

La risorsa vento per la qualità dell'aria e il benessere

I sistemi di ventilazione naturale nell'architettura tradizionale e nell'evoluzione tecnologica

di Mario Grosso

Tratto da “**AMBIENTE COSTRUITO**” – n.3/2000

La potenzialità del vento come fonte rinnovabile alternativa al petrolio per la produzione di energia elettrica è, nella realtà italiana, piuttosto limitata. Per produrre elettricità da fonte eolica in modo competitivo, infatti, si richiede la compresenza di vaste aree facilmente accessibili, non costruite, e non piantumate, e di una frequenza di ventosità elevata con alte velocità medie; caratteristiche, queste, di zone relativamente limitate del territorio italiano (alcune zone della Sardegna e della Sicilia).

Le caratteristiche geomorfologiche dell'Italia, invece, e, in particolare, lo sviluppo dei litorali e l'estensione delle zone collinari e montuose, determinano una ventosità diffusa a prevalente regime di brezza, con velocità media relativamente bassa (1-2 m/s), velocità e frequenza piuttosto variabili e direzioni prevalenti alternate nell'arco della giornata. Tali connotati rendono la risorsa vento particolarmente idonea ad essere utilizzata come motore naturale della ventilazione, in funzione sia del rinnovo dell'aria negli ambienti confinati, sia del raffrescamento passivo degli edifici [1].

Tale utilizzo, se sviluppato nella potenzialità consentita dalle caratteristiche territoriali italiane, può rappresentare un risparmio di energia elettrica - sia per ventilazione, sia per condizionamento - ben maggiore della quota ottenibile direttamente da generazione eolica.

D'altra parte, l'utilizzo del vento per il soddisfacimento del benessere abitativo era patrimonio delle culture pre-moderne, come testimoniano gli esempi che si illustrano di seguito e che sono stati definiti archetipici, proprio per il loro carattere di primogenitura e paradigmaticità.

Sistemi archetipici di ventilazione naturale

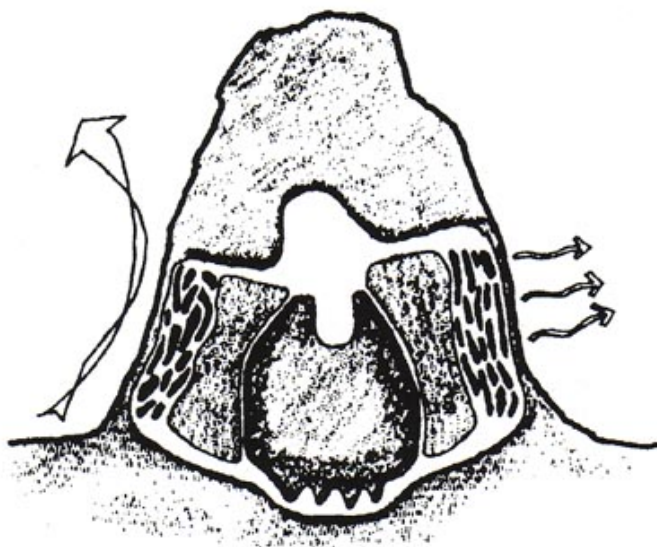


Fig. 1 Sezione schematica di un termitaio, illustrante i condotti per l'aerazione, le pareti laterali sottili per il raffrescamento convettivo e la massa termica in alto, con funzione di controllo solare [2]

Il termitaio

L'esempio più paradigmatico è rappresentato da un'architettura del mondo animale: il termitaio, una complessa costruzione in sabbia, lavorata dalle termiti operaie, all'interno del quale la temperatura è pressoché costante per tutto l'anno, grazie al metabolismo delle termiti e ad una rete di condotti di ventilazione, che sono aperti o chiusi per regolare i flussi d'aria. La cresta, la parte più esposta all'irraggiamento solare, è massiva e priva d'abitacoli, in modo tale da attenuare le oscillazioni termiche interne. Essa è attraversata, inoltre, da un condotto in grado di favorire la fuoriuscita dell'aria viziata (Fig.1).

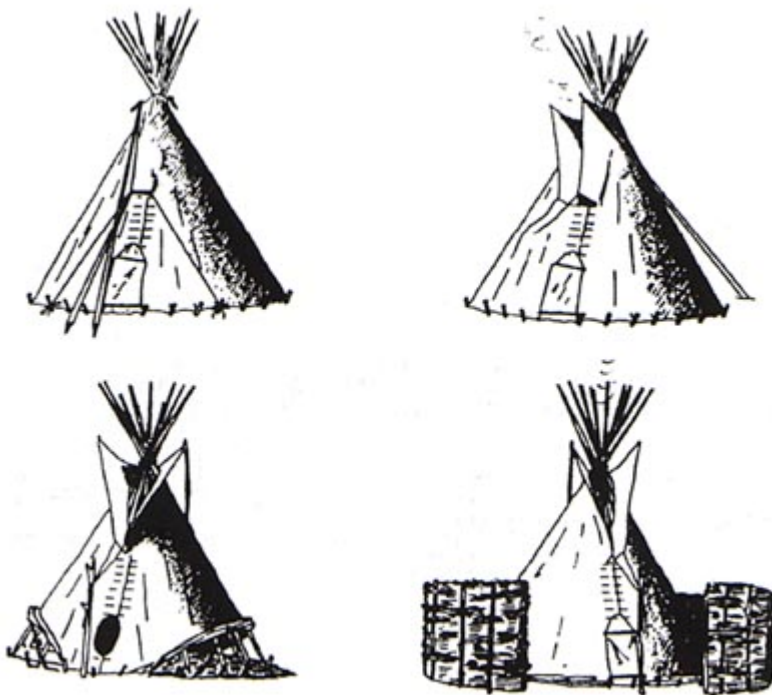


Fig 2 I diversi meccanismi di controllo microclimatico del tepee indiano nordamericano [2]; a) chiuso -periodo freddo-, b) ventilazione per effetto camino -espulsione fumo-, c) ventilazione passante, d) barriere protettive dai venti freddi

Il tepee

Esempi d'applicazione antropica dei meccanismi di ventilazione naturale sono, invece, i rifugi "leggeri" dei popoli indigeni di diversi continenti, costruiti per adattarsi ai climi caldo umido oppure per esigenze di mobilità dei popoli nomadi. Tra questi, il più rappresentativo è il tepee (la classica tenda degli indiani d'America delle grandi pianure), costituita da una struttura portante conica di pali d'abete, sormontata da pelli di bufalo conciate con misture oleose e preparati tannici, tali da rendere le pelli impermeabili alla pioggia. Quest'involucro ha due falde riportate, che restano sporgenti in alto e possono essere tenute aperte, per l'uscita del fumo e per l'aerazione o chiuse, spostando i due pali ai quali sono appese, per riparare dalla pioggia e dal freddo. I pali possono essere spostati anche per posizionare l'apertura sottovento, in modo tale da favorire la fuoriuscita del fumo. In inverno, attorno alla tenda si colloca una barriera circolare fatta di sterpaglia, per protezione contro i venti freddi. D'estate, le pelli sono sollevate nella parte inferiore, per ventilare lo

spazio interno. All'interno, la capanna è foderata, fino ad un terzo dell'altezza utile, da uno strato di pelle conciata, fissata in modo da creare un'intercapedine d'aria verso la pelle esterna. Quest'ultima ha la funzione di mantenere asciutto l'ambiente interno, anche in caso di pioggia, e di aumentare il tiraggio termico per l'uscita del fumo (Fig. 2).

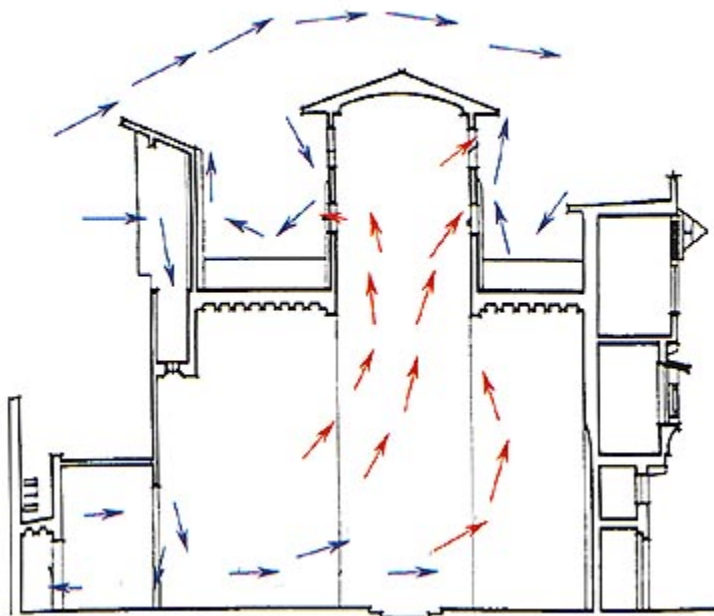


Fig 3 Schema dei flussi d'aria nel qa'a di Othman Katkhuda, Cairo (1350) [3]

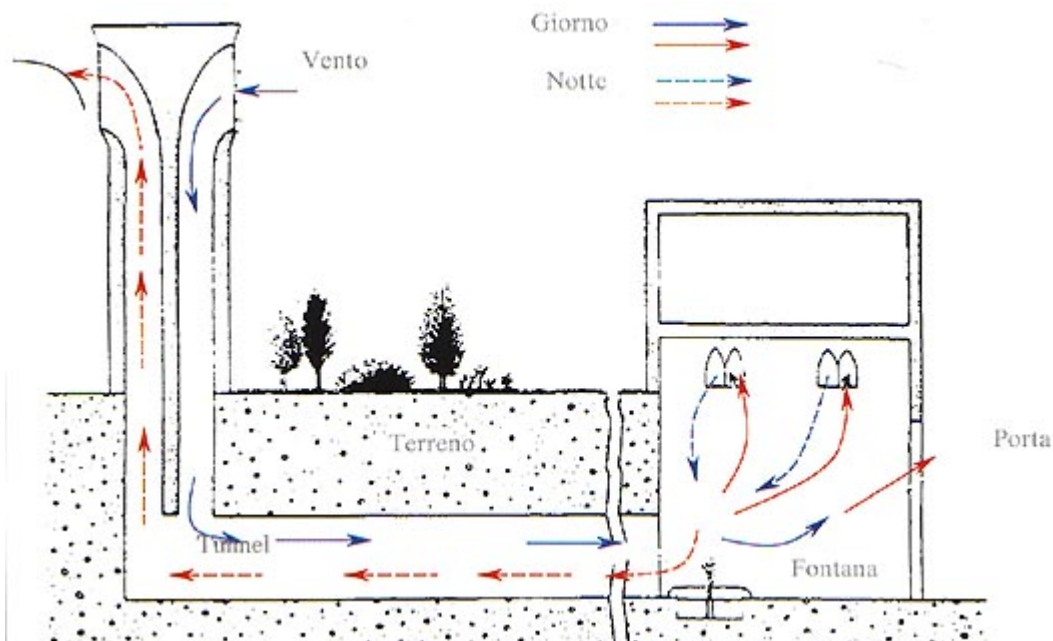


Fig 4 Schema dei flussi d'aria in una torre iraniana associata a un condotto sotterraneo

Il Qa'a

Tecniche di raffrescamento naturale per ventilazione più avanzate sono quelle sviluppate in seno a civiltà come l'araba o la persiana, quali quelle applicate nei Qa'a egiziani e nelle torri del vento iraniane. Il meccanismo di base di entrambi consiste nel catturare il vento in alto, dov'è più veloce e più freddo, condurlo all'interno dell'edificio attraverso condotti verticali che hanno un involucro di massa consistente (in modo da impedire il riscaldamento dell'aria) ed espellere quindi l'aria calda e viziata dei vani interni attraverso aperture poste in alto.

Nel qa'a l'elemento di captazione del vento è il *malkat* posto sopravvento e possibilmente a nord, mentre l'apertura di estrazione è rappresentata da un lanternino. Entrambi le aperture sono direttamente collegate con i locali da raffrescare e il ciclo è continuo, giorno e notte (Fig. 3).

Nella torre del vento, l'elemento di captazione dell'aria (torre) è, generalmente, separato dai locali da raffrescare e collegato a questi ultimi da un canale sotterraneo, che raffredda ulteriormente l'aria. L'espulsione dell'aria calda avviene attraverso le finestre. Il flusso d'aria s'inverte di notte, per effetto del rilascio di calore (assorbito durante il giorno) da parte dell'involucro della torre, che riscalda l'aria. Questa tende, così, a salire, richiamando aria più fredda dal canale sotterraneo e, a sua volta, dai locali abitati, attraverso le finestre lasciate aperte (Fig.4).

Caratteristiche e modalità di funzionamento

Per ventilazione si intende quell'insieme di operazioni volte a sostituire, in tutto o in parte, l'aria "viziata" di uno spazio confinato con aria pulita. Tale insieme di operazioni, comprendente l'immissione, l'eventuale filtraggio, la movimentazione e l'espulsione dell'aria, ha come scopo primario quello di garantire la qualità dell'aria nell'ambiente; tuttavia, quando i valori dei parametri microclimatici di un ambiente confinato sono superiori a quelli di benessere, e l'aria immessa ha una temperatura inferiore a quella dell'ambiente confinato, la ventilazione assolve anche una funzione di raffrescamento.

La ventilazione può essere posta in atto autonomamente o funzionare come parte di un sistema di climatizzazione ad aria, in cui è previsto il trattamento, vale a dire la modifica delle caratteristiche termoisometriche, dell'aria stessa, al fine di realizzare, e mantenere, condizioni di comfort. In ogni caso, la ventilazione come mezzo di raffrescamento ha un effetto prevalente, se non esclusivo, sui livelli di temperatura dell'aria e di sensazione corporea, agendo in modo minimale sull'umidità relativa.

La ventilazione può essere attuata, in funzione del tipo di forza agente sulla massa d'aria per indurne lo spostamento e del meccanismo di trasporto dell'aria stessa, nelle seguenti modalità:

- ventilazione naturale, utilizzante unicamente forze "naturali" (vento, effetto camino), nelle condizioni microclimatiche, esterne ed interne, date dalle caratteristiche del contesto;
- ventilazione indotta, utilizzante forze "naturali" ma in condizioni microclimatiche modificate da specifiche tecnologie (es., camino solare);
- ventilazione forzata, determinante spostamento d'aria con mezzi meccanici (es., ventilatore);
- ventilazione ibrida, utilizzante meccanismi prevalentemente di ventilazione naturale o indotta, con un apporto minimo di ventilazione forzata. Il presente articolo fa riferimento ai sistemi di ventilazione naturale, indotta e ibrida, che costituiscono l'insieme di tecniche definibili come ventilazione passiva; in particolare, tratta di quelli utilizzanti prevalentemente il vento come motore di flussi d'aria attraverso gli edifici.

Sistemi di ventilazione passiva

L'impiego di sistemi a ventilazione passiva negli edifici, in alternativa a quelli di ventilazione meccanica, ha un'importanza strategica nella politica energetica e ambientale dei paesi industrializzati e, in modo ancora più rilevante, di quelli in via di sviluppo.

Tali sistemi, infatti, producono una serie di effetti positivi, riassumibili nei seguenti:

1. Riduzione dei consumi energetici, e quindi della dipendenza dal petrolio, connessi con le esigenze di ventilazione e raffrescamento degli ambienti, queste ultime, particolarmente nelle zone a clima caldo e nei periodi caldi delle zone a clima temperato;
2. Conseguente riduzione delle emissioni inquinanti dell'aria, incluse quelle di gas serra responsabili del progressivo riscaldamento globale medio del pianeta, derivanti dall'utilizzo energetico di combustibili fossili;
3. Riduzione dei rischi di inquinamento biologico (sick building syndrome, legionella) legati errori di progetto (presenza di ristagno d'acqua e/o all'inefficienza di gestione (poca frequenza nella sostituzione dei filtri), che possono caratterizzare gli impianti di climatizzazione e quelli (ventilazione meccanica).

I principali sistemi di ventilazione passiva a vento sono i seguenti:

- ventilazione passante (orizzontale o verticale)
- ventilazione a lato singolo (singola apertura o apertura multipla)
- ventilazione combinata vento - effetto camino e ventilazione ibrida (immissione d'aria a vento ed estrazione assistita da ventilazione meccanica)

Si schematizza di seguito il funzionamento tali sistemi, ad eccezione di quelli ibridi, con alcune indicazioni sui limiti dimensionali relativi all'efficacia di ventilazione.

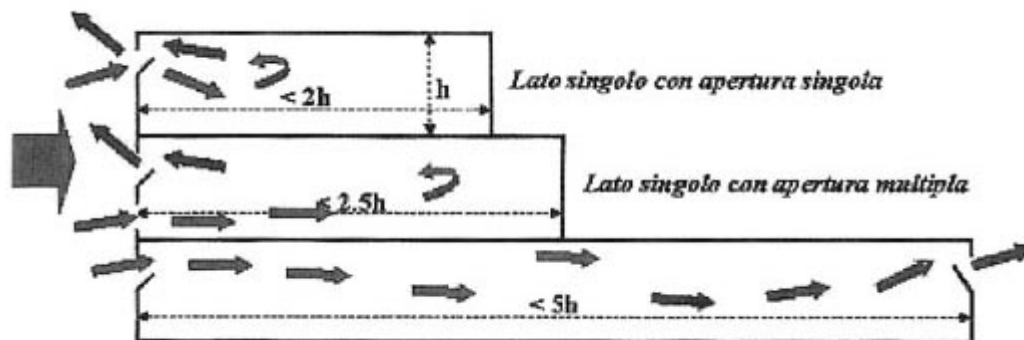


Fig 5 Limiti di profondità di vano per garantire efficacia di ventilazione a lato singolo e passante

Ventilazione passante orizzontale e a lato singolo

Si definisce ventilazione passante orizzontale il flusso d'aria che attraversa uno o più locali, con immissione e uscita dell'aria da aperture collocate su pareti opposte o adiacenti (ma non complanari), collocate alla stessa altezza dal piano di pavimento (in caso di altezze differenti, si aggiunge al vento la componente effetto camino). La portata d'aria realizzabile con tale tecnica è proporzionale all'area netta di apertura, all'angolo di incidenza del vento sul piano dell'apertura e alla differenza di pressione tra le due aperture. Tale differenza è massima per aperture collocate, rispettivamente, quella d'ingresso dell'aria sul lato sovrappressione, e

quella d'uscita, sul lato in depressione (generalmente, ciò accade quando le aperture sono collocate su pareti opposte), con angolo d'incidenza del vento compreso tra la perpendicolare e 30°.

La ventilazione a lato singolo è, invece, il ricambio d'aria prodotto in un vano quando vi sono unicamente una o più aperture collocate sulla medesima parete esterna. Il tasso di flusso, in tal caso, è discontinuo e legato prevalentemente ad un effetto di pulsazione dell'aria, dipendente dalle variazioni di velocità e direzione che caratterizzano il vento negli intervalli brevi. La portata d'aria complessiva oraria è generalmente molto ridotta, soprattutto nel caso di una singola apertura. Se le aperture sono più d'una, la portata aumenta: per effetto camino, se esse sono collocate ad altezze diverse; per l'innescò di flusso da vento semi-passante, se le aperture sono collocate alla stessa altezza.

In entrambi le configurazioni, l'efficacia della ventilazione dipende, altresì, dalla profondità del vano libero in rapporto all'altezza del vano stesso e dalla eventuale presenza di partizioni, che aumentano la resistenza al flusso, riducendo ulteriormente la portata d'aria. In Fig. 5 sono riportate le massime profondità di vano, al di sopra delle quali l'efficacia di ventilazione - per sistemi sia a lato singolo, sia passante - risulta notevolmente ridotta.

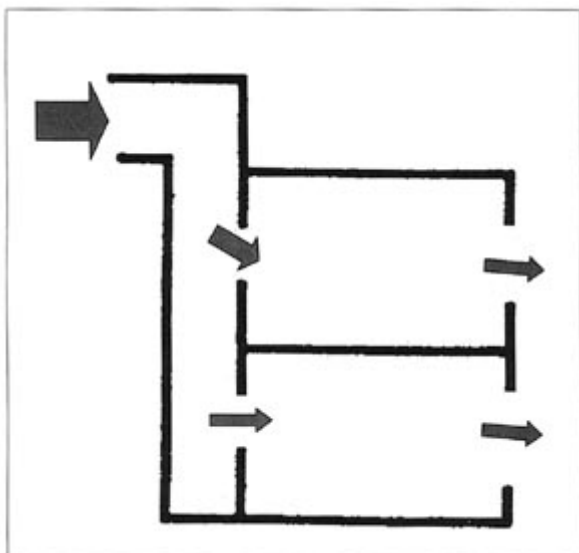


Fig. 6 Schema di flusso di ventilazione passante verticale (a torre di captazione)

Ventilazione passante verticale

Si intende per ventilazione passante verticale una tecnica di ventilazione passante, in cui l'immissione dell'aria avviene da un'apertura posta più in alto rispetto a quella di uscita. Generalmente, il sistema prevede un condotto verticale di immissione che collega l'apertura d'ingresso dell'aria al vano da ventilare (Fig. 6). L'apertura d'ingresso - il malkaf dell'architettura tradizionale egiziana (vedi Fig. 3) - deve essere rivolta sopravvento, in relazione ai venti dominanti. Tale sistema è particolarmente adatto in condizioni di vento prevalente relativamente costante, nel periodo caldo, nonché in situazioni di contesto urbano ad alta densità edificata, in cui risulta difficile utilizzare aperture ordinarie (finestre) collocate a livello del vano per l'immissione d'aria, soprattutto ai primi piani fuori terra.

Tale sistema si può trasformare, in assenza di vento, in un sistema ad estrazione naturale per effetto camino, come avviene, di notte, nelle torri del vento iraniane (vedi sopra, sezione *Torri di captazione del vento* e paragrafo successivo).

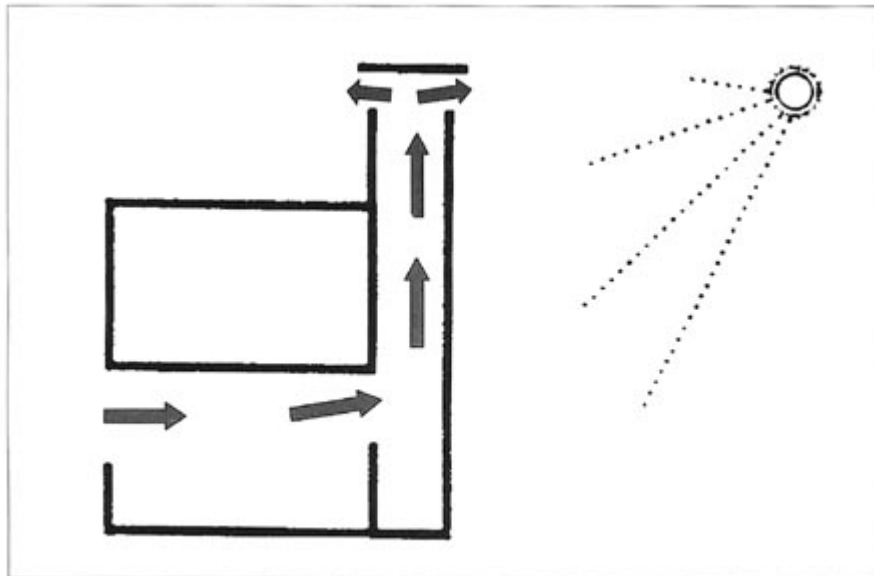


Fig 7 Schema di ventilazione combinata vento (immissione) effetto-camino (estrazione)

Sistema combinato vento-effetto camino

Il sistema che, tipicamente, combina l'effetto del vento con quello determinato dalla differenza di temperatura dell'aria tra esterno ed interno (effetto camino), è quello in cui si prevede l'immissione dell'aria in zona sopravvento, ad altezza del locale da ventilare, e l'estrazione naturale da un'apertura posta più in alto, all'estremità di un condotto o vano verticale (Fig. 7). Quest'ultimo può essere sia una condotta costruita ad hoc, sia uno spazio con altre funzioni, quale un vano-scala o un atrio con aperture apribili in copertura. Tale sistema può essere concepito sia come specificamente destinato all'estrazione - come nel caso d'utilizzo di vani-scala o atrii - sia come la modalità inversa di un sistema in cui sia anche prevista la ventilazione passante verticale (vedi punto Ventilazione passante verticale), come avviene nella torre del vento iraniana. Nel primo caso, il vento rappresenta un'agente d'ausilio alla generazione del flusso d'aria, che è determinata prevalentemente dall'effetto camino. Nel secondo caso, la torre, generalmente suddivisa in più condotti interni, funziona, alternativamente - in relazione al periodo e alla presenza, o meno, di vento - come elemento di captazione o di estrazione dell'aria.

Esiste, infine, anche la possibilità di combinazione spaziale - ossia con funzionamento contemporaneo - delle due modalità, come avviene nell'esempio sopra riportato del Qa'a egiziano (vedi Fig. 3). In tal caso sono necessari due vani verticali per la movimentazione dell'aria: l'uno in immissione (malkaf), con direzione discensionale, l'altro in estrazione (torrino o lanterino), con direzione ascensionale.

Il raffrescamento ventilativo naturale

Il raffrescamento attuato tramite ventilazione può essere, essenzialmente, di tre tipi:

- a. Raffrescamento ventilativo corporeo, RVC (comfort ventflation), prodotto dallo scambio convettivo tra aria e pelle, per effetto sia della differenza di temperatura, sia della velocità dell'aria;
- b. Raffrescamento ventilativo ambientale, RVA (free cooling), relativo all'abbassamento della temperatura dell'aria in un ambiente confinato, per effetto dell'introduzione d'aria più fredda dall'esterno;
- c. Raffrescamento ventilativo della massa, RVM (structural cooling), prodotto dallo scambio convettivo tra le superfici delle strutture edilizie (pareti, pavimenti, soffitti, ecc.) ed aria a temperatura più bassa di quella delle superfici stesse.

Raffrescamento ventilativo corporeo

L'efficacia della ventilazione come mezzo di raffrescamento corporeo dipende sia dalla differenza di temperatura tra pelle ed aria, sia dalla velocità di quest'ultima.

In un individuo sano, la temperatura della pelle è, mediamente, di ca. 33 °C; per generare uno scambio termico negativo (vale a dire, dal corpo verso l'esterno), è, quindi, sufficiente ventilare con aria a temperature di poco inferiori. In realtà, tale scambio negativo genera condizioni di comfort per l'individuo solamente se si raggiungono determinati valori della cosiddetta "temperatura operante", dipendenti da molteplici fattori, interrelati in modo complesso¹. Si può, in ogni caso, ragionevolmente sostenere che la temperatura dell'aria non debba mai superare, affinché il raffrescamento sia efficace, il limite superiore della zona di comfort (26°C ad aria ferma), estesa per tenere conto dell'effetto della velocità dell'aria, come di seguito illustrato. A parità di temperatura, l'effetto della velocità dell'aria sulla sensazione termica corporea, in termini d'abbassamento di temperatura equivalente e d'impatto percettivo generale, è, indicativamente, quello riportato nella tabella al piede [5].

Dai dati indicati in tabella, si desume che il limite massimo della temperatura dell'aria, per raffrescamento corporeo, sia intorno a 29 °C, con aria a velocità di poco superiore a 1 m/s. Tale valore corrisponde, infatti, al limite di comfort più i tre °C d'abbassamento della temperatura percepita, prodotto dall'effetto di movimentazione dell'aria a quella velocità. Velocità inferiori determinerebbero, ovviamente, in proporzione, limiti più bassi della temperatura massima.

Altro fattore importante ai fini di un efficace raffrescamento corporeo è la posizione delle aperture. Essa deve essere tale da consentire uno scambio convettivo a livello del busto, senza generare fastidiose sensazioni di "corrente", particolarmente quando la temperatura dell'aria entrante è notevolmente più bassa di quell'interna².

EFFETTO DELLA VELOCITA' DELL'ARIA NEL RAFFRESCAMENTO CORPOREO

Velocità dell'aria (m/s)	Abbassamento di temperatura (C°)	Sensazione
< 0.25	<1	Nessuna
0.26 - 0.5	1.1 - 1.6	Piacevole
0.51 - 0.75	1.7 - 2.2	Piacevole con consapevolezza del movimento
0.76 - 1.00	2.3 - 2.8	Da piacevole a leggermente disagiata
1.01 - 1.5	2.9 - 3.9	Da leggermente a notevolmente disagiata
> 1.5	> 3.9	Richiede interventi correttivi

Raffrescamento ventilativo ambientale

Il raffrescamento ventilativo ambientale è generato per introduzione in un ambiente confinato d'aria più fredda che quell'interna, con l'obiettivo di portare quest'ultima entro limiti di comfort per temperatura e umidità relativa. RVC, RVA, e RVM sono tecnicamente analoghi: operano tutti attraverso l'introduzione di aria più fredda in un ambiente confinato; ma, mentre il primo non può che avvenire in presenza di persone e l'ultimo, generalmente, si attua in assenza, il secondo opera sia in presenza, sia in assenza, d'occupanti. Le tre modalità sono complementari, ma non intercambiabili: con RVC si ha sempre anche RVA, mentre RVA si può attuare anche senza RVC, anzi, può creare, per periodi limitati, condizioni tali da non renderlo necessario. Il RVA induce sempre anche RVM, se l'edificio da raffrescare ha una massa edilizia relativamente consistente, per quanto i risultati non siano paragonabili a quelli prodotti da tecnologie di RVM specificamente finalizzate. I limiti di temperatura cui può operare efficacemente il RVA, sono inferiori a quelli del RVC, non intervenendo necessariamente l'interazione sensoriale con l'utente: in genere, il limite superiore è pari alla temperatura di set point estiva (26 °C), mentre quello inferiore può scendere anche molto sotto a 20 °C, in assenza di persone, come avviene per il RVM.

Le forze motrici del flusso d'aria necessario per indurre raffrescamento ventilativo - sia RVA, sia RVC e RVM - sono il vento e l'effetto camino, integrate con movimentazione meccanica dell'aria da attivare in caso di necessità, nei sistemi passivi ibridi.

La portata d'aria - q_{rva} - necessaria per il RVA di uno spazio confinato è determinabile, in regime stazionario, dalla seguente equazione:

dove: $q_{rva} = H / ca \rho (t_i - t_e)$

H = flusso di calore prodotto all'interno dell'ambiente è uguale a :

$H = H_s + H_i - H_d$, con

H_s = apporti solari

H_i = apporti interni (persone e apparecchiature)

H_d = dispersioni (W)

ca = calore specifico dell'aria (J/kgK)

ρ = densità dell'aria (kg/m³)

t_i , t_e = temperatura dell'aria interna ed esterna

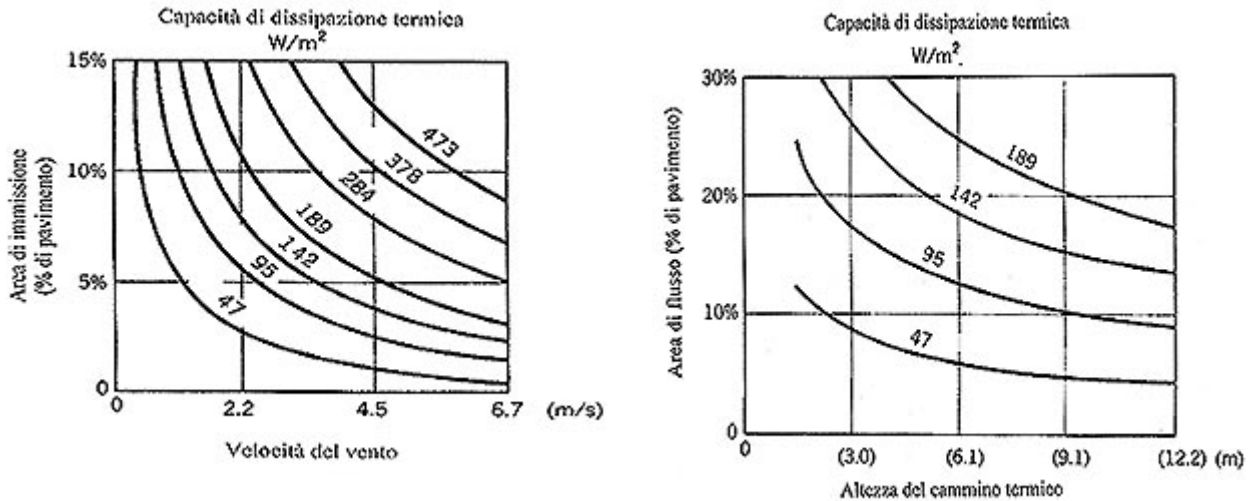


Fig 8 Capacità di dissipazione termica di RVA con ventilazione pas- Fig 9 Capacità di dissipazione termica di RVA con ventilazione pas-
 sante, monozona, nel caso di aperture uguali e sante, monozona, per effetto camino, nel caso di aperture uguali e t_i ,
 $t_e = 1.7\text{ }^\circ\text{C}$ $t_e = 1.7\text{ }^\circ\text{C}$

Sulla base dell'equazione sopra riportata, e d'altre formule specifiche per il calcolo della portata d'aria da vento e da effetto camino³, sono stati calcolate le curve dei grafici di Fig. 8 e Fig. 9 [6].

In Fig. 8 sono riportate le curve di correlazione tra velocità del vento (incidente perpendicolarmente ad una finestra) e area netta relativa d'apertura (come % della superficie di pavimento), per diversi valori di flusso termico asportato, nel caso di ventilazione passante in un ambiente monozona, con aperture d'area uguale in entrata e in uscita del flusso e differenza di temperatura di $1,7\text{ }^\circ\text{C}$.

Curve analoghe sono riportate in Fig. 9, con riferimento alla correlazione tra altezza del camino termico (distanza verticale tra livello d'ingresso e d'uscita dell'aria) e area della sezione trasversale al flusso, nelle stesse ipotesi dimensionali e di temperatura di Fig. 8.

Tali curve, come l'equazione sopra riportata, sono utili unicamente per verificare condizioni istantanee limite della necessità di portata d'aria per RVA, al fine di determinare la potenzialità di ventilazione in funzione delle scelte geometrico-dimensionali relative alle aperture. Per una valutazione effettiva dell'efficacia del RVA, occorre utilizzare metodi di calcolo e modelli di tipo dinamico, ben più complessi e articolati, riferiti a periodi non più corti della settimana e basati su dati meteorologici orari⁴.

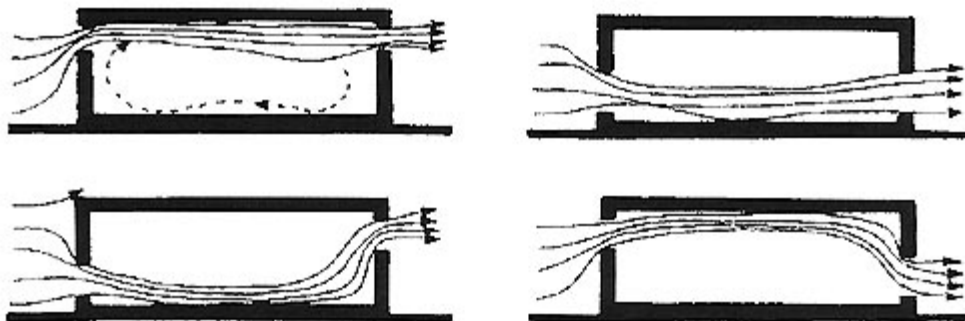


Fig 10 Variazione delle linee di flusso d'aria in un locale con ventilazione passante, in funzione della localizzazione delle aperture. Posizioni idonee per: RVM solaio, in alto a sinistra, e in basso a destra; RVM pavimento, in basso a sinistra; RVC, in alto a destra.

Raffrescamento ventilativo della massa

Il RVM è una tecnica di raffrescamento ventilativo, generalmente applicata ad edifici non residenziali⁵, che consiste nell'introduzione d'aria in ambiente, nel periodo serale e notturno, tramite aperture posizionate in modo tale da indurre un flusso lambente superfici interne di strutture massive (solai, pavimenti, pareti). L'efficacia di tale tecnica è proporzionale al livello d'escursione termica giornaliera e dipende sia dalla quantità e posizione⁶ della massa esposta, in grado di assorbire il calore prodotto nell'ambiente durante il giorno, sia dalla posizione delle aperture e dalla velocità dell'aria. In relazione alla diminuita ventosità nelle ore notturne, i sistemi di RVM sono, generalmente, ibridi (utilizzano, in altre parole, ventilatori per la movimentazione dell'aria).

Il calcolo della massa termica esposta, necessaria per assorbire il calore prodotto in un ambiente confinato, e della portata d'aria richiesta per raffreddarlo, prima che s'inneschi un nuovo ciclo diurno di riscaldamento, è piuttosto complesso. Una metodologia semplificata è contenuta nel Cap. XII di [1].

In Fig. 10, sono riportati alcuni schemi di posizione delle aperture e dei relativi flussi d'aria, dipendenti dalla localizzazione della massa termica esposta.

Note

1 Si veda il Cap. 3 del Rif. Bibl. [1].

2 Anche per la ventilazione naturale, in ogni caso, come per il condizionamento dell'aria, valgono i limiti di differenza tra temperatura dell'aria in assenza di raffrescamento e aria immessa, di 6i °C; ciò significa che - con riferimento alla temperatura limite per il comfort estivo di 26°, ad aria ferma - è opportuno non ventilare con aria a temperature inferiori a 20 0C.

3 Si veda il Cap. XI di Rif. Bibl. [1]

4 Sivedano i Cap,XI e XII di Rif; Bibl. [1]

5 Le elevate portate d'aria richieste, unitamente ad una limitata produzione diurna di calore interno, ne sconsigliano, infatti, l'applicazione in edifici residenziali, che sono occupati prevalentemente proprio di sera e notte, contrariamente agli edifici per uffici, commerciali e industriali.

6 Il solaio senza controsoffitto è, generalmente, l'elemento migliore per il RVM, in quanto assorbe naturalmente, per convezione ascensionale, il calore prodotto nel locale sottostante.

Riferimenti bibliografici

[1] Grosso, M., Il raffrescamento passivo degli edifici, Maggioli, Rimini, 1997.

[2] Fuller Moore, Environmental control Systems: heating cooling lighting, McGraw-Hill, Inc, Cap. 3: Climate and Shelter; New York.

[3] Fathy H., Natural Energy and Vernacular Architecture, University of Chicago Press, USA, 1986

[4] Bahadori M.N., "Passive Cooling Systems in Iranian Architecture", Scientific American, Vol. 238, No. 2, February 1978, New York.

[5] AA,VV., Handbook of Fundamentals, Cap. 27, ASHRAE, Atlanta, 1989

[6] Reynolds, J. 8., Stein, B., Mechanical and Electrical Equipment for Buildings, 8th Edition, John Wiley & Sons, NewYork,1992