



WATER COOLING

Specchi d'acqua, acqua nebulizzata, facciate fredde, torri evaporative: l'equilibrio tra temperatura e umidità relativa "progettato" in funzione del comfort in spazi aperti e chiusi. Con un moderato utilizzo degli impianti

Monica Rossi, Simone Tascini

Un orientamento innovativo in grado di contribuire alla limitazione dell'eccessivo surriscaldamento estivo è relativo alla messa a punto di sistemi di raffrescamento in grado di sfruttare le capacità di evaporazione dell'acqua e, in particolare, del vapore acqueo. La sensazione di benessere termico, determinata dalla presenza di uno specchio d'acqua o dalla nebulizzazione, costituisce un'esperienza comune; allo stesso tempo però, un'eccessiva quantità di vapore acqueo nell'aria e il conseguente aumento dell'umidità relativa possono comportare (in particolare nelle aree climatiche umide e negli spazi chiusi o scarsamente ventilati) un effetto contrario e innalzare il valore della temperatura percepita dall'utente. Nel progettare sistemi di raffrescamento basati su fenomeni di evaporazione dell'acqua, è quindi indispensabile considerare il fatto che diversamente dall'ebollizione che avviene solo



in certe condizioni di temperatura e pressione; l'evaporazione in presenza di aria avviene costantemente ed è un fenomeno superficiale che dipende essenzialmente dal contatto tra acqua ed aria. Di conseguenza, per ottenere un efficace abbassamento della temperatura determinato da fenomeni evaporativi, è necessario massimizzare due aspetti: la superficie di contatto e la velocità relativa tra acqua ed aria. Per questo motivo quando si ricorre a specchi d'acqua all'aperto è necessario tenere in considerazione il regime dei venti prevalenti, oppure è indispensabile utilizzare strumenti di separazione dell'acqua per aumentarne la superficie. Il livello di benessere termico dell'uomo, non dipende esclusivamente dal valore della temperatura, ma dalla combinazione di più parametri interdipendenti come la velocità dell'aria e, in particolare, l'umidità relativa, cioè il rapporto tra la quantità di vapore presente e la massima quantità possibile di vapore assorbibile dall'aria. L'acqua posta a contatto con l'aria secca, infatti, tende ad evaporare finché la pressione dovuta al vapore non raggiunge il livello di saturazione, cioè non permette più l'aumento della quantità di vapore che altrimenti condenserebbe. Il valore massimo della pressione di vapore, chiamato pressione di saturazione, non è fisso ma dipende direttamente dalla temperatura dell'aria. Tanto più l'aria è calda, tanto più vapore può contenere e viceversa. Di conseguenza, se la temperatura dell'aria diminuisce si riduce anche la quantità di vapore che è in grado di contenere.

A differenza dell'umidità assoluta, che indica i grammi di vapore acqueo contenuto nell'aria, l'umidità relativa definisce la percentuale di vapore rispetto a quello massimo (del 100%) che porterebbe alla condensazione. Pertanto nella progettazione di sistemi di raffrescamento che utilizzano acqua e che quindi comportano un aumento di vapore acqueo nell'aria, risulta indispensabile controllare il valore di umidità relativa (e non di quella assoluta) valutandolo in relazione alla temperatura dell'aria.

Nel caso però in cui ci sia una notevole diminuzione dei valori di temperatura, aumenterebbe eccessivamente anche l'umidità relativa e cioè la percentuale di vapore acqueo prossimo alla saturazione, con una conseguente sgradevole sensazione di dis-comfort ("afa"). Per valutare l'effettiva efficacia di un sistema di raffrescamento ad acqua è quindi necessario valutare le interazioni tra la temperatura dell'aria e l'umidità relativa in

Come funziona la percezione di "fresco"

Al fine di valutare consapevolmente la molteplicità dei fattori e delle variabili che determinano le condizioni microclimatiche di un ambiente e di applicare efficacemente sistemi di raffrescamento che prevedono l'utilizzo di acqua, è necessario basare le proprie scelte progettuali su una conoscenza approfondita non solo dei parametri che influenzano la percezione delle condizioni ambientali esterne da parte dell'uomo, ma anche di concetti di fondamentale rilevanza come quelli attinenti alla fisica dell'aria umida. L'aria in cui siamo costantemente immersi, infatti, non è un semplice gas ma una miscela di gas (azoto, ossigeno, argon, anidride carbonica ed altri) e vapore acqueo, le cui condizioni termiche e dinamiche - temperatura, velocità e regime di moto - sono in grado di influenzare fortemente il livello di benessere termico delle persone. La sensazione di freddo o di caldo percepita, infatti, è una conseguenza dell'accumulo o della perdita di energia da parte del nostro corpo in relazione all'ambiente circostante: ad un veloce accumulo/perdita di energia termica corrisponde quindi una sensazione sgradevole di caldo/freddo.

Con la consapevolezza che il livello di comfort degli utenti è determinato sostanzialmente dal flusso energetico che avviene tra il corpo umano e l'ambiente esterno e che, ad un'assenza di scambi termici, corrisponde una condizione di equilibrio e quindi una sensazione di benessere, è possibile valutare il ruolo di fondamentale importanza assunto dal vapore acqueo.

La principale caratteristica che distingue il vapore acqueo dagli altri componenti dell'aria è la sua condizione prossima al punto di condensazione, ovvero a quelle condizioni fisiche (temperatura e pressione) che gli permettono di passare dalla fase aeriforme a quella liquida. La peculiarità di tale passaggio di fase è un scambio energetico estremamente elevato che è alla base della capacità del vapore acqueo di assorbire energia termica e quindi di "raffrescare" l'aria.



