

## CLIMA ESTERNO

### CLIMATOLOGIA EDILIZIA

Per progettare edifici realmente efficienti e confortevoli, è fondamentale comprendere le relazioni tra l'edificio, il clima in cui si inserisce e le esigenze dell'uomo. Un edificio energeticamente efficiente è quello che riesce a trarre vantaggio dalle condizioni climatiche del luogo, riducendo i fabbisogni energetici. Allo stesso tempo, esso deve garantire condizioni ambientali favorevoli per gli occupanti, cioè comfort.

Il comfort, infatti, non è un concetto unico ma si articola in diverse esigenze: termiche, visive, acustiche e legate alla qualità dell'aria. Un buon progetto deve tener conto di tutte queste componenti, integrandole in modo coerente con il contesto climatico, l'orientamento, la forma dell'edificio e l'uso degli spazi.

Per analizzare il clima in relazione all'edilizia, si adottano tre livelli di scala:

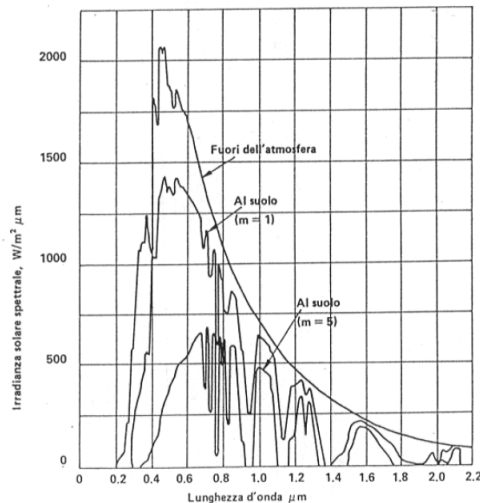
- il **macroclima**, che descrive le condizioni atmosferiche su una vasta area geografica. Qui si considerano dati medi come temperatura, radiazione solare, umidità, precipitazioni e nuvolosità, utili soprattutto nelle fasi di pianificazione territoriale;
- il **mesoclima**, relativo a un'area più contenuta, come una vallata o una città. In questo caso entrano in gioco fattori come la morfologia del suolo, la presenza di vegetazione e la configurazione del paesaggio urbano;
- infine, il **microclima** riguarda le condizioni atmosferiche che si generano a scala locale, anche solo intorno all'edificio stesso. Qui sono determinanti le attività antropiche, le superfici costruite, la disposizione degli spazi aperti e l'orientamento degli edifici.

Queste tre scale hanno pesi diversi nelle diverse fasi progettuali. Il macroclima è determinante nella pianificazione territoriale, mentre il microclima assume un ruolo fondamentale nella progettazione architettonica. È importante quindi saper leggere e utilizzare i dati climatici in modo consapevole, adattandoli al tipo di progetto.

Tra i principali fattori climatici che influenzano l'ambiente costruito troviamo: la **radiazione solare**, la **temperatura dell'aria**, il **vento** e l'**umidità relativa**. Ciascuno di questi elementi interagisce con le scelte progettuali e può diventare un'opportunità o un vincolo, a seconda di come viene gestito.

## RADIAZIONE SOLARE

La radiazione solare rappresenta la principale fonte di energia che raggiunge la superficie terrestre e ha un ruolo centrale nella progettazione architettonica e ambientale. Il Sole può essere approssimato a un corpo nero alla temperatura superficiale di circa 5800 K, da cui irradia energia nello spazio principalmente nel campo delle lunghezze d'onda comprese tra 0,2 e 3  $\mu\text{m}$ , cioè nel cosiddetto spettro solare.



Alla distanza media tra il Sole e la Terra, l'irradianza solare al di fuori dell'atmosfera (nota come **costante solare**) è pari a circa **1353 W/m²**. Tuttavia, quando la radiazione attraversa l'atmosfera terrestre, essa subisce processi di riflessione, assorbimento e diffusione, a seconda dello **spessore atmosferico attraversato**, che varia in base alla **posizione del Sole** durante il giorno e l'anno.

