copertura a falde con riferimento ai requisiti relativi al periodo estivo.



7. Confronto fra configurazioni funzionali di facciate ventilate a doppio involucro e tetti ventilati.

avuto origine in paesi a clima rigido. Essa funziona come un collettore solare e permette di ventilare naturalmente gli ambienti interni con aria a temperatura maggiore di quella esterna. In periodo estivo e nelle stagioni intermedie la facciata a doppio involucro deve potere assumere una configurazione diversa, attraverso sistemi dinamici di schermo solare e di apertura parziale dell'involucro esterno. La immissione di aria nei locali deve avvenire da un fronte non affacciato sulla intercapedine del doppio involucro (un fronte a nord ad esempio), mentre la espulsione di aria nell'intercapedine può servire ad attivare un effetto camino che smaltisce l'aria calda degli ambienti. Il tetto ventilato (figg. 8 e 9) ha in inverno la funzione di evitare rischi di condensa interstiziale e ristagni di umidità; funziona quindi in modo più simile alla facciata a intercapedine ventilata e, in questo caso, basta uno spessore di ventilazione ridotto (microventilazione). Se si volesse pensare anche ad un suo funzionamento come dispositivo solare passivo in periodo invernale, tenuto conto del fatto che i tetti a falde rappresentano le superfici capaci di offrire i migliori risultati in termini di captazione dell'energia solare nel nostro clima, si potrebbe immaginare un sistema di copertura che

preveda la immissione di aria calda, prelevata dallo strato di ventilazione, nei locali sottotetto per la loro aerazione. Il tetto ventilato ha invece, nei nostri climi, una importante funzione in periodo estivo permettendo di ridurre il flusso di calore in entrata dovuto ai raggi solari incidenti sul tetto. La intercapedine di ventilazione deve essere opportunamente dimensionata e comunque avere spessori compresi fra i 4 e i 10 cm. La efficacia della ventilazione dipende, a parità di sezione, dalla velocità della corrente d'aria, a sua volta funzione delle differenze di pressione originate dal vento a livello delle entrate poste in corrispondenza della linea di gronda e delle uscite al colmo e delle differenze, sempre fra queste due zone, della temperatura dell'aria. Il moto dell'aria viene invece rallentato nello strato di ventilazione dalle resistenze di attrito sulle superfici e dalle strettoie nelle prese alla gronda e nelle uscite al colmo. A causa di questi fattori, la velocità dell'aria può essere molto mutevole. Il vento varia la sua direzione e pressione: talvolta può essere assente, tal'altra può provocare addirittura una inversione del flusso dell'aria dal colmo alla gronda. La ventilazione deve affidarsi quindi principalmente alla spinta ascensionale termica dovuta al surriscaldamento

dell'aria nell'intercapedine rispetto all'aria esterna in ingresso. Più il tetto è inclinato maggiore è la spinta ascensionale termica e quindi l'effetto di riduzione del flusso termico entrante nell'edificio per asportazione di una parte di esso attraverso la ventilazione. Lo strato di ventilazione può essere costituito da due intercapedini separate da uno strato di sottocopertura.

Dati sperimentali e modelli di calcolo⁽⁸⁾ hanno permesso di verificare che, supponendo un irraggiamento sul tetto pari a 900 W/m^2 , già con una microventilazione sotto manto di 4 cm e per pendenze ordinarie (dell'ordine del 30-35%), si può avere, in periodo estivo, una riduzione percentuale del flusso termico entrante intorno al 20% e raggiungere valori del 35%, per pendenze dell'ordine del 50% pur con irraggiamenti sensibilmente inferiori (500 W/m^2).

Risultati migliori si ottengono con spessori di ventilazione più rilevanti e il funzionamento sembra essere più efficace se l'intercapedine è realizzata in due strati, ciascuno di almeno 4 cm, separati da una sottocopertura.

