

Opinione comune è che la copertura, o più comunemente il tetto, ha la funzione di definire la parte superiore dell'edificio e di preservare l'ambiente interno dagli agenti atmosferici. Il manto di copertura, che è lo strato esterno delle coperture, garantisce la tenuta dell'acqua, mentre la struttura portante ha il compito di sostenere il manto. Lo scopo essenziale delle coperture è impedire l'insorgere di umidità, quella di opporre resistenza alle sollecitazioni date dalla neve e dal vento.

Per ciò che concerne specificatamente le coperture può essere più significativo analizzare il trend di sviluppo in termini di materiali e tecnologie più tradizionali, ed in Europa si registrano elevati standard di isolamento termico che si muovono verso l'iper-isolamento. Questa tendenza ha delle notevoli ricadute relativamente alla messa a punto delle soluzioni tecniche. Come è noto la copertura è l'elemento tecnico interessato dai confronti più critici con il contesto termico ambientale. Ciò avviene durante la stagione estiva, quando la temperatura aria-sole della superficie esterna raggiunge valori elevati, anche in funzione del fatto che la superficie di una copertura è irraggiata dal sole durante tutta la giornata. Ma anche in inverno quando le temperature esterne oscillano attorno allo 0°C anche di 10 °C, la copertura subisce delle sollecitazioni meccaniche e funzionali da tenere in considerazione.

Il trend di sviluppo verso l'iper-isolamento richiede maggiori attenzioni sia nella scelta dei prodotti costituenti l'elemento di tenuta (che dovrà muoversi verso l'utilizzo di prodotti di qualità superiore e molto stabili), sia nella messa a punto dei sistemi di copertura.

Il previsto aumento dello spessore dello strato isolante attiva anche la necessità di prestare particolari attenzioni agli aspetti meccanici, in ragione delle incrementate deformazioni sotto carico e della resistenza all'azione del vento. Nel concreto le problematiche che emergono dal confronto tra le nuove esigenze abitative e una tecnologia costruttiva tradizionale in relazione alle stagioni possono essere riassunte nel seguente schema:

Nei mesi caldi:

- surriscaldamento degli ambienti interni dovuto alla trasmissione del calore prodotto dal sole per conduzione-irraggiamento

Nei mesi freddi:

- dispersione termica
- disagi ambientali dovuti ad umidità eccessiva
- deterioramento/alterazione strutturale e riduzione della durata degli elementi costruttivi del tetto
- scioglimento non omogeneo e scivolamento del manto nevoso

TETTO CALDO

La coibentazione della copertura è essenziale per ridurre la dispersione termica, per produrre notevoli economie di esercizio e sensibili vantaggi in termini di confort abitativo, oltre ad avere un ruolo rilevante come funzione protettiva nei confronti della struttura. Questo è possibile qualora venga correttamente inglobato in una tecnologia d'intervento che, attribuisca all'isolamento termico il suo ruolo (strato separatore con funzione coibente), ma che al contempo, non dimentichi che una copertura, oltre a essere isolata termicamente, deve risultare impermeabile all'acqua, resistere ai carichi (vento, neve, carichi accidentali, ecc.) e prevenire l'insorgere di situazioni termoigrometriche critiche fig 1.

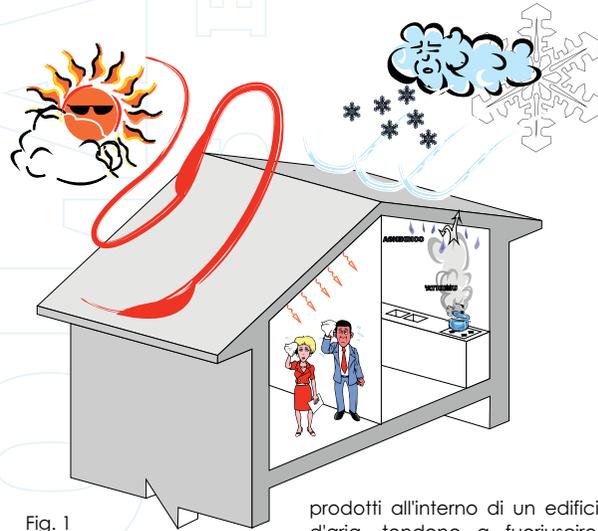


Fig. 1

Tali considerazioni iniziali nascono dall'osservazione di una pratica convenzionale che frequentemente prevede la coibentazione e l'impermeabilizzazione del tetto (tetto caldo), normalmente eseguite applicando direttamente il coibente sulla struttura portante e a sua volta, sul coibente una guaina impermeabilizzante come sotto strato del manto di copertura fig 2.

Una tecnologia di questo tipo può produrre l'insorgere di situazioni termoigrometriche critiche dovute alla guaina impermeabilizzante posta all'estradosso del tetto che offre una notevole resistenza all'attraversamento del vapore acqueo, impedendone la trasmigrazione dall'edificio.

Considerando che tutti i vapori

prodotti all'interno di un edificio, che non vengono smaltiti con ricambi d'aria, tendono a fuoriuscire prevalentemente attraverso il tetto e ulteriormente ipotizzando di produrre vapore acqueo all'interno di una stanza chiusa (per esempio ponendo al suo interno alcune persone o cuocendo cibi o ancora facendo la doccia), con una temperatura interna di +25°C il vapore inizialmente si disperderà nell'aria senza creare particolari fenomeni. Continuando in questa operazione di produzione del vapore, arriveremo ad un punto in cui vedremo che il vapore acqueo inizierà un fenomeno di condensazione, aggregandosi in piccole gocce d'acqua. Ciò significa che a quel punto l'aria della stanza è saturata e che l'umidità relativa è del 100%. In tali condizioni la quantità d'acqua presente nell'ambiente è di 23 g ogni m³ di aria. Se ripetessimo la stessa operazione, ma con temperatura di 0°C, il fenomeno di condensazione inizierà quando la quantità d'acqua per m³ sarà di soli 4,839 g. Da questo si può dedurre che la quantità d'acqua che l'aria può sopportare in sospensione è in funzione e proporzionale alla temperatura dell'aria stessa. Appare quindi chiaro che in un tetto termicamente isolato, con una differenza termica tra l'interno e l'esterno (nel periodo invernale la temperatura interna di progetto è in genere 20°C mentre per quella esterna ipotizziamo essere 0°C), in una determinata zona all'interno del tetto si verifica il fenomeno di condensazione. Infatti se analizziamo punto per punto la sezione della copertura spostandoci dall'interno verso l'esterno la temperatura di +20°C, con umidità relativa del 60%, si riduce progressivamente all'interno del tetto fino a raggiungere i +12°C, ma l'umidità relativa sarà del 100% (i grammi di acqua in sospensione sono gli stessi presenti alla temperatura di +20°C) (vedi Tab.2) e pertanto

