



Università degli Studi Roma Tre
Facoltà di Architettura

Corso
Progettazione e pianificazione sostenibile

a.a. 2009-2010

Alessandro Giangrande

CENNI DI ARCHITETTURA BIOCLIMATICA

RIDUZIONE DEI CONSUMI ENERGETICI: PRINCIPI ED ESEMPI

La riduzione dei consumi dell'energia utilizzata per riscaldare e raffrescare gli edifici può essere ottenuta mediante:

- **Cattura dell'energia solare, sua conversione in calore e isolamento termico**
- **Controllo del surriscaldamento**
- **Accumulo e conservazione del calore (*storage*)**
- **Distribuzione del calore**

1. Cattura dell'energia solare, sua conversione in calore e isolamento termico

Elementi trasparenti

La quantità di energia solare che attraversa una superficie verticale trasparente varia con l'orientamento e con le caratteristiche del materiale di cui la superficie è fatta (in genere, vetro).

Le superfici rivolte a sud ricevono più radiazione solare d'inverno e meno d'estate: questo orientamento è dunque favorevole poiché si accorda con le esigenze di riscaldamento degli spazi interni degli edifici nelle diverse stagioni.

Le superfici rivolte ad ovest e sud-ovest, come quelle rivolte ad est e sud-est, sono attraversate da una quantità di radiazione che non varia sostanzialmente con la stagione. Infatti l'altezza del sole sull'orizzonte, in queste direzioni, varia meno nel corso dell'anno.

Le vetrate inclinate di un piccolo angolo rispetto al piano orizzontale (ad es. 30°) possono causare sovrariscaldamento in estate e catturano meno radiazione d'inverno: queste vetrate sono dunque da evitare, a meno che non sia possibile schermarle, quando necessario. Possono essere utilizzate per gli ambienti che necessitano di un buon soleggiamento (ad es. solarium) e negli atri: in questo caso è necessario che gli ambienti siano ben ventilati e separati dagli altri vani abitati, che devono essere ventilati in modo indipendente.

In generale, è opportuno che le zone riscaldate direttamente dalla radiazione solare siano separate da quelle che necessitano di sistemi ausiliari di riscaldamento o di raffrescamento. Le porte che isolano queste due zone dovrebbero restare chiuse per quanto possibile, in modo da evitare che gli spazi più soleggiati si trasformino da fattori di risparmio a fattori di spreco energetico.

L'*effetto serra* è il risultato di un processo in cui una quota parte della radiazione solare che attraversa una superficie trasparente è assorbita dagli elementi opachi presenti nell'edificio, che in parte la riemettono come radiazione infrarossa. La superficie trasparente riflette questa radiazione verso l'interno dell'edificio, innescando un processo ricorsivo che determina un innalzamento della sua temperatura.

L'efficienza di questo processo, che è proprio delle *serre solari* (verande, balconi vetrati, ecc.), dipende dalla geometria degli spazi racchiusi, dalle caratteristiche delle superfici vetrate (ad es. dalla percentuale di superficie trasparente e dalla curva spettrale di trasmissione del materiale di cui è fatta) e dalle proprietà degli elementi interni che ricevono la radiazione (ad es. dalle loro curve di assorbimento e di emissione della radiazione solare).

Le *serre* con doppi vetri presentano un trasmissione inferiore a quella con vetri singoli. L'emissione delle pareti e degli altri elementi opachi interni è dunque minore, poiché minore è la quantità di energia che incide su di essi; i vetri doppi consentono tuttavia di compensare la minore quantità di radiazione in ingresso trattenendo una maggiore quantità di calore nello spazio interno.

Elementi opachi

Alle nostre latitudini (e, a maggior ragione, nelle regioni nordiche) i muri perimetrali e le coperture, a differenza delle superfici trasparenti, non vengono specificamente utilizzati per catturare calore dal sole, bensì per ridurre la dispersione del calore interno, comunque prodotto, nella stagione fredda, e per limitare il flusso di calore dall'esterno all'interno dell'edificio in estate.

Il trasferimento di calore dall'involucro dell'edificio al suolo e all'aria circostante (e viceversa) avviene per conduzione e convezione, ed è accentuato dall'eventuale presenza di vento. Alla dispersione del calore contribuisce anche l'irraggiamento dell'involucro verso lo spazio esterno.

La riduzione della dispersione consente di innalzare i livelli di comfort degli spazi abitati e di diminuire, spesso in misura considerevole, la quantità di energia impiegata per riscaldarli o raffrescarli. Tale riduzione è tanto maggiore quanto migliore è l'isolamento termico dell'involucro.

Quando le pareti e le coperture non sono state sufficientemente isolate in fase di costruzione o quando i materiali isolanti introdotti al loro interno si sono deteriorati e non svolgono più la loro funzione, occorre mettere in atto alcune misure finalizzate a migliorare l'efficienza termica dell'edificio.

Per migliorare l'isolamento di un edificio esistente si possono rivestire le pareti interne degli alloggi con materiali opportuni. Questa misura sottrae una piccola parte dello spazio abitabile e impedisce all'edificio di accumulare il calore prodotto al suo interno, ma può essere vantaggiosa quando gli alloggi sono abitati in modo intermittente poiché consente di riscaldare gli ambienti in tempi più brevi.

L'isolamento esterno delle pareti, anche se più costoso, è generalmente più valido di quello interno poiché elimina i problemi connessi con la presenza di "ponti termici" (zone intorno ai serramenti, spigoli delle pareti verticali, ecc.) e consente di utilizzare la massa dell'intero edificio come accumulatore di calore capace di modulare la temperatura interna. Il miglioramento dell'isolamento esterno determina inoltre una più elevata resistenza dell'involucro all'azione degli agenti atmosferici e, di conseguenza, riduce i costi di manutenzione dell'edificio.

