

**Realizzato grazie al
contributo della
Fondazione CRT - Torino**

Architettura bioclimatica



INDICE

- SEZIONE 1: analisi climatiche
- SEZIONE 2: Fattori geografici
- SEZIONE 3: Fasi termiche
- SEZIONE 4: Localizzazione e orientamento
- SEZIONE 5: Collocazione degli spazi interni
- SEZIONE 6: Forma dell'edificio e rapporto superficie/volume
- SEZIONE 7: Riscaldamento
- SEZIONE 8: Isolamento
- SEZIONE 9: Tenuta all'aria
- SEZIONE 10: Serramenti
- SEZIONE 11: Ventilazione
- SEZIONE 12: Sistemi solari passivi
- SEZIONE 13: Schermature solari
- SEZIONE 14: Massa termica
- SEZIONE 15: Illuminazione naturale
- SEZIONE 16: Ventilazione
- SEZIONE 17: Ombreggiamento
- SEZIONE 18: Conclusioni

Architettura bioclimatica

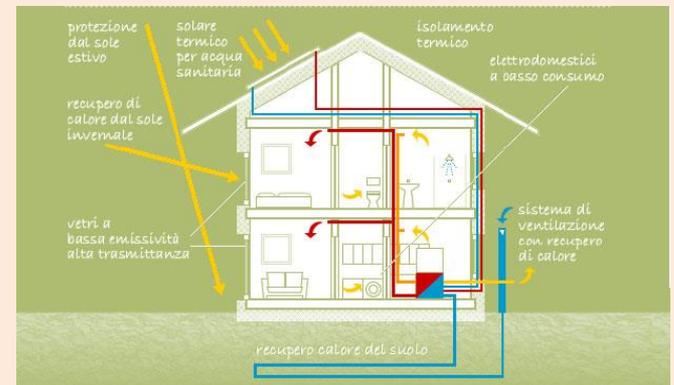
Uno degli obiettivi principali assegnati alla progettazione architettonica è garantire condizioni di comfort a costi economici ed energetici accettabili

Le condizioni di comfort si raggiungono attraverso due sistemi:

Misure passive (concernenti principalmente variabili architettoniche, morfologiche e tecnologiche)

Misure attive (correlate agli impianti tecnologici)

I sistemi attivi e passivi, al fine di ottenere le condizioni di comfort ottimali, devono essere bilanciati utilizzando **la giusta quantità di energia e risorse**



Architettura bioclimatica

Analisi climatiche

Per conseguire un rilevante abbattimento degli impatti delle costruzioni sull'ambiente occorre effettuare una progettazione integrata, a basso consumo e basso impatto energetico. Occorre, in sintesi, utilizzare gli elementi naturali che definiscono il carattere specifico del sito al fine di progettare una costruzione che minimizzi gli apporti artificiali, sfruttando appieno ciò che la natura fornisce gratuitamente.

Analisi climatiche

Fattori meteorologici

I fattori meteorologici che caratterizzano il clima di una regione sono essenzialmente la temperatura dell'aria, le precipitazioni, la pressione atmosferica, l'umidità relativa, lo stato del cielo, il regime dei venti e la radiazione solare. In funzione dell'estensione spaziale, sia in senso orizzontale che in senso verticale abbiamo:

- **Macroclima:** analizza e descrive la circolazione generale dell'atmosfera alla scala continentale e oceanica, per un'ampiezza verticale di circa 12 km;
- **Mesoclima:** analizza e descrive le caratteristiche climatiche a livello subcontinentale, per un'estensione orizzontale dell'ordine di 1000-2000 km e verticale dell'ordine di 3-4 km;
- **Topoclima:** analizza e descrive le caratteristiche climatiche a scala locale, per un'estensione orizzontale dell'ordine delle decine di chilometri e verticale di 1 km;
- **Microclima:** descrive il clima tipico dell'area di interesse nella progettazione edilizia, quindi estensioni orizzontali di qualche centinaio di metri, e verticali corrispondenti all'altezza media delle piante, in zone extra-urbane, e degli edifici, in zone urbane.



Architettura bioclimatica

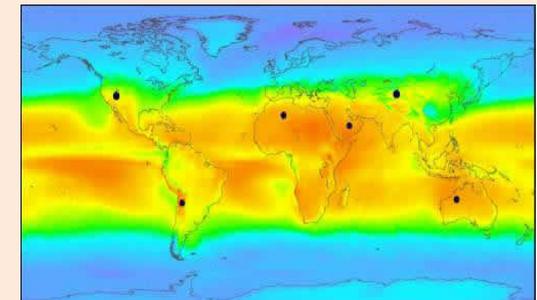
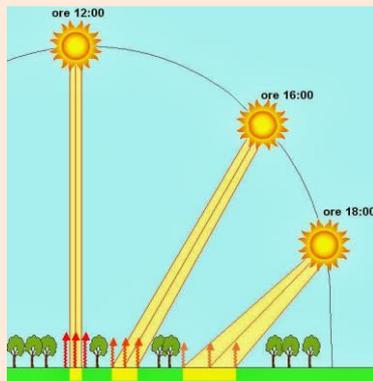
Analisi climatiche

Temperatura dell'aria

Per temperatura dell'aria, in un dato momento e in un dato punto, si intende lo stato termico dell'atmosfera. Il riscaldamento dello strato dell'aria avviene per conduzione e convezione da parte della superficie terrestre. Per studiare l'andamento delle temperature in periodi superiori al giornaliero si rilevano i seguenti valori caratteristici: temperatura media massima, temperatura media minima, temperatura media, temperatura estrema massima, temperatura estrema minima.

A parità di condizioni meteorologiche e topografiche, nelle zone urbanizzate la temperatura dell'aria cambia rispetto alle zone limitrofe non urbanizzate. In aree urbane ed in periodi invernali la temperatura è mediamente superiore di circa 2°C rispetto alla campagna circostante, mentre in estate la differenza può essere più marcata. Questo effetto, noto come "isola di calore", è causato dalla presenza di fonti di calore e dalla capacità di assorbimento e accumulo del calore da parte dei materiali che normalmente si impiegano nelle costruzioni.

Nelle zone urbanizzate, inoltre, le differenze di temperatura tra giorno e notte sono minori rispetto alle aree periferiche e naturali, poiché i fabbricati riemettono il calore accumulato nell'arco della giornata.



Step 3. Conversione
efficiente della
energia fossile

Architettura bioclimatica

Analisi climatiche

Precipitazioni

Per precipitazione si definisce ogni forma di acqua atmosferica che raggiunga la superficie terrestre, sia allo stato liquido (la pioggia e la rugiada) che solido (la neve, la grandine, la brina).

Di queste si misura la quantità -calcolando lo spessore dello strato di acqua che si formerebbe su un terreno perfettamente piano, senza assorbimento ed evaporazione; viene espressa in millimetri di altezza, corrispondente a un litro d'acqua sulla superficie di 1 mq -e la frequenza – calcolata in numeri di giorni durante i quali si verifica la precipitazione.

Umidità relativa

Viene definita dalla quantità di vapore acqueo contenuto nell'atmosfera.

Per umidità atmosferica assoluta si intende la quantità di vapore acqueo contenuto in un metro cubo d'aria in un dato istante. Per umidità atmosferica relativa si intende il rapporto tra la quantità di vapore acqueo contenuto nell'atmosfera e la quantità massima che potrebbe esservi contenuta alla stessa temperatura, in condizione di saturazione. L'umidità relativa, che si esprime in percentuale, riveste particolare importanza nel condizionamento estivo degli ambienti. Nel periodo estivo, infatti, l'elevato contenuto di umidità dell'aria esterna crea problemi di comfort alle persone. L'umidità relativa e la temperatura dell'aria sono i due parametri più importanti che incidono sul benessere delle persone.

Stato del cielo

Si definisce stato del cielo, in un dato momento e in un determinato punto di rilevazione, la quantità di cielo coperto da nubi.

Con un cielo sereno si avranno forti escursioni termiche poiché è permesso il continuo trasferimento di una grande quantità di radiazione solare incidente. Per i motivi opposti, un cielo coperto produce scarsa escursione. In inverno, infatti, una giornata nuvolosa è spesso più calda di una giornata serena in quanto viene limitato il re-irraggiamento attraverso l'atmosfera e quindi la sottrazione di calore dal terreno.

EP 3: Conversione
efficiente della
energia fossile



Architettura bioclimatica

Analisi climatiche

Regime dei venti

Il vento è un movimento d'aria causato dalla presenza di una differenza di pressione nell'atmosfera: tanto è maggiore la differenza di pressione tanto più veloce è lo spostamento delle masse d'aria. Le differenze di pressione possono essere provocate dall'ineguale riscaldamento della superficie terrestre dovuto alla radiazione solare.

