



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 / P. GALLO. - STAMPA. - (2010), pp. 85-151.

Availability:

This version is available at: 2158/397382 since: 2018-03-29T17:07:52Z

Publisher:

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)

Progettazione ecologica
a cura di **Gianni Scudo** e **Mario Grosso**

AS1

Architettura sostenibile



Recupero bioclimatico edilizio e urbano

Strumenti, tecniche e casi studio

Il edizione completamente rinnovata

- **Con 12 nuove schede
di casi studio in Europa**

a cura di
Paola Gallo

sistemi editoriali **Se**[®]

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

Progettazione ecologica
a cura di **Gianni Scudo** e **Mario Grosso**

Architettura sostenibile

Paola
Gallo

Recupero bioclimatico edilizio e urbano

Strumenti, tecniche e casi studio

II Edizione

sistemi editoriali 

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

Copyright © 2010 Esselibri S.p.A.
Via F. Russo, 33/D
80123 Napoli

Tutti i diritti riservati
È vietata la riproduzione anche parziale
e con qualsiasi mezzo senza l'autorizzazione
scritta dell'editore.

Per citazioni e illustrazioni di competenza altrui, riprodotte in questo libro, l'editore è a disposizione degli aventi diritto. L'editore provvederà, altresì, alle opportune correzioni nel caso di errori e/o omissioni a seguito della segnalazione degli interessati.

Prima edizione: settembre 2010
AS1 - Recupero bioclimatico, edilizio e urbano
ISBN 978-88-513-0661-8

Ristampe
8 7 6 5 4 3 2 1 2010 2011 2012 2013

Questo volume è stato stampato presso:
Arti Grafiche Italo Cernia
Via Capri, 67 - Casoria (NA)

sistemi editoriali 

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

www.sistemieditoriali.it

Per conoscere le nostre novità editoriali consulta il sito internet:
www.sistemieditoriali.it

Coordinamento redazionale: Rina Agostino.

■ Introduzione

La funzione primaria dell'involucro di protezione dagli agenti esterni è stata affiancata dal compito di modularne le condizioni in maniera da creare all'interno degli edifici ambienti più confortevoli; compito che è stato svolto nel tempo dall'**involucro**, che si differenziava in relazione alle condizioni climatiche del contesto.

La ventata di "follia progettuale", scatenata dall'improvvisa libertà espressiva resa possibile dalla disponibilità di nuovi materiali messi in opera da tecnologie innovative e dalla errata valutazione di illimitata disponibilità energetica, ha però trasformato nei secoli la disciplina architettonica da "*sintesi fra l'utile e il bello in sola espressione estetica*"¹.

Il nostro secolo ci ha resi testimoni di una involuzione tecnologica del costruito, caratterizzata dalla perdita di tutte le connessioni con l'ambiente fisico che l'involucro edilizio aveva acquisito nel tempo, restituendogli la sola funzione di "guscio protettivo", che ha reso così le opere di architettura, anzi la totalità dell'ambiente costruito, esclusivamente "*veicoli di segni*"².

Siamo quindi oggi a gestire un patrimonio immobiliare del tutto carente dal punto di vista della qualità tecnica, tecnologica, energetica e senza dimenticare quella funzionale e morfologica; inoltre per anni si è continuato a costruire senza pensare alle conseguenze che l'azione dell'edificare potesse indurre sull'ambiente. Ci troviamo ora a far fronte ad edifici obsoleti, inadeguati a garantire le condizioni di comfort (molto spesso anche le minime) per i quali sarebbero necessari continui e a volte ingenti ed antieconomici interventi di adeguamento. La tendenza Europea però indica al 40% circa le previsioni degli investimenti nel settore del recupero; settore che acquisterà sempre maggior importanza nei prossimi anni a venire. Secondo quanto previsto, la riqualificazione degli edifici esistenti presenta un potenziale particolarmente elevato se si calcola che circa l'1-2% degli edifici viene ristrutturato ogni anno.

Il patrimonio edilizio esistente costituisce la parte predominante del costruito delle nostre città e, soprattutto quando si parla di edilizia del passato, rappresenta una vera e propria identificazione storica e culturale con il proprio ambiente. Ciò comporta che, laddove sia necessario (condizioni di obsolescenza qualitativa) e soprattutto fattibile dal punto di vista economico, il recupero degli edifici esistenti costituisce un'opportunità per il miglioramento qualitativo (non solo strutturale, ma anche tecnologico e ambientale) contribuendo alla valorizzazione del "ritrovato" legame degli edifici con l'ambiente di cui essi fanno

1 F.M. Butera, *Dalla caverna alla casa ecologica*, Edizioni Ambiente, Milano, 2007.

2 T. Maldonado, *Il futuro della modernità*, Feltrinelli, 1987.

parte. È dunque logico, da un punto di vista economico e operativo, attuare in particolare le adeguate misure di risparmio energetico nel momento in cui un edificio viene sottoposto ad opera di riqualificazione; dato il lungo ciclo di vita degli edifici infatti, la mancata opportunità potrà presentarsi presumibilmente solo dopo molti anni.

Se parliamo poi di **energia**, seguendo gli obiettivi proposti dall'Unione Europea per il prossimo futuro, il nostro paese deve impegnarsi ad aumentare la propria produzione proveniente da fonti rinnovabili fino al 17% (a partire dall'attuale 5,2); ciò significa produrre almeno 22,5 Mtep (milioni di tonnellate equivalenti di petrolio) agendo sulle principali voci dei consumi energetici: elettricità, calore, raffrescamento, biocarburanti³. Da ciò, escludendo l'ultima voce che poco si addice al settore delle costruzioni, si percepisce quanto è importante affrontare la politica di integrazione, nell'edilizia, di tecnologie per lo sfruttamento delle risorse rinnovabili sia su quella di nuova generazione ma principalmente in occasione degli interventi di recupero.

Purtroppo questa sentita necessità si scontra ancora con l'incapacità di raggiungere tali obiettivi senza le difficoltà (tecniche, economiche, procedurali, ...) di percorsi troppo macchinosi, affinché questa pratica delle cose venga percepita come la pratica corrente negli interventi di riqualificazione dell'esistente, sia a scala urbana che edilizia.

Molti, infatti, sono ancora gli aspetti che fanno della riqualificazione in chiave energetica una pratica complessa, a partire da quelli strettamente tecnici che seppur supportati dalle tecnologie consolidate che ne semplificano la complessità, rimangono ancora irrisolti a vari livelli. Si evidenziano, infatti, notevoli difficoltà nella conoscenza dei dati tecnici e soprattutto nella raccolta degli elementi sulla qualità energetica degli edifici. La creazione di simili archivi risulterebbe invece utile supporto per conoscere ed elaborare, attraverso semplici indicatori estrapolati utilizzando i dati disponibili (ad esempio il rapporto tra il consumo energetico di un edificio e la sua superficie utile), ai fini di una valutazione globale, il patrimonio edilizio esistente.

Se però ci si riferisce alla **scala urbanistica**, l'aspetto critico è quello gestionale. La pianificazione degli interventi di riqualificazione energetica può garantire importanti risultati solo se parallelamente vengono presi in considerazione anche tali aspetti.

È ormai evidente la necessità, ad ogni scala di intervento, di una struttura di **energy management**, con un forte valore aggiunto di natura tecnica che dovrebbe provvedere a svolgere il ruolo di formare le maestranze tecniche che operano nel settore sia privato che pubblico, creando un osservatorio per monitorare le misure attuate, unitamente alla divulgazione delle migliori prassi al fine di

³ Dal rapporto di Legambiente del 2010 sullo stato di salute del Paese.

informare tutte le parti interessate (cittadini, amministratori, imprenditori, committenti, tecnici, ecc.). Ruolo che svolgono le innumerevoli agenzie energetiche locali, che non sempre però riescono a imporsi sul territorio quale veicolo cruciale per la definizione e la gestione di una strategia efficace al fine di promuovere il risparmio energetico nel patrimonio edilizio esistente.

La convenienza economica nella programmazione degli interventi di riqualificazione energetica negli edifici sui quali sono già in corso o sono previste opere di ristrutturazione o manutenzione, risulta comunque essere l'aspetto più vantaggioso di queste operazioni, anche se questo approccio, sebbene sia conveniente, implica comunque dei costi aggiuntivi e per questo motivo occorre reperire le necessarie risorse finanziarie. Le normative europee e nazionali hanno promosso modalità vantaggiose per ottenere sgravi fiscali e/o incentivi (pensiamo alla riduzione fiscale parziale, prevista per le misure di riqualificazione energetica quali l'isolamento, impianti solari termici, ecc.) fino alla possibilità di vendere i Titoli di Efficienza Energetica, al fine di avere una copertura, almeno parziale, dei costi. Ciò non implica aver raggiunto buoni traguardi poiché siamo ancora lontani dagli impegni economici necessari affinché tale pratica diventi effettivamente vantaggiosa e solleciti un mercato ancora poco attento in questo settore.

Questo libro, secondo tali premesse, si pone l'obiettivo di porre l'attenzione sulle notevoli prospettive che gli interventi sul patrimonio costruito in chiave bioclimatica possono avere sulle trasformazioni urbane, e tenta di dimostrare come le opportunità di riqualificazione energetica nella pratica del costruire (se effettuate con un approccio globale), possano contribuire all'elaborazione di nuove strategie che portino a politiche di intervento più incisive in questo settore, ma soprattutto più consapevoli nei confronti dell'ambiente in cui si opera.

Paola Gallo

■ 3 Potenzialità e prestazioni dell'organismo edilizio esistente¹

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

In Italia, come nel resto d'Europa, oltre la metà dell'attività edilizia è dedicata alle ristrutturazioni 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 CO₂ che l'Italia si era prefissata in applicazione del protocollo di Kyoto, ormai disatteso, in vista degli obiettivi indicati per il prossimo 2020, (tra i quali quello di ridurre di due gradi la temperatura della superficie terrestre), dettati dall'accordo sottoscritto durante l'ultima Conferenza sul clima di Copenhagen del Dicembre 2009².

Anche se negli ultimi anni è cresciuto l'interesse verso la riqualificazione edilizia (vedi Codice concordato dell'ENEA³, la norma UNI 11277 del 2008, "Sostenibilità in edilizia", la normativa sul rendimento energetico degli edifici in applicazione alla direttiva 2002/91/CE , compreso le iniziative di alcuni enti locali) e sono stati messi a punto nuovi strumenti di finanziamento pubblico (ad esempio i Contratti di Quartiere I e II⁴, i PRUSST⁵, i PIUSS⁶, nonché le agevolazioni fiscali

1 I contenuti di questo capitolo sono stati parzialmente tratti dal testo redatto in collaborazione con Alain Paolo Lusardi e Antonella Trombadore pubblicati nel libro dal titolo *Recupero edilizio e bioclimatica* edito nel 2001 da questa stessa casa editrice. Si tratta, infatti, di una completa rivisitazione dei contenuti con aggiornamenti ed integrazioni che conferiscono all'argomento una più completa trattazione.

2 Il testo originale dell'accordo sottoscritto dai paesi partecipanti alla conferenza sul clima di Copenhagen è presente sul seguente sito web <http://www.denmark.dk/en/menu/Climate-Energy/COP15-Copenhagen-2009/cop15.htm>

3 "Codice concordato di raccomandazioni per la qualità energetico ambientale di edifici e spazi aperti", promosso dall'ENEA nel 1998 che ha coinvolto 66 amministrazioni comunali, 6 tra amministrazioni regionali e provinciali, oltre a 13 enti di varia natura (Ministeri, IACP, Ordini professionali, ecc.). Con la partecipazione al "Codice concordato" gli enti interessati avevano assunto l'impegno di adeguare i propri comportamenti e la propria normativa ai principi della progettazione sostenibile, secondo un ordine di scala che va dal territorio al singolo edificio.

4 I "Contratti" appartengono alla famiglia dei cosiddetti "Programmi Complessi" ed hanno, per la loro natura integrata, stretta analogia con Programmi di Iniziativa Comunitaria come "Urban" o con i "Contrats de Ville" ampiamente sperimentati in Francia.

5 In seguito all'esperienza maturata con i Programmi di Riqualificazione Urbana (PRIU - art. 2 della Legge 179/92) che si prefiggevano come obiettivo prioritario il recupero edilizio e funzionale di definiti ambiti urbani, a partire dal 1998 ha inizio la fase di promozione dei cosiddetti Programmi di Riqualificazione Urbana e di Sviluppo Sostenibile del Territorio (PRUSST), tramite i quali il Ministero dei Lavori Pubblici si pone l'obiettivo di realizzare un insieme sistematico di interventi finalizzati all'ampliamento e alla riqualificazione delle infrastrutture, all'ampliamento e alla riqualificazione del tessuto economico-produttivo-occupazionale, al recupero e alla riqualificazione dell'ambiente, dei tessuti urbani e sociali ricompresi all'interno del territorio nazionale. I PRUSST nascono con il D M del 8 Ottobre 1998, che contiene l'apparato generale ed il bando con le norme ed i criteri di selezione per il finanziamento dei programmi medesimi.

6 Piani integrati di sviluppo urbano sostenibile (PIUSS), rappresentano lo strumento attraverso il quale la Regione Toscana intende dare attuazione alle politiche di sviluppo economico e sociale in aree urbane delineate nell'Asse V del Programma Operativo Regionale "Competitività regionale e occupazione" Fesr 2007-2013 (POR CREO)

proposte nelle varie finanziarie più recenti), in realtà in Italia la quantità di investimenti è ancora molto lontana dai livelli degli altri paesi europei.

Solo recentemente questa situazione è sembrata sbloccarsi quando da marzo 2009 è entrato in vigore l'accordo quadro stato-regioni sugli interventi di riqualificazione edilizia, approvato tra mille polemiche, all'interno del quale sono riconoscibili tre provvedimenti principali: ampliamento del 20% di case mono e bi-familiari con cubature fino a 1000 m³, housing sociale e risparmio energetico. I primi due provvedimenti hanno stentato a partire, seppur con ritardato recepimento e in alcuni casi rifiuto di recepimento da parte delle regioni, mentre sul risparmio energetico c'è stata da subito molta confusione. In particolare, secondo quanto approvato, è data la possibilità di abbattere e ricostruire – anche in zona differente – edifici antecedenti al 1989 che abbiano bisogno di essere adeguati agli standard qualitativi, energetici e di sicurezza, purché non soggetti a particolari vincoli; da subito invece è diventato obbligatorio l'attestato di certificazione energetica (ACE) anche in quelle regioni che ancora non hanno legiferato in materia⁷.

Si precisa che tale provvedimento prevede che la ricostruzione potrà essere autorizzata con un aumento dei volumi del 30%, che può diventare il 35% se la ricostruzione avviene con tecniche di bioedilizia o che prevedano l'installazione di impianti ad energie rinnovabili; resta ancora da sciogliere la questione della proroga degli incentivi fiscali del 55% sulle spese per il risparmio energetico, che per ora resta confermata a tutto il 2010.

In un panorama caratterizzato da un forte clima di incertezze, il principale obiettivo è, pertanto, quello di 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:

- studio e valutazione delle potenzialità e dell'applicabilità delle tecniche avanzate di risparmio energetico;
- indagini relative ai limiti tecnici, economici e sociali di quelle tecnologie seppur non ancora consolidate, necessarie per la conservazione dell'energia ed in applicazione nelle diverse tipologie di edifici;
- definizione, verifica e applicazione di una procedura unica per la raccolta dei dati;
- 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 congruenza in termini di costi e benefici, anche se in questa analisi non è facile assegnare

La finalità di ogni singolo PIUSS è quella di progettare un insieme coordinato di interventi, pubblici e privati, per la realizzazione – in un'ottica di sostenibilità – di obiettivi di sviluppo socioeconomico, attraverso il miglioramento della qualità urbana ed ambientale.

⁷ L'approvazione dei decreti attuativi sulle linee guida nazionali con il DM 26 giugno 2009 e sui requisiti minimi di prestazione energetica degli edifici con il DPR 59/2009 si è concluso il periodo transitorio previsto dal DLgs 192/2005 "recepimento della Direttiva 2002/91/CE sul rendimento energetico in edilizia".

un valore economico ad aspetti qualitativi o ecologici, correndo il rischio di ridurre la valutazione ai soli aspetti di risparmio energetico.



Fig. 3.1 Esempio di recupero di un edificio residenziale a Berlino.

3.1.1 Gli obiettivi del recupero

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. 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 recupero deve quindi oggi garantire non solo stabilità, funzionalità ed estetica, ma anche assicurare 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. I requisiti energetici prestazionali obbligatori minimi previsti dal

DLgs 192/2005 (e successive modifiche ed integrazioni con il decreto n. 311) e le prescrizioni emanate da numerosi enti locali (Regioni, Province e Comuni), così come le scelte progettuali che permettono la riduzione della trasmittanza termica dell'involucro di un edificio esistente, devono comunque essere necessariamente considerate alla luce della sostenibilità ambientale, delle migliori tecniche costruttive, dei materiali più innovativi e delle tecnologie impiantistiche più evolute. Altrettanto importante in un progetto di riqualificazione è il DPCM del 5 dicembre 1997 (per i requisiti acustici passivi degli edifici) ed il rispetto dei nuovi decreti antincendio, che impongono al professionista pesanti responsabilità. In questa prospettiva diventa indispensabile una progettazione integrata del sistema edificio/impianto che consideri unitariamente gli elementi architettonici, strutturali, impiantistici al fine di garantire migliori prestazioni energetiche; il tutto sancito dal fatto che l'efficienza energetica, secondo le ultime direttive comunitarie e nazionali è diventata un requisito necessario per la valutazione qualitativa di un immobile.