Per realizzare un buon isolamento termico esterno occorre un progetto valido e un'accurata posa in opera degli elementi isolanti. I sistemi utilizzati a questo fine ricadono in tre categorie principali:

(1) Strato isolante sottile

Questa soluzione, di solito, è la meno costosa. Il materiale isolante, usualmente nella forma di pannelli rigidi, viene applicato alle pareti esterne dell'edificio e ricoperto con uno speciale rivestimento di materiale plastico che rende lo strato più resistente all'azione della pioggia.

Molta attenzione deve essere prestata nell'applicare il rivestimento, specialmente in corrispondenza delle giunture, degli angoli e delle aperture (porte e finestre).

(2) Pareti ventilate

Anche in questo caso uno strato isolante viene applicato alle pareti dell'edificio: altri pannelli più rifiniti vengono collocati all'esterno, separati dallo strato isolante mediante una griglia distanziatrice.

I pannelli della superficie esterna sono dotati di aperture che consentono all'aria di penetrare nell'intercapedine. I vantaggi consistono soprattutto in una maggiore capacità di "respirare" dell'involucro esterno e una migliore protezione dagli agenti atmosferici.

D'estate l'aria che fluisce nell'intercapedine raffredda la superficie dello strato isolante e riduce il flusso di calore che penetra attraverso le pareti all'interno dell'edificio. Questo stesso flusso d'aria, se non controllato, può tuttavia aumentare la dispersione del calore interno nella stagione invernale.

(3) Moduli prefabbricati

Questa soluzione coincide sostanzialmente con la precedente (*pareti ventilate*), ma i pannelli arrivano in cantiere nella forma di moduli prefabbricati, pronti ad essere installati mediante uno speciale sistema di fissaggio che semplifica le operazioni di montaggio e contribuisce a migliorare la qualità della superficie esterna, che non richiede ulteriori interventi.

Una copertura sufficientemente estesa può disperdere molto calore a causa dell'irraggiamento. Per evitare la formazione e la condensazione di vapore acqueo occorre introdurre all'interno della copertura specifiche "barriere" per il vapore e ventilare opportunamente lo spazio sottostante.

Una soffitta con tetto a falda consente un facile isolamento, che può attuarsi con pannelli di fibra di vetro, di lana minerale o di polistirolo collocati orizzontalmente tra le travi di legno o le lastre di copertura. Per proteggere il materiale isolante può essere opportuno dotare la soffitta di un pavimento di legno.

In presenza di tegole rotte o deteriorate, è possibile utilizzare dei pannelli di materiale isolante di forma specifica per sostituire le tegole danneggiate. Questi pannelli consentono di riparare il tetto e migliorarne l'isolamento.

Esistono tre metodi principali per migliorare l'isolamento termico delle coperture piane:

- il materiale isolante viene applicato "a caldo" sul tetto e ricoperto da uno strato ulteriore che lo protegge dalla pioggia;
- oppure può essere applicato "a freddo" sotto il soffitto, in modo da isolare termicamente il tetto dagli spazi interni dell'edificio;
- infine può essere realizzato un *inverted roof* ("tetto ribaltato"), dove un aggregato di materiali isolanti grezzi e resistenti alla pioggia viene sovrapposto a una pavimentazione più rifinita.

Anche gli infissi possono essere causa di dispersione di calore. La dispersione può essere ridotta con l'uso di vetri multipli (doppi o tripli). I doppi vetri, in genere, possono essere applicati sui telai preesistenti con piccoli adattamenti.

Oggi sono disponibili alcuni tipi speciali di vetro in grado di ridurre fortemente la dispersione termica. Uno dei più comuni è il vetro a bassa emissività, che trasmette l'intero spettro della radiazione solare (incluse le frequenze più elevate), ma impedisce l'uscita della radiazione di lunghezza d'onda maggiore (infrarosso) dall'interno all'esterno dell'edificio, rendendo così più efficiente *l'effetto serra*.

Un gas pesante, come ad es. l'argon, può essere utilizzato per riempire le intercapedini tra i doppi e i tripli vetri, al fine di rallentare il moto convettivo che è all'origine di gran parte del fenomeno della dispersione.

Altri e più avanzati (ma anche più costosi) sistemi per migliorare le proprietà isolanti degli infissi contemplano l'uso di particolari materiali trasparenti (TIM, Transparent Insulation Materials), che riducono fortemente la dispersione termica ma sono perfettamente trasparenti alla luce solare diretta e diffusa. Questi materiali - aerogel (cioè gel con una sostanza gassosa occlusa), policarbonati con struttura a nido d'ape o strutture capillari di polimetilmetacrilato - sono contenuti all'interno dei vetri. Essi possono anche essere utilizzati per ricoprire le pareti illuminate dal sole, per aumentarne la capacità di trattenere il calore del sole: le pareti si riscaldano durante il giorno ma non disperdono calore durante la notte per la presenza dei materiali isolanti che ne attenuano fortemente l'emissione radiativa.

Naturalmente molta attenzione va posta nel realizzare infissi con telai efficienti che, quando presentano fessure, possono costituire una delle cause principali della dispersione.

2. Controllo dei fenomeni di surriscaldamento

Le superfici orientate a sud, sud-ovest, est e sud-est, nei mesi estivi, possono generare un sovrariscaldamento degli spazi interni, quando non schermate dalla radiazione solare. Questo fenomeno può essere particolarmente fastidioso per gli ambienti orientati a ovest, poiché nei pomeriggi estivi la temperatura dell'aria, fuori e dentro l'edificio, è in genere più elevata di quella del mattino.