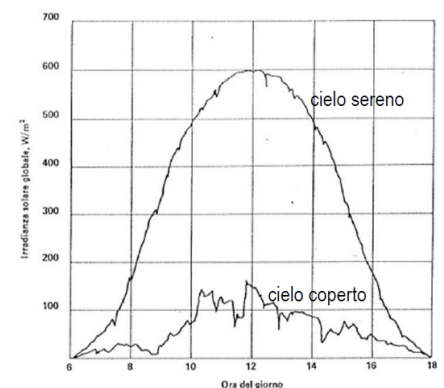
Durante le ore centrali della giornata, i raggi solari attraversano uno strato atmosferico più sottile, risultando più intensi. Al contrario, al mattino e al tramonto lo strato è più spesso, e l'intensità della radiazione diminuisce per effetto dell'assorbimento e della diffusione da parte di gas e particolato atmosferico. Anche la **rotazione e inclinazione dell'asse terrestre** (pari a 23,5°) causa una variazione stagionale della radiazione solare: è questo meccanismo che dà origine al ciclo delle stagioni.

La **radiazione solare che raggiunge una superficie** è composta da tre componenti:

- **diretta**: proviene direttamente dal Sole;
- **diffusa**: è generata dalla dispersione dei raggi solari nell'atmosfera;
- **riflessa**: è quella riflessa dal suolo e dagli oggetti circostanti (dipende dall'**albedo** del terreno).

Le condizioni atmosferiche (come la presenza di nuvole, vapore acqueo, polveri, CO<sub>2</sub>) e l'orientamento delle superfici influenzano profondamente la quantità di energia ricevuta. In una giornata **serena**, la componente diretta è dominante, mentre in un cielo **coperto** prevale la componente diffusa.

Per rappresentare in modo efficace la posizione del Sole rispetto a un luogo, si ricorre alla costruzione della **carta solare**. Si tratta di una proiezione bidimensionale della volta celeste, utile per conoscere la posizione del Sole (in termini di **altezza solare** e **azimut**) in qualsiasi giorno dell'anno



e ora del giorno. Le orbite solari variano a seconda della **latitudine** e sono fondamentali per valutare l'irraggiamento potenziale su una determinata superficie.

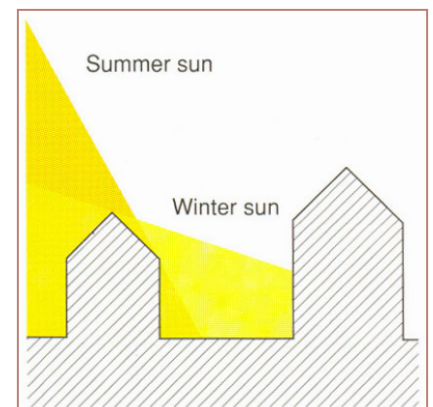
In ambito progettuale, conoscere la **posizione del Sole** consente di stimare gli **angoli fondamentali**:

- **altezza solare ( $\beta_s$ )**: angolo tra la direzione del Sole e l'orizzonte;
- **zenitale ( $Z_s$ )**: tra il Sole e la verticale (zenit);
- **azimut solare ( $\Phi_s$ )**: tra la proiezione del Sole sull'orizzonte e il Sud (positivo verso Est);
- **angolo orario ( $h$ )**: distanza angolare del Sole dal mezzogiorno;
- **declinazione solare ( $\delta_s$ )**: posizione del Sole rispetto al piano equatoriale terrestre.

