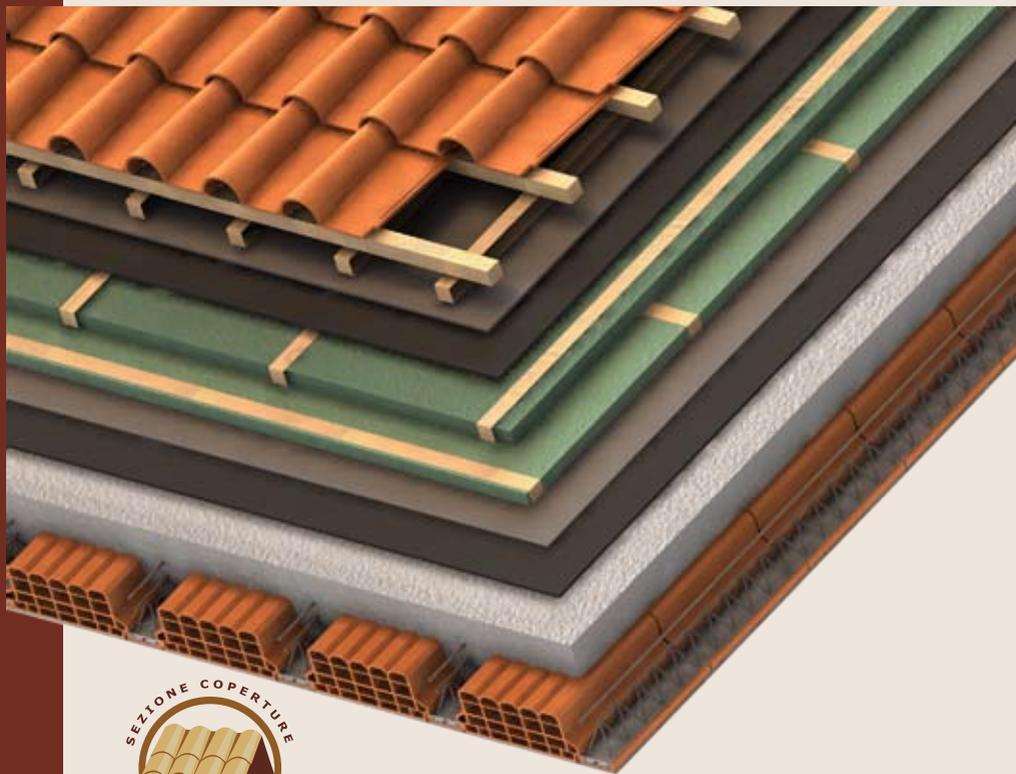


2

Manti di copertura in laterizio: soluzioni per il comfort termoigrometrico



Indice

Premessa	pag.	3
<hr/>		
I modelli di funzionamento delle coperture	pag.	4
<hr/>		
Le soluzioni tecniche ed i criteri di scelta	pag.	9
<hr/>		
Accorgimenti per la progettazione ed esecuzione	pag.	11
<hr/>		
Il quadro normativo di riferimento	pag.	12
<hr/>		
Schede tecniche: legenda interpretativa	pag.	14
<hr/>		
Schede tecniche: specifiche dei materiali	pag.	16
<hr/>		
Schede tecniche: soluzioni di copertura	pag.	18
<hr/>		
Riferimenti bibliografici e normativi	pag.	30
<hr/>		

A cura di:

Marco D'Orazio

Costanzo Di Perna

Emanuele Recanatini

Dipartimento di Architettura, Costruzioni e Strutture (DACS)

Facoltà di Ingegneria

Università Politecnica delle Marche (AN)

Premessa

Le coperture in laterizio hanno subito, negli ultimi anni, fortissime trasformazioni: da un lato, sono mutate e si sono ampliate le forme che le caratterizzano per il ruolo che hanno acquisito nella composizione dell'edificio; dall'altro, si sono modificate ed affinate le tecnologie costruttive, sempre più complesse, per adattarsi alle nuove e più stringenti richieste prestazionali, oltre che formali. Le coperture hanno visto evolvere rapidamente la loro funzione: da semplice elemento di protezione, sono divenute un componente fortemente connotante l'immagine dell'edificio; nello stesso tempo, complice l'incremento del costo degli spazi residenziali, costituiscono oggi, sempre più frequentemente, una stratigrafia di chiusura sommitale di spazi abitativi e, pertanto, ad esse sono richieste, oltre che le tradizionali prestazioni di tenuta, anche elevatissime caratteristiche termiche (per via delle nuove, sempre più pressanti, richieste normative) per assicurare necessarie riduzioni dei consumi e idonei livelli di comfort interno.

La conseguenza è che le coperture in laterizio, per rispondere alle mutate esigenze, si sono trasformate in un sistema estremamente complesso nel quale, sotto il manto in "cotto", si nasconde e compartecipa dinamicamente una molteplicità di strati, aventi ciascuno una specifica funzione (dissipazione di calore, isolamento termico, tenuta all'aria, barriera al vapore, schermatura radiativa, ecc.).

Nelle pagine che seguono, nell'intento di fornire un quadro di soluzioni tecniche coerenti con le nuove richieste normative, vengono analizzate diverse soluzioni di copertura, caratterizzate da manti in laterizio, in grado di rispondere pienamente alle necessità tecniche attuali, evidenziando come proprio l'utilizzo di materiali della tradizione, noti e collaudati, possa garantire anche il pieno rispetto del contesto ambientale. La capacità delle coperture in laterizio di mediare tra isolamento e massa permette, in particolare, di ottenere, oltre ad una ormai imperativa riduzione dei consumi energetici, duratura protezione dall'umidità, isolamento dai rumori, inerzia termica, valenza architettonica, bassi costi di manutenzione, eccellente inserimento del "nuovo" nell' "esistente".

Ognuna delle diverse "stratigrafie" presentate è corredata da una sintetica scheda tecnica che ne traccia il profilo prestazionale, soprattutto dal punto di vista termico ed igrometrico (trasmissione termica stazionaria e periodica, sfasamento e attenuazione, capacità termica periodica). Alcune delle soluzioni costruttive prese in esame, inoltre, sono state anche analizzate sperimentalmente al fine di suffragare, con dati di laboratorio, quanto proposto.

Al raggiungimento di questi obiettivi, significativo è stato il contributo assicurato dalle aziende produttrici in termini di innovazione dei prodotti offerti al mercato e di livelli prestazionali assicurati nel lungo periodo.

Così, controlli continuativi in stabilimento certificati da "parte terza", marcatura CE dei materiali, miglioramento dei dispositivi di tenuta, ampliamento della gamma cromatica, perfezionamento della modalità di fissaggio, sviluppo e valorizzazione delle tipologie "ventilate", insieme concorrono a configurare un moderno "tetto in laterizio" come un sistema tecnologico multifunzionale, completo e affidabile.

I modelli di funzionamento delle coperture

Il contenimento dei consumi energetici e la sostenibilità ambientale

La necessità di ridurre gli effetti dell'inquinamento, ed in particolar modo la quantità di CO₂ immessa in atmosfera, ha determinato, a valle del protocollo di Kyoto e della Direttiva comunitaria SAVE, l'emanazione in Italia di un quadro normativo specifico (DLgs 192/05, DLgs 311/06, DPR 59/09) e di Linee Guida nazionali per la certificazione energetica con lo scopo di promuovere il contenimento dei consumi energetici per la climatizzazione degli edifici. L'energia necessaria al settore edilizio (circa il 40% del fabbisogno annuo nazionale) viene, infatti, prodotta principalmente per processi di combustione e pertanto è causa di emissione di CO₂ in atmosfera.

I Decreti e le Leggi regionali derivati, oltre ad imporre un contenimento globale dei consumi energetici per l'edificio, hanno fissato valori limite di trasmittanza termica (stazionaria e/o dinamica) sia per le soluzioni dell'involucro che per le coperture.

Su queste ultime in particolare, essendo responsabili mediamente tra il 25 ed il 35% delle dispersioni complessive di un edificio, si è appuntata fortemente l'attenzione del legislatore.

Ne consegue che oggi una soluzione di copertura, correttamente progettata ed eseguita, dal punto di vista delle prestazioni termoigrometriche deve adottare spessori di materiali isolanti molto più consistenti di quelli ai quali il contesto edilizio era finora avvezzo, oltre a stratificazioni aggiuntive (di ventilazione, di tenuta all'aria, di barriera al vapore) non sempre presenti nelle realizzazioni del passato.

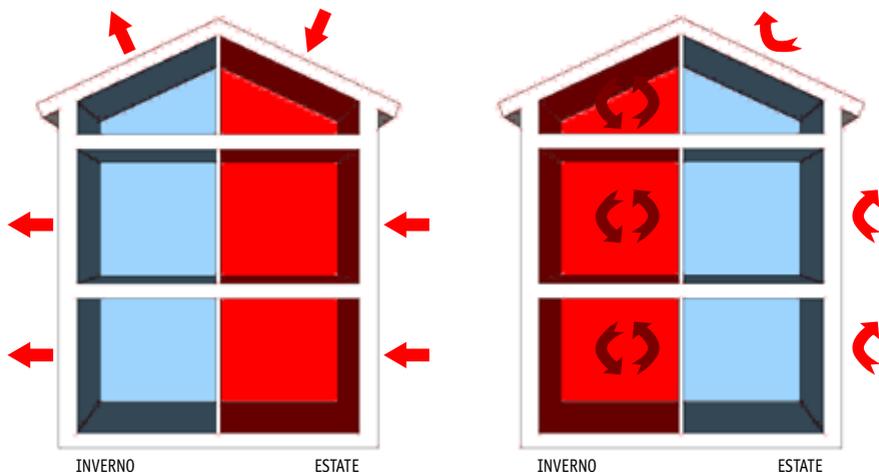


Figura 1 - Differenze di isolamento tra ieri (sinistra) e oggi (destra) con l'eliminazione dei flussi termici attraverso l'involucro dell'edificio.

I modelli di funzionamento delle coperture nell'attuale contesto

Una copertura in laterizio è un sistema costruttivo particolarmente complesso, in termini prestazionali, per la caratteristica permeabilità all'aria del manto esterno. La presenza di uno strato di ventilazione sotto-manto, associato a tegole o coppi permeabili all'aria (grazie ai giunti tra gli stessi), dà luogo, infatti, a comportamenti termici ed igrometrici della "stratificazione" la cui dinamica è associata al modo in cui l'aria circola nell'intercapedine.