Per proteggere l'edificio da un eccesso di radiazione solare occorre schermarne le aperture in modo opportuno. In assenza di schermi artificiali (ad es, di edifici vicini), la schermatura può essere realizzata mediante l'introduzione di nuova vegetazione esterna e/o di specifici apparati collocati in corrispondenza delle finestre e delle altre aperture.

La vegetazione decidua fornisce ombra in estate e consente alla radiazione solare di penetrare nell'edificio durante l'inverno.

D'estate, quando il sole è più alto sull'orizzonte, sono particolarmente efficaci gli aggetti orizzontali sovrastanti che, in inverno, non intercettano la radiazione solare. Le finestre che affacciano a est o a ovest, dove l'altezza del sole sull'orizzonte è minore e maggiormente variabile, può essere conveniente installare alle finestre delle schermature verticali mobili che consentano di intercettare la radiazione senza ridurre eccessivamente i livelli di illuminazione naturale degli spazi interni.

Esempi validi di queste schermature sono le persiane (all'esterno), le ante (all'interno), le tapparelle e le tende (all'esterno o all'interno). Queste schermature contribuiscono anche a migliorare l'isolamento termico dell'edificio nella stagione invernale.

3. Accumulo e conservazione del calore (*storage*)

Accumulo diretto

Quando la radiazione solare incide su un materiale (sia direttamente sia dopo aver attraversato una superficie trasparente) viene in parte assorbita e trasformata in calore, che si diffonde all'interno del materiale stesso per conduzione, impedendo il surriscaldamento della sua superficie. Si dice allora che il materiale accumula calore dal sole.

La diffusione del calore è tanto più veloce quanto maggiore è il valore del coefficiente di diffusione termica del materiale (conducibilità termica). I materiali caratterizzati da un elevato calore specifico (ad es. cemento, mattoni, acqua...) si riscaldano (accumulano calore) e si raffreddano (disperdono calore) più lentamente di altri materiali. Buoni isolanti termici, come la fibra di vetro e il polistirolo espanso, sono poco efficienti come accumulatori di calore a causa della loro struttura 'a celle' che non consente una rapida diffusione del calore al loro interno.

Accumulo indiretto

Questo tipo di accumulo ha luogo quando un componente dell'edificio viene riscaldato per assorbimento della radiazione emessa nell'infrarosso da un altro componente (ad es. una parete o il pavimento) che si trova a una temperatura maggiore, o per convezione dall'aria circostante, quando questa possiede una temperatura più alta del componente stesso.

L'accumulo indiretto per assorbimento di radiazione dipende dalla differenza di temperatura che esiste tra i due componenti che scambiano calore, dalla loro distanza e dalle rispettive emissività. A differenza della radiazione visibile, l'emissione nell'infrarosso non è influenzata dal colore della superficie del corpo emittente bensì dalle condizioni della sua superficie: in particolare dal fatto che tale superficie sia metallica o non metallica.

La velocità dell'aria, la differenza di temperatura tra aria e componente nonché la rugosità della superficie di quest'ultimo sono i fattori che maggiormente condizionano l'efficienza del processo di accumulo di calore per convezione. Una superficie più rugosa presenta un'area di contatto più ampia che facilita la trasmissione del calore per convezione dall'aria al componente.

L'accumulo indiretto ha importanti applicazioni in architettura bioclimatica.

Il calore del sole, accumulato in un sistema remoto (*storage*), può essere utilizzato successivamente per riscaldare in modo controllato gli spazi dell'edificio, ai quali è trasferito tramite condotti d'aria e ventilatori. Questo processo è efficiente solo nella misura in cui il sistema di accumulo ha dimensioni sufficienti ed è ben isolato, in modo che sia possibile incrementarne la temperatura in modo significativo.

I ventilatori consumano una certa quantità di energia: occorre dunque effettuare un bilancio tra energia acquisita ed energia utilizzata per far funzionare il sistema.

Per azionare i ventilatori è in genere una buona idea utilizzare l'energia elettrica prodotta da pannelli fotovoltaici.

E' sempre conveniente collocare la massa di accumulo dello *storage* all'interno o ai bordi di un edificio, in modo che le perdite di calore vadano comunque a beneficio dell'edificio stesso e non si disperdano nello spazio esterno.

I materiali scelti come *storage* sono generalmente quelli che presentano un elevato calore specifico (pietre, cemento, mattoni, acqua, ecc.).

Altri materiali sono quelli "a cambiamento di fase", che utilizzano il calore latente di fusione: il calore del sole non viene in questo caso usato per aumentare la temperatura dello *storage*, ma per cambiare da solido a liquido, a temperatura costante, lo stato del materiale di cui esso è costituito.

Il cambiamento di stato inverso (da liquido a solido) restituisce all'ambiente, e dunque all'edificio, una notevole quantità di calore (tipicamente, da 38 a 105 kWh/m³). Con questi materiali si possono realizzare *storage* di dimensioni ridotte rispetto a quelli tradizionali, a parità di efficienza.

Un esempio interessante di accumulo indiretto è quello attuato nel quartiere sperimentale Bo01, realizzato nella città di Malmo (Svezia).

Si tratta di un quartiere dove gli aspetti ecologici sono stati oggetto di un preciso programma che faceva riferimento a requisiti ecologici. In particolare l'intera area del quartiere è alimentata esclusivamente da energia prodotta in loco da fonti rinnovabili con un sistema del tutto innovativo.