Fra questi aspetti, un ruolo prioritario lo 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 di un edificio.

A differenza della progettazione di nuovi organismi, il progetto di *retrofitting* in chiave energetica 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. Riportiamo comunque 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 (con le dovute restrizioni sopra enunciate) 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);
 - 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.

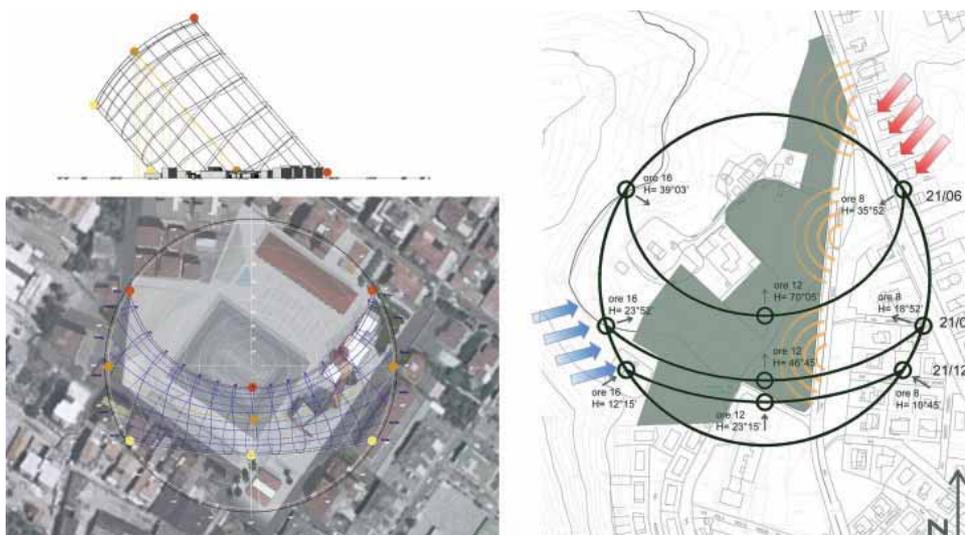


Fig. 3.2a - 3.2b Studio bioclimatico del sito.

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 bonificare;
- rispettare un livello massimo di pressione acustica (secondo le norme territoriali prescritte) 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 ecocompatibili;

- scelta dei prodotti di costruzione ecocompatibili.

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.

OBBIETTIVO 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 dalle leggi vigenti;
- scegliere delle caldaie "pulite" in termini di CO₂, CO e NOx. o a condensazione;
- prevedere interventi di isolamento sull'involucro:
 - tener conto degli apporti solari;
 - ridurre le infiltrazioni;
 - favorire il recupero del calore.

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, ...

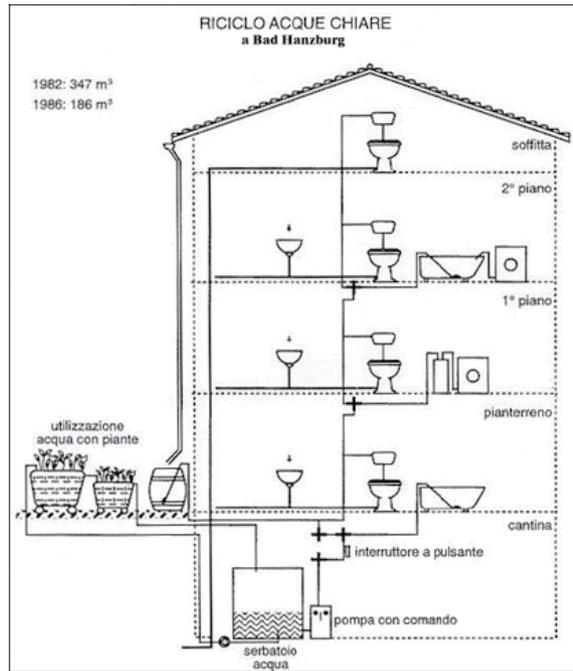


Fig. 3.3 Schema di riciclo delle acque piovane.

Gestione dei rifiuti

Sub-obiettivi

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

Esigenze minimali

tener conto delle raccolte collettive;
 configurare spazi e locali tecnici per accogliere adeguati contenitori per il conferimento dei rifiuti.

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 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 quella naturale.

Esigenze minimali

- realizzare uno studio dimensionale delle superfici trasparenti (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.



Fig. 3.4 Illuminazione naturale confortevole in ambiente confinato.

OBIETTIVO CHIAVE: SALUTE

Qualità dell'aria

Sub-obiettivi

- gestione dei rischi di inquinamento dovuti ai prodotti edilizi;
- 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, 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

- utilizzare tubazioni in materiale che non rilascia inquinanti;
- mantenere la temperatura di stoccaggio dell'acqua calda di distribuzione nei limiti previsti per minimizzare i rischi di insorgenza di batteri dannosi alla salute (legionella).

Il rispetto della qualità ambientale quindi 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, nel settore del recupero edilizio, raggiungere un buon livello di qualità ambientale non è sempre possibile: particolare attenzione va posta in caso di edifici di rilevante carattere storico, per i quali spesso non è possibile ottenere il livello di comfort ottimale richiesto dagli utenti, senza intervenire sul carattere stesso dell'edificio.

3.1.2 L'involucro edilizio

La funzione primaria dell'involucro, quale protezione dagli agenti esterni, è stata affiancata nel tempo dal compito di modularne le condizioni in maniera da creare ambienti più confortevoli; compito svolto prevalentemente differenziandosi in relazione alle condizioni climatiche del contesto di riferimento.

Il nostro secolo tuttavia ci ha resi testimoni di una involuzione tecnologica del costruito, caratterizzata dalla perdita di tutte le connessioni con l'ambiente fisico che l'involucro edilizio aveva acquisito nel tempo, restituendogli la sola funzione di "guscio protettivo" e rendendo così le opere di architettura, anzi la totalità dell'ambiente costruito, esclusivamente "veicoli di segni"⁸.

⁸ T. Maldonado, *Il futuro della modernità*, Feltrinelli, 1987.

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

Ottenere questi risultati, bruciando meno petrolio, carbone o gas è possibile solo combinando i componenti dell'involucro (vecchi e nuovi) ai vecchissimi principi progettuali (pensiamo a quelli suggeriti da Vitruvio o quelli di interpretazione aristotelica, dove l'architettura diventa imitazione dell'ordine naturale) ed assegnare così all'involucro stesso un'importante funzione – 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. 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. Se parliamo poi di involucro degli edifici esistenti, un intervento di riqualificazione su di esso 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 le ricadute che questi vantaggi possono avere sugli aspetti del comfort e soprattutto sui risparmi ottenibili.

Di seguito vediamo quali sono le caratteristiche principali dell'involucro edilizio, illustrandone l'evoluzione subita nel tempo da sistema passivo a sistema attivo.

3.1.3 Evoluzione delle prestazioni energetiche dell'involucro architettonico⁹

Se dal punto di vista architettonico l'involucro edilizio può essere considerato una pelle capace di conferire suggestioni all'edificio, dal punto di vista fisico esso è la superficie di controllo che delimita il sistema termodinamico dell'ambiente costruito. Come elemento di confine l'involucro ha la funzione di regolare i flussi di energia passanti, al fine di garantire le condizioni di comfort termico, visivo, acustico e la qualità dell'aria negli ambienti confinati, riducendo nel contempo i consumi energetici e gli impatti ambientali.

Facendo l'analisi etimologica dei termini “facciata” ed “involucro”, si possono notare alcune differenze concettuali. Il termine facciata deriva dal latino *facies*, che significa “forma esteriore”, “apparenza” ed indica quindi il volto dell'edificio, ne costituisce insieme al volume l'immagine all'esterno attraverso la quale viene

⁹ Questo paragrafo è stato redatto a cura dell'arch. Rosa Romano ed in particolare è parte integrante della sua tesi di dottorato dal titolo *Smart Skin Envelope. Integrazione architettonica di tecnologie dinamiche e innovative per il risparmio energetico*, dottorato in Tecnologie dell'Architettura XXII ciclo.

proiettata l'identità propria; l'elemento facciata è fortemente dipendente dalle altre parti e sistemi dell'edificio, sia a livello formale che a livello tecnologico. Il termine involucro, derivante dal verbo latino involvère (volgere intorno, avvolgere), non definisce solo l'aspetto superficiale e bidimensionale, ma indica tutto ciò che avvolge esternamente qualcosa, arrivando a definire un sistema più complesso, dotato di spessore proprio, alcune volte percepibile. L'involucro si può definire come un sistema tridimensionale di chiusura integrale dell'edificio, costituito da diversi elementi tecnici che sono strettamente interdipendenti (strati). La distinzione funzionale tra strato ed *involucro* è legata al loro stato di autonomia strutturale. Gli strati non sono di per sé portanti e non fanno parte di un'unità strutturale principale: sono uno strato una lastra di rivestimento metallico, un pannello isolante o le lastre di un vetro camera. Possono essere strati di supporto, strati di tenuta all'acqua, strati di impermeabilizzazione o di tenuta all'aria, strati di barriera al vapore, ecc., a seconda del loro contributo al funzionamento complessivo del sottosistema a cui appartengono.

L'involucro è prevalentemente portante, ed è in parte o del tutto autonomo dal punto di vista spaziale e/o strutturale. Un involucro può essere formato da più strati, come nel caso della *pelle* esterna ed interna di una facciata.

Dal punto di vista fisico, è involucro architettonico la "superficie di controllo che delimita il sistema termodinamico dell'edificio"¹⁰. L'obiettivo dei sistemi di regolazione è quello di produrre un ambiente stabile, termicamente equilibrato, in grado di ottenere, anche in architettura, quello stato omeostatico indispensabile alla vita del mondo animale e vegetale.

Il termine *involucro edilizio*, il cui significato è abbastanza recente, ha sostituito il termine chiusura, utilizzato nella scomposizione del sistema tecnologico nella UNI 8290, a sottolineare il concetto di globalità delle parti che definiscono un ambiente interno (caratterizzato da condizioni climatico/ambientali stabili) rispetto ad un ambiente esterno.

Involucro termodinamico

Le prestazioni dell'involucro devono garantire il comfort termico e igrometrico degli spazi confinati e il contenimento dei consumi energetici mediante il soddisfacimento dei seguenti requisiti prestazionali:

Requisiti ambientali

- mantenimento della temperatura dell'aria negli spazi abitativi, nelle stagioni di esercizio degli impianti di riscaldamento, entro i limiti di legge di 20 - 22 °C;
- mantenimento delle condizioni di comfort termico negli ambienti interni nel periodo estivo.

¹⁰ M. Filippi, "L'involucro edilizio: passivo, attivo o ibrido?", da *Progettare l'involucro edilizio: correlazioni tra il sistema edificio e i sistemi impiantistici*, Aicarr, 2001.

Requisiti tecnologici

- controllo dei fenomeni di condensa superficiale e interstiziale;
- controllo della combinazione “Temperatura – Umidità – Ventilazione”;
- resistenza termica e inerzia termica ai fini del risparmio energetico e del comfort ambientale interno.

La normativa italiana nel campo della certificazione energetica e del risparmio energetico è in continua evoluzione: l’entrata in vigore dal febbraio 2005 dell’accordo internazionale di Kyoto, che impegna il nostro Paese a ridurre entro il 2012 le emissioni di gas serra al 6,5% rispetto ai valori del 1990, ha dato un forte input al governo e al legislatore ad affrontare da subito questi rilevanti problemi. Lo stesso è avvenuto a livello europeo con l’emanazione di numerose indicazioni legislative che tentano di riunire e unificare le normative di ogni singolo Paese in modo da affrontare il problema energetico con gli stessi strumenti e regole. Le prestazioni energetiche dell’intero organismo edilizio dipendono dall’efficienza dell’involucro chiamato a circoscriverlo: se le componenti di chiusura (verticali, orizzontali, trasparenti, opache) non sono state progettate e realizzate in maniera consona alle prestazioni energetiche dell’edificio, le dispersioni dei flussi di calore passanti attraverso le stesse ne comprometteranno i consumi energetici finali. Le azioni termiche che agiscono sull’esterno di un edificio sono combinazioni d’impatti radiativi e convettivi. La componente radiativa consiste nella radiazione solare incidente e nello scambio termico radiativo con l’ambiente esterno e con il cielo. L’impatto termico convettivo è una funzione dello scambio con la temperatura dell’aria circostante, e può essere accelerato dal movimento dell’aria. Le dispersioni termiche che avvengono sotto forma di calore dipendono dalla differenza di temperatura tra la faccia interna e esterna dell’involucro stesso e dalla resistenza termica del materiale (o combinazione di materiali) dei quali è fatto l’involucro. I materiali componenti un involucro che separa due ambienti a temperature differenti offrono una resistenza al passaggio del calore che varia in relazione diretta allo spessore del materiale e in relazione inversa alla sua facilità a trasmettere il calore (trasmittanza).

La **trasmittanza termica (U) W/m²K**, o coefficiente globale di trasmissione del calore interno-esterno è definita dalla norma UNI 7357 come il *flusso di calore che passa da un locale all’esterno (o ad un altro locale) attraverso una parete per mq di superficie della parete e per K di differenza tra la temperatura del locale e la temperatura esterna, o del locale contiguo.*

La **conduttività o conducibilità termica (λ) W/(m·K)** di un materiale indica il flusso di calore che, in condizioni stazionarie, passa attraverso uno strato unitario di materiale in presenza di una differenza unitaria di temperatura tra le due facce opposte del materiale considerato. La conduttività dipende dalla porosità (densità) e dal contenuto igrometrico del materiale.

La resistenza termica (R) m^2K/W totale di una parete, che è ovviamente l'inverso della trasmittanza termica, sarà dunque data dalla somma delle differenti resistenze che il flusso di calore incontrerà lungo il percorso dall'elemento più caldo a quello più freddo.

Particolare attenzione deve inoltre essere data alle prestazioni termiche dell'involucro edilizio in regime termico variabile, nei mesi invernali (in quei periodi in cui il riscaldamento è saltuario, o intermittente, specie con attenuazioni notturne), ma soprattutto nei mesi estivi (durante la successione di giornate caratterizzate da valori elevati di temperatura e di intensità d'irraggiamento solare). Gli involucri edilizi dovrebbero essere progettati e realizzati in modo tale da assicurare condizioni ambientali di sufficiente benessere termoigrometrico all'interno degli ambienti confinati, anche in assenza di impianti di condizionamento.

A tale scopo, assumono particolare importanza:

- il sistema di protezione dall'irraggiamento solare (schermi, aggetti, alberi ecc.);
- l'inerzia termica delle pareti opache dell'edificio, quantificabile in base all'attenuazione (s) dell'ampiezza delle variazioni della temperatura superficiale interna rispetto a quella ambientale esterna, e al ritardo di fase (f), cioè all'intervallo di tempo con cui le variazioni di temperatura esterna si trasmettono all'interno (ore). Buone prestazioni sono assicurate, da questo punto di vista, da pareti opache in grado di fornire come valori orientativi $s < 0,05$ e $f > 8$ ore, relativamente a una ipotetica oscillazione sinusoidale della temperatura esterna avente periodo di 24 ore. Per ridurre i consumi energetici per la climatizzazione estiva risulta fondamentale attenuare i valori massimi di temperatura negli ambienti e ritardare l'immissione di energia termica negli stessi, spostandola verso le ore notturne quando la temperatura dell'aria esterna è ai valori minimi e il fenomeno del reirraggiamento raffredda rapidamente le superfici esterne.

Le perdite di calore attraverso l'involucro possono essere ridotte attraverso le seguenti strategie:

- utilizzare la massa termica;
- prevenire la conduzione di calore aggiungendo isolamento termico all'involucro per incrementare la sua resistenza termica;
- progettare l'edificio in un modo più compatto per ridurre la superficie complessiva, attraverso la quale il calore può essere trasmesso;
- aggiungere barriere al flusso di calore radiativo, per esempio attraverso la posa di fogli in alluminio dietro i radiatori e usando vetri isolanti e a bassa emissività, come pure isolare i cassonetti delle finestre e porte laddove sono presenti le avvolgibili esterne.

Nella fase progettuale dell'involucro edilizio si dovrà prestare particolare attenzione al controllo e alla verifica dei fenomeni di condensa interstiziale e superficiale, come previsto dalla Norma UNI EN ISO 13788, prestando particolare attenzione

alle condizioni igrometriche di progetto interne ed esterne dell'edificio e alle caratteristiche (spessore, conduttività termica, resistenza alla diffusione del vapore) di ciascuno strato di materiale componente la parete.

