

Involucro verticale ventilato e impianti fotovoltaici

Nuove tecnologie integrate

Alice Lorenzati, Ingegnere - C2R Energy Consulting

Sempre più spesso si sente parlare di tecnologie integrate per l'incremento delle prestazioni degli organismi edilizi, riducendone i consumi energetici. L'uso di tali tecnologie comporta numerosi vantaggi sotto diversi punti di vista, tra i quali:

- Operativo (meno componenti da installare, con riduzione dei tempi di posa, anche se magari si richiedono procedure più complesse/delicate)
- Economico (il risparmio sui tempi di posa potrebbe andare a bilanciare l'extra costo dovuto alla fornitura di tali tecnologie)
- Funzionale (massimizzazione delle superfici di installazione e ottimizzazione delle prestazioni).

Quest'ultimo aspetto è quello su cui ci soffermeremo: una corretta integrazione tecnologica consente infatti di sfruttare le caratteristiche di una tecnologia per andare a ridurre le criticità di un'altra tecnologia a cui essa è integrata. Questo è infatti ciò che accade nel caso di facciate ventilate fotovoltaiche.

LE FACCIATE VENTILATE: UN RAPIDO INQUADRAMENTO

Le facciate ventilate sono una particolare tipologia di involucro esterno a secco, che può essere installato sia per nuove costruzioni che per riqualificazioni energetica. Esse sono composte da una struttura interna (opaca o vetrata), un'intercapedine, uno strato isolante eventuale (presente in cui la struttura interna sia opaca) e uno strato di rivestimento esterno.

La presenza dell'intercapedine rappresenta la chiave del suo funzionamento. All'interno dell'intercapedine, infatti, si instaurano dei moti convettivi (naturali o forzati, se presente un ventilatore) che contribuiscono al migliorare le prestazioni energetiche dell'involucro. Il funzionamento si differenzia inoltre tra periodo invernale e periodo estivo.

In estate, la radiazione solare incidente sullo strato di finitura esterno, genera un innalzamento della temperatura all'interno dell'intercapedine d'aria, il quale a sua volta produce il cosiddetto effetto camino. L'aria, più fresca, entra dal basso, si surriscalda, e tramite moti convettivi sale verso l'alto, da cui esce dalla facciata, portando con sé la quota di calore assorbita. Si riduce di conseguenza la temperatura della parete interna.

Durante il periodo invernale, l'effetto camino è estremamente ridotto, in quanto il calore incidente le superfici è piuttosto basso (soprattutto in caso di cielo coperto). Si generano piuttosto dei moti convettivi all'interno dell'intercapedine stessa, creando una sorta di cuscinetto d'aria che mantiene in equilibrio la temperatura della parete sul lato interno,

riducendo di conseguenza le problematiche di umidità e condensa superficiale. È inoltre possibile prevedere delle aperture tra ambiente interno e intercapedine, in modo tale da utilizzare l'aria che si surriscalda all'interno dell'intercapedine per preriscaldare l'ambiente stesso.