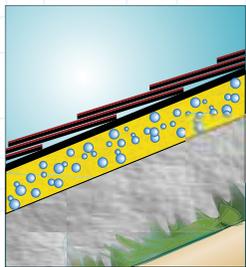


Fig. 2

TABELLA DELLE TEMPERATURE DEL PUNTO DI RUGIADA

temperatura dell'aria interna °C	L'umidità relativa dell'aria interna/Temperatura del punto di rugiada (o condensa)											
	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%	100%	
-10	-17,6	-16,6	-15,7	-14,7	-13,9	-13,2	-12,5	-11,8	-11,2	-11,2	-10,0	
-5	-12,9	-11,8	-10,8	-9,9	-9,1	-8,3	-7,60	-6,9	-6,2	-5,6	-5,0	
+0	-8,1	-6,6	-5,6	-4,7	-3,8	-3,1	-2,3	-1,6	-0,9	-0,3	+0,0	
+2	-6,5	-5,3	-4,3	-3,4	-2,5	-1,6	-0,8	-0,1	-0,6	+1,3	+2,0	
+4	-4,8	-3,7	-2,7	-1,8	-0,9	-0,1	+0,8	+1,6	+2,4	+3,2	+4,0	
+6	-3,2	-2,1	-1,0	-0,1	+0,9	+1,9	+2,8	+3,6	+4,4	+5,2	+6,0	
+8	-1,6	-0,4	+0,7	+1,8	+2,9	+3,9	+4,8	+5,6	+6,4	+7,2	+8,0	
+10	+0,1	+1,4	+2,6	+3,7	+4,8	+5,8	+6,7	+7,6	+8,4	+9,2	+10,0	
+12	+1,9	+3,2	+4,3	+5,5	+6,6	+7,6	+8,5	+9,5	+10,3	+11,2	+12	
+14	+3,8	+5,1	+6,4	+7,5	+8,6	+9,6	+10,6	+11,5	+12,4	+13,2	+14,0	
+16	+5,6	+7,0	+8,2	+9,4	+10,5	+11,5	+12,5	+13,4	+14,3	+15,2	+16,0	
+18	+7,4	+8,8	+10,1	+11,3	+12,4	+13,5	+14,5	+15,4	+16,3	+17,2	+18	
+20	+9,3	+10,7	+12,0	+13,2	+14,3	+15,4	+16,5	+17,4	+18,3	+19,2	+20,0	
+22	+11,1	+12,5	+13,9	+15,2	+16,3	+17,4	+18,4	+19,4	+20,3	+21,2	+22,0	
+25	+13,8	+15,3	+16,7	+17,9	+19,1	+20,2	+21,3	+22,3	+23,2	+24,1	+25,0	
+30	+18,5	+19,9	+21,2	+22,8	+24,2	+25,3	+26,4	+27,5	+28,5	+29,2	+30,0	
+35	+23,0	+24,5	+26,0	+27,4	+28,7	+29,9	+31,0	+32,6	+33,1	+34,1	+35,0	
+40	+27,6	+29,2	+30,7	+32,1	+33,5	+34,7	+35,9	+37,0	+38,0	+39,0	+40,0	

inizierà il fenomeno di condensa all'interno del pacchetto. Ciò provocherà formazione di muffe, macchie di umidità e rapido deterioramento dei materiali e delle strutture del tetto.

Inoltre il materiale coibente, impregnandosi di umidità, perde notevolmente il proprio potere isolante, essendo l'acqua un buon conduttore termico. Lo stesso materiale coibente subisce, per la presenza di umidità al suo interno, un rapido degrado.

La localizzazione del punto di rugiada, in un normale tetto di legno, calcolati gli effetti della pressione effettiva del vapore acqueo e l'andamento della pressione di saturazione può essere visualizzata come nel disegno. (Metodo Glaser) fig 3.

Se non avessimo avuto la guaina all'estradosso (che spesso viene utilizzata solo come protettivo di sicurezza per tetti in laterizio o in cemento), il fenomeno sarebbe stato nettamente inferiore poiché i vapori avrebbero trasmigrato verso l'aria esterna che ha il più alto grado di permeabilità al vapore tra i materiali in oggetto.

Con una valutazione approfondita del problema ci si può rendere conto che le coperture non affrontando continuamente le condizioni climatiche più rigide, possono tollerare per brevi periodi anche la condensazione al loro interno, purché al miglioramento del clima la condensa possa evaporare e quindi riportare il coibente in condizioni ottimali d'esercizio. Ad ogni modo si tratta di eventi che debbono essere affrontati contestualizzando l'edificio e valutando i rischi caso per caso.

Per risolvere il problema della condensa, evitando il possibile degrado prodotto dalla condensa agli strati della copertura, si deve modificare la stratigrafia della stessa, inserendo all'intradosso del coibente una barriera al vapore (metallo) fig 4. Questa pur non variando la posizione del punto di rugiada, modifica la curva della "pressione effettiva del vapore" impedendo al vapore stesso di raggiungere gli strati superiori (più esterni e freddi) e quindi di condensare, a condizione che sia stato posizionato correttamente il punto di rugiada all'interno del pacchetto.

