

## VETROCAMERA DI COPERTURA CON FUNZIONE FOTOVOLTAICA E CROMOGENICA

Rivestimento di vetrocamera con concentratore solare luminescente per produzione di energia elettrica

### STRUTTURA E RAPPORTI DEL VETRO

Struttura portante sviluppata come un vetro triplo, è anch'esso una vetrocamera, ma è formato da tre vetri accoppiati, separati da un'intercapedine di aria disidratata o di gas, protetta su tutto il perimetro da una doppia sigillatura. Il vetro utilizzato può essere di varie tipologie. La tipologia di vetro camera interessante al nostro utilizzo deve permettere un maggior isolamento acustico e termico.

### COMPOSIZIONE DEL VETRO

I vetri cromogenici sono una particolare tipologia di vetri, dall'aspetto camaleontico, ovvero assumono un comportamento diverso a seconda del tipo di luce che li investe, della temperatura alla quale sono sottoposti o se sono soggetti ad una differenza di potenziale elettrico applicata dall'esterno.

Questi vetri cromogenici assumono differenti denominazioni a seconda del fattore che stiamo considerando e che ne influenza quindi il cambio di proprietà, si dicono fotocromici quando la loro trasparenza ed il controllo solare variano nel tempo in funzione della luce alla quale sono esposti e all'intensità di questa.

Infatti per i vetri fotocromici maggiore è la radiazione solare e più diventano scuri, al buio invece tornano chiari e trasparenti.

vetri cromogenici Si dicono termocromici se è la temperatura a modificare tali caratteristiche, maggiore è la temperatura, più il vetro si opacizza.

Se si decide di farne un utilizzo nel settore edile, è importante impostare che la temperatura alla quale si innesca il fenomeno sia nell'intervallo del benessere termico e visivo dell'uomo.

Invece si dicono elettrocromici se la causa è la variazione di una tensione elettrica.

I vetri elettrocromici rappresentano il classico esempio dei vetri a strati, la struttura è costituita da un elettrolita che è inglobato tra due elettrodi che a loro volta sono incorporati tra due conduttori trasparenti.

Tutta questa struttura poi è inserita tra due lastre di vetro.

Il procedimento che questa tipologia di vetro adotta è di natura chimica infatti quando viene applicata una tensione elettrica, si verifica una reazione elettrochimica che consiste in una migrazione di ioni da un elettrodo all'altro, nel momento in cui poi al sistema viene applicata una tensione, il vetro si colora, perdendo la sua trasparenza, che potrà essere ripristinata semplicemente invertendo la polarità.

Un'altra tipologia è invece quella dei vetri a cristalli liquidi nei quali i cristalli che ne costituiscono la struttura cambiano orientamento nel momento in cui tra gli elettrodi del sistema vi è una differenza di potenziale applicata.

Lo stesso vale per i sistemi con particelle sospese, la trasparenza di questi vetri copre tutto lo spettro della radiazione solare. Quando il dispositivo è acceso, la vetrata è trasparente perché i cristalli o le particelle sono allineate. Quando il dispositivo è spento, la vetrata appare traslucida.

#### VETROCAMERA DI COPERTURA CON FUNZIONE FOTOVOLTAICA E CROMOGENICA

Rivestimento di vetrocamera con concentratore solare luminescente per produzione di energia elettrica

#### STRUTTURA E RAPPORTI DEL VETRO

Struttura portante sviluppata come un vetro triplo, è anch'esso una vetrocamera, ma è formato da tre vetri accoppiati, separati da un'intercapedine di aria disidratata o di gas, protetta su tutto il perimetro da una doppia sigillatura. Il vetro utilizzato può essere di varie tipologie. La tipologia di vetro camera interessante al nostro utilizzo deve permettere un maggior isolamento acustico e termico.

#### COMPOSIZIONE DEL VETRO

I vetri cromogenici sono una particolare tipologia di vetri, dall'aspetto camaleontico, ovvero assumono un comportamento diverso a seconda del tipo di luce che li investe, della temperatura alla quale sono sottoposti o se sono soggetti ad una differenza di potenziale elettrico applicata dall'esterno.

Questi vetri cromogenici assumono differenti denominazioni a seconda del fattore che stiamo considerando e che ne influenza quindi il cambio di proprietà, si dicono fotocromici quando la loro trasparenza ed il controllo solare variano nel tempo in funzione della luce alla quale sono esposti e all'intensità di questa.

