

SEMINARIO:

PRINCIPI E SISTEMI DI ARCHITETTURA BIOCLIMATICA

Ing. Francesco Bigi
Ing. Antonella Carosi

1 La progettazione bioclimatica

Progettare bioclimaticamente significa utilizzare alcune caratteristiche dell'ambiente esterno per raggiungere il benessere nell'ambiente costruito.

La necessità di porre attenzione all'ambiente per un progettista è di primaria importanza; l'edilizia infatti influisce in un paese industrializzato come il nostro per il **40%** nel consumo globale di energia e per il **51%** nella quantità di emissioni di CO₂ in atmosfera, uno dei principali gas responsabili dell'effetto serra.

Il consumo viene suddiviso in **tre fasi fondamentali**: la produzione dei materiali da costruzione, la realizzazione degli organismi edilizi e la gestione energetica di essi.

E' interessante notare che il picco del consumo energetico si ha nei mesi estivi, quando c'è grande richiesta di condizionamento degli ambienti in cui viviamo e lavoriamo, come dimostrato dai recenti black-out avvenuti questa estate in America e in Italia.

Fino ad oggi le maggiori fonti energetiche utilizzate sono di tipo non rinnovabile quali i combustibili fossili, destinati per loro natura ad esaurirsi. I prodotti derivanti dalla loro combustione inoltre risultano altamente nocivi per l'ambiente: generano l'innalzamento della temperatura terrestre con conseguente mutazione del regime climatico della terra e provocano l'inquinamento dell'atmosfera con sostanze dannose alla salute come gas e polveri.

La progettazione bioclimatica invece vuole utilizzare, per ogni fase del processo edilizio, fonti energetiche rinnovabili, nonché tutti gli accorgimenti e sistemi che da una parte minimizzano il consumo e le dispersioni degli edifici, riducendone il fabbisogno energetico, e dall'altra ottimizzano le potenzialità dei materiali di costruzione e dell'ambiente nel quale sorge l'edificio.

Per fonti energetiche rinnovabili si intendono quelle che si rinnovano con grande rapidità, superiore o comunque comparabile a quella con la quale l'energia viene consumata; per esempio il sole, il vento, le risorse idriche (per piccoli sfruttamenti), le risorse geotermiche, le maree, il moto ondoso e le biomasse (legno e materiali organici).

L'energia nella gestione dell'organismo edilizio viene utilizzata principalmente per la *produzione di calore necessario al riscaldamento degli ambienti e dell'acqua* ad uso sanitario, per ottenere *il raffrescamento* e per la *produzione di elettricità* da utilizzare per uso domestico e in impianti meccanici e di illuminazione.

L'energia proveniente da fonti rinnovabili viene utilizzata oggi in aiuto all'energia derivante da fonti tradizionali per diminuirne ed integrarne il consumo; solo in casi

eccezionali, con grandi costi aggiuntivi rispetto alle realizzazioni con tecnologie di uso comune, si è arrivati ad una sostituzione integrale degli apporti energetici in progetti a carattere sperimentale.

Lo sfruttamento di sistemi di risparmio e approvvigionamento energetico basati sullo studio dell'ambiente e delle risorse direttamente disponibili nel sito di costruzione è stato, fino all'avvento delle fonti non rinnovabili, l'unico modo di mitigare l'influenza delle condizioni climatiche avverse all'interno degli ambienti costruiti.

La necessità di ottimizzare le risorse e i materiali disponibili per raggiungere un livello soddisfacente di comfort negli spazi in cui si vive ha fatto sì che l'uomo sviluppasse, nel corso della storia, una serie di accorgimenti mirati a questo fine; questi, una volta verificati e affinati con l'esperienza, sono stati accettati da parte dei progettisti come materiale di progetto al pari e in concomitanza con i materiali base dell'edilizia, influenzando fortemente il modo di costruire nelle diverse parti del globo.

Con la diffusione dei combustibili fossili quali carbone, derivati del petrolio e gas naturali, si è avuta per la prima volta nella storia la disponibilità di risorse energetiche a rendimento fortemente superiore rispetto a quelle utilizzate fin dall'antichità. Le caratteristiche di queste fonti energetiche, unite ad un iniziale basso costo di approvvigionamento, ha reso possibile da parte di progettisti poco attenti al contesto ambientale un affidamento totale a questo tipo di risorse e impianti per garantire il benessere climatico all'interno degli edifici, con conseguente accantonamento di conoscenze e tecniche considerate da parte di molti superate.

La crisi petrolifera del 1973, quando i Paesi maggiori produttori di petrolio in seguito a motivazioni politiche hanno dato luogo ad un innalzamento dei prezzi e ad una diminuzione della quantità di petrolio commercializzata, ha riportato all'attenzione dei progettisti e delle autorità la possibilità di utilizzare altre fonti nel bilancio energetico degli edifici.

Da allora la continua ricerca ha incrementato le prestazioni degli elementi costruttivi, sviluppato i sistemi di controllo e migliorato le possibilità di interrelazione tra sistemi tradizionali, che sfruttano fonti non rinnovabili, e sistemi cosiddetti alternativi, arrivando al risultato che oggi è possibile ottenere risparmi superiori all'ordine del 50% dell'energia usata nella gestione edifici (fonte ENEA).