L'escursione nei tetti coibentati fatta sinora ha centrato l'attenzione sulla salvaguardia dei materiali che li compongono, valutando soluzioni tecnologiche e metodi di calcolo sviluppati per affrontare la stagione fredda, che però lascia irrisolti problemi come lo scivolamento della neve.

Tab.2

Stratificazione:
- guaina 4 mm
- lana di vetro 50 mm
- perlinatura 20 mm

Condizione di contorno
- Ti +20° - UR 70%
- Te -10 - UR 70%

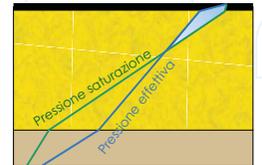


Fig. 3

Stratificazione:
- guaina 4 mm
- lana di vetro 50 mm
- **barriera in alluminio**
- perlinatura 20 mm

Condizione di contorno
- Ti +20° - UR 70%
- Te -10 - UR 70%

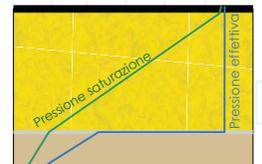


Fig. 4

TETTO VENTILATO E BENESSERE TERMOIGROMETRICO

Infatti qualunque sia il valore del "U" della struttura, c'è sempre una dispersione termica che è direttamente proporzionale al suo valore. Di conseguenza, la fuoriuscita di calore sul tetto farà riscaldare prima il manto e poi la neve accumulata su di esso, che comincerà a sciogliersi nello strato inferiore. Ne consegue che il velo d'acqua formatosi sotto la neve, la farà scivolare sui cornicioni per poi cadere rovinosamente a terra con il rischio di danni al manto e/o alle grondaie ed eventualmente anche di infiltrazioni, perché la dispersione nei cornicioni è sensibilmente inferiore e porta alla formazione di barriere di ghiaccio e di sacche d'acqua in corrispondenza dei muri perimetrali, con ritorni d'acqua in falda e quindi ad infiltrazioni della stessa negli strati sottostanti fig 5.

Con la coibentazione del tetto come sopra descritta, sono stati assolti gli obblighi di legge (192/05) per il periodo invernale, riassumendo in poche righe:

- Risparmio energetico.
- Formazione di condensa, comparsa di muffa.
- Scivolamento della neve
- Deterioramento dei coibenti e delle strutture del tetto

Analizziamo ora il comportamento di questa soluzione tecnica nella stagione estiva.

Per tutti i materiali coibenti il valore teorico del "λ" è testato ad una temperatura di esercizio di 10 °C. Se gli stessi test fossero eseguiti a temperature maggiori, i valori di "λ" (es. 60°C) determinerebbero una perdita progressiva ed esponenziale del loro potere isolante al crescere della temperatura come evidenzia il grafico 2.

Questa informazione c'è d'aiuto per valutare il comportamento dello strato coibente di un tetto caldo, quando la temperatura, a seguito dell'irraggiamento solare diurno, può raggiungere anche i 75/80 °C mentre il refrigerio notturno poi la riporta a valori anche inferiori ai 20 °C.

Se mettiamo in relazione l'escursione termica con la variazione della capacità di isolare definita dal "λ", ci rendiamo conto che la trasmissione del calore (e quindi di accumulo delle calorie da parte della struttura dei sottotetti abitati) durante le ore diurne è sensibilmente maggiore della possibilità di disperdere lo stesso calore durante le ore serali o notturne, poiché la resistenza opposta dal coibente, quando non è più irradiato dal sole, torna vicina alle condizioni di progetto frenando e ritardando la fuoriuscita delle calorie accumulate durante il giorno.

L'effetto prodotto nei sottotetti abitati da questo flusso di calore, che nella prima fase è orientato dall'esterno verso l'interno e in un secondo tempo dall'interno verso l'esterno (poiché il caldo si muove verso il freddo), è quello di rendere difficilmente sostenibile la vivibilità degli ambienti nelle ore serali-notturne, che risultano essere più caldi e umidi dell'ambiente esterno per l'effetto radiante del solaio del tetto e quindi determinano uno stato di sofferenza. La quantità di kcal assorbite è enorme, fino a 500 Kcal/m² (582 W/h m²), che la notte vengono irradiate per ore all'interno dell'ambiente fino a quando la temperatura del solaio non torna a quella ambiente, causando disagio e malessere. Probabilmente parole come "all'interno era più caldo che fuori" o "ho potuto riposare solo dopo le tre quando a cominciare a fare fresco" non suonano così aliene fig 6.

Nelle prossime sezioni valuteremo una tecnologia che applicata ai tetti in pendenza può risolvere il problema del benessere termoigrometrico in modo passivo, in armonia con la 192/05 per il periodo caldo.

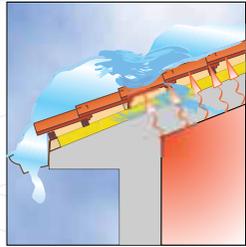
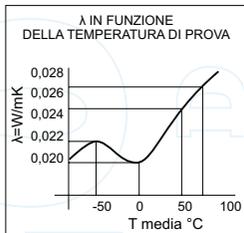


Fig. 5



Graf. 2

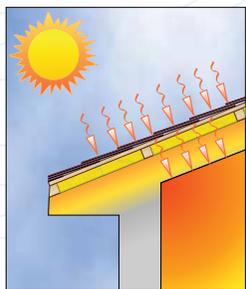


Fig. 6

L'attenzione e l'emergenza che è sorta a livello europeo per la salvaguardia dell'ambiente sta spostando l'attenzione verso il risparmio energetico sostenendo uno sviluppo eco-compatibile. Questo porta allo sviluppo di tecnologie volte a mantenere una temperatura costante all'interno degli edifici con un dispendio energetico contenuto.

