

# A doppia pelle, vetro-vetro



**F**ino a pochi lustri addietro, il dibattito in materia di involucri in vetro riguardava principalmente la tecnologia del supporto. Negli anni Ottanta si assistette all'introduzione nel mercato diffuso dei siliconi strutturali, che consentivano di percepire all'esterno un'unica superficie vetrata priva del reticolo metallico di supporto. L'evoluzione successiva fu quella di smaterializzare tale supporto, utilizzando sistemi a trazione ed avvicinandosi così all'affascinante traguardo della trasparenza. Ciò che costituiva il limite di tali sistemi, era l'incapacità di possedere i necessari requisiti riguardo al controllo delle dispersioni termiche da un lato e dell'accumulo energetico dall'altro. Tali limiti trovavano parziale soluzione nella riduzione del campo di utilizzo di dette tecnologie al settore terziario e nell'adozione di vetri forte-

*La quinta architettura esterna del prospetto sud Marks & Spencer Store a Manchester definisce una doppia facciata a tutta superficie ventilata naturalmente dove i percorsi esterni e gli oscuranti avvolgibili si inseriscono nella ampia intercapedine (progetto Gavin Elliot e Ged Couser).*

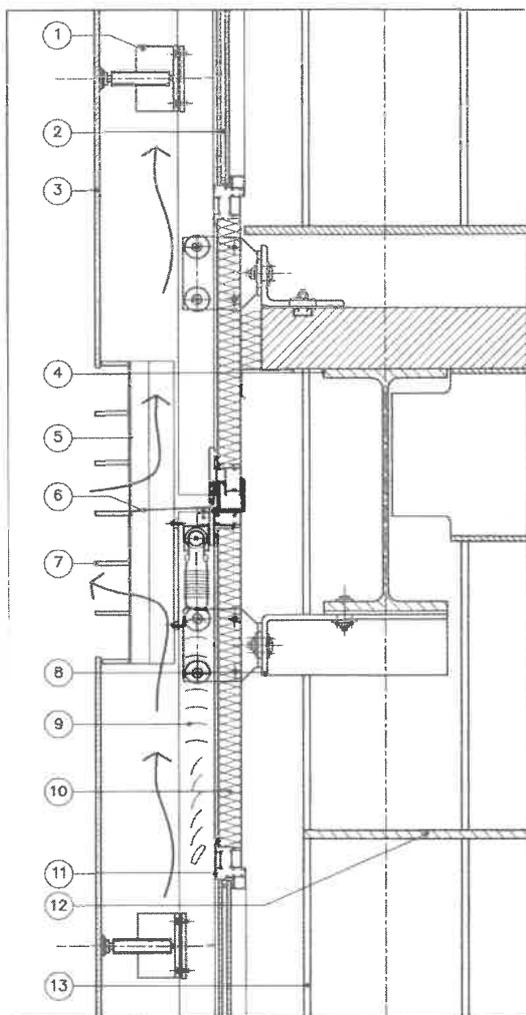
*La facciata a doppia pelle in vetro a canali orizzontali ventilata meccanicamente definisce il nuovo involucro dell'ampliamento e del volume esistente della Safilo a Padova (progetto Galfetti).*

Fabio Conato, Simona Cinti

Lo scambio energetico tra interno ed esterno definisce il carattere dinamico dell'involucro e consente un buon controllo bioclimatico dell'edificio. I principi di funzionamento, parametri qualitativi, caratteristiche tipologiche



- 1) Staffe portanti vetro in acciaio inox;
- 2) Vetro camera trasparente neutro 8\12\4+4+0,76 (apribile);
- 3) Cristallo esterno temperato e serigrafato;
- 4) HEA 600 verniciata;
- 5) Lamiera forata in alluminio;
- 6) Lamiera in alluminio;
- 7) Lamelle tubolari in alluminio;
- 8) Staffe di attacco portanti;
- 9) Tenda a lamelle in alluminio;
- 10) Pannello isolante con lamiera in alluminio;
- 11) Profilo in alluminio anodizzato;
- 12) Controsoffitto;
- 13) Strutture portanti in acciaio;
- 14) Ghiera di serraggio;
- 15) Rotula di fissaggio vetro;

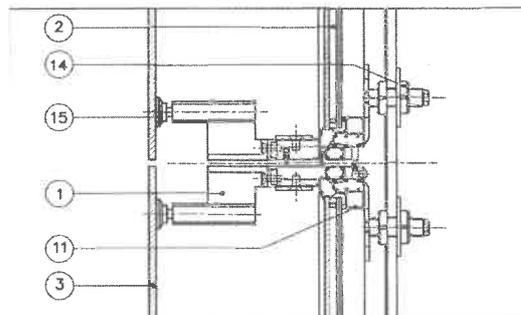


Sezione verticale e sezione orizzontale del sistema di facciata della Safilo a Padova (progetto Galfetti).

Le facciate a doppio involucro rappresentano, forse, il settore di più alta innovazione in un campo, come quello delle costruzioni, che di sicuro non eccelle in questo senso.