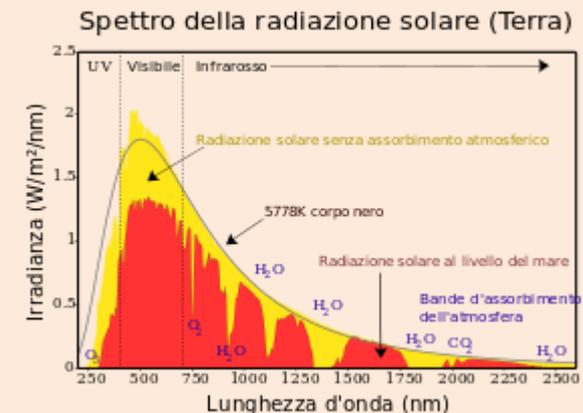
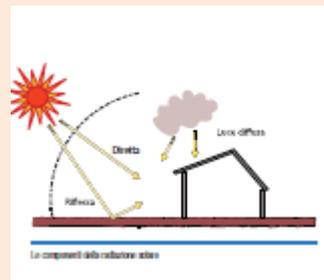
Radiazione solare

La radiazione solare è definita come il flusso di energia emesso dal sole. Attraversando i differenti strati dell'atmosfera terrestre una parte di essa viene riflessa verso lo spazio, una parte viene diffusa in tutte le direzioni, una parte viene assorbita e una parte (denominata radiazione solare diretta) raggiunge la superficie terrestre. La radiazione solare totale che raggiunge la superficie terrestre è data dalla somma della radiazione solare diretta e di quella diffusa. La radiazione totale diretta che giunge al suolo, in parte viene riflessa (effetto albedo) e in parte viene assorbita. La parte assorbita si trasforma in calore e fa aumentare la temperatura dell'aria, del suolo e degli oggetti circostanti.

La quantità di radiazione solare totale corrisponde all'energia termica che giunge dal sole sopra l'unità di superficie orizzontale in un determinato periodo di tempo. Si misura in kWh/m²giorno o in MJ/m²giorno

Pressione atmosferica

È la pressione esercitata da una colonna d'aria al di sopra del punto di misura. Il valore varia in funzione della temperatura e della quantità di vapore acqueo contenuto nell'atmosfera e diminuisce con l'aumentare dell'altitudine, rispetto al livello del mare, del punto in cui viene misurata.



Architettura bioclimatica

Fattori geografici

Passando all'analisi delle condizioni locali che influenzano la progettazione edilizia ricordiamo quali sono i principali elementi da considerare: avremo i fattori geografico-morfologici quali la composizione geologica; l'altitudine; la presenza e posizione di rilievi, in grado di ombreggiare e modificare il regime dei venti; la clivometria dei terreni, capace di influenzare la quantità di energia solare incidente al suolo e le ombre relative tra gli oggetti; l'orientamento dei pendii; la natura del suolo; la presenza del verde, che può influenzare eventuali ombreggiature; la ventilazione; l'inquinamento acustico e la salubrità dell'aria, nonché la presenza di acqua, che può mitigare la temperatura e l'umidità relativa del sito.

Particolare attenzione dovrà essere riservata all'analisi dei caratteri antropici: l'edificato può alterare significativamente il clima dell'area di interesse attraverso i cosiddetti fenomeni dell'isola di calore.



Architettura bioclimatica

Fattori geografici

Il suolo

La natura del suolo determina importanti ricadute per la temperatura dell'aria, in funzione dello scambio termico che si realizza. Come facilmente si può notare dall'osservazione di tutti i giorni i terreni aridi (sabbiosi o ghiaiosi e quindi privi di acqua di ritenzione dovuta a fenomeni di adesione e di capillarità) determinano temperature più elevate e con minore umidità, mentre i terreni umidi (argillosi o acquitrinosi) si accompagnano a temperature più basse ma con elevata umidità relativa. Un terreno spoglio è responsabile di notevoli escursioni termiche giornaliere, poiché risulta assente uno strato vegetale che trattiene parte del calore ricevuto, mentre un terreno erboso, in estate, ha la capacità di assorbire la radiazione solare attivando processi di evaporazione che abbassano la temperatura dell'aria. Ricordiamo ancora che ogni tipo di suolo o vegetazione ha caratteristici valori di albedo.

Per effetto albedo si intende la quota di radiazione solare diretta e diffusa che viene riflessa dal terreno e dagli oggetti circostanti, e che ha importanti connotazioni nel dimensionamento degli impianti solari.

Tipo di superficie	Albedo
Neve	0,75
superfici con mattoni chiari o intonaci chiari	0,60
superfici in mattoni o intonaci scuri	0,27
boschi in autunno	0,26
cemento consumato	0,22
superfici in pietra	0,20
terreni di varia natura, argilla	0,14
superfici con bitume e pietrisco	0,13
asfalto consumato	0,10
specchio d'acqua, boschi di conifere in inverno	0,07



Architettura bioclimatica

Fattori geografici

I corpi d'acqua

Come brevemente accennato, in assenza di corpi d'acqua significativi si hanno temperature più alte e maggiori escursioni termiche giornaliere e annuali. Viceversa, quando è predominante la massa d'acqua rispetto al terreno, la temperatura è più bassa e le escursioni più contenute. Il fenomeno è provocato dalla diversa capacità termica, ossia dalla capacità di immagazzinare calore, che ha il suolo rispetto all'acqua. Nella stagione estiva le masse d'acqua abbassano la temperatura massima ma incrementano il valore di umidità relativa.

La vegetazione

Essa si comporta come un'ostruzione esterna che scherma la radiazione solare e limita gli scambi radiativi verso la volta celeste, trattenendo parte del calore accumulato.

La presenza di aree verdi limita la quantità di radiazione riflessa e funge da regolazione delle temperature.

Nel caso di grandi masse arboree si ha inoltre la formazione di brezze notturne e mattutine simili a quelle delle zone costiere.



Architettura bioclimatica

Fasi termiche

Passando ad analizzare come l'ambiente circostante si relaziona con il costruito, primo passo verso una progettazione bioclimatica, dovremo considerare quali sono le influenze stagionali e le conseguenti variazioni climatiche che determinano particolari richieste termiche dell'edificio.

Alle nostre latitudini si possono distinguere tre fasi termiche a cui corrispondono diversi requisiti dell'edificio:

- Invernale: occorre favorire l'irraggiamento solare sulle pareti e le finestre per riscaldare e illuminare gli ambienti interni, ricercando un elevato isolamento termico per conservare il calore accumulato.
- Estivo: bisogna proteggere l'edificio dall'irraggiamento solare con sistemi di ombreggiamento. Con una massa elevata delle murature si può attenuare e ritardare nel tempo il flusso di calore entrante nel fabbricato, eventualmente sfruttando la ventilazione naturale interna in grado di smaltire l'eccesso di calore accumulato.
- Stagioni Intermedie: richiedono la combinazione di soluzioni che siano in grado sia di raffrescare che di riscaldare.

Una progettazione bilanciata serve per realizzare edifici termicamente efficienti in grado di soddisfare i requisiti di comfort termico controllando il microclima interno, minimizzando l'uso di impianti meccanici e massimizzando l'efficienza degli scambi termici tra edificio e ambiente. Si parlerà di tecniche basate sull'uso passivo dell'energia solare per il riscaldamento, il raffrescamento, la ventilazione e l'illuminazione naturale dei vari ambienti interni.

I nostri studi dovranno quindi partire da un'analisi del sito e del microclima in cui si opera, valutando quali sono gli effetti positivi e negativi che potranno manifestarsi sul futuro edificio, cercando di sviluppare le possibili tecniche passive, da integrare con adeguate soluzioni tecniche attive, da combinare all'interno di un adeguato progetto architettonico.



Architettura bioclimatica

Localizzazione e orientamento

Nel caso di nuove abitazioni, quando è possibile scegliere il luogo di costruzione, dovremo valutare la topografia del luogo e la presenza di ostacoli al fine di sfruttare gli apporti solari per il riscaldamento invernale, l'illuminazione e la ventilazione naturale per il raffrescamento estivo.

L'orientamento indica il punto cardinale verso il quale è rivolta la facciata di un edificio; nel caso di edificio a sviluppo lineare, indica la posizione, rispetto ai punti cardinali, delle due facciate a sviluppo prevalente.

Per definire l'orientamento solare corretto di un edificio fu introdotto, all'inizio del Novecento, l'asse eliotermico, proposto da Rey, Pidoux e Bardet.

Esso rappresenta la direzione secondo cui si verificano, rispettivamente a NNE e a SSO, il minimo e il massimo valore dell'indice eliotermico. Alla nostra latitudine l'asse eliotermico è inclinato di 18° - 19° a Est del Nord.