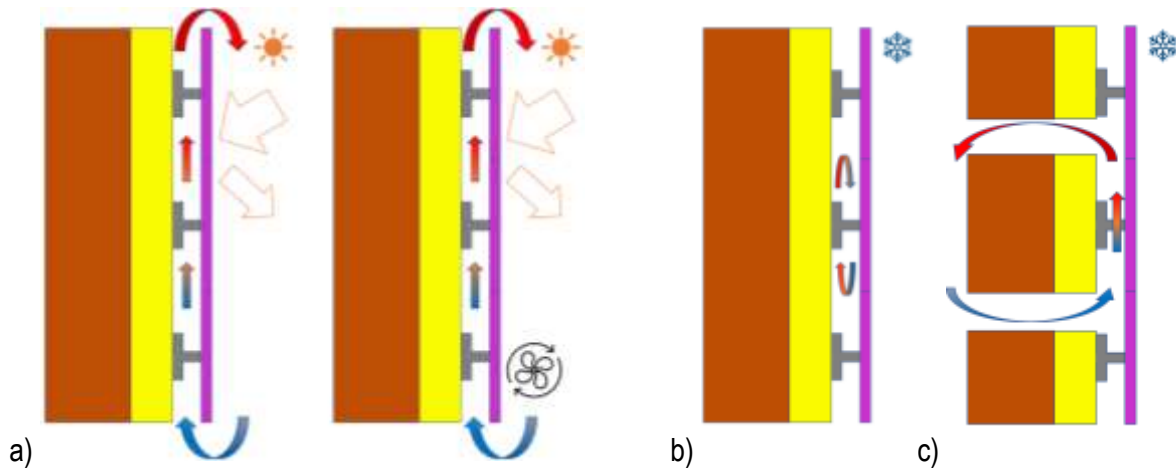


Figura 1 – Meccanismo di funzionamento delle facciate ventilate. a) funzionamento estivo, a convezione naturale o forzata; b) funzionamento invernale senza scambio con ambiente interno; c) funzionamento invernale con scambio con ambiente interno.

In poche parole, quindi, uno dei principali scopi delle facciate ventilate è quello di rimuovere il calore accumulato all'interno dell'intercapedine d'aria. Oltre questo presentano ovviamente ulteriori vantaggi (o svantaggi), di seguito un elenco più esaustivo:

Aspetto	Pro	Contro
Energetico	Può agire come buffer termico statico o dinamico, riducendo il fabbisogno energetico di riscaldamento/raffrescamento; l'aria dell'intercapedine, dopo essersi riscaldata può essere utilizzata come ingresso per unità di climatizzazione.	Nel caso di carichi interni elevati, potrebbe essere necessaria una maggiore energia di raffreddamento, compensando quindi il beneficio illustrato nei pro.
Ventilazione	Migliora lo sfruttamento della ventilazione naturale, riduce la condensa nell'intercapedine.	Sistemi di ventilazione meccanica potrebbero essere necessari per garantire il comfort termico, è inoltre possibile la diffusione di inquinanti (se non correttamente progettata).
Acustica	Offre un migliore isolamento acustico contro il rumore interno.	È possibile che si crei trasmissione del suono tra ambienti diversi ("effetto telefono")
Pressione del vento	Protegge la lastra interna dalle raffiche di vento e riduce la pressione statica nei grattacieli; riduce la difficoltà di azionare finestre/porte e il rischio per il personale addetto alla manutenzione (soprattutto per facciate vetrate).	La pressione indotta dal vento in intercapedine dipende dalla configurazione della facciata; alcune zone della facciata potrebbero non essere protettive; è inoltre possibile un carico di vento

		elevato.
illuminazione	Soprattutto nel caso di vetrate, consente l'installazione di elementi di reindirizzamento della luce; migliora l'uso della luce naturale senza alcun disagio termico.	Riduce la quantità di luce diurna che entra nell'edificio rispetto alle facciate con vetro singolo.
Sicurezza antincendio	---	L'intercapedine aumenta il rischio di propagazione del fuoco/fumo tra pavimenti o ambienti (effetto camino); si limita la capacità dei vigili del fuoco di raggiungere la facciata interna; nel caso di vetrate, lo strato di vetratura esterno riduce la capacità di ventilazione del fumo e aumenta il rischio che i vetri rotti colpiscano il suolo.
Sostenibilità	Può ridurre significativamente il consumo di energia; si ha un ciclo di vita più elevato per gli elementi protetti dalle intemperie; si migliora il comfort adattivo; la ristrutturazione dell'edificio può essere limitata alla facciata.	Maggiore apporto di materiali; l'impatto ambientale dipende dai materiali utilizzati e dalla corretta progettazione
Costi	Riduce i costi operativi e può ridurre i costi complessivi, risultando in una soluzione più conveniente.	Maggiori costi di investimento iniziale e di manutenzione; può aumentare i costi complessivi, risultando in una soluzione meno conveniente.