Il calore richiesto per riscaldare gli edifici nel freddo inverno scandinavo è prodotto tramite un elevato numero di pannelli solari fotovoltaici installati sulle coperture degli edifici, ma anche da un sistema di estrazione del calore dal sottosuolo.

A questo fine sono state scavate delle cavità sotterranee che durante l'estate vengono riempite con acqua calda prodotta da pannelli solari termici. Il calore viene conservato e immagazzinato dal circostante strato roccioso, da cui viene estratto nel periodo invernale tramite condotti d'aria e ventilatori.

La quantità di calore richiesta per il riscaldamento degli edifici è ridotta grazie all'impiego di materiali e tecnologie di costruzione caratterizzati da elevati livelli d'isolamento termico e di adeguati sistemi di ventilazione, oltre che da installazioni tecniche che presentano elevate prestazioni di efficienza energetica. (vedi diapositiva seguente)



Il progetto Bo01

1. Planimetria generale
2. Gli edifici che si affacciano sul mare formano una barriera che protegge dai venti le corti interne

4. Distribuzione del calore

Idealmente, un edificio solare passivo dovrebbe fornire direttamente a tutte le sue parti il calore di cui hanno bisogno: a rigore non sarebbe dunque necessario un sistema di distribuzione del calore.

In pratica ciò non è sempre possibile (come quando sono presenti stanze che affacciano a nord). **In questo caso può essere necessario un sistema naturale o meccanico di distribuzione del calore.**

Nei sistemi di distribuzione naturali il calore accumulato viene trasmesso per radiazione o convezione.

La convezione ha luogo quando la temperatura superficiale dello *storage* è maggiore di quella degli oggetti circostanti. La diffusione del calore sarà quasi immediata dal lato esposto direttamente alla radiazione; dal lato opposto esisterà un tempo di ritardo prima che il calore sia rilasciato.

Se lo *storage* è una parete dell'edificio, questo ritardo dipenderà dall'inerzia termica, dalle dimensioni e dalle proprietà fisiche della parete stessa. Quando la superficie interna della parete raggiunge la temperatura appropriata, l'aria interna all'edificio viene riscaldata per convezione, mentre gli oggetti prossimi alla parete sono riscaldati per radiazione.

Questo ritardo nel processo di trasferimento di calore può aiutare a mantenere temperature confortevoli per un tempo sufficientemente lungo, dopo che la radiazione solare è cessata.

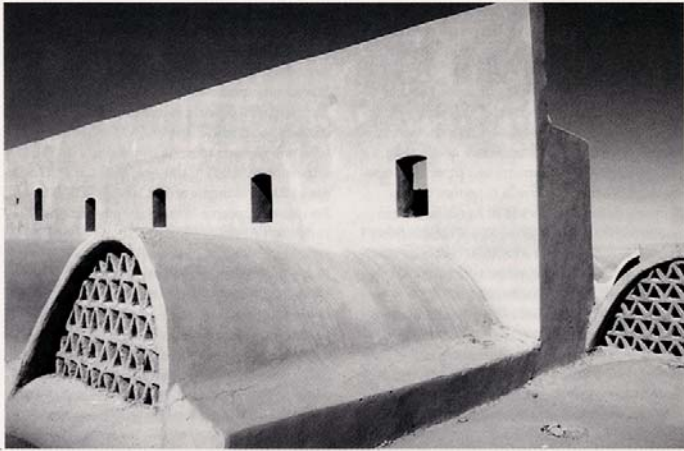
La termo-circolazione

Quando l'aria si riscalda, la sua densità diminuisce ed essa tende a salire. Questo fenomeno può essere utilizzato per trasferire il calore generato in una zona dell'edificio ad un'altra zona più fredda.

Una buona organizzazione spaziale dell'edificio dovrebbe permettere l'instaurarsi di un 'circuito' in cui l'aria viene in contatto con una superficie calda, aumenta di temperatura e sale verso le zone più fredde, mentre l'aria più fredda (e densa) presente in queste zone scende, viene in contatto con gli elementi della zona più calda, si riscalda e risale; e così di seguito.

Su questo principio si basano i dispositivi noti come "camini" o "torri del vento". Si tratta di condotti verticali che captano il vento in corrispondenza dell'apertura superiore, dove il vento è più fresco e veloce, e lo conducono tramite un'apertura laterale all'interno dell'edificio, dove l'aria più calda e meno densa tende a salire ed è progressivamente espulsa dall'aria più fresca che scende dall'alto.