Il calcolo della condensa interstiziale viene effettuato quantificando i profili delle temperature e delle pressioni di vapore acqueo (saturo ed effettivo) all'interno della parete: se la pressione di vapore effettiva (P_e) raggiunge o supera quella della pressione di vapore saturo (P_s), si avrà formazione di condensa. Tale fenomeno può essere arginato disponendo in ordine decrescente gli strati che compongono la struttura in funzione della loro permeabilità al vapore acqueo (i materiali con resistenza maggiore al vapore vanno collocati verso l'ambiente abitato, quelli con resistenza minore vanno collocati verso l'ambiente esterno). I fenomeni di condensa superficiale si verificano, invece, quando la temperatura della superficie interna della parete è inferiore alla temperatura di condensa dell'aria dell'ambiente abitato. Dal calcolo del profilo della temperatura all'interno della parete, si determina anche il valore della temperatura superficiale interna ed è quindi possibile valutare gli eventuali rischi di condensa superficiale.

Nella progettazione dei sistemi di involucri tecnologici, risulta fondamentale analizzare le condizioni climatiche presenti nell'intorno ambientale, cercando di ricreare un adeguato equilibrio tra parametri climatici esterni, condizioni termigrometriche interne e componenti tecnologiche scelte.

L'ideazione, la progettazione e la realizzazione di un involucro architettonico dinamico comportano una complessità direttamente proporzionale alle prestazioni richieste ed alle variabili presenti in ogni intervento. Per questo motivo è importante definire a priori le caratteristiche principali dell'involucro e giungere, attraverso queste, ad organizzare un sistema di priorità nella fase della sua progettazione e realizzazione.

Un edificio "tradizionale" è capace di rispondere alle sollecitazioni esterne soltanto attraverso la sua componente massiva e la sua configurazione costruttiva, mentre risulta essere incapace di rapportarsi ad un ambiente in continua variabilità. Al contrario, un edificio "intelligente" deve possedere la capacità di conoscere ciò che accade al suo interno e nel suo immediato intorno, *decidere* il modo in cui intervenire per rendere confortevole gli ambienti confinati e rispondere velocemente al mutare delle esigenze e delle condizioni climatiche.

Gli involucri sono, tra le componenti architettoniche, quelli che possiedono una maggior interdipendenza con i sistemi meccanici di controllo e negli ultimi anni si sono trasformati da sistemi passivi, capaci di utilizzare gli agenti naturali esterni e le fonti di energia rinnovabili, in:

- *sistemi attivi*, che riescono ad integrarsi con gli impianti grazie a captatori solari, pannelli fotovoltaici, vetri a prestazioni elevate ecc.;
- *sistemi ibridi*, dinamici e polivalenti, capaci di prestazioni sia attive che passive.

L'involucro passivo

L'involucro passivo, strettamente legato alle caratteristiche dell'ambiente esterno, garantisce di:

- massimizzare il guadagno solare diretto perché dotato di estese superfici vetrate ad elevato isolamento termico e attrezzate con sistemi schermanti per il controllo dell'abbagliamento e per la protezione solare nel periodo estivo;
- accumulare l'energia solare anche quando essa non penetra direttamente nell'ambiente, grazie all'adozione di tecnologie quali il muro *Trombe*, o i collettori solari ad aria ed acqua;
- avere spazi-cuscinetto tra i sistemi di chiusura trasparente e opaca al fine di incrementare la protezione dal freddo e sfruttare l'energia solare nel periodo invernale;
- ridurre l'apporto di calore durante i mesi estivi attraverso la presenza di schermature solari artificiali e/o naturali;
- incrementare l'illuminazione naturale attraverso un adeguato dimensionamento delle aperture trasparenti;
- favorire la ventilazione naturale diminuendo i consumi energetici per la climatizzazione estiva;
- integrare soluzioni per l'adozione di sistemi per il passive cooling che garantiscono nei mesi estivi una riduzione del carico termico interno attraverso la ventilazione notturna degli ambienti.

Solitamente gli involucri passivi sono adottati in edifici a destinazione residenziale, con una bassa domanda di energia, in cui gli utenti si fanno carico della gestione e regolazione dei dispositivi di comando che consentono all'involucro di assumere alternativamente le configurazioni giorno/notte e inverno/estate. Questa soluzione d'involucro presenta tuttavia i seguenti limiti applicativi:

- spesso limita l'espressione architettonica del progettista che deve adottare soluzioni tecnologiche standard in relazione all'orientamento dell'involucro;
- risulta strettamente legato alla gestione dell'utenza, se non è collegato a sistemi impiantistici che gli permettano di assumere le varie configurazioni "bioclimatiche" autonomamente;
- richiede precisi interventi di variazione delle sue prestazioni in relazione al variare delle situazioni climatiche esterne e tali interventi non sempre sono agevoli;
- presenta una bassa efficienza di utilizzo dell'energia solare, sia a causa della ridotta capacità di captazione dei componenti edilizi passivi, sia a causa dell'assenza di efficaci sistemi per la distribuzione e l'accumulo del calore.

Dai sistemi di guadagno solare passivo può derivare una riduzione degli indici energetici del 30-50%. I progetti di *architettura passiva* o ad *emissione zero* sono di facile realizzazione.

Le medesime componenti valgono per l'architettura in vetro, dove deve essere posta particolare attenzione al controllo degli apporti solari ed alle dispersioni per trasmissione.

L'involucro attivo

L'involucro attivo è invece caratterizzato dalla presenza di sistemi impiantistici per la captazione dell'energia solare e la ventilazione naturale e artificiale. Sono esempi di involucro attivo le facciate dotate di collettori solari ad aria o ad acqua e di pannelli fotovoltaici ma, in qualche modo, anche le facciate a doppia pelle o i sistemi d'involucro dotati di recuperatori di calore, che permettono di ridurre il fabbisogno energetico dell'edificio mantenendo le condizioni a contorno ad una temperatura costante.



Fig. 3.5a – 3.5b – 3.5c Gli edifici del complesso residenziale Solar City Linz, Austria, 1996-2006, caratterizzati da un involucro iperisolato (Norman Foster, Richard Rogers, Thomas Herzog e Renzo Piano Building Workshop in qualità di consulente del gruppo progettuale).

Certamente l'involucro attivo risulta più efficiente in termini energetici e più controllabile in termini funzionali rispetto a quello passivo: i componenti impiantistici per la captazione dell'energia solare e per la distribuzione e l'accumulo dell'energia trasformata hanno infatti prestazioni testate ed i flussi d'aria movimentati da elettroventilatori trasportano quantità di calore ben definite in relazione alle differenze di temperatura in gioco. Del resto la modularità dimensionale tipica dei componenti impiantistici vincola non poco le opportunità di espressione architettonica e crea problemi di accoppiamento fra il disegno della facciata ed i caratteri distributivi e morfologici degli ambienti interni.

Nell'ultimo decennio gli involucri attivi con collettori solari ad aria o ad acqua integrati non sembrano aver incontrato, se non in applicazioni particolari, l'interesse dei progettisti. Le ragioni sono da ricercarsi non soltanto nel fatto che la presenza di tali collettori in facciata e/o in copertura limita fortemente le possibili soluzioni compositive, ma anche nel fatto che i bilanci energetici ed economici effettivamente sperimentati non sono poi risultati così favorevoli come in un primo momento erano apparsi alla luce di scenari energetici assai pessimisti.

Significativo è invece il successo delle “doppie pelli trasparenti” e delle “facciate fotovoltaiche”, queste ultime costituite da celle di silicio integrate nelle specchiature vetrate. I pannelli fotovoltaici si trovano ormai in commercio con diverse dimensioni e caratteristiche, nella versione semitrasparente risultano essere particolarmente adatti per integrazioni architettoniche in situazioni nelle quali sia necessario ombreggiare lo spazio confinato. Inoltre la necessità di ventilare la parte anteriore del pannello ne rende consigliabile l'applicazione in soluzioni di facciata ventilata, dove il contributo termico del sistema fotovoltaico incrementa i moti d'aria ascensionali all'interno dell'intercapedine.



Fig. 3.6a – 3.6b – 3.6c La facciata fotovoltaica in pannelli di silicio policristallino semitrasparente della Biblioteca Pubblica Pompeu Fabra, Miquel Brullet Matarò, Barcellona, Spagna.

L'involucro ibrido

L'involucro ibrido è caratterizzato dalla complementarità delle tecnologie impiantistiche ed edilizie e dalla presenza di sistemi di regolazione e controllo che lo rendono una componente fondamentale all'interno del complesso sistema edificio-impianto. In generale questi tipi di involucro sono contraddistinti dalla presenza di uno o più dei seguenti sistemi tecnologici:

- materiali e sistemi innovativi ad alte prestazioni per la captazione e l'accumulo dell'energia solare;
- dispositivi per gestire la ventilazione naturale in combinazione con sistemi di ventilazione meccanica;
- schermi mobili per il controllo dell'irraggiamento solare;
- presenza di soluzioni tecnologiche atte ad incrementare la penetrazione della luce naturale e modularne l'intensità;
- sistemi di building automation per la gestione integrata degli impianti e degli elementi che costituiscono la pelle dell'edificio.

L'involucro ibrido garantisce diverse prestazioni in termini termo-igrometrici e funzionali, prestazioni che in passato erano affidate ad apparati tecnologici di differente natura; inoltre può essere definito *dinamico*, perché in grado di

modificare le sue prestazioni termo-igrometriche nel tempo, in relazione alle circostanze climatiche ed alle esigenze dell'utenza.

In generale gli involucri ibridi presentano, rispetto ai sistemi di involucro tradizionale, costi di costruzione e di manutenzione superiori, a causa dei materiali impiegati, dell'entità dei pezzi speciali, della complessità di gestione dei componenti e della loro reciproca collocazione. Si tratta di sistemi tecnologici che tuttavia contribuiscono efficacemente al bilancio energetico dell'edificio, limitando la necessità di ricorrere a dispositivi elettromeccanici di climatizzazione invernale ed estiva, con una conseguente riduzione dei consumi energetici.



Fig. 3.7a – 3.7b – 3.7c BMW Welt, COOP HIMMELB(L)AU, Monaco, Germania, 2007. Nella doppia pelle dell'edificio è integrato un sistema di tubi radianti che provvedono al suo riscaldamento e raffreddamento.

3.1.4 Interventi sull'involucro

I componenti e gli elementi edilizi capaci di modificare e/o migliorare le caratteristiche dell'involucro rendendolo performante dal punto di vista dei consumi energetici, sono sostanzialmente riassumibili in:

- murature di tamponamento;
- infissi esterni;
- coperture e relativi elementi costitutivi.

Sostituendo tali elementi edilizi con componenti analoghi ma caratterizzati da una maggiore qualità e da caratteristiche prestazionali eco-efficienti, si può migliorare il comportamento energetico dell'edificio. Si possono, ad esempio, ridurre sensibilmente le dispersioni termiche, oppure possono essere aumentati i flussi energetici naturali in entrata (radiazione solare) al fine di consentire una minore necessità di produzione energetica per il fabbisogno termico.

Le murature

In un qualsiasi intervento di riqualificazione edilizia, 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, trasformando un'azione di aumento di qualità prestazionali in una vera e propria *riqualificazione energetica dell'edificio*¹¹.

Le potenzialità di una strategia di intervento basata sulla sostituzione di materiali e componenti edilizi (come ad esempio la sostituzione del “pacchetto murario” esterno, in parte o complessivamente, con una struttura muraria di differente costituzione e concezione) comportano ampi margini di miglioramento dell'efficienza energetica dell'edificio, nonché della qualità costruttiva ed anche, eventualmente, dell'aspetto architettonico del manufatto edilizio.

Molte fra le tecniche del “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.

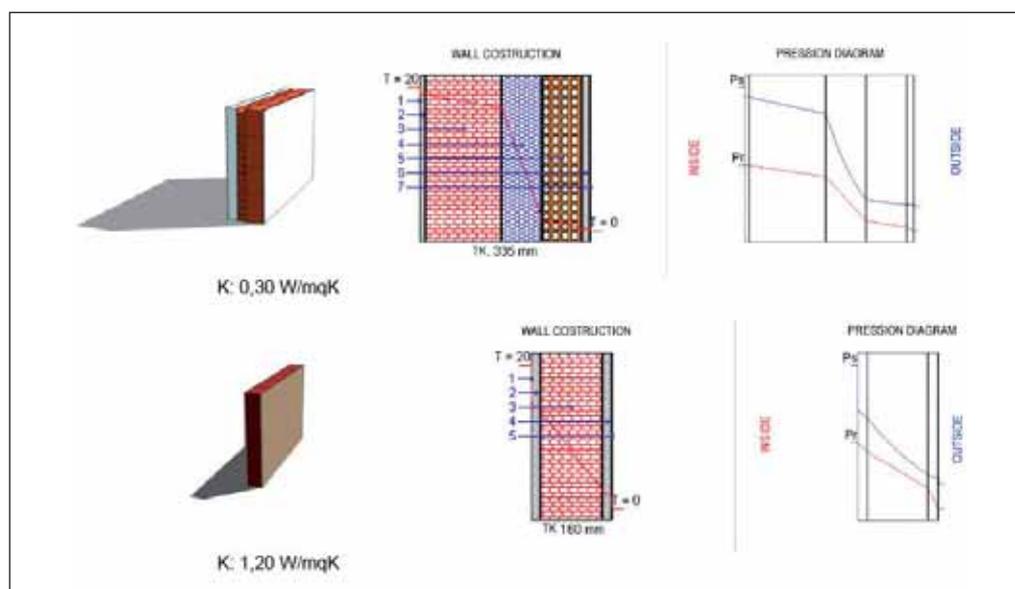


Fig. 3.8 Confronto delle prestazioni di trasmittanza termica tra un muro tradizionale ed uno isolato.

La tecnica dell'isolamento uniformemente distribuito su tutti gli elementi di una costruzione, generalmente, produce migliori risultati rispetto all'applicazione dello stesso 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

¹¹ Per riqualificazione energetica dell'edificio (o *retrofit* energetico dell'edificio) si intendono tutte le operazioni, tecnologiche e gestionali, atte al conferimento di una nuova (prima inesistente) o superiore (prima inadeguata) qualità prestazionale alle costruzioni esistenti dal punto di vista dell'efficienza energetica, volte cioè alla razionalizzazione dei flussi energetici che intercorrono tra sistema edificio (involucro e impianti) ed ambiente esterno.

gli effetti combinati di tali discontinuità, uniti all'assenza di isolamento 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 un'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.



Fig. 3.9 Esempio di isolamento realizzato con materiali naturali.

La risposta della produzione a queste problematiche ha favorito l'immissione sul mercato di un'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 non sia ancora diventato un sistema abbastanza flessibile, risulta una soluzione alquanto valida.

L'involucro attivo rappresenta una delle risposte alla problematica del recupero energetico inteso come sfruttamento dell'energia solare per il risparmio di energia convenzionale, diventando facciata "sinergica", con l'integrazione di sistemi attivi, quali ad esempio i pannelli fotovoltaici, sui sistemi di rivestimento convenzionali o montati su strutture indipendenti, per la produzione di energia elettrica attraverso la conversione diretta della luce solare.

L'integrazione del sistema fotovoltaico incrementa solo del 2% il costo di un tipico edificio provvedendo di contro quasi ad un terzo della richiesta elettrica.

Una recente innovazione nell'architettura solare orientata verso sistemi di facciata multifunzionale è rappresentata anche dalla nascita di nuovi materiali quale ad esempio l'*isolamento termico traslucido* che regola il flusso dell'energia solare nell'edificio, garantendo una piacevole condizione di comfort e ottimi livelli di illuminazione naturale. I parametri ambientali di riferimento, sui quali si va ad agire al fine di ottenere un efficace comportamento energetico dell'edificio che sia congruente con le ottimali condizioni di comfort ambientale, sono sintetizzabili in:

- trasmittanza e conducibilità termica;

- capacità termica;
- caratteristiche di assorbimento e riflessione della radiazione solare.

In una operazione di retrofitting energetico, mediante la sostituzione di parti della muratura esterna con una struttura muraria a maggiore capacità termica è possibile accumulare energia conseguente all'irraggiamento solare e consentirne una diffusione in ambiente, oppure favorire il raffrescamento estivo in conseguenza della maggiore inerzia termica delle strutture di involucro, capace di sottrarre il calore in ambiente per poi re-irraggiarlo nelle ore meno calde.