PANNELLI FOTOVOLTAICI E PRESTAZIONI REALI

Spesso, quando si sceglie un pannello fotovoltaico, le caratteristiche che si prendono in considerazione sono:

- **Potenza di picco (Wp)**, o potenza nominale [kWp], cioè la potenza elettrica massima che il pannello fotovoltaico è in grado di produrre nelle condizioni di prova standard stabilite dalle norme IEC/EN 60904 (irraggiamento solare 1000 W/m², temperatura delle celle di 25 °C e distribuzione spettrale AM = 1,5, ovvero nella posizione in cui il sole forma un angolo di 48° con lo zenith);
- **Efficienza fotovoltaica [%]**, definita dal rapporto tra la potenza elettrica in uscita dai pannelli e la potenza della radiazione solare che colpisce la superficie del modulo, e definisce la quantità di radiazione solare che viene effettivamente convertita in elettricità utile. L'efficienza dei pannelli fotovoltaici dipende dalla tipologia di pannello, e come riferimento si possono assumere i seguenti valori:
 - Pannelli fotovoltaici in silicio monocristallino: 17 % - 20 %
 - Pannelli fotovoltaici in silicio policristallino: 16,5%
 - Pannelli fotovoltaici CIS a film sottile (Rame, Indio, Selenio): 15%
 - Pannelli fotovoltaici a film sottile con telloruro di cadmio (CdTe): 13,4%
 - Pannelli fotovoltaici in silicio amorfo: 8,2%
 - Pannelli fotovoltaici semitrasparenti: 12 %.

È però risaputo che le prestazioni dei pannelli fotovoltaici dipendono fortemente dalla temperatura di esercizio (il funzionamento ottimale è intorno ai 25 °C). Pertanto, esistono

almeno altri due parametri fondamentali, per valutare correttamente le potenzialità di un pannello fotovoltaico, che tengono in considerazione le effettive condizioni di funzionamento dei pannelli:

- **Normal Operating Cell Temperature (NOCT)**, cioè la temperatura che assume la cella fotovoltaica in condizioni operative “nominali” (irraggiamento 800 W/m², temperatura ambientale 20 °C, velocità dell’aria sul retro del modulo 1 m/s e angolo di incidenza della luce solare di 45°). In altre parole, il NOCT la capacità della cella di smaltire il calore: pannelli con NOCT più bassi lavoreranno a temperature minori, con conseguenti minori perdite di prestazioni causate da innalzamenti di temperatura.
- **Coefficiente di temperatura di potenza massima [%/°C]**, detto anche **coefficiente termico**, indica la variazione percentuale della potenza massima per ogni 1 °C di variazione della temperatura del pannello rispetto a quella nominale di 25 °C. Definisce quindi quanta potenza viene persa o guadagnata per via delle variazioni di temperatura. È un coefficiente negativo che in genere varia tra - 0,35 e - 0,5 %/°C. Minore è il valore assoluto di questo coefficiente migliori saranno le prestazioni a temperature elevate.

Per comprendere meglio l’influenza di questi due elementi, si propone un esempio numerico

	Pannello A	Pannello B
Condizioni di lavoro standard T _{ambiente} = 20 °C T _{pannello} = 25 °C	W _p = 250 W	W _p = 250 W
	<u>CONDIZIONI 1</u> NOCT = 40 °C Coeff. T/P _{max} = - 0,35	<u>CONDIZIONI 1</u> NOCT = 50 °C Coeff. T/P _{max} = - 0,35
	<u>CONDIZIONI 2</u> NOCT = 40 °C Coeff. T/P _{max} = - 0,35	<u>CONDIZIONI 2</u> NOCT = 40 °C Coeff. T/P _{max} = - 0,50
Perdita di potenza dovuta alla temperatura (CONDIZIONI 1)	- 0,35% x (40°C - 25°C) = - 5,25 % W _{peffettiva} = 237 Wp	- 0,35% x (50°C - 25°C) = - 8,75 % W _{peffettiva} = 228 Wp
Perdita di potenza dovuta alla temperatura (CONDIZIONI 2)	- 0,35% x (40°C - 25°C) = - 5,25 % W _{peffettiva} = 237 Wp	- 0,50% x (40°C - 25°C) = - 7,5 % W _{peffettiva} = 231 Wp

In condizioni di esercizio reali, la temperatura delle celle può anche superare i 70 °C, di conseguenza gli effetti osservabili sulla riduzione di potenza di picco reale sono ancora più evidenti.