La progettazione bioclimatica impone però di analizzare le differenti caratteristiche tipologiche e distributive dei fabbricati con l'orientamento stesso. In presenza di fabbricati di forma allungata lungo l'asse Est-Ovest si avrà che durante il periodo invernale sarà massimo lo sfruttamento dei guadagni gratuiti (massima insolazione sul lato sud) mentre nel periodo estivo saranno i lati est ed ovest a subire il riscaldamento.

Diversi studi ci dicono, inoltre, che nel periodo invernale il lato sud riceve mediamente circa il triplo della radiazione solare rispetto ai lati esposti ad est e ad ovest, senza differenze sostanziali al variare della latitudine.

Importante sarà considerare la necessità di calore solare durante le prime ore della giornata, invece non desiderato nel tardo pomeriggio.

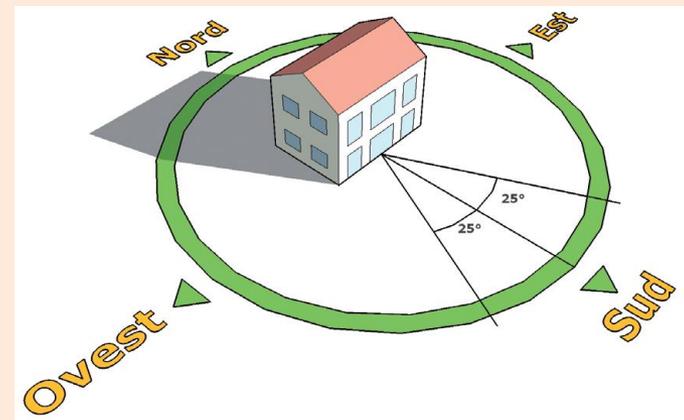
Particolare attenzione andrà riservata alle regioni già particolarmente surriscaldate.

Architettura bioclimatica

Localizzazione e orientamento

Per massimizzare i guadagni solari l'orientamento ideale dell'edificio è perfettamente a Sud con deviazione massima di $\pm 25^\circ$.

Percentuale di superficie finestrata ideale è 40% a sud, 25% a est e a ovest e 15% massimo a nord.



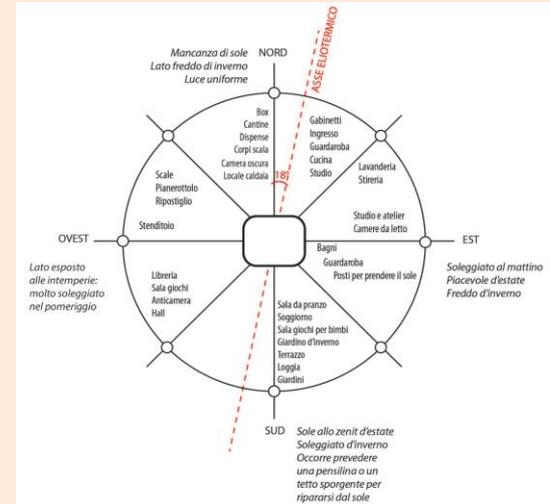
Architettura bioclimatica

Collocazione degli spazi interni

Di fondamentale importanza è anche la distribuzione degli ambienti interni: vanno considerati i percorsi orizzontali e verticali, cercando un compromesso tra lo sfruttamento degli apporti solari e la distribuzione delle singole unità abitative.

Nei climi molto freddi occorre posizionare gli spazi serviti all'interno dell'edificio, mentre nei climi temperati è consigliabile l'esposizione a sud per gli ambienti più usati, che hanno il massimo fabbisogno di riscaldamento e di illuminazione, cercando di limitare la profondità del corpo di fabbrica per poter usufruire della luce naturale, al limite impiegando tecnologie per sfruttarla, piuttosto utilizzando le aree a nord per gli spazi serventi e disponendo ambienti di filtro tra le due zone.

Per latitudini superiori a 35° N, e in particolare per la situazione italiana, possiamo avere una serie di collocazioni raccomandate per i differenti locali come riportato in figura.



Architettura bioclimatica

Forma dell'edificio e rapporto superficie/volume

La forma del fabbricato risulta di fondamentale importanza nello scambio termico tra ambiente interno ed esterno: in caso di edifici con forme molto irregolari e quindi in presenza di elevate superfici disperdenti (pareti di separazione tra interno riscaldato ed esterno non riscaldato) saranno massime le dispersioni di calore. Per valutare questo aspetto si introduce il cosiddetto rapporto di forma, che rappresenta un indice della compattezza dell'edificio. Esso è definito dal rapporto **S/V** in cui il termine S rappresenta la somma delle superfici disperdenti (superfici verso ambienti non dotati di impianto di riscaldamento) e V è il volume complessivamente riscaldato. Più questo valore è basso maggiore sarà la compattezza dell'edificio e più facilmente si manterrà il calore e pertanto saranno minori le dispersioni, e quindi le richieste di apporti energetici, a parità di volume riscaldato.

Le forme compatte permettono di ottimizzare la conservazione del calore mentre aggetti porticati o balconi e volumetrie irregolari favoriscono le dispersioni, rendendo necessario l'apporto di maggior energia per riequilibrare il tutto. Parimenti, abitazioni contigue riscaldate sono termicamente più vantaggiose rispetto a case indipendenti. Anche le abitazioni che si sviluppano su più livelli, a parità di superficie, presentano minori dispersioni rispetto a quelle su un unico livello. Questo non significa che non si possano costruire edifici architettonicamente articolati e allo stesso tempo efficienti: va però tenuto conto che in questi casi sarà necessario coibentare molto di più che per un volume compatto. L'effetto è particolarmente sensibile per piccoli edifici che raramente riescono ad avere un rapporto di forma inferiore a 0,7 m²/m³ e molto meno per i grandi edifici che facilmente hanno un rapporto di forma minore di 0,5-0,4 m²/m³.

Architettura bioclimatica

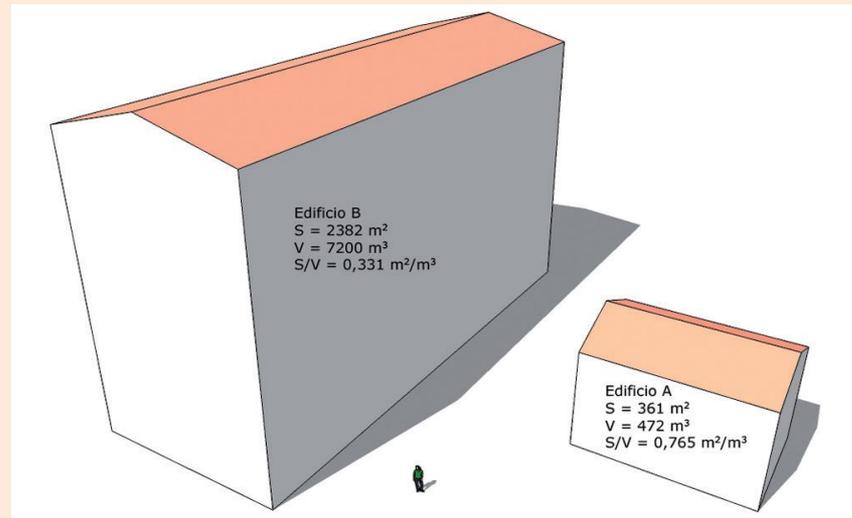
Forma dell'edificio e rapporto superficie/volume

Le forme libere favoriscono gli scambi termici e la ventilazione naturale nei climi caldo umidi.

Inoltre, lo stesso volume:

- sistemato in verticale (torre) avrà un guadagno termico maggiore in inverno;
- sistemato in orizzontale (schiera) avrà un guadagno termico maggiore in estate.

In funzione della natura del terreno, ad esempio se questo è in pendenza, si può valutare l'interramento di una parte della costruzione. Infatti, un locale interrato isolato termicamente ha una temperatura mite in inverno e fresca durante l'estate, per cui si riduce il fabbisogno in termini di riscaldamento o climatizzazione.



Architettura bioclimatica

Riscaldamento

Analizzando la fase del riscaldamento si andranno a minimizzare o ridurre le perdite o le dispersioni di calore attraverso l'involucro, rendendo massimi gli apporti o guadagni gratuiti.

Le perdite di calore verranno quindi ridotte con un adeguato isolamento termico della struttura, eliminando i ponti termici e agendo sulla compattezza dell'edificio. Per le perdite di calore per ventilazione, causate dal necessario ricambio di aria negli ambienti, potrà essere utilizzato, ad esempio, un sistema di ventilazione controllata con recupero del calore. Per incrementare i guadagni gratuiti occorrerà sfruttare i guadagni solari, ossia dovuti alla radiazione solare, e i guadagni interni, prodotti da dispositivi elettrici, apparecchi di illuminazione, nonché dalla presenza degli occupanti, in funzione della loro stessa attività.