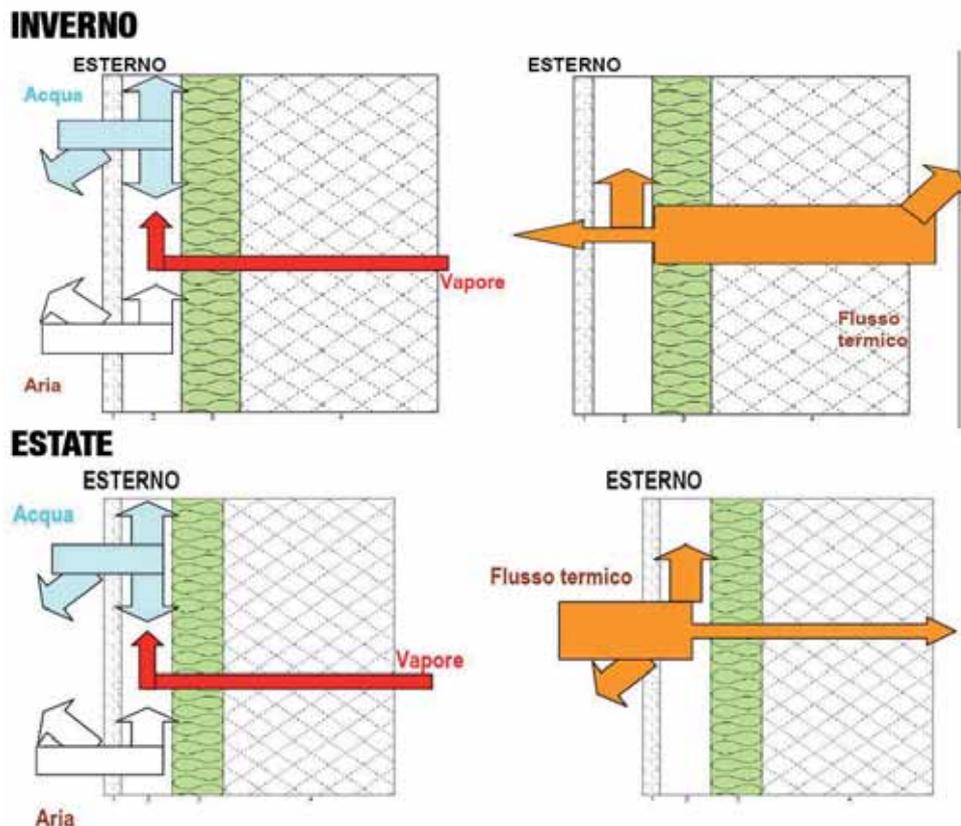


Fig. 3.10 Prestazioni dell'involucro isolato con cappotto esterno in inverno e in estate.

Altra importante strategia d'intervento legata all'involucro è quella che prevede la realizzazione di nuove strutture in aderenza a quello preesistente. Tale modalità di intervento è in grado di offrire migliori e diversificate condizioni di attuazione tecnica rispetto alla sostituzione di materiali e componenti e, nel contempo, di ottenere valide risposte in merito agli aspetti energetici, di controllo microclimatico, nonché più specificamente architettonici.

Fondamentalmente rivolta ai sistemi di facciata ed alle coperture, questa strategia di intervento fa riferimento a differenti sistemi tecnico-attuativi, tra cui particolarmente significativi risultano essere:

- pareti ventilate;
- coperture areate e ventilate;
- nuove strutture a rivestimento (“fodere”) di strutture preesistenti.



Fig. 3.11a – 3.11b Esempio di riqualificazione dell’involucro (progetto finanziato dalla Unione Europea SUREFIT).

Le superfici trasparenti

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, 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 “protezione” del calore, il componente finestrato (infixo più superficie trasparente) viene ora visto non più come semplice elemento dell’involucro che causa perdite di calore, ma come elemento

che può sfruttare l'energia solare; componenti finestrati complessi, multistrato, con congegni incorporati per il preriscaldamento solare, per la ventilazione, l'ombreggiamento o la riflessione della luce vengono oggi utilizzati sia per la nuova edilizia che negli interventi di recupero.

Le coperture

Le coperture in un edificio rappresentano un moderatore climatico¹². In particolare il vocabolo *moderatore* definisce la copertura come il diaframma tra una condizione ambientale interna ed una esterna, in quanto essa funziona proprio come regolatore soprattutto in riferimento alla condizione ambientale interna che è quella oggetto di comfort. Ciò consente in generale di affermare che l'involucro, di cui fa parte la copertura, non è un sigillante per l'edificio ma è una superficie che modera le condizioni ambientali tra interno ed esterno. È possibile effettuare questa moderazione ottimizzando tutti i parametri climatici a disposizione, affidando proprio il controllo climatico ed il rapporto con il contesto ambientale a questo rilevante sistema dell'involucro.

Queste premesse qualora si intenda intervenire nel rifacimento di una copertura, quale opportunità di realizzarne una nuova del tipo ventilato.

Grazie alle sue caratteristiche il tetto ventilato consente di ottenere un notevole risparmio sui consumi energetici poiché, in presenza di temperature esterne molto basse la camera di ventilazione costituisce un'ulteriore intercapedine limitando quindi le dispersioni di calore ed in caso di temperature alte aumenta la circolazione dell'aria sotto la copertura, riducendo le temperature e nel contempo permette un recupero dei sottotetti rendendoli abitabili in maniera confortevole.

Analizziamo quindi vantaggi e svantaggio di un intervento di recupero delle coperture in presenza o meno della ventilazione:



Fig. 3.12 Superficie vetrata con comportamento dinamico.

¹² Cfr. P.Gallo, Intervista a Mario Cucinella. *Le coperture: una questione di energia*, in *Costruire in Laterizio* n°116, Faenza Editrice, Marzo/Aprile 2007.

I vantaggi del tetto ventilato nelle situazioni di FREDDO.

In condizioni invernali l'assenza di una camera di ventilazione in copertura, a causa delle temperature esterne basse, può condurre a verificarsi nella struttura del tetto fastidiosi fenomeni di condensa, causa di muffa, umidità e gocciolamenti, diversamente da quanto accade in presenza di un tetto ventilato che in inverno favorisce la circolazione d'aria facendo in modo che il materiale isolante rimanga asciutto, evitando in questo modo la creazione di condense e garantendo la durata nel tempo degli elementi costruttivi del tetto.

Sebbene l'adozione di un tetto ventilato comporti numerosi vantaggi nel periodo estivo, la sola ventilazione del tetto non riesce a garantire il conseguimento di condizioni tali che permettano di evitare il ricorso ad altre tecniche per la climatizzazione dell'ambiente sottotetto (in estate l'uso della ventilazione naturale). Ciò può essere facilmente precisato analizzando che nei periodi di elevata insolazione, in zone particolarmente esposte, il manto di copertura può raggiungere temperature che oltrepassano i 90 °C; ciò fa sì che parte del calore venga smaltita tramite l'espulsione di aria calda grazie appunto alla ventilazione del tetto (*convezione naturale - effetto camino*), mentre una parte di calore viene trasmessa dal manto di copertura allo strato isolante sottostante per re-irraggiamento.

Tale componente, vista l'elevata temperatura del corpo emettente (manto di copertura) e vista la minima distanza che lo separa dall'isolante, è tutt'altro che trascurabile, bensì mette in evidenza quanto la ventilazione del tetto, sebbene indispensabile, deve essere affiancata da opportuni accorgimenti tecnici per garantire sufficienti condizioni di comfort termico negli ambienti sottostanti. Un tetto ventilato in altre parole è un'ottima tecnica per schermare il tetto dai raggi del sole, ma la regolazione ottimale del flusso del calore (ventilazione sottotegola) attraverso le strutture può essere garantita solo da una corretta esecuzione e scelta dei materiali.

Un tetto realizzato 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 inoltre solo alcune delle possibilità d'uso di materiali ecocompatibili per una copertura, senza pensare poi all'utilizzo di materiali naturali per la realizzazione di coperture nei 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.

3.2 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'integrazio-

ne 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 di nuovi rivestimenti.



Fig. 3.14 Esempio di copertura a verde di tipo estensivo.



Fig. 3.15a – 3.15b Esempio di integrazione architettonica – La serra fotovoltaica dell'ospedale A. Meyer di Firenze.

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 necessiti l'integrazione del sistema di produzione dell'acqua calda sanitaria. Qualora si renda necessaria la ricostruzione di tutta la copertura o la sostituzione del materiale, l'integrazione di collettori solari può costituire addirittura parte della nuova copertura. Questo significa che i costi di questa applicazione possono essere parzialmente coperti e recuperati dai costi di riparazione di una copertura disperdente ormai obsoleta.

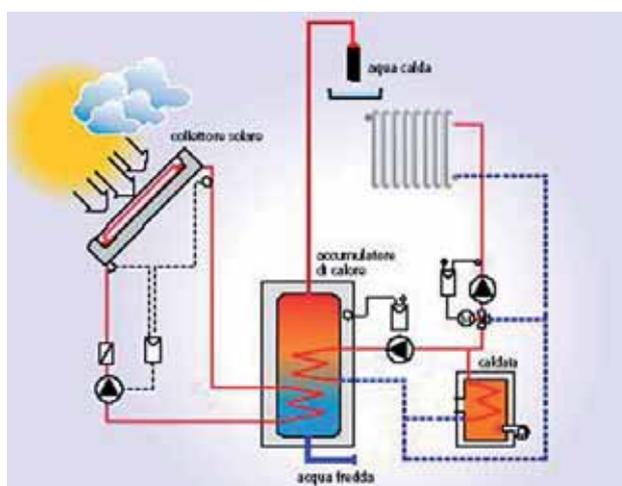


Fig. 3.16 Schema di funzionamento di un collettore solare.

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

- preriscaldare l'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.

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.

Principi di progettazione

I collettori solari, o termici, sono elementi visibili anche se posizionati sul tetto e possono avere forme e dimensioni diverse così come diversi sono i modelli a circolazione naturale o forzata; i primi utilizzano del liquido per consentirne la circolazione del calore all'interno del sistema pannello; in questo caso il serbatoio di accumulo che contiene lo scambiatore di calore deve trovarsi più in alto del pannello. I sistemi a circolazione forzata invece utilizzano una pompa che fa circolare il fluido all'interno dello scambiatore e del pannello; circolazione che avviene quando la temperatura del fluido all'interno del pannello è più alta di quella all'interno del serbatoio di accumulo, che, in questo caso, si trova più in basso dei pannelli. Sistemi di questo tipo sono più complessi dal punto di vista dei controlli e delle apparecchiature impiegate (pompe, sensori di temperatura, valvole a tre vie, centraline di controllo), ma consentono di sistemare il serbatoio di accumulo, anche di grandi dimensioni, praticamente dove si vuole, ad esempio a terra e non sul tetto dove problemi di peso ne renderebbero difficile la collocazione. 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, le particolarità di montaggio, la regolarità delle connessioni e l'impianto di distribuzione.

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.

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 m² 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 m² per appartamento.

3.2.2 Le serre

L'uso della serra integrata nell'edificio è un'importante strategia di progettazione per il risparmio energetico nel recupero edilizio.

Il sistema "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.

La serra può essere considerata quale spazio abitabile, in tal caso è necessario assicurare condizioni di comfort adeguate, con un controllo della temperatura dell'aria, della ventilazione e dell'umidità relativa.

Il principale beneficio che il suo uso apporta consiste nel miglioramento del comfort termico interno, così come nella risoluzione di problemi di umidità negli ambienti adiacenti; inoltre, la presenza di una serra aggiunge spazio utilizzabile durante la maggior parte dell'anno.

Una serra ben progettata può consentire elevati risparmi energetici in quanto, tramite essa, è possibile catturare l'energia solare che si trasforma in calore utile per riscaldare gli ambienti riducendo,

in tal modo, la ventilazione, le infiltrazioni d'aria e le perdite di calore.

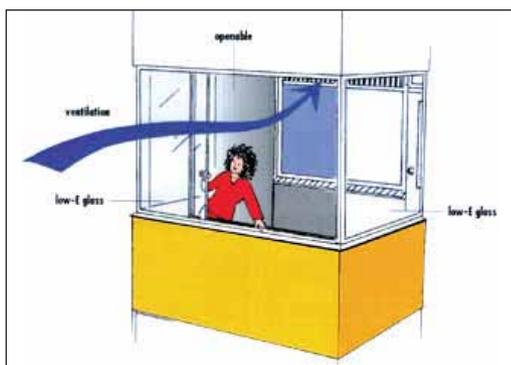


Fig. 3.17 La chiusura dei balconi: tipico esempio di realizzazione di serra.

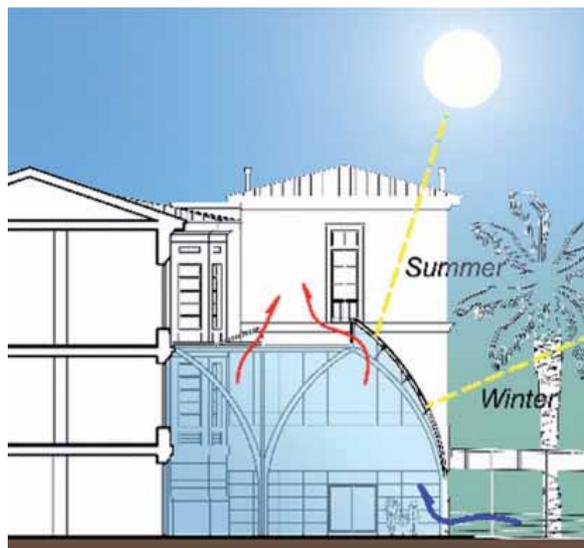


Fig. 3.18a - 3.18b Foto e schemi di funzionamento della serra realizzata per il progetto di recupero di Villa Ognissanti a Firenze, oggi uffici amministrativi dell'ospedale pediatrico A. Meyer.

Opportunità

La costruzione di serre addossate offre un ampio raggio di opportunità per la riprogettazione creativa della facciata restituendo una nuova immagine all'edificio. Per quanto riguarda il risparmio energetico, quello che conta è l'orientamento: una facciata orientata a sud fornisce naturalmente migliori benefici. Le opzioni future ed i vantaggi che l'introduzione delle serre favoriscono sono molteplici: attualmente sul mercato sono sempre più presenti prodotti e strutture prefabbricate di semplice applicazione che favoriscono l'inserimento di sistemi integrati di ventilazione così come di elementi solari attivi quali collettori solari o celle fotovoltaiche.



Fig. 3.19a – 3.19b Esempi di serre addossate.

Principi di progettazione

Le principali caratteristiche per una buona progettazione delle serre sono la profondità, che varierà secondo che queste comprendano l'intera profondità degli ambienti o riguardino un solo ambiente, e la loro integrazione nella facciata, che potrà essere sporgente (addossata) o complanare con la superficie della stessa (incassata). Per queste ultime è consigliato, nel il clima italiano, un rapporto profondità e larghezza compreso tra $1/4$ e non maggiore di $1/2$.

Non solo, ma per ottenere gli effetti desiderati è opportuno:

- usare vetri basso emissivi cioè con caratteristiche minime di trasmissione termica;
- prevedere le aperture dei vetri nel periodo estivo;
- preriscaldare l'aria in entrata per la ventilazione usando sistemi per lo scambio di calore;
- verificare la tenuta degli infissi;
- prevedere un adeguato sistema di ombreggiamento.

Caratteristiche e prestazioni

In inverno il sistema delle serre/spazi tampone svolge il duplice compito di captare l'energia solare, a beneficio degli ambienti retrostanti, e di ridurre le dispersioni termiche dell'alloggio:

- di 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;
- di notte le masse di accumulo restituiscono all'ambiente l'energia termica immagazzinata, mantenendo la temperatura dell'aria a livelli accettabili per un determinato tempo residuo.
- in estate, attraverso l'apertura totale (con la rimozione dei pannelli vetrati) o parziale, le serre costituiscono delle verande coperte che riducono l'irraggiamento solare sulle facciate retrostanti e sugli infissi dell'alloggio, creando ombreggiamento.

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 insieme alla presenza, nello spazio interno, di una pavimentazione di colore chiaro.



Fig. 3.20a – 3.20b Serra realizzata per l'ampliamento di una scuola elementare ad Empoli (FI).

Principi di funzionamento

Le serre addossate riducono fondamentalmente sia le perdite di calore per trasmissione che quelle per ventilazione. L'aria esterna necessaria per condizionare gli ambienti in inverno, 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.

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/m² 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 di circa 35-55 kWh/m².

Benefici sul benessere riguardano naturalmente l'incremento delle temperature medie di circa 5-8° durante la stagione invernale.



Fig. 3.21 La serra come spazio abitabile in cui la presenza di vegetazione può contribuire ad assicurare elevate condizioni di comfort.

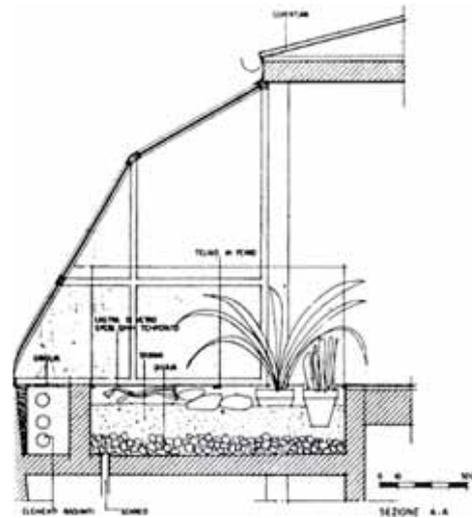


Fig. 3.22 Sezione di una serra: l'uso del verde e la presenza di acqua contribuiscono alla riduzione del surriscaldamento.

3.2.3 Il fotovoltaico¹³

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

¹³ Per i dovuti approfondimenti su questa particolare tecnologia è indicato il volume a cura di L. Ceccherini Nelli "Fotovoltaico in architettura", Alinea Editrice, Firenze 2006.

