

VOLUME

15

PVC

CONDENSA E UMIDITÀ SUPERFICIALE E INTERSTIZIALE

i serramenti in PVC

CONDENSA E UMIDITA' SUPERFICIALE E INTERSTIZIALE

Diritti d'autore:

Il presente documento è proprietà intellettuale dell'autore e/o di PVC FORUM ITALIA (www.pvcforum.it)
Nessuna parte può essere riprodotta senza l'autorizzazione dell'autore

PVC FORUM ITALIA
a cura di
Marco Piana

Edizione 2020

INDICE

1. INTRODUZIONE	5
2. LE CAUSE DELL'UMIDITA'	6
3. LE CAUSE DELLA CONDENZA	8
4. GLI EFFETTI: LA MUFFA	12
5. LE SOLUZIONI: PROGETTARE BENE	13
6. LE CARATTERISTICHE E IL CONTRIBUTO DEI MATERIALI ISOLANTI.....	14
7. LEGGI E NORME.....	15

1. INTRODUZIONE

L'uomo ha iniziato ad emulare il regno animale per costruire un riparo dalle intemperie ovvero dagli agenti atmosferici indesiderati: temperatura e umidità.

Il rifugio, poi evoluto in edificio, è il segnale inequivocabile della ricerca di un ambiente in cui la protezione della vita fosse offerta ed anche fosse desiderata.

L'edificio deve quindi svolgere molte funzioni ma la combinazione isolamento termico e umidità hanno accompagnato da sempre progettisti e costruttori.

Si deve anche ammettere che molte situazioni comportamentali dell'edificio rivestono vere problematiche insolute per scelte errate di materiali e di progettazione.

La presenza di **condensa** e **umidità** sono due effetti legati al comportamento della struttura perimetrale dell'edificio comprendendo tetti pareti e pavimenti.

I sistemi di chiusura d'ambito esterno vengono progettati e realizzati per isolare e proteggere dalla pioggia e dal vento creando un involucro che permette di creare il microclima ottimale alla vita umana.

La **condensa** e l'**umidità** sono quindi due aspetti del comportamento dell'edificio e purtroppo rappresentano in molti casi problemi molto complessi da superare e risolvere.

2. LE CAUSE DELL'UMIDITA'

L'umidità influenza l'intera struttura dalla copertura agli elementi a contatto con il terreno.

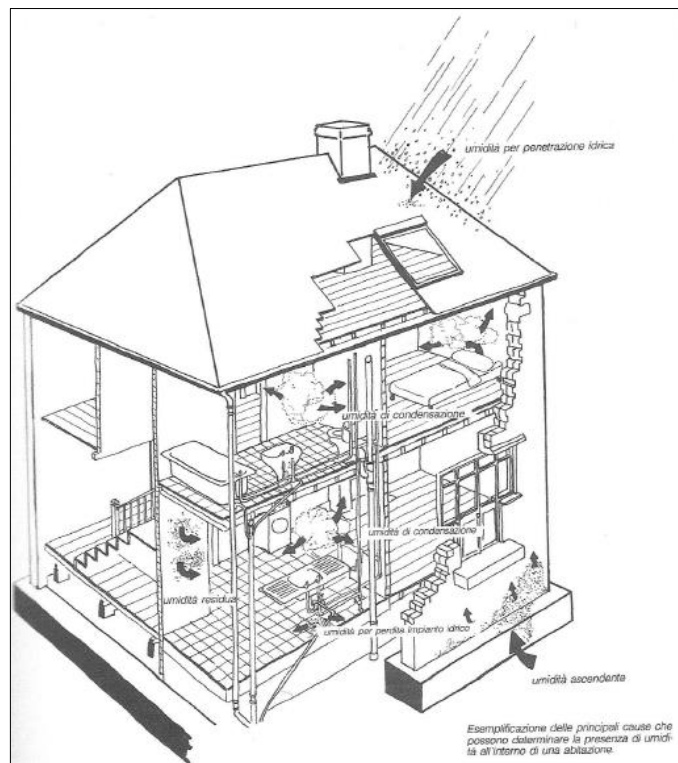
L'umidità si manifesta sotto diverse forme in funzione dell'origine di provenienza.