E come sempre il poco di innovazione viene dilatato, discusso, amplificato e può assumere, nel pubblico dei progettisti, una prospettiva distorta; nel senso che si sottovaluta la reale complessità dei problemi, progettuali e applicativi. In questo senso riteniamo quindi necessario, un momento generale di sintesi e di riflessione, uno stato dell'arte semplice, sintetico, come è nella nostra linea redazionale, con una serie di articoli su questo tema che iniziano da questo numero e prenderanno in esame la totale ampiezza problematica del tema: i principi generali, gli aspetti applicativi, di dettaglio, esempi realizzati ed altro ancora.

mente riflettenti accoppiati a pesanti sistemi di climatizzazione. L'innovazione tecnologica avvenuta negli ultimi anni nel settore del vetro e dei sistemi di facciata, ha contribuito alla diffusione di architetture trasparenti nella sfera dell'edilizia civile, stimolando l'interesse dei progettisti a verificarne l'applicabilità a scala più vasta ed in un più ampio spettro di contesti. E' infatti indubbio che l'adozione di facciate a doppia e tripla pelle e di vetri dalle prestazioni sempre più elevate, ha consentito di poter superare fattori che ne limitavano di molto l'applicabilità. La possibilità di inserire tra gli strati sistemi passivi e attivi di ventilazione, riflessione correzione, mitigazione, guadagno, apre la strada al soddisfacimento di un sempre più ampio insieme di requisiti: il vetro, un tempo sinonimo di trasparenza assoluta, si è trasformato prima in materiale selettivo e poi in materiale interattivo; le facciate vetrate, un tempo proprie delle serre, si vanno ora trasformando in evoluti sistemi di gestione dei flussi energetici. Dopo alcuni anni di sperimentazione, la vicenda dei sistemi di chiusura vetrata a più pelli pare giunta ad un bivio: restare legata



ad interventi sperimentali o di eccellenza, spesso provenienti da realtà assai diverse dalla nostra, oppure entrare anche parzialmente nella consuetudine, smorzando da un lato le esagerazioni e superando dall'altro difficoltà normative e perplessità culturali?

Assai di frequente l'uso di tali sistemi in territorio italiano è promosso da aziende interessate a realizzare edifici-simbolo. Tali esperienze, pur costituendo modelli di riferimento formale, non sono però adattabili alle esigenze proprie dell'edilizia diffusa, in quanto manifestano spesso incompatibilità con elementari bisogni dell'utenza, ed ancor più spesso non trovano sul territorio nazionale un substrato normativo adeguato a recepirle.

Tra le incompatibilità intrinseche troviamo quella legata all'introspezione degli ambienti e quella relativa alla scarsa oscurabilità totale degli stessi. Tali fattori assumono peso non solo a livello tecnologico, ma anche a livello psicologico. In altre parole, se anche esistesse un sistema tecnologico in grado di fornire tali prestazioni, la sensazione di eccessiva introspezione e di scarso controllo sull'oscuramento renderebbe comunque meno graditi detti sistemi se appli-

#### Facciate a doppia pelle

##### Materiali

##### Esterno

Vetro

##### Interno

Laterizio  
Legno  
Metallo  
Vetro

#### Facciate a doppia pelle

##### Parametri qualitativi

- Basso coefficiente trasmissione termica
- Basso coefficiente trasmissione energia solare
- Recupero passivo energia solare
- Riduzione trasmissione acustica
- Riduzione ponti termici
- Protezione facciata interna da pioggia e vento
- Migliore comfort aree perimetrali
- Recupero energia luminosa

cati ad ambienti privati con presenza continua di persone. Ulteriore elemento di incertezza è dato dalla difficoltosa pulizia dell'involucro, specie all'interno delle intercapedini tra le pelli. Tra gli ostacoli normativi più ricorrenti, troviamo ad esempio la difficile applicabilità dei parametri convenzionali propri della maggior parte dei regolamenti edilizi, in materia di aerazione dei locali, o la scarsa possibilità di ottenere certificazioni di rispondenza dei sistemi di supporto alle normative antincendio. Un ulteriore limite va ricercato nel concetto tradizionalista e di bene immobile attribuito dalla nostra cultura all'oggetto edilizio e di conseguenza alle sue tecnologie costruttive. A tale proposito si può affermare che le stesse imprese di costruzioni si trovano in difficoltà sia a porre in opera sia a proporre sul mercato edifici caratterizzati da involucri vetrati. Non ultimo, il costo in opera di dette tecnologie è, in un mercato come il nostro, ancora poco attento al controllo dei costi di gestione, alla verifica del ciclo di vita degli edifici e dei materiali ed all'impatto ambientale, assai elevato. La trattazione che segue, relativa alle principali tipologie di sistemi presenti sul mercato, potrà essere utile alla comprensione delle caratteristiche e dei requisiti che questi sono in grado di soddisfare, nella consapevolezza che per la loro applicazione a vasta scala è necessario analizzarne con altrettanta attenzione i potenziali limiti.

### Riferimenti storico-tecnologici

Il primo edificio con una facciata a doppia pelle in vetro risale al 1903, anno di costruzione del fabbricato della Steiff a Giengen in Germania realizzato con l'obiettivo di consentire, attraverso un doppio sistema di vetratura, l'utilizzo passivo della radiazione solare. Altri fabbricati, caratterizzati da simili involucri esterni, vennero costruiti sporadicamente negli anni successivi, soprattutto nei paesi nordici.