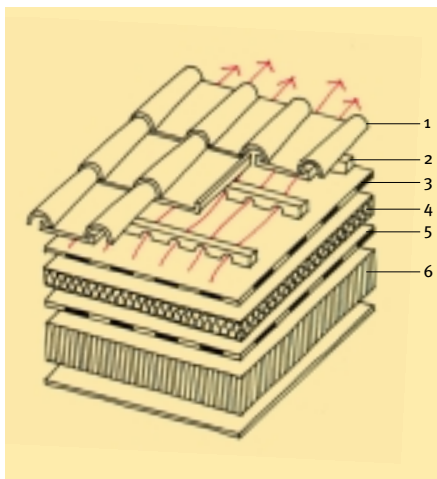
La doppia intercapedine assicura un migliore comportamento anche in periodo invernale, sia rispetto alla resistenza termica superficiale in corrispondenza dello strato di ventilazione, sia rispetto al rischio di condensa. In presenza di doppia intercapedine, infatti, non è necessario uno strato impermeabile direttamente sopra all'isolante e quindi si può, con minori rischi, adottare una soluzione di copertura permeabile al vapore.

Particolare attenzione deve essere posta alla realizzazione delle prese d'aria in ingresso e in uscita, tenuto conto di altri importanti aspetti funzionali e costruttivi: ancoraggio del manto sulla linea di gronda, adozione di sistemi per evitare che sotto il manto si annidino uccelli ed insetti, corretta realizzazione dello sporto di gronda. Il dimensionamento delle sezioni di ingresso e uscita del flusso d'aria è funzione della pendenza e della superficie delle falde da ventilare e dello spessore libero della intercapedine ventilata.

Le aperture in ingresso e in uscita dovrebbero essere il più possibile continue e presentare ciascuna una superficie almeno uguale alla metà della sezione della lama d'aria che servono; per tenere conto delle ostruzioni rappresentate dalle griglie parapasseri e insetti, si raccomanda tuttavia, in genere, di avere aperture di superficie uguale alla sezione della lama d'aria.

Soluzioni tecniche conformi Nelle figg. 10÷13 sono rappresentate quattro soluzioni di tetti a falde, con diversi tipi di manto in cotto, pendenza 35% e isolamento all'estradosso della struttura portante. Le prime tre hanno un solaio continuo in laterocemento e presentano diverse soluzioni per lo strato di ventilazione: ventilazione a doppia intercapedine con una sottocopertura costituita da tavelloni; ventilazione a intercapedine unica; microventilazione. La quarta soluzione ha la struttura in legno ed è isolata sopra il tavellonato e microventilata.

Per ogni soluzione sono rappresentate le sezioni trasversali, in corrispondenza della linea di gronda e del colmo, e la sezione longitudinale al timpano. Sono stati adottati gli accorgimenti necessari a realizzare sporti sulle facciate e riduzione dei ponti termici. Per ogni soluzione sono state calcolate:⁽⁹⁾ la massa termica frontale e la trasmittanza termica, con i criteri precedentemente esposti; la temperatura superficiale all'intradosso della falda in presenza di una temperatura esterna dell'aria pari a -2°C; il rischio di condensa con temperatura esterna di -2°C e umidità relativa esterna pari a 90% e con temperatura interna di 20°C e umidità relativa interna pari a 50%. La riduzione del flusso termico entrante in periodo estivo è stata valutata in termini percentuali sul flusso di calore entrante, tenute fisse le condizioni al contorno, in particolare ipotizzando un irraggiamento sul tetto pari a 900 W/m². I calcoli sono stati eseguiti con la formula del camino per il tiraggio e, per il calore asportato, assimilando il tetto ventilato ad un collettore solare ad aria. ¶



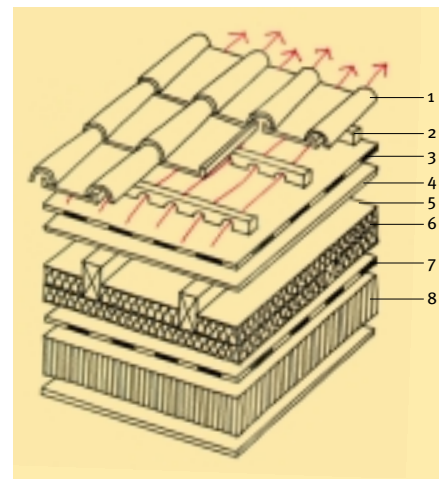
8. Stratificazione di una soluzione di tetto microventilato.

