

## **4. BIOARCHITETTURA ED ENERGIA SOLARE**

## 4.1 STRATEGIE DI ILLUMINAZIONE E CONDIZIONAMENTO NATURALE

La bioarchitettura si occupa dei molteplici aspetti (tecnici, sanitari, ergonomici) dell'interazione fra l'uomo e i manufatti che costruisce; una branca della bioarchitettura è l'architettura bioclimatica.

La progettazione architettonica bioclimatica utilizza le risorse energetiche ambientali per creare nei manufatti edilizi condizioni di benessere per gli utenti.

Il raggiungimento di questo obiettivo risulta dal compromesso fra l'esigenza di adeguati livelli di illuminazione naturale (edificio "poroso") e di isolamento termico (edificio "compatto"). Per garantire la luminosità naturale senza dover "pagare" un eccessivo prezzo energetico si sono resi disponibili nell'ultimo decennio una serie di componenti edilizi diversi, funzionanti separatamente o in combinazione, per captare energia solare per usi termici e per ridurre le dispersioni di calore. Questi elementi (vedi tab. 4.1), che sono ormai divenuti una parte integrante della facciata ed una presenza costante in molta architettura contemporanea (si pensi all'uso di atri o facciate coperte a vetro nella edilizia per il terziario), devono tuttavia essere utilizzati con valutazioni attente riguardo alla loro effettiva funzionalità e alla qualità ambientale che ne risulta nell'organismo

NUOVI MATERIALI	DESCRIZIONE
MATERIALI ISOLANTI TRASPARENTI (TIM)	I TIM sono caratterizzati da un basso valore della conduttanza e da una trasmittanza maggiore del 70%.
MATERIALI CROMOGENICI	I materiali cromogenici cambiano le loro caratteristiche di trasmissione ottica al variare della radiazione solare incidente (fotocromatici), della temperatura (termocromici) o all'applicazione di un campo elettrico (elettrocromici). Questi materiali possono controllare la radiazione solare lasciando passare nell'edificio (nella banda del visibile) una porzione compresa tra il 5% e l'80% di quella incidente.
SISTEMI DI CANALIZZAZIONE DELLA LUCE	Sono sistemi formati da fibre ottiche e/o specchi, capaci di guidare la luce nei punti voluti.
ELEMENTI OLOGRAFICI OTTICI (HEO)	Gli HEO consentono di deviare e distribuire la luce diurna sia diretta che diffusa, possono essere usati come antiabbaglianti e come controllori del colore e dell'intensità luminosa. Infine hanno la capacità di filtrare alcune componenti spettrali come la parte infrarossa e ultravioletta.
MATERIALI A TRANSIZIONE DI FASE (MTF)	Immagazzinano e ricedono energia termica nel passaggio di stato fisico (reversibile per un gran numero di cicli) del materiale, passaggio che avviene per precisi intervalli di temperatura, caratteristici del tipo di materiale impiegato. (es. sale di Glauber: $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ )

Tabella 4.1 - Materiali per il controllo della luce e dell'energia entrante e uscente dagli edifici.

edilizio: infatti nelle condizioni climatiche mediterranee, caratterizzate da una forte differenza stagionale di temperature e quindi di comportamento energetico degli edifici, particolare attenzione deve essere posta al controllo della radiazione solare durante l'estate, per evitare il surriscaldamento che potrebbe essere causato dalla maggiore superficie delle parti trasparenti previste per la captazione invernale, prevedendo un posizionamento protetto delle vetrate stesse o un loro ombreggiamento artificiale con schermi o variazioni dei valori di riflessione delle vetrate: l'incassamento delle vetrate occidentali ed orientali fra elementi aggettanti frangisole (*brise-soleil*) è già stato sperimentato da Le Corbusier per alcuni progetti in India (fig. 4.1). La tipologia delle schermature delle parti vetrate è talmente vasta e variegata in dipendenza dalla specifica soluzione progettuale che è difficile fare degli esempi significativi: possiamo tuttavia distinguere fra sistemi di ombreggiamento fissi e schermature mobili, che a loro volta

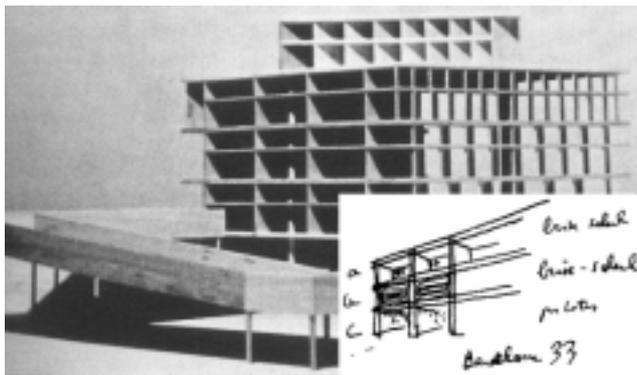


Figura 4.1 - Le Corbusier: plastico della Torre delle Ombre (India) e schizzi di elementi *brise-soleil*. [2]

possono essere parte dell'edificio o semplicemente elementi costitutivi degli infissi.