È importante costruire l'edificio con un materiale che durante il giorno riesca ad accumulare calore per poi rilasciarlo durante la notte. La capacità di una sostanza di accumulare energia termica è chiamata calore specifico, definito come la quantità di calore (misurato in kcal, J o Wh) che un kg di quella sostanza riesce a trattenere quando la sua temperatura viene elevata di 1°C, o al tempo stesso, la quantità di calore che occorre fornire affinché un kg di quella sostanza elevi la sua temperatura di 1°C.

E' necessario che le strutture interne dell'edificio abbiano una capacità termica superficiale tale da poter immagazzinare il più possibile il calore trasportato dalla radiazione solare: sono per esempio utili pavimenti e sottofondi massicci, pareti in muratura, pareti interne massicce in terra cruda.

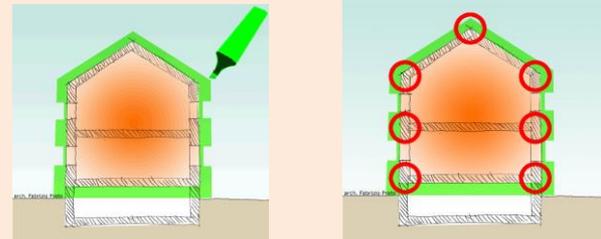
Architettura bioclimatica

Isolamento

Si rende necessario ridurre le dispersioni per trasmissione, coibentando tutto l'involucro con uno strato ininterrotto di coibentazione di spessore tale da minimizzare la trasmittanza termica di tutte le strutture di cui è composto. Per verificare in maniera empirica la continuità di tale strato sui disegni di progetto basta percorrerlo con un pennarello su tutte le piante e tutte le sezioni: se si è costretti ad alzare il pennarello per completare il giro e tornare al punto di partenza vuol dire che c'è una "falla" nello strato coibente che va necessariamente risolta.

Necessariamente questo implica la risoluzione dei cosiddetti ponti termici dovuti alle caratteristiche geometriche e strutturali dell'involucro stesso.

Regola del pennarello sullo strato coibente e ponti termici.



Architettura bioclimatica

Tenuta all'aria

Si rende, inoltre, necessario ridurre le dispersioni per ventilazione, ossia verificare la perfetta tenuta all'aria dell'involucro. E' necessario controllare che lo strato responsabile della tenuta all'aria avvolga senza interruzioni tutto l'involucro: anche in questo caso è applicabile la regola del pennarello. I punti più delicati sono l'installazione dei serramenti, porte e finestre, gli attraversamenti impiantistici dell'involucro e, negli edifici costruiti con tecniche a secco, tutte le giunzioni fra i vari componenti.

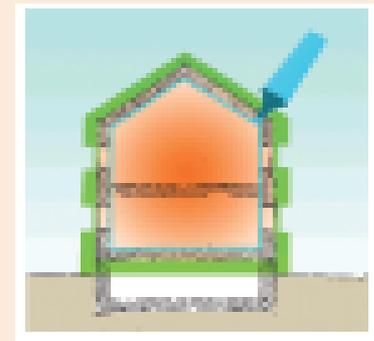
Nelle costruzioni in muratura generalmente tale strato è costituito dall'intonaco interno, mentre nelle costruzioni a secco è necessaria l'introduzione di una specifica guaina adeguatamente nastrata.

La verifica strumentale della tenuta all'aria dell'edificio si effettua tramite il cosiddetto *Blower-Door Test* eseguito in Conformità alla norma UNI EN ISO 13829, ossia sottoponendo l'edificio a una sotto-pressione e sovra-pressione di 50 Pascal, e misurando in queste situazioni il ricambio d'aria naturale: per edifici ad alta efficienza energetica tale ricambio deve essere inferiore a 2 Volumi/ora, per edifici ad altissima efficienza energetica non deve superare 1 Volume/ora e per gli edifici passivi 0,6 Volumi/ ora.

Il ventilatore che crea le condizioni di sovrappressione e sottopressione, e che misura il ricambio conseguente, viene installato al posto di una porta di ingresso.



Macchina per l'esecuzione del Blower_Door Test



Architettura bioclimatica

Tenuta all'aria

I difetti più frequenti di tenuta si riscontrano in:

tutti gli attraversamenti impiantistici dell'involucro: tubi per il riscaldamento e l'acqua, vani tecnici, condotte di espulsione dell'aria, scatole elettriche nelle pareti esterne;

cassonetti e cinghie per gli avvolgibili, arganelli manuali per le veneziane;

i camini, che in un edificio ad alta efficienza devono essere a fiamma chiusa con presa di aria comburente dall'esterno;

installazione non a tenuta delle finestre e delle porte verso l'esterno;

attacco pavimento parete esterna;

posa scorretta della guaina freno/barriera a vapore;

collegamento pareti esterne tetto inclinato.

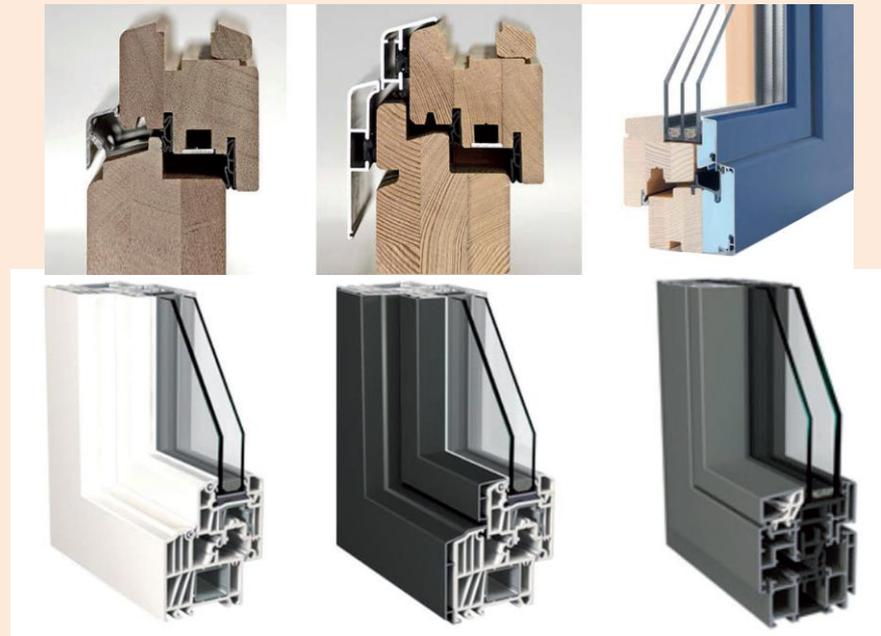
Nel caso di costruzioni con tecnologia a secco e in legno i problemi sono amplificati, e ogni giunto a secco deve essere minuziosamente sigillato con appositi nastri presenti in commercio in numerose varietà.

Nel caso delle costruzioni in muratura la tenuta all'aria è assicurata dallo strato di intonaco interno sulle pareti perimetrali: per essere efficace deve essere ininterrotto. Un errore tipico, nel caso di controsoffittature, è quello di non intonacare la parte di muratura non in vista al di sopra del controsoffitto, perché in quel punto la tenuta all'aria non è assicurata.

Architettura bioclimatica

Serramenti

Si rende opportuno utilizzare serramenti con prestazioni energetiche molto alte, correttamente installati, per non creare una discontinuità nello strato coibente e per non interrompere lo strato di tenuta all'aria.



Architettura bioclimatica

Ventilazione

Ventilazione degli ambienti: manuale o meccanizzata

Per assicurare comunque il ricambio d'aria sanitario minimo indispensabile negli ambienti interni degli edifici, a fronte della tenuta all'aria dell'involucro per motivi energetici, è indispensabile arieggiare, o manualmente o meccanicamente. Il tasso di ricambio necessario dipende dalla destinazione d'uso degli ambienti ed è comunque compreso generalmente tra 15-40 mc/h per persona. Se si arieggia manualmente, per non disperdere troppo calore, lo si deve fare per brevi periodi (massimo 4-5 minuti) molte volte al giorno (almeno 6-8 volte): il risultato è però mediocre sia sul piano sanitario che energetico.

Migliori risultati sia sul piano sanitario che energetico si ottengono tramite la ventilazione meccanizzata controllata (VMC) a flussi incrociati, che permette un costante e ideale ricambio di aria e il recupero quasi totale del calore.

Schema di funzionamento dell'impianto di ventilazione meccanizzata a flussi incrociati con recupero di calore VMC



Architettura bioclimatica

Sistemi solari passivi

Sono essenzialmente basati sull'effetto serra, fenomeno per il quale la radiazione solare attraversa una superficie vetrata per essere poi trattenuta da un corpo opaco collocato posteriormente che, riscaldandosi, emette una differente radiazione (a differente lunghezza d'onda) la quale non è in grado di compiere il passaggio inverso e quindi riattraversare la suddetta superficie trasparente. Il fenomeno sfrutta una proprietà dei sistemi vetrati che permette il passaggio di tutta la radiazione solare visibile incidente sulla superficie e assorbe la maggior parte della radiazione termica intercettata.

