

# Architettura bioclimatica Il raffrescamento passivo: stato dell'arte

C. Gallo

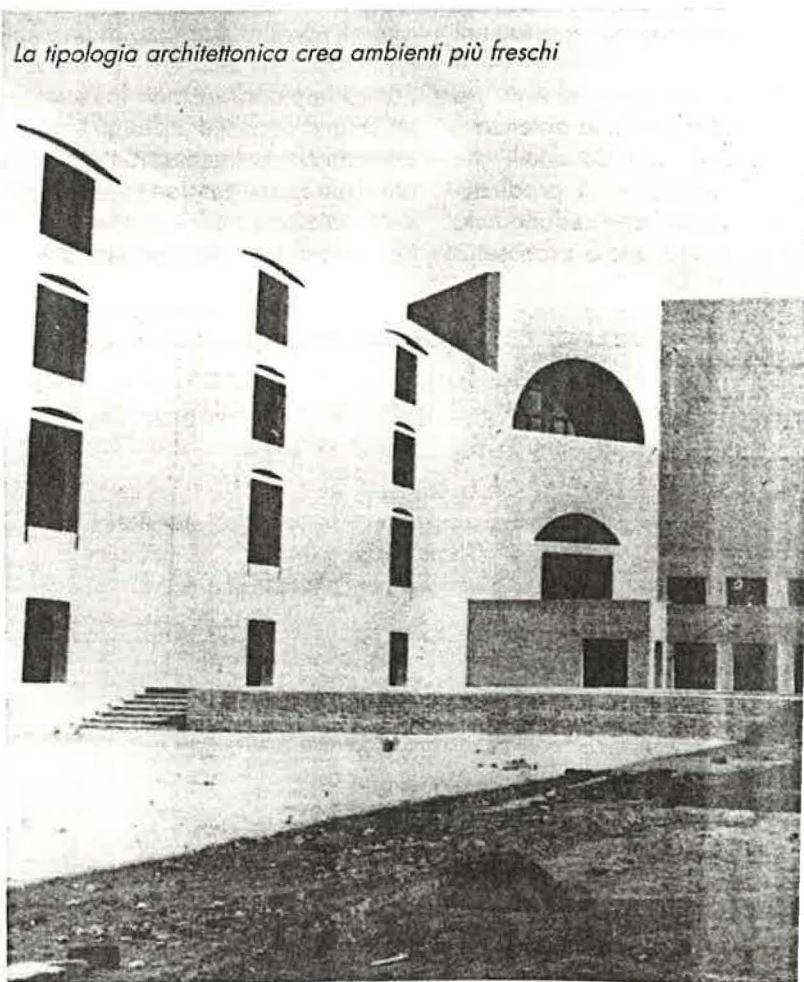
**P**rima di fare una rapida sintesi dello stato dell'arte nel raffrescamento passivo, vorrei precisare che è solo uno degli aspetti dell'architettura.

Credo anche che non sia giusto parlare di "architettura bioclimatica": ogni buona architettura è anche bioclimatica, è attenta cioè a creare condizioni di comfort negli ambienti attraverso una opportuna utilizzazione degli elementi del microclima e del sito, dei materiali da costruzione e della tipologia del progetto. È evidente che questo deve coesistere e non prevalere con gli altri aspetti della progettazione: estetici, funzionali, di sicurezza dagli incendi, di diritto alla privacy ecc.

Per quanto riguarda il benessere fisiologico all'interno di un edificio, l'approccio che dà migliori risultati sembra essere quello che integra gli aspetti della ricerca per il riscaldamento e il raffrescamento passivo e per un migliore utilizzo della illuminazione diurna.

Le opportunità di utilizzare nella progettazione di un edificio metodi passivi per raffrescare gli ambienti si fondano su varie ragioni.

*La tipologia architettonica crea ambienti più freschi*



Parliamo innanzitutto di quelle economiche: le spese annuali per i condizionatori d'aria hanno superato il livello di 20 miliardi di dollari alla fine degli anni '80 mentre le vendite nel settore dell'aria condizionata e refrigerazione industriale sono più che triplicate in termini reali nella decade 1976-85.

A queste prospettive economiche se ne affiancano altrettante di ordine ambientalistico e climatologico. La maggior parte degli impianti di refrigerazione infatti - in particolare quelli piccoli - utilizza per il proprio funzionamento clorofluorocarburi (CFC) che come sappiamo sono i principali responsabili del buco del

l'ozono e che contribuiscono anche all'effetto serra.

Inoltre, recenti studi comparati sulla "indoor air quality" di ambienti con aria condizionata o con ventilazione naturale hanno dimostrato che gli indici di malattia sono più alti negli edifici con aria condizionata.

Come procedere:

il raffrescamento passivo si basa su due concetti fondamentali:

- a) ridurre le fonti di riscaldamento;
- b) raffreddare gli ambienti.

Per le fonti di riscaldamento interne, come frigoriferi ed elettrodomestici in generale, apparecchi per illuminazione, computer ecc. si possono ridurre i carichi utilizzando apparecchi che scaldano meno (per es. lampade ad alto rendimento), applicando una ventilazione puntiforme collegata con l'esterno, ponendo all'esterno delle abitazioni le serpentine di raffreddamento dei frigoriferi, collegando con l'esterno il vano delle lampade nel soffitto ecc.

Per la riduzione del riscaldamento dall'esterno bisogna operare sostanzialmente limitando la conduzione di calore dall'esterno, l'insolazione e le fonti di infiltrazione d'aria calda.

La riduzione della conduzione di calore dall'esterno si ottiene prima di tutto con un buon isolamento termico delle pareti, sistema utile anche per trattenere il calore durante l'inverno. È poi possibile ridurre anche l'apporto di calore per radiazione con opportune *barriere radianti*: per es. un foglio d'alluminio nella soffitta o sotto il tetto contribuiscono a ridurre il guadagno solare; il foglio riflette bene l'infrarosso ma lo emette poco (1/18 rispetto al legno compensato); l'extracosto è nullo per le costruzioni nuove (perché si può sostituire ad altri elementi costruttivi tradizionali) e modesto nel caso di retrofit. Agli effetti delle riduzioni del carico termico proveniente dal-

FONTI CALORI



interne



insolazione



aria calda esterna

FONTI DI CALORE



apparecchi più efficienti e illuminazione naturale

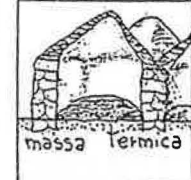


isolamento

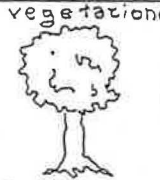


barriera radianti

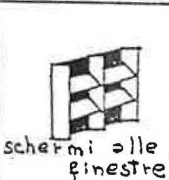
RIDUZIONE FONTI DI CALORE



massa termica



vegetazione



schermi alle finestre

RAFFREDDAMENTO



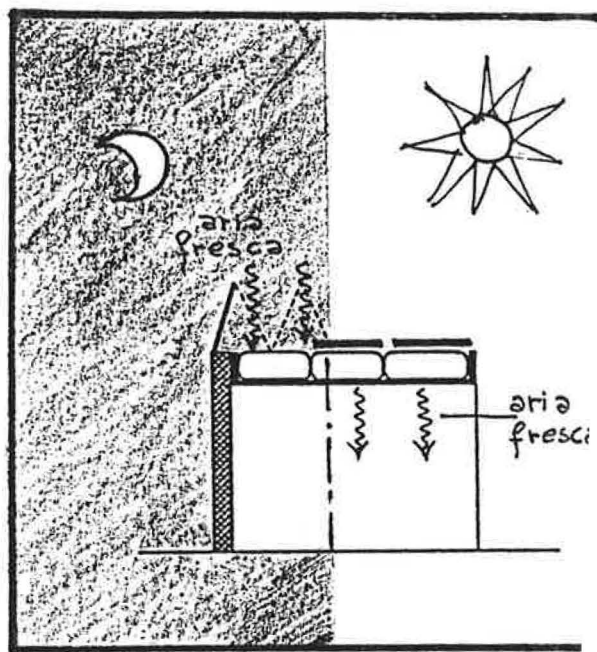
aumento albedo



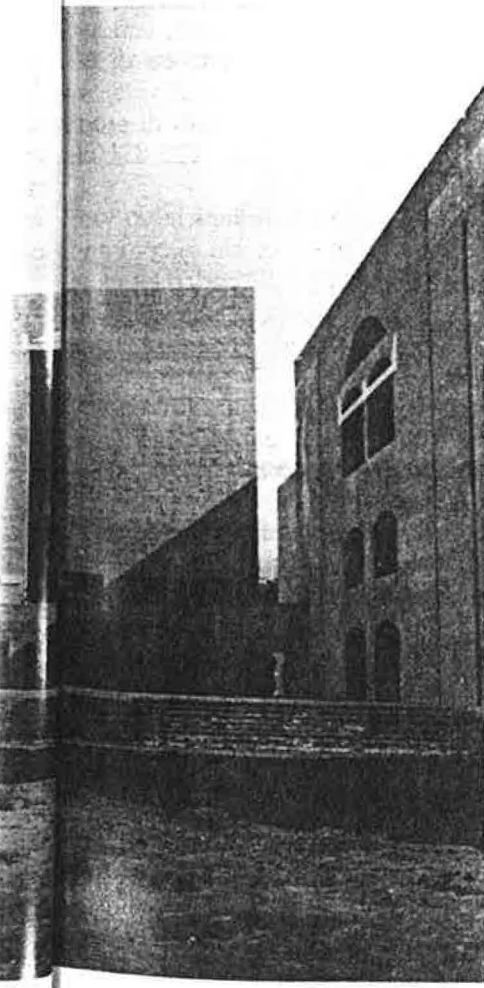
finestre spettralmente selettive



bagnatura tetto



l'esterno oltre all'isolamento gioca un ruolo importante anche la capacità termica dell'edificio o - come si dice - *la massa termica*. La massa termica rappresentata per esempio da muri spessi di materiali ad alta capacità termica riduce le oscillazioni



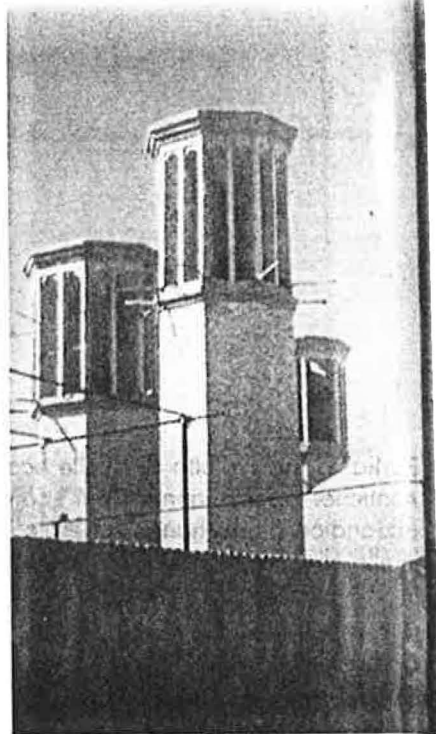


zioni di temperatura tra giorno e notte accumulando il calore durante il giorno e dissipandolo all'esterno alla sera e durante la notte. Essa inoltre introduce un ritardo nella trasmissione del calore e nei casi più favorevoli il calore assorbito della faccia esterna del muro nelle ore più calde del giorno arriva all'interno - molto attenuato - nelle ultime ore della notte o nelle prime ore del mattino, quando cioè può essere utile anziché indesiderato. La massa termica può essere utilizzata anche come metodo di accumulo del fresco, per esempio convogliando sulla faccia interna di un muro dell'aria fresca quando questa è disponibile.

Un metodo consiste nel realizzare sul tetto dell'edificio delle lastre di materiale (cemento o altro) ad elevata massa termica, coperte da pannelli isolanti mobili, che le riparano durante il giorno dai raggi del sole, e si aprono alla sera in modo da permettere di assorbire e accumulare il fresco dell'aria notturna.

Esistono comunque interessanti esempi nella storia dell'architettura, anche quella "vernacolare" o regionale: nei trulli pugliesi per esempio, la risposta alla domanda di climatizzazione estiva è affidata esclusivamente alla funzione di regolamentazione termica della grande massa muraria che assorbe di giorno il calore prodotto dalla radiazione e lo restituisce di notte, livellando le oscillazioni di temperatura e quindi diminuendo di parecchi gradi la temperatura interna rispetto a quella esterna diurna. Da una simulazione delle prestazioni termiche del trullo in una settimana estiva risulta che a una oscillazione della temperatura esterna di 10°C corrisponde all'interno una oscillazione di 4°C.

La *vegetazione* attorno all'edificio è importante: il che vuol dire scegliere preferibilmente un sito ricco di verde o creare vegetazione dove non ce n'è: il ruolo del microclima con le eventuali brezze e correnti d'aria è fondamentale per la determinazione delle condizioni di benessere di un

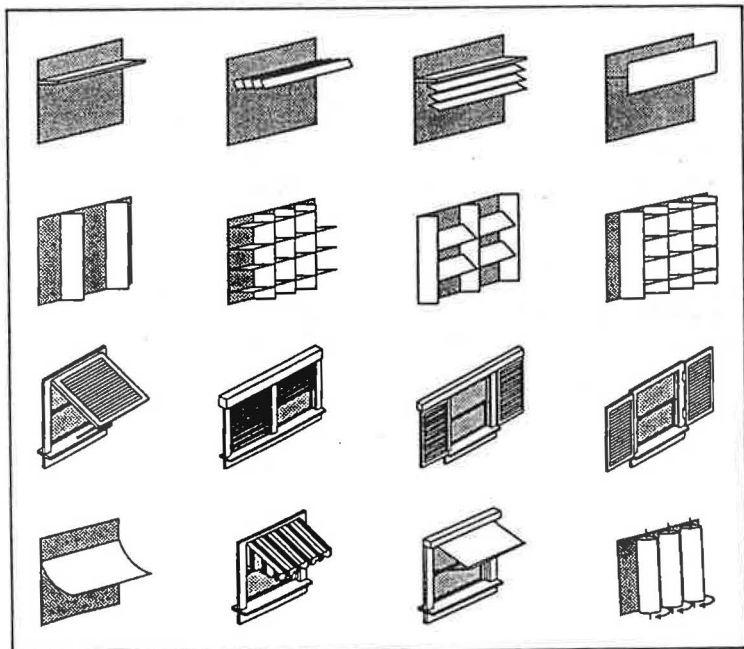


ambiente costruito; oltre a ombreggiare, la vegetazione traspirando acqua provoca un naturale raffrescamento per evaporazione. Un lavoro di rassegna recentemente pubblicato (1) cita riduzioni di temperatura dovuta a evaporazione di circa 2-3°C; pare dimostrato che l'evapotraspirazione di un albero può far risparmiare 1-2,4 MJ di elettricità in aria condizionata per anno; un tappeto d'erba può raffreddare di 6-8°C un terreno esposto al sole, e l'evaporazione di un ettaro di erba corrisponde a più di 125 GJ/al giorno.

Il Rocky Mountain Institute in un suo studio (2) cita un calcolo di confronto della riduzione del carico termico dovuta alla vegetazione in tre città: Sacramento (34%), Phoenix (18%, clima secco), Los Angeles (44%); sembrerebbe quindi che la vegetazione funzioni di più in clima umido, dove però può aumentare l'umidità.

In climi aridi può influenzare la temperatura di bulbo secco.

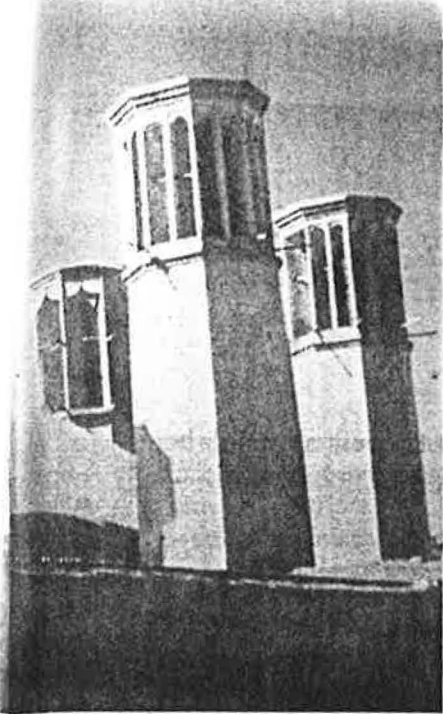
La riduzione dell'insolazione si può ottenere, oltre che con la ombreggiatura dovuta alla vegetazione, con schermi alle finestre, come scuri su cerniere, interni o esterni, di di-



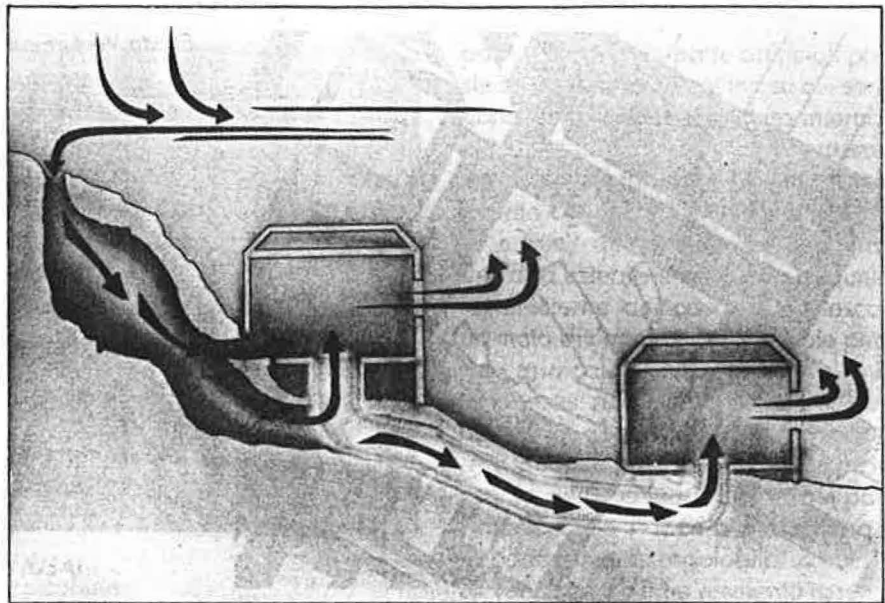
Vari sistemi di schermature alle finestre

(1) C.E. - Building 2000 - C. Den Ouden and T. Steemers - Kluwer Academic Publishers - 1992.

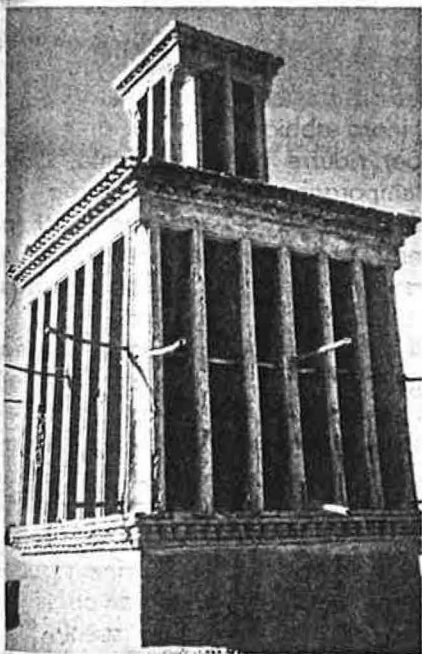
(2) Rocky Mountain Institute: The State of the Art: Space Cooling - 1986.



Torri del vento in Iran



Ville palladiane del '500: il sistema dei "covoli" per raffrescare l'interno delle ville



versi materiali con proprietà isolanti, oppure schermature arrotolabili o ripiegabili, manualmente o meccanicamente, tende interne ecc. Soluzioni più complesse o avanzate sono anche state proposte; in un caso ad esempio un piccolo compressore azionato elettricamente soffia - o aspira, a seconda delle necessità - piccole palline di polistirolo espanso nell'intercapedine tra due vetri: in questo modo, con intercapedine vuota i vetri si comportano come tali, lasciando passare la radiazione solare. Quando la cavità è riempita di palline, la "parete" opaca che ne deriva presenta una resistenza ter-

mica paragonabile a quella delle pareti normali.

Le *finestre spettralmente selettive* permettono di far passare determinate lunghezze d'onda di radiazione bloccandone altre in modo da provvedere a una sufficiente illuminazione interna ma ridurre al minimo possibile il riscaldamento solare. Per ottenere questi risultati sono stati sperimentati vari metodi, alcuni dei quali ancora allo stadio di ricerca: materiali elettrocromici, termocromici, olografici e a bassa emissività.

Le *pellicole olografiche*, per esempio, che si applicano ai vetri delle finestre, intercettano selettivamente l'irraggiamento solare e lo diffrangono in altre direzioni.

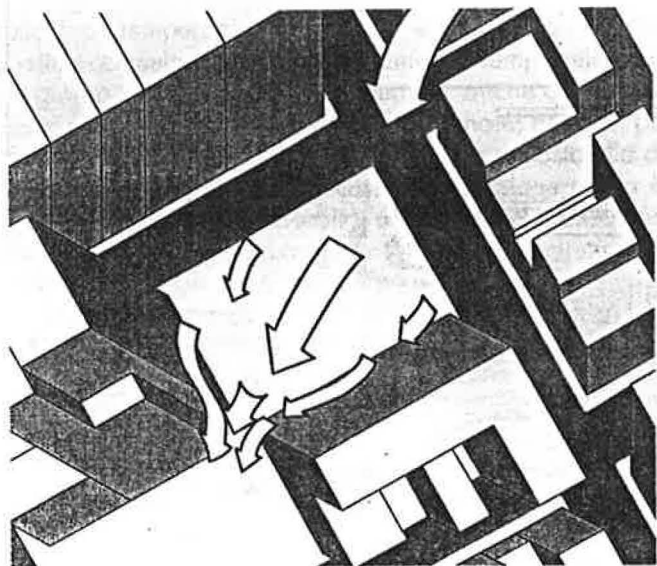
Il principio dei *dispositivi elettrocromici* consiste invece nel modificare le proprietà di assorbimento ottico di certi materiali mediante un campo elettrico applicato all'esterno. I valori tipici di trasmissione variano dal 15% al 70% nello spettro visibile. In altri termini, è possibile trasformare a volontà una finestra traspa-

rente in un elemento opaco mediante l'applicazione di un segnale elettrico.

Le *pellicole metallizzate* possono essere applicate a finestre preesistenti e oltre a ridurre i raggi calorifici dell'infrarosso rigettano una quantità prefissata di luce visibile; esse inoltre riducono i raggi ultravioletti a vantaggio di tappeti e mobili e aumentano la sicurezza in caso di rottura vetri.

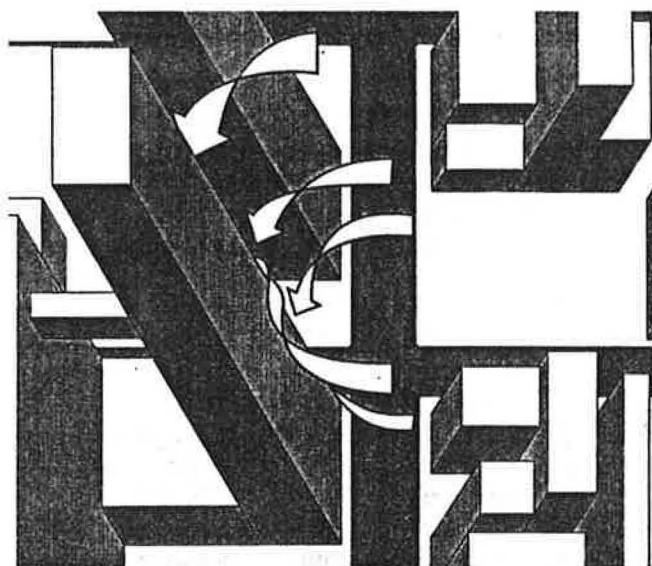
Oltre che sulle aperture trasparenti di una casa, che sono ovviamente le principali fonti di insolazione, si può agire comunque sull'involucro dell'edificio *incrementandone l'albedo*: per esempio tetti di colore chiaro isolati riducono molto il guadagno solare.

Come metodo di raffrescamento passivo sono efficaci nei climi secchi i vari *sistemi di bagnatura del tetto*: la superficie esterna del tetto è mantenuta bagnata da spruzzatori e l'acqua - trasformando il calore sensibile in calore latente - evapora raffrescando il tetto e gli ambienti



Effetto Venturi

Effetto d'angolo



sottostanti.

Un altro sistema è il "roof pond" cioè uno stagno d'acqua ombreggiato sopra un tetto piano in cemento non isolato: l'evaporazione dell'acqua verso l'atmosfera asciutta avviene sia di giorno che di notte e la temperatura del tetto segue da vicino la temperatura di bulbo bagnato, mentre il soffitto agisce come un pannello radiante convettivo verso

lo spazio interno. Altro sistema è mantenere una pellicola di acqua mobile sulla superficie del tetto: ci si basa sul concetto che il processo evaporativo è favorito da un aumento della velocità relativa tra aria e acqua; l'acqua raffreddata per evaporazione viene raccolta in cantina e fatta circolare negli ambienti per raffrescarli.

Va comunque tenuto presente che

tutti questi sistemi di bagnatura del tetto presuppongono che la temperatura del tetto sia più alta che la temperatura di bulbo bagnato dell'aria, cioè in pratica che il tetto sia caldo e l'aria non troppo umida. Inoltre, questi sistemi - tranne quello della pellicola mobile d'acqua - sono efficaci per edifici a un solo piano perché raffrescano solo gli ambienti sotto il tetto.

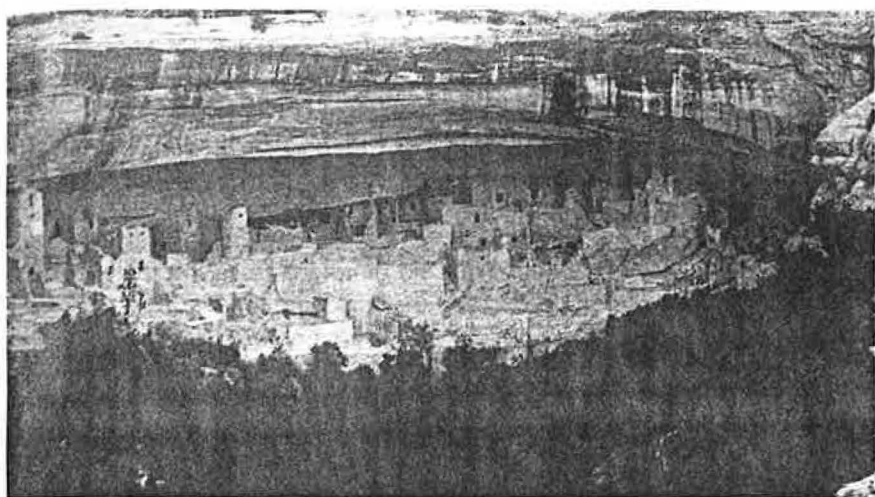
Bisogna inoltre considerare che i tubi occorrenti per la bagnatura vanno soggetti a manutenzione periodica in quanto possono spaccarsi per gelate stagionali ecc.

Finora abbiamo parlato di metodi per ridurre il riscaldamento. Contemporaneamente è necessario *refreddare l'aria calda* che si forma negli ambienti, cioè cedere il calore a qualcosa di più freddo, che può essere aria, acqua, terra.

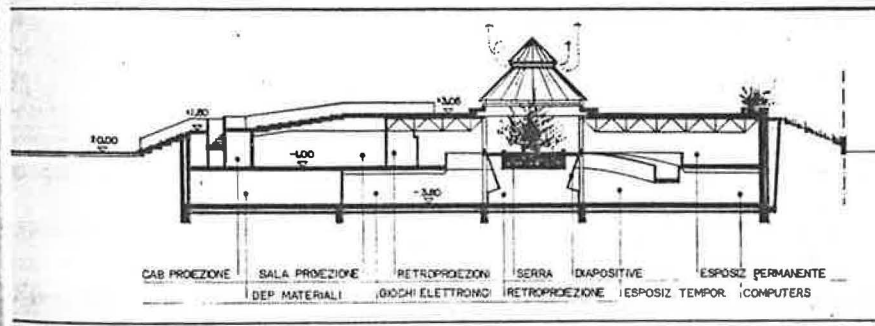
Il calore può essere ceduto all'aria esterna quando questa è più fredda: l'aria notturna, quindi, o l'aria fresca proveniente da cavità sotterranee nel terreno. A tal proposito abbiamo due esempi di raffrescamento passivo nella storia dell'architettura molto interessanti. Il primo riguarda le torri del vento comparse in Iran e Pakistan fin dal X secolo (3). Una torre del vento è una specie di camino, diviso in più sezioni da setti verticali in mattoni. Durante la notte la torre si raffredda; di giorno, l'aria a contatto con la muratura si raffredda a sua volta e, diventando così più densa, scende verso il basso ed entra nell'edificio. Quando vi è vento, questo processo può essere accelerato. L'aria entra nella torre dal lato esposto al vento, scende e passa nell'edificio attraverso porte che si aprono sulla sala centrale e sullo

(3) Bahadori - Il condizionamento dell'aria nell'architettura iraniana, in "Le scienze" - 1978.





Insediamiento nella Mesa Verde in Colorado (USA)



Progetto per il Centro Informazioni ENEA della Casaccia (arch. Cettina Gallo - prof. Vittorio Silvestrini): l'edificio è quasi interamente interrato

scantinato. La pressione di quest'aria fresca spinge fuori quella calda presente nell'edificio attraverso le porte e le finestre. Durante il giorno, la torre si riscalda. Questo calore è ceduto all'aria durante la notte, creando una corrente ascendente: se vi è necessità di ulteriore raffrescamento, si può usare questa corrente per aspirare l'aria fresca notturna dentro l'edificio.

Il secondo esempio riguarda alcune ville del '500 vicino Vicenza (4): esse sono dotate di un intelligente sistema di cunicoli sotterranei (covoli) per raffrescare gli ambienti nella stagione estiva: i covoli sono cavità in

(4) Fanchiotti A. - Le ville palladiane e "covoli" - in "Spazio e Società" - 1982.

parte naturali e in parte artificiali poste all'interno della collina su cui sorgono le ville. La temperatura interna di queste cavità sotterranee, pressoché costante tutto l'anno, ha valori intorno agli 11-12°C.

In estate, quando la temperatura dell'aria esterna è maggiore di quella all'interno dei covoli, si innesca un moto di circolazione naturale per cui l'aria calda entra in questi ultimi e ne esce raffrescata nelle cantine delle ville, andando quindi a ventilare i locali soprastanti attraverso rosoni in pietra o marmo posti nel pavimento delle stanze a piano terra, opportunamente regolabili.

La ventilazione è un elemento essenziale nel raffrescamento dell'aria, non solo, ma la ventilazione - anche se l'aria non è fredda - dà comunque una sensazione di benessere fisiologico in quanto il movimento d'aria aiuta l'evaporazione.

La ventilazione naturale e più in generale la circolazione naturale dell'aria negli edifici è molto difficile da calcolare; nella modellistica sono stati sviluppati alcuni modelli fisici, ma la loro utilità è limitata perché i moti convettivi dipendono da piccole variazioni di temperatura e da dettagli geometrici e delle superfici che sono difficili (e onerosi) da prendere in considerazione dettagliatamente. Inoltre essi in generale non tengono conto delle turbolenze.

La ventilazione può essere indotta meccanicamente con ventilatore ma conviene innanzitutto sfruttare fenomeni naturali come i venti, la differenza di temperatura tra varie zone di un edificio o tra interno o esterno ecc. Nella progettazione urbanistica è possibile mediante la disposizione appropriata dei volumi creare movimenti d'aria (effetto d'angolo, effetto canale, effetto Venturi ecc.) che raffrescano gli spazi urbani: ovviamente il tutto riproposto in scala più piccola può essere applicato anche

a un singolo edificio, immaginandolo per esempio costituito da un insieme di volumi collegati tra loro.

È importante per un progettista conoscere i venti prevalenti (velocità, direzione, frequenza) del sito in cui deve sorgere l'edificio in modo da sfruttarli al massimo nel disegnare il progetto ed eventualmente potenziarne la capacità di raffrescamento con strategie che aumentino la ventilazione naturale (es. camini solari a vento, ventilatori a soffitto ecc.).

L'uso di "wingwalls" (muri d'ala) può contribuire insieme con l'uso di finestre opportune a creare una ventilazione incrociata; le *finestre orizzontali* creano maggiori correnti d'aria di quelle verticali.

Il raffrescamento mediante evaporazione (del quale abbiamo già parlato a proposito della riduzione degli apporti di calore all'esterno) può essere utilizzato in misura più ampia in aggiunta o in alternativa ai sistemi convenzionali di condizionamento dell'aria.

Questi sistemi non sono in generale completamente passivi in quanto richiedono se non altro l'attivazione di flussi d'aria mediante ventilatori

elettrici. Il sistema più semplice di raffrescamento evaporativo diretto consiste nel soffiare l'aria dall'esterno attraverso dei filtri imbevuti d'acqua: l'aria che entra è raffrescata ma umida. Sistemi di questo genere sono comuni e utili in climi caldi secchi. In questo caso l'energia richiesta varia tra 1/5 e 1/10 di quella di un tradizionale condizionatore che dia gli stessi risultati. Un sistema di raffrescamento evaporativo a due stadi utilizza l'aria raffreddata dalla evaporazione diretta per raffrescare altra aria esterna mediante uno scambiatore di calore aria-aria producendo così aria fresca ma ancora asciutta. Si può allora aggiungere un secondo stadio di raffrescamento utilizzando quest'aria in un'evaporazione diretta. Questo sistema può essere utilizzato anche in climi meno secchi. In climi ancora più umidi è preferibile aggiungere un terzo stadio, a compressione o ad assorbimento.

Le variazioni stagionali di temperatura nel terreno diminuiscono con la profondità. La dissipazione di calore verso il terreno si può ottenere per *conduzione* (edificio interrato) o per

*convezione*: dell'aria dell'edificio è fatta circolare in tubi interrati dove viene raffrescata prima di rientrare nell'edificio.

Nella storia dell'architettura troviamo esempi interessanti di insediamenti edilizi parzialmente interrati che utilizzano quindi la dissipazione di calore verso il terreno per raffrescare gli ambienti: tra i più noti, i Sassi di Matera e gli insediamenti degli indiani Anasazi (1200 circa) nella Mesa Verde in Colorado, incastri in un taglio orizzontale della roccia.

Nella Facoltà di filosofia dell'Università di Ioannina (Grecia) sono stati utilizzati una fila di tubi in P.V.C. di 25 cm di diametro messi a 1,5 m sotto il livello del terreno per pre-raffreddare l'aria in entrata durante l'estate, che circola poi nelle biblioteche della scuola. Questo stesso sistema è stato sperimentato in un'azienda agricola: sono state osservate differenze di temperatura tra aria in entrata e in uscita fino a 20°C.

Dott. arch. Cettina Gallo, Enea, Roma