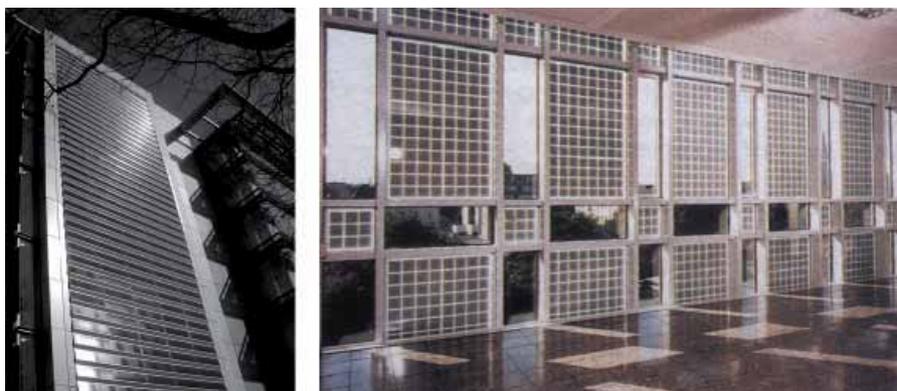


Fig. 3.23a – 3.23b L'integrazione architettonica dei moduli fotovoltaici in facciata può migliorare l'immagine dell'edificio.

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.

Opportunità

L'applicazione del fotovoltaico in edilizia, tecnologia ormai abbastanza matura per questo settore, rappresenta notevoli vantaggi dovuti al ridotto impatto ambientale, alla possibilità di produrre in maniera decentrata l'elettricità rispetto ai luoghi di utilizzo, fino alla flessibilità rappresentata dalla modularità delle realizzazioni possibili. La sua integrazione nel settore delle costruzioni però, se non supportata finanziariamente, non può ancora trovare convenienza laddove l'energia elettrica è già messa a disposizione dalla rete di distribuzione.

Molto è stato fatto per riconoscere il ruolo che questa tecnologia può giocare nelle strategie per il risparmio energetico (si veda i programmi di incentivazione messi in atto da qualche anno anche in Italia) e, nonostante il costo delle celle solari sia diminuito negli ultimi anni, incrementando il mercato, secondo gli esperti siamo ancora lontani dal considerare il fotovoltaico una fonte di energia elettrica a basso costo.

Nonostante queste premesse, l'integrazione dei sistemi fotovoltaici nel recupero degli edifici rappresenta un'interessante novità per la pianificazione energetica dell'edificio e non solo.

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.).

Nel recupero, i moduli fotovoltaici sono elementi strutturali che possono essere sostitutivi di altri materiali (vedi 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 CO₂);
- oltre che essere 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.

L'integrazione del fotovoltaico nelle operazioni di recupero rappresenta inoltre una grande opportunità per la riqualificazione dell'involucro, proponendosi come una innovativa "tipologia" di rivestimento attivo, capace di restituire agli edifici da recuperare un nuovo e significativo aspetto.



Fig. 3.24 Esempio di integrazione architettonica dei moduli fotovoltaici in copertura.

Caratteristiche e prestazioni

I sistemi fotovoltaici offrono molteplici vantaggi: la *semplicità di utilizzo*, l'*affidabilità*, la *modularità* del sistema, l'assenza di *parti in movimento*, la *flessibilità di impiego* in tantissime applicazioni, anche molto diverse fra loro, la generazione elettrica senza emissione di inquinanti o di rumore, sono caratteristiche che, unitamente alla particolare forma e struttura dei moduli fotovoltaici, rendono questa specifica tecnologia per lo sfruttamento energetico rinnovabile particolarmente adatta all'integrazione negli edifici in ambiente urbano.

Principi di progettazione

Un impianto fotovoltaico è costituito da una matrice di moduli (insieme di singole celle solari connesse elettricamente) collegati in serie per raggiungere i livelli di tensione elettrica adatti all'allaccio agli inverter¹⁴; si ottengono così le

¹⁴ Da Wikipedia enciclopedia libera: "un inverter è un apparato elettronico in grado di convertire un tipo di corrente in un altro e/o modificarne le caratteristiche, eventualmente a tensione diversa, oppure una corrente alternata in un'altra di differente frequenza".

stringhe, ovvero una catena fatta di un numero variabile di moduli che dipende principalmente dal tipo di inverter che si desidera utilizzare.

Che sia installato sulla copertura o in facciata, in maniera tale da fornire la quantità di energia necessaria per alimentare le attrezzature elettriche, per disporre di 1 kWp¹⁵ sono necessari circa 10 mq di fotovoltaico in silicio policristallino. Considerando che la potenza elettrica richiesta per un uso residenziale è di 3 kW, per ottenere l'autosufficienza (senza contare i problemi di efficienza) sono necessari circa 25 mq di superficie per far funzionare gli apparecchi elettrici principali di una abitazione (lampade, elettrodomestici, ecc...).



Fig. 3.25 Integrazione di un sistema fotovoltaico per la copertura di una corte interna.

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, più elevata sarà la quantità di energia che esce dai morsetti di una singola cella.

È importante, in ogni caso, 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).

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

¹⁵ La potenza elettrica degli impianti fotovoltaico viene espressa in kWp (kW di picco) per sottolineare che tale potenza è quella che l'impianto è in grado di erogare in condizioni standard.

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 sarà consumata nei prossimi 25 anni.

Nel caso di sistemi fotovoltaici integrati direttamente negli edifici e collegati direttamente alla rete in bassa tensione, le ipotesi di costo per un impianto sono: IMPIANTO DA 3 KW (per privato)

Superficie impegnata: circa 24 mq (18 moduli in policristallino)

Costo indicativo dell'impianto chiavi in mano: 23.000,00 € (IVA 10% inclusa)

Costo effettivo dell'impianto sfruttando la detrazione IRPEF del 36% per ristrutturazioni edilizie: 14.720,00 €

PRODUCIBILITÀ ANNUA	NORD ITALIA: 3300 kWh (SCATTI)	SUD ITALIA: 4300 kWh (SCATTI)
Remunerazione annua media per CONTO ENERGIA alla tariffa di 0,445 €/kWh:	1.468,00 €	1.913,00 €
Risparmio annuo sulla bolletta energetica del gestore (assumendo un costo medio di 0,12 €, in sensibile aumento a causa del costo del petrolio):	396,00 €	516,00 €
Beneficio economico annuo complessivo attualizzato.	1.864,00 €	2.429,00 €
il decreto prevede che la tariffa incentivante del Conto Energia venga ridotta del 30%		
Remunerazione annua media	1.028,00 €	1.339,00 €
Beneficio economico annuo	1.424,00 €	1.855,00 €

Nord Italia: Il tempo di ritorno dell'investimento è in questo caso pari a 11 anni. Essendo la remunerazione garantita per 20 anni, nei successivi 9 anni si avrà un guadagno netto attualizzato di 10.423,00 €. Successivamente l'impianto continuerà ad evitare il costo della bolletta elettrica (almeno 396,00 € l'anno). Nel sud, essendo maggiore il rendimento del sistema dovuto all'incremento delle ore di sole a disposizione unitamente alla potenza espressa, il tempo d'investimento previsto si riduce. A parte gli aspetti puramente architettonici ed estetici, che vanno accuratamente studiati, l'integrazione del fotovoltaico negli interventi di recupero 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 varia secondo le ditte fornitrici, il tipo di pannello e le quantità trattate.

Non è comunque una operazione corretta volere indicare con esattezza il costo di un impianto fotovoltaico; ogni caso è a sé stante, poiché possono incidere vari fattori, a cominciare da problematiche legate a vincoli di tipo urbanistico-paesaggistico, oppure a vincoli strutturali (tetto e coperture non in buone condizioni) o ancora a vincoli particolari quali impossibilità di accedere alla copertura, o ancora particolarità del sito in cui si vanno ad installare i pannelli. Insomma, vi sono molteplici varianti che possono incidere sul costo dell'impianto.

Negli ultimi venti anni c'è stata, comunque, 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, parametro che oggi rappresenta 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.

3.2.4 Nuovi rivestimenti: l'isolamento trasparente mediante i TIM (Transparent Insulation Material)

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, esistono nuovi materiali oggi sul mercato provenienti direttamente dal grado di perfezionamento delle tecniche produttive e di ricerca applicata, così elevato da riuscire a trasformare un materiale, agli inizi funzionale solo ad un determinato tipo di prestazione (come ad esempio il vetro per l'ingresso della luce) in un filtro dinamico, sensibile agli stimoli ambientali e umani, capace di unire il livello di comfort al risparmio energetico e ai benefici ambientali.

L'uso dei materiali isolanti trasparenti infatti combina la riduzione delle perdite di calore con la possibilità di catturare energia solare lasciando passare la radiazione luminosa, nei casi in cui questi materiali non sono associati ad una componente opaca.

Si tratta delle tipologie di vetrate a trasmissione variabile TIM (Transparent Insulation Materials) che possono essere costituite da:

- aerogel omogenei o granulari di natura inorganica: a struttura porosa ed igroscopici, con un coefficiente di trasmissione solare superiore all'80% e un coefficiente di trasmissione termica molto basso, variabile a seconda del procedimento di preparazione e dello spessore;

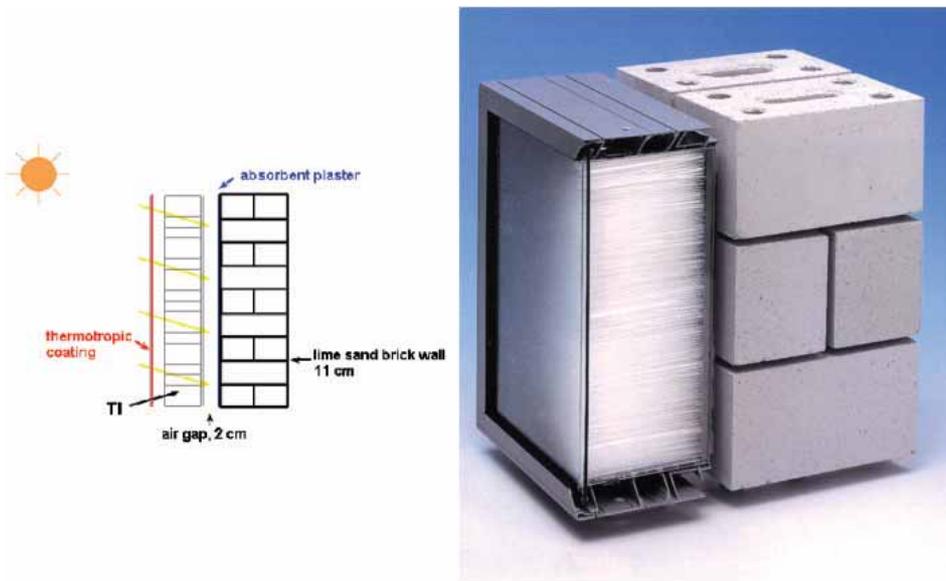


Fig. 3.26a – 3.26b Sistema traslucido TIM con elevate prestazioni di isolamento termico.

- policarbonati o polimetilmetacrilati a struttura a nido d'ape di natura organica realizzate con una serie di fibre in materiale plastico o vitreo che nel contempo hanno ottime proprietà di trasmissione della luce (90% per incidenza normale) e di isolamento termico.

Sono quindi componenti ad isolamento trasparente capaci di ottenere un buon comfort luminoso legato al comportamento diffondente della luce, che però non consentono la visione all'esterno, quando sono accoppiati ad elementi opachi di accumulo; soluzione appropriata invece in caso di interventi di recupero di murature poco o totalmente non isolate, che all'incremento delle prestazioni dell'involucro, offre una buona riqualificazione formale del paramento esterno laddove necessaria.



Fig. 3.27 Esempio di applicazione del sistema di isolamento trasparente.

In molti casi si ricorre al TIM anche per l'illuminazione naturale da applicare in sostituzione delle finestre o di intere facciate: questa seconda soluzione combina le proprietà di un eccellente isolamento con un'elevata capacità di trasmissione della luce naturale e dell'energia solare.

Opportunità

Il TIM, utilizzato come isolante termico, riassume in sé il nuovo concetto di conservazione e guadagno energetico. Questi componenti vetrati, pur consentendo alti valori di trasmissione luminosa, presentano proprietà isolanti termiche paragonabili a quelle degli elementi opachi. La trasmittanza termica di un sistema TIM risulta, infatti pari a $0,80 \text{ W/m}^2\text{K}$, rispetto ai $5,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ di un vetro tradizionale. L'elemento è solitamente costituito da due lastre vetrate, con spessore variabile, che racchiudono una struttura a nido d'ape costituita da tubi capillari traslucidi o bianchi posizionati nell'intercapedine di circa 50 mm.

Come materiale isolante 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, può ridurre la domanda di energia elettrica per l'illuminazione artificiale, contribuire alle necessità di riscaldamento dell'edificio con il guadagno solare diretto e nel contempo isolare meglio l'involucro.

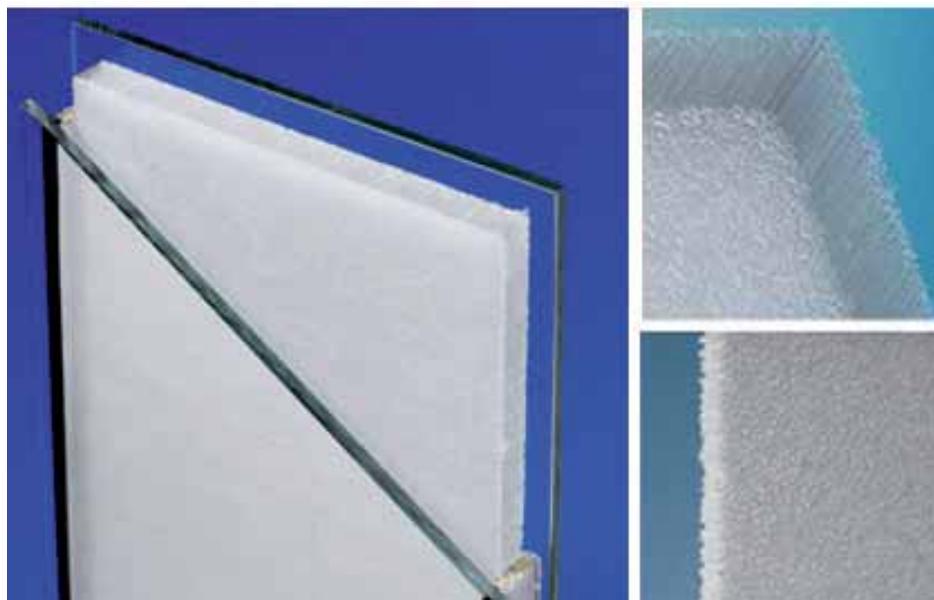


Fig. 3.28a – 3.28b – 3.28c La struttura a nido d'ape del TIM.

Principi di progettazione

Da un punto di vista costruttivo il componente TIM, 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 TIM, 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.

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.

Costi e benefici

Un sistema di isolamento trasparente, se correttamente progettato e installato, può ridurre la domanda energetica annuale di circa 65-100 kWh/m² (se installato a sud). L'elevata efficienza del sistema in ogni caso 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, può variare dai 500,00 ai 900,00 €/m² di area muro, quello di elementi prefabbricati da 450 a 650 €/m² mentre un sistema composito TIM/intonaco varia tra i 200,00 e i 250,00 €/m².

Naturalmente questo costo ne limita l'utilizzazione; i benefici attuabili tuttavia, in termini di comfort ambientale e risparmio energetico, risultano importanti e sostanziali.

3.3 Il raffrescamento passivo

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

Un approccio progettuale che tenga presente il raffrescamento passivo 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 CO₂ nell'atmosfera).

I principi per controllare il surriscaldamento degli edifici negli interventi di recupero sono i seguenti:

- minimizzare i guadagni di calore interni ed esterni;

- modulare e sfasare i guadagni di calore
- rimuovere il calore accumulato.

Nel dettaglio è possibile:

1. proteggere l'edificio dai guadagni di calore proveniente dall'irraggiamento solare e dal calore ambientale gratuito controllando:
 - l'isolamento termico dell'involucro (vedi paragrafo 3.1.2 sull'involucro);
 - l'ombreggiamento delle superfici trasparenti (vedi paragrafo 3.3.1 sulle schermature);
 - i guadagni termici (inerzia termica) anche mediante interventi sul contesto.
2. modulare i guadagni termici adottando strategie di "smorzamento" e di "sfasamento" dei carichi termici nell'arco della giornata spostandolo verso l'esterno;
3. dissipare il calore mediante le tecniche di raffrescamento passivo secondo i principali processi di:
 - raffrescamento radiativo;
 - raffrescamento evaporativo;
 - raffrescamento convettivo.

Le tecniche di abbattimento mediante dissipazione e/o trasferimento del calore (*raffrescamento passivo*), si adottano quando le misure di prevenzione e modulazione non bastano al controllo del guadagno termico; può essere il caso quindi degli interventi sull'edilizia esistente, quando la massa termica della struttura, da sola, non riesce a modulare ed attenuare i picchi di temperatura interna, così come non riesce a ridurre il flusso termico che raggiunge l'interno re-irradiando all'esterno, durante le ore serali e notturne, il calore accumulato. Oltre alla suddivisione riportata, è possibile fare un'altra distinzione tra sistemi di raffrescamento passivi *diretti* ed *indiretti*. I primi sono quelli che migliorano le condizioni di comfort interne agendo direttamente sulla qualità dell'aria (sostanzialmente immettendo aria più fresca); i secondi, invece, sono quei sistemi che non interferiscono con la qualità dell'aria indoor, quali ad esempio il raffrescamento radiativo ed il controllo solare.