Sarà quindi necessario avere:

- una parete vetrata rivolta a sud per la captazione solare;
- una massa termica per l'assorbimento, l'accumulo e la distribuzione del calore.

La captazione dell'energia potrà avvenire per:

- guadagno diretto, quando la radiazione solare penetra direttamente all'interno dello spazio abitato e viene poi immagazzinata da masse termiche -pareti, soffitti e pavimenti -in grado di assorbire e accumulare calore. Tali sistemi permettono di captare anche minime quantità di energia solare -diretta o diffusa - che passano attraverso la vetratura.
- guadagno indiretto, quando la radiazione solare colpisce una massa termica collocata tra il sole e lo spazio abitato. L'energia solare viene assorbita direttamente dalla massa, convertita in energia termica, per poi essere trasmessa allo spazio abitato.
- guadagno isolato, nel caso in cui si abbia la separazione tra il gruppo costituito da accumulatore termico e captazione solare rispetto agli spazi abitati.

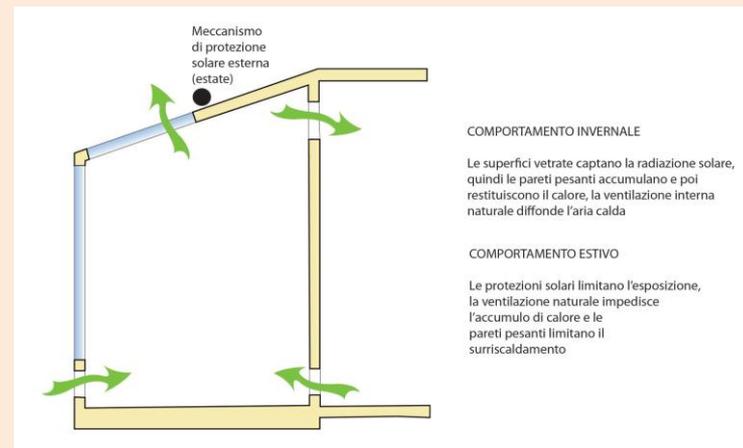
Architettura bioclimatica

Sistemi solari passivi

La serra solare addossata costituisce un esempio di combinazione di sistemi a guadagno diretto e indiretto. È costituita da uno spazio chiuso, separato dall'ambiente esterno mediante pareti vetrate e collegato alla costruzione. La copertura può essere vetrata oppure opaca, in funzione delle richieste termiche (e quindi della latitudine). Il sistema viene riscaldato direttamente dai raggi del sole, per cui funziona come un sistema a guadagno diretto, ma si ha un muro che si comporta come elemento termoaccumulatore, deputato ad assorbire la radiazione solare che riemette sotto forma di calore (e quindi a differente lunghezza d'onda) all'ambiente costruito. Nel periodo estivo diventa quasi obbligatorio prevedere adeguati sistemi schermanti e di aerazione al fine di ridurre fenomeni di surriscaldamento. A tal fine occorrerebbe prevedere vetrate apribili che permettano lo sfruttamento della ventilazione naturale della serra solare.

Fondamentale è anche la scelta dei materiali per le parti destinate all'accumulo del calore e alla cessione di questo nelle ore fredde: pavimentazione e pareti devono avere una buona inerzia termica.

Esempio di serra solare



Architettura bioclimatica

Schermature solari

Le vetrate rivolte a sud, realizzate per massimizzare il guadagno solare durante l'inverno, d'estate porteranno ad un eccessivo riscaldamento degli ambienti. Si potranno allora utilizzare schermature fisse e mobili.

Quelle fisse sono realizzate a mezzo di aggetti orizzontali collocati sopra la vetratura verticale. La lunghezza ottimale dell'aggetto dipende dall'altezza della finestra, dalla latitudine e dal clima: maggiore è l'altezza dell'apertura, maggiore deve essere la lunghezza dell'aggetto.

Le prestazioni delle schermature solari

Sistemi solari	Controllo dell'abbagliamento	Controllo della luce	Protezione da radiazione solare	Isolamento termico	Protezione da fenomeni atmosferici
Aggetti	-	-	-	-	+
Frangisole verticali fissi	0	0	+	-	-
frangisole orizzontali fissi	+	0	+	-	-
frangisole mobili	+	0	+	-	0
tende	+	-	+	-	-
avvolgibili	+	-	+	+	-
persiane	+	-	+	+	-

Le prestazioni delle schermature solari + Prestazione buona 0 Prestazione sufficiente -Prestazione insufficiente

Architettura bioclimatica

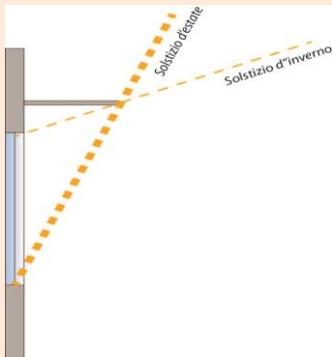
Schermature solari

Isolanti mobili interni

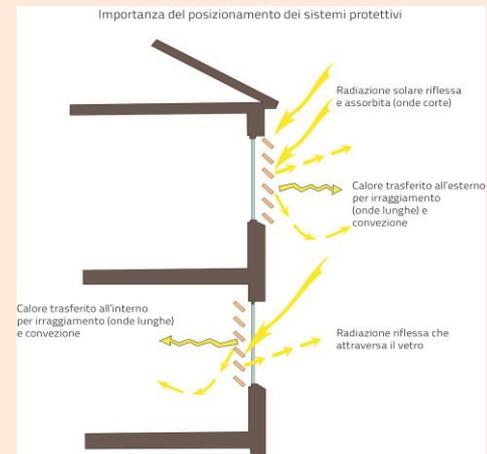
Alcuni esempi di comuni schermi mobili interni sono i tendaggi e gli scuretti isolanti. Con l'uso di tali sistemi occorre prestare attenzione per evitare fenomeni di condensa sui vetri: occorre, infatti, rimuovere l'isolamento durante il periodo di soleggiamento al fine di evitare che eventuali stress termici determinino la rottura del vetro stesso.

Isolanti mobili esterni

Tali sistemi devono essere progettati per resistere ai fenomeni atmosferici quali pioggia, vento, ghiaccio e raggi ultravioletti. Sono collocati sul lato esterno dei sistemi vetrati al fine di evitare il trasferimento di calore all'interno del locale, riducendo quindi i fenomeni di surriscaldamento, condensa e possibili stress termici dei vetri. Inoltre dovrebbero creare uno strato verticale di aria ferma, tramite un opportuno dimensionamento e adeguate sigillature dei battenti, al fine di avere un buon isolamento termico invernale.



Schema di funzionamento degli aggetti



Schema di schermature interne ed esterne

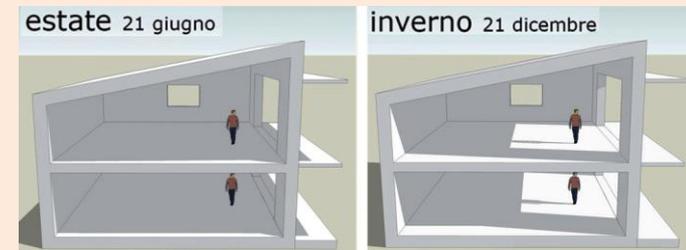
Architettura bioclimatica

Schermature solari

Predisporre una schermatura solare estiva delle strutture trasparenti.
Anche strutture con ottimi valori di sfasamento e smorzamento non possono niente contro il surriscaldamento dovuto all'ingresso del sole da finestre non schermate. I sistemi di schermatura solare devono sempre essere esterni al vetro per essere efficaci.

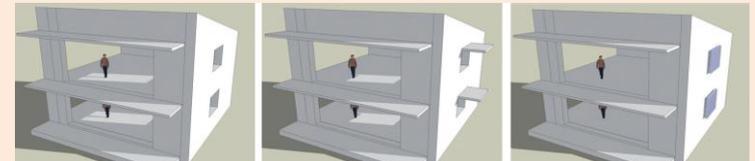
Una volta che il sole ha attraversato il vetro il danno è fatto.

Le finestre a sud possono essere efficacemente ombreggiate con sporti fissi, dimensionati in modo tale da non permettere alla luce del sole di penetrare attraverso le finestre nelle ore centrali della giornata estiva, quando il sole è alto sull'orizzonte, ma che la lascino entrare d'inverno quando il sole è più basso sull'orizzonte.



Ombreggiamento delle finestre a sud possibile con sporti fissi.