2 **Sistemi attivi e passivi**

In edilizia l'utilizzo di fonti rinnovabili per intervenire nel controllo del comfort e quindi del riscaldamento, raffrescamento e illuminazione degli ambienti costruiti può avvenire attraverso due tipi di sistemi:

- sistemi attivi
- sistemi passivi.

2.1 I sistemi attivi

Questi tipi di sistemi captano, accumulano e utilizzano l'energia proveniente da fonti rinnovabili con una tecnologia di tipo impiantistico.

Nel campo termico abbiamo, per esempio, i *collettori solari* che trasformano l'energia della radiazione solare in energia termica utilizzando l'aria o l'acqua come fluido di trasferimento; le *pompe di calore geotermiche* che sono apparecchi in grado di prelevare calore da una "fonte fredda" e trasferirlo ad un altro corpo più caldo, il corpo freddo a cui si sottrae calore nel periodo invernale è il terreno ed il corpo caldo che lo riceve è solitamente un'abitazione, ma sono in grado di operare anche il ciclo inverso in estate.

Nel campo di produzione di energia elettrica tra i sistemi attivi abbiamo gli impianti a *pannelli fotovoltaici*, le *macchine eoliche* e gli *impianti idroelettrici* (più adatti ad usi di vasta scala). La tecnologia fotovoltaica (FV) consente di trasformare direttamente l'energia associata alla radiazione solare in energia elettrica, essa sfrutta il cosiddetto effetto fotovoltaico che è basato sulle proprietà di alcuni materiali semiconduttori (fra cui il silicio) che, opportunamente trattati ed collegati tra loro, sono in grado di generare elettricità se colpiti dalla radiazione solare, senza quindi l'uso di alcun combustibile.

L'energia del vento viene utilizzata mediante l'impiego di macchine eoliche (aeromotori) in grado di trasformare l'energia eolica in energia meccanica di rotazione, utilizzabile sia per l'azionamento diretto di macchine operatrici che per la produzione di energia elettrica attraverso delle dinamo (generatori eolici).

I sistemi attivi risultano senz'altro utili nell'integrazione del fabbisogno energetico, la loro natura strettamente impiantistica limita la loro influenza nella progettazione di un organismo edilizio a soluzioni di integrazione o meno con l'apparecchiatura architettonica.

2.2 I sistemi passivi

Nei sistemi passivi a differenza di quelli attivi è l'edificio stesso che, attraverso i suoi elementi costruttivi, capta, accumula e trasporta al suo interno l'energia ricavata da fonti rinnovabili.

La progettazione di un organismo architettonico con criteri passivi implica un organizzazione di tutto lo spazio e dei suoi elementi in funzione di un'ottimizzazione delle risorse ambientali con importanti conseguenze architettoniche: lo sfruttamento dell'energia solare per esempio implica non solo l'orientamento di fronti larghi verso sud nel nostro emisfero, una forte presenza di aperture vetrate per captare l'irraggiamento del sole e, di contro, una chiusura verso il fronte nord per diminuire i disperdimenti.

3 **Edificio e ambiente**

La progettazione di un organismo architettonico che deve vivere in stretta interrelazione con l'ambiente si fonda su di uno studio accurato che parte dalla conoscenza delle caratteristiche climatiche del luogo di costruzione e, attraverso un'analisi di tutte le possibili relazioni tra edificio e ambiente, arriva fino allo studio dei particolari costruttivi e dei materiali con i quali l'edificio verrà realizzato.

In particolare si deve porre una specifica attenzione a:

- Studio dell'ambiente naturale
- Studio dell'ambiente costruito
- Orientamento dell'edificio nel lotto
- Studio dell'involucro

3.1 L'ambiente naturale

Lo studio dell'ambiente naturale avviene attraverso la conoscenza di informazioni quali:

- l'individuazione della posizione geografica;
- la fascia climatica di appartenenza;
- i parametri meteorologici;
- la morfologia;
- i materiali del luogo.

3.1.1 La posizione geografica

La posizione geografica ci fornisce la posizione sul globo terrestre del nostro sito e ci permette quindi di calcolare i parametri solari teorici di un sito quali il *soleggiamento teorico*, grandezza che misura le ore di luce, la quantità di energia di irraggiamento solare e la descrizione del moto del sole in quel determinato punto.

La posizione del sole è identificata in ogni istante attraverso *l'altezza e l'azimut*; la prima è individuata con l'angolo β che l'asse osservatore – sole forma con l'orizzonte, l'azimut α è l'angolo dalla proiezione sul piano dell'orizzonte dalla congiungente terra – sole con il sud geografico.

La posizione geografica fornisce anche altre informazioni quali la posizione altimetrica del sito sul livello del mare e la sua disposizione in merito alla vicinanza di ambienti particolari tipo mari, fiumi o zone montagnose.

3.1.2 La fascia climatica

La climatologia è quella scienza che studia i climi e i microclimi, intesi come l'effetto risultante dei vari fattori meteorologici che interessano una regione in un lungo periodo.