TIPO DI RAFFRESCAMENTO	TECNICA DI VENTILAZIONE		POZZO TERMICO	SISTEMA DI DISTRIBUZIONE	
	rispetto all'uso	rispetto al moto		in rapporto allo spazio	in rapporto alla fonte energetica
MICROCLIMATICO	corporea	passante orizzontale e verticale	aria esterna	diretta	naturale
	ambientale			diretta	naturale
	strutturale			diretta	naturale/ibrida
GEOTERMICO	ambientale	attraverso condotti interrati	terreno	diretta	naturale/ibrida
		a caduta		indiretta	ibrida
EVAPORATIVO	ambientale	attraverso una ventilante	acqua	diretta	naturale/ibrida
				indiretta	
RADIATIVO	ambientale/strutturale	attraverso collettori	cielo notturno	diretta	ibrida
				indiretta	

Fig. 3.29 Tipologie di raffrescamento passivo – Tecniche e sistemi per la distribuzione.

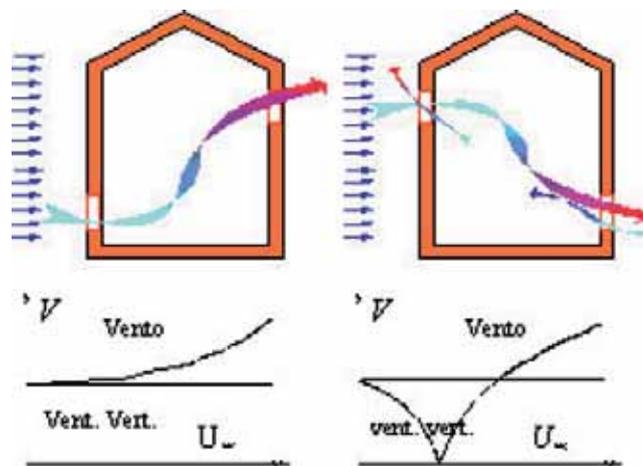


Fig. 3.30 Sinergie e contrasti tra vento e ventilazione verticale.

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 (soprattutto quelli di carattere storico), presentano murature con spessori superiori ai 30 cm. e, quindi, con una buona capacità termica aerea. Nel caso contrario, per evitare incrementi di temperatura superiori al livello di comfort, sarà necessario aumentare la capacità termica della struttura dell’involucro esistente mediante l’aggiunta di un isolamento a “cappotto”. Si dovrà inoltre 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 l’involucro).

Per diminuire il carico termico sulle coperture si potrà intervenire, nel caso di copertura inclinata, adoperando un “tetto ventilato” costituito cioè da una doppia orditura della struttura al fine di creare una camera d’aria che, riscaldandosi, crea un flusso ascensionale eliminando nel colmo ogni surriscaldamento della struttura.

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. Il cielo sereno notturno può quindi diventare un pozzo di calore per la radiazione emessa dalle superfici del tetto dell’abitazione che così si trova a scambiare calore radiativamente con lo spazio che si trova a temperatura più bassa.

In questo ambito, citiamo l'esperienza dei "cool roofs" (tetti freddi), sistemi realizzati da coperture capaci di riflettere la radiazione solare incidente ed emettere energia termica nel campo dell'infrarosso. La realizzazione di un "tetto freddo" avviene sostanzialmente applicando sulla superficie esterna della copertura un colore molto chiaro con carattere non metallico. Questo tipo di applicazione può essere impiegato sia per limitare il surriscaldamento estivo degli edifici che per il controllo dell'isola di calore che si verifica in zone densamente urbanizzate. In questi ultimi anni si sta sviluppando, soprattutto negli U.S.A., un fiorente giro di affari, non solo sulle opere di installazione di questo sistema, ma anche sull'ottimizzazione dei materiali di rivestimento per le coperture e sulle attività di valutazione tecnico-economica e di attestazione delle proprietà emissive di tali materiali, sia nel caso di prodotto nuovo che invecchiato. È riduttivo infatti pensare che un *cool roof* si ottenga semplicemente verniciando con un colore chiaro la superficie di un tetto, poiché la relazione tra l'aspetto esteriore e i valori delle proprietà emissive non è banale, così come vanno adeguatamente considerate una serie di problematiche quali la resistenza al degrado e al deterioramento chimico-fisico e l'impatto visivo.

- **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) che raffreddandosi trasmette all'edificio o alla massa di accumulo il carico di raffrescamento. E' questo il caso del *roof pound* che prevede l'aggiunta di una massa di accumulo sul tetto, rappresentata da serbatoi d'acqua; un sistema questo per aumentare la capacità termica del sistema. Gli svantaggi applicativi sono soprattutto i costi d'installazione e l'utilizzo limitato agli ambienti sottostanti il tetto, quindi 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 il pannello è schermato 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. Tali sistemi, come i precedenti, hanno finora incontrato poco successo negli interventi di retrofitting per i costi elevati di installazione, gestione e manutenzione.

Raffrescamento convettivo

Il raffrescamento convettivo si traduce nello sfruttamento della ventilazione notturna; questo sistema diventa particolarmente efficiente nelle località caratterizzate da una notevole escursione termica giornaliera, nelle quali le temperature notturne scendono in maniera considerevole.

L'aria fresca notturna può essere immessa all'interno degli ambienti per rimuovere il calore accumulato dalle strutture e in maniera tale da realizzarne un pre-raffrescamento per il giorno successivo.

Perché il processo funzioni correttamente deve esistere una corrispondenza di distribuzione tra il percorso dell'aria e il posizionamento degli ambienti, in maniera tale che questi non diventino un ostacolo per il flusso dell'aria.

Per l'attivazione di questo sistema possono essere adottati sistemi di apertura automatica dei serramenti, per regolare sia il flusso d'aria che la temperatura interna e per ottenere un raffrescamento adeguato evitando un indesiderato sottoraffreddamento.

Deve inoltre essere definita in maniera corretta la posizione degli infissi tra zone sopra e sotto vento, in maniera tale da garantire il moto convettivo dell'aria, o assicurare lo stesso sfruttando ad esempio l'effetto camino.

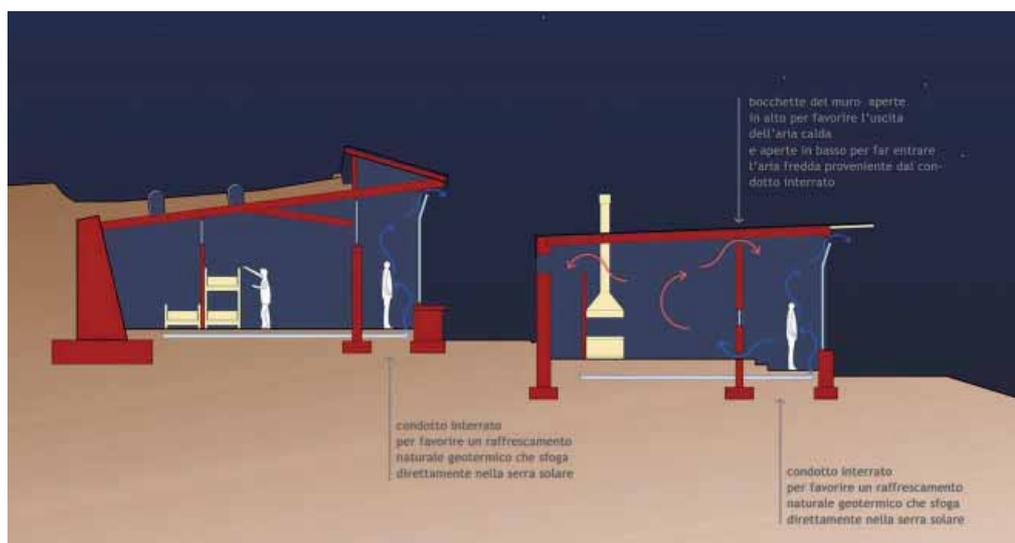


Fig. 3.31 Esempio di schema per la ventilazione notturna.

Raffrescamento evaporativo

Il raffrescamento evaporativo prevede lo sfruttamento del potenziale di raffreddamento associato all'evaporazione dell'acqua la quale, cambiando di stato, sottrae calore all'ambiente. Il raffrescamento ottenibile è comunque funzione del livello di umidità dell'aria: se c'è né troppa l'abbassamento di temperatura ottenibile è di qualche grado, mentre se l'aria è molto secca ($UR < 30\%$) la differenza di temperatura raggiungibile può oscillare tra i 10-12 °C. L'utilizzo di questa strategia in maniera ottimale deve inoltre prevedere una corretta ventilazione degli ambienti al fine di evitare un sovra-umidificazione.

Le torri del vento diffuse storicamente soprattutto in Iran, Egitto e Pakistan, avevano alla base giare di materiale poroso o vasche fornite di fontane per

raffrescare l'aria attraverso l'evaporazione; questo sistema può essere sfruttato in maniera effettivamente passiva, predisponendo specchi d'acqua negli spazi tra gli ambienti, ad esempio in corti interne, o utilizzando sistemi di nebulizzazione. In questo secondo caso si tenga presente che l'efficacia del sistema è funzione del diametro delle gocce (per l'ottenimento di gocce di piccole dimensioni è necessario raggiungere pressioni elevate dato che per nebulizzare un litro d'acqua sono necessarie 7.000 miliardi di gocce con un diametro di 15 μm): al suo diminuire, infatti, aumenta la superficie di scambio e quindi l'efficienza del sistema.

Raffrescamento per scambio termico con il terreno

Il terreno rappresenta un eccellente “moderatore” delle fluttuazioni termiche. L'enorme inerzia termica del suolo consente infatti lo sfasamento e lo smorzamento delle onde termiche superficiali: la temperatura media del terreno rimane pressoché costante durante tutto l'anno e varia a seconda della profondità, delle caratteristiche del terreno e delle condizioni climatiche.

Questa sorgente di energia termica a temperatura costante può quindi essere sfruttata sia per il riscaldamento che per il raffrescamento degli edifici. Una soluzione efficiente che implica un consumo limitato di energia è quella di realizzare pannelli radianti alimentati con l'acqua raffreddata con sonde geotermiche, ottenendo così un raffrescamento diretto che comporta l'utilizzo di energia elettrica solo per il funzionamento della pompa di circolazione. In fase di riscaldamento è possibile accoppiare questo sistema ad una pompa di calore aumentandone le prestazioni.



Fig. 3.32 Esempio di canalizzazioni sotterranee per la ventilazione.

- Canali sotterranei: si tratta di fare raffreddare 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 raffreddamento. 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

Durante i periodi caldi dell'anno, molteplici sono i fattori che concorrono a creare condizioni ambientali interne non confortevoli, tra i quali: la temperatura esterna, la radiazione solare e i guadagni interni gratuiti (dovuti alla presenza di persone e alle apparecchiature utilizzate). Le strategie per ridurre tali fenomeni non sempre sono ininfluenti 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 sue caratteristiche architettoniche. Il tipo, la dimensione e il posizionamento di un sistema di schermatura dipenderanno dal tipo di radiazione solare da schermare (diretta, diffusa o riflessa). Il componente riflesso è generalmente quello più facilmente controllabile (ad esempio 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 naturalmente l'edificio, è necessario bloccare l'ingresso dei raggi durante tutto il periodo più caldo dell'anno. La scelta di un sistema di schermatura ideale bloccherà al massimo la radiazione solare mentre permetterà la vista e consentirà alla brezza di entrare attraverso le finestre. Una scelta sapiente ed un corretto dimensionamento del sistema di schermatura consentono quindi un significativo controllo degli apporti termici dovuti alla radiazione solare incidente, sia su una superficie opaca che su una trasparente. Molti sono i

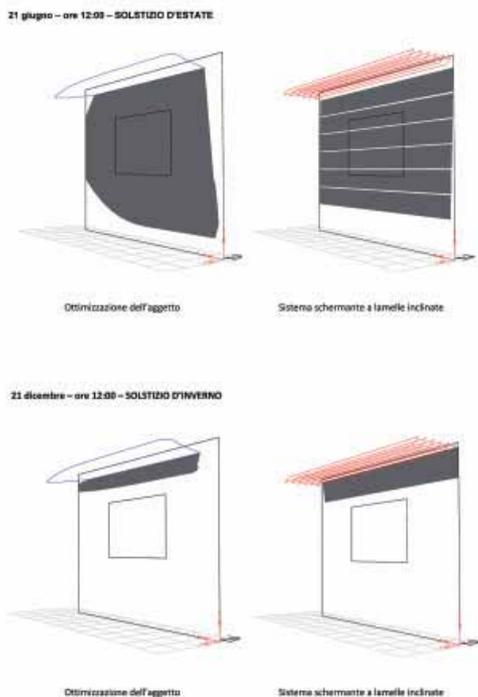


Fig. 3.33 Studi per la scelta del sistema di ombreggiatura ottimale.

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 scelte architettoniche adeguate e soluzioni tecniche orientate in modo da rendere più efficace l'azione rinfrescante e risparmiare così energia elettrica; di qui una tendenza sempre più diffusa ad applicare strutture di protezione anche agli ambienti dotati di aria condizionata. Nell'ottica di un'acquisizione di queste particolari difese contro l'irraggiamento solare è necessario considerare ideali quelle strutture che permettono di intercettare i raggi solari dall'esterno prima che essi colpiscano l'involucro. La produzione di sistemi di schermatura artificiali, quali ad esempio i frangisole, è piuttosto ampia ed il suo repertorio si differenzia per materiali e forme: le soluzioni sono molteplici ed alcune si basano su un semplice elemento schermante, mentre altre sono il frutto di un vero e proprio studio trigonometrico delle diverse posizioni del sole durante tutto il periodo dell'anno e a tutte le latitudini.

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 rappresentare elementi espressivi del linguaggio architettonico, caratterizzando l'involucro dell'edificio;
- costi/benefici. L'eventuale costo aggiuntivo può essere recuperato in breve tempo considerando il risparmio energetico sul raffrescamento e la riduzione del carico elettrico dovuto all'illuminazione artificiale.

Le schermature artificiali, sono classificabili dal punto di vista funzionale, secondo le seguenti variabili:

- obiettivo: che determina la percentuale di oscuramento da ottenere (controllo del campo luminoso o dell'intero spettro);

- geometria: determinata dall'esposizione e dalle esigenze di illuminazione (schermo orizzontale, verticale, continuo, discontinuo, ...);
- posizione: rispetto al componente vetrato (interna, esterna, nell'intercapedine);
- mobilità e gestione: per consentire attraverso lo scorrimento (orizzontale, verticale, a rotazione, ecc...) di modulare l'apporto della radiazione luminosa (schermo fisso, mobile, manuale, automatico, ...);
- materiale: con la scelta di materiali che secondo le loro caratteristiche contribuiscono alla riflessione e/o assorbimento della radiazione solare.

Negli interventi di recupero sull'esistente, la scelta delle variabili sopra individuate per l'uso degli elementi schermanti (frangisole) consente non solo di migliorare le prestazioni dell'edificio rispetto alla problematica del surriscaldamento estivo, ma offre nel contempo la possibilità di definire dal punto di vista architettonico una nuova configurazione dell'involucro, con l'aggiunta di elementi caratterizzanti che confluiscono all'edificio una ritrovata "qualità", spesso diluita nel tempo dal degrado.

Analizziamo ora quali sono le principali caratteristiche determinanti la scelta delle schermature per un intervento di recupero, in funzione degli obiettivi e delle condizioni specifiche in cui si trova il progetto.

Schermature fisse

La categoria dei sistemi fissi di schermatura comprende tutti gli elementi strutturali quali i balconi e tutti gli aggetti o elementi non strutturali quali i tendoni esterni, le tende alla veneziana, gli scuri, e gli schermi.

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

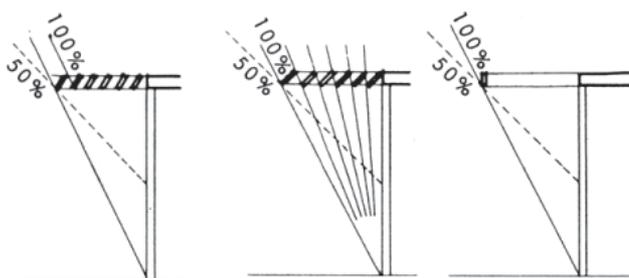


Fig. 3.34 Dimensionamento della schermatura esterna fissa.

Ogni orientamento andrà quindi valutato separatamente, esaminando le variabili dovute a: radiazione diretta, diffusa o riflessa e radiazione solare globale.

Generalmente, gli elementi schermanti fissi 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; nella progettazione, l'angolo di inclinazione terrà inoltre conto della direzione dei raggi solari rispetto a ciascuna

facciata nei diversi momenti della giornata. Ciò equivale a dire in particolare che la schermatura orizzontale sulle finestre esposte a sud è ideale perché alle nostre latitudini in inverno a mezzogiorno il sole le colpisce in pieno ed è basso sull'orizzonte; questo significa che la radiazione solare non viene schermata dagli oggetti orizzontali e può penetrare all'interno attraverso le finestre ed essere accumulata sotto forma di calore. In estate, al contrario, quando a mezzogiorno il sole colpisce queste stesse pareti a sud, la radiazione solare è fortemente angolata e viene così bloccata dagli oggetti orizzontali prima di colpire le superfici.

Le schermature fisse verticali invece hanno un impiego ridotto rispetto a quelle orizzontali ed il loro utilizzo è efficace solo per schermare le pareti esposte prevalentemente ad est e ad ovest; questo perché bloccano principalmente la radiazione molto inclinata, che in estate si ha solo nelle prime e ultime ore del giorno sui fronti est ed ovest dell'edificio.