Solamente a partire dagli anni settanta si applicarono tali sistemi costruttivi ad alcuni edifici di medie dimensioni con la concreta intenzione di sperimentare alternativi sistemi di facciata, rispetto a quelli tradizionalmente utilizzati, miranti al controllo delle dispersioni termiche e al recupero passivo dell'energia solare.

Tra questi si evidenziano, per caratteristiche tecnologiche e architettoniche, il palazzo per uffici "Hooker", costruito sul versante americano delle

154 Cascade del Niagara tra il 1978 e il 1981 dallo

studio Cannon Design, e la Briarcliff House, realizzata in Inghilterra nel 1984 dallo studio Arup Associates.

Dagli anni novanta ad oggi l'applicazione diffusa di involucri a doppia pelle ad edifici del terziario, anche strutturalmente complessi, conferma l'effettivo interesse rivolto a questo sistema costruttivo, adattabile alle diverse esigenze di controllo delle dispersioni termiche e del surriscaldamento, di isolamento acustico e di illuminazione e ventilazione naturali.

La facciata a doppia pelle si configura come un involucro edilizio dinamico dove le due frontiere che lo compongono non realizzano un semplice diaframma protettivo ma un luogo attivo di interscambio tra energia interna ed esterna prodotta, accumulata ed espulsa in funzione delle condizioni ambientali esterne (esistenti) ed interne (desiderate); ciò avviene attraverso lo sfruttamento attivo dei principi fisici di effetto serra e di inerzia termica e attraverso il controllo bioclimatico che il sistema costruttivo offre.

I sistemi a doppia pelle sono caratterizzati dall'applicazione, sulla superficie esterna dell'edificio, di due distinte facciate separate tra loro da un'intercapedine, ventilata secondo definite leggi di termodinamica, e fissate per mezzo di elementi di supporto alla struttura portante o ad una struttura di sostegno da essa indipendente.

I materiali costituenti i due involucri possono essere diversi ma, nell'accezione comune, si intende per facciata a doppia pelle quella costituita da due superfici distinte di vetro oppure da un involucro interno opaco (laterizio, legno,

*Il R.I.F. Building a Udine utilizza il sistema di facciata "Interactive wall" della Permasteelisa dove il doppio involucro a celle ventilato meccanicamente si completa con dei frangisole orizzontali utilizzati per ottimizzare la protezione solare.*



## Classificazione dei sistemi costruttivi

| Tipologia sistema  | Rapporto tra le facciate  | Intercapedine   | Costi | Prefabbricazione                                       | Manutenzione |
|--------------------|---|---|-------|--|--------------|
| A tutta superficie | Involucro esterno indipendente da quello interno                              | Continua/spessore fino a 80-90 cm                                       | ●●●   | Possibilità ridotta di adottare elementi prefabbricati | ●●●          |
| A canali           | Involucro esterno fissato a quello interno (solidale alla struttura portante) | Canali di intercapedine orizzontali o verticali / spessore 20-50 cm max | ●●    | Possibilità di adottare elementi prefabbricati         | ●●           |
| A singoli elementi | Doppia facciata con camera d'aria ancorata alla struttura portante            | Celle accostate con intercapedini indipendenti/spessore $\geq 30$ cm    | ●     | Buone possibilità di adottare elementi prefabbricati   | ●            |

metallo) e da uno esterno trasparente (vetro). L'applicazione del vetro, quale unico elemento di tamponamento identificabile attraverso una serie di requisiti di sicurezza e comfort a cui la facciata deve rispondere è resa possibile grazie alle nuove tecnologie produttive; da materiale rigido e fragile, storicamente trasparente alla luce e al calore, diventa elastico, resistente e capace di filtrare le componenti dello spettro solare in funzione degli standard ambientali interni richiesti.

In termini numerici e qualitativi, le caratteristiche dei sistemi di facciata a doppia pelle possono essere sintetizzate attraverso i seguenti parametri (dati ricavati da "blue technology", Permasteelisa):

- Basso coefficiente di trasmissione termica; in funzione delle proprietà tecniche del tipo di facciata (dimensione e ventilazione dell'intercapedine, tipologia delle vetrate - semplici o doppie - e posizione di queste rispetto all'intercapedine; spessore e caratteristiche tecniche del vetro) si può ottenere un valore di K fino a 0,50 W/m<sup>2</sup>K (come parametro di riferimento si consideri il coefficiente di trasmissione termica di 0,90 W/m<sup>2</sup>K, relativo ad una muratura a doppio strato di mattoni con interposto un materiale isolante).
- Basso coefficiente di trasmissione di energia solare ( $g = 0,10 - 0,12$ ).
- Recupero passivo di energia solare durante le stagioni invernali.
- Riduzione della trasmissione acustica; approssimativamente, tale diminuzione varia da 30-32 dB a 36-40 dB.
- Possibilità di ridurre o eliminare i ponti termici.
- Protezione della facciata interna dagli agenti atmosferici (pioggia, vento).
- Migliore abitabilità delle aree perimetrali interne situate in prossimità della facciata; la tempe-

ratura della pelle interna risulta simile a quella dell'intercapedine, diminuendo la sensazione spiacevole provocata dalla presenza di una superficie fredda a contatto con un ambiente riscaldato.