Infatti per i vetri fotocromici maggiore è la radiazione solare e più diventano scuri, al buio invece tornano chiari e trasparenti.

vetri cromogenici Si dicono termocromici se è la temperatura a modificare tali caratteristiche, maggiore è la temperatura, più il vetro si opacizza.

Se si decide di farne un utilizzato nel settore edile, è importante impostare che la temperatura alla quale si innesca il fenomeno sia nell'intervallo del benessere termico e visivo dell'uomo.

Invece si dicono elettrocromici se la causa è la variazione di una tensione elettrica.

I vetri elettrocromici rappresentano il classico esempio dei vetri a strati, la struttura è costituita da un elettrolita che è inglobato tra due elettrodi che a loro volta sono incorporati tra due conduttori trasparenti.

Tutta questa struttura poi è inserita tra due lastre di vetro.

Il procedimento che questa tipologia di vetro adotta è di natura chimica infatti quando viene applicata una tensione elettrica, si verifica una reazione elettrochimica che consiste in una migrazione di ioni da un elettrodo all'altro, nel momento in cui poi al sistema viene applicata una tensione, il vetro si colora, perdendo la sua trasparenza, che potrà essere ripristinata semplicemente invertendo la polarità.

Un'altra tipologia è invece quella dei vetri a cristalli liquidi nei quali i cristalli che ne costituiscono la struttura cambiano orientamento nel momento in cui tra gli elettrodi del sistema vi è una differenza di potenziale applicata.

Lo stesso vale per i sistemi con particelle sospese, la trasparenza di questi vetri copre tutto lo spettro della radiazione solare. Quando il dispositivo è acceso, la vetrata è trasparente perché i cristalli o le particelle sono allineate. Quando il dispositivo è spento, la vetrata appare traslucida.

## VANTAGGI

### VETRO TRIPLO

Il triplo vetro quindi conferisce alla finestra maggiori prestazioni isolanti sia sotto l'aspetto termico che acustico, per cui una finestra con 3 vetri è certamente preferibile ad una con il classico doppio vetro soprattutto nelle zone fredde o nelle zone molto calde, dove si avverte maggiormente la necessità di isolare termicamente l'ambiente.

In una casa circa il 25-30% dell'energia può essere disperso attraverso le finestre. Da qui l'importanza del loro isolamento termico. Con un vetro isolante a 3 lastre, ad esempio, è possibile risparmiare fino a 900 litri di gasolio per la propria casa.

#### COPERTURA ISOLATA VENTILATA (tetto freddo)

Dal punto di vista tecnologico la copertura ventilata deve prevedere, dall'interno verso l'esterno:

- o struttura;
- o strato di tenuta al vapore;
- o elemento termoisolante;
- o strato di ventilazione (si ottiene mediante realizzazione di una intercapedine a spessore costante fra gli elementi di copertura e lo strato sottostante);

Nel tetto freddo quindi lo strato di ventilazione migliora notevolmente l'isolamento termico della copertura; grazie alla ventilazione il vapore acqueo prodotto nell'abitazione viene espulso al di fuori del tetto, prevenendo in questo modo fenomeni di condensa.

L'intercapedine naturale, che separa nettamente il rivestimento di vetrocamera dallo strato coibente sottostante, agevola infatti l'attivazione di "moti convettivi ascensionali", che sottraggono gran parte del calore che altrimenti si trasmetterebbe agli strati sottostanti, e permette all'umidità di fuoriuscire senza compromettere il potere termoisolante degli strati sottostanti e dell'intercapedine stessa.

Lo strato di ventilazione nel tetto ha lo scopo principale di migliorare le prestazioni estive della copertura riducendo i problemi di surriscaldamento del sottotetto. Infatti, la superficie esterna del tetto è colpita dalla radiazione solare che, alle nostre latitudini, riesce a portare facilmente la temperatura superficiale attorno ai 70°C. Lo strato di ventilazione serve quindi per asportare parte di questo calore e raffreddare la superficie esterna dell'isolante, riducendo quindi anche il flusso di calore trasmesso verso il sottotetto. In aggiunta allo strato di ventilazione, la posa di una barriera radiante può ridurre ancor più il calore trasmesso verso l'interno.

#### SFASAMENTO TERMICO ED ISOLAMENTO ESTIVO DEGLI EDIFICI

Sfasamento termico ed isolamento estivo degli edifici

In edilizia si definisce “sfasamento termico” il tempo necessario al picco dell’onda termica estiva (che coincide con le ore del primo pomeriggio) per attraversare un materiale o un componente dell’involucro dall’esterno all’interno (in particolare le strutture “opache” come i muri di facciata e il tetto).

