



UNIVERSITÀ  
DEGLI STUDI  
FIRENZE

# FLORE

## Repository istituzionale dell'Università degli Studi di Firenze

### **Potenzialità e prestazioni dell'organismo edilizio esistente**

Questa è la Versione finale referata (Post print/Accepted manuscript) della seguente pubblicazione:

*Original Citation:*

Potenzialità e prestazioni dell'organismo edilizio esistente / Gallo, P.; Trombadore, A.; Lusardi, A.P.. - STAMPA. - (2001), pp. 59-96.

*Availability:*

This version is available at: 2158/703527 since: 2016-09-19T16:16:15Z

*Publisher:*

Sistemi Editoriali - Gruppo editoriale Esselibri - Simone

*Terms of use:*

Open Access

La pubblicazione è resa disponibile sotto le norme e i termini della licenza di deposito, secondo quanto stabilito dalla Policy per l'accesso aperto dell'Università degli Studi di Firenze (<https://www.sba.unifi.it/upload/policy-oa-2016-1.pdf>)

*Publisher copyright claim:*

(Article begins on next page)

Architettura sostenibile Progettazione bioecologica a cura di Gianni Scudo e Mario Grosso

# Recupero edilizio e bioclimatica

| Strumenti, tecniche  
e casi studio

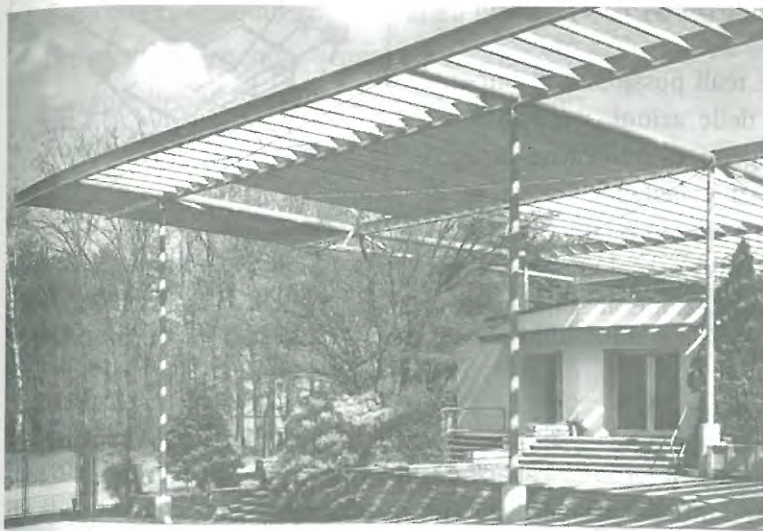
| A cura di Marco Sala

Centro ABITA

sistemi editoriali 

Professionisti, tecnici e imprese  
Gruppo Editoriale Esselibri - Simone





**Paola Gallo  
Alain Paolo Lusardi  
Antonella Trombador e**

*Dipartimento di Processi e  
Metodi  
della Produzione Edilizia  
Università degli Studi  
di Firenze*

### 3.1 L'intervento di riqualificazione in una prospettiva di sostenibilità ambientale

In Italia, come nel resto di Europa, oltre la metà dell'attività edilizia è dedicata alle ristrutturazioni e al retrofitting del patrimonio edilizio esistente: il tema del recupero edilizio appare quindi come una delle priorità per ridurre i consumi energetici nel settore civile, in linea con gli obiettivi di contenimento delle emissioni di CO<sub>2</sub> che l'Italia si è prefissata, in applicazione del protocollo di Kyoto.

Anche se recentemente è cresciuto l'interesse verso questo tema (vedi Codice Concordato dell'ENEA e le iniziative di alcune amministrazioni pubbliche), e sono stati messi a punto nuovi strumenti di finanziamento pubblico (come i contratti di quartiere o i PRUSST), in realtà la quantità di investimenti è ancora molto lontana dai livelli degli altri paesi europei.

Il motivo di tale divario va ricercato, probabilmente, più nelle scelte politiche e nella formazione dei tecnici che nelle barriere tecnologiche, oltre che in una generale disinformazione delle reali possibilità in questo campo.

Il principale obiettivo è, pertanto, delineare un piano per la valutazione dell'efficienza energetica degli edifici nei centri urbani e per la valutazione di interventi di riqualificazione al fine di migliorarne il comportamento energetico attraverso:

- lo studio e valutazione delle potenzialità tecniche e dell'applicabilità delle tecniche avanzate di risparmio energetico;
- un'indagine relativa ai limiti tecnici, economici e sociali delle tecnologie conosciute per la conservazione dell'energia nei diversi tipi di edifici;

- la definizione, verifica e applicazione di una procedura unica per la raccolta dei dati;
- la classificazione secondo un punteggio di merito delle caratteristiche degli edifici e delle possibili azioni di risparmio energetico applicabili.

Occorre poi verificare le reali possibilità di integrabilità e di praticabilità delle azioni proposte negli strumenti urbanistici vigenti e verificarne la congruità in termini di costi e benefici, anche se in questa analisi non è facile assegnare un valore economico ad aspetti qualitativi o ecologici e si corre il rischio di ridurre la valutazione ai soli aspetti di risparmio energetico.

### 3.1.1 Gli obiettivi del retrofit

Considerando l'edificio come organismo capace di interagire con tutti i fattori esogeni ed endogeni, si persegue l'ottimizzazione della sua qualità ambientale: la capacità di preservare le risorse naturali, di soddisfare le esigenze di comfort, di salute e di qualità della vita degli abitanti.

E tutto questo non solo nella fase di esercizio dell'edificio. L'obiettivo della qualità ambientale deve essere integrato in ogni tappa: programmazione, progettazione, realizzazione, uso, poi eventualmente riqualificazione, riuso, demolizione o "de-costruzione". Un intervento di retrofit deve oggi garantire non solo stabilità, funzionalità ed estetica, ma anche fare tutto questo assicurando il soddisfacimento di nuove esigenze espresse dall'utenza; infatti la ricerca tecnologica e la trasformazione dei modelli di fruizione hanno influito anche sulla formazione di una diversa concezione del bene edilizio e una maggiore consapevolezza da parte degli utenti.

Sostenibilità si coniuga quindi con *benessere dell'abitare*, perseguito sotto il profilo del comfort termico e del risparmio energetico, della qualità dell'aria, del benessere luminoso e acustico, dell'attenzione alla salute, fino alle condizioni fruibili dell'utenza. Fra questi aspetti un ruolo prioritario riveste il benessere termoigrometrico, che richiede un adeguato controllo progettuale sul sistema ambientale e su quello tecnologico allo scopo di ottenere un adeguato livello di prestazioni riducendo al tempo stesso i consumi energetici tradizionali.

A differenza della progettazione di nuovi organismi, il progetto di retrofitting energetico opera entro forti limiti: non potendo il progettista intervenire sul sistema ambientale già conformato (scelta del sito, esposizione, forma e dimensione degli ambienti, disposizione delle aperture, ecc.) le variazioni di ciascun parametro termofisico si ottengono operando principalmente sul sistema tecnologico. Il problema quindi si sposta su principi e strategie bioclimatiche possibili e sulla scelta di quella soluzione tecnica capace di realizzare un elevato miglioramento prestazionale.

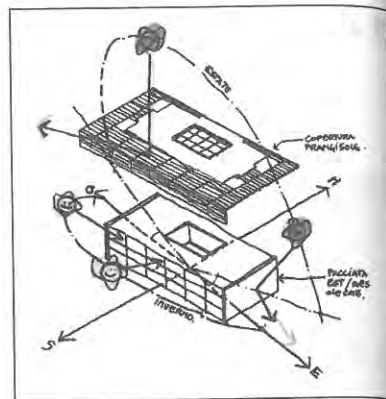


Fig. 1. Esempio di retrofitting all'Eco Centre di Ispra - Arch. M. Cucinella

Riportiamo qui di seguito, raggruppati in 4 categorie principali, quei livelli minimi in ordine a esigenze prestazionali da soddisfare (*obiettivi-chiave ambientali*), che risultano sempre validi sia nel caso di nuova edificazione che di recupero ambientale e che ogni progettista dovrebbe conoscere e perseguire:

- *Eco-costruzione* (integrazione al sito, prodotti di costruzione, cantiere verde,...);
- *Eco-gestione* (energia, acqua, rifiuti,...);
- *Comfort* (termico, visivo, acustico, olfattivo);
- *Salute* (qualità dell'aria, dell'acqua...).

## OBIETTIVO CHIAVE: ECO-COSTRUZIONE

### Interazione degli edifici con il contesto ambientale

#### *Sub-obiettivi*

- gestione delle potenzialità fisiche e morfologiche del sito:
  - morfologia del sito;
  - orientamento-esposizione alla radiazione solare;
  - esposizione ai venti prevalenti.
- gestione delle risorse del sito:
  - acqua (presenza di corsi d'acqua, bacini, falde);
  - risorsa verde (vegetazione esistente - essenze caratteristiche);
  - gestione dei segni di antropizzazione (sul territorio);
  - ambiente urbano;
  - ambiente sub-urbano;
  - area industriale;
  - presenza di grosse arterie di collegamento (autostrade, ferrovie);
  - presenza infrastrutture.

#### *Esigenze minimali*

- considerare l'inserimento dell'edificio nell'ambiente realizzando: uno studio preliminare al progetto, uno studio di organizzazione del lotto, uno studio di organizzazione degli spazi esterni e intermedi. In caso di ex-zone industriali, analizzare il livello di inquinamento e se necessario disinquinare;
- rispettare un livello massimo di pressione acustica di 50 dB dei rumori emessi dagli impianti o esterni, realizzando eventualmente un intervento di protezione acustica;
- individuare le fonti di rumore esterno e creare un isolamento acustico sufficiente per ottenere un livello minimo.



## Scelta dei processi e dei prodotti di costruzione

### *Sub-obiettivi*

- adattabilità e durabilità;
- scelta dei processi di costruzione;
- scelta dei prodotti di costruzione.

### *Esigenze minimali*

- verificare le possibilità di riciclo dei rifiuti di demolizione degli edifici;
- scegliere prodotti edilizi eco-compatibili.

## Cantiere verde

### *Sub-obiettivi*

- gestione differenziata dei rifiuti di cantiere;
- riduzione dell'inquinamento acustico del cantiere;
- bonifica del suolo e dell'intorno;
- valutazione e controllo degli altri possibili impatti ambientali dovuti alla presenza del cantiere.

### *Esigenze minimali*

- integrare in fase di progetto le modalità di controllo dei rifiuti di cantiere e riduzione degli impatti (rumore, polveri,...);
- ridurre il consumo energetico e delle risorse durante le lavorazioni in cantiere.

## OBIETTIVO CHIAVE: ECO-GESTIONE

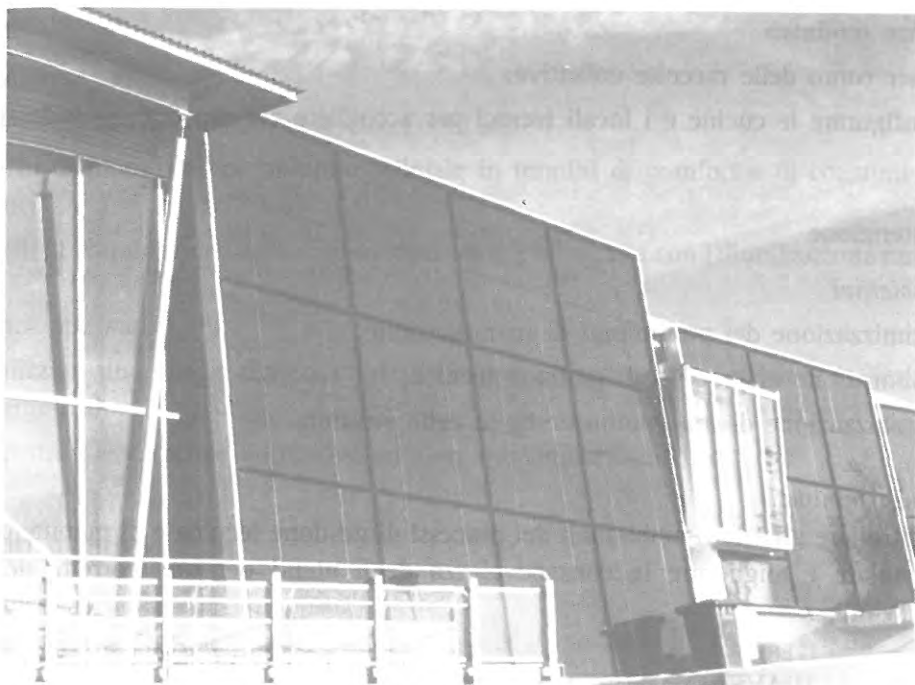
### Gestione dell'energia

#### *Sub-obiettivi*

- riduzione della domanda e dei bisogni energetici;
- uso delle energie rinnovabili;
- miglioramento dell'efficienza degli impianti energetici.

#### *Esigenze minimali*

- migliorare la qualità energetica dei progetti, in modo da ottenere il livello minimo proposto dalla Legge 10 del '91;
- scegliere delle caldaie "pulite in termini di CO<sub>2</sub>, CO e NO<sub>x</sub>." o a condensazione;
- prevedere interventi di isolamento sull'involucro:
  - tener conto degli apporti solari;
  - ridurre le infiltrazioni;
  - favorire il recupero del calore.