L'esperienza ci porta a sostenere che ciò, se pur traguardo ambito e di tutto rilievo, può non produrre il benessere che l'uomo auspica, infatti la sua percezione della temperatura dipende da un'insieme di fattori che possiamo riassumere:

- Temperatura dell'aria interna
- Temperatura superficiale delle pareti e del soffitto.
- Grado di isolamento delle parti vetrate
- Umidità relativa dell'ambiente

È necessario pertanto parlare di benessere termoigrometrico.

Purtroppo come si poteva già intuire dalle premesse, le nuove esigenze abitative, se non affrontate con la dovuta attenzione, possono produrre alcune problematiche quali la comparsa di muffa o il precoce degrado degli elementi costituenti la copertura.

L'esperienza conferma che tali fenomeni il più delle volte non devono essere attribuiti direttamente ai materiali costituenti le parti delle chiusure ma a una progettazione il più delle volte affrettata, o priva di quei fondamenti che permettono di valutare l'edificio in modo globale.

Probabilmente la più importante soluzione di tipo passivo per benessere termoigrometrico è rappresentata dal tetto ventilato.

Se ripensiamo agli edifici che fanno parte della nostra tradizione, sia di città che di montagna il benessere termoigrometrico era presente ed in modo consapevole. Su quei tetti in legno, la traspirabilità, la permeabilità al vapore e l'utilizzo dell'aria per non surriscaldare i sottotetti durante la stagione estiva erano presenti. Nascevano dall'attenta osservazione dei loro errori eolgevano a preservare il legno dal degrado. Solo in secondo tempo si pensava all'uomo, il primo pensiero del progettista era volto a consegnare la sua opera alla storia e renderla duratura. Senza negare che le modificate esigenze e che le tecnologie più recenti come l'uso del latero cemento sui tetti, della coibentazione e di nuovi strumenti per produrre impermeabilità efficienti, abbiano prodotto nuove potenzialità nel settore delle costruzioni, è altrettanto vero che hanno anche notevolmente ridotto la permeabilità degli edifici soffocando i materiali che costituiscono l'involucro, e con loro noi. Solo nell'ultimo decennio quei principi basilari per un corretto progettare e vivere, sono stati riscoperti. Per questo motivo prendiamo in esame gli aspetti benefici indotti da tali tipologie costruttive ordinandoli in una nuova stratificazione della copertura, organizzata e razionalizzata in modo da garantirne le prestazioni e la durata. Il tetto ventilato rappresenta la migliore tecnica di copertura passiva; capace di offrire numerosi vantaggi per il confort abitativo, la durata della struttura, il risparmio energetico fig 7.

Un tetto ventilato si può considerare tale quando il manto di copertura si distacca dallo strato coibente fig 8 (o dalla struttura/piano di posa qualora non fosse presente l'isolante) realizzando un'intercapedine in cui si sviluppa un moto ascendente d'aria che, riscaldandosi per conduzione-convezione, attraverso il manto di copertura sotto l'influsso dell'irraggiamento solare, aumenta di volume, diminuisce di peso e risale verso il colmo del tetto, da cui fuoriesce e, così facendo, aspira aria "fresca" dalla gronda (effetto camino fig 7). In questo modo viene naturalmente eliminato progressivamente il calore che si accumula sul manto, evitandone la trasmissione verso l'interno dell'edificio. L'intradosso della chiusura avrà quindi una temperatura di poco superiore a dell'aria esterna. In inverno, la circolazione d'aria farà in modo



Fig. 7

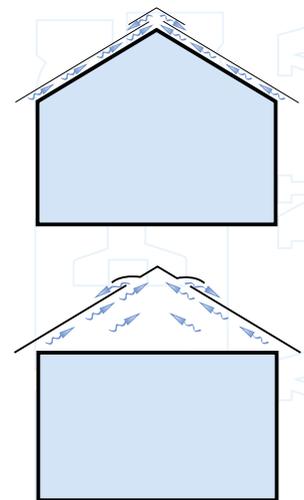


Fig. 8

DIMENSIONAMENTO E REALIZZAZIONE DEL TETTO VENTILATO

che il coibente rimanga sempre arieggiato, quindi asciutto, evitando che si formino condense all'interno dello stesso. Questo permette al materiale isolante di conservare intatto il suo potere coibente che altrimenti potrebbe essere penalizzato anche dell'80% a seconda del prodotto impiegato.

Affinché nel tetto ventilato si verifichi la naturale circolazione dell'aria, sono indispensabili alcune condizioni:

- Che il tetto presenti una pendenza.
- Che al suo interno sia disponibile una massa d'aria, che possa fuoriuscire da aperture in colmo, per essere sostituita da altra aria a temperatura ambiente proveniente da aperture in gronda.
- Che esista una differenza di temperatura fra l'aria esterna e quella presente all'interno della camera di ventilazione.

Ne consegue che le qualità termiche del tetto vengono decisamente migliorate con l'introduzione nella sua stratificazione della camera di ventilazione, consentendo un notevole risparmio energetico, sia estivo che invernale. Consente inoltre alla copertura di "respirare" (perdonateci il termine) e conseguentemente garantisce una maggiore efficienza dei materiali costituenti la struttura e la loro durata, ma soprattutto permette l'uso del sottotetto fornendo all'abitazione un notevole miglioramento sul confort abitativo sia estivo che invernale tramite un investimento iniziale contenuto e un costo di gestione nullo. (ZERO)

Nella stagione estiva, o in zone di montagna a forte irraggiamento solare, la camera di ventilazione consente di smaltire rapidamente il calore accumulato nella struttura del tetto, impedendone la trasmissione verso l'interno dell'edificio fig 9. Con il freddo, il tetto ventilato porta ad eliminare i tipici e fastidiosi fenomeni di condensa che sono all'origine di muffe, umidità e gocciolamenti. In tal modo viene aumentata la durata di tutti gli elementi costitutivi del tetto (materiali coibenti, strutture ...), in quanto vengono mantenuti asciutti. Nelle zone di montagna, dove la presenza di neve sul tetto è frequente causa di barriere di ghiaccio sullo sporto di gronda (fig 10), il tetto ventilato offre il particolare vantaggio di impedire questo particolare fenomeno, facendo defluire il vapore o le dispersioni termiche tramite le apposite uscite dell'aria poste lungo la linea di colmo e consentendo alla neve di sciogliersi per effetto della sola radiazione solare.