Edificio per uffici e abitazione a Berlino, con serra in cui l'aria raffrescata non viene re-immessa, ma utilizzata per migliorare il comfort termigrometrico degli uffici e delle abitazioni realizzati a fianco della serra.



quanto non esiste un valore di umidità relativa che risulti in assoluto ben sopportabile dal corpo umano, ma è necessario comparare tale valore con quello della temperatura.

Il raffrescamento degli spazi aperti

L'evaporazione dell'acqua può costituire una strategia di miglioramento delle condizioni di benessere termo-igrometrico sia in spazi aperti che in ambienti chiusi.

Per quanto riguarda gli spazi aperti, a causa dell'elevato volume di aria, è possibile diminuire la temperatura solo nelle zone prossime alla fonte di evaporazione (vasca d'acqua o nebulizzatori). Se da un lato l'elevato volume di aria presente negli spazi aperti limita la zona con un maggiore livello di benessere, dall'altro contribuisce a diminuire il rapporto tra la quantità di vapore acqueo presente e la massima quantità assorbibile dall'aria. Pertanto nella messa a punto di dispositivi di evaporazione dell'acqua posti in spazi aperti (al contrario di quelli localizzati in ambienti

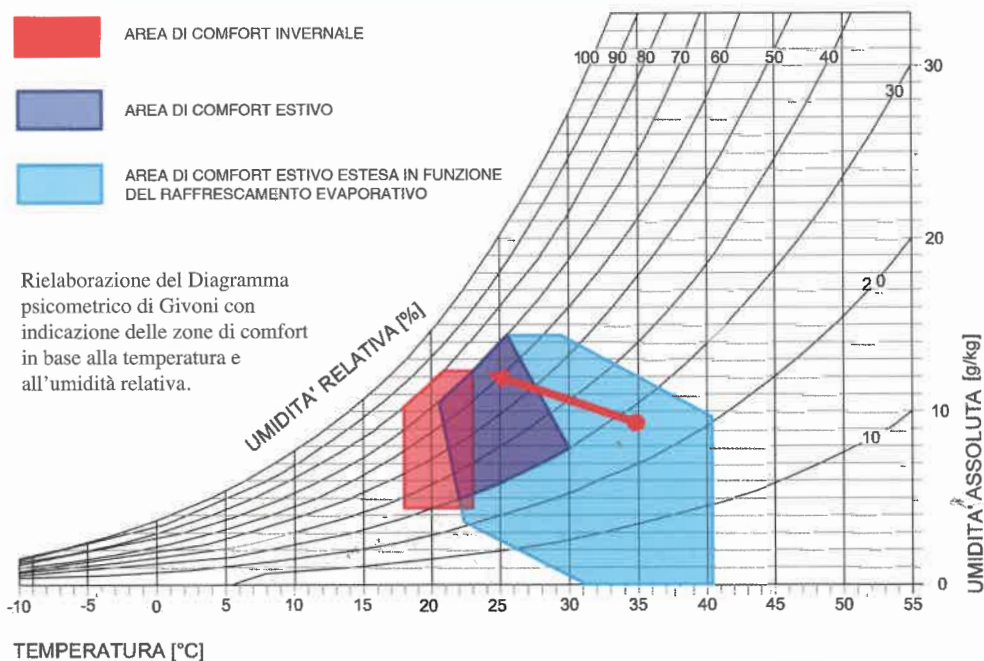
chiusi) l'eccessiva umidità relativa non costituisce un problema particolarmente rilevante.

Le principali tipologie di utilizzo di sistemi di evaporazione dell'acqua negli spazi aperti sono: specchi d'acqua, fontane zampillanti o cascate, acqua nebulizzata, acqua nebulizzata combinata a sistemi meccanici di ventilazione, superfici porose imbevibili d'acqua e sistemi di "facciata fredda" (cascata di acqua sulla facciata).

Un esempio di facciata fredda

Padiglione della Gran Bretagna all'Expo di Siviglia, Spagna. Progettista: Nicholas Grimshaw, 1992

L'esposizione Universale, svoltasi a Siviglia nell'estate del 1992 in condizioni climatiche estreme (temperature spesso superiori ai 40°C e una bassa percentuale di umidità relativa), ha costituito un'importante occasione per la sperimentazione e l'applicazione di sistemi di raffrescamento che sfruttano le proprietà evaporative dell'acqua. Al fine di ottenere condizioni climatiche soddisfacenti



Il grafico, che costituisce una rielaborazione del diagramma di Givoni (ASHRAE 1998), illustra in un diagramma psicrometrico il variare delle zone di comfort al modificarsi delle condizioni di temperatura (asse delle ascisse), di umidità relativa (curve che attraversano il grafico) e di umidità assoluta (asse delle ordinate). Nel diagramma sono individuate tre aree di comfort differenziate: una per la stagione invernale, una per quella estiva ed una terza, che costituisce un ampliamento dell'area di comfort estivo, applicabile nel caso in cui si utilizzino strategie di raffrescamento evaporativo. Il grafico evidenzia, inoltre, come il corpo umano sia maggiormente sensibile alle variazioni di temperatura che a quelle di umidità e di conseguenza come, aumentando la temperatura, si abbia una condizione di benessere solo nel caso di un livello di umidità relativa minore mentre, diminuendo la temperatura - ad esempio con un sistema di raffrescamento evaporativo - si possa ottenere una condizione di benessere anche con valori di umidità relativa elevati. La freccia rossa indica, a titolo di esempio, come variano le condizioni di temperatura e umidità durante un processo di saturazione tipico del raffrescamento evaporativo.



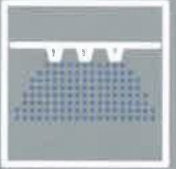


per i 200.000 visitatori previsti al giorno, sono stati applicati sistemi di raffrescamento non solo all'interno dei padiglioni espositivi, ma anche negli spazi esterni di collegamento e di sosta.