- Razionale recupero dell'energia luminosa all'interno dell'edificio attraverso l'illuminazione diffusa entro l'intero volume del vano retrostante l'involucro e con la conseguente riduzione dell'utilizzo di luce artificiale.

Attraverso la modulazione della direzione e dell'intensità di circolazione dell'aria si possono gestire le caratteristiche prestazionali dell'involucro; in particolare, la ventilazione degli ambienti interni, il controllo delle dispersioni termiche invernali e del surriscaldamento estivo, con la possibilità di mediare inoltre tali parametri tra le condizioni diurne e notturne.

### Tipologie di facciata

Le caratteristiche tecnologiche ed architettoniche della struttura di supporto delle due superfici vetrate influiscono sulla conformazione e dimensione delle intercapedini; si possono classificare i sistemi di facciata, in funzione dei tipi di camera d'aria configurabili, secondo tre tipologie:

- Sistemi a tutta superficie; in questa tipologia di facciata l'involucro esterno risulta indipendente rispetto a quello interno, creando una quinta architettonica completamente separata dall'edificio. L'intercapedine che si crea è di tipo continuo e si sviluppa senza soluzioni di continuità lungo tutta la superficie di facciata.

La pelle interna in vetro viene fissata direttamente alla struttura portante del fabbricato per mezzo di montanti e traversi assicurati ai solai, secondo un sistema continuo di facciata.

La pelle esterna viene sostenuta da elementi di supporto indipendenti dall'involucro interno;

essa è costituita, generalmente, da una facciata strutturale o continua; sotto il profilo statico, può essere sorretta attraverso un telaio indipendente dalla struttura portante dell'edificio oppure fissata ad essa per mezzo di opportuni elementi di collegamento; nel caso di sostegni puntuali, posizionati in modo diffuso lungo tutta la facciata, la componente orizzontale del vento viene direttamente trasferita alla struttura portante dell'edificio; nel caso in cui, invece, la facciata sia completamente svincolata dal corpo retrostante e poggiante direttamente al terreno o appesa alla sommità dell'edificio verranno predisposti elementi di controventamento.

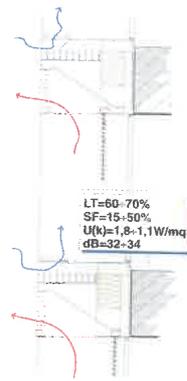
Date le caratteristiche fisiche di tali sistemi le intercapedini possono essere dimensionate con spessori tali (80 - 90 cm.) da assumere l'aspetto e la funzione di serre, con la possibilità di contenere percorsi grigliati ai vari livelli dell'edificio. I serramenti della facciata interna, completamente apribili, possono essere sia ad anta che scorrevoli, permettendo la ventilazione naturale degli ambienti attraverso l'intercapedine e l'accesso diretto a quest'ultima attraverso i percorsi esterni. La facciata esterna può essere costituita da pannelli fissi o da elementi apribili (frangisole in vetro, serramenti) in funzione delle caratteristiche tecniche e strutturali che la definiscono.

I sistemi di facciata a tutta superficie offrono un elevato grado di autonomia progettuale, sia architettonica che costruttiva, grazie alla ridotta presenza di vincoli dimensionali ed alla possibilità di definire la quinta architettonica esterna secondo logiche indipendenti dalla struttura dell'edificio retrostante.

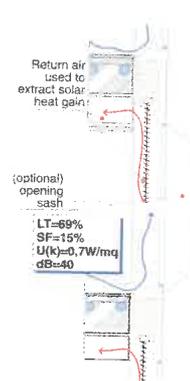
I costi, in fase di realizzazione, risultano di conseguenza più elevati rispetto alle altre tipologie di facciata a causa della maggiore complessità del sistema costruttivo; ciò comporta un minore livello di prefabbricazione degli elementi che compongono le due pelli (soprattutto quella esterna), deferendo gran parte delle opere di montaggio dall'azienda produttrice al cantiere.

In fase di gestione, la presenza di percorsi interni all'intercapedine e la completa ispezionabilità di entrambe le facciate semplifica le operazioni di manutenzione evitando anche l'onere di eventuali ponteggi esterni. La notevole distanza tra le due facciate può però agevolare l'ingresso nell'intercapedine di agenti inquinanti, con il conseguente aumento dei costi per la pulizia delle superfici interne.

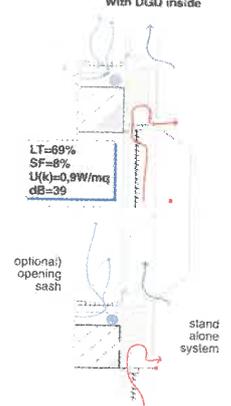
#### NATURAL VENTILATED SHADED WALL



#### ACTIVE WALL® with DGU outside



#### INTERACTIVE WALL® With DGU inside



A queste tipologie di involucro appartengono anche le facciate in vetro applicate nelle ristrutturazioni di edifici esistenti; la nuova pelle, grazie alla sua struttura completamente separata dalla tradizionale chiusura verticale esterna, si adatta con semplicità al fabbricato, migliorando le prestazioni complessive dell'involucro senza vincolare le aperture e le caratteristiche architettoniche esistenti.