L'uso dell'illuminazione naturale costituisce un esempio eloquente dell'importanza dell'integrazione tra i vari sistemi e strategie nella architettura solare: infatti essa diviene spesso un fattore

determinante nella caratterizzazione dell'architettura ed in modo particolare negli edifici pubblici ed in genere in tutti quelli non abitativi, dove l'uso prevalentemente diurno consente di frazionare il fabbisogno energetico, limitando le strategie di conservazione dell'energia ai periodi di utilizzazione. Il dimensionamento delle superfici vetrate, il tipo delle aperture e la composizione dei vetri, la distribuzione della luce all'interno degli spazi e l'integrazione con la luce artificiale sono tutte considerazioni che devono intervenire anche in fase progettuale e non come condizionamenti e parametri già fissati da consegnare ai tecnici impiantisti come oggi generalmente avviene: la finestra intelligente costituisce un obiettivo importante nella ricerca tecnologica verso prodotti innovativi da parte di produttori di serramenti e componenti di facciate continue ed in

generale si osserva l'affermarsi del principio della regolazione climatica interna ottenuta sfruttando le fonti di energia rinnovabili disponibili all'esterno.

Lo scambio termo-igrometrico dell'edificio con l'esterno è sempre stato un punto critico delle tecniche costruttive, ed è stato affrontato nei modi più vari dalle varie culture. La produzione architettonica di ogni epoca storica può essere classificata in tre modelli abitativi, a seconda della relazione con l'ambiente esterno, cioè nel modello conservativo, selettivo o rigenerativo.

Il primo modello, il cui archetipo è la caverna, è caratterizzato da masse murarie di grosso spessore (figg. 4.2 e 4.3) che conferiscono all'edificio un'elevata inerzia termica, proteggendo l'interno dagli sbalzi termici stagionali; il secondo modello, che può essere detto il modello della capanna, è caratteristico della fascia tropicale, con sole, vento ed umidità, e cerca di sfruttare le masse d'aria per asportare il calore in eccesso e/o raffrescare gli ambienti per evaporazione (figg. 4.5 e 4.6). Il terzo modello, prodotto dalla tecnologia degli ultimi secoli, è il modello del grattacielo, ovunque uguale a se stesso, al cui interno viene instaurato un clima artificiale, il cui differenziale con l'esterno è mantenuto da impianti dal consumo energetico proporzionale a questo differenziale.

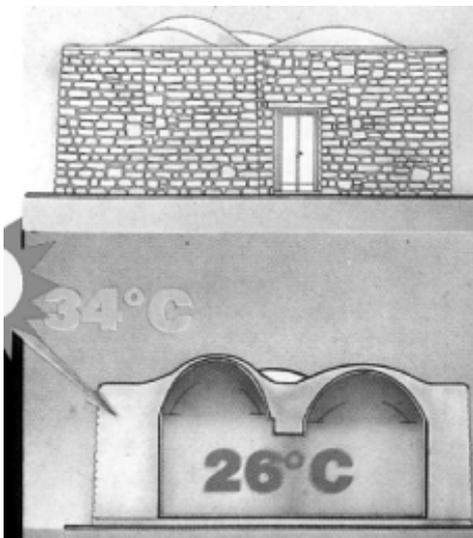


Figura 4.2 - Un dammuso dell'isola di Pantelleria; il muro di spessore 0,8÷2 m riduce l'escursione termica all'interno, la volta sottile cede al fresco notturno il calore dell'aria che vi si accumula. [2]



Figura 4.3 - Un trullo della Puglia settentrionale. Il principio è lo stesso del dammuso, il surriscaldamento indotto dalla pietra scura di copertura viene smaltito consentendo la fuoruscita dell'aria calda da un'apertura in cima al cono. [2]

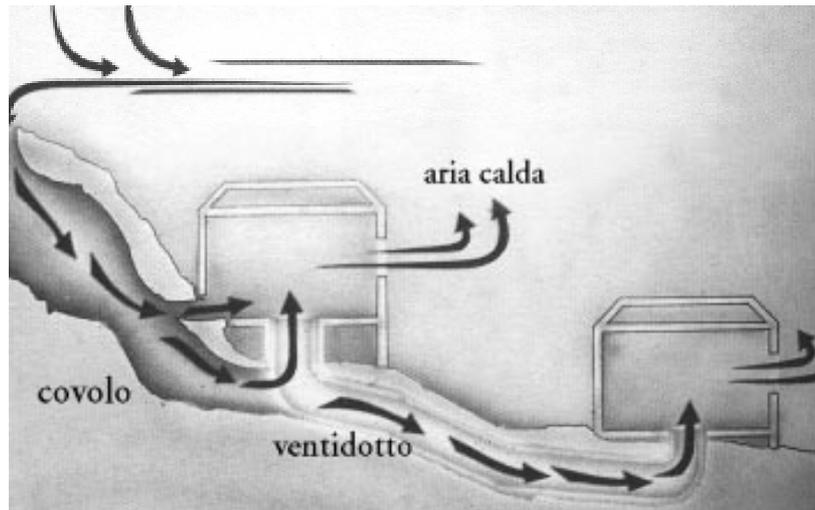


Figura 4.4 - Spaccato di due edifici di un complesso di sei ville palladiane a Costozza (Vicenza). Lo sfruttamento di sistemi di cunicoli naturali (covoli) ed artificiali ha effetti spettacolari: a fine luglio (33°C) una delle stanze a pianterreno offriva una temperatura di 19°C. [2]