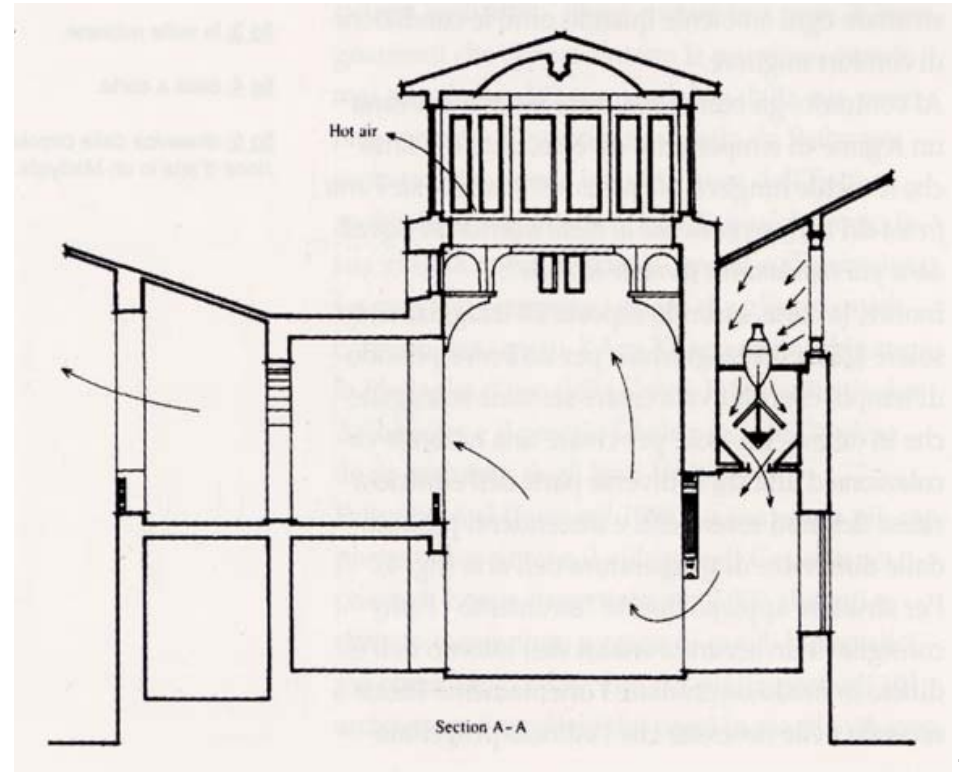
I "camini" sono stati realizzati, con alcune varianti, nell'ambito di culture ed epoche diverse. Gli egiziani realizzavano tradizionalmente (e ancora realizzano) i *qa'a*, dove l'elemento di captazione del vento è il *malkaf*, un'apertura posta sopravento e possibilmente orientata a nord, mentre l'apertura di estrazione è rappresentata da un lanternino collocato alla sommità di un locale denominato *dorka'a*: sia il *malkaf* che il lanternino sono entrambi integrati nei locali da raffrescare.
(vedi diapositiva seguente)



1

Esempi di "camini"

1. Esempio di aperture (*madyafa*) per l'ingresso dell'aria nel *malfak*
2. Dinamica della circolazione dell'aria tra il *malkaf* e la *dorka'a*



2

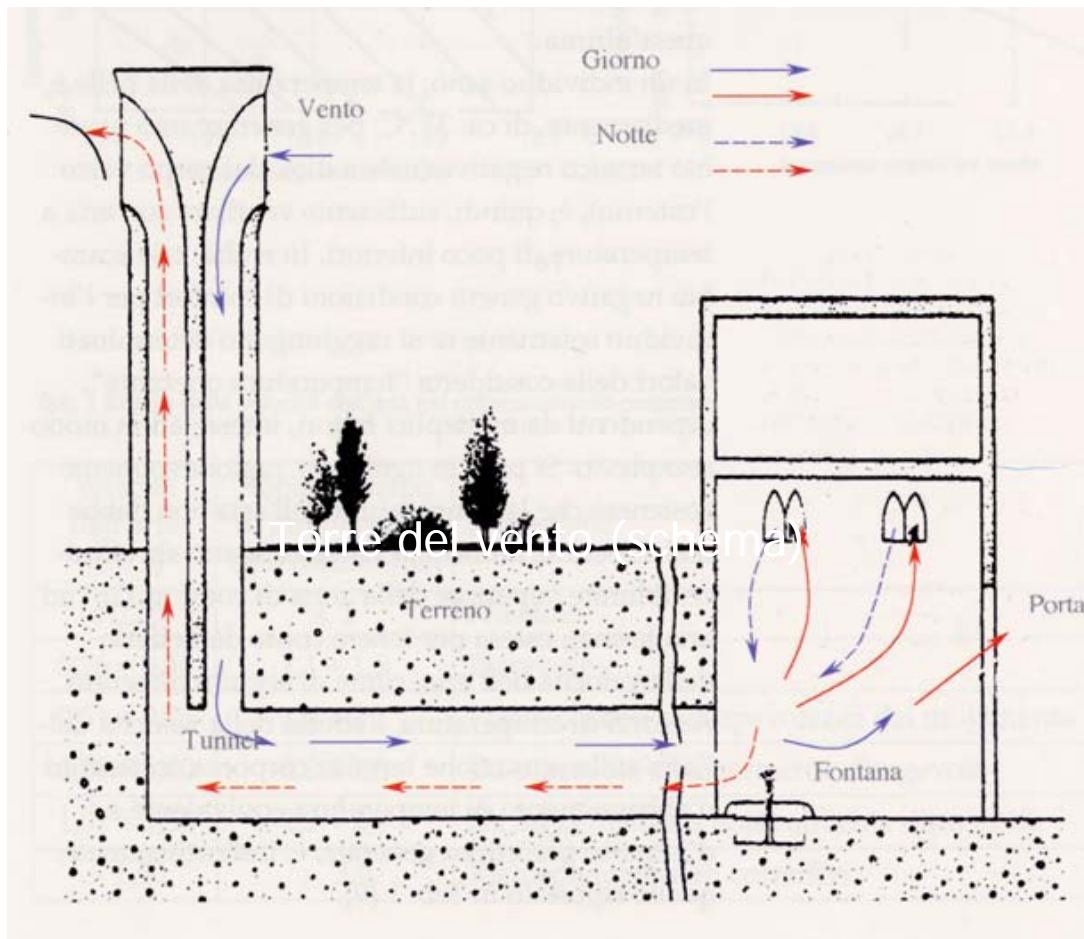
Nelle "torri del vento" iraniane l'elemento di captazione (la "torre") è generalmente separato dai locali da raffrescare ed è collegato a questi ultimi da un canale sotterraneo che raffredda ulteriormente l'aria fresca in ingresso.