La strategia di raffrescamento adottata - il cui elemento unificatore è costituito dall'acqua - consiste nell'applicazione di più sistemi indipendenti dalla cui combinazione è stato possibile ottenere dei notevoli effetti di mitigazione delle condizioni micro-climatiche esterne. Il lago Spagna con una superficie di 15 ha svolge, oltre ad un ruolo di massa termica, anche quello di serbatoio naturale per tutti i dispositivi di canalizzazione, nebulizzazione e ruscellamento dell'acqua regolati da un sistema di chiuse. Il Viale Europa è, inoltre, caratterizzato dalla presenza di 12 torri del freddo - disposte

lungo la direzione prevalente del vento sud-ovest - all'interno delle quali sono collocati degli atomizzatori che spruzzano acqua nebulizzata verso il basso. L'altezza elevata (30 m) e la sezione ridotta delle torri accresce l'effetto discendente dell'aria che (sia in presenza che in assenza di vento) entra nelle torri, attraversa la fascia dei nebulizzatori (aumentando la propria percentuale di umidità, ma soprattutto abbassando la propria temperatura) e fuoriesce alla base delle torri producendo notevoli effetti di miglioramento del livello di benessere termo-igrometrico a larga scala. I microspruzzatori, posizionati a diverse altezze all'interno della torre, sono in grado di produrre circa 3,5 milioni di frigorie all'ora.

Oltre alle fontane zampillanti posizionate al centro

Tipologie di utilizzo dell'acqua negli spazi aperti

Tipologia	Caratteristiche	Idigrammi
Specchi d'acqua	L'acqua ferma all'interno di vasche posizionate in spazi aperti può contribuire a mitigare le condizioni microclimatiche esterne in quanto svolge una funzione di massa termica. La presenza di correnti d'aria e un'elevata superficie di contatto tra l'acqua e l'aria facilitano i fenomeni di evaporazione dell'acqua e il conseguente abbassamento della temperatura esterna.	
Fontane zampillanti o cascate	La movimentazione dell'acqua mediante fontane zampillanti o cascate aumenta la superficie di contatto e la velocità relativa tra acqua ed aria determinando così un maggiore assorbimento del calore esterno, rispetto a quello che si avrebbe in una situazione di acqua ferma.	
Acqua nebulizzata	L'utilizzo di ugelli contribuisce alla frammentazione dell'acqua e quindi alla massimizzazione della superficie di contatto tra l'acqua e l'aria producendo fenomeni di raffrescamento esterno. Tali dispositivi sono sempre più utilizzati negli spazi aperti in occasione di manifestazioni temporanee come ad esempio esposizioni o fiere.	
Acqua nebulizzata combinata a sistemi meccanici di ventilazione	L'integrazione di ventilatori a dispositivi che immettono nell'aria acqua nebulizzata aumenta la velocità di movimento delle gocce d'acqua e di conseguenza anche la loro capacità di assorbire calore. Tali dispositivi, abitualmente utilizzati per il raffrescamento delle stalle, sono stati applicati con successo nell'estate 2009 negli Aeroporti di Linate e di Malpensa e negli spazi aperti delle tendopoli dell'Aquila.	
Materiali porosi imbibiti d'acqua	La capacità dei materiali porosi - come ad esempio la terracotta o il laterizio - di assorbire l'acqua è conosciuta fin dall'antichità e viene applicata tradizionalmente, in numerosi paesi localizzati in zone climatiche calde, per la conservazione di cibi. Negli ultimi anni tale principio è stato applicato anche nel settore dell'architettura: sono stati realizzati, a diretto contatto con l'acqua, degli elementi in laterizio che imbibendosi per risalita capillare o per ruscellamento determinato una notevole mitigazione delle condizioni micro-climatiche esterne.	
Cascate d'acqua sulla facciata, "facciata fredda".	L'utilizzo di cascate d'acqua sulle facciate vetrate oltre ad avere un rilevante effetto estetico, comportano anche la schermatura solare delle facciate stesse - con una conseguente riduzione del riscaldamento degli ambienti interni dovuti all'irraggiamento solare - e un raffrescamento sia della superficie vetrata che dell'aria. L'applicazione della tecnologia della "facciata fredda", oltre a modificare il microclima esterno, comporta degli effetti positivi, seppur ridotti, anche per il raffrescamento degli spazi interni.	



Facciata fredda
Padiglione della Gran Bretagna
Expo di Siviglia, N. Grimshaw, 1992

di alcuni dei laghetti artificiali e alle cascate d'acqua poste in prossimità dei percorsi, il principale elemento caratterizzante gli spazi aperti dell'Expo 92 è l'imponente (85 x 18 m) muro d'acqua e vetro del Padiglione Britannico progettato da Nicholas Grimshaw. Oltre a caratterizzare lo spazio con rilevanti effetti visivi e sonori, la cascata d'acqua contribuisce ad abbassare la temperatura esterna (mediante la frammentazione dell'acqua dovuta alla caduta e il conseguente assorbimento di calore) e a schermare l'irraggiamento termico attraverso la vetrata con la derivante riduzione dei carichi termici che raggiungono gli spazi interni. L'acqua, sollevata sulla sommità della parete mediante pompe alimentate dai pannelli fotovoltaici, viene distribuita uniformemente sulla parete, è lasciata precipitare per 12,50 m e poi raccolta in una gronda in acciaio inossidabile per poi essere nuovamente pompata verso l'altro.

Altre interessanti soluzioni compositive e funzionali sono costituite dalle vasche d'acqua esterne, dalle cascate sulla passerella di accesso, dalle alette frangisole poste in copertura (realizzate in profili stampati di acciaio e strisce di tessuto bianco all'interno delle quali sono integrati i pannelli fotovoltaici), dalle grandi vele sorrette da una struttura reticolare in acciaio che schermano la facciata sud e dal fronte ovest costituito da una parete serbatoio totalmente riempita d'acqua che assorbe lentamente calore durante il giorno e si raffredda durante la notte mitigando le escursioni termiche giornaliere.