Questo parametro dipende in particolare dall’inerzia termica o massa volumica del materiale, ma è influenzato anche dalla sua capacità di assorbire e trattenere il calore. Un materiale con alta capacità termica lo cederà agli ambienti con maggiore lentezza (in questo caso si parla anche di “smorzamento”).

Tanto maggiore è lo sfasamento (e, in parte, lo smorzamento), quanto più tempo servirà al caldo per attraversare il materiale e passare all’interno dell’edificio. I materiali con maggiore massa volumica o inerzia termica sono migliori per assicurare una efficace protezione estiva.

Incredibilmente, in un paese mediterraneo caratterizzato da estati calde come l’Italia, questi parametri fino a pochi anni fa non venivano presi in considerazione. I risultati pratici erano purtroppo abbastanza evidenti sul piano del comfort termico estivo, con la necessità di ricorrere spesso ad impianti di condizionamento per migliorare le condizioni abitative, non garantite dal solo edificio.

#### Normative e parametri

L’indicatore di sfasamento è stato introdotto solo una decina di anni fa, con il DM 26/06/2009 che lo definisce come “ritardo temporale tra flusso termico entrante nell’ambiente interno e massimo della temperatura dell’ambiente esterno”. Il decreto propone un valore minimo di 10 ore per raggiungere un sufficiente comfort termico estivo. Un valore ottimale è superiore a 12-13 ore. Tale ritardo porta il calore ad entrare all’interno dell’edificio durante le ore serali e notturne, quando la temperatura esterna si abbassa ed è possibile aprire le finestre.

Vanno inoltre considerati i cosiddetti carichi di calore interni che possono a loro volta innalzare la temperatura degli ambienti, dovuti all’utilizzo di elettrodomestici, alla presenza di persone o alla cottura dei cibi.

Oltre al problema del discomfort termico dovuto al surriscaldamento estivo, vanno considerati i costi energetici per raffrescare che possono essere ragguardevoli per gli edifici poco isolati.

In tempi recenti sono entrate in vigore nuove norme che hanno ridefinito le metodologie di calcolo ed i requisiti per l’isolamento termico estivo, non più limitati al solo parametro dello sfasamento, in quanto anche edifici con minore massa, ma elevata resistenza termica, possono raggiungere buone prestazioni nei mesi caldi.

#### Sfasamento e componenti opache degli edifici

Un’elevata inerzia termica dell’involucro resta il principale fattore per il raggiungimento di un benessere abitativo ottimale durante l’estate. Essa dipende dallo spessore dei materiali, dalla capacità termica e dalla conduttività.

Le principali componenti opache degli edifici che devono assolvere la funzione di fermare l’onda di calore estiva sono le pareti esterne e le coperture (tetti e terrazze piane).

Finestre e vetrate restano l’anello debole in quanto si tratta di partizioni intrinsecamente leggere. E’ tuttavia fondamentale schermare i vetri dall’irraggiamento solare diretto in quanto, soprattutto per gli edifici molto isolati come le case prefabbricate in legno, le temperature interne possono salire velocemente a causa dell’effetto serra.

Tale principio, utile durante le giornate di sole invernali, quando è possibile riscaldare un fabbricato in modo gratuito e passivo, è la principale causa di surriscaldamento estivo degli edifici se viene trascurato in fase di progettazione.

## BOZZA DI PROGETTO

### SISTEMA DI PRODUZIONE DI ENERGIA FOTOVOLTAICA

La superficie di produzione sarà di due tipi, una con un maggiore rendimento in termini di kWh e l'altra meno estesa con un maggior rendimento Wp/mq.

Una parte con rendimento Wp/mq superiore legata alla produzione energetica per le abitazioni, mentre una parte con kWh prodotti superiore, utilizzata per alimentare le macchine di gestione termica per la copertura, il tetto freddo.

La parte per garantire solo il funzionamento della macchina termica legata al tetto, dovrà quindi avere una potenza superiore in termini di kWh ed un'efficienza superiore, sviluppata mediante l'utilizzo di Silicio Cristallino.

La parte più estesa, che dovrà avere maggiore efficienza in termini di Wp/mq dovendo garantire una produzione costante tale da mantenere l'apporto energetico sufficiente agli appartamenti, sviluppata in Silicio Amorfo.

Entrambe le superfici saranno composte da Silicio Amorfo ma la superficie superiore sarà composta anche da Silicio Cristallino, idealmente come indicato nelle proposte sottostanti.