Le prestazioni complessive che è in grado di garantire il tetto ventilato, non trovano riscontro in nessun altro sistema di copertura e costituiscono un insieme che non diminuisce di efficienza con il passare del tempo. Inoltre la tecnologia di costruzione del tetto ventilato Tegola Canadese non pone limiti alle esigenze tecniche ed estetiche del progettista consentendo eccellenti risultati anche nelle situazioni più inconsuete (fig 11).

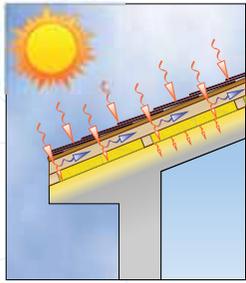


Fig.9

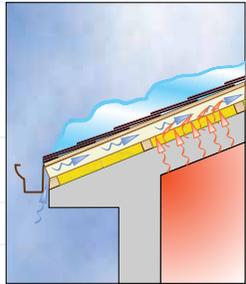


Fig.10

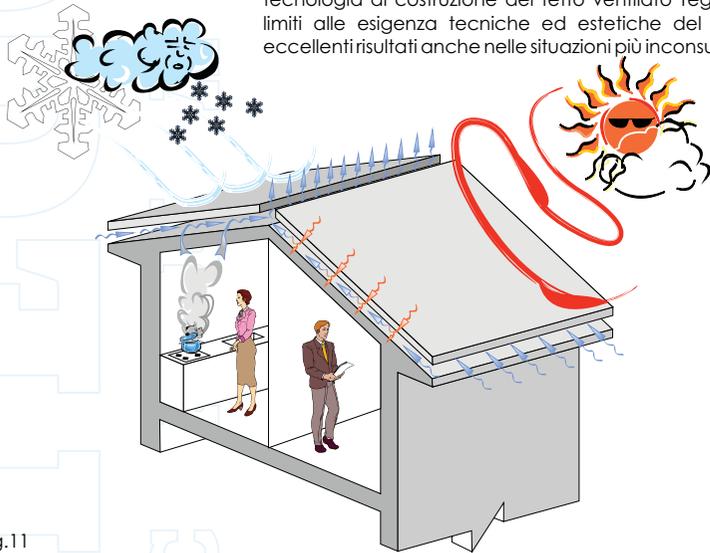


Fig.11

L'efficace circolazione dell'aria all'interno del "tetto ventilato" richiede un corretto dimensionamento della camera di ventilazione, il cui spessore è in funzione della lunghezza e della pendenza della falda.

Una falda lunga, o una pendenza limitata, richiedono uno spessore maggiore della camera di ventilazione come è previsto nei valori riportati in Tab.I (appendice I). Risulta infatti evidente come a una minore pendenza del tetto deve corrispondere un maggior spessore della camera di ventilazione, al fine di compensare la ridotta pendenza con un aumento della massa d'aria disponibile. Inoltre anche la lunghezza della falda determina un impedimento alla naturale circolazione dell'aria, per cui è necessario aumentare lo spessore della camera di ventilazione, con l'aumentare della lunghezza della falda. Le dimensioni delle entrate e delle uscite dell'aria sono anch'esse calcolate in funzione della pendenza del tetto e della lunghezza della falda (Tab.II e Tab.III)

La realizzazione del tetto ventilato Tegola Canadese è semplice e rapida, qualunque sia la struttura sottostante (legno, calcestruzzo, metallo).

Le principali fasi di realizzazione (fig 15):

- Fissaggio dei listelli, paralleli alla gronda ad una distanza uguale alla dimensione del coibente.
- Posa fra i listelli del materiale coibente
- Si posa la seconda listellatura, ortogonalmente alla prima ad interasse di 61 o 48 cm. Le dimensioni del listello determinano lo spessore della camera di ventilazione.
- Viene poi applicato il piano di posa, costituito da pannelli di plywood exterior (compensato fenolico per uso esterno) posti in opera in modo sfalsato e fissati su ogni appoggio. Per aumentare la portanza, ridurre la freccia di flessione e conseguentemente la planarità e la stabilità del piano di posa si interpongono tra i pannelli delle clips metalliche.
- Il tetto viene finito con l'applicazione del manto in Tegola Canadese che valorizza le linee architettoniche e completa un sistema ricco di vantaggi

Le fasi descritte devono essere integrate dalla realizzazione degli ingressi (fig 14) e delle uscite (fig 12 e 13) per l'aria. Le più diffuse sono quelle continue che consentono un ingresso ed un deflusso continuo su tutta la sezione del tetto. In alcuni contesti, per esigenze tecniche o estetiche, è necessario ricorrere all'uso di aeratori che possono essere usati sia in ingresso che in uscita (fig 13) e che lavorano in modo puntiforme fornendo una superficie ventilante di 150 cm² ciascuno.