I monitoraggi hanno dimostrato che l'applicazione dei sistemi di schermatura solare e di raffrescamento ad acqua, totalmente alimentati con fonti energetiche rinnovabili, hanno permesso un risparmio energetico del 31%.

Un esempio di facciata fredda in Italia

Atelier Fleuriste, Chieri (TO), Italia, Progettisti: Elastico, 2008

La necessità di ri-funionalizzare un edificio dell'ottocento da adibire ad abitazione e ad attività commerciale e la richiesta del committente di un atelier in grado di richiamare l'attenzione dei passanti, hanno costituito i punti di partenza del progetto dell'Atelier Fleuriste.

Con l'intento di soddisfare le esigenze del committente, lo spazio commerciale multifunzionale è stato differenziato dal resto dell'edificio mediante la sostituzione della muratura e di parte della copertura preesistente con una serra a tutt'altezza. La necessità di schermare la serra, per evitare fenomeni di eccessivo surriscaldamento estivo, ha costituito l'occasione per sperimentare un sistema di parete fredda costituito dal ruscellamento di acqua sulla superficie esterna della facciata vetrata. Nei mesi estivi la cascata d'acqua comporta una serie di effetti benefici sia sul microclima esterno, che sul livello di comfort termico interno. La superficie d'acqua in movimento, infatti, riduce la temperatura della parete vetrata e svolge una funzione di schermatura solare riducendo l'irraggiamento diretto e l'aumento della temperatura

interna, senza influire sul livello di umidità relativa. La frammentazione dell'acqua in micro particelle, dovuta alla sua caduta, aumenta inoltre i fenomeni evaporativi e la capacità dell'acqua di assorbire calore con la conseguente mitigazione della temperatura esterna nell'area direttamente adiacente alla facciata. La cascata è alimentata con acqua piovana, recuperata sia dalla facciata vetrata che dalle falde opache. La scelta di utilizzare acqua piovana e non di sorgente, oltre all'intento di risparmiare le risorse naturali (acqua potabile), è dovuta alla minore percentuale di calcare contenuta nell'acqua meteorica rispetto a quella di fonte, con la conseguente riduzione delle procedure di de-calcarizzazione necessarie ad evitare la formazione nel tempo di macchie di calcare sulla facciata. L'acqua, dopo essere scivolata sulla superficie vetrata, viene raccolta in gronde di vetro e convogliata, attraverso un filtro a sabbie, in una vasca di accumulo interrata all'interno della quale sono disciolti prodotti anti alghe e organismi di depurazione, analoghi a quelli utilizzati per la purificazione dell'acqua delle piscine. Nella vasca di accumulo l'acqua viene nuovamente filtrata attraverso un decalcarizzatore e un filtro più fine e successivamente sollevata sulla copertura (mediante una pompa ad immersione da 3kW), dove viene nuovamente distribuita sulla facciata mediante una condotta costituita da tubolari in acciaio zincato. Nonostante la risalita dell'acqua sia affidata totalmente ad un sistema meccanico alimentato da fonti energetiche non rinnovabili, i risparmi energetici per il raffrescamento estivo sono tali da

ammortizzare ampiamente la spesa elettrica. Oltre agli effetti di mitigazione del micro-clima esterno ed interno nei mesi estivi e al carattere distintivo conferito all'edificio dalla facciata fredda, si è riscontrato che in inverno - ad una temperatura superiore agli 0°C - la cascata d'acqua in facciata è in grado di innalzare leggermente la temperatura della vetrata con una conseguente, seppur minima, riduzione delle dispersioni termiche.

Se gli spazi sono chiusi: il PHDC project

Il raffrescamento estivo di spazi chiusi mediante sistemi di evaporazione dell'acqua costituisce l'ambito di azione di due interessanti ricerche internazionali: il PHDC (Passive Hybrid Dwindraught Cooling) project e il Watergy.

Il macro-progetto PHDC, sovvenzionato dalla comunità europea e coordinato dall'University of Nottingham, nasce con l'intento di sviluppare, modellizzare e codificare il raffrescamento naturale degli edifici. Alla ricerca hanno partecipato numerosi partner internazionali: Mario Cucinella Architects - Italia, Architecture Project - Malta, Davis Langdon Consultancy - Inghilterra, European Federation of Heating & Air-Conditioning Associations, Association of Research and Industrial Cooperation of Andalusia - Spagna,

Facciata fredda
Atelier Fleuriste
Chieri (To), Elastico, 2008



Best practises del Water cooling

Parole chiave	Temi
Raffreddamento passivo	Il raffreddamento passivo di una corrente d'aria tramite evaporazione "diretta" di acqua porta alla sua saturazione, ovvero verso un'umidità relativa del 100%. Questo limita il suo utilizzo o situazioni temporanee (passaggi all'aperto) o a condizioni ambientali di aria secca (sotto il 40%).
Mix aria fresca e asria ambiente	Anche in condizioni di ridotta umidità relativa è necessario che l'aria fresca e saturata (o quasi) si misceli sempre con l'aria ambiente attenuando l'effetto di umidità e freddo eccessivi.
Umidità normale vs evaporazione diretta	Condizioni di umidità normale o elevata impediscono l'utilizzo dell'evaporazione diretta sia perché l'aria è già vicina alla saturazione sia perché si creerebbero delle condizioni finali di discomfort.
Scambiatori di calore e sfasamenti temporali	Nei casi di alta umidità ambientale si può utilizzare un sistema indiretto che raffreddi tramite l'aria umidificata aria ad umidità normale. Questo può avvenire tramite scambiatori di calore (le correnti d'aria non si miscelano e quindi non c'è passaggio di umidità) o attraverso sfasamenti temporali (di notte passa la corrente umida che raffredda un elemento ad alta capacità termica che poi assorbe calore alla corrente più secca che verrà utilizzata per il condizionamento).
Raffrescamento evaporativo	Poiché il controllo sul funzionamento è sempre poco preciso e limitato dalle condizioni ambientali esterne ed interne è necessario considerare il raffrescamento evaporativo come un sistema integrato ad uno di condizionamento meccanico che ne garantisce l'efficacia.
Sistema evaporativo come contributo parallelo o seriale	Rispetto all'integrazione con sistemi convenzionali, un sistema evaporativo può funzionare come contributo parallelo (servendo una parte specifica dell'edificio, come un ingresso) oppure seriale (fungendo da pre-cooling di un ambiente) dove il sistema meccanico provvede, quando necessario, al raggiungimento del set-point impostato.
Sistema evaporativo e sistemi radianti	I sistemi che meglio si integrano con quello evaporativo sono quelli radianti che permettono un basso scambio convettivo rispetto a quello radiativo, bassi gradienti termici e basse velocità dell'aria.