**Fig. 2.** Integrazione di collettori solari in facciata

## Gestione dell'acqua

### *Sub-obiettivi*

- gestione dell'acqua potabile;
- uso di acque non potabili;
- garanzia della depurazione delle acque;
- gestione delle acque piovane;
- gestione delle acque in superficie.

### *Esigenze minimali*

- ricercare sistemi che limitino il consumo di acqua potabile: impianti a flusso ridotto, verifica delle reti per diminuire le perdite;
- prevedere una raccolta delle acque piovane e/o una depurazione delle acque grigie, per uso WC,...

## Gestione dei rifiuti

### *Sub-obiettivi*

- gestione differenziata dei rifiuti;
- predisposizione di depositi di rifiuti adatti alla raccolta e stoccaggio differenziati;
- predisporre aree per il compostaggio.

*Esigenze minimali*

- tener conto delle raccolte collettive;
- configurare le cucine e i locali tecnici per accogliere almeno due contenitori.

**Manutenzione***Sub-obiettivi*

- ottimizzazione dei programmi di manutenzione;
- elaborazione di processi di gestione tecnica;
- organizzazione di una buona gestione della struttura.

*Esigenze minimali*

- controllare gli effetti ambientali dei processi di gestione tecnica e di manutenzione;
- stimolare e migliorare la consapevolezza degli utenti per una corretta gestione dell'edificio.

**OBIETTIVO CHIAVE: COMFORT****Comfort termo-igrometrico***Sub-obiettivi*

- garanzia di stabilità delle condizioni termo-igrometriche previste dalla legge;
- zoning igrometrico.

*Esigenze minimali*

- assicurare adeguati livelli di comfort termoigrometrico nelle diverse stagioni;
- ridurre il surriscaldamento dovuto alla radiazione solare;
- migliorare l'efficienza dell'illuminazione o delle altre attrezzature che producono carico termico;
- utilizzare la ventilazione e metodi di raffrescamento naturali.

**Comfort acustico***Sub-obiettivi*

- isolamento acustico;
- zoning acustico.

*Esigenze minimali*

- ridurre i livelli di pressione acustica;
- migliorare la protezione acustica degli ambienti interni.

Comfort v

*Sub-obiett*

- relazio

- livelli c  
getici;

- livelli d

*Esigenze*

- realizz

energe

- rispetta

Comfort

*Sub-obiett*

- riduzio

- ventila

**OBIETTIV**

Qualità c

*Sub-obiet*

- gestio

- gestio

- gestio

- gestio

- gestio

- ventil

*Esigenze*

- scegli

- evitar

- analiz

- dimer  
zione

- verifi

produ

- favor



## Comfort visivo

### *Sub-obiettivi*

- relazione visiva soddisfacente con l'esterno;
- livelli di illuminazione naturale ottimale in termini di comfort e di consumi energetici;
- livelli di illuminazione artificiale soddisfacente e bilanciata con l'illuminazione naturale.

### *Esigenze minimali*

- realizzare uno studio dimensionale delle pareti vetrate (compatibile con l'esigenza energetica);
- rispettare le esigenze normative relative agli impianti elettrici.

## Comfort olfattivo

### *Sub-obiettivi*

- riduzione delle fonti di odori sgradevoli;
- ventilazione atta all'eliminazione degli odori sgradevoli.

## OBIETTIVO CHIAVE: SALUTE

### Qualità dell'aria

#### *Sub-obiettivi*

- gestione dei rischi di inquinamento dovuti ai prodotti edili;
- gestione dei rischi di inquinamento dovuti agli impianti;
- gestione dei rischi di inquinamento dovuti alla manutenzione;
- gestione dei rischi di inquinamento per radon;
- gestione dei rischi d'aria esterna inquinata;
- ventilazione per la qualità dell'aria.

#### *Esigenze minimali*

- scegliere generatori a combustione dotati di sistemi di sicurezza;
- evitare i prodotti inquinanti utilizzati nella costruzione: formaldeide, solventi, pesticidi...;
- analizzare il rischio di emissione da radon;
- dimensionare correttamente il ricambio dell'aria e utilizzare dei sistemi di ventilazione efficienti;
- verificare l'assenza di CFC in alcuni isolanti plastici alveolari, e anche negli impianti produttori di freddo, negli aerosol e nei solventi;
- favorire la ventilazione naturale.

## Qualità dell'acqua

### *Sub-obiettivi*

- protezione della rete di distribuzione collettiva di acqua potabile;
- mantenimento della qualità dell'acqua potabile;
- eventuale trattamento delle acque non potabili di riciclo;
- gestione dei rischi inerenti le reti di acque non potabili.

### *Esigenze minimali*

- non utilizzare tubazioni in piombo;
- mantenere la temperatura di stoccaggio dell'acqua calda a 60°C e di distribuzione a 50°C per minimizzare i rischi di legionella.

### *Il rispetto della qualità ambientale consiste nel:*

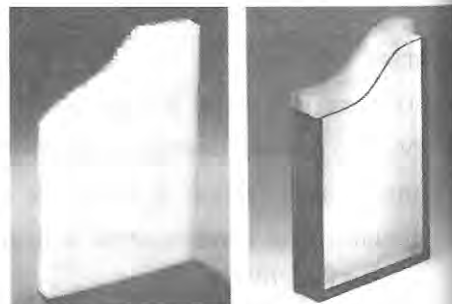
- risparmiare le risorse naturali (energia, suolo, materie prime);
- ridurre l'inquinamento dell'aria esterna, dell'acqua e dei suoli;
- ridurre la produzione di rifiuti;
- favorire una migliore relazione dell'edificio con il sito;
- assicurare condizioni di vita sane e confortevoli all'interno degli edifici.

È da sottolineare che questo tipo di intervento non è sempre possibile: particolare attenzione va posta, infatti, in caso di edifici di rilevante carattere storico, non potendo, spesso, ottenere il livello di comfort ottimale richiesto dagli utenti, senza intervenire sul carattere stesso dell'edificio.

### 3.1.2 *L'involucro edilizio*

In architettura la relazione che esiste tra il comportamento dell'edificio ed il suo involucro è abbastanza critica se pensiamo che esso deve consentire di isolare dal vento, dall'umidità e dalla pioggia ma deve essere contemporaneamente permeabile alla luce e all'aria, conservare il calore e provvedere alla sicurezza e alla privacy degli utenti. Negli edifici che si definiscono "bioclimatici" oltre a garantire il soddisfacimento dei requisiti suddetti, possiamo anche prevedere di immagazzinare il calore, direzionare e regolare la luce naturale, così come possiamo controllare i flussi di aria e generare in qualche caso energia.

A partire da queste premesse, l'obiettivo principale per un recupero che sia "sostenibile" dal



**Fig. 3.** Pannello a struttura capillare per la sostituzione di un sistema vetrato traslucente ed isolante

punto di vista energetico è quello di assegnare una importante funzione all'involucro - quella di regolatore termico - capace di far raggiungere all'interno livelli di comfort ottimali senza l'impiego di sistemi meccanici o impianti che richiedono un alto consumo energetico. Tutto ciò mediante la scelta e l'impiego di materiali e tecniche

ambientalmente compatibili. Il raggiungimento di tali obiettivi però non è affatto semplice ed implica una particolare attenzione sia nelle scelte del progetto che nella sua messa in opera. Un intervento di riqualificazione sull'involucro potrebbe non essere sempre conveniente; se, tuttavia, esso migliora il bilancio tra i guadagni e le perdite di

calore, riduce l'uso degli impianti tradizionali, elimina le necessità di riscaldamento o ne riduce i consumi, i costi supplementari di un intervento così mirato potrebbero essere recuperati considerando questi vantaggi e soprattutto i risparmi ottenibili.

### 1. Le murature

Anche in un intervento di retrofitting, l'utilizzo delle tecniche tradizionali di costruzione unite all'incremento degli spessori delle murature e della loro resistenza termica favoriscono un rendimento ottimale dal punto di vista energetico degli edifici. Molte fra le tecniche di questo "buon costruire" sono familiari ai progettisti ed ai costruttori, ma i requisiti per la realizzazione dei dettagli e quelli necessari per la scelta di una manodopera specializzata, essenziali per

ottenere i risultati nella realtà, vengono spesso dimenticati.

La tecnica dell'isolamento uniformemente distribuito su tutti gli elementi di una costruzione, generalmente, produce buoni risultati rispetto all'applicazione di quello ad uno o due elementi della costruzione stessa. Purtroppo i metodi di calcolo per le perdite di calore spesso insegnano al progettista a disgregare gli effetti derivanti da infiltrazioni o ponti termici, mentre gli effetti combinati di tali discontinuità, uniti all'assenza di iso-



Fig. 4. Esempio di isolamento realizzato con materiali naturali

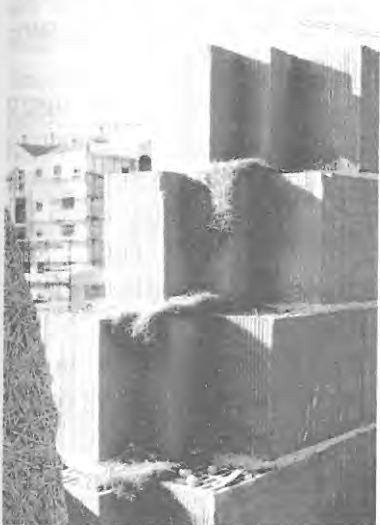


Fig. 5. Integrazione di fibre naturali come isolante ecologico



Fig. 6. Esempio di involucro attivo



lamento nei giunti tra le murature e gli orizzontamenti, in quelli delle aperture ecc., possono essere sostanziali. In molti casi infatti l'attenzione al dettaglio, insieme ad una attenzione nella messa in opera dei componenti, può avere un grande impatto sulle perdite generali di calore rispetto a quello che si potrebbe ottenere incrementando semplicemente lo spessore dell'isolamento.

La risposta della produzione a queste problematiche ha favorito l'immissione sul mercato di una ampia gamma di prodotti e componenti progettati per migliorare i valori di trasmissione e ridurre nel contempo i consumi energetici. Si pensi alla facciata "intelligente" composta da moduli indipendenti che, attraverso un sistema di accumulo, regolano secondo la necessità l'intensità di calore da immettere nell'ambiente, oppure ne schermano gli effetti, o agli stessi moduli di rivestimento fotovoltaico che, nonostante tutt'oggi non sia ancora diventato un sistema abbastanza flessibile, risulta una soluzione alquanto valida.

Una recente innovazione nell'architettura solare orientata verso sistemi di facciata multifunzionale è, però, rappresentata dai materiali di "isolamento termico traslucido" che regolano il flusso dell'energia solare nell'edificio, garantendo una piacevole condizione di comfort ottimale e ottimi livelli di illuminazione naturale.

L'involucro attivo rappresenta una delle risposte alla problematica del recupero energetico inteso come sfruttamento dell'energia solare per il risparmio di energia convenzionale, e l'utilizzo del sistema fotovoltaico ne è un valido esempio. L'impiego della facciata "sinergica" comporta l'integrazione di pannelli fotovoltaici sui sistemi di rivestimento convenzionali o montati su strutture indipendenti, che costituiscono il modulo solare producendo energia elettrica per conversione diretta della luce solare.

L'integrazione del sistema fotovoltaico viene così indicato nelle facciate, e la sua applicazione incrementa solo del 2% il costo di un tipico edificio provvedendo di contro quasi ad un terzo della richiesta elettrica.

## 2. Le coperture

Un tetto ben costruito per durare nel tempo, ben dettagliato e con un buon livello di isolamento ed un appropriato sistema di ventilazione, costruito con materiali ambientalmente compatibili si può definire un tetto "sostenibile". Ardesia, tegole a basso contenuto di cemento sono solo alcune delle possibilità di uso di materiali sostenibili per una copertura, senza pensare all'utilizzo di materiali naturali per la realizzazione di coperture per i cosiddetti "tetti verdi". Un ampio tetto verde realizzato con piantumazioni resistenti a tollerare condizioni climatiche difficili e con una crescita media, eleva notevolmente la massa termica della copertura, riducendo nel contempo, per il suo aspetto, l'impatto sull'ambiente.

### 3. Le superfici vetrate

Gli elementi vetrati sono spesso la parte più interessante e complessa di un edificio; i vetri ed il disegno delle finestre sono le aree in cui si è registrato negli ultimi anni un impressionante sviluppo tecnico, favorito dalle ricerche di laboratorio su nuovi materiali più efficienti. È possibile, infatti, ad oggi specificare di un componente vetrato non solo il suo aspetto, ma i suoi requisiti per il guadagno termico per la conservazione del calore, la trasmissione e la direzione della luce, alle differenti latitudini e per differenti orientamenti.

Gli elementi vetrati assumono un comportamento dinamico: hanno infatti molteplici funzioni tra cui quella di guadagnare calore, trasmettere la luce, isolare, ombreggiare, ventilare, comunicare visivamente; allo stesso tempo devono rispondere a variazioni delle condizioni interne ed esterne a breve e lungo termine. È proprio questa dinamicità del componente vetrato che ha permesso di sviluppare, in questi ultimi anni, prodotti e componenti molto interessanti dal punto di vista della loro versatilità tecnologica e del funzionamento bioclimatico.