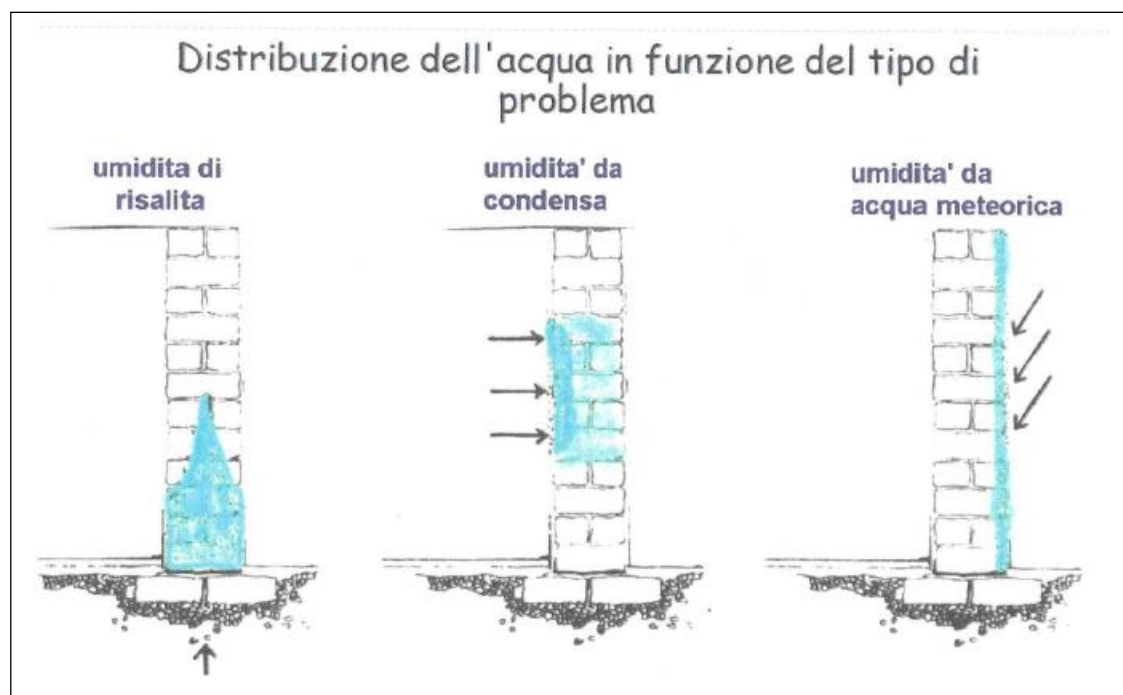
La presenza dell'**umidità** è palese su vetri, pareti, soffitti con differenti evidenze dalle goccioline alle macchie. È possibile individuarne quattro cause principali:

- **Umidità residua** causata dalla non completa evaporazione nei materiali utilizzati per la costruzione dell'edificio.
Si manifesta alla fine delle opere eseguite se non si ventila adeguatamente i locali;
- **Risalita capillare** che investe le opere di fondazione in presenza di terreni molto umidi e realizzate con materiali porosi;
- **Infiltrazione diretta** dell'acqua piovana attraverso l'involucro esterno.
Le cause sono sempre imputabili ai giunti ad ai materiali non idonei;
- **Umidità di condensazione** causata dalla stratigrafia dell'elemento di chiusura per effetto della differenza di temperatura fra l'ambiente interno e l'esterno.

Il terzo ed il quarto tipo sono molto spesso sovrapponibili ma non concausali.

Alcune volte il paramento esterno della parete si danneggia causando infiltrazioni che deteriorando gli strati interni provocando di conseguenza false condense.





Di certo comprendere che la pioggia cada verticalmente solo in assenza di vento e che la parete stessa crei una sorta di circolazione d'aria e quindi essere la causa di un incremento di acqua, non è così semplice da analizzare.

Uno studio interessante condotto a tale proposito porta alla conseguenza della figura seguente:

Vasche di raccolta dell'acqua piovana caduta a distanza dalla parete

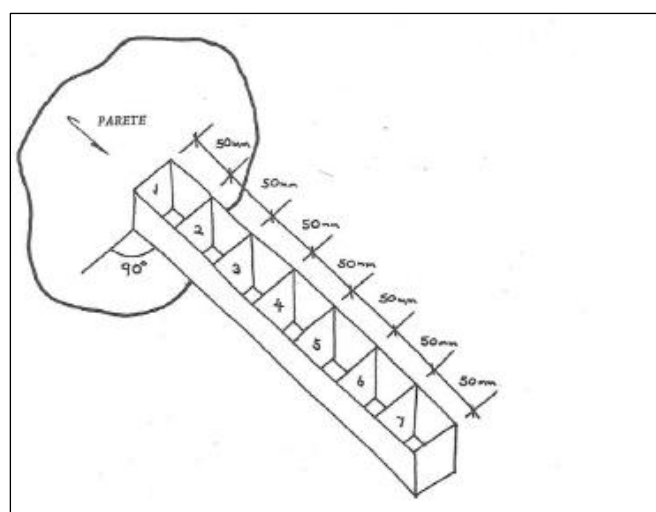
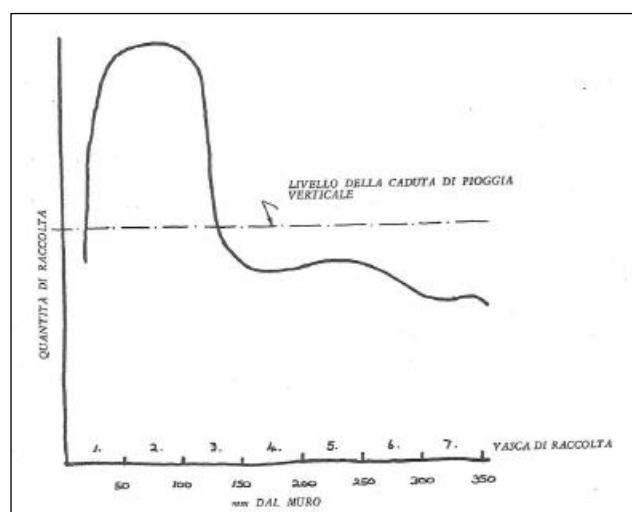


Grafico della caduta dell'acqua piovana a diverse distanze dalla parete



3. LE CAUSE DELLA CONDENSA

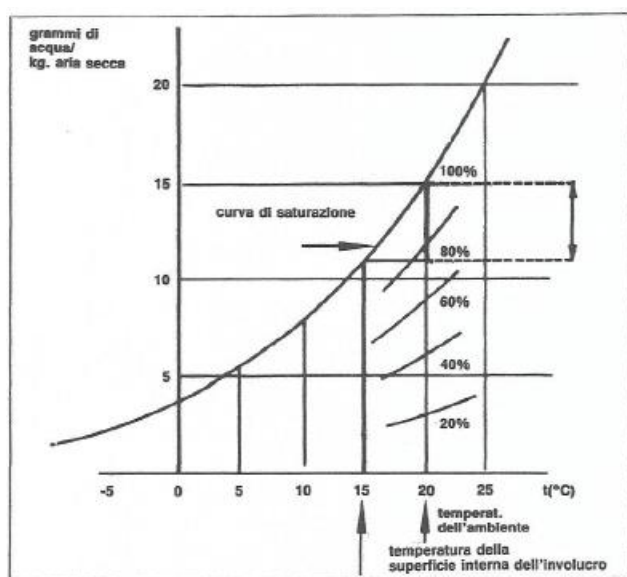
Condensare indica il fenomeno fisico di passaggio di stato da gassoso a liquido.

Nell'aria è contenuta una percentuale di vapore variabile in funzione della temperatura.

Quando questa percentuale raggiunge il massimo che può essere contenuto, l'aria diventa satura e si ha la condensazione.

Si definisce **Umidità Relativa** il rapporto fra la massa di vapore presente nell'umidità di volume d'aria ad una data temperatura e la massa di vapore necessaria per rendere satura l'aria alla stessa temperatura.

Quanto sopra descritto è visualizzato attraverso il diagramma di Mollier oppure mediante la tabella derivata dallo stesso diagramma.



situazione in cui si verifica la condensa

Il diagramma dell'aria umida (diagramma di Mollier o diagramma psicrometrico) permette di determinare a livello grafico il rischio di condensazione per determinati valori di temperatura ed umidità relativa dell'aria ambiente

PUNTO DI RUGIADA

La capacità di assorbimento di acqua da parte dell'aria dipende dalla temperatura, anche se in modo limitato. Quando si supera la quantità massima di vapore d'acqua possibile, ovvero la quantità di saturazione, il vapore in eccesso si deposita sotto forma di acqua di condensazione.

L'aria calda assorbe una quantità maggiore di acqua rispetto all'aria fredda.

In presenza di umidità relativa al 100% si raggiunge il punto di rugiada.