Legenda:

1. manto
2. microventilazione
3. impermeabilizzazione
4. isolante termico
5. barriera al vapore
6. struttura

Note

1. Legge Regionale Lombardia 15.7.1996. Si veda anche J.M. Piaggio, *Il recupero dei sottotetti*, Costruire in Laterizio, n. 59 settembre-ottobre 1997, pp.370- 379.
2. Per massa termica efficace si intende la massa frontale, o massa areica, della porzione di parete rivolta verso l'interno rispetto ad un possibile strato isolante o la massa frontale pari al 50% della massa della parete, escluso intonaco, nel caso di strutture monostrato. Il coefficiente correttivo permette di avere trasmittanze fino al 14% inferiori nel caso di pareti aventi massa termica pari o superiore a 200 kg/m², in zone climatiche A, B, C. e ridotte fino al 10% per lo stesso tipo di chiusure, in zone climatiche D, E, F. Inoltre, per non penalizzare le pareti di rilevante massa, e quindi per lo più di rilevante spessore, le nuove norme indicano che la porzione di una parete di chiusura oltre lo spessore di 30 cm, e per un valore massimo in spessore di 10 cm, è da considerarsi volume tecnico.
3. I valori di trasmittanza termica massima ammessi, per le coperture su spazi abitati, dalle nuove disposizioni, si allineano con quelli di altri Paesi, in particolare per le soluzioni di copertura a struttura leggera.
4. Per T_i pari a 20°C e UR_i 50% la temperatura di rugiada è pari a 9,3°C.
5. DIN 4108 "Isolamento termico negli edifici" parte 3^a "Protezione dall'umidità a seconda del clima; esigenze e raccomandazioni per il progetto e la realizzazione".
6. La resistenza al vapore è funzione del



9. Stratificazione di una soluzione di tetto ventilato a doppia intercapedine.

Legenda:

1. manto
2. microventilazione
3. impermeabilizzazione
4. sottocopertura
5. ventilazione
6. isolante termico
7. barriera al vapore (eventuale)
8. struttura

materiale e dello spessore. Si possono utilizzare fogli di alluminio spessi almeno 0,05 mm, guaine bituminose di 4 mm, fogli di polietilene di 0,2 mm. I giunti fra i fogli devono essere sigillati e non si devono forare in particolare per fissare le barriere a listelli e correnti di legno nelle coperture a struttura discontinua.

7. H. Kunzel, Fraunhofer, Istituto per la Fisica nelle Costruzioni.

8. Si vedano gli studi condotti dal prof. G. Rossi dell'IUAV di Venezia e quanto riportato nel presente articolo, in base ai calcoli effettuati, per la valutazione dei livelli prestazionali delle soluzioni conformi delle figg. da 10 a 13.

9. I calcoli delle prestazioni delle soluzioni conformi sono stati condotti dal Prof. G. Cellai del Dipartimento PMPE dell'Università di Firenze, per una falda larga 1 m, lunga 5 m, con inclinazione di 19° (35%). Sono state fatte le seguenti ipotesi: insolazione a 44° latitudine nord pari a 900 W/m²; effetti del vento ai fini della portata dell'aria nelle intercapedini trascurabili; effetto camino dovuto alla differenza di temperatura dell'aria in ingresso in gronda e in uscita al colmo; attrito nelle intercapedini dedotto da dati sperimentali. Le valutazioni sul calore asportato sono state fatte ipotizzando per analogia fisica il comportamento della falda come un collettore solare ad aria a tiraggio naturale senza copertura trasparente.