A scala globale la classificazione ormai adottata come standard è quella di W. Koepfel che si basa sui valori delle temperature e delle precipitazioni medie mensili ed annue, in concomitanza con l'analisi delle essenze della vegetazione locale e su di una sintesi dei parametri meteorologici in generale. Questa classificazione divide la superficie terrestre in differenti aree climatiche che vanno da quelle polari a quella mediterranea.

Un'altra classificazione finalizzata più specificamente alla progettazione architettonica e distingue quattro tipi di clima:

- **Climi freddi:** caratterizzati da una temperatura media del mese più freddo inferiore a -15°C ed elevata umidità relativa in inverno.

Nelle costruzioni in questo clima è da preferire una chiusura generale verso l'esterno con gli spazi serviti verso l'interno del corpo di fabbrica.

- **Climi temperati:** T_m del mese più freddo $\geq -15^{\circ}\text{C}$; T_m del mese più caldo $\leq 25^{\circ}\text{C}$; le temperature attorno ai 20°C sono raramente accompagnate da umidità superiore all'80%; l'escursione termica annuale può andare da -30°C a $+37^{\circ}\text{C}$; le precipitazioni possono avvenire in tutto l'anno; d'inverno spesso sotto forma di neve.

In questo tipo di climi si può favorire l'esposizione sud con organizzazione a fasce disposte da est a ovest per gli spazi interni.

- **Climi caldi secchi:** elevata temperatura ed elevato irraggiamento solare; la temperatura media dei mesi più caldi è superiore a 25°C ; l'umidità relativa è bassa; temperatura massima nell'anno circa 45°C ; minima fino a -10°C ; escursioni termiche diurne ampie; venti forti.

Si può favorire la ventilazione e sfavorire l'irraggiamento solare

- **Climi caldi umidi:** elevato indice di umidità; almeno un mese l'anno la temperatura media è superiore ai 20°C con umidità relativa attorno all'80%; temperatura massima nell'anno circa 45°C ; minima fino a -10°C ; le precipitazioni superano spesso i 200 mm e per lo più assumono forma di acquazzoni intensi ma di breve durata.

In questi climi sarà di particolare importanza la ventilazione per il raffrescamento.

Nella progettazione bioclimatica ciò che interessa è il microclima e il clima locale, direttamente influenzati dalle caratteristiche del luogo e quindi suscettibili di variazione anche a brevi distanze.

3.1.3 I parametri meteorologici

I fattori meteorologici principali sono:

- la temperatura ovvero lo stato termico dell'atmosfera;
- le precipitazioni quali pioggia, neve, grandine, brina e rugiada;
- la pressione atmosferica;
- l'umidità relativa intesa come rapporto tra quantità di vapore acqueo presente nell'atmosfera e la quantità massima che potrebbe esservi contenuta in condizioni di saturazione;
- lo stato del cielo;
- il regime dei venti;
- la radiazione solare come flusso di energia emessa dal sole in un unità di tempo su di un metro quadrato di superficie ($\text{kW/m}^2\text{h}$).

3.1.4 La morfologia

La morfologia fornisce informazioni quali:

- *la posizione di rilievi* in grado di dare ombra e modificare il regime dei venti;
- *la clivometria* misurata come pendenza media rispetto all'orizzontale, direttamente connessa alla quantità di energia solare incidente al suolo e alle ombre relative tra gli oggetti;
- *l'orientamento dei pendii* individuato tramite l'angolo azimutale.

3.1.5 I materiali del luogo

Con questa dizione si intendono quegli elementi che pur non intervenendo direttamente alla formazione del clima, influenzano il microclima locale con la loro presenza e natura e sono principalmente:

- *la natura del suolo* ai fini della porosità e della riflessione dei raggi solari;
- *la presenza e l'uso del verde* per eventuali ombreggiature, influenza sulla ventilazione, sull'inquinamento acustico e sulla salubrità dell'aria;
- *la presenza di acqua* per gli effetti di mitigazione degli sbalzi di temperatura e l'influenza nell'umidità relativa del sito.

3.2 L'ambiente costruito

L'ambiente costruito influisce attraverso la presenza e conformazione del *tessuto urbano* in funzione alla posizione e densità degli edifici limitrofi per la loro influenza sulle ombre, sui venti e sulle temperature locali; una estesa zona di ambiente costruito può infatti generare un innalzamento delle temperature locali, fenomeno detto delle *isole di calore*.

3.3 L'orientamento dell'edificio nel lotto

L'orientamento indica il punto cardinale verso il quale è rivolta una facciata di riferimento. Nel corso della storia dell'architettura sono stati numerosi gli studi sull'orientamento ottimale.

Il cosiddetto *asse eliotermico* fu proposto nel 1920 da Rey e Pidoux per Parigi come asse di orientamento di un piano verticale che riceve durante l'anno lo stesso valore eliotermico sulle due facce, il valore eliotermico veniva computato moltiplicando le ore di sole di insolazione di una facciata per la temperatura media dell'aria.