Per spiegare tale moto, viene utilizzata in linea di principio la teoria classica della ventilazione: l'aria, riscaldandosi, riduce la propria densità spostandosi verso l'alto e creando l'effetto normalmente detto "camino". Tale teoria, tuttavia, basandosi sull'assunzione di un'assoluta impermeabilità del manto, tende a favorire soluzioni costruttive basate su grandi altezze di intercapedine di ventilazione: maggiore è l'area di ingresso dell'aria, maggiore sarà, infatti, la portata. In realtà, occorre considerare che un manto in laterizio, rispetto ad un manto continuo, è fortemente permeabile all'aria e la superficie complessiva dei giunti di contatto tra gli elementi assemblati (tegole e coppi) eguaglia, e facilmente supera, quella che è necessario realizzare per garantire l'ingresso di aria in gronda. Pertanto, una soluzione costruttiva in laterizio possiede, come dimostrato sperimentalmente, capacità dissipative (termiche e igrometriche) decisamente superiori a quelle che la teoria classica della ventilazione è in grado di prevedere, assicurando effetti benefici già con modeste portate di aria.

Anche dal punto di vista normativo, le coperture, in termini di prestazioni termoigrometriche, vengono oggi distinte in *microventilate* e *ventilate*.

Le prime presentano una intercapedine di ventilazione costituita dal manto semplicemente appoggiato sui listelli ortogonali (o paralleli) alla pendenza della falda. Le seconde, invece, sono caratterizzate da una ventilazione assicurata dal raddoppio del listello (uno parallelo alla pendenza della falda ed uno sovrapposto ortogonalmente) o da dispositivi di sollevamento del manto (in materiali metallici, plastici o ottenuti con isolanti sagomati). E' possibile realizzare anche coperture nelle quali il canale di ventilazione viene fisicamente separato, mediante tavolati lignei, dallo spazio microventilato sottomanto.

Nel periodo estivo, l'ingresso di aria esterna (con temperature difficilmente superiori ai



Figura 2 - Ventilazione sotto-manto mediante intercapedine unica.

- a
- b
- c
- d

Legenda:
a listelli di appoggio del manto,
b listello per la creazione del canale di ventilazione, *c* sistema di tenuta all'acqua e/o all'aria, *d* isolante.

30÷35°C), sia dalla gronda che attraverso i giunti tra i diversi elementi del manto, riesce a favorire l'abbattimento delle temperature dei differenti strati componenti la copertura, raffrescando, anche sul lato inferiore, il manto stesso, il quale, per effetto della radiazione solare, può raggiungere anche temperature di 50÷55°C. Il passaggio di aria esterna (in fase invernale, con bassi contenuti di vapor d'acqua) nell'intercapedine ventilata ha anche il vantaggio di ridurre i contenuti di umidità negli isolanti. E' questo un aspetto particolarmente importante visto che la conducibilità termica degli strati coibenti tende a ridursi con l'innalzamento dei contenuti d'acqua negli stessi. Ogni materiale posto in un ambiente ad una certa umidità relativa "adsorbe", infatti, molecole di vapore sulla superficie dei pori che lo costituiscono e, vista la rilevante conducibilità dell'acqua rispetto all'isolante (100 a 1), perde rapidamente in capacità prestazionale.

Come noto, le norme vigenti sul risparmio energetico in edilizia hanno incrementato enormemente le richieste di isolamento termico delle coperture dissociando i comportamenti termoigrometrici del manto superiore da quelli del solaio di appoggio. La presenza di un isolante in forte spessore comporta, infatti (come verrà puntualmente illustrato in seguito, sulla base di risultanze sperimentali), una riduzione significativa dei flussi termici, in fase estiva, trasmessi all'interno dell'ambiente abitato attraverso gli elementi di copertura, comportando, nello stesso tempo, un innalzamento delle temperature degli elementi del manto e della superficie esterna dello strato isolante.

Da ciò conseguono alcune significative modifiche ai criteri in base ai quali, fino ad oggi, sono state progettate e realizzate le coperture: ad esempio, la ventilazione ridurrà la sua importanza ai fini del comfort termico; saranno sufficienti camere di ventilazione di minori dimensioni; la ventilazione stessa garantirà comunque la durabilità del "pacchetto" in quanto permetterà di regolare le temperature del manto e dell'isolante termico posto nel "pacchetto" della copertura; quest'ultimo, se igroscopico, dovrà prevedere una barriera all'aria posta superiormente e una barriera al vapore sul lato caldo (inferiormente); il solaio, vista la riduzione dei flussi termici che lo attraversano, anche dall'interno verso l'esterno, dovrà essere dimensionato, in relazione al suo impiego, anche come volano termico per l'accumulo di calore eventualmente entrato attraverso gli elementi trasparenti o prodotto da carichi termici interni.

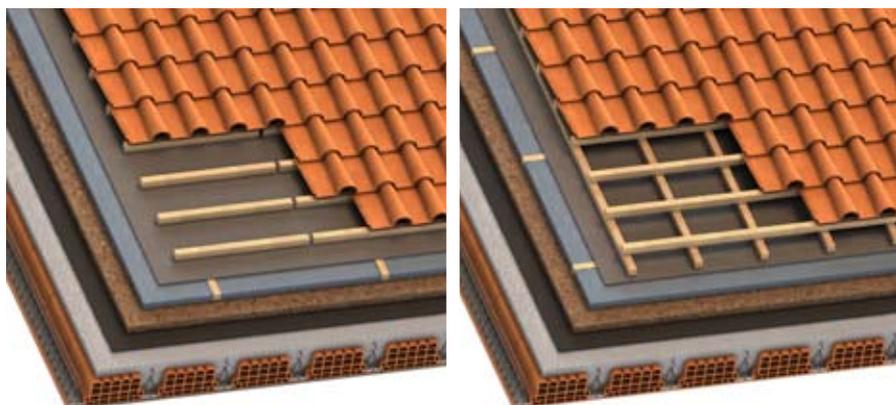


Figura 3 - Manto di copertura microventilato, a sinistra, e ventilato (con doppio listello), a destra.

Il supporto dei dati sperimentali

Per verificare le affermazioni precedentemente riportate, sono state condotte delle attività sperimentali consistenti nella realizzazione di un edificio con alcune soluzioni di copertura (dettagliate nelle schede a corredo), poste a confronto nelle stesse condizioni ambientali. L'edificio, di 80 m², è dotato di una copertura composta da 6 diverse tipologie di "stratificazioni", con orientamento sud (con leggera rotazione di 10° a ovest) ai fini dell'analisi delle relative prestazioni termogrometriche in fase estiva, ed altrettante con orientamento nord (per l'analisi invernale). Le coperture a sud sono inclinate di circa 17° e sono lunghe 6 m. Le coperture poste verso nord sono lunghe 3 m. La ricerca condotta ha permesso di dimostrare come, a dispetto della teoria classica della ventilazione, esistano forti differenze di comportamento termico tra i diversi sistemi di copertura presi in considerazione, evidenziando come le soluzioni in "cotto" presentino dei concreti vantaggi, legati alle peculiari caratteristiche (radiative e di permeabilità all'aria) dei materiali utilizzati per il manto.

La sperimentazione svolta ha, in effetti, dimostrato come i manti "discontinui" in laterizio diano luogo in periodo estivo, a parità di ventilazione, a flussi termici entranti pari alla metà di quelli con manto continuo (ad esempio, metallico). Ciò perché il laterizio è caratterizzato da coefficienti di assorbimento medi (minore surriscaldamento per irraggiamento) e di emissività elevati (possono essere cedute per reirraggiamento grandi quantità di calore). Inoltre, poiché nelle coperture in "cotto" è predominante l'effetto di permeabilità del manto (giunti tra gli elementi componenti) rispetto all'effetto camino (ventilazione sottomanto), si è registrato un flusso dell'aria prevalente tra le tegole (o i coppi) piuttosto che tra gronda e colmo, testimoniando che queste tipologie di coperture posseggono capacità dissipative non possibili nei sistemi di copertura con manto continuo (o a perfetta tenuta).

Va evidenziato, tuttavia, come l'elevato spessore di isolante oggi richiesto in tutte le coperture, riduca, rispetto al passato, l'influenza del manto e della sua permeabilità sul comfort interno: le differenze di comportamento riscontrate con l'adozione di camere di ventilazione con altezze pari a 6÷8 cm rispetto ai 3÷4 cm del solo listello di appoggio (microventilazione) sono limitatissime e concentrate alle pochissime ore del giorno con massimo irraggiamento.



I diversi manti di copertura (da sinistra a destra):

- *metallico ventilato (6 cm) su solaio in latero-cemento;*
- *laterizio ventilato (6 cm) su solaio in latero-cemento;*
- *laterizio ventilato su solaio ligneo;*
- *laterizio microventilato su solaio ligneo;*
- *metallico ventilato su solaio ligneo;*
- *metallico non ventilato su solaio ligneo.*

Figura 4 – L'edificio sperimentale e le coperture continue e discontinue oggetto di studio.

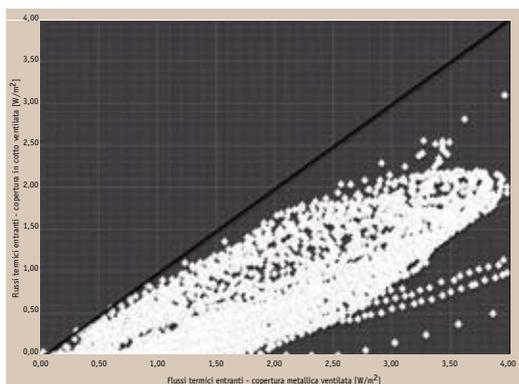


Figura 5 - Flussi termici passanti attraverso una copertura a parità di trasmittanza e di camera di ventilazione: ogni punto sul grafico è individuato da due valori (x ed y) che sono, rispettivamente, i flussi termici passanti attraverso una copertura metallica ed una in laterizio. Se il punto si trova sotto la retta (luogo dei punti per i quali i flussi passanti sono identici) significa che sono maggiori quelli passanti attraverso la copertura metallica. In fase estiva, si evidenziano per le coperture metalliche flussi pari a circa il doppio di quelli entranti in una copertura in laterizio a parità di condizioni climatiche.