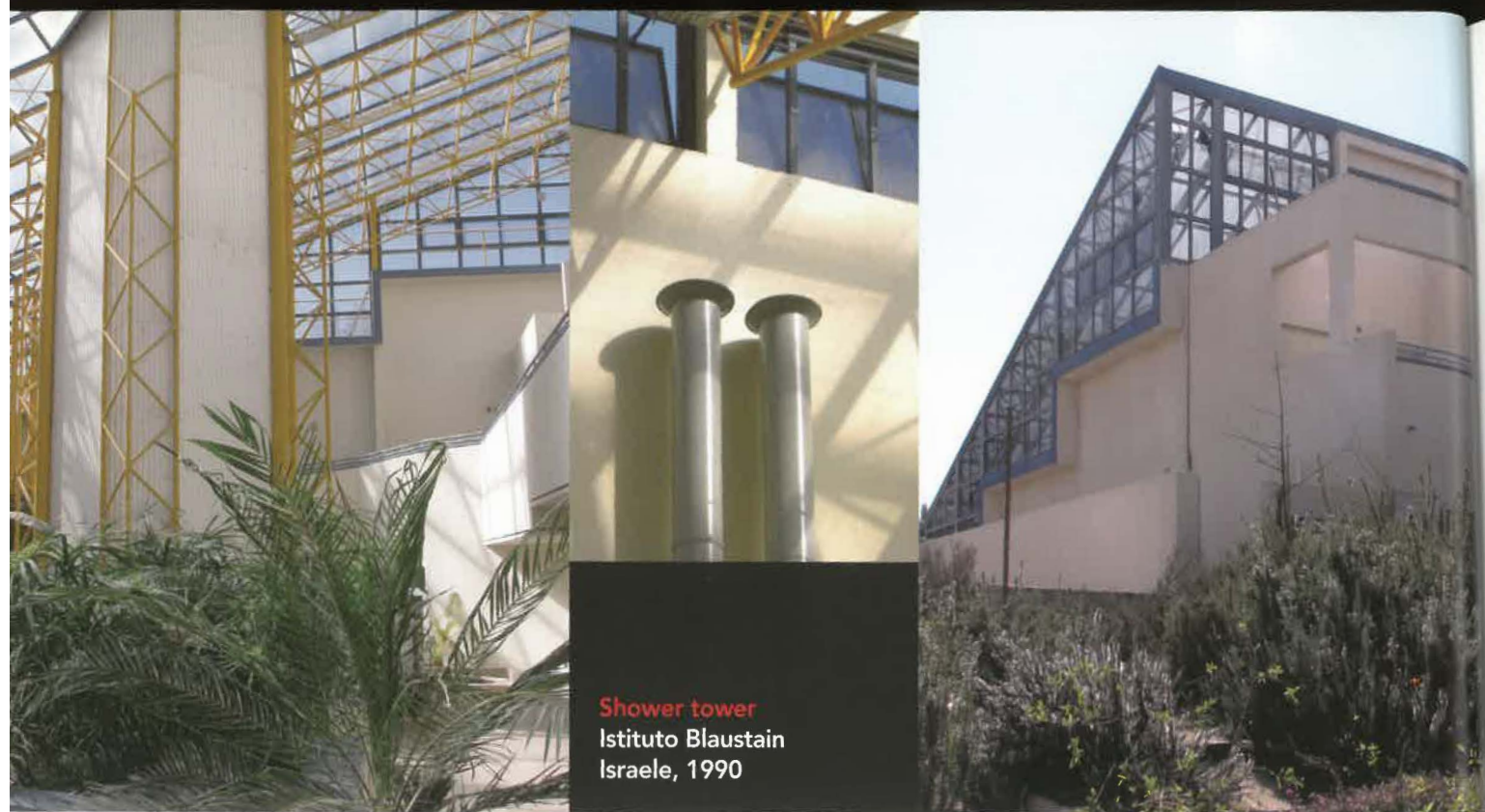
Abhikram Architects – India, Shanghai Research Institute of Building Sciences – Cina.