PRIMA PROPOSTA

SECONDA PROPOSTA

Supponendo di dividere in questo modo la produzione fv, dovremo sviluppare la superficie in Silicio Cristallino per produrre un quantitativo di energia tale per cui l'assorbimento della VMC nel tetto freddo sia inferiore, così ottimizzando la restante parte a copertura anche di tutte le superfici opache con i vetri fv.

TERZA PROPOSTA

## Silicio Amorfo

Trasmissione luminosa: Dark, 10%, 20%, 30%. Opaco e disponibile in 3 diversi gradienti di semi-trasparenza

Efficienza 2,8% - 5,76%. Efficienza inversamente proporzionale alla trasparenza

Maggiore rendimento. Più (kWh) a parità di potenza installata rispetto al cristallino (kWp)

Miglior comportamento in presenza di ombreggiamenti accidentali e indipendentemente dall'inclinazione e dall'orientamento (più adatto per le applicazioni in facciata)

Basso coefficiente di temperatura. Funziona bene anche ad alte temperature di esercizio e a basse intensità luminose

Vista senza ostacoli

Più economico del silicio cristallino (c-Si)

## Silicio Cristallino

Mono & policristallino. Celle quadrate da 12 or 15 cm

Efficienza 13% - 20%. Più kWp installati per mq

Maggiore potenza nominale per mq (Wp/mq). Produce più elettricità con un irraggiamento solare diretto (coperture e inclinato favorevolmente al sole)

Flessibilità massima nella personalizzazione formale moduli di forma triangolare, trapezoidale, etc.

Calcolando un rendimento che oscilla tra il 13% ed i 20% come dichiarato, la potenza Wp al mq sarà compresa tra 152,23 Wp e 234,2Wp al mq.

Una casa media con produzione FV di 3 kWp genera una produzione di 3300-4500 kWh annui, circa 11 kWh giornalieri.

Con una potenza media di 193,2 Wp al metro quadro, si avrà una potenza di 13.525 Wp su 70 mq. Questo valore di picco genera una produzione media annua di circa 15.837 kWh di cui il 25% sarà relativo al consumo delle abitazioni.



## SCAMBI TERMICI

Una parete vetrata separa generalmente due ambienti di diversa temperatura. Come per qualsiasi altro tipo di parete, anche attraverso il vetro ha luogo uno scambio termico dall'ambiente più caldo all'ambiente più freddo. Tuttavia, una parete vetrata presenta anche la particolarità di essere trasparente all'irraggiamento solare che apporta gratuitamente calore.

## SCAMBI DI CALORE ATTRAVERSO UNA PARETE

Lo scambio termico attraverso una parete può avvenire secondo tre modi di propagazione:

- la conduzione è un trasferimento di calore attraverso un corpo o tra due corpi a contatto diretto tra loro.

Tale trasferimento si verifica senza alcuno spostamento di materia.

Il flusso di calore tra le due facce di un vetro dipende dallo scarto di temperatura esistente tra di esse e dalla conduttività termica del materiale.

La conduttività termica del vetro è

$$\lambda = 1,0 \text{ W/(m.K)}$$

- la convezione è un trasferimento di calore che avviene tra la superficie di un corpo solido e un fluido liquido o gassoso. Tale trasferimento è accompagnato da uno spostamento di materia

- l'irraggiamento è un trasferimento di calore che avviene attraverso onde elettromagnetiche tra due corpi a temperature diverse.

L'irraggiamento a temperatura ambiente è situato nell'infrarosso a lunghezze d'onda superiori a  $5 \mu\text{m}$  e risulta proporzionale all'emissività dei corpi.

L'emissività è una caratteristica superficiale dei corpi.

Ad una scarsa emissività corrisponde uno scarso scambio termico per irraggiamento. L'emissività normale del vetro è di 0,89. Ad alcuni vetri può essere applicato un deposito detto basso emissivo con un'emissività inferiore a 0,10.

## COEFFICIENTE DI SCAMBIO SUPERFICIALE

Quando una parete è a contatto con l'aria, scambia calore con quest'ultima per conduzione e convezione e con l'ambiente per irraggiamento.

L'insieme di questi scambi termici è definito convenzionalmente per una velocità di vento, emissività e temperature normalmente riscontrate nell'ambito dell'edificio. Essi sono caratterizzati da  $h_e$  per gli scambi esterni e da  $h_i$  per gli scambi interni.