- Sistemi a canali; la struttura di supporto della facciata esterna identifica, attraverso la sua conformazione fisica, dei canali di intercapedine orizzontali o verticali; ad esempio, nel caso (più frequente) di canali orizzontali, corrispondenti generalmente allo sviluppo dell'interpiano, si avrà un numero di canali equivalente al numero dei livelli dell'edificio.

Le dimensioni (profondità e larghezza) del canale di intercapedine dipendono dal tipo di supporto di facciata adottato e dalle caratteristiche dimensionali del telaio portante dell'edificio.

Rispetto ai sistemi a tutta superficie i sistemi a canali non creano una facciata esterna completamente separata dal fabbricato: l'involucro esterno viene fissato a quello interno, solidale alla struttura portante dell'edificio, attraverso un telaio comune o elementi puntuali di collegamento. Lo spessore dell'intercapedine varia da 20 a 50 cm., riducendo in parte l'effetto architettonico della doppia parete.

La facciata interna, di tipo continuo, e quella esterna, continua o strutturale, possono essere sostenute dal medesimo telaio portante che si fissa alla struttura dell'edificio e identifica i canali di intercapedine.

I sistemi di supporto delle due facciate possono essere anche indipendenti tra loro, permettendo maggiore autonomia architettonica tra le due facciate, ma la necessità di creare delle intercapedini canalizzate, impone l'inserimento

*Nei sistemi a doppia pelle Permasteelisa propone due diverse concezioni di facciata a ventilazione meccanica: attiva e interattiva.*

di profili metallici di partizione che si fissano alla prima e alla seconda pelle.

La facciata interna si compone da serramenti apribili, parzialmente o completamente, ad anta o scorrevoli utilizzabili per le operazioni di manutenzione; se realizzate, le parti fisse dell'involucro interno possono essere costituite da pannelli sandwich isolanti opachi (rivestiti in legno, metallo, cotto o materiale lapideo) o da vetrate fisse. Tali elementi possono essere applicati in ogni tipologia di facciata.

La facciata esterna, in funzione delle caratteristiche tecniche delle vetrate che la costituiscono e del telaio con cui è realizzata può essere anche apribile verso l'interno.

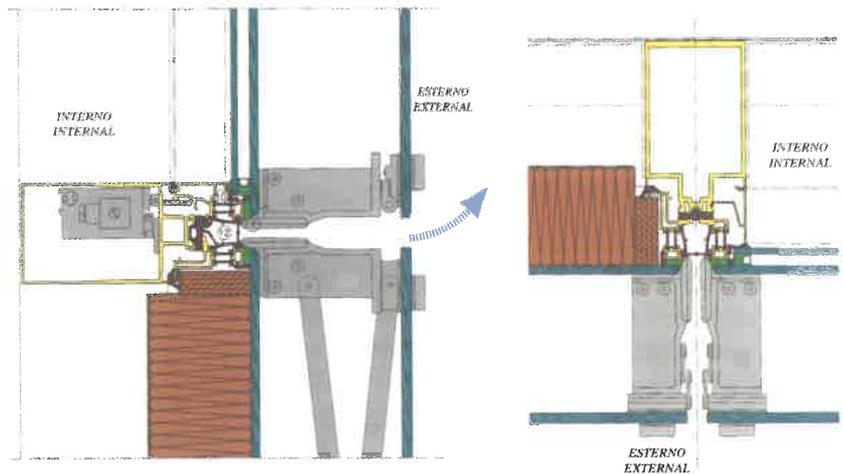
Rispetto ai sistemi a tutta superficie i sistemi a canali risultano economicamente più vantaggiosi, soprattutto in fase costruttiva, grazie al maggiore livello di prefabbricazione degli elementi costituenti le due facciate.

Anche in fase di esercizio, nelle operazioni di pulizia e manutenzione (sostituzione e ripristino), i costi risultano contenuti in quanto si ha la possibilità di agire su entrambe le facciate direttamente da ogni livello di solaio e riducendo al minimo l'uso di ponteggi.

- Sistemi a singoli elementi; I sistemi a singoli elementi sono costituiti dall'aggregazione di celle vetrate indipendenti tra loro che individuano singole unità di facciata. Attraverso un telaio metallico, ancorato alla struttura portante dell'edificio, vengono fissati i pannelli costituenti la prima e la seconda pelle separati dalla camera d'aria. Di conseguenza, l'intero involucro dell'edificio è caratterizzato dal sequenziale accostamento di celle aventi intercapedini indipendenti tra loro. La maglia strutturale dell'edificio influisce quindi in modo determinante sulla compartimentazione dell'intercapedine, che seguirà la scansione degli elementi portanti del fabbricato a cui si fissano le celle. Come nel sistema a canali, la tipologia del telaio che sostiene entrambe le facciate vincola la profondità dell'intercapedine che generalmente non supera i 30 cm.