Quando l'aria calda si raffredda e aumenta di conseguenza l'umidità relativa, il vapore acqueo in eccesso si condensa al raggiungimento del punto di rugiada e si separa sotto forma di acqua.

Esempio:

Clima interno $T_i=20^{\circ}\text{C}$, umidità relativa U.R. 50%

Pressione vapore presente 1169 Pa

Pressione di saturazione vapore 2338 Pa

Temperatura del punto di rugiada secondo il diagramma = $9,25^{\circ}\text{C}$

La quantità di saturazione, corrispondente all'umidità relativa dell'aria pari al 100% è ad esempio:

Temperatura	Quantità di saturazione (g/mc)	Tale quantità può essere ricavata dalla curva del punto di rugiada o dalla tabella seguente
-10°C	2,14	
0°C	4,84	
+10°C	9,4	
+20°C	17,3	
+30°C	30,3	

Temperatura del punto di rugiada in relazione alla temperatura e all'umidità relativa

Temperatura aria °C	Temperatura del punto di rugiada in °C con umidità relativa pari a													
	30%	35%	40%	45%	50%	55%	60%	65%	70%	75%	80%	85%	90%	95%
30	10,6	12,9	14,9	16,8	18,4	20,0	21,4	22,7	23,9	25,1	26,2	27,2	28,2	29,1
29	9,7	12,0	14,0	15,9	17,5	19,0	20,4	21,7	23,0	24,1	25,2	26,2	27,2	28,1
28	8,8	11,1	13,1	15,0	16,6	18,1	19,5	20,8	22,0	23,2	24,2	25,2	26,2	27,1
27	8,0	10,2	12,2	14,1	15,7	17,2	18,6	19,9	21,1	22,2	23,3	24,3	25,2	26,1
26	7,1	9,4	11,4	13,2	14,8	16,3	17,6	18,9	20,1	21,2	22,3	23,3	24,2	25,1
25	6,2	8,5	10,5	12,2	13,9	15,3	16,7	18,0	19,1	20,3	21,3	22,3	23,2	24,1
24	5,4	7,6	9,6	11,3	12,9	14,4	15,8	17,0	18,2	19,3	20,3	21,3	22,3	23,1
23	4,5	6,7	8,7	10,4	12,0	13,5	14,8	16,1	17,2	18,3	19,4	20,3	21,3	22,2
22	3,6	5,9	7,8	9,5	11,1	12,5	13,9	15,1	16,3	17,4	18,4	19,4	20,3	21,1
21	2,8	5,0	6,9	8,6	10,2	11,6	12,9	14,2	15,3	16,4	17,4	18,4	19,3	20,2
20	1,9	4,1	6,0	7,7	9,3	10,7	12,0	13,2	14,4	15,4	16,4	17,4	18,3	19,2
19	1,0	3,2	5,1	6,8	8,3	9,8	11,1	12,3	13,4	14,5	15,5	16,4	17,3	18,2
18	0,2	2,3	4,2	5,9	7,4	8,8	10,1	11,3	12,5	13,5	14,5	15,4	16,3	17,2
17	-0,6	1,4	3,3	5,0	6,5	7,9	9,2	10,4	11,5	12,5	13,5	14,5	15,3	16,2
16	-1,4	0,5	2,4	4,1	5,6	7,0	8,2	9,4	10,5	11,6	12,6	13,5	14,4	15,2
15	-2,2	-0,3	1,5	3,2	4,7	6,1	7,3	8,5	9,6	10,6	11,6	12,5	13,4	14,2
14	-2,9	-1,0	0,6	2,3	3,7	5,1	6,4	7,5	8,6	9,6	10,6	11,5	12,4	13,2
13	-3,7	-1,9	-0,1	1,3	2,8	4,2	5,5	6,6	7,7	8,7	9,6	10,5	11,4	12,2
12	-4,5	-2,6	-1,0	0,4	1,9	3,2	4,5	5,7	6,7	7,7	8,7	9,6	10,4	11,2
11	-5,2	-3,4	-1,8	-0,4	1,0	2,3	3,5	4,7	5,8	6,7	7,7	8,6	9,4	10,2
10	-6,0	-4,2	-2,6	-1,2	0,1	1,4	2,6	3,7	4,8	5,8	6,7	7,6	8,4	9,2

I fenomeni della **condensa** sono visibili sui soffitti, pareti, vetri e possono essere presenti all'interno degli elementi costruttivi.