La correzione dell'asse nord/sud nell'asse eliotermico, per Parigi uguale a 19° verso est, si proponeva di perequare l'effetto termico delle esposizioni est e ovest, che pur essendo simmetriche rispetto al corso apparente del sole, sono asimmetriche rispetto all'andamento della temperatura dell'aria (la cui punta massima del ciclo giornaliero è intorno alle ore 16 col sole verso ovest).

Venti anni dopo Rey e Pidoux, Vinaccia ha criticato l'asse eliotermico proponendo invece *l'asse equisolare* orientato all'incirca nord est-sud ovest (formante con l'asse est-ovest un angolo variabile a seconda della latitudine); la proposta di Vinaccia nasceva dalla preoccupazione di perequare l'effetto termico per quattro esposizioni anzi che per due sole, ipotizzando tipologie edilizie a quattro orientamenti anziché due.

Ai fini di un guadagno di energia radiante dal fatto che nel nostro emisfero l'arco apparente formato dal sole nella volta celeste si svolge in direzione sud, deriva che il fronte a meridione è quello ottimale per il guadagno termico solare, viceversa il fronte nord investito dai venti freddi sarà quello più suscettibile alle dispersioni termiche.

Anche le *disposizioni planimetriche* possono risentire del clima e dell'orientamento dell'edificio, nei climi molto freddi è bene ubicare gli spazi serviti all'interno dell'edificio, nei climi temperati invece è consigliabile l'esposizione sud per gli ambienti più usati, quella verso il nord per gli spazi serventi e la disposizione di ambienti di filtro tra le due zone.

Per latitudini superiori a 35° N e in particolare per la situazione italiana, è possibile quindi identificare gli orientamenti preferibili per i vani di una casa di abitazione illustrati

nella seguente tabella.

	N	NE	E	SE	S	SO	O	NO
camere da letto		x	x	x	x	x		
soggiorno				x	x	x	x	
pranzo			x	x	x	x	x	
cucina		x	x					x
lavanderia	x	x						x
ambienti pluriuso				x	x	x	x	
bagni	x	x						x
ripostiglio	x	x						x
terrazze			x	x	x	x	x	
corpi scala	x	x						x

Ovviamente queste sono indicazioni di massima e da verificare con le effettive esigenze progettuali e l'influenza degli altri fattori sopra descritti.

3.4 Lo studio dell'involucro

L'involucro è costituito dagli elementi di separazione tra lo spazio esterno ed interno.

Ai fini di una progettazione bioclimatica si deve porre l'accento sulla necessità di avere gli elementi opachi isolati termicamente e sulla particolare importanza che rivestono gli infissi e le aperture in genere.

E' attraverso *le parti trasparenti* dell'involucro che l'organismo architettonico si approvvigiona di luce, aria ed irraggiamento solare.

A seconda delle differenti aree climatiche si possono dare le seguenti indicazioni:

- **clima freddo:** finestre sui lati sud e ovest per sfruttare il guadagno solare, sugli altri orientamenti solo la quantità strettamente necessaria;
- **clima temperato:** superfici vetrate a sud, est e ovest; necessità di schermature nei periodi caldi; pareti a nord prevalentemente piene;
- **clima caldo secco:** piccole superfici vetrate poste in posizione alta a est e nord per evitare la radiazione riflessa dal suolo;
- **clima caldo umido:** prevale l'esigenza di una buona ventilazione, sono da preferirsi finestre a nord e sud per sfruttare la grande differenza di temperatura nell'innescare delle ventilazioni.

Le schermature, fisse o mobili, possono essere realizzate con elementi verticali od orizzontali, i primi sono indicati per i fronti sud mentre la disposizione verticale è consigliata per i fronti est e ovest sui quali la radiazione solare arriva da altezze minori.

Il posizionamento all'esterno del vetro realizza miglior controllo del riscaldamento

diurno evitando l'irraggiamento diretto, una disposizione all'interno degli ambienti permette di ridurre la dispersione termica notturna.

La ventilazione dipende dal posizionamento delle aperture in funzione delle direzioni in cui spirano i venti e dal tipo di serramento.

I venti colpendo l'edificio provocano una sovrappressione sul lato sopravvento (che incontra il vento) e una depressione sul lato sottovento (lato da cui il vento si allontana); questo fa sì che la ventilazione ottimale si ha per aperture contrapposte sui due fronti, se quella sopravvento risulta più piccola è più facile controllare la velocità della ventilazione, se inoltre si sfalsano in altezza si aggiunge alla ventilazione un effetto camino migliorativo.

Sono comunque da tenere presenti delle misure limite dei vani per assicurare l'innescio della ventilazione.

4 **Cenni sulla trasmissione del calore**

Finora abbiamo trattato la progettazione bioclimatica in termini assolutamente generali, per una trattazione specifica dei sistemi da utilizzare non si può tralasciare una trattazione schematica sui modi in cui l'energia termica, detta calore, si trasmette. Il nostro organismo edilizio infatti deve essere in grado di proteggersi dal calore in estate e utilizzarlo di inverno con la massima efficacia possibile.