La sperimentazione, infine, ha dimostrato l'importante funzione della ventilazione anche ai fini della durabilità del sistema tetto.

In particolare, le soluzioni con manto metallico e assenza di ventilazione, per via dell'elevato spessore di isolamento (che, riducendo la trasmissione del calore verso l'ambiente interno, causa l'innalzamento delle temperature di ciò che gli sta sopra), hanno raggiunto nel manto e nell'isolante, nei momenti di maggiore irraggiamento, elevate temperature che potrebbero compromettere la durabilità, in particolare, dei materiali di natura sintetica. Si sono registrate, inoltre, per coperture non ventilate con manto continuo -non in laterizio-, temperature sulla superficie superiore dell'isolante maggiori di 60÷65°C rispetto ai 40÷45°C di una soluzione con manto in laterizio.

Si è rilevato, infine, il ruolo positivo del solaio in latero-cemento, rispetto al solaio in legno, nel comportamento inerziale del sistema di copertura rispetto ai carichi termici interni (riscaldamento invernale): la presenza di massa attenua l'oscillazione delle temperature superficiali (maggior comfort) e minimizza i carichi termici necessari per il riscaldamento (fino al 25%). Va precisato che ci si riferisce alla sola massa posta internamente (solaio), in quanto l'elevato isolamento delle soluzioni costruttive, oggi adottate, minimizza il ruolo della massa esterna (manto) ai fini dello sfasamento termico. Passando agli aspetti di natura igrometrica, i dati sperimentali confermano come la ventilazione riesca, anche con sistemi ad alto spessore di coibente, a garantire il mantenimento nel tempo delle prestazioni della copertura, impedendo accumuli igroscopici anomali negli isolanti, mentre, nelle soluzioni non ventilate (a manto continuo) si registrano negativi (per prestazioni e durata) incrementi progressivi di acqua negli isolanti igroscopici.

In conclusione, si riassumono le principali caratteristiche prestazionali del "sistema tetto", in termini di:

- *benessere interno*: la discontinuità tra gli elementi del manto in laterizio consente, in fase estiva, una capacità di dissipazione aggiuntiva del calore rispetto ad altre tipologie con sistemi ventilati, garantendo adeguate condizioni di comfort nell'ambiente abitato e limitando l'impiego di impianti di climatizzazione;
- *controllo igrometrico del sistema costruttivo*: la particolare modalità di ventilazione consente la riduzione dei contenuti d'acqua nei materiali posti sotto il manto, migliorando le prestazioni termiche degli isolanti e riducendo il rischio di formazione di muffe tossiche per l'uomo;

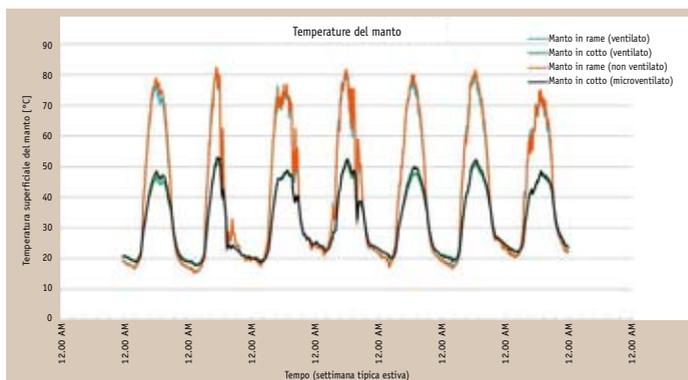


Figura 6 - Temperature rilevate su manti di copertura in laterizio ed in metallo in fase estiva (le 4 coperture sono identiche in termini di trasmittanza stazionaria).

- *corretto funzionamento del sistema di copertura*: la conformazione del sistema di ventilazione accoppiato al manto in laterizio impedisce che a carico degli isolanti si raggiungano, soprattutto in estate, temperature eccessivamente elevate e, inoltre, mantiene i materiali in condizioni di esercizio ottimali. L'elevato livello di isolamento oggi richiesto spinge a sistemi "iperisolati" che registrano, come conseguenza, il raggiungimento di elevate temperature a carico della superficie esterna dell'isolante;
- *durabilità*: i centri storici delle città italiane sono dominati dal colore rosso delle coperture in "cotto", testimoniando in modo incontestabile come il laterizio, a differenza di altre tipologie di manti, possiede la capacità di mantenersi inalterato attraverso gli anni.

Inoltre, si possono aggiungere ulteriori considerazioni dal punto di vista ambientale: il laterizio del manto è inerte; non ha cessioni di sostanze (metalli pesanti, ecc.) che possono causare inquinamento delle acque, a differenza di altre tipologie di materiali per coperture; infine, è totalmente riciclabile a fine vita.

Le soluzioni tecniche ed i criteri di scelta

Per agevolare il progettista nell'individuazione di una soluzione di copertura adeguata alle sue esigenze, sono state redatte 12 sintetiche schede tecniche che riportano informazioni descrittive e prestazionali relative a sistemi di copertura discontinui, con elementi di tenuta in laterizio (tegole e coppi). All'interno di ogni scheda, sono anche indicate le possibili alternative alla soluzione tecnica proposta, in relazione alla tipologia di materiale isolante e alla presenza o meno di strati accessori, quali barriera al vapore, guaina impermeabilizzante e strato di tenuta all'aria. Le soluzioni prospettate sono tecnicamente utilizzabili sia negli interventi di recupero che per le nuove costruzioni.

In 3 "stratigrafie", il solaio viene realizzato con elementi lignei e tavelle (L1, L2 e L3) o tavolato ligneo (L4, L7 e L8), con una intercapedine di ventilazione singola o doppia (può essere presente sia un canale sottomanto che un canale aggiuntivo, separato dal primo). In queste soluzioni, essendo il solaio di tipo leggero, viene proposto (ai fini del comfort termico

e del rispetto del limite di massa areica piuttosto che di quello di trasmittanza periodica) un doppio isolamento costituito dalla sovrapposizione di un isolante a media ed uno a bassa densità.

La soluzione L4 mantiene, come in L1, L2 e L3, il doppio strato di isolamento. Il solaio in latero-cemento viene previsto in 6 soluzioni (LC5, LC6, LC9, LC10, LC11, LC12). Queste soluzioni si differenziano tra loro nel seguente modo: LC12 per un doppio canale di ventilazione;

SOLAIO		VENTILAZIONE				ISOLAMENTO TERMICO		SOLUZIONE				
		Modalità	Sottomanto		Con canale separato		Modalità	Natura	Num.	Sigla		
Tipo	h (cm)		Tipo	h (cm)	Tipo	h (cm)						
Solaio in legno con tavelle	3,3	doppia (sottomanto + canale)	doppio listello	6-8	canale sotto tavolato ligneo	2	doppio isolante per incremento massa areica	EPS o similari + fibra mineralizzata o similari	1	L1		
Solaio in legno con tavelle e cappa collaborante	3,3+5	doppia (sottomanto + canale)	listello	3-4	canale sotto tavolato ligneo	2					2	L2
					tavelloni	5					3	L3
Solaio in legno con tavolato	2,5	doppia (sottomanto + canale)	doppio listello	6-8	canale sotto tavolato ligneo	2	doppio isolante per incremento massa areica	EPS o similari + fibra mineralizzata o similari	4	L4		
	5	singola (sottomanto)	listello		3-4	assente			-	singolo (bassa massa)	EPS o lana di roccia o sughero o lana di legno o similari	7
									8			L8
Solaio in latero-cemento	20+6	doppia (sottomanto + canale)	listello	3-4	canale sotto tavolato ligneo	6	singolo (bassa massa)	EPS o similari	12	LC12		
				6-8	assente	-			5	LC5		
	16+6	singola (sottomanto)	listello	3-4			assente	poliuretano	11	LC11		
				6-8			doppio isolante per incremento massa areica	9	LC9			
	20+6	singola (sottomanto)	listello	3-4	assente	-	singolo (bassa massa)	EPS o lana di roccia o sughero o lana di legno o similari	6	LC6		
				-				EPS o isolanti similari sagomati	10	LC10		

Tabella 1 - Quadro sinottico delle "stratigrafie" di coperture in laterizio proposte.

LC5 e LC11 con canale di ventilazione sottomanto realizzato, rispettivamente, con listello doppio e singolo; LC9 come LC5, ma con doppio isolamento per innalzare la massa areica; LC6 con ventilazione sottomanto a listello singolo; LC10 con ventilazione sottomanto, ma con tegole e/o coppi in appoggio diretto su isolante sagomato. Il quadro riepilogativo delle soluzioni proposte è riportato nella tabella 1.

Accorgimenti per la progettazione ed esecuzione

Vi sono alcuni aspetti nella realizzazione dei sistemi di copertura, spesso sottovalutati, determinanti per il corretto funzionamento dell'involucro, sia come regolatore dei flussi termoigrometrici che di protezione dagli agenti atmosferici, che possono dare luogo a prestazioni ben differenti dalle previsioni progettuali. Tali aspetti vanno attentamente considerati in una progettazione accurata e competente, soprattutto nella fase di messa in opera in cantiere. Con riferimento alla fig. 7, l'isolante deve essere posato con continuità, evitando riduzioni di spessore, per evitare brusche variazioni di trasmittanza, in alcune zone, che causerebbero inefficienza energetica e problemi di condensazione localizzati (1).

La barriera all'aria, preferibile soprattutto su isolanti di tipo igroscopico (fibrosi), svolge importanti funzioni: impedire la condensazione a carico dell'isolante; limitare i fenomeni di *air-washing* (intrusione di aria fredda) nell'isolante; ridurre le perdite di calore attraverso il passaggio di aria tra i giunti del sistema (2).

La barriera all'aria, oltre a possedere determinati requisiti igrometrici (S_d), deve essere resistente allo strappo in quanto costituisce il punto di appoggio delle lavorazioni successive (3). Se si posiziona uno strato impermeabilizzante sopra l'isolante, occorre verificare il rischio di condensa che può originarsi a ridosso dell'isolante stesso. È consigliabile nel caso di limitate pendenze o per particolari condizioni ambientali/progettuali inserire uno strato di tenuta all'acqua. In ogni caso è preferibile farla risvoltare nel canale di gronda (4).

Nel caso di isolanti igroscopici, si deve posizionare una barriera al vapore sul lato caldo (sotto l'isolante); nel caso di isolanti scarsamente igroscopici, la barriera al vapore perde la sua funzione (5).