L'involucro esterno può essere continuo o strutturale; in entrambi i casi, si possono predisporre sistemi di apertura per facilitare le operazioni di pulizia e manutenzione sia della facciata interna che di quella esterna.

I costi di costruzione e quelli d'esercizio risultano inferiori rispetto ai precedenti sistemi di facciata grazie alla semplicità del sistema costrutti-



vo che permette sia una quasi completa prefabbricazione dell'intero involucro che la semplice e diretta ispezionabilità dell'intercapedine.

Sono presenti inoltre dei sistemi misti costituiti, ad esempio, da singole celle alternate a canali verticali; questi ultimi si sviluppano lungo tutta l'altezza dell'edificio e svolgono solamente la funzione di recupero dell'aria calda dalle celle adiacenti convogliandola verso l'esterno o verso accumulatori di calore.

### Principi di funzionamento

Gestendo le condizioni interne di movimento o inerzia dell'aria presente nell'intercapedine, si rende la facciata attiva in funzione delle variazioni climatiche esterne modificando le prestazioni complessive dell'involucro.

Il movimento dell'aria è ottenuto sfruttandone l'effetto naturale di risalita (effetto camino) causato dal suo surriscaldamento ad opera delle radiazioni solari incidenti e generato dalla differenza di temperatura e di pressione presenti all'interno e all'esterno dell'intercapedine; in alternativa o per ottimizzare le prestazioni offerte dal movimento naturale dell'aria si può inserire all'interno dell'intercapedine una ventilazione artificiale prodotta da impianti meccanici.

Le aperture per l'afflusso e il deflusso dell'aria all'interno dell'intercapedine sono poste nella facciata esterna e vengono comandate elettronicamente attraverso un sistema di rilevazione che

*Sezione verticale e sezione orizzontale del sistema di facciata del centro commerciale "Europark" (progetto M. Fuksas).*

*L'involucro del centro commerciale "Europark" di Salisburgo durante le ore notturne diventa irradiante grazie all'impianto di illuminazione, posto nell'intercapedine tra le due pelli, che conferisce profondità al logo serigrafato su entrambe le facciate (progetto M. Fuksas).*



verifica e corregge la loro permeabilità in funzione delle condizioni termiche, solari e di pressione esterne; in aggiunta, possono essere realizzate anche in facciata interna, al fine di ottenere una ventilazione naturale degli ambienti dove l'aria entrante e uscente viene costantemente estratta e immessa nell'intercapedine. Nei sistemi a tutta superficie o a canali verticali si può creare il rischio di commistione tra l'aria espulsa dai locali inferiori e quella immessa nei locali superiori; tale problema non sussiste in caso di sistemi a canali orizzontali e a singoli elementi, dove l'aria di intercapedine circola solamente in corrispondenza di ogni piano di edificio.

Chiudendo le griglie di immissione e uscita della facciata esterna si impedisce l'ingresso di aria fredda nell'intercapedine; contestualmente viene ridotta la circolazione e la velocità dell'aria presente all'interno dei due involucri creando un cuscinetto isolante che migliora le prestazioni termiche della facciata. La ventilazione dell'intercapedine, anche se ridotta al minimo, deve essere sempre presente per evitare la formazione di condensa. La temperatura dell'aria interna di intercapedine, riscaldata dai raggi solari incidenti, si attesta in un valore intermedio tra esterno ed interno dell'edificio; tale calore accumulato viene ceduto ai locali del fabbricato attraverso la superficie dell'involucro interno; inoltre, le aree perimetrali dei vani antistanti la facciata divengono maggiormente abitabili, riducendo l'effetto negativo prodotto da un ambiente caldo a contatto con una superficie fredda.

Nelle facciate con sistemi a tutta superficie le dimensioni dell'intercapedine (profondità e altezza) risultano tali da non riuscire a realizzare un vero e proprio cuscinetto isolante con il conseguente continuo movimento dell'aria e il suo minore riscaldamento ad opera dei raggi solari incidenti. Al contrario, i sistemi a canali e a singoli elementi, dotati di intercapedini di spessore e dimensioni ridotte, riescono a scaldare, attraverso le radiazioni solari, con più facilità e più velocemente l'aria presente al loro interno.

Il calore accumulato dalla facciata nei periodi invernali può essere trasferito direttamente agli impianti di riscaldamento, contribuendo a ridurre il consumo energetico totale dell'edificio.

ciata esterna, nei periodi di forte irraggiamento solare, i moti convettivi generati dall'aria fresca entrante e dall'aria calda uscente raffreddano la pelle interna dell'edificio.

In condizioni climatiche in cui il calore risulti elevato, per ridurre il surriscaldamento dell'aria all'interno dell'intercapedine, si può suddividere la pelle esterna in lamelle mobili o ante apribili. Questo sistema di aperture risulta vantaggioso soprattutto per i sistemi di facciata a tutta superficie in edifici di notevole altezza; la temperatura dell'aria presente nell'intercapedine ai piani più alti risulta infatti elevata con la conseguente diminuzione dell'effetto di raffreddamento.