Il calore ha tre modi principali di trasmettersi tra i corpi:

- **la conduzione**, attraverso corpi solidi a differente temperatura; ai fini della qualità del calore trasmesso con andamento ciclico, come avviene per le pareti dell'involucro edilizio, è molto importante *l'effetto della massa* degli elementi, che contribuirà ad abbassare la differenza tra temperatura massima e minima e a ritardarne l'afflusso;
- **la convezione**, metodo di trasmissione dell'energia termica all'interno di un fluido che si attua attraverso il trasferimento fisico della parte di fluido più calda che per differenza di densità si porta verso l'alto spostando la parte di fluido più fredda, questa riscaldandosi a sua volta si alternerà con la parte spostatesi precedentemente innescando un moto detto convettivo. In edilizia si sfruttano le *capacità isolanti dell'aria*, questa in effetti risulta isolante solo se asciutta e ferma, questo è possibile confinandola attraverso spessori ridotti al di sotto dei 4 ÷ 5 cm, accorgimento usato nelle pareti a cassetta.
- **l'irraggiamento**, forma elettromagnetica di trasmissione dell'energia valido per corpi non a contatto diretto tra loro; l'energia del sole viene assorbita in questo modo dai corpi, in maniera dipendente dal loro colore esterno e dalle caratteristiche fisiche del materiale; il calore una volta assorbito viene riemesso sotto forma di onda termica. Il vetro risulta trasparente alle onde elettromagnetiche corte della luce ma opaco alle onde lunghe della radiazione termica, si determina quindi un riscaldamento degli ambienti direttamente irraggiati dal sole, questo fenomeno viene chiamato *effetto serra*.

5 **Sistemi per un controllo bioclimatico del comfort ambientale**

Il controllo bioclimatico del benessere interno si raggiunge essenzialmente attraverso sistemi in grado di contribuire al comfort interno utilizzando risorse rinnovabili per:

- **il riscaldamento;**
- **il raffrescamento;**
- **l'illuminazione naturale degli ambienti.**

Il raggiungimento di gradi maggiori o minori di benessere ambientale è fortemente influenzato dalla corretta applicazione e realizzazione dei sistemi scelti a tal fine.

5.1 Il riscaldamento

Il riscaldamento viene ottenuto sfruttando il contributo termico del sole; abbiamo visto che i sistemi termici solari si dividono in *sistemi attivi* e *sistemi passivi*, in questa trattazione si tratteranno le soluzioni passive, più interessanti architettonicamente e, se ben progettate, anche più redditizie energeticamente.

Elementi essenziali delle architetture realizzate con sistemi di captazione passiva dell'energia solare sono:

- **i collettori;**
- **gli assorbitori;**
- **l'accumulo;**
- **i componenti di controllo.**

I collettori sono di norma costituiti da una superficie trasparente o traslucida, integrata sul lato Sud dell'edificio, verticale, inclinata o sulla copertura, e da un **assorbitore** che è di norma una superficie opaca, generalmente scura, esposta alla radiazione solare che penetra dalla superficie trasparente ed è così convertita in calore.

L'accumulo è composto da materiali di diverso tipo che possono, con particolari modalità, immagazzinare calore per poi ricederlo nei momenti in cui l'edificio non è direttamente riscaldato dal sole.

I componenti di controllo possono essere fissi o mobili, azionati manualmente o automaticamente (è per esempio un caso di edificio intelligente); essi possono essere: schermature per regolare l'ingresso della radiazione solare, riflettori per aumentare la radiazione che raggiunge le aperture, valvole di vario tipo che agiscono sul moto naturale dei fluidi termovettori tra gli elementi, aperture regolabili per il controllo dell'aria esterna, ecc.

I sistemi solari passivi sono di cari tipi ciascuno con proprie specifiche caratteristiche.

Di norma essi vengono divisi in tre categorie di sistemi:

- **a guadagno diretto;**
- **a guadagno indiretto;**
- **a guadagno isolato.**

5.1.1 Sistemi a guadagno diretto

Sono quelli in cui l'energia radiante penetra direttamente nell'ambiente che si vuole riscaldare, viene accumulata di norma da elementi che svolgono anche altre funzioni, come ad esempio pareti e pavimenti, e riceduta per convezione o irraggiamento all'interno dell'edificio.

Questo è il sistema più semplice per captare l'energia solare e utilizzarla per il riscaldamento ambientale. Si tratta di disporre *ampie superfici vetrate sulle facciate rivolte a sud, vetrate orizzontali a est e ovest e isolare tutte le pareti cieche*, in particolare quelle rivolte a nord. Le radiazioni solari penetrano attraverso le superfici vetrate nell'ambiente interno e qui vengono trattenute per effetto serra e assorbite da tutti i corpi presenti. Gli elementi edilizi, strutture, murature, pavimentazioni ecc. sono particolarmente adatti, per la loro massa, a funzionare come accumulatori. Per questo motivo è conveniente che, nelle abitazioni permanenti, l'isolamento sia posto all'esterno delle superfici murarie, in modo che queste agiscano come volano termico all'interno.