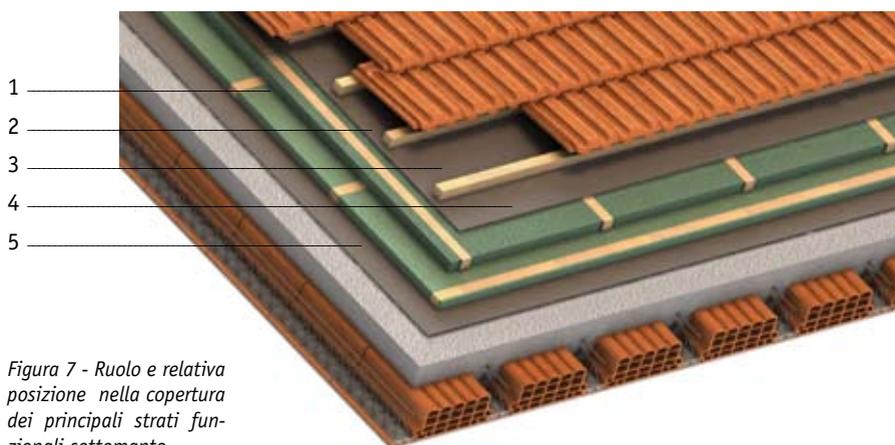


Figura 7 - Ruolo e relativa posizione nella copertura dei principali strati funzionali sottomanto.

Il quadro normativo di riferimento

Al fine di progettare correttamente una copertura in laterizio, da un punto di vista termoigrometrico, occorre far riferimento alla normativa tecnica di settore che può essere suddivisa in tre ambiti. Sono riconducibili ad un primo ambito tutte le norme che riportano la terminologia, l'analisi degli strati funzionali, le regole di progettazione generale e i criteri di esecuzione delle coperture con manto discontinuo, in cui l'elemento di tenuta è costituito da tegole e coppi di laterizio. Definizioni funzionali e geometriche di tutti i possibili elementi della copertura sono riportate nelle norme UNI 8089 (1980), UNI 8090 (1980) e UNI 8091 (1980). La norma UNI 8178 (1980) fornisce un'analisi della funzione svolta dagli elementi del manto e dai diversi strati da considerare nella progettazione delle coperture. La norma UNI 9460 (2008), infine, riporta le istruzioni per la progettazione, l'esecuzione e la manutenzione di coperture discontinue; il testo contiene, inoltre, una classificazione di schemi funzionali per le coperture, già presente nella UNI 8627 (1984).

Un secondo ambito normativo riguarda le procedure per il calcolo e la verifica delle prestazioni termiche ed igrometriche delle strutture di involucro. La legge italiana in materia di efficienza energetica degli edifici prescrive valori limite per la trasmittanza termica in regime stazionario U e per la trasmittanza termica periodica Y_{ie} , oltre alla verifica igrometrica dell'involucro. La norma UNI EN ISO 6946 (2008) fornisce il metodo per il calcolo della trasmittanza termica U e della resistenza termica dei componenti e degli elementi per edilizia, escluse porte, parti vetrate e componenti che scambino calore con il terreno.

Il calcolo delle prestazioni termiche dinamiche, quali trasmittanza periodica Y_{ie} , sfasamento e attenuazione dell'onda termica, va eseguito secondo il metodo riportato in UNI EN ISO 13786 (2008); la norma precisa, in particolare, quali sono le informazioni sul componente edilizio necessarie per il calcolo. La procedura per la verifica termoigrometrica è riportata in UNI EN ISO 13788 (2003), che definisce un metodo di riferimento per determinare la temperatura superficiale interna minima dei componenti edilizi tale da evitare la crescita di muffe, in corrispondenza a valori prefissati di temperatura e umidità relativa interna; inoltre, indica il metodo per la valutazione del rischio di condensazione interstiziale dovuta alla diffusione del vapore acqueo.

Un ultimo ambito normativo, di forte interesse per chi affronta il progetto di una copertura e più in generale il progetto di una qualsiasi struttura di involucro, riguarda l'insieme di norme tecniche che contengono le principali caratteristiche dei materiali. Tali caratteristiche infatti, non sempre dichiarate dai produttori, sono indispensabili per il calcolo delle trasmittanze termiche e per la verifica termoigrometrica delle varie soluzioni costruttive oggetto di analisi. La norma UNI 10355 (1994), ad esempio, riporta i valori delle resistenze termiche unitarie relative alle tipologie di murature e solai maggiormente diffuse in Italia; la norma UNI EN ISO 10456 (2008) specifica i metodi per la determinazione dei valori termici dichiarati e di progetto per materiali e prodotti per l'edilizia che siano termicamente omogenei (in essa è contenuta, inoltre, una banca dati con valori di progetto in funzione della densità, conducibilità termica, calore specifico e fattore di resistenza alla diffusione del vapore, per prodotti comunemente utilizzati nelle costruzioni); allo stesso modo, in UNI EN 1745 (2005), sono trattate in modo decisamente più attuale ed aggiornato le murature e i prodotti per muratura.

Come contenere i consumi energetici in fase invernale

Tutte le soluzioni di copertura presentate permettono di ottenere i valori di trasmittanza termica stazionaria e periodica (U e Y_{IE}) imposti dal legislatore. Mentre il rispetto di tali livelli (2010) appare adeguato al contenimento dei consumi energetici in fase invernale, non è tuttavia opportuno cercare di ridurne ulteriormente l'entità, in quanto potrebbero generarsi problematiche che possono penalizzare in modo significativo il comfort abitativo: una soluzione costruttiva "fortemente" isolata, infatti, impedisce tanto l'ingresso quanto la fuoriuscita del calore; di conseguenza, in fase estiva, un eventuale apporto termico attraverso una superficie vetrata non potrà essere dissipato verso l'esterno e, conseguentemente, si avrà il surriscaldamento dell'aria interna. Peraltro, occorre ricordare che per produrre l'isolante, che sarà utilizzato in un edificio, è necessario impiegare energia: se questa risultasse vicina quantitativamente a quella che si può risparmiare nel corso della vita utile dello stesso edificio, sarà clamorosamente mancato l'obiettivo di risparmio energetico.

Come contenere i consumi energetici in fase estiva

Per contenere i consumi energetici in fase estiva (raffrescamento), è indispensabile evitare l'innalzamento delle temperature dell'aria interna e delle superfici che delimitano l'ambiente abitativo (specialmente la copertura). Per ottenere questo, il legislatore ha introdotto, per alcune zone, un limite sulla trasmittanza termica periodica (Y_{IE}), allo scopo di ridurre il flusso termico entrante a valori talmente bassi da minimizzare al massimo gli effetti delle sollecitazioni termiche esterne (irraggiamento). Tuttavia, il raggiungimento di bassi valori di Y_{IE} attraverso il ricorso all'"iperisolamento", come specificato, oltre ad un problema di equilibrio energetico complessivo della soluzione adottata (produzione, risparmio conseguibile nell'arco della vita utile), potrebbe ingenerare anche condizioni inaccettabili di comfort interno (se non ricorrendo ad energivori condizionatori) in presenza di significativi carichi termici interni.

Come migliorare il comfort termico interno

L'attuale normativa impone forti limiti sulla trasmittanza termica (periodica e stazionaria), specialmente per le coperture. Il rispetto di questi limiti rende modestissimi i flussi termici trasmessi verso l'interno, annullando ogni possibile considerazione sull'utilità di uno sfasamento termico dell'onda esterna. Nello stesso tempo, però, il rispetto di questi limiti, se attuato con soluzioni senza massa (sul lato interno della copertura), rischia di provocare l'incapacità delle soluzioni costruttive impiegate di attenuare l'oscillazione delle temperature negli spazi abitati in caso di carichi termici interni, provenienti, ad esempio, da superfici finestrate. Pertanto, per ottenere il maggior comfort termico interno possibile occorre, contemporaneamente, minimizzare il valore della trasmittanza periodica (Y_{IE}) e innalzare il più possibile il valore della capacità interna periodica C_{IP} (grandezza che esprime la capacità del sistema costruttivo di attenuare le temperature superficiali sul lato interno).

La grandezza Y_{IE} è sicuramente più piccola per quelle soluzioni di copertura che presentano canali di ventilazione, in quanto l'aria attenua l'oscillazione provocata dall'irraggiamento; la grandezza C_{IP} è più grande, invece, in presenza, ad esempio, di una consistente massa interna, quale quella di un solaio in latero-cemento, con alta capacità di accumulo termico, condizione questa indispensabile per contenere negli ambienti inaccettabili differenze di temperatura superficiale (*discomfort*).

Schede tecniche: legenda interpretativa

Organizzazione

Le schede delle "stratificazioni" di copertura esaminate sono organizzate secondo quanto appresso indicato.

Codice alfanumerico

Ogni soluzione tecnica è contrassegnata da un codice alfanumerico così articolato:

- sigla indicante la tipologia di solaio [solaio in legno (L), solaio in latero-cemento (LC)];
- codice numerico costituito dal numero progressivo della scheda.

Descrizione del sistema di copertura e indicazioni degli strati funzionali che lo compongono

Si fornisce una descrizione sintetica della copertura analizzata nella scheda, indicandone:

- altezza e tipologia dell'intercapedine di ventilazione;
- modello e spessore del solaio;
- massa areica.

Caratteristiche del sistema di copertura

Per ogni soluzione, sono riportati:

- il valore approssimato, o l'intervallo di valori, che la massa areica può assumere;
- lo spessore dello strato di isolante necessario affinché il sistema di copertura verifichi le disposizioni normative relative alle trasmittanze termiche U e Y_{IE} .

Aspetti termici e igrometrici

Per ogni soluzione tecnica, in relazione a ciascuna zona climatica e al materiale isolante utilizzato, sono riportati i livelli prestazionali in merito a:

- trasmittanza termica in regime stazionario (U);
- trasmittanza termica periodica (Y_{IE});
- fattore di decremento (f_d);
- sfasamento dell'onda termica (φ);
- capacità termica areica lato interno (C_{IP});
- valore massimo di spessore equivalente d'aria, per la diffusione del vapore acqueo, che lo strato di tenuta all'aria può assumere (Sd_T).