Sulla scia delle recenti disposizioni in materia di salvaguardia del calore, gli elementi finestrati vengono ora visti non più come semplici elementi dell'involucro che causano perdite di calore, ma come elementi che possono sfruttare l'energia solare; così componenti finestrati complessi, multistrato, con congegni incorporati per il preriscaldamento solare, per la ventilazione o per l'ombreggiamento o la riflessione della luce vengono oggi utilizzati sia per la nuove edilizia che negli interventi di recupero.



Fig. 7. Esempio di superficie vetrata con comportamento dinamico



## 3.2 La captazione solare

Un intervento di recupero edilizio sostenibile se, da un lato, potrebbe apparire una sfida tecnologica, dall'altro diventa una reale opportunità per l'integrazione di sistemi a guadagno solare diretto. L'energia solare è una risorsa pulita e sostenibile che ha inoltre un notevole valore economico, sociale e soprattutto ambientale.

Fra le scelte più valide in un'azione di recupero edilizio che si limita ad intervenire sull'involucro ricordiamo:

- l'integrazione di collettori solari o di pannelli fotovoltaici;
- l'introduzione di serre (verande);
- l'applicazione del TI (*Transparent Insulation*).

Questi interventi possono aiutare a riqualificare l'immagine architettonica dell'edificio, alzando il livello di comfort interno e migliorando il comportamento termico di tutto l'organismo edilizio, aggiungendo nuovi elementi che, integrati nelle coperture o sulle logge o nella facciata, diventano nuovi segni di connotazione architettonica dell'edificio.

### 3.2.1 I collettori solari

L'uso dei collettori solari integrati nelle costruzioni è una delle applicazioni più interessanti da adottare in caso di recupero dell'edificio, in particolare laddove si necessita della integrazione del sistema di produzione dell'acqua calda sanitaria. Qualora si rendesse necessaria la ricostruzione di tutta la copertura o la sostituzione del materiale di copertura, l'integrazione di collettori solari può costituire addirittura parte della nuova copertura. Questo significa che i costi di questa nuova applicazione possono essere parzialmente coperti e recuperati dai costi di riparazione di una copertura dispendente ormai obsoleta.

Nel recupero edilizio i collettori solari possono essere installati con il principale scopo di:

- preriscaldare acqua calda sanitaria e/o spazi riscaldati;
- preriscaldare l'aria per la ventilazione.

L'integrazione di collettori solari nel recupero edilizio può creare, inoltre, una sinergia tra l'efficienza energetica e l'architettura:

- convertendo la radiazione solare in energia termica utilizzabile tramite fluido termovettore;
- sostituendo tetti e materiali di rivestimento della facciata;
- progettando con cura le integrazioni per dare all'edificio una nuova identità ed un nuovo carattere.

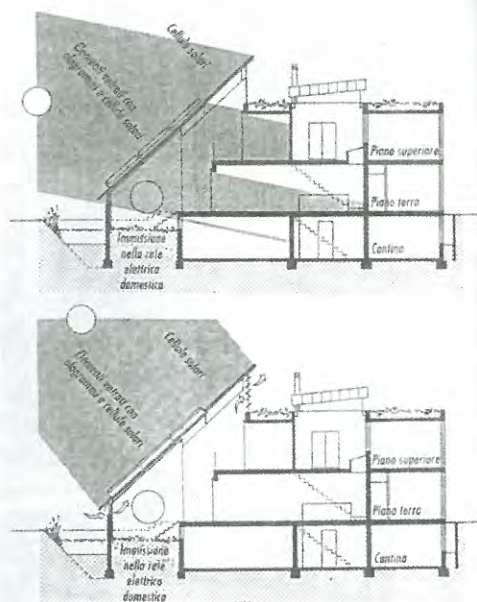


Fig. 8. Integrazione architettonica di collettori solari



## 1. Opportunità

I collettori solari possono essere assemblati in situ o montati usando moduli di elementi prefabbricati per le coperture; inoltre possono essere integrati nelle facciate orientate a sud, specialmente quando è l'involucro edilizio a dover essere sostituito.

## 2. Principi di progettazione

I collettori solari sono elementi visibili anche se posizionati sul tetto e possono avere forme e dimensioni diverse così per i modelli come per le superfici. Quando i collettori devono essere integrati in facciata, la progettazione deve tenere in considerazione molti più dettagli di quanti ne necessitano per l'integrazione in copertura (come, ad esempio, l'ombreggiamento); inoltre è necessario considerare altri aspetti quali le perdite di efficienza dovute ai giorni coperti, di pioggia o nevosi, il montaggio, le connessioni e l'impianto di distribuzione.

## 3. Costi e benefici

Normalmente i collettori solari coprono il 40-50% delle richieste annuali per il riscaldamento di acqua calda sanitaria (per le applicazioni in edifici multifamiliari). La configurazione base è di circa 3-5 m<sup>2</sup> di area di collettore per rispondere ad un fabbisogno di 200 litri di acqua ad appartamento. Per coprire invece il 10-20% della domanda annuale di aria riscaldata è necessario avere un collettore con una superficie di circa 10 m<sup>2</sup> per appartamento.

## 4. Principi di funzionamento

I collettori solari ad aria preriscaldano l'aria di ventilazione che viene, poi, immessa negli ambienti, riducendo, così, la domanda energetica per il riscaldamento. I collettori solari ad acqua invece preriscaldano l'acqua che può essere utilizzata per uso domestico o immessa (come acqua preriscaldata) nell'impianto di riscaldamento.

### 3.2.2 Le serre

L'uso della serra integrata nell'edificio è una importante strategia di progettazione per il risparmio energetico nel recupero edilizio. Il sistema della "serra" consiste in uno spazio "tampono" di varie dimensioni, prevalentemente esposto a Sud (sud-est, sud-ovest) in funzione delle latitudini e delle esigenze termiche; due o più superfici vetrate lo separano dall'esterno e sistemi di apertura più o meno grandi e posizionati strategicamente permettono il miglior funzionamento dello spazio in ogni periodo dell'anno.

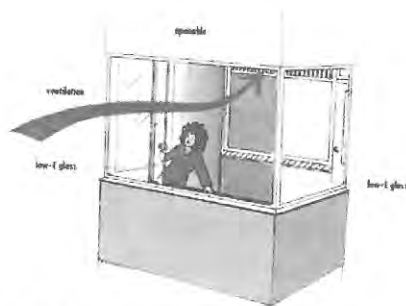


Fig. 9. La chiusura dei balconi: tipico esempio di realizzazione di serra



- prevedere un adeguato sistema di ombreggiamento.

Caratteristiche e prestazioni:

- **inverno:** il sistema delle serre/spazi tampone svolge il duplice compito di captare l'energia solare e di ridurre le dispersioni termiche dell'alloggio;
- **estate:** attraverso l'apertura e la rimozione di pannelli vetrati, le serre costituiscono delle verande coperte che riducono l'irraggiamento solare sugli infissi dell'alloggio (ombreggiamento);
- **giorno:** in presenza di radiazione solare parte dell'energia termica entrante riscalda l'aria dell'ambiente e parte riscalda le masse di accumulo; la temperatura dell'aria interna raggiunge così livelli molto elevati;
- **notte:** le masse di accumulo restituiscono all'ambiente l'energia termica immagazzinata, mantenendo la temperatura dell'aria a livelli accettabili per un certo tempo residuo.

Lo spazio della serra deve essere **ben dimensionato** per consentire un adeguato irraggiamento allo spazio interno, evitando, però, il verificarsi di un indesiderato surriscaldamento in estate e di elevate perdite di calore in inverno. L'uso della vegetazione può, inoltre, contribuire alla riduzione del surriscaldamento anche grazie alla presenza, nello spazio interno, di una pavimentazione interna dal colore chiaro.

### 3. Principi di funzionamento

Le serre addossate riducono fundamentalmente sia le perdite di calore per trasmissione che quelle per ventilazione. L'aria esterna necessaria per ventilare gli ambienti viene preriscaldata dal sole e reimmessa all'interno ad una temperatura più alta, riducendo le necessità d'uso dei convenzionali sistemi di riscaldamento. Naturalmente la tenuta all'aria degli ambienti deve essere elevata in modo da non consentire perdite per infiltrazioni.

### 4. Costi e benefici

Il costo è relativamente elevato quando la serra funziona solo come collettore solare e non costituisce un'estensione dello spazio abitabile. Maggiori risparmi energetici possono essere ottenuti se i parametri termici dei vetri e quelli della ventilazione vengono ottimizzati. L'aggiunta di una serra, senza sistema di preriscaldamento dell'aria, può far risparmiare dai 10 ai 20 kwh/m<sup>2</sup> all'anno, nel caso di appartamento. Inoltre, se la serra è stata prevista nel piano di un recupero totale dell'involucro che include la sostituzione degli infissi con l'introduzione di vetri basso emissivi, la domanda annuale di riscaldamento potrà essere ridotta dell'ordine dei 35-55 kwh/m<sup>2</sup>.

Benefici sul benessere riguardano naturalmente l'incremento delle temperature medie di circa 5-8° durante la stagione invernale; la serra, infatti, costituisce uno spazio cuscinetto tra l'ambiente esterno e l'edificio, migliorandone le con-

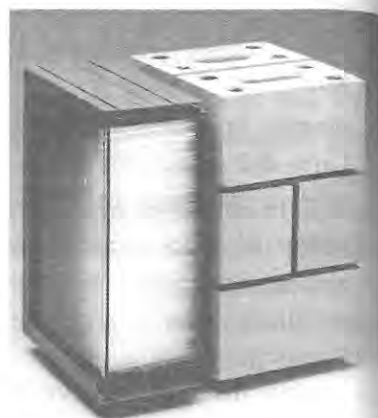


dizioni di comfort e apportando un grosso contributo al bilancio energetico dell'edificio.

### 3.2.3 *L'isolamento trasparente TI (Transparent Insulation)*

Le tradizionali misure per la riduzione delle perdite di calore attraverso l'involucro prevedono il miglioramento della tenuta degli infissi, l'aggiunta dell'isolamento agli elementi opachi e la riduzione delle infiltrazioni; mentre queste misure riducono solo le perdite di calore per trasmissione, l'uso dei materiali isolanti trasparenti combina la riduzione delle perdite di calore con la possibilità di catturare energia solare.

L'isolamento trasparente (TI) e l'eventuale applicazione di componenti ad isolamento trasparente sono interventi molto appropriati in caso di murature poco o totalmente non isolate. In molti casi si ricorre ad esso anche per l'illuminazione naturale da applicare in sostituzione delle finestre o delle facciate; questa seconda soluzione combina le proprietà di un eccellente isolamento con una elevata capacità di trasmissione della luce naturale e dell'energia solare.



**Fig. 12.** Sistema traslucido con elevate prestazioni di isolamento termico

#### 1. *Opportunità*

Il TI riassume in sé il nuovo concetto di conservazione e guadagno energetico. Come materiale isolante, infatti, migliora le prestazioni conservative dell'involucro, mentre come materiale trasparente migliora le caratteristiche visive diffondendo e disperdendo la luce incidente ottimizzando, in tal modo, l'impiego della luce naturale. A seconda delle sue applicazioni, ciò può ridurre la domanda di energia elettrica per l'illuminazione artificiale e contribuire alle necessità di riscaldamento dell'edificio con il guadagno solare diretto.

#### 2. *Principi di progettazione*

Da un punto di vista costruttivo il componente TI, utilizzato in sostituzione della muratura, ne eguaglia e ne migliora sicuramente le caratteristiche, pur presentandosi come una parete vetrata. Rispetto a quest'ultima presenta l'unica differenza di essere più spessa e richiedere infissi speciali per il suo sostegno. Naturalmente, se questi infissi possiedono gli stessi valori di trasmissione del TI, essi consentono anche di migliorare le prestazioni dell'intero sistema.

Per un buon funzionamento nelle applicazioni su murature esistenti, la facciata deve essere preferibilmente costruita in muratura portante, non avere isolamento e non presentare aperture.

### 3. Costi e benefici

Un sistema di isolamento trasparente, se correttamente progettato e installato, può ridurre la domanda energetica annuale di circa 65-100 kWh/m<sup>2</sup> (se installato a sud). L'elevata efficienza del sistema comunque richiede un adeguato controllo del guadagno solare che ne incrementa la complessità e naturalmente il costo totale.

Il costo di un sistema a pannelli compreso il suo ombreggiamento, varia dai 500 ai 900 euro/m<sup>2</sup> di area muro, quello di elementi prefabbricati da 450 a 650 euro/m<sup>2</sup> mentre un sistema composito TI/intonaco varia tra i 200 e i 250 euro/m<sup>2</sup>.

### 4. Principi di funzionamento

Il principio funzionale del materiale di isolamento termico trasparente e/o traslucido è semplice: il raggio di sole colpisce il materiale traslucido che è posto su di una parete assorbente, la quale, riscaldandosi, trasmette il calore agli ambienti retrostanti. In questo modo il muro esterno si trasforma da superficie disperdente in una superficie captante che guadagna calore.

#### 3.2.4 Il fotovoltaico

Fra le diverse tecnologie messe a punto per lo sfruttamento dell'energia solare, quella fotovoltaica (PV) che consente di trasformare direttamente la "luce" del Sole in energia elettrica è la più innovativa e promettente, a medio e lungo termine, in virtù delle sue caratteristiche di modularità, semplicità, affidabilità, ridotte esigenze di manutenzione, nonché del suo prevedibile sviluppo tecnologico.