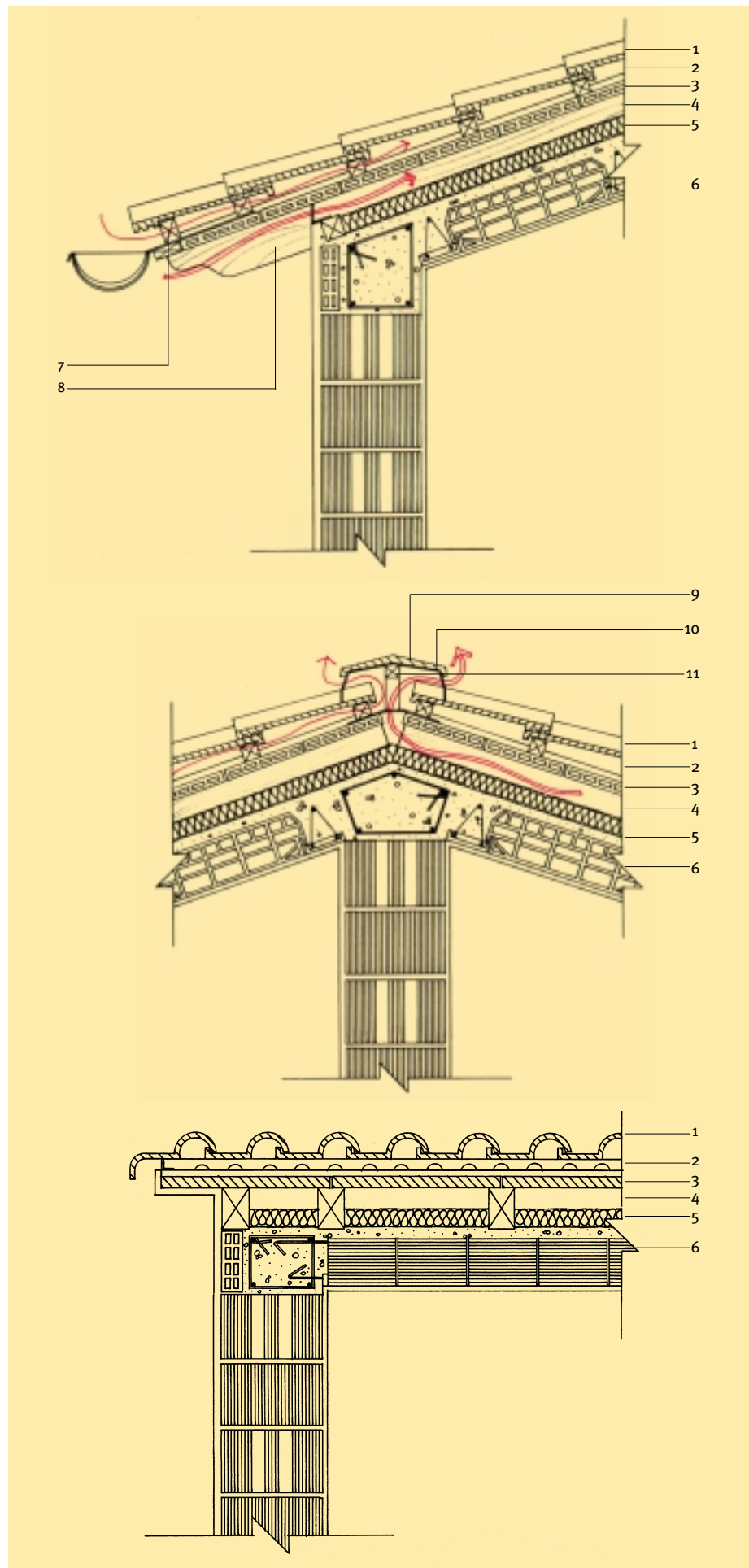
I disegni sono di Alfonso Baratta.

Fig. 10

Copertura in tegole di laterizio, con doppio strato di ventilazione spessore 4+6 cm, ottenuto con listelli forati sotto il manto e travetti in legno fra la sottocopertura e l'isolante. I travetti realizzano lo sporto di gronda. I ponti termici in corrispondenza dei cordoli di solaio sono ridotti per la presenza di elementi di laterizio a rivestimento in spessore. I travetti di supporto per la ventilazione interrompono lo strato isolante.