Caratteristiche delle soluzioni tecniche contenute nelle schede

Massa areica [kg/m²]

Viene dato un unico valore approssimato nel caso in cui le variazioni di spessore dell'isolante siano trascurabili; altrimenti, sono forniti gli estremi dell'intervallo di valori che la massa areica può assumere. Nel calcolo non sono stati computati i pesi dei listelli di supporto degli elementi di tenuta e degli strati accessori, quali la guaina impermeabilizzante, la barriera al vapore e lo strato di tenuta all'aria.

Caratteristiche dell'elemento termoisolante

Per tutte le zone climatiche, è indicato lo spessore, in funzione del materiale scelto, che lo strato o gli strati di isolamento devono avere affinché il sistema di copertura risponda ai requisiti di U e Y_{IE} indicati nel DLgs 311/2006 e nel DPR 59/09, con riferimento al 2010. L'analisi ha messo in evidenza che, nella maggior parte dei casi, è sufficiente dimensionare l'isolamento in funzione dei limiti previsti per la trasmittanza termica U . Per masse areiche molto basse (inferiori a 90 kg/m^2), il dimensionamento, eseguito in funzione della trasmittanza termica periodica Y_{IE} , porta all'abbattimento ulteriore della trasmittanza stazionaria.

Aspetti termici*Trasmittanza termica U [W/m^2K]*

Tutti i sistemi di copertura analizzati sono riconducibili allo schema funzionale di copertura dotata di strato termoisolante e di ventilazione. La procedura utilizzata per il calcolo del parametro U è quella che la norma UNI EN ISO 6946 (2008) indica per gli elementi fortemente ventilati. In questo caso, la trasmittanza termica si ottiene trascurando il contributo dell'intercapedine e di tutti gli strati compresi tra l'intercapedine stessa e l'ambiente esterno; come resistenza superficiale esterna, si applica il valore corrispondente all'aria immobile.

Trasmittanza termica periodica Y_{IE} [W/m^2K]

La normativa internazionale (UNI EN ISO 13786: 2008) fornisce un metodo semplificato per il calcolo delle caratteristiche termiche dinamiche; il metodo è applicabile per componenti edilizi costituiti da strati piani di materiali omogenei. Nel caso di intercapedini d'aria piane, per determinare la resistenza termica dello strato d'aria, utile ai fini del calcolo di Y_{IE} , si rimanda alla norma UNI EN ISO 6946. La trasmittanza termica periodica, quindi, è stata calcolata trascurando il contributo dell'intercapedine e di tutti gli strati tra l'intercapedine stessa e l'ambiente esterno e applicando la resistenza superficiale esterna propria dell'aria immobile.

Fattore di decremento f_d [-]

Come indicato nella norma UNI EN ISO 13786 (2008), tale parametro è dato dal rapporto tra la trasmittanza termica periodica Y_{IE} e la trasmittanza termica in condizioni stazionarie U .

Sfasamento ϕ [h]

Tale grandezza è definita come il periodo di tempo tra l'ampiezza massima di un fenomeno variabile e periodico e la massima ampiezza dei suoi effetti in un determinato contesto. In questo caso, il fenomeno è l'onda termica applicata sul lato esterno della copertura; l'effetto, invece, è il flusso termico entrante all'interno degli spazi abitati.

Capacità termica areica lato interno C_{ip} [kJ/m^2K]

Calcolata secondo la norma UNI EN ISO 13786 (2008), è il valore per unità di superficie della capacità termica. Tale parametro prende in considerazione anche i carichi interni ed esprime la capacità che il sistema costruttivo ha di attenuare le oscillazioni di temperatura superficiale sul lato interno, contribuendo in modo determinante al comfort abitativo.

Aspetti igrometrici

La valutazione del rischio di condensazione interstiziale, dovuta alla diffusione del vapore acqueo, richiede che siano note le condizioni al contorno di temperatura e umidità relativa (UR), sia sul lato interno che sul lato esterno. Le condizioni interne, in particolare, dipendono dalla destinazione d'uso. In merito, il DPR 59/09, qualora non esista un sistema di controllo dell'umidità relativa interna, prescrive di adottare le seguenti condizioni: $T=20^{\circ}\text{C}$ e $UR=65\%$. Le condizioni esterne vengono fornite, per ogni capoluogo di provincia, dalla UNI 10349 (1994). In sede di analisi, si è deciso di valutare il rischio di condensazione interstiziale per un solo capoluogo rappresentativo della specifica zona climatica, selezionato in base alle temperature più basse e, a parità di temperatura, con valori di UR più alti. In particolare, vengono riportati i valori limite, come spessore di aria equivalente ($S_d = \mu \times \text{spessore prodotto}$), degli strati complementari, quali la guaina impermeabilizzante, la barriera al vapore e l'elemento di tenuta all'aria, che impediscono la condensazione interstiziale. Il rischio di condensazione interstiziale, infatti, è funzione del valore S_d dello strato complementare e della posizione che esso occupa nella stratigrafia complessiva. La grandezza S_d esprime, nello specifico, la permeabilità al vapore di un materiale in termini di rapporto con l'aria (UNI EN ISO 13788: 2008). Un valore di S_d pari ad 1 m significa, in particolare, che il materiale (in un certo spessore) ha la stessa permeabilità al vapore che avrebbe uno strato di aria di spessore pari ad 1 metro. Nelle schede è fornito in particolare il seguente parametro:

$S_{d,r} [m]$: S_d massimo che può avere lo strato di tenuta all'acqua e/o all'aria, in assenza di guaine/barriere al vapore poste sul lato caldo dell'isolante, in modo che non avvengano fenomeni di condensazione interstiziale. Valori superiori richiedono necessariamente una opportuna verifica da parte del progettista.

Per fare un esempio, si prenda la soluzione L2 di pag. 19 (zona climatica C). Se si impiega come strato di tenuta superiore (strato c nella legenda) una guaina impermeabilizzante e se questa ha un $S_{d,r} > 2$ ci sarà sicuramente condensazione negli strati sotto la guaina. In tal caso, occorre inserire una barriera al vapore sul lato caldo dell'isolante per evitare che la condensazione riduca le capacità coibenti dell'isolante stesso. Se $S_{d,r} < 2$ non occorre inserire ulteriori strati, né fare verifiche.

Schede tecniche: specifiche dei materiali

Le procedure per il calcolo delle prestazioni termiche e per la valutazione del rischio di condensazione interstiziale richiedono che siano noti, per ogni elemento della stratigrafia, i seguenti valori: densità (ρ), conducibilità termica (λ), calore specifico (C_{lat} per il laterizio, C_{cls} per il calcestruzzo, C_i per l'isolante, C_l per gli elementi in legno e C per gli altri prodotti), resistenza termica (R) e fattore di resistenza alla diffusione del vapore acqueo (μ). Nel caso di elementi non omogenei, si introducono i valori equivalenti delle stesse grandezze; ad esempio, per i solai in latero-cemento il valore della conducibilità termica è ricavato dalla resistenza termica complessiva e dallo spessore. Di seguito, sono indicate le specifiche di tutti i materiali o strati che compongono i sistemi di copertura analizzati nelle schede.

Solai in latero-cemento

	ρ_{eq} kg/m ³	λ_{eq} W/mK	R m ² K/W	C_{lat} J/kgK	C_{cls} J/kgK	μ -
Solaio 16+6 cm	1110	0,667	0,33	1000	1000	15
Solaio 20+6 cm	1150	0,743	0,35	1000	1000	15
Solaio 24+6 cm	1050	0,732	0,41	1000	1000	15

Prodotti in laterizio

	ρ kg/m ³	λ W/mK	C_{lat} J/kgK	μ -
Tavelle piene in laterizio (UNI 10355)	1800	0,72	1000	10
Tegole e coppi in laterizio (UNI EN 1745)	1600 ÷ 2000	0,47 ÷ 0,64	1000	10

Materiali isolanti

	ρ kg/m ³	λ W/mK	C_i J/kgK	μ -
EPS	25	0,036	1470	60
Lana di legno	350	0,063	2100	3
Poliuretano	35	0,024	1400	60
Sughero	110	0,040	1700	5
Lana di roccia	100	0,035	1030	1
Fibra di legno mineralizzata	350	0,063	2100	1

Prodotti in legno

	ρ kg/m ³	λ W/mK	C_i J/kgK	μ -
Tavolato in abete	550	0,120	2700	20
Pannello OSB	630	0,130	220	30

Altri prodotti

	ρ kg/m ³	λ W/mK	C J/kgK	μ -
Cappa collaborante (cls armato)	2400	1,910	1000	80
Intonaco (calce - cemento)	1800	0,900	1000	10

L1

Descrizione

Sistema di copertura con doppia camera di ventilazione, struttura portante in legno, massa areica (esclusa la struttura portante) pari a 150 kg/m²

Prestazioni

		A	B	C	D	E	F
Massa areica	kg/m ²	150					
Spessore _{EPS}	cm	4	4	4	6	7	7
Spessore _{FLM}	cm	8	8	8	8	8	8
U	W/m ² K	0,38	0,38	0,38	0,31	0,29	0,29
Y _{IE}	W/m ² K	0,17	0,17	0,17	0,13	0,11	0,11
f _d	-	0,45	0,45	0,45	0,41	0,39	0,39
φ	h	10,2	10,2	10,2	10,5	10,8	10,8
C _{IP}	kJ/m ² K	85					
Sd _T *	m	1	1	0	0	0	0

* In caso di isolanti igroscopici prevedere sempre una barriera al vapore



Legenda: *a* manto in laterizio, *b* intercapedine ventilata 6 - 8 cm, *c* guaina impermeabilizzante 0,4 cm, *d* tavolato 2,5 cm, *e* intercapedine sotto-tavolato 2 cm, *f* elemento di tenuta all'aria (eventuale) Sd_T, *g* isolante: polistirene espanso (EPS), *h* isolante: fibra di legno mineralizzata (FLM), *i* barriera al vapore, *l* tavelle in laterizio 3,3 cm

L2

Descrizione

Sistema di copertura con doppia camera di ventilazione, struttura portante in legno, massa areica (esclusa la struttura portante) pari a 270 kg/m²

Prestazioni

		A	B	C	D	E	F
Massa areica	kg/m ²	270					
Spessore _{EPS}	cm	4	4	4	6	7	7
Spessore _{FLM}	cm	8	8	8	8	8	8
U	W/m ² K	0,38	0,38	0,38	0,31	0,29	0,29
Y _{IE}	W/m ² K	0,10	0,10	0,10	0,07	0,07	0,07
f _d	-	0,26	0,26	0,26	0,24	0,23	0,23
φ	h	7,7	7,7	7,7	8,0	8,2	8,2
C _{IP}	kJ/m ² K	190					
Sd _T *	m	2	2	2	1	0	0

* In caso di isolanti igroscopici prevedere sempre una barriera al vapore



Legenda: *a* manto in laterizio, *b* intercapedine ventilata 3 - 4 cm, *c* guaina impermeabilizzante 0,4 cm, *d* tavolato 2,5 cm, *e* intercapedine sotto-tavolato 2 cm, *f* elemento di tenuta all'aria (eventuale) Sd_T, *g* isolante: polistirene espanso (EPS), *h* isolante: fibra di legno mineralizzata (FLM), *i* massetto collaborante in cls 5 cm, *l* barriera al vapore, *m* tavelle in laterizio 3,3 cm

L3**Descrizione**

Sistema di copertura con doppia camera di ventilazione (le tavelle sono impiegate per la ventilazione, in alternativa al tavolato), struttura portante in legno, massa areica (esclusa la struttura portante) pari a 300 kg/m².