L'energia solare fotovoltaica registra un forte sviluppo in molti paesi europei; si tratta non solo di un incremento di tipo quantitativo, ma anche qualitativo, grazie soprattutto a realizzazioni avanzate sia a livello tecnologico che architettonico. Oltre agli ormai comuni tetti fotovoltaici, sempre più frequenti sono gli impianti fotovoltaici integrati negli edifici, che, se da una parte rispondono adeguatamente alle crescenti preoccupazioni di carattere ambientale, dall'altra rappresentano un'interessantissima novità non solo per gli architetti, ma anche per enti pubblici, aziende e singoli cittadini. Facciate, tetti o altri tipi di coperture fotovoltaiche consentono di disporre di quantità anche ragguardevoli di energia elettrica, con conseguenti risparmi economici e, nello stesso tempo, mostrano la "sensibilità ambientale" di chi li utilizza.

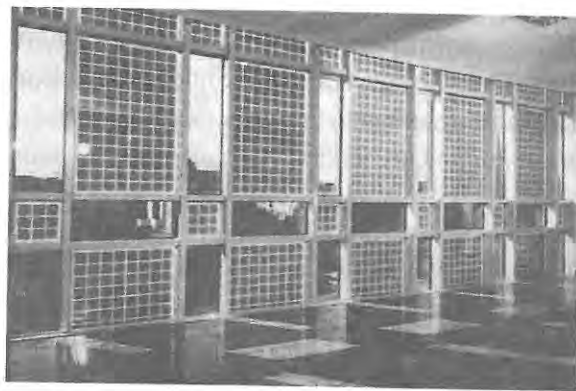


Fig. 13. L'integrazione architettonica dei moduli fotovoltaici in facciata può migliorare l'immagine dell'edificio

## 1. Opportunità

In linea con il Programma Nazionale per la realizzazione di 10.000 impianti fotovoltaici, promosso dai Ministeri dell'Industria e dell'Ambiente e che dovrebbe portare ad un incremento della potenza installata in Italia di 50 MW, si potrebbe prevedere l'installazione di pannelli fotovoltaici modulari, la cui produzione elettrica, trasformata in corrente alternata mediante micro-inverters, verrebbe riversata nella rete di bassa tensione (220v).

L'integrazione dei sistemi fotovoltaici negli edifici rappresenta un'interessante novità per la pianificazione energetica dell'edificio.

Gli elementi più importanti per l'inserimento di questi sistemi nel contesto urbano sono:

- il **collegamento** elettrico alla rete;
- l'**integrazione architettonica** dei moduli fotovoltaici nelle strutture esterne degli edifici (terrazze, tetti a falda, facciate, ecc.).

I moduli fotovoltaici sono elementi strutturali che possono essere sostitutivi di altri materiali quali, ad esempio, i pannelli vetrati usati nelle facciate e presentano, fra tante, le seguenti opportunità:

- rendere l'edificio attivo sul piano energetico: per molti anni la sua facciata o il suo tetto fotovoltaico produrranno migliaia di kWh, con conseguenti rilevanti risparmi sulle bollette e minore immissione nell'atmosfera di grandi quantità di CO<sub>2</sub>;
- oltre che risultare un investimento di carattere energetico, consentono un investimento di tipo *promozionale*, visto il grande impatto emotivo che l'applicazione di tale sistema riesce ad avere sul pubblico.

## 2. Caratteristiche e prestazioni

I sistemi fotovoltaici offrono molteplici **vantaggi**. I principali sono: la *semplicità di utilizzo*, le *ridotte esigenze di manutenzione*, la *modularità* del sistema, un *impatto ambientale ridotto*, *flessibilità di impiego in tantissime applicazioni*, anche molto diverse fra loro.

Tali caratteristiche e la particolare forma e struttura dei moduli fotovoltaici rendono questa specifica tecnologia energetica rinnovabile particolarmente adatta all'integrazione negli edifici in ambiente urbano.

## 3. Principi di progettazione

Il tetto fotovoltaico è costituito da una matrice di moduli fotovoltaici, installati sul tetto o in facciata, in modo da fornire la quantità di energia necessaria per alimentare le attrezzature elettriche.

Per disporre di 1.000 watt di potenza di picco, sufficienti a far funzionare gli apparecchi elettrici principali di una piccola abitazione (lampade, elettrodomestici, ecc...) servono 20-24 moduli installati sul tetto o nei pressi dell'edificio.



È importante, comunque, scegliere sempre in modo razionale in quali circostanze è conveniente avvalersi dell'energia fotovoltaica, approfondendone accuratamente i costi e i vantaggi, anche se la continua azione di ricerca sull'argomento e la sperimentazione diffusa stanno cercando di raggiungere oltre che l'affidabilità tecnologica la riduzione dei costi di investimento (cioè, sostanzialmente, il costo del materiale e della fabbricazione delle celle).

#### 4. Principi di funzionamento

La cella fotovoltaica è l'elemento base del processo di trasformazione della radiazione solare in energia elettrica. È costituita da una sottile fetta di silicio cristallino (monocristallino o policristallino) dello spessore di circa 0.3 mm che quando è esposta alla luce solare converte direttamente la luce solare in energia elettrica. Più precisamente, quando un fotone, particella di cui è costituita la luce solare, colpisce con sufficiente energia la cella, c'è generazione di un campo elettrico. Maggiori saranno i campi elettrici generati per effetto fotovoltaico, dunque, più è elevata la quantità di energia che esce dai morsetti di una singola cella.

#### 5. Costi e benefici

L'attuale caratteristica economica negativa dell'energia fotovoltaica è data dal fatto che si richiede un forte impegno di capitale iniziale e basse spese di manutenzione: qualcuno dice che è come comprare in anticipo l'energia che verrà consumata nei prossimi 25 anni.

Nel caso di sistemi fotovoltaici integrati direttamente negli edifici e collegati direttamente alla rete in bassa tensione, il costo dell'impianto è attualmente di circa 16-17 milioni di lire/kWp installato, per un costo attualizzato dell'energia elettrica prodotta quantificabile in circa 700 lire/kWh in condizioni di soleggiamento ottimale (circa 1.900 kWh/m<sup>2</sup> per anno).

A parte gli aspetti puramente architettonici ed estetici, l'integrazione negli edifici offre molteplici vantaggi: il risparmio dei materiali di rivestimento; la possibilità di occupare le superfici inutilizzate di un edificio; la possibilità di recupero dell'energia termica prodotta; l'utilizzazione dell'energia elettrica nello stesso luogo dove è prodotta; il possibile impiego dei pannelli per usi polifunzionali.

Oggi sul mercato italiano il costo dei moduli fotovoltaici è di 4,5 dollari circa al Wp, a seconda delle ditte fornitrici, del tipo di pannello e delle quantità trattate. Negli ultimi venti anni c'è stata, quindi, una notevole riduzione dei costi, dovuta in larga misura agli sforzi di ricerca; ciò ha permesso il decollo di un mercato ormai significativo.

I progressi tecnologici e le economie di scala legate ad una futura espansione del mercato sono destinati a portare a sostanziali riduzioni dei costi, che oggi rappresentano la barriera principale che si oppone ad un'ampia diffusione di questa tecnologia.

L'energia fotovoltaica sarà, così, in grado di contribuire a uno sviluppo sostenibile che coniughi le esigenze della nostra società industriale, sempre più energivora, con la tutela dell'ambiente.

### 3.3 Il raffrescamento passivo

La scelta delle strategie di raffrescamento passivo da applicare ad un edificio da ristrutturare, dipende principalmente dal confronto tra programma di retrofitting e dati climatici del sito. In base, poi, alle caratteristiche tecnico-morfologiche dell'edificio e alla sua destinazione d'uso derivano i requisiti ambientali (ventilazione e illuminazione) e di comfort termico a cui l'edificio deve rispondere nell'arco dell'intero anno.

Un approccio progettuale più attento consentirà, in tal modo, di limitare notevolmente l'utilizzo di impianti di condizionamento meccanici, contenendo i consumi energetici e riducendo i danni sull'ambiente (riduzione delle emissioni di  $\text{CO}_2$  nell'atmosfera).

Esaminiamo di seguito alcune strategie per il raffrescamento passivo che puntano principalmente al controllo degli apporti termici attraverso la variazione delle caratteristiche geometriche, di trasmittanza solare e termiche degli elementi edilizi.

#### • Raffrescamento della massa termica della struttura

Per ottimizzare i guadagni termici, le murature dovranno avere una forte inerzia termica, in modo da attenuare e "sfasare" le onde termiche, in sinergia con la ventilazione notturna. Generalmente, gli edifici esistenti presentano murature con spessori superiori ai 30 cm. e, quindi, con una buona capacità termica aerica. Nel caso contrario, per evitare incrementi di temperatura superiori al livello di comfort, sarà necessario aumentare l'effusività termica della struttura esistente. Si dovrà poi tener conto di altri parametri quali il colore delle superfici esposte (colori chiari) e il loro fattore di riflettanza (almeno 0,75 per il tetto e 0,5 per i muri).

Per diminuire il carico termico sulle coperture, si potrà intervenire adottando un "tetto ventilato", costituito da una superficie sovrapposta a quello del tetto stesso che, riscaldandosi, crea nell'intercapedine un flusso ascensionale eliminando ogni surriscaldamento della struttura.

Infine, un elemento strutturale da non trascurare è il solaio che dovrà aver elevate caratteristiche d'inerzia termica in modo da favorire l'accu-

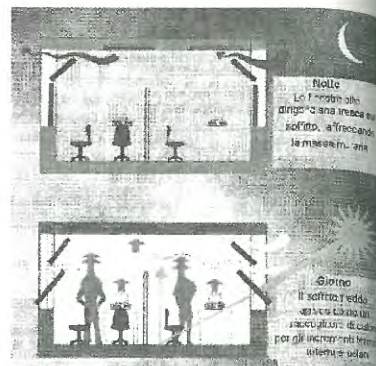


Fig. 14. Schema di raffrescamento passivo utilizzando la capacità termica dei componenti edilizi

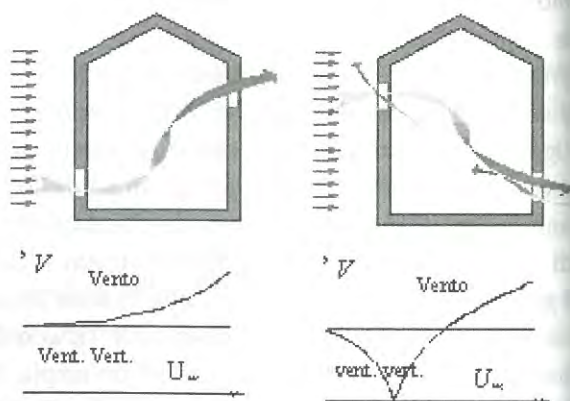


Fig. 15. Sinergie e contrasti tra vento e ventilazione verticale

mulo termico diurno. Per dissipare questo calore accumulato nella massa si dovrà, infine, prevedere una ventilazione notturna.

#### • Raffrescamento radiativo

Tutti gli oggetti emettono e assorbono energia per irraggiamento. Nello spettro dell'infrarosso (onde lunghe), il trasferimento avviene da un corpo ad una data temperatura ad un altro a temperatura più bassa che diventa serbatoio termico. I valori degli scambi radiativi netti dipendono, quindi, dalla temperatura e dall'umidità dell'aria, oltre che dalle condizioni di nuvolosità.

#### • Raffrescamento radiativo diretto

In questo caso la massa di accumulo non è più l'edificio stesso ma un fluido vettore (ad aria o ad acqua). Esso, raffreddandosi, trasmette all'edificio o alla massa di accumulo il carico di raffrescamento. Questo sistema è molto costoso e difficilmente applicabile negli interventi di retrofitting.

#### • Raffrescamento radiativo indiretto

L'effetto raffrescante è generato dalla perdita di calore per irraggiamento dell'involucro edilizio verso il cielo. Questa tecnica è particolarmente applicabile nei casi di copertura piana in cui sia applicato un pannello isolante mobile. Tale intervento prevede due modalità di funzionamento: quello diurno, in cui è schermato il pannello per evitare il surriscaldamento per irraggiamento, e quello notturno, in cui il pannello è scoperto per consentire la dissipazione del calore accumulato nella massa del tetto e l'assorbimento del fresco dell'aria notturna. Per migliorare l'inerzia termica del sistema potrà essere aggiunta una ulteriore massa di accumulo (acqua).

Tali sistemi hanno finora incontrato poco successo negli interventi di retrofitting per i costi elevati di installazione, gestione e manutenzione.

#### • Raffrescamento evaporativo

In climi con bassi valori dell'umidità relativa (<60%), la temperatura dell'aria potrà essere diminuita mediante l'evaporazione di acqua spruzzata nel flusso di aria da raffreddare. Secondo lo stesso principio, si potrà usare il raffrescamento per evaporazione di acqua.

Questo effetto di raffrescamento si fonda sul principio che un liquido, evaporando, ovvero passando dallo stato liquido a quello gassoso, sottrae energia all'aria con la quale è in contatto.

Un altro sistema è quello della torre evaporativa in cui l'aria che entra nella parte superiore della torre si raffredda per evaporazione dell'acqua che ne inumidisce le pareti interne. L'acqua è spruzzata da nebulizzatori di differenti dimensioni. L'aria più fredda e più pesante tende a scendere ed entra nell'ambiente dalla parte inferiore della torre.



Tale sistema consente di raggiungere una diminuzione di circa 10°C della temperatura esterna.