Si hanno quindi due modalità di formazione della condensa:

- **Condensa superficiale**
- **Condensa interstiziale**

Il primo tipo si forma sulle superfici quando queste presentano temperature uguali alla temperatura di saturazione o di rugiada (vedi diagramma alla curva 100%), mentre il secondo tipo si forma all'interno dello spessore delle pareti quando il vapore entra in contatto con uno strato che presenta una temperatura sulla curva di saturazione.

La condensa superficiale è più semplice da verificare in quanto dal diagramma o dalla tabella incrociando la temperatura dell'aria con l'umidità dell'aria si ottiene la temperatura di rugiada.

Se la superficie presenta tale temperatura si forma la condensa.

Quindi la soluzione è quella di mantenere la temperatura superficiale superiore a quella di rugiada.

Esempio:

temperatura aria interna +20°C

Umidità relativa 60%

Temperatura di rugiada +12°C ovvero di condensa

La **condensa interstiziale** è più complessa da determinare e da quantificare.

Le condizioni climatiche caratterizzate da una temperatura esterna più bassa di quella interna provocano il vapore d'acqua con una pressione parziale maggiore di quella esterna. Questo fatto determina il passaggio del vapore dall'interno verso l'esterno attraversando l'elemento di separazione ovvero solai e pareti.

Se le superfici che incontra presentano una temperatura pari a quella di rugiada/saturazione si ha la formazione di condensa.

Un secondo aspetto deve essere tenuto in considerazione, che i materiali utilizzati presentano caratteristiche di permeabilità al vapore differenti.

Quindi in funzione della permeabilità, della temperatura e del contenuto di umidità nell'aria si ottengono le situazioni differenti di non condensa.

Il presente documento non ha la finalità di calcolare le quantità di vapore che potrebbero condensare in una parete né fornire i metodi del relativo calcolo per i quali si rimanda ad altri riferimenti specifici.

L'obiettivo è invece identificato nella comprensione del fenomeno di formazione nel materiale isolante presente in una parete per evitare la formazione di condensa.

Vi sono però alcune informazioni di basilare importanza che devono essere riportate per comprendere meglio il fenomeno considerato:

- La **differenza di temperatura** fra interno ed esterno genera il passaggio del vapore attraverso gli strati della parete;
- La **diffusione del vapore** avviene da pressioni maggiori verso pressioni di vapore minori;
- La **pressione di vapore** è maggiore ove vi è una temperatura maggiore;
- La **pressione parziale** del vapore (p_v) quando si riferisce ad aria con umidità relativa pari al 100%, si definisce pressione di saturazione (p_s);
- Si ha la formazione di condensa nel materiale in cui la p_v incontra la p_s . Quando $p_v < p_s$ non si ha condensa.
- La diffusione del vapore segue la Legge di Fick che descrive il flusso a causa della differenza di pressione, temperatura e densità.

Possono essere identificati 2 casi di riferimento che coinvolgono anche la progettazione stratigrafica:

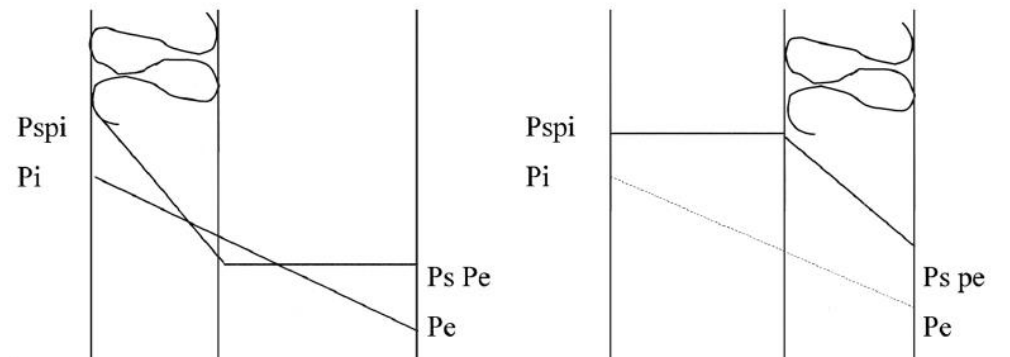
- 1) Nei casi in cui non si ha formazione di condensa all'interno della parete, cioè nella massa, il flusso di vapore entrante nella parete è uguale a quello uscente.
- 2) La formazione di condensa può essere evitata mantenendo elevati i valori della pressione di saturazione in relazione ad ogni singolo strato.