Questi due coefficienti presentano i seguenti valori normalizzati:

$$h_e = 23 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$$

$$h_i = 8 \text{ W}/(\text{m}^2.\text{K})$$

## TRASMISSIONE TERMICA DI UNA SUPERFICIE

### TRASMITTANZA TERMICA – U

U, in passato K, ha assunto questa nuova denominazione con l'entrata in vigore delle norme europee

Gli scambi termici che si verificano attraverso una parete per conduzione, convezione e irraggiamento sono espressi dal valore U.

Il valore convenzionale è stabilito per i coefficienti di scambio superficiale  $h_e$  e  $h_i$  definiti in precedenza. Esso viene calcolato secondo la norma EN 673.

È prevista la possibilità di calcolare un valore U specifico utilizzando valori diversi di  $h_e$ , che è funzione della velocità del vento e di nuove condizioni di temperatura.

Quanto più basso è il valore U, tanto minori sono le dispersioni termiche.

#### TRASMITTANZA TERMICA DEI VETRI – U

La parete vetrata può essere costituita da una vetrata semplice o da una vetrata isolante, che consente di ottenere un migliore isolamento termico.

Il principio della vetrata isolante consiste nel racchiudere tra due lastre di vetro un'intercapedine d'aria immobile e asciutta al fine di limitare gli scambi termici per convezione, sfruttando la scarsa conduttività termica dell'aria.

#### MIGLIORAMENTO DELLA TRASMITTANZA TERMICA DEI VETRI – U

Per migliorare il valore U, è necessario ridurre gli scambi termici per conduzione, convezione ed irraggiamento.

Poiché non risulta possibile agire sui coefficienti di scambio superficiale, il miglioramento consisterà nella riduzione degli scambi tra i due componenti della vetrata isolante:

Gli scambi per irraggiamento possono essere ridotti utilizzando lastre con depositi basso emissivi. Gli scambi per conduzione e convezione possono essere ridotti sostituendo l'aria racchiusa tra le due lastre con un gas più pesante a conduttività termica inferiore (in genere Argon).

Fattore –  $\gamma$

La parete vetrata è generalmente trasparente all'irraggiamento solare, apportatore di energia gratuita. Il Fattore solare di una parete vetrata rappresenta la percentuale di energia introdotta nel locale in rapporto all'energia solare incidente.

Esso è pari al flusso trasmesso più il flusso riemesso verso l'interno del locale. Quanto più basso è il Fattore solare, tanto meno importanti sono gli apporti solari.

#### BILANCIO ENERGETICO

La finestra è veicolo di dispersione termica caratterizzata dal valore di U e di apporti solari caratterizzati dal Fattore solare. Il bilancio energetico è dato dalla somma algebrica tra la dispersione termica e gli apporti solari recuperabili.

Il bilancio energetico è negativo quando gli apporti sono superiori alle dispersioni.

## RIDUZIONE DELL'EFFETTO "PARETE FREDDA"

Il corpo umano scambia calore con l'ambiente per irraggiamento.

È in virtù di questo che è possibile provare una sensazione di freddo nelle vicinanze di una parete a bassa temperatura, anche se ci si trova in una stanza in cui la temperatura è gradevole.

Durante la stagione invernale, con un basso valore U, la temperatura della faccia interna della parete vetrata sarà più elevata e l'effetto detto di "parete fredda" ne verrà ridotto.

Sarà pertanto possibile:

- avvicinarsi di più alle finestre senza alcuna sensazione sgradevole,
- ridurre i rischi di formazione di condensa.

## CONTROLLO SOLARE – DIMINUIZIONE DEGLI APPORTI ENERGETICI SOLARI

In estate, le condizioni meteorologiche sono caratterizzate dai seguenti fattori:

- cielo terso,
- temperature elevate,
- flusso solare importante e prolungato
- venti deboli,

Un'apertura vetrata trasparente costituisce il passaggio privilegiato del flusso energetico solare.

In queste condizioni, ciò può tradursi in un considerevole rialzo della temperatura all'interno dei locali, comunemente denominato "effetto serra".

Per attenuare questo fenomeno, è consigliato l'uso di vetrate a controllo solare.

Queste vetrate consentono:

- di limitare le spese di climatizzazione,
- di diminuire il fastidio legato al rialzo della temperatura,
- di migliorare il comfort visivo prevenendo il fenomeno dell'abbagliamento.

La protezione termica in estate è inversamente proporzionale al Fattore solare e al valore di U. La quantità di energia solare che penetra in un locale può essere limitata mediante l'utilizzo di vetrate ad elevato assorbimento energetico o ad elevata riflessione energetica verso l'esterno.