• *Raffrescamento per scambio termico con il terreno*

Il terreno rappresenta un eccellente "moderatore" delle fluttuazioni termiche. Infatti, l'enorme inerzia termica del suolo consente lo sfasamento e lo smorzamento delle onde termiche superficiali: la temperatura media del terreno rimane pressoché costante durante tutto l'anno. Questo fenomeno varia a seconda della profondità, delle caratteristiche del terreno e delle condizioni climatiche. Ricordiamo, per finire, che la temperatura media del terreno è maggiore nel periodo invernale e minore nel periodo estivo rispetto alla temperatura dell'aria esterna. Di conseguenza, l'esistenza di tale condizioni di scambio termico edificio-suolo vanno sfruttate come strategie di raffrescamento (diminuzione del surriscaldamento) e di contenimento delle dispersioni invernali.

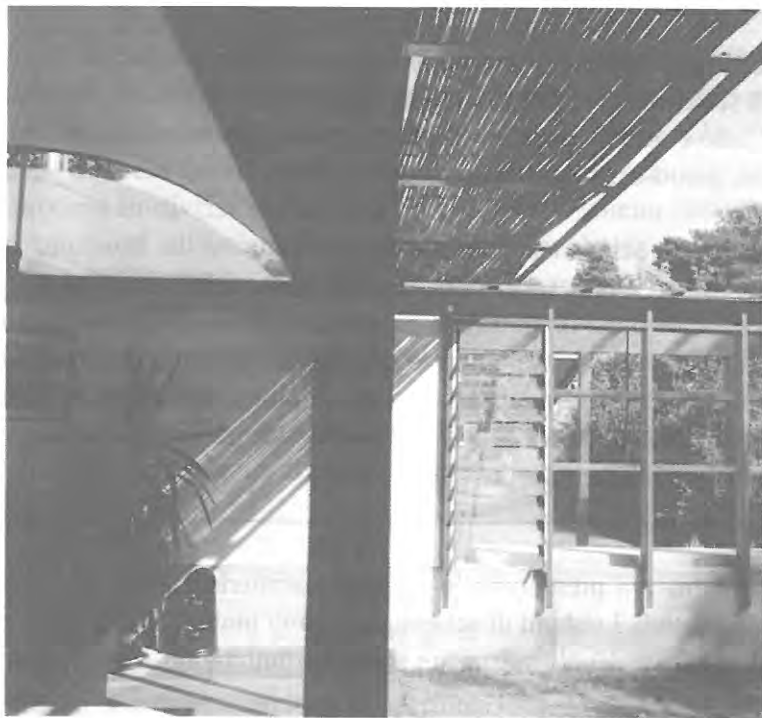
• *Canali sotterranei*

Si tratta di fare raffrescare l'aria attraverso il suo passaggio in condotti interrati. Lunghezza, profondità e sezione del canale, velocità dell'aria e diffusività termica del suolo sono parametri essenziali per il corretto dimensionamento di questo sistema di raffrescamento. La circolazione dell'aria nei canali sotterranei raggiunge velocità intorno ai 5 m/s ma può essere attivata mediante piccoli ventilatori.

Questo sistema è stato sperimentato in interventi di recupero di edilizia residenziale e sono state osservate differenze di temperatura tra aria in entrata e in uscita fino a 5°C.

### 3.3.1 *L'ombreggiamento: i sistemi di schermatura*

Una scelta sapiente ed un corretto dimensionamento del sistema di schermature consentono un significativo controllo degli apporti termici dovuti alla radiazione solare incidente sia su una superficie opaca che su una trasparente. Molti sono i fattori che determinano la migliore scelta dei sistemi di schermatura: il clima, il tipo di edificio, la destinazione d'uso ed i costi di costruzione. Tutto ciò richiede quindi scelte architettoniche adeguate, soluzioni orientate verso la qualità ambientale. Di qui una tendenza sempre più diffusa ad applicare strutture di protezione anche agli ambienti dotati di aria condizionata, in modo da rendere più efficace l'azione rinfrescante e risparmiare energia elettrica. Nell'ottica di un'acquisizione di queste particolari difese contro il sole è necessario considerare ideali quelle strutture che permettono di fermare i raggi solari all'esterno dei muri di facciata. La soluzione che si deve cercare è quindi una struttura che agisca direttamente dall'esterno. La produzione di frangisole è piuttosto ampia: il repertorio si differenzia per materiali e forme: le soluzioni sono molte ed alcune si basano su un semplice schermo, mentre altre sono il frutto di un vero e proprio studio trigonometrico delle diverse posizioni



*Fig. 16. Esempio di integrazione architettonica dei sistemi di schermature*

del sole durante tutto il periodo dell'anno e a tutte le latitudini. Il bisogno di ombreggiare le facciate spesso contrasta con il fabbisogno di illuminazione giornaliera. I sistemi di schermatura, in generale, dovrebbero bloccare l'ingresso dei raggi solari e lasciare entrare l'aria per una adeguata ventilazione attraverso le aperture, consentendo al contempo, la vista dell'esterno.

Durante i periodi caldi dell'anno, diversi sono i fattori che concorrono a creare condizioni ambientali non confortevoli, tra i quali: la temperatura esterna, la radiazione solare e i guadagni interni dovuti alle persone e alle apparecchiature che sono utilizzate negli edifici. Le strategie per ridurre tali fenomeni non sempre sono influenti sulla forma dell'edificio; quelle relative, in particolare, all'applicazione di sistemi di schermatura solare o all'impiego di strutture pesanti per garantire maggiore inerzia termica, possono avere, infatti, rilevante influenza sulle caratteristiche architettoniche di un edificio. Il tipo, la dimensione e il posizionamento di un sistema di schermatura dipenderanno dal tipo di radiazione solare diretta, diffusa o riflessa da schermare. Il componente riflesso è generalmente quello più facilmente controllabile riducendo la riflettività della superficie da schermare, mentre la componente diffusa è un problema assai più difficile da risolvere, a causa del lungo angolo di esposizione dal quale la radiazione deriva. Quando la radiazione solare non è usata per illuminare l'edificio, è necessario bloccare l'ingresso dei raggi solari durante tutto il periodo più caldo dell'anno. Il frangisole ideale bloccherà al massimo la radiazione solare mentre permetterà la vista e consentirà alla brezza di entrare attraverso le finestre.



**Fronte sud:** Schermatura orizzontale.

I sistemi di schermatura orizzontali posti sulla facciata sud sono ottimi in estate quando il sole è alto in cielo. Lo stesso sistema è meno efficace se posto sulla facciata est, o sud-est o sud-ovest.

**Fronte est-ovest:** Schermatura verticale.

Le facciate est ed ovest sono difficilmente schermabili a causa dei raggi di incidenza del sole bassi di mattino e di pomeriggio; la soluzione migliore quindi per questo tipo di orientamento, è data da sistemi a lamelle sia orizzontali che verticali, meglio se regolabili. Tale sistema per essere molto efficiente deve presentare una distanza tra le lamelle molto ridotta, con il rischio di ridurre però la visuale dall'interno.

I sistemi di schermatura presentano le seguenti caratteristiche:

- *Vantaggi ambientali.* I sistemi di schermatura sono molto efficaci per il controllo del carico termico dovuto alla radiazione solare, ottimizzando i livelli di luce naturale all'interno degli ambienti.
- *Applicabilità.* Offrono larga possibilità di applicazione sia in caso di nuova edificazione che nelle ristrutturazioni di edifici già esistenti.
- *Altri benefici.* Migliorano i livelli di comfort termico e visivo degli spazi interni. Possono, inoltre, caratterizzare architettonicamente l'involucro esterno dell'edificio aggiungendo una valenza estetica.
- *Costi/benefici.* L'eventuale costo aggiuntivo può essere recuperato in breve tempo considerando il risparmio energetico sul raffrescamento e la riduzione del carico elettrico dell'illuminazione artificiale.

### 1. Schermature fisse

I sistemi fissi di schermatura comprendono elementi strutturali quali i balconi, gli aggetti o elementi non strutturali quali i tendoni esterni, le tende alla veneziana, gli scuri, gli avvolgibili e gli schermi.

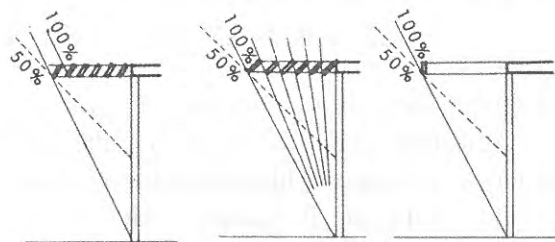


Fig. 17. Dimensionamento delle schermature esterne

Difendono le aperture dall'esposizione ai raggi solari diretti la cui dipendenza varia in modo costante in tutto l'arco dell'anno e dipende dall'angolo di incidenza del sole ad una latitudine ben precisa.

Ogni orientamento andrà valutato



separatamente, esaminando le seguenti variabili dovute a: radiazione diretta, diffusa o riflessa e radiazione solare globale. Generalmente, elementi schermanti orizzontali sono applicati alle facciate rivolte a sud, mentre alette o frangisole ad asse verticale o diagonale sono spesso più efficienti quando posti sulle facciate est o ovest; l'angolo di inclinazione terrà conto della direzione dei raggi solari rispetto a ciascuna facciata in diversi momenti della giornata. I sistemi fissi di schermatura sono per lo più posti all'esterno delle facciate, in modo da poter intercettare la radiazione incidente prima che raggiunga le superfici vetrate o altri tipi di aperture; l'energia assorbita dalle schermature si disperde nell'aria esterna. Se progettati correttamente, questi sistemi riescono ad oscurare selettivamente per impedire il passaggio dei raggi solari diretti.

Quando sistemati all'interno, si avrà un riscaldamento nell'ambiente, con conseguente riduzione dell'effetto schermante di circa un terzo.

## 2. Schermature mobili

I sistemi mobili di schermatura possono agire in modo più adeguato alle variazioni climatiche, rispetto ai sistemi fissi perché difendono le aperture dall'esposizione ai raggi solari diretti la cui dipendenza varia in modo costante in tutto l'arco dell'anno e dipende dall'angolo di incidenza del sole ad una latitudine ben precisa.

È difficile ottenere una ombreggiatura totale delle aperture tramite sistemi fissi di schermatura; durante il periodo di maggiore insolazione, infatti, l'ombreggiatura, se adeguatamente prevista, schermanà la facciata in modo costante, impedendo a volte la penetrazione dei raggi solari anche in inverno, quando ciò risulterebbe vantaggioso. Solo con sistemi mobili si può ovviare a questo tipo di problema; è possibile, infatti, orientare il sistema in modo variabile a seconda della variazione del raggio di incidenza e consentire, inoltre, la totale penetrazione del sole in inverno.

Uno di questi sistemi è il *rotolante* posto esternamente alle finestre: è un sistema particolarmente adatto in casi in cui è difficile l'ombreggiatura dei lati esposti ad est ed ovest.

Altri tipi di elementi frangisole sono forniti da *barriere mobili* in lamiera forata che sono costituiti da lastre che sovrapponendosi garantiscono differenti tipi di ombreggiatura variabili in percentuale a seconda delle forature libere. I raggi del sole, in tal modo, filtrano in modo diffuso.

Le *veneziane* consentono contemporaneamente la ventilazione e l'ombreggiamento, regolabile con il movimento delle lamelle, e permettono anche di riflettere la luce naturale, ad esempio verso il soffitto. A eccezione delle veneziane riflettenti, le *tende*

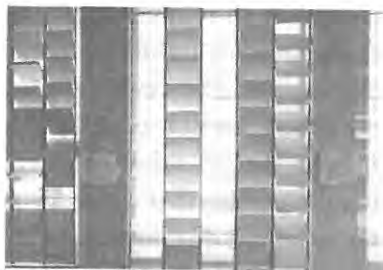


Fig. 18. Schermature mobili interne come elementi architettonici qualificanti lo spazio interno

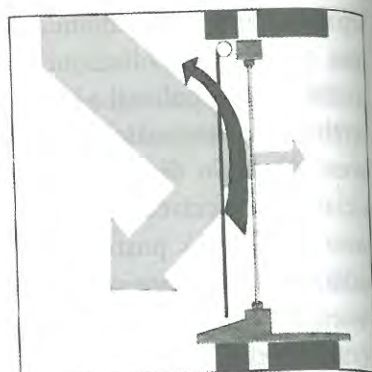
e altri tipi di schermature interne mobili hanno un rendimento inferiore, dal momento che intercettano l'energia solare già passata attraverso il vetro.

I principi base che regolano la progettazione di sistemi di schermatura mobili sono gli stessi di quelli per le strutture fisse.

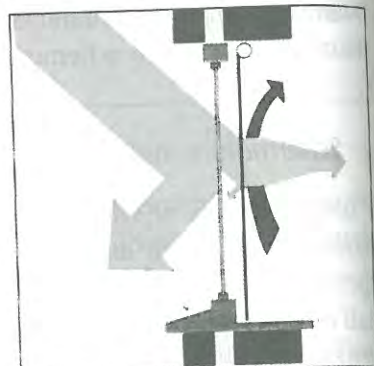
Il modo più semplice di utilizzare i frangisole mobili consiste nel determinare due tipi di variazioni; l'angolo prodotto dal periodo di irraggiamento invernale determina la linea di massimo irraggiamento. Fino da quando il sole è più basso rispetto a questa posizione e durante l'inverno nessun elemento frangisole impedirà ai raggi di entrare.