In fase di progettazione di un involucro edilizio è possibile operare non solo attraverso una accurata scelta dei materiali da impiegare in funzione della loro resistenza al passaggio di vapore, ma soprattutto attraverso la realizzazione di una corretta sequenza degli strati di sbarramento al passaggio del vapore verso l'esterno (lato freddo); essi manterrebbero elevata la pressione parziale di vapore all'interno dell'elemento della costruzione favorendo il raggiungimento dei valori corrispondenti alla saturazione.

- 3) È possibile evitare il fenomeno della condensazione anche mantenendo elevati i valori della pressione di saturazione all'interno della parete; una corretta collocazione di un materiale isolante fa sì che ciò sia possibile.

Si badi però che un errato posizionamento dello **strato coibente** non solo può rendere inefficace il suo contributo all'eliminazione del fenomeno, ma può al contrario accentuarlo.

Si considerino, ad esempio, con il diagramma di Glaser, due pareti aventi la stessa resistenza al passaggio del vapore l'una isolata dall'interno, l'altra dall'esterno.



Alla diversa posizione dello **strato isolante** corrisponde un diverso diagramma delle temperature e conseguentemente un diverso andamento delle pressioni di saturazione, mentre rimane inalterato quello delle pressioni parziali di vapore.

Disponendo l'isolante all'interno la temperatura in corrispondenza di esso decresce rapidamente e si ha maggiore probabilità che essa raggiunga il valore della temperatura di rugiada, con conseguente formazione di condensa nella parte posteriore dell'isolante.

Per questo motivo, quando si realizza l'isolamento di una parete dall'interno, bisogna sempre prevedere la presenza di una barriera al vapore sul lato caldo.

4. GLI EFFETTI: LA MUFFA

La conseguenza più evidente della condensa permanente sulle pareti interne è la formazione di **muffa**: solitamente di colore scuro, si forma soprattutto sulle zone meno ventilate in corrispondenza di ponti termici e dietro i mobili.

I locali più soggetti sono quelli nei quali più intensa è la produzione di umidità e quindi bagni, cucine e camere da letto.

Le muffe sulle pareti

- sono antiestetiche
- rovinano la finitura interna
- emettono odori sgradevoli
- possono provocare danni alla salute se presenti in grande quantità

Le muffe sono costituite da spore di dimensioni inferiori usualmente ai 10 micron e che sono contenute nell'aria nella concentrazione media di circa 100.000 spore per metro cubo.

Durante la pioggia o il freddo il numero diminuisce mentre è più elevato ove più fitta è la vegetazione o piante interne, gli animali domestici possono incrementarne la presenza.

Il colore delle muffe dipende dal tipo delle stesse e soprattutto dipende dalla velocità di riproduzione che può anche raggiungere il raddoppio nelle 24 ore.

Per far proliferare le muffe sulla parete è necessario:

- che sia presente **ossigeno**;
- che la **temperatura** sia compresa fra 5° e 25° e che le variazioni non siano troppo rapide;
- che sia presente **umidità**;
- che sia sulla parete un **fondo nutritivo** di materiale organico assimilabile agli zuccheri, grassi e di cellulosa.

Purtroppo nelle abitazioni anche se molto pulite, sulle pareti si accumulano particelle nutritive che normalmente non vengono pulite.

Il catalizzatore principale dell'attività riproduttiva delle muffe rimane l'acqua, senza di questo non possono riprodursi.

Le tribù di muffe presenti sulle pareti molto sporche, con umidità e nel range di temperatura prevista vivono in perenne estasi sessuale riproducendosi a dismisura.

Quindi l'umidità provocata da condensa superficiale ed interstiziale rimane una delle cause primarie per la presenza delle muffe sulle pareti interne delle abitazioni.

5. LE SOLUZIONI: PROGETTARE BENE

Non è semplice identificare materiali e sistemi che non provochino condensa ma la fase di progettazione è la più importante per ottenere risultati efficienti.

Invece molto difficile è intervenire su edifici esistenti con patologie chiaramente causate dalla formazione di condense.