A seguito di tre progetti di ricerca principali e alla realizzazione di edifici prototipo in aree climatiche differenti i team del PHDC hanno verificato e valutato positivamente la fattibilità tecnica ed economica del raffrescamento passivo o ibrido attraverso correnti discensionali (downdraught). Il progetto PDEC (Passive Downdraught Evaporative Cooling in non-domestic buildings), elaborato dal 1993 al 1997, ha messo a punto una tecnologia di raffrescamento applicabile in edifici non residenziali. La tecnologia sviluppata prevede la presenza di una torre di raffreddamento all'interno della quale l'aria esterna, proveniente dall'alto, viene raffrescata mediante la vaporizzazione controllata di acqua e successivamente immessa negli ambienti abitativi dell'edificio posti in basso. A seguito del raffrescamento degli spazi interni, l'aria viene convogliata verso l'esterno tramite dei dispositivi di emissione movibili. L'acqua è immessa all'interno della torre mediante l'utilizzo di spray o di sprinkler: lo spray d'acqua è generato attraverso micronizzatori che, attraverso fori di piccole dimensioni, iniettano acqua ad alta pressione che evapora prima di toccare terra; gli sprinkler,



simili ai dispositivi utilizzati negli impianti antincendio, immettono l'acqua nella corrente d'aria sotto forma di gocce che non evaporano totalmente prima di cadere in fondo alla torre (shower tower). Utilizzando degli sprinkler è necessario prevedere sistemi di ricircolazione dell'acqua. La ricerca ha riscontrato che gli spray risultano più efficaci degli sprinkler in quanto garantiscono un minor consumo d'acqua, mentre gli sprinkler determinano un maggiore effetto di corrente verso il basso, grazie alla spinta che la caduta dell'acqua trasferisce all'aria. Il raffrescamento e la movimentazione della corrente d'aria può avvenire con sistemi totalmente passivi - in cui il processo non necessita di alcun dispositivo meccanico per il suo funzionamento - o

ibridi, quando la corrente viene generata anche per mezzo di ventole o pompe per l'acqua. L'accurata progettazione della torre (altezza e sezione), della tipologia di evaporazione e dei dispositivi di immissione e di emissione (ad es. lamelle) regolati in base alle condizioni ambientali esterne come temperatura, direzione e velocità del vento dell'aria - costituisce un elemento fondamentale per l'effettiva efficienza del sistema applicato e per la minimizzazione dell'energia necessaria al suo funzionamento.



Shower tower
Istituto Blaustain
Israele, 1990

Nell'ambito della ricerca sono stati quindi sviluppati gli algoritmi di calcolo per il dimensionamento della tecnologia analizzata e sono stati realizzati edifici campione, il cui monitoraggio ha permesso, oltre alla valutazione delle loro prestazioni d'uso, anche il confronto delle prestazioni degli edifici sperimentali con quelle di edifici convenzionali. I monitoraggi hanno dimostrato che - nelle zone climatiche del Sud Europa - sistemi di raffrescamento evaporativi ibridi (e non passivi) comportano un notevole risparmio economico, rispetto a sistemi di tipo convenzionale. Dal 2000 al 2003 sono stati portati avanti da PHDC due programmi: l'EVAPCOOL (Passive Dwindraught Cooling using porous ceramic evaporators) e l'ALTENER. Il primo è stato finalizzato allo studio e all'applicazione di evaporatori porosi, mentre il secondo a stabilire la fattibilità economica dei sistemi sviluppati dall'EVAPCOOL. La tecnologia messa a punto ed analizzata prevede l'applicazione di torri di raffrescamento all'interno delle quali sono posizionati dei pannelli porosi imbibiti d'acqua realizzati in cellulosa o argilla con uno spessore di 5-10 cm e un diametro dei pori di 1-2 mm. L'aria proveniente dalla sommità del camino lambisce i pannelli umidi, raffrescandosi prima di raggiungere gli ambienti abitativi. Tale tecnologia risulta più efficace di quella degli splinker, ma garantisce un minor controllo del livello d'umidità ed una maggiore perdita di pressione rispetto agli spray. Oltre a sistemi di raffrescamento evaporativo diretti (in cui l'aria raffrescata viene immessa direttamente negli ambienti abitativi) nell'ambito del PHDC

sono stati messi a punto anche sistemi indiretti che prevedono l'uso di scambiatori di calore. Tale soluzione è stata messa a punto al fine di limitare le problematiche relative ad un'eccessiva umidità relativa: l'aria, a prescindere dalla tipologia di evaporatore (spray, splinker, o pannelli porosi), esce dalla torre con una temperatura più bassa e con un'umidità relativa più alta. Se in uno spazio aperto un valore eccessivo di umidità relativa non costituisce un problema - poiché l'elevato volume d'aria è in grado di ridurla - negli spazi chiusi ed in particolare in aree in cui l'umidità ambientale è già alta, non è possibile ottenere un buon livello di comfort termo-igrometrico. In questi casi è necessario prevedere l'utilizzo di uno scambiatore di calore per trasferire l'energia termica dall'aria presente nella torre a quella che viene utilizzata per raffrescare gli ambienti interni, senza che le due correnti entrino in contatto diretto miscelandosi. Tale soluzione permette un raffreddamento sensibile dell'aria: una diminuzione della temperatura, senza un aumento del contenuto di vapore e quindi dell'umidità relativa. Il progetto ALTENER ha inoltre verificato e valutato positivamente la fattività economica della tecnologia sviluppata.

Un esempio di shower tower

Istituto Blaustain per le ricerche sul deserto, Midersht Ben Gurion, Israele, 1990; principale ristrutturazione nel 2005.

L'istituto Blaustein è situato nel deserto del Negev in Israele su un altipiano a 500 m s.l.m., caratterizzato da forti escursioni termiche giornaliere