### 3. Schermature interne

Le schermature interne garantiscono un adeguato livello di comfort proteggendo gli occupanti dagli effetti sgradevoli provocati dalla radiazione solare diretta e dall'abbagliamento. Questo tipo di sistemi schermanti rappresenta un vantaggio perché essi possono rimanere aperti per tanto tempo e si possono tirare giù solo se l'elevata presenza di radiazione solare lo richiede. Ma, specialmente nelle pareti esposte ad ovest, rimane sempre il problema del carico termico dovuto al fatto che radiazione solare incidente

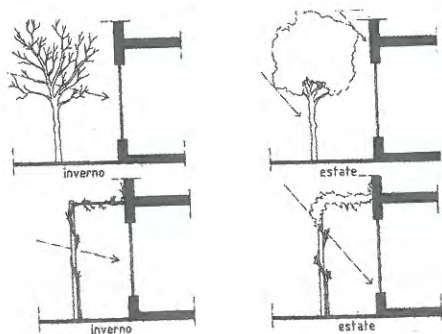


External shading devices

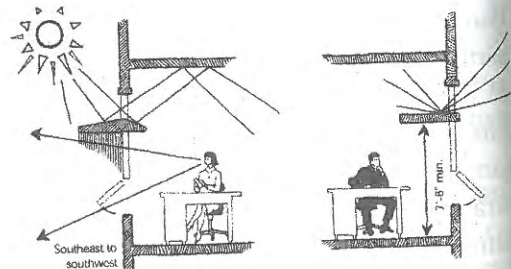


Internal shading devices

**Fig. 19.** Il diverso posizionamento dell'elemento schermante (posto all'interno o all'esterno della superficie vetrata) influisce sul rendimento energetico dell'intero sistema



**Fig. 20.** Uso corretto di vegetazione come sistema di protezione e controllo della radiazione solare



**Fig. 21.** Schema di comportamento di una mensola riflettente

non viene intercettata prima di colpire la superficie vetrata. Le *veneziane interne*, se presentano una superficie riflettente, sono, comunque, in grado di ridurre questo "effetto serra", anche se questi sistemi sono spesso poco graditi dalle persone che occupano l'edificio: sono considerati come un'intrusione, qualcosa di fastidioso che ostacola la visione dell'esterno, provando quasi una sorta di allergia.

I sistemi interni - che si possono avere all'interno della stanza o possono essere compresi nello spazio tra i due vetri - offrono il vantaggio di essere generalmente più economici, ovviamente si orientano e si sistemano con più facilità di quelli fissi, possono tornare utili per mantenere anche un alto livello di privacy all'interno o per evitare il fenomeno dell'abbagliamento.

#### 4. Schermature esterne

Questi sistemi di schermatura risultano molto efficaci per ridurre il carico termico: sono capaci di dissipare all'esterno la parte della radiazione solare assorbita. In questo modo si ottiene un incremento di quasi il 30% dell'efficacia delle schermature esterne rispetto a quelle interne, anche se queste ultime presentano il vantaggio di essere spesso più economiche e più facili da regolare manualmente.

Gli schermi possono essere regolati automaticamente e questo, se da un lato ne migliora le prestazioni aumentando l'efficienza, dall'altro ne aumenta i costi di installazione e di manutenzione.

Le schermature esterne, fisse o mobili che siano, se entrano a far parte di attente scelte progettuali, e se disegnate e verificate in base al comportamento dell'edificio rispetto all'esposizione e ai percorsi solari, possono risultare ottimi strumenti di controllo termico, migliorando il grado di comfort interno, e possono favorire un notevole risparmio energetico (sia nei mesi invernali per il riscaldamento che in quelli estivi per il raffrescamento) e dare all'edificio un impatto estetico migliore caratterizzando particolarmente il prospetto.

#### 5. Il sistema shadovoltaic

Si tratta di un sistema trasparente di controllo della radiazione solare con l'integrazione di celle fotovoltaiche.

Nei paesi del Centro e Sud Europa la presenza di un clima favorevole ha creato un mercato di prodotti innovativi come ad esempio i sistemi fotovoltaici abbinati alle schermature.

Se gli elementi fotovoltaici sono traslucidi si ottiene all'interno dell'edificio un piacevole effetto di luce diffusa. Un parziale strato di celle fotovoltaiche, un'intelligente manipolazione e un sapiente controllo dei movimenti di rotazione, possono evitare o consentire l'ombreggiatura.

I vantaggi che si hanno nell'abbinare sistemi di schermatura trasparente con i sistemi fotovoltaici sono i seguenti:

- **Raffrescamento naturale:** le celle fotovoltaiche sono installate su una struttura aperta su entrambi i lati per favorire la ventilazione, la circolazione dell'aria e il raffrescamento.

mento del  
ill'interno  
strata) in-  
co dell'in-

mensole



- *Ottimizzazione dell'angolo*: le celle possono essere inclinate in modo tale da esporre la loro superficie ai raggi del sole, offrendo il 15% in più di efficienza rispetto ai sistemi a celle fisse. Lo stesso angolo garantisce il massimo effetto di schermatura.
- *Schermatura a mensola (Light shelf)*: in certe situazioni (ad esempio di cielo grigio in inverno), gli schermi possono essere inclinati in modo tale da riflettere la luce all'interno dell'edificio. Si possono realizzare a tale scopo speciali strutture in cui la parte posteriore degli schermi presenta una superficie riflettente. Un ulteriore risparmio energetico può essere realizzato riducendo il consumo di luce artificiale, specialmente se il sistema di controllo della luce naturale e delle schermature è integrato ad un sistema computerizzato.

È possibile rifinire le superfici in vari modi e con vari colori, esaminando, in tal modo, le esigenze di libertà compositiva ed espressiva dei progettisti con un attento controllo della radiazione solare e dell'abbagliamento e consentendo, al contempo, la visione all'esterno anche quando gli elementi sono "chiusi". Il sistema *Shadovoltaic* fornisce agli architetti uno strumento utile per esprimere al meglio la loro creatività riuscendo non solo a ottenere un risparmio energetico sul trattamento e sul condizionamento dell'aria, ma offrendo pure la possibilità di generare energia.

I proprietari degli edifici possono esibire credenziali ecologiche ("verdi") ed è sicuro che nel mercato c'è un forte trend di crescita per questo genere di edifici.

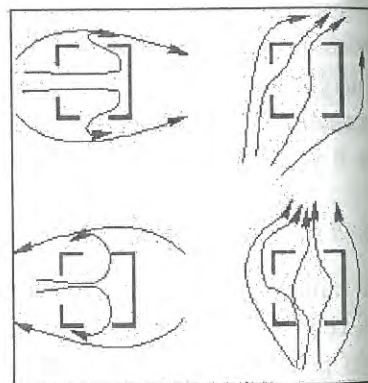
### 3.4 La ventilazione

Le condizioni di comfort termoigrometrico in un edificio non dipendono dalla sola temperatura dell'aria interna, ma da una interazione fra diversi fattori fra i quali la ventilazione (velocità dell'aria). La ventilazione naturale gioca un ruolo chiave fra le tecniche di raffrescamento passivo: i moti d'aria, anche se non "freddi", aiutano l'evaporazione raggiungendo livelli di comfort termoigrometrico.

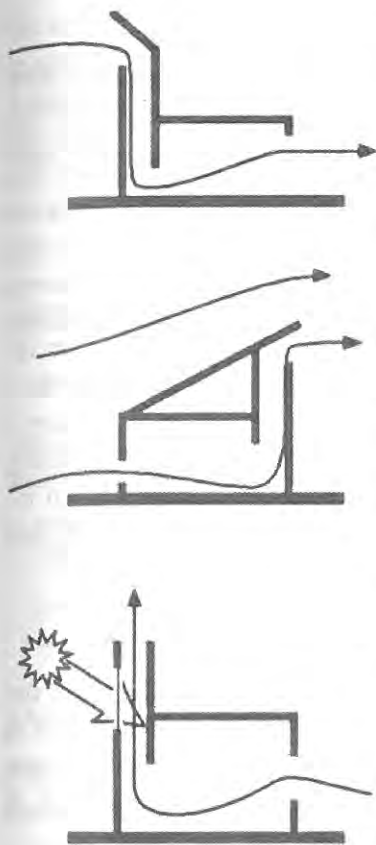
I metodi utilizzati sono:

- *la ventilazione passante o incrociata*: collocando in uno stesso ambiente le aperture su due pareti contrapposte si favorisce il movimento di flussi d'aria;
- *la ventilazione verticale o effetto camino*: favorisce l'estrazione dell'aria da aperture collocate nella parte alta del locale e a volte collegate ad un condotto verticale d'estrazione. La differenza di densità dell'aria legata alla temperatura fa sì che l'aria calda, meno densa, esca da queste aperture alte.

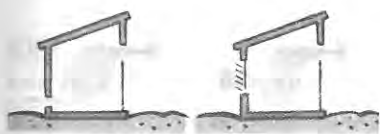
Generalmente, entrambi i sistemi di ventilazione consentono una riduzione dei carichi di raffrescamento dell'ordine del 50%, ma la ventilazione verticale apporta benefici ancora superiori.



**Fig. 22.** Variazione dei flussi d'aria all'interno degli edifici in funzione della diversa direzione del vento



**Fig. 23.** Schema della "torre del vento" ed "effetto camino"



**Fig. 24.** Variazione dei flussi d'aria in funzione del diverso posizionamento delle aperture

presenza di un gradiente di temperatura interno, negli strati delle pareti (fatto assai frequente nei muri spessi delle vecchie strutture), tende a far spostare la posizione del livello neutro verso l'alto, così da creare situazioni più complesse da controllare. Per assicurarsi che dalle aperture più elevate esca aria calda e da quelle basse entri aria fresca, conviene, dunque, sovradimensionare le finestre alte, rispetto a quelle sottostanti.

In spazi interni provvisti di una sola apertura verso l'esterno, invece, il livello neutro sarà individuabile a metà altezza di finestra che, quindi, ospiterà i flussi d'aria in entrambe le direzioni.

Nell'intervento sull'esistente, non si deve sottovalutare una valutazione a scala urbana per potenziare le peculiarità climatiche del sito. In questo senso, sarà importante individuare i venti prevalenti estivi e invernali del sito (velocità, direzione, frequenza) in modo da sfruttarli al massimo e potenziarne le capacità di raffrescamento con strategie che aumentino la ventilazione naturale.

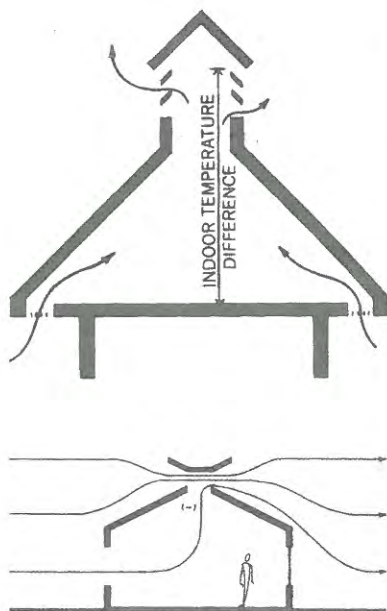
La distribuzione della pressione del vento è condizionata dalla direzione di provenienza, ma può variare notevolmente a causa dall'irregolarità del terreno, degli aspetti orografici dell'intorno ambientale e di ostacoli consistenti, quali edifici circostanti e particolari presenze arboree. Ad esempio, un vento con direzione obliqua all'edificio ( $\alpha < 45^\circ$ ) consentirà di generare una ventilazione più efficace di quella prodotta dal vento perpendicolare.

Ricordiamo che la pressione è considerata positiva sulle facciate sopravvento e negativa per quelle sottovento, mentre le caratteristiche sulle altre parti di una struttura edificata sono da considerarsi di volta in volta, secondo la morfologia edilizia esistente.

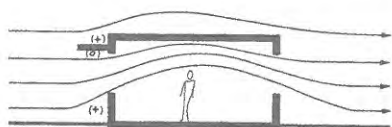
La pressione tende sempre ad uniformarsi, ma solitamente le parti interne più elevate in un edificio, hanno una pressione dell'aria maggiore che non gli ambienti più bassi; così è importante individuare il livello neutro, vale a dire dove il valore della pressione è pari al valore medio. Questo ci informerà sulla distribuzione dei flussi d'aria interni: negli spazi superiori al livello neutro, l'aria tenderà ad uscire dalle finestre, mentre in quelli inferiori risulterà entrante.

La conoscenza del livello neutro è, quindi, utile nel posizionamento delle aperture in un sistema di ventilazione naturale: l'aria calda più leggera sale ed esce dalle aperture più alte, mentre l'aria più fredda e più densa entra da quelle inferiori. Comunque, anche la

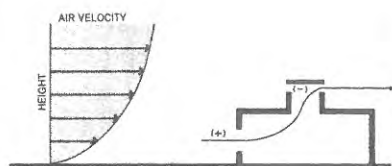




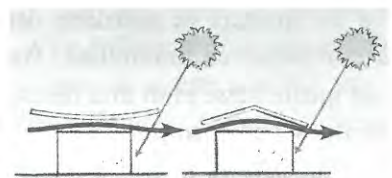
**Fig. 25.** Esempio di deviazione del flusso d'aria dovuto alla presenza di un'apertura al soffitto



**Fig. 26.** Esempio di deviazione del flusso d'aria dovuto alla presenza degli oggetti orizzontali



**Fig. 27.** Distribuzione della velocità dell'aria provocata dai ventilatori a soffitto



**Fig. 28.** Schema di un tetto ventilato

## Vantaggi ambientali

La ventilazione naturale produce un significativo effetto sul raffrescamento interno dell'edificio, con una riduzione del carico termico e del fabbisogno energetico per il condizionamento estivo.