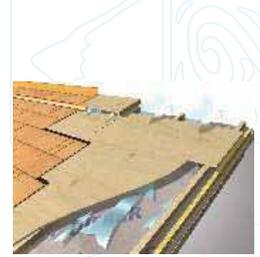


Fig.12

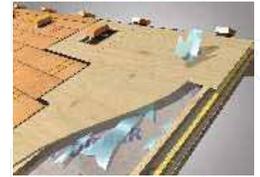


Fig.13



Fig.14

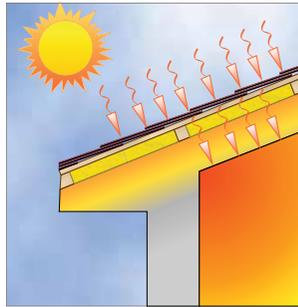


Fig.15

ANALISI COMPARATIVA SUL COMPORTAMENTO TERMICO DEI TETTI

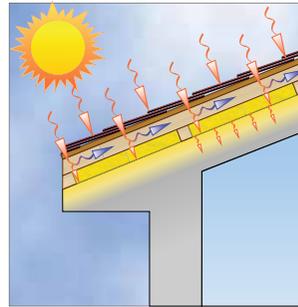
Nelle pagine precedenti abbiamo visto quali sono i vantaggi termigrometrici forniti dal tetto ventilato, che permette il recupero funzionale dei sottotetti, rendendoli perfettamente abitabili con la garanzia di un elevato confort. Per una migliore comprensione di tali vantaggi ci affidiamo alla seguente scheda comparativa che affronta prima la stagione calda e poi quella fredda.

Tetto caldo



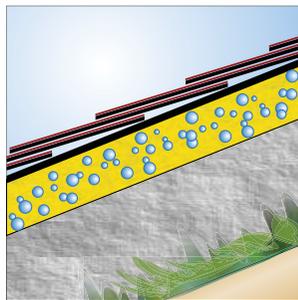
La copertura, riscaldata dall'irraggiamento solare, trasmette il calore al materiale coibente che può funzionare soltanto da ritardante termico. Il calore, successivamente, si trasferisce alle strutture portanti del tetto e all'interno della costruzione.

Tetto ventilato

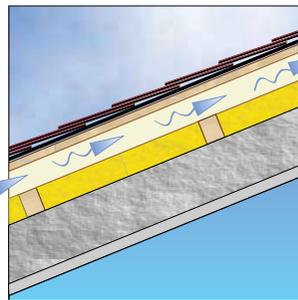


L'aria fresca presente nella camera di ventilazione si riscalda per effetto dell'irraggiamento, diventa più leggera e fuoriesce dal colmo, sottraendo il calore dal materiale coibente.

Stagione calda

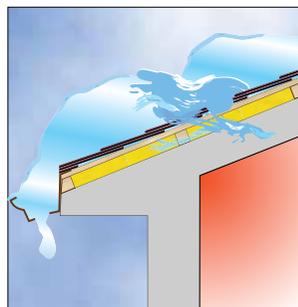


A causa delle temperature basse, nella struttura del tetto possono verificarsi fastidiosi fenomeni di condensa, causa di muffa, umidità e gocciolamenti.

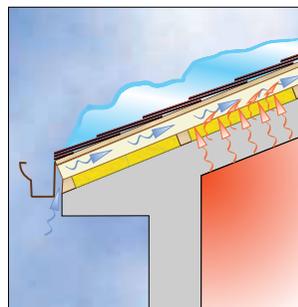


In inverno la circolazione d'aria farà in modo che il materiale isolante rimanga asciutto evitando in questo modo la formazione di condense e garantendo la durata nel tempo degli elementi costruttivi del tetto.

Stagione fredda



In zone di montagne si creano facilmente sullo spunto di gronda pericolose barriere di ghiaccio, causa di infiltrazioni nella struttura del tetto.



La ventilazione permette lo scioglimento uniforme della neve accumulata sul tetto evitando così la formazione delle barriere di ghiaccio.

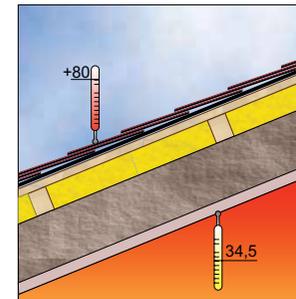
ANALISI COMPARATIVA SUL COMPORTAMENTO TERMICO DEI TETTI

Si riportano inoltre i seguenti test con i loro risultati, che danno riscontro oggettivo dei benefici prodotti, in relazione al tipo di struttura della copertura che naturalmente ha una influenza non trascurabile.

CONDIZIONI AMBIENTALI IPOTIZZATE.

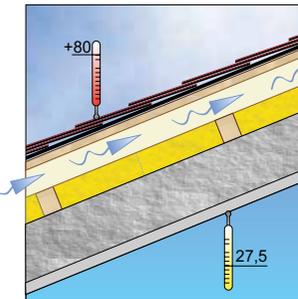
- Temperatura del manto di copertura di +80°C
- Temperatura dell'aria ambiente di +25°C
- Esposizione a 10 ore di irraggiamento, non considerando eventuali dispersioni dell'ambiente sottostante
- Assenza di vento
- Identico materiale coibente di eguale spessore per tutti i test

Tetto caldo



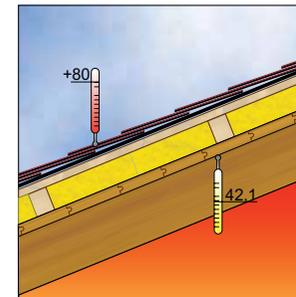
- U della chiusura = 0,5
- Temperature dell'intonaco dopo 10 ore di irraggiamento: +34,5°C
- W/h assorbiti: 523 per m² di tetto

Tetto ventilato

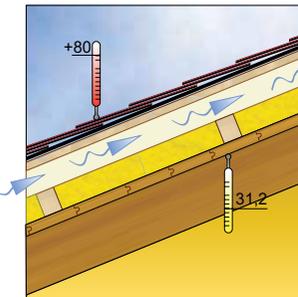


- U della chiusura = 0,5
- Temperature dell'intonaco dopo 10 ore di irraggiamento: +27,5°C
- W/h assorbiti: 116 per m² di tetto

Struttura in cls



- U della chiusura = 0,5
- Temperature delle perline dopo 10 ore di irraggiamento: +42,1°C
- W/h assorbiti: 319 per m² di tetto



- U della chiusura = 0,5
- Temperature delle perline dopo 10 ore di irraggiamento: +31,2°C
- W/h assorbiti: 116 per m² di tetto

Struttura in legno

Il tetto ventilato è la più avanzata tecnica di costruzione di tetti con isolamento termico in falda. I vantaggi termici offerti sono ben evidenziati dai risultati dei test ai quali sono state sottoposte due diverse tipologie di tetto, con struttura in cemento e con struttura in legno. Il tetto ventilato è conforme alle prescrizioni del Decreto Legislativo 192/05 al fine di limitare i fabbisogni energetici per la climatizzazione estiva e di contenere la temperatura interna degli ambienti.