L'espulsione dell'aria calda avviene in questo caso attraverso le finestre.

Il flusso d'aria s'inverte di notte per effetto del rilascio del calore assorbito durante il giorno da parte dell'involucro della torre, che riscalda l'aria in essa contenuta durante le ore notturne.

Quest'aria tende a salire richiamando aria più fredda dal canale sotterraneo e questa, a sua volta, dai locali abitati, attraverso le finestre lasciate aperte, dalle quali l'aria fresca della notte entra nell'edificio.

(vedi diapositiva seguente)



Torre del vento (schema)

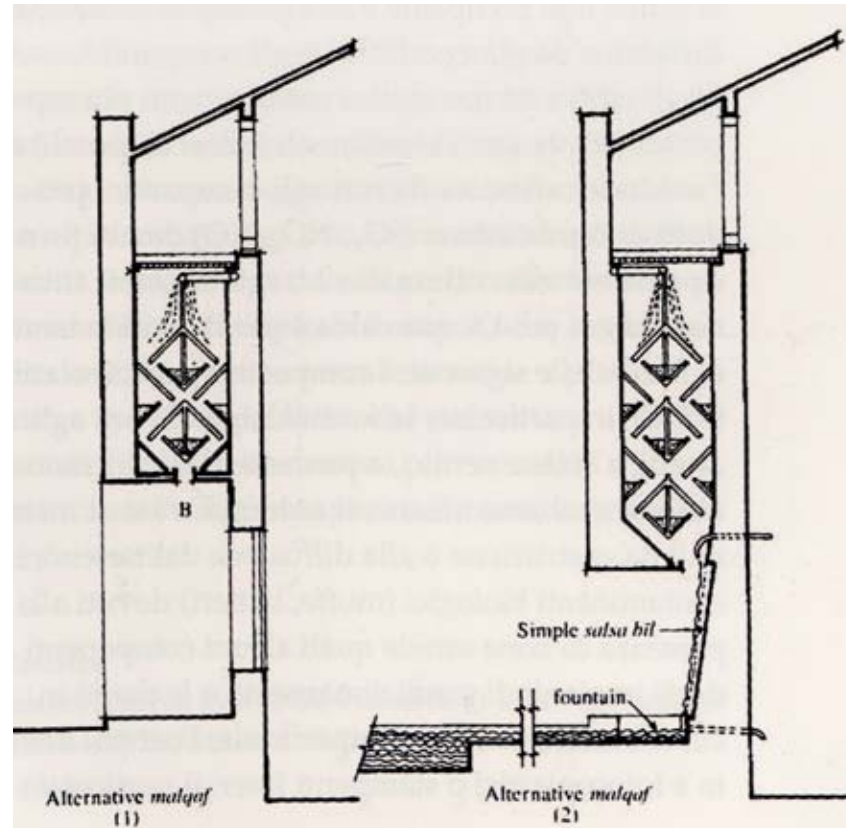
Per cambiare il suo stato da liquido a vapore, l'acqua richiede una certa quantità di calore (calore latente di evaporazione). Quando questo calore viene fornito da un flusso di aria calda si determina nell'ambiente uno sbalzo termico verso il basso ed un aumento di umidità.

Questo principio può essere utilizzato per rendere più efficiente il raffrescamento degli edifici. Piscine, fontane e getti d'acqua possono contribuire a ridurre la temperatura dell'aria di ventilazione che penetra negli edifici circostanti.

Esso può anche essere utilizzato per migliorare l'efficienza di "camini" o "torri del vento", creando un'apposita zone dove aria ed acqua entrano in contatto.

Questa tecnica è stata messa in atto molte volte in Egitto, talvolta con modalità molto innovative. Una soluzione particolarmente interessante è quella che è stata applicata nella prima metà del '900 per il malkaf utilizzato nelle scuole di un nuovo villaggio (Gourna), costituito da un condotto di ventilazione a forma di camino con una grande apertura praticata molto in alto in direzione del vento dominante.

(vedi diapositiva seguente)