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 e disperdere così l'energia assorbita dalle schermature nell'aria esterna. Se progettati correttamente, questi sistemi riescono ad oscurare le aperture selettivamente per impedire il passaggio dei raggi solari diretti, senza però impedire la visione all'esterno.

Quando sistemati all'interno (nel caso di tende e/o scuri) la radiazione solare attraversa la superficie trasparente e penetra all'interno provocando un riscaldamento nell'ambiente, con conseguente riduzione dell'effetto schermante di circa un terzo.



Fig. 3.35a – 3.35b Esempi di schermatura esterna fissa.

Schermature mobili

I sistemi mobili di schermatura sono caratterizzati da un comportamento dinamico e flessibile che consente di adattarli al meglio alle condizioni climatiche esterne; per questo motivo risultano, generalmente, più efficaci dei sistemi di ombreggiamento fissi, anche se richiedono, rispetto a questi ultimi, un minimo di manutenzione in più. La possibilità di adattare la posizione degli schermi alle diverse condizioni climatiche consente di massimizzare i guadagni termici in inverno e ridurli in

estate. Infatti utilizzando un sistema di ombreggiamento che si possa orientare a seconda della variazione del raggio di incidenza (frangisole a lamelle rotanti) ci consente, oltre alla schermatura nelle stagioni di massimo soleggiamento, la totale penetrazione nelle stagioni (prevalentemente in inverno) durante le quali è opportuno che la radiazione solare colpisca le superfici dell'involucro.

Uno dei sistemi più diffusi di schermatura mobile (oltre a quello classico del rotolante o "tapparella") è quello costituito da lamelle (tende alla veneziana) o pale (lame di grandi dimensioni), che in estate sono posti a completa chiusura degli elementi vetrati, e riflettono la radiazione solare verso l'esterno; in inverno, invece, lasciano completamente scoperte le superfici vetrate consentendo alla radiazione solare di raggiungere l'ambiente interno. La struttura di supporto di questi elementi è, generalmente, staccata dal resto dell'edificio; si viene quindi a creare un secondo involucro, leggermente distanziato da quello principale, che favorisce la canalizzazione dell'aria tra le due superfici e la dissipazione del calore. Questi sistemi, detti *veneziane* consentono quindi contemporaneamente la ventilazione e l'ombreggiamento permettendo di riflettere la luce naturale nelle varie direzioni, ad esempio verso il soffitto.

Altri tipi di frangisole mobili sono quelli costituiti da elementi in lamiera forata che sovrapponendosi garantiscono differenti tipi di ombreggiatura, variabile in percentuale a seconda delle forature lasciate libere dalla sovrapposizione. I raggi del sole, in tal modo, filtrano in modo diffuso creando particolari giochi di luce ed ombre.



Fig. 3.36a – 3.36b Esempi di schermature mobili esterne.

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 sistema schermante, se da una parte rappresenta un vantaggio (consente di regolare a piacimento

l'ingresso della radiazione solare) dall'altra, non risolve il problema del carico termico dovuto al fatto che la radiazione solare incidente non viene intercettata prima di colpire la superficie vetrata, problema particolarmente rilevante specialmente per le pareti esposte ad ovest. Le veneziane interne, soprattutto se presentano una superficie riflettente, sono, comunque, in grado di ridurre questo "effetto serra", anche se questi dispositivi sono spesso poco graditi dagli utenti che li considerano elementi di ostacolo per la visione dell'esterno.

I sistemi di schermatura interni - quando compresi nell'intercapedine tra due vetri - offrono il vantaggio di essere generalmente più economici, ovviamente si orientano e si sistemano con più facilità di quelli fissi e possono essere utili per mantenere anche un elevato livello di privacy.

Schermature esterne

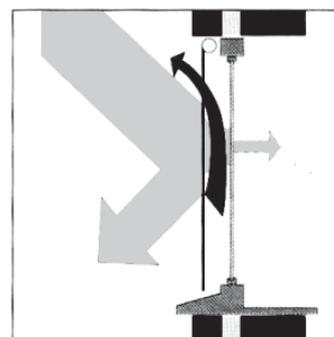
Il posizionamento delle schermature all'esterno della superficie, trasparente e/o opaca, rende questi sistemi molto efficaci per ridurre il carico termico: sono capaci di dissipare all'esterno la parte della radiazione solare assorbita. In questo modo si ottiene un incremento di quasi il 30% dell'efficacia rispetto ai sistemi interni, anche se questi ultimi presentano il vantaggio di essere spesso più economici e più facili da regolare manualmente.

Gli schermi, se regolati automaticamente, da un lato migliorano le prestazioni aumentando l'efficienza, dall'altro fanno aumentare i costi di installazione e di manutenzione.

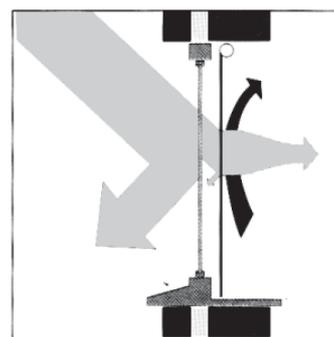
Le schermature esterne, fisse o mobili che siano, se progettate attentamente e verificate in base al comportamento dell'edificio rispetto all'esposizione e ai percorsi solari, possono risultare ottimi strumenti di controllo termico in quanto migliorano il grado di comfort interno, favorendo nel contempo un notevole risparmio energetico, oltre a dare all'edificio, nel caso di applicazione a-posteriori rispetto alla costruzione, un nuovo aspetto, a volte migliore.

Il sistema shadovoltaic

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



External shading devices.



Internal shading devices.

Fig. 3.37 Il diverso posizionamento dell'elemento schermante (posto all'interno o all'esterno della superficie vetrata) influisce sul rendimento energetico dell'intero sistema.



Fig. 3.38a – 3.38b L'elemento schermante integrato nell'involucro edilizio.

Si tratta di sistemi (ad elementi trasparenti) che oltre a controllare la radiazione solare, integrano sulla propria superficie celle fotovoltaiche: con questi sistemi, un'intelligente manipolazione e un sapiente controllo dei movimenti di rotazione possono evitare o consentire l'ombreggiatura a seconda delle esigenze. In particolare, se gli elementi fotovoltaici sono traslucidi si ottiene all'interno dell'edificio un piacevole effetto di luce diffusa.

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

- **raffrescamento naturale:** le celle fotovoltaiche vengono installate su una struttura aperta su entrambi i lati; situazione che favorisce la ventilazione, la circolazione dell'aria e il raffrescamento della superficie retrostante sulla quale vengono montati;
- **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* vedi paragrafo 3.5):** 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.

È possibile inoltre rifinire le superfici non coperte dalle celle, in vari modi e con vari colori, affiancando, 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* diventa quindi uno strumento utile per esprimere al meglio la creatività dei progettisti riuscendo nel contempo ad ottenere un risparmio energetico sul trattamento e sul condizionamento dell'aria dovuto alla riduzione del surriscaldamento degli ambienti interni, e offrendo infine la possibilità di generare energia.



Fig. 3.39a – 3.39b Il sistema Shadovoltaic verticale ed orizzontale.

3.4 La ventilazione

Le condizioni di comfort termoisometrico in un edificio non dipendono dalla sola temperatura dell'aria interna, ma da un'interazione di 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 termoisometrico.

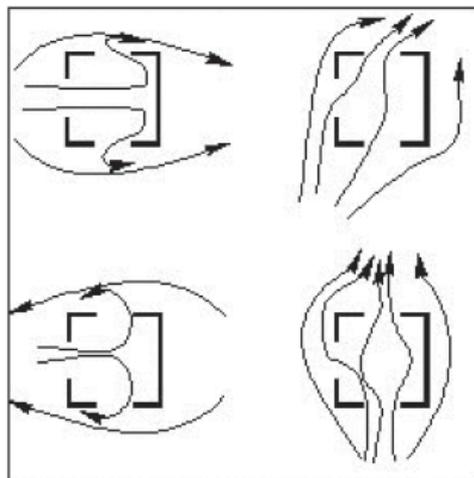


Fig. 3.40 Variazione dei flussi d'aria all'interno degli edifici in funzione della diversa direzione del vento.

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 poste in alto.

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

Nell'intervento sull'esistente è bene però non trascurare anche una valutazione a scala urbana, per potenziare le peculiarità climatiche del sito nel quale si opera; in questo senso, sarà importante individuare i dati relativi ai venti prevalenti estivi e invernali insistenti sull'area (velocità, direzione, frequenza) in modo da poterli sfruttare al massimo e potenziarne le capacità di raffrescamento con strategie che ne aumentino l'efficacia.

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.

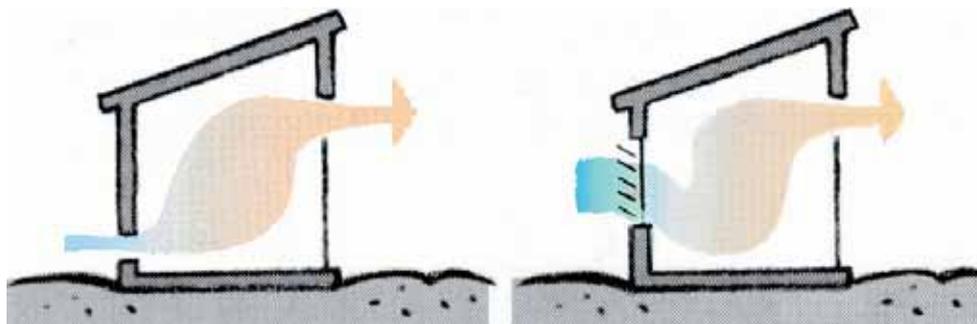


Fig. 3.41 Variazione dei flussi d'aria in funzione del diverso posizionamento delle aperture.

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 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.

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 recupero, 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 un'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". Nel caso di 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).

Infine, 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.

Simulazioni eseguite in galleria del vento hanno definito i seguenti criteri di posizionamento delle aperture all'interno degli ambienti, al fine di ottenere una buona ventilazione naturale:

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

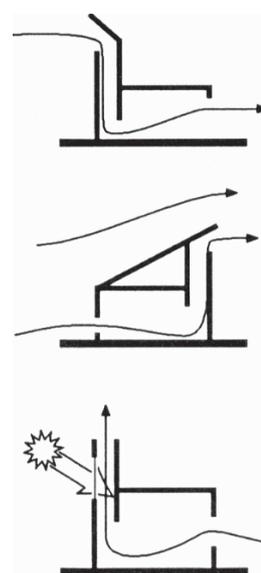


Fig. 3.42 Schema della torre del vento ad "effetto camino".

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% di superficie finestrata rispetto alla 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 d'aria dovrebbe essere diversa perché l'entità quantitativa di ventilazione è principalmente funzione dell'apertura più piccola. Infatti, se un'apertura è più piccola, questa dovrebbe essere quella di entrata dell'aria, perché massimizza la velocità del flusso di aria esterna; è infatti la componente velocità che ha l'effetto più importante sul comfort.

L'ubicazione dell'entrata d'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.

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 sopravento 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.

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 recupero dell'esistente.

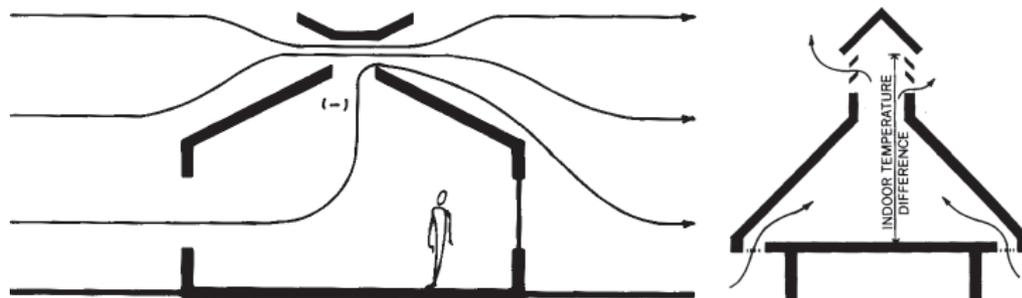


Fig. 3.43 Esempio di deviazione del flusso d'aria dovuto alla presenza di un'apertura a soffitto.

3.4.5 Gli aggetti

Gli aggetti verticali posizionati al fianco delle aperture, possono migliorare la ventilazione perché provocano una diversa distribuzione della pressione, con effetti positivi per venti a 45° rispetto al muro della finestra, mentre hanno minori benefici per venti frontali.

È comunque importante notare che ciascuna finestra deve avere solamente un aggetto verticale.

Il posizionamento di finestre su una facciata, determina la quantità ma anche la direzione iniziale dell'aria entrante nell'edificio. La disposizione della finestra fuori del centro del muro consente una deviazione iniziale del flusso d'aria, perché la pressione positiva è più grande su un 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 invece 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 raffreddamento 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.

Questa strategia di raffreddamento è molto efficace in climi che presentano forti escursioni diurne estive (non inferiore ai 5/4 °C).

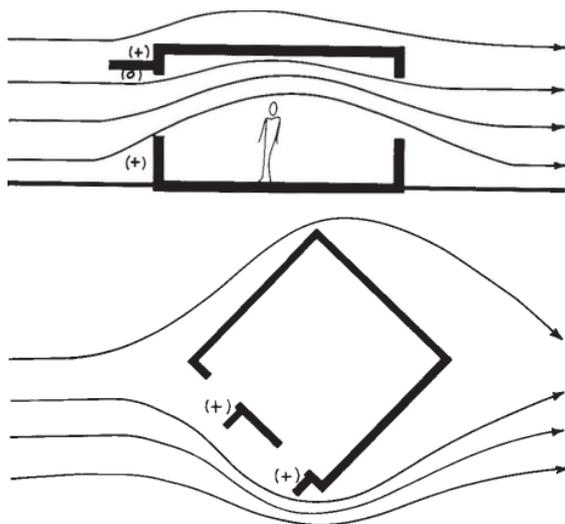


Fig. 3.44 Esempi di deviazione del flusso d'aria dovuto alla presenza degli aggetti orizzontali e verticali.

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 piacevole, anche se la temperatura è superiore ai 27 °C e l'umidità al 75%.

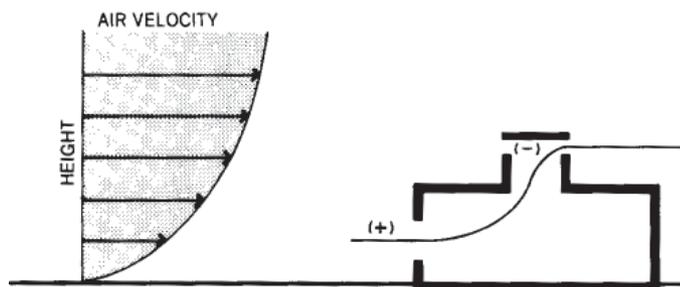


Fig. 3.45 Distribuzione della velocità dell'aria provocata dai ventilatori a soffitto.

3.5 L'illuminazione naturale

La luce naturale 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 edifici come scuole, uffici, piccole industrie, spesso il 50% del consumo energetico è dovuto all'illuminazione elettrica. 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%.

Per raggiungere l'obiettivo di un buon livello di illuminazione naturale interna si possono seguire varie strategie. Molte di queste possono essere condotte facilmente, con semplici considerazioni grafiche: contribuisce all'illuminazione naturale non solo la forma esterna dell'edificio con la sua esposizione, ma anche la distribuzione dello spazio interno, che deve seguire una logica tale da ottimizzarne l'uso (gli elementi di divisione dello spazio interno ad esempio, non fanno altro che bloccare la propagazione della luce naturale, a meno che

non vengano realizzati in vetro). Così come è necessario considerare, per una buona progettazione con la luce naturale, la scelta delle rifiniture interne che nella norma è l'ultimo passo della fase progettuale, ma che invece, affinché contribuisca al potenziamento degli effetti sull'illuminazione, dovrebbe essere presa in considerazione molto prima.



Fig. 3.46 Grandi superfici vetrate per la distribuzione della luce naturale.

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.

Costi/benefici

Gran parte degli extra-costi dovuti allo sfruttamento dell'illuminazione naturale viene compensato dalla riduzione dei consumi energetici (elettrici) che comporta anche una riduzione della spesa economica per via della minore potenza impegnata.