Ne consegue che è quindi fondamentale evitare che i pannelli si surriscaldino eccessivamente per non ridurne le prestazioni.

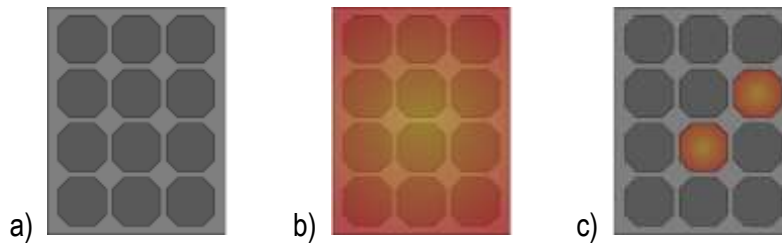


Figura 2 – Condizioni di funzionamento dei pannelli fotovoltaici. a) funzionamento corretto; b) pannello interamente surriscaldato; c) hot-spot dovuti a singole celle guaste o cortocircuiti.

Un ulteriore fattore molto importante da tenere in considerazione per definire la potenza complessiva dell'impianto e il tipo di moduli da installare è l'orientamento dei pannelli fotovoltaici. La capacità di produzione dell'energia sarà tanto maggiore quanto più i raggi del sole sono perpendicolari alla superficie del pannello stesso. Pertanto, l'orientamento ideale è verso sud, con inclinazione del pannello (angolo di tilt) che varia in funzione della latitudine (in Italia 30 – 35°, da sud a nord), valutabile attraverso la seguente relazione:

$$\text{Inclinazione ottimale} = \text{Angolo di tilt ottimale} = 3,7 + (0,69 \times \text{Latitudine})$$

FACCIAE VENTILATE FOTOVOLTAICHE

L'installazione di pannelli fotovoltaici in facciata consente di avere una superficie disponibile molto maggiore alla sola installazione in copertura, ma ovviamente non tutte le facciate sono adatte. Innanzitutto, va evidenziato che un pannello installato verticalmente è in grado di captare e assorbire molta meno radiazione solare rispetto ad un pannello installato in copertura, soprattutto se correttamente orientato (la producibilità si può ridurre fino quasi il 70 % per latitudini elevate). Si rende quindi essenziale individuare correttamente la facciata su cui installare il fotovoltaico, in modo da evitare ulteriori cali di prestazioni. Le facciate devono ad esempio essere orientate a sud, prive il più possibile di balconi o aggetti ombreggianti e prive di ostruzioni esterne. Ma cos'altro si può fare per migliorare le prestazioni di un impianto fotovoltaico in facciata?

Come scritto in precedenza, uno dei vantaggi legati all'utilizzo di tecnologie integrate è legato alla possibilità di sfruttare le caratteristiche di un sistema per ridurre le criticità di un secondo sistema a cui è collegato, ottimizzandone le prestazioni. E questo è proprio il caso delle facciate ventilate fotovoltaiche.

Le potenzialità di queste soluzioni hanno fatto sì che fossero approfondite in studi e progetti di ricerca, di carattere scientifico e internazionale. Senza entrare troppo nel dettaglio, si riportano di seguito i principali vantaggi riscontrabili attraverso una corretta integrazione tra facciate ventilate (opache o trasparenti) e impianto fotovoltaico.

1. Dissipazione del calore accumulato sul retro del pannello

Quando in facciata sono presenti pannelli fotovoltaici, il calore che si accumula lungo il loro dorso è maggiore di quello che si accumulerebbe con uno strato di paramento esterno, a causa della presenza delle celle di silicio di colore nero/molto scuro. Maggiore calore implica maggiori temperature superficiali, con conseguente riduzione della produzione di energia elettrica. La capacità di dispersione del calore è inoltre

fortemente influenzata dallo strato posteriore del pannello fotovoltaico (soprattutto nel caso di pannelli sandwich sottili). Aumentando la conducibilità termica di tale strato di supporto affacciato verso l'intercapedine, si otterrà una maggiore dissipazione termica. Si fa notare che, il cosiddetto "effetto camino" responsabile dei moti convettivi dissipatori, è tanto maggiore quanto è maggiore l'irraggiamento solare, e quindi quando risulta essere maggiore anche il calore accumulato in intercapedine sul dorso del pannello.