## Applicabilità

Nei casi di interventi di retrofitting, l'uso della ventilazione come strategia per un raffrescamento interno dell'edificio può essere limitata e ristretta a piccole variazioni delle dimensioni delle aperture o ad una revisione della suddivisione interna: infatti, la progettazione globale dell'edificio e del suo intorno giocano un ruolo fondamentale sull'efficacia del raffrescamento passivo per ventilazione.

## Altri benefici

La ventilazione naturale, abbinata ed integrata con strategie di controllo della radiazione solare o di raffrescamento passivo come umidificazione-evaporazione, consente di raggiungere elevati livelli di comfort termo-igrometrico.

## Costi/benefici

Generalmente, adottando le strategie più semplici, la ventilazione naturale non comporta extra costi.

### 3.4.1 Posizionamento delle aperture

Per assicurare una ventilazione significativa, l'aria dovrà fluire da un'area di pressione positiva ad area di pressione negativa localizzate in pareti opposte, in modo da produrre un differenziale di pressione necessario all'instaurarsi di moti d'aria. La collazione reciproca delle aperture è, quindi, criterio essenziale quanto l'orientamento, dovendo contribuire al convogliamento dei venti prevalenti estivi.

Le potenzialità della ventilazione da finestre poste su muri adiacenti si valutano secondo la distribuzione della pressione e la direzione del vento.

Invece, per la ventilazione da finestre poste su un unico lato, l'altezza significativamente diversa tra di loro potrà consentire l'instaurarsi di moti d'aria per "effetto camino".



Per assicurare una ventilazione passante, finalizzandola al raffrescamento corporeo, le aperture dovranno essere poste ad altezza d'uomo. Aperture alte vicino al soffitto o aperture basse vicino al pavimento potranno raffrescare efficacemente la massa muraria dell'edificio e potranno essere utili per eliminare l'aria calda che si raccoglie vicino al soffitto (fenomeno di stratificazione termica).

Per assicurare una ventilazione combinata (passante e ad effetto camino), l'apertura più alta di uscita dell'aria dovrà essere posta in posizione sottovento rispetto alla direzione prevalente in modo da evitare perturbazioni tra l'aria in uscita, dovuta all'effetto del gradiente di densità, e l'aria in entrata dovuta al vento.

- *Posizionamento orizzontale*

Simulazioni eseguite in galleria del vento hanno definito i seguenti criteri di posizionamento:

- evitare di collocare aperture direttamente reciproche su pareti opposte, in caso di vento perpendicolare; è consigliabile sfasarle (in diagonale);
- posizionare aperture sia sopravento sia sottovento, perché il solo posizionamento sottovento non determina una ventilazione sufficiente.

### 3.4.2 *Tipo di aperture*

Il tipo e il disegno delle aperture hanno un importante effetto sulla quantità e sulla direzione del flusso di aria. Ad esempio:

- le finestre a rotazione su asse verticale o scorrevoli orizzontalmente regolano la direzione del flusso in senso verticale;
- le finestre a rotazione su asse orizzontale regolano la direzione del flusso in senso orizzontale;
- per una deviazione verticale del flusso di aria, è consigliabile usare finestre ad anta a rotazione.

### 3.4.3 *Dimensioni delle uscite e delle entrate di aria*

Il potenziale di ventilazione è proporzionale all'area di entrata: il 10% della superficie calpestabile consentirà un ricambio di 30 Ach.

Inoltre, sul rapporto tra entrata e uscita dell'aria influirà il differenziale di pressione interna e la velocità massima del flusso stesso.

Generalmente, la dimensione delle uscite e delle entrate di aria dovrebbe essere diversa perché l'entità quantitativa di ventilazione è principalmente funzione dell'apertura più piccola. Infatti, se un'apertura è più piccola, essa dovrebbe essere quella di entrata dell'aria, perché massimizza la velocità del flusso di aria esterna ed è la componente velocità che ha l'effetto più importante sul comfort.

L'ubicazione dell'entrata di aria non solo determina la velocità, ma anche il modello del flusso d'aria. Al contrario, l'ubicazione dell'uscita dell'aria ha effetto minore sulla velocità dell'aria e sul modello di flusso.

### 3.4.4 La distribuzione interna degli spazi

Gli spazi interni dovranno essere opportunamente distribuiti tenendo conto dell'orientamento dell'edificio, della posizione delle aperture, delle destinazioni d'uso dei locali, dei periodi di occupazione. Questi sono, infatti, i parametri che determinano l'entità degli apporti energetici.

#### 1. Distribuzione orizzontale (planimetrica)

Principalmente, l'efficacia della ventilazione e la distribuzione di velocità dell'aria dipendono dall'ubicazione degli spazi interni e delle partizioni rispetto alla direzione prevalente.

Ad esempio, negli interventi di recupero, sarà preferibile ridurre la suddivisione cellulare dello spazio in quanto essa aumenta la resistenza al flusso d'aria. Infatti, le partizioni dovrebbero essere localizzate così che lo spazio maggiore sia sul lato sopravvento e il collegamento tra stanze dovrà rimanere aperto il più possibile. Nel caso di schema distributivo a corridoio centrale, la ventilazione passante risulterà limitata: sarà, quindi, possibile usare soprafinestre apribili o griglie.

Ricordiamo, per finire, che la potenzialità della ventilazione passante è legata alla profondità dell'edificio, che dovrà essere almeno pari a quattro volte l'altezza dello spazio da ventilare.

#### 2. Distribuzione verticale (sezione)

Essa influenza notevolmente la ventilazione per effetto camino. Per implementare gli effetti della ventilazione, i flussi d'aria potranno essere convogliati nei vani di comunicazione o tecnici (vano scala...). Altri spazi con sviluppo verticale (doppio volume...) potranno essere usati come condotti per il movimento ascensionale dell'aria. È importante notare che la scelta della ventilazione ad effetto camino dovrà essere ponderata in modo da ottemperare alle prescrizioni generali di prevenzione incendi.

Un altro sistema, definito *torre di vento*, può risultare estremamente efficace ma di più difficile inserimento in un progetto di retrofitting sull'esistente.

### 3.4.5 Gli aggetti

Gli aggetti verticali possono migliorare la ventilazione perché provocano una diversa distribuzione della pressione, con effetti positivi per venti a  $45^\circ$  rispetto al muro della finestre, mentre hanno minori benefici per venti frontali.

È, comunque, importante notare che ciascuna finestra deve avere solamente un aggetto verticale. Infatti, gli aggetti non hanno nessun effetto se posti sullo stesso lato di ciascuna finestra.

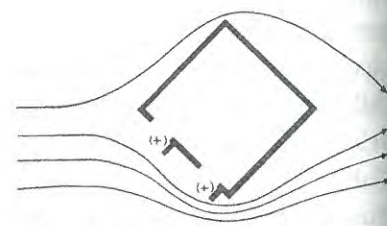


Fig. 29. La deviazione del vento per effetto degli aggetti verticali

Il posizionamento di finestre su un muro non solo determina la quantità ma anche la direzione iniziale dell'aria entrante nell'edificio. Il posizionamento della finestra fuori del centro del muro consente una deviazione iniziale del flusso d'aria, perché la pressione positiva è più grande su uno lato della finestra. Per migliorare la ventilazione, il flusso d'aria dovrà essere deviato in direzione opposta.

L'aggetto verticale potrà, quindi, essere usato per cambiare l'equilibrio della pressione e, così, la direzione del flusso di aria.

Un unico aggetto orizzontale posto sopra una finestra causerà una deviazione del flusso di aria verso il soffitto, perché esso previene la pressione positiva sopra di esso in modo da bilanciare la pressione positiva sotto la finestra.

### 3.4.6 *La ventilazione notturna*

La temperatura dell'aria notturna è significativamente più bassa dell'aria diurna. Questo scambio termico notturno tra la massa dell'edificio e l'aria esterna a temperatura inferiore è uno dei metodi di raffrescamento passivo più efficace. In pratica, il calore accumulato dalla massa di un edificio durante il giorno sarà rimosso per convezione, incrementando lo scambio termico notturno. Durante il giorno seguente, la massa pre-raffrescata potrà funzionare come un serbatoio di calore, riducendo i picchi giornalieri della temperatura dell'aria interna di circa 3-4°C. È importante evitare l'impiego di controsoffitti, in modo da favorire l'accumulo diurno e il raffrescamento notturno. Questa strategia di raffrescamento è molto efficace in climi che presentano forti escursioni diurne estive (non inferiore ai 5/4°C).

### 3.4.7 *I ventilatori a soffitto*

Spesso l'insufficienza di vento e la situazione sfavorevole in zone molto trafficate e inquinate rendono consigliabile l'uso di sistemi meccanici, per forzare l'estrazione dell'aria dall'ambiente interno.

L'uso di ventilatori meccanici (producono moti d'aria attraverso un richiamo dell'aria) è, quindi, raccomandato in quanto questi apparecchi risultano molto efficienti e consumano poca elettricità (tra 20 e 80 W per ventilatore). Mantenendo una velocità dell'aria intorno a 1 m/s, la sensazione di benessere termico risulta ancora piacevole anche se la temperatura è superiore ai 27°C e l'umidità al 75%.

## 3.5 *L'illuminazione naturale*

La luce trasferita con mezzi naturali all'interno delle costruzioni è un importante contributo per il benessere umano. L'illuminazione diurna, con le sue variazioni di colore e di intensità nel corso della giornata e dell'anno consente una percezione del passare del tempo, riportando le sensazioni delle persone ad un'attenzione per i ritmi naturali. La natura dinamica e variabile dell'illuminazione naturale è vista come un pregio piuttosto che un difetto. Essa riesce, infatti, a soddisfare le necessità biologiche in funzione del ritmo naturale che cambia nell'arco della giornata e contribuisce a



determinare un'atmosfera più stimolante di quella ottenibile con l'utilizzo della luce artificiale. L'impiego delle tecniche più avanzate di illuminazione naturale permette di dosare la giusta quantità di luce orientandola in modo uniforme ed eliminando alcuni aspetti negativi come l'abbagliamento o il calore eccessivo dovuto al surriscaldamento. In base alle zone climatiche e alla tipologia degli edifici, l'uso della luce naturale può portare ad un risparmio energetico elevato. Ad esempio, un edificio che si trova in una zona costiera temperata, utilizzando la luce naturale, riesce a conseguire un risparmio del 20%. In edifici come scuole, uffici, piccole industrie spesso il 50% del consumo energetico è dovuto all'illuminazione elettrica.

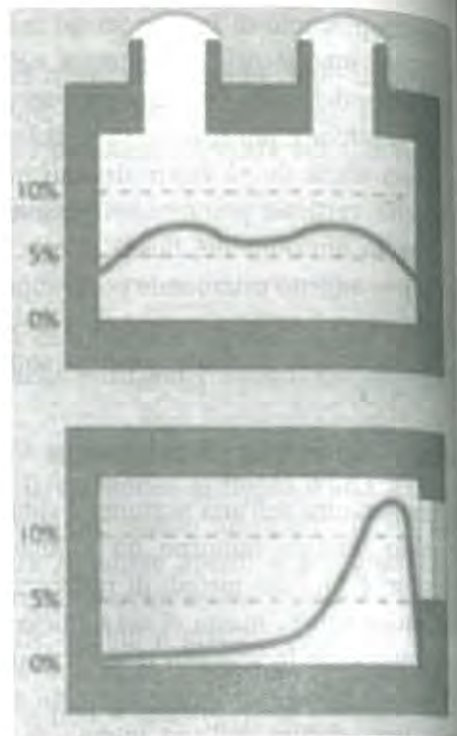
Per raggiungere l'obiettivo di un buon livello di illuminazione naturale interna si possono seguire varie strategie. Molte di queste possono essere considerate facilmente, con semplici considerazioni grafiche: non solo la forma esterna dell'edificio, ma anche la distribuzione dello spazio interno deve seguire una logica tale da ottimizzare l'uso dell'illuminazione naturale. Gli elementi di divisione dello spazio interno, se non siano realizzati in vetro, non fanno altro che bloccare la propagazione della luce naturale. Da queste considerazioni si può procedere determinando le dimensioni ed il posizionamento delle aperture. Normalmente la scelta delle rifiniture è l'ultimo passo della fase progettuale, ma - per una migliore progettazione con la luce naturale - dovrebbe essere presa in considerazione molto prima.

- *Vantaggi ambientali*

In base alle zone climatiche e alla tipologia degli edifici il corretto uso ed il sapiente controllo della luce naturale può portare ad un netto miglioramento delle condizioni di comfort visivo interno e ad un grosso risparmio energetico.

- *Applicabilità*

La progettazione basata sul controllo della luce naturale spesso non implica un incremento della superficie vetrata; richiede invece una progettazione attenta delle aperture per una vera e sapiente distribuzione qualitativa e quantitativa della luce. Inoltre la natura dinamica e variabile della luce viene vista come un pregio: essa riesce a soddisfare le necessità biologiche in funzione del ritmo naturale che cambia nell'arco dell'intera giornata.