3.5.1 Le superfici vetrate: semplici accorgimenti progettuali

Esse consentono un ingresso della radiazione solare diretta o della componente riflessa, con un'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 dall'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, è necessario seguire alcune semplici strategie:

- *le aperture dovrebbero essere posizionate nella parte alta della parete, essere ben distribuite sulla facciata 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 è auspicabile avere superfici vetrate su più pareti.* Ad esempio, 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;
- *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 ottenere 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 innalzare i livelli di illuminazione naturale dell'ambiente interno;

- *posizionare le aperture vicino alle pareti interne adiacenti*, 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 (vedi paragrafo 3.3.1 sui sistemi di ombreggiamento);

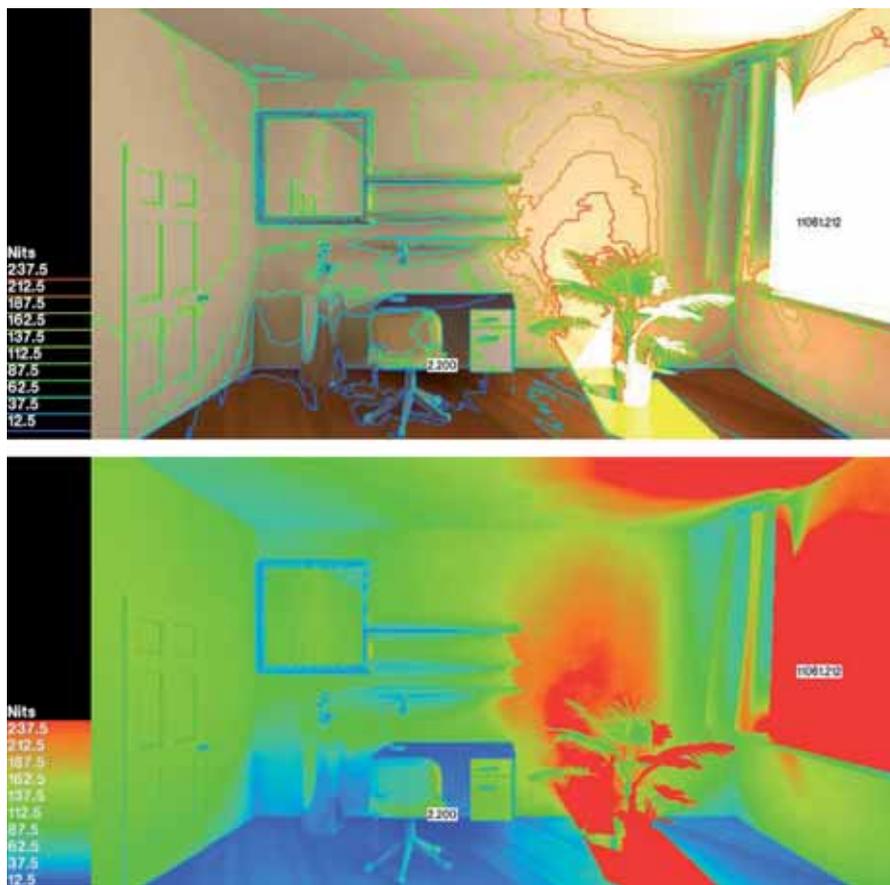


Fig. 3.47a – 3.47b Simulazione per il controllo della luce naturale negli ambienti.

- *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 risulti 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.

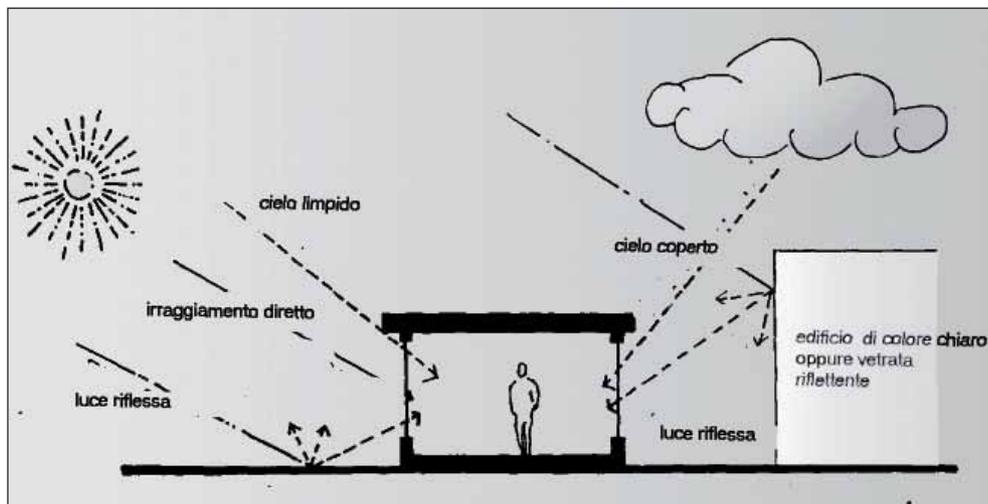


Fig. 3.48 La componente diretta, diffusa e riflessa della radiazione solare.

3.5.2 La mensola riflettente (light shelf)

Una strategia innovativa, per una migliore distribuzione della luce, è rappresentata dalla installazione di 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. 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 altro non è che uno schermo, un diaframma orizzontale (o di forma quasi orizzontale), che determina un'ombreggiatura nella parte sottostante, mentre la superficie superiore capta la luce all'esterno dell'edificio e la riflette all'interno. Questa mensola, che prende il nome di *light shelf*, può consentire altresì di realizzare l'infisso con una diversa tipologia di superficie vetrata nella parte superiore rispetto a quella presente nella parte inferiore. 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 edifici e consentendo una libera visione dell'esterno. In estate, il carico termi-

co dovuto alla radiazione diretta (irraggiamento) è ridotto dalla presenza della schermatura o dall'oggetto, senza provocare però una riduzione della radiazione solare invernale o del livello di illuminazione naturale all'interno della stanza.

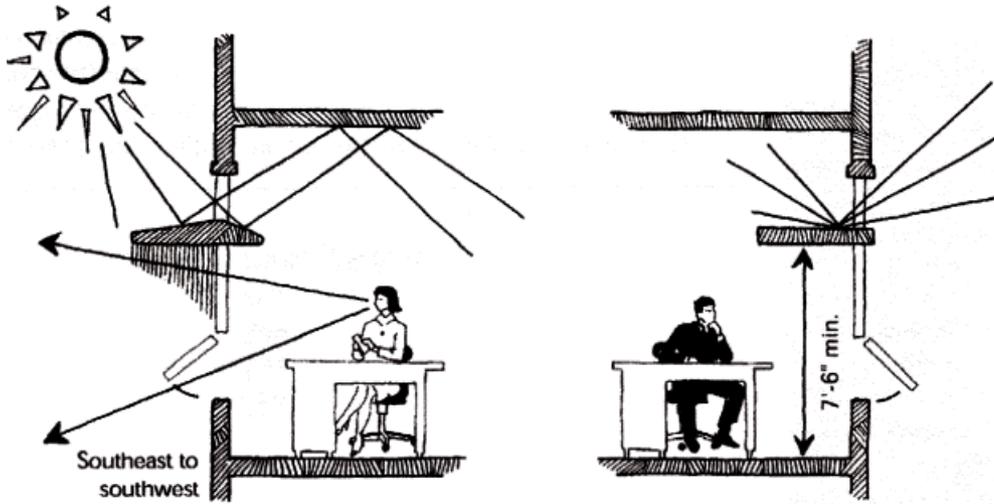


Fig. 3.49 Schema di comportamento di una mensola riflettente.

3.5.3 Il condotto solare

Il condotto solare è uno spazio-luce pensato per riflettere la radiazione solare negli spazi interni più bui; si tratta di dispositivi tubolari in grado di captare la luce naturale attraverso un elemento captatore (rappresentati da superfici speculari quali lenti Fresnel, pannelli riflettenti, sistemi a specchi, ecc...) che la conduce all'interno del condotto tramite la superficie rivestita con materiali ad alto coefficiente di riflessione (specchi, lastre di alluminio o pellicole microprismatiche del tipo PMMA) amplificando, così, il livello di illuminamento degli ambienti. La radiazione solare è così captata e controllata, raccolta secondo delle tracce, concentrata e indirizzata verso la parte centrale o inferiore dell'edificio; questa tecnologia permette di portare la luce naturale negli ambienti interni privi di luce, senza aperture dirette sull'esterno, migliorando i livelli di illuminamento anche nelle parti dell'edificio lontane dalle zone finestrate. L'installazione dei condotti solari in copertura, in particolare può essere una soluzione vantaggiosa per il risanamento di stanze o zone cieche degli edifici, per l'illuminazione di corpi di fabbrica profondi, di ambienti open space, dove il contatto con le aperture perimetrali e quindi con l'esterno non sempre è possibile.

Le dimensioni tipiche della sezione di questi condotti di luce sono comprese fra 0,5 m e 1,2 m con un'altezza che può raggiungere anche i 15 m.

Potrebbe sembrare il sistema più complesso e macchinoso per ottenere un buon livello di luce naturale all'interno di un ambiente, ma ad oggi rappresenta una strategia con indubbi vantaggi di risparmio e di comfort visivo e ambientale,

anche perché sono ormai numerosi i dispositivi “solar tube” in commercio pronti per una facile installazione, in ogni caso possono essere progettati anche ad hoc. Possono essere integrati negli involucri edilizi (in copertura), senza comportare stravolgimenti sostanziali o irreversibili e nel caso di centri storici l’invisibilità di questa tecnologia diventa una caratteristica vantaggiosa: per le sue piccole dimensioni questo intervento risulta quindi non-invasivo.

Essendo comunque legato alla presenza di una luce naturale diretta, ed essendo relativamente costoso da installare, presenta un beneficio ottimale in quelle regioni dove condizioni di cielo terso e aria limpida sono garantiti per gran parte dell’anno.



Fig. 3.50 I camini solari utilizzati nell’ospedale pediatrico A. Meyer di Firenze.

3.5.4 I lucernari

A causa della grande quantità di radiazione solare incidente sulla superficie orizzontale durante la stagione estiva, specialmente alle nostre latitudini, i lucernari provocano un considerevole aumento del carico termico e spesso si evita il loro inserimento per la captazione luminosa al fine di ridurre il fabbisogno energetico necessario al conseguente 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 comporterà un consumo di energia (dovuta al raffrescamento) 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).



Fig. 3.51a Integrazione architettonica di un lucernario: miglioramento delle condizioni di comfort termico e luminoso negli ambienti interni.

■ Autori

Capitolo 1. Riqualificazione bioenergetica e ambientale dei sistemi insediativi. Obiettivi, strategie, modalità di intervento

autori:

Fabrizio Orlandi

Architetto, professore ordinario di Tecnologia dell'Architettura presso la Prima Facoltà di Architettura "Ludovico Quaroni" dell'Università di Roma "Sapienza", è direttore del Dipartimento ITACA, e Membro del Collegio dei docenti del Dottorato di Ricerca in "Progettazione Ambientale". Autore della Parte Prima.

Carlo Brizioli

Architetto, dottore di ricerca in Progettazione Ambientale e assegnista di ricerca presso il Dipartimento ITACA. Autore della Parte Seconda.

Dipartimento ITACA - IndustrialDesign, Tecnologie dell'Architettura e Cultura dell'Ambiente
Università "La Sapienza" di Roma

Capitolo 2. Il controllo bioclimatico degli spazi aperti

autori:

Gianni Scudo

Ordinario di Tecnologie dell'Architettura presso la Facoltà di Architettura del Politecnico di Milano, direttore del Dipartimento BEST, direttore del Master di II Livello in Architettura Bioecologica e Tecnologie Sostenibili per l'ambiente.

Valentina Dessì

Dottore di ricerca in Innovazione Tecnica e Progetto nell'Architettura e ricercatore di ruolo a tempo indeterminato presso il Dipartimento BEST.

Dipartimento BEST - Building Environment Science and Technology
Dipartimento di Scienza e Tecnologie dell'Ambiente Costruito
Politecnico di Milano

Capitolo 3. Potenzialità e prestazioni dell'organismo edilizio esistente

autore:

Paola Gallo

Architetto, ricercatore di ruolo a tempo indeterminato di Tecnologie dell'Architettura presso il Dipartimento TAeD, docente del Master di II° Livello in Architettura Bioecologica e Innovazione Tecnologica per l'Ambiente. Segretario Scientifico del Centro Interuniversitario ABITA.

*Dipartimento TAeD – Tecnologie dell'Architettura e Design “Pierluigi Spadolini”
Università degli Studi di Firenze*

Capitolo 4. Strumenti e tecniche per il progetto e la valutazione dell'efficienza energetica degli edifici

autore:

Giuseppina Alcamo

Ingegnere, dottoranda di ricerca in Tecnologie dell'Architettura presso il Dipartimento TAeD, docente del Master di II Livello in Architettura Bioecologica e Innovazione Tecnologica per l'Ambiente.

*Dipartimento TAeD – Tecnologie dell'Architettura e Design “Pierluigi Spadolini”
Università degli Studi di Firenze*

Capitolo 5. Recupero, nuove costruzioni e risparmio energetico. Raccolta di casi studio

autore:

Lucia Ceccherini Nelli

Architetto, ricercatore a tempo definito in Tecnologie dell'Architettura presso la Facoltà di Architettura dell'Università degli Studi di Firenze, docente del Master di II Livello in Architettura Bioecologica e Innovazione Tecnologica per l'ambiente.

*Dipartimento TAeD – Tecnologie dell'Architettura e Design “Pierluigi Spadolini”
Università degli Studi di Firenze*

Appendice. La riqualificazione bioclimatica degli edifici attraverso l'uso del building information modeling

autore:

Roberta Montalbini

Architetto, assegnista di ricerca presso la Facoltà di Architettura dell'Università degli Studi di Firenze, dottoranda di ricerca in Tecnologie dell'Architettura presso il Dipartimento TAeD, collabora con il Centro Interuniversitario ABITA - sede di Firenze.

Dipartimento TAeD - Tecnologie dell'Architettura e Design "Pierluigi Spadolini"
Università degli Studi di Firenze

Bibliografia ragionata

a cura di:

Roberta Montalbini

■ Indice

- **Prefazione** **Pag. 3**
- **Introduzione** **» 7**
- **1 Riqualificazione bioenergetica e ambientale dei sistemi insediativi. Obiettivi, strategie, modalità di intervento** **» 11**
 - 1.1 L’approccio concettuale e gli scenari del progetto sostenibile » 11
 - 1.2 Recupero e riqualificazione a livello insediativo/urbano.. » 16
 - 1.3 Centralità della questione energetica » 18
 - 1.4 L’evoluzione del quadro normativo, tra vincoli e opportunità » 20
 - 1.5 Gli obiettivi generali di riqualificazione energetica ed ambientale » 24
 - 1.6 La metodologia operativa nel recupero bioenergetico a livello di organismo edilizio o urbano (sistemi insediativi). Strategie, vincoli, opportunità » 26
 - 1.6.1 Gli ambiti di indagine e di intervento – Strutturazione Sistemica » 26
 - 1.6.2 Articolazione metodologica e tecnico-operative degli interventi » 28
 - 1.7 Le linee guida strategiche per il recupero bioenergetico ed ambientale di edifici e quartieri » 37
 - 1.8 Variabili, problematiche e opportunità nel recupero bioenergetico dell’esistente » 41
 - 1.9 Conclusioni » 44
- **2 Il controllo bioclimatico degli spazi aperti** **» 49**
 - 2.1 La progettazione ambientale degli spazi urbani » 49
 - 2.2 Categorie di spazi urbani » 53
 - 2.3 Il controllo del microclima negli spazi aperti » 58
 - 2.3.1 Morfologia » 59
 - 2.3.2 I materiali » 64
 - 2.3.3 L’acqua » 66
 - 2.3.4 La vegetazione » 67
 - 2.4 Strumenti per la valutazione del campo radiante » 74

■ 3 Potenzialità e prestazioni dell'organismo edilizio esistente **Pag. 85**

3.1	L'intervento di riqualificazione in una prospettiva di sostenibilità ambientale	»	85
3.1.1	Gli obiettivi del recupero	»	87
3.1.2	L'involucro edilizio	»	94
3.1.3	Evoluzione delle prestazioni energetiche dell'involucro architettonico	»	95
3.1.4	Interventi sull'involucro	»	103
3.2	La captazione solare	»	110
3.2.1	I collettori solari	»	112
3.2.2	Le serre	»	114
3.2.3	Il fotovoltaico	»	117
3.2.4	Nuovi rivestimenti: l'isolamento trasparente mediante i TIM (Transparent Insulation material)	»	122
3.3	Il raffrescamento passivo	»	125
3.3.1	L'ombreggiamento: i sistemi di schermatura	»	131
3.4	La ventilazione	»	138
3.4.1	Posizionamento delle aperture	»	140
3.4.2	Tipo di aperture	»	141
3.4.3	Posizionamento delle aperture	»	141
3.4.4	La distribuzione interna degli spazi	»	142
3.4.5	Gli aggetti	»	143
3.4.6	La ventilazione notturna	»	143
3.4.7	I ventilatori a soffitto	»	143
3.5	L'illuminazione naturale	»	144
3.5.1	Le superfici vetrate: semplici accorgimenti progettuali	»	146
3.5.2	La mensola riflettente (light shelf)	»	148
3.5.3	Il condotto solare	»	149
3.5.4	I lucernari	»	150

■ 4 Strumenti e tecniche per il progetto e la valutazione dell'efficienza energetica degli edifici

4.1	Progetto e valutazione dell'efficienza energetica degli edifici	»	153
4.2	Un panorama dei programmi per la progettazione e la valutazione energetica degli edifici.....	»	157

■ 5 Recupero, nuove costruzioni e risparmio energetico. Raccolta di casi studio

5.1	Progettazione partecipata	»	171
5.2	Materiali e tecnologie	»	173

5.3	Nuove componenti tecnologiche	Pag. 174
5.4	Alcuni casi studio in Europa	» 177
■	Appendice – La riqualificazione bioclimatica degli edifici attraverso l'uso del building information modeling	» 273
■	Bibliografia essenziale	» 307
■	Bibliografia ragionata	» 311
■	Autori	» 355

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

sistemi editoriali
ASI
2010