Analogamente, si definiscono **parametri geometrici della superficie** ricevente:

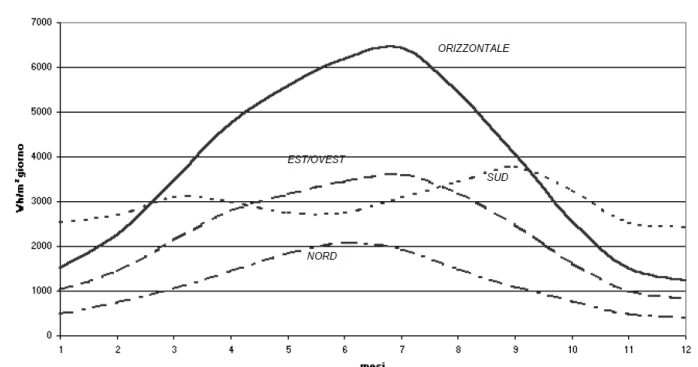
- **azimut della superficie ( $\Phi$ )**: direzione della sua normale rispetto al Sud;
- **inclinazione ( $\Sigma$ )**: rispetto all'orizzontale;
- **angolo di incidenza ( $\theta$ )**: tra i raggi solari e la superficie stessa.

La carta solare permette quindi una valutazione rapida della posizione del Sole e dell'angolo di incidenza in ogni momento, elemento cruciale per ottimizzare l'orientamento dell'edificio e degli elementi passivi (come schermature, aperture, pannelli solari).



Infine, si evidenzia come la **quantità di radiazione incidente** vari sensibilmente in base all'orientamento delle superfici:

- le superfici **esposte a Sud** ricevono più radiazione nei mesi invernali e primaverili;
- quelle **Est e Ovest** hanno picchi nei mesi estivi;
- le superfici **orizzontali** sono fortemente irraggiate d'estate.



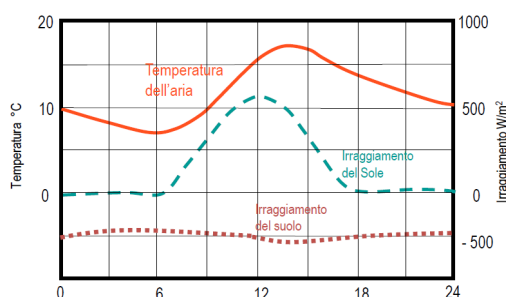
Tipo di superficie	% riflessa
Terreno nudo, asciutto	10-25
Terreno nudo, bagnato	8-9
Sabbia asciutta	18-30
Sabbia bagnata	9-18
Terra nera, asciutta	14
Terra nera, bagnata	8
Roccia	12-15
Erba secca	32
Campi verdi	3-15
Foglie verdi	25-32
Foresta scura	5
Deserto	24-28
Laterizio (a seconda del colore)	23-48
Asfalto	15
Aree urbane	10

Questa distribuzione influisce sulla scelta dell'orientamento e delle protezioni solari nel progetto edilizio, poiché incide direttamente sul comportamento energetico dell'edificio.

## TEMPERATURA DELL'ARIA

La temperatura dell'aria rappresenta una delle variabili climatiche più influenti sul comportamento energetico degli edifici e sul comfort degli occupanti. A differenza di quanto si potrebbe pensare, l'aria non viene riscaldata direttamente dalla radiazione solare, bensì per via **indiretta**, attraverso tre principali meccanismi:

1. **irraggiamento a onda lunga da parte del terreno:** la superficie terrestre, dopo aver assorbito la radiazione solare diretta, la riemette sotto forma di radiazione termica che riscalda l'aria soprastante;
2. **convezione:** il calore accumulato dal suolo si trasmette all'aria per contatto;
3. **condensazione e congelamento del vapore acqueo:** questi fenomeni rilasciano calore latente nell'atmosfera, contribuendo al riscaldamento dell'aria.



Durante la giornata, la temperatura dell'aria segue un **andamento tipico**: tende ad aumentare progressivamente dopo l'alba, raggiungendo il picco nelle prime ore del pomeriggio, e poi diminuisce fino a raggiungere il minimo poco prima dell'alba successiva. Questo ciclo giornaliero non è sincrono rispetto all'andamento dell'irraggiamento solare: il massimo di temperatura si verifica **in ritardo** rispetto al massimo di radiazione, proprio a causa dell'inerzia termica del terreno e dell'aria.