La consapevolezza che quest'ultimo modello, per quanto efficace, è quanto di più inefficiente e fragile si potesse trovare per garantire il benessere dell'utenza, si è accresciuta con le crisi energetiche degli ultimi trent'anni: si cercano allora soluzioni



Figura 4.5 - Camini a vento (*malqaf*) su una casa egiziana. Di frequente contengono tappeti o carbonella umidi per rinfrescare ulteriormente il vento che vi entra. [2]

tecnologiche per sfruttare gli stessi principi che rendevano efficaci i primi due modelli, al fine di renderli anche efficienti e più controllabili di quanto potessero fare i nostri antenati: i nuovi edifici intelligenti ed ecocompatibili sono quindi classificabili in un modello selettivo di tipo nuovo, che interagisce con l'ambiente interpretandolo come un *self-service* di caratteristiche desiderabili ed indesiderabili, ed utilizza le leggi della fisica ed i nuovi materiali per tenere fuori dall'edificio le seconde.

Questa nuova filosofia di inserimento dell'edificio nell'ambiente ha segnato l'avvio di nuove forme architettoniche totalmente estranee al modello grattacielo: le architetture tornano ad essere



Figura 4.6 - Arch. Mester de Parajd: edifici del complesso del tribunale di Niamey (Nigeria).

Nello schema, spaccato del doppio muro ventilato esterno. [2]

"locali", un edificio ai tropici non può essere uguale ad uno nella tundra siberiana, dovendo fare i conti con un ambiente che offre opportunità del tutto diverse.

L'effetto visivo sarà, ai tropici, di un edificio dalla pelle opaca, riflettente e a volte scostata dal vero involucro dell'edificio, in modo da non trasmettere all'interno il calore che lo invade durante il giorno, vegetazione e specchi d'acqua contribuiscono a creare un microclima più fresco; alle alte latitudini l'aspetto dell'edificio sarà scuro, massiccio e compatto sul lato freddo, a volte dal doppio involucro (per motivi opposti, ossia sfruttare la discontinuità per ostacolare la perdita di calore verso l'esterno), e vetrato sul lato caldo, per permettere l'ingresso dei raggi solari, il cui calore viene intrappolato dal doppio vetro, che ha la proprietà di impedire l'uscita del calore e degli infrarossi emessi dalle superfici interne riscaldate dal Sole.

Che l'edificio abbia o no una forma bioclimatica, il discorso si complica quando si tratta di applicarvi e gestire un impianto di "condizionamento naturale" che sfrutta l'energia del Sole direttamente o per alimentare dispositivi più o meno complessi (cicli frigoriferi, pompe di calore, ecc...): il sig. Rossi, eroe delle statistiche, acquistando un banale condizionatore di marca, è certo di contare su pezzi di ricambio ed assistenza sollecita, oltre che di poter ottenere facilmente gli scopi che si prefiggeva (costi a parte); imbarcandosi nell'avventura del solare, magari convinto dal nipote laureando in ingegneria, va incontro ad un mare di incognite. Ha diritto ad un contributo pubblico perché la sua iniziativa è meritoria verso la collettività, ma districarsi nei meandri della

burocrazia è impresa che merita un premio a parte; ha letto di un materiale speciale, di un pannello che ben si adatta al suo tetto nel centro storico, ma la nuova tecnologia risulta introvabile; non si scoraggia ed installa il suo impianto solare: al primo problema telefona al numero verde che gli avevano fornito e scopre che l'azienda ha chiuso la sede italiana.

E' un quadro forse pessimista ma sicuramente realista: in questa situazione è ben difficile per gli utenti investire nel condizionamento naturale della propria abitazione, convinti di non giocare d'azzardo, ed altrettanto difficile è per il progettista consigliare queste soluzioni con la certezza di rendere un buon servizio al cliente. Forse basterebbe un po' di impegno da parte delle figure professionali interessate nel premere per cambiare le condizioni al contorno, che allo stato attuale vanificano ogni sforzo tecnologico.

#### 4.2 SISTEMI SOLARI PASSIVI

Il riscaldamento solare degli edifici può essere affrontato con due differenti approcci: quello attivo e quello passivo. In generale, i sistemi solari attivi impiegano impianti e/o dispositivi meccanici dedicati per raccogliere e trasportare il calore: se ne sono forniti alcuni esempi al cap. 2. I sistemi solari passivi, invece, raccolgono e trasportano il calore del Sole con mezzi non meccanici, e non sono solitamente distinguibili dall'edificio stesso, nel senso che non esistono parti del sistema che hanno l'unica funzione impiantistica.

In ogni sistema solare passivo sono individuabili due elementi fondamentali: una parete vetrata (generalmente rivolta a sud nell'emisfero boreale, dove supporremo di trovarci da qui in avanti) per la captazione solare, e una massa termica per l'assorbimento, l'accumulo e la distribuzione del calore.

I principi che ne regolano il funzionamento sono semplici e costituiscono un riferimento generale per la corretta progettazione energetica degli edifici:

- le aperture a nord devono essere ridotte al minimo;
- il rivestimento del pavimento vicino alle vetrate deve permettere la conduzione e l'accumulo del calore (sconsigliati quindi tappeti, moquette, legno, ecc...);

- è sconsigliata l'eccessiva presenza di piante verdi negli spazi con coperture vetrate (serre) perché provocano aumento dell'umidità e ostruiscono il passaggio e quindi l'accumulo del calore;
- le aperture vetrate devono essere protette contro le perdite termiche notturne in inverno e contro il surriscaldamento estivo;
- le vetrate delle superfici di captazione devono essere doppie e/o isolanti (TIM);
- l'orientamento ottimale delle superfici di captazione è il sud; un orientamento a sud-ovest o sud-est può essere preso in considerazione, ma generalmente il rendimento energetico si riduce di circa il 20%;
- l'inclinazione ottimale delle superfici di captazione oscilla tra i 60° ed i 90°.