Best practises del Water cooling

Parole chiave	Temi
Raffreddamento passivo	Il raffreddamento passivo di una corrente d'aria tramite evaporazione "diretta" di acqua porta alla sua saturazione, ovvero verso un'umidità relativa del 100%. Questo limita il suo utilizzo o situazioni temporanee (passaggi all'aperto) o a condizioni ambientali di aria secca (sotto il 40%).
Mix aria fresca e asria ambiente	Anche in condizioni di ridotta umidità relativa è necessario che l'aria fresca e saturata (o quasi) si misceli sempre con l'aria ambiente attenuando l'effetto di umidità e freddo eccessivi.
Umidità normale vs evaporazione diretta	Condizioni di umidità normale o elevata impediscono l'utilizzo dell'evaporazione diretta sia perché l'aria è già vicina alla saturazione sia perché si creerebbero delle condizioni finali di discomfort.
Scambiatori di calore e sfasamenti temporali	Nei casi di alta umidità ambientale si può utilizzare un sistema indiretto che raffreddi tramite l'aria umidificata aria ad umidità normale. Questo può avvenire tramite scambiatori di calore (le correnti d'aria non si miscelano e quindi non c'è passaggio di umidità) o attraverso sfasamenti temporali (di notte passa la corrente umida che raffredda un elemento ad alta capacità termica che poi assorbe calore alla corrente più secca che verrà utilizzata per il condizionamento).
Raffrescamento evaporativo	Poiché il controllo sul funzionamento è sempre poco preciso e limitato dalle condizioni ambientali esterne ed interne è necessario considerare il raffrescamento evaporativo come un sistema integrato ad uno di condizionamento meccanico che ne garantisce l'efficacia.
Sistema evaporativo come contributo parallelo o seriale	Rispetto all'integrazione con sistemi convenzionali, un sistema evaporativo può funzionare come contributo parallelo (servendo una parte specifica dell'edificio, come un ingresso) oppure seriale (fungendo da pre-cooling di un ambiente) dove il sistema meccanico provvede, quando necessario, al raggiungimento del set-point impostato.
Sistema evaporativo e sistemi radianti	I sistemi che meglio si integrano con quello evaporativo sono quelli radianti che permettono un basso scambio convettivo rispetto a quello radiativo, bassi gradienti termici e basse velocità dell'aria.

Abhikram Architects – India, Shanghai Research Institute of Building Sciences – Cina.

A seguito di tre progetti di ricerca principali e alla realizzazione di edifici prototipo in aree climatiche differenti i team del PHDC hanno verificato e valutato positivamente la fattibilità tecnica ed economica del raffrescamento passivo o ibrido attraverso correnti discensionali (downdraught). Il progetto PDEC (Passive Downdraught Evaporative Cooling in non-domestic buildings), elaborato dal 1993 al 1997, ha messo a punto una tecnologia di raffrescamento applicabile in edifici non residenziali. La tecnologia sviluppata prevede la presenza di una torre di raffreddamento all'interno della quale l'aria esterna, proveniente dall'alto, viene raffrescata mediante la vaporizzazione controllata di acqua e successivamente immessa negli ambienti abitativi dell'edificio posti in basso. A seguito del raffrescamento degli spazi interni, l'aria viene convogliata verso l'esterno tramite dei dispositivi di emissione movibili. L'acqua è immessa all'interno della torre mediante l'utilizzo di spray o di sprinkler: lo spray d'acqua è generato attraverso micronizzatori che, attraverso fori di piccole dimensioni, iniettano acqua ad alta pressione che evapora prima di toccare terra; gli sprinkler,



simili ai dispositivi utilizzati negli impianti antincendio, immettono l'acqua nella corrente d'aria sotto forma di gocce che non evaporano totalmente prima di cadere in fondo alla torre (shower tower). Utilizzando degli sprinkler è necessario prevedere sistemi di ricircolazione dell'acqua. La ricerca ha riscontrato che gli spray risultano più efficaci degli splinker in quanto garantiscono un minor consumo d'acqua, mentre gli sprinkler determinano un maggiore effetto di corrente verso il basso, grazie alla spinta che la caduta dell'acqua trasferisce all'aria. Il raffrescamento e la movimentazione della corrente d'aria può avvenire con sistemi totalmente passivi - in cui il processo non necessita di alcun dispositivo meccanico per il suo funzionamento - o ibridi, quando la corrente viene generata anche per mezzo di ventole o pompe per l'acqua.

L'accurata progettazione della torre (altezza e sezione), della tipologia di evaporazione e dei dispositivi di immissione e di emissione (ad es. lamelle) regolati in base alle condizioni ambientali esterne come temperatura, direzione e velocità del vento dell'aria - costituisce un elemento fondamentale per l'effettiva efficienza del sistema applicato e per la minimizzazione dell'energia necessaria al suo funzionamento.

piuttosto basso e sulla sommità dell'atrio coperto le finestre rimangono aperte durante tutto il periodo di attività della shower tower, l'umidità relativa dell'aria che fuoriesce dalla torre ha valori piuttosto alti (supera abbondantemente l'80% nel punto più basso dell'atrio). La considerevole potenza frigorifera e l'abbattimento della temperatura di 12 °C rispetto all'ambiente esterno indicano chiaramente come esistano i presupposti per raffrescare in modo completamente passivo un ambiente di lavoro, anche perché il corpo umano è più sensibile ad una temperatura troppo elevata piuttosto che ad un livello eccessivo di umidità relativa. In assenza di un impianto di condizionamento meccanico si potrebbero ipotizzare anche dei percorsi di miscelamento delle correnti d'aria che, a fronte di un leggero innalzamento della temperatura, siano in grado di riportare l'umidità a livelli più confortevoli.