CONTROLLO DEL VAPORE

La copertura si configura come un sistema edilizio complesso, atto a fornire determinate prestazioni, ed è costituita da una serie di elementi (di tenuta, di coibentazione, strutturali, accessori) che contribuiscono al funzionamento generale del tetto e tra i quali si creano opportune e/o inopportune (involontarie) interazioni. Oltre a risultare impermeabile all'acqua, a resistere alle sollecitazioni atmosferiche previste e ad avere una corretta coibentazione, è auspicabile progettare la copertura in modo da evitare che si formino al suo interno situazioni igrotermiche critiche, riscontrabili soprattutto nel periodo invernale quando si manifesta la presenza delle seguenti condizioni:

- gli ambienti interni sono riscaldati
- la ridotta o l'assenza di ricambi d'aria negli ambienti
- rigide temperature esterne

Ad evidenziare tali esigenze ha contribuito la diffusione, in tempi relativamente recenti, dell'uso abitativo dei sottotetti, che da soffitte a perdere sono divenute pregevoli mansarde (costituendo una nuova tipologia costruttiva). In queste tipologie costruttive, ma anche in piscine, ristoranti e altre, in cui la produzione del vapore compromette la funzionalità e la durata dell'involucro, si rende necessario l'uso di strati tecnologici che permettano la regolamentazione del passaggio del vapore rendendolo tollerabile, se non ininfluente sia per il fruitore degli spazi, sia per i materiali costituenti la copertura, che naturalmente subiscono tale flusso che tende a fuoriuscire dall'edificio tramite il tetto. Il confort fisico è strettamente legato alle condizioni termoigrometriche dell'ambiente in cui si vive ed ecco la necessità di controllare-gestire la temperatura e l'umidità dell'ambiente: e questo si può ottenere solo con l'uso corretto di materiali e sistemi traspiranti, impermeabilizzanti, isolanti etc.

Temporalmente le esigenze primarie sono state sicuramente quelle di garantirsi la protezione dalla pioggia, quindi avere un'ottima impermeabilizzazione e mantenere la temperatura ad un livello accettabile anche d'inverno, quindi un buon isolante termico.

L'incessante miglioramento delle capacità impermeabilizzanti ed isolanti dei materiali (e l'imperizia degli utilizzatori) ha comunque evidenziato la inadeguatezza del controllo termoigrometrico delle strutture e quindi talvolta è la condensa del vapor d'acqua generato all'interno dell'edificio che produce problemi analoghi a quelli causati dalle infiltrazioni delle acque meteoriche, o peggiori se dovuti al ristagno per molto tempo dell'acqua di condensa nei coibenti.

Traducendo questi concetti in numeri le condizioni di confort a +20°C si hanno con umidità relativa compresa fra il 35% e il 70% (essendo 17,3 g/m³ l'umidità relativa al 100%, significano da 5,19 g/m³ a 12,11 g/m³). Attenzione che a 40°C la pressione di saturazione è molto più elevata e le stesse quantità di vapore sono in percento molto meno; 9% e 22%. Per questo si spiegano differenti sensazioni di disagio in luoghi molto umidi anche se relativamente freddi e benessere in luoghi molto caldi ma secchi.

Ma torniamo alla stratificazione della copertura e a questi elementi tecnologici che sono delle membrane impermeabili all'eventuale contatto d'acqua meteorica (fasi di cantiere) ma che impediscono o ostacolano o favoriscono il flusso di vapore proveniente dall'interno dell'edificio. Per poter valutare tecnicamente un prodotto sono necessari parametri che siano facilmente comprensibili a tutti e tecnicamente riproducibili. Nel nostro caso dobbiamo valutare quanto una membrana impedisca il passaggio del vapore, ed il parametro da valutare è l' "sD" (fattore di resistenza al passaggio del vapore) che si misura in metri.

Il vapore acqueo è un gas e segue le leggi relative, per cui la diffusione sarà sempre dalla parte a maggior pressione verso la parte a minor pressione (in genere dalla parte calda alla fredda o dall'interno verso l'esterno delle

costruzioni). Per questo la capacità diffusiva del vapore deve essere in aumento dall'interno verso l'esterno.

Le barriere vapore devono essere messe esclusivamente nella parte calda interna della coibentazione. Per garantire una elevata capacità di asciugatura usare materiali con sD crescenti dall'esterno verso l'interno (evento assolutamente necessario nelle strutture lignee onde prevenire la crescita di muffe) Fig.16.

I fattori che influenzano la permeabilità al vapore sono:

- Il fattore della resistenza alla diffusione (rispetto all'aria) = "μ"
- Lo spessore del materiale = "s" in m
- La temperatura dell'aria interna ed esterna "t" in °C
- L'umidità relativa dell'aria e il gradiente di pressione "φ"

Per definizione $sD = \mu s$

Per conoscere il μ si valuta sperimentalmente la quantità di vapore che passa il campione di prodotto e confrontarlo con il valore relativo dell'aria. Per uniformare i risultati l'analisi viene svolta a 23°C e 85% UR.

La diffusione del vapore attraverso le membrane si determina sperimentalmente:

il passaggio del vapore dall'ambiente esterno verso i ricettori (fig 17), che vengono pesati prima e dopo l'esperimento, ed il peso determina quanto vapore ha attraversato la membrana in analisi che separa i due ambienti.