Le finestre a est e ovest devono invece essere ombreggiate con schermi mobili perché d'estate il sole al mattino (basso sull'orizzonte a est), e soprattutto nel tardo pomeriggio (basso sull'orizzonte a ovest), È caldo e nessuno sporto fisso può ostacolarlo.



Facciata Est senza schermo, 21 giugno mattino

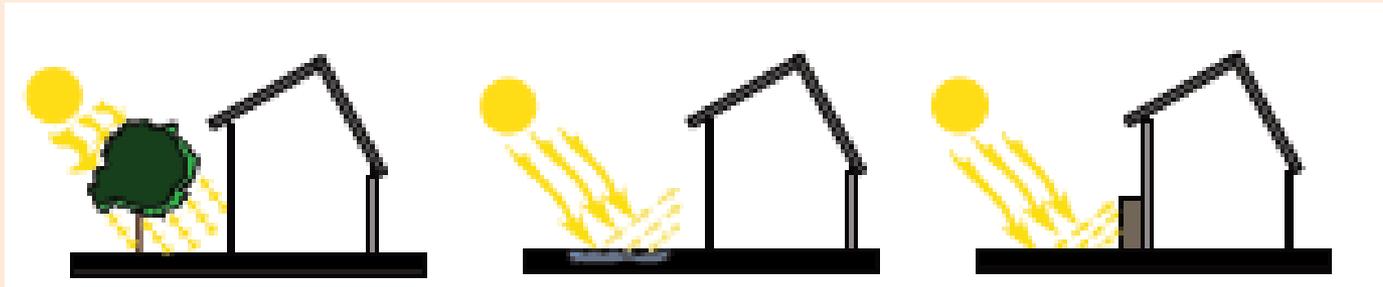
Facciata Est con schermo fisso, 21 giugno mattino

Facciata Est con schermo mobile, 21 giugno mattino

Architettura bioclimatica

Schermature solari

Le schermature solari si possono realizzare anche con sistemi elementi esterni all'edificio



Inserimento di una barriera arborea

Utilizzo di superfici a bassa riflettività

Inserimento di elementi verticali nelle zone perimetrali

Architettura bioclimatica

Massa termica

La massa termica è utile per limitare il surriscaldamento estivo, regolando i picchi di temperatura. L'accumulo termico rappresenta la capacità dei materiali di assorbire il calore, di accumularlo per un certo periodo di tempo e di restituirlo all'ambiente circostante quando questo si è raffreddato.

La capacità di accumulo termico dipende da:

- calore specifico;
- conduttività termica;
- densità o massa volumica.

Il prodotto del calore specifico (unità di misura: $J/kg \times K$) per la massa volumica si definisce capacità termica.

Il funzionamento della massa termica consiste sinteticamente nel "caricarsi" e "scaricarsi" di energia con cadenza giornaliera.

Vi è però un limite alla reale capacità di accumulo interno, derivante dalla profondità massima di penetrazione dell'energia termica negli elementi di accumulo (solai, pareti esterne, divisori, etc.): nel corso delle 24 ore tale profondità non supera, mediamente, gli 8-10 cm. Superando tali valori non si avranno reali benefici per ciò che riguarda la capacità di accumulo termico della struttura.

Architettura bioclimatica

Massa termica

Inoltre, andando a sovradimensionare la massa termica essa richiederà un'eccessiva quantità di energia per riscaldarsi durante i periodi di insolazione, mantenendo pressoché costante la sua temperatura durante tutto il giorno. Disponendo invece di una massa termica troppo ridotta, il possibile riscaldamento della stessa sarebbe troppo rapido, senza sfruttare tutto il periodo di insolazione, rilasciando altrettanto velocemente il calore accumulato, e quindi non nel periodo notturno di reale fabbisogno.

Sarà quindi necessario procedere al dimensionamento della massa termica in funzione della quantità di radiazione solare incidente: al variare della latitudine avremo la necessità di una differente quantità di massa, maggiore al diminuire della latitudine stessa.

I materiali migliori sono quelli che associano elevati valori di calore specifico e peso specifico poiché sono in grado di aggregare molta energia in poco spazio.

Le murature massicce in laterizio e i solai in calcestruzzo hanno una capacità termica elevata, rilasciando il calore accumulato durante il giorno, con un certo tempo di ritardo (sfasamento) rispetto al periodo di massimo carico termico esterno (ore più calde della giornata), attenuando al contempo l'entità stessa dell'onda di calore entrante (attenuazione).

Strutture leggere, invece, presentano valori di sfasamento e di attenuazione troppo ridotti.

Architettura bioclimatica

Illuminazione naturale

Dovendo limitare l'uso dell'illuminazione artificiale occorre procedere a una progettazione della luce naturale, operazione che può risultare complessa in zone fortemente urbanizzate per la presenza di edifici vicini o in caso di locali siti ai piani bassi.

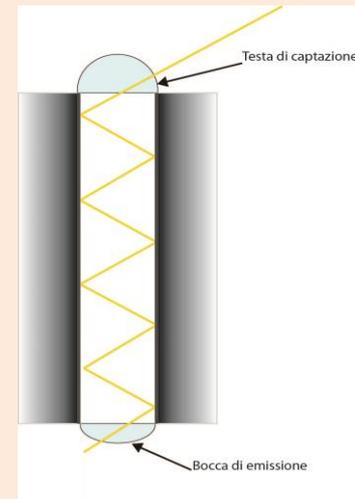
Le soluzioni possibili sono generalmente l'inserimento di atri e guide di luce. Per i piani alti si può procedere con l'illuminazione zenitale (dall'alto), eventualmente integrando le possibilità di illuminazione laterale.

Ai sistemi esterni, quali i frangisole, si possono abbinare sistemi di produzione di energia rinnovabile con idonei sistemi fotovoltaici.

In presenza di ambienti a uso discontinuo, spesso privi di aperture, o con distribuzioni planimetriche complesse (locali posti a elevata distanza dall'esterno) si possono utilizzare sistemi di trasporto della luce naturale al fine di recuperare le normali condizioni di comfort.

Utilizzando tali sistemi di trasporto della luce naturale avremo benefici anche dal punto di vista di risparmio energetico, andando a ridurre i consumi elettrici per una minore necessità di corpi illuminanti, con una conseguente riduzione degli apporti di calore nel periodo estivo, causa dell'utilizzo dei sistemi di condizionamento.

Esempio di condotto di luce



Architettura bioclimatica

Illuminazione naturale

Il condotto di luce permette, infine, di utilizzare locali interrati o parzialmente interrati.

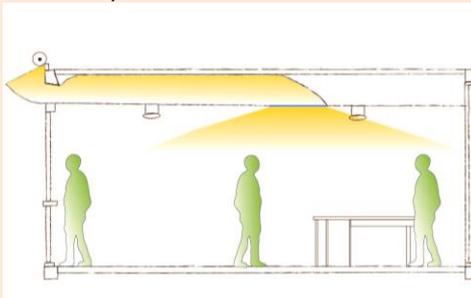
I sistemi per la captazione e il trasporto della luce naturale possono essere divisi in due categorie: sistemi mobili (o attivi) e sistemi fissi.

I sistemi mobili comprendono sistemi attivi, tecnologicamente molto complessi, per la captazione e la concentrazione dei raggi solari e hanno la caratteristica di essere sempre orientati nella direzione del sole. Non sono adatti ad applicazioni di tipo standard, avendo alti costi di costruzione, gestione e manutenzione mentre possono essere impiegati per interventi su larga scala o scientifico-dimostrativi.

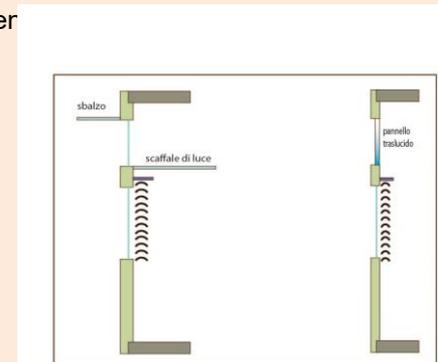
I sistemi fissi, meno costosi dei precedenti, sono caratterizzati da un captatore, studiato per facilitare l'ingresso della luce solare, sia della componente diretta che di quella diffusa, a seconda dei differenti modelli impiegati. Importante risulta anche il materiale utilizzato sia come rivestimento del suddetto captatore che del condotto vero e proprio. Il sistema dovrà quindi permettere adeguati livelli di luce naturale durante le varie stagioni, ottenuti ottimizzando la geometria del captatore.

Ricordiamo ancora i light pipes, ossia i condotti per il trasporto della luce, rivestiti di materiale TIR (Total Internal Reflection riflessione interna totale). Essi sono costituiti da differenti superfici specchianti, automatizzate per seguire il percorso del sole, le quali permettono di redirigere la luce solare nei condotti stessi.