Ovviamente le vetrazioni dovranno essere realizzate in modo che disperdano il meno possibile, (vetrocamere con film basso emissivi). Da considerare inoltre la *necessità di avere solai, pavimentazioni e murature interne di massa sufficiente* perché agiscano come accumulatori, evitando partizioni in cartongesso e pavimentazioni in materiale sintetico (pvc ecc.). Con questo sistema *solo gli ambienti direttamente interessati si giovano dell'apporto energetico solare*, a meno che non vengano messi in diretta comunicazione con gli altri spazi dell'abitazione.

E' essenziale prevedere *l'apertura diffusa degli ambienti vetrati e la loro schermatura nel periodo estivo*.

5.1.2 Sistemi a guadagno indiretto

Nei sistemi a guadagno indiretto *il collettore fa parte dell'involucro* e riceve direttamente la radiazione solare dall'esterno senza farla penetrare all'interno, per poi ricederla attraverso l'assorbitore, sotto forma di energia termica trasmessa per irraggiamento e convezione agli ambienti di accumulo, con un ritardo di alcune ore dipendente dai materiali utilizzati e dallo

spessore dell'assorbitore.

Tra essi si annoverano:

- **i muri di Trombe-Michel e pareti ad accumulo;**
- **i sistemi ad accumulo;**
- **i roof-pond.**

I muri di Trombe-Michel sono costituiti da una parete massiccia, dipinta di scuro, che costituisce l'elemento di assorbimento e accumulo, con una parete vetrata esterna, il collettore, che intrappola le radiazioni solari. Il calore viene quindi trasmesso all'ambiente interno per conduzione e successivo irraggiamento, oltre che per convezione grazie a delle aperture superiori e inferiori che mettono in comunicazione l'intercapedine muro-vetro e l'ambiente interno. L'apertura o la chiusura di tali tagli nel muro, a seconda delle ore del giorno e della stagione, determina la direzione dei flussi di aria calda. Non sempre è un sistema che dà apporti energetici molto rilevanti, ma ciò è bilanciato da costi realizzativi tutto sommato contenuti, considerando che la parete accumulatore costituisce la struttura o il tamponamento dell'edificio ed è quindi un elemento da non computare, o non completamente, nelle spese supplementari; è necessaria una schermatura interna notturna dell'assorbitore.

Le **pareti ad accumulo** sono sistemi simili al muro di Trombe, con minore rendimento e maggiore facilità di manutenzione, che non prevedono aperture di comunicazione tra intercapedine vetrata e ambiente interno.

I **roof-pond**, letteralmente “stagni da tetto”, sono sistemi nei quali la captazione e l'accumulo vengono effettuati da contenitori in plastica sottile di colore scuro (ad es. sacchi di polietilene) pieni d'acqua, in genere di spessore dai 15 ai 40cm, posti in copertura. Di giorno l'acqua si scalda e il calore viene trasmesso per irraggiamento ai locali sottostanti tramite il solaio, che deve avere scarsa resistenza termica (ad es. lamiera grecata). Di notte i contenitori vengono protetti con pannelli isolanti. Nella stagione calda il funzionamento è inverso, favorito inoltre dai flussi convettivi ascensionali dell'aria calda.

5.1.3 Sistemi a guadagno isolato

Nei sistemi a guadagno indiretto l'elemento di accumulo si trova in prossimità della superficie vetrata e risulta necessariamente privo di strato isolante (pena la mancata trasmissione del calore per conduzione e irraggiamento). Tutto ciò implica notevoli dispersioni da compensare, verso l'esterno in inverno e verso l'interno in estate. Nei sistemi a guadagno isolato si cerca di ovviare a questo inconveniente, separando e allontanando

l'elemento captatore da quello accumulatore, ottenendo prestazioni decisamente superiori.

Il trasporto del calore avviene con fluidi, generalmente aria, che si muovono in appositi spazi dotati di dispositivi di regolazione e controllo.

A questa sottofamiglia dei sistemi solari passivi appartengono:

- **i termosifoni solari;**
- **i collettori ad aria con letto di pietre;**
- **i camini solari Barra Costantini;**
- **le serre aggiunte;**

I **termosifoni solari** sono elementi staccati dall'involucro, costituiti da un collettore vetrato con un assorbitore metallico che genera aria calda da immettere direttamente nell'ambiente dal quale riprende l'aria da riscaldare nuovamente; in pratica un collettore solare.

I **collettori ad aria con letto di pietre** sono termosifoni esterni all'edificio che usano come accumulatore di calore un letto di pietre posto al di sotto del solaio del livello terra.

I **camini Barra-Costantini** sono un'evoluzione del Muro di Trombe, trasformato qui in un sistema isolato; la muratura adiacente al collettore vetrato risulta isolata verso l'interno e nell'intercapedine si trova un elemento assorbitore, una piastra di metallo nera, che si scalda e fa aumentare la velocità dell'aria, che così sale e entra in canali ottenuti nel solaio di cls anche per lunghezze pari a 4-6 metri, sino ad entrare, per caduta naturale, nell'ambiente, dove si raffredda cedendo altro calore e torna (in maniera naturale o forzata) nell'intercapedine. Come si è detto le prestazioni sono maggiori rispetto ad un muro Trombe, ma lo è anche la spesa di installazione.