La compartimentazione della facciata (sistemi a singoli elementi o sistemi a canali) viene privilegiata in caso di temperature esterne elevate, in quanto l'aria tende a riscaldarsi progressivamente con l'aumento dell'altezza.

Attraverso l'uso di lamelle in vetro, orientate secondo la direzione di riflessione dei raggi luminosi incidenti, si può ridurre la quantità di radiazione luminosa che colpisce la parete interna, evitandone il surriscaldamento e annullando l'effetto di abbagliamento che la radiazioni solari dirette producono all'interno dell'edificio.

Con l'apertura delle griglie di aerazione della facciata interna si controlla la ventilazione degli ambienti antistanti l'involucro; tali dispositivi, posti al livello del pavimento per l'ingresso di aria fresca e pulita, e del soffitto per l'emissione di aria calda di rifiuto, contribuiscono, insieme ai sistemi di condizionamento, a ridurre la temperatura interna dell'edificio. I sistemi a tutta superficie, ammettendo l'apertura diretta sull'intercapedine di elementi finestrati, possono evitare il contributo degli impianti di condizionamento; al contrario, i sistemi a canali o a singoli elementi devono avvalersene necessariamente in quanto le griglie di aerazione non sono sufficienti per il completo ricambio d'aria e l'abbassamento della temperatura interna.

La ventilazione dei locali interni e dell'intercapedine può essere controllata, oltre che durante l'anno solare, anche nell'arco dell'intera giornata, seguendo le escursioni termiche che si alternano nel passaggio dalla condizione diurna a quella notturna.

Ampie dimensioni degli elementi di afflusso e deflusso della facciata esterna facilitano il ricambio dell'aria all'interno dell'intercapedine,

## Classificazione in base al sistema di circolazione dell'aria

| Tipologia di ventilazione | Tipologia di sistema afferente | Funzionamento   | Svantaggi   | Note   |
|---------------------------|--------------------------------|---|---|--|
| Naturale                  | A tutta superficie o a canali  | Effetto camino  | Ventilazione corretta è garantita solo ai piani più bassi => necessità di adottare sistema misto        | Sistema adatto a climi caldi e per le facciate esposte a sud e a ovest                               |
| Meccanica                 | A singoli elementi o a canali  | Circolazione dell'aria nelle intercapedini attivata da ventilazione forzata | Alto livello dei consumi energetici, alti costi di gestione, problemi in mancanza di corrente elettrica | Possibilità di integrazione con impianti di sfruttamento dell'energia solare (pannelli fotovoltaici) |

ma in circostanze esterne sfavorevoli provocano ripercussioni negative sull'isolamento acustico.

### Dispositivi di protezione solare

Generalmente, i dispositivi di protezione solare (persiane orientabili, avvolgibili, frangisole) delle facciate a doppia pelle vengono inseriti all'interno dell'intercapedine; essi, orientati in funzione della direzione dei raggi luminosi, contribuiscono alla determinazione delle condizioni di temperatura e illuminazione dei vani interni.

Nelle stagioni calde, la posizione migliore per inserire gli elementi di schermatura, soprattutto nelle facciate poste a est o a ovest dove il sole è crescente o calante, risulterebbe essere quella esterna rispetto al doppio involucro. Con sistemi oscuranti esterni le radiazioni solari vengono infatti intercettate dalla schermatura prima di raggiungere l'edificio. Il costo della manutenzione e della gestione di sistemi di oscuramento posti in tale posizione rispetto alla facciata risulta essere però notevolmente superiore rispetto a quelli inseriti nell'intercapedine in quanto maggiormente esposti agli agenti atmosferici e difficilmente raggiungibili; inoltre, in edifici che si sviluppano oltre i tre piani fuori terra essi vengono generalmente investiti da venti anche di forte intensità diventando pericolosi e di precario funzionamento.

A causa di questi fattori negativi si rende conveniente l'inserimento dei dispositivi di protezione solare all'interno della facciata, adottando però quelle soluzioni che permettano, attraverso un sistema di elementi orientabili, di riflettere verso l'esterno dell'edificio i raggi luminosi incidenti, riducendo il surriscaldamento dell'aria di intercapedine.

Nelle stagioni fredde invece, i sistemi di oscura-

mento interni alla facciata risultano essere molto efficaci in quanto gli elementi che li compongono si comportano come radiatori che assorbono le onde corte e le alte frequenze e le trasformano in radiazioni a lunga frequenza o onda lunga, con conseguente produzione di calore trasferito all'aria di intercapedine. La posizione dei dispositivi viene comandata attraverso un sistema computerizzato che, in funzione del raggio di incidenza e della sua intensità, ne determina la chiusura o l'apertura e, in caso di elementi a lamelle orientabili, la direzione. Seguendo uno schema generale di funzionamento delle facciate a doppia pelle, si possono distinguere diversi impianti, classificabili in funzione del sistema di propulsione dell'aria circolante all'interno dell'intercapedine e della sua direzione di circolazione. In ogni tipologia di facciata descritta, il movimento dell'aria di intercapedine può avvenire grazie all'applicazione dei principi di termodinamica, per mezzo di sistemi meccanici di ventilazione forzata o utilizzando sistemi misti, che sfruttano entrambe le tecnologie.