Anche su scala annuale si osserva uno sfasamento simile: la **temperatura minima** dell'anno non si ha al solstizio d'inverno, ma circa un mese dopo (gennaio-febbraio), mentre la **temperatura massima** si verifica dopo il solstizio d'estate (luglio-agosto), a causa dell'accumulo progressivo di calore nel suolo e nell'atmosfera.

La temperatura dell'aria è influenzata da numerosi **fattori morfologici e territoriali**, tra cui:

- la **topografia** del sito (vallate, altopiani, depressioni);
- la **copertura del suolo** (vegetazione, edificato, colore delle superfici);
- l'**altitudine** (in genere, la temperatura diminuisce salendo di quota);
- la **presenza di zone urbane o rurali**, che generano comportamenti termici molto differenti a causa del cosiddetto *effetto isola di calore*.

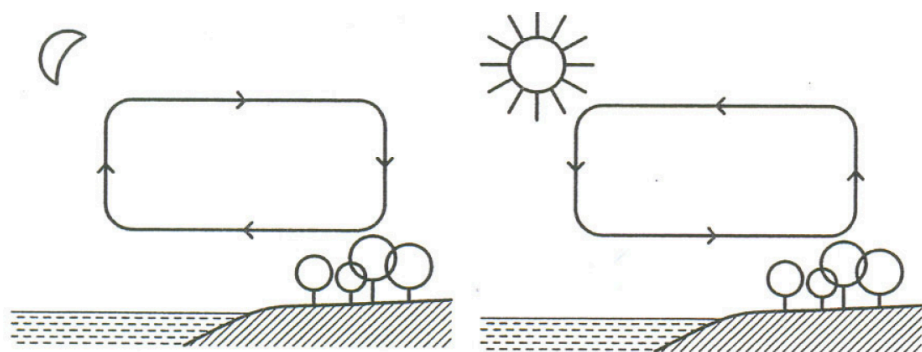
Le **aree urbane**, in particolare, tendono ad accumulare calore durante il giorno per poi rilasciarlo lentamente, mantenendo temperature più alte durante la notte rispetto alle zone rurali circostanti. Questo effetto viene evidenziato anche da profili verticali di temperatura: nelle città, l'aria più calda si stratifica soprattutto nei primi metri d'altezza, influenzando notevolmente il microclima urbano.

## VENTO

Il vento è il movimento orizzontale di grandi masse d'aria nell'atmosfera terrestre. È generato da differenze di pressione tra zone con diversa temperatura: l'aria tende a spostarsi dalle aree ad alta pressione verso quelle a bassa pressione, dando luogo a flussi più o meno regolari. Dal punto di vista climatico e progettuale, il vento è descritto attraverso tre parametri fondamentali:

- **velocità**: quanto velocemente si muove l'aria;
- **direzione di provenienza**: da dove arriva il vento;
- **frequenza**: quanto spesso un certo vento soffia in una determinata direzione.

A scala locale, il vento non è un fenomeno uniforme, ma è profondamente influenzato dalla **presenza di ostacoli**, dalla **morfologia del territorio** e dalla **vicinanza a grandi specchi d'acqua**.



Un esempio tipico è il fenomeno delle **brezze di mare e di lago**, che si attivano per effetto della diversa velocità di riscaldamento tra acqua e suolo. Durante il giorno, l'aria sopra la terra si scalda più rapidamente e sale,

richiamando aria fresca dal mare. Di notte il processo si inverte, generando le cosiddette *brezze di terra*.

La **topografia** ha un ruolo cruciale nella generazione di venti locali:

- nelle **vallate**, si possono formare brezze di fondo valle o di cima;
- in zone collinari o montuose, l'esposizione e l'orografia modulano intensità e direzione dei venti;
- le **città**, con la loro morfologia complessa, tendono a deviare, rallentare o canalizzare i flussi d'aria.