Vi sono tre passaggi da considerare sempre durante la progettazione:

1. Tenere in attenta considerazione le **caratteristiche termiche** e di permeabilità al vapore dei materiali da utilizzare
2. **Climatizzare** gli ambienti in modo da creare temperature idonee per non incrementare inutilmente le condense e posizionare le fonti di calore in modo adeguato.
3. Considerare la **ventilazione** degli ambienti sia a livello naturale che forzata.

Per quanto riguarda il primo punto, il presente documento sottolinea le caratteristiche dei materiali isolanti che saranno ripresi nel capitolo successivo nel dettaglio delle prestazioni e delle conseguenze della presenza di condensa.

Come riportato in precedenza le **condense** sono visibili sia sul soffitto che sulle pareti.

Per le prime, la tecnica da impiegare è certamente la copertura ventilata e materiali permeabili al vapore.

Per le murature è determinante dove viene posizionato il materiale isolante e quali caratteristiche possiede.

Sia per le coperture che per le pareti sono utilizzate le **barriere al vapore** per superare eventuali formazioni di condensa.

In ogni caso la barriera deve essere posta sul lato interno dell'isolante ma questa, certamente potrà evitare il fenomeno della **condensa interstiziale** ma impedisce la traspirabilità dell'elemento ed impedisce lo smaltimento del vapore che si crea all'interno dei locali.

È preferibile utilizzare invece dei materiali che consentano il passaggio del vapore e posizionare il materiale isolante il più possibile verso l'esterno.

Le **stratigrafie** da utilizzare devono essere verificate con i molti metodi oggi disponibili.

La applicazione dei materiali isolanti all'esterno degli edifici permette di eliminare i ponti termici che rappresentano da sempre la causa più importante di condensa all'interno degli elementi costruttivi.

Per i calcoli e le verifiche si rimanda a trattati specifici e dedicati.

6. LE CARATTERISTICHE E IL CONTRIBUTO DEI MATERIALI ISOLANTI

Il problema della condensa nelle pareti è la sinergia dei fenomeni di trasporto del vapore e della temperatura. La progettazione deve quindi riferirsi a dati affidabili dei materiali considerati per realizzare le pareti e di questi i **materiali isolanti** ricoprono un ruolo primario in quanto rappresentano l'elemento di discontinuità all'interno di una stratigrafia.

Quindi è naturale che l'attenzione venga posta proprio ai materiali isolanti.

I materiali isolanti che vengono utilizzati sono differenti per natura, per costituzione e quindi per prestazioni.

Possono essere suddivisi tre grandi categorie:

- **Fibrosi**
- **Cellulari**
- **Porosi**

Presentano caratteristiche molto differenti fra loro dato che l'effetto isolante è causato da sistemi materici che fanno capo alla costituzione fisica della struttura.

La stessa situazione è derivabile anche per la trasmissione del vapore.

Per le caratteristiche di **isolamento termico** si può far riferimento alla norma nazionale UNI 10351 che riporta le conducibilità termiche dei materiali isolanti in modo esaustivo e completo.

Per la caratteristica della permeabilità al vapore si può riferire alla norma UNI 10456.

La presenza della condensa provoca un effetto molto particolare determinato dalle caratteristiche fisiche del materiale isolante: la conducibilità termica aumenta in funzione del contenuto presente di umidità, quindi annullando il vero motivo per il quale si utilizzano i materiali isolanti.

Il materiale quindi si comporta con le caratteristiche di riferimento nelle situazioni usuali ma in presenza della condensa la propria conducibilità può raggiungere anche quella dell'acqua se si arriva a completa saturazione ovvero pari a 0,58 W/mk.

Prima della saturazione, la trasmissione del vapore regola la prestazione finale e tanto maggiore è la permeabilità tanto maggiore potrà avvenire un assorbimento di acqua ovviamente quando non si ha la presenza di una barriera al vapore.

Sono stati effettuati numerosi studi per verificare i valori di conducibilità in funzione del vapore e del contenuto di umidità nel materiale isolante.

L'andamento della **conduttività termica** in funzione del contenuto di umidità è molto differente per i materiali.

I **materiali fibrosi**, hanno una resistenza alla diffusione del vapore $\mu=1$, ovvero come l'aria in quanto presentano una fase gassosa continua.