Le **serre aggiunte** sono grandi spazi a guadagno diretto separati dall'edificio e collegati ad esso da tubazioni. La sua versione ibrida, la **serra addossata**, un ambiente vivibile vetrato addossato all'edificio sul lato preferibilmente sud, in comunicazione con gli ambienti interni e col muro comune facente funzioni di assorbitore, riunisce in sé i vantaggi di tutti i generi di sistemi. Essa può infatti funzionare sia come sistema a guadagno diretto (sostituendo la parete di confine con l'abitazione con una vetrata), sia a guadagno indiretto (una sorta di intercapedine vetrata ingigantita), sia isolato (utilizzando soprattutto i moti convettivi dell'aria calda). Quest'ultimo sistema risulta il più accettato dall'utenza per i forti caratteri espressivi e di gran lunga il più efficiente energeticamente.

5.2 L'illuminazione naturale

L'illuminazione si può dividere qualitativamente in **diretta**, quando i raggi di luce arrivano direttamente dalla fonte di illuminazione alla superficie da illuminare ed **indiretta** nel caso colpiscano la superficie di riferimento dopo essere stati diffusi da altri corpi o dall'atmosfera ; l'illuminazione diretta, più ricca di energia di irraggiamento provocherà delle ombre nitide, quella diffusa delle ombre dal contorno poco definito o addirittura un'assenza di ombra.

L'importanza dell'illuminazione naturale degli ambienti investe questioni di carattere non solo energetico (risparmio di energia elettrica), ma anche igienico e psico-fisico sul benessere delle persone.

Proprio per queste motivazioni c'è stata ultimamente una evoluzione tecnologica notevole nel campo dei dispositivi che consentono di risolvere con l'illuminazione solare problemi di natura diversa.

Questi dispositivi possono essere divisi in tre categorie in relazione alla luce solare:

- **componenti di passaggio;**
- **di conduzione;**
- **di controllo.**

5.2.1 Componenti di passaggio

Per componenti di passaggio si intendono quegli elementi che permettono alla luce di passare da un ambiente esterno ad uno interno all'edificio, cioè i serramenti, orizzontali e verticali, nelle diverse configurazioni, compresi tutti quegli elementi in grado di offrire trasparenza e alla radiazione solare.

In caso serva una illuminazione zenitale, si possono adottare diverse soluzioni. Trattandosi quasi sempre di coperture piane, si può inserire un lucernario o degli shed o un "soffitto traslucido". Quest'ultimo è costituito da una divisione orizzontale tra due ambienti interni o tra ambiente interno ed esterno, a carattere diffondente, quindi in grado di fornire un elevato e uniforme livello luminoso. Nel caso la copertura sia a tetto è possibile rialzare una porzione centrale del colmo o delle falde per rendere permeabile alla luce lo stacco che si viene così a formare, fornendo quindi una luce zenitale non uniforme.

5.2.2 Componenti di conduzione

I componenti di conduzione sono elementi di distribuzione le cui superfici hanno caratteristiche tali da permettere una buona riflessione e quindi distribuzione direzionata

della luce. Molti di questi elementi sono impiegati in diversi sistemi a guadagno termico, così che si possa abbinare trasmissione luminosa e trasmissione termica utilizzando le superfici perimetrali sia come masse di accumulo sia come pareti di riflessione.

I componenti di conduzione della luce naturale possono essere suddivisi in tre gruppi:

- **gli spazi intermedi illuminati**, tipo le logge, le gallerie, il portico, il patio, l'atrio e la serra veri e propri elementi architettonici e di moderazione ambientale per il controllo della luce, della ventilazione e del calore;
- **i condotti di luce**, sistemi per trasmettere la luce solare in zone che non possono essere illuminate direttamente in modo naturale. Sono costituiti da sorta di camini, ma possono anche essere orizzontali, costruiti in un qualunque materiale, rivestiti internamente da superfici riflettenti, quali specchi, lastre in alluminio, tinteggiature chiare. La luce viene captata e direzionata tramite degli specchi posti all'imboccatura, verso l'esterno, rivolti verso la posizione del sole più conveniente, quindi trasmessa lungo il condotto, sino a raggiungere l'ambiente da illuminare.
- **i sistemi a fibre ottiche**, portano la luce attraverso minuscoli cavi di fibre speciali trasparenti alla luce solo attraverso la sezione iniziale e finale e dotati di bassissima dispersione.

5.2.3 Componenti di controllo

I componenti di controllo della luce sono elementi atti a favorire o limitare il passaggio della luce e a cambiarne eventualmente le caratteristiche.

Questo tipo di componenti può far parte di una schermatura:

- **i sistemi di frangi sole;**
- **i light-shelves**, componenti in grado di ridirezionare per riflessione la luce schermata;
- **le schermature interne;**

o essere un componente che prende il posto degli elementi di vetratura:

- **vetri con caratteristiche speciali dotati di riflessione selettiva dei raggi solari;**
- **materiali isolanti traslucidi (TIM);**
- **vetri a cristalli liquidi;**
- **pannelli solari;**
- **vetri elettrocromici;**
- **vetri termocromici.**

5.3 Il raffrescamento naturale

Il raffrescamento passivo sfrutta i principi di ventilazione naturale favorendo lo scambio termico tra l'edificio e aria a temperatura inferiore.