**Fig. 30.** Variazione dei livelli di illuminamento interno in funzione della presenza di aperture sulle superfici verticali o in copertura

### • Costi/benefici

Gran parte dell'extra costo dell'illuminazione naturale è compensato dalla riduzione dei consumi energetici (elettrici) che comporta anche una riduzione economica per via della minore potenza impegnata.

### 3.5.1 Le superfici vetrate: semplici accorgimenti progettuali

Esse consentono un ingresso laterale della radiazione solare diretta o della componente riflessa, con una interazione fra la vista dell'esterno e la ventilazione naturale. Con una superficie vetrata si raggiunge un ottimo livello di illuminamento nella zona più vicina all'apertura, che però rapidamente decresce con l'aumentare della distanza

dalla apertura, fino a raggiungere livelli insufficienti a garantire una buona visione. Spesso, specialmente durante la stagione estiva, la visione diretta del cielo provoca fenomeni di abbagliamento e la radiazione solare che attraversa direttamente la superficie vetrata crea un eccesso tale di luminosità da richiedere l'adozione di adeguati sistemi di schermatura. Per ovviare a questi inconvenienti, caratteristici delle normali superfici vetrate, i progettisti dovrebbero seguire alcune semplici strategie:

- *Le aperture dovrebbero stare nella parte alta della parete, essere ben distribuite ed avere una superficie ottimizzata.* La quantità di luce naturale aumenta e si distribuisce in un ambiente in relazione all'altezza delle aperture e alla loro modulazione sulla parete (si eviti di concentrare le aperture in una stessa zona).
- *Dove possibile si dovrebbero avere superfici vetrate su diverse pareti.* L'inserimento di aperture su due pareti contigue è molto utile per ridurre l'abbagliamento perché la radiazione solare che entra da ciascuna finestra si riflette sulla parete di fronte, creando un intreccio di luminosità tale da ridurre il contrasto fra la parte illuminata e quella in ombra.
- *Adottare aperture orizzontali, dove applicabili, perché presentano due vantaggi: consentono una distribuzione uniforme dell'illuminazione su grandi spazi interni, a dif-*

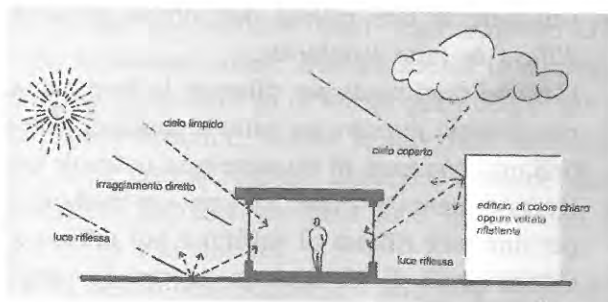


Fig. 31. La componente diretta, diffusa e riflessa della radiazione solare



Fig. 32. Il controllo della radiazione solare sulle superfici trasparenti

ferenza di quanto avviene con le aperture verticali che, invece, riescono ad illuminare solo una parte della stanza. Inoltre le aperture orizzontali captano molta più luce. Ma questa radiazione ha nei mesi estivi un'intensità maggiore di quella dei mesi invernali (l'esatto opposto di quello che noi vorremmo ottenere) e diventa anche difficile inserire sistemi di schermatura. Per questo spesso risulta più agevole realizzare in copertura aperture verticali tipo lucernari, shed o clerestory. In più, tutte le fonti luminose dall'alto hanno la caratteristica comune di diventare sorgenti di riflessione velata.

- *Utilizzare la luce riflessa dal soffitto garantisce una distribuzione più uniforme e diffusa in tutto l'ambiente.*

Esistono tanti modi per riflettere la luce naturale sul soffitto: negli edifici esistenti per esempio rivestire un patio o passaggi pedonali o percorsi con materiali o colore brillanti, consente di ottenere una notevole quantità di luce riflessa. Davanzali più larghi o mensole - *light shelves* - si rivelano molto efficaci. Ma il sistema migliore per una luce riflessa al soffitto e poi diffusa è rappresentato dall'uso di persiane o sistemi simili di schermatura esterna. Le veneziane sono sistemi molto efficaci per ridirezionare la radiazione diretta, evitare l'abbagliamento e controllare l'accumulo di calore, specialmente se sono inserite nelle aperture poste a est e ad ovest e sono dotate di sistemi mobili tali da rispondere bene alle diverse condizioni climatiche e di soleggiamento.

- *Modellare il davanzale inferiore e superiore delle finestre come se fosse uno strumento di captazione e riflessione della luce.*

Questa soluzione consente, anche in presenza di aperture con modeste dimensioni, sia di migliorare la visione dell'esterno che di riportare la parte interna dell'ambiente a livelli più elevati di illuminazione naturale.

- *Posizionare le aperture vicino alle pareti interne, in modo da utilizzare le superfici delle pareti laterali come schermi riflettenti per ridurre e ridirezionare la radiazione solare; si evita in questo modo anche l'abbagliamento perché si riduce il contrasto fra i diversi livelli di illuminamento.*
- *Schermare la radiazione diretta senza ostacolare l'ingresso della luce naturale.* Vari sistemi di schermatura possono controllare la radiazione solare diretta: un largo oggetto verticale, magari colorato di bianco, posto sopra una superficie vetrata o un pannello verticale posto all'esterno, consente di ottenere all'interno un buon livello di luce riflessa e diffusa. Più comodi però risultano i *sistemi mobili di schermatura*, perché non solo si adattano meglio alle diverse condizioni climatiche seguendo il naturale percorso della radiazione solare, ma consentono anche un buon livello di visione dell'esterno.
- *Strombare o arrotondare il davanzale e rendere la superficie muraria liscia il più possibile per avere un comportamento simile alla superficie vetrata.* Spesso accade, infatti, che la superficie risulta talmente scura da assorbire grosse quantità di radiazione solare, aumentando il contrasto fra i diversi livelli di luminosità interna.
- *Filtrare la radiazione solare, rendendola più soft, inserendo della vegetazione o sistemi di schermatura traslucidi o tendaggi, può risolvere in modo più semplice e veloce il problema dell'abbagliamento.*



### 3.5.2 La mensola riflettente (*Light shelf*)

Una strategia innovativa, per una migliore distribuzione della luce, è rappresentata da una mensola orizzontale posta nella parte alta della finestra, ad un'altezza tale da non disturbare la visione all'esterno, ma sotto il livello del soffitto, spesso aggettante sia all'esterno che all'interno della sezione della finestra. Questa mensola prende il nome di *light shelf* e può presentare, nella parte superiore, un diversa tipologia di superficie vetrata di quella presente nella parte inferiore. La mensola rappresenta una particolare tipologia, con forma semplificata, di un sistema selettivo usato negli ambienti che presentano la facciata molto esposta alla radiazione solare. Essenzialmente la mensola altro non è che uno schermo, un diaframma orizzontale (o di forma quasi orizzontale), che provoca una ombreggiatura nella parte sottostante, mentre la superficie superiore capta la luce all'esterno dell'edificio e la riflette all'interno. L'efficacia dipende dall'orientamento: si può ottenere una migliore distribuzione della luce, diminuendo il livello di illuminazione nella zona più vicina alla finestra.

L'inserimento della mensola all'interno o all'esterno della sezione è il principale strumento di controllo dell'illuminazione naturale per prevenire il fenomeno del surriscaldamento, mantenendo un'alta qualità della luce naturale all'interno degli uffici e consentendo una libera visione dell'esterno. In estate, il carico termico dovuto alla radiazione diretta (irraggiamento) è ridotto dalla presenza della schermatura o dall'aggetto, senza provocare però una riduzione della radiazione solare invernale o del livello di illuminazione naturale all'interno della stanza.

### 3.5.3 Il camino solare

Il camino solare è uno spazio-luce pensato per riflettere la radiazione solare negli spazi interni più bui. La superficie interna è rivestita con materiali ad alto coefficiente di riflessione (specchi, lastre di alluminio o superfici lucide) amplificando, così, il livello di illuminamento interno.

La radiazione solare è controllata e captata, raccolta secondo delle tracce, concentrata e indirizzata verso la parte centrale e inferiore dell'edificio, facendo passare magari i raggi di luce su cavi a fibre ottiche. Le dimensioni tipiche della sezione sono comprese fra  $0.5 \times 0.5$  e  $1.2 \times 1.2$  m con un'altezza che può raggiungere anche i 15 metri.

Potrebbe sembrare il sistema più complesso e macchinoso per ottenere un buon livello di luce naturale all'interno di un ambiente. Essendo legato alla presenza di una luce naturale diretta, ed essendo relativamente costoso da installare, presenta un beneficio solo in quelle regioni dove condizioni di cielo terso e aria limpida sono garantiti per molta parte dell'anno.

### 3.5.4 I lucernari

A causa della grande quantità di radiazione solare incidente sulla superficie orizzontale durante la stagione estiva, i lucernari provocano un considerevole aumento del carico

termico e si evita spesso il loro inserimento per ridurre il fabbisogno energetico necessario al raffrescamento. Comunque, se in fase di progetto si controlla attentamente l'area di influenza e la superficie del lucernario in modo tale che tutta la radiazione solare in ingresso sia utilizzata per l'illuminazione naturale, l'incremento che si registra sul carico termico interno sarà sempre più basso di quello che si avrebbe utilizzando l'illuminazione artificiale. Questo perché l'efficienza della luce naturale è alta (circa 95 lm/W) se paragonata a quella della luce fluorescente (circa 60 lm/W). In altre parole, anche se la luce naturale ha come risultato un aumento del carico termico, questo risulterà sempre minore di quello dovuto all'illuminazione artificiale.



**Fig. 33.** Integrazione architettonica di un lucernario: miglioramento delle condizioni di comfort termico e visivo negli ambienti interni

### Bibliografia essenziale

- D. Faconti S. Piardi, *La qualità ambientale degli edifici*, Maggioli Editore, Rimini, 1998.  
 ENEA, *Verso un libro verde per l'edilizia sostenibile. La qualità energetico ambientale dell'edificio*, Conferenze Nazionale Energia e Ambiente, Roma, 1998.  
 J. Cook, *The cool architecture of ventilation*, Il seminario internazionale sui sistemi passivi, Genova, giugno 1980.  
 M. Grosso, *Il raffrescamento passivo degli edifici*, Maggioli Editore, Rimini, 1997.  
 M. Santamouris, *Natural ventilation in buildings - a design handbook*, James & James, 1998.  
 N. Baker A. Fanchiotti K. Steemers, *Daylighting in architecture - a European reference book*, James & James 1993.  
 C. Gallo, *La qualità energetica e ambientale nell'architettura sostenibile*, Il Sole 24 ore, Milano, 2000.  
 M. Sala, a cura di, *Schermature Solari*, Alinea, Firenze, 2000.



Questo manuale analizza procedure e strumenti per l'utilizzo di tecnologie bioclimatiche nel campo del recupero e negli interventi di riqualificazione dell'ambiente costruito.

Ogni operazione di ristrutturazione offre importanti opportunità per generare azioni di *retrofit* energetico (riduzione dei consumi energetici, miglioramento delle condizioni di comfort dell'edificio...).

Intraprendere azioni di risanamento energetico di un edificio come parte di un più ampio progetto di rinnovamento o di manutenzione permette, infatti, di ridurre i costi.

Il volume consta di tre Sezioni:

- nella **prima** (*Riqualificazione bioclimatica ed ambientale*), tra l'altro, si forniscono non solo gli strumenti per analizzare potenzialità e prestazioni dell'organismo edilizio esistente, ma si individuano le tecniche di controllo bioclimatico degli spazi aperti e di transizione;
- la **seconda** raccoglie alcuni casi emblematici di studio relativi a quattro importanti città italiane (*Roma, Milano, Firenze, Napoli*);
- la **terza** offre un panorama sugli strumenti e le tecniche di valutazione delle prestazioni energetiche degli edifici.

**ABITA** (Centro Interuniversitario di Ricerca sull'Architettura Bioecologica e l'Innovazione Tecnologica per l'Ambiente) ha come principale obiettivo quello di promuovere l'integrazione tra tecnologia dell'architettura e problematiche energetiche e ambientali.

Dal 1996 nel centro ABITA confluiscono docenti e ricercatori dell'Università degli Studi di Firenze, dell'Università degli Studi di Roma, dell'Università Federico II di Napoli e del Politecnico di Milano che operano per l'approfondimento e la diffusione degli aspetti "di sostenibilità" nella tecnologia e della sua incidenza sulla progettazione architettonica e ambientale, nel quadro della complessa problematica della trasformazione urbana e territoriale.

Professionisti, tecnici e imprese  
Gruppo Editoriale **Esselibri - Simone**

**sistemi** editoriali, una rete di volumi  
e di strumenti interattivi.

- *Edilizia*: norme e tecniche
- *Ambiente e Territorio*: norme e tecniche
- *Architettura sostenibile*
- *Urbanistica*: norme e tecniche
- *Igiene e Alimenti*

sistemi editoriali



**Volumi collegati:**  
**AS2 Costruire con la terra**

[www.sistemieditoriali.it](http://www.sistemieditoriali.it)

Questo volume, sprovvisto  
del talloncino a fronte,  
è da considerarsi  
copia fuori commercio  
come da normativa vigente,  
mentre il solo numero  
costituisce prova d'acquisto.

**L. 33.000**  
**€ 17,04**

ISBN 88-513-0004-6



9 788851 300043

sistemi editoriali  
**ASI**