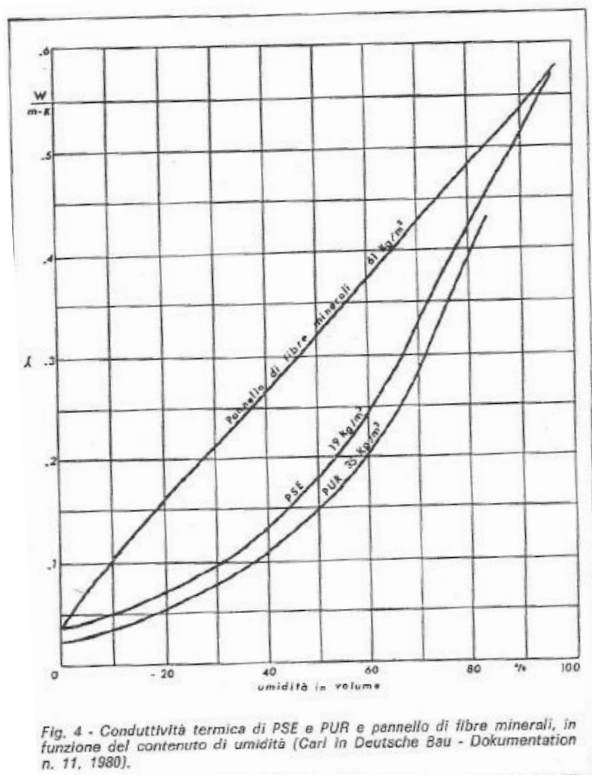
I **materiali cellulari** (come polistireni e poliuretani) presentano un valore di μ da 30-100 sono meno influenzati in quanto la struttura interna costituisce un filtro al passaggio e all'accumulo.

Oltre a quanto sopra vi è anche un carattere idrofobico di alcuni materiali il cui assorbimento si arresta ad uno straterello superficiale.

La differenza di assorbimento dell'umidità varia fra fibrosi e cellulari.

Per i primi si giunge anche al 5% in peso creando un aumento della conducibilità dell'8% mentre per i cellulari espansi (EPS) si giunge al 0,1-0,2% in peso creando un aumento della conducibilità di 0,5%.

Uno studio molto importante svolto in passato permette di prendere consapevolezza di quanto sopra indicato e riportato nel grafico seguente.



7. LEGGI E NORME

Nell'archivio dedicato ai regolamenti inerenti **condensa**, **umidità** e **muffa** sono riposti molti riferimenti nazionali, europei ed internazionali.

D'altronde il fenomeno della condensa non è solo di pertinenza dell'Italia, vi sono casi eclatanti nel nord Europa e negli Stati Uniti.

Si riportano quindi solo i due riferimenti ultimi emanati:

- DM 26/06/2015 "Requisiti Minimi"
- UNI EN ISO 13788

Il Decreto dispone la verifica della condensa per qualsiasi intervento venga eseguito in un edificio.

Il Decreto inoltre rimanda alla norma UNI per la verifica dell'assenza della condensazione, ovvero:

- Di rischio della formazione di muffe rimandando alla attenzione ai ponti termici;
- Di condense interstiziali.

A seguito emanazione del Decreto, il MISE ha precisato che la condensa interstiziale venga evaporata a fine di un ciclo annuale.

La norma permette di calcolare la possibile quantità massima condensabile ammissibile se questa è definita:

- La condensa non deve superare i 500 g/m²
- Tutta la condensa deve riapparire nell'arco di un anno.

Da un punto di vista funzionale globale si potrà quindi avere la condensa che poi verrà evaporata. Quindi, l'elemento costruttivo potrà essere sottoposto a cicli continui di bagnatura ed asciugatura.

Di certo i materiali più sensibili alla presenza di acqua saranno sottoposti ad uno stress non comune, ponendo in seria difficoltà la durabilità prestazionale del materiale stesso.

Questa realtà è assimilabile totalmente ad una prova di durabilità che ad oggi non è normata da nessun regolamento specifico ma che può essere ripreso in alcune norme di prodotto o relative a particolari applicazioni.

PVC Forum Italia

Il PVC Forum Italia (www.pvcforum.it) è l'associazione italiana che riunisce le principali aziende di produzione, compoundazione e trasformazione del PVC, i produttori di additivi e di macchine trasformatrici. Con sede a Milano, il PVC Forum è parte del Network europeo dei PVC forum collegati a ECVN (European Council of Vinyl Manufacturers), l'associazione europea dei produttori di PVC, a sua volta divisione dell'associazione dei produttori europei di materie plastiche (PlasticsEurope).

www.pvcforum.it - info@pvcforum.it