Malkaf realizzato per le scuole di Gourna

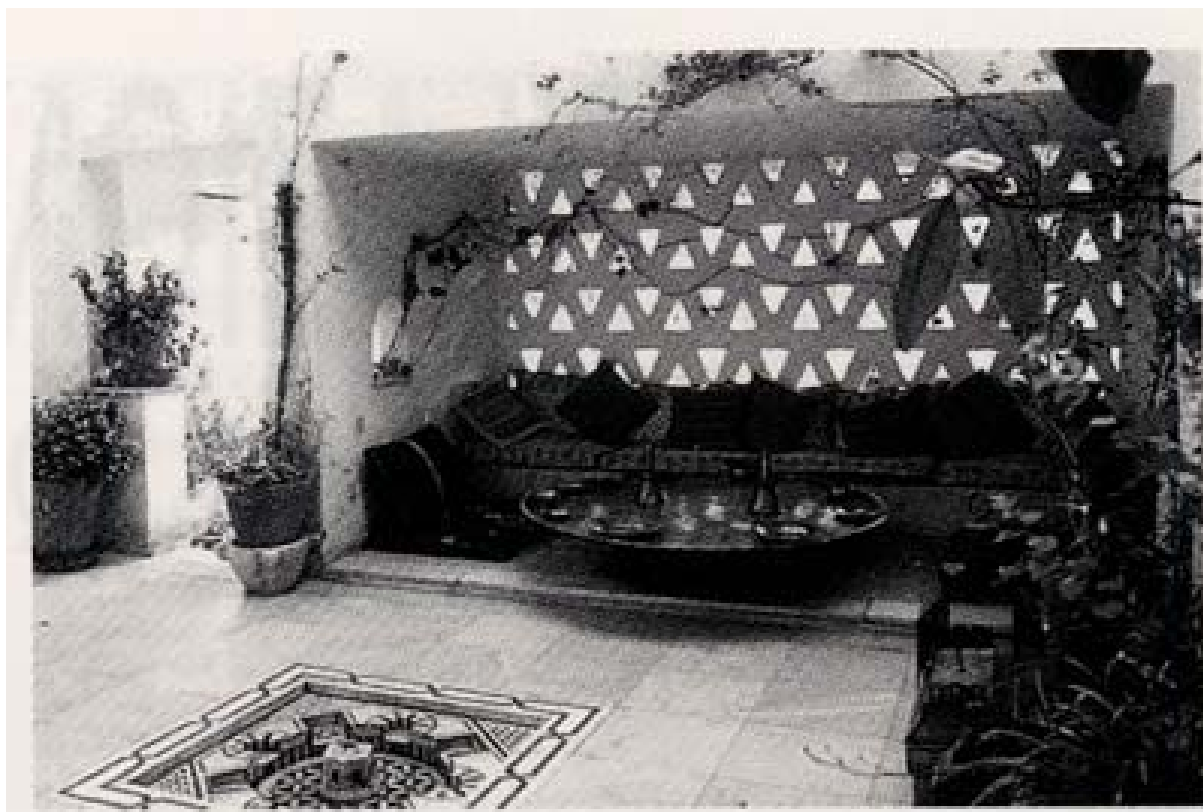
All'interno del *malkaf* è stato collocato un piatto di metallo inclinato pieno di carbone di legna, che si poteva inumidire con un rubinetto.

L'aria passava attraverso questo meccanismo e veniva raffreddata prima di entrare nei locali da raffrescare.

Questo meccanismo riprende del resto il *salsabil*, usato in quasi tutti i paesi arabi, composto da una lastra leggermente inclinata, generalmente di marmo, la cui superficie è resa ondulata e ruvida da un fine lavoro di scalpello.

L'acqua, che proviene da una vicina fontana, incide su questa superficie e si frantuma in una miriade di particelle (quasi si nebulizza) e rinfresca l'*ivan*, una stanza a forma di "U" con i sedili disposti lungo tre pareti, al cui centro è collocato il *salsabil*.

(vedi diapositiva seguente)



Iman ventilato con fontana

In tempi recenti questo stesso principio è stato ripreso dall'arch. Mario Cucinella, che lo ha utilizzato nel progetto di un edificio per uffici da realizzare a Catania (un progetto purtroppo non realizzato).

Esso è alla base del sistema PDEC (Passive Downdraught Evaporative Cooling, raffrescamento passivo mediante evaporazione in corrente d'aria discendente).

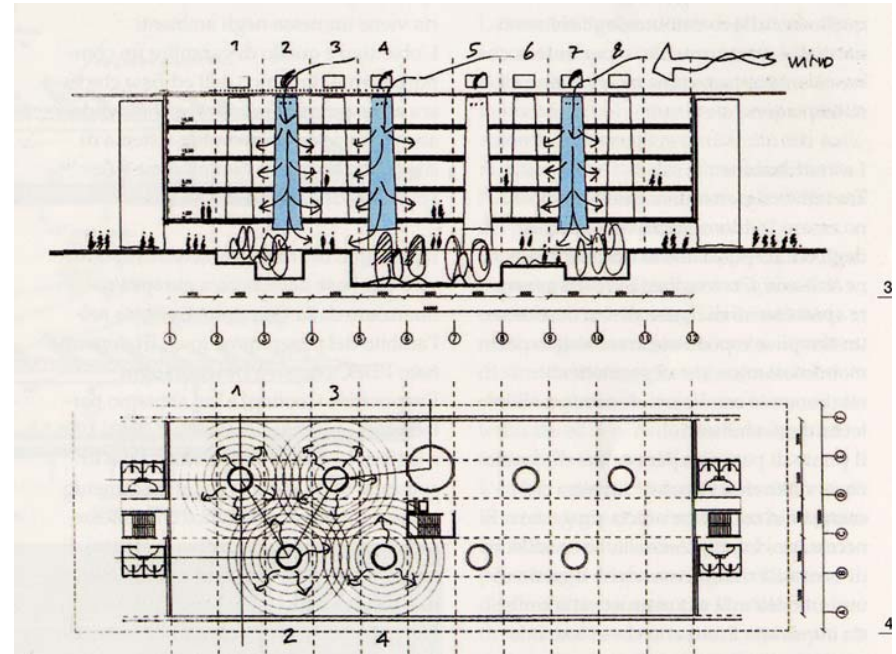
Nel progetto sono previsti quattro piani di uffici, un centro di conferenze e un atrio.

La forma dell'edificio è segnata dalla presenza di otto "torri evaporative" di forma cilindrica che lo attraversano verticalmente e toccano tutti i livelli.

L'idea consiste nel creare all'apice delle "torri" una zona umida nebulizzando acqua. L'aria entra in contatto con le microparticelle d'acqua, diventa più fresca e densa e forma un "pennacchio" discendente che raggiunge i diversi ambienti dell'edificio attraverso le aperture che la "torre" presenta in corrispondenza dei diversi piani.

Il moto dell'aria si inverte di notte, quando le "torri" funzionano come un "camino" che espelle l'aria calda accumulata durante il giorno.