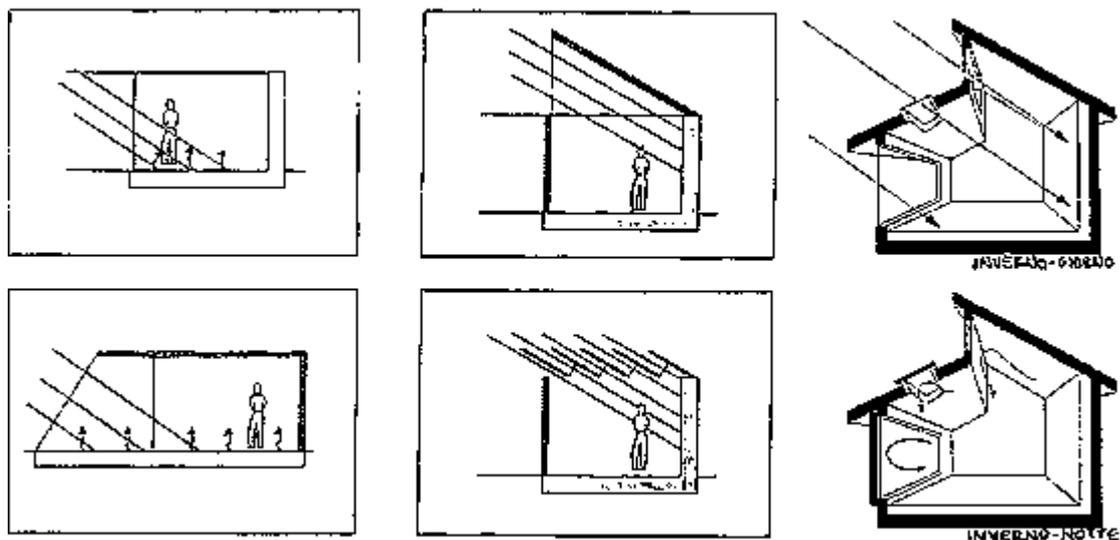


Figura 4.7 - Sistemi solari passivi a guadagno diretto. [ENEA - Indirizzi per la progettazione bioclimatica degli edifici]

A seconda del rapporto tra il Sole, l'accumulatore termico e lo spazio abitato, si possono classificare i sistemi solari passivi in tre categorie: a guadagno diretto, a guadagno indiretto ed a guadagno isolato.

Un esempio di **sistema a guadagno diretto** può essere un edificio con ampie pareti vetrate a sud e ben coibentato sulle altre pareti. La tecnologia costruttiva, in particolare per i serramenti esterni, è la stessa di un qualsiasi edificio della stessa funzione; il tipo di vetro della "finestra solare" e le sue dimensioni dipendono dalle prestazioni richieste, dal livello di isolamento notturno desiderato e dal volume dell'ambiente servito. E' opportuno posizionare nei pressi delle aperture vetrate delle masse di accumulo

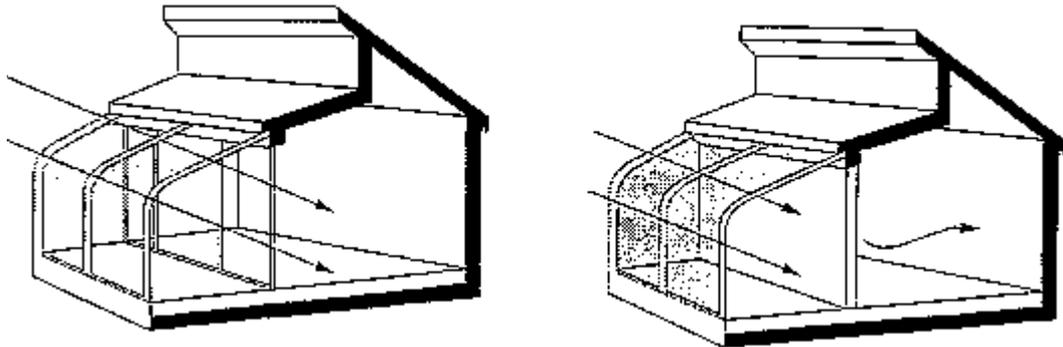


Figura 4.8 - Serre senza e con accumulo in parete. [ibidem]

(calcestruzzo, muratura o acqua) che assorbano il calore eccedente di giorno e lo restituiscano di notte (fig. 4.7). Si possono far sporgere dal corpo di fabbrica spazi con coperture vetrate (serre), abitabili se comunicanti con l'edificio tramite pannellature mobili (trasparenti o no), oppure separate dall'edificio da un muro massiccio o contenente una massa d'acqua che faccia da accumulatore di giorno e da radiatore nelle ore notturne (fig. 4.8): in tal caso sono assimilabili ad un sistema a guadagno indiretto.