Legenda:

1. tegole portoghesi
2. microventilazione 4 cm realizzata con listelli forati
3. tavelle di laterizio
4. ventilazione 6 cm realizzata con listelli appoggiati sul solaio
5. isolamento termico in poliuretano spessore 6 cm
6. solaio in laterocemento spessore 16 cm
7. listello forato e munito di parapasseri
8. travetto di supporto
9. colmo
10. sottocolmo forato
11. listone di legno su staffa distanziatrice



Prestazioni

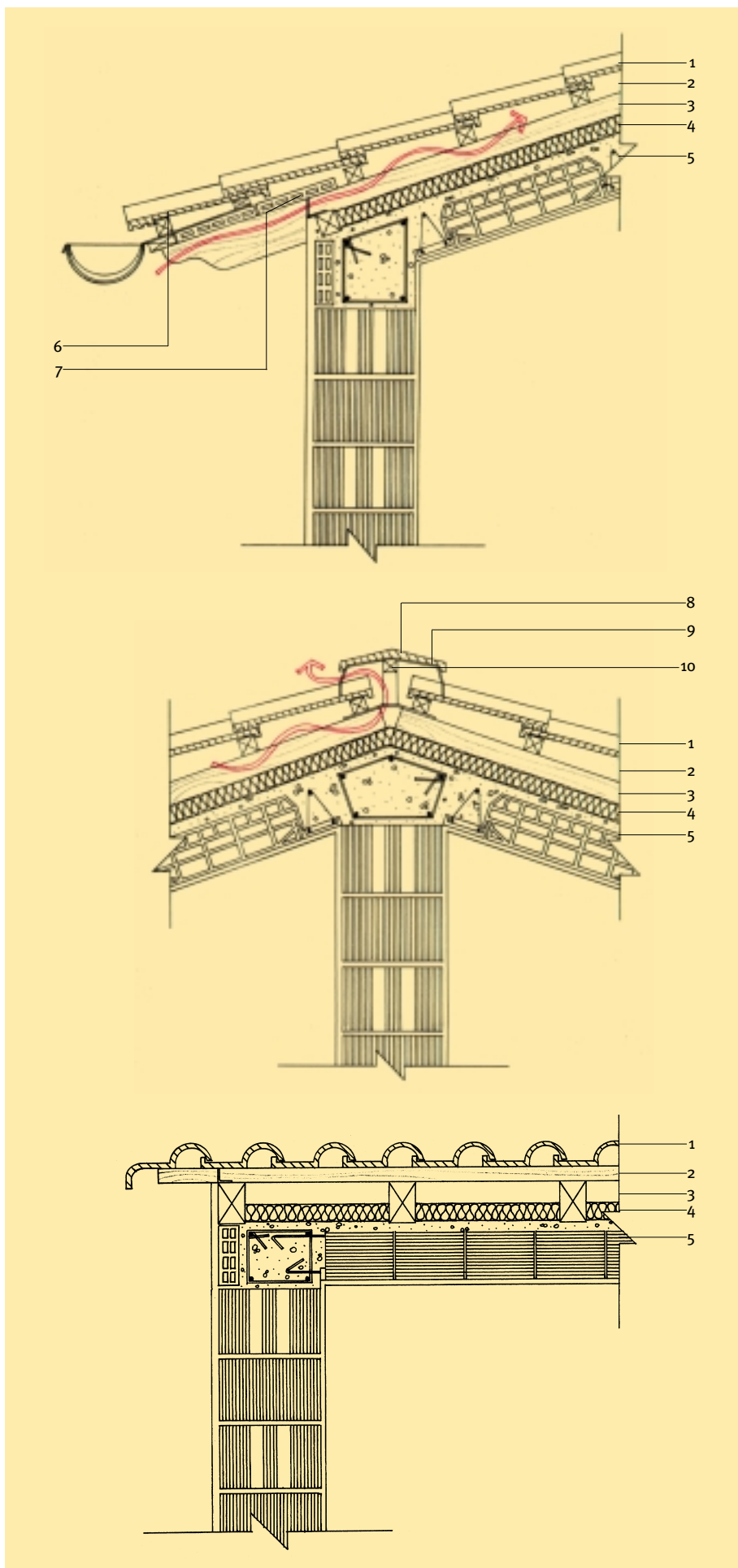
Massa termica frontale	200 kg/m ²
Trasmittanza termica	0,42 W/m ² °C
Rischio di condensa	nessuno
Te-2°C URe 90%	
Ti 20°C URi 50%	
temperatura superficiale interna per Te-2°C	18 °C
riduzione flusso termico entrante in estate	37 %