Prestazioni

		A	B	C	D	E	F
Massa areica	kg/m ²	300					
Spessore _{EPS}	cm	7	7	7	8	9	9
Spessore _{FLM}	cm	4	4	4	4	4	4
U	W/m ² K	0,35	0,35	0,35	0,32	0,29	0,29
Y _{IE}	W/m ² K	0,14	0,14	0,14	0,13	0,12	0,12
f _d	-	0,41	0,41	0,41	0,40	0,40	0,40
φ	h	7,3	7,3	7,3	7,4	7,5	7,5
C _{IP}	kJ/m ² K	190					
Sd _T *	m	0	0	0	0	0	0

* In caso di isolanti igroscopici prevedere sempre una barriera al vapore



Legenda: *a* manto in laterizio, *b* intercapedine ventilata 3 - 4 cm, *c* telo impermeabile traspirante Sd_v, *d* massetto alleggerito per il fissaggio dei listelli 3-4 cm, *e* tavelloni con fori perpendicolari alla linea di gronda, *f* isolante: polistirene espanso (EPS), *g* isolante: fibra di legno mineralizzata (FLM), *h* massetto collaborante in cls, *i* telo polietilene, *l* tavelle in laterizio 3,3 cm

L4

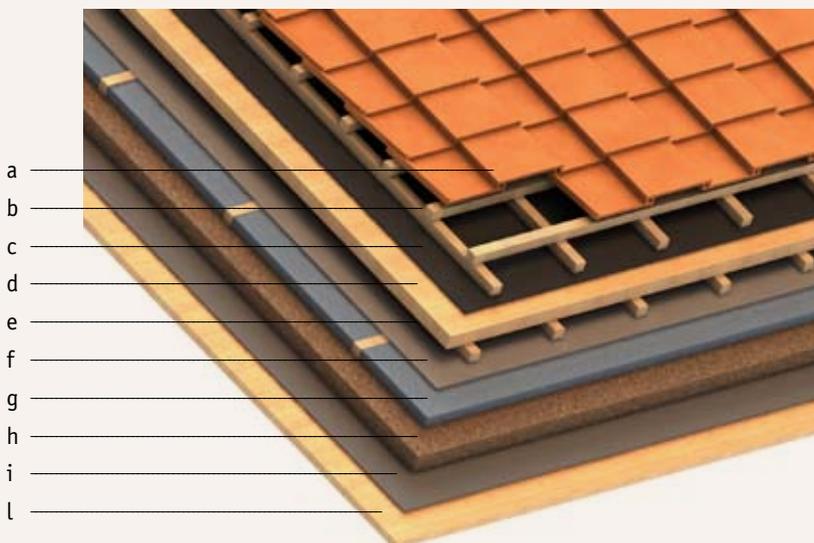
Descrizione

Sistema di copertura con doppia camera di ventilazione, struttura portante in legno, massa areica (esclusa la struttura portante) pari a 110 kg/m²

Prestazioni

		A	B	C	D	E	F
Massa areica	kg/m ²	110					
Spessore _{EPS}	cm	4	4	4	6	7	7
Spessore _{FLM}	cm	8	8	8	8	8	8
U	W/m ² K	0,36	0,36	0,36	0,30	0,28	0,28
Y _{IE}	W/m ² K	0,14	0,14	0,14	0,11	0,09	0,09
f _{di}	-	0,40	0,40	0,40	0,35	0,34	0,34
φ	h	8,1	8,1	8,1	8,4	8,6	8,6
C _{IP}	kJ/m ² K	55					
Sd _T *	m	0	0	0	0	0	0

* In caso di isolanti igroscopici prevedere sempre una barriera al vapore



Legenda: *a* manto in laterizio, *b* intercapedine ventilata 6-8 cm, *c* guaina impermeabilizzante 0,4 cm, *d* tavolato 2,5 cm, *e* intercapedine sotto-tavolato 2 cm, *f* elemento di tenuta all'aria (eventuale) Sd_T, *g* isolante: polistirene espanso (EPS), *h* isolante: fibra di legno mineralizzata (FLM), *i* barriera al vapore, *l* tavolato 2,5 cm

LC5

Descrizione

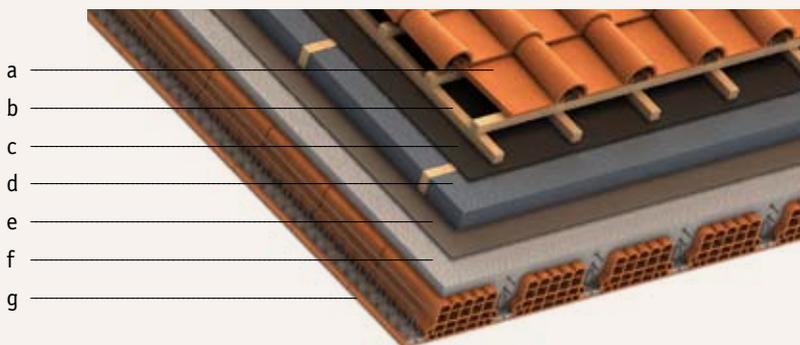
Sistema di copertura ventilato, con solaio in latero-cemento (spessore 20 + 6 cm), massa areica variabile in funzione del materiale isolante, compresa tra 380 e 440 kg/m²

Prestazioni

		EPS						lana di roccia					
		A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
Massa areica	kg/m ²	380						390					
Spessore _{ISO}	cm	8	8	8	10	11	11	8	8	8	9	10	10
U	W/m ² K	0,36	0,36	0,36	0,30	0,28	0,28	0,35	0,35	0,35	0,32	0,29	0,29
Y _{IE}	W/m ² K	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05
f _d	-	0,18	0,18	0,18	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,16	0,16
φ	h	9,6	9,6	9,6	9,8	9,9	9,9	10,2	10,2	10,2	10,5	10,7	10,7
C _{IP}	kJ/m ² K	165						165					
Sd _T *	m	2	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0

		sughero						lana di legno					
		A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
Massa areica	kg/m ²	390						430 - 440					
Spessore _{ISO}	cm	9	9	9	11	11	12	14	14	14	16	18	18
U	W/m ² K	0,36	0,36	0,36	0,30	0,30	0,28	0,36	0,36	0,36	0,32	0,29	0,29
Y _{IE}	W/m ² K	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01
f _d	-	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15	0,14	0,06	0,06	0,06	0,05	0,03	0,03
φ	h	11,2	11,2	11,2	12,0	> 12	> 12	> 12	> 12	> 12	> 12	> 12	> 12
C _{IP}	kJ/m ² K	165						160					
Sd _T *	m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

* In caso di isolanti igroscopici prevedere sempre una barriera al vapore



Legenda: *a* manto in laterizio, *b* intercapedine 6 - 8 cm, *c* elemento di tenuta all'aria (eventuale) Sd_T, *d* isolante (ISO), *e* guaina impermeabilizzante (eventuale), *f* solaio in latero-cemento 20 + 6 cm, *g* intonaco

LC6**Descrizione**

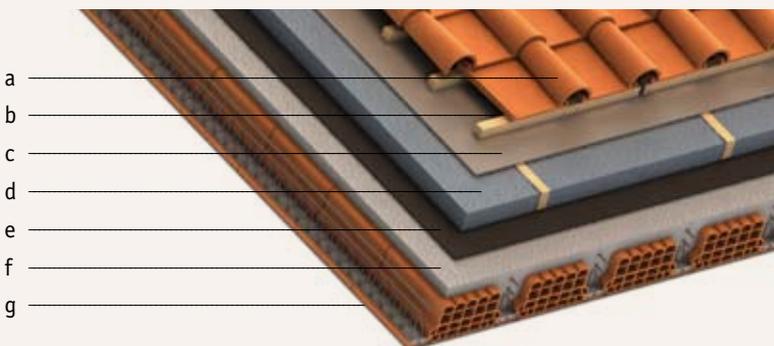
Sistema di copertura microventilato, con solaio in latero-cemento (spessore 20 + 6 cm), massa areica variabile in funzione del materiale isolante, compresa tra 380 e 440 kg/m²

Prestazioni

		EPS						lana di roccia					
		A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
Massa areica	kg/m ²	380						390					
Spessore _{ISO}	cm	8	8	8	10	11	11	8	8	8	9	10	10
U	W/m ² K	0,36	0,36	0,36	0,30	0,28	0,28	0,35	0,35	0,35	0,32	0,29	0,29
Y _{IE}	W/m ² K	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05
f _d	-	0,18	0,18	0,18	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,16	0,16
φ	h	9,6	9,6	9,6	9,8	9,9	9,9	10,2	10,2	10,2	10,5	10,7	10,7
C _{IP}	kJ/m ² K	165						165					
Sd _T *	m	2	2	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0

		sughero						lana di legno					
		A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
Massa areica	kg/m ²	390						430 - 440					
Spessore _{ISO}	cm	9	9	9	11	11	12	14	14	14	16	18	18
U	W/m ² K	0,36	0,36	0,36	0,30	0,30	0,28	0,36	0,36	0,36	0,32	0,29	0,29
Y _{IE}	W/m ² K	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01
f _d	-	0,16	0,16	0,16	0,15	0,15	0,14	0,06	0,06	0,06	0,05	0,03	0,03
φ	h	11,2	11,2	11,2	12,0	> 12	> 12	> 12	> 12	> 12	> 12	> 12	> 12
C _{IP}	kJ/m ² K	165						160					
Sd _T *	m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