### Facciate ventilate naturalmente

Questi tipi di facciata non utilizzano sistemi meccanici per la circolazione dell'aria all'interno dell'intercapedine; il movimento dell'aria è indotto dalla pressione dei venti e, soprattutto, da fenomeni di natura termica (differenza di temperatura tra esterno ed interno) che generano forze propulsive ascensionali (effetto camino). Di conseguenza le caratteristiche dimensionali e tecnologiche della facciata stessa dipendono dalla necessità di creare all'interno dell'intercapedine i suddetti effetti di circolazione dell'aria.

Secondo una suddivisione schematica, una facciata ventilata naturalmente si compone dei

seguenti elementi:

- Facciata esterna in pannelli di vetro semplice o frangisole orientabili in vetro.
  - Intercapedine, della dimensioni comprese tra i 50 e i 90 cm. e dispositivi di protezione solare.
  - Facciata interna in vetro doppio (vetrocamera).
- Generalmente, questa tipologia di facciata, data la sua conformazione dimensionale, è realizzata attraverso sistemi a tutta superficie o sistemi a canali.

L'intensità del flusso ascensionale si riduce con l'altezza dell'intercapedine.

L'adozione di una facciata a tutta superficie o a canali verticali ventilata naturalmente, in edifici caratterizzati da molti piani fuori terra risulta, di conseguenza, inadeguata in quanto solamente i livelli inferiori vengono investiti dalla una corretta ventilazione; per ovviare a questo inconveniente si può adottare un sistema misto che favorisca la risalita dell'aria attraverso l'intercapedine per mezzo di ventilatori meccanici.

L'efficacia del funzionamento di una facciata ventilata naturalmente dipende dalla presenza di radiazioni solari incidenti; ne consegue che la ventilazione naturale risulta maggiormente attiva nei climi caldi e nelle facciate esposte a sud ed ovest, dove il livello di energia solare si mantiene elevato in ogni stagione.

### **Facciate ventilate meccanicamente**

Le facciate ventilate meccanicamente utilizzano idonei sistemi di ventilazione forzata che hanno il compito di attivare la circolazione dell'aria all'interno dell'intercapedine. Di conseguenza, venendo meno i requisiti dimensionali per un naturale afflusso e deflusso dell'aria, la distanza tra le due facciate può essere ridotta notevolmente fino a raggiungere i 20- 30 cm.

Secondo una suddivisione schematica, una facciata ventilata meccanicamente si organizza attraverso il seguente schema:

- Facciata esterna in vetro semplice.
- Intercapedine, della dimensione massima di cm. 30 e dispositivi di protezione solare.
- Facciata interna in vetro doppio (vetro camera).
- Dispositivi di ventilazione.

Il funzionamento della facciata si ottiene attraverso l'inserimento di elementi che producono una ventilazione forzata all'interno della camera d'aria, variando le prestazioni offerte dall'involucro in funzione delle condizioni climatiche esterne.

La ventilazione meccanica dell'intercapedine viene generalmente applicata nei sistemi di facciata a singoli elementi e a canali; in essi si ipotizza una condizione normale d'esercizio in cui le vetrate interne ed esterne risultano chiuse e dove la ventilazione degli ambienti è affidata agli impianti meccanici ed, eventualmente, alle griglie di areazione che collegano l'intercapedine con i locali. I sistemi a tutta superficie continua utilizzano, nel caso, ventilazioni miste dove la circolazione naturale dell'aria viene favorita, in caso di necessità, da dispositivi meccanici.

L'uso di energia elettrica per il funzionamento della facciata vincola fortemente il sistema, con il conseguente aumento dei consumi energetici (maggiori costi di gestione) e il rischio di collasso in caso di mancanza di corrente; inoltre, tali facciate, a causa della mancanza di finestre apribili, non permettono la comunicazione diretta con l'intercapedine negando ogni relazione tra interno ed esterno.

Nei climi particolarmente rigidi la facciata viene modificata rispetto allo schema base inserendo verso l'esterno pannelli realizzati con vetri doppi (vetro camera) e portando verso l'interno il vetro semplice, aumentando così le proprietà isolanti dell'intero involucro. Generalmente, con tale configurazione di facciata, l'intercapedine viene ventilata solamente attraverso l'involucro interno, evitando così il raffreddamento dell'aria in essa contenuta.

Il vetro doppio verso l'esterno e la presenza di un'intercapedine di limitata altezza hanno anche il compito di migliorare le prestazioni acustiche della facciata.

I sistemi meccanici di ventilazione possono essere integrati, per il riscaldamento interno degli edifici, con impianti di sfruttamento attivo delle radiazioni solari, che estraggono l'aria calda prodotta all'interno dell'intercapedine e la dirigono verso elementi che accumulano l'energia trasportata dall'aria calda e le trasformano in calore da cedere all'ambiente interno. In questi casi la facciata si integra con gli impianti di riscaldamento e condizionamento dell'edificio.

Tra i sistemi di recupero attivo dell'energia solare vi sono anche i pannelli fotovoltaici che possono essere applicati sulla superficie esterna della facciata a doppia pelle, trasformando la radiazione solare in energia elettrica.