Fig. 11

Copertura in tegole di laterizio, con strato di ventilazione spessore 10 cm, ottenuto con listelli su travetti in legno. I travetti realizzano lo sporto di gronda. Le prese d'aria alla linea di gronda sono fortemente ridotte dalla presenza delle tavole sottotegola. I ponti termici in corrispondenza dei cordoli di solaio sono ridotti per la presenza di elementi di laterizio a rivestimento in spessore. I travetti di supporto per la ventilazione interrompono lo strato isolante.

Legenda

1. tegole portoghesi
2. listelli 4 cm
3. ventilazione 10 cm realizzata con travetti appoggiati sul solaio
4. isolamento termico in poliuretano spessore 6 cm
5. solaio in laterocemento spessore 16 cm
6. listello alla linea di gronda
7. parapasseri
8. colmo
9. sottocolmo forato
10. listone di legno su staffa distanziatrice



Prestazioni

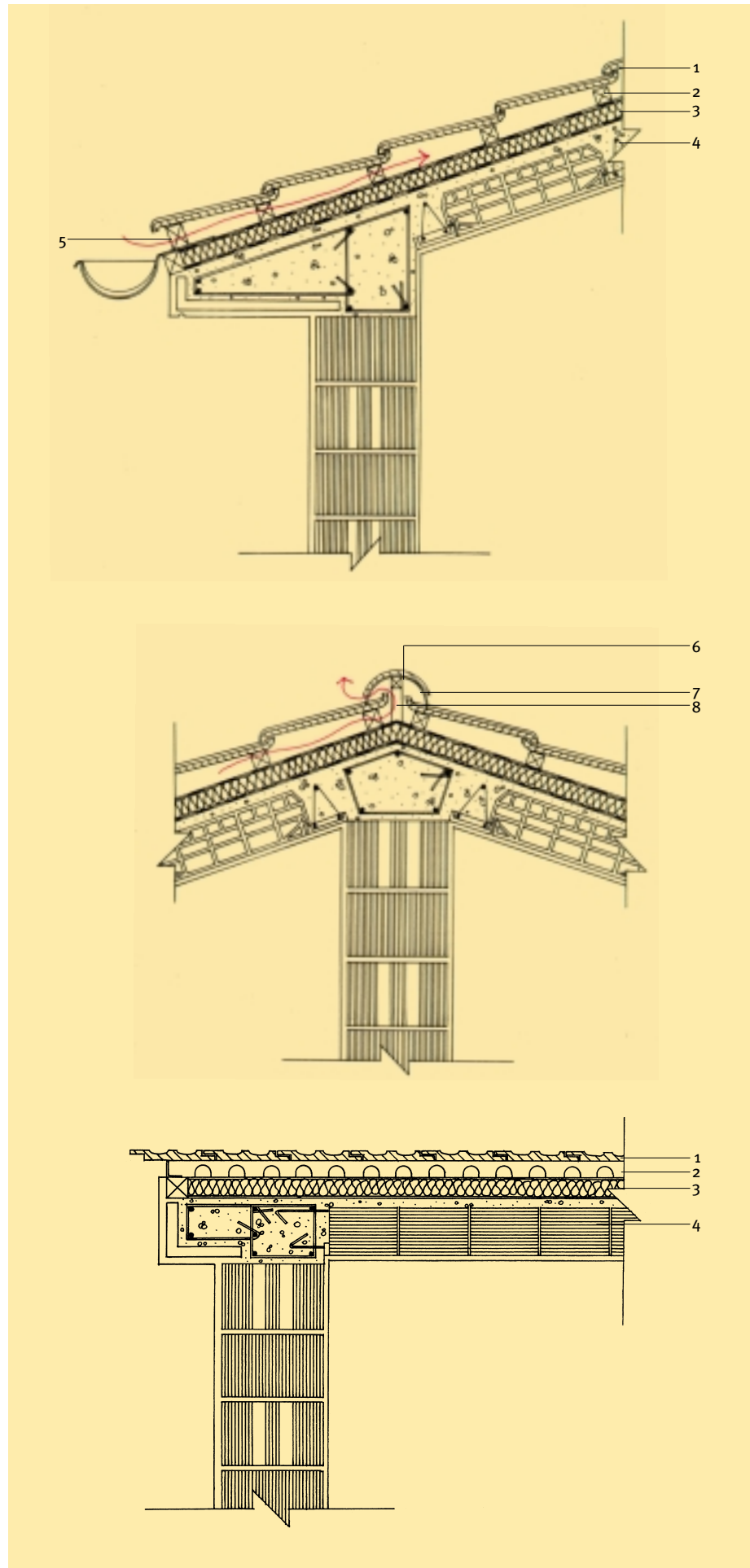
Massa termica frontale	200 kg/m ²
Trasmittanza termica	0,42 W/m ² °C
Rischio di condensa	nessuno
Te-2°C URe 90%	
Ti 20°C URi 50%	
temperatura superficiale interna per Te-2°C	18 °C
riduzione flusso termico entrante in estate	29 %