Si ottiene il $WDD = g/m^2 \times die$

$$\mu = 40000/WDD \text{ s}$$

$$sD = \mu s \text{ [m]}$$

"il valore in m (metri) può essere considerato lo strato d'aria equivalente per avere la medesima resistenza al passaggio del vapore"; tanto più piccolo è il valore dell'sD e tanto migliore è la capacità di lasciar passare il vapore.

Classificazione delle membrane in funzione dell' "sD"		
$sD = \mu \times \text{spessore in metri}$		
Denominazione	Spessore equivalente di diffusione sD in m	Permeabilità al vapore WDD [g/m ² die]
DIFFUSORI AL VAPORE	0,02<0,2	1200>120
FRENI AL VAPORE	0,2<130	0,24<120
BARRIERE AL VAPORE	>130	<0,24
BARRIERE VAPORE METALLICHE (rame-alluminio)	Infinito	0

Tab.3

Il risparmio energetico e l'uso di materiali coibenti richiedono il controllo e la regolazione del passaggio del vapore attraverso il tetto. Alubar, Vapobar e Difbar sono prodotti che consentono di realizzare un ambiente sano, ben isolato e protetto. Con la perfetta regolazione del tasso di umidità all'interno dell'abitazione aumenta il benessere fisiologico.

Nel tetto "caldo" è difficile far uscire il vapore dal tetto per la mancanza della ventilazione all'interno della stratificazione. La presenza di una guaina impermeabile all'estradosso della copertura (con SD=120) impedisce al vapore di fuoriuscire e in condizioni ambientali critiche, questo può condensare nel coibente producendo un precoce deterioramento del pacchetto tetto.

Dimensionando il coibente in modo da posizionare il punto di rugiada al suo interno e posizionando la membrana "Alubar" (barriera vapore) sotto il coibente e quindi sotto il punto di rugiada (come in fig 18), si impedisce al vapore di raggiungere il coibente e quindi il punto di rugiada e formare condensa.

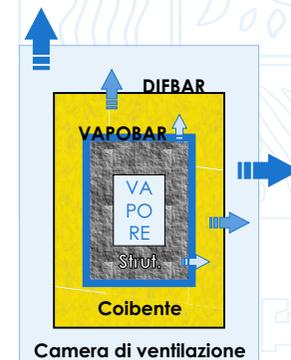


Fig.16

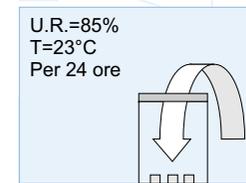


Fig.17

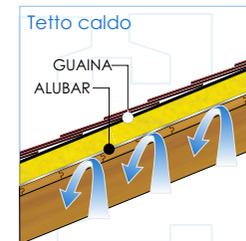


Fig.18

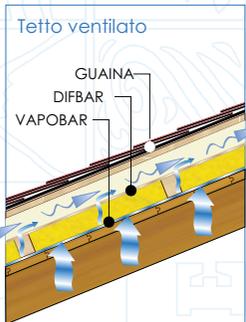


Fig.19

Il tetto ventilato permette al vapore prodotto nelle abitazioni di fuoriuscire tramite il tetto mantenendo una condizione termoigrometrica idonea e un conseguente confort all'interno degli ambienti. Per consentire questo flusso senza causare perdite di efficienza nello strato coibente è bene posizionare le membrane Vapobar e Difbar come in fig 19-20. Vapobar nei tetti in legno regola eventuali eccessi di vapore (cottura di cibi, ecc.), eviterà la fessurazione delle perline mantenendole in un migliore equilibrio igrometrico ed è inoltre uno strato separatore tra il tetto e l'ambiente interno difendendolo dai pulviscoli che potrebbero penetrare per effetto dei movimenti strutturali tipici di un tetto in legno. Difbar non ostacolerà in nessun modo il flusso del vapore ma protegge il coibente da eventuali infiltrazioni poiché impermeabile all'acqua. La stratigrafia è caratterizzata da materiali con SD decrescente verso l'esterno. L'eventuale guaina posta all'estradosso della copertura non influenza la gestione del vapore poiché la lama d'aria della camera di ventilazione interviene prima e consente la naturale fuoriuscita dello stesso.

CONCLUSIONI

Da quanto osservato in precedenza risulta evidente come l'innovazione, a parte quanto il mercato dei prodotti edili offre o offrirà, potrà avere sviluppi apprezzabili solo se le strategie progettuali del sistema edilizio sapranno utilizzare in termini ottimizzati le potenzialità offerte dalla ricerca e dal mercato. In particolare gli sviluppi più interessanti riguardano la messa a punto di sistemi ibridi o il miglioramento dell'involucro tramite soluzioni passive come il tetto o le pareti ventilate; sistemi in cui le prestazioni ambientali interne, durante l'arco dell'anno, a seconda della stagione e delle condizioni climatiche esterne, possano essere controllate con sistemi naturali, riducendo ai periodi più critici l'uso dell'impianto di riscaldamento-condizionamento.

È quindi solo l'innovazione di progetto che ha in sé la capacità di riportare effettivamente sul costruito le potenzialità di sviluppo richieste dal concetto di sostenibilità, oggi spesso banalizzato da esoterismi culturali. È necessario quindi superare o integrare l'approccio progettuale contenuto nel tradizionale *impara facendo pratica (learning by doing)*, a favore di un più solido approccio basato sul fare dopo aver acquisito informazioni (*doing by learning*). Ciò richiede evidentemente una forte modifica dei programmi formativi a tutti i livelli, e il superamento dell'attuale discrezionalità delle prassi progettuali, che vedono nel susseguirsi di fasi specialistiche scarsamente integrate tra di loro, un forte freno a una innovazione che coinvolga il sistema-processo edilizio nella sua globalità.

Fig.20