* In caso di isolanti igroscopici prevedere sempre una barriera al vapore



Legenda: *a* manto in laterizio, *b* intercapedine 3 - 4 cm, *c* elemento di tenuta all'aria (eventuale) Sd_T, *d* isolante (ISO), *e* guaina impermeabilizzante (eventuale), *f* solaio in latero-cemento 20 + 6 cm, *g* intonaco

L7

Descrizione

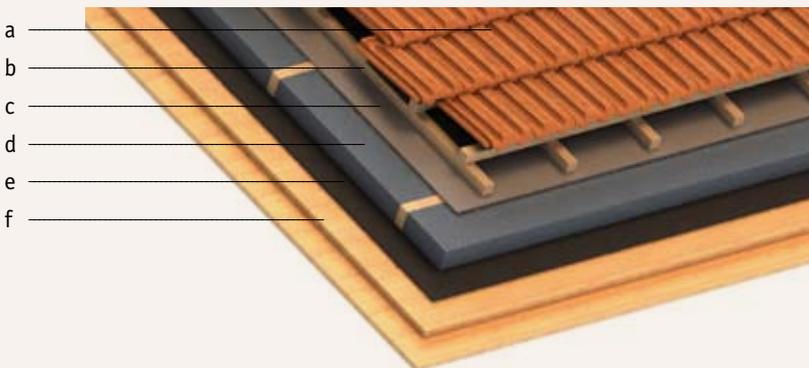
Sistema di copertura ventilato, struttura portante in legno, massa areica variabile in funzione del materiale isolante, compresa tra 80 e 140 kg/m²

Prestazioni

		EPS						lana di roccia					
		A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
Massa areica	kg/m ²	80						90					
Spessore _{ISO}	cm	9	9	9	9	10	11	9	9	9	9	10	10
U	W/m ² K	0,32	0,32	0,32	0,32	0,30	0,27	0,31	0,31	0,31	0,31	0,29	0,29
Y _{IE}	W/m ² K	0,20	0,20	0,20	0,20	0,18	0,17	0,19	0,19	0,19	0,19	0,17	0,17
f _d	-	0,62	0,62	0,62	0,62	0,61	0,61	0,59	0,59	0,59	0,59	0,58	0,58
φ	h	4,9	4,9	4,9	4,9	5,0	5,1	5,8	5,8	5,8	5,8	6,1	6,1
C _{IP}	kJ/m ² K	65						65					
Sd _T *	m	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0

		sughero						lana di legno					
		A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
Massa areica	kg/m ²	90						120 - 140					
Spessore _{ISO}	cm	9	9	9	9	11	12	13	13	13	16	17	18
U	W/m ² K	0,35	0,35	0,35	0,35	0,30	0,28	0,37	0,37	0,37	0,32	0,30	0,29
Y _{IE}	W/m ² K	0,20	0,20	0,20	0,20	0,15	0,13	0,08	0,08	0,08	0,04	0,04	0,03
f _d	-	0,56	0,56	0,56	0,56	0,51	0,48	0,22	0,22	0,22	0,14	0,12	0,10
φ	h	6,5	6,5	6,5	6,5	7,4	7,9	> 12	> 12	> 12	> 12	> 12	> 12
C _{IP}	kJ/m ² K	70						70					
Sd _T *	m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

* In caso di isolanti igroscopici prevedere sempre una barriera al vapore



Legenda: a manto in laterizio, b intercapedine 6 - 8 cm, c elemento di tenuta all'aria (eventuale) Sd_T, d isolante (ISO), e guaina impermeabilizzante (eventuale), f doppio tavolato ligneo 5 cm

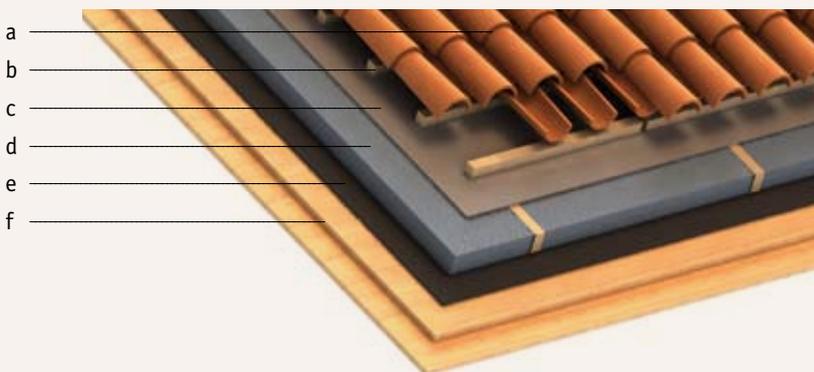
L8**Descrizione**

Sistema di copertura microventilato, struttura portante in legno, massa areica variabile in funzione del materiale isolante, compresa tra 80 e 140 kg/m²

Prestazioni

		EPS						lana di roccia					
		A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
Massa areica	kg/m ²	80						90					
Spessore _{ISO}	cm	9	9	9	9	10	11	9	9	9	9	10	10
U	W/m ² K	0,32	0,32	0,32	0,32	0,30	0,27	0,31	0,31	0,31	0,31	0,29	0,29
Y _{IE}	W/m ² K	0,20	0,20	0,20	0,20	0,18	0,17	0,19	0,19	0,19	0,19	0,17	0,17
f _d	-	0,62	0,62	0,62	0,62	0,61	0,61	0,59	0,59	0,59	0,59	0,58	0,58
φ	h	4,9	4,9	4,9	4,9	5,0	5,1	5,8	5,8	5,8	5,8	6,1	6,1
C _{IP}	kJ/m ² K	65						65					
Sd _T *	m	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
		sughero						lana di legno					
		A	B	C	D	E	F	A	B	C	D	E	F
Massa areica	kg/m ²	90						120 - 140					
Spessore _{ISO}	cm	9	9	9	9	11	12	13	13	13	16	17	18
U	W/m ² K	0,35	0,35	0,35	0,35	0,30	0,28	0,37	0,37	0,37	0,32	0,30	0,29
Y _{IE}	W/m ² K	0,20	0,20	0,20	0,20	0,15	0,13	0,08	0,08	0,08	0,04	0,04	0,03
f _d	-	0,56	0,56	0,56	0,56	0,51	0,48	0,22	0,22	0,22	0,14	0,12	0,10
φ	h	6,5	6,5	6,5	6,5	7,4	7,9	> 12	> 12	> 12	> 12	> 12	> 12
C _{IP}	kJ/m ² K	70						70					
Sd _T *	m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

* In caso di isolanti igroscopici prevedere sempre una barriera al vapore



Legenda: *a* manto in laterizio, *b* intercapedine 3 - 4 cm, *c* elemento di tenuta all'aria (eventuale) Sd_T, *d* isolante (ISO), *e* guaina impermeabilizzante (eventuale), *f* doppio tavolato ligneo 5 cm

LC9**Descrizione**Sistema di copertura ventilato, struttura portante in latero-cemento (spessore 20 + 6 cm), massa areica 400 kg/m²**Prestazioni**

		A	B	C	D	E	F
Massa areica	kg/m ²	400					
Spessore _{EPS}	cm	5	5	5	7	7	8
Spessore _{FLM}	cm	5	5	5	5	5	5
U	W/m ² K	0,36	0,36	0,36	0,30	0,30	0,28
Y _{IE}	W/m ² K	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,03
f _d	-	0,13	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11
φ	h	> 12	> 12	> 12	> 12	> 12	> 12
C _{IP}	kJ/m ² K	160					
S _{dT} *	m	2	2	1	1	0	0

* In caso di isolanti igroscopici prevedere sempre una barriera al vapore



Legenda: *a* manto in laterizio, *b* intercapedine ventilata 6 - 8 cm, *c* membrana impermeabile traspirante "a corda blanda" S_d, *d* isolante: polistirene espanso (EPS), *e* isolante: fibra di legno mineralizzata (FLM), *f* elemento di tenuta all'aria e/o all'acqua (eventuale), *g* solai in latero-cemento 20 + 6 cm, *h* intonaco

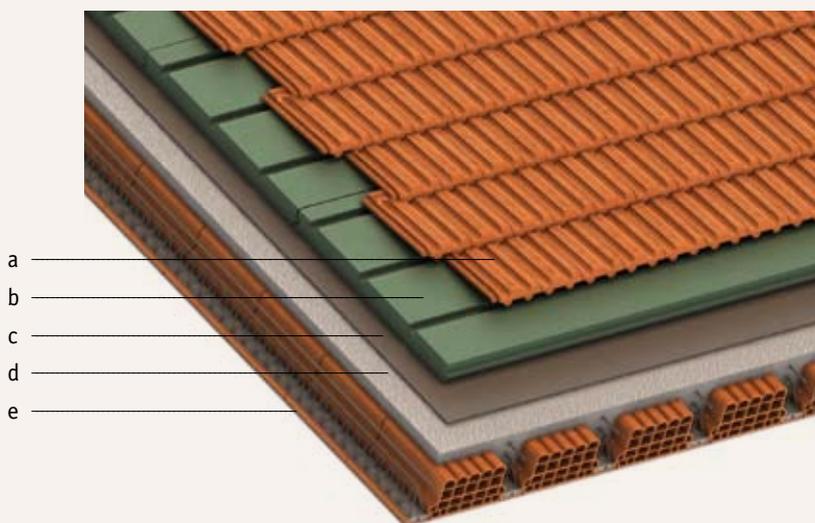
LC10**Descrizione**

Sistema di copertura con ventilazione sottomanto, con solaio in latero-cemento (spessore 20 + 6 cm), massa areica pari a 380 kg/m²

Prestazioni

		A	B	C	D	E	F
Massa areica	kg/m ²	380					
Spessore _{EPS}	cm	8	8	8	10	11	11
U	W/m ² K	0,36	0,36	0,36	0,30	0,28	0,28
Y _{IE}	W/m ² K	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05
f _d	-	0,18	0,18	0,18	0,17	0,17	0,17
φ	h	9,6	9,6	9,6	9,7	9,9	9,9
C _{IP}	kJ/m ² K	165					
S _{d,T} *	m	2	2	1	1	0	0