Il sistema può anche essere collegato a sorgenti di luce artificiale per mantenere il livello di illuminazione durante maltempo e nelle ore notturne.



Esempio di anidolic ceiling



Altri sistemi per il trasporto di luce

Architettura bioclimatica

Ventilazione

Mediante la ventilazione si può sostituire, parzialmente o totalmente, l'aria "viziata" di uno spazio con aria pulita, garantendo la qualità dell'aria nell'ambiente.

La ventilazione naturale viene ottenuta senza l'utilizzo di ventilatori, ma attraverso il vento e l'effetto camino.

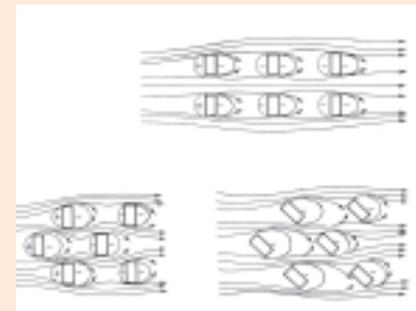
In presenza di elevato carico termico interno (nel periodo estivo o per ambienti come uffici e locali commerciali) la ventilazione favorisce il raffrescamento, sempre se attuata in condizioni di temperatura dell'aria non superiori ai limiti della zona di comfort, in genere prevista attorno a 26 °C.

Direzione del vento e disposizione delle abitazioni

Come descritto da diversi autori, gli edifici disposti perpendicolarmente alla direzione del vento ricevono sul lato esposto il pieno impatto dell'aria. Se invece essi sono disposti a 45°, la velocità del vento si riduce del 50%. Le file di edifici posti tra di loro a una distanza pari a sette volte le rispettive altezze assicurano un soddisfacente effetto di ventilazione per ciascun edificio. Una disposizione a unità alternate sfrutta, invece, l'andamento rimbalzante del vento.

Le forze che producono una ventilazione naturale all'interno degli edifici si possono classificare in:

- movimenti d'aria prodotti da differenze di pressione;
- ricambi d'aria causati da una differenza di temperatura.



Architettura bioclimatica

Ventilazione

Ventilazione per differenze di pressione

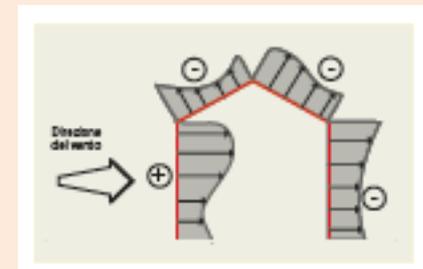
Il fenomeno dipende fortemente dalla geometria dell'edificio mentre è indipendente dalla velocità dell'aria.

Avendo un edificio investito da una corrente d'aria si creeranno un lato sopravento e un lato sottovento.

La differenza di pressione andrà a originare una corrente d'aria che, in presenza di opportune aperture nell'edificio, interesserà i locali interni.

Si avrà cura di disporre l'apertura di ingresso sul lato sopravento (a maggiore pressione) e quella di uscita sul lato sottovento (a minore pressione).

A parità di corrente circolante, dimensionando opportunamente l'area di ingresso, si avrà un incremento o un decremento della velocità di circolazione dell'aria. Nel caso del raffrescamento estivo sarà essenziale ottenere una sufficiente velocità piuttosto che incrementare i ricambi d'aria.



Architettura bioclimatica

Ventilazione

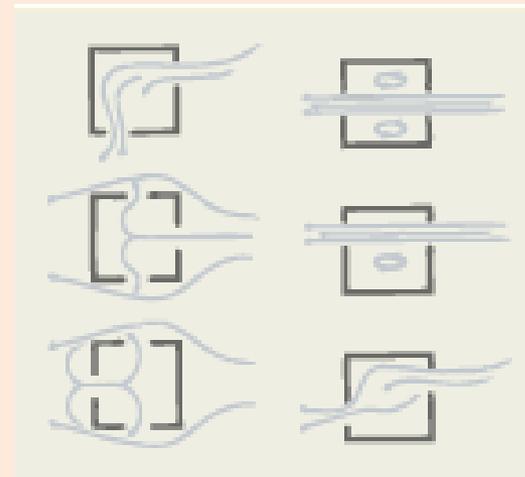
Ventilazione a lato singolo

In questo caso la ventilazione viene instaurata grazie alla presenza di aperture poste su un solo lato della costruzione ma la portata di aria circolante risulta ridotta, soprattutto in presenza di un'unica finestrazione.

Ventilazione passante orizzontale

Il fenomeno si origina in presenza di aperture poste su pareti opposte o adiacenti, alla stessa altezza dal piano del pavimento.

La portata d'aria ottenuta dipende dall'area netta di apertura, dall'angolo di incidenza del vento sul piano dell'apertura e dalla differenza di pressione tra le due aperture.



Architettura bioclimatica

Ventilazione

Ventilazione per differenza di temperatura (effetto camino)

Il principio, alla base dell'uso di soffitti alti per climi caldi, sfrutta la differente densità della colonna d'aria dovuta a diverse temperature interne ed esterne.

Una massa d'aria calda presente all'interno di un locale tenderà a portarsi verso l'alto, poichè meno densa, permettendo l'ingresso, tramite un'apertura posta a poca altezza dal pavimento, di aria più fredda (e più densa) proveniente dall'esterno.

Collocando un'opportuna apertura nella parte alta dei locali potremo originare un flusso di aria in uscita, sino a che le condizioni iniziali di diversità di temperatura vengono mantenute.

Per calcolare il cosiddetto tiraggio naturale bisogna avere a disposizione i valori di densità dell'aria all'interno dell'edificio, calcolabile come la densità dell'aria a 0 °C moltiplicato per un coefficiente dipendente dalla temperatura, espresso in gradi centigradi.

Si definisce poi la pressione statica ricercata, espressa in Pascal, tramite la formula:

$$P = H \times g \times (d \text{ esterno} - d \text{ edificio})$$

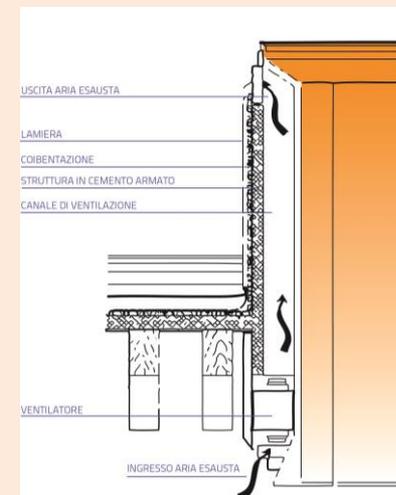
dove

H = altezza espressa in m del "camino"

g = accelerazione di gravità pari a 9,81 m/s²

d esterno = densità dell'aria alla temperatura esterna

Esempio di camino solare



Architettura bioclimatica

Ventilazione

La densità dell'aria esterna dipende anche dalle condizioni climatiche oltre che dalla temperatura, senza contare poi le perdite dovute ad attriti e dispersioni termiche lungo il condotto, che possono modificare la pressione di tiraggio lungo il percorso.

Il cosiddetto "camino solare" sfrutta l'effetto della convezione naturale sommato all'effetto camino ed è utile sia per il Rinfrescamento estivo che per il riscaldamento invernale.

Avendo cura di collocare a sud una parete vetrata priva di ostacoli e dotata di un'apertura alla base, potremo realizzare un sistema in cui l'aria viene riscaldata dall'insolazione naturale, per poi diminuire di densità, portandosi verso l'alto e richiamando dal basso nuova aria fresca.

Avremo, cioè, un flusso d'aria che determinerà un raffrescamento estivo. Nel periodo invernale, al contrario, tramite opportune chiusure sarà possibile sfruttare il calore prodotto all'interno dell'edificio per riscaldare i vari locali facendo circolare tali masse di aria calda.

Se risulta possibile sfruttare tutta l'altezza di un edificio, a più piani, si ottengono buoni risultati, anche dal punto di vista del risparmio energetico.

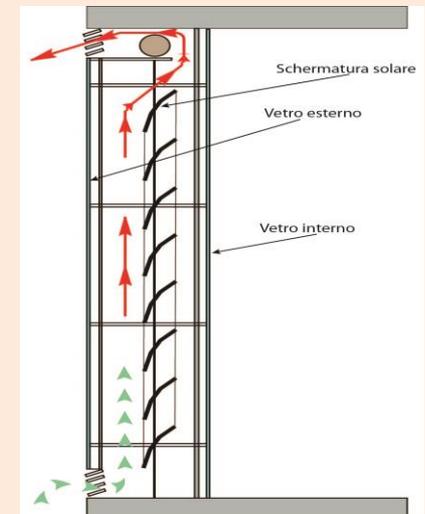
Anche per la ventilazione naturale da effetto camino, si possono avere due sistemi di flusso:

- ventilazione a lato singolo, quando le aperture multiple sono poste ad altezze differenti, ma collocate sulla stessa

Parete esterna;

- ventilazione passante (verticale), quando le aperture multiple, poste ad altezze differenti, sono collocate su pareti esterne diverse.