Un'applicazione da manuale di sistema a guadagno diretto è la casa di Karen Terry a Santa Fe (fig. 4.9), con muri accumulatori sia in muratura che d'acqua.

La casa, allungata su un pendio esposto a sud, è suddivisa in tre livelli da muri di sostegno formati da 25 bidoni da 200 litri d'acqua e anticorrosivo, dove viene

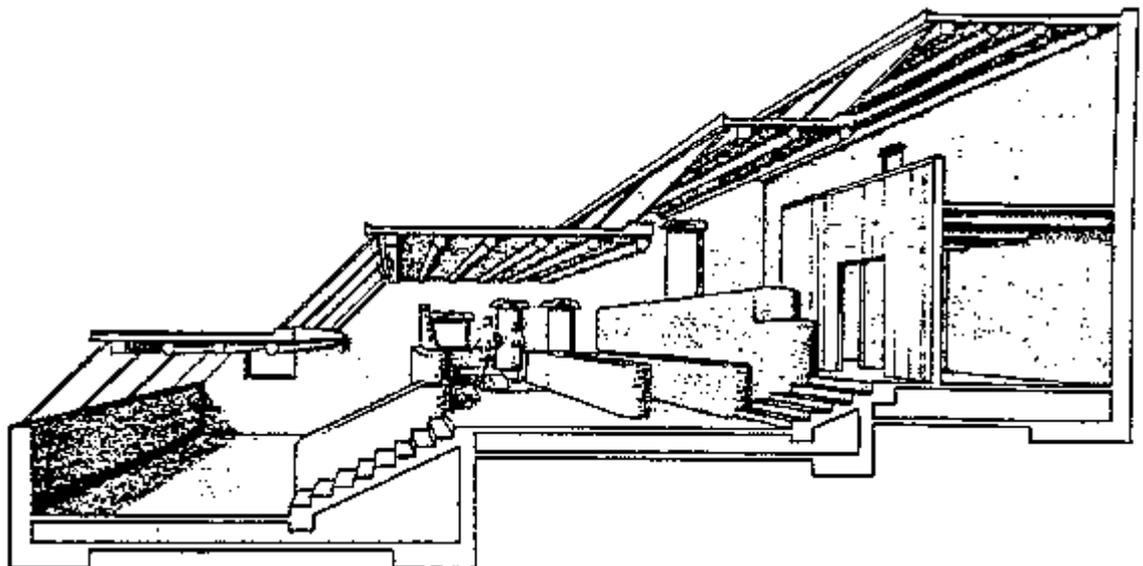


Figura 4.9 - Arch. David Wright: casa di Karen Terry a Santa Fe, NM (USA). [18]

immagazzinato il calore della radiazione solare che invade l'interno per tutto l'anno. Nell'inverno 1975-'76, per il riscaldamento ausiliario della casa fu sufficiente bruciare 2 mc di legna; senza applicare imposte isolanti alla vetratura durante la notte, la casa mantenne per gran parte del periodo invernale una temperatura di  $16\div 24$  °C, con minima di 12 °C registrata un'unica mattina all'alba.

In un **sistema a guadagno indiretto** (fig. 4.10) la radiazione non entra nell'edificio: viene intercettata da una massa termica che ne accumula il calore e lo cede successivamente; ne risulta un appiattimento dell'escursione termica su base giornaliera o annuale, a seconda dell'entità delle masse coinvolte e della loro coibentazione.

Le masse termiche possono essere di tre tipi: muro solare, *roof-pond* o letto di pietre (di quest'ultimo si è trattato al par. 2.2). Il muro solare, generalmente scuro e separato dall'esterno da una vetratura ed un'intercapedine d'aria, può accumulare calore nei suoi elementi di fabbrica o in compartimenti pieni d'acqua (che ha maggiore capacità termica)<sup>1</sup>: monitorando il suo spessore sulle ventiquattr'ore, si noterebbe come la temperatura della faccia interna del muro sia massima a notte fonda e minima all'alba, con l'effetto di limare all'interno dell'edificio i picchi di temperatura tipici del ciclo giorno-notte. Gli inconvenienti principali sono la pulizia della vetratura e la mancanza di illuminazione naturale dal lato dell'accumulatore.

Una variante interessante del muro solare è il muro-Trombe, che sfrutta l'aria dell'intercapedine per far salire velocemente, subito dopo l'alba, la temperatura interna; ciò contribuisce anche ad abbassare la temperatura della vetratura e, quindi, le

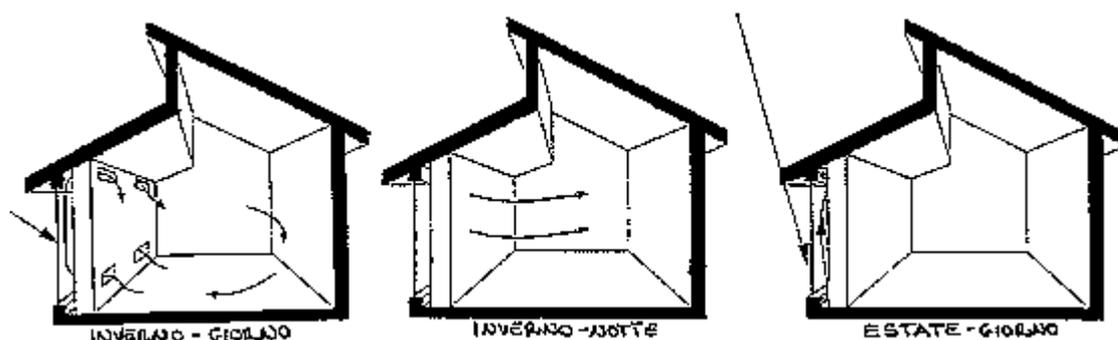


Figura 4.10 - Sistema solare passivo a guadagno indiretto. [ENEA - Indirizzi per la progettazione bioclimatica degli edifici]

<sup>1</sup> 4184 kJ/mc°C contro 1883 kJ/mc°C del calcestruzzo.