* In caso di isolanti igroscopici prevedere sempre una barriera al vapore



Legenda: *a* manto in laterizio, *b* isolante: EPS - pannelli sagomati per l'aggancio delle tegole, *c* strato di tenuta all'aria e/o all'acqua (eventuale) S_{d,T}, *d* solaio in latero-cemento 20 + 6 cm, *e* intonaco

LC11

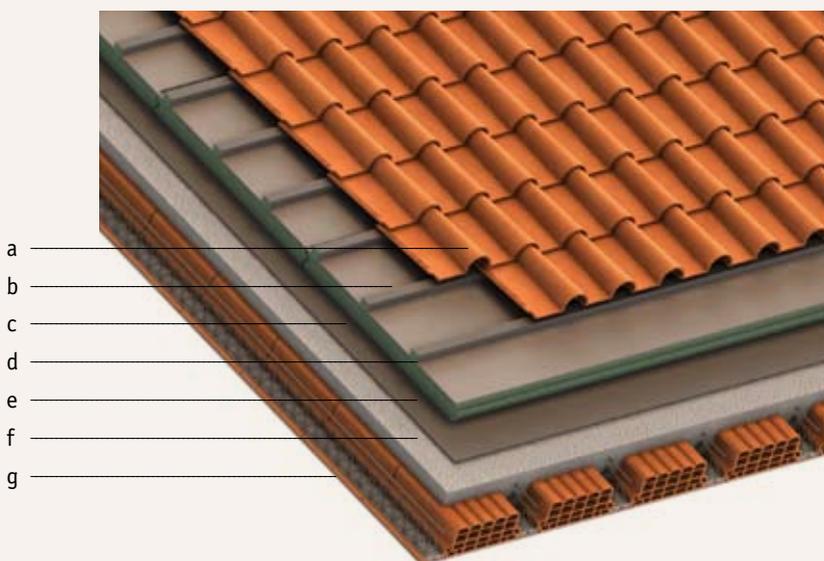
Descrizione

Sistema di copertura con ventilazione sottomanto, con solaio in latero-cemento (spessore di 16 + 6 cm), massa areica pari a 380 kg/m²

Prestazioni

		A	B	C	D	E	F
Massa areica	kg/m ²	380					
Spessore _{PIR}	cm	5	5	5	7	7	7
U	W/m ² K	0,38	0,38	0,38	0,29	0,29	0,29
Y _{IE}	W/m ² K	0,07	0,07	0,07	0,05	0,05	0,05
f _d	-	0,18	0,18	0,18	0,17	0,17	0,17
φ	h	9,5	9,5	9,5	9,8	9,8	9,8
C _{IP}	kJ/m ² K	165					
S _{dT} *	m	1	1	1	1	0	0

* In caso di isolanti igroscopici prevedere sempre una barriera al vapore



Legenda: *a* manto in laterizio, *b* listelli (lignee, metallici o incorporati con l'elemento di tenuta e l'isolante), *c* elemento di tenuta all'aria e/o all'acqua (eventuale) S_{dT}, *d* isolante: poliuretano (PIR), *e* barriera al vapore, *f* solaio in latero-cemento 16 + 6 cm, *g* intonaco

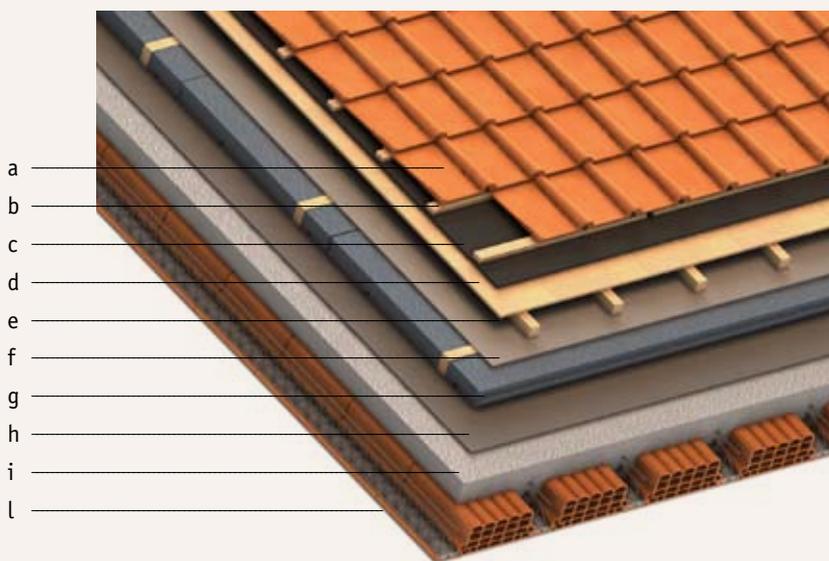
LC12**Descrizione**

Sistema di copertura ventilato, con solaio in latero-cemento (spessore di 20 + 6 cm), massa areica pari a 390 kg/m²

Prestazioni

		A	B	C	D	E	F
Massa areica	kg/m ²	390					
Spessore _{EPS}	cm	8	8	8	10	11	11
U	W/m ² K	0,36	0,36	0,36	0,30	0,28	0,28
Y _{IE}	W/m ² K	0,06	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05
f _d	-	0,18	0,18	0,18	0,17	0,17	0,17
φ	h	9,6	9,6	9,6	9,7	9,9	9,9
C _{TP}	kJ/m ² K	165					
Sd _T *	m	2	2	1	1	0	0

* In caso di isolanti igroscopici prevedere sempre una barriera al vapore



Legenda: *a* manto in laterizio, *b* listelli, *c* strato impermeabilizzante, *d* pannello in OSB, *e* intercapedine ventilata 6 cm, *f* elemento di tenuta all'aria (eventuale) Sd_T, *g* isolante: polistirene espanso (EPS), *h* barriera al vapore, *i* solaio in latero-cemento 20 + 6 cm, *l* intonaco

Riferimenti bibliografici e normativi

Letteratura scientifica internazionale e nazionale

M. D'Orazio, A. Stazi, C. Di Perna, E. Di Giuseppe, *The Physics of Vented Roofs in Hot and Temperate climates: (...)*, in "Energy and Buildings: Efficiency, Air Quality, and Conservation", Ed. J. Utrick, Nova Science (USA), 2009.

M. D'Orazio, C. Di Perna, F. Stazi, *Thermal behaviour of vented roofs*, Structural Survey n.27, 2009, pp. 411-422.

Elisa Di Giuseppe, Angela Orciari, *Iperisolare conviene?*, Costruire in Laterizio n. 131, 2009.

Elisa Di Giuseppe, Angela Orciari, Marco D'Orazio, Costanzo Di Perna, *Influenza delle proprietà radiative del manto sul comportamento termico di sistemi di copertura*, Costruire in Laterizio n. 130, 2009.

M. D'Orazio, C. Di Perna, P. Principi, A. Stazi, *Effects of roof tile permeability on the thermal performance of ventilated roofs: Analysis of annual performance*, Energy and Buildings, Volume 40, Issue 5, 2008, pp. 911-916.

M. D'Orazio, D. Dogana, *Comportamento igrometrico delle coperture in laterizio*, Costruire in Laterizio n.116, 2007.

D'Orazio M., Stazi F., *Ventilation in traditional coverings. An analysis of the hygrometric and thermal behaviour*, Proceedings of XXXII IAHS World Congress, Sustainability of the Housing Projects, Trento, 2004.

A. Laurià, *Il controllo delle condizioni igrotermiche del manto: la microventilazione*, Costruire in Laterizio n. 92 , 2003.

A. Laurià, *Le condizioni igrotermiche del tetto: il comfort in periodo invernale ed estivo*, Costruire in Laterizio n. 94, 2003.

M. D'Orazio, *La ventilazione delle coperture in laterizio*, Costruire in Laterizio n. 88, 2002.

Letteratura tecnica nazionale (libri e siti internet)

Laurià A., *I manti di copertura in laterizio*, Ed. Laterservice, 2008.

D'Orazio M., *La ventilazione delle coperture in cotto*, Ed. BEMA, Milano 2004.

D'Orazio M., Dogana D., a cura di, *Atti del Convegno Architettura e Tecnica delle coperture*, Ancona 10-11 marzo 2006, BEMA Ed., Milano, 2007.

www.laterizio.it - www.copertureinlaterizio.it

Norme

DLgs 19 agosto 2005, n.192, *Attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia.*

DLgs 29 dicembre 2006, n. 311, *Disposizioni correttive ed integrative al decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, recante attuazione della direttiva 2002/91/CE, relativa al rendimento energetico nell'edilizia.*

DPR 2 aprile 2009, n.59, *Attuazione dell'art.4, comma 1, lettere a) e b), del decreto legislativo 19 agosto 2005, n. 192, e successive modificazioni, concernente attuazione della direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia.*

DM 26 giugno 2009, *Linee guida nazionali per la certificazione energetica degli edifici.*

UNI 9460, *Edilizia. Coperture discontinue. Codice di pratica per la progettazione e l'esecuzione di coperture discontinue con tegole di laterizio e cemento.*

UNI EN ISO 6946, *Componenti ed elementi per edilizia. Resistenza termica e trasmittanza termica. Metodo di calcolo.*

UNI EN ISO 13786, *Prestazione termica dei componenti per edilizia. Caratteristiche termiche dinamiche. Metodi di calcolo.*

UNI EN ISO 13788, *Prestazione igrotermica dei componenti e degli elementi per edilizia. Temperatura superficiale interna per evitare l'umidità superficiale critica e condensazione interstiziale. Metodo di calcolo.*

UNI/TS 11300-1, *Prestazioni energetiche degli edifici. Parte 1: Determinazione del fabbisogno di energia termica dell'edificio per la climatizzazione estiva ed invernale.*

UNI 10355, *Murature e solai. Valori della resistenza termica e metodo di calcolo.*

UNI EN ISO 10456, *Materiali e prodotti per edilizia. Proprietà igrometriche. Valori tabulati di progetto e procedimenti per la determinazione dei valori termici dichiarati e di progetto.*

UNI EN 1745, *Muratura e prodotti per muratura. Metodi per determinare i valori termici di progetto.*



Via A. Torlonia, 15 - 00161 Roma
Tel. 0644236926 - Fax 0644237930
andil@laterizio.it



www.copertureinlaterizio.it
©2010