(vedi diapositiva seguente)



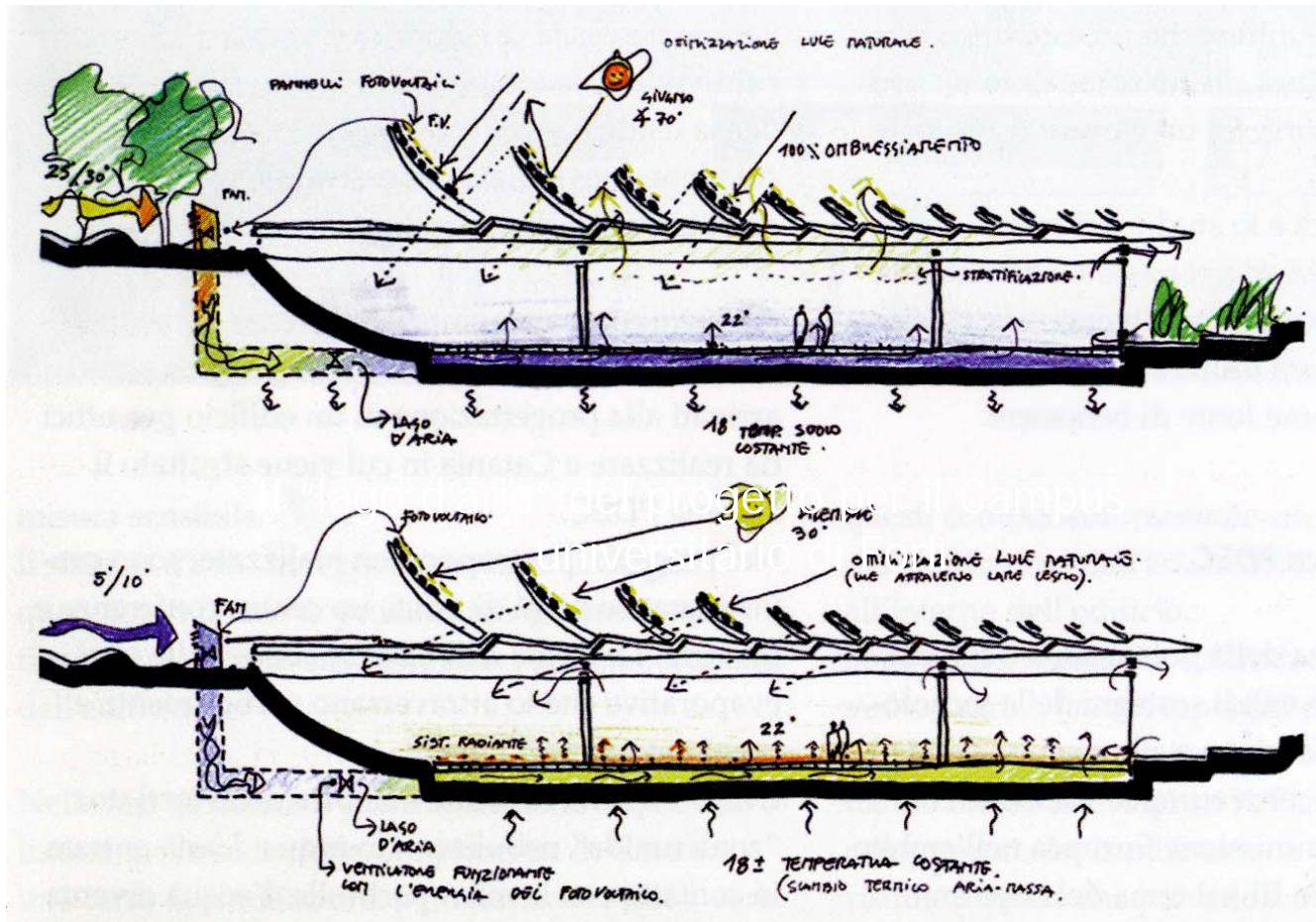
Il progetto di un edificio per uffici di M. Cucinella (rendering, sezione e pianta)

Principi analoghi sono utilizzati nei sistemi di raffrescamento per ventilazione da condotti interrati. Come applicazioni si possono citare i progetti dello stesso Cucinella per la Nuova Università di Cipro e per il campus universitario di Forlì.

In entrambi i casi è stato applicato il principio del "lago d'aria". Data la particolare morfologia di questi edifici (estesi e bassi), si è provveduto a creare un sistema di diffusione e circolazione dell'aria al disotto degli edifici stessi per mitigare gli sbalzi termici tra esterno ed interno sfruttando il contatto con il terreno che si mantiene più fresco dell'aria esterna d'estate e più caldo nei mesi invernali. L'aria viene convogliata in un condotto sotterraneo (il "lago d'aria") che, a contatto con il terreno circostante, si raffresca (o si riscalda) prima di raggiungere gli ambienti interni agli edifici, dove viene convogliata con l'ausilio di alcuni ventilatori alimentati da corrente elettrica prodotta da pannelli solari fotovoltaici, collocati con orientamento ottimale sulle coperture.

Si noti che la temperatura del sottosuolo è pressochè costante nelle diverse stagioni (circa 18°): pertanto, in estate, l'aria assume una temperatura che è più bassa di quella che si trova all'interno degli edifici, mentre assume una temperatura più alta in inverno. Anche quando questo sistema passivo non garantisce lo standard richiesto, si ottiene in questo modo di portare agli apparati tradizionali di raffrescamento (o di riscaldamento) dell'aria già "corretta", con conseguente riduzione del lavoro d'abbattimento (o d'innalzamento) della temperatura e risparmio energetico.

(vedi diapositiva seguente)



Il "lago d'aria" del progetto per il Campus universitario di Forlì