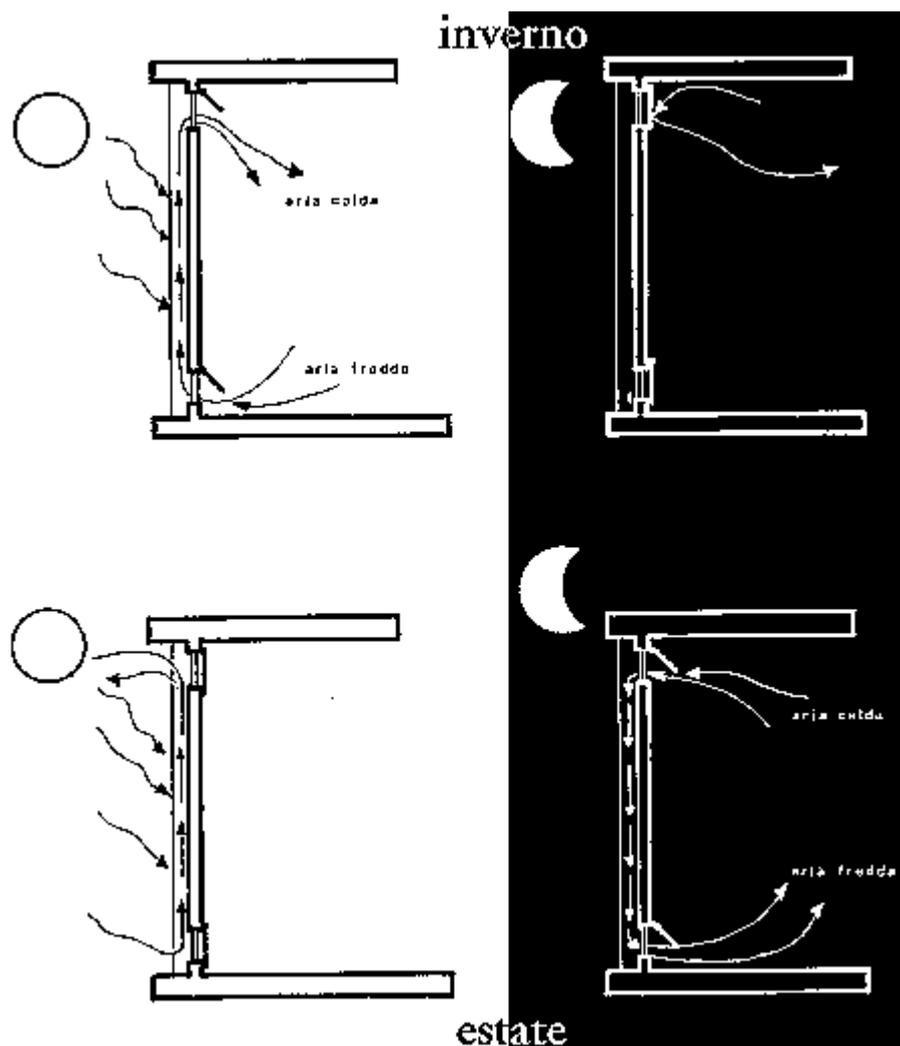


Figura 4.11 - Manovra delle aperture nel muro-Trombe per lo sfruttamento della convezione naturale (funzionamento del muro solare come *collettore atipico*).

dispersioni termiche; le aperture nel muro possono essere aperte o chiuse a seconda delle necessità (fig. 4.11).

La prima applicazione del muro-Trombe è la stessa casa di Felix Trombe (fig. 4.12), che l'inventore di questo metodo ha progettato con l'Arch. Jacques Michel nel 1967.

Il muro solare è protetto da una doppia vetratura, è di calcestruzzo e dipinto di nero all'esterno per riflettere poca radiazione. Il monitoraggio su questo edificio mostra che circa il 70% del suo fabbisogno termico è coperto dall'energia solare; un'altra ricerca indica che circa il 36% dell'energia incidente sul vetro riesce, in inverno, a trasferirsi all'interno dell'edificio: un rendimento paragonabile a quello di un buon sistema di riscaldamento solare attivo.