Fig. 12

Copertura in tegole di laterizio, con strato di microventilazione spessore 4 cm, ottenuto con listelli forati sotto il manto fissati all'isolante resistente a compressione. L'isolante è protetto da una guaina impermeabile e da barriera al vapore. I ponti termici in corrispondenza dei cordoli di solaio e dello sporto di gronda sono ridotti per la presenza di un rivestimento in pannelli di fibre di legno usato come cassaforma a perdere.

Legenda

1. tegole marsigliesi
2. microventilazione 4 cm realizzata con listelli forati
3. isolamento termico in poliuretano spessore 6 cm con sovrastante guaina impermeabile e sottostante barriera al vapore
4. solaio in laterocemento spessore 16 cm
5. listello forato e munito di parapasseri
6. colmo
7. sottocolmo forato
8. listone di legno su staffa distanziatrice



Prestazioni

Massa termica frontale	100 kg/m ²
Trasmittanza termica	0,42 W/m ² °C
Rischio di condensa	nessuno
Te-2°C URe 90%	
Ti 20°C URi 50%	
temperatura superficiale interna per Te-2°C	18 °C
riduzione flusso termico entrante in estate	22 %

Fig. 13

Copertura in coppi di laterizio, con strato di microventilazione spessore 4 cm, ottenuto con listelli forati, fissati all'isolante resistente a compressione. L'isolante è protetto da una guaina impermeabile e da barriera al vapore. I travetti della struttura lignea di copertura realizzano lo sporto di gronda. I ponti termici in corrispondenza dei cordoli sono ridotti per la presenza di elementi di laterizio a rivestimento in spessore.

Legenda

1. coppi in laterizio
2. microventilazione 4 cm realizzata con listelli forati
3. isolamento termico in poliuretano spessore 8,5 cm, con sovrastante guaina impermeabile e sottostante barriera al vapore
4. tavelle di laterizio
5. intonaco
6. struttura del tetto in legno a travetti, terzere e capriate
7. listello forato e parapasseri
8. colmo
9. sottocolmo forato
10. listone di legno su staffa distanziatrice

Prestazioni

Massa termica frontale	200 kg/m ²
Trasmittanza termica	0,34 W/m ² °C
Rischio di condensa	nessuno
Te-2°C URe 90%	
Ti 20°C URi 50%	
temperatura superficiale interna per Te-2°C	19 °C
riduzione flusso termico entrante in estate	22 %