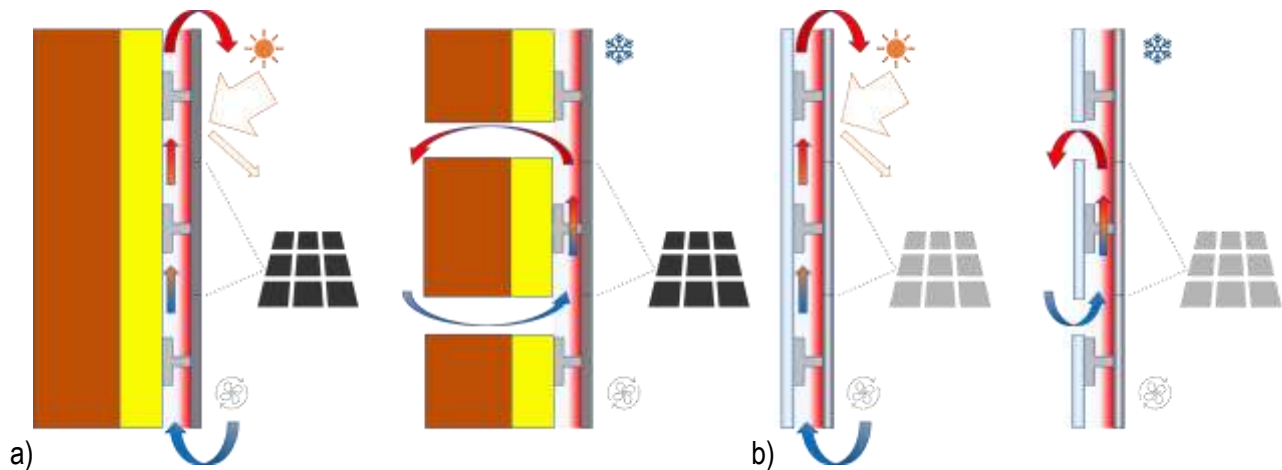


Figura 2 – Facciate ventilate fotovoltaiche (ventilazione naturale o forzata). a) involucro opaco; b) involucro trasparente.

2. Dissipazione del calore accumulato sulla superficie esterna dello strato isolante termico (se presente)

Ovviamente, l'“effetto camino”, nel rimuovere il calore accumulato all'interno dell'intercapedine, consente anche la riduzione della temperatura superficiale dello strato isolante. Alcuni studi hanno dimostrato che tale riduzione può raggiungere anche i 12 °C nei momenti di massimo irraggiamento. Se si pensa che dispersioni/apporti di calore sono proporzionali alla differenza di temperatura tra ambiente interno ed esterno (a parità di trasmittanza), è evidente che se la temperatura superficiale esterna dello strato isolante è più bassa, si riducono conseguentemente gli apporti solari estivi a carico dell'ambiente interno (anche fino al 20 %), e quindi dell'impianto di climatizzazione, con conseguenti minori consumi.

3. Recuperabilità del calore assorbito dall'aria in intercapedine

Il flusso d'aria riscaldato che si genera in intercapedine può inoltre essere recuperato (e quindi non espulso) per la climatizzazione degli ambienti interni. Questo può essere usato direttamente, o convogliato a macchine in grado di assorbirne il calore (macchine ad assorbimento, o altri tipi di convertitori) per poi essere utilizzato secondo necessità.

In questa sede ci si è concentrati sulle facciate ventilate. Va da sé che i vantaggi della ventilazione sono ovviamente riscontrabili anche nel caso di coperture, soggette inoltre ad una maggiore radiazione solare incidente.

In conclusione, è bene ricordare che, per massimizzare l'efficienza di soluzioni di questo tipo, è necessaria una progettazione integrata, che valuti il sistema edificio – impianto nel suo complesso come un elemento unico, analizzandone in maniera approfondita punti di forza, criticità e sinergie. Una progettazione non integrata porterebbe ad una semplice mistura di tecnologie malfunzionanti, causa di sprechi sia in termini energetici che in termini di costi.