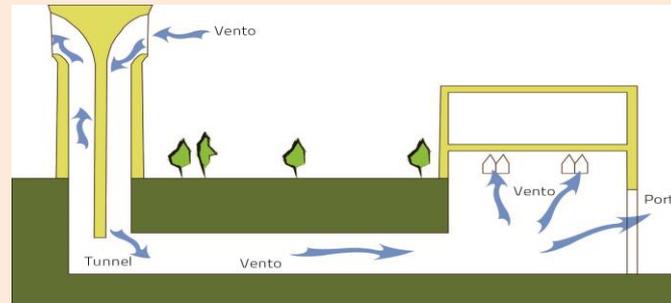
Esempio di facciata ventilata



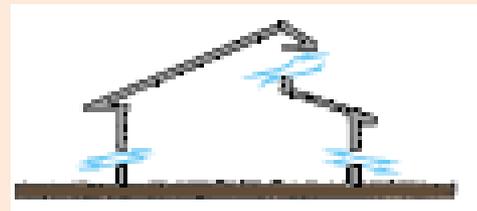
Architettura bioclimatica

Ventilazione

Esempio di una torre del vento



Esempi di ventilazione naturale



Architettura bioclimatica

Ombreggiamento

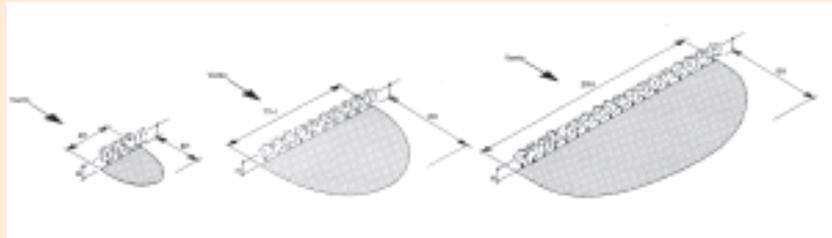
Nel valutare la presenza di ostacoli naturali alla radiazione solare diretta possiamo analizzare gli effetti provocati dalle alberature: come confermato da differenti autori, gli alberi a foglia caduca rappresentano un contenimento dell'insolazione durante le stagioni calde mentre in inverno, privati delle foglie, permettono i guadagni solari già precedentemente analizzati.

Con alberature disposte perpendicolarmente alla direzione del vento si avranno effetti di riduzione di pressione e di protezione dal riscaldamento in funzione dell'altezza della barriera, della densità degli alberi e della configurazione della specie arborea utilizzata.

Nello specifico, l'effetto di protezione della barriera si manifesta con una riduzione della velocità del vento e ciò dipende da diversi fattori:

- l'altezza della barriera;
- la natura fisica della barriera;
- la distanza della barriera dagli edifici da proteggere;
- la lunghezza della barriera;
- l'altezza dal suolo a cui interessa la riduzione della velocità, misurata in multipli di altezza della barriera stessa;
- la direzione dello sviluppo longitudinale della barriera rispetto alla direzione prevalente da cui spira il vento.

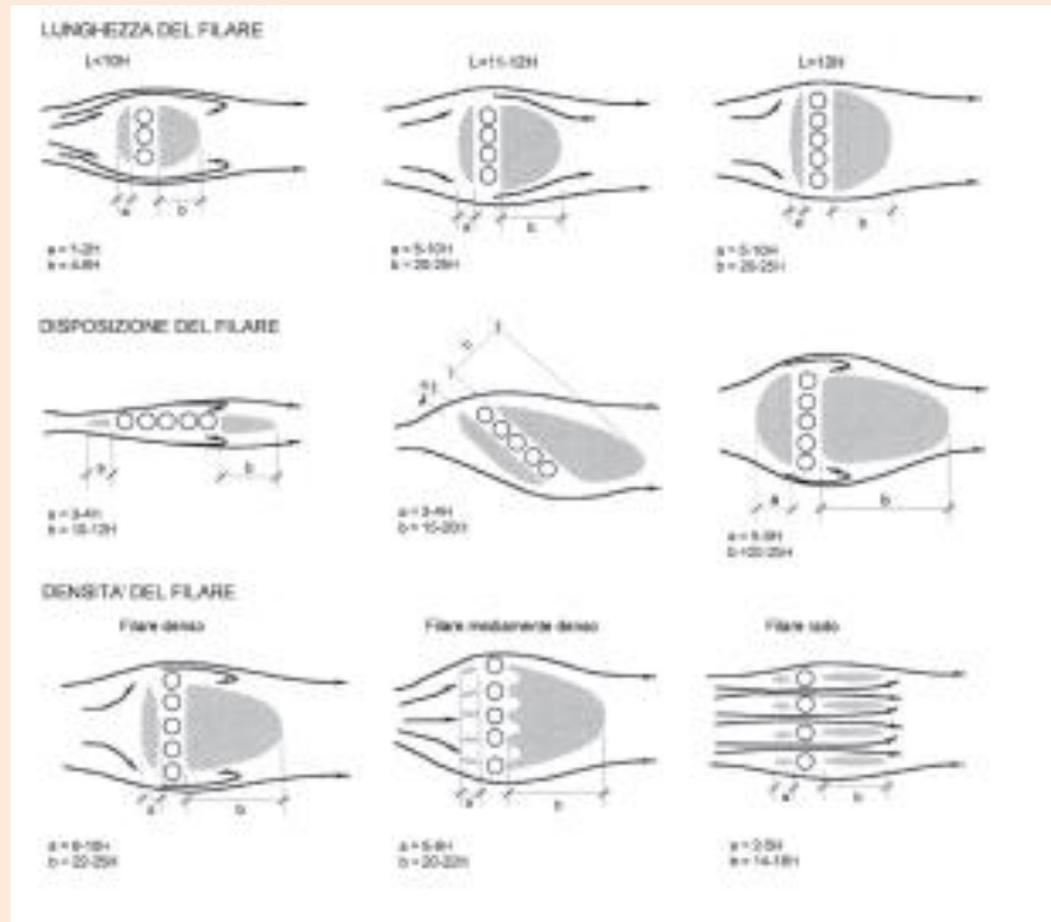
Estensione della zona di calma nella zona sottovento di un filare di alberi



Architettura bioclimatica

Ombreggiamento

Variazione della velocità rilevata all'interno della scia prodotta da una siepe di media porosità



Architettura bioclimatica

Conclusioni

In definitiva si suggerisce un approccio progettuale teso a cogliere e utilizzare le caratteristiche dell'ambiente naturale che ci circonda. Quindi, ad esempio, si cercherà di:

- orientare l'edificio e i singoli ambienti in modo da agevolare il guadagno solare passivo (o evitarlo, a seconda delle condizioni climatiche prevalenti) ampliando le aperture rivolte a sud e riducendo quelle poste a nord; distribuire altresì verso sud le aperture finestrate maggiori, in percentuale minore verso est e ovest e minimizzare le aperture verso nord. Bisogna però prestare attenzione al fatto che se d'inverno l'ingresso dei raggi solari all'interno del volume riscaldato è voluto, non lo è d'estate per evidenti motivi di surriscaldamento. Pertanto tutte le aperture, tranne quelle verso nord, devono essere dotate di sistemi di schermatura esterni: a sud possono essere fissi (tipo pensiline) o mobili (tipo veneziane esterne, persiane, etc.), a est e ovest possono solo essere di tipo mobile perché le schermature di tipo fisso non possono bloccare i raggi solari quasi orizzontali, ma comunque caldi, sia alla sera che al mattino d'estate.
- orientare l'edificio in modo da sfruttare le caratteristiche naturali dell'ambiente, come rilievi o alberature, per eventuali effetti di protezione o voluta esposizione ai venti dominanti;
- utilizzare la vegetazione per gli ombreggiamenti e la riduzione delle temperature degli ambienti interni;
- utilizzare la massa termica per moderare gli effetti delle temperature esterne, ad esempio accumulando il calore delle ore e giornate più calde e rilasciandolo nelle ore e giornate più fredde;
- sfruttare le strategie di ventilazione e raffrescamento naturali, soprattutto negli spazi affollati;
- favorire l'ingresso della luce naturale per ridurre il consumo di energia elettrica;
- ottimizzare gli impianti dal punto di vista dell'efficienza energetica;
- impiegare risorse energetiche naturali quali il vento, il sole, la geotermia, etc.;
- ridurre i consumi idrici, considerando l'utilizzo del riuso delle acque piovane e riducendo gli scarichi, impiegando anche tecniche di drenaggio sostenibile e fitodepurazione secondaria.