La ventilazione è direttamente coinvolta nei **sistemi di raffrescamento convettivo** e può essere incrementata aumentando le differenze tra parametri meteorologici quali temperatura e pressione tra le varie parti interne ed esterne all'edificio.

i sistemi in uso possono essere classificati in:

- **effetto camino;**
- **torri del vento;**
- **ventilazione per differenza di pressione;**
- **ventilazione sotterranea.**

5.3.1 Effetto camino

Masse d'aria a differente temperatura hanno densità e pressione diverse: a minore temperatura corrisponde maggiore densità e questo fa sì che la massa d'aria più fresca stia in basso, ma tenda a spostarsi verso l'alto verso zone a minor densità man mano che si scalda.

Si può sfruttare l'effetto camino semplicemente creando una differenza di altezza nelle aperture e aumentare le differenze di temperature tra le varie parti dell'edificio tramite ombreggiature. È comunque sempre opportuno far sì che tale effetto sia in qualche modo controllabile, tramite la regolazione delle aperture inferiori e superiori, per limitarne gli effetti in periodi in cui una eccessiva ventilazione sia indesiderata, come ad esempio nelle giornate invernali soleggiate ma fredde e ventose.

In estate la temperatura dell'aria è simile all'esterno e all'interno dell'edificio, per innesca l'effetto camino si può ricorrere al **camino solare**, realizzando in testa ad una canna di ventilazione una costruzione a camera d'aria in posizione molto esposta al sole, in cui, per effetto serra, l'aria possa scaldarsi fortemente e, fuoriuscendo da aperture poste nella parte superiore, possa innescare una aspirazione dell'aria dai locali interni a cui è collegata.

5.3.2 Torri del vento

La "torre del vento" è una particolare costruzione tipica delle zone mediorientale e nordafricana, in particolare dell'Iran, in grado di captare il vento e di portarlo in basso verso i locali da raffrescare. È un sistema dell'architettura tradizionale che, viene, per la sua efficacia, tuttora impiegato in quelle zone.

La torre del vento è una costruzione alta, una vera e propria torre, addossata o posta in

sopraelevazione all'edificio principale. Alla sua sommità presenta delle aperture rivolte verso la direzione dominante dei venti, i quali entrano attraverso di queste ogni qual volta esercitino la spinta necessaria, per discendere sino nei locali abitati. La torre può essere mantenuta umida in modo che l'evaporazione raffreddi le sue pareti e, di conseguenza, l'aria spinta all'interno che, diminuendo di temperatura, scenda più velocemente.

5.3.3 Ventilazione per differenza di pressione.

A causa delle caratteristiche climatiche e della presenza di ostacoli vari, quali gli alberi e gli edifici limitrofi, è approssimativamente possibile determinare una direzione e velocità prevalenti del vento in un determinato sito e considerarli rispetto alla posizione di un edificio, anche se in una data località in genere questi due parametri sono variabili.

Si ha quindi che uno dei lati dell'edificio è prevalentemente in stato di più o meno forte pressione a causa del vento, mentre il lato opposto risulta essere in depressione. È possibile sfruttare le differenze di pressione per raffrescare l'edificio. Infatti l'aria tende ad entrare dalle aperture poste sul lato in pressione, mentre tende ad uscire da quelle poste sul lato opposto.

E' determinante, perché ciò avvenga nel migliore dei modi, che la posizione e la dimensione delle aperture non sia casuale ma ben studiata.

La ventilazione deve essere massima durante il giorno, in stagione estiva, nelle aree più utilizzate dagli abitanti e il flusso d'aria deve lambire le pareti più massicce, cioè quelle che accumulano la maggior parte del calore.

5.3.4 Ventilazione notturna.

Questo sistema prevede il passaggio dell'aria fresca notturna a ridosso delle strutture in modo da raffrescarne la temperatura.

5.3.5 Ventilazione sotterranea.

Questo sistema prevede il passaggio dell'aria esterna attraverso condotte interrato prima dell'immissione nell'edificio ed è valido anche per un riscaldamento dell'aria in inverno.

L'aria a contatto con le pareti del condotto interrato cede calore al terreno che, a profondità di circa due metri, può essere considerato un corpo a temperatura costante più fredda della temperatura esterna in estate e più calda in inverno.

E' stato verificato che in un progetto ubicato in Austria l'aria esterna invernale, presa alla temperatura esterna di -11°C dopo il passaggio nel collettore usciva ad una temperatura di

0°C, arrivando a 15°C dopo il passaggio in uno scambiatore di calore attraverso il quale passa l'aria da espellere e infine a 18°C dopo il transito in una serra addossata; in estate il salto di temperatura è tale da permettere all'aria di passare dai 30° C ai 19,6°C.

Ad oggi questo sembra il miglior sistema di raffrescamento unitamente **ai sistemi evaporativi**, di difficile applicazione in quanto sfruttano la presenza di acqua addossata alle strutture da raffrescare.