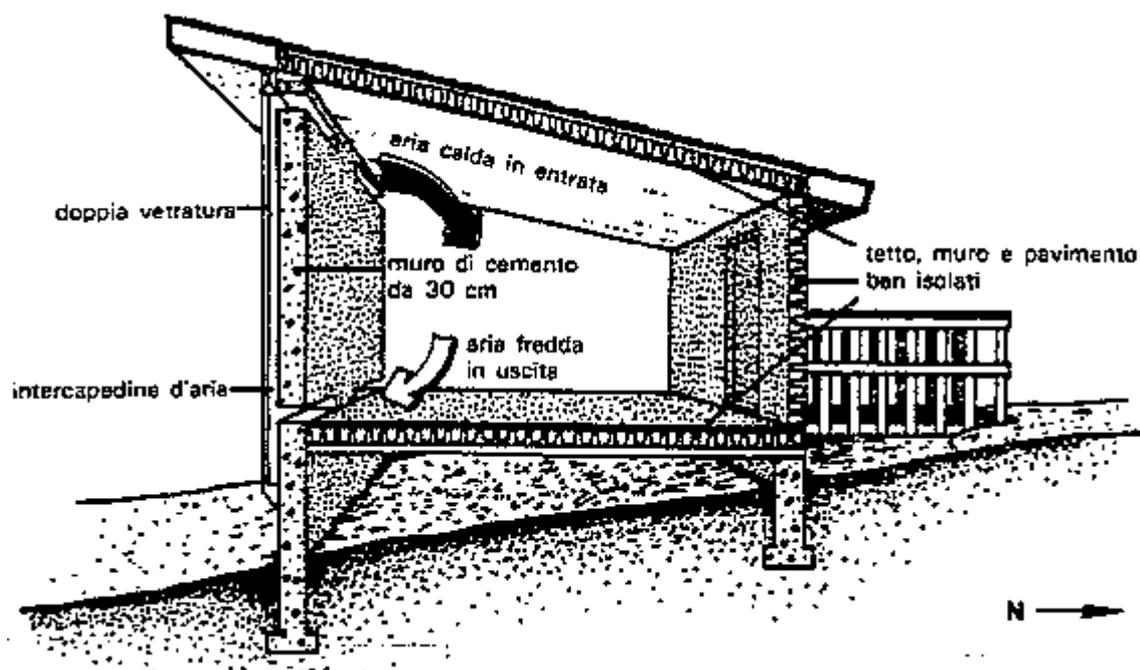
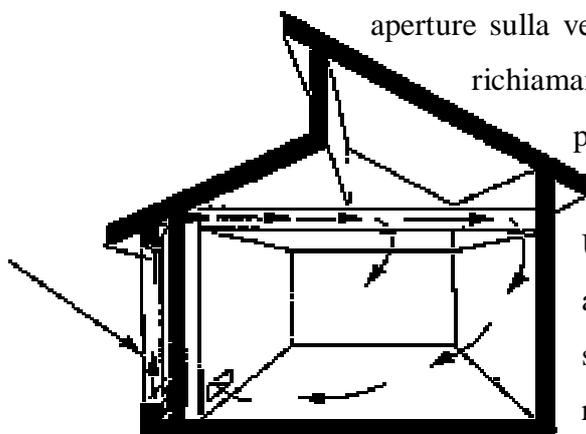


Figura 4.12 - F. Trombe, Arch. J. Michel: sezione di casa Trombe a Odeillo (Francia). [18]

Il principio del muro-Trombe è utilizzato anche nei metodi a *camino solare* (fig. 4.13), che instradano l'aria calda dell'intercapedine in condotti ricavati nei solai superiori, che fanno da vettori e da accumulatori; uno di questi metodi è il Barra-Costantini (fig. 4.14). Il muro del camino solare ha scarsa inerzia termica, ed in questo somiglia ad un sistema a guadagno isolato; il camino del sistema Barra-Costantini ha un pannello metallico nell'intercapedine fra la vetratura ed il muro (reso isolante): il pannello, riscaldandosi, cede calore all'aria che con un sistema di aperture valvolate raggiunge i canali nei solai.

La stessa struttura, ben isolata, funge da accumulatore termico. Nei caldi giorni estivi, aperture sulla vetratura permettono la fuoriuscita dell'aria calda, richiamando aria dai locali posti sul lato in ombra, e permettendo così l'entrata di aria fresca da aperture poste su questo lato.



Un sistema a guadagno indiretto può servirsi anche di masse d'acqua poste sul tetto: è il sistema a *roof-pond*, che consiste nell'esporre alla radiazione solare contenitori d'acqua posti sul

Figura 4.13 - Moti convettivi in un metodo a camino solare. [ENEA - Indirizzi per la progettazione bioclimatica degli edifici]

tetto o in un sottotetto vetrato: di notte, questi verranno coperti da pannelli o tessuti isolanti per permettergli di disperdere calore solo verso l'interno. Il contrario avverrà d'estate: i contenitori saranno coperti da teli riflettenti di giorno, e scoperti di notte per disperdere all'esterno il calore che avranno sottratto ai locali di giorno.

E' un sistema macchinoso, ma privo degli inconvenienti del muro solare.

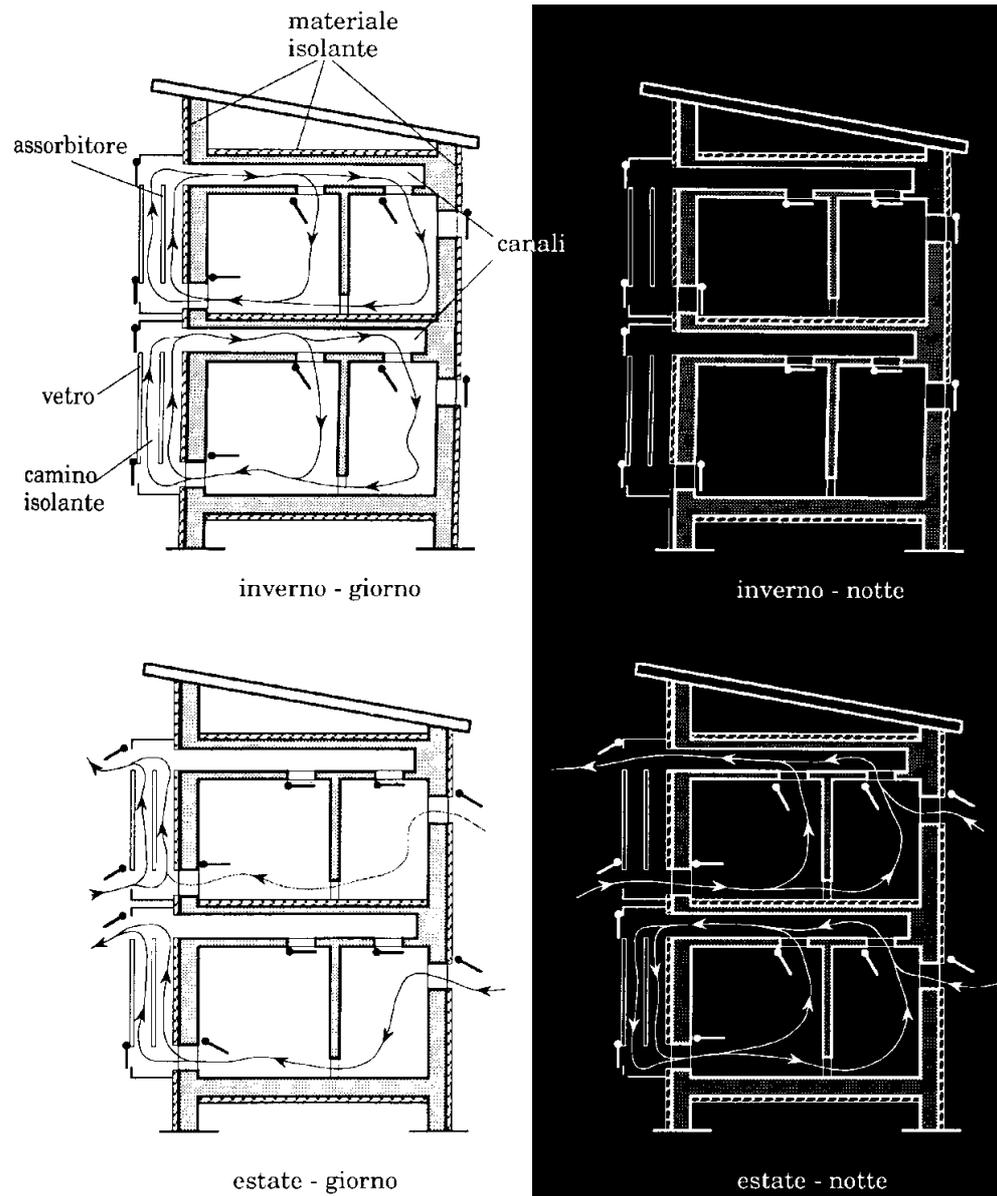


Figura 4.14 - Schema delle quattro configurazioni del sistema Barra-Costantini (camino solare a pannello con flusso posteriore). [5]

Un problema comune sia ai sistemi a guadagno diretto che indiretto è la prossimità dell'accumulatore all'esterno, il che può causare dispersioni indesiderate ed inevitabili.

Una parziale soluzione è costituita dai **sistemi a guadagno isolato**, dove il calore è trasportato verso accumulatori remoti (cantine, masse murarie, vespai, letti di pietre), dove sarà più facile controllare le dispersioni.

Questi sistemi, le cui superfici vetrate sono solitamente poste sotto il prospetto sud (fig. 4.15), si servono solitamente di botole per regolare la circolazione del calore, che può essere attinto anche molto tempo dopo la sua raccolta: sono quindi sistemi ideali per l'accumulo interstagionale del calore.

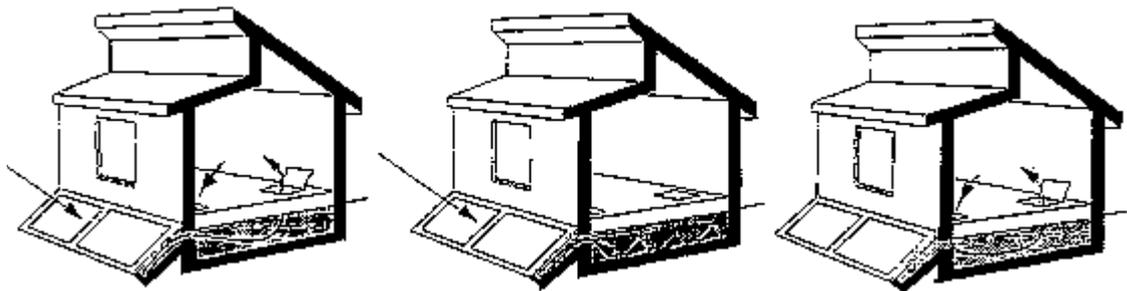


Figura 4.15 - Sistema solare passivo a guadagno isolato. [ENEA - Indirizzi per la progettazione bioclimatica degli edifici]