La **velocità del vento varia con l'altezza dal suolo**: più si sale in quota, minore è la resistenza offerta dalle superfici e maggiore è la velocità. Questo comportamento segue una legge di tipo esponenziale:

$$v_z = v_0 \left( \frac{z}{z_0} \right)^\beta$$

dove:

- $v_0$  è la velocità a un'altezza di riferimento (di solito 10 m);

- $z$  è l'altezza considerata;
- $\beta$  è un coefficiente che dipende dalla **rugosità del suolo** (tipicamente  $1/7$  in campagna,  $1/3,5$  in periferia,  $1/2,5$  in città).

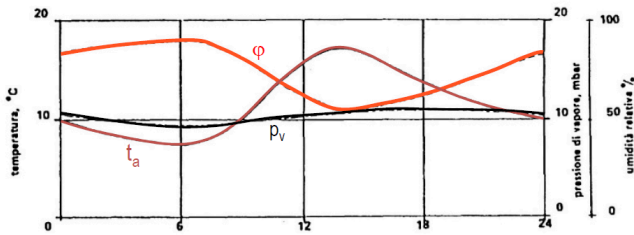
Anche **vegetazione ed edifici** influenzano notevolmente i flussi d'aria. Le chiome degli alberi, in particolare, schermano il vento in modo diverso a seconda del tipo (sempreverdi o decidui) e della stagione. Gli edifici, invece, possono accelerare o deviare i flussi, creando zone di turbolenza o di calma. Per migliorare le condizioni microclimatiche, si possono progettare **barriere antivento**, come siepi o frangivento semi-permeabili. La loro efficacia dipende sia dall'altezza, sia dalla permeabilità: un elemento troppo compatto può generare turbolenze indesiderate, mentre una struttura parzialmente permeabile garantisce una zona protetta più stabile.

Infine, l'andamento del vento **varia anche su scala giornaliera e stagionale**. I grafici comparativi tra Torino, Roma e Messina mostrano come la velocità del vento segua cicli differenti nei vari contesti geografici, confermando l'importanza di un'analisi climatica dettagliata per ogni sito specifico.

## UMIDITÀ RELATIVA

L'umidità relativa è la misura della quantità di vapore acqueo presente nell'aria rispetto alla quantità massima che l'aria potrebbe contenere alla stessa temperatura. Essa **non dipende solo**

**dalla quantità di vapore presente**, ma anche dalla temperatura: al diminuire della temperatura, l'aria può trattenere meno vapore, quindi l'umidità relativa tende ad aumentare.



Durante una tipica giornata, la **pressione di vapore rimane piuttosto costante**, mentre la temperatura varia: per questo motivo l'umidità relativa **cresce al calare della temperatura e diminuisce quando l'aria si riscalda**.

Possiamo rappresentare il legame con la formula:

$$\varphi = \frac{p_v}{p_{vs}} \cdot 100$$

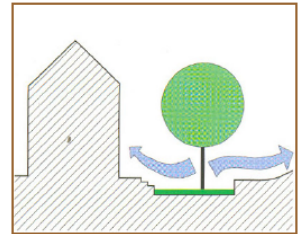
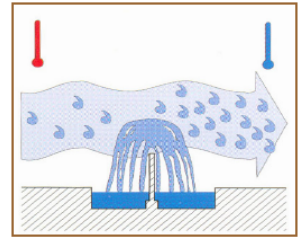
dove:

- $\varphi$  è l'umidità relativa (%);
- $p_v$  è la pressione parziale del vapore acqueo;
- $p_{vs}$  è la pressione di saturazione alla stessa temperatura.

Inoltre, l'umidità è influenzata da **fattori microclimatici e mesoclimatici** come:

- **topografia** (zone umide, avvallamenti, corsi d'acqua);
- **presenza di vegetazione**, che favorisce l'evapotraspirazione;
- **presenza di superfici d'acqua** (fontane, laghetti, canali) che contribuiscono al raffrescamento per evaporazione.

Questi aspetti hanno un impatto diretto sulla qualità ambientale degli spazi aperti e anche sull'efficienza di strategie passive come il raffrescamento evaporativo.

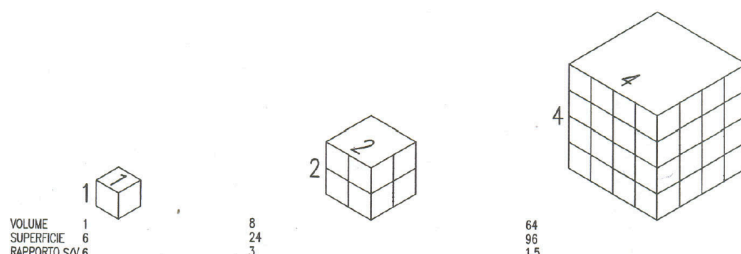


## RELAZIONE TRA FATTORI CLIMATICI E PROGETTO DELL'EDIFICIO

Un progetto attento deve considerare **come il clima interagisce con la forma, l'orientamento e la distribuzione interna dell'edificio**. I principali aspetti da tenere presenti sono:

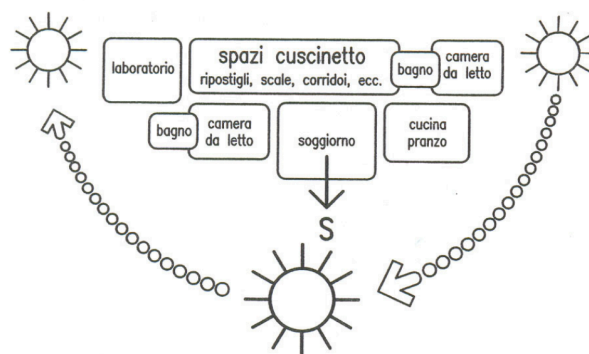
### 1. Forma e volume dell'edificio

La **forma compatta** riduce le dispersioni termiche invernali grazie a un **minore rapporto superficie/volume**. Al contrario, edifici più articolati favoriscono ventilazione e raffrescamento naturale nei climi caldi.



### 2. Distribuzione interna degli spazi

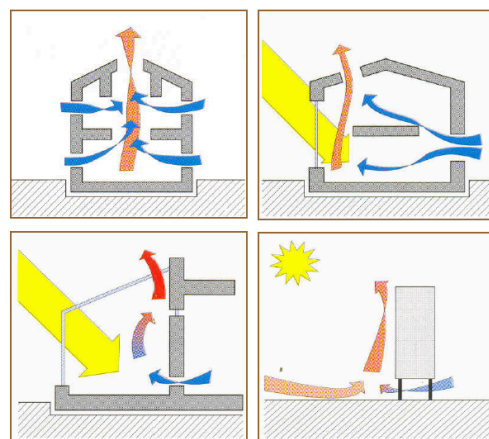
Gli ambienti più utilizzati durante le ore calde (es. zona giorno) dovrebbero essere **orientati verso sud-est/sud**, mentre le zone di servizio possono essere collocate in posizioni meno favorevoli. L'orientamento incide sulla quantità di radiazione ricevuta e quindi sul comfort termico.



### 3. Ventilazione naturale

Il vento può diventare una risorsa per il raffrescamento estivo, se sfruttato correttamente. L'efficacia della ventilazione dipende:

- dall'**angolo di incidenza** del vento (ideale  $\leq 45^\circ$ );
- dalla presenza di **aperture contrapposte**, meglio se disposte in diagonale;
- dalla possibilità di creare un **effetto camino**, con aperture alte e basse che generano tiraggio naturale.



Anche **schermi deflettori** integrati nella forma edilizia possono indirizzare i flussi d'aria. In questo modo si migliora il ricambio d'aria e si riduce la necessità di raffrescamento meccanico.