Un esempio di shower tower esterna
Melbourne City Council House 2 (CH2),
Melbourne, Australia, Progettisti: Designinc,
2004 - 2006

Il progetto del Council House 2 (CH2) - il nuovo municipio della città di Melbourne - nasce con l'intento di diventare un punto di riferimento per l'Australia ed il mondo intero per il contenimento dei consumi energetici e per il livello di innovazione dei sistemi tecnologici adottati. Il CH2, oltre a svolgere un'importante funzione simbolica, è caratterizzato da uno spazio interno di elevata qualità ambientale, in grado di migliorare il benessere dei suoi occupanti. L'edificio adotta un

insieme integrato di sistemi atti al controllo del microclima interno: dispositivi per la regolazione della radiazione solare e dell'illuminazione naturale, strumenti per la gestione di un complesso circuito idronico e scelte progettuali per la creazione di spazi condivisi - caratterizzati dalla presenza di vegetazione - in grado di favorire la socializzazione e ridurre lo stress. Un impianto di cogenerazione, localizzato sulla sommità dell'edificio, è costituito da: una turbina a gas che produce il 30% dell'energia elettrica, il calore per l'acqua calda sanitaria ed il funzionamento dei condizionatori basati su sistemi ad assorbimento; celle fotovoltaiche (26 mq) che garantiscono energia elettrica sufficiente alla movimentazione automatica degli oscuranti per il controllo della radiazione solare sui lati nord e ovest; pannelli solari (48 mq) che forniscono il 60% dell'acqua calda e 6 turbine eoliche ad asse verticale che producono altra corrente elettrica ed aiutano il sistema di estrazione dell'aria consumata. In un sistema così efficiente persino gli ascensori, nella fase di frenata, contribuiscono a generare energia elettrica. L'elemento più innovativo dell'edificio è costituito dal sistema di raffrescamento costituito, come il riscaldamento, da pannelli radianti a soffitto alimentati con acqua fredda. L'acqua viene raffreddata entrando in contatto con del materiale a cambiamento di fase (PCM, Phase Changing Material), racchiuso in piccole sfere d'acciaio, e stoccato in grandi cisterne nel basement. Il PCM costituisce un potente accumulatore di calore (poiché assorbe calore a temperatura costante fino alla liquefazione). L'acqua prima di entrare

Shower tower
Melbourne City Council
House 2
Australia, Designinc, 2006



nei gruppi frigoriferi (chillers) viene pompata sulla copertura e fatta precipitare all'interno di 5 shower tower localizzate nel lato sud (quello più freddo trattandosi di un edificio localizzato nell'emisfero australe). Le torri evaporative - alte 13 m e larghe 1,4 m e realizzate con un tessuto trasparente, leggero e resistente - sono chiuse sulla sommità da un dispositivo di presa dell'aria esterna. All'interno delle torri viene fatta cadere l'acqua che trascina aria verso il basso raffreddandola per evaporazione. L'aria raffrescata viene immessa nei locali (negozi, uffici, lobby) del piano terra contribuendo alla mitigazione della temperatura interna, mentre l'acqua depositatasi alla base della torre - anch'essa raffreddata dal processo di evaporazione - viene utilizzata come pre-raffreddamento dell'acqua da inviare ai pannelli radianti. Nelle freddi notti invernali le torri sono in grado di raffreddare l'acqua tanto da ri-solidificare il PCM senza aiuto da parte dei chillers. I sistemi attivi di raffrescamento estivo sono supportati da un dispositivo night purge ovvero dall'apertura notturna automatizzata delle finestre, regolata da sensori di temperatura e di vento. L'aria fresca lambisce le superfici interne asportando una parte del calore accumulato durante il giorno.

Se gli spazi sono chiusi: il progetto Watergy

Il progetto Watergy condotto dalla Technische Universität Berlin - Germania in collaborazione con l'Estación Experimental de Cajamar - Spagna, la Wageningen University - Olanda, Agrotechnology and Food Innovations B.V. - Olanda e la Clina Heiz- und Kühlelemente GmbH, Germania, dal 2003 al 2006 nasce con l'intento di sviluppare una piattaforma tecnologica per l'approvvigionamento passivo di acqua, cibo ed energia. Nell'ambito di Watergy è stato sviluppato sviluppato un sistema per il raffrescamento evaporativo applicato in tre progetti distinti: "Closed Greenhouses", che ha portato alla realizzazione di una serra prototipo ad Almeria in Spagna; "Heat- and Water autarky buildings", il cui prototipo è costituito da un edificio per uffici ed abitazione a Berlino ed "Advanced Life Support" che prevede la messa a punto di edifici in grado di costituire un ecosistema chiuso applicabili in zone climatiche estreme. Nella serra ad Almeria, come nel PHDC, la tecnologia sviluppata prevede l'utilizzo di una torre di raffrescamento. La traspirazione delle piante presenti nella serra produce l'aumento dell'umidità dell'aria che, riscaldata dall'irraggiamento solare attraverso



Esempio di raffrescamento urbano a Clermont Ferrand In Francia.

le superfici trasparenti della serra, sale verso la torre. Qui la temperatura dell'aria viene ridotta grazie alla presenza di nebulizzatori che oltre a raffrescare l'aria ne aumentano l'umidità relativa fino a farla condensare. Un secondo flusso d'aria raffrescato mediante l'utilizzo di uno scambiatore di calore viene spinto verso la serra riducendone la temperatura, mentre l'acqua prodotta dalla condensazione viene utilizzata per annaffiare le piante. La tecnologia sviluppata prevede inoltre la presenza di un accumulatore termico (cisterna d'acqua) esterno alla serra e collegato direttamente con lo scambiatore di calore. Nell'edificio per uffici ed abitazione a Berlino è stata realizzata una serra con un funzionamento analogo a quello precedente, in cui l'aria raffrescata non viene re-immessa nella serra ma utilizzata per migliorare il comfort termidrometrico degli uffici e dell'abitazione realizzati a fianco della serra. Data la presenza dello scambiatore di calore gli ambienti abitativi vengono raffrescati, senza che aumenti il valore dell'umidità relativa. Il monitoraggio dell'edificio prototipo ha dimostrato che, con il supporto dell'accumulatore termico, la tecnologia messa a punto può migliorare il livello di comfort anche nel periodo invernale mitigando la temperatura interna. La caratteristica di autosufficienza idrica del sistema sviluppato ne rende possibile l'applicazione in edifici che funzionano da ecosistemi chiusi o da rigeneratori per acqua e aria localizzati in zone climatiche estreme come aree molto calde ma dotate di scarse risorse idriche